

무인도서 선감도의 에머지 환경수용력 평가

강 대 석[†]
부경대학교 생태공학과

Emergy Carrying Capacity of Sungap-do, An Uninhabited Island in Korea

Daeseok Kang[†]

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

요 약

무인도서의 지속가능한 이용을 보장하기 위해서는 이용·개발계획을 수립할 때 무인도서 생태계의 높은 가치를 충분히 고려하고, 이용·개발 행위가 이루어지기 전에 환경수용력을 먼저 평가할 필요가 있다. 이 연구에서는 에머지 개념과 방법론을 이용하여 무인도서인 인천광역시 옹진군 소재 선감도의 생태계 가치와 환경수용력을 평가하였다. 선감도의 에머지 평가경계는 육지부뿐만 아니라 ‘무인도서의 보전 및 관리에 관한 법률’의 무인도서 관리범위를 따라 만조수위선으로부터 1 km이내의 해역까지 포함하였다. 선감도 생태계로 유입하는 재생가능 에머지량은 1.04×10^{20} sej/yr로, 해면부의 조석 에머지가 가장 중요하였다. 선감도의 가치는 연간 299억 EmW으로 높게 나타났다. 선감도 육지부와 해면부의 에머지 기여도를 모두 포함하여 환경수용력을 계산한 결과, 우리나라 평균 수준개발 시나리오의 경우 6,586명, 장기적 지속가능성 시나리오의 경우 2,337명이었다. 그러나 선감도 육지부가 공급하는 에머지만 고려할 경우 환경수용력은 우리나라 평균수준 개발을 가정할 경우 14명, 장기적 지속가능성을 고려할 경우 5명에 불과하였다. 따라서 선감도를 포함한 무인도서의 생태계 가치를 유지하고 무인도서 이용의 지속성을 보장하기 위해서는 이용·개발계획 수립단계에서부터 환경수용력을 고려하도록 제도화 할 필요가 있다.

Abstract – For sustainable use of the resources of uninhabited islands of Korea, their ecological economic potential needs to be fully integrated into their management policy and the carrying capacity of the islands should be evaluated before using or developing them. The emergy methodology was used to evaluate the ecological economic value and carrying capacity of Sungap-do which is an uninhabited island in Incheon, Korea. The system boundary for the emergy evaluation of the island included the sea area within 1km from the high tide level, following the management boundary for the uninhabited islands of Korea stipulated in the Law on the Conservation and Management of Uninhabited Islands. The total renewable emergy input to Sungap-do was 1.04×10^{20} sej/yr from tidal energy. The annual ecological economic contribution of the island was evaluated high at 29.9 billion EmW/yr. If Sungap-do were developed to the national average, its carrying capacity was 6,586 persons at the current living standard of Korea. The carrying capacity of Sungap-do for the long-term sustainability scenario was 2,337 persons at the same living standard as in the developed scenario. When only emergy contribution of the land area was considered, the carrying capacity of Sungap-do sharply decreased to 14 persons for the developed scenario and 5 persons for the long-term sustainability scenario. The carrying capacity of the uninhabited islands of Korea including Sungap-do, thus, needs to be considered from the initial stage of utilization or development projects to sustain the ecosystem benefits and their sustainable uses.

Keywords: Emergy evaluation(에머지 평가), Carrying capacity(환경수용력), Uninhabited islands(무인도서)

[†]Corresponding author: dskang@me.com

1. 서 론

무인도서의 보전 및 관리에 관한 법률은 무인도서를 “바다로 둘러싸여 있고 만조 시에 해수면 위로 드러나는 자연적으로 형성된 땅으로서 사람이 거주(정착하여 지속적으로 경제활동을 하는 것을 말한다. 이하 같다)하지 아니하는 곳”이라고 정의한다. 무인도서는 사회경제활동의 간섭을 적게 받아 생태계와 지형경관이 상대적으로 잘 보전되어 있지만, 대부분 크기가 작아(0.17 km² 이하) 외부의 개발압력이나 간섭에 매우 취약한 것으로 평가되고 있다(남정호 등[2002]). 우리나라에는 2,806개(2005년 기준)의 무인도서가 있으며, 전체 면적은 91.13 km²(무인도서당 평균 면적 32,523 m²)이다(해양수산부[2005]).

무인도서 생태계의 본격적인 관리는 정부가 1997년 ‘독도 등 도서지역의 생태계보전에 관한 특별법(이하 독도법)’을 제정하면서 시작되었다. 2009년 3월 현재 162개의 무인도서가 독도법에 의해 특정도서로 지정·관리되고 있다(환경부[2009]). 그러나 특정도서가 전체 무인도서에서 차지하는 비율은 5.8%에 불과하며, 나머지 무인도서는 그 동안 관리의 사각지대에 놓여 있었다. 해양수산부가 2007년 제정한 ‘무인도서의 보전 및 관리에 관한 법률(이하 무인도서법)’은 1990년대 후반 이후 생태적, 경제적, 국도안보적 차원에서 중요성이 부각되고 있는 우리나라 무인도서의 지속 가능한 이용을 위한 법률적 기반을 제공한 것으로 평가할 수 있다. 무인도서법은 독도법에 의해 특정도서로 관리되고 있지 않은 모든 무인도서와 그 주변해역을 관리대상으로 하고 있다.

무인도서법은 우리나라의 무인도서를 절대보전무인도서, 준보전무인도서, 이용가능무인도서, 개발가능무인도서의 네 가지 유형으로 구분하고, 유형별 관리방안을 수립하여 관리하도록 규정하고 있다. “무인도서의 형상을 훼손하지 아니하는 범위 안에서 사람의 출입 및 활동이 허용되는 무인도서”인 이용가능무인도서와 “일정한 개발이 허용되는 무인도서”인 개발가능무인도서의 경우 일정한 범위의 이용 또는 개발을 허용하고 있다. 그러나 무인도서법은 이들 도서의 이용 또는 개발 한계를 명확하게 규정하고 있지 않다. 1990년대 중반 이후 연안지역 지방자치단체, 토지 소유자, 개발업자 등을 중심으로 무인도서의 이용 및 개발 수요가 증가하고 있다는 점을 고려할 때(남정호 등[2002]), 무인도서 이용·개발의 한계를 정량적으로 제시하는 것은 시급한 과제이다. 이를 통해서 생태적으로 외부 간섭에 취약한 무인도서의 생태적·경제적 잠재력을 지속가능하게 이용할 수 있는 합리적인 이용·개발계획을 수립할 수 있을 것으로 판단된다.

환경수용력(environmental carrying capacity)은 개체군생태학에서 유래하였는데, “한 서식지의 자원이 유지할 수 있는 개체군의 개체수”(Ricklefs and Miller[2000])라고 정의한다. Price[1999]는 환경수용력 개념의 역사를 살펴보면서 목장관리자들이 환경수용력이라는 용어를 처음 사용하였을 것이라고 추정하였다. 이후 환경수용력은 여러 분야에서 각 분야의 특성에 맞게 정의되어 사용되고 있다. 환경수용력의 정의가 분야마다 조금씩 다르지만 모든

환경수용력의 정의는 자연 환경의 공간적 한계성과 여기에 나타나는 자원의 유한성을 내포하고 있다(임효혁 등[2003]). 이러한 생태계의 환경수용력은 외부 환경조건과 내부 생물조건이 달라짐에 따라 끊임없이 변화한다.

해양수산부[2005]는 이용개발수용력을 일반적인 환경수용력 개념이 자연환경의 사회경제적 이용과 개발에 국한하여 사용되는 것으로 보고, “이용 또는 개발하고자 하는 자연생태계가 크게 훼손되거나 변형되지 않고 생태계생산성을 지속가능하게 이용할 수 있는 이용한계 또는 개발한계”라고 정의하였다. 이런 점에서 이용개발수용력의 한계는 자연생태계의 이용목표나 관리목표와 밀접하게 연결되어 있다. 이 연구에서는 해양수산부[2005]의 정의를 따라 무인도서를 이용하는 인구수라는 관점에서 인천광역시 옹진군 선갑도의 환경수용력을 평가하였다.

도서의 환경수용력을 산정한 연구는 그리 많지 않다. 이들 연구의 대부분은 유인도서의 관광수용력 산정에 국한되어 있으며(PAP[1997]; Papairis[2004]; Scoullous[2004]), 무인도서의 관광수용력에 관한 연구(Manning *et al.*[2002])는 매우 적다. 이 연구에서 평가방법으로 채택한 에머지 개념과 평가법을 이용하여 환경수용력을 평가한 국내외 연구의 대부분은 국가나 지역의 자연환경과 사회경제활동이 유지할 수 있는 인구수용력에 관한 것이며(Lee and Odum[1994]; Odum[1996]; 손지호[1999]; Kang and Park[2002]; Campbell *et al.*[2005]; Ryderberg and Haden[2006]; Lomas *et al.*[2008]), 해양생태계의 수산물 생산(엄기혁 등[1996]), 관광지의 공간환경수용력(Brown and Ulgianti[2001])을 다룬 연구도 있지만 그 수는 아주 적다.

에머지 개념을 이용하여 도서의 환경수용력을 산정한 연구는 우리나라의 무인도서(제주도 지귀도 및 전남 신안군 우세도)를 대상으로 한 해양수산부[2005]의 연구가 유일하다. 해양수산부[2005]는 무인도서의 환경수용력을 무인도서를 이용할 수 있는 인구수의 관점에서 재생가능 에머지 기반 및 화석연료 기반 환경수용력으로 나누어 평가하였다. 이 연구에서는 해양수산부[2005]의 접근방법을 더 구체화하여 평가대상 무인도서를 우리나라 평균 수준으로 개발할 경우와 장기적 관점의 지속성을 고려할 경우로 나누어 평가하였다. 이 연구의 목적은 지형·지질·경관 측면에서 뛰어난 가치를 가지고 있고 서식지 관점의 보전가치가 좋은 무인도서인 선갑도를 대상으로 에머지 관점의 환경수용력을 평가하고, 우리나라 무인도서 관리와 관련한 시사점을 제시하는 데 있다.

2. 연구방법

2.1 평가대상 무인도서

이 연구에서 평가대상으로 선정된 선갑도는 인천광역시 옹진군 자월면에 있는 무인도서이다(Fig. 1). 해발고도가 352미터로 옹진군에서 가장 높은 선갑산이 급한 경사면을 이루고 형성된 선갑도는 면적이 2.155 km²이며 해안선의 길이는 8.5 km이다(환경부[2002]). 대부분의 해안이 암석으로 이루어져 있으며, 섬의 서쪽에는 작은

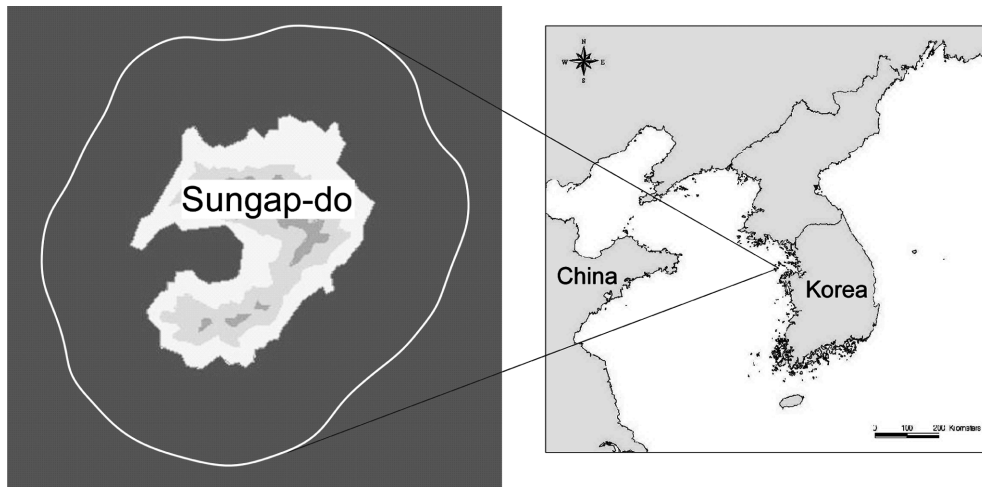


Fig. 1. Location of Sungap-do evaluated in this study.

만이 있다. 환경부[2002]는 주상절리, 해식애, 파식대, 노치, 시스택, 해식동과 같은 침식지형이 잘 나타난 선갑도를 지형·지질·경관의 관점에서 아주 뛰어나며, 관광자원 및 자연학습장으로 가치 높은 것으로 평가하였다. 2001년 제2차 전국 무인도서 자연환경조사(환경부[2002])에 따르면 선갑도의 식생은 소나무와 소사나무를 중심으로 군집이 형성되어 있고, 수관층의 높이는 6 m로 아주 낮았다. 과거 군부대의 이용으로 일부 교란은 있지만 식생의 자연성과 보존가치는 모두 중으로 평가되었다. 선갑도에서는 12분류군의 관속식물만 나타나 식물 종조성이 아주 빈약하였으며, 특정식물종은 장구밥나무 1종류만 관찰되었다. 식물종다양성과 특정식물종 분포가 아주 적어 보존가치가 매우 낮게 평가되었다. 선갑도 해안에서는 모두 34종의 무척추동물이 관찰되었는데, 종다양성은 보통, 보존가치는 대체적으로 좋은 서식지 유형으로 평가되었다. 그러나 서쪽의 만에는 양식장이 조성되어 해안생태계의 훼손과 오염 문제가 제기되고 있다.

2.2 에머지 개념

미국의 시스템생태학자인 Howard T. Odum이 제안한 에머지 개념은 지금까지 생태학의 입장에서 자연환경과 사회경제활동의 관계를 통합적으로 이해하고, 자연환경의 이용과 보전을 조화하기 위한 정책 시사점을 제시하기 위하여 다양한 분야에 적용되었다(Odum[1983, 1994, 1996]). 에머지 개념은 한 가지 자원이 인간 사회에 기여하는 가치는 이 자원을 만드는데 투입된 모든 에너지를 더한 값(직접 필요한 에너지와 간접으로 필요한 에너지를 모두 더한 양)에 비례한다는 가정에서 출발한다(Odum[1996]).

지금까지 자연환경의 이용과 개발에 관한 정책결정 과정에서 자연환경이 우리 경제에 기여하는 가치는 대부분 시장가격(market value)을 이용하여 평가하였다. 시장에서 거래가 이루어지지 않는 환경자원에 대해서는 가상가치추정법(contingent valuation method), 여행비용법과 같은 경제학적인 방법을 이용하여 평가하였다. 그러나 두 경우 모두 수요자의 지불의사(willingness-to-pay)에 기반을

두고 자연환경의 가치를 평가하기 때문에 자연환경이 우리 경제의 진정한 부(real wealth)에 기여하는 바를 충분히 반영하지 못하는 측면이 있다(Odum[1996]). Odum[1996]은 이에 대한 대안으로 자연환경의 기여가치를 평가하는 데 에너지를 공통 화폐(common currency)로 사용하였다. 에머지는 Farber *et al.*[2002]이 구분한 바와 같이 자연환경의 가치평가에 에너지를 이용하려는 시도(energy theory of value)로, 자연과 인간이 공존할 수 있는 대안을 제시하기 위한 가치평가 방법으로 제안되었다. 에너지를 공통화폐로 이용하여 생태계의 가치를 평가함으로써 자연환경의 일과 인간의 노동력이 모두 가치 평가에 포함된다.

즉, 에머지 개념은 인간이 필요한 재화와 용역의 생산에 반드시 필요하지만 그 동안 화폐관점의 평가에서 제외되었거나 충분히 반영되지 못한 자연환경의 일을 가치평가에 포함하기 때문에 자연환경의 지속가능한 이용과 관련하여 시스템 관점에서 더 유용한 시사점을 제시할 수 있다. 시장가치와 지불의사는 자연환경의 기여가치를 인간소비자의 관점에서 평가(receiver value)하는 반면, 에머지 개념은 자연환경의 재화와 용역이 만들어지는데 들어간 에너지량을 평가(donor value)한다(Odum[1996]).

에머지는 “한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지”로 정의된다(Odum[1983, 1994, 1996]). 여러 가지 환경 자원들을 에너지라는 공통 화폐로 표시함으로써 특성이 서로 다른 자원들을 동일한 기준에서 비교할 수 있다.

2.3 에머지 평가과정

에머지 평가 과정은 크게 에머지 평가모델 작성, 에머지 평가표 작성, 에머지 지수 계산의 세 단계로 나누어진다.

2.3.1 에머지 평가 모델

선갑도의 환경수용력을 평가하기 위한 모델은 미국의 시스템생태학자 Howard T. Odum이 개발한 에너지시스템언어(energy

systems language)를 이용하여 작성하였다(Odum[1983, 1994]). 에너지시스템언어는 평가대상 시스템의 구성요소들 사이의 연결 관계를 의미가 미리 정의된 기호들을 이용하여 나타낸다.

에너지시스템언어를 이용하여 평가모델을 만드는 과정은 크게 5단계로 나누어진다. 첫 번째 단계에서는 평가대상 시스템의 경계를 정하는데, 경계는 연구하고자 하는 대상과 연구의 목적에 따라 결정된다. 평가대상 시스템의 경계는 시스템의 외부요소와 내부요소를 구분하는 기준을 제시한다. 이 연구에서는 선갑도 에머지 평가의 바다쪽 경계를 '무인도서의 보전 및 관리에 관한 법률'이 정한 관리범위를 따라 만조수위선으로부터 1 km 이내의 해역을 대상으로 하였다. 두 번째 단계에서는 시스템의 외부에서 시스템에 영향을 미치는 주요 요소들에는 어떤 것들이 있는지 파악한다. 외부요소에는 태양, 비, 바람, 조석, 해류, 생물, 씨앗과 같은 자연적인 요소와 연료, 전기, 재화와 용역, 정보, 외부시장, 사람 등과 같은 인위적 요소 등 시스템에 영향을 미치는 모든 형태의 에너지와 물질이 포함된다. 세 번째 단계에서는 평가대상 시스템의 주요 내부요소를 파악하고, 네 번째 단계에서는 내부요소와 내부요소, 내부요소와 외부요소 사이를 연결하는 주요 흐름을 파악한다. 다섯 번째 단계에서는 에너지시스템언어의 규칙(Odum, 1983, 1994)에 따라 내부 및 외부의 모든 요소들을 시스템 경계내의 적절한 위치에 배치하고 네 번째 단계에서 파악한 흐름 관계를 따라 연결함으로써 모델이 완성된다.

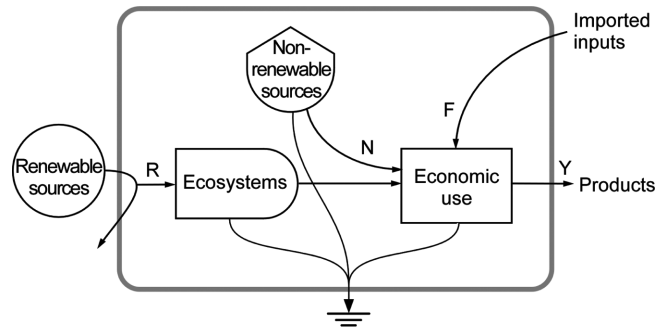
2.3.2 에머지 평가표

앞에서 완성한 에머지 평가모델을 이용하여 에머지 평가표를 만드는 것이 에머지 평가의 두 번째 단계이다. 에머지 평가표에는 평가대상 시스템의 주요 유입 및 유출 경로, 내부의 주요 구성요소(저장된 양 또는 흐름)가 포함되는데, 일반적인 형태는 Table 1 과 같다. 선갑도의 에머지 평가를 수행하기 위해서는 우리나라 및 선갑도의 사회경제현황과 자연환경현황에 대한 자료가 필요하다. 이를 위해 2006년 기준 국가기관 통계자료, 자연환경 조사보고서와 학술논문, 인터넷 자료를 이용하였다.

2.3.3 에머지 지수 계산

이 과정은 에머지 평가의 마지막 단계로, 에머지 평가표를 이용하여 평가대상 시스템의 특성을 파악하기 위한 에머지 지수들을 계산한다. 이러한 지수들은 평가대상 시스템의 상태에 관한 정보를 제공하며, 경제성 평가(에머지투자비용, 에머지산출비용), 환경영향(환경부하비율), 대안선정(최대 에머지원리), 지속가능성 평가(에머지지속성지수)와 같은 정책결정에 사용할 수 있다.

이 연구에서는 선갑도의 환경수용력을 평가하기 위하여 에머지 투자비용(emergy investment ratio. EIR), 에머지산출비용(emergy



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

Fig. 2. Emergy indices used in this study to calculate the carrying capacity of Sungap-do.

yield ratio, EYR), 환경부하비율(environmental loading ratio, ELR), 에머지지속성지수(emergy sustainability index, ESI)를 이용하였다. EIR은 평가대상 시스템 외부에서 구입한 에머지(F)와 내부에서 공급된 에머지(재생가능 에머지 R, 재생불가능 에머지 N)의 비율로(Fig. 2), 생산과정의 경쟁력을 나타낸다. 즉, 동일한 재화나 서비스를 생산할 경우 EIR이 낮을수록 외부 에머지 사용량이 적어 더 경쟁력이 있는 것으로 평가할 수 있다. EYR은 시스템에서 생산한 재화나 서비스가 가지고 있는 에머지량(Y)을 외부에서 구입하여 투입한 에머지량(F)으로 나누어 구하는데, EYR이 클수록 생산과정이 경제에 기여하는 바가 더 많다는 것을 의미한다. ELR은 평가대상 경제활동이 자연환경에 미치는 부정적 영향의 정도를 평가하는데, 외부에서 구입하여 투입한 에머지(F)와 내부의 재생불가능 에머지(N)를 더한 뒤 이를 내부의 재생가능 에머지(R)로 나누어 구한다. 마지막으로 ESI는 평가대상 경제활동의 지속성을 나타내는데, EYR을 ELR로 나누어 구한다. Brown and Ulgiati [1997]는 평가대상 시스템의 ESI가 10이상이면 장기적으로 지속 가능한 시스템으로 구분하였다.

2.4 환경수용력 평가

선갑도의 환경수용력은 이 무인도서가 우리나라 평균수준으로 개발되는 것을 가정한 경우와 장기적으로 지속성이 보장되도록 개발되는 경우로 나누어 산정되었다. 이 연구에서는 환경수용력을 선갑도를 이용할 수 있는 최대 인구 수로 평가하였다. 선갑도의 환경수용력은 선갑도로 유입하는 연간 에머지 유입량(sej/yr)을 일인당 에머지 사용량(sej/person)으로 나누어 구하였다. 이를 위해 두 가지 시나리오에 대해 연간 에머지 유입량을 각각 계산하였으며, 일인당 에머지 사용량은 우리나라 전체의 평균 일인당 에머지

Table 1. Tabular format for a typical emergy evaluation table

Note	Items	Raw data	Solar transformaty (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emvalue (EmW/yr)
1		J/yr, g/yr, W/yr, \$/yr, etc	sej/J, sej/g, sej/W, sej/\$, etc	Raw data×Solar transformaty	Solar emergy/ Emergy-money ratio

사용량을 이 연구에서 별도로 계산하여 활용하였다. 우리나라의 일인당 에머지 사용량은 경제로 유입하는 연간 총에머지량(sej/yr)을 국내총생산(W/yr)으로 나누어 구하였다.

선갑도가 우리나라 평균 수준으로 개발되는 것으로 가정한 경우의 연간 에머지 유입량(sej/yr)을 계산하기 위하여 먼저 우리나라의 평균 개발수준을 나타내는 EIR을 계산하였다. Fig. 2에 제시한 EIR 계산식에서 우리나라 EIR과 선갑도로 유입하는 재생가능 에머지량(R)은 이 연구에서 독립적으로 계산되는 값이기 때문에, 외부에서 구입하는 에머지량(F)은 이 식을 이용하여 계산할 수 있다. 이렇게 계산된 외부 구입 에머지량(F)과 R 및 N 값을 더하여 선갑도로 유입하는 연간 에머지량을 계산하였다.

장기적 관점에서 지속성을 보장하는 개발을 가정할 경우에 선갑도로 유입하는 연간 에머지량(sej/yr)을 계산하기 위해서는 Fig. 2의 ESI 계산식을 이용하였다. ESI가 10이 되도록 하는 F값을 계산한 뒤, 이를 R 및 N과 더하여 연간 총 에머지 유입량을 계산하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 선갑도의 에머지 평가표

선갑도 생태계의 환경수용력을 산정하기 위한 에너지시스템 모델은 Fig. 3에 제시하였다. Fig. 3의 모델을 이용하여 작성한 선갑도의 에머지 평가표는 Table 2에 제시하였다. 선갑도로 유입하는 재생가능 에머지 총량은 연간 1.04×10^{20} sej/yr로, 조석에너지가 100%를 차지하였다. 선갑도로 유입하는 재생가능 에머지 총량(Fig. 2의 R)은 중복계산을 피하기 위하여 해변부에서 에머지 기여도가 가장 큰 조석 에머지와 육지부에서 에머지 기여도가 가장 큰 강수 에머지를 더해 구하였다. 그러나 해변부의 조석 에머지에 비해 육지부 강수 에머지가 아주 작아 선갑도로 유입하는 재생가능 에머지는 조석 에머지가 전체를 차지하였다. 선갑도의 토양침식은 재생불가능 에머지 기여량(Fig. 2의 N)을 나타내는데, 연간 1.97×10^{16}

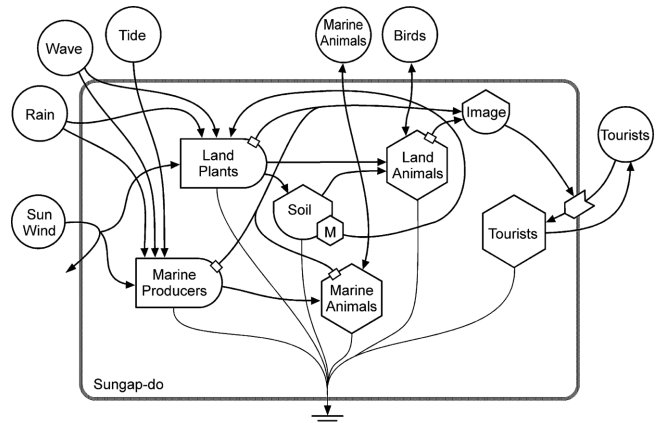


Fig. 3. Energy systems diagram for the emergy evaluation of Sungap-do, Korea.

sej/yr를 공급하였다.

선갑도로 유입하는 총에머지 유입량을 이용하여 선갑도 생태계의 가치를 평가한 결과 연간 299억 EmW(1,782만 EmW/ha/yr)으로 나타났다. 비록 직접적인 비교는 힘들지만 2009년 1월 1일 기준 선갑도의 공시지가인 2,100원/m²(웅진군[2009])을 이용하여 계산한 선갑도의 화폐가치가 약 45억원에 불과하다는 점을 고려한다면 선갑도 생태계가 가지고 있는 에너지 관점의 가치는 아주 높다고 할 수 있다. 해양수산부[2005]의 자료를 이 연구에서 사용한 태양에너지변환도와 에머지-화폐비율을 적용하여 재계산하면 지귀도의 경우 1,174만 EmW/ha/yr, 우세도의 경우 3,200만 EmW/ha/yr의 가치를 가지고 있는 것으로 나타났다. 선갑도 생태계의 연간 가치는 지귀도보다 높았지만, 우세도보다는 낮았다.

3.2 환경수용력

선갑도의 환경수용력 계산결과는 Table 3에 제시하였다. 선갑도를 우리나라 평균 수준으로 개발하는 것으로 가정할 경우 선갑

Table 2. Emergy evaluation table for the emergy flow of Sungap-do, Korea

No	Items	Energy Data (J/yr)	Solar Transformity ^a (sej/J)	Solar Emergy (sej/yr)	Emvalue ^b (EmW/yr)
1	Sun	7.16×10^{16}		7.16×10^{16}	2.06×10^7
	Land	9.19×10^{15}	1	9.19×10^{15}	2.64×10^6
	Sea	6.24×10^{16}	1	6.24×10^{16}	1.79×10^7
2	Wind, kinetic energy	4.96×10^{13}		1.22×10^{17}	3.49×10^7
	Land	6.36×10^{12}	2,450	1.56×10^{16}	4.47×10^6
	Sea	4.32×10^{13}	2,450	1.06×10^{17}	3.04×10^7
3	Rain, chemical	4.96×10^{13}		1.51×10^{18}	4.34×10^8
	Land	6.36×10^{12}	3.05×10^4	1.94×10^{17}	5.57×10^7
	Sea	4.32×10^{13}	3.05×10^4	1.32×10^{18}	3.78×10^8
4	Wave	3.75×10^{14}	5.10×10^4	1.91×10^{19}	5.49×10^9
5	Tide	1.41×10^{15}	7.39×10^4	1.04×10^{20}	2.99×10^{10}
6	Soil erosion	1.59×10^{11}	1.24×10^5	1.97×10^{16}	5.66×10^6

^aData sources and calculations are given in Appendix.

^bTransformities for wind, rain, wave, and tide from Odum[2000] and that for top soil loss from Campbell *et al.*[2005], based on the global energy baseline of 15.83×10^{24} sej/yr.

^cEmvalue for each item was calculated using the emergy-money ratio of 3.09×10^9 sej/W calculated in this study for the Korean economy in 2006.

Table 3. Emergy carrying capacity of Sungap-do, Korea

Scenarios	Emergy from both land and sea (persons)	Emergy only from land (persons)
If the Sungap-do were developed to the national average with the emergy investment ratio of 2.86	6,586	14
If the Sungap-do were developed to ensure the long-term sustainability with the emergy sustainability index greater than 10	2,337	5

도의 환경수용력은 육지부와 해면부를 함께 고려할 경우 6,586명, 육지부의 에머지 유입량만 고려할 경우 14명으로 계산되었다. 그러나 이 경우 환경에 미치는 압력이 높고, 지속가능하지 않은 것으로 나타났다. 육지부와 해면부를 모두 포함할 경우 ELR은 2.86, ESI는 0.47이었으며, 육지부 에머지만 고려하였을 경우에는 ELR이 3.22, ESI는 0.41로 계산되었다. 육지부와 해면부 에머지를 모두 포함하여 환경수용력을 평가할 경우의 ELR과 ESI가 육지부 에머지만 포함하였을 경우에 비해 약간 더 높았다. Brown and Ulgiati[1997]는 ELR이 3보다 작을 경우 환경에 미치는 영향이 적은 시스템으로 구분하였으며, ESI가 1보다 작으면 지속가능하지 않은 시스템으로 분류하였다.

장기적 지속가능성(ESI=10)을 고려하여 선갑도를 개발할 경우 선갑도의 환경수용력은 육지부와 해면부의 에머지 기여도를 모두 포함한다면 2,337명, 육지부의 에머지 공급량만 포함할 경우 5명으로 계산되었다. 이 경우 ELR은 육지부와 해면부를 모두 포함한 경우에는 0.37, 육지부 에머지만 고려한 경우에는 0.43으로 환경에 미치는 영향이 아주 적었다.

Table 3에 제시한 선갑도의 수용력은 이용·개발을 전제로 할 경우의 수용력이다. 선갑도 생태계를 보전할 것인지 아니면 이용·개발할 것인지 이는 별도의 과정을 거쳐 결정되어야 하며, 여기에서 제시한 수치는 이용·개발이 결정되었을 경우 활용할 수 있는 자료라고 할 수 있다. 그러나 선갑도의 에머지 평가에서 계산한 선갑도 생태계의 가치에 관한 자료는 선갑도의 관리방향을 결정할 때에도 활용가치가 큰 것으로 판단된다.

4. 결 론

에머지 방법론을 이용하여 무인도서인 선갑도에 대한 에머지 평가를 수행한 결과 선갑도 생태계의 가치는 연간 299억 EmW으로 나타났다. 또한 선갑도 육지부와 해면부의 에머지 기여도를 모두 포함하여 환경수용력을 계산한 결과, 우리나라 평균 수준개발 시나리오의 경우 6,586명, 장기적 지속가능성 시나리오의 경우 2,337명이었다. 이를 토대로 무인도서 생태계 관리와 관련한 정책 시사점은 다음과 같이 제시할 수 있다.

먼저 무인도서의 가치에 대한 인식의 전환이 필요하다는 점이다. 선갑도 생태계는 에너지 관점에서 가치(299억 EmW/yr)가 높은 것으로 평가되었다. 따라서 무인도서의 이용·개발계획 수립 시 이용과 개발로 얻게 될 단기적인 경제 이익 이외에 이용·개발 행위로 잃게 될 자연생태계의 장기적 기여가치에 대한 충분한 고려

가 필요하다.

무인도서는 규모가 작아 이용·개발 압력에 기인하는 생태계의 교란과 훼손에 취약한 생태적 특성을 가지고 있다. 따라서 무인도서의 이용·개발 시 육상생태계의 이용·개발과 동일한 패턴을 따라서는 안 되며, 무인도서의 특성을 반영하는 이용·개발계획이 필요하다. 훼손된 생태계의 생산력을 회복하는 데는 많은 시간과 비용이 들기 때문에 무인도서의 이용·개발 계획은 무인도서의 특성을 충분히 반영하도록 해야 한다.

무인도서의 지속 가능한 이용이 가능하도록 이용·개발계획 수립단계에서부터 적정 이용·개발 규모를 제시하기 위한 평가도구를 확립할 필요가 있다. 앞서서도 지적한 바와 같이 규모가 작아 외부 압력에 취약한 무인도서의 특성을 고려할 때 이용·개발계획 수립단계에서부터 환경수용력 산정이 반드시 이루어지도록 제도화할 필요가 있다. 이 경우 무인도서의 이용·개발 형태, 규모, 시기, 범위(육상, 해양, 육상+해양) 등을 종합적으로 고려하여 환경수용력을 산정하도록 해야 한다.

마지막으로, 무인도서의 이용·개발 또는 보전 필요성을 판단하기 위한 과학적 의사결정체계를 구축할 필요가 있다. 환경수용력의 산정은 특정 무인도서에 대한 이용·개발을 전제로 하기 때문에 해당 무인도서의 보전 또는 이용·개발 여부에 대한 결정이 선행되어야 한다. 무인도서의 높은 에머지 가치, 생태적 취약성, 보전과 이용·개발을 둘러싼 첨예한 갈등 등을 고려할 때 무인도서의 생태적 특성, 지역의 사회경제적 여건, 역사·문화적인 배경을 종합적으로 반영할 수 있는 무인도서 관리 의사결정체계의 구축은 아주 중요한 과제라고 할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 2005~2007년 인천광역시 ‘도서해양환경 조사 및 보전·관리계획 수립’ 용역(주관기관: 인하대학교)의 일부로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 국립해양조사원, 2005, 검조기록부.
 [2] 기상청, 2006, 기상연보, pp. 297.
 [3] 남정호, 강대석, 2002, “무인도서의 효율적 관리방안”, 해양수산부, 우리나라 무인도서의 통합적 관리대책 마련을 위한 Working Group 운영, 29-56.
 [4] 산림청, 2000, 산림과 임업기술 (I), pp. 272.

- [5] 손지호, 1999, 에머지 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 환경공학과 박사학위 논문, pp. 141.
- [6] 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, “EMERGY 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정”, 한국수산학회지, 29, 629-636.
- [7] 웅진군, 2009, 개별공시지가, <http://klis.incheon.go.kr/sis/info/landprice/landprice.do?service=landPriceInfo>, 2009.10.15.
- [8] 임효혁, 강대석, 남정호. 2003, “연안유역관리를 위한 해양환경수용력 평가모델의 활용 개선방안”, 해양정책연구, 18, 33-69.
- [9] 해양수산부, 2003. 해상파랑관측 및 조사.
- [10] 해양수산부, 2005, 무인도서 실태조사 및 통합적 관리방안, pp. 307.
- [11] 환경부, 2002, 전국 무인도서 자연환경조사 - 인천광역시 강화군II·웅진군II, 환경부, 170-180.
- [12] 환경부, 2009, 특정도서 지정·관리현황, pp. 14.
- [13] 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.
- [14] Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2001, “Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments”, Population and Environment, 22, 471-501.
- [15] 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. Narragansett, Rhode Island, USA.
- [16] Farber, S.C., Costanza, R. and Wilson, M.A., 2002, “Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services”, Ecological Economics, 41, 375-392.
- [17] Kang, D. and Park, S.S., 2002, “Emergy evaluation perspectives of a multipurpose dam proposal in Korea”, Journal of Environmental Engineering, 66, 293-306.
- [18] Lee, S.M. and Odum, H.T., 1994, “Emergy analysis overview of Korea”, J. of the Korean Environmental Sciences Society, 3, 165-175.
- [19] Lomas, P.L., Alvarez, S., Rodriguez, M. and Montes, C., 2008, “Environmental accounting as a management tool in the Mediterranean context: the Spanish economy during the last 20 years”, Journal of Environmental Management, 88, 326-347.
- [20] Manning, R., Wang, B., Valliere, W., Lawson, S. and Newman, P., 2002, “Research to estimate and manage carrying capacity of a tourist attraction: a study of Alcatraz Island”, Journal of Sustainable Tourism, 10, 388-404.
- [21] Odum, H.T., 1983, Systems Ecology, Wiley, New York, pp. 644.
- [22] Odum, H.T., 1994, Ecological and General Systems, University Press of Colorado, Niwot, 644pp.
- [23] Odum, H.T., 1996, Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons, New York, pp. 370.
- [24] Odum, H.T., 2000, Handbook of Emergy Evaluation. Folio #2. Emergy of Global Processes, Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville, pp. 30.
- [25] PAP(Priority Actions Programme), 1997, Guideline for carrying capacity assessment for tourism in Mediterranean coastal areas, pp. 51.
- [26] Parpairis, A., 2004, Tourism Carrying Capacity Assessment in Islands. In : (eds) H. Coccossis and A. Mexa, The Challenge of Tourism Carrying Capacity Assessment : Theory and Practice, Ashgate, Hampshire, 201-213.
- [27] Price, D., 1999, “Carrying capacity reconsidered”, Population and Environment, 21, 5-26.
- [28] Ricklefs, R.E. and Miller, G.L., 2000, Ecology, Freeman, New York, pp. 822.
- [29] Rydberg, T. and Haden, A.C., 2006, “Emergy evaluations of Denmark and Danish agriculture: Assessing the influence of changing resource availability on the organization of agriculture and society”, Agriculture, Ecosystems and Environment, 117, 145-158.
- [30] Scoullou, M., 2004, Tourism carrying capacity and public participation: the methodology used in the case of the Island of Rhodes, Greece. In: (eds) H. Coccossis and A. Mexa, The Challenge of Tourism Carrying Capacity Assessment : Theory and Practice, Ashgate, Hampshire, 215-244.

2009년 12월 29일 원고 접수

2010년 2월 18일 심사완료

2010년 2월 18일 수정본 채택

Appendix. Footnotes to Table 2.**1. Sunlight**

Land area = 2,155,041 m² (해양수산부[2005])

Sea area = 14,646,000 m²

Insolation = 4.74×10⁹ J/m²/yr (기상청[2006])

Albedo = 0.1 (assumed)

Energy (J/yr) = (Area)×(Insolation)×(1 - albedo)

Energy-land (J/yr) = 9.19×10¹⁵ J/yr

Energy-sea (J/yr) = 6.24×10¹⁶ J/yr

Total energy (J/yr) = 7.16×10¹⁶ J/yr

2. Wind

Average wind speed = 2.5 m/s (기상청[2006])

Geostrophic wind = (Average wind speed)×(10/6) = 4.17 m/s

Energy (J/yr) = (1.3 kg/m³)×(0.001)×(Geostrophic wind)³×
(3.14×10⁷ sec/yr)×(Area)

Energy-land (J/yr) = 6.36×10¹² J/yr

Energy-sea (J/yr) = 4.32×10¹³ J/yr

Total energy (J/yr) = 4.96×10¹³ J/yr

3. Rain, chemical

Rain = 1.3 m/yr (기상청[2006])

Energy (J/yr) = (Area)×(Rain)×(1000 kg/m³)×(4940 J/kg)

Energy-land (J/yr) = 1.38×10¹³ J/yr

Energy-sea (J/yr) = 9.41×10¹³ J/yr

Total energy (J/yr) = 1.08×10¹⁴ J/yr

4. Wave

Shore length = 3130 m (estimated in this study)

Wave height = 0.42 m (해양수산부[2003])

Water depth = 30 m

Energy (J/yr) = (Shore length)×(1/8)×(1025 kg/m³)×(9.8 m/sec²)×
(Wave height)² × (9.8 m/sec²×Water depth)^{1/2}×(3.154×10⁷ sec/yr)
= 3.75×10¹⁴ J/yr

5. Tide

Tidal height = 5.21 m (국립해양조사원, 2005)

Energy (J/yr) = (Sea area)×(0.5)×(706/yr)×(3.2²)×(1025 kg/m³)×
(9.8 m/sec²) = 1.41×10¹⁵ J/yr

6. Soil erosion

Soil loss = 70 g/m²/yr (산림청, 2000)

Energy (J/yr) = (Area)×(Soil loss)×(0.07 gOM/g-sediment)×
(3.6 kcal/g)×(4186 J/kcal) = 1.59×10¹¹ J/yr