

## 한국수산업의 EMERGY 분석

손지호 · 신성교 · 조은일 · 이석모  
부경대학교 환경공학과

### EMERGY Analysis of Korean Fisheries

Ji-Ho SOHN, Sung-Kyo SHIN, Eun-Il CHO and Suk-Mo LEE

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

Fisheries products have to be produced and maintained by work processes from the environment, sometimes helped by people. In Korean fisheries both environmental production and its economic use are included within the windows of system approach. EMERGY is the sum of all inputs expressed as one form of solar energy required directly and indirectly to make a product. Calculating EMERGY flows into Korean fisheries evaluates the real wealth contributed by environmental production and its economic use. Several indices calculated from EMERGY analysis table and a three-arm diagram give perspective on the type and efficiency of the environmental uses. Net EMERGY yield ratio is a measure of its net contribution to the economy beyond its own operation. For adjacent waters fisheries in Korea, the net contribution to the economy is 11.85 or higher, which is a stimulus to the economy that is able to purchase it. EMERGY investment ratio measures the intensity of the economic development and the loading of the environment. The ratio for Korean fisheries as a whole is 0.50, for the adjacent waters fisheries 0.09 and for the shallow-sea cultures 1.28, which is lower than the same index for the industry of the developed country (7.0). The component of environment drawn into production are large compared to purchased investment in Korean fisheries. Much more EMERGY is contained in fisheries products than in the paid services used to process the products. The EMERGY exchange ratio for Korean fisheries as a whole is 6.98, for the adjacent waters fisheries is 10.69 and for the shallow-sea cultures is 1.25. Using market values to evaluate wealth of environment resources is found to be many times too small. Money is paid only to people for their contribution, and never to the environment for its contribution. Macroeconomic value is the appropriate measure for discussing large-scale considerations of an economy, including environment and human goods & services.

**Key words :** Korean fisheries, system approach, EMERGY, yield ratio, investment ratio, macroeconomic value

#### 서 론

한국의 경제개발계획이 공업화를 주축으로 추진되는 동안 경제에 있어서 1차 산업이 차지하는 지위는 상대적으로 저하되었다. 1961년도 국민총생산에서 47.1% (1975년 불변가격기준)를 차지하던 농림수산업 (90% 이상이 농업)은 산업구조의 고도화에 따라 92년도에는 8.1% (90년도 불변가격기준)로 축소되었고, 이중 일반해면어업, 천해양식업, 수산가공업을 포함한 수산업은 국민총생산 (90년도 불변가격기준)의 1.85%

를 차지하고 있으며 (통계청, 1992), 수출액은 92년에 15억 1,800만 달러로 총수출금액의 2%를 차지하고 있는 실정이나 (한국수산회, 1992), 국민 1인당 단백질 소비량에 있어서는 약 45%가 수산물에 의해 공급되고 있어 그 중요성이 재인식되고 있다.

수산업은 일차 생산에 필요한 태양광선의 지속적인 유입, 조석현상에 의한 해수유동, 담수에 의한 육지로 부터 영양염과 화학물질 유입 등의 자연환경 (Natural environment)에 기초한 일차 생산자에 의한 광합성, 고차 영양 단계 생물의 먹이 섭취·성장 (Biological

production)을 포함한 자연환경적인 활동 (Environmental production)과 어민의 노동력, 어선 그리고 어획장비의 확보를 통한 어업 활동과 같은 경제적인 활동이 결합된 시스템이다. 그러나, 자연환경의 역할을 인식하지 못하고 어획생산량의 증대만을 위한 수산업의 발전으로 인하여 연안어업의 경우는 어업자원의 자연성장률을 초과하는 과잉 어획활동으로 어장의 단위 면적당 어획량이 1970년대의 50% 수준에 머물고 있고, 단위 노력당 어획량 역시 1974년 최고값을 나타낸 이후로 1970년대와 1980년대를 거치면서 계속 감소하고 있는 추세를 나타내고 있으며 (한국수산회, 1992), 양식어업의 경우는 양식 가능 수역에서 장기간에 걸친 대량 생산으로 인한 어장환경의 악화와 만성적인 부영양화, 적조발생, 빈번한 기름유출사고 등으로 인해, 생산성과 품질의 저하를 초래하고 있다. 또한, 원양어업의 경우에는 주요 자원보유 연안국들의 해양 환경보호와 자원 자국화 정책 추진으로 공해상의 조업이 어려움을 겪고 있으며, 저렴한 경제적 비용과 풍부한 환경자원을 가진 나라에서 생산된 값싼 수산물이 수입되고 있어, 한국수산업의 경우에 자연환경적 활동의 역할을 경제적인 활동과 함께 파악할 필요성이 대두되고 있다.

자연환경과 경제활동을 하나의 시스템에서 파악하려는 시스템 접근법 (System approach)은 생태학에 기초한 연구자들 (Odum, 1988; Mitch and Jörgensen, 1989)에 의해 진행되어오고 있는데, Odum은 1962년 이후로 에너지 회로 언어를 생태계 시스템의 분석, 합성 그리고 시뮬레이션에 이용해오고 있으며, 에너지 계층 구조의 새로운 척도인 Transformity와 하나의 시스템에서 자연환경과 경제활동을 동일한 가치 척도인 태양에너지로 나타내는 EMERGY를 이용하여 농업, 임업 그리고 수산업의 기여도, 한 국가가 가진 자연환경과 경제활동의 특성, 국가간 무역에 있어 EMERGY 측면에서의 손익 평가 (1988)등을 하였으며, Mitch and Jörgensen (1989)은 자연환경과 경제활동이 함께 이득이 되는 시스템 구조로 디자인하는 생태공학 (Ecological engineering or Ecotechnology)적 연구를 발전시켜오고 있다. 국내에서는 Lee and Odum (1994)이 EMERGY 분석법을 통해 한국의 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 파악하려는 연구를 수행하였다.

본 연구는 한국 경제에서 환경의 의존도가 큰 1차 산업인 수산업에 EMERGY 분석법을 적용하여 자연환경과 경제활동의 다양한 연관 구조를 하나의 체계에서 파악하고, 수산업에 있어서 자연환경적 요인의 기여도를 평가하고, 수산업의 자연환경과 경제활동의 특성을 파악하기 위해 각종 EMERGY 지표를 작성하고자 하였다.

## 방 법

### 1. EMERGY 이론의 도입

지구 시스템에 영향을 미치는 각종 에너지인 태양 에너지, 바람, 비, 조석, 파도, 하천, 석탄, 석유, 전기 등이 물리학적으로 정의되는 같은 양의 에너지를 가지고 있더라도 실제로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있으며, 이는 다량의 저급 에너지로부터 소량의 고급 에너지로 전환되는 지구 순환과정에 있어, 각 에너지원이 계층 구조적으로 서로 다른 에너지 전환 단계에 위치하고 있기 때문이다. 이러한 차이를 지구 순환과정에 있어 원동력인 태양에너지를 기준으로 한 동일 척도로 평가하기 위해서, 각기 다른 형태의 에너지원이 만들어지기까지 직·간접적으로 소모된 태양 에너지를 그 에너지원의 EMERGY라고 정의하며, 단위는 solar emjoules로 표현한다. 예를 들어 석탄 1 joule과 전기 1 joule을 비교하면, 1 joule의 석탄은 고생물에 대한 생·지·화학적인 작용 등으로 40,000 joule의 직·간접적인 태양에너지가 사용되어 40,000 solar emjoules (sej)이 되고, 전기 1 joule은 40,000 joule의 직·간접적인 태양에너지가 내재된 석탄 4 joule이 연소과정을 거쳐 형성되므로 160,000 solar emjoules (sej)이 된다. EMERGY는 각 에너지원에 내재된 태양에너지의 실질적인 에너지량에 대한 척도이며, 이를 계산하기 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 Solar Transformity가 사용되며, 이는 에너지질의 척도로 어떤 형태의 에너지 1 joule을 만들기 위해서 직·간접적으로 소모된 태양에너지 양으로 정의되고, 단위는 solar emjoules per joule (sej/j)로 표현된다.

### 2. 시스템 경계의 설정

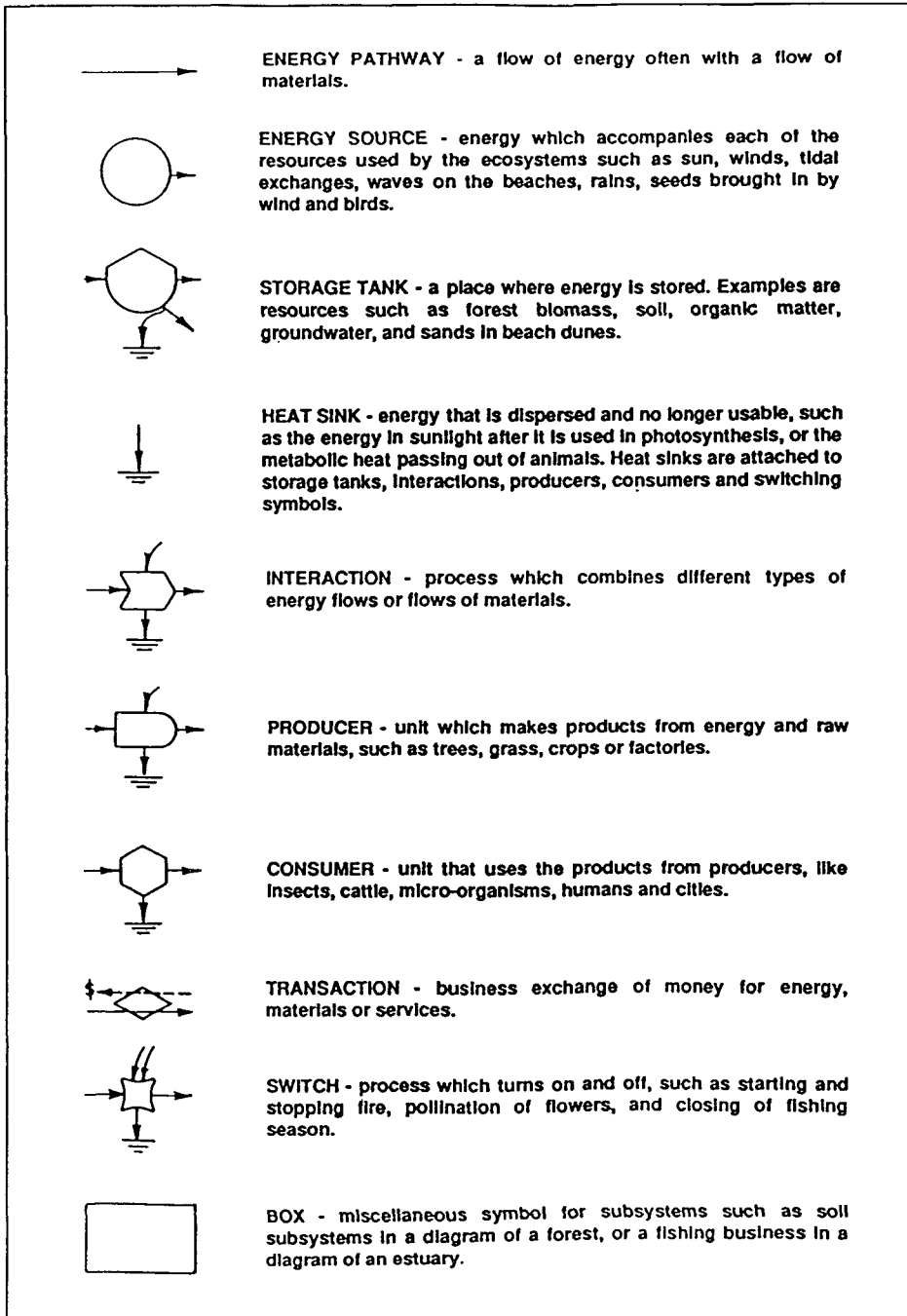


Fig. 1. Symbols of the energy circuit language.

한국수산업의 시스템 분석을 위한 경계는 국민총생 어로한계선 아래의 전관수역을 포함한 동해 103,933 산에서 1.85%를 차지하는 자연환경과 경제활동이 결 km<sup>2</sup>, 황해 151,113 km<sup>2</sup>, 남해 40,038 km<sup>2</sup>, 동중국해 65, 합된 수산업으로 설정하고, 자연환경적인 경계로는 213 km<sup>2</sup>를 합한 3.60×10<sup>11</sup> m<sup>2</sup> (국립수산진흥원, 1993)

로 하고 그중 일반해면어업은  $3.59 \times 10^{11} \text{ m}^2$ , 천해양식업은 양식면허 면적인  $1.08 \times 10^9 \text{ m}^2$  (수산청, 1993)으로 하였다. 경제적 경계로는 일반해면어업, 천해양식업(1차 산업) 그리고 수산가공업(2차 산업)을 포함하는 수산업으로 설정하였다.

### 3. 에너지 시스템 다이어그램 작성

H. T. Odum (1983)이 제안한 에너지 언어 (Fig. 1)를 이용하여 시스템 경계 밖에서 영향을 미치는 자연환경으로부터 유래한 태양에너지, 바람, 비, 조석, 파도, 하천과 같은 영속성 (Renewable)의 에너지원과 경제적 활동으로부터 유입되는 석유, 원양어획물, 수입수산물 그리고 재화와 용역을 외부 에너지원으로 표시하고, 시스템 내부 요소로 작용하는 일차 생산자인 식물플랑크톤은 생산자로, 동물플랑크톤과 어류는 소비자, 해수 교란에 의한 난류 에너지, 영양염, 이산화탄소, 생물의 유생 그리고 선박 및 어구와 같은 어가자산은 시스템 내부의 보유량으로 나타내었고, 일반해면어업, 천해양식업 그리고 수산가공업은 전체 수산업 시스템 내의 세부시스템으로 표현하였다.

시스템의 외부 에너지원과 내부 요소의 배치는 태양에너지로부터 생성되는 과정에 있어 전환정도 (Transformity)에 따라 시스템의 왼편에서 시작하여 오른편으로 배열한 후, 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 각 요소를 에너지, 물질, 정보 그리고 화폐의 흐름에 따라 각 부호 사이를 연결하여 수산업의 시스템 구조를 나타내는 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다.

### 4. EMERGY 분석표 작성

수산업 시스템의 주요 에너지원을 EMERGY와 Transformity 개념에 의해 동일한 가치 척도로 평가하기 위해서 Table 1과 같은 5열의 EMERGY 분석표를 만든다.

1열에는 에너지원 항목을 Transformity의 증가 순으로 기입하고, 2열에는 Table 2의 자료를 바탕으로 Odum (1994)이 제안한 에너지 계산식에 대입하여 energy 혹은 dollars 등의 단위로 산정하였다. 사용된 자료는 자료의 일치성이 만족되는 1992년도 각종 자료를 이용하였다. 3열의 Transformity는 Odum (1994)이 계산한 값을 사용하였으며, 원양어획물과 수입수산물은 원양어장과 수입국의 자연환경에서 생산된 수산물이 가지는 Transformity 값인  $1.60 \times 10^6 \text{ sej/j}$ 를 사용하였으며 (Brown et al., 1993), 재화와 용역은 화폐를 EMERGY로 전환하는 비 (Ratio energy to dollar within the country)인  $1.56 \times 10^{12} \text{ sej/\$}$  (Lee and Odum, 1994)를 사용하였다. 4열의 EMERGY는 2열과 3열의 곱으로 계산하였으며, 5열의 Em\$는 한 국가가 사용한 전체 EMERGY 양에 대해 수산업의 외부에너지원이 차지하는 비율을 GNP에 곱하여 계산하였다.

### 5. EMERGY 지표 작성

대상 시스템을 다른 시스템과 비교하고, 특성을 파악하기 위해서 시스템의 요소들 (외부에너지원, 생산자, 소비자, 저장고)을 자연환경적인 유입 (environmental inputs)과 경제적 활동에 의한 유입 (purchased inputs)으로 분류하고 이를 바탕으로 요약된 형태의 에너지 다이어그램을 작성하여 EMERGY indices (Net EMERGY yield ratio, EMERGY investment ratio, EMERGY exchange ratio, Macroeconomic value)를 계산한다.

한국수산업 시스템에 대한 자원으로서의 가치를 평가하기 위한 Net EMERGY yield ratio는 수산업으로부터 생성된 EMERGY 양을 주 경제에서 수산업으로 되먹임 (Feed back)된 EMERGY의 양으로 나눈 비로 구한다. EMERGY investment ratio는 경제활동을 통하여 유입된 EMERGY와 이용된 환경자원의 EMERGY와의 비로 나타내며, 수산업의 생산활동이 경제

**Table 1. Tabular format for EMERGY analysis**

Item	Data & Units J, G, or \$	Solar Transformity sej/unit	Solar EMERGY sej/yr	Macroeconomic value, Em\$ \$/yr
(one line here for each source, process or storage of Korean fisheries)				

**Table 2. Data for calculating energy flows of environmental and purchased inputs**

Input source	Item(unit)	Reference
Sun	Average of insolation (MJ/m <sup>2</sup> /yr)	Korea Meteorological Administration, 1992
Wind	Eddy diffusion coefficient (m <sup>3</sup> /m/sec)	Korea Meteorological Administration, 1992
	Wind gradient (m/sec/m)	Odum, H.T., 1994
Rain	Rainfall (mm/yr)	Korea Meteorological Administration, 1992
	TDS (mg/l)	Huh, C.G., 1984
River	Volume flow (E10 m <sup>3</sup> /yr)	Ministry of Environment, 1992
	TDS (mg/l)	Ministry of Environment, 1992
Tides	Area elevated (m <sup>2</sup> )	Lee, S. H., 1992
	Height (m)	Office of Hydrographic Affairs, 1992
Waves	Shore length (m)	Lee, S. M., 1994
	Height (m)	Lee, S. H., 1992
Fuel	Fuel used (bbl)	Korea Energy and Economics Institute, 1993
Distant Waters Fisheries	Fish catches (ton)	Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries, 1993
Imported Fisheries Product	Imported fisheries product (ton)	The Fisheries Association of Korea, 1992
Goods & Services	Fisheries management expenditure (won)	The Fisheries Association of Korea, 1992
	Number of household	The Fisheries Association of Korea, 1992
	Exchange rates of won to U.S. dollar	The Bank of Korea, 1994

적인 경쟁력과 동시에 자연환경에 대하여 어느 수준으로 경제적인 개발이 가능한가를 결정하는데 이용된다. EMERGY exchange ratio는 외부 시스템과의 거래 과정을 통해 시스템 내에서 얻어진 산물이 시스템 외부로 화폐와 교환될 때 발생하는 EMERGY와 화폐의 상호교환 비에 의해 구한다. Macroeconomic value는 한 국가 전체가 사용한 EMERGY 양에 대하여 수산업에 기여한 EMERGY 양이 차지하는 비율을 GNP에 곱하여 계산하며, 이는 인간의 경제활동과 자연환경 에너지원의 가치를 동일한 척도에서 거시 경제적인 화폐의 단위 (Em\$)로 표현한 것이다.

한국수산업에 기여하는 자연환경적인 활동과 인간 경제 활동을 에너지 도해 (Fig. 2)를 통해 살펴보면 일반해면어업, 천해양식업 그리고 수산가공업을 포함한 한국수산업 시스템의 경우 에너지원으로서는 경제 밖의 원편에서부터 태양에너지를 시작으로 기상에너지, 해양에너지 그리고 육상으로부터 유입되는 하천수와 같은 자연환경에서 기인한 에너지원과 화석연료, 원양어획물, 수입수산물 그리고 재화와 용역과 같은 경제적 활동에서 기인한 에너지원이 있다.

이러한 외부 에너지원의 연간 유입량을 살펴보면 (Table 3), 자연환경에 의한 에너지원 중에서 태양에너지 유입량은  $16.15 \times 10^{20}$  J/yr로 산정되었고, 바람에 의한 운동에너지 유입량은  $5.15 \times 10^{17}$  J/yr, 강수량 1,112.7 mm/yr인 비의 화학적 에너지 유입량은  $2.01 \times 10^{18}$  J/yr로 산정되었다 (기상청, 1992). 해수유동과 난류를 유발하는 조석에너지 유입량은  $2.89 \times 10^{17}$  J/yr였

## 결과 및 고찰

### 1. 한국수산업의 시스템 분석

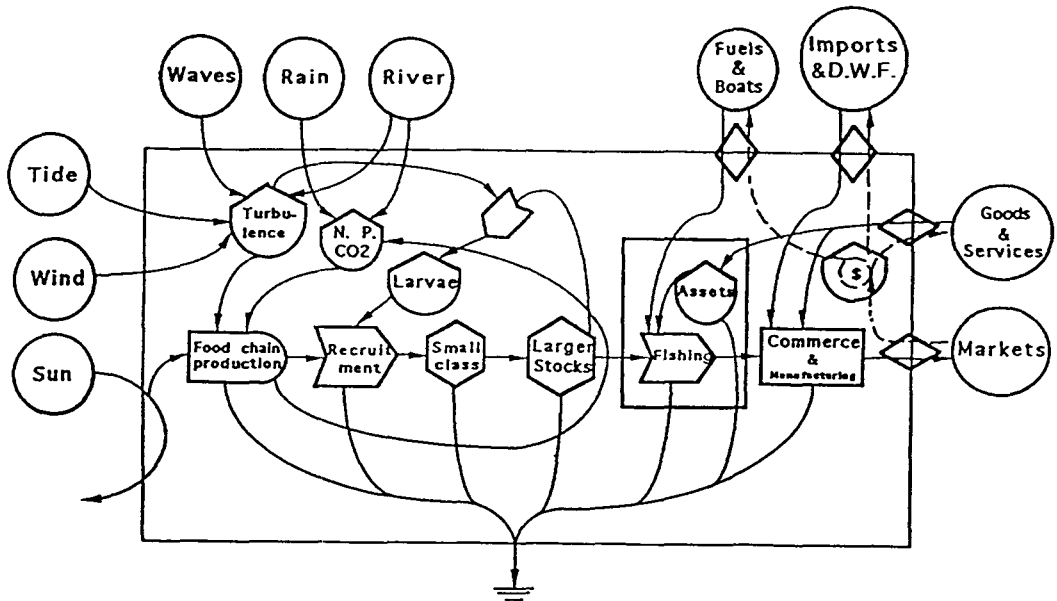


Fig. 2. Energy diagram of Korean fisheries (D.W.F.= Distant water fisheries).

Table 3. Energy flow in the Korean fisheries.

Sources	Actual energy J or \$/yr	Solar Transformity sej/J or \$	Solar EMERGY E20 sej/yr	Em\$ E9
Direct sun	16.15 E20	1	16.15	0.85
Wind	5.15 E17	1496	7.70	0.41
Rain	2.01 E18	7435	149.44	7.89
Tide	2.89 E17	16842	48.67	2.57
Waves	2.03 E17	30550	62.02	3.28
River	3.44 E17	48459	166.70	8.81
Fuel used	5.93 E16	66000	39.14	2.07
Distant waters fisheries	6.42 E15	1.60 E06	102.72	5.43
Imported fishery product	2.06 E15	1.60 E06	32.96	1.74
Goods & services	5.86 E8 \$	1.56 E12 (sej/\$)	9.14	0.48

으며, 파도 에너지는  $2.03 \times 10^{17}$  J/yr이 유입되는 것으로 나타났다. 하천 유출량이  $6.97 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>/yr (환경부, 1993)이고 Gibbs free energy가 4.940 J/g인 하천에 의한 화학적에너지 유입량은  $3.44 \times 10^{17}$  J/yr였다.

경제적 에너지원 중에서 어로어업에 소모된 석유의 양은 1992년 국내에서 소비된 전체에너지의 2.26%인  $7.993 \times 10^6$  bbl, 수산가공업은 0.41%인  $1.451 \times 10^6$  bbl의 석유가 소모되어, 화석연료에 기인한 에너지 유입량은  $5.93 \times 10^{16}$  J/yr였다. 원양 어획물은 연안국의

자원자국화 정책에 따른 조업규제 강화로 참치선망어업 등의 일부업종 불황에도 불구하고 북양트롤어업의 공해조업 생산증대와 기지트롤어업 및 오징어 채취기어업의 호황으로 1991년도의 873,465 ton 보다 150,461 ton (약17%)이 증가한 1,023,926 ton이 생산되어 이로 인한 에너지 유입량은  $6.42 \times 10^{15}$  J/yr였다. 수입 수산물인 경우는 328,012 ton이 수입되어 에너지 유입량으로 환산하면  $2.06 \times 10^{15}$  J/yr이었다. 한가구당 어로어업의 경영비는 1992년 농업경영비  $3.421 \times 10^6$  원과

유사한  $3.489 \times 10^6$ 원이 사용되었고, 수산 가공업의 경영비는  $4.66 \times 10^5$ 원이었다.

그리고 수산업 시스템 내의 생산자, 소비자, 저장고 그리고 외부에너지원이 상호작용하여 생성된 일반해면어업 생산량 ( $1.30 \times 10^6$  ton)과 천해양식업 생산량 ( $9.35 \times 10^5$  ton), 원양어업에서 어획되어 온 수산물 ( $1.02 \times 10^6$  ton)과 수입수산물 ( $4.10 \times 10^5$  ton)이 유입되어 시스템 내부의 부시스템인 수산가공업과 유통업을 통해서  $2.33 \times 10^6$  ton은 국내에서 소비가 이루어지고  $1.30 \times 10^6$  ton은 수출되고 있다.

2. EMERGY 분석의 결과

한국수산업 전체 시스템에 유입되는 외부 에너지원의 에너지 유입량에 Transformity를 곱하여 구한 EMERGY 양을 살펴보면 (Table 3, Fig. 3a), EMERGY의 전체 유입량은  $634.64 \times 10^{20}$  sej/yr이고, 이중 태양에너지는 전체 EMERGY의 2.54%, 바람은 1.21%, 비는 23.55%, 조석은 7.67%, 파도는 9.77%, 하천은 26.27%, 연료 6.17%, 원양어획물은 16.19%, 수입수산물은 5.19% 그리고 재화와 용역은 1.44%를 나타내고 있어, 자연에너지원 중에서는 비와 하천의 기여도가 큰 비중을 차지하고 있다. 경제적 에너지원 중에서는 원양어획물의 의존도가 큰 시스템적 특성을 나타내고 있어, 각국의 배타적 경제수역선포가 구체화되어 조업상의 어려움을 겪을 경우에는 전체 EMERGY 유입량의 감소가 예상된다.

일반해면어업에 있어 EMERGY 양을 살펴보면 (Table 4, Fig. 3b), EMERGY의 전체 유입량은  $476.92 \times 10^{20}$  sej/yr이고, 이중 태양에너지는 전체 EMERGY의

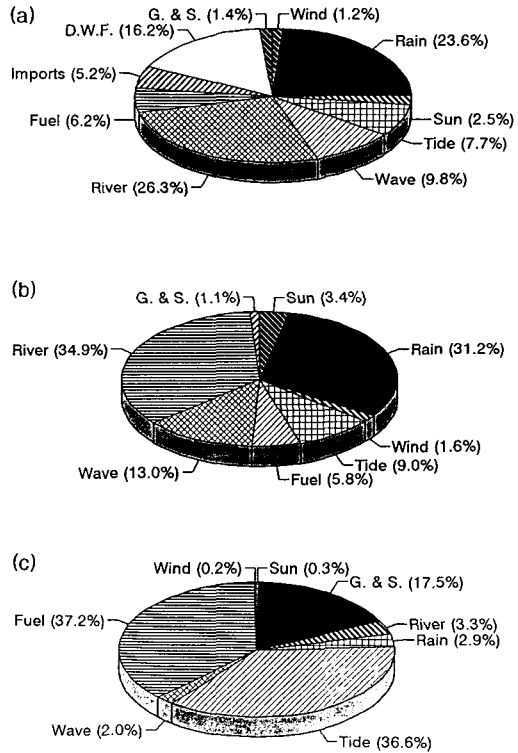


Fig. 3. Distribution of EMERGY in the Korean fisheries (a), in the adjacent waters fisheries (b) and in the shallow-sea cultures (c).

3.38%, 바람은 1.61%, 비는 31.24%, 조석은 9.04%, 파도는 13.0%, 하천은 34.85%, 연료 5.76%, 그리고 재화와 용역은 1.12%를 나타내고 있어, 자연에너지원 중에서는 비와 하천의 의존도가 큰 경향을 보이고 있으며, 경제적 에너지원 중에서는 연료의 의존도가 큰

Table 4. Energy flow in the adjacent waters fisheries

Sources	Actual energy J or \$/yr	Solar Transformity sej/J or \$	Solar EMERGY E20 sej/yr	Em\$ E9
Direct sun	16.11 E20	1	16.11	0.85
Wind	5.13 E17	1496	7.67	0.41
Rain	20.04 E17	7435	149.00	7.87
Tide	2.56 E17	16842	43.10	2.28
Waves	2.02 E17	30550	62.02	3.28
River	3.43 E17	48459	166.21	8.78
Fuel used	4.16 E16	66000	27.46	1.45
Goods & services	3.43 E8 \$	1.56 E12 (sej/\$)	5.35	0.28

**Table 5. Energy flow in the shallow-sea cultures**

Sources	Actual energy J or \$/yr	Solar Transformity sej/J or \$	Solar EMERGY E18 sej/yr	Em\$ E7
Direct sun	4.85 E18	1	4.85	0.26
Wind	1.54 E15	1496	2.30	0.12
Rain	6.03 E15	7435	44.83	2.37
Tide	3.31 E16	16842	557.47	29.45
Waves	1.02 E15	30550	31.16	1.65
River	1.03 E15	48459	49.91	2.64
Fuel used	8.60 E15	66000	567.60	29.98
Goods & services	1.71 E8 \$	1.56 E12 (sej/\$)	266.76	14.09

시스템적 특성을 나타내고 있다.

천해양식업의 경우 (Table 5, Fig. 3c)에 EMERGY의 전체 유입량은  $15.25 \times 10^{20}$  sej/yr이고, 이중 태양에너지는 전체 EMERGY의 0.32%, 바람은 0.15%, 비는 2.94%, 조석은 36.56%, 파도는 2.04%, 하천은 3.27%, 연료 37.22%, 그리고 재화와 용역은 17.49%를 나타내고 있어, 자연에너지원 중에서는 조석에 의한 에너지원에 의존도가 큰 경향을 보이고 있으며, 경제적 에너지원 중에서는 연료의 의존도가 큰 시스템적 특성을 나타내고 있다.

한편 한국수산업에서 유입되는 에너지원의 EMERGY 분포를 태양, 바람, 비, 조석, 파도, 강을 영속성 에너지원으로 분류하고, 연료, 입어료의 지불에 의해서 조업이 이루어지는 원양어획물, 수입수산물, 어업 경영에 사용된 재화와 용역을 경제적인 에너지원으로 분류하여 나타내면 Table 6 및 Fig. 4와 같다. 태양에너지와 기상 시스템에서 생성된 바람, 파랑 에너지는 직·간접적으로 태양 에너지에서 기인하였으므로

지구 생태계 내의 국지적인 지역 시스템 (국가, 도시, 해역)을 파악할 때는 이중 산정 (Double counting)의 오류를 없애기 위한 방법 (Odum, 1983)으로 가장 큰 유입 에너지원 하나만을 채택하며 여기에 달과 태양의 인력에 의해서 생성된 조석 에너지와 시스템 외부에 해당하는 육지로부터 유입되는 강물의 에너지를 합하여 영속성 에너지원으로 산정하였다.

한국수산업 전체의 경우 비, 하천 그리고 조석에너지를 합한 영속성의 에너지원은  $364.81 \times 10^{20}$  sej/yr, 원양어업, 수입수산물, 화석연료 그리고 재화와 용역에 의한 에너지원을 합한 경제적인 에너지원은  $183.96 \times 10^{20}$  sej/yr이었다. 일반해면어업의 경우 비, 하천 그리고 조석에너지를 합한 영속성의 에너지원은  $358.31 \times 10^{20}$  sej/yr, 화석연료 그리고 재화와 용역에 의한 에너지원을 합한 경제적인 에너지원은  $32.81 \times 10^{20}$  sej/yr이었다. 천해양식업의 경우 비, 하천 그리고 조석에너지를 합한 영속성의 에너지원은  $6.21 \times 10^{20}$  sej/yr, 화석연료 그리고 재화와 용역에 의한 에너지원을 합

**Table 6. Summary flows for Korean fisheries**

Letter in Figure 4	Item	Numerical value		
		Korean fisheries	Adjacent waters fisheries	Shallow-sea cultures
R	Renewable sources used (rain, tide, etc.), sej/y	364.81 E20	358.31 E20	6.52 E20
D	Distant waters fisheries sej/y	102.72 E20	—	—
M	Imported fisheries product sej/y	32.96 E20	—	—
F	Fuel used, sej/y	39.14 E20	27.46 E20	5.68 E20
PI	Goods and services, sej/y	9.14 E20	5.35 E20	2.67 E20
I	Dollar paid for goods and services, \$/y	5.86 E08	3.43 E08	1.71 E08
P	Fisheries EMERGY/\$ ratio, used for, sej/y	1.56 E12	1.56 E12	1.56 E12



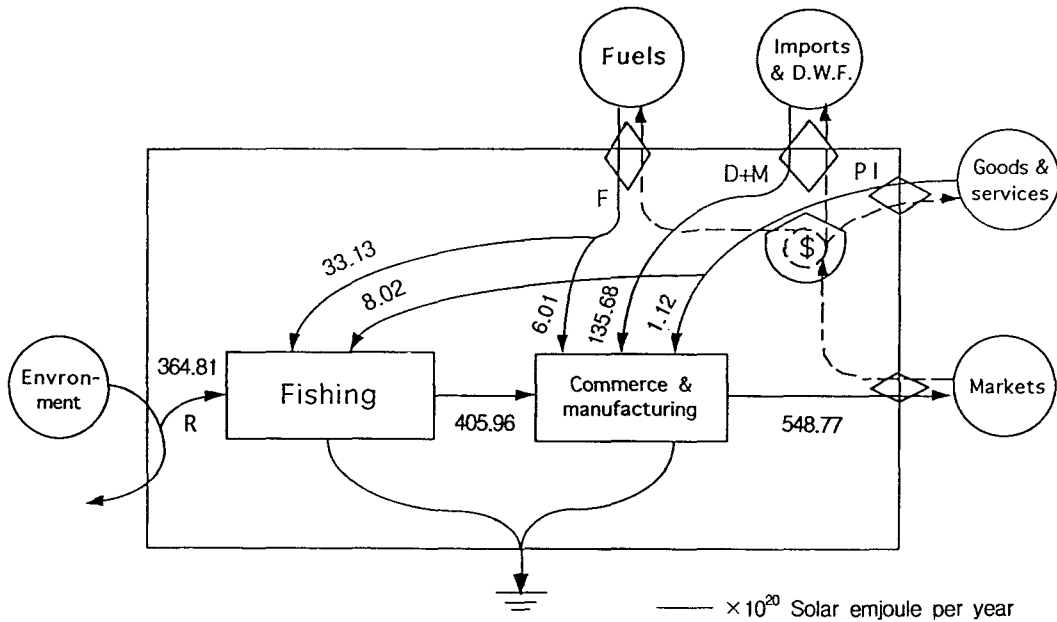


Fig. 4. Aggregated diagram of Korean fisheries (D.W.F.=Distant water fisheries).

Table 7. Indices using EMERGY for overview of Korean fisheries

Item	Name of index	Expression	Quantity		
			Korean fisheries	Adjacent waters fisheries	Shallow-sea cultures
1	Renewable EMERGY flow	R	364.81 E20 sej/y	358.31 E20 sej/y	6.52 E20 sej/y
2	Flow of purchased input	K=D+M+F+PI	183.96 E20 sej/y	33.02 E20 sej/y	8.35 E20 sej/y
3	Total EMERGY inflows	R+K	548.77 E20 sej/y	391.33 E20 sej/y	14.87 E20 sej/y
4	Total EMERGY used	U=R+K	548.77 E20 sej/y	391.33 E20 sej/y	14.87 E20 sej/y
5	Fraction of EMERGY used devided from environmental sources	R/U	0.66	0.92	0.44
6	Fraction of purchased input	K/U	0.34	0.08	0.56
7	Net EMERGY yielded ratio	U/K	2.98	11.85	1.78
8	EMERGY investment ratio	K/R	0.50	0.09	1.28
9	EMERGY exchange ratio	$U/[\$ \times (EMERGY/\$)]$	6.93	10.63	1.25
10	Macroeconomic value	GNP by fisheries	35.37 E9 \$/y*	25.24 E9 \$/y	9.55 E8 \$/y

\*  $281 \text{ E9 } \$/y \times (548.77 \text{ E20 sej/y} / 4,373.16 \text{ E20 sej/y}) = 35.37 \text{ E9 } \$/y$ .

한 경제적인 에너지원은  $8.34 \times 10^{20}$  sej/yr이었다. 따라서 전체 수산업과 일반해면어업의 경우 자연환경 에너지원에 의한 의존도가 높으며 천해양식업의 경우는 인간의 경제적인 활동에 의한 의존도가 높음을 알 수 있다.

### 3. EMERGY 지표 해석

한국수산업 시스템의 경향과 구조적 특성을 평가하기 위해서 EMERGY 지표를 살펴보면 (Table 7) 연간 수산업에 유입되는 전체 EMERGY 양은 한국의 국가 경제활동에 유입된 전체 EMERGY 양  $4,373.16 \times 10^{20}$

**Table 8. Typical net EMERGY yield ratios\* of fuels and environmental products**

Item	Net EMERGY yield ratio
Dependent processes, no net yield:	
Farm windmill, 17 mph	0.03
Solar voltaic cell electricit	0.33
Solar water heater	0.18
Contributing processes, yielding net EMERGY Palm oil	
Energy intenesive corn	1.10
Sugarcane alcohol	1.14
Shallow-sea cultures (in Korea)	1.78
Plantation wood	2.10
Korean fisheries	2.98
Lignite mine in Texas	6.80
Natural gas at 1986 prices	7.80
Oil at 1986 prices	7.90
Coal at 1987 prices	11.8
Adjacent waters fisheries (in Korea)	11.9
Naturally grown rainforest wood	12.0
New Zealand trawl fishery	16.0

\* EMERGY yield divided by EMERGY of inputs purchased from the economy including goods & services.

sej/yr (Lee and Odum, 1994)의 12.55%인  $548.77 \times 10^{20}$  sej/yr, 일반해면어업에 경우에는 8.95%인  $391.33 \times 10^{20}$  sej/yr, 천해양식업에서는 0.34%인  $14.87 \times 10^{20}$  sej/yr이었다. 자연환경 에너지원과 경제적인 에너지원의 점유율을 살펴보면, 전체 수산업의 경우 66%, 34%, 일반해면어업의 경우 92%, 8%로 자연환경의 의존도가 높은 구조적인 특성을 잘 반영하고 있으며, 천해양식업의 경우 44%, 56%를 차지하고 있어 일반해면어업과는 대조적으로 경제활동에 의존도가 높은 산업적 특성을 나타내고 있다.

한 시스템에서 산출된 EMERGY와 주 경제로부터 유입된 EMERGY와의 차가 플러스의 값을 가질 경우에 자원으로서의 가치가 있다. Net EMERGY yield ratio의 평가에서 주 경제로부터 유입된 EMERGY에 비해 그 산출량이 1이하 값을 나타내는 경우에는 자원으로서의 가치를 가지고 있지 못한 시스템을 의미하며, 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 경우, 각각 2.98, 11.85, 1.78의 값을 나타내고 있어 한국의 일반해면어업의 경우는 뉴질랜드 트롤어업의 자원

으로서의 가치 보다는 적으나 1986년, 1987년도 시가로 원유와 석탄에 준하는 자원으로서의 가치를 나타내고 있다 (Table 8).

경제활동을 통하여 유입된 EMERGY와 이용된 자연환경이 가진 EMERGY와의 비에 의하여 계산되는 EMERGY investment ratio는 선진 공업국의 경우에 보통 자연환경 에너지 유입에 대해 7배 만큼의 경제활동을 통한 EMERGY가 유입된다. 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 경우, EMERGY investment ratio가 각각 0.50, 0.09, 1.28로 나타났으며 바다라는 자연환경을 대상으로 하는 1차 산업의 특성 때문에, 자연환경에 대한 경제적인 개발과 투자가 다른 시스템 (선진 공업국, 육상의 대도시)에 비해 적게 이루어지고 있음을 나타낸다. 특히 한국 (Lee and Odum, 1994)이나 부산 (Lee, 1995)의 경우처럼 제한된 면적에 자연환경에 대한 과도한 투자로 9.88, 6.52의 높은 EMERGY investment ratio 값을 가진 시스템과는 대조가 된다.

생산자와 소비자 간의 수산물 거래에서 발생하는

EMERGY와 화폐의 교환비를 나타내는 EMERGY exchange ratio로 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 생산물을 평가하면 각각 6.93, 10.63, 1.25로, 이는 소비자의 측면에서 보면 수산물에 내재된 자연환경 활동의 가치는 제대로 지불하지 않은 채로 인간의 경제활동에 대한 가치만 화폐로 지불하여 소비함으로써 6.93, 10.63, 1.25배 만큼의 EMERGY 이득을 보고 있음을 나타낸다.

국민총생산(1992년)에서 보면 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 생산액은 각각  $5.07 \times 10^9$  \$/y,  $2.36 \times 10^9$  \$/y,  $7.64 \times 10^8$  \$/y를 나타내었으며 이는 인간의 경제활동에 대해서만 가치를 인정하는 결과라 할 수 있다. 여기에 자연환경이 주는 가치도 함께 포함하여 평가하기 위해서, 한국이 가지는 전체 EMERGY ( $4.373.16 \times 10^{20}$  sej/y)에서 전체 수산업, 일반해면어업 그리고 천해양식업이 차지하는 EMERGY 점유율을 92년 GNP ( $281 \times 10^9$  \$/y)에 곱하여 거시경제적 가치(Macroeconomic value)로 표현하면 각각  $35.37 \times 10^9$  \$/y,  $25.24 \times 10^9$  \$/y,  $9.55 \times 10^8$  \$/y이었다. 따라서 EMERGY 분석을 통한 한국수산업의 거시경제적인 가치(Macroeconomic value)와 시장경제에 의한 평가 사이에는 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 경우 각각 6.98, 10.69, 1.25배의 차이를 보이고 있다.

## 요 약

1992년 국민총생산의 1.85%를 차지하는 한국수산업을 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치 척도인 태양에너지로 나타내는 EMERGY 분석을 이용하여 자연환경의 기여도와 EMERGY 지표를 작성하였다.

한국수산업의 전체 EMERGY 유입량은  $634.64 \times 10^{20}$  sej/yr이고, 이중 태양에너지는 전체 EMERGY의 2.54%, 바람은 1.21%, 비는 23.55%, 조석은 7.67%, 파도는 9.77%, 하천은 26.27%, 연료 6.17%, 원양어획물은 16.19%, 수입수산물은 5.19% 그리고 재화와 용역은 1.44%를 나타내고 있었다. 자연환경 에너지원과 경제적인 에너지원의 점유율은 전체 수산업의 경우 66%, 34%, 일반해면어업의 경우 92%, 8%로 자연환경의 의존도가 높은 구조적인 특성을 잘 반영하고 있으며,

천해양식업의 경우 44%, 56%를 차지하고 있어 일반해면어업과는 대조적으로 경제활동에 의존도가 높은 산업적 특성을 나타내고 있다.

Net EMERGY yield ratio의 평가에서 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 경우, 각각 2.98, 11.85, 1.78의 값을 나타내고 있어 한국의 일반해면어업의 경우는 뉴질랜드 트롤어업의 자원으로서의 가치 보다는 적으나 1986년, 1987년도 시가로 원유와 석탄에 준하는 자원으로서의 가치를 나타내고 있었다. EMERGY investment ratio는 0.50, 0.09, 1.28로 나타나 바다라는 자연환경을 대상으로 하는 1차 산업의 특성 때문에, 자연환경에 대한 경제적인 개발과 투자가 다른 시스템(선진 공업국, 육상의 대도시)에 비해 적게 이루어지고 있음을 나타냈다. EMERGY exchange ratio로 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 생산물을 평가하면 각각 6.93, 10.63, 1.25로, 소비자의 측면에서 보면 수산물에 내재된 자연환경 활동의 가치는 제대로 지불하지 않은 채로 인간의 경제활동에 대한 가치만 화폐로 지불하여 소비함으로써 6.93, 10.63, 1.25배 만큼의 EMERGY 이득을 보고 있음을 나타냈다. EMERGY 분석을 통한 한국수산업의 거시경제적인 가치(Macroeconomic value)와 시장경제에 의한 평가 사이에는 전체 수산업, 일반해면어업, 천해양식업의 경우 각각 6.98, 10.69, 1.25배의 가치 평가에 있어서 차이를 보이고 있었다.

## 사 사

이 논문은 1994년 부산수산대학교 동원학술연구부 지원 연구과제에 의해서 수행되었으며 이에 관계자께 깊은 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- Brown, M. T., R. D. Woithe, H. T. Odum, C. L. Montague and E. C. Odum. 1993. Emery analysis perspectives on the Exxon Valdez oil spill in Prince William Sound, Alaska. Report to The Cousteau Society. Center for Wetlands and

- Water Resources, Univ. of Florida, 122 pp.
- Huh, C. G. 1984. The study on acid rain in sasang industrial area. MS thesis, Nat'l. Fish. Univ. Pusan, 7~17 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration. 1992. Annual climatological report. 30~115 (in Korean).
- Korea Meteorological Administration. 1992. Monthly upper air data. 33~187 (in Korean).
- Lee, S. H. 1992. Record of Korea adjacent sea surface. Jipmundang, Seoul, 334 pp (in Korean).
- Lee, S. M. 1995. Carrying capacity of Pusan by Emery analysis. Environmental Symposium for Environmental Friendly City of 21 century, Vol. 25, 17~51 (in Korean).
- Lee, S. M. and H. T. Odum. 1994. Emery analysis overview of Korea. J. Kor. Env. Sci. Soc., 3 (2), 165~175.
- Ministry of Agriculture, Forestry & Fisheries. 1993. Statistical Yearbook of Agriculture, Forestry and Fisheries. 378~379 (in Korean).
- Ministry of Environment. 1992. Korea Environmental Year Book. 597 pp. (in Korean).
- Mitch, W. J. and S. E. Jörgensen. 1989. Ecological engineering, an introduction to ecotechnology. John Wiley & Sons, New York, 472 pp.
- Mitch, W. J. 1993. Ecological engineering-a cooperative role with the planetary life-support systems. Envir. Sci. Technol., Vol. 27, 177~191.
- National Fisheries Administration. 1993. An annual report about the trend of fisheries. 12~81 (in Korean).
- Odum, H. T. and E. C. Odum. 1983. Energy analysis overview of nations. Working paper WP-83-82, International Institute for Applied System Analysis, Luxemburg, Austria, 469 pp.
- Odum, H. T. 1983. Systems Ecology. John Wiley & Sons, New York, 644 pp.
- Odum, H. T. 1988. Self organization, transformity, and information. Science, 242, 1132~1139.
- Odum, H. T. and J. E. Arding. 1991. Emery analysis of shrimp mariculture in Ecuador. Working paper prepared for the Coastal Resources Center, Univ. of Rhode Island, Narragansett, 114 pp.
- 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, 109 pp.
- Odum, H. T. 1996. Environmental Accounting. John Wiley & Sons, New York, 370 pp.
- Office of Hydrographic Affairs. 1992. Tides tables. Vol. 1, 250 pp. (in Korean).
- The Bank of Korea. 1994. Economic Statistics Yearbook. 371 pp. (in Korean).
- The Fisheries Association of Korea. 1992. Korean Fisheries Yearbook. 598 pp. (in Korean).
- The Korean Statistical Association. 1992. Korea Statistical Yearbook. National Statistical Office, Vol. 39, 611 pp. (in Korean).
- The National Fisheries Research and Development Agency. 1993. The trend of '93 Adjacent waters fisheries resources. 93~107 (in Korean).

---

1996년 5월 27일 접수

1996년 9월 5일 수리