

## 한강유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가 - 한강유역 및 한강하구 관리를 위한 정책제언 -

강대석<sup>†</sup>

부경대학교 환경시스템공학부 생태공학전공

### Emergy Evaluation Overview of the Natural Environment and Economy of the Han River basin in Korea

Daeseok Kang<sup>†</sup>

Division of Environmental System Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

#### 요 약

한강유역의 자연환경과 사회경제활동을 평가하고 유역의 환경 및 한강하구 관리와 관련한 정책시사점을 제시하기 위하여 에머지 평가를 수행하였다. 한강유역의 경제는 2005년에 연간  $5.19 \times 10^{23}$  sej/yr의 에머지를 사용하였다. 한강유역의 경제는 외부에머지원에 대한 의존도가 아주 높았으며, 유역 내부의 자연환경이 제공한 에머지는 전체 사용량의 15.6%에 불과해 사회경제활동의 자립도가 낮았다. 화폐로 나타낸 한강유역의 2005년 대외교역수지는 적자를 기록하였지만, 에머지로 나타낸 교역수지는 흑자를 나타냈다. 한편, 한강유역의 인구는 유역의 자연환경이 부양할 수 있는 수용력을 훨씬 초과하고 있는 것으로 나타났는데, 유역의 재생가능에머지가 부양할 수 있는 인구는 2005년 유역 인구의 1.8%에 불과하였다. 외부의 에머지가 지속적으로 유입하여 선진국 수준으로 발전할 경우를 가정한 경우에도 유역 인구의 14.3%에 지나지 않았다. 한강유역의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 영향은 아주 높아 환경부하비율이 54.8에 달했으며, 유역 경제의 지속가능성을 나타내는 에머지지속성지수 또한 0.02로 아주 낮게 나타났다. 종합적으로 한강유역의 사회경제활동은 현재의 상태에서는 지속가능하지 않은 것으로 평가되었다. 한강유역의 낮은 지속가능성은 유역의 자연환경뿐만 아니라 서해로 이어지는 중요한 전이생태계인 한강하구의 보전과 지속가능한 이용에도 악영향을 끼칠 수밖에 없다. 따라서 한강유역, 특히 수도권에 집중되어 있는 인구와 경제활동을 유역내의 다른 지역이나 유역 바깥의 다른 지역으로 분산시켜 유역 환경과 한강하구에 미치는 압력을 완화시킬 필요가 있다. 또한 한강유역의 수용력을 증가시킬 수 있도록 생태계 생산력을 회복하기 위한 적극적 생태계 복원정책을 추진할 필요가 있다. 이런 점에서 자연하구의 원형을 잘 유지하고 있으며, 생물종다양성과 생산력이 높은 한강하구의 보전과 지속가능한 이용을 위한 구체적인 조치가 시급히 시행될 필요가 있다.

**Abstract** – An emergy concept was used to evaluate the environment and economy of the Han River basin in Korea and to suggest policy perspectives for the sustainable utilization of its environment and associated estuarine ecosystem. The economy of the basin used  $5.19 \times 10^{23}$  sej/yr of emergy in 2005. The economy of the Han River basin was heavily dependent on outside emergy sources from foreign countries and other parts of Korea, with internal sources, renewable and nonrenewable, contributing only 15.6% to the total emergy use. The basin's trade balance in terms of emergy showed trade surplus, whereas there was a deficit in monetary terms. The population of the Han River basin was far greater than the carrying capacity calculated using the emergy flow, with renewable carrying capacity only at 1.8% of the basin's population and developed carrying capacity at 14.3%. The economy of the basin imposed a substantial stress on its environment, with an environmental loading ratio of 54.8. Overall, the economy of the Han River basin was not sustainable with an emergy sustainability of 0.02. These are reflected in lower quality of living expressed in the emergy term than the national average. Deconcentration of population and economic activities is needed to reduce environmental stress on the environment of the basin and its valuable estuarine ecosystem. Policies to restore ecosystem productivity of the basin are also

<sup>†</sup>Corresponding author: dskang@pknu.ac.kr

needed to ensure the sustainability of the basin's economic activities and the sustainable utilization of the Han River estuary. In this regard, it is urgently needed for the Korean government to implement sustainable management measures for the Han River estuary, a well-preserved, productive natural estuarine ecosystem in Korea.

**Keywords:** Emergy evaluation(에머지 평가), Han River basin(한강유역)

## 1. 서 론

한강유역은 유역면적(남한부 23,094.55 km<sup>2</sup>)이 국토 전체 면적에서 차지하는 비율이 23%에 불과하지만, 2005년 통계로 보면 남한 전체 인구의 40% 이상이 살고 있으며, 한강유역의 사회경제활동이 생산하는 지역내총생산은 전국 지역내총생산의 40%를 넘어 4대강 유역가운데 경제활동이 가장 집중된 곳이다(통계청[2007]). 최근 정부 차원에서 지역의 균형발전을 추구하기 위한 다양한 노력을 진행하고 있지만, 인구 및 경제활동의 수도권 집중은 당분간 지속될 것으로 전망된다. 필연적으로 이러한 집중은 산림, 하천, 호소 등 다양한 육상생태계에 대한 개발 수요를 지속적으로 유발하여 유역의 지속가능한 사회경제활동 기반을 훼손할 우려가 크다. 또한 한강유역에 집중된 사회경제활동으로 인해 육지에서 바다로 이어지는 중요한 연결고리인 한강하구생태계와 인근 연안습지에 대한 압력이 커질 수밖에 없다. 이러한 점에서 볼 때 한강유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 진단과 평가는 지속가능한 한강유역을 실현하기 위한 출발점이라고 할 수 있다.

생태적 관점에서 한강유역은 정치·군사적인 이유로 접근이 금지되어 대형 하구의 자연적 원형을 가장 잘 간직하고 있는 한강하구가 있다. 한강하구는 노랑부리백로, 저어새 등 국제적으로 보호가 필요한 철새의 서식지 및 월동지, 다양한 어종의 산란·서식지로서 중요한 기능을 담당하고 있다(이 등[2005]). 한강하구는 수도권에 집중된 경제활동으로 인해 “환경오염부하가 큰 유역권”에 속해 이미 유역의 사회경제활동으로 인한 압력에 노출되어 있는데도, 남북경계교류 활성화, 접경지역지원법 등에 힘입어 DMZ 평화시 개발, 임진강유역 공동개발, 파주 통일동산 조성사업과 같은 다양한 개발 사업이 추진되고 있거나 계획단계에 있다(이 등[2005]). 따라서 국내 유일의 대형 자연하구라고 할 수 있는 한강하구 생태계의 관리라는 측면에서도 한강하구에 직접적인 영향을 미치는 한강유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 평가와 이를 토대로 한 유역관리 방향을 제시하는 것이 필요하다.

에머지(emergy) 개념은 자연환경이 우리에게 제공하는 서비스와 사회경제활동을 통해 생산된 재화와 용역을 에너지라는 공통화폐(common currency)를 이용하여 평가하고자 하는 시도이다(Odum[1996]). 이렇게 함으로써 성격이 서로 다른 재화와 용역을 동일한 기준에서 비교·평가할 수 있게 된다. 이에 따라 Farber et al.[2002]은 에머지 개념을 에너지가치이론(energy theory of value)으로 구분하였다. Odum[1996]은 에머지를 “한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지”로 정의하였다. 즉, 에머지 개념은 평가

하고자 하는 재화와 용역에 현재 남아 있는 에너지뿐만 아니라 이러한 재화와 용역을 생산하기 위해 투입되었던 모든 에너지를 고려한다. 에머지 평가법에서 서로 다른 자원들을 비교하기 위하여 기준으로 삼은 에너지는 태양에너지이므로 에머지 단위로 solar emjoules(sej)을 사용한다.

에머지 개념은 에너지의 종류가 다르면 에너지 단위로 나타낸 양이 동일하더라도 일을 할 수 있는 능력이 다르다고 주장한다(Odum[1996]). 즉, 태양에너지 1J과 사람의 에너지 1J은 수행할 수 있는 일의 성격과 질이 다르다. 따라서 서로 다른 에너지를 비교하기 위해서는 우선 비교의 기준으로 사용할 에너지를 결정하고 각 에너지의 양을 기준에너지로 환산해야 한다. 이러한 이유에서 앞에서 제시한 에머지 개념이 “한 종류의 이용가능한 에너지”라는 표현을 포함하고 있다. 한 종류의 에너지를 기준이 되는 에너지로 변환하기 위해서는 변환대상 에너지의 양과 기준에너지 환산인자를 곱하면 되는데, 에머지 개념에서는 이러한 환산인자(즉, 일을 할 수 있는 능력의 차이를 나타내는 인자)를 에너지변환도(transformity)라고 한다. 에너지변환도는 한 가지 자원이 가지고 있는 에머지량을 이 자원의 에너지량으로 나눈 값이다(Odum[1996]). 태양에너지 변환도(solar transformity)는 각 에너지를 현재 에머지 개념에서 기준으로 사용하고 있는 태양에너지로 환산하기 위한 인자로, 단위는 solar emjoules per joule(sej/J)을 사용한다.

에머지 개념은 그동안 자연환경과 사회경제활동을 통합적으로 이해하고, 자연환경 및 사회경제활동의 관리와 관련된 정책시사점을 제시하는데 활용되었다(Odum[1996]; Brown[2000]; Brown et al.[2003, 2005]). 우리나라에서는 Lee and Odum[1994]의 연구 이래 국가 및 지역(최[2003]), 도시(환경부[1996]; 부산광역시[1998]; 손[1999]; Kang[2001a]), 수산업 및 어장환경용량(손 등[1996]; 엄 등[1996]), 도서생태계 수용력(해양수산부[2005]), 생태계 가치(Kang[2001b]; 강과 남[2003]; 이 등[2001, 2005]), 대규모 개발사업(이[2001]; Kang and Park[2002]), 환경정책(김[2000]), 제조업 환경친화성(제[2004]), 아파트 건설(임[2004]), 하천유역(김[2000]) 등 다양한 시스템을 대상으로 에머지 개념을 이용하여 자연환경과 사회경제활동을 평가하였다.

그러나 대규모 하천유역에 대해 에머지 평가를 수행하고, 유역의 환경과 사회경제활동을 관리하기 위한 정책시사점을 제공한 연구는 많지 않다. 외국의 경우에는 아미존 강 유역(Odum et al.[1986]), 미시시피 강 유역(Odum et al.[1987]), 미국 아칸소 주 Cache River 유역(Odum et al.[1998]) 등의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가가 수행되었다. 그러나 이들 연구는 유역의 환경관리를 위한 정책 시사점을 구체적으로 제시하지 못하였다.

우리나라의 경우 낙동강 유역에 대해 에머지 평가 및 시뮬레이션을 통해 낙동강 유역의 지속가능성을 평가한 김[2000]의 연구가 하천유역을 대상으로 한 유일한 에머지 평가 연구라고 할 수 있다. 이 연구는 낙동강 유역의 사회경제활동이 환경에 미치는 압력이 크고, 사회경제활동의 지속가능성이 낮은 것으로 평가하였으며, 인구 수용력은 낙동강 유역 전체 인구의 30% 미만으로 산정하였다. 또한 김[2000]은 에머지 시뮬레이션을 통해 낙동강 유역의 지속가능한 이용을 위한 대안을 검토하였다. 대규모 하천 유역 전체를 대상으로 에머지 평가를 수행한 경우는 아니지만, 이 등[2001, 2005]은 한강, 영산강, 섬진강 하구역을 대상으로 에머지 평가를 수행하고, 하구환경관리와 관련한 정책시사점을 제시하였다. 그러나 한강유역을 대상으로 에머지 평가를 수행하고, 유역 및 하구를 관리하기 위한 정책시사점을 제시한 연구는 없다.

따라서 이 연구에서는 자연과 인간 사회를 통합된 관점(holistic approach)에서 바라보는 에머지 개념을 이용하여 한강유역의 자연환경과 사회경제활동을 평가하였다. 또한 에머지 평가를 이용하여 한강유역의 지속가능성을 제고하고, 국내 유일의 대규모 자연형 하구라고 할 수 있는 한강하구 관리와 관련한 정책시사점을 제시하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구대상

한강은 태백산맥에서 시작하여 강원도, 충청북도, 경기도, 서울특별시를 거쳐 서해로 유입하며, 유량기준으로 남한에서 규모가 가장 크다(한강유역환경청[2007]). 유로연장이 514.8 km인 한강의 유역면적은 26,266.62 km<sup>2</sup>이며, 이 가운데 남한에 속하는 면적은 23,094.55 km<sup>2</sup>이다(한강유역환경청[2007]; 국가수자원관리종합정보시스템[2007]). 남한에 속하는 한강유역에는 강원도, 경기도, 경상북도, 서울특별시, 인천광역시, 충청북도가 포함되어 있는데, 강원도가 전체 남한부 면적의 54.2%(12,519.54 km<sup>2</sup>)로 가장 넓은 면적을 차지하고 있으며, 경기도 23.8%, 충청북도 17.5%의 순이다. 함경남도 덕원군 마식령에서 발원하는 임진강은 강원도, 황해도, 경기도를 거쳐 경기도 파주에서 한강과 만나 서해로 유입한다. 임진강의 유로연장은 244.0 km, 유역면적이 8,149.11 km<sup>2</sup>(남한부 면적 2,591.03 km<sup>2</sup>)이다(국가수자원관리종합정보시스템[2007]).

한강유역과 임진강 유역을 포함하는 한강대권역의 유역면적은 34,415.73 km<sup>2</sup>로, 이 가운데 25,820.64 km<sup>2</sup>가 남한에 있다. 이 연구에서는 한강하구 생태계에 미치는 영향을 고려하여 한강유역과 임진강유역을 포괄하는 한강 대권역을 대상으로 에머지 평가를 수행하였으며, 이 가운데 에머지 평가를 위한 자료의 수집이 어려운 북한 쪽 면적을 제외한 25,820.64 km<sup>2</sup>의 면적을 연구의 공간적 경계로 설정하였다(Fig. 1).

### 2.2 에머지 평가법

에머지 평가법은 크게 평가대상 시스템의 네트워크 구조를 파악하기 위한 평가모델의 작성, 이 모델을 이용한 에머지 평가표

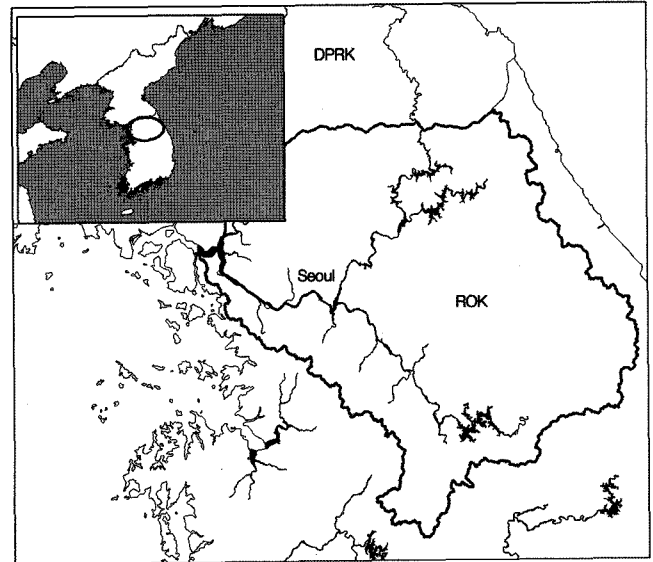


Fig. 1. System boundary of the emergy evaluation for the Han River basin in Korea.

작성, 에머지 평가표를 이용하여 시스템의 특성을 파악하기 위한 에머지 지수의 계산 등 세 가지 과정으로 이루어져 있다.

#### 2.2.1 에머지 평가모델

한강유역의 자연환경과 사회경제활동의 관계를 파악하기 위한 모델은 미국의 생태학자인 Howard T. Odum이 개발한 에너지시스템언어(energy systems language)를 이용하여 작성하였다(Odum[1983, 1994]). 에너지시스템언어는 평가 대상 시스템에 영향을 미치는 외부요소 및 시스템을 구성하고 있는 내부요소들과 이들 사이의 유기적 연결 관계를 나타내기 위하여 특별한 의미를 부여한 기호들을 이용한다. 에너지시스템언어를 이용하여 작성한 에머지 평가모델을 에너지시스템 다이어그램이라고 하는데, 1) 평가단계 설정, 2) 평가대상 시스템에 영향을 미치는 자연환경 및 사회경제요인 등 외부요소 파악, 3) 평가대상 시스템의 내부요소 파악, 4) 이들 요소사이의 연결 관계 파악, 5) 에너지시스템언어의 규칙에 따른 외부요소와 내부요소의 적절한 배치 및 연결의 다섯 단계를 거쳐 작성한다. Fig. 2는 이 연구의 대상인 한강유역의 에너지시스템 다이어그램으로, 에머지 평가를 위한 시스템 경계는 임진강 유역을 포함하는 한강 대권역에서 휴전선 이북의 북한 지역을 제외한 25,820.64 km<sup>2</sup>의 면적으로 설정하였다(Fig. 1참조).

#### 2.2.2 에머지 평가표

한강유역의 에너지시스템다이어그램을 이용하여 유역의 에머지 평가를 수행하기 위한 에머지 평가표를 작성하였다. 에머지 평가표의 일반적인 형태는 Table 1과 같다.

에머지 평가표의 첫 번째 세로줄은 각 항목의 에머지 평가에 필요한 자료 출처와 계산과정을 제시하기 위한 주석번호이며, 두 번째 세로줄은 각 항목의 이름을 나타낸다. 평가표의 세 번째 세로줄에는 각 항목의 에머지량을 계산하기 위한 원 자료 또는 이를 이용하여 계산한 값을 적는데, 이들 자료는 단위시간당 에너지, 물

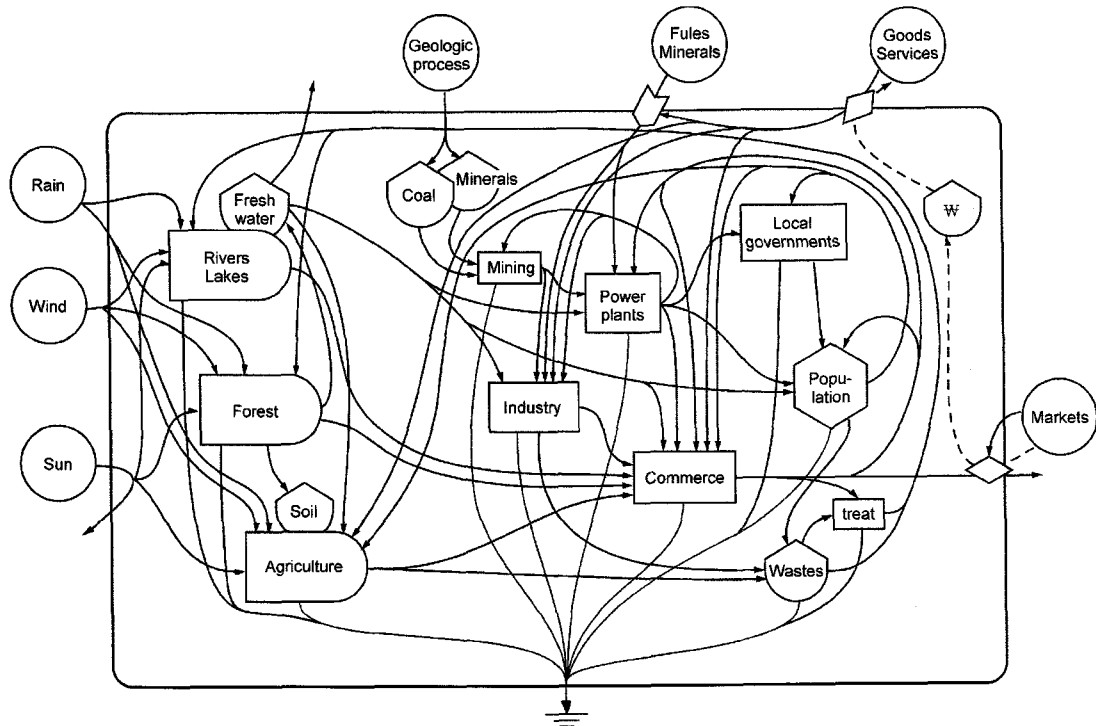


Fig. 2. Energy systems diagram for the Han River Basin in Korea.

Table 1. Tabular format for an emergy evaluation.

No.	Item	Raw data	Solar transformity	Solar emergy	Emvalue
1	Sun	J/yr, g/yr or currency unit/yr	sej/J, sej/g, or sej/currency unit	Raw data × Solar transformity	Solar emergy/ emergy-money ratio

질 또는 화폐의 양으로 표시한다. 에머지 평가에서는 보통 연간 자료를 이용한다. 네 번째 세로줄은 각 평가항목의 태양에너지변환도로, 기존 연구의 자료를 이용하거나 필요할 경우 직접 계산하여 이용한다. 다섯 번째 세로줄은 세 번째 세로줄의 원 자료와 네 번째 세로줄의 태양에너지변환도를 곱하여 얻은 태양에머지량이다. 여섯 번째 세로줄의 Emvalue는 다섯 번째 세로줄의 태양에머지량을 에머지-화폐비율(emergy-money ratio)로 나누어 각 항목의 에머지량을 화폐단위로 나타낸 값이다. 에머지-화폐비율은 평가대상 시스템이 일년 동안 사용한 에머지량을 연간 총생산(예를 들어, 국내총생산 또는 지역내총생산)으로 나누어 구한다.

### 2.2.3 에머지 지수

에머지 평가표에서 계산한 각 항목의 에머지량을 이용하여 한강유역의 자연환경 및 사회경제 특성을 파악하기 위한 에머지 지수를 계산하였다. 단위면적당 에머지사용량(emergy use per unit area)은 한 지역이나 국가의 경제가 일 년 동안 사용한 에머지량을 지역 또는 국가의 면적으로 나눈 값이다. 이는 평가대상 지역 또는 국가에서 일어나고 있는 경제활동의 공간 집중도를 나타내는데, 단위면적당 에머지사용량이 많을수록 경제활동의 강도가 높다. 일인당 에머지사용량(emergy use per person)은 평가대상 시스템이 일 년 동안 사용한 에머지량을 인구수로 나누어 구한 값으로, 일인당 국민총소득과 유사하게 한 지역이나 국가의 평균적

생활수준을 나타낸다.

평가대상 지역 또는 국가의 자연환경과 사회경제활동이 부양할 수 있는 최대 인구수를 인구수용력(population carrying capacity)이라고 한다. 재생가능에머지 기반 에머지수용력(renewable carrying capacity)은 평가대상 시스템이 일 년 동안 사용한 총에머지량에서 재생가능에너지원이 공급한 비율을 해당 지역 또는 국가의 인구수로 곱하여 구한다. 선진국 수준의 경제발전을 가정할 경우의 인구수용력(developed carrying capacity)은, 선진국이 일 년 동안 사용하는 에머지 가운데 외부구입 에머지량과 내부공급 에머지량 사이의 비율이 평균적으로 8정도이기 때문에 재생가능에머지 기반 인구수용력의 8배로 계산한다(Odum[1996]).

에머지화폐비율(emergy-money ratio)은 평가대상 지역 또는 국가의 경제가 일 년 동안 사용한 에머지량을 그 해의 총생산(국내총생산이나 지역내총생산)으로 나누어 구하는데, 평가대상 경제의 화폐구매력을 나타낸다. 에머지화폐비율이 높을수록 같은 양의 화폐로 구매할 수 있는 실질적인 부(real wealth)가 증가한다(Odum[1996]). 에머지산출비율(emergy yield ratio)은 평가대상 지역 또는 국가 경제의 효율성을 나타내는데, 경제활동을 통해 생산된 최종 생산물의 에머지량을 생산과정에 투입한 외부구입 에머지량으로 나누어 구한다. 외부구입 에머지가 차지하는 비율이 높을수록 에머지산출비율은 낮게 나타난다.

평가대상 지역 또는 국가의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 부정적인 영향의 정도는 환경부하비율(environmental loading ratio)을 이용하여 나타낸다. 환경부하비율은 평가대상 시스템 내부에서 공급한 재생불가능 에머지량과 외부 구입 에머지량의 합을 재생가능 에머지량으로 나누어 구한다. 에머지산출비율을 환경부하비율로 나눈 값을 에머지지속성지수(emergy sustainability index)라고 하는데, 평가대상 지역 또는 국가의 사회경제활동이 얼마나 지속가능한 지를 나타낸다.

에머지 지수를 계산하기 위해서는 평가대상 시스템이 사용하는 유형별 에머지량과 총에머지량을 계산하여야 하는데, 이 과정에서 가장 주의해야 할 점은 각 항목의 에머지량을 더하면서 나타낼 수 있는 이중 계산(double counting) 문제이다(Odum[1996]). 예를 들어 Fig. 2의 한강유역 에너지시스템 다이어그램에 포함된 바람과 비는 태양에너지로 인해 발생하는 기상현상으로, 태양, 바람, 비의 에머지량을 모두 더할 경우 태양에너지를 중복 계산하게 된다. 에머지 평가법은 이러한 중복계산을 피하기 위한 몇 가지 방법을 제

시하고 있는데, 일반적으로 에머지량이 가장 큰 에너지만 에머지 총량 계산에 포함하도록 한다.

### 2.3 에머지 평가 자료

한강유역의 에머지 평가를 수행하기 위해서는 유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 자료가 필요하다. 관련 자료는 기상연보, 국가 및 유역 지방자치단체의 통계자료, 한강유역 자연환경 조사보고서 및 환경부 수질측정망 결과 등을 이용하여 수집하였다. 에머지 평가 기준 연도는 2005년으로 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 한강유역의 에머지 평가표

Fig. 2의 에머지 평가 모델을 이용하여 작성한 한강유역의 에머지 평가표는 Table 2에 제시하였다. 한강유역으로 유입하는 에머지는 크게 재생가능에머지(태양, 바람, 비 등), 내부의 재생불가능

Table 2. Emergy flows for the Han River basin in 2005.

Item	Raw Units	Solar Transformity (sej/unit)	Reference for transformity	Solar Emergy (sej/yr)	Emvalue (EmW/yr)
<b>Renewable resources</b>					
Sunlight	$9.18 \times 10^{19}$ J/yr	1		$9.18 \times 10^{19}$	$2.70 \times 10^{10}$
Wind, kinetic energy	$2.22 \times 10^{16}$ J/yr	2,513	A	$5.58 \times 10^{19}$	$1.64 \times 10^{10}$
Rain, runoff geopotential	$8.31 \times 10^{16}$ J/yr	$4.66 \times 10^4$	A	$3.87 \times 10^{21}$	$1.14 \times 10^{12}$
Rain, chemical	$1.78 \times 10^{17}$ J/yr	$3.06 \times 10^4$	A	$5.44 \times 10^{21}$	$1.60 \times 10^{12}$
Earth cycle	$2.58 \times 10^{16}$ J/yr	$5.76 \times 10^4$	A	$1.49 \times 10^{21}$	$4.38 \times 10^{11}$
<b>Renewable production within the basin</b>					
Agricultural production	$3.25 \times 10^{16}$ J/yr	$3.36 \times 10^5$	B	$1.09 \times 10^{22}$	$3.21 \times 10^{12}$
Livestock production	$1.36 \times 10^{16}$ J/yr	$3.36 \times 10^6$	B	$4.56 \times 10^{22}$	$1.34 \times 10^{13}$
Forestry production	$8.67 \times 10^{15}$ J/yr	$5.82 \times 10^4$	B	$5.05 \times 10^{20}$	$1.49 \times 10^{11}$
Hydroelectricity	$9.73 \times 10^{15}$ J/yr	$2.06 \times 10^5$	A	$2.00 \times 10^{21}$	$5.90 \times 10^{11}$
<b>Indigenous nonrenewable resources</b>					
Loss of topsoil	$4.29 \times 10^{15}$ J/yr	$1.24 \times 10^5$	A	$5.32 \times 10^{20}$	$1.57 \times 10^{11}$
Coal	$3.36 \times 10^{15}$ J/yr	$6.71 \times 10^4$	A	$2.26 \times 10^{20}$	$6.64 \times 10^{10}$
Metallic minerals	$4.69 \times 10^{11}$ g	$1.68 \times 10^9$	A	$7.86 \times 10^{20}$	$2.31 \times 10^{11}$
Nonmetallic minerals	$4.18 \times 10^{13}$ g	$1.68 \times 10^9$	A	$7.01 \times 10^{22}$	$2.06 \times 10^{13}$
<b>Imports</b>					
Coal	$7.30 \times 10^{16}$ J/yr	$6.71 \times 10^4$	A	$4.90 \times 10^{21}$	$1.44 \times 10^{12}$
Petroleum products	$8.79 \times 10^{17}$ J/yr	$1.11 \times 10^5$	A	$9.73 \times 10^{22}$	$2.86 \times 10^{13}$
Electricity	$2.19 \times 10^{17}$ J/yr	$2.91 \times 10^5$	A	$6.36 \times 10^{22}$	$1.87 \times 10^{13}$
Natural gas	$5.99 \times 10^{17}$ J/yr	$8.05 \times 10^4$	A	$4.82 \times 10^{22}$	$1.42 \times 10^{13}$
<b>Goods &amp; Services</b>					
Other countries	$8.89 \times 10^{10}$ \$/yr	$1.31 \times 10^{12}$	C	$1.16 \times 10^{23}$	$3.42 \times 10^{13}$
Other parts of Korea	$3.18 \times 10^{13}$ ₩/yr	$3.40 \times 10^9$	C	$1.08 \times 10^{23}$	$3.18 \times 10^{13}$
<b>Exports</b>					
<b>Goods &amp; Services</b>					
Other countries	$6.28 \times 10^{10}$ \$/yr	$1.56 \times 10^{12}$	C	$9.76 \times 10^{22}$	$2.87 \times 10^{13}$
Other parts of Korea	$2.52 \times 10^{13}$ ₩/yr	$1.54 \times 10^9$	C	$3.87 \times 10^{22}$	$1.14 \times 10^{13}$

References for transformities: A) Campbell *et al.*[2005]; B) Brown and MaClanahan[1996], adjusted for the global emergy base of  $15.83 \times 10^{24}$  sej/yr; C) this study. World emergy-money ratio was used for imported goods & services from other countries, national emergy-money ratio for imported goods & services from other parts of Korea, and basin emergy-money ratio for exported goods & services.

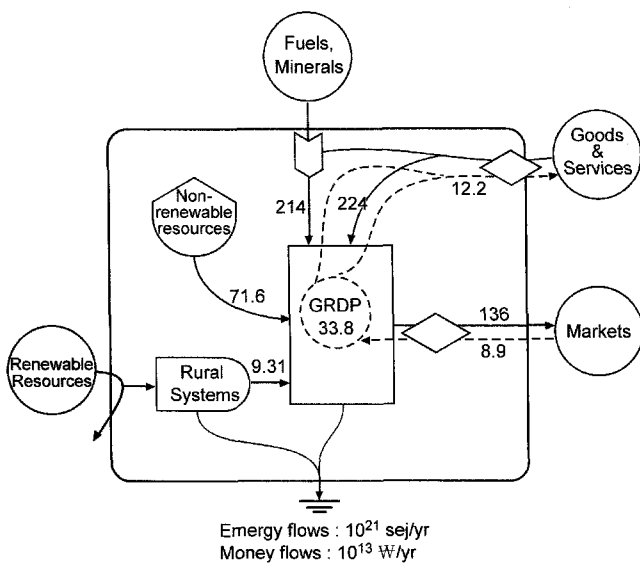


Fig. 3. Summary diagram of energy flows for the Han River Basin in 2005. Dashed lines represent money flows. GRDP = Gross Regional Domestic Product.

에머지(석탄, 광물 등), 외부구입에머지(외국 및 국내의 다른 지역)로 구분할 수 있다. 재생가능에머지 가운데 강우의 화학에너지가  $5.44 \times 10^{21}$  sej/yr로 가장 많은 에머지를 제공하였다. 이를 거시경제적 가치로 환산하면 약 1조 6,000억 EmW에 이르는데, 환경자원의 기여가치를 화폐로 평가하는 경제학적 방법에서는 포함되지 않는 가치이다. 한강유역의 보유자원이 공급한 재생가능에머지는 비금속광물이 98%로 대부분을 차지하였다. 외국 및 우리나라 다른 지역에서 수입한 에머지에서는 재화와 용역이 가장 큰 부분을 차지하였다. 한강유역으로 2005년 일 년 동안 유입한 총에머지량은  $5.19 \times 10^{23}$  sej/yr로 나타났다. 이것이 일반적인 경제지표로 나타나는 한강유역의 경제성과를 가능하게 한 토대라고 할 수 있다. 재생가능에머지의 경우 연구방법에서 언급한 바와 같이 중복계산을 피하기 위하여 총에머지 유입량 계산에 강우에너지만 포함하였다. Table 2의 에머지 평가표를 Fig. 3에 요약하여 나타내었다.

한강유역의 자연환경이 공급한 에머지(재생가능에머지와 재생불가능에머지의 합)가 차지하는 비중은 유역 사회경제활동의 자립도를 나타내는데, 한강유역의 자립도는 15.6%로 낮아 외부에서 유입하는 자원에 크게 의존하였다. 우리나라 전체 사회경제활동의 자립도는 한강유역보다 낮은 9.0%에 불과하였다. 이는 원료자원의 수입과 국제교역 등 대외의존도가 높은 우리나라 경제의 특성을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 외부 구입 에머지는 한강유역의 사회경제활동이 일 년 동안 사용한 총에머지량의 84.4%로 대부분을 차지하였다. 이는 Fig. 4에 제시한 한강유역의 emergy signature에 뚜렷하게 나타나는데, emergy signature는 한 지역으로 유입하는 에머지원의 집합을 의미한다. 이미 위에서 설명한 바와 같이 Fig. 4의 오른쪽에 나타난 외부구입 에머지가 한강유역의 사회경제활동을 가능하게 하는 주요 요소라는 것을 알 수 있다.

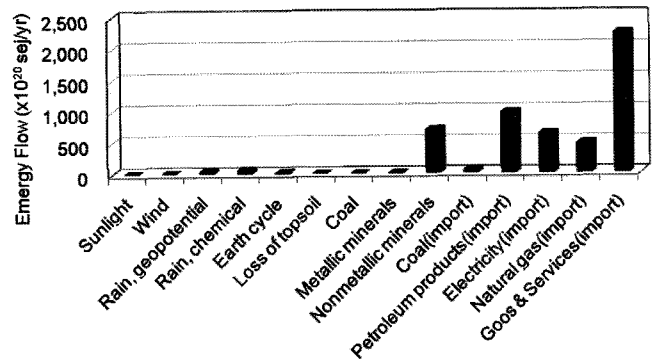


Fig. 4. Emergy signature for the Han River Basin in 2005.

한강유역의 자연환경이 유역의 경제에 기여하는 가치는 재생가능에머지와 재생불가능에머지의 기여가치(Table 2의 Emvalue)를 더하여 나타낼 수 있는데, 연간 약 23조 8,032억 EmW으로 나타났다. 한강유역으로 일 년 동안 유입한 총에머지(재생가능에머지+재생불가능에머지+외부 구입 에머지)가 지역경제에 기여한 가치는 약 153조 EmW에 이르렀다.

화폐로 나타낸 한강유역 경제의 2005년 교역수지는 수입에 지출한 돈이 수출로 벌어들인 돈보다 많아 적자를 기록하였다(Fig. 3). 그러나 한강유역으로 유입한 에머지에서 유역 바깥으로 빠져나간 에머지의 차이로 계산되는 에머지 교역수지는 약 3.2배의 흑자를 기록하였다(Fig. 3). 우리나라 경제의 2005년 교역수지는 화폐로 나타낸 경우와 에머지로 나타낸 경우 모두 흑자를 기록하였다. 한강유역과 우리나라 경제를 Brown and McClanahan[1996]의 분류 체계에 따라 구분하면 유입에머지가 유출에머지보다 크기 때문에 소비자 유역 또는 국가(consumer basin or nation)에 해당한다.

### 3.2 한강유역의 에머지 지수

Table 2의 에머지 평가표와 Fig. 3의 에머지 평가 요약 결과를 이용하여 Table 3에서 한강유역의 자연환경과 사회경제활동의 특성을 파악하기 위한 에머지 지수를 계산하였다. 한강유역에서 이루어지는 사회경제활동의 공간적 집중 정도를 나타내는 단위면적당 에머지사용량은  $2.01 \times 10^{13}$  sej/m<sup>2</sup>/yr으로, 우리나라 전체의 단위면적당 에머지사용량( $2.76 \times 10^{13}$  sej/m<sup>2</sup>/yr)보다 낮았다. 이는 한강유역이 우리나라 다른 지역에 비해 경제활동의 집중도가 평균적으로 더 낮다는 것을 의미한다. 우리나라 지역내총생산의 40% 이상을 담당하는 한강유역의 경제규모를 고려할 때, 이러한 결과는 한강유역 내에서도 경제활동의 상당한 부분이 제한된 지역, 즉 수도권에서 일어나고 있다는 것을 의미한다.

한강유역에 거주하는 사람들의 생활수준을 나타내는 일인당 에머지사용량은  $2.54 \times 10^{16}$  sej/person/yr로 전국 평균의 44%에 불과하였다. 이는 한강유역의 수도권에 대한 경제 집중과 동반하여 일어나고 있는 인구집중의 결과로 판단된다.

현재의 생활수준(즉, 일인당 에머지사용량)을 유지할 경우 한강유역의 재생가능에머지(태양, 바람, 강우 등)가 부양할 수 있는 인

**Table 3.** Emery indices for the Han River Basin in 2005.

Emery index	Korea	Han River Basin
Fraction of emery used derived from home sources	0.090	0.156
Fraction used, locally renewable	0.032	0.018
Fraction of emery used purchased (imports)	0.910	0.844
Ratio of imports to exports	17.14	3.22
Use per unit area (sej/m <sup>2</sup> /yr)	2.76×10 <sup>13</sup>	2.01×10 <sup>13</sup>
Use per person (sej/person/yr)	5.83×10 <sup>16</sup>	2.54×10 <sup>16</sup>
Renewable carrying capacity at present living standard (persons)	1,504,000	367,000
Developed carrying capacity at present living standard (persons)	12,034,000	2,937,000
Emery-money ratio (sej/₩)	3.40×10 <sup>9</sup>	1.54×10 <sup>9</sup>
Environmental loading ratio (ELR)	30.43	54.78
Emery yield ratio (EYR)	1.10	1.18
Emery sustainability index (ESI)	0.036	0.022

구수는 약 367,000명에 불과한 것으로 나타났다. 이는 2005년 한강유역 인구의 1.8%에 불과한 인구인데, 현재 한강유역에서 이루어지고 있는 사회경제활동의 강도가 유역의 자연환경이 유지할 수 있는 수준을 훨씬 초과하고 있음을 나타낸다. 현재의 에머지 소비 수준(즉, 생활수준)에서 선진국 수준으로 발전할 경우의 인구수용력은 약 294만 명(2005년 한강유역 인구의 14.3%)으로 나타났는데, 외부에서 구입한 에머지를 이용하여도 한강유역의 현재 인구는 이미 자연환경이 수용할 수 있는 한계를 초과하였다. 한편, 우리나라 전체의 재생가능에머지 기반 인구수용력은 약 150만명(전국 인구의 3.2%), 선진국수준 경제발전 가정 인구수용력은 약 1,203만명(전국 인구의 25.5%)으로 나타났다.

한강유역 경제의 화폐구매력을 나타내는 에머지화폐비율은  $1.54 \times 10^9$  sej/₩으로, 우리나라 전체 경제 에머지화폐비율( $3.40 \times 10^9$  sej/₩)의 45%에 불과하였다. 따라서 같은 양의 화폐로 구매할 수 있는 에머지량이 더 적기 때문에 한강유역의 투자 매력은 전국 평균보다 낮다고 할 수 있다. 다시 말하면, 동일한 양의 에머지를 생산하는데 한강유역이 다른 지역보다 더 많은 경제적 비용을 지출한다는 것을 의미한다. 또한 이는 동일한 생활수준(일인당 에머지 사용량)을 유지하기 위해서는 한강유역에 거주하는 사람들이 평균적으로 우리나라의 다른 지역에 거주하는 사람들보다 더 많은 경제적 지출을 해야 한다는 것을 나타내기도 한다.

한강유역의 경제가 일 년 동안 사용한 총에머지량과 외부구입 에머지 사이의 비율인 에머지산출비율은 1.18로 나타났다. 이는 우리나라 전체 경제의 에머지산출비율(1.10)보다 약간 높은 값으로 경제의 효율성이 전국 평균보다 조금 더 높다는 것을 의미한다.

한강유역의 사회경제활동이 유역의 자연환경에 미치는 압력을 나타내는 환경부하비율은 54.8로 아주 높게 나타났다. Brown and Ulgiati[1997]에 따르면 환경부하비율이 10보다 클 경우 환경에 미치는 영향이 큰 시스템에 해당하는데, 한강유역은 이 기준을 5.5배 정도 초과하고 있어 유역의 사회경제활동이 자연환경에 아주 큰 압력을 가하고 있음을 알 수 있다. 한강유역의 단위면적당 에머지 사용량에서 언급한 바와 같이 유역의 사회경제활동이 수도권에 집중되어 있기 때문에, 한강유역 가운데 수도권에 속하는 지역의 환

경부하비율은 더 높게 나타날 가능성이 있다. 한강유역의 환경부하비율은 우리나라 전체의 환경부하비율인 30.4보다 약 1.8배 높은데, 전체 국토면적의 23%에 불과하지만 국가 경제활동의 중심으로 기능하는 한강유역의 현 상태를 반영하는 것으로 판단된다.

한강유역에서 이루어지고 있는 사회경제활동의 지속성을 평가하는 에머지지속성지수는 0.022에 불과하여 한강유역의 사회경제활동은 지속가능하지 않은 것으로 나타났다. Brown and Ulgiati [1997]는 에머지지속성지수가 1보다 작을 경우 선진국형 소비경제로 구분하고, 지속가능하지 않은 경제로 판단하였다. 한강유역의 에머지지속성지수는 우리나라 전체 경제의 에머지지속가능성지수(0.032)보다 약간 낮았다.

### 3.3 다른 유역 연구와 비교

한강유역의 자연환경과 사회경제활동의 특성을 하천유역에 대해 에머지 평가를 수행한 다른 연구결과와 Table 4에서 비교하였다. 유역의 자연환경이 제공하는 재생가능에머지는 아마존 강 유역을 제외하고는 10% 이하로 나타났는데, 한강유역이 가장 낮았다. 유역의 자연환경이 제공한 총에머지량(재생가능에머지와 재생불가능에머지의 합)이 유역전체의 에머지사용량에서 차지하는 비율로 나타낼 수 있는 유역 사회경제활동의 자립도는 낙동강유역이 가장 낮았으며, 미시시피 강 유역, 아마존 강 유역, Cache River 유역 등 유역면적이 넓고 자원이 풍부한 지역의 자립도는 50% 이상이었다. 한강유역의 경우 내부의 재생불가능에머지 공급량이 낙동강유역보다 많아 유역 사회경제활동의 자립도가 더 높게 나타났다.

유역 사회경제활동의 효율성을 나타내는 에머지산출비율은 아마존 강 유역을 제외하고는 모두 2 미만의 값을 보였다. 이는 아직 미국이나 우리나라의 하천유역에 비해 개발이 상대적으로 덜 이루어진 아마존강유역의 1980년대 상황을 반영하는 것으로 보인다.

유역의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 압력은 한강유역이 54.78로 가장 높았으며, 미시시피 강 유역과 아마존 강 유역이 1 미만의 값을 보였다. Brown and Ulgiati[1997]에 따르면 미시시피 강 유역과 아마존 강 유역은 유역의 경제활동이 환경에 미치는 영향이 적은 시스템이다. 한강유역의 환경부하비율은 이들 유역보다

**Table 4.** Comparison of emergy indices for the Han River Basin with emergy evaluation results for other river basins.

Emergy index	Han River Basin	Nakdong River Basin	Mississippi River Basin	Amazon River Basin	Cache River Basin
Fraction emergy use, locally renewable	0.02	0.03	0.07	0.66	0.10
Fraction emergy use, home sources	0.16	0.06	0.60	0.99	0.48
Emergy yield ratio	1.18	1.07	0.62	204.40	1.93
Environmental loading ratio	54.78	28.52	0.51	0.51	9.15
Emergy sustainability index	0.02	0.04	1.22	400.78	0.21

Note: Data for Nakdong River Basin from Kim[2000], Mississippi River Basin from Odum *et al.*[1987], Amazon River Basin from Odum *et al.*[1986], and Cache River Basin from Odum *et al.*[1998]. Emergy yield ratio, environmental loading ratio, and emergy sustainability index for Mississippi River basin, Amazon River basin, and Cache River basin were calculated using data in the reference.

107배나 높아 한강유역의 환경이 받는 압력이 얼마나 큰 지 알 수 있다. 전체적으로 유역의 자연환경이 제공하는 재생가능에머지가 차지하는 비율이 낮을수록 환경부하비율이 낮게 나타났다.

비록 1980년대에 이루어진 연구이기는 하지만 아마존 강 유역의 에머지지속성지수가 400정도로 나타나 아직 개발이 많이 이루어진 않은 상태에서 유역의 자연환경이 공급하는 자원과 에너지를 토대로 경제활동이 일어나고 있던 아마존 강 유역의 상태를 나타내고 있는 것으로 판단된다. Brown and Ulgiati[1997]의 기준으로 볼 때 아마존 강 유역은 지속가능한 시스템이라고 할 수 있다. 그러나 다른 하천유역의 경우 에머지지속성지수가 1보다 적거나 1에 가까워 유역의 사회경제활동이 지속가능하지 않은 것으로 나타났다. 미국의 미시시피 강 유역이나 Cache River 유역에 비해 우리나라 한강유역과 낙동강유역의 지속성은 훨씬 더 낮았다. 전체적으로 유역 내부에서 공급하는 에머지(재생가능에머지+재생불가능에머지)의 비율이 높을수록 에머지지속성이 높았다.

각 연구의 평가 기준연도가 달라 직접적인 비교는 힘들지만, Table 4의 자료는 한강유역의 사회경제활동이 유역의 자연환경에 미치는 압력(환경부하비율)이 지나치게 높고 사회경제활동의 지속성(에머지지속성지수)이 아주 낮다는 것을 보여준다. 낙동강유역이 한강유역보다는 더 나은 상태지만, 다른 나라의 하천유역에 비해 사회경제활동의 지속성이 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 보유 자원이 부족한 좁은 국토에서 많은 인구가 살고 있고, 원료 및 교역시장의 국제 의존도가 높은 우리나라 경제의 특성을 명확하게 보여주고 있다.

#### 4. 결론 및 제언

한강유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가는 한강유역의 사회경제활동이 환경에 미치는 압력이 아주 높고, 유역 사회경제활동의 지속가능성이 아주 낮다는 것을 보여주었다. 또한 현재의 인구는 한강유역의 자연환경이 유지할 수 있는 수준을 훨씬 초과하고 있는 것으로 나타났다. 한강유역내에서도 사회경제활동이 집중되어 있으며, 대부분 다른 지역에서 생산된 원료물질에 의존하는 수도권 지역의 지속가능성은 한강유역의 평균보다 더 낮을 것으로 판단된다. 이는 대규모 자연하구로서 원형이 가장 잘 보존되어 있고, 국제적으로 보호가 필요한 희귀 조류의 서식지 및 월동

지로 기능하는 등 생물종다양성과 생산력이 높은 한강하구생태계에 대한 잠재적 훼손압력이 상당히 높을 것임을 시사한다. 이러한 잠재적 훼손압력은 현재 한강하구를 중심으로 추진하고 있는 다양한 개발 구상과 계획을 고려할 때 향후 한강하구생태계의 보전과 지속가능한 이용에 큰 위협요인이 될 수밖에 없다.

따라서 한강유역의 육상 환경뿐만 아니라 중요한 생태보고인 한강하구의 보전과 지속가능한 이용을 위해서도 유역의 사회경제활동이 환경에 미치는 영향을 완화하기 위한 정책을 시급히 추진할 필요가 있다. 이런 점에서 우선 추진해야 할 정책방향으로 한강유역의 인구와 경제 집중 완화를 들 수 있다. 인구 및 경제 집중의 완화는 유역 내 집중완화와 유역 간 집중완화 두 가지 방향에서 다루어져야 한다. 즉, 수도권에 집중되어 있는 인구와 경제 활동을 수도권 밖으로 분산시키기 위한 정책이 필요하다. 현재 정부차원에서 지속적으로 추진하고 있는 지역균형발전정책은 인구와 경제의 집중을 완화하기 위한 적절한 방향이라고 할 수 있다. 이 과정에서 반드시 고려되어야 할 사항 가운데 하나가 각 지역의 환경수용력이다. 한강유역의 인구와 경제활동의 분산이 다른 지역의 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위해서는 각 지역의 환경이 수용할 수 있는 인구와 경제활동의 규모를 고려해야 하기 때문이다. 이러한 정책은 서론에서도 언급한 바와 같이 “환경오염부하가 큰 유역권”에 속하지만 아직 정치·군사적인 이유 때문에 접근이 제한되어 있는 한강하구의 보전과 지속가능한 이용이라는 관점에서 볼 때 사전예방적 차원의 정책이라고 할 수 있다.

재생가능에머지에만 의존할 경우 한강유역의 인구수용력은 2005년 유역인구의 1.8%로 매우 낮았고, 유역외부에서 에머지가 지속적으로 유입하여 선진국 수준으로 발전한다고 가정할 경우에도 유역 인구의 14.3%에 불과하였다. 따라서 한강유역의 지속가능성을 제고하기 위해서는 환경수용력을 높일 필요가 있다. 이는 유역환경의 수요자인 인구가 감소하거나 사회경제활동에 필요한 유역생태계의 생산력을 증가시킴으로써 달성할 수 있다. 이런 점을 고려할 때 유역관리와 생태계관리로 정책의 중심이 이동하고 있는 국가 환경관리정책은 적절한 방향으로 판단된다. 그러나 이미 유역 또는 국가 차원에서 집중적으로 이용하고 있는 농지, 산림 등과 같은 기존 생태계의 생산력을 높이는 데에는 한계가 있다. 따라서 생태계 생산력의 증가를 통한 수용력 제고는 지난 반세기 동안 개발로 훼손되거나 사라진 생태계의 생산력 회복(즉, 생태계 복원)



에 초점을 맞출 필요가 있다.

이와 관련하여 현재 한강하구 및 주변 지역을 대상으로 추진되고 있는 다양한 이용·개발계획을 환경수용력이라는 관점에서 재검토할 필요가 있다. 생태계의 생산력은 한번 훼손되면 복원하는데 많은 시간과 비용이 든다. 따라서 현재 보존상태가 양호하고, 생물종이 풍부하며 생산력이 높은 한강하구생태계의 생산력을 그대로 유지하거나 훼손을 최소화하기 위한 방안이 이용·개발계획에 포함되도록 하여야 한다. 이는 한강유역의 육상 환경에 대해서도 마찬가지로 적용되어야 한다. 즉, 유역의 환경수용력을 감소시키지 않는 방향에서 개발이 이루어질 수 있도록 개발계획의 수립 단계부터 환경수용력을 고려할 필요가 있다. 한강하구와 관련된 부분은 현재 추진되고 있는 한강하구역 지속가능발전전략에 포함될 수 있을 것으로 보이며, 유역 전체 차원의 지속가능발전전략의 수립도 추진할 필요가 있는 것으로 판단된다. 이를 통해 한강유역과 한강하구를 둘러싼 개발과 보전이라는 이해상충을 해결할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 논문을 세밀하게 검토해주신 심사자 분들께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 2004년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] 강대석, 남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경자원의 가치평가와 정책활용 방안, pp. 107.
- [2] 국가수자원관리종합정보시스템, 2007, [http://www.wamis.go.kr/hum/map\\_2/default.htm](http://www.wamis.go.kr/hum/map_2/default.htm).
- [3] 김영진, 2000, 환경회계에 의한 하천 유역의 환경정책 결정에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문, pp. 155.
- [4] 김진이, 2000, 시스템 생태학적 접근법에 의한 낙동강 유역의 지속적인 발전 가능성 평가, 부경대학교 석사학위논문, pp. 70.
- [5] 부산광역시, 1998, 부산광역시 환경보전종합계획, pp. 709.
- [6] 손지호, 1999, 에머지 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 박사학위 논문, pp. 141.
- [7] 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, "한국수산업의 EMERGY 분석", 한국수산학회지, Vol. 29, 689-700.
- [8] 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, "EMERGY 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정", 한국수산학회지, Vol. 29, 629-636.
- [9] 이석모, 2001, "새만금 간척종합개발사업에 대한 환경회계", 한국해양환경공학회 2001년도 춘계학술대회 논문집, 1-14.
- [10] 이창희, 강대석, 남정호, 이병국, 유혜진, 2001, 하구·석호 육해전이수역 통합환경관리방안 연구, pp. 349.
- [11] 이창희, 남정호, 김선희, 김홍상, 노백호, 문현주, 심영규, 안소은, 박창석, 이수재, 노태오, 강대석, 신용식, 최유진, 강수진, 한은진, 김재경, 한중화, 박혜경, 2005, 지속가능한 하구역 관리방안 II, pp. 457.
- [12] 임정혁, 2004, 아파트 최적 건설층수 결정을 위한 Emergy 분석, 부경대학교 석사학위논문, pp. 61.
- [13] 제윤미, 2004, Emergy 분석법에 의한 제조업의 환경친화성 지수에 관한 연구, 부경대학교 석사학위논문, pp. 81.
- [14] 최영근, 2003, 국가와 지역 시스템의 지속성 평가에 대한 연구, 부경대학교 박사학위논문, pp. 190.
- [15] 통계청, 2007, <http://www.kosis.kr/index.html>.
- [16] 한강유역환경청, 2007, <http://hanriver.me.go.kr/>.
- [17] 해양수산부, 2005, 무인도서 실태조사 및 통합적 관리방안, pp. 307.
- [18] 환경부, 1996, 생태도시 조성 기본계획수립을 위한 용역사업.
- [19] Brown, M.T., (ed), 2000, Emergy Synthesis 1: Theory and applications of the emergy methodology, Proceedings of the 1st Biennial Emergy Conference. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pp. 328.
- [20] 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, Vol. 9, 51-69.
- [21] Brown, M.T. and McClanahan, T.R., 1996, "Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals", Ecological Modelling, Vol. 91, 105-130.
- [22] Brown, M.T., Bardi, E., Campbell, D.E., Comar, V., Huang, S., Rydberg, T., Tilley, D., and Ulgiati, S., (eds), 2005, Emergy Synthesis 3: Theory and applications of the emergy methodology, Proceedings of the 3rd Biennial Emergy Conference, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pp. 572.
- [23] Brown, M.T. Odum, H.T., Tilley, D., and Ulgiati, S., (eds), 2003, Emergy Synthesis 2: Theory and applications of the emergy methodology, Proceedings of the second Biennial Emergy Conference, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pp. 431.
- [24] Campbell, D.E., Brandt-Williams, S.L., and Meisch, M.A., 2005, Environmental accounting using emergy: Evaluation of the State of West Virginia, Atlantic Ecology Division, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. Naragansett, Rhode Island, USA.
- [25] Farber, S.C., Costanza, R., and Wilson, M.A., 2002, "Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services", Ecological Economics, Vol. 41, 375-392.
- [26] Kang, D. and Park, S.S., 2002, "Emergy evaluation perspectives of a multipurpose dam proposal in Korea", Journal of Environmental Engineering, Vol. 66, 293-306.
- [27] Kang, D., 2001a, "Emergy evaluation perspectives on the natural environment and economy of Seoul", Bulletin of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 10, 1-10.
- [28] Kang, D., 2001b, "Emergy evaluation of the Kangwha tidal flat", J. Korean Soc. Oceanogr., Vol. 36, 51-58.

- [29] Lee, S.M. and Odum, H.T., 1994, "Emergy analysis overview of Korea", J. of the Korean Environmental Sciences Society, Vol. 3, 165-175.
- [30] Odum, H.T., 1983, Systems Ecology, Wiley, New York, pp. 644.
- [31] Odum, H.T., 1994, Ecological and General Systems, University Press of Colorado, Niwot, pp. 644.
- [32] Odum, H.T., 1996, Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons, New York, pp. 370.
- [33] Odum, H.T., Diamond, C., and Brown, M.T., 1987, Energy systems overview of the Mississippi river basin, Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, pp. 107.
- [34] Odum, H.T., Brown, M.T., and Christianson, R.A., 1986, Energy systems overview of the Amazon basin, Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, pp. 190.
- [35] Odum, H.T., Romitelli, S., and Tighe, R., 1998, Evaluation overview of the Cache River and Black Swamp in Arkansas, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, pp. 128.

---

2007년 7월 30일 원고접수

2007년 8월 10일 수정본 채택