

영산강, 섬진강, 한강 하구역의 에머지 평가

이창희*□강대석**

* 명지대학교 환경생명공학과, ** 부경대학교 생태공학과

Emergy Evaluation of the Estuarine Areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea

Chang-hee Lee*□Dae-seok Kang**

* Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Myongji University, Yongin, 449-728, Korea

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

요 약 : 에머지 개념을 이용하여 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경과 사회경제활동을 평가하고 하구역 관리와 관련한 시사점을 제시하였다. 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가는 대형 하천이 유입하는 환경적 특성과 주변 지역의 사회경제활동 중심으로 기능하는 경제적 특성 등 이들 하구역의 특성을 잘 보여주었다. 각 하구역으로 유입하는 주요 자연환경 에머지는 하천, 조석, 강수 등이었다. 그러나 이들 재생가능에머지가 세 하구역의 전체 에머지 유입량에서 차지하는 비율은 8% 미만으로 아주 적었다. 이에 비해 하구역의 외부에서 구입하여 지역경제에 투입하는 에머지의 비율은 92~98%로 대부분을 차지하였다. 단위면적당 에머지사용량, 인구수용력, 환경부하비율, 에머지지속성지수 등 다양한 에머지 지수가 현재 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역에서 이루어지고 있는 사회경제활동의 지속성이 아주 낮다는 것을 보여주었다. 영산강하구역, 섬진강하구역, 낙동강하구역의 자연환경이 우리 경제에 기여하는 가치는 729~2,206만 EmW/ha/yr으로 높게 평가되었다. 이는 우리나라 전체 평균보다 2배 이상 높은 것인데, 하구역의 자연환경이 가지고 있는 생태경제적 중요성을 반영한다. 따라서 각 하구역이 가지고 있는 생태적□경제적 잠재력을 유지하고 회복하기 위한 하구환경관리정책의 수립□시행이 시급하다고 할 수 있다. 이는 인구 및 경제 집중의 완화, 하구의 환경수용력을 고려한 이용□개발 등 하구환경에 압력에 미치는 부정적 영향을 줄이기 위한 수요조절 측면의 정책과 훼손된 생태계의 복원, 인공생태계의 조성 등 생태계의 구조와 기능을 회복하여 우리가 이용할 수 있는 생태계 서비스를 증가시키는 공급조절 측면의 두 가지 방향으로 추진할 필요가 있다.

핵심용어 : 에머지 평가, 하구역, 영산강, 섬진강, 한강

Abstract : An emergy concept was used to evaluate the environment and economy of the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea. The emergy evaluations clearly showed ecological and socioeconomic characteristics of the estuarine areas that act as ecological and economic centers of surrounding areas. River, tide, and rain provided most of the renewable emergy inputs to the estuarine areas with their contribution to the total emergy input less than 8%. The estuarine areas mostly relied for their operation on the purchased emergy which accounted for 92~98% of the total emergy input to the systems. Emergy indices such as emergy use per unit area, population carrying capacity, environmental loading ratio, and emergy sustainability index revealed that the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River are not sustainable at the current level of economic activities in the areas. The ecological economic values of the environment of the areas were in the range of 729~2206 million EmW/ha/yr. They are more than twice that for the whole country, indicating the ecological and economic importance of the estuarine areas. It is, therefore, urgent to establish and implement estuarine management policies to protect and restore the ecological and economic potentials of the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River. Management plans for the estuarine areas should include both demand-side measures such as reduction of population and economic concentration and consideration of ecological carrying capacity in planning stages for utilization and development of the areas, and supply-side ones such as restoration of degraded ecosystems and construction of new productive ecosystems.

Key Words : Emergy evaluation, Estuarine area, Yeongsan River, Seomjin River, Han River

* 정회원, changhee@mju.ac.kr, 031-330-6698

** 대표저자 : 정회원, dskang@pknu.ac.kr, 051-629-6542

1. 서론

개방해역과 연결되어 있고 담수에 의한 염분의 변화와 조석의 영향을 받는 수역'(이 등, 2004)으로 정의되는 하구는 해수와 담수가 만나 만들어내는 독특한 물리, 화학, 생물 환경 때문에 생산성이 아주 높은 전형적인 전이생태계로 오래 전부터 인간 활동의 중심 공간으로 기능하고 있다. 하구는 많은 동식물의 산란·서식처, 토양침식이나 해일과 같은 자연재해 피해저감 기능, 수산물생산이나 해상운송과 같은 경제적 기능, 아름다운 경관과 삶의 역사가 만들어내는 심미·문화적 기능과 같은 다양한 생태적, 사회경제적 가치를 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 이러한 생태적, 사회경제적 기능의 중요성 때문에 하구생태계의 경제여 가치는 지구 생태계 가운데서도 가장 높은 것으로 평가되었다. 전 세계의 생태계가 경제에 기여하는 가치를 생태계 유형별로 평가한 Costanza et al.(1997)에 따르면 하구생태계의 연간 기여가치는 \$22,832/ha로 연구대상 생태계들 가운데 가장 높았다.

그러나 하구의 이러한 가치가 인식되기도 전에 우리나라 하구는 지난 반세기 동안의 고도 성장과정에서 진행된 매립·간척, 하구둑 건설 때문에 대부분 훼손되어 자연성을 유지하고 있는 하구를 찾아보기 힘들다. 금강, 낙동강, 영산강, 만경강, 동진강, 반월천, 안성천, 삼교천 등 대부분의 주요 하구는 용수공급, 염해방지, 농지확보, 산업단지 조성 등을 위한 목적으로 하구둑이 건설되고 간척·매립되었다(이 등, 2001). 대형 하구역 가운데에서는 한강 하구, 섬진강 하구가 그나마 자연하구 형태를 유지하고 있지만, 섬진강 하구의 경우 광양국가산업단지의 건설로 생태계의 구조와 기능이 많이 훼손된 상태이다. 또한 제2차 공유수면매립과 연안개발이 계획대로 진행될 경우 현재 최대 985km²로 추정되는 하구습지의 30%가 2011년까지 추가로 훼손될 것으로 전망(이 등, 2001)되는 등 집중적인 이용□개발로 하구생태계의 훼손은 지속될 것으로 보인다.

따라서 국가적 차원에서 하구생태계가 제공하는 서비스를 지속가능하게 이용할 수 있는 제도와 정책의 수립□시행이 시급한 실정이다. 이런 점에서 최근 환경부 및 국토해양부가 진행하고 있는 하구관련 연구□조사 및 정책개발 노력은 하구생태계의 지속가능한 이용을 위한 중요한 출발점이라고 할 수 있다(환경부, 2004; 2005; 2006; 2007; 해양수산부, 2007).

다양한 사회경제활동의 중심 공간으로 기능하고 있는 하구생태계의 상태는 유역에서 이루어지는 사회경제활동과 밀접하게 연결되어 있다. 따라서 하구생태계의 상태 분석과 관리계획의 수립은 하구수역뿐만 아니라 주변 육역까지 포함하여 분석할 필요가 있다. 이 등(2001)은 하구의 수역뿐만 아니라 수역에 영향을 미치는 육역을 포함하는 하구의 공간적인 범위를 하구역(estuarine area)으로 정의하였다. 이 등(2001; 2003; 2004; 2005), 노와 이(2006)은 하구역의 환경상태와 이용□개발실태 및 압력을 평가하여 하구생태계의 관리방향을 제시하였다.

이 연구는 하구생태계의 가치를 평가하고 이를 토대로 관리

방향을 제시하기 위한 일련의 연구 가운데 첫 번째 연구로 하구생태계와 주변 육역까지 포함하는 하구역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 시스템 평가를 수행하고 하구생태계 관리와 관련된 정책시사점을 제시하고자 하였다. 하구역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 시스템 평가를 위해 자연환경과 경제활동을 통합적인 관점에서 이해하고, 이를 통해 환경자원이 경제에 기여하는 바를 생태학적인 관점에서 평가하고자 하는 에머지(emergy) 개념(Odum, 1996)을 이용하였다.

우리나라에서 에머지 개념을 이용하여 하구나 하구역의 자연환경과 사회경제활동을 평가한 연구는 많지 않다. 이들 가운데 하구역(estuarine area)을 대상으로 한 사례는 송과 제(2005)의 연구가 유일하다. 송과 제(2005)는 외부에서 유입한 에머지 보다는 내부의 자연환경이 공급한 에머지가 더 많아 낙동강하구역을 비교적 자립적인 시스템으로 판단하였으며, 자연환경에 미치는 부정적인 영향이 적고 지속가능성이 높은 시스템으로 평가하였다. 그러나 송과 제(2005)가 수행한 에머지 평가의 공간적인 범위는 낙동강하구생태계에 직접 영향을 미치는 육역을 충분히 포함하지 못한 한계가 있다. 송과 제(2005)는 낙동강 하구해역의 연간 에머지 기여가치를 3억 3,600만EmW/ha/yr로 산정하였다.

하구생태계 또는 하구갯벌을 대상으로 에머지 기여가치를 평가한 사례로는 이(2001), 이 등(2001), 강 등(2006)이 있다. 이(2001)는 새만금 갯벌이 우리나라 경제에 약 980만EmW/ha/yr을 기여하고 있는 것으로 평가하였으며, 이 등(2001)에 따르면 섬진강 하구생태계의 기여가치는 2,900만EmW/ha/yr으로 나타났다. 또한 영산강 하구 갯벌에 대해 평가한 강 등(2006)은 영산강 하구 갯벌의 기여가치를 355만EmW/ha/yr로 평가하였다.

이 연구의 에머지 평가 대상은 이 등(2004)이 제안한 하구분류군별로 대형 하천의 하구 가운데 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구를 대표적인 하구로 선정하였다. 영산강하구는 인공하구로 조석우세 염하구에 해당하며, 섬진강하구는 자연하구 가운데 조석우세 염하구, 한강하구는 자연하구로 조석우세 삼각주하구에 속한다.

2. 연구방법

2.1. 에머지 개념

Odum(1983; 1996)은 환경자원의 개발과 거래에 투입된 인간의 노동력뿐만 아니라 환경자원을 생산하는 과정에서 자연환경이 기여한 부분까지 포함할 수 있는 평가방법으로 에머지(emergy) 개념을 제시하였다. 에머지 개념에서는 가치의 평가 수단으로 화폐대신 에너지를 사용한다.

에머지는 한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직접 그리고 간접으로 이미 사용된 한 종류의 이용 가능한 에너지”로 정의되며(Odum, 1996), 단위로는 emjoule을 사용한다. 즉, 환경자원이 가지고 있는 에너지 관점의 가치는 현재 남아 있는 실제 에너지가 아니라 이러한 자원이 생산되기까지 사용되었던

모든 에너지(energy memory)를 더한 값이다. 이는 환경자원이 만들어지는 과정에서 사용된 에너지가 없었다면 이 자원은 존재하지 않을 것이기 때문이다. 현재 에머지 개념에서 서로 다른 형태의 에너지를 비교하기 위해 기준으로 사용하는 한 종류의 이용가능한 에너지는 태양 에너지이다. 이 경우의 에머지를 태양에머지(solar emergy)라고 하며, solar emjoules(sej)을 단위로 사용한다.

Odum(1996)은 에너지의 종류가 다르면 일을 할 수 있는 능력(즉, energy quality)이 다르다고 주장하면서, 서로 다른 에너지를 더할 때 단순히 에너지량을 더하면 안 된다는 점을 강조하였다. 이에 따라 에머지 평가에서는 서로 다른 에너지를 비교할 때 기준으로 삼은 한 가지 종류의 이용 가능한 에너지로 먼저 바꾸게 된다. 하구생태계의 먹이사슬을 예로 들면 태양에너지→식물플랑크톤→동물플랑크톤→어류로 갈수록 에너지의 질이 더 높다. 즉, 영향을 미치는 시공간적 범위가 더 넓고, 하위 단계에 대한 조절작용을 한다는 점에서 먹이사슬의 상위 단계로 갈수록 에너지 질이 더 높다고 할 수 있다(Odum, 1996).

서로 다른 종류의 에너지가 가지고 있는 일을 할 수 있는 능력의 차이(즉, 에너지 질의 차이)는 에너지변환도(transformity)로 나타낸다. 에너지변환도는 한 가지 서비스나 생산물이 만들어지는데 직접 및 간접으로 투입된 에너지의 합계(즉, 에머지)를 이 자원이 가지고 있는 실제 에너지량으로 나눈 값으로(Odum, 1996), 단위는 계산에 사용한 자료에 따라 emjoules/J, emjoules/g, emjoules/\$, emjoules/W 등을 이용한다. 하구생태계의 먹이사슬에서는 태양에너지, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 어류로 갈수록 에너지변환도가 커진다. 현재 에머지 평가법에서는 태양에너지를 기준 에너지로 이용하기 때문에 에너지변환도를 태양에너지변환도(solar transformity)라고 하며, 단위는 solar emjoules per joule(sej/J)이다. 평가하고자 자원의 실제 에너지량과 태양에너지변환도를 곱하면 그 자원이 가지고 있는 태양에머지량을 얻게 된다.

2.2. 에머지 평가과정

에머지 평가는 크게 세 단계로 구분되는데, 첫 번째 단계는 평가대상의 시스템 모델을 만드는 일이며, 두 번째 단계에서는 작성된 모델을 이용하여 에머지 평가표를 만든다. 세 번째 단계에서는 에머지 평가표를 이용하여 평가대상의 특성을 평가하기 위한 에머지 지수를 계산한다.

가) 에너지시스템 다이어그램

에머지 평가의 첫 번째 단계에서는 평가대상 시스템에 영향을 미치는 외부요소와 내부 구성요소들이 어떻게 연결되어 있는지 파악하기 위한 모델을 만든다. 이를 위해 사용하는 모델링 도구는 미국의 시스템 생태학자인 Howard T. Odum이 개발한 에너지시스템언어(energy systems language)로, 이 언어를 이용하여 만든 모델을 에너지시스템 다이어그램(energy system diagram)이라고 부른다(Odum, 1983; 1994). 에너지시스템언어는 특별한 의미들이 부여된 기호들을 이용하여 평가대상 시스템

의 네트워크 구조를 파악할 수 있게 해주는 모델링 도구이다. 에너지시스템 다이어그램을 만드는 과정은 Fig. 1과 같이 크게 다섯 단계로 나누어진다.

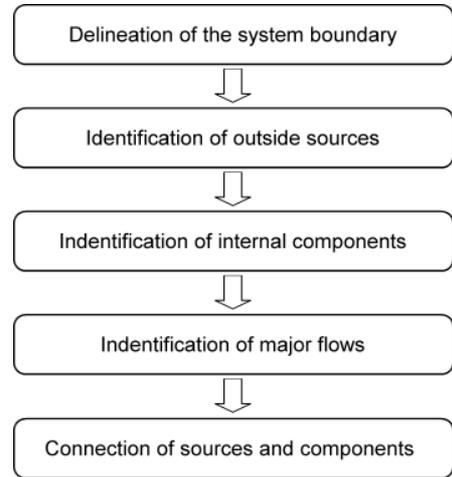


Fig. 1. A procedure for the energy system diagramming (Kang and Nam, 2003).

나) 에머지 평가표

에머지 평가의 두 번째 단계는 에너지시스템 다이어그램을 이용하여 에머지 평가표를 만드는 과정이다. 전형적인 에머지 평가표의 형태는 Table 1과 같다.

Table 1. A typical format of the emergy evaluation table

No	Items	Raw data	Solar transformity	Solar emergy	Emvalue
1	Sun	J/yr, g/yr, \$/yr, W/yr	sej/J, sej/g, sej/\$, sej/W, etc	Raw data × Solar transformity	Solar emergy/Emergy-money ratio

- No : 에머지 계산 과정을 보여주기 위한 주석 번호
- Items : 평가항목의 명칭
- Raw data : 평가항목의 에머지를 계산하는데 필요한 자료로, 일반적으로 연간 에너지(J/yr), 물질(g/yr) 또는 화폐(\$/yr 또는 W/yr)의 양으로 나타냄.
- Solar transformity : 평가 항목의 태양에너지변환도.
- Solar emergy : 평가항목의 태양에머지로, Raw data와 Solar transformity를 곱하여 얻은 값
- Emvalue : 태양에머지값을 에머지-화폐비율로 나눈 값

다) 에머지 지수

세 번째 단계에서는 에머지 평가표를 이용하여 에머지 지수(emergy indices)를 계산하여 평가대상의 특성을 파악한다. 이 연구에서 사용한 에머지 지수에 대한 설명은 다음과 같다.

① Emvalue

Emvalue는 에머지량을 화폐단위로 나타낸 값인데, 각 항목에 대해 계산한 에머지량을 다음에 설명할 에머지화폐비율로 나누어 구한다. Emvalue의 단위는 평가에 사용한 화폐단위에 따라 Emdollar(Em\$), Emwon(EmW)과 같이 나타낸다. Emvalue는 에머지 평가를 통해 계산된 자연환경의 에머지 가치를 화폐단위로 바꾸어줌으로써 경제학적 방법을 이용한 가치평가 결과와 비교할 수 있게 해준다.

② 일인당 에머지사용량(Emergy use per capita)

일인당 에머지사용량은 평가대상 경제가 일년 동안 사용한 에머지량을 인구수로 나눈 값으로, 국가 또는 지역의 생활수준을 나타낸다. 일인당 에머지 사용량이 많을수록 생활수준이 높다는 것을 의미한다. 생활수준을 나타내기 위하여 일반적으로 사용하고 있는 지표인 일인당 국민총소득과 달리 일인당 에머지 사용량은 인간의 노동력뿐만 아니라 자연환경이 기여하는 가치까지 모두 포함하기 때문에 국가나 지역의 생활수준을 더 정확하게 나타낸다(Odum, 1996).

③ 단위면적당 에머지사용량(Emergy use per unit area)

단위면적당 에머지사용량은 평가대상 경제가 일년 동안 사용한 에머지량을 면적으로 나누어 구하는데, 사회경제활동의 공간적 집중도에 관한 정보를 제공한다(Odum, 1996). 즉, 단위면적당 에머지사용량이 많을수록 경제활동의 강도가 크다고 할 수 있다. 일반적으로 단위면적당 에머지사용량은 저개발국가나 면적이 큰 나라에서 낮다(Odum, 1996).

④ 인구수용력

인구수용력은 평가대상시스템의 자연환경과 경제활동이 부양할 수 있는 인구수인데, 에머지 평가에서는 태양, 바람, 강수와 같이 자연환경의 재생가능에너지에 기반을 둔 인구수용력과 선진국과 같은 경제발전 수준을 유지할 경우의 인구수용력 두 가지로 나누어 계산한다.

재생가능에머지 기반 인구수용력(renewable population carrying capacity)은 평가대상 경제가 일년 동안 사용한 재생가능에머지량과 일인당 에머지사용량을 곱한 값이다. 선진국 수준의 경제발전을 가정하여 계산하는 인구수용력(developed population carrying capacity)은 재생가능에머지 기반 인구수용력의 8배로 계산한다. 이는 선진국 경제의 경우 외부에서 구입한 에머지가 내부의 자연환경이 공급하는 에머지의 7배 정도 되기 때문이다(Odum, 1996).

⑤ 에머지화폐비율(Emergy-money ratio, EMR)

에머지화폐비율(EMR)은 단위화폐당 에머지량을 나타내는 지수로, 일반적으로 평가대상 경제가 일년 동안 사용한 에머지량을 국내총생산으로 나누어 구한다. 정의에서 보듯이 EMR은 에머지량을 화폐단위로 바꿀 수 있도록 한다. 이렇게 함으로써 에머지 평가결과와 경제학적 평가결과를 비교할 수 있게 된다.

EMR은 평가대상 경제의 화폐가 구매할 수 있는 에머지량, 즉 화폐의 에머지구매력(energy buying power of money)을 나타낸다(Odum, 1996). EMR이 높으면 같은 양의 화폐로 살 수 있는 에머지량, 즉 실질적인 부(real wealth)가 많다는 것을 의미한다. 일반적으로 저개발국가의 EMR은 선진국의 EMR보다 높다. 즉, 동일한 양의 화폐로 구매할 수 있는 에머지량이 더 많다.

⑥ 에머지산출비율(Emergy yield ratio, EYR)

평가대상 경제에서 생산된 최종 산물의 에머지(Y)를 시스템 외부로부터 구입하여 생산과정에 투입한 에머지량(F)으로 나눈 값인 에머지산출비율(EYR)은 평가대상 경제가 재화와 용역을 생산하는데 얼마나 효율적인지 나타낸다. 동일한 재화와 용역을 생산하는데 외부에서 투입한 에머지량(비용)이 많은 시스템, 즉 EYR이 낮은 시스템은 효율성과 경쟁력이 떨어지는 시스템이라고 할 수 있다.

⑦ 환경부하비율(Environmental loading ratio, ELR)

한 국가 또는 지역의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 영향은 환경부하비율(ELR)을 이용하여 나타낸다. ELR은 외부에서 구입한 에머지(F)와 내부의 자연환경이 공급한 재생가능에머지(N)의 합을 자연환경의 재생가능에머지(R)로 나누어 구한다. ELR이 클수록 경제활동이 자연환경에 미치는 부정적인 영향이 크다. Brown and Ulgiati(1997)는 ELR이 3보다 적으면 환경에 대한 영향이 적은 시스템, 3~10의 범위일 경우에는 환경에 미치는 영향이 비교적 크지 않은 시스템, 10보다 클 경우에는 환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 구분하였다.

⑧ 에머지지속성지수(Emergy sustainability index, ESI)

에머지지속성지수는 평가대상 경제가 얼마나 지속가능한지 나타내기 위하여 제안되었다(Brown and Ulgiati, 1997). ESI는 평가대상 경제의 에머지산출비율(EYR)을 환경부하비율(ELR)로 나눈 값이다. 에머지지속성지수가 작을수록 재생가능에머지의 사용량이 많고, 외부에서 유입하는 에머지에 대한 의존도가 높으며, 사회경제활동이 자연환경에 미치는 부정적인 영향이 크다(Brown and Ulgiati, 1997). Brown and Ulgiati(1997)는 ESI가 1보다 작은 경우는 선진국형 소비경제, 1~10인 경우는 개발도상국형 경제, 10보다 큰 경우는 저개발 경제로 분류하였다.

2.3. 하구역 에머지 평가의 공간적 범위

이 연구에서는 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가의 공간적 경계로 이 등(2004)이 각 하구역의 관리범위로 제안한 경계를 이용하였다(Fig. 2, Table 2). 이 등(2004)은 하구역의 해면부 경계를 설정하기 위하여 지리□지형특성, 해면부 이용특성, 육지부 이용특성 등을 이용하였으며, 하천쪽 경계는 감소역 상류경계(인공구조물이 있는 경우 과거 감소구간), 수변쪽 경계는 감소역 하류로 유입하는 모든 지천의 유역으로 설정하였다.

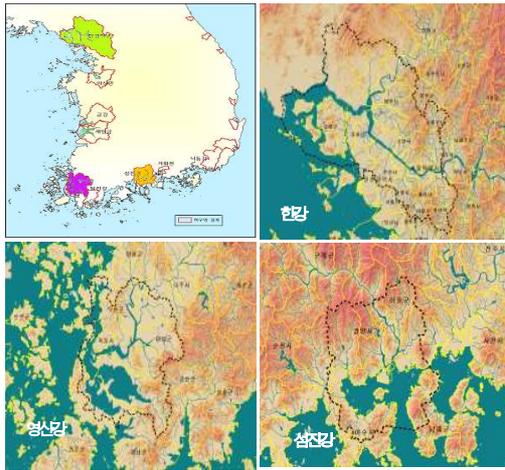


Fig. 2. Spatial boundaries for the emergy evaluation of estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea(Lee et al., 2004).

Table 2. Areal extent for the emergy evaluation of estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea(Lee et al., 2004)

Estuarine area	Total (km ²)	Water area (km ²)	Land area (km ²)
Yeongsan River	1,528.0	120.6	1,407.4
Seomjin River	1,171.6	195.7	975.9
Han River	4,407.2	790.0	3,617.2

영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 에머지 평가에 필요한 자료는 국가기관 통계자료, 자연환경 조사 보고서와 학술 논문 등을 이용하였으며, 평가 기준연도는 2003년으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 하구역 모델 및 에머지 평가표

영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경과 경제 활동에 대한 에머지 평가를 수행하기 위하여 Fig. 3과 같은 에너지시스템 다이어그램을 작성하였다. 하구역에서 이루어지는 사회경제활동을 뒷받침하는 에너지원은 크게 하구역의 자연환경이 제공한 에너지와 외부(외국 및 국내의 다른 지역)에서 돈을 지불하고 구매한 에너지로 나누어 제시하였다. 하구역의 자연환경이 제공하는 에너지는 다시 태양, 바람, 강우, 파도, 조석, 하천과 같은 재생가능에너지와 내부의 보유자원인 토양, 광물 자원 등과 같은 재생불가능에너지로 구분된다.

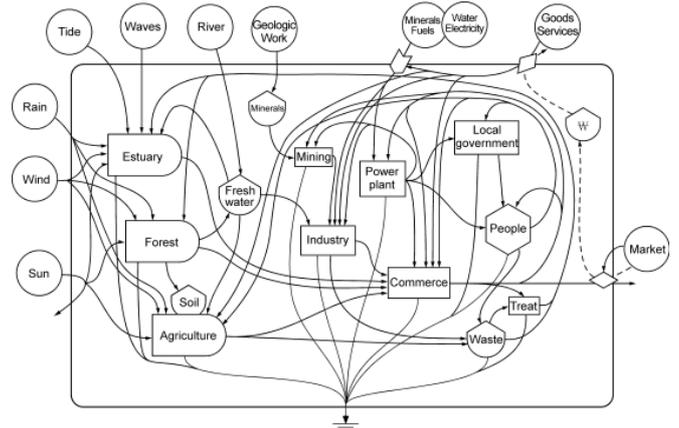


Fig. 3. Energy systems diagram for the emergy evaluation of the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea.

3.2. 하구역의 에머지 유입 특성

Fig. 3을 이용하여 각 하구역의 에머지 평가표를 작성한 다음 하구역의 에머지 특성을 파악하기 위하여 에머지 평가결과를 Table 3과 같이 요약하였다.

Table 3. Emergy indices for the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River and Han River in Korea in 2003

Emergy indices	Yeongsan River	Seomjin River	Han River	Korea
Renewable sources(sej/yr)	2.10×10^{21}	4.31×10^{21}	1.72×10^{22}	1.08×10^{23}
Nonrenewable sources within the system(sej/yr)	3.66×10^{19}	1.67×10^{19}	6.84×10^{19}	1.77×10^{23}
Imported sources(sej/yr)	2.50×10^{22}	2.09×10^{23}	2.16×10^{23}	1.22×10^{24}
Total emergy inflow(sej/yr)	2.71×10^{22}	2.14×10^{23}	2.33×10^{23}	1.51×10^{24}
Fraction of emergy derived from home sources	0.079	0.020	0.074	0.189
Fraction of renewable sources	0.077	0.020	0.074	0.072
Fraction of imported sources	0.921	0.980	0.926	0.811
Emergy use per unit area(sej/m ²)	1.93×10^{13}	2.19×10^{14}	6.45×10^{13}	1.51×10^{13}
Emergy use per capita(sej/capita)	1.38×10^{16}	1.09×10^{17}	1.04×10^{16}	3.15×10^{16}
Renewable population carrying capacity(people)	24000	4800	870300	3440800
Developed population carrying capacity(people)	192300	38100	6962300	27526000
Emergy-money ratio(sej/W)	4.92×10^9	5.07×10^{10}	2.53×10^9	2.08×10^9
Environmental loading ratio	11.91	48.59	12.55	12.93
Emergy yield ratio	1.09	1.02	1.08	1.23
Emergy sustainability index	0.09	0.02	0.09	0.10

평가대상 하구역으로 유입하는 재생가능에너지 총량은 강우의 화학에너지, 조석에너지, 하천의 화학에너지, 유기물질에너지, 위치에너지를 더하여 구하였다. 태양, 바람, 강우의 위치에너지, 강우의 화학에너지, 파도는 모두 태양에너지를 기반으로 하기 때문에 이들 에너지를 단순히 더하는 것은 중복계산을 초래하게 된다. 따라서 이들 가운데 가장 많은 에너지를 공급한 강우의 화학에너지만을 재생가능에너지 유입총량의 계산에 이용하였다.

평가대상 하구역으로 유입하는 총에너지량은 영산강하구역이 2.71×10^{22} sej/yr, 섬진강하구역이 2.14×10^{23} sej/yr, 한강하구역이 2.33×10^{23} sej/yr로, 하구역의 면적이 가장 넓은 한강하구역의 에너지 유입량이 가장 많았다(Table 3). 하구역의 면적으로는 한강하구역(4,407.2km²)이 영산강하구역(1,528km²)보다 2.88배 더 넓었지만, 에너지 유입량은 8.60배에 이르렀다. 또한 영산강하구역의 면적이 섬진강하구역(1,171.6km²)의 면적보다 1.30배 더 넓었지만, 에너지 유입량은 섬진강 하구역이 영산강하구역의 8.0배 더 많았다. 이는 우리나라 경제가 집중한 수도권에 있는 한강하구역과 광양국가산업단지, 여수국가산업단지 등 대규모 산업단지가 있는 섬진강하구역의 경제상황을 반영하는 것이다.

평가대상 하구역으로 유입하는 총에너지량에서 하구역의 자연환경이 제공한 에너지(재생가능에너지와 재생불가능에너지의 합)가 차지하는 비중은 하구역의 경제자립도를 나타내는 척도가 된다. 영산강하구역의 경우 하구역의 자연환경이 제공하는 에너지량은 총에너지유입량의 7.9%, 섬진강하구역은 2.0%, 한강하구역은 7.4%에 불과하여, 평가대상 하구역의 경제자립도는 아주 낮은 것으로 나타났다. 즉, 평가대상 하구역의 사회경제활동은 대부분 하구역의 외부에서 구매한 에너지를 기반으로 이루어지고 있다. 특히 지역에서 생산되는 자원이 아니라 외부의 자원에 대부분 의존하는 철강산업과 석유화학산업이 있는 섬진강하구역의 경제자립도는 다른 두 하구역에 비해 훨씬 낮았다. 이는 우리나라 전체의 18.9%보다 훨씬 낮은 것으로, 내부 보유 자원이 아주 적은 대규모 하구를 중심으로 이루어지고 있는 우리나라 경제의 특성을 반영한다. 하구역의 재생불가능자원인 토양 및 광물자원이 기여하는 바는 세 하구역 모두 1% 미만으로 아주 미미하였다.

재생가능에너지 가운데서는 대형 하천을 끼고 있는 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 특성을 반영하여 세 하구역 모두 하천의 화학에너지가 가장 많은 에너지를 하구역에 공급하였다. 재생가능에너지에서 하천의 화학에너지가 차지하는 비율은 영산강하구역의 경우 63.5%, 섬진강하구역의 경우 82.0%, 한강하구역의 경우 49.5%로 나타났다. 평가대상 하구역으로 유입하는 하천에 포함되어 있는 유기물질의 에너지, 위치에너지를 포함할 경우 한강, 영산강, 섬진강이 각 하구역에 제공하는 에너지는 영산강하구역 65.7%, 섬진강하구역 84.4%, 한강하구역 51.0%로, 담수와 해수가 만나 형성되는 하구생태계의 중요한 요소로서 하천의 중요성을 보여주고 있다(Fig. 4). 영산강하구역과 섬진강하구역의 경우 강우의 화학에너지가 두 번째

로 많은 에너지를 공급하였는데, 각각 18.8%, 9.4%를 차지하였다. 그러나 한강하구역에서는 조석에너지가 42.2%로 두번째로 많은 재생가능에너지를 공급하였다.

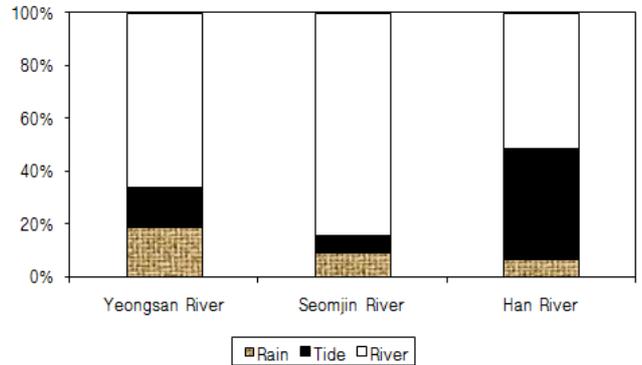


Fig. 4. Relative composition of renewable energy sources for the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea in 2003.

하구역의 외부에서 구입한 에너지(외국에서 수입한 에너지와 우리나라 다른 지역에서 구입한 에너지의 합)가 평가대상 하구역으로 유입하는 에너지의 대부분을 차지하였는데, 영산강하구역은 92.1%, 섬진강하구역은 98.0%, 한강하구역은 92.6%로 나타났다. 이는 대규모 하천을 포함하고 있는 하구역이 국내의 자원과 외국으로부터 수입한 재화와 용역이 집중하는 우리나라 경제활동의 중심으로 기능하고 있다는 것을 의미한다. 외부에서 구입한 에너지 가운데 영산강하구역의 경우 석유류제품, 재화와 용역, 천연가스가 차지하는 비중이 높았으며, 섬진강하구역의 경우 원유, 석탄, 철광석, 석유류제품, 한강하구역의 경우 재화와 용역, 석유류제품, 천연가스가 차지하는 비중이 높게 나타났다. 섬진강하구역의 경우 광양제철소가 있는 광양국가산업단지와 석유화학산업 중심의 여수국가산업단지가 있어 다른 하구역과 달리 석탄, 철광석, 원유가 외부 구입 에너지에서 차지하는 비중이 높게 나타났다.

지역별로 분화된 산업 및 경제구조를 고려할 때 평가대상 하구역의 에너지 유입 특성을 우리나라 전체 자료와 단순히 비교하기는 힘들지만, 자연환경이 공급한 에너지가 18.9%(이 가운데 재생가능에너지는 7.2%), 외부구매 에너지가 81.1%를 차지한 우리나라 경제 전체보다 하구역 경제의 대외의존도가 훨씬 높았다. 즉, 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역은 주변 지역의 자원이 집중하는 경제거점으로서의 역할을 수행하고 있다는 것을 나타낸다.

3.3. 하구역의 에너지 지수

가) 일인당에너지 사용량

일반적으로 한 지역이나 국가의 평균적인 생활수준을 나타내는 경제지표는 일인당 국민총소득이다. 2003년 우리나라의 일인당 국민총소득은 1,516만원으로, OECD 국가가운데 24위를 차지하였다(통계청, 2004). 에너지 지수가운데 생활수준을 나타

내는데 사용하는 지수는 일인당 에머지사용량이다. 섬진강하구역의 일인당 에머지사용량이 가장 높은 것으로 나타났는데 (Table 3), 이는 하구역의 인구는 적은 반면 대형 국가산업단지가 있어 외부로부터 구매된 에머지량이 많았기 때문이다. 세 하구역 가운데에서는 한강하구역의 일인당 에머지사용량이 가장 적었는데, 이는 전체 국토면적의 3.63%에 불과한 면적에 전국 인구의 31.7%가 몰려있는 상황을 반영한다. 섬진강하구역의 경우 우리나라 전국 평균 일인당 에머지사용량보다 높았지만, 한강하구역과 영산강하구역의 경우 전국 평균보다 낮게 나타났다.

그러나 일인당 에머지사용량이 좀 더 정확하게 생활수준을 나타내기 위해서는 하구역의 경제가 일 년 동안 사용한 에머지 가운데 지역에서 거의 사용되지 않고 다른 나라나 지역으로 빠져나가는 에머지를 제외한 상태에서 일인당 에머지사용량이 계산되어야 할 것으로 판단된다. 그러나 이 연구에서는 자료가 부족하여 이 단계까지 진행하지 못하였다.

나) 단위면적당 에머지사용량

평가대상 세 하구역 가운데 단위면적당 에머지사용량이 가장 높게 나타난 곳은 섬진강하구역(2.19×10^{14} sej/yr)으로, 육지부의 면적은 가장 좁은 반면 대형 국가산업단지가 있기 때문인 것으로 판단된다. 영산강하구역의 단위면적당 에머지사용량이 가장 적은 것으로 나타났는데, 이는 한강하구역이나 섬진강하구역에 비해 경제활동의 강도가 약하다는 것(즉, 다른 하구역에 비해 개발이 상대적으로 덜 되었다는 것)을 의미한다. 이들 하구역의 단위면적당 에머지사용량은 우리나라 전체의 단위면적당 에머지 사용량보다 높았는데, 평가대상 하구역은 모두 우리나라 다른 지역에 비해 개발이 많이 진행되어 있음을 나타낸다.

다) 인구수용력

현재의 생활수준, 즉 앞에서 제시한 일인당 에머지사용량을 유지할 경우 평가대상 하구역의 태양, 바람, 강우 등과 같은 재생가능에머지가 부양할 수 있는 인구수는 영산강하구역의 경우 24,000여명(하구역 인구의 7.7%), 섬진강하구역은 4,800여명(하구역 인구의 2.0%), 한강하구역은 약 87만명(하구역 인구의 7.4%)에 불과하였다(Table 3). 이는 각 하구역에서 일어나고 있는 사회경제활동이 해당 하구역의 자연환경이 유지할 수 있는 수준을 훨씬 초과하고 있음을 나타낸다. 앞에서 평가대상 하구역의 에머지 유입 특성에서 살펴본 바와 같이 외부에서 구입하는 에머지량이 각 하구역의 연간 에머지사용량의 90% 이상을 차지하고 있다는 결과와 일치한다.

현재의 에머지 소비수준(즉, 생활수준)에서 선진국 수준으로 경제발전을 계속할 경우의 인구수용력은 영산강하구역이 19만여명(하구역 인구의 62.0%), 섬진강하구역이 3.8만여명(하구역 인구의 16.1%), 한강하구역이 696만여명(하구역 인구의 59.1%)으로 계산되었다. 즉, 외부에서 구입한 에머지를 이용하여 선진국 수준으로 발전한다고 가정하더라도 각 하구역의 현재 인구는 이미 하구역의 자연환경이 수용할 수 있는 한계를 초과한 것으로 볼 수 있다.

우리나라 전체의 재생가능에머지 기반 인구수용력은 약 344만명(전국 인구의 7.2%), 선진국수준 경제발전 가정 인구수용력은 약 2753만명(전국 인구의 57.4%)으로 나타나, 한강하구역은 다른 지역에 비해 인구가 훨씬 집중되어 있다는 것을 나타낸다.

자연환경의 재생가능한 에머지유입량이 더 많은데도 섬진강하구역의 인구수용력이 영산강하구역에 비해 훨씬 낮은 이유는 외부로부터 구입한 에머지에 기반을 두고 있는 대형 국가산업단지를 중심으로 이루어지는 섬진강하구역의 경제 구조로 인해 섬진강하구역의 일인당 에머지사용량이 다른 하구역보다 훨씬 높았기 때문이다. 그러나 앞서도 언급하였듯이 섬진강하구역으로 유입한 에머지 가운데 일부는 지역에서 사용되지 않고 곧바로 외부로 빠져 나간다. 따라서 이를 고려하여 일인당 에머지 사용량(즉, 현재의 생활수준)을 계산한 뒤 인구수용력을 평가할 필요가 있지만, 이 연구에서는 자료가 부족하여 이를 수행하지 못하였다.

라) 에머지화폐비용

평가대상 하구역의 에머지화폐비용은 섬진강하구역(5.07×10^{10} sej/W), 영산강하구역(4.92×10^9 sej/W), 한강하구역(2.53×10^9 sej/W)의 순으로 나타났다. 이는 섬진강하구역의 투자매력이 세 하구역 가운데 가장 좋다는 것을 의미한다. 영산강하구역에서는 한강하구역에 비해 동일한 화폐로 구매할 수 있는 에머지량(즉, 실질적인 부)이 2배에 이르렀다.

각 하구역의 에머지화폐비용은 우리나라 전체 경제의 에머지화폐비용(2.08×10^9 sej/W)보다 높게 나타났다. 따라서 같은 양의 화폐로 구매할 수 있는 에머지량이 더 많기 때문에 이들 지역의 투자 매력은 전국 평균보다 높다고 할 수 있다.

마) 에머지산출비용

에머지산출비용이 가장 높게 나타난 곳은 영산강하구역(1.09)이었으며, 한강하구역(1.08), 섬진강하구역(1.02)의 순으로 나타났다. 이는 평가대상 세 하구역 가운데 영산강하구역에서 이루어지는 경제활동의 효율성이 가장 높다는 것을 나타내는데, 다른 하구역에 비해 외부에서 구입한 에머지의 비중이 상대적으로 적었기 때문이다. 그러나 EYR이 1에 근접하여 대형 하천의 하구를 중심으로 우리나라 경제의 중심 기능을 수행하는 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 사회경제활동의 효율성은 아주 낮은 것으로 평가되었다. 세 하구역 모두 우리나라 전체 경제의 에머지산출비용(1.23)보다 낮았다.

바) 환경부하비용과 에머지지속성지수

섬진강하구역의 환경부하비용(48.59)이 가장 높았는데, 이는 세 하구역가운데 섬진강하구역의 사회경제활동이 자연환경에 미치는 부정적인 영향이 가장 크다는 것을 의미한다. 그 다음으로 한강하구역(12.55), 영산강하구역(11.91)의 순으로 나타났다(Fig. 5). 이는 영산강하구역과 한강하구역에 비해 좁은 면적에 대형 국가산업단지가 입지한 섬진강하구역의 환경상태를 보여주는 결과이다.

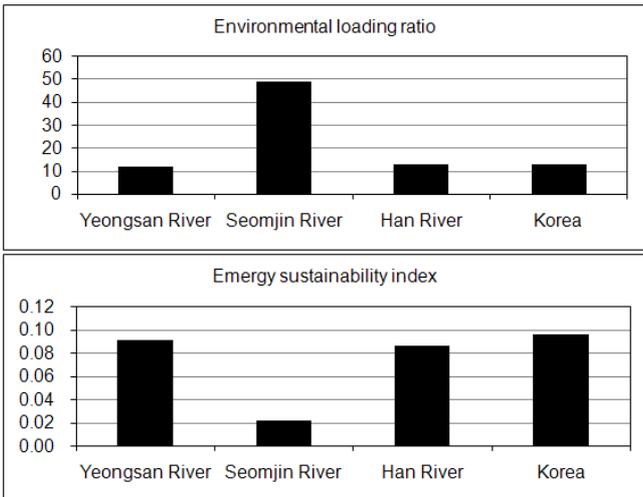


Fig. 5. Environmental loading ratio and emergy sustainability index for the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea in 2003.

우리나라 전체의 환경부하비율은 12.93으로, 환경부하비율이 10보다 클 경우에는 환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 구분한 Brown and Ulgiati(1997)에 따르면 이미 경제활동이 환경에 미치는 영향이 상당히 높은 상태이다. 환경부하비율이 국가 평균보다 훨씬 높게 나타난 섬진강하구역과 한강하구역은 환경에 지나치게 높은 압력을 가하고 있는 것으로 나타났다.

에머지지속성지수는 영산강하구역과 한강하구역 0.09, 섬진강하구역 0.02로, 세 하구역 모두 에머지 관점의 지속성이 아주 낮게 나타났다. 세 하구역 모두 우리나라 평균(0.10)보다 지속가능성이 더 낮았다. 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역 뿐만 아니라 우리나라 경제도 Brown and Ulgiati(1997)의 분류에 따르면 선진국형 소비경제에 해당하지만, 구분 기준이 ESI=1이라는 것을 고려한다면 지속가능성이 현저히 낮은 상태라고 할 수 있다.

3.4. 하구역의 Emvalue

평가대상 하구역의 자연환경(육상환경+해양환경)이 각 하구역의 경제활동에 연간 제공하는 에머지가치(재생가능에머지+재생불가능에머지)는 영산강하구역이 1조 266억 EmW, 섬진강하구역이 2조 777억 EmW, 한강하구역이 8조 3,057억 EmW으로 나타났다. 이러한 기여가치는 시장경제의 가격에 포함되지 않는 가치이다. 에머지 개념은 자연환경의 기여가치와 인간노동력의 기여가치를 에너지를 공통화폐로 사용하여 함께 평가하고자 하는 시도이기 때문에 자연환경의 직접적인 기여가치 평가가 가능하였다. 이를 단위면적당(ha)으로 나타내면, 영산강하구역의 자연환경이 지역의 경제에 기여하는 가치는 연간 729만 EmW/ha/yr, 섬진강하구역은 연간 2,129만 EmW/ha/yr, 한강하구역은 연간 2,206만 EmW/ha/yr으로, 한강하구역이 가장 높았다. 이는 하구역으로 유입하는 하천 유량이 가장 많고 조차가 가장 큰 한강하구역의 자연환경이 가지고 있는 경제기여 잠재

력을 잘 보여주고 있다. 하천의 화학에너지와 조석에너지가 하구역으로 유입하는 주요 재생가능에머지이기 때문에 에머지평가의 범위를 하구역의 수역으로 국한한다면 단위면적당 기여가치는 이보다 훨씬 커질 것으로 판단된다. 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경이 기여하는 가치는 우리나라 전체 평균(373만 EmW/ha/yr)보다 더 높아 하구생태계의 사회경제적 중요성을 반영하는 것으로 보인다.

영산강하구역으로 일년동안 유입한 총에머지(재생가능에머지+재생불가능에머지+외부 구입 에머지)가 지역경제에 기여한 가치는 약 13조 EmW, 섬진강하구역의 경우 103조 EmW, 한강하구역의 경우 112조 EmW에 이르렀다. 이를 단위면적당(ha)으로 환산하면, 영산강하구역은 9,256만 EmW/ha/yr, 섬진강하구역은 10억 516만 EmW/ha/yr, 한강하구역은 3억 982만 EmW/ha/yr에 해당하였다. 따라서 현재의 환경여건과 경제구조에서는 섬진강하구역이 우리나라 전체 경제에 기여하는 잠재력이 가장 높은 것으로 평가할 수 있다.

4. 결 론

영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가는 대형 하천이 유입하는 환경적 특성과 주변 지역의 사회경제활동 중심으로 기능하는 경제적 특성 등 이들 하구역의 특성을 잘 보여주었다.

각 하구역으로 유입하는 주요 자연환경 에머지는 하천, 조석, 강수 등이었다. 그러나 이들 재생가능에머지가 세 하구역의 전체 에머지 유입량에서 차지하는 비율은 8% 미만으로 아주 적었다. 이에 비해 하구역의 외부에서 구입하여 지역경제에 투입하는 에머지의 비율은 92~98%로 대부분을 차지하였다.

단위면적당 에머지사용량, 인구수용력, 환경부하비율, 에머지 지속성지수 등 다양한 에머지 지수가 현재 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역에서 이루어지고 있는 사회경제활동의 지속성이 아주 낮다는 것을 보여주었다. 세 하구역의 인구수준은 각 하구역의 자연환경과 외부 자원이 지탱할 수 있는 한계를 훨씬 초과하고 있는 것으로 나타났다. 이는 자연환경에 대한 압력요인으로 작용하게 되는데, 각 하구역의 높은 환경부하비율에 반영되어 있다. 그 결과 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역의 지속성은 에머지 관점에서 보았을 때 아주 낮은 것으로 평가되었다.

영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역에 비해 낙동강하구역(송과 제, 2005)의 사회경제활동은 대외의존도, 환경에 미치는 압력이 훨씬 낮았으며, 이에 따라 지속성이 아주 높게 평가되었다. 그러나 앞서서도 지적한 바와 같이 송과 제(2005)가 설정한 낙동강하구역의 육역범위는 낙동강하구 주변의 김해와 부산지역을 충분히 포함하지 못하였기 때문인 것으로 판단된다. 낙동강하구역의 에머지 평가 범위를 이 연구에서 인용한 이 등(2004)의 설정범위를 따를 경우 영산강하구역, 섬진강하구역, 한강하구역과 유사한 결과가 나올 것으로 보인다.

영산강하구역, 섬진강하구역, 낙동강하구역의 자연환경이 우리 경제에 기여하는 가치는 729~2,206만 EmW/ha/yr으로 높게 평가되었다. 이는 우리나라 전체 평균보다 2배 이상 높은 것인데, 하구역의 자연환경이 가지고 있는 생태경제적 중요성을 반영한다. 이러한 하구역의 자연환경이 외부의 에머지 투자를 유발하여 하구가 우리나라 경제활동의 중심지로 기능한다고 볼 수 있다.

따라서 각 하구역이 가지고 있는 생태적·경제적 잠재력을 유지하고 회복하기 위한 하구환경관리정책의 수립·시행이 시급하다고 할 수 있다. 이는 인구 및 경제 집중의 완화, 하구의 환경수용력을 고려한 이용·개발 등 하구환경에 압력에 미치는 부정적 영향을 줄이기 위한 수요조절 측면의 정책과 훼손된 생태계의 복원, 인공생태계의 조성 등 생태계의 구조와 기능을 회복하여 우리가 이용할 수 있는 생태계 서비스를 증가시키는 공급조절 측면의 두 가지 방향으로 추진할 필요가 있다. 이 과정에서 영산강하구역의 경우 단기적인 관점에서 하구둑의 운영개선을 통해 하구순환을 개선하고, 장기적인 관점에서는 하구둑의 제거를 통한 하구순환의 복원까지도 검토할 수 있는 적극적인 하구관리방안을 수립할 필요가 있다. 또한 남북관계의 진전에 따라 다양한 개발 사업이 추진되고 있는 한강하구역의 경우 하구환경의 수용력을 계획 수립단계에서부터 고려하도록 제도화할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2005-사업코드-과제번호)과 경제·인문사회연구회의 지원으로 한국환경정책·평가연구원이 주관한 2005년 '지속가능한 하구역 관리방안'의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 강대석, 남정호(2003), 에머지 개념을 이용한 해양환경자원의 가치평가와 정책활용 방안, 한국해양수산개발원, p. 111.
 [2] 강대석, 남정호, 이석모(2006), 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌생태계 가치의 에머지 평가 및 경제학적 평가와의 비교, 한국환경과학회지, 제15권, pp. 243-252.
 [3] 노백호, 이창희(2006), 지속가능한 하구역 관리방안 III-1, p. 211.
 [4] 노백호, 이창희(2006), 지속가능한 하구역 관리방안 III-2, p. 170
 [5] 노백호, 이창희(2006), 지속가능한 하구역 관리방안 III-3, p. 315.
 [6] 송교욱, 제윤미(2005), 낙동강 하구역의 생태·경제학적 가치평가와 관리방안에 관한 연구, p. 125.

[7] 이석모(2001), 새만금 간척종합개발사업에 대한 환경회계, 한국해양환경공학회, 2001년도 춘계학술대회 논문집, 2001. 5. 24~25, 여수대학교, 여수. pp. 1-14.
 [8] 이창희, 강대석, 남정호, 이병국, 유혜진(2001), 하구·석호 육해전이수역 통합환경관리방안 연구, p. 349.
 [9] 이창희, 구도완, 노태호, 문현주, 전성우, 허경미(2003), 하구역 환경보전 전략 및 통합환경관리방안 수립 - 한강하구역을 중심으로, p. 235.
 [10] 이창희, 남정호, 김선희, 김홍상, 노백호, 문현주, 심영규, 안소은, 박창석, 이수재, 노태호, 강대석, 신용식, 최유진, 강수진, 한은진, 김재경, 한중화, 박해경(2005), 지속가능한 하구역 관리방안 II, p. 457.
 [11] 이창희, 남정호, 김선희, 박석두, 노백호, 노태호, 이수재, 문현주, 최유진, 허경미, 김동우, 강수진, 방승석(2004), 지속가능한 하구역 관리방안 I, p. 646.
 [12] 통계청(2004), 한국통계연감, p. 924.
 [13] 해양수산부(2007), 하구역 기능과 가치 평가 조사지침서.
 [14] 환경부(2004), 2004 하구역 생태계 정밀조사. p. 894.
 [15] 환경부(2005), 2005 하구역 생태계 정밀조사. p. 547.
 [16] 환경부(2006), 2006 하구역 생태계 정밀조사. p. 479.
 [17] 환경부(2007), 하구의 체계적 관리를 위한 법제도 마련 연구. p. 413.
 [18] Brown, M.T. and S. Ulgiati(1997), Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, pp. 51-69.
 [19] Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Gaskin, P. Sutton, and M. van den Belt(1997), The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, 387, pp. 253-260.
 [20] Odum, H.T.(1983), Systems Ecology, Wiley, New York. p. 644.
 [21] Odum, H.T.(1994), Ecological and General Systems, University Press of Colorado, Niwot. p. 644
 [22] Odum, H.T.(1996), Environmental Accounting, Emergy and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons, New York. p. 370.

원고접수일 : 2008년 03월 14일

원고수정일 : 2008년 06월 10일

게재확정일 : 2008년 06월 24일