

## 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌생태계 가치의 에머지 평가 및 경제학적 평가와의 비교

강 대 석 · 남 정 호\* · 이 석 모  
부경대학교 생태공학과, \*한국해양수산개발원  
(2005년 9월 8일 접수; 2006년 12월 16일 채택)

### Emergy Valuation of a Tidal Flat Ecosystem in the Southwestern Coast of Korea and Its Comparison with Valuations Using Economic Methodologies

Dae-Seok Kang, Jung-Ho Nam\* and Suk-Mo Lee

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

\*Korea Maritime Institute, Seoul 137-851, Korea

(Manuscript received 8 September, 2005; accepted 16 December, 2006)

The emergy concept was used to value the contributions of a tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area to the Korean economy. Emergy contributions of the ecosystem were compared with those of economic valuations performed on the same ecosystem. The tidal flat ecosystem contributed 3.55 million EmW/ha annually. This, however, cannot be compared directly with those of the economic valuations because both methodologies approach the valuation of ecosystems in different perspectives. The emergy methodology is a donor-based valuation in which what goes into making a product or service is measured, while the economic valuation is a receiver-based approach in which human receivers determine the value of an ecosystem product or service.

An emergy valuation was conducted for the three ecosystem functions included in the economic valuations to compare the results of both methodologies on the same basis. Fishery production and pollutants removal contributed 9.86 million EmW/ha/yr and 0.88 million EmW/ha/yr, respectively. The conservation value of the tidal flat ecosystem was 3.55 million EmW/ha/yr. Overall, the emergy valuation that try to include works of both human and nature on the same basis resulted in higher economic contribution of the tidal flat ecosystem than that calculated by the economic methodologies in which only human works are measured based on the willingness-to-pay of people.

This study showed that the emergy concept could provide an alternative tool for policy decision-making regarding utilization and conservation of ecosystems by approaching the ecosystem valuation from a different perspective than that of economic methodologies.

Key Words : Tidal flat ecosystem, Emergy valuation, Economic valuation

#### 1. 서 론

1990년대부터 많은 연구들이 갯벌은 어류와 패류 생산이외에도 서식지, 오염정화, 심미·관광, 자연재

해조절과 같은 여러 가지 역할을 하고 있다는 사실을 밝혀냈지만<sup>1)</sup>, 1990년대까지 이루어진 간척은 대부분 갯벌을 매립해야 하는 쓸모없는 땅으로 여긴 결과였다. 즉, 매립으로 땅(농토, 공업용지, 도시용지)이 늘어남으로써 갯벌 생태계가 우리나라 경제에 기여하는 가치가 증가한다는 인식이 간척·매립 사업의 주된 논리적 근거였다. 1960년대부터 진행된 간

Corresponding Author : Dae-Seok Kang, Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea  
Phone: +82-51-620-6442  
E-mail: dskang@pknu.ac.kr

척 사업으로 많은 갯벌이 사라졌으나, 정확한 면적은 알 수 없다. 해양수산부<sup>1)</sup>가 1987년부터 1998년까지 10년 동안 약 15%의 갯벌이 주로 토지를 얻기 위한 간척과 매립으로 사라졌다고 추정하였을 뿐이다.

지난 40년 동안 경제가 빠르게 성장하는 과정에서 짧은 기간에 얼마나 많은 경제적 이익을 만들어 낼 수 있는가 하는 점이 생태계가 경제에 기여하는 가치를 평가하는 잣대 역할을 하였다. 또한 이 과정에서 생태계의 개발이 오랜 기간에 걸쳐 주변 생태계에 미칠 영향은 거의 고려되지 않았다. 지금까지 우리나라에서 시행된 간척 사업 가운데 가장 규모가 큰 새만금 갯벌의 간척을 둘러싸고 몇 년째 진행되고 있는 논쟁은 1990년대 이후 나타나고 있는 생태계의 가치에 대한 인식의 변화를 반영하고 있다.

자연환경의 이용과 보전을 조화하기 위한 정책 수립의 필요조건 가운데 한 가지는 자연환경이 우리 경제에 기여하는 진정한 가치를 다양한 평가방법을 이용하여 평가하는 일이다. 이러한 평가를 통해 우리가 겪고 있는 환경문제의 심각함과 대응의 시급함을 고려하여 한정된 인력과 자원을 효율적으로 활용하기 위한 정책방향과 대응우선순위를 정할 수 있다. Odum and Odum<sup>2)</sup>은 자연환경이 우리 사회에 기여하는 가치를 제대로 평가하지 못하면 생태계는 파괴되고 이로 인해 생태계로부터 우리가 얻는 이익은 줄어든다고 주장하였다.

우리나라에서 갯벌생태계의 경제기여 가치는 시장가격과 지불의사(willingness to pay)를 이용하는 경제학적 방법<sup>3-8)</sup>과 생태계의 기여가치를 에너지 관점에서 평가하고자 하는 에머지(emergy) 개념에 근거한 생태학적 방법<sup>9-10)</sup>을 이용하여 평가되었다. 경제학적 방법을 이용한 연구들은 대체추정법, 시장가격법, 조건부가치측정법 등을 이용하여 갯벌생태계가 경제에 기여하는 가치의 일부 또는 전체 가치를 추정하였다. 에머지 평가법을 이용한 연구들은 갯벌생태계로 유입하는 에너지에 대한 평가를 토대로 갯벌생태계의 연간 기여가치를 평가하였다.

두 가지 방법 모두 갯벌생태계의 보전과 이용에 관한 의미있는 결과들을 제시하였다. 그러나 경제학적 평가방법의 경우 새만금 갯벌을 둘러싼 가치평가에서도 나타났듯이<sup>6)</sup> 갯벌생태계의 가치로 어떤 항목을 포함할 것인지에 대한 논란 때문에 연구자에 따라 갯벌의 경제기여가치에 차이가 나고 있다. 에머지 평가법을 이용한 가치평가의 경우 아직 갯벌생태계의 보전과 이용을 둘러싼 정책결정에 직접 이용되지 못하고 있다. 또한 지금까지 동일한 갯벌생태계를 대상으로 에머지 평가법과 경제학적 방법을 이용하여 경제기여가치를 평가한 뒤 이를 비교한 연구는 아직 없다.

따라서 이 연구에서는 경제학적 방법을 이용하여 가치평가가 이미 수행된 갯벌생태계를 선정하여 에머지 평가를 실시한 후, 두 방법을 이용한 평가 결과를 비교·분석하였다. 이를 위해 이 연구는 1998년 7월 16일자로 사업이 취소된 영산강 4단계 간척사업의 대상이었던 갯벌생태계를 대상으로 에머지 평가를 수행하고, 동일한 갯벌을 대상으로 경제학적 평가를 수행한 기존 연구결과<sup>5),7)</sup>와 비교하였다.

## 2. 연구 대상 및 방법

### 2.1. 연구대상

1972년부터 5단계로 나누어 시작된 영산강유역 종합개발사업에 포함된 영산강 4단계 간척사업은 총 사업비 1조 9,600억원을 들여 전남 목포, 무안, 함평, 영광, 신안 주변의 섬들을 방조제로 막아 농업용지, 산업용지, 담수호를 만들고자 한 사업이었다<sup>7)</sup> (Fig. 1). 이 사업은 41.4km의 방조제를 쌓아 간척지 21,690ha와 담수호 11,870ha를 더한 33,560ha의 매립면적을 확보하고자 하였으며, 모두 39,040ha(농지 16,450ha, 배후지 17,350ha, 산업용지 5,240ha)를 개발할 계획이었다.

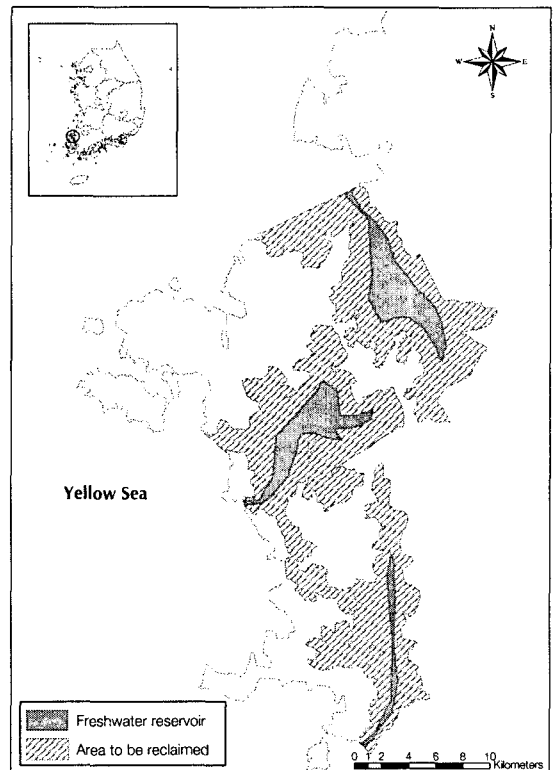


Fig. 1. Location of the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea.

그러나 농림부는 1998년 7월 16일 갯벌을 보호하고 재정낭비를 줄이기 위해 영산강 4단계 간척사업을 취소하였다. 이는 시화호, 송도간척지와 같이 간척이 이루어진 곳에서 나타나는 담수호의 수질 악화와 간척의 경제성 문제를 고려한 것이었다.

## 2.2. 에머지 개념

일반적으로 우리 삶에 필요한 재화와 용역은 시장에서 거래되는데, 이러한 거래를 매개하는 것은 시장경제의 가격이다. 이는 사람들이 해당 재화와 용역에 대해 지불하고자(willingness-to-pay) 하는 금액이다. 그러나 시장을 통해 순환하는 돈은 경제활동에 참여하는 사람들의 용역에 대해서만 지불된다. 따라서 자연자원의 획득과 처리에 들어간 인간의 용역에 대해서만 지불한 돈은 이들 자원이 우리 경제의 진정한 부(real wealth)에 기여하는 정도를 판단하는 척도가 될 수 없다<sup>11)</sup>. 시장에서 거래되지 않는 재화와 서비스(예를 들어, 서식지, 생물종다양성, 신선한 공기) 또한 지불의사를 이용하여 평가되기 때문에 시장재의 경우와 마찬가지로 문제점을 가지고 있다.

지불의사(willingness-to-pay)에 기반을 둔 시장가격과 자연 환경이 우리 사회의 진정한 부에 기여하는 정도는 반비례 관계에 있다고 할 수 있다<sup>11)</sup>. 시장경제의 수요-공급 원리에 따르면 환경 자원이 풍부할 때는 시장에서 거래되는 자원의 가격이 내려간다. 따라서 우리 경제는 이 자원을 이용하여 여러 가지 재화를 생산할 수 있으며, 이를 통해 우리 사회의 부를 축적할 수 있다. 그러나 환경 자원의 양이 감소하면 가격은 올라가지만, 이 자원이 사회의 부에 기여하는 바는 이용할 수 있는 자원의 절대량이 줄어들기 때문에 낮아진다.

미국의 시스템생태학자였던 Howard T. Odum은 지불의사에 바탕을 둔 자연환경의 가치 평가가 가지고 있는 문제점을 비판하면서, 이를 위한 대안으로 에너지를 공통 화폐(common currency)로 사용하고자 하였다<sup>11-13)</sup>. 에머지는 Farber *et al.*<sup>14)</sup>이 구분한 바와 같이 자연환경의 가치평가에 에너지를 이용하는 시도(energy theory of value)로, 환경과 경제를 동일한 기준에서 평가하기 위한 개념이다<sup>2)</sup>.

에머지는 “한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지”로 정의된다<sup>11)</sup>. 에머지는 주어진 자원에 현재 남아 있는 에너지뿐만 아니라 과거에 사용된 에너지까지 모두 포함하려는 개념(energy memory)이다. 현재 에머지 평가법에서 서로 다른 자원들을 비교하기 위하여 기준으로 삼은 에너지는 태양에너지이며, 단위로는 solar emjoules

(sej)을 사용한다.

에너지마다 일을 할 수 있는 능력이 다르기 때문에 서로 다른 에너지를 비교할 때는 먼저 기준이 되는 에너지로 바꾸어야 한다<sup>11)</sup>. 단순히 에너지의 관점에서 보면 초식동물에너지 1칼로리와 인간에너지 1칼로리는 같은 양이지만, 영향을 미치는 범위가 더 넓고 조절작용을 할 수 있다는 점에서 인간의 에너지 1 칼로리는 초식동물에너지 1 칼로리보다 질(energy quality)이 더 높다고 할 수 있다. 에머지 이론에서는 에너지 사이의 일할 수 있는 능력의 차이를 에너지변환도(transformity)로 나타낸다. 에너지변환도는 한 가지 자원이 만들어지는데 직접 투입된 에너지와 간접으로 투입된 기준이 되는 에너지량, 즉 에머지를 이 자원의 실제 에너지량으로 나눈 값으로, 에너지 변환도가 클수록 자원의 질은 더 높다<sup>11)</sup>. 태양에너지 변환도(solar transformity)는 모든 자원의 질을 에머지 이론에서 현재 기준으로 사용하고 있는 태양에너지를 사용하여 나타낸 값으로, 단위는 solar emjoules per joule(sej/J)을 사용한다.

## 2.3. 에머지 평가법

### 2.3.1. 에너지시스템 다이어그램

에머지 평가과정은 먼저 평가하고자 하는 시스템을 이루는 요소들이 무엇인지, 그리고 이러한 요소들은 어떻게 연결되어 있는 지 파악하는 것에서부터 시작한다. 즉, 시스템의 구성요소들과 이들 사이에 일어나는 에너지와 물질 흐름을 파악하는 것이다. 평가대상 시스템의 구조와 기능을 나타내는 에너지시스템 다이어그램은 미국의 시스템 생태학자인 Howard T. Odum이 개발한 에너지 시스템 언어를 이용하여 작성하였다<sup>11-13)</sup>. 에너지시스템언어는 분석하고자 하는 시스템의 성분들과 이들 사이의 연결 관계를 특별한 의미들이 부여된 기호들을 이용하여 시각적으로 나타내며, 이를 통해 전체 시스템의 유기적인 관계를 종합적으로 파악할 수 있도록 해준다.

에너지시스템 다이어그램은 1) 평가대상 시스템의 경계 설정, 2) 시스템의 경계 외부에서 대상 시스템에 영향을 미치는 모든 요소 파악, 3) 평가대상 시스템의 내부에 있는 주요 구성요소 파악, 4) 구성요소와 외부에너지원을 연결하는 주요 흐름(또는 과정) 파악, 5) 에너지시스템언어의 규칙에 따라 외부 에너지원과 내부 구성요소를 적절한 위치에 배치하고 이들을 연결하는 과정을 통해 작성된다. Fig. 2는 이 연구의 대상인 갯벌생태계의 에너지시스템 다이어그램으로, 시스템의 경계는 영산강 4단계 간척사업의 대상이었던 갯벌 21,690ha로 설정하였다.

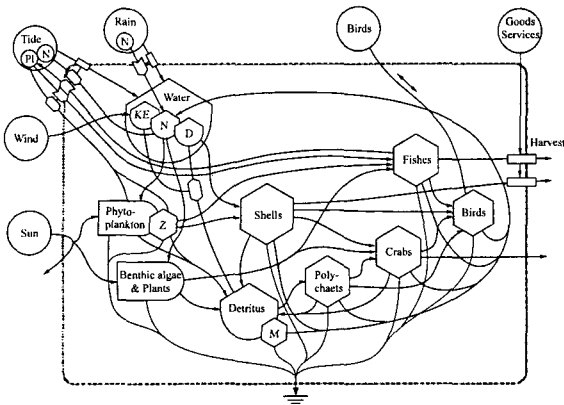


Fig. 2. Energy systems diagram for the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea. KE=Kinetic Energy, N=Nutrients, M=Microorganisms, D=Detritus, PI=Outside plankton population, Z=Zooplankton.

2.3.2. 에너지 평가표

에너지 평가의 두 번째 단계는 첫 번째 단계에서 완성한 에너지시스템 다이어그램을 이용하여 에너지 평가표를 작성하는 것이다. 이 평가표는 평가대상 시스템의 주요 유입 및 유출 경로에 대한 것과 내부의 주요 구성성분(저장된 양 또는 흐름)에 대한 것으로 나누어서 작성한다. 일반적으로 에너지 평가표는 다음과 같은 형태로 제시된다.

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

첫 번째 세로줄은 각 항목의 자료출처와 에너지 계산과정을 나타내기 위한 주석 번호이며, 두 번째 세로줄은 각 항목의 이름이다. 세 번째 세로줄은 각 항목의 실제 측정자료(또는 측정자료를 이용하여 계산된 자료)로, 단위시간당 에너지, 물질 또는 화폐의 양으로 나타낸다. 네 번째 세로줄은 각 항목의 태양에너지변환도로, 평가과정에서 직접 계산하거나 기존의 연구를 통해 계산된 값을 이용할 수 있다. 다섯 번째 세로줄은 세 번째 세로줄의 실제 자료와 네 번째 세로줄의 태양에너지변환도를 곱하여 얻은 태양에너지이다.

마지막으로 여섯 번째 세로줄의 Emvalue는 다섯 번째 세로줄의 에너지값을 에너지-화폐비율(Emergy-Money ratio)로 나누어 구한 값으로, 각 항목의 에너지량을 화폐단위로 바꾸어 나타낸 값이다. 에너지-화폐비율은 경제의 화폐흐름을 에너지 흐름과 연

결하는 역할을 하는데, 평가하고자 하는 경제시스템이 1년 동안 사용한 총에너지량을 그 해의 총생산(예를 들어, GDP)으로 나눈 값이다.

연구대상 시스템이 사용하는 총 에너지량은 각 항목의 에너지값을 더해 구한다. 그러나 이 과정에서 조심해야 할 것은 서로 다른 에너지를 더하는 과정에서 나타날 수 있는 이중 계산(double counting) 문제이다<sup>11)</sup>. 예를 들어 바람과 강우는 태양에너지가 지구 표면을 가열하여 나타나는 자연 현상이다. 따라서 태양, 바람, 강우의 에너지를 모두 더하여 에너지 총량을 계산하면 태양에너지를 중복 계산하게 된다. 이 경우 에너지 개념은 에너지량이 가장 큰 에너지만 선택하도록 한다.

2.4. 평가자료

에너지 평가를 수행하기 위해서는 평가대상 시스템의 자연환경과 사회경제 현황에 대한 자료가 필요하다. 에너지 평가를 위한 자료는 평가대상 갯벌을 이용하는 지역의 자연환경 및 사회경제 통계자료<sup>15,16)</sup>를 이용하였다. 이 연구에서는 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌에 대한 에너지 평가 결과를, 평가시점을 2000년으로 설정한 경제학적 방법을 이용한 연구결과<sup>5,7)</sup>와 비교할 수 있도록 1999년 자료를 이용하였다.

3. 평가대상지역 경제학적 가치평가 분석

영산강 4단계 간척사업의 매립대상 갯벌의 가치를 경제학 방법을 이용하여 평가한 연구는 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 해양수산부<sup>7)</sup>가 있다. 이 지역의 갯벌 가치를 처음 평가한 한국산업경제연구원은 편익-비용분석법을 이용하여 영산강 4단계 간척사업의 경제성을 평가하면서 갯벌의 기여가치를 계산하였다. 해양수산부는 영산강 4단계 사업이 취소되고 난 뒤 한국산업경제연구원 평가결과의 문제점을 지적하고, 영산강 4단계 간척사업의 경제성을 다시 평가하였다.

3.1. 한국산업경제연구원의 평가

한국산업경제연구원<sup>5)</sup>은 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌의 기능을 수산물 생산, 해수정화, 심미 기능 세 가지로 나누어 갯벌의 가치를 평가하였다(Table 1). 수산물생산 기능은 영산강 4단계 사업지역 갯벌에서 이루어지는 면허어업(236.9만원/ha/yr), 허가어업(16.8만원/ha/yr), 신고어업(135.8만원/ha/yr), 마을어업(60만원/ha/yr)의 연간 순이익을 더하여 계산하였다. 신고어업의 경우 한국산업경제연구원이 제시한 순수익과 면적을 이용하여 수정한 값이다. 갯벌의 수질정화가치는 영산강 4단계 간척사업으로 만들어진 11,870ha의 담수호 수질을 개선하기 위해 필요한

## 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌생태계 가치의 에머지 평가 및 경제학적 평가와의 비교

인공습지의 설치비용으로 계산하였다. 이 연구에서는 모두 36개의 인공습지(면적: 1,385ha, 부피: 20,775,000 m<sup>3</sup>)가 필요한 것으로 가정하였다. 한편, 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>은 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌생태계의 심미가치로 미국 루이지애나주 습지와 플로리다주 습지의 오락가치를 평균하여 우리나라 갯벌의 심미가치를 평가한 환경부<sup>17)</sup>의 자료를 이용하였다.

한국산업경제연구원의 평가 결과 영산강 4단계 사업지역 갯벌이 우리나라 경제에 기여하는 가치는 ha당 연간 531만원이었다. 미국 갯벌의 정화능력(생물학적 산소요구량 기준 21.7kg/day/ha)을 이용하여 추정된 수질정화가치(383만원/ha/yr)<sup>17)</sup>를 적용할 경우 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 가치는 ha당 연간 873만원으로 늘어났다.

### 3.2. 해양수산부의 평가

해양수산부<sup>7)</sup>도 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 같이 영산강 4단계 사업지역의 갯벌 기능을 수산물생산가치, 수질정화가치, 보전가치 등 세 가지로 나누었다. 해양수산부는 수산물생산가치를 평가하면서 간척사업이 방조제 안의 어업뿐만 아니라 방조제 밖의 어업에도 많은 피해를 준다는 점을 고려하였으며, 면허어업, 허가어업, 신고어업의 순이익을 이용하여 이 지역 갯벌의 수산물생산가치를 계산하였다. 갯벌의 오염물질 정화가치는 환경부<sup>17)</sup>와 마찬가지로 미국의 연구결과를 인용하여, 같은 양의 유기물을 처리하는데 필요한 하수처리비용으로 계산하였다. 그러나 계산 결과가 지나치게 커 갯벌의 정화능력에 대한 연구가 더 많이 필요하다는 판단아래 하수처리비용의 10%를 갯벌의 정화가치로 사용하였다. 해양수산부<sup>7)</sup>는 갯벌의 심미가치를 외국 사례를 이용하여 평가한 한국산업경제연구원과 달리 조건부 가치 측정법(contingent valuation method)을 이용하여

영산강 4단계 사업지역 갯벌의 보전가치를 추정하였다. 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 보전가치는 연간 1,757~6,071억원으로 계산되었다. 해양수산부<sup>7)</sup>가 평가한 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 연간 기여가치는 ha당 741만원으로 나타났다(Table 1). 이 결과는 오염정화가치를 인공습지를 만드는 데 드는 비용으로 한 한국산업경제연구원<sup>5)</sup> 평가보다는 높았으며, 미국의 갯벌정화능력 자료를 이용한 평가보다는 낮았다.

### 3.3. 비교 검토

한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 해양수산부<sup>7)</sup>의 평가결과와 평가방법, 평가대상 갯벌면적과 기준이 달라 갯벌의 기여가치를 다르게 평가하였다. 전체적으로 해양수산부의 연구가 한국산업경제연구원에 비해 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 연간기여 가치를 높게 평가하였다.

수산물 생산가치는 해양수산부의 평가가 한국산업경제연구원의 평가보다 23.8% 높았다. 이러한 차이는 두 연구에서 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 가치를 평가하기 위해 이용한 보상대상 갯벌 면적, 보상비 산출기준, 보상기간, 단위면적당 수산물생산량, 생산단가, 순수이익률이 달랐기 때문이다. 해양수산부는 방조제의 건설로 해류와 조석패턴, 퇴적물 이동이 영향을 받는 방조제 바깥의 갯벌까지 포함하였으며, 면허어업, 마을어업, 신고어업, 허가어업의 일부, 염전보상은 무한대까지 경제적 기회비용이 발생할 수 있음을 가정하여 갯벌의 가치를 평가하였다.

해양수산부<sup>7)</sup>도 지적하고 있듯이 인공습지의 정화능력이 자연 상태의 갯벌보다 15배 이상 크다는 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>의 가정은 문제가 있다. 인공갯벌을 만들고 난 뒤 아무런 관리도 하지 않는다면 자연

Table 1. Economic valuation of the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea(Unit : million won/ha/yr)

Items	IRI <sup>5)</sup>	MOMAF <sup>7)c)</sup>
Fishery production value	4.50 <sup>a)</sup>	5.57
Pollutants removal value	0.41(3.83) <sup>b)</sup>	1.03
Aesthetic or conservation value	0.40	0.81
Total	5.31(8.73)	7.41

a) Corrected for an error in a size of fishery areas in IRI.

b) Numbers in parentheses represent the pollutants removal value and the resultant total value with organic removal capacity of 21.7kgBOD/day, as calculated in MOE<sup>17)</sup>.

c) MOMAF<sup>7)</sup> presented the result in the present values for the valuation period of 55 years. Annual values were provided by Professor Hee-Dong Pyo at the Pukyung National University.

상태의 갯벌과 비슷한 정화능력을 가질 것이며, 관리를 하더라도 15배 이상의 정화능력은 얻기 어려운 것으로 판단된다. 해양수산부가 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 오염정화가치를 추정하기 위해 적용한 하수처리비용은 연간 ha당 1,026만원으로, 환경부<sup>17)</sup>가 사용한 비용(383만원/ha/yr)보다 2.7배 높았다. 그 결과 오염정화기능의 가치가 면허어업의 가치보다 2배 크게 나타나 해양수산부는 추정된 수질정화가치의 10%만 고려하여 갯벌의 기여가치를 평가하였다. 그러나 해양수산부는 이에 대한 논리적 근거를 제시하지 않았다.

한국산업경제연구원<sup>5)</sup>은 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 심미가치를 평가하는데 미국 습지의 오락가치를 이용하였지만, 해양수산부<sup>7)</sup>는 조건부 가치측정법을 이용하여 갯벌의 보전가치를 평가하였다. 한국산업경제연구원의 연구 결과는 우리나라의 자연환경과 사회경제 조건이 다른 미국 습지의 오락가치를 이용하였다는 점에서 현실성이 떨어지는 것으로 판단된다. 그러나 해양수산부는 갯벌 보전가치의 크기에 대한 논란과 한국산업경제연구원이 보전가치를 포함하지 않았다는 점을 들어 갯벌의 보전가치가 평가 첫 해에만 발생하는 것으로 매우 보수적으로 가정하였다. 따라서 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 실제 보전가치는 해양수산부의 평가보다 클 것으로 판단된다.

#### 4. 에머지 평가 결과

##### 4.1. 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌의 에머지 가치

영산강 4단계 사업지역 갯벌의 자연환경에 대한 에머지 평가결과는 Table 2에 제시하였다. 이 연구에서는 자연 상태의 갯벌이 순수하게 우리나라 경제에 기여하는 부분만을 평가하기 위하여 Fig. 2에 제시한 다이어그램의 오른쪽에 배치한, 갯벌과 주변 해역을 대상으로 한 사회경제활동은 포함하지 않았다. 1999년에 이 지역 갯벌로 유입한 자연환경 에머지 총량은 연간  $1.72 \times 10^{20}$  sej/yr로, 이 중 조석에너지가 공급한 에머지량이 82.3%( $1.42 \times 10^{20}$  sej/yr), 강우에 의한 에머지 유입량은 17.7%( $3.05 \times 10^{19}$  sej/yr)를 차지하였다.

영산강 4단계 사업지역 갯벌로 유입하는 에머지 총량을 계산하는 과정에서 중복 계산을 피하기 위하여, 태양, 바람, 강우 중 에머지 유입량이 가장 큰 강우 에머지만 포함하였다. 즉 영산강 4단계 사업지역 갯벌로 유입한 총 에머지량은 강우와 조석의 에머지를 더한 값으로 계산하였다.

영산강 4단계 사업지역 갯벌의 emvalue는 Table 2에 제시한 각 유입에너지의 에머지량을 이 연구에서 계산한 에머지-화폐 비율인  $2.24 \times 10^9$  sej/W로 나누어 계산하였다. 이 결과에 따르면, 영산강 4단계 간척사업의 대상이었던 21,690ha의 갯벌이 우리 경

Table 2. Emergy evaluation of the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea

Items	Energy (J/yr)	Solar transformity <sup>a)</sup> (sej/J)	Solar emergy (sej/yr)	Emvalue (EmW/yr)
Sun <sup>b)</sup>	$7.42 \times 10^{17}$	1	$7.42 \times 10^{17}$	$3.31 \times 10^8$
Wind <sup>c)</sup>	$1.61 \times 10^{15}$	1,496	$2.41 \times 10^{18}$	$1.08 \times 10^9$
Tide <sup>d)</sup>	$8.43 \times 10^{15}$	16,842	$1.42 \times 10^{20}$	$6.34 \times 10^{10}$
Rain, chemical <sup>e)</sup>	$1.67 \times 10^{15}$	18,199	$3.05 \times 10^{19}$	$1.36 \times 10^{10}$
Total			$1.72 \times 10^{20}$	$7.70 \times 10^{10}$

a) Solar transformities from Odum<sup>11)</sup>

b) Area= $2.17 \times 10^8$  m<sup>2</sup><sup>15)</sup>

Insolation= $4.88 \times 10^9$  J/m<sup>2</sup>/yr<sup>16)</sup>

Albedo=0.3 (% given as decimal)

Energy (J)=(Area)×(Insolation)×(1-albedo)= $7.42 \times 10^{17}$  J/yr

c) Avg. wind speed=3.4m/s<sup>16)</sup>

Geostrophic wind=(3.4m/s)×(10/6) = 5.67 m/s

Energy (J)=(1.3kg/m<sup>3</sup>)×(0.001)×(5.67m/s)<sup>3</sup>×(3.14×10<sup>7</sup>s/yr)×(Area)= $1.61 \times 10^{15}$  J/yr

d) Average tide=3.31m<sup>18)</sup>

Energy (J)=(Area)×(0.5)×(706/yr)×(2.81m)<sup>2</sup>×(1025kg/m<sup>3</sup>)×(9.8m/s<sup>2</sup>)= $8.43 \times 10^{15}$  J/yr

e) Rain=1.563m/yr<sup>16)</sup>

Energy (J)=(Area)×(1.563m/yr)×(1000kg/m<sup>3</sup>)×(4940J/kg)= $1.67 \times 10^{15}$  J/yr

영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌생태계 가치의 에머지 평가 및 경제학적 평가와의 비교

Table 3. Emergy valuation of functions of the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea

Items	Energy (J/ha/yr)	Solar transformity <sup>a)</sup> (sej/J)	Solar emergy (sej/ha/yr)	Emvalue (EmW/ha/yr)
Fishery production			$2.21 \times 10^{16}$	$9.86 \times 10^6$
Amount	$4.90 \times 10^9$ <sup>b)</sup> J/ha/yr	$5.43 \times 10^6$	$2.66 \times 10^{16}$	$11.89 \times 10^6$
Cost	$2.03 \times 10^6$ W/ha/yr	$2.24 \times 10^9$	$4.55 \times 10^{15}$	$2.03 \times 10^6$
Pollutants removal	$1.79 \times 10^{11}$ <sup>c)</sup> J/ha/yr	$1.10 \times 10^4$	$1.97 \times 10^{15}$	$0.88 \times 10^6$
Conservation value	-	-	$7.95 \times 10^{15}$	$3.55 \times 10^6$
Total			$3.20 \times 10^{16}$	$14.29 \times 10^6$

a) Solar transformity of fishery products was calculated based on Son et al.<sup>19)</sup>, that of fishery production cost from this study, and that of pollutants(organiacs) removal from Odum<sup>11)</sup>.

b) Production=1.46 MT/ha/yr

$$\text{Energy(J)} = (\text{Production}) \times (1.0 \times 10^6 \text{ g/MT}) \times (4\text{kcal/g}) \times (4186\text{J/kcal}) \times (0.20) \\ = 4.90 \times 10^9 \text{ J/ha/yr}$$

c) Organic removal=7921 kg/ha/yr

$$\text{Energy} = (\text{OM removal}) \times (1000\text{g/kg}) \times (5.4 \text{ kcal/g}) \times (4186 \text{ J/kcal}) \\ = 1.79 \times 10^{11} \text{ J/ha/yr}$$

제에 기여하는 바는 연간 770억 EmW으로 나타났다. 이를 단위면적(ha)으로 환산하면 약 355만 EmW/ha/yr에 해당한다. 에머지 측면에서 가장 큰 기여율을 보인 조석에너지는 연간 634억 EmW(전체 가치의 82.3%)의 가치를 보였다.

4.2. 영산강 4단계 간척사업 대상 갯벌의 기능별 에머지 가치

Table 2에서 계산한 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 에머지 가치는 에머지 개념의 기본적인 정의에 따라 생태계로 유입하는 자연환경의 에머지를 이용하여 계산한 결과이다. 따라서 갯벌생태계 내부의 기능에 대해 평가한 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 해양수산부<sup>7)</sup>의 연구결과와 직접 비교하기는 힘들다. 그러나 갯벌생태계 내부에서 나타나는 개별 기능들에 대해 에머지 평가를 수행하고 이를 단순히 더하여 전체 기여가치를 평가하는 것은 생태계의 네트워크 특성으로 인한 상호연결성 때문에 중복계산의 문제가 있다. 그러나 이러한 중복계산 문제에도 불구하고 에머지 평가법과 경제학적 평가법을 직접 비교하기 위하여 한국산업경제연구원과 해양수산부가 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태의 기능으로 분류한 항목들을 대상으로 에머지 평가를 수행하였다(Table 3). 이것이 평가대상 갯벌생태계의 기능이 한국산업경제연구원이나 해양수산부가 제시한 세 가지에 그친다는 것을 의미하지는 않는다.

영산강 4단계 사업지역 갯벌의 수산물 생산 에머

지 가치(Fig. 2에서 Harvest로 표시)는 수산물 생산량의 에머지량에서 수산물 생산에 투입된 에머지량(비용)을 제외하여 구하였다. 수산물생산량과 생산비용은 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>의 자료를 평가대상 면적(21,690ha)으로 나누어 구하였다. 오염정화가치(Fig. 2에서 M으로 표시된 부분)는 동일한 기준에서 비교하기 위해 한국산업경제연구원과 해양수산부가 공통으로 사용한 미국 갯벌의 유기물 정화능력(21.7kg/ha/day)을 이용하였다.

갯벌의 심미가치나 보전가치는 갯벌생태계의 구조와 기능이 크게 훼손되지 않고 온전히 유지될 때 가능한 가치이다. 또한 이러한 구조와 기능의 유지는 영산강 4단계 사업지역 갯벌로 유입하는 모든 에너지와 갯벌 구성원사이의 유기적인 상호작용을 통해 가능하다는 점에서 갯벌의 보전가치나 심미가치는 갯벌로 유입하는 에머지를 모두 더한 값으로 볼 수 있다. 따라서 이 연구에서는 Table 2에서 계산한 총 유입에머지( $1.72 \times 10^{20}$  sej/yr)를 평가대상 면적(21,690ha)으로 나눈 값( $7.95 \times 10^{15}$  sej/yr)을 영산강 4단계 사업지역 갯벌 보존의 에머지 가치로 사용하였다.

영산강 4단계 간척사업 지역 갯벌생태계의 기능별 에머지 가치는 모두 1,429만 EmW/ha/yr로 계산되었다. 이 가운데 갯벌생태계의 수산물생산가치가 69.0%(986만 EmW/ha/yr)를 차지하였으며, 보존가치가 24.9%(355만 EmW/ha/yr), 오염정화가치가 6.2%(88만 EmW/ha/yr)로 나타났다.

5. 고찰

자연환경의 재화와 서비스를 포함하는 에머지 평가가 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 수산물 생산가치를 더 높게 평가하였다. 에머지를 이용하여 계산한 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 수산물 생산가치는 ha당 연간 986만 EmW으로, 한국산업경제연구원(450만원/ha/yr)보다 2.2배, 해양수산부(557만원/ha/yr)보다 1.8배 높았다(Fig. 3). Table 3에서 계산한 수산물생산의 에머지 가치는 수산물생산량의 에머지에서 수산물 생산에 투입된 외부구입 에머지량을 뺀 값이다. 따라서 이 값은 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계에 유입하는 환경에너지(태양, 바람, 조석 등)와 이 지역 어민들의 노동력이 기여한 에머지의 합을 나타낸다. 어민들의 노동력만을 평가한 경제학적 평가결과보다 에머지 평가결과가 더 높았다.

그러나 한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 해양수산부<sup>7)</sup>가 계산한 수산물 생산가치는 영산강 4단계 사업지역에 포함된 21,690ha의 갯벌의 단위면적당 순수익을 과대평가하는 것으로 보인다. 이들 연구는 평가대상 갯벌생태계의 단위면적(ha)당 수산물 생산가치를 계산하는 과정에서 각 어업형태별 면적을 이용하여 해당 어업형태의 단위면적당 순수익을 계산한 뒤 이를 더하였다. 그러나 면허어업(한국산업경제연구원 9700.9ha, 해양수산부 15,860ha)과 신고어업(6,356ha)이 이루어지는 갯벌 면적은 영산강 4단계 사업지역에 포함된 전체 갯벌 면적보다 작다. 따라서 한국산업경제연구원과 해양수산부가 계산한 단위면적당 순수익은 이들 어업이 이루어지지 않은 부분의 갯벌까지 동일한 어업 순수익이 발생하는 것으로 처리하는 모양이 되었다. 이에 비해 허가어업의 경우 21,690ha의 면적이 모두 포함되었다. 에머지 평가의 경우 각 어업형태별 생산량과 비용을 전체 평가대상 면적으로 나누어 단위면적당 생산량과 비용을 구하였다.

한국산업경제연구원<sup>5)</sup>과 해양수산부<sup>7)</sup>가 사용한 자료(21.7 kg/day)를 이용하여 평가한 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계의 수질정화 에머지 가치는 88만 EmW/ha/yr이었다(Fig. 3). 이는 해양수산부의 103만원/ha/yr이나 한국산업경제연구원의 383만원/ha/yr에 비해 훨씬 낮은 값이다. Fig. 3에 제시한 한국산업경제연구원의 오염정화가치는 해양수산부 및 에머지 평가결과와 비교하기 위하여 미국 갯벌의 정화능력을 이용한 결과이다. 이러한 차이는 에머지 평가법과 경제학 평가법 사이의 근본적인 차이를 반영하는 것으로 볼 수 있다. 한국산업경제연구원과 해양수산부가 계산한 영산강 4단계 사업지역 갯벌의 오염정화가치는 동일한 양의 유기물을 제거하는데 필요한 하수처리비용에 해당한다. 이

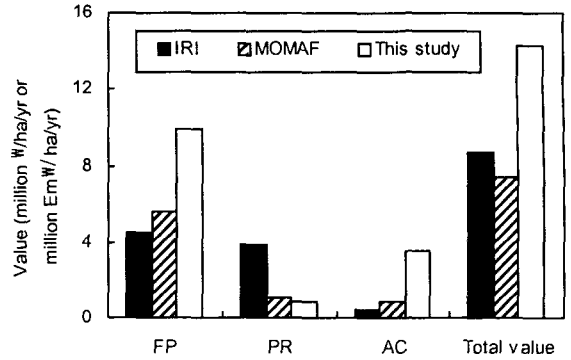


Fig. 3. Comparison of the energy and economic valuations on the tidal flat ecosystem included in the fourth stage reclamation plan for the Youngsan River area in Korea. FP=Fishery production value, PR=Pollutants removal value, AC=Aesthetic or conservation value.

렇게 계산된 오염정화가치는 에너지변환도가 아주 높은 인간의 서비스를 포함하고 있기 때문에, 에너지변환 계층구조의 낮은 단계에 속하는 미생물의 유기물 분해과정에 대해 직접 평가한 에머지 결과와 큰 차이가 있을 수밖에 없다. 또한 이 결과가 시사하는 바는 생태계의 기능(즉, 오염정화기능)을 인공자본(즉, 하수처리시설)으로 대체하는 것은 더 많은 비용을 유발한다는 것이다.

그러나 수질정화가치의 계산에 사용한 갯벌정화능력이 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계를 대상으로 직접 조사한 것이 아니라 외국의 자료를 이용한 것이기 때문에 이 지역 갯벌생태계의 수질정화가치를 제대로 평가하였다고 볼 수 없다. 따라서 향후 갯벌생태계의 수질정화가치 계산시 반드시 평가대상 생태계에 대해 직접 조사한 자료를 활용할 필요가 있다. 또한 이 과정에서 갯벌이 유기물이나 영양염류와 같은 오염물질을 제거(sink)할 수도 있지만, 오히려 오염물질의 공급원(source)으로 작용할 수 있다는 점도 고려하여야 할 것으로 판단된다<sup>20)</sup>.

앞에서 설명한 바와 같이 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계 보존의 에머지 가치는 서로 밀접하게 연결되어 상호작용하는 생태계 구성성분의 네트워크 특성을 반영하여 갯벌생태계로 유입하는 에머지 총량을 이용하여 계산하였다. 그 결과 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계 보존의 에머지 가치는 한국산업경제연구원이 계산한 심미가치의 8.9배, 해양수산부가 계산한 보존가치의 4.4배에 이르렀다(Fig. 3). 즉, 경제학적 평가가 갯벌생태계의 심미가치 또는 보존가치를 지나치게 저평가하고 있음을 알 수 있다. 또한 갯벌의 보존가치는 갯벌생태계로 연간 유



입하는 에머지량뿐만 아니라 이 생태계 내부에 저장된 에머지(emergy storage)까지 포함하는 것으로 볼 수 있다. 이는 우리 경제가 매년 갯벌생태계로부터 얻을 수 있는 유용한 편익은 갯벌에 저장된 퇴적물과 여기에 서식하는 다양한 생물들의 활동에 의해서 발생하기 때문이다. 따라서 영산강 4단계 사업 지역 갯벌생태계에 저장된 에머지를 포함할 경우 에머지 평가와 경제학적 평가 사이의 차이는 더 커질 것으로 판단된다.

기능별 에머지 가치를 계산한 뒤 이를 더하여 갯벌생태계가 경제에 기여하는 총 에머지 가치를 산정하는 것은 중복계산(double counting) 문제를 내포하고 있다. Table 3에 제시한 모든 기능은 영산강 4단계 사업지역 갯벌 생태계의 네트워크를 통해 밀접하게 연결되어 있기 때문에 외부에서 들어오는 에머지가 생태계에서 일어나는 모든 과정에 사용된다. 따라서 Table 3에서 계산된 기능별 에머지 가치의 합계는 영산강 4단계 간척사업 지역 갯벌생태계의 경제기여 가치를 과대평가할 수밖에 없다. 에머지 관점에서 이 갯벌생태계의 총 에머지 기여가치는 Table 2에서 계산된 355만 EmW/ha/yr이다.

이러한 문제를 염두에 두고 기능별 에머지 가치를 모두 더하여(1,429만 EmW/ha/yr) 경제학적 평가 결과와 비교해 보면 Table 1에 제시된 한국산업경제연구원 평가(873만원/ha/yr)의 1.6배, 해양수산부 평가(741만원/ha/yr)의 1.9배에 이르렀다(Fig. 3). 이는 평가대상 갯벌생태계의 보존가치와 수산물생산가치의 차이에서 비롯된 것으로, 소비자의 지불의사에 기반을 둔 한국산업경제연구원과 해양수산부의 평가가 갯벌생태계의 기여가치를 저평가하였다.

## 6. 결 론

지금까지 생태계의 기여가치를 에너지의 관점에서 평가하고자 하는 에머지 개념을 이용하여 영산강 4단계 간척사업의 대상이었던 갯벌생태계의 가치를 평가하고, 이를 경제학적 평가결과와 비교하였다. 에머지 평가결과 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계의 연간 경제기여가치는 355만 EmW/ha/yr으로 나타났다. 갯벌생태계의 기능별로는 수산물생산가치가 986만 EmW/ha/yr, 보존가치가 355만 EmW/ha/yr, 오염정화가치가 88만 EmW/ha/yr으로 평가되었지만, 이들을 단순히 더하여 갯벌생태계의 연간 기여가치를 구하는 것은 에머지 정의상 중복계산을 유발한다. 영산강 4단계 사업지역 갯벌생태계의 기능별 가치평가를 비교한 결과 인간의 노동력뿐만 아니라 자연환경의 기여가치까지 평가하는 에머지 평가가 인간의 지불의사에 바탕을 둔 계량적인 경

계학적 가치평가보다 갯벌생태계의 기여가치를 더 높게 평가하였다.

시장경제의 가격을 핵심으로 하는 수요자의 지불의사를 이용한 기존의 경제학적 평가(receiver-based valuation)와 달리 에머지 평가는 하나의 자원을 만들기 위해 외부에서 공급된 에너지를 기준으로 자연환경이 우리 경제에 기여하는 가치를 평가하는 방법(donor-based valuation)이다<sup>11)</sup>. 이에 따라 경제학적 평가는 생태계의 기여가치를 평가할 때 평가대상 생태계의 기능별 가치를 평가하지만, 에머지 개념은 전체 시스템의 네트워크 특성을 고려하여 평가대상 생태계로 유입하는 에머지량을 이용한다. 따라서 에머지 개념을 이용하여 평가한 생태계의 경제기여가치와 경제학적 평가 결과를 직접 비교하는 것은 무리가 있다. 따라서 에머지 개념을 이용하여 생태계의 기여가치를 평가할 경우 기능별 가치 평가까지 함께 수행하여 정책결정자들이 경제학적 평가결과와 비교할 수 있도록 함으로써 에머지 평가의 정책활용성을 높일 필요가 있다.

자연환경을 지속 가능하게 이용하기 위한 정책을 수립·이행하기 위해서는 자연환경의 이용과 개발에 들어간 인간의 노동력뿐만 아니라 자연환경이 우리에게 직접 기여하는 가치까지 고려함으로써 자연환경의 기여가치를 평가할 수 있는 평가방법이 필요하다. 경제학적 가치평가의 경우에도 화폐로 바꾸기 힘든 기능들을 평가하기 위한 다양한 수단이 개발되고 있지만, 여전히 인간 중심의 지불의사를 기반으로 하고 있다. 따라서 환경과 자원의 이용·관리에 관한 정책을 결정할 때 지금까지 해온 것처럼 경제학적 방법만을 사용할 것이 아니라 에머지 개념과 같이 똑같은 사안에 대해 다른 시각을 제공할 수 있는 방법들을 동시에 사용할 필요가 있는 것으로 판단된다. 에머지 개념은 그 동안 생태계가치 평가, 개발사업의 편익-비용평가, 환경수용력 평가, 개발대안 평가, 환경계정, 환경훼손 소송관련 비용 평가 등에 적용되었다<sup>11)</sup>. 따라서 녹색계정, 자연자원의 피해평가, 소송피해액 산정, 생태계보존사업 경제성 평가 등에 이미 정책적으로 활발하게 적용되고 있는 경제학적 방법의 평가분야를 대부분 포함하고 있는 것으로 판단된다. 서로 다른 시각에서 수행된 평가결과를 종합하여 의사결정이 이루어지면 생태계의 지속가능한 이용을 실현하기 위한 적절한 정책의 선택과 이의 이행 실효성을 높일 수 있을 것으로 기대되며, 이에 따라 시화호, 동강댐, 새만금과 같은 대규모 개발계획을 둘러싼 논쟁으로 발생하는 막대한 사회적 비용의 낭비를 막을 수 있을 것이다.

### 감사의 글

본 논문을 세밀하게 검토하고 훌륭한 조언을 해주신 심사자들에게 깊은 감사를 드리고, 논문에 필요한 자료를 제공해주신 부경대학교 표희동 교수님과 한국해양수산개발원 최희정 연구원께도 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 해양수산부, 1998, 우리나라의 갯벌, 28pp.
- 2) Odum, H. T. and E. P. Odum, 2000, The energetic basis for valuation of ecosystem services, *Ecosystems*, 3, 21-23.
- 3) 환경부, 1996, 갯벌보존과 이용의 경제성평가, 113pp.
- 4) 이동근, 윤소원, 1997, 연안습지의 보전가치에 대한 경제성 평가에 관한 연구-강화도를 사례 지역으로, *산업과학연구*, 7, 141-154.
- 5) 한국산업경제연구원, 1998, 영산강 IV단계 개발사업 타당성조사, 501pp.
- 6) 신호중, 이정진, 2000, 갯벌의 경제적 가치, 새만금사업 환경영향공동조사 결과보고서, 새만금사업 환경영향 공동조사단.
- 7) 해양수산부, 2000, 해양자원의 경제적 가치추정과 해양환경보전방안 연구, 278pp.
- 8) 표희동, 유승훈, 박승준, 2001, 이중경계양자택일형의 조건부 가치측정법을 이용한 영산강 유역 갯벌의 보존가치추정, *지역연구*, 17, 37-54.
- 9) 이석모, 2001, 새만금 간척종합개발사업에 대한 환경회계, *한국해양환경공학회 2001년도 춘계학*

술대회 논문집, 1-14.

- 10) Kang, D., 2001, Emergy evaluation of the Kangwha tidal flat, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 36, 51-58.
- 11) Odum, H. T., 1996, *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*, John Wiley & Sons, New York, 370pp.
- 12) Odum, H. T., 1983, *Systems Ecology*, Wiley, New York. 644pp.
- 13) Odum, H. T., 1994, *Ecological and General Systems*, University Press of Colorado, Niwot., 644pp.
- 14) Farber, S. C., R. Costanza and M. A. Wilson, 2002, Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services, *Ecological Economics*, 41, 375-392.
- 15) 통계청, 2000, *한국통계연감*, 777pp.
- 16) 기상청, 1999, *기상연보*, 248pp.
- 17) 환경부, 1996, 갯벌보존과 이용의 경제성 평가, 113pp.
- 18) 국립해양조사원, <http://oceandata.nori.go.kr/data/gumjo.php>.
- 19) 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국수산업의 EMERGY 분석, *한국수산학회지*, 29, 689-700.
- 20) Mitsch, W. J. and J. G. Gosselink, 2000, *Wetlands*, Wiley, New York, 920pp.