

우리나라 농업의 Emergy 분석

이한나 · 이우균 · 김정규*

고려대학교 환경생태공학부
(2005년 4월 28일 접수, 2005년 6월 8일 수리)

Emergy Analysis of Korean Agriculture

Hanna Lee, Woo Kyun Lee, and Jeong-Gyu Kim* (Division of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, 5-Ga Anamdong, Sungbuk Gu, Seoul, 136-701, Korea)

ABSTRACT: With the industrialization in Korea, the economy has invested more resources on industry and less on agricultural production. However, agriculture is still an important industry, since the whole nation depends on rice for their living. And the proportion of agricultural land is relatively large, which leads issuing environmental aspects of agriculture in this country. This study was conducted to evaluate the environmental and economical aspects of agriculture in Korea, using system ecological concept, Emergy. The total Emergy inflow of Korean agriculture was 336.57×10^{20} sej·yr⁻¹ in 2003. Emergy yield ratio, the ratio of non-renewable and imported Emergy use to renewable Emergy use, was 5.21, which shows the agriculture in Korea has such a value as that of the world oil resources in 1986. Also, total agricultural product was 13.55×10^{16} J·yr⁻¹ in 2003 and the Emergy inflow was 121.09×10^{20} sej·yr⁻¹. From these data, solar transformity of Korean agriculture was estimated as 8.68×10^4 sej·J⁻¹.

Key Words: Emergy, Korean agriculture, Sustainability, Environmental capacity

서 론

우리나라는 70년대 이후 공업화를 주축으로 진행된 경제 개 발로 인하여 1차 산업이 차지하는 비율은 상대적으로 저하되어 왔다. 농림수산업이 국민총생산액 중에서 차지하는 비율은 1981~82년 평균(1985년 불변가격) 17.4%에서 계속 감소하여 1992년에는 7.4%에 이르렀고, 2003년 현재 순수하게 농업만이 국민 총생산액에서 차지하는 비율은 3.1%이다. 하지만 2000년 이후 농업의 경제성장률은 계속적으로 증가하는 추세이며 2003년도에도 7.1%의 성장률을 보이고 있다¹⁾. 비록 농업이 국가 경제에서 차지하는 비율은 낮아지고 있지만 성장률은 지속적으로 증가하고 있으며 농산물이 물가지수에 미치는 영향은 여전히 크기 때문에¹⁾ 농업의 경제적 역할은 크게 줄어든 것은 아니다.

현재 우리나라는 총 국토 면적 9.96×10^{10} m² 중 1.86×10^{10} m²가 논과 밭 등의 농경지로 전체의 약 20%를 점유하고 있다. 산림이 차지하는 면적을 제외한다면 가장 큰 비율의 면적을 점유하는 것이다. 이 점은 농경지가 가지는 환경에 미치는 공익

적 기능에 대한 평가가 주목되는 주요한 이유의 하나이다.

이렇게 여전히 농업은 우리나라에서 중요한 위치를 차지하고 있다. 그러나 농경지가 가지는 환경적 공익기능에 대한 평가는 오염물질의 정화나 수자원의 보전기능의 분석을 토대로 하고 있는 연구들이 대부분이어서²⁾, 농업이 우리나라의 자원과 자연환경에 어떤 영향을 주는지에 대한 생태·경제적 평가가 필요하다고 생각된다. 즉 농업이나 농경지가 가지는 환경적 역할이 경제적 활동과 더불어 평가되고 파악될 필요가 있다.

80년대 이후, 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 파악하고자하는 시스템 접근법이 생태학을 기본으로 하여 활발하게 연구되고 있다. Odum³⁾은 에너지를 자연환경과 경제활동을 포괄하는 척도로 사용하여 시스템의 에너지와 재화의 흐름을 하나의 가치 단위로 평가하는 Emergy 접근 방법을 사용하였다. 모든 에너지는 그 형태와 가치가 각각 다르므로 이를 한 가지 형태의 에너지로 나타내는 것은 어렵다. 환경에서 시스템에 영향을 미치는 각종 에너지인 태양광, 바람, 강우, 석탄, 석유, 전기 등의 에너지는 물리학적으로는 같은 양의 에너지를 가지고 있더라도 실제적으로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다. 이는 에너지가 전환되는 순환 과정에서 각 에너지원이 서로 다른 계층 구조를 가지고 있기 때문이다. 에너지는 한 물질을

*연락처:

Tel: +82-2-3290-3024 Fax: +82-2-921-7628
E-mail: lemonkim@korea.ac.kr

태웠을 때에 이 물질이 낼 수 있는 열에너지를 기준으로 나타낸다. 예를 들어, 목재를 태울 때에 나오는 열을 칼로리로 나타내고 이를 목재가 가지고 있는 잠재적인 에너지라고 말한다. 따라서 에너지는 한 물질이 가지고 있는 잠재적인 에너지를 의미한다. 반면, Energy는 한 물질을 만들기 위해 사용된 모든 에너지의 총합을 의미한다. Energy는 Energy Memory의 줄임말인 것으로 알려져 있으며 목재의 Energy는 목재를 생산하기 위해 사용된 모든 에너지, 즉, 태양광, 바람, 강우, 영양물질 등 모든 에너지를 포함시킨 양이라고 할 수 있다³⁹⁾. 이러한 특성을 파악하기 위하여 Odum 등은 시스템의 원동력인 에너지, 물질, 그리고 각종 재화와 용역 등 각각이 가지는 실질적인 가치를 평가하기 위해 공통의 척도로서 Solar Energy를 제안하였다⁴⁾. 이러한 거시적 규모의 분석법은 또 다른 복잡한 모델에 의해 분석된 결과와 유사한 예측 결과를 내고 있다⁵⁾. 이같은 Energy 분석은 국내에서는 부산시⁶⁾, 서울시⁷⁾ 등 도시의 지속가능성을 평가하고, 낙동강 등의 자연지역의 지속 가능한 이용도 평가⁸⁾, 수산업 등의 1차 산업을 평가⁴⁾하는 데에 사용된 바 있다.

본 연구는 우리나라의 농업분야에 대한 평가가 전무하였던 Energy 분석법을 도입하여 농업의 경제적인 가치와 환경적인 측면을 평가하고, 농업이 우리나라의 경제와 환경에 어떠한 영향을 미치는지와 그 가치가 어느 정도인지를 알아보고자 수행하였다.

자료 및 방법

Solar transformity

Solar Energy를 계산하기 위해서는 에너지의 차이를 태양 에너지를 기준으로 하여 전환시킨 후 이를 solar emjoules (sej)로써 표현하여 비교하였다. 어떤 에너지원의 단위 에너지를 만들기 위하여 직, 간접적으로 사용된 모든 에너지 양을 태양 에너지 양으로 나타내고 이를 Energy라고 나타내었다. 따라서 Energy는 각각의 에너지 사용량에 solar transformity를 곱한 값으로 계산할 수 있고, solar transformity의 단위는 solar emjoules per joule(sej·J⁻¹)로 표현된다. Transformity는 에너지 변환의 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조 내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다.

$$\text{Energy (sej)} = \text{energy (J)} \times \text{solar transformity (sej/J)}$$

시스템 경계의 설정

우리나라 농업의 시스템 분석을 위하여 2003년을 기준으로 한 우리나라 총 면적 9.96×10¹⁰ m² 중 농경지 1.86×10¹⁰ m²

를¹⁾ 대상지역으로 선정하여 분석하였다. 자연지역과 자연 에너지원은 본 대상지역에 해당되는 양만을 분석에 이용하였다. 또한, 경제적으로는 축산업을 제외한 농업만을 본 연구의 분석 대상 농업으로 설정하였다.

에너지 시스템 다이어그램 작성

시스템의 특성을 결정하는 자연환경과 경제활동에서 일어나는 주 에너지원, 생산, 재화와 서비스의 유입과 순환의 상호관계를 포괄적으로 파악하기 위하여 Odum이 제안한 에너지 언어를 기초로 시스템 다이어그램을 작성하였다. 에너지 언어를 기초로 하여 주요 에너지원을 경제 바깥에 표시하고 내부의 소비, 생산 등의 관계를 상호관계에 따라 표기하였다.

Energy 분석표 작성

시스템의 특성을 좌우하는 주요 에너지원의 실질적인 가치와 역할을 정량화하기 위하여 Table 1과 같이 Energy 분석표를 작성하였다.

첫 번째 열에는 각 항목의 번호를 표기한다.

두 번째 열에는 대상 시스템의 자연환경과 경제활동을 유지하는 외부의 주요 에너지원을 기입하였다. 본 연구에서는 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 외부의 주요 에너지원을 태양, 바람, 비, 석탄 소비량, 석유 사용량, 전기 사용량, 그리고 각종 교역과 교환을 통해 유입되는 재화와 용역, 그리고 노동의 양으로 파악하였다.

세 번째 열에는 주요 에너지원이 가지는 실질적인 에너지, 또는 화폐 단위의 값을 기입하였다. 본 연구에서는 수집 자료와 부록의 계산식을 이용하여 태양, 바람, 비, 석탄, 석유, 전기는 에너지 단위로, 교역과 교환을 통한 재화와 용역은 달러 화폐 단위로 계산하였다.

네 번째 열에는 주요 에너지원에 대한 Solar transformity와 재화와 용역에 대한 Energy per dollar ratio를 나열하였다. 본 연구에서는 Solar transformity의 경우 부록에서와 같이 기존의 평가치를 이용하였고, Energy dollar ratio는 교환을 통해 유입되는 재화와 용역의 경우에는 부록과 같이 사용하였다.

다섯 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 실제적인 값에 세 번째 열의 Solar transformity와 Energy dollar ratio를 곱하여 산정한 Energy 값을 기입하였다.

여섯 번째 열에는 주요 에너지원의 Energy 값을 Energy dollar ratio로 나누어 계산한 거시 경제적 가치(Macroeconomic value)를 기입하였다. Energy dollar ratio는 연간 Energy 유입량(Total Energy inflow)을 농업 총생산액으로 나눈 값을 이용하였다.

Table 1. Tabular Format for Energy Evaluation

Note	Item	Data Units (J, g, or \$)	Solar Transformity (sej·unit ⁻¹)	Solar Energy (10 ²⁰ sej·yr ⁻¹)	Macroecon. value (109 \$·yr ⁻¹)
(One line here for each source, process, or storage of Korean agriculture)					

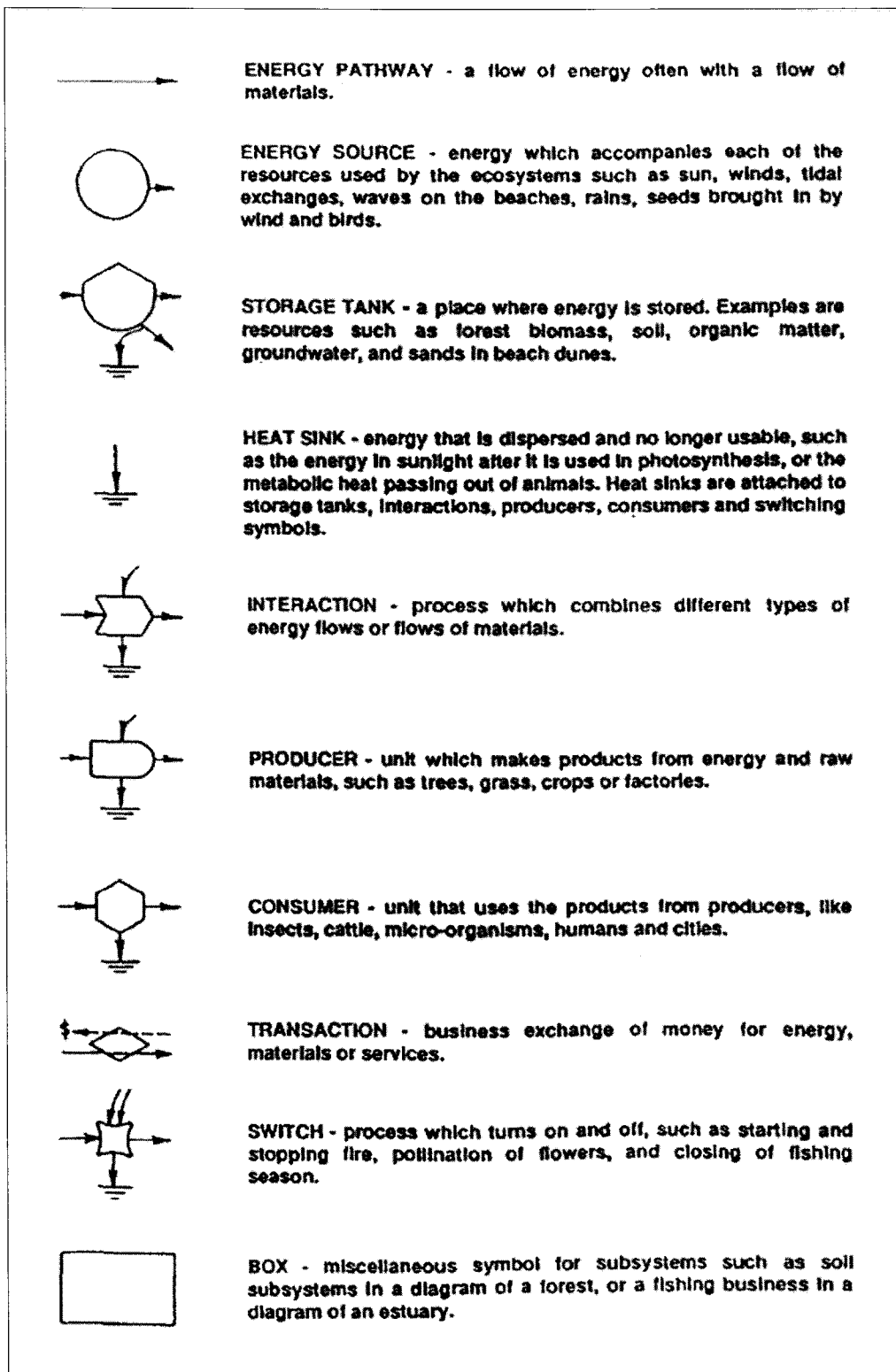
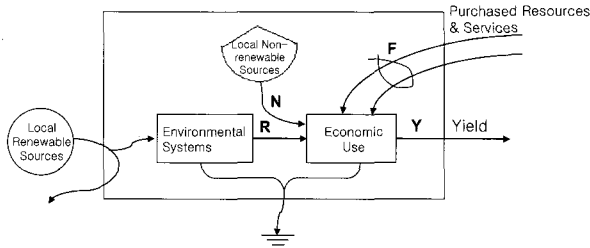


Fig. 1. Symbols of the emergy systems language.

Emergy 지표 계산

Emergy 분석표를 기초로, Fig. 2와 같이 시스템의 특성을 평가하기 위해 다음과 같이 Emergy 지표를 산정하였다.

주요 에너지원을 자연환경에서 얻은 재생 가능한 에너지원(R), 재생 불가능한 에너지원(N), 외부로부터 유입된 재생 불가능한 에너지원(F)으로 구분하여 Emergy 지표를 계산하였다.



Yield (Y) = R+N+F
 Energy Yield Ratio = EYR = Y / F
 Environmental Loading Ratio = ELR = (F+N) / R
 Sustainability Index = SI = EYR / ELR

Fig. 2. Diagram illustrating energy based indices and ratios.

우리나라 농업 시스템의 자원으로서의 가치를 평가하기 위한 Energy 지표로 Energy 생산비(Energy yield ratio, EYR)는 농업에서 만들어진 Energy 양을 주 경제에서 농업으로 feedback된 Energy 양으로 나눈 비로 구하였다. Energy 투자비(Energy investment ratio, EIR)는 외계에서 도착 Energy로의 유입 Energy 비율로 나타내며, 환경부하율(environmental loading ratio, ELR)는 재생 불가능한 자원(nonrenewable resources)과 유입된 Energy(imported Energy)에 대한 재생 가능한 Energy 사용(renewable energy use)의 비율로 나타내었다. 마지막으로 지속성 지수(Sustainability Index, SI)는 Energy 생산비(Energy yield ratio, EYR)에 대한 환경부하율(environmental loading ratio, ELR)의 비율로 계산하였으며, 이를 통하여 자원이나 진행이 환경부하량 당 경제량(economy per environmental loading)에 미치는 영향을 계산하였다. 이러한 각각의 지표에 대한 계산식은 다음과 같다.

Energy Investment Ratio (EIR) = F / (R+N)
 Energy Yield Ratio (EYR) = Y / F
 Environmental Loading Ratio (ELR) = (F+N) / R
 Sustainability Index (SI) = EYR / ELR

결과 및 고찰

우리나라 농업의 시스템 분석

우리나라 농업에 기여하는 환경적 요인으로는 태양에너지, 바람, 강우 등을 꼽을 수 있다. 자연환경에 의한 에너지원 중에서 태양 에너지 유입량은 $7.90 \times 10^{20} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 산정되었고, 바람에 의한 운동에너지 유입량이 $9.51 \times 10^{18} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$, 강우량 $1.89 \text{ m} \cdot \text{yr}^{-1}$ 에 대한 비의 화학적 에너지 유입량은 $1.74 \times 10^{17} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 계산되었다. 또한 지구순환에 의한 에너지 유입량은 $1.86 \times 10^{16} \text{ J}$ 로 계산되었다¹⁰⁾. 반면, 자연환경에서 발생한 재생 불가능한 에너지원으로는 표토 유실에 의한 에너지원이 있는데 이는 $4.43 \times 10^{15} \text{ J}$ 로 전국의 논과 밭에서 발생한 침식물과

유기물 함량을 곱하여 이를 에너지로 계산한 값이다⁷⁾.

농업에 기여하는 경제적 요인으로는 농업에서 사용된 석유와 전기 등이 있으며, 이는 모두 재생 불가능한 에너지원으로 분류된다. 또한 인간의 노동 역시 에너지원이므로 이에 노동으로 발생한 에너지 역시 포함시킨다¹¹⁾. 2003년 일 년 동안 농업에 사용된 전력은 총 $6.16 \times 10^9 \text{ kWh} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이었으며 석유는 $3.773 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$ 으로 이를 에너지로 전환하면 전력은 $2.22 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$, 석유는 $1.94 \times 10^{17} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$ 사용되었다¹²⁾. 노동력은 인간이 하루 동안 사용하는 대사에너지와 총 노동 인구를 곱하여 나타내었다. 2003년 우리나라 농업 인구는 3.53×10^6 명으로 집계¹⁾되어 그 결과 총 $3.67 \times 10^{13} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$ 의 에너지가 발생하는 것으로 계산되었다.

외부 유입 에너지원으로는 농업에 투입된 물품과 자산을 꼽을 수 있다. 농업에 사용된 물품으로는 비료와 농약을 대표로 하여 계산하였으며 자산은 크게 영향을 미치지 않는 부분이라 판단되어 생략하였다¹¹⁾. 농업에 가장 많이 사용되는 비료는 질소, 인산, 칼륨 비료로 질소 비료는 $3.63 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$, 인산 비료는 $1.46 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$, 칼륨 비료는 $1.80 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$ 가 2003년 우리나라 농업에 사용되었다. 또한 농약의 경우 총 $2.66 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$ 가 살포된 것으로 집계되었다¹³⁾.

한편, 우리나라 농업에서 유입되는 에너지원의 Energy 분포를 자연환경 에너지를 재생 가능한 에너지원으로 분류하고, 연료, 노동에 의한 에너지와 표토 유실에 의한 에너지를 재생 불가능한 에너지로, 그리고 사용된 물품과 자산을 외부에서 유입된 에너지로 분류하여 나타내면 Table 2와 Fig. 3과 같다. 농업에서 재생 가능한 에너지원은 $109.07 \times 10^{20} \text{ sej} \cdot \text{yr}^{-1}$, 표토 유실률과 석유, 전력 등의 사용으로 계산된 재생 불가능한 에너지원은 $178.04 \times 10^{20} \text{ sej} \cdot \text{yr}^{-1}$, 외부에서 유입된 에너지는 $49.46 \times 10^{20} \text{ sej} \cdot \text{yr}^{-1}$ 이었다.

우리나라의 농업에 유입되는 Energy는 재생 불가능한 에너지원이 가장 큰 비율을 차지함을 알 수 있으며, 이 중에서도 석유에서 얻은 에너지의 Energy가 가장 크며 바람, 전력의 순으로 Energy 유입이 되고 있다. 반면, 노동에서 얻은 Energy 양은 농약 다음으로 적은 양을 나타내어 농업에

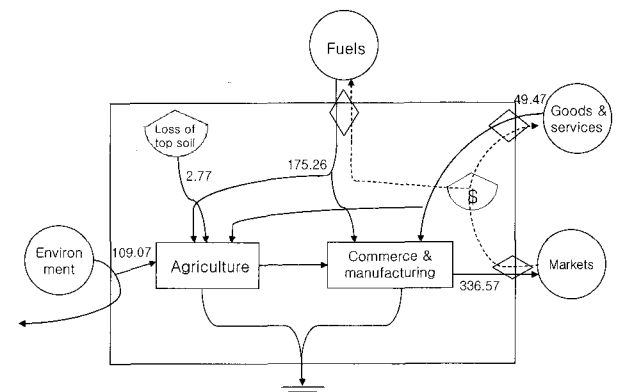


Fig. 3. Aggregated diagram of Korean agriculture.

Table 2. Emery analysis of Korean agriculture

Note	Sources	Actual energy J·yr ⁻¹	Solar Transformity sej·J ⁻¹	Solar Energy 10 ²⁰ sej·yr ⁻¹	Macroecon. value 10 ⁹
Renewable energy sources					
1	Sunlight*	7.90×10 ²⁰ J	1	7.90	1.43
2	Winds*	9.51×10 ¹⁸ J	663	63.05	11.40
3	Rain*	1.74×10 ¹⁷ J	18199	31.74	5.75
4	Earth cycle*	1.86×10 ¹⁶ J	34377	6.38	1.16
Non-renewable sources					
5	Loss of top soil*	4.43×10 ¹⁵ J	62500	2.77	0.50
Applied energy and labor					
6	Electricity	2.22×10 ¹⁶ J	200000	44.32	8.04
7	Petroleum	1.94×10 ¹⁷ J	66000	128.24	23.20
8	Labor	3.66×10 ¹³ J	7.38×10 ⁶	2.70	0.49
Goods and assets for crop production					
9	Potash fertilizers	1.80×10 ¹¹ g	2.96×10 ⁹	5.37	0.97
10	Nitrogen fertilizers	3.63×10 ¹¹ g	4.62×10 ⁹	16.79	3.04
11	Phosphate fertilizers	1.46×10 ¹¹ g	1.78×10 ¹⁰	26.05	4.72
12	Pesticides	1.91×10 ¹⁵ J	6.60×10 ⁴	1.26	0.23

* Calculation methods of each Items were in Appendix B

서 사용되는 Emery는 인간의 노동보다 자연이나 재생 불가능한 연료 등에서 얻고 있는 양이 월등하게 높음을 알 수 있다. 이로써, 우리나라의 농업은 자연 환경 에너지보다 연료의 의존도가 매우 크다는 것을 알 수 있다.

Emery 분석의 결과

우리나라 농업에서 사용되는 Emery 중 외계에서 토착 Emery로 유입되는 외부 Emery의 비율을 나타낸 Emery 투자비(Emery investment ratio, EIR)는 0.24이었다. 이는 우리나라의 농업이 주로 토착 Emery에 의해 이루어지고 있다는 것을 의미한다(Table 3). 이는 농업이 1차 생산업이기 때문인 것으로 추정된다. 즉 농업은 식물을 재배하여 생산물을 얻기 때문에 다른 산업에서보다 자연에서 얻을 수 있는 에너지의 양이 상대적으로 크기 때문이다. 이는 또한 우리나라의 농업이 다른 경제적인 개발에 비해 외부 에너지의 투입비율이 적다는 것을 의미하기도 한다. 재생 불가능한 Emery

(Non-renewable Emery)와 외부로부터 유입된 Emery (imported Emery)에 대한 재생 가능한 Emery(renewable Emery use)의 비율을 나타내는 환경부하율(environmental loading ratio)은 2.09이었다. 만약 토착 Emery만으로 시스템이 유지된다면 그 시스템의 ELR은 0이 될 것이다. 따라서 ELR 값이 높을수록 외부로부터 유입되는 Emery를 많이 사용하며 유지되는 시스템일 것이다. Emery yield ratio의 평가에서 주 경제로부터 유입된 Emery에 비해 그 산출량이 1 이하 값을 나타내는 경우에는 자원으로서의 가치를 가지고 있지 못한 시스템을 의미한다⁴⁾. 우리나라 농업의 경우, EYR 값은 5.21로 이는 자원으로서 큰 가치를 가지고 있음을 의미한다. Table 4에서 비교해 보았을 때, 파푸아뉴기니아의 EYR이 22.8인데 반해 서울의 EYR은 1.03이었다⁴⁾. 다른 자원들과 비교해 보았을 때에는 우리나라의 수산업의 EYR이 2.98이며 1986년 기준으로 한 원유의 EYR이 7.90이었다. 또한 자연적으로 성장한 열대우림의 원목의 가치가 12.0을 나타내었고 뉴질랜드의 수산업이 16.0이었다⁴⁾. 그

Table 3. Indices using Emery for overview of Korean agriculture

Note	Name of Index	Expression	Value
1	Renewable Emery flow	R	109.07×10 ²⁰ sej
2	Non-renewable Emery flow	N	178.04×10 ²⁰ sej
3	Imported Emery flow	F	49.46×10 ²⁰ sej
4	Total Emery flow	R+N+F	336.57×10 ²⁰ sej
5	Total Emery used	U=R+N+F	336.57×10 ²⁰ sej
6	Emery investment ratio	EIR = F / (R+N)	0.24
7	Environmental loading ratio	ELR = (F+N) / R	2.09
8	Emery yield ratio	EYR = Y/F	5.21
9	Sustainability Index	SI = EYR/ELR	2.50

Table 4. Emery yield ratios of natural resources and economies

Item	Emery yield ratio
Farm windmill, 17 mph ³⁾	0.03
Solar water heater ³⁾	0.18
Seoul at 1997 ⁵⁾	1.03
Palm oil ³⁾	1.06
Energy intensive corn ³⁾	1.10
Sugarcane alcohol ³⁾	1.14
Taiwan at 1990 ¹¹⁾	1.40
Italia at 1989 ¹¹⁾	1.60
Shallow-sea cultures in Korea ⁴⁾	1.78
Plantation wood ³⁾	2.10
Korean fisheries ⁴⁾	2.98
Thailand at 1984 ¹¹⁾	3.10
USA at 1983 ¹¹⁾	4.20
Korean agriculture at 2003	5.21
Mexico at 1989 ¹¹⁾	5.70
Lignite mine in Texas ³⁾	6.80
Natural gas at 1986 ³⁾	7.80
Oil at 1986 ³⁾	7.90
Coal at 1987 ³⁾	11.8
Adjacent waters fisheries in Korea ⁴⁾	11.9
Naturally grown rainforest wood ³⁾	12.0
Ecuador at 1986 ¹¹⁾	15.5
New Zealand trawl fishery ³⁾	16.0
Papua New Guinea at 1987 ¹¹⁾	22.8

리므로 우리나라 농업은 뉴질랜드의 수산업이나 열대우림의 자원적 가치에는 미치지 못하나 1986년도의 전세계 원유의 가치 정도에 해당하는 자원으로서의 가치가 있음을 알 수 있다.

마지막으로 지속성지수(Sustainability Index)는 EYR에 대한 ELR의 비율로 나타내는데 이를 이용하여 경제와 환경의 관계에 미치는 영향을 계산할 수 있으며 사회에서의 정책 수립에 도움을 줄 수 있는 지수이기도 하다. 이 지수가 높을수록 경제가 재생 가능한 에너지원에 기대고 있다는 것을 의미하므로 이 지수는 두 가지 방법으로 지역의 경제에 도움이 될 수 있다. 첫째로, 서로 다른 두 시스템에서 지속성 지수를 비교하여 지속 가능성을 파악할 수 있다. 둘째로는, 시간의 흐름에 따른 지속성 지수를 파악하여 경제와 발전이 어떤 방향으로 흘러가는지를 파악할 수 있다¹⁵⁾. 상대적인 지수로써 지속성지수가 1보다 작으면 소비자가 지나치게 많다는 것을 의미하고 10보다 클 경우에는 개발이 덜된 것으로 간주할 수 있다. 반면, 지속성 지수가 1과 10 사이일 경우 발전하고 있는 상태라고 할 수 있다¹⁶⁾. 우리나라 농업의 경우 지속성 지수가 2.50으로 현재 개발이 진행되고 있는 상태라고 판단할 수 있다. 같은 방법으로 연구된 1989년 이탈리아의 농업의 경우 EYR 값이 1.61로 이 당시에도 매우 집약적인 농업이 이루어지고 있었음으로 미루어 짐작할 수 있으며 지속성지수 또한 0.17로 농업이 1차 산업업을 감안할 때, 소비자가 지나치게 많은 상태여서 지속성이 떨어진다는 판단을 내릴 수 있다. 따라서 이와 비교해 보았을 때, 우리나라의 농업은 이탈리아의 농업보다는 개발이 덜 진행되어 지속가능성이 높게 나타났지만, 지속성 지수가 2.50으로 10보다는 매우 낮은 수치를 보여 지속가능성을 유지하기 위해서는 개발속도를 늦출 필요도 있을 것으로 판단된다.

우리나라 대표 농산물의 Emery 분석

우리나라의 농산물에서는 주곡인 쌀이 가장 큰 부분을 차지하고 있다. 이와 더불어 김치의 주재료가 되는 배추와 무,

Table 5. Emery analysis of selected products in Korean agriculture

Note	Item	Raw units	Solar Transformity sej·unit ⁻¹	Solar Emery 10 ²⁰ sej·yr ⁻¹	Macroecon. value 108 \$·yr ⁻¹
Products					
1	Rice	5.59×10 ¹⁶ J	77779	43.32	78.50
2	Barley	3.01×10 ¹⁵ J	1.598×10 ⁵	4.81	8.72
3	Minor cereal	1.18×10 ¹⁵ J	1.598×10 ⁵	1.88	3.41
4	Bean	1.86×10 ¹⁵ J	1.598×10 ⁵	2.96	5.37
5	Potato	2.91×10 ¹⁶ J	1.598×10 ⁵	4.64	8.41
6	Leaf vegetable	9.86×10 ¹⁵ J	79951	7.89	14.30
7	Root vegetable	4.69×10 ¹⁵ J	84901	3.98	7.22
8	Spice	1.35×10 ¹⁶ J	79951	4.51	8.18
9	Fruit vegetable	6.16×10 ¹⁵ J	2.87×10 ⁵	17.68	32.10
10	Fruit	1.02×10 ¹⁶ J	2.87×10 ⁵	29.41	53.30
Total production			13.55×10 ¹⁶ J		
Transformities evaluation					
Solar emery production			121.09×10 ²⁰ sej		
Solar transformity production			8.68×10 ⁴ sej·J ⁻¹		

고추 등의 조미채소가 그 뒤를 따르고 있다^{13,17}. 이러한 주요 농산물의 Energy를 분석해보았다. 생산량은 쌀 $5.59 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$, 서류 $2.91 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$, 조미채소 $1.35 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$ 순이었으며 이를 Energy로 환산했을 때 역시 쌀이 $43.32 \times 10^{20} \text{ sej} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 가장 높은 값을 나타내었다. 반면 생산량에 비하여 과일이 $29.4 \times 10^{20} \text{ sej} \cdot \text{yr}^{-1}$ 로 높은 값을 나타내었다. 농산물의 총 생산량은 $13.55 \times 10^{16} \text{ J}$ 이었으며 총 생산된 Energy는 $121.09 \times 10^{20} \text{ sej}$ 이었다. 이로 인하여 농산물의 solar trans-formity는 $8.68 \times 10^4 \text{ sej} \cdot \text{J}^{-1}$ 로 계산될 수 있다(Table 5).

결 론

우리나라의 농업에서 사용되는 재생 가능한 Energy는 $109.07 \times 10^{20} \text{ sej}$, 재생 불가능한 Energy는 $178.04 \times 10^{20} \text{ sej}$, 외부로부터 유입된 Energy는 $49.46 \times 10^{20} \text{ sej}$ 으로 많은 부분 석유와 전력과 같은 연료에 의존하고 있다. 또한 Energy 투입비율(Energy investment ratio, EIR)가 0.24를 나타내어 외부로부터의 에너지 유입이 다른 산업에 비하여 적은 시스템이라는 것을 보여주고 있다. 하지만 우리나라 농업의 Energy 생산비율(Energy yield ratio, EYR) 값이 5.21로 이는 자원으로서 큰 가치를 가지고 있음을 의미한다. 또한 지속성 지수가 2.50으로 비교적 개발이 진행된 상태라고 판단할 수 있다. 따라서 우리나라 농업의 경우 외부로부터의 에너지 투입이 다른 산업에 비해서는 낮지만 집약농업을 하는 이탈리아의 농업보다는 외부에너지를 덜 소비하고 소비자가 적지만, 지속성지수가 2.50으로 낮기 때문에 외부에너지에 대한 의존도가 높은 농업시스템이라고 결론을 내릴 수 있다. 따라서 농업이 우리나라의 지속가능성을 높여주는 주요한 산업이기는 하지만 농업 자체로서의 지속성 증가를 위해서는 외부 에너지 투입비율을 줄여나감과 동시에 재생 가능한 에너지 비율을 높여가야 할 것으로 판단되었다.

사 사

이 논문은 2004년도 고려대학교 특별연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

Appendix A

Energy 계산에서 사용된 개념들의 간략한 정리^{14,15})

용어의 정의

Energy: Ability to work로 나타내기도 한다. Energy는 열로 전환될 수 있고 열 단위(heat unit)로 측정할 수 있는 모든 것.

Energy: 생산물이나 서비스를 만드는 일의 진행에 사용된

모든 에너지를 태양에너지를 기반으로 한, 한 가지 종류의 에너지로 표현.

Energy = available energy of item × transformity
Emjoule: energy를 측정하는데 쓰는 단위. energy joule. 생산품을 만드는데 사용되는 에너지의 표현. ex. 나무의 solar energy는 나무를 생산하기 위해 필요한 solar energy joules로 나타낸다.

Non-Renewable Energy: energy와 저장된 물질들(화석연료, 광물, 토양 등 만들어지는 데에 걸린 시간보다 쓰는데 걸린 시간의 차가 매우 큰 물질들)의 energy.

Renewable Energy: 생물권에서 발생하는 안정적이고 계속적으로 일어나는 energy의 energy. 이들이 주로 지구와 지질학적 현상에서 생물학적, 화학적 현상을 일으킨다.

Resident Energy(Local energy): 한 지역의 특성을 나타내는 renewable energy flow.(sunlight, winds, rain, tidal flux 등)

생산량(Y) = R+N+F

재활용 불가능한 에너지와 재활용 가능한 에너지의 비율 = (N+F)/R

Energy 지표

Energy/GDP ratio: 한 지역의 경제에서 총 energy flow에 대한 지역의 GDP 비율. 두 지역 이상의 지역을 비교할 때에 유용함.

Empower density: 한 지역의 경제에서 총 energy use에 대한 지역의 총 면적 비율. renewable, nonrenewable energy에 대해서도 계산.

Energy exchange ratio: 무역이나 구매에 대해 energy exchange 비율. 한쪽에서 다른 쪽으로의 상대적인 비율

Energy investment ratio: 세계에서 도착 energy로의 유입 energy 비율.

$$\text{EIR} = \text{F}/(\text{R}+\text{N})$$

Environmental loading ratio: nonrenewable과 imported energy에 대한 renewable energy use의 비율. 시스템의 소비가 재생 가능한 에너지에 의존하는지 재생 불가능한 에너지에 의존하는지를 알 수 있는 지표.

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

Energy per capita: 한 지역의 경제에 사용된 energy에 대한 총 인구의 비율. 인구 밀도의 potential, average standard of living을 측정할 때 사용.

Energy Sustainability Index: Energy Yield Ratio에 대한 Environmental Loading Ratio의 비율. 자원이나 진행이 economy per environmental loading에 미치는 영향을 계산할 수 있음.

$$\text{Sustainability Index} = \text{EYR}/\text{ELR}$$

Energy yield ratio: energy yield에 대한 energy 가격

의 비율. 시스템의 생산성을 의미함. 이 비율은 발전의 진행이 경제에 얼마나 영향을 미치는지를 계산할 수 있다.

$$EYR = Y/F = (F+R+N)/F = 1+(N+R)/F = 1+1/EIR$$

Percent renewable energy(%Ren): renewable energy에 대한 총 energy의 이용. 결과적으로 높은 %Ren이 sustainable 한 것이다.

$$\%Ren = R/(R+N+F)$$

Renewable carrying capacity: renewable energy 자원만에 바탕을 두고 환경이 경제발전에 어떤 지원이 되는지에 대한 계산. 한 지역의 경제에 대한 nonrenewable과 purchased energy input의 총 합을 평균 renewable energy flow per unit area of region으로 나눈 값.

Solar transformity: 생산물이나 서비스를 발생시키기 위한 energy에 대한 실제 energy의 비율. energy/energy (sej/J)로 표현함.

Appendix B

Table 2에 대한 계산

재생 가능한 부존 에너지

1. 태양 에너지:

연간 수평면 일사량 × 면적 =

$$(4240.8 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}) \times (1.86 \times 10^{10} \text{ m}^2) = 7.90 \times 10^{20} \text{ (J} \cdot \text{yr}^{-1})$$

연간 수평면 일사량 = 4240.8 MJ·m⁻²·yr⁻¹, 기상청. (2002)

기상연감. [Online] Available at <http://www.kma.go.kr/kmas/webzine/webzine.htm>

농업지역 면적 = 1.86×10¹⁰ m², 통계청 (2003) 통계연보, [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (Verified 03 Jun. 2004)

2. 바람 에너지:

높이 × 공기밀도 × diffusion coefficient × wind gradient × 면적

$$(1000 \text{ m}) \times (1.23 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}) \times (4.7 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{sec}^{-1}) \times (3.15 \times 10^7 \text{ sec} \cdot \text{yr}^{-1}) \times (2.8 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})^2 \times (1.86 \times 10^{10} \text{ m}^2) = 9.51 \times 10^{18} \text{ (J} \cdot \text{yr}^{-1})$$

wind gradient = (2.8×10⁻³ m·sec⁻¹·m⁻¹)², 기상청. (2002) 기상연감, [Online] Available at <http://www.kma.go.kr/kmas/webzine/webzine.htm>

3. 비의 화학적 잠재 에너지:

면적 × 강수량 × 밀도 × Gibbs free energy =

$$(1.86 \times 10^{10} \text{ m}^2) \times (1.89 \text{ m} \cdot \text{yr}^{-1}) \times (1 \times 10^3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}) \times (4.94 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}) = 1.74 \times 10^{17} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$$

강수량 = 1.89m, 기상청. (2002) 기상연감, [Online] Available

at <http://www.kma.go.kr/kmas/webzine/webzine.htm>
Gibbs free energy = 4.943 J·g⁻¹, Odum, H. T. (1996) Environmental Accounting: Emery and environmental decision making, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. p. 370.

밀도 = 1×10⁶ g·m⁻³, 15°C에서의 물의 밀도, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emery use, environmental loading and sustainability: An emery analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.

4. Earth cycle (steady state uplift balanced by erosion), Lee, S. M., Odum, H. T., (1994) Emery analysis overview of Korea. 1994. J. Kor. Environ. Sci. Soc., 3, 165-175.

Energy = land area × heat flow per area

재생 불가능한 자원의 내부 부존량

5. 표토 에너지

표토유실예측량 = 표토유실률 × 면적

농경지 면적: 1.86×10¹⁰ m², 통계청 (2003) 통계연보, [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (Verified 03 Jun. 2004)

논 = 228.00 (g·m⁻²·yr⁻¹), 이창우. (1999) 서울시 환경용량 평가에 관한 연구. 서울시정개발연구원.

밭 = 1006.00 (g·m⁻²·yr⁻¹), 이창우. (1999) 서울시 환경용량 평가에 관한 연구. 서울시정개발연구원.

삼림 (무시), Ulgiati, S., Odum, H. T., and Bastianoni, S. (1994) Emery use, environmental loading and sustainability: An emery analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.

논 면적 = 1.13×10¹⁰ m², 통계청 (2003) 통계연보, [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (Verified 03 Jun. 2004)

밭 면적 = 7.19×10⁹ m², 통계청 (2003) 통계연보, [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (Verified 03 Jun. 2004)

논에서의 표토 유실률

$$= \text{표토유실률} \times \text{면적} = 228.00 \text{ (g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}) \times 1.13 \times 10^{10} \text{ m}^2 = 2.57 \times 10^{12} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$$

밭에서의 표토 유실률

$$= \text{표토유실률} \times \text{면적} = 1006.00 \text{ (g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{yr}^{-1}) \times 7.19 \times 10^9 \text{ m}^2 = 7.24 \times 10^{12} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$$

$$\text{총 표토 유실률} = 9.80 \times 10^{12} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$$

국내 논토양의 평균 유기물 함량: 2.00×10⁻²%, 조성진 등 (1998) 토양학 (3정판), 향문사.

Energy of net loss

$$\begin{aligned}
 &= \text{총 유실률} \times \text{유기물 함량} \times (5.4 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}) \times (4186 \text{ J} \cdot \text{kcal}^{-1}) \\
 &= (\text{net loss}) \times (0.02) \times (5.4 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}) \times (4186 \text{ J} \cdot \text{kcal}^{-1}) = \\
 &4.43 \times 10^{15} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}
 \end{aligned}$$

투입된 에너지와 노동량

6. 농업에 사용된 전력

Total use = $6.16 \times 10^9 \text{ kWh} \cdot \text{yr}^{-1}$, 에너지경제연구원. (2003) 에너지 통계연보.

$$\text{Emery} = (6.16 \times 10^9 \text{ kWh} \cdot \text{yr}^{-1}) \times (3.6 \times 10^6 \text{ kWh} \cdot \text{yr}^{-1} = 2.22 \times 10^{16} \text{ kWh} \cdot \text{yr}^{-1}$$

7. 농업에 사용된 석유

Total use = $3.77 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 에너지경제연구원. (2003) 에너지 통계연보.

$$\begin{aligned}
 \text{Emery content per kg} &= 5.15 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \\
 \text{Emery} &= (\text{total use}) \times (\text{energy content per kg}) = (3.77 \times 10^9) \\
 &\times (5.15 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) = 1.94 \times 10^{17} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}
 \end{aligned}$$

8. 노동력

Energy input:

Total man-days applied = 3.53×10^6 working days, 통계연보, [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (Verified 03 Jun. 2004).

Daily metabol. energy = $2.5 \times 10^3 \text{ kcal} \cdot \text{day}^{-1}$ per person, Ulgiati, S., Odum, H. T., and Bastianoni, S. (1994) Emery use, environmental loading and sustainability: An emery analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.

$$\begin{aligned}
 \text{Total energy applied per person per year} &= 7.13 \times 10^5 \\
 \text{kcal} \cdot \text{person}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1} \\
 &= 2.98 \times 10^9 \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1} \cdot \text{person}^{-1} \text{ (total 285 working days} \cdot \text{year}^{-1}) \\
 \text{Total energy input} &= (\text{total metabolic energy/person/day}) \times (\text{total man-days applied}) \times (4186 \text{ J/kcal}) = \\
 &3.66 \times 10^{13} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}
 \end{aligned}$$

Ulgiati, S., Odum, H. T., and Bastianoni, S. (1994) Emery use, environmental loading and sustainability: An emery analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.

생산에 사용된 물품과 자산

9. K_2O content = $1.80 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

10. N content = $3.63 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통

계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

11. P_2O_5 content = $1.46 \times 10^{11} \text{ g} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

12. 농약 및 제품

$$\text{Total use} = 2.66 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$$

Pesticides used and energy for their production:

Anticryptogamics = $9.14 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$; $5.60 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 5.12 \times 10^{14} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

Herbicides = $9.02 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$; $9.10 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1} = 8.21 \times 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

Insecticides = $5.73 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$; $5.30 \times 10^7 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1} = 3.04 \times 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

Phytohormones = $2.70 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$; $1.00 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1} = 2.70 \times 10^{14} \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 농림부 (2003) 농업 통계연보. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).

$$\text{Total energy} = 1.91 \times 10^{15} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$$

Table 5에 대한 계산

1. Rice

Total production = $4.45 \times 10^9 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emery content per kg = $3.00 \times 10^3 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emery use, environmental loading and sustainability: An emery analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.

$$\text{Total energy content} = 1.3353 \times 10^{13} \text{ kcal} \cdot \text{yr}^{-1} = 5.59 \times 10^{16} \text{ J} \cdot \text{yr}^{-1}$$

2. Barley

Total production = $2.18 \times 10^8 \text{ kg} \cdot \text{yr}^{-1}$, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emery content per kg = $3.30 \times 10^3 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emery use,

environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 7.19×10^{11} kcal·yr⁻¹ = 3.01×10^{15} J·yr⁻¹

3. Minor cereal

Total production = 8.52×10^7 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 3.30×10^3 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 2.81×10^{11} kcal·yr⁻¹ = 1.18×10^{15} J·yr⁻¹

4. Bean

Total production = 1.35×10^8 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 3.30×10^3 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 4.45×10^{11} kcal·yr⁻¹ = 1.86×10^{15} J·yr⁻¹

5. Potato

Total production = 2.31×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 3.00×10^3 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 6.94×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 2.91×10^{16} J·yr⁻¹

6. Leaf vegetable

Total production = 4.45×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 7.25×10^2 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 1.34×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 9.86×10^{15}

J·yr⁻¹

7. Root vegetable

Total production = 4.45×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 6.67×10^2 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 1.34×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 4.69×10^{15} J·yr⁻¹

8. Spice

Total production = 4.45×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 7.25×10^2 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 3.23×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 1.35×10^{16} J·yr⁻¹

9. Fruit vegetable

Total production = 4.45×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 4.40×10^2 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 1.96×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 6.16×10^{15} J·yr⁻¹

10. Fruit

Total production = 4.45×10^9 kg·yr⁻¹, 국립 농산물 품질 관리원, (2003) 작물통계. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)

Emergy content per kg = 5.50×10^2 kcal·kg⁻¹, Ulgiati, S., Odum, H. T., Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, *Ecological Modelling*, 73, 215-268.

Total emergy content = 2.45×10^{12} kcal·yr⁻¹ = 1.02×10^{16} J·yr⁻¹

참고문헌

1. Korea National Statistical Office (2003) The statistics yearbook. [Online] Available at <http://kosis.nso.go.kr/> (verified 03 Jun. 2004.)
2. Eom, K. C., Yun, S. H., Hwang, S. W., Yun, S. G. and Kim, D. S. (1993) Public Benefit from Paddy Soil, Korean J. of Soil Science and Fertilizers, 26(4), 314-333.
3. Odum, H. T. (1996) Environmental Accounting: Emergy and environmental decision making, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA. p. 370.
4. Sohn, J. H., Shin, S. K., Cho, E. I. and Lee, S. M. (1996) Emergy Analysis of Korean Fisheries, J. Korean Fish. Soc. 29(5), 689-700.
5. Son, J. H. (1999) A study on sustainable development of a city by the Emergy evaluation, Dissertation, Pukyung National University, Pusan, Korea.
6. Son, J. H. and Lee, S. M. (2000) A Study on the Sustainable Development of Pusan Metropolitan City by the EMERGY Evaluation, J. of Korean Environmental Science Society, 9(3), 185-191.
7. Lee, C. W. (1999) A Study on Environmental Capacity Assesment of Seoul Metropolitan City I, Seoul, Korea.
8. Kim, J. L., Son, J. H., Kim, Y. J. and Lee, S. M. (2000) Emergy Analysis of Nakdong River Basin for Sustainable Use, J. Korean Environmental Science Society, 9(1), 49-55.
9. Kang, D. S. and Park, S. S. (1999) A Methodological Study of Ecological Economic Evaluation of a Multipurpose Dam Construction Using Emergy Concept, Korean J of Environmental Impact Assessment Society, 8(2), 45-51.
10. Korea Meteorological Administration (2003) The Statistical Yearbook of the Weather. [Online] Available at <http://www.kma.go.kr/kmas/webzine/webzine.htm>.
11. Ulgiati, S., Odum, H. T. and Bastianoni, S. (1994) Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy, Ecological Modelling, 73, 215-268.
12. Ministry of Commerce, Industry and Energy, Korea Energy Economics Institute (2003) The Statistical Yearbook of the Energy.
13. Ministry of Agriculture and Forestry (2003) The Yearbook of Agriculture. [Online] Available at http://www.maf.go.kr/asp/05_data/data01_01.asp (Verified 04 Jul. 2004).
14. Ulgiati, S. and Brown, M. T. (1998) Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems, Ecological Modelling, 108, 23-36.
15. Brown, M. T. and Ulgiati, S. (2001) Emergy Measures of Carrying Capacity to Evaluate Economic Investments, Population and Environment, 22(5), 471-500.
16. Brown, M. T. and Ulgiati, S. (1997) Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, 51-69.
17. National Agricultural Products Quality Management Service (2003) The Product Yearbook. [Online] Available at <http://www.naqs.go.kr/> (Verified 04 Jul. 2004)