

## 에머지 방법론을 이용한 갯벌생태계의 가치 평가:

### I. 에머지 유입 특성

남정호<sup>1</sup> · 강대석<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>한국해양수산개발원

<sup>2</sup>부경대학교

## Emergy Valuation of Tidal Flat Ecosystems in Korea:

### I. Characteristics of Environmental Emergy Inputs

JUNG HO NAM<sup>1</sup> AND DAE SEOK KANG<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Marine Policy Research, Korea Maritime Institute, Busan 49111, Korea

<sup>2</sup>Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

전국 및 지역별 갯벌을 대상으로 갯벌생태계의 생태적 과정을 유지하고 생태계서비스를 제공하는데 기본 토대인 자연환경에너지(태양, 바람, 파도, 강수, 조석 등)를 통한 에머지 유입 특성을 분석하였다. 우리나라 갯벌생태계로 유입하는 자연환경에너지가 공급한 에머지 총량은  $4.98 \times 10^{21}$  sej/yr이었는데, 이는 갯벌생태계의 유지에 필요한 기본적인 환경 조건이 제공하는 에머지량에 해당한다. 갯벌생태계로 유입하는 에머지량을 화폐 단위로 환산하면 1조1,412억 원/yr으로, 이것은 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스를 생산하는데 토대가 되는 환경적 조건의 가치에 해당한다. 지역별 갯벌의 면적 차이를 고려하여 단위면적당으로 나타낼 경우 우리나라 연안의 일반적인 조차 분포를 따라 인천-경기 지역에서 부산 지역으로 갈수록 단위면적당 에머지 유입량이 감소하였다. 지역별 갯벌의 단위면적당 에머지 유입량과 단위면적당 수산물 생산의 에머지량을 이용하여 갯벌생태계를 유지하는데 필요한 자연환경에너지의 에머지 유입 특성과 생태계서비스 사이의 관계를 개괄적으로 살펴본 결과 지역별 갯벌로 유입한 에머지량과 수산물 생산의 에머지량 사이에는 아주 명확한 관계가 나타나지는 않았다. 그러나 단위면적당 에머지 유입량이 더 많은 서해안 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량이 남해안 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량보다 더 많아 개별 갯벌생태계의 생태계서비스 잠재력을 나타내는데 자연환경에너지를 통한 에머지 유입량의 활용 가능성을 보여주었다.

This study analyzed the characteristics of emergy inputs from environmental sources that are essential in maintaining ecological processes and providing ecosystems services of the tidal flat ecosystems in Korea. Environmental sources provided a total of  $4.98 \times 10^{21}$  sej/yr of emergy to the tidal flats of Korea. The emergy inputs from environmental sources were worth 1,141 billion ₩/yr. This is the value of environmental conditions that are the basis of ecosystem services provided by the tidal flat ecosystems. The emergy input per hectare to regional tidal flats decreased along the coastline from northwest to southeast, with the highest input in the Incheon-Gyeonggi area in the central western part of the Korean coast and the lowest input in the Busan area in the southeastern end. This reflects the general distribution pattern of the magnitude of tidal ranges along the Korean coast. There was no a clear-cut relationship between emergy inputs per unit area and fishery production(expressed in emergy quantity) per unit area. However, tidal flats in the west coast with higher emergy inputs per unit area produced more fishery products than those in the south coast with lower emergy inputs, suggesting a possibility that the emergy inputs could be used for the rapid evaluation and comparison of the potential for ecosystem service provision by individual tidal flats.

**Key words:** Korean tidal flat ecosystem, environmental emergy input

## 서론

연안·해양 자원의 과도한 이용·개발로 대표되는 국가적 여건과 기후 변화로 대표되는 지구적 규모의 환경 변화는 우리나라 해양생태계의 지속가능한 이용을 실현하기 위해 극복해야 하는 어려운 과제이다. 이러한 문제에 대처하기 위해서는 해양생태계의 체계적·장기적 연구·조사, 다양한 관리정책 수단 개발이외에도 해양생태계가 우리 삶에 기여하는 역할에 대한 국민의 인식을 증진하고 해양생태계 관리 의사결정에 필요한 기초 정보 제공이라는 측면에서 해양생태계가 사람들에게 제공하는 다양한 생태계서비스(해양생태계가 제공하는 재화를 포함)의 가치를 과학적·객관적으로 평가할 필요가 있다. *Beaumont et al.*(2007)은 해양생물종 다양성이 제공하는 생태계서비스에 대해 다루면서 생태계서비스 관점의 생태계 평가는 “생태계의 복잡한 현상을 정책결정자나 일반인이 더 쉽게 이해”할 수 있게 하며, “생태계의 이용과 개발 과정에서 얻는 손실과 편익이 무엇인지 제대로 이해할 수 있도록” 돕는다고 주장하였다. *UNEP-WCMC* (2011)는 생태계에서 일어나는 변화가 인간의 삶에 어떤 영향을 미치는지 이해하기 위한 주요 수단의 하나로 생태계서비스 가치 평가를 들고 있는데, 해양생태계 서비스의 가치를 평가해야 하는 주요 이유로 “해양생태계 관리에 필요한 의사결정을 돕기 위해 관리 행위 또는 정책의 비용과 편익을 평가”하고 “한 생태계 또는 일련의 연결된 생태계가 인간에게 제공하는 편익의 가치를 더 잘 이해할 수 있는 정보를 제공”하는 역할을 한다는 점을 들었다.

갯벌생태계는 우리나라 연안의 가장 특징적이며 중요한 생태계에 해당하고, 우리 경제는 갯벌로부터 여러 가지 생태계서비스를 제공받고 있다(*Koh*, 2001; *MLTM*, 2008; *MOF*, 2013a; *Koh and Khim*, 2014). 1990년대 중반이후 갯벌생태계가 제공하는 다양한 편익의 중요성에 대한 인식 제고를 바탕으로 「습지보전법」 제정, 습지보호지역 지정 등 다양한 관리 노력이 진행되고 있다. 그러나 사회경제적 인식과 관리 제도의 변화에도 불구하고 갯벌생태계는 습지보호지역 등 일부 지역을 제외하고는 여전히 이용·개발 압력에 지속적으로 노출되어 있다(*Eom et al.*, 2012; *Yoon et al.*, 2012; *MOF*, 2013b; *Koh*, 2014). 연안지역의 사회경제활동이 갯벌생태계를 포함한 해양생태계의 이용과 불가분의 관계를 맺고 있다는 점을 고려할 때 갯벌생태계의 이용 또는 보존과 관련한 의사결정(이용 vs 보존, 보존 또는 이용의 정도 등)에 이용할 수 있는 정량 자료는 갯벌생태계의 성공적인 관리에 필수적이다. 이러한 정량 자료 가운데 한 가지로 갯벌생태계가 우리나라 경제에 기여하는 가치를 들 수 있다. 현재 해양생태계의 관리 방향이 공간 관리로 전환하고 있는 시점에서 갯벌생태계의 가치 평가는 해양공간의 이용 또는 보존과 관련된 의사결정에 중요한 기초 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라에서 지금까지 해양생태계의 가치를 평가하는데 이용된 방법은 경제학적 평가법(예를 들어, *Yoo*, 2007; *Yoo and Lee*,

2011; *Kwon et al.*, 2013)과 에머지 평가법(예를 들어, *Lee and Kang*, 2008; *Nam et al.*, 2010; *Kang*, 2013)이 있다. 경제학적 평가법을 이용한 갯벌생태계의 가치 평가는 1990년대 중반 이후 시작하였는데(*MOE*, 1996), 새만금 간척사업을 둘러싼 논쟁 과정에서 많은 연구가 진행되었다(예를 들어, *JICEISRP*, 2000). *MOF* (2013a)는 연안습지 기초조사의 일환으로 최근 이루어진 연구(*MLTM*, 2010, 2011, 2012)의 평가 결과(보존가치)와 과거 평가 결과(수산물 생산, 수질정화, 여가, 서식지 제공, 재해방지)를 바탕으로 2012년 12월 기준 우리나라 갯벌생태계의 연간 총 경제적 가치를 약 16조 원으로 추정한다 바 있다.

해양생태계가 생산한 생태계서비스에 대한 소비자의 지불의사를 이용하여 가치를 평가(receiver-based approach)하는 경제학적 평가법과 달리 에머지 평가법은 이러한 생태계서비스가 형성되는데 투입된 에너지, 물질, 정보 등에 내재한 에머지량을 이용하여 가치 평가(donor-based approach)를 수행한다(*Odum*, 1996). 생태계서비스 가치 평가방법 가운데 생물리적 방법으로 분류(*TEEB*, 2010)되는 에머지 평가법은 1990년대 중반 국내에 도입(*Lee and Odum*, 1994)된 이후 다양한 분야에 적용되었는데, 해양생태계의 경우 수산업(*Sohn et al.*, 1996; *Eum et al.*, 1996; *Oh et al.*, 2008), 갯벌(*Kang*, 2001; *Kim*, 2002; *Kang et al.*, 2006), 하구(*Lee et al.*, 2001; *Song and Je*, 2004; *Lee and Kang*, 2008; *Kang*, 2013), 무인도서(*Nam et al.*, 2010; *Kang*, 2010), 바다모래(*Yang and Kang*, 2011) 등을 대상으로 시스템 생태학의 관점에서 해양생태계의 환경 및 사회경제적 이용·개발 특성을 평가하거나 일부 생태계서비스 항목에 대한 가치를 평가하는데 활용되었다. 또한 최근에는 해양공간관리에 에머지 평가법을 적용하기 위한 연구가 진행되고 있다(*Kang and Nam*, 2014; *Kang et al.*, 2015). 그러나 갯벌생태계가 우리 사회에 기여하는 가치를 평가하는데 에머지 평가법을 적용한 경우는 많지 않으며, 전국 갯벌에 대해 평가한 사례는 없다. 생태계서비스 개념을 도입하여 평가한 사례는 서남해안에 분포하는 갯벌을 대상으로 일부 생태계서비스(수산물 생산, 오염 정화, 보존 가치)의 가치를 평가한 *Kang et al.*(2006)의 연구가 유일하다. *Kim*(2002)의 경우 새만금 간척사업의 비용-편익 분석에 에머지 평가법을 적용하면서 생태계서비스에 해당하는 일부 항목을 평가한 바 있다. *Kang*(2001)은 강화도 남단 갯벌로 유입하는 자연환경 에너지의 에머지 평가를 통해 시스템 관점의 가치를 평가한 사례로, 해양생태계서비스는 평가하지 않았다.

생태계의 가치를 평가하는 철학과 절차가 서로 다른 평가법을 이용하여 갯벌생태계가 제공하는 혜택의 가치를 평가한다면 갯벌생태계의 역할과 중요성을 더 종합적으로 판단할 수 있고, 이는 적절하고 효과적인 갯벌생태계 관리정책의 수립과 이행을 가능하게 할 것이다. 에머지 평가법은 생태계서비스의 생산에 투입된 생물리적 자료(에너지량, 물질량, 정보량, 노동력 등)를 이용하여 자연의 일과 인간의 노력을 동일한 기준에서 평가하기 때문에(*Odum*, 1996) 경제학적 가치 평가와는 다른 관점의 정보를 제공할 수 있

다. 또한 에머지 평가법은 평가에 이용하는 생물리학적(biophysical) 자료의 공간 정보 이용이 가능하다면 공간적 가치 평가(즉, 해양생태계서비스 가치 지도의 작성)가 가능하다. 전국 및 지역별 갯벌이 제공하는 생태계서비스에 대한 에머지 평가는 갯벌생태계의 관리 방향 설정과 인식 제고 전략 수립에 유용한 새로운 관점의 정보를 제공할 수 있다는 점에서 의미가 있는 연구라고 할 수 있다.

이 연구는 우리나라 갯벌생태계(전국 및 지역별)가 제공하는 생태계서비스의 가치를 종합적으로 평가하기 위한 일련의 연구에서 첫 번째 단계로, 갯벌생태계의 생태적 과정을 유지하는데 필요한 에너지와 물질을 제공하는 자연환경에너지(태양, 바람, 파도, 강수, 조석 등)를 통한 에머지 유입 특성을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 자연환경에너지가 공급하는 에머지량은 갯벌생태계의 구조와 기능을 유지하는 기본 토대이며, 유입한 에머지와 갯벌생태계 구성요소가 상호작용함으로써 생태계서비스가 발생한다. 따라서 에머지 유입 특성에 대한 분석은 갯벌생태계의 생산력과 상태 등 시스템 분석과 생태계서비스 가치 평가에 필요한 기초 자료를 제공한다.

### 연구 방법

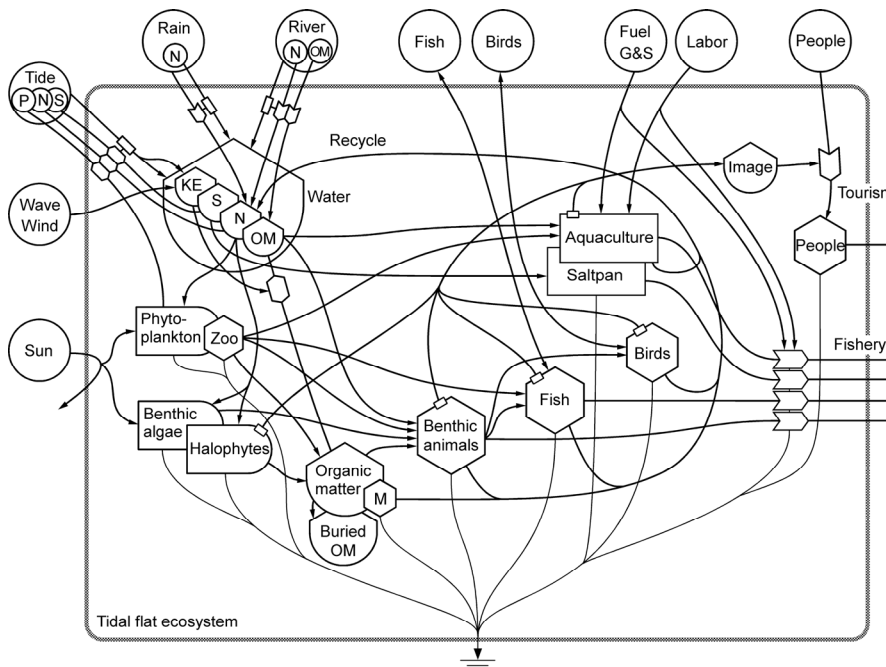
#### 에머지 개념 및 평가 절차

에머지 평가법은 생태-경제 시스템의 분석 및 생태계의 가치 평가에 에너지량, 물질량 등과 같은 생물리학적 자료를 이용하는 시스템 평가방법이다(Odum, 1996). 에머지(energy)는 energy memory의 줄임말인데, 에너지 관점에서 보았을 때 생태-경제 시스템이

생산한 재화와 용역의 가치는 이들이 만들어지는 과정에 직접 및 간접으로 투입된 모든 요소(에너지, 물질, 정보, 노동력 등)를 더한 값에 해당한다. 에머지 평가법은 재화와 용역의 가치를 소비자의 선호도에 근거하여 평가하는 경제학적 평가법과 달리 이들의 생산에 필요하였던 모든 요소의 양을 더하여 가치를 계산하기 때문에 생산 관점의 가치 평가 방법이다. 또한 energy memory가 의미하는 바와 같이 평가대상 재화와 용역에 현재 남아 있는 에너지량을 가치 평가에 이용하는 것이 아니라, 생산 과정에 투입된 모든 요소의 양(에너지량, 물질량, 정보량 등)을 더하기 때문에 일반적인 에너지 분석법과는 다른 평가법이다.

에머지 평가의 일반적인 절차는 평가 대상의 선정 및 평가범위 설정, 평가 모델의 작성, 기초 자료의 수집, 에머지량 계산, 에머지량의 화폐량 환산, 에머지 지수 계산 및 분석의 순으로 구성되어 있다(Odum, 1996). 생태계서비스 가치 평가만 수행할 경우 에머지 지수 계산 과정은 생략할 수 있다. 에머지 평가 절차에 대한 더 자세한 정보는 에머지 평가와 관련한 가장 핵심적인 문헌인 Odum(1996)과 기존 국내 연구 사례(Kang and Nam, 2003; Kang, 2013; Kang, 2015)에 제시되어 있다. 에너지시스템언어를 이용하여 작성한 우리나라 갯벌생태계의 에머지 평가 모델은 Fig. 1과 같다.

에머지 평가법을 이용한 생태계서비스 가치 평가의 요점은 생물리학적 자료를 이용하여 평가 대상 항목의 에머지량을 계산하는 것이다. 에너지량, 물질량, 화폐량 등 다양한 형태의 생물리학적 자료를 이용하여 에머지 평가 대상 항목의 에머지량을 계산하기 위해서는 환산인자가 필요한데, 이 환산인자를 통칭하여 에머지 원 단위(unit energy value, UEV)라고 한다. 즉, 평가대상 항목의 생



**Fig. 1.** Energy system diagram for the tidal flat ecosystem of Korea. G&S=goods and services, KE=kinetic energy, M=microorganisms, N=nutrients, OM=organic matter, S=salt, Zoo=zooplankton.

물리적 자료와 UEV를 곱하여 이 항목의 에머지량(단위는 solar emjoules, sej)을 계산한다. UEV는 에머지 평가 과정에서 직접 계산하거나 기존 연구의 결과를 이용할 수 있다. 에머지 평가법이 기본적으로는 시스템의 평가에 에너지량을 이용하고자 하는 노력이지만, 필요에 따라 물질량, 화폐량 등 다른 형태의 자료를 이용하기도 한다. 이에 따라 UEV는 자료의 단위가 에너지(예, J/yr)일 경우 에너지변환도(단위는 sej/J), 물질량(예, g/yr)일 경우 specific energy(단위는 sej/g), 화폐량(예, \$/yr, ₩/yr)일 경우 에머지-화폐 비율(단위는 sej/\$, sej/₩ 등) 등으로 불린다.

UEV는 에머지 평가의 핵심 개념가운데 한 가지인 에너지의 질(energy quality)을 고려하기 위한 자료이다(Odum, 1996). 에너지의 종류가 다르면 일을 할 수 있는 능력, 즉 에너지의 질이 다르기 때문에 비록 에너지량을 나타내는 자료의 단위(예, Joule)가 같더라도 이들을 단순하게 비교해서는 안 된다. 예를 들어 태양에너지 1J과 어류의 에너지 1J은 물리학적 의미에서는 동일하지만, 에머지 관점에서는 수행할 수 있는 일의 성격이 서로 다르기 때문에 동일하게 취급할 수 없다. 성격이 서로 다른 항목을 비교하기 위해서는 비교의 기준이 필요하며, 이를 기준으로 각 항목의 일을 할 수 있는 능력을 환산한 다음 서로 비교하거나 시스템 평가에 필요한 계산을 수행해야 한다. 현재 에머지 평가법에서 기준으로 삼은 에너지는 태양에너지이며, 이에 따라 에머지를 태양에머지(solar emergy)로 부르며 단위는 위에서 제시한 바와 같이 solar emjoules(sej)을 이용한다.

에머지량은 많은 경우 그 값이 아주 크고 에머지 평가법에 익숙하지 않은 사람들이 이해하기 쉽지 않은 자료이다. 따라서 에머지 평가 결과의 활용성을 높이기 위해서는 생태계의 가치 평가에 관련되어 있는 다양한 이해당사자가 쉽게 공유할 수 있는 자료로 변환할 필요가 있다. 모든 사람들이 일상 생활에서 화폐 단위에 익숙하고, 생태계서비스의 경제학적 가치 평가도 화폐 단위로 제시되기 때문에 의사소통 및 비교를 위해 에머지 평가법에서는 에머지량을 화폐단위로 환산할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 각 평가 항목에 대해 계산한 에머지량을 에머지-화폐비율(단위는 sej/\$, sej/₩ 등)로 나누면 에머지량을 화폐 단위로 변환할 수 있다. 에머지-화폐비율을 계산하는 가장 일반적인 방법은 한 국가가 일년 동안 사용한 총 에머지량(sej/yr)을 이 국가의 국내총생산(₩/yr)으로 나누는 것이다. 2011년 우리나라 경제의 에머지-화폐비율은  $4.36 \times 10^9$  sej/₩로 계산된 바 있다(Kang, 2015).

### 에머지 평가 자료

에머지 평가에 필요한 갯벌 면적 자료는 MOF(2015)의 전국 및 지역별(광역시방자치단체 기준) 자료를 이용하였다. 경기만에 분포하는 인천과 경기도의 갯벌을 통합하여 인천-경기 지역 갯벌로 구분하였다. 갯벌생태계의 구조와 기능을 유지하는 자연환경에너지인 태양에너지, 바람, 강수량, 파도, 조석에너지를 대상으로 에머지 유입 특성을 분석하기 위한 기초 자료를 수집하였으며, 이

를 위해 국가통계, 관련 연구조사 보고서 및 학술논문을 이용하였다. 에머지 평가에 필요한 모든 자료는 연간 자료를 이용하였으며, 연간 자료를 직접 확보할 수 없는 경우 기초 자료를 이용하여 연간 자료를 계산하였다. 태양에너지 입사량, 풍속, 강수량은 30년(1981~2010) 평균값을 이용하였다(KMA, 1982~2011). 파도에너지량을 계산하기 위해 국립해양조사원이 운영하는 조위관측소나 해양관측부이 가운데 지역별로 해안에 있는 지점의 실시간 해양 관측자료를 이용하여 평균 파고(2010~2014년)를 추정하였으며, 조석에너지는 지역별 조위관측소와 단기 조석 관측지점의 평균 조차(KHOA, 2012)의 평균값을 이용해 계산했다.

각 항목의 에머지량 계산에 필요한 UEV는 문헌 자료를 참고하였다. 모든 UEV는 지구 전체의 연간 재생가능에머지 유입량이  $15.83 \times 10^{24}$  sej/yr(Odum *et al.*, 2000)인 경우를 기준으로 계산된 값을 이용하였으며, 재생가능에머지 유입량 기준이 다를 경우 UEV를  $15.83 \times 10^{24}$  sej/yr 기준으로 환산하였다. 에머지량을 화폐 단위로 환산하기 위한 기준 연도는 2011년으로 설정하였는데, 에머지량의 화폐 단위 환산에 필요한 우리나라 경제의 에머지-화폐 비율이 가장 최근에 체계적으로 계산된 연도(Kang, 2015)이기 때문이다.

갯벌생태계의 에머지 유입 특성과 생태계서비스 관계를 개괄적으로 분석하기 위하여 전국 및 지역별 갯벌의 2011년 기준 수산물 생산량과 생산금액 자료를 수집하였다. 이를 위해 통계청이 운영하는 국가통계포털(www.kosis.kr)의 어업생산동향조사와 천해양식어업권통계를 이용하였다. MIFAFF(2012)가 제시한 바와 같이 갯벌에서 이루어지는 어업으로 갯벌 패류 양식과 마을어업을 선정하였다. 갯벌 패류 양식의 경우 MIFAFF(2012)가 제시한 5개 품종(굴류, 가무락, 꼬막류, 바지락, 백합류)의 생산량과 생산금액을 이용하였으며, 굴의 경우 수하식 양식이 많은 전남, 경남, 부산 지역의 생산량은 제외하였다. 마을어업은 갯벌대상 품종에 대한 면적 자료를 별도로 제공하지 않아 마을어업 전체 면적과 생산량 자료를 이용했다.

## 결과 및 토의

### 갯벌 생태계 유입 에머지 특성

전국의 갯벌생태계로 유입한 자연환경에너지 가운데 에머지량이 가장 많은 항목은 조석에너지( $4.98 \times 10^{21}$  sej/yr)였으며, 강수( $5.09 \times 10^{20}$  sej/yr), 파도( $1.81 \times 10^{20}$  sej/yr)의 순으로 많았다(Table 1). 태양에너지와 바람이 갯벌생태계로 공급한 에머지량은 조석이 공급한 에머지량의 0.5% 미만으로 아주 작았다. 이는 조석 현상이 생태계의 구조와 기능에 핵심적인 역할을 하는 우리나라 갯벌의 특성을 잘 보여주고 있다.

전국의 갯벌생태계로 유입한 에머지 총량은 연간  $4.98 \times 10^{21}$  sej/yr이었는데, 이 값은 조석에너지가 공급한 에머지량만 고려한 값이다. 태양, 바람, 강수, 파도, 조석 에너지는 생물권에서 아주 밀

**Table 1.** Emergy evaluation of the environmental inputs to and an ecosystem service by the tidal flat ecosystem of Korea

No	Item	Raw Data	Unit	Emergy Value (UEV)	UEV Source	Solar Emergy (sej/yr)	Emvalue (2011₩/yr)
Environmental inputs							
1	Sunlight	$1.08 \times 10^{19}$ J/yr	1	sej/J	1	$1.08 \times 10^{19}$	$2.48 \times 10^9$
2	Wind	$7.67 \times 10^{15}$ J/yr	2,450	sej/J	1	$1.88 \times 10^{19}$	$4.31 \times 10^9$
3	Rain, chemical	$1.67 \times 10^{16}$ J/yr	$3.05 \times 10^4$	sej/J	1	$5.09 \times 10^{20}$	$1.17 \times 10^{11}$
4	Wave	$3.54 \times 10^{15}$ J/yr	$5.10 \times 10^4$	sej/J	1	$1.81 \times 10^{20}$	$4.14 \times 10^{10}$
5	Tide	$6.73 \times 10^{16}$ J/yr	$7.39 \times 10^4$	sej/J	1	$4.98 \times 10^{21}$	$1.14 \times 10^{12}$
Ecosystem service							
6	Fishery production	$1.55 \times 10^{14}$ J/yr	$8.40 \times 10^6$	sej/J	2	$1.30 \times 10^{21}$	$2.99 \times 10^{11}$

\* All unit emergy values were adjusted to the global renewable emergy baseline of  $15.83 \times 10^{24}$  sej/yr.

\* UEV sources: 1) Odum *et al.* (2000), 2) Brown *et al.* (1993)

\* Emvalues were calculated with the emergy-money ratio of the year 2011.

### 1. Sunlight

$$\text{Area} = 2.49 \times 10^9 \text{ m}^2 \text{ (MOF, 2015)}$$

$$\text{Insolation} = 4.83 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr} \text{ (KMA, 1982~2011)}$$

$$\text{Albedo} = 0.1$$

$$\text{Energy} = (\text{Area}) \times (\text{Insolation}) \times (1 - \text{Albedo}) = 1.08 \times 10^{19} \text{ J/yr}$$

### 2. Wind

$$\text{Average wind speed} = 2.6 \text{ m/s} \text{ (KMA, 1982~2011)}$$

$$\text{Geostrophic wind} = (\text{Average wind speed}) \times (10/6) = 4.30 \text{ m/s}$$

$$\text{Energy} = (1.23 \text{ kg/m}^3) \times (0.001) \times (\text{Geostrophic wind})^3 \times (3.1536 \times 10^7 \text{ sec/yr}) \times (\text{Area})$$

$$= 7.67 \times 10^{15} \text{ J/yr}$$

### 3. Rain, chemical potential

$$\text{Rain} = 1.36 \text{ m/yr} \text{ (KMA, 1982~2011)}$$

$$\text{Energy} = (\text{Area}) \times (\text{Rain}) \times (1000 \text{ kg/m}^3) \times (4,940 \text{ J/kg}) = 1.67 \times 10^{16} \text{ J/yr}$$

### 4. Wave

$$\text{Shore length} = 583,000 \text{ m}$$

$$\text{Wave height} = 0.16 \text{ m} \text{ (KHOA, www.khoa.go.kr)}$$

$$\text{Velocity} = (9.8 \text{ m/sec}^2 \times \text{Depth})^{1/2}$$

$$\text{Total energy} = (\text{Shore length}) \times (1/8) \times (1,025 \text{ kg/m}^3) \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (\text{Wave height})^2 \times (\text{Velocity}) = 3.54 \times 10^{15} \text{ J/yr}$$

### 5. Tide

$$\text{Average tidal range} = 3.91 \text{ m} \text{ (KHOA, 2012)}$$

$$\text{Energy} = (\text{Density} \times \text{Area} \times \text{Tidal range}) \times (9.8 \text{ m/s}^2) \times (0.5 \times \text{Tidal range}) \times (706 \text{ cycles/yr}) \times 0.5 = 6.73 \times 10^{16} \text{ J/yr}$$

### 6. Fishery production

$$\text{Production} = 59,669 \text{ MT/yr} \text{ (KOSIS, www.kosis.kr)}$$

$$\text{Energy} = (\text{Production}) \times (1 \times 10^6 \text{ g/MT}) \times (2,600 \text{ J/g}) = 1.55 \times 10^{14} \text{ J/yr}$$

접하게 연결되어 상호작용하는 요소로(Odum *et al.*, 2000), 이들을 모두 더하여 총 에머지 유입량을 계산할 경우 중복 계산의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 에머지 평가법에서는 중복 계산 우려가 있는 항목에 대해서는 에머지 기여량이 가장 큰 항목의 에머지만 총 에머지 유입량 계산에 포함하도록 하고 있다.

전국의 갯벌생태계로 일년 동안 유입한 에머지량의 가치를 화폐 단위로 환산하면 1조 1,412억 원/yr에 해당하였으며, 이를 단위 면적당으로 나타내면 약 459만 원/ha/yr이었다. 비록 이 값이 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스의 가치를 나타내지는 않지만, 사람들이 누리는 생태계서비스를 만드는데 토대가 되는 환경적 조건의 역할에 내재한 가치를 보여준다. 이는 소비자의 지불의사

에 바탕을 둔 경제학적 가치 평가에서 다루어지지 않는 부분으로, 생물리적 자료를 이용하여 생태계서비스 가치 평가를 수행하는 에머지 평가법의 장점을 잘 보여주고 있다.

지역별 갯벌생태계로 유입하는 자연환경에너지의 에머지 유입 특성을 평가하기 위해 전국의 갯벌생태계를 대상으로 작성한 Table 1과 동일한 양식을 이용하여 지역별 갯벌의 에머지 평가를 수행하였다. 부산 지역을 제외한 모든 지역에서 연간 총 에머지 유입량의 계산에 조석에너지만 고려하였으며, 부산 지역 갯벌의 경우 조석에너지 대신 강수의 화학에너지가 가장 많은 에머지를 공급하여 이를 총 에머지 유입량으로 이용하였다. 조차가 크고 면적이 넓은 인천-경기 지역 갯벌로 유입하는 에머지량이  $3.32 \times 10^{21}$

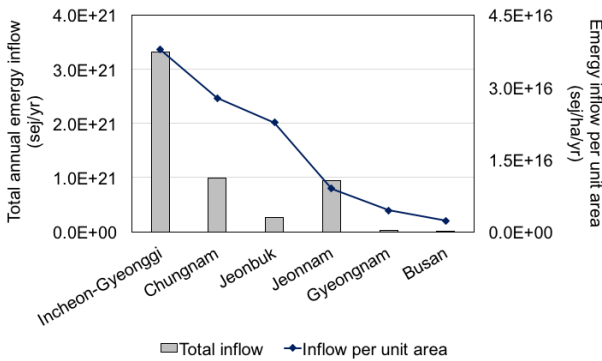


Fig. 2. Annual energy inflow to the Korean tidal flat ecosystem.

Table 2. Emergy-based values of the environmental inputs to the regional tidal flats in Korea

Region	Total annual emergy inflow (billion₩/yr)	Emergy inflow per unit area (million₩/ha/yr)
Incheon-Gyeonggi	760.4	8.69
Chungnam	227.2	6.36
Jeonbuk	61.6	5.21
Jeonnam	215.7	2.06
Gyeongnam	7.0	1.02
Busan	1.2	0.52

\* Emergy-based values were calculated with the emergy-money ratio of the year 2011.

sej/yr로 가장 많았다(Fig. 2). 충남 지역 갯벌로 유입하는 에머지량이  $9.91 \times 10^{20}$  sej/yr로 두 번째로 많았으며, 갯벌 면적이 가장 넓은 전남 지역의 경우 연간 에머지 유입 총량이  $9.40 \times 10^{20}$  sej/yr로 세 번째로 많았다. 갯벌 면적과 평균조차가 가장 작은 부산 지역의 에머지 유입량이  $5.33 \times 10^{18}$  sej/yr로 가장 적었다.

지역별 갯벌 면적의 차이를 고려해 연간 총 에머지 유입량을 단위면적당(ha)으로 나타내었을 경우 우리나라 연안의 일반적인 조차 분포를 따라 인천-경기 지역에서 부산 지역으로 갈수록 단위면적당 에머지 유입량이 감소하였다(Fig. 2). 평균 조차가 5m를 넘는 인천-경기 지역의 단위면적당 에머지 유입량이  $3.79 \times 10^{16}$  sej/ha/yr로 가장 많았고, 서해안과 남해안을 따라 부산지역으로 갈수록 감소해 부산에서는  $2.29 \times 10^{15}$  sej/ha/yr에 불과하였다.

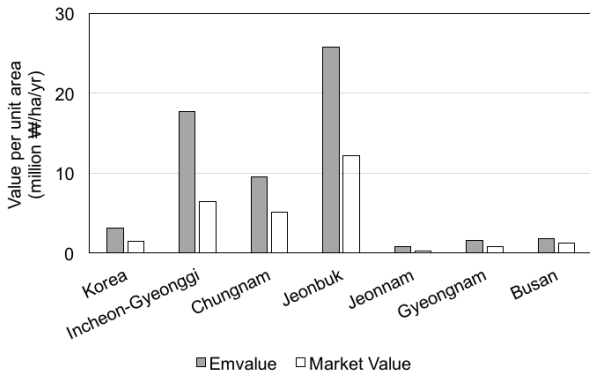
각 지역 갯벌의 연간 에머지 유입량을 화폐 단위로 환산한 결과, 지역별 갯벌 면적과 조차의 차이를 반영하여 인천-경기 지역의 7,604억 원/년에서 부산 지역의 12억 원/년까지의 범위를 보였다(Table 2). 충남과 전남 지역의 에머지 유입량이 각각 2,272억 원/년, 2,157억 원/년으로, 연간 2,000억 원 이상의 가치를 갖는 것으로 평가되었다. 이를 단위면적당 가치로 제시하면 인천-경기 지역이 869만 원/ha/yr으로 가장 높았으며, 부산 지역의 경우 52만 원/ha/yr에 불과하였다.

갯벌생태계의 생태적 과정을 유지하는 기본적인 에너지원은 태양, 바람, 강수, 파도, 조석 등이다. Odum(1996)은 이러한 에너지원을 통해 생태계로 유입하는 에머지량이 많을수록 시스템의 생존과 유지에 더 유리하다고 주장하면서 이를 최대 에머지 원리(maximum empower principle)로 불렀다. 이는 갯벌생태계의 다양한 기능을 유지하는데 필요한 에머지 유입량(단위면적당 기준)이 가장 많은 인천-경기 지역의 갯벌이 생태계의 구조와 기능을 유지하는데 더 유리한 위치에 있고, 이는 결국 사람들이 누리는 혜택인 생태계서비스를 제공할 잠재력이 높다는 것을 의미한다. 자연 환경에너지 이외에도 갯벌생태계의 상태와 생태계서비스 제공 능력에 영향을 미치는 다른 외부 요인(갯벌 인근의 육상 및 해양에서 이루어지는 사회경제활동 등)이 존재하고, 생태계서비스의 이용은 인간의 노동력을 포함하는 과정이기 때문에 자연환경에너지를 통한 에머지 유입량이 많다고 해서 반드시 생태계의 상태가 양호하고 생태계서비스 제공량이 많다고 할 수는 없다. 그러나 최소한 에머지 유입량이라는 측면에서 볼 때 인천-경기 지역에서 부산 지역으로 가면서 갯벌생태계가 이용할 수 있는 단위면적당 에머지 유입량이 감소하여 생태계서비스 제공에 더 불리한 입장에 있다고 할 수 있다.

### 갯벌 수산물 생산의 에머지 평가

갯벌생태계의 에머지 유입 특성과 갯벌이 제공하는 생태계서비스 사이의 관계를 파악하기 위해 자료 확보가 쉽고 자연적 과정에 크게 의존하는 생태계서비스인 수산물 생산에 대한 에머지 평가를 수행하였다. 2011년 전국의 갯벌생태계에서 생산된 수산물량은 59,669 톤/년, 생산금액은 1,396억 원/년이었다(국가통계포털, www.kosis.kr). 전국 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량은  $1.30 \times 10^{21}$  sej/yr이었으며, 이를 화폐 단위로 환산하면 2,989억 원/년으로 생산금액(시장가격)의 2.1배에 이르렀다.

이 연구에서는 엄밀하게 갯벌에서만 생산된 수산물 통계를 이용할 수 없어 갯벌에서 주로 양식하는 패류와 마을어장의 생산량을 갯벌 수산물 생산량으로 가정하였다. 그러나 마을어업 생산량과 생산금액은 갯벌 이외의 해역(1년 중 해수면이 가장 낮은 때의 평균수심이 5 m 이내)을 포함하고 있기 때문에 지역별로 총 생산량과 생산금액을 직접 비교하는 것은 적절하지 않아 단위면적당(마을어업과 갯벌 패류양식 면적 기준) 생산량을 이용해 비교하였다. 단위면적당 수산물 생산량은 전북 지역이 5.15 톤/ha/yr로 가장 많았고, 인천-경기(3.55 톤/ha/yr), 충남(1.92 톤/ha/yr) 지역의 생산량이 ha당 1 톤을 넘었다. 전남 지역의 단위면적당 생산량이 0.15 톤/ha/yr로 가장 적었으며, 부산(0.37 톤/ha/yr)과 경남(0.33 톤/ha/yr)의 생산량도 ha당 1 톤 미만이었다. 단위면적당 생산금액은 31만 원~1,216만 원/ha/yr의 범위로 나타났는데, 지역별 단위면적당 생산량 변화와 일치하였다. 전북 지역의 단위면적당 생산금액이 1,216만 원/ha/yr로 가장 높았으며, 전남지역이 31만 원/ha/yr으로 가장 낮았다.



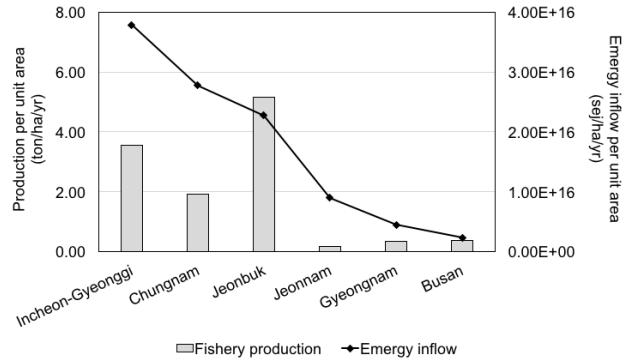
**Fig. 3.** Comparison of emery-based value and market value of fishery products per unit area from the tidal flats in Korea.

단위면적당 갯벌 수산물 생산량을 이용해 계산한 에머지 관점의 가치도 이들 수산물의 생산금액(시장가격)보다 더 컸다(Fig. 3). 2011년 전국 갯벌에서 생산한 수산물의 단위면적당(마을어장과 갯벌 패류 양식 면적 기준) 에머지 가치는 310만 원/ha/yr으로, 단위면적당 생산금액보다 2.1배 더 높았다. 지역별로 살펴보면 인천-경기 지역 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지 가치와 생산금액의 차이가 2.8배로 가장 컸으며, 부산 지역의 차이가 1.5배로 가장 작았다. 이러한 차이는 전국 갯벌에서 생산한 수산물의 시장가격(즉, 생산금액)은 갯벌생태계가 제공하는 식량 공급 서비스를 과소 평가하고 있다는 것을 의미한다. 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스의 가치를 소비자의 지불의사에 기반을 둔 경제학적 평가법만으로 추정한다면 어떤 경우에는 갯벌생태계가 우리 삶에 기여하는 진정한 가치를 제대로 평가하지 못할 가능성도 있기 때문에 다양한 평가법을 이용한 평가 결과를 종합하여 갯벌생태계 관리에 활용할 필요가 있는 것으로 판단된다.

**에머지 유입 특성과 생태계서비스의 관계**

수산물 생산은 자연의 일과 사람들이 투입하는 어획 노력의 두 요소로 구성되어 있어 에머지 유입 특성만으로 에머지 유입량과 생태계서비스 사이의 명확한 관계를 찾기는 쉽지 않지만, 갯벌생태계의 구조와 기능 유지에 기본이 되는 에너지원의 영향을 개괄적으로 판단하기 위해 이 분석을 수행하였다.

지역별 갯벌의 단위면적당 에머지 유입량과 단위면적당 수산물 생산량을 Fig. 4에서 비교했다. 에머지 유입량은 생태계서비스 제공 잠재력을 나타내고, 어획노력은 실제 이용하는 자원의 양을 보여주는 것으로 해석할 수 있다. 인천-경기 지역에서 부산 지역으로 가면서 감소하는 갯벌 단위면적당 에머지 유입량과 달리 수산물 생산량은 이러한 변화를 보여주지 않았다. 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 갯벌 수산물 생산은 자연의 일과 인간의 노력이 더해져 일어나는 경제활동이기 때문에 에머지 유입량만으로 갯벌의 생태계서비스 제공 능력을 판단하는데 한계가 있을 수밖에 없다. 예를 들어, 2008년 기준 지역별 단위면적당 마을어업의 어업비용



**Fig. 4.** Comparison of emery inputs to and fishery production from tidal flats in Korea, expressed on the unit area basis. Fishery production data from the Korean Statistical Information Service ([www.kosis.kr](http://www.kosis.kr)).

은 전북지역에서 약 308만 원/ha/yr로 가장 높았으며, 인천-경기와 충남지역의 순으로 높았다(NFRDI, 2010). 전북지역 마을어업의 어업비용은 2003년 기준으로 전국에서 가장 높았다(NFRDI, 2005). 그러나 전체적인 분포 경향은 에머지 유입량이 많은 서해안에서 단위면적당 수산물 생산량이 많고 에머지 유입량이 적은 남해안의 갯벌에서 적었다. 전남지역의 갯벌을 서해안 갯벌과 남해안 갯벌로 나누어 평가한다면 이러한 관계를 더 분명하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 전남 서해안 갯벌의 평균 조차가 남해안 갯벌보다 더 크기 때문에 단위면적당 에머지 유입량은 더 클 수밖에 없다. 각 지역별로 마을어업과 갯벌패류 양식어업의 어업비용에 대한 구체적 자료가 이용 가능하다면 에머지 유입 특성과 생태계서비스 제공량 사이의 관계를 더 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

태양, 조석 등 자연환경에너지를 통해 유입한 에머지량을 토대로 갯벌생태계의 생태계서비스 제공 잠재력을 판단하기 위해서 반드시 포함해야 할 요소는 하천을 통해 유입하는 담수가 갯벌생태계에 기여하는 정도이다. 하천을 통해 유입한 물질은 우리나라 갯벌생태계의 형성과 발달에 중요한 역할을 수행하고 있기 때문에(Park and Koh, 2001), 갯벌생태계의 중요한 외부 요소 가운데 하나에 해당한다. 그러나 이 연구에서는 우리나라 갯벌생태계에 영향을 미치는 담수량에 대한 자료를 확보할 수 없어 Table 1의 에머지 평가표에 포함하지 못했다. 하천을 통해 갯벌생태계로 유입하는 에머지량을 포함하여 분석한다면 에머지 유입량과 생태계서비스 제공 잠재력의 상관성에 대해 더 유용한 정보를 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 서해와 남해로 유입하는 주요 하천이 우리나라 전체 해양생태계에 공급한 총 에머지량은  $5.29 \times 10^{22}$  sej/yr로 계산되었는데, 하천이 공급한 에머지량을 Table 1의 평가에 포함한다면 대규모 하천의 영향을 직접 받는 인천-경기(한강, 임진강), 전북(금강), 부산(낙동강) 지역 갯벌의 단위면적당 에머지 유입량은 더 증가할 것이다. Fig. 4에 제시한 지역별 단위면적당 수산물 생산량 분포는 이러한 가능성을 보여주고 있는데, 인천-경기, 전

복의 단위면적당 수산물 생산량이 많고 부산도 전남이나 경남에 비해 단위면적당 생산량이 더 많았다.

아직까지 갯벌에 국한하여 수산물 생산량 통계가 작성되지 않고 있기 때문에 이 연구에서는 갯벌에서 주로 양식하는 패류와 마을어장의 생산량을 이용하였다. 그러나 패류 양식장과 마을어장은 갯벌 이외에도 조하대까지 포함하고 있기 때문에 갯벌생태계의 에머지 유입 특성과 수산물 생산량 사이의 관계를 제대로 파악하는데 한계가 있다. 따라서 향후 갯벌생태계가 제공하는 다양한 생태계서비스의 가치를 적절하게 평가하고, 에머지 유입 특성 등 환경 조건이 이러한 생태계서비스의 제공에 미치는 영향을 명확하게 파악하기 위해서는 연구조사 및 통계 자료의 공간적 범위를 갯벌로 국한하여 평가 자료를 확보할 필요가 있다.

에머지 유입량과 수산물 생산량 사이의 관계를 더 정확하게 분석하기 위해서는 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량을 계산하기 위해 필요한 UEV를 보완할 필요가 있다. 우리나라 갯벌에서 생산된 수산물 품종별 UEV가 계산되어 있지 않아 이 연구에서는 국외 사례에서 제시된 전체 수산물 대상 UEV를 이용했다. 이에 따라 지역별로 갯벌에서 생산되는 수산물 품종의 차이를 반영할 수 없었다. 따라서 향후 우리나라 갯벌에서 생산되는 수산물 품종별로 UEV를 별도로 계산할 필요가 있다.

## 결론

생물리적 자료(에너지량, 물질량 등)를 이용하여 생태계서비스의 가치를 평가하는 에머지 평가법으로 전국 및 지역별 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스의 가치를 종합적으로 평가하기 위한 연구의 첫 번째 단계로, 갯벌생태계의 생태적 과정을 유지하고 생태계서비스를 제공하는데 기본 토대인 자연환경에너지(태양, 바람, 파도, 강수, 조석 등)를 통한 에머지 유입 특성을 분석하였다.

우리나라 갯벌생태계로 유입하는 자연환경에너지가 공급한 에머지 총량은  $4.98 \times 10^{21}$  sej/yr이었는데, 이는 갯벌생태계 유지에 필요한 기본적인 환경 조건이 제공하는 에머지량에 해당한다. 자연환경에너지가 공급한 에머지 총량은 중복계산의 문제 때문에 조석에너지가 제공한 에머지만 고려하였으며, 이용 가능한 자료의 한계로 하천을 통해 공급되는 에머지량은 포함하지 못하였다. 갯벌생태계로 유입하는 에머지량을 화폐 단위로 환산하면 1조 1,412억 원/yr이며, 이는 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스를 생산하는데 토대가 되는 환경적 조건의 가치에 해당한다. 지역별로는 인천-경기 지역의 갯벌로 유입하는 에머지량이 가장 많았으며, 갯벌 면적이 가장 작은 부산 지역의 에머지 유입량이 가장 적었다. 지역별 갯벌의 면적 차이를 고려하여 단위면적당으로 나타낼 경우 우리나라 연안의 일반적인 조차 분포를 따라 인천-경기 지역에서 부산 지역으로 갈수록 단위면적당 에머지 유입량이 감소하였다.

에머지 관점에서 평가한 갯벌 생산 수산물의 단위면적당 가치

는 310만 원/ha/yr로, 수산물 생산금액보다 2.1배 더 높아 시장 가격이 공급서비스에 해당하는 수산물 생산의 가치를 과소 평가하는 것으로 나타났다. 지역별 갯벌의 단위면적당 에머지 유입량과 단위면적당 수산물 생산의 에머지량을 이용하여 갯벌생태계를 유지하는데 필요한 자연환경에너지의 에머지 유입 특성과 생태계서비스 사이의 관계를 개괄적으로 살펴본 결과 지역별 갯벌로 유입한 에머지량과 수산물 생산의 에머지량 사이에는 아주 명확한 관계가 나타나지는 않았다. 그러나 단위면적당 에머지 유입량이 더 많은 서해안 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량이 남해안 갯벌에서 생산한 수산물의 에머지량보다 더 많아 개별 갯벌생태계의 생태계서비스 잠재력을 나타내는데 자연환경에너지를 통한 에머지 유입량의 활용 가능성을 보여주었다.

우리나라 갯벌생태계로 유입하는 자연환경에너지의 에머지 공급량과 생태계서비스 사이의 관계를 더 명확하게 평가하기 위해서는 다음과 같은 연구를 더 진행할 필요가 있다. 우선 이 연구에서 자료의 한계로 포함하지 못한 하천 공급 에머지(담수와 다양한 물질에 내재한 에머지)를 포함하여 전국 및 지역별 갯벌생태계를 유지하는 에머지 조건을 더 정확하게 평가할 필요가 있다. 우리 사회가 갯벌생태계로부터 얻는 혜택(즉, 생태계서비스)은 자연환경에너지의 지원 능력과 인간의 노력이 결합하여 나타나는 것이기 때문에 인간의 노력을 통해 투입되는 에머지량도 고려해야 한다. 또한 갯벌생태계가 제공하는 생태계서비스의 양에 관한 생물리적 자료를 에머지량으로 변환하기 위해서는 UEV가 필수적이지만, 아직까지 우리나라 갯벌생태계의 다양한 요소를 대상으로 UEV가 계산되어 있지 않다. 따라서 갯벌생태계의 생태계서비스를 정확하게 평가하기 위해서는 우리나라 갯벌생태계의 특성을 반영하는 UEV를 각 요소별로 확보할 필요가 있다.

## 사사

이 연구는 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)의 지원을 받아 수행하였습니다.

## 참고문헌(References)

- Beaumont, N.J., M.C. Austen, J.P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T.P. Dentinho, S. Deros, P. Holm, T. Horton, E. van Ierland, A.H. Marboe, D.J. Starkey, M. Townsend and T. Zarzycki, 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Marine Pollution Bulletin*, **54**: 253-265.
- Brown, M.T., R.D. Woithe, H.T. Odum, C.L. Montague and E.C. Odum, 1993. Emergy analysis perspectives of the Exxon Valdez oil spill in Prince William Sound, Alaska. Center for Wetlands and Water Resources, University of Florida, Gainesville, Florida, 122 pp.
- Eom, K.-H., D.-I. Lee, Y.-T. Kim and G.-Y. Kim, 2012. Characteristics



- and reasonable management approaches of coastal reclamation in Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, **15**(3): 227-237.
- Eum, K.-H., J.-H. Son, E.-I. Cho, S.-M. Lee and C.-K. Park, 1996. The estimation of carrying capacity in Deukryang Bay by EMERGY analysis. *J. Korean Fish. Soc.*, **29**(5): 629-636.
- JICEISRP (Joint Investigation Commission for the Environmental Impacts of the Saemangeum Reclamation Project), 2000. Report on the joint investigation of environmental impacts of the Saemangeum Reclamation Project – Economic assessment. Joint investigation commission for the environmental impacts of the saemangeum reclamation project, Seoul, 707 pp.
- Kang, D. and J. Nam, 2003. Emergy-based valuation of marine environmental resources and policy implications. Korea Maritime Institute, Seoul, 127 pp.
- Kang, D. and J. Nam, 2014. Emergy methodology and marine spatial planning. In: *Proceedings of 2014 Joint Meeting of the Korean Association of Ocean Science and Technology*, BEXCO, Busan, Korea, 2309 p.
- Kang, D., 2001. Emergy evaluation of the Kangwha tidal flat. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, **36**(2): 51-58.
- Kang, D., 2010. Emergy carrying capacity of Sungap-do, an uninhabited island in Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, **13**(1): 60-67.
- Kang, D., 2013. Emergy-based value of the contributions of the Youngsan River estuary ecosystem to the Korean economy. *The Sea*, **18**(1): 13-20.
- Kang, D., 2015. Emergy evaluation of the Korean economy and environment: implications for the valuation of marine ecosystem services. *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, **18**(2): 102-115.
- Kang, D., J. Nam, H.-W. Choi and K. Son, 2015. Spatial valuation map for Gyeonggi Bay in Korea based on emergy methodology. 8th International Ecosystem Services Partnership Conference 2015. Stellenbosch, South Africa.
- Kang, D.-S., J.-H. Nam and S.-M. Lee, 2006. Emergy valuation of a tidal flat ecosystem in the southwestern coast of Korea and its comparison with valuations using economic methodologies. *Journal of the Environmental Sciences*, **15**(3): 243-252.
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency), 2012. Harmonic constants for tide and tidal current of the Korean coast. Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, 592 pp.
- Kim, W.S., 2002. Development and application of strategic environmental assessment to the tideland reclamation project by the environmental accounting. MS thesis, Pukyong National University, 61 pp.
- KMA (Korea Meteorological Administration), 1982–2011. Annual Climatological Report. Korea Meteorological Administration, Seoul.
- Koh, C.-H. and J.S. Khim, 2014. The Korean tidal flat of the Yellow Sea: Physical setting, ecosystem and management. *Ocean & Coastal Management*, **102**: 398-414.
- Koh, C.-H., 2001. *The Korean Tidal Flat: Environment, Biology and Human*. Seoul National University Press, Seoul, 1073 pp.
- Koh, C.-H., 2014. The Korean tidal flat ecosystems: Toward transformation from land reclamation to wetland protection. *Ocean & Coastal Management*, **102**: 393-397.
- Kwon, Y.-J., S.-H. Yoo and S.-H. Park, 2013. Assessment of the environmental value of the Geum-river estuary. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **19**(5): 417-429.
- Lee, C., D. Kang and J. Nam, 2001. Integrated management strategies for estuarine environments in Korea. Korea Environment Institute and Korea Maritime Institute, Seoul, 369 pp.
- Lee, C.H. and D. Kang, 2008. Emergy evaluation of the estuarine areas of Yeongsan River, Seomjin River, and Han River in Korea. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, **14**(2): 135-143.
- Lee, S.M. and H.T. Odum, 1994. Emergy analysis overview of Korea. *J. of the Korean Environmental Sciences Society*, **3**: 165-175.
- MIFAFF (Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries), 2012. Strategies to promote tidal flat fisheries. Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, Seoul, 365 pp.
- MLTM (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2008. Tidal flats of Korea, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul, 31 pp.
- MLTM, 2010. National survey of coastal wetlands–basic investigation, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul, 673 pp.
- MLTM, 2011. National survey of coastal wetlands–basic investigation. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul, 791 pp.
- MLTM, 2012. National survey of coastal wetlands–basic investigation. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seoul, 792 pp.
- MOE (Ministry of Environment), 1996. Economic assessment of conservation and utilization of tidal flats. Ministry of Environment, Seoul, 113 pp.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2013a. Main results of national marine ecosystem surveys. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, 27 pp.
- MOF, 2013b. National survey for the areal extent of tidal flats. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, 372 pp.
- MOF, 2015. Statistical Yearbook of Oceans and Fisheries. Ministry of Oceans and Fisheries, Sejong, 496 pp.
- Nam, J., W. Chang, and D. Kang, 2010. Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea. *Ecological Modelling*, **221**: 2102-2107.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute), 2005. Korean Coastal and Offshore Fishery Census. National Fisheries Research and Development Institute, Busan.
- NFRDI, 2010. Korean Coastal and Offshore Fishery Census. National Fisheries Research and Development Institute, Busan.
- Odum, H.T., 1994. *Ecological and General Systems*. University Press of Colorado, Niwot, 644 pp.
- Odum, H.T., 1996. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*. John Wiley & Sons, New York, 370 pp.

- Odum, H.T., M.T. Brown, and S. Brandt-Williams, 2000. Folio #1: Introduction and Global Budget. Handbook of Emergy Evaluation. Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, 16 pp.
- Oh, H.-T., S.-M. Lee, W.C. Lee, R.H. Jung, S.J. Hong, N.K. Kim and C. Tilburg, 2008. Sustainability evaluation for shellfish production in Gamak Bay based on the systems ecology. 1. EMERGY evaluation for shellfish production in Gamak Bay. *Journal of the Environmental Sciences*, **17**(8): 841-856.
- Park, S.-C. and C.-H. Koh, 2001. Depositional process of tidal flat. In: *The Korean Tidal Flat: Environment, Biology and Human*, edited by Koh, C.-H., Seoul National University Press, Seoul, pp. 3-22.
- Sohn, J.-H., S.-K. Shin, E.-I. Cho and S.-M. Lee, 1996. EMERGY analysis of Korean fisheries. *J. Korean Fish. Soc.*, **29**(5): 689-700.
- Song, K.W. and Y.M. Je, 2004. Ecological economic evaluation of the Nakdong river estuarine area and conservation measures. Busan Development Institute, Busan, 125 pp.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity), 2010. *The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations*. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington, 456 pp.
- UNEP-WCMC (UNEP World Conservation Monitoring Centre), 2011. *Marine and coastal ecosystem services: Valuation methods and their application*. UNEP-WCMC Biodiversity Series, No. 33: 46 pp.
- Yang, G. and D. Kang, 2011. Emergy evaluation of the marine sand extraction for aggregate supply for the construction of the Pusan New Port in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*, **15**(6): 1005-1013.
- Yoo, S.-H. and J.-S. Lee, 2011. Assessment of economic value of Youngsan River estuary. *Journal of Korea Water Resources Association*, **44**(8): 629-637.
- Yoo, S.-H., 2007. Using the contingent valuation method based on multi-attribute utility theory to measure the environmental value of the Nakdong-river estuary. *Ocean and Polar Research*, **29**(1): 69-80.
- Yoon, S.S., S.J. Park and C.O. Shin, 2012. A study on preservation of value of public water reclamation as common resource. Korean Maritime Institute, Seoul, 167 pp.

---

2016년 7월 13일 원고접수

2016년 9월 19일 수정본 접수

2016년 9월 20일 수정본 채택

담당편집위원: 김동성