



Original Article

## 순천만 갯벌 복원사업에 따른 생태경제적 가치 평가

박나애 · 이석모<sup>†</sup>  
국립부경대학교 생태공학과

# The Eco-economical Evaluation of Tidal Flat Restoration in Suncheon Bay

Naae Park and Suk Mo Lee<sup>†</sup>

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

### 요 약

갯벌의 높은 생태적 그리고 경제적 가치에 대한 인식이 보편화되면서 국내외의 갯벌 복원사업이 활발히 진행되고 있다. 특히 폐염전, 폐양식장 등에 다시 해수가 유입되도록 하는 역간척 사업이 주목받고 있으나 생태계 가치 평가의 항목과 방법의 한계로 복원사업 후에 나타나는 효과의 정량적 평가와 복원사업의 타당성을 입증하기란 어렵다. 따라서 본 연구는 효율적으로 이용된 에너지 관점에서 생태계의 가치를 평가하는 에머지 개념을 적용하여 순천만 갯벌 복원사업에 따른 생태경제적 가치의 변화를 평가하였다. 갯벌 복원사업을 통해 대상지역에서 생산되는 생태경제적 가치가 연간 약 470만 em<sup>₩</sup> 증가하며, 갯벌 동·식물을 포함한 보유자원의 생태경제적 가치가 약 63억 em<sup>₩</sup> 증가할 것으로 평가되었다. 이를 통해 순천지역의 복원된 갯벌생태계의 생산적 가치는 복원 전의 폐염전 및 폐양식장보다 약 1.38배 높고, 보유자원의 가치 또한 약 2.32배 증가한 것으로 나타났다. 아울러 본 연구는 높은 갯벌생태계의 가치를 제고하고, 갯벌 복원사업의 추진 필요성을 객관화하는 기초자료로써 활용될 것으로 기대된다.

**Abstract** – As the high ecological and economical value of tidal flat ecosystem is becoming more common, tidal flat restoration which allows seawater to flow back into abandoned salt ponds and fish farms is progressing actively. However, it is difficult to quantitatively demonstrate the changes in the value of restoration project due to the limitation of ecosystem valuation items and methods. Thus, this study used the emergy concept to estimate the changes in eco-economical value of tidal flat in Suncheon Bay, Republic of Korea. The eco-economical value of the yield was estimated to increase by 4.7 million em<sup>₩</sup>/yr with the implementation of the project. In addition, that of indigenous storage including tidal flat organism was estimated to increase by 6.3 billion em<sup>₩</sup>. These results shows that the restoration for the reclaimed land in Suncheon Bay contributes 1.38 times more as a tidal flat than leaving it as an abandoned salt pond or fish farm, along with 2.32 times increase in the value of natural storage. Also, this study could be used as the basic data for improvement of the value of tidal flat ecosystem and determination of the necessity of tidal flat restoration.

**Keywords:** Suncheon Bay(순천만), Tidal Flat Restoration(갯벌복원), Eco-economical Value(생태경제적 가치), Emergy(에머지)

### 1. 서 론

갯벌의 생태·경제적 가치에 대한 인식이 보편화되면서 갯벌의 이용과 보전의 균형을 위한 국내외의 갯벌 복원사업이 활발히 진행되고 있다(MOF[2003]). 미국, 캐나다, 영국, 호주를 비롯한 선진국에서는 습지의 총량과 총기능을 유지시키기 위한 습지총량제(no

net loss of wetlands policy)를 시행하고 있다(Bang et al.[2011]). 이를 반영하여 2002년 ‘지속가능발전 세계정상회의(world summit on sustainable development)’와 ‘세계자연보전연맹 세계공원총회(IUCN world parks congress)’에서는 공통적으로 자연자원의 이용 및 개발 시에 ‘생태계 가치의 보호(protection of ecological integrity)’를 우선적으로 고려해야 한다고 하였다(Nam[2004]).

앞선 정책적 배경에 근거하여 폐염전, 폐양식장 등의 간척지를 예전의 갯벌로 복원하거나 환경이 악화된 갯벌을 복원하기 위한 사

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

업이 전 세계적으로 진행되고 있다. 이는 주로 여러 개의 수로를 만들고 제방을 허물어 다시 해수순환이 일어날 수 있도록 하는 역간척 방식으로 이루어진다. 이러한 조수 수문학적(tidal hydrology) 복원사업은 갯벌의 주요 특징인 주기적인 해수유동을 개선시키고 충분한 시간의 경과 후에 그 환경이 예전 갯벌 상태와 유사해짐에 중요한 기초를 둔다. 해외사례의 경우 미국 San Francisco Bay에서 폐염전(360ha)에 대한 갯벌 복원사업이 추진되었으며(Williams and Faber[2001]), 그 외 독일 Langeoog, 프랑스 Marrenes Clare, 네덜란드 Waterdunen에서 추진되었다. 우리나라의 경우 2010년부터 2013년까지 고창지역 폐양식장(96 ha)에 국내 첫 역간척 사업이 추진되었으며, 최근 2016년부터 순천지역 폐염전(78 ha)에 역간척 사업이 진행 중에 있다.

이와 같은 갯벌 복원사업이 국내에 활발히 도입되고 있는 추세이나 생태계 가치 평가의 항목과 방법의 한계로 복원사업 후에 나타나는 효과의 정량적 평가와 복원사업의 타당성을 입증하기란 어렵다(MOF[2016]). 이로 인해 갯벌 복원사업이 적극적으로 추진되지 못하고 규모나 예산적인 부분에 있어 여전히 한정적으로 진행되는 문제가 있다. 따라서 갯벌 복원사업의 중요성을 객관화하고 적극적인 추진을 위해서는 갯벌생태계가 우리 경제에 기여하는 가치를 제고하고, 복원사업 후에 나타나는 변화에 대해 평가하는 것이 필요하다.

한편 국내에서 갯벌 복원사업이 활발해지면서 갯벌의 간척과 보전에 따른 경제적 득실을 평가하기 위한 몇몇 연구가 진행되었다(Lee[1996]; Choi[1998]; Jang[1998]). 이러한 선행연구들은 갯벌 및 자연환경으로부터 인간이 직접적으로 얻는 편익들을 평가항목으로 고려하고 화폐단위를 통해 가치를 평가하였다. 자연환경의 가치를 경제적 관점에서 평가하게 되면 시간, 장소, 평가자에 따라 그 가치가 동일하지 않거나 변화하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 극복하고 자연환경의 본질적인 가치를 평가하기 위해서는 대상의 경제적인 가치뿐만 아니라 자연의 일 같이 인간이 인식하지 못하는 생태적인 가치를 포함한 평가가 필요하다. 이를 위한 대안으로 미국의 시스템생태학자인 Howard T. Odum이 제안한 에머지 방법론을 적용하면 생태계 구축을 위해 투입된 에너지의 양을 이용하여 기존 경제적 가치평가법의 한계인 소비자 중심의 경제적 가치가 아닌 생태계의 공급자 중심의 생태경제적 가치 평가가 가능하다. 에머지 평가법을 생태복원사업에 적용한 사례로 Martin[2002]은 Mississippi River Delta내 하천 유역변경사업의 순이익을 결정하기 위해 에머지 평가법을 이용하여 삼각주내 자연자원의 가치를 정량화하고 경제적 자원의 투자로 생성되는 이익을 평가하였다. 결과적으로 순이익은 공사 및 운영비용과 하천전환에 따른 잠재적 이익의 비교로 결정하고, 사업결과 생성되는 습지의 비율에 따라 다양하게 나타났다.

이러한 필요성에 따라 본 연구에서는 효율적으로 이용된 에너지 관점에서 생태계의 가치를 평가하는 에머지 방법론을 적용하여 순천만 갯벌 복원사업에 따른 생태경제적 가치의 변화를 평가하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 대상시스템

본 연구의 대상시스템은 2016년부터 2020년까지 폐염전 및 폐양식장 등을 갯벌로 전환하기 위한 복원사업을 시행하는 순천시 별량면 장산, 해룡면 노월지구 일원(78 ha)으로 선정하였다(Fig. 1).

본 연구는 갯벌 복원사업에 따른 에머지 평가에 앞서 복원 전후의 대상시스템 환경을 다음과 같이 고려하였다. 복원 전 대상지는 제방 및 수문에 의해 자연적인 조석활동이 제한되었다. 대상지의 특성을 파악하기 위해 2016년 기준으로 시기별 항공사진과 현장조사 결과를 종합하여 복원 전 대상지의 염생식물 공간분포도를 작성하고(Fig. 2), 순천만 생태복원 대상지 모니터링 최종보고서(KOEM[2015])와 현장조사 결과를 참고하여 퇴적상 분포도를 작성하였다(Fig. 3). 복원 전 대상지에서는 육지화가 진행 중인 폐염전이 곳곳에 나타났고, 바닷물이 빠진 지역과 제방 및 수로에서 염생식물과 갈대가 분포하였다. 퇴적상은 주로 펄(mud)형태로 나타났고 그러한 지역에서는

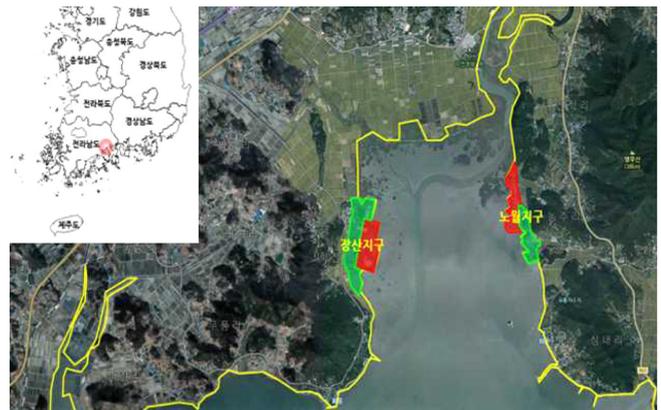


Fig. 1. System boundary for the eco-economical evaluation of tidal flat restoration in Suncheon Bay (Suncheon City[2015]).



Fig. 2. Spatial distribution of halophytes in the system boundary before restoration.

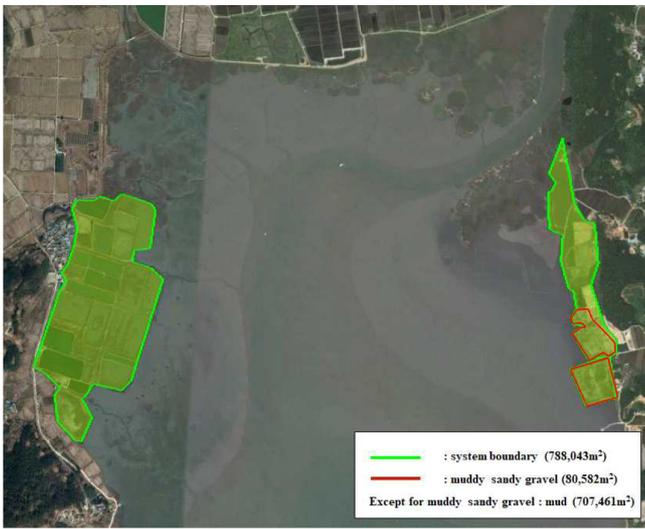


Fig. 3. Spatial distribution of sediments in the system boundary before restoration.

일부 저서동물과 법정보호종인 대추귀고둥이 서식하였다(Suncheon City[2014]). 특히 노월지구 하부지역은 펄과 모래가 섞인 자갈의 피복형태를 보였다. 이와 같은 분포특성에 따라 계산된 면적들은 에머지 평가시 기초자료로 사용되었다. 대상시스템에서의 역간적 사업은 제방을 허물고 폐염전의 수문을 상시 개방하여 해수순환을 개선시키는 방식으로 진행된다. 따라서 복원 후 대상지의 환경은 조석활동의 복원 결과로서 갈대 군락의 분포와 저서동물 및 퇴적층 유기물질량이 인근 훼손되지 않은 갯벌의 수준으로 증가하는 것으로 가정하였다.

### 2.2 생태경제적 가치

비시장재인 자연환경, 생태계, 생물군에 대하여 경제학적 관점에서 평가하는 것은 화폐단위의 가치로 표현하는 것이 어려울 뿐만 아니라 인간 중심에서 일부분의 가치만을 고려하는 한계를 가진다(Choi[2010]). 생태경제적 가치는 사용자의 욕구나 기대되는 혜택에 따라 대상의 가치가 결정되는 소비자 중심의 가치(receiver value)와 대상의 생산과정에 투입된 자원이나 용역에 의해 결정되는 공급자 중심의 가치(donor value)로 구분된다. 여기서 자연자원이 우리 경제에 기여하는 가치를 실질적으로 평가하고자 한다면 대상의 직접적인 가치뿐만 아니라 직접적인 가치를 포함한 공급자 중심의 가치를 평가하여야 한다. 공급자 중심의 가치를 평가하기 위한 한 방법으로 에머지 평가법을 이용하면 생산과정에 소요된 모든 에너지량으로 대상의 생태경제적 가치를 결정할 수 있다(Odum[1996]).

### 2.3 에머지 개념

미국의 시스템생태학자인 Howard T. Odum이 제안한 에머지는 “한

가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지”를 의미한다(Odum[1983], [1994], [1996]). 즉 에머지 개념에서 가지는 현재 대상이 가지는 에너지가 아닌 대상이 생성되기까지 소모되었던 모든 에너지(used energy)를 말한다(Kang[2013]). 따라서 에머지 개념을 자원의 가치 평가에 적용함으로써 자원의 개발과 거래에 투입된 인간의 노동력 뿐만 아니라 대상자원이 만들어지는 과정에서 자연환경이 기여한 부분까지 동일한 기준에서 비교 가능하다.

또한 지구상의 에너지는 그 순환 과정에서 다량의 저급 에너지로부터 소량의 고급 에너지로 전환되는 계층적 구조를 가지며, 에너지 단위로 나타낸 에너지량이 같더라도 에너지의 형태가 다른 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다(Odum[1996]). 따라서 에머지 개념에서는 서로 다른 종류의 에너지를 비교하기 위해 자원의 종류마다 일을 할 수 있는 능력의 차이를 나타내는 인자인 에너지 변환도(transformity)를 사용하여 ‘한 가지 종류의 에너지’로 변환하는 과정을 수행한다. 태양에너지가 현재 에머지 방법론의 기준 에너지이므로 태양에너지변환도(solar transformity)라 부르고, 단위는 sej/J를 사용한다.

결론적으로 평가대상의 에머지량은 식 (1)과 같이 측정된 에너지량에 적합한 에너지변환도를 곱하여 계산하며, 단위는 emjoule을 사용한다. 이때, 태양에너지를 기준으로 한 에머지를 태양에머지(solar energy)라 부르고, 단위는 solar emjoules(sej)을 사용한다.

$$\text{Emergy (sej)} = \text{Energy (unit)} \times \text{Transformity (sej / unit)} \quad (1)$$

### 2.4 에머지 평가법

#### 2.4.1 에너지 시스템 다이어그램 작성

특정 현상을 이해하기 위해서는 대상시스템의 구조와 현상이 일어나기까지 상위시스템으로부터 조절되는 방법을 이해하는 것이 필요하다(Odum[1996]). 따라서 에머지 평가의 첫 단계로 평가대상 시스템의 총괄적 정보를 파악하기 위한 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다. 이때, 시스템을 구성하고 있는 각종 요소, 시스템에서 일어나는 각종 과정들은 에너지 시스템 언어(energy system language)를 이용하여 시각적으로 작성한다(Odum[1983], [1994]).

#### 2.4.2 에머지 평가표 작성

에너지 시스템 다이어그램에서 파악된 시스템 구성요소들을 동일한 척도로 정량화하기 위하여 총 6열로 구성되는 에머지 평가표를 작성한다(Table 1). 에머지 평가표는 평가항목의 행 번호, 명칭, 에너지량, 물질량, 화폐량 등의 기초자료, 태양에너지변환도, 태양에머지량, 에머지화폐가치 순으로 작성한다(Odum[1996]).

본 연구에서는 시스템 외부로부터 유입되는 에너지 흐름과 보유

Table 1. Typical format for an emergy evaluation table

Note	Item	Data	Solar transformity	Solar energy	Emvalue
1		(J/yr,g/yr,\$/yr,W/yr,etc)	(sej/J,sej/g,sej/\$,sej/W,etc)	Raw data×Transformity (sej/yr)	Solar energy/Emergy-money ratio(em\$/yr,emW/yr,etc)

자원으로 항목을 나누어 에너지 평가표를 작성하였다. 에너지 흐름을 평가하기 위한 항목은 태양, 지열, 조석, 바람, 파도, 강수에너지를 평가대상 시스템의 특성에 따라 선정하고, 에너지 계산에 필요한 기초자료는 주로 기상연보와 환경영향평가서, 지자체 발표자료 등을 참고하였다. 이들의 에너지량 계산식은 Odum[1996]과 Brown and Ulgati[2016]를 참고하였다. 보유자원을 평가하기 위한 항목은 염생식물, 저서동물, 퇴적물 내 유기물로 선정하고, 에너지 계산에 필요한 기초자료는 대상지역별 생체량 그리고 생물종별 생체량당 열량 관련 문헌자료를 참고하였다. 이들의 에너지량은 Odum[1996]에 따라 생물종별 생체량과 생체량당 열량을 곱하여 계산하였다. 각 평가항목별 에너지변환도는 관련 문헌자료를 참고하였으며, 에너지변환도 계산의 기준이 되는 지구 전체의 재생가능 에너지 유입량(emergy baseline)은  $12.00E+24$  sej/yr를 기준으로 하였다(Brown and Ulgati[2016]). 에너지량으로부터 에너지화폐가치(emvalue)를 구하기 위해 Kang[2015]의 연구에서  $15.83E+24$  sej/yr를 emergy baseline으로 하여 계산한 2011년 기준 에너지화폐비율(emergy-money ratio)( $4.36E+09$  sej/₩)을  $12.00E+24$  sej/yr를 기준으로 환산한 값인  $3.29E+09$  sej/₩를 사용하였다. 최종적으로 평가대상 시스템의 총 유입 에너지량 계산 시에는 지구의 기여도를 중복계산(double counting)하지 않도록 주의하여야 한다(Odum[1996]). 이를 위해 지구생태계를 유지하는 세 가지 기본 에너지인 태양, 지열, 조석의 에너지량 합계와 이들로부터 파생하는 2차, 3차 재생가능 에너지 유입량을 비교하여 큰 값을 총량으로 계산하였다(Brown and Ulgati[2016]). 여기서 2차, 3차 재생가능 에너지의 경우 에너지 유입량이 가장 큰 항목의 에너지량을 총량으로 한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 순천만 갯벌복원 전 에너지 평가

본 연구의 대상시스템은 과거에 염전 및 양식장으로 이용하기 위한 목적으로 제방을 건설하였으며, 그로 인해 자연적인 해수유입이 차단되어 갯벌로서의 형태와 기능을 손실하였다. 뿐만 아니라 간척과 매립사업으로 인해 염생식물과 저서생물의 일부가 소실되었다. 이와 같은 갯벌복원 전의 폐염전에 대한 개요를 바탕으로 에너지 평가를 실시하기 위해 장산 및 노월지역에 유입되는 에너지 자원과 주요 구성요소를 파악하고 Fig. 4와 같은 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다.

제방건설과 간척사업 이후 대상지에 조석 및 파도에너지가 유입되지 않음을 고려하여 태양, 지열, 바람, 그리고 강수에너지를 시스템외에서 유입하는 자연환경 에너지원으로 고려하였다. Suncheon City[2014]는 순천만으로 유입하는 하천에는 동천이 있으나 하천 유입 직후 지점은 염분농도와 전기전도도가 낮아지는 반면, 하구에서 멀리 떨어진 지점들과 비교하여 본 연구의 대상지역내에 위치한 지점은 염분농도 및 전기전도도의 차이가 없음을 보고하였다. 이에 따라 하천유입으로 인한 담수의 영향은 유입에너지 항목으로 고려하지 않았다.

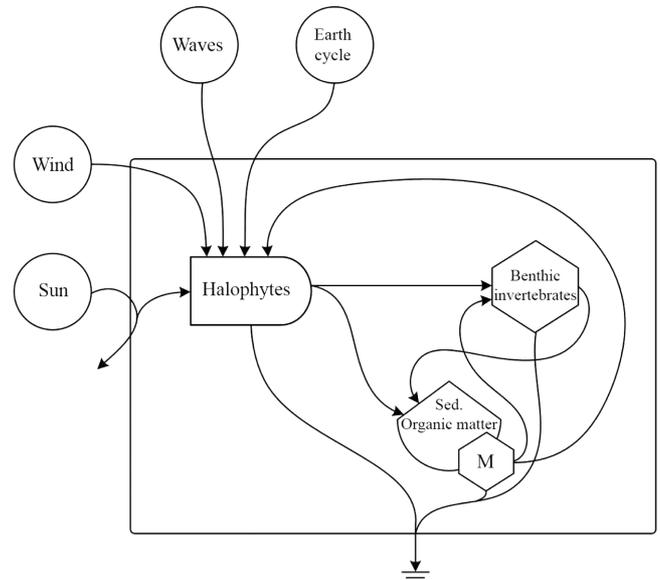


Fig. 4. Energy systems diagram for the abandoned salt pond in Suncheon Bay before the restoration project.

시스템 내부요소 항목으로는 제방과 폐염전의 수로를 따라 분포하는 염생식물과 필형태의 지역에서 일부 서식하는 저서동물, 표층 퇴적물의 유기물질을 포함하였다. Odum[1996]에 따르면 에너지 개념에서 보유자원은 생애주기 또는 대체주기가 1년 이상인 항목만을 고려하므로 본 연구는 염생식물 중에서 비과에 속하며 다년생으로 알려진 갈대를 중점적으로 평가하였다(Kim[2013]). 희귀종으로서 대추귀고둥은 서해안과 남해안 일대의 조간대 상부를 따라 분포하였으나 갯벌매립에 따라 개체수가 많이 감소하여왔다(Lim et al.[2015]). 본 연구 대상지에서 매립 이전과 현재의 대추귀고둥의 개체수가 조사되지 않아 향후 복원사업의 진행이 대추귀고둥 개체군에 미치는 부정적 영향을 판단하기 어렵다. 하지만 조간대를 따라 분포하는 대추귀고둥의 서식환경 특성과 갯벌의 면적을 증가시키고자 하는 복원사업의 성격을 고려하면 복원사업의 진행됨에 따라 내만으로의 서식지 이동이 이루어질 것으로 판단되어 평가항목에서 제외하였다. 또한 산업구조의 변화로 인해 오랜 기간 방치된 폐염전은 더 이상의 경제적 편익을 창출하지 않고 있었으며, 유지 및 관리의 부재로 인해 오히려 오염원으로 작용하는 문제가 있었다(MLTMA[2009]).

Fig. 4의 에너지 시스템 다이어그램을 바탕으로 복원 전의 폐염전이 우리 경제에 기여하는 가치를 평가하기 위한 에너지 평가표를 작성하였다(Table 2). 각 유입에너지별로 살펴보면 강수의 화학에너지가 가장 많은  $4.04E+16$  sej/yr의 에너지를 공급하였으며, 태양에너지( $3.11E+15$  sej/yr)와 바람에너지( $1.39E+15$  sej/yr) 순으로 에너지 기여도가 높았다. 에너지량으로는 태양에너지가 대상 시스템에 가장 많은 기여를 하였지만, 에너지변환도를 곱한 에너지 기여도 측면에서는 강수의 화학에너지 다음으로 높았다. 일 년 동안 순천지역 폐염전으로 유입된 총 에너지량은  $4.04E+16$  sej/yr이며, 이는 Brown and Ulgati[2016]가 제시한 방법에 따라 중복계산

**Table 2.** Energy evaluation for the abandoned salt pond in Suncheon Bay before the restoration project

① Flows

Note	Item	Data	Units	Solar transformity (sej/J)	Solar energy (sej/yr)	Emvalue (em <sup>W</sup> /yr)
Global tripartite						
1	Sunlight	3.11E+15	J/yr	1 <sup>a)</sup>	3.11E+15	9.45E+05
2	Earth cycle, heat flow	1.11E+11	J/yr	4900 <sup>a)</sup>	5.44E+14	1.65E+05
3	Tide, kinetic energy	0	J/yr	30,900 <sup>a)</sup>	0	0
Sum of tripartite					3.65E+15	1.11E+06
Secondary and tertiary sources						
4	Wind, kinetic energy	1.74E+12	J/yr	800 <sup>b)</sup>	1.39E+15	4.23E+05
5	Rain, chemical potential	5.77E+12	J/yr	7000 <sup>b)</sup>	4.04E+16	1.23E+07
Largest of 2nd and 3rd sources					4.04E+16	1.23E+07
Total					4.04E+16	1.23E+07

② Storages

Note	Item	Data	Units	Solar transformity (sej/J)	Solar energy (sej)	Emvalue (em <sup>W</sup> )
6	Halophytes	1.37E+15	J	10,400 <sup>c)</sup>	1.42E+19	4.33E+09
7	Benthic invertebrates	1.08E+13	J	144,000 <sup>d)</sup>	1.56E+18	4.74E+08
8	Organic matter	2.81E+07	J	53,400 <sup>e)</sup>	1.50E+12	4.56E+02
Total					1.58E+19	4.80E+09

Transformity has been adjusted for GEB of 12.00E+24 sej/yr

Transformity source: a) Brown et al.[2016]; b) Brown and Ulgiati[2016]; c) Lu et al.[2007]; d) Choi[2010]; e) Cohen et al.[2005]

Energy-money ratio has been adjusted to 3.29E+09 sej/₩ based on GEB of 12.00E+24 sej/yr

Energy-money ratio source: Kang[2015]

을 피하기 위하여 재생가능 에너지 항목 가운데 가장 큰 강수 에너지량을 총량으로 하였다. 따라서 복원사업 전의 순천지역 폐염전으로 유입되는 에너지의 가치는 1,230만 em<sup>W</sup>/yr이었으며, 이는 폐염전의 연간 생태계 서비스 제공량으로 볼 수 있다. 또한 폐염전이 보유하고 있는 자원에 대해서도 생태경제적 가치를 평가하면 48억 em<sup>W</sup>이며, 에너지 단위로는 1.58E+19 sej이었다.

**3.2 순천만 갯벌복원 후 에너지 평가**

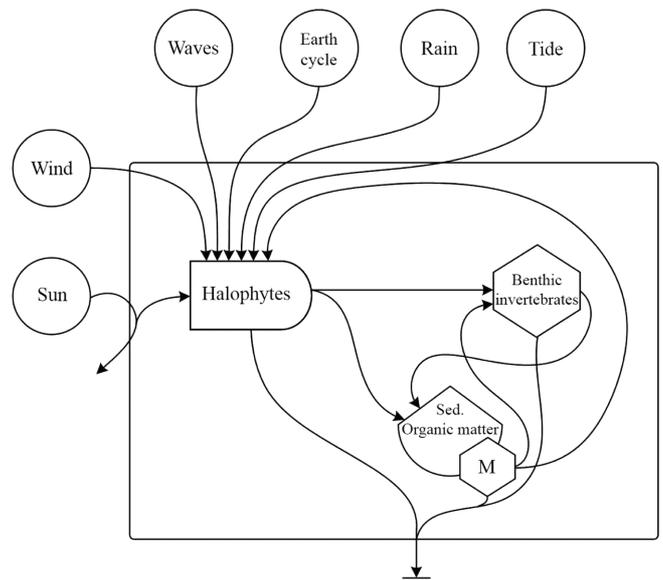
대상시스템에서의 복원사업은 제방을 허물고 폐염전의 수문을 상시 개방하여 해수순환을 개선시키는 방식을 활용한 역간척 사업이다. 결과적으로 주기적으로 해수가 유입되는 갯벌의 특징과 기능을 되살리고, 다양하고 풍부한 갯벌의 해양생물이 서식할 수 있는 환경으로 변화하며, 주변 갯벌과 같이 갈대 등이 군락을 형성하여 고르고 넓게 분포하게 된다. 이와 같은 갯벌복원 후에 예상되는 생태계의 변화를 바탕으로 에너지 평가를 실시하기 위해 복원사업지역에 유입되는 에너지 자원과 보유자원을 파악하고 Fig. 5와 같은 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다.

복원 전과 비교하여 자연적인 해수순환이 개선됨에 따라 대상지에 조석 및 파도에너지가 유입되므로 이를 포함하고, 태양, 지열, 바람, 그리고 강수 에너지를 시스템외부에서 유입하는 에너지원으로 고려하였다.

갯벌생태계의 보유자원을 평가하기 위한 항목에는 복원 후 갯벌을 서식지로 하는 염생식물과 저서동물, 필형태로 이루어진 퇴적층의 유기물질을 포함하였다. 에너지 개념을 설명한 Odum[1996]에 따르면 보유자원은 생애주기 또는 대체주기가 1년 이상인 항목을

말하므로 본 연구는 갯벌생태계의 일차생산자인 미생물 및 플랑크톤류는 평가항목에서 제외하였다. 또한 갯벌생태계의 한 가지 특징으로 철새의 경우 겨울철에 집중적으로 분포하여 계절적 분포가 뚜렷하고 넓은 범위를 이동하는 생물종이기 때문에 조류 또한 평가항목에서 제외하였다.

Fig. 5의 에너지 시스템 다이어그램을 바탕으로 복원된 갯벌생태계의 구성요소들을 정량화하고, 사업시행 후의 생태경제적 가치를



**Fig. 5.** Energy systems diagram for the tidal flat ecosystem in Suncheon Bay after the restoration project.

**Table 3.** Energy evaluation for the tidal flat in Suncheon Bay after the restoration project

## ① Flows

Note	Item	Data	Units	Solar transformity (sej/J)	Solar energy (sej/yr)	Emvalue (emW/yr)
Global tripartite						
1	Sunlight	3.05E+15	J/yr	1 <sup>a)</sup>	3.05E+15	9.28E+05
2	Earth cycle, heat flow	1.11E+11	J/yr	4900 <sup>a)</sup>	5.44E+14	1.65E+05
3	Tide, kinetic energy	1.69E+12	J/yr	30,900 <sup>a)</sup>	5.22E+16	1.59E+07
	Sum of tripartite				5.58E+16	1.70E+07
Secondary and tertiary sources						
4	Wind, kinetic energy	1.74E+12	J/yr	800 <sup>b)</sup>	1.39E+15	4.23E+05
5	Waves, kinetic energy	9.89E+04	J/yr	4200 <sup>b)</sup>	4.16E+08	1.26E-01
6	Rain, chemical potential	5.77E+12	J/yr	7000 <sup>b)</sup>	4.04E+16	1.23E+07
	Largest of 2nd and 3rd sources				4.04E+16	1.23E+07
	Total				5.58E+16	1.70E+07

## ② Storages

Note	Item	Data	Units	Solar transformity (sej/J)	Solar energy (sej)	Emvalue (emW)
7	Halophytes	2.83E+15	J	10,400 <sup>c)</sup>	2.94E+19	8.93E+09
8	Benthic invertebrates	5.02E+13	J	144,000 <sup>d)</sup>	7.23E+18	2.20E+09
9	Organic matter	2.87E+07	J	53,400 <sup>e)</sup>	1.53E+12	4.66E+02
	Total				3.66E+19	1.11E+10

Transformity has been adjusted for GEB of 12.00E+24 sej/yr

Transformity source: a) Brown et al.[2016]; b) Brown and Ulgiati[2016]; c) Lu et al.[2007]; d) Choi[2010]; e) Cohen et al.[2005]

Energy-money ratio has been adjusted to 3.29E+09 sej/W based on GEB of 12.00E+24 sej/yr

Energy-money ratio source: Kang[2015]

평가하기 위한 에머지 평가표를 작성하였다(Table 3). 각 유입에너지별로 살펴보았을 때 조석에너지가 가장 많은 5.22E+16 sej/yr의 에머지를 공급하였으며, 강수의 화학에너지(4.04E+16 sej/yr)와 태양에너지(3.05E+15 sej/yr) 순으로 에머지 기여도가 높았다. 일 년 동안 순천만 갯벌생태계로 유입된 총 에머지량은 5.58E+16 sej/yr로 갯벌복원 후 장산 및 노월지역의 갯벌이 제공하는 생태경제적 가치는 1,700만 emW/yr이었다. 이는 Brown and Ulgiati[2016]가 제시한 방법에 따라 중복계산을 피하기 위하여 재생가능 에머지 항목 가운데 태양, 지열, 그리고 조석에너지량을 더하여 계산하였다. 총 유입 에머지량에서 조석에너지가 차지하는 비율은 93.6% (5.22E+16 sej/yr)로 주기적으로 해수에 의한 침수가 일어나도록 하는 조수 수문학적 복원사업의 결과를 정량적 수치로 잘 보여준다. 또한 복원사업 후 갯벌생태계의 보유자원에 대한 생태경제적 가치는 111억 emW이며, 이는 에머지 단위로 3.66E+19 sej이었다.

### 3.3 갯벌 복원사업 전후 생태경제적 가치 비교

순천만 갯벌 복원사업 전후의 에머지 평가 결과를 비교하여 본 복원사업에 따른 생태경제적 가치의 변화를 평가하였다. 연구결과, 복원 후의 대상시스템으로 유입되는 에머지량이 증가하였으며, 보유자원의 생태경제적 가치 또한 증가함을 알 수 있었다.

복원 전의 대상지에 유입되는 에너지 자원으로 평가한 대상지역의 생태계 서비스 제공 가치는 연간 1,230만 emW으로 나타났고, 복원 후에는 연간 1,700만 emW으로 나타났다. 이는 복원사업을 통해 조석 순환작용이 개선됨에 따라 증가하는 생태경제적 가치가 연

간 약 470만 emW임을 알 수 있었다. 따라서 장산, 노월지역의 폐염전 및 폐양식장을 갯벌로 복원하였을 때 약 1.38배 높은 에너지 자원이 유입되고, 그 결과로 복원 후의 대상시스템이 제공하는 생태계 서비스의 가치가 약 1.38배 높아짐을 알 수 있었다. 복원 전의 대상지가 보유하는 자원의 가치는 48억 emW이고, 복원 후에는 111억 emW으로 나타났다. 이는 복원된 갯벌생태계가 폐염전보다 약 63억 emW 더 많은 자원을 보유하고, 약 2.32배 높은 가치를 지니는 것을 나타낸다.

이러한 연구결과는 갯벌 복원사업의 시행으로 증가하는 에너지원과 자원의 가치 변동을 정량적으로 파악하고 비교할 수 있으며, 장산 및 노월지역을 간척지로 두는 것보다 갯벌로 복원하는 것이 생태경제적 기여도면에서 우위에 있음을 나타낸다.

## 4. 결 론

갯벌의 높은 생태적 그리고 경제적 가치에 대한 인식이 보편화되면서 국내외의 갯벌 복원사업이 활발히 진행되고 있으나 생태계 가치 평가의 항목과 방법의 한계로 복원사업 후에 나타나는 효과의 정량적 평가와 복원사업의 타당성을 입증하기란 어렵다. 이러한 필요성에 따라 본 연구에서는 에머지 방법론을 적용하여 순천만 갯벌 복원사업에 따른 생태경제적 가치의 변화를 평가하였다.

순천시 별량면 장산, 해룡면 노월지구 일원에서 역간척을 통한 갯벌 복원사업이 추진될 경우 대상지역의 생산성에 대한 생태경제적 가치는 연간 약 470만 emW이 증가하는 것으로 나타났다. 이는

유입되는 에너지가 증가하는 만큼 최종산물의 가치가 증가하는 이론에 근거하여 조석순환의 복원을 통한 에너지 유입량의 증가에 따른 결과이다. 즉 복원 전의 폐염전 및 폐양식장보다 복원된 갯벌생태계가 기여하는 가치가 약 1.38배 높은 것을 의미한다. 뿐만 아니라 갯벌 생태계가 복원될 경우 해수순환의 결과로 증가하는 갯벌 동·식물을 포함하는 보유자원의 가치는 약 63억 emW으로 폐염전보다 약 2.32배 높은 가치를 창출하는 것으로 나타났다.

이러한 본 연구의 결과는 순천지역의 간척지를 갯벌로 복원하는 것이 폐염전 및 폐양식장으로 방치하는 것보다 생태경제적 기여도가 높음을 나타낸다. 이를 통해 역간척 사업을 통한 갯벌 복원의 중요성을 객관화하고 갯벌생태계의 가치를 보전 및 복원하기 위한 사업의 추진 필요성을 뒷받침하는 자료를 제공하였다. 그리고 기존 경제적 가치평가법의 취약점인 가치평가자의 개인 선호도나 가치관 등의 편견을 배제한 객관적인 생태계 가치 평가의 방법으로서 에머지 평가법을 제시하고, 이를 이용하여 복원사업에 따른 가치변동을 평가하는 시도를 보였다.

갯벌 환경은 일차적으로 퇴적물에 따라 결정되지만 염분, 표면 노출 시간, 조위, 식생 등도 중요한 요소로 작용하기 때문에 같은 지역의 갯벌에서도 해안선과 거리, 퇴적물의 종류에 따라 서식하는 갯벌 생물은 달라진다. 이를 고려하기 위하여 본 연구는 2014년부터 2016년까지 순천만 관련 발간 자료 및 현장조사 결과로부터 복원사업 대상지의 환경과 가장 일치하는 기초자료를 사용하였으나, 복원사업의 타당성 평가를 위해 표준화된 자료가 없는 한계가 있었다. 따라서 향후 대상지역의 간척 및 개발사업 또는 복원사업의 전·중·후 모니터링을 수행하여 식생 및 저서생물의 분포양상과 그에 따른 퇴적층의 유기물 함량에 대한 자료 등을 바탕으로 복원사업 대상지 환경의 평가 자료를 표준화 할 필요가 있다. 한편 보호대상해양생물종인 대추귀고둥의 보전측면에 있어서 특정 사업에 따른 개체수 변동에 대한 조사와 그에 대한 가치 평가가 필수적일 것이다. 또한 갯벌복원 후 가치평가의 경우, 본 연구가 고려한 평가 항목 외에 해수유동에 의한 생물의 유출·입 등을 고려하면 더욱 높은 가치가 산출될 것으로 판단된다.

## References

- [1] Bang, S.W., Yoon, I.J. and Shin, K.E., 2011, Analysis of U.S. mitigation banking system and its implications for wetland conservation management in Korea, *J. Korea Environ. Pol. Admin. Soc.*, 19(1), 1-21.
- [2] Brown, M.T., Campbell, D.E., Vilbiss, C.D. and Ulgiati, S., 2016, The geobiosphere emergy baseline: A synthesis, *Ecol. Model.*, 339(10), 92-95.
- [3] Brown, M.T. and Ulgiati, S., 2016, Emergy assessment of global renewable sources, *Ecol. Model.*, 339(10), 148-156.
- [4] Choi, J.C., 1998, Comparison of the value of tidal flat and farmland in Korea-Focusing on the Yeongsan River project stage IV, Discussion paper of public hearing on feasibility of Yeongsan River project stage IV.
- [5] Choi, M.B. 2010, Ecological economic value of global organisms, Ph.D. dissertation, Dept. Ecol. Eng., Pukyong Natl. Univ., Busan, Korea.
- [6] Cohen, M., Bardi, E., Brown, M.T. and Ingwersen, W., 2005, Emergy, transformity and network analysis of Everglades ecosystems, in proc. of 3rd Biennial Emergy Research Conference, Gainesville, FL, USA, 75-92.
- [7] Davies, J.H., 2013, Global map of solid Earth surface heat flow, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 14(10), 4608-4622.
- [8] Garratt, J.R., 1992, The atmospheric boundary layer, Cambridge University Press, Cambridge.
- [9] Gravalos, I., Xyradakis, P., Kateris, D., Gialamas, T., Bartzialis, D. and Giannoulis, K., 2016, An experimental determination of gross calorific value of different agroforestry species and bio-based industry residues, *Nat. Resour.*, 7(1), 57-68.
- [10] Jang, S.H., 1998, A study on the economic cost for ecosystem service of tidal flat and estuary in the cost-benefit analysis of reclamation project (Case study of Saemangeum reclamation project), M.S. thesis, Dept. Environ. Plan., Seoul Natl. Univ., Seoul, Korea.
- [11] Kang, D., 2013, Emergy-based value of the contributions of the Yeongsan River estuary ecosystem to the Korean economy, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 18(1), 13-20.
- [12] Kang, D., 2015, Emergy evaluation of the Korean economy and environment: Implications for the valuation of marine ecosystem services, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 18(2), 102-115.
- [13] Kim, E.K., 2013, Halophytes of Korea, Econature, Seoul.
- [14] Kim, H.J., Kim, D.S., Yoon, I.H., Lee, D.I. and Kwon, B.H., 2007a, Net radiation and soil heat fluxes measured on coastal wetland covered with reeds, *J. Korean Environ. Sci. Soc.*, 16(2), 233-239.
- [15] Kim, T.W., Cho, Y.K. and Dever, E.P., 2007b, An evaluation of the thermal properties and albedo of a macrotidal flat, *J. Geophys. Res.*, 112, C12009.
- [16] KMA (Korea Meteorological Administration), 1992~2016, Annual climatological report.
- [17] KOEM (Korea Marine Environment Management Corporation), 2015, Monitoring ecological restoration site of Suncheon Bay.
- [18] KORDI (Korea Ocean Research and Development Institute), 1996, Economic evaluation of conservation and utilization of tidal flat.
- [19] Korea Meteorological Administration, Marine weather data, [http://www.kma.go.kr/mini/marine/marine\\_integrate.jsp](http://www.kma.go.kr/mini/marine/marine_integrate.jsp), 2016 (accessed 2016.11.25).
- [20] Lim, S.Y., Lee, C.S., Kim, M.S. and Yoo, S.H., 2015, The conservation value of endangered marine species: The case of the *Ellobium Chinense*, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 21(6), 645-654.
- [21] Lu, H., Campbell, D., Chen, J., Qin, P. and Ren, H., 2007, Conservation and economic viability of nature reserves: An emergy

- evaluation of the Yancheng biosphere reserve, *Biol. Conservat.*, 139(3-4), 415-438.
- [22] Manwell, J.F., McGowan, J.G. and Rogers, A.L., 2010, *Wind energy explained: Theory, design and application*, second ad., John Wiley & Sons, New York.
- [23] Martin, J.F., 2002, Energy valuation of diversions of river water to marshes in the Mississippi River Delta, *Ecol. Eng.*, 18, 265-286.
- [24] MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs), 2009, Plan of tidal flat restoration.
- [25] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2003, The relative comparison and investigation for value of tidal flat in Korea.
- [26] MOF (Ministry of Oceans and Fisheries), 2016, The restoration of tidal flat in Korea changes this way.
- [27] Nam, J., 2004, The introduction necessity and guideline of the total amount management system for natural coast and habitat, Korea Maritime Institute, 239, 68-86.
- [28] Odum, H.T., 1983, *Systems ecology*, John Wiley & Sons, New York.
- [29] Odum, H.T., 1994, Ecological economics, in: Odum, H.T., *The encyclopedia of the environment*, Houghton Mifflin, New York, 159-161.
- [30] Odum, H.T., 1996, *Environmental accounting: Energy and environmental decision making*, John Wiley & Sons, New York.
- [31] Ricciardi, A. and Bourget, E., 1998, Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 163, 245-251.
- [32] SIMetric, Density of bulk materials, [http://www.simetric.co.uk/si\\_materials.htm](http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm), 2017 (accessed 2017.03.14.)
- [33] Suncheon City, 2014, Ecological environment survey in Suncheon Bay and effective conservation plan.
- [34] Suncheon City, 2015, Acquisition plan of a common property in 2016 [Purchase of land for restoration of Suncheon Bay tidal flat].
- [35] Tenore, K.R., 1981, Organic nitrogen and caloric content of detritus: I. Utilization by the deposit-feeding polychaete, *Capitella capitata*, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 12(1), 39-47.
- [36] Wacasey, J.W. and Atkinson, E.G., 1987, Energy values of marine benthic invertebrates from the Canadian arctic, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 39(3), 243-250.
- [37] Williams, P. and Faber, P., 2001, Salt marsh restoration experience in San Francisco Bay, *J. Coast. Res.*, SI(27), 203-211.

---

Received 18 October 2017

1st Revised 6 December 2017, 2nd Revised 22 February 2018

Accepted 14 May 2018

**Appendix 1. Notes to Table 2**

1. Sunlight

Area1(reclaimed land with reeds) = 3.82E+05 m<sup>2</sup> (this study)  
 Area2(reclaimed land with no reeds) = 4.06E+05 m<sup>2</sup> (this study)  
 Insolation = 4.67E+09 J/m<sup>2</sup>/yr (KMA[2016])  
 Albedo1(wetland covered with reeds) = 17 % (Kim et al.[2007a])  
 Albedo2(macro tidal flat) = 14 % (Kim et al.[2007b])  
 Energy = (area1)(insolation)(1-albedo1) + (area2)(insolation)(1-albedo2)  
 = 3.11E+15 J/yr

2. Earth cycle, heat flow

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])  
 Heat flow = 1.48E+06 J/m<sup>2</sup>/yr (Davies[2013])  
 Carnot efficiency = 9.50 % = 1-(287K/317K)  
 Energy = (area)(heat flow)(carnot efficiency)  
 = 1.11E+11 J/yr

3. Wind, kinetic energy

Reference velocity = 1.3 m/s (KMA[1992~2016])  
 Reference height = 10 m (KMA)  
 Height for velocity = 1,000 m  
 Surface roughness exponent(land) = 0.25 (Manwell et al.[2010])  
 Geostrophic wind velocity = 4.11 m/s (reference velocity × (height for velocity/reference height)<sup>surface roughness exponent</sup>)  
 Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])  
 Air density = 1.23 kg/m<sup>3</sup>  
 Drag coefficient(land) = 1.64E-03 (Garratt[1992])  
 Time = 3.15E+07 s/yr  
 Energy = (1/2)(area)(air density)(drag coefficient)(geostrophic wind velocity)<sup>3</sup>(time)  
 = 1.74E+12 J/yr

4. Rain, chemical potential

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])  
 Rainfall = 1.55 m/yr (KMA[1992~2016])  
 Water density = 1,000 kg/m<sup>3</sup>  
 Gibbs free energy(rain) = 4.72E+03 J/kg  
 Energy = (area)(rainfall)(water density)(Gibbs free energy of rain)  
 = 5.77E+12 J/yr

5. Halophytes

Area(before restoration) = 3.82E+05 m<sup>2</sup> (this study)  
 Density = 50 ind./m<sup>2</sup> (Suncheon City[2014])  
 Biomass = 4 g dry wt/ind. (Suncheon City[2014])

Chemical potential energy = 1.79E+07 J/g dry wt (Gravalos et al.[2016])

Energy = (area)(density)(biomass)(chemical potential energy)  
 = 1.37E+15 J

6. Benthic invertebrates

Area(before restoration) = 7.07E+05 m<sup>2</sup> (this study)  
 Biomass(before restoration) = 15.1 g wet wt/m<sup>2</sup> (KOEM[2015])  
 Moisture content = 16.25 % (Ricciardi and Bourget[1998])  
 Organic fraction = 72.57 % dry wt (Wacasey and Atkinson[1987])  
 Chemical potential energy = 3.97 kcal/g dry wt (Wacasey and Atkinson[1987])  
 Energy = (area)(biomass)(1-moisture content)(organic fraction)(chemical potential energy)(4,186 J/kcal)  
 = 1.08E+13 J

7. Organic matter

Area(muddy sandy gravel) = 8.06E+04 m<sup>2</sup> (this study)  
 Area(mud) = 7.07E+05 m<sup>2</sup> (this study)  
 Depth = 0.02 m (Suncheon City[2014])  
 Density(sand with gravel) = 1.65 g dry wt/m<sup>3</sup> (www.simetric.co.uk)  
 Density(mud) = 1.73 g dry wt/m<sup>3</sup> (www.simetric.co.uk)  
 Organic fraction(before restoration) = 7 % (KOEM[2015])  
 Chemical potential energy = 3.53 kcal/g dry wt (Tenore[1981])  
 Energy = (sediment volume)(density)(organic fraction)(chemical potential energy)(4,186 J/kcal)  
 = 2.81E+07 J

**Appendix 2. Notes to Table 3**

1. Sunlight

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])  
 Insolation = 4.67E+09 J/m<sup>2</sup>/yr (KMA[2016])  
 Albedo(wetland covered with reeds) = 17 % (Kim et al.[2007a])  
 Energy = (area)(insolation)(1-albedo)  
 = 3.05E+15 J/yr

2. Earth cycle, heat flow

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])  
 Heat flow = 1.48E+06 J/m<sup>2</sup>/yr (Davies[2013])  
 Carnot efficiency = 9.50 % = 1-(287K/317K)  
 Energy = (area)(heat flow)(carnot efficiency)  
 = 1.11E+11 J/yr

3. Tide, kinetic energy

Shelf area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Average tidal range = 1.1 m (estimate)

Absorption rate = 50 %

Seawater density = 1,030 kg/m<sup>3</sup>

Annual number of tides = 706 (12hr20min/tide, 2tides/day in 365days)

Gravity = 9.8 m/s<sup>2</sup>

Energy = (1/2)(shelf area)(average tidal range)<sup>2</sup>(absorption rate)  
(seawater density)(tides/yr)(gravity)  
= 1.69E+12 J/yr

#### 4. Wind, kinetic energy

Reference velocity = 1.3 m/s (KMA[1992~2016])

Reference height = 10 m (KMA)

Height for velocity = 1,000 m

Surface roughness exponent(land) = 0.25 (Manwell et al.[2010])

Geostrophic wind velocity = 4.11 m/s (reference velocity×  
(height for velocity/reference height)<sup>surface roughness exponent</sup>)

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Air density = 1.23 kg/m<sup>3</sup>

Drag coefficient(land) = 1.64E-03 (Garratt[1992])

Time = 3.15E+07 s/yr

Energy = (1/2)(area)(air density)(drag coefficient)(geostrophic  
wind velocity)<sup>3</sup>(time)  
= 1.74E+12 J/yr

#### 5. Waves, kinetic energy

Gravity = 9.8 m/s<sup>2</sup>

Depth = 1.1 m (estimate)

Wave velocity = 3.28 m/s (sq.root of gravity×depth)

Shore length = 2.40E+03 m (estimate)

Seawater density = 1,030 kg/m<sup>3</sup>

Wave height = 0.1 m (KMA)

Energy = (1/8)(shore length)(seawater density)(wave height)<sup>2</sup>  
(gravity)(wave velocity)  
= 9.89E+04 J/yr

#### 6. Rain, chemical potential

Area = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Rainfall = 1.55 m/yr (KMA[1992~2016])

Water density = 1,000 kg/m<sup>3</sup>

Gibbs free energy(rain) = 4.72E+03 J/kg

Energy = (area)(rainfall)(water density)(Gibbs free energy of rain)  
= 5.77E+12 J/yr

#### 7. Halophytes

Area(after restoration) = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Density = 50 ind./m<sup>2</sup> (Suncheon City[2014])

Biomass = 4 g dry wt/ind. (Suncheon City[2014])

Chemical potential energy = 1.79E+07 J/g dry wt (Gravalos et al.  
[2016])

Energy = (area)(density)(biomass)(chemical potential energy)  
= 2.83E+15 J

#### 8. Benthic invertebrates

Area(after restoration) = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Biomass(after restoration) = 63.1 g wet wt/m<sup>2</sup> (KOEM[2015])

Moisture content = 16.25 % (Ricciardi and Bourget[1998])

Organic fraction = 72.57 % dry wt (Wacasey and Atkinson[1987])

Chemical potential energy = 3.97 kcal/g dry wt (Wacasey and  
Atkinson[1987])

Energy = (area)(biomass)(1-moisture content)(organic fraction)  
(chemical potential energy)(4,186 J/kcal)  
= 5.02E+13 J

#### 9. Organic matter

Area(total) = 7.88E+05 m<sup>2</sup> (Suncheon City[2015])

Depth = 0.02 m (Suncheon City[2014])

Density(mud) = 1.73 g dry wt/m<sup>3</sup> (www.simetric.co.uk)

Organic fraction(after restoration) = 7.13 % (KOEM[2015])

Chemical potential energy = 3.53 kcal/g dry wt (Tenore[1981])

Energy = (sediment volume)(density)(organic fraction)(chemical  
potential energy)(4,186 J/kcal)  
= 2.87E+07 J