

에머지(Emergy) 개념을 이용한 산지가치의 계량화에 관한 연구

김남국 · 김진이* · 박동기** · 이석모*

플로리다대학교 환경정책연구센터, *부경대학교 생태공학과, **서남대학교 환경화학공학과
(2007년 5월 16일 접수; 2007년 7월 4일 채택)

A Study on the Quantification of Forest Land Values Using the Emergy Synthesis

Nam-Kook Kim, Jin-Lee Kim*, Dong-Gi Park** and Suk-Mo Lee*

Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL 32611, USA

**Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

***Department of Environmental & Chemical Engineering, Seonam University, Jeonbuk 590-711, Korea*

(Manuscript received 16 May, 2007; accepted 4 July, 2007)

Abstract

As forest land takes up 65% of the Korean peninsula, there have been continuing conflicts between the development and conservation of forest land. As the income level has changed over time, the usage of forest land in society has changed. There has been increasing demands for forest land for urban development and recreational use. On the other hand, a large proportion of the land is required to be preserved for the forest and the natural ecosystem in it. The existing management system for the forest land has been designed focusing on the management of the trees on the land, and not the land itself. Due to this limitation, the current management system of forest land has failed to protect the forest land from being developed indiscreetly, making it difficult to conserve and develop the forest land in an efficient way. A major question in forest land management is how to integrate economic use activities with the supporting ecosystems to maximize performance of the ecological-economic system. In order to promote sustainable use of forest resources, and to achieve efficient forest land management, it is prerequisite to evaluation on forest resources of natural ecosystems. Quantitative measures are needed that signify how necessary the services and products of forested ecosystems are to human endeavors. In this study, the natural wealth provided by forest land was quantified based on emergy synthesis. Emergy is a universal measure of real wealth of the work of nature and society made on a common basis. Thus, Calculations of emergy provide a basis for making choices about environment and economy following the general public policy to maximize real wealth. The goals of forest land management to achieve balance between the ecology and economy of its integrated system and to foster equity among the diverse outcomes of the forest land were assessed with emergy. Emergy was demonstrated to holistically integrated and quantify the interconnections of a coupled nature-human system allowing the goals of ecological balance and outcome equity to be measured quantitatively. Doing so will provide a better understanding of the basis of forest land wealth and the consequences of management decisions.

Key Words : Forest land, Development and conservation, Sustainable use, Emergy synthesis

1. 서 론

우리나라는 국토의 65%가 산지로 구성된 산악국가¹⁾로, 산지를 이용·개발하고자 하는 시도와 보전하고자 하는 노력이 항상 대립적인 갈등관계를 유지해왔다. 이러한 갈등관계와는 별도로 산지를 관리하는 제도는 임업생산, 산림녹화, 산불예방 중심의 산림관리가 중심이 되었고, 국토자원으로서의 산지관리는 도외시되었다. 그로 인해 산지주변 토지이용과의 부정합성 문제나 산지의 난개발 문제 등에 효율적으로 대처할 수 없었다. 때문에 전반적인 국토관리의 틀 내에서의 산지이용과 보전은 간과되어 왔다.

이와 달리 산지에 대한 사회적 요구와 수요는 급격하게 변화하고 있다. 도시의 교외화·광역화 추세에 따라 산지에 대한 도시개발 수요가 증대하고 있고, 주5일 근무제와 국민소득 증가에 따른 전원생활 선호 추세가 늘고 있다. 이에 따라 도시 주변의 산지를 중심으로 신규개발 수요가 지속적으로 나타나고 있다.

산지에 대한 개발수요와 달리 한편에서는 자연생태 및 환경요소로서의 산지 중요성도 크게 부각되고 있다. 교토의정서의 온실가스 감축 규정, 삶의 질 향상을 위한 자연환경보전 및 휴양기능, 수질 및 대기정화 기능, 생물종의 다양성 등 증대하고 있는 산지의 공익적 가치에 비추어 볼 때, 산지를 잘 보전하는 것은 환경보전적 측면에서만이 아니라, 경제적 효용측면에서도 필요한 과제이다.

이와 같이 다양한 형태로 증가하고 있는 산지개발 및 이용수요와 보전필요성을 합리적으로 수용할 수 있기 위해서는, 산지 및 산림생태계를 구성하는 수많은 인자들과 자원으로서 이들이 지니고 있는 가치를 정확히 분석, 평가하여 합리적으로 관리, 이용하고자 하는 노력이 요구된다. 따라서 생태계 구성요소와 다양한 실체들 간에 어떠한 상호관계를 지니고 있는지를 인식하고 산지의 잠재적 가치를 충분히 평가할 수 있는 적절한 방법이 필요한 실정이다.

지금까지 국내에서 수행된 산지의 기능 및 가치에 대한 연구의 경우, 산림 및 산지의 가치를 화폐 가치로 평가하여 평가액을 제시한 연구 등이 수행되었다. 화폐는 에너지와 직접 관련되어 있으며, 에너지와 물질의 대가(代價)를 지불하기 위해서 에너-

지 흐름에 대응하는 흐름이다. 문제는 화폐가 인공 재화와 용역의 흐름에 대한 길을 제공하지만 중요한 자연 재화와 용역을 위한 길을 똑같이 마련하지는 않는다는 점이다. Fig. 1에서와 같이 생태계 수준에서 화폐는 자연자원이 시장성 있는 재화와 용역으로 전환될 때에만 그 그림에 포함된다. 여기서 이 자원들을 유지하는 자연계의 모든 일은 가격이 매겨지지 않은 채 버려지고 있으며, 단지 생산을 위한 연쇄과정 중 수확 및 가공된 부분만이 화폐에 의해서 가치가 매겨진다. 자원을 유지하기 위해서 그리고 다른 값진 용역을 제공하기 위해서 수행한 모든 에너지와 일은 화폐체계에서 완전히 배제되고 있다. 화폐는 사회 대부분에서 의사 결정의 근거로 사용되지만 우리의 화폐체계는 살아있는 것이 가지고 있는 모든 실질적인 가치를 고려하고 있지 않다는 것을 유념해야 한다.

전술한 바와 같이 그동안 산지의 가치를 화폐로 표현되는 경제적 이익의 산출을 위한 이용 대상으로만 취급되어 왔으며, 그것을 이용하는 데에만 지불하는 인간의 지불의사(Willingness to pay)에 의한 경제학적 가치평가에 의해 이루어져 왔다. 이는 인간사회에 기여하는 산지의 기여가치를 제대로 평가하지 못함으로써, 진정한 산지가치에 대한 평가가 미흡함은 물론 산지의 역할을 제대로 인식하지 못해 그것으로부터 얻는 이익도 줄어들 수 밖에 없다.

에머지(Emergy) 개념은 자연생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정 뿐만 아니라, 인간과의 유기적 상호관계를 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 생태계 가치평가 개념으로, “한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에서 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용가능한

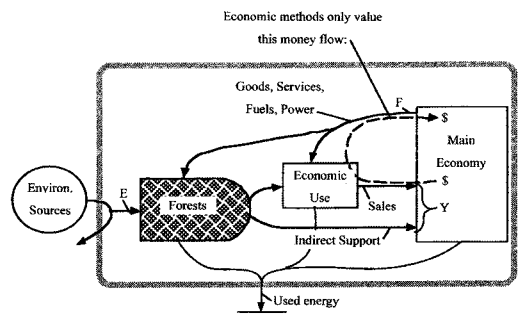


Fig. 1. Energy systems diagram of forest and the economy.

에너지”로 정의된다. 자연환경의 역할과 인간경제 활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치 척도로 비교하는 에머지 개념은 많은 연구자들에 의해 활발히 사용되고 있는데, 지금까지 국내외에서 이루어진 에머지 개념의 활용 및 선행연구로는 Odum 등²⁻⁵⁾은 국가, 지역, 도시 등의 다양한 대상 시스템에 대한 연구를 수행하였으며, 국내에서는 우리나라의 자연환경과 경제활동, 도시, 깃벌생태계, 산업활동, 아파트 건설 평가 등 자연환경자원의 가치평가, 개발사업의 편익-비용평가, 환경수용력 평가, 개발대안 평가 등에 적용되었다.

이러한 배경하에서 본 연구는 자연환경의 실질적인 가치를 평가할 수 있는 에머지 개념을 이용하여, 이를 기초로 인간에 의하여 경협된 산지의 생산적, 공익적, 보전적 가치 등의 도구적(instrumental) 가치 외에 산지 본래(intrinsic)의 가치에 대한 계량화를 제시하고자 하였다. 이러한 에머지 개념을 이용한 산지 가치의 정량적 평가를 통해서 우리는 한층 더 산지의 다원적 기능에 대한 자각을 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 재료 및 방법

2.1. 에너지 시스템 다이어그램

에머지 분석 과정은 크게 세 단계로 나눌 수 있다. 먼저 분석하고자 하는 시스템을 이루는 요소들이 무엇인지, 그리고 이러한 요소들은 어떻게 연결되어 있는가를 파악하는 것에서 시작한다. 즉, 시스템의 구성요소들과 이들 사이에 일어나는 에너지와 물질 흐름을 파악하는 것이다. 에머지 분석법에서는 이러한 흐름을 분석하고자 하는 시스템의 성분들과 이들 사이의 연결 관계를 특별한 의미들이 부여된 에너지 시스템 언어(energy systems language)⁶⁾라는 기호들을 이용하여 시각적으로 나타내며, 이를 통해 전체 시스템의 유기적인 관계를 종합적으로 파악할 수 있도록 해준다.

에너지 시스템 다이어그램의 작성 과정은 다음의 단계로 이루어진다. 1단계에서는 분석대상 시스템의 경계를 설정한다. 2단계는 시스템의 경계 외부에서 대상 시스템에 영향을 미치는 모든 요소들을 파악한다. 3단계는 분석대상 시스템의 내부에 있는 주요 구성요소를 파악하는 단계이며, 4단계에서는 이들 구성요소와 외부 에너지원을 연결하는 주요 흐름(또는 과정)을 파악한다. 마지막 단계에서는 외부 에너지원과 내부 구성요소를 적절한 위치에 배치하고 이들을 연결함으로써 에너지 시스템 다이어그램을 완성한다.

2.2. 에머지 분석표

에머지 분석법의 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 완성한 에너지 시스템 다이어그램을 이용하여 에머지 분석표를 작성한다. 이를 위해 분석 대상 시스템의 주요 유입 및 유출 경로에 대한 것과 내부의 주요 구성성분에 대한 것으로 나누어 작성한다. 일반적으로 에머지 분석표는 다음 Table 1과 같은 형태로 제시된다.

첫 번째 열에는 대상 시스템의 자연환경과 경제 활동을 유지하는 외부의 주요 에너지원을 기입한다. 두 번째 열에는 각 항목의 주요 에너지원이 가지는 실질적인 에너지(J/yr), 물질(G/yr), 또는 화폐(₩/yr) 단위의 값을 각종 통계자료 및 문헌⁷⁻¹⁷⁾을 이용하여 산정한다. 세 번째 열에는 각 에너지원에 대한 태양에너지 변환도 값을 기입한다. 네 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 실제적인 값에 세 번째 열의 태양에너지 변환도를 곱하여 산정한 에머지 값을 산정한다. 다섯 번째 열에는 주요 에너지원의 에머지 값을 에머지-화폐비율(Emergy Money ratio)로 나누어 구한 값으로, 각 항목의 에머지량을 화폐단위로 바꾸어 나타낸 값이다. 이렇게 완성된 에머지 분석표는 세 번째 단계에서 시스템 전체를 평가하고 특성을 파악하기 위한 에머지 지수(emergy indices)의 계산에 이용한다.

Table 1. Template for inventorying and weighting resource inputs and outputs in emergy synthesis

1	2	3	4	5	6	7
Note	Item	Energy Data	Units	Transformity (sej/unit)	Solar Emergy (sej/yr)	EmWon (Em₩/yr)

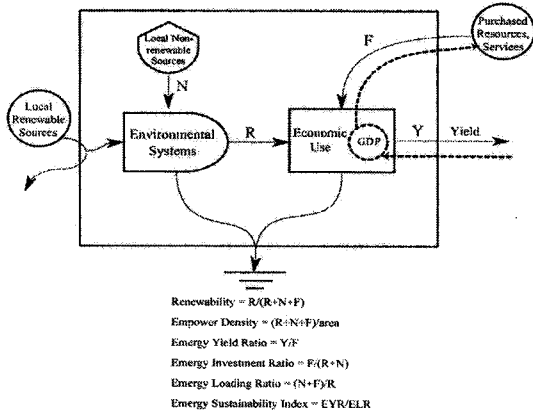


Fig. 2. EMERGY based indices, accounting for renewable Emery flow(R), flow from indigenous nonrenewable reserves(N), purchased inputs from outside the system(F), and yield from system(Y).

2.3. 에머지 지수

에머지 분석값을 기초로, 시스템을 평가하고 특성을 파악하기 위해서 Fig. 2와 같이 주요 에너지원을 자연환경 에너지원(R), 재생불가능한 보유자원(N), 그리고 외부로부터 유입된 구매 에너지원(F)으로 구분하여 에머지 지수들을 산정한다.

본 연구에서 산지의 가치를 평가하기 위해 이용된 에머지 지수로는 대상 시스템에 유입되는 에너지원의 전체 에머지 양에 대한 자연환경 에너지원의 점유율(Renewability), 자원으로서의 생산성과 효율성을 나타내는 에머지 생산비(Emery yield ratio), 시스템 내부의 경제활동이 외부자원을 이용하는데 얼마나 경제적인가를 나타내는 에머지 투자비(Emery investment ratio), 인간의 경제활동이 자연환경에 미치는 영향의 정도를 나타내는 환경 부하비(Environmental loading ratio), 그리고 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 시스템이 얼마나 지속가능할지를 나타내는 지표인 지속성 지수(Emery Sustainability index)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 에너지 시스템 다이어그램을 이용한 산지의 시스템 분석

본 연구에서는 2003년을 기준으로 하여 대한민국 산지 전체를 대상 지역 시스템의 경계로 설정하였다.

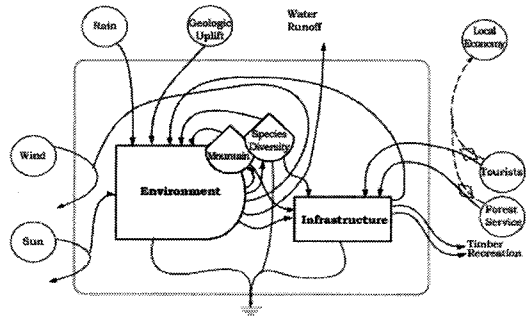


Fig. 3. Energy systems diagram of forestland values in Korea.

2003년 현재 우리나라의 국토의 면적 중 산지가 차지하는 면적은 6.41 E10 m²로 국토의 65%가 산지로 구성되어 있다.

Fig. 3은 산지생태계에 기여하는 자연환경과 경제활동의 상호관계를 포괄적으로 나타낸 에너지 시스템 다이어그램이다. 산지 내 수목 등이 생육하는데 필요한 생리작용을 원활히 하기 위해서 외부로부터 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 강수와 같은 재생가능 에너지원이 유입되고, 이들 자연활동으로부터 기인한 에너지원으로 성장한 수목이 목재 및 각종 부산물의 생산, 수원함양 기능에 의한 국토의 생산력 유지 및 보전, 종다양성의 보전, 산림휴양지의 공급 등 다목적 기능을 제공한다. 또한 목재생산 및 휴양활동을 위한 화석연료 및 재화와 용역 등이 외부로부터 유입된다.

3.2. 산지의 가치에 대한 에머지 분석

Fig. 3의 에너지 시스템 다이어그램을 바탕으로 한 우리나라 산지의 가치에 대한 에머지 분석 결과는 Table 2와 같다. 우리나라의 산지내로 유입하는 재생가능에너지는 태양, 바람, 강수(위치에너지와 화학에너지로 구분), 증발산, 지질작용의 5가지로 구분하여 계산하였다. Table 2의 세 번째 열(Energy Data)에 제시된 에너지량을 살펴보면 2003년 일 년 동안 우리나라 산지에 필요한 에너지를 가장 많이 공급한 재생가능에너지는 태양에너지(2.39 E20 J/yr)이다. 이는 두 번째로 많은 에너지를 공급한 재생가능에너지인 강수의 화학에너지량(3.62 E17 J/yr)의 약 660배에 해당한다. 그러나 Table 2의 다섯 번째 열

Table 2. Emergy synthesis table of resource and economic flow of forestland in Korea, 2003

Note	Item	Energy Data	Units	Transformity* (sej/unit)	Solar Emergy (E20 sej)	Economic Value (Em₩)
ENVIRONMENTAL ENERGY SOURCES						
1	Sunlight	2.39+E20	J	1.00+E00 ^{a)}	2.4	1.95+E11
2	Wind	2.27+E17	J	2.45+E03 ^{a)}	5.6	4.53+E11
3	Rain, chemical	3.62+E17	J	3.05+E04 ^{a)}	110.6	9.02+E12
4	Rain, geopotential	1.28+E17	J	4.70+E04 ^{a)}	60.2	4.91+E12
5	Transpiration	1.74+E17	J	4.80+E04 ^{a)}	83.3	6.80+E12
6	Earth cycle	6.41+E16	J	5.80+E04 ^{a)}	37.2	3.03+E12
IMPORTED ENERGY SOURCES						
7	Costs for forest recreation	1.42+E12	₩	1.23+E09 ^{b)}	17.5	1.42+E12
8	Visitors, length of stay	5.04+E14	J	8.90+E06 ^{a)}	44.8	3.66+E12
9	G & S for forest management	1.06+E12	₩	1.23+E09 ^{b)}	13.0	1.06+E12
INTERNAL PROCESSES						
10	NPP, total live biomass	6.77+E18	J	4.70+E03 ^{c)}	318.2	2.60+E13
11	Wood accumulation	3.13+E17	J	1.60+E04 ^{c)}	50.0	4.08+E12
12	Litterfall	5.16+E17	J	1.50+E04 ^{c)}	77.4	6.32+E12
13	Rock weathering	1.44+E06	g	3.80+E09 ^{c)}	0.0	4.46+E06
14	Tree diversity	1.19+E02	species	3.30+E13 ^{c)}	0.0	3.20+E06
EXPORTS						
15	Stream discharge	2.72+E17	J	3.20+E04 ^{d)}	87.1	7.11+E12
16	Timber production	1.38+E15	J	7.00+E04 ^{d)}	1.0	7.88+E10
17	Recreated people	5.04+E14	J	2.40+E07 ^{d)}	120.9	9.86+E12

References for Transformity a) Odum and M.T. Brown, 2000¹⁸⁾, b) Calculated in this study, 2006., c) M.T. Brown and E. Bardi, 2001¹⁹⁾, d) D.R. Tilley and W.T. Swank, 2003²⁰⁾.

(Solar Emergy)에 제시한 에머지 기여량을 살펴보면 재생가능에너지 가운데 에머지 기여도가 가장 높은 것은 강수의 화학에너지로, 에너지량은 태양에너지의 약 1/660에 불과하였지만 에머지 기여량은 태양에너지의 46배에 달하였으며, 증발산, 강수의 위치에너지, 지질작용, 바람, 태양에너지의 순서로 에머지 기여도가 감소하였다(Fig. 4(a)). 이는 일을 할 수 있는 능력이 서로 다른 에너지들을 그 능력에 대한 고려 없이 단순히 동일한 에너지 단위로 나타낸 후 비교하게 되면 각 에너지가 산지에 기여하는 가치를 제대로 평가할 수 없다는 것을 보여준다.

태양, 바람, 강우 등 재생가능에너지가 연간 우리나라 산지에 기여하는 총에머지량은 1.48 E22 sej/yr로 나타났다(Table 3). 이 값은 Table 2에 제시된 재생가능에너지 가운데 강수의 화학에너지와 지질작용을 더한 값이다. 지질작용을 제외한 나머지 재생가능에너지는 기본적으로 지구로 유입하는 태양에

너지를 그 원동력으로 하여 아주 밀접히 연결되어 있기 때문에 이들 에너지의 에머지량을 단순히 더하게 되면 중복계산의 오류를 범하게 된다. 따라서 에머지 방법론에서는 태양에너지와 관련된 중복계산을 피하기 위하여 에머지량이 가장 많은 에너지를 총 에머지량 계산에 이용하도록 하고 있다. 이에 따라 태양, 바람, 강수의 위치에너지, 강수의 화학에너지를 총에머지량 계산에 이용하였다.

우리나라 산지 내부에서 공급되는 주요 재생불가능자원으로는 바이오매스 생산량, 입목축적량, 낙엽생산량, 토사발생량을 대상으로 하여 에머지 평가를 수행하였다. 산지 내의 수목, 낙엽, 토양의 경우 새로 형성되는 속도에 비해 사회경제활동으로 인해 소모되는 속도가 새로 만들어지는 속도보다 훨씬 빠르다는 점에서 재생불가능자원에 포함하였다. 산지내의 재생불가능자원이 기여한 에머지량은

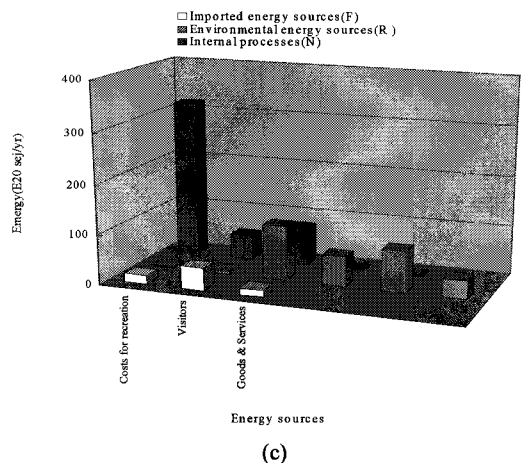
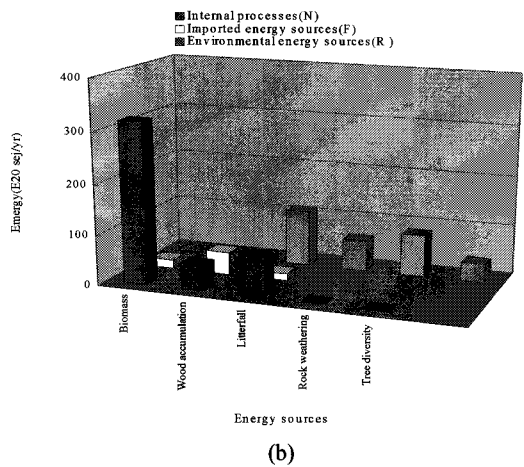
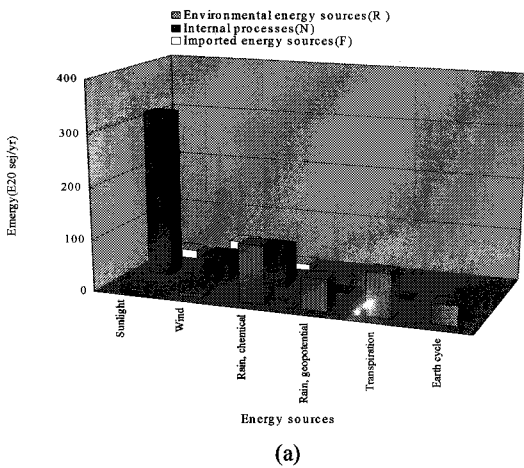


Fig. 4. Energy signature of each energy sources in forestland.

4.46 E22 sej/yr이었으며, 이 가운데 바이오매스 생산량이 71.4%로 대부분을 차지하였다(Fig. 4(b)). 산지 내부의 재생불가능자원이 산지에 기여하는 에머지는 재생가능에너지의 약 3배에 해당하였다.

시스템 외부로부터 산지 생태계에 유입하는 에머지는 크게 산림휴양활동을 위한 소요비용, 산지 내에서 휴양활동을 하는 방문객들의 대사에너지, 그리고 재목의 수확, 임도건설, 유지보수 등 산지관리를 위한 재화와 용역 등으로 나눌 수 있다. 이 가운데 에머지 기여도가 가장 높은 항목은 휴양활동을 하는 방문객들의 대사에너지(44.8 E20 sej/yr)로(Fig. 4(c)), 총 에머지 수입량(7.53 E21 sej/yr)의 59.5%를 차지하였다.

3.3. 에머지 지수를 통한 산지의 가치평가

에머지 분석을 통하여 산지의 에머지 지수를 계산한 결과는 Table 3과 Fig. 5와 같다. 우리나라의 산지를 유지하는데 필요한 에머지를 재생가능에너지원(R), 산지내의 재생불가능한 에너지원(N), 외부로부터 유입된 재화와 용역 등의 재생불가능한 에너지원(F)으로 구분할 경우, 재생가능 에너지원(R)의 에머지 점유율은 전체의 22.1%(1.48 E22 sej/yr), 내부 재생불가능한 에너지원(즉, 바이오매스 생산량, 임목축적량, 낙엽생산량, 토양, N)은 66.6%(4.46 E22 sej/yr), 외부로부터 유입된 재생불가능 에너지원(F)은 11.3%(7.53 E21 sej/yr)의 기여를 나타내었다. 이는 우리나라의 산지가 에머지 관점에서 보았을 때 산지의 유지를 위해 외부의 재화와 용역에 의존하기 보다는 산지내부의 자연자원에 크게 의존한다는 것을 의미한다.

시스템 내부의 경제활동이 외부자원을 이용하는 데 얼마나 경제적인가를 나타내는 에머지 투자비(EIR)는 0.1이었다. 이는 우리나라의 산지가 주로 시스템 내부의 토착 에머지에 의해 이루어지고 있다는 것을 의미하며, 이는 산지가 1차 생산자이기 때문인 것으로 추정된다. 즉 산지는 수목을 비롯한 임산물로부터 생산물을 얻기 때문에 다른 산업에서보다 자연에서 얻을 수 있는 에너지의 양이 상대적으로 크기 때문이다. 이는 또한 우리나라의 산지가 다른 경제적인 개발에 비해 외부 에너지의 투입 비율이 적다는 것을 의미한다.

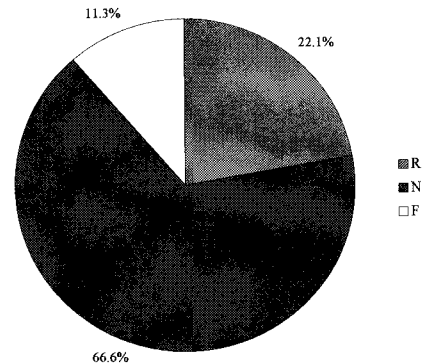
Table 3. Emergy indicators and indices for forestland values in Korea, 2003

Item	Name of Index	Expression	Quantity
1	Renewable emergy flow (sej/yr)	R	1.48E+22
2	Flow from indigenous nonrenewable reserves (sej/yr)	N	4.46E+22
3	Flow of imported emergy (sej/yr)	F	7.53E+21
4	Total emergy inflows (sej/yr)	R+N+F	6.69E+22
5	Total emergy used (sej/yr)	U=R+N+F	6.69E+22
6	Renewability (% Renew)	R/U	22.09
7	Emergy Investment Ratio (EIR)	F/(R+N)	0.1
8	Environmental Loading Ratio (ELR)	(F+N)/R	3.5
9	Emergy Yield Ratio (EYR)	U/F	8.9
10	Emergy Sustainability Index (EmSI)	EYR/ELR	2.5

환경부하비(ELR)는 인간의 경제활동이 자연환경에 미치는 압력(스트레스)을 나타내기 위한 지수로, ELR이 낮을수록 인간의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 영향이 적고, 반면 ELR이 높을수록 주어진 사회경제활동이 주위환경에 미칠 잠재적 영향이 크다는 것을 의미한다. 산지내에서 이루어지고 있는 경제활동이 자연환경에 미치는 영향을 나타내는 환경부하비는 3.5이었다. Brown과 Ulgiati²⁾은 환경부하비의 3과 10을 기준으로 그 영향의 판단범위를 제시하고 있는데, 우리나라 산지의 ELR은 산지내에서 이루어지고 있는 경제활동이 자연환경에 주는 부정적인 부담이 작다는 것을 알 수 있다.

에머지 생산비(EYR)의 값이 1이하 값을 나타내는 경우에는 자원으로서의 효율성과 생산성, 즉 가치를 가지고 있지 못한 시스템을 의미한다. 우리나라 산지의 경우 EYR은 8.9로 이는 자원으로서 큰 가치를 가지고 있음을 의미한다.

에머지 지속성 지수(EmSI)는 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 대상 시스템이 얼마나 지속 가능할지를 나타내는 지수로, 지속성 지수가 작을수록 재생불가능한 에너지의 사용량이 많고, 외부에서 구입한 에너지와 물질에 대한 의존도가 높으며, 환경에 주는 스트레스가 높다. 그 값은 1보다 작으면 지속성이 적은 시스템이고, 10보다 클 경우에는 지속성이 높은 시스템이며, 1에서 10사이의 경우에는 지속성이 중간정도인 시스템임을 반영한다. 우리나라의 산지의 경우 EmSI가 2.5로, 10보다는 낮은 수치를 보여 지속가능성을 유지하기 위해서는 개발속도를 늦출 필요가 있는 것으로 판단된다.

**Fig. 5.** Ratio of resources that contribute to emergy.

4. 결 론

종래의 개발은 양면성을 가지고 있다. 하나는 개발로 인한 경제적 효율성과 편리성 부분이고, 다른 하나는 그러한 개발로 인한 자연훼손 및 생태계 파괴이다. 이로 인해 개발과 보전은 양립할 수 없는 상반적인 개념으로 받아들여져 왔고, 개발론과 보전론의 대립적 구도가 지속되어 왔다. 산지의 개발과 보전은 모두 토지를 점유하는 인간의 활동을 규정짓는다는 점에서 불가분의 관계에 있다고 할 수 있다. 사실상 개발과 보전은 동전의 양면과 같아서 어떻게 개발할 것인가 하는 문제는 역으로 생각하면 어떻게 보전할 것인가 하는 문제이기도 하다. 따라서 개발과 환경보전을 동시에 고려하여 산지의 경제적 가치와 생태적 가치를 함께 인정하는 균형적 산지관리가 요구된다.

우리나라는 국토의 65% 이상이 산지이기 때문에 산지의 부분적 개발은 피할 수 없는 사회적 요구인 동시에, 산지는 자연생태계의 보고(寶庫)로서 생태계 보전이 필수적인 지역이다. 이러한 산지 개발과 보전에 대한 상반적 이해를 통합하여 자연과 인간의 공생체계를 갖추기 위해서는 인간중심의 사고에서 탈피하여 사람과 생태계 그리고 자연을 하나로 보는 총체적인 측면에서 접근하는 새로운 패러다임이 설정되어야 한다.

이를 위해 무엇보다 필요한 것은 자연 본래(intrinsic)의 가치를 인정하는 인식의 전환이다. 현재 우리가 사용하는 자연의 생산적, 공익적, 보전적 가치 등의 구분은 인간에 의하여 경험된 자연의 도구적(instrumental) 가치인 것이다. 이러한 도구적 가치를 중시한 산지관리는 인간의 편익을 위한 개발지향적일 수밖에 없다. 자연의 소중함을 토대로 자연자원을 이용하고자 할 때 인간과 자연이 공존하는 산지관리가 가능해진다.

둘째, 문제에 대한 개별적 접근보다는 통합적 접근을 강조한다. 지금까지 산지이용의 효율성, 가치평가에 대한 문제를 단편적·획일적인 잣대에 의한 접근으로 해결점을 추구하고자 하였다. 이와 같은 개별적 접근방식의 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 자연환경과 인간과의 상호 연관성에 초점을 맞추어 자연생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정 뿐만 아니라, 인간과의 유기적 상호관계를 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 에머지 개념을 이용하여 산지의 가치를 규명하고자 하였다.

통계자료 및 문헌의 한계로 인해 분석 항목으로 고려하지 못했던 수목생장에 영향을 미치는 이온성분 등의 대기강하물질, 산지 내에서의 조사 및 연구를 통해 얻어진 연구정보 등에 대한 재검토 및 본 연구에서 수행한 에머지 분석을 기초로 인간활동과 같은 외부 요인들에 의한 자연생태계의 변화과정을 예측하고, 시간의 흐름에 따라 자연생태계가 어떻게 변하고 있는가를 파악할 수 있는 에너지 모델(system modelling)을 이용한 평가를 수행하고자 한다.

에머지 개념은 그 동안 생태계가치평가, 개발사업의 편익-비용평가, 환경수용력 평가, 개발대안 평가, 환경계정, 환경훼손 소송관련 비용 평가 등에 적용되었다. 이러한 에머지 개념을 이용한 평가 방법

을 통한 의사결정이 이루어지면 산지 뿐만이 아닌 생태계의 지속가능한 이용을 실현하기 위한 적절한 정책의 선택과 이의 이행 실효성을 높일 수 있을 것으로 기대되며, 자연환경 가치의 정량적 평가를 통해서 우리는 한층 더 자연환경 및 자원의 다원적 기능에 대한 자각을 할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 1) 행정자치부, 2005, 지적통계연보, 462pp.
- 2) Brown M. T., Ulgiati S., 1997, Emery based indices and ratios to evaluate sustainability, Ecological Engineering, 9, 51~69.
- 3) Capbell D. E., 1998, Emery analysis of human carrying capacity and regional sustainability, Environmental Monitoring and Assessment, 51, 531~569.
- 4) Lee S. M., Odum H. T., 1994, Emery analysis overview of Korea. J. Kor. Env. Sci. Soc. 3(2), 165~175.
- 5) Odum H. T., 1996, Environmental Accounting, John Wiley, New York, 365pp.
- 6) Odum H. T., 1983, Systems Ecology, John Wiley, New York, 644pp.
- 7) 국립산림과학원, 2005, 산림의 공익기능 계량화 연구 보고서, 27~37.
- 8) 국립산림과학원, 2005, 산림수자원 모니터링, 128pp.
- 9) 기상연구소, 1998, 우리나라 증발산량 분포 특성, 61~73.
- 10) 농림부, 2005, 농림통계연보, 318pp.
- 11) 산림청, 1995, 지구산림문제의 논의동향과 대응방안, 지속 가능한 산림경영을 위한 정책방향, 3~308.
- 12) 산림청, 1999, 산림기능평가에 관한 연구. 344pp.
- 13) 산림과 임업기술, [I]산림일반, 1999, 산림청, 2~140.
- 14) 산림과 임업기술, [III]산림경영, 1999, 산림청, 572~668.
- 15) 산림청, 2005, 임업통계연보, 462pp.
- 16) 임업연구원, 2003, 산림사업의 공적관리 시스템 강화 및 임산바이오매스를 활용한 대체에너지 보급, 8~145.
- 17) 임업연구원, 2003, 우리나라 산림휴양실태 및 수요 전망, 1~129.
- 18) Odum H. T., Brown M. T., 2000, Folio #1: Introduction and Global Budget. Handbook of Emery Evaluation, Center for Environmental Policy, Univ. of Florida.
- 19) Brown M. T., Eliana Bardi, 2001, Folio #3: Emery of Ecosystems. Handbook of Emery Evaluation, Center for Environmental Policy, Univ. of Florida.
- 20) Tilley D. R., Swank W.T., 2003, Emery-based environmental systems assessment of a multi-propose temperate mixed-forest watershed of a the southern Appalachian Mountains, USA. Journal of Environmental Management, 69(2003), 213-227.

Footnotes to Table 2

ENVIRONMENTAL ENERGY SOURCES

REFERENCE

1 Sunlight:

Forest land area of Korea =	6.41E06ha	농림부, 2005
Albedo =	0.17	이도원, 2001
Insolation at ground =	4.49E09J/m ² /yr	기상청, 2003
Energy(J) =(area)(avg. insolation)(1-albedo)		
	$= (6.41E10m^2)(4.49E09J/m^2/yr)(1-0.17)$	
	= 2.39E20J/yr	

2 Wind

Forest land area =	6.41E10m ²	
Density of Air =	1.30E00kg/m ³	
Avg. annual wind velocity =	2.21m/sec	기상청, 2004
Geostrophic wind =	4.42m/sec	이필호, 1987
Drag Coefficient =	1.00E-03	Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
Energy(J) =(area)(air density)(drag coefficient)(velocity) ³		
	$= (6.41E10m^2)(1.3kg/m^3)(1.00E-3)(4.42m/sec)^3(3.15E07sec/yr)$	
	= 2.27E17J/yr	

3 Rain, chemical potential

Forest land area =	6.41E10m ²	
Rainfall =	1.91m/yr	기상청, 2006
Evapotrans rate =	1.14m/yr (est. as 60% of tot. rain)	민경덕, 1974
Gibbs free energy =	4.94E03J/kg	
Energy(J) =(area)(evapotrans)(Gibbs no.)		
	$= (6.41E10m^2)(1.14m/yr)(1,000kg/m^3)(4.94E03J/kg)$	
	= 3.62E17J/yr	

4 Rain, geopotential

Forest land area =	6.41E10m ²	
Rainfall =	1.91m/yr	기상청, 2004
Average Elevation =	255.94m	김남국, 2005
Mean Runoff =	1.11m/yr (est. as 58.2% of rainfall)	국립산림과학원, 2004
Runoff Rate =	0.42 (% , given as a decimal)	
Energy(J) =(area)(rainfall)(runoff rate)(avg. elevation)(gravity)		
	$= (6.41E10m^2)(1.91m/yr)(0.42)(1,000kg/m^3)(255.94m)(9.8m/sec^2)$	
	= 1.28E17J/yr	

5 Evapotranspiration

Forest land area =	6.41E10m ²	
Mean E-T =	548.33mm/yr	국립산림과학원, 2004
Gibbs free energy =	4.94E03J/kg	
Energy(J) =(area)(evapotranspiration)(Gibbs no.)		
	$= (6.41E10m^2)(548.33mm/yr)/(1,000mm/m)(1,000kg/m^3)(4.94E03J/kg)$	
	= 1.74E17J/yr	

6 Earth cycle

Forest land area =	6.41E10m ²	
Heat flow =	1.00E06J/m ² /yr	Odum, 1996
Energy(J) =(area)(Heat flow)		
	$= (6.41E10m^2)(1.00E06J/m^2/yr)$	
	= 6.41E16J/yr	

IMPORTED ENERGY SOURCES**7 Costs for forest recreation**

$$\begin{aligned} \text{Costs for forest recreation} &= (\text{Vistor number in forest})(\text{forest recreation costs}) \\ &= 1.42\text{E}12 \text{ won/yr} \end{aligned} \quad \text{임업연구원, 2003}$$

8 Visitors, length of stay

$$\begin{aligned} \text{no. of forest recreation visitors} &= 3.71\text{E}07 \text{ vis./yr} && \text{임업연구원, 2003} \\ \text{mean length of stay} &= 31.2 \text{ hr/vis.} && \text{임업연구원, 2003} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{no. of forest recreation visitors})(\text{mean length of stay}) \\ &= (3.71\text{E}07 \text{ vis./yr})(31.2 \text{ hr/vis.})(104 \text{ kcal/hr})(4,186 \text{ J/kcal}) \\ &= 5.04\text{E}14 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

9 G & S for forest management

$$\text{Expenditure} = 1.06\text{E}12 \text{ ₩} \quad \text{산림청, 2004}$$

INTERNAL PROCESSES**10 Net production of live biomass**

$$\begin{aligned} \text{Roots+wood+leaves} &= 7.21\text{E}04 \text{ kg/ha/yr} && \text{임업연구원, 2003} \\ \text{Forest land area} &= 6.41\text{E}06 \text{ ha} && \text{농림부, 2005} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{NPP})(\text{area}) \\ &= (7.21\text{E}04 \text{ kg/ha/yr})(6.41\text{E}06 \text{ ha})(1,000 \text{ g/kg})(3.5 \text{ kcal/g-dry wt})(4,186 \text{ J/kcal}) \\ &= 6.77\text{E}18 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

11 Wood Accumulation

$$\begin{aligned} \text{Net accumulation} &= 3.33\text{E}03 \text{ kg/ha/yr} && \text{산림청, 2005} \\ \text{Forest land area} &= 6.41\text{E}06 \text{ ha} && \text{농림부, 2005} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{net accum.})(\text{area}) \\ &= (3.33\text{E}03 \text{ kg/ha/yr})(6.41\text{E}06 \text{ ha})(1,000 \text{ g/kg})(3.5 \text{ kcal/g-dry wt})(4,186 \text{ J/kcal}) \\ &= 3.13\text{E}17 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

12 Litterfall

$$\begin{aligned} \text{Net Accumulation} &= 5.50\text{E}03 \text{ kg/ha/yr} && \text{산림청, 2006} \\ \text{Forest land area} &= 6.41\text{E}06 \text{ ha} && \text{농림부, 2005} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{Litterfall})(\text{area}) \\ &= (5.50\text{E}03 \text{ kg/ha/yr})(6.41\text{E}06 \text{ ha})(1,000 \text{ g/kg})(3.5 \text{ kcal/g-dry wt})(4,186 \text{ J/kcal}) \\ &= 5.16\text{E}17 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

13 Rock weathering

$$\text{Erosion rate(Sediment lost)} = 1.44\text{E}06 \text{ g/ha/yr} \quad \text{국립산림과학원, 2005}$$

14 Tree Diversity

$$\text{Tree Diversity} = 119 \text{ Species} \quad \text{산림청, 1999}$$

EXPORTS**15 Stream discharge**

$$\begin{aligned} \text{Forest land area} &= 6.41\text{E}10 \text{ m}^2 && \text{산림청, 2005} \\ \text{Runoff} &= 0.86 \text{ m/yr} && \text{국립산림과학원, 2004} \\ \text{Gibbs free energy} &= 4.94\text{E}03 \text{ J/kg} \\ \text{Chemical Energy(J)} &= (\text{area})(\text{runoff})(\text{Gibbs no.}) \\ &= (6.41\text{E}10 \text{ m}^2)(0.86 \text{ m/yr})(1,000 \text{ kg/m}^3)(4.94\text{E}03 \text{ J/kg}) \\ &= 2.72\text{E}17 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

16 Timber production

$$\begin{aligned} \text{Production of forest products} &= 1.47\text{E}06 \text{ m}^3/\text{yr} && \text{농림부, 2005} \\ \text{Energy(J)} &= (1.47\text{E}06 \text{ m}^3/\text{yr})(5.00\text{E}05 \text{ g/m}^3)(4.5 \text{ kcal/g})(4,186 \text{ J/kcal}) \\ &= 1.38\text{E}15 \text{ J/yr} \end{aligned}$$

17 Recreated People

$$\begin{aligned} \text{Recreated People} &= 5.04\text{E}14 \text{ J/yr} \\ \text{Same energy as visitor's length of stay above (#8)} \end{aligned}$$