

시스템 생태학적 접근법에 의한 가막만 패류생산의 지속성평가

2. 가막만 환경개선에 관한 환경회계

오현택 · 이석모* · 이원찬 · 정래홍 · 홍석진 · 김남국** · Charles Tilburg***

국립수산과학원 환경관리과, *부경대학교 생태공학과,

Univ. Florida Dept. Ecology, *Univ. New England Dept. Chemistry & Physics

(2008년 2월 21일 접수; 2008년 7월 4일 채택)

Sustainability Evaluation for Shellfish Production in Gamak Bay Based on the Systems Ecology

2. Environmental Accounting for the Improvement of the Natural Environment Based on the Emergy Evaluation

Hyun-Taik Oh, Suk-Mo Lee*, Won Chan Lee, Rae Hong Jung,
Suk Jin Hong, Nam Kook Kim** and Charles Tilburg***

Marine Environment Research Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea

**Department of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea*

***Univ. Florida Dept. Ecology, 116350, Gainesville, FL, U.S.A.*

****Univ. New England Dept. Chemistry & Physics, 04002 ME 11 Hills Beach Road, U.S.A.*

(Manuscript received 21 February, 2008; accepted 4 July, 2008)

Abstract

The objective of this research is to apply more scientific, quantitative methods and procedures of environmental investigation to the development of the natural environment and the improvement of the human environment during the establishment of a sewage treatment plant and special facilities using environmental accounting. This research was performed to develop a method of strategic environmental assessment on the operation of sewage treatment plant and reuse of shellfish seeding areas through the use of environmental accounting based on EMERGY evaluation. The result was applied to marine environment policy in order to evaluate the real wealth of the regional environment and economy for both the present phase and the proposed developed phase. Using results from the comparison of EMERGY indices between the present situation and future scenarios, cost benefit analysis was performed for three different scenarios: (1) construction of a new sewage treatment plant, (2) relocation and recovery of the shellfish seeding area, and (3) relocation and re-seeding of shellfish area and construction of a new sewage treatment plant. Cost-benefit ratios of the three scenarios are 1.88, 0.94, and 1.38, respectively.

Key Words : Gamak Bay, Environmental accounting, EMERGY analysis

1. 서 론

가막만은 해양오염방지법 시행령개정¹⁾으로 환경보전해역으로 지정되어 관리기본계획이 수립되어 있다. 이런 가막만은 일반적으로 청정해역으로 인정되고 있으나, 양식밀도의 증가와 육상기인 오염원의 증가로 해양환경의 악화가 우려되고 있다. 이를 위해 통합관리의 차원에서 가막만의 해양환경문제를 해결하려는 노력이 필요하며, 환경보전해역으로 지정된 가막만에 대하여 해역특성을 반영한 최적의 관리방안을 마련할 필요가 있다²⁾.

각종 어패류 양식이 성행하는 가막만 역시, 연안 양식의 가장 기본이 되는 여건인 연안의 수질이 점점 나빠지고 있어 양식환경이 악화되고 있는 실정이다. 이는 80% 이상이 육상에서 유입되는 오염물질에서 기인하고 있어, 연안의 수질 개선을 위해 지속적으로 하수 처리 수준을 향상시키고 있으며, 또한 총량규제를 도입하여 육상기인 오염을 줄이는 노력을 계속하고 있다. 가막만 해양환경 개선을 위해 여수 북서내만역에 대한 오염퇴적물 준설사업 완료와 신월동 및 웅천동 하수처리장 신설 등으로 육상기인 오염원 저감을 위한 노력이 진행중에 있다. 육상에서 유입되는 영양염은 연안의 부영양화를 초래하고 있으며, 이로 인하여 최근 적조현상 및 빈산소수괴 발생이 빈번히 발생하는 것으로 보고 있다.

가막만 인근의 육상에서 기원한 오염 물질은 주변의 도시화로 인해 증가추세이며, 축산오염부하는 미미하나, 주변의 농경지가 60% 이상 차지하나, 향후 2012년 여수엑스포 개최등으로 개발압력이 크게 대두되기에 비점오염원에 의한 영향대책이 필요한 실정이다. 특히, 가막만 FDA 해역 및 북서내만역 부근에서 진행되는 패류 및 어류양식등으로 전체 발생부하량의 60%, 배출부하량의 80%를 차지하는 등 양식에 의한 오염부하가 클 것으로 여겨진다. 환경보전해역지정 이후 가막만은 국동항 인근의 쓰레기 수거작업, 선소내측의 준설사업, 하수처리장 건설 등으로 환경개선에 관한 투자와 관심이 증가되었다. 특히, 2012년 여수 엑스포 개최에 따라서 개발압력과 함께 해양환경보전이라는 엑스포 테마를 실현시켜야 하며, 1984년 이래 계속 발생하고 있는 적조

와 빈산소현상에 대해서 원인 규명과 굴 생산량과의 관계를 밝혀내려는 노력이 진행중이다³⁾. 가막만의 굴 산업이 활발할 1980년대 당시 채묘장이었던 무술목 인근에 대해서 복원을 위한 시민단체와 인근 수산업 종사자의 관심이 증가추세에 있다.

본 연구에서는 에너지, 환경, 경제가 상호 관련되어 이루어져 있는 시스템에 대해 자연환경과 인간 경제활동 등이 어떻게 상호작용하고 영향을 에머지 분석을 통해 수행하고자 한다. 이를 통해서 가막만 해양환경개선을 위한 육상오염원 삭감정책과 채묘장 개선에 따라 자연환경 가치 평가에 미치는 영향을 살펴보고자 하며, 이를 통해 가막만 패류양식업의 개선방안에 대해서 논하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 환경회계

환경회계학은 시스템 생태학에 근거하며, 에너지, 경제, 그리고 환경 (3E: Energy, Economics, Environment)이 상호 연관되어 이루어져 있는 광범위한 시스템에 대한 관찰을 기초로 환경영향요인과 인자를 묶어서 전체 시스템의 영향을 살펴보는 Top-Down 접근법을 기초로 한다.

이런 환경회계학은 과학적 평가체제에 근거한 동일한 가치 척도인 Emergy를 이용하여 환경보존과 환경복원에 관련된 정책 및 계획에서 야기되는 상반된 의사결정등을 조율할 수 있으며 기존의 경제성 분석에서 정량화하지 못한 환경비용과 편익 분석을 가능케 한다. Emergy의 생산과 이용을 최대화할 수 있는 환경 회계학에 의한 정책 선택과 의사결정을 통해서만 진정한 부와 전체의 경제적 이익 그리고 공공의 편익을 최대로 창출 할 수 있게 된다.

2.2. 환경회계 대안평가 방법

에머지 개념은 가막만 해양환경관리를 위해서 제안된 개발계획이나 관리계획에 대한 대안들을 동일한 과정을 통해 비교함으로써 기존의 시스템, 제안된 계획, 계획에 대한 대안들 중에서 환경친화적이고 지속가능한 성장을 보장하는 대안을 선택할 수 있도록 해준다⁴⁾. 높은 가치를 갖는 에머지 흐름은 대안평가를 통해서 보다 경제가치가 풍부해지도록 기여하도록 자료를 제공해 준다. 시행착오와 이성

적인 토론을 통한 가정들은 대안평가를 통해서 공공의 정책 결정과정에 적용될 수 있다. 궁극적으로, 대안평가를 통해서 높은 에머지 대안을 연속적이고 생존가능한 방법에 의해서 받아들여지게 된다. 에머지 평가를 통해서 받아들여진 정책이 나타낼 영향에 대해서 예측할 수 있게 된다. Fig. 1와 같이 환경정책 시행 전후의 생태경제학적 평가를 통해서 보다 나은 대안평가가 가능하다.

Fig. 1에 설명된 방법은 에머지 평가가 제안된 계획이 원래의 시스템이나 다른 대안들과 어떻게 비교될 수 있는지에 관한 사항이다. 현재의 상태를 기

준상태 (Control)라 두고, 투입되는 재화와 용역의 비에 대해 재생가능한 에너지와의 비율을 통해 생태경제학적인 가치의 평가가 가능하다.

에머지 이론은 적정 효율로 자원의 투입량을 강화함으로써 에머지의 흐름을 최대화하는 시스템이 다른 시스템과 경쟁에서 이기게 될 것이라고 주장한다⁵⁾. 그러나 에머지의 최대화가 환경에 지나치게 부하를 주는 것이라면 이 시스템은 장기적인 관점에서 보았을 때 지속가능한 시스템이 아니며, 결국 다른 시스템이 이를 대체할 것이다. 이런 대안들 중에서 좀 더 많은 에머지를 산출하고 환경에 대한 부하가 작은 대안이 가장 훌륭한 개발대안 또는 정책 대안으로 선정될 수 있을 것이다⁶⁾. 본 연구에서는 환경회계 방법을 통해서 환경 복원 및 보전을 위한 정책이 생태 경제적으로 어느 정도의 이익을 나타내는지에 대해서 비용편익으로 분석하고자 한다.

2.3. 환경회계를 위한 자료 및 시나리오

폐류양식의 지속성 확보를 위한 연구를 위해 하수처리장 가동을 통한 해양환경 개선 및 채묘장 개선에 따른 평가를 환경회계를 통해서 실시하고자 한다. 여수시에서 1993년에 준공을 시작하여 2004년에 완공한 하수처리장을 일 5만 톤 규모로 처리하고 있으며, 여수시에서 배출되는 생활하수는 38 Km에 달하는 하수관을 통해 유입되고 여수시 일원에서 배출되는 분뇨는 위생업체에서 수거 운반하여 하수와 섞어 깨끗하게 정화하여 방류되고 있다 (Fig. 2). 방류구의 위치는 가막만의 우측 입구인 돌

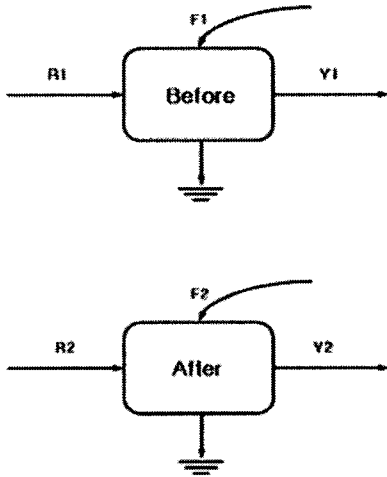


Fig. 1. Schematic diagram of environmental accounting method.

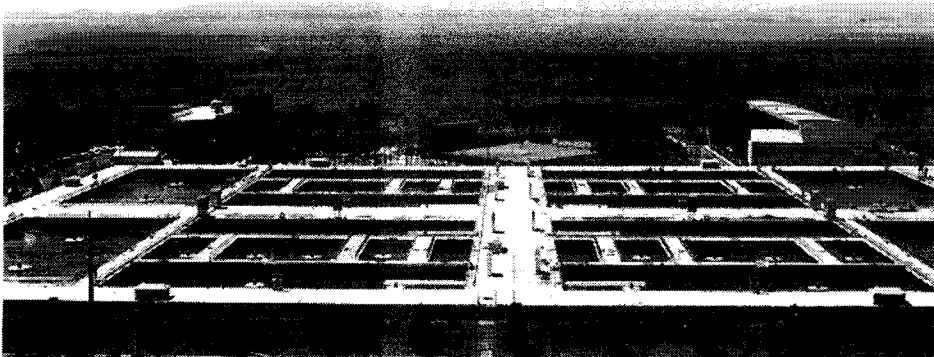


Fig. 2. Overview of Yeosu sewage treatment plant in Gamak Bay (Yeosu City, 2007).

산도 앞에 위치하고 있고, 일정 수심이하에서 해중 방류를 하고 있다. 본 연구에서는 시설 설치 이후, 처리비용을 해양환경개선을 위한 투자비용으로 산정했고, 설치 용량은 110,000 ton/day 이나 현재 처리되는 50,000 ton/day에 대한 처리비용에 대해서 환경회계를 실시했다.

가막만 패류 생산지역의 어민들이 주장하는 환경 피해의 대표적인 사례로 과거 채묘지였던 돌산읍 무술목 지역에 대한 원상회복 요구가 있다⁷⁾. 이는 1970년대 쌀 증산 목적의 간척지 조성사업이나 현재 목장용지허가상태이며 어업 활동은 불법으로 진행 중이다. 이곳은 90%가 바다물 잠긴 호수상태로 방치돼 고인 물이 썩어 인근 양식장과 어장으로 흘러들어 어업권 보상대상이 아닌 피조개, 새조개, 꼬막 및 굴 양식어민이 연간 10억 원 피해를 발생하며, 굴전어촌계 임대료가 5천만 원에서 현재 5백만원 수준으로 자산가치가 하락한 상황이다. 원상회복을 위해 어민 및 지역사회에서는 무술목 원상복구 요구 및 토지등록 말소 요청을 한 상태이며, 이를 위한 비용은 방조제 제거 공사 및 환경개선효과에 대한

모니터링 등이 필요한 상황이다 (Fig. 3). 본 연구에서 사용한 환경회계 시나리오는 1차: 하수처리장 가동-기존동일, 2차: 무술목 복원, 3차: 무술목 복원 및 하수처리장 가동으로 구분하여 계산에 활용했다.

본 연구의 해역은 해양환경관리법에 의한 환경보전해역등의 관리기본계획 수립 및 시행계획에 의거하여 가막만 관리계획이 수립되는 지역으로 여수시와 돌산읍, 화양면으로 둘러싸인 총 255.3 km²(해양부 154.17 km², 육지부 101.13 km²)에 이르는 지역에 해당한다. 채묘가 이뤄지는 곳은 현재 가막만이 아닌 광양만 지역이나, 이는 환경개선에 따라 가막만 지역으로 복원되면 그 지역이 과거의 무술목지역이 될 것으로 판단했다. 과거 무술목 인근에서 이뤄지던 굴 채묘가 현재 경남 하동 및 광양일대에서 이뤄지고 있다. 이는 가막만내 채묘환경이 악화되고, 해류를 따라 흐르는 유생의 특성상 해류의 흐름이 막힌 무술목 일대보다 나은 환경에서 발견되고 있기 때문이다. 가막만 일대 일부 수정채묘가 이뤄지고 있으나 대량 채묘를 위해서는 작업선에 다량의 패각을 싣고 이동해서 채묘를 한 뒤에 수하연에 부착시



Fig. 3. Overview of research site in Gamak Bay specialized management area both land and ocean, and seeding site map for present (near GwangYang) and alternatives method (inner Gamak Bay).

킴으로 인해서 많은 양의 채묘비가 소요되는 실정이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 가막만 에너지 시스템 (Control)

가막만 해양수질 및 저질 환경 관리를 위해서 육상 및 해양오염원 저감대책이 마련되어 진행되고 있으며⁸⁾, 본 연구에서는 육상기인오염원 저감대책을 통한 점오염원의 집중관리 정책 적용시 환경편익비용을 산정했다.

여수시에서 1993년에 준공을 시작하여 2004년에 완공한 하수처리장을 일 5만 톤 규모로 처리하고 있으며, 여수시에서 배출되는 생활하수는 38 km에 달하는 하수관을 통해 유입되고 여수시 일원에서 배출되는 분뇨는 위생업체에서 수거 운반하여 하수와 섞어 깨끗하게 정화하여 방류되고 있다. 방류구의 위치는 가막만의 우측 입구인 돌산도 앞에 위치하고 있고, 일정 수심이하에서 해중방류를 하고 있다. 본 연구에서는 시설 설치 이후, 처리비용을 해양환경개선을 위한 투자비용으로 산정했고, 설치 용량은 110,000 ton/day 이나 현재 처리되는 50,000 ton/day에 대한 처리비용에 대해서 환경회계를 실시했다.

가막만의 공간적인 영역은 굴 양식장이 포함되어 기존의 영역을 대상으로 했으나, 해양환경 개선을 통한 가막만 연안지역의 수질보존으로 수산업 종사자로 대상해역의 인력원을 확대했으며, 사용비용의 경우에도 양식업을 포함한 수산어가수를 활용했다. 이는 육상기인 저감시설 운영으로 인한 추가적인 여가, 레저, 관광, 휴식처의 기능보다는 해양환경 수질 개선에 따른 직접적인 영향을 살펴보고자 한 것이며, 차후 추가적인 가치에 대한 평가를 위해서는 시민의 편익비용을 포함할 필요는 있다.

본 연구에서는 가막만 패류 양식에 관한 연구에서 고려한 수산업 종사자를 기본으로 두고 수산업과 농업을 겸업으로 하는 인구 중에 수산업의 비율이 보다 높은 1종 종사자도 포함하여 가막만 수질 개선에 따른 양식을 포함한 수산업 전반에 관한 경제투여가치를 고려하였다. 이를 통해 영속성 에너지원의 경우 패류양식은 76.5%를 나타낸 반면⁹⁾, 수산업 전반에 걸쳐서는 65.8%를 보이고 있으며¹⁰⁾, 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원인 화석연료와

재화와 용역의 경우에는 34.2%를 차지하고 있어, 자연환경에 대한 의존도가 패류양식보다는 감소한 결과를 보였다.

시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 조석, 파도, 강수와 같은 영속성 에너지원이 유입되어지며, 외부로부터 유입되어지는 비영속성 에너지원의 경우에는 양식업외에 1종 수산업 어가도 포함함으로써 연료 에너지 7.22 E18 sej/yr, 노동력 6.32 E18 sej/yr, 종묘비 1.60 E19 sej/yr, 자재구입 3.53 E19 sej/yr, 용역 등 3.47 E19로 나타났다 (Table 1).

재생가능한 자원의 비율은 65%를 나타냈으며, 자원으로서의 효율성과 생산성을 나타내는 EYR은 2.92로 평가되어 패류양식만을 비교한 것에 비해 다소 낮아졌으나, EYR 값이 1이하 값을 나타내는 경우에는 자원으로서의 가치를 가지고 있지 못한 시스템임에 반해, 여전히 자원으로서 가치를 갖고 있으며, 에머지지속성지수의 경우에는 5.63를 보이고 있어서 재생 불가능한 에너지의 사용에 대해서 의존도가 높게 나타나며, 현 시스템에 대해서 환경에 대한 스트레스는 낮게 나타나고 있다. (Table 2).

3.2. 하수처리장 개선에 따른 비용편익 분석 (Scenario 1)

하수처리장 가동을 통한 경제활동으로 투입된 에너지의 증가가 재생 가능한 환경자원의 증가에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 2006년 11만 톤 규모의 하수처리장이 실제 일 5만 톤 규모로 방류되는 상황을 계산했다. 하수처리장 가동으로 인해 일부 부하량은 하수처리장을 통해서 유입되나, 기존의 경로로 유입되는 하천의 화학적 잠재에너지를 계산에 활용했으며, 하수처리장은 처리장에서 제공하는 방류수 수질 농도를 적용했다. 하수처리비용의 경우 적용기술 및 지자체간 큰 차이를 발생하고 있음을 감안하여, 여수 하수처리장에서 제공하는 자료를 활용했으며, 향후 처리효율증가 및 기술향상으로 인한 비용절감의 요인이 발생했을 경우에 편익비용에 관한 연속적인 연구가 필요할 것으로 여겨진다. 본 연구의 결과에서는 TN, TP로 감소로 인한 먹이량 감소가 패류양식에 미치는 영향 등에 대한 불필요한 오해를 줄이기 위해서 유기물 감소에 따른 영향을 살펴보고자 했다. 하수처리장 건설에

따른 지난 10년간의 건설 및 토지비용에 따른 효과를 산정하는 것보다 기준년도에 가동 및 이를 통한 편익에 대한 것만을 살펴보았으나, 이는 자료확보를 토대로 과거의 기준년도에서 누적해서 차후 살펴볼 필요가 있다.

수질 처리를 통해서 재생가능한 자원이 증가함에

비해, PI(Purchased Inputs) 역시 일정부분 비용 면에서 증가하게 됨으로써 에머지 지수들에는 상쇄효과가 나타나고 있으며, 이는 향후 고도 하수처리 개선, 점오염원 처리시설 확충, 비점오염원 관리 등으로 효과가 증가될 수 있을 것으로 여긴다⁸⁾. 특히, 양식 활동은 전체 발생부하량의 60%, 배출부하량의 80%

Table 1. EMERGY evaluation of control in Gamak Bay

Note	Item	Data units (J, g, or \$)		Solar transformity (sej/unit)	References for transformity	Solar EMERGY (scj/yr)	Emdollars 2005 (\$/yr)
RENEWABLE RESOURCES							
1	Sunlight	4.58E+17	J	1	[a]	4.58E+17	3.69E+05
2	Wind	4.31E+15	J	2450	[a]	1.06E+19	8.51E+06
3	Rainfall, chemical	1.10E+15	J	30500	[a]	3.37E+19	2.72E+07
4	Tide	1.89E+15	J	73900	[a]	1.40E+20	1.13E+08
5	Waves	2.53E+13	J	51000	[a]	1.29E+18	1.04E+06
6	River chemical potential	2.36E+14	J	81000	[a]	1.91E+19	1.54E+07
PURCHASED INPUTS							
7	Fuel	4.10E+13	J	5.30E+04	[b]	2.17E+18	1.75E+06
8	Human Labor	6.37E+12	J	1.24E+06	[b]	7.90E+18	6.37E+06
9	Seed	5.94E+09	₩	2.10E+09	[c]	1.25E+19	1.01E+07
10	Msc. Supplies	5.11E+08	₩	2.10E+09	[c]	1.07E+18	8.66E+05
11	Services	1.69E+10	₩	2.10E+09	[c]	3.54E+19	2.85E+07
PRODUCTION							
12	Fishes	3.84E+14	J	5.41E+06	[d]	2.08E+21	1.68E+09
13	Crustaceans	7.84E+12	J	2.18E+07	[d]	1.71E+20	1.38E+08
14	Shellfish	3.06E+13	J	1.00E+07	[d]	3.06E+20	2.46E+08
15	Seaweeds	4.73E+10	J	1.85E+04	[d]	8.75E+14	7.06E+02
16	Total production	4.23E+14	J			2.56E+21	2.06E+09

(References for Transformity [a] Odum¹¹⁾, [b] Brown and Bardi¹²⁾, [c] Shin¹³⁾ and [d] Eum et al.⁹⁾. Transformities referred to Eum et al.⁹⁾ are based on the approximate planetary baseline 9.44E+24 sej/yr used in Odum(1996). To convert transformities reported in this paper to the 15.83 E+24 sej/yr baseline multiply by 1.68.)

Table 2. EMERGY indices of control in Gamak Bay

Item	Name of index	Expression	Quantity	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	8.94E+19	scj/yr
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.00E+20	scj/yr
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	1.89E+20	scj/yr
4	Total EMERGY used, U	U=R+F+PI	1.89E+20	scj/yr
5	% Renew	(R/U)*100	47.19	
6	EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	1.89	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	1.12	
8	Environmental loading ratio (ELR)	K/R	1.12	
9	SI	EYR/ELR	1.69	

를 차지하는 등 양식에 의한 오염부하가 클 것으로 보여 이에 대한 삭감방안 마련 등이 시행된다면 효과는 더욱 클 것으로 여겨지며, 비점오염원에 의한 배출부하는 전체 배출부하량의 5%를 차지하기에 미미할 것으로 보인다.

본 연구의 주안점인 육상기인 오염원 감소에 따른 영향을 살펴보기 위한 하천의 유기물 감소에 따른 영향에 관해서 개별적으로 영향을 분석했다. 육상기인 오염원이 하수처리장을 통해 처리되어지면 시설사용의 효율성이 가미되어, 이는 처리없이 연구해역으로 도달되어질때 계산되는 Transformity 보다 높은 값을 나타낸다. 이는 하수처리장 개선에 따라서 유입되는 영속적인 에너지는 증가하는 측면을 보이는 것으로 사료되며, 일부 하수처리장 개선으로 인한 영양염류 감소를 통해 패류양식장의 먹이 감소 등을 지적하는 것은 에머지 평가 측면으로 봤을 때는 긍정적인 영향을 나타내고 있다고 판단된다.

현재와 개발 시스템에 대한 에머지 지표를 분석한 결과는 아래와 같다. 재생 가능한 에머지와 시스템 외부로부터 유입된 에너지의 양은 모두 새로운 시스템에서 증가한 양상을 보인다. 재생가능한 영속성 에너지원에서 하천의 잠재에너지는 하수처리장 가동(50,000 ton/day)으로 인한 값과 기존하천으로 유입(100,000 ton/day)되는 양을 더해서 구해지며 그 값은 2.54 E19 sej/yr 로 이전의 1.91 E19 sej/yr 의 값의 차이를 보였으며, 이는 하수처리장 건설이전에 처리되지 않고 가막만으로 유입하던 하수가 줄어든 것으로 여겨진다. 반면, PI에서는 하수처리장 가동에 따른 비용이 3.36 E18 sej/yr 로 나타나서 가동을 통해서 시스템의 비용에 따른 편익은 2.94 E18 sej/yr 증가했다 (Table 3).

에머지 지수 분석결과 EYR¹³⁾의 경우 기존시스템과 새로운 시스템의 경우에는 2.92로 차이가 거의 없으나, 지속성 지수역시 5.63에서 5.62로 거의 유사

Table 3. EMERGY evaluation of new system in Gamak Bay (Scenario 1)

Note	Item	Data units (J, g, or \$)		Solar transformity (sej/unit)	References for transformity	Solar EMERGY (sej/yr)	Emdollars 2005 (\$/yr)
RENEWABLE RESOURCES							
1	Sunlight	4.58E+17	J	1	[a]	4.58E+17	3.69E+05
2	Wind	4.31E+15	J	2.45E+03	[a]	1.06E+19	8.51E+06
3	Rainfall, chemical	1.10E+15	J	3.05E+04	[a]	3.37E+19	2.72E+07
4	Tide	1.89E+15	J	7.39E+04	[a]	1.40E+20	1.13E+08
5	Waves	2.53E+14	J	5.10E+04	[a]	1.29E+19	1.04E+07
6	River chemical potential	1.54E+14	J	8.10E+04	[a]	1.25E+19	1.01E+07
7	Treated River, Che. Potential	8.95E+13	J	1.44E+05	[e]	1.29E+19	1.04E+07
PURCHASED INPUTS							
8	Fuel	1.46E+14	J	5.30E+04	[b]	7.72E+18	6.23E+06
9	Human labor	5.09E+12	J	1.24E+06	[b]	6.32E+18	5.09E+06
10	Seed	7.60E+09	₩	2.10E+09	[c]	1.60E+19	1.29E+07
11	Misc. Supplies	1.68E+10	₩	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
12	Services	1.65E+10	₩	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
13	STP Operation & maintenance	1.60E+09	₩	2.10E+09	[c]	3.36E+18	2.71E+06
PRODUCTION							
14	Fishes	3.84E+14	J	3.22E+06	[d]	1.24E+21	9.98E+08
15	Crustaceans	7.84E+12	J	1.30E+07	[d]	1.02E+20	8.22E+07
16	Shellfish	3.06E+13	J	5.95E+06	[d]	1.82E+20	1.47E+08
17	Seaweeds	4.73E+10	J	1.10E+04	[d]	5.21E+14	4.20E+02
18	Total production	4.23E+14	J			1.52E+21	1.23E+09

(References for Transformity [a] Odum¹¹⁾, [b] Brown and Bardi¹²⁾, [c] Shin¹³⁾ and [d] this study.)

한 값을 보이고 있다. 이는 현재의 시스템에 비해 하수처리장의 가동이 시설용량만큼 충분히 확보되기 전에는 가막만 해양환경의 연속성에 큰 차이를 보이지는 못하기에, 시설용량 확대 및 처리시설 고도화가 요구된다 (Table 4).

본 연구에서 사용한 하수처리장의 일평균 방류량 (약 50,000 ton/day)으로 유입시키면 인근의 수질에 미치는 영향은 비교적 미미한 것으로 판단된다¹⁴⁾. 향후 하수처리시설의 효과를 극대화하기 위해서 하천을 통한 방류보다 처리시설을 통한 오염이 저감된 처리수의 방류량을 늘리는 노력과 영양염류의 고차처리등의 기술적인 방법에 대한 연구가 진행되어질 필요가 있겠다^{15,16)}. 중장기적인 관점에서 연구해역이 갖고 있는 오염물질의 베이스 농도 저감을 위한 지속적인 모니터링과 퇴적물 정화 등을 포함하는 해역 수질관리대책이 시행되면 좀 더 향상된 해양환경이 조성될 것으로 판단된다.

하수처리장 가동에 따른 해양생태공학적 비용편익 분석시 가동비용에 비해 환경편익은 약 1.09배에 해당하는 것으로 나타났다 (Table 5). 이는 향후 하수처리장 가동을 11만 톤 규모로 확대하게 되면

비용편익은 다소 감소하는 것으로 분석되며, 총질소 및 총인 저감시 환경편익의 경우에 증가의 소지가 있었다. 현재 BOD는 친수용수 권고기준을 만족하기 위해서 약 6.5 ppm 으로 처리되고 있으나, 이를 하천수질기준 2등급인 3 ppm 이하로 유지될 경우에 보다 높은 환경편익을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 점오염원중 오염정도가 심한 연등천등에 관한 특별관리가 요구되며, 인근 해역으로 유입하는 다른 점오염원의 차단과 관리가 필수적이라고 여긴다. 또한, 이 해역이 갖고 있는 오염물질의 농도 저감을 위한 지속적인 해양환경 및 육상기인 오염부하 관리와 대책이 강구될 필요가 있다.

3.3. 중요장 복원에 따른 비용편익 분석 (Scenario II)

가막만 굴 양식 비용 저감을 위해 과거 채묘장이었던 무술목 저수지의 원상복구를 통해 가막만내 해양환경 개선 및 굴 채묘장 복원이 요구된다. 따라서 본 환경회계는 무술목 복원에 관한 분석을 통해 채묘를 개선하는 것에 중점을 두었다. 본 환경회계에서는 무술목 복원에 해당하는 경제적 비용과 채묘장 복원에 따라서 채묘비가 가막만내로 투입되는

Table 4. Comparison of EMERGY indices between control and scenario I

Item	Name of Index	Expression	Original use	Scenario I	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	1.92E+20	1.99E+20sej/yr	
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.00E+20	1.03E+20sej/yr	
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	2.92E+20	3.02E+20sej/yr	
4	Total emergy used, U	U=R+F+PI	2.92E+20	3.02E+20sej/yr	
5	% Renew	(R/U)*100	65.81	65.79	
6	EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	2.92	2.92	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.52	0.52	
8	Environmental loading ratio (ELR)	K/R	0.52	0.52	
9	SI	EYR/ELR	5.63	5.62	

Table 5. Environmental accounting of STP operation (Scenario I)

No	Item	Env cost	Env benefit	Unit
1	River chemical potential		3.66E+18sej/yr	
5	STP operation price	3.36E+18		
	Subtotal	3.36E+18	3.66E+18sej/yr	
	Cost-benefit		2.99E+17sej/yr	
	Benefit/Cost		1.09E+00	

것을 재화와 용역으로 산정했고, 가막만 전체 면적의 약 0.5%에 해당하는 무술목의 복원과 이에 따른 해안선 확보로 인해서 얻게 되는 재생가능한 자원의 비용을 각각 Table 6로 나타냈다.

영속성에너지원의 경우 Control에 비해 미약한 증가가 나타났다. 이는 조석에서 1.0 E18 sej/yr 가 그중 가장 크며 하천, 강수, 바람, 태양에 의한 차이는 시스템 면적 증가분만큼 적은 영향을 미치고 있다. 반면, 복원 작업에 해당하는 PI는 2.10 E18 sej/yr 이며, 종묘가 가막만에서 이뤄지는 경우가 1.05 E17 sej/yr로 나타났다 (Table 6).

이와 같이 무술목 복원으로 인해 재생 가능한 에너지원은 소량 증가를 하나 영향이 매우 미미하며, 저수지를 원상태로 복원하는 데 사용되는 재화와 용역이 초기 2년 동안 투입되어야 하기 때문에 이로 인한 비용이 기존보다 많게 차지함으로써 생산성지수는 2.88로 Control 2.92에 비해 다소 하락한 면을 보인다 (Table 7).

반면, 공사가 끝나게 되는 2년 이후에는 이런 재

화와 용역의 비용은 추가 발생하지 않게 되며, 채묘장 복원에 따른 생산성 향상이 기대되고, 이 경우 비용-이익의 추가 증가요인도 발생하게 된다.

본 연구에서는 에머지 분석시 고려되지 못한 내재적 에너지원(벤토스, 수질개선효과, 플랑크톤의 부유정도 등)은 추가 고려되거나 개선연구가 동시 수반되어야 하겠다. 이러한 재생 불가능한 자연자원의 가치평가가 포함된 경우에는 무술목 복원에 따른 에머지증가효과가 보다 반영되어질 수 있으리라 생각한다. 이와 같은 무술목 복원의 영향으로 채묘장 회복 및 이로 인한 생산비용감소는 양질의 굴을 생산할 수 있는 여건을 개선할 수 있을 것으로 기대한다. 결국, 지속적 성장을 위해서는 품질성을 높이는 것이 필요하며, 이를 위해 먹이질 개선, 유동 개선상황등이 궁극적으로 생태계에 미치는 영향 등에 관한 연구가 필요한 실정이다.

무술목 복원에 따른 영속성 에너지원의 증가는 1.73 E18 sej/yr 이며, 복원 및 채묘추가에 따른 비용은 1.05 E17 sej/yr로 나타나서 환경부하의 경우에는

Table 6. EMERGY evaluation of seeding improvement system (Scenario II)

Note	Item	Data units (J, g, or \$)		Solar transformity (sej/unit)	References for transformity	Solar EMERGY (sej/yr)	Emdollars 2005 (\$/yr)
RENEWABLE RESOURCES							
1	Sunlight	4.62E+17	J	1	[a]	4.62E+17	3.73E+05
2	Wind	4.35E+15	J	2.45E+03	[a]	1.07E+19	8.60E+06
3	Rainfall, chemical	1.12E+15	J	3.05E+04	[a]	3.40E+19	2.74E+07
4	Tide	1.91E+15	J	7.39E+04	[a]	1.41E+20	1.14E+08
5	Waves	2.55E+14	J	5.10E+04	[a]	1.30E+19	1.05E+07
6	River chemical potential	2.36E+14	J	8.10E+04	[a]	1.91E+19	1.54E+07
PURCHASED INPUTS							
8	Fuel	1.46E+14	J	5.30E+04	[b]	7.72E+18	6.23E+06
9	Human labor	5.09E+12	J	1.24E+06	[b]	6.32E+18	5.09E+06
10	Seed	8.00E+09	₩	2.10E+09	[c]	1.68E+19	1.35E+07
11	Misc. Supplies	1.68E+10	₩	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
12	Services	1.65E+10	₩	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
13	Compensation	1.00E+09	₩	2.10E+09	[c]	2.10E+18	1.69E+06
14	Larvae resettlement	5.00E+07	₩	2.10E+09	[c]	1.05E+17	8.47E+04
PRODUCTION							
14	Fishes	3.84E+14	J	3.22E+06	[d]	1.24E+21	9.98E+08
15	Crustaceans	7.84E+12	J	1.30E+07	[d]	1.02E+20	8.22E+07
16	Shellfish	3.06E+13	J	5.95E+06	[d]	1.82E+20	1.47E+08
17	Seaweeds	4.73E+10	J	1.10E+04	[d]	5.21E+14	4.20E+02
18	Total production	4.23E+14	J			1.52E+21	1.23E+09

(References for Transformity [a] Odum¹¹⁾, [b] Brown and Bardi¹²⁾, [c] Shin¹³⁾ and [d] this study.)

다소 증가하는 면을 보이거나, 공사초기인 것을 감안할 필요가 있으며, 이 결과로 얻어진 생태경제적인 비용에 대한 이익의 비는 0.78로 나타났다. 현재까지 하수처리장 가동에 따른 수질개선의 효과와 굴양식량 증가등 양식생산량과의 직접적인 영향을 판단하기 어려워, 향후 환경회계를 위한 개선방안으로는 환경개선이 생산량에 미치는 비용편익을 다룰 필요가 있겠다 (Table 8).

3.4. 하수처리장 개선 및 중요장 복원에 따른 비용편익분석 (Scenario III)

앞선 시나리오 연구에서 수행한 하수처리장 가동에 따른 환경회계 및 채묘장 복원에 따른 생태경제적 이익과 비용분석을 동시에 수행했다. 이로써, 하수처리장 가동의 역할과 채묘장 복원과 같은 현실적인 생태복원 대안이 어떤 영향을 나타내는가를 살펴보고자 했다.

현재, 하수처리장은 시설용량이 일 최대 11만 톤이나 현재 5만 톤 수준으로 가동이 되고 있으며, 이는 하수정비사업등으로 향후에 개선될 여지가 충분히 있다. 그리고 향후 여수 엑스포가 개최되게 되면

주변 인구 유입 증가 및 부하증가로 인해서 하수처리장 용량을 16만 톤으로 개선할 계획을 여수시는 갖고 있다¹⁷⁾. 무술목은 공유수면을 장기간 목장용지로 방치함에 따라 수질악화 및 환경미화 저해와 같은 부정적인 영향과 패류 양식의 근간이 되는 채묘장의 기능이 상실된 만큼, 이에 대한 개선이 요구되는바 현실적인 환경개선(하수처리장 가동) 및 환경복원(무술목 채묘장 복원)과 같은 대안으로 환경회계를 수행했다. Scenario III의 경우 재생 가능한 에너지원, 재화와 용역이 모두 증가하여 가막만내 총 에너지의 양은 Control 보다 1.1 E+19 sej/yr 증가한 값을 보인다.

이를 지수로 나타내 보면, 생산성지수는 다소 낮아지고, 에너지지속성도 미미한 감소를 보이는 것을 들 수 있고, 이는 초기 무술목 복원에 따른 비용이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 반면, 투여되는 재화의 가치로 여겨지는 채묘비용은 결국 가막만 패류양식을 수행함에 있어 채묘비 감소로 나타날 것으로 보여서 이는 긍정적인 영향으로 이해할 수 있을 듯싶다 (Table 9).

Scenario III에 나타난 하수처리장 및 채묘장 복원

Table 7. EMERGY values and indices of scenario II

Item	Name of index	Expression	Quantity	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	1.94E+20	sej/yr
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.03E+20	sej/yr
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	2.97E+20	sej/yr
4	Total EMERGY used, U	U=R+F+PI	2.97E+20	sej/yr
5	% Renew	(R/U)*100	65.33	
6	EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	2.88	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.53	
8	Environmental loading ratio (ELR)	K/R	0.53	
9	SI	EYR/ELR	5.44	

Table 8. Environmental accounting of scenario II

No	Item	Env cost	Env benefit	Unit
1	Renewable sources		1.73E+18	sej/yr
13	Compensation	2.10E+18		
14	Larvae resettlement	1.05E+17		
	Subtotal	2.21E+18	1.73E+18sej/yr	
	Cost-benefit		-4.72E+17sej/yr	
	Benefit/Cost		7.86E-01	

Table 9. EMERGY values and indices of scenario III

Item	Name of index	Expression	Quantity	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	2.00E+20	sej/yr
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.06E+20	sej/yr
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	3.06E+20	sej/yr
4	Total EMERGY used, U	U=R+F+PI	3.06E+20	sej/yr
5	% Renew	(R/U)*100	65.23	
6	EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	2.88	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.53	
8	Environmental loading ratio (ELR)	K/R	0.53	
9	SI	EYR/ELR	5.40	

에 따른 생태경제학적인 비용~이익의 비는 0.72로 Scenario II에 비해서는 다소 증가한 면을 보이나, 큰 이익을 보고 있다고는 여길 수 없을 것이다 (Table 10).

가막만 하수처리장은 가동 효율을 더욱 증가시킬 것이며, 이로 인한 환경편익은 증가할 것으로 여겨진다. 특히, 고도처리 및 수질기준 강화시에 증가될 비용과 편익에 관해서는 에머지와 같은 분석을 할 필요가 있을 것으로 여겨진다.

이와 같이 가동을 현재의 일 5만 톤에서 일 11만

톤으로 증가시키고, 2년의 공사 후에 무슬목 복원이 있게 되면 추가 재화와 용역비용이 소멸이 되어지기에 환경편익비용은 투자에 비해서 5.85E+17 sej/yr가 발생할 것으로 여겨지며, 이로 인한 비용편익비는 1.17로 증가할 것으로 분석되었다 (Table 11).

본 연구에서는 주안점인 육상기인 오염원 감소에 따른 영향을 살펴보기 위한 하천의 유기물 감소에 따른 영향에 관해서 개별적으로 영향을 분석했다. 처리된 육상기인 오염원은 효율적인 시설사용에 따른 Transformity¹⁸⁾ 증가에 따라서 자연자원의 에너지

Table 10. Environmental accounting of scenario III

No	Item	Env cost	Env benefit	Unit
1	Renewable sources		7.17E+18sej/yr	
5	STP operation price	3.36E+18		
13	Compensation	2.10E+18		
14	Larvae resettlement	1.05E+17		
	Subtotal	5.56E+18	7.17E+18sej/yr	
	Cost-benefit		1.60E+18sej/yr	
	Benefit/Cost		1.29E+00	

Table 11. Analysis of benefit relative to cost in STP and larvae resettlement after 2 years

No	Item	Env cost	Env benefit	Unit
1	Renewable sources		7.17E+18sej/yr	
5	STP operation price	3.36E+18		
14	Larvae resettlement	1.05E+17		
	Subtotal	3.46E+18	7.17E+18	
	Cost-benefit		3.70E+18sej/yr	
	Benefit/Cost		2.07E+00sej/yr	

원이 전체적으로 상승하는 효과를 나타내었음을 보인다. 이는 하수처리장 개선에 따라서 유입되는 영속적인 에너지는 증가하는 측면을 보이는 것으로 사료되며, 일부 하수처리장 개선으로 인한 영양염류 감소를 통해 패류양식장의 먹이감소등을 지적하는 것은 에머지 평가 측면으로 봤을 때는 긍정적인 영향을 나타내고 있다고 판단된다. 이는 현재의 시스템에 비해 육상기인 오염물질을 제거한 시스템이 가막만 해양환경의 영속성에 긍정적인 영향을 미침을 의미하며, 이를 통해 가막만 패류양식의 긍정적인 효과를 예상할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 자연생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정 뿐만 아니라, 인간과의 유기적 상호관계를 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 시스템 생태학적 접근법을 이용하여, 여수반도 남단에 위치한 가막만의 굴을 비롯한 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도를 평가하고, 이를 통해 패류양식의 지속적인 발전방향을 제시하고자 하였다. 또한, 패류양식의 지속적인 성장을 위한 대안평가를 통해서 환경개선노력 및 복원에 관한 노력이 실질적인 자연환경에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 아울러 에너지 시스템 모델링을 통해 굴 양식 산업의 미래를 예측하고, 이러한 결과를 바탕으로 굴 양식을 포함한 패류양식산업의 발전방향을 제시하고자 하였다.

환경회계에 의한 환경성검토를 위해 가막만 환경관리해역의 환경개선사업에 대해 환경영향요소와 환경인자에 관한 행렬식 대조표를 기초로 에너지 시스템 다이어그램을 분석하였다. 이를 통해 재생 가능한 에머지와 시스템 외부로부터 유입된 에너지의 양은 모두 새로운 시스템에서 증가한 양상을 보인다. 가막만의 에머지 분석결과, 재생 불가능한 에너지의 사용에 대해서 의존도가 높게 나타나며, 현 시스템에 대해서 환경에 대한 스트레스는 낮게 나타나고 있다. 하수처리장의 시설용량이 현재의 일 5만톤의 수준에서는 처리전후의 영향이 크지 않으며, 이는 현재의 시스템에 비해 하수처리장의 가동

이 시설용량만큼 충분히 확보되기 전에는 가막만 해양환경의 영속성에 큰 차이를 보이지는 못하기에, 시설용량 확대 및 처리시설 고도화가 요구된다

현재까지 하수처리장 가동에 따른 수질개선의 효과와 굴 양식량 증가등 양식생산량과의 직접적인 영향을 판단하기 어려워, 향후 환경회계를 위한 개선방안으로는 환경개선이 생산량에 미치는 비용편익을 다룰 필요가 있겠다

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원의 R&D 경상과제인 “연안어장 환경용량 산정연구”의 일환으로 수행되었습니다. 연구 자료를 확보하고 분석하는데 도움을 준 수과원 환경관리과 연구진에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 해양수산부, 2000, 환경보전해역 고시, 25pp.
- 2) 해양수산부, 2001, 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구, 275pp.
- 3) 김남국, 2006, 현장관측 및 수치실험에 의한 가막만의 해양환경에 관한 연구, 공학석사 학위논문, 여수대학교, 여수.
- 4) 강대석, 남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경 자원의 가치평가와 정책활용 방안, 한국해양수산개발원, 기본연구 2003-19, 65-87.
- 5) Odum H. T., 1988, Self organization, transformity, and information, Science, 242, 1132-1139.
- 6) Hongfang L., Campbell D., Chen J., Qin P., Ren H., 2007, Conservation and economic viability of nature reserves: An emergy evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve, Biological Conservation, 39, 415-438.
- 7) 여수시민협, 2007, 돌산읍 무술목 목장용지 현황과 과제, 시민토론회 자료집, 7-12.
- 8) 김진이, 2007, 낙동강 유역의 오염총량관리계획에 대한 환경회계, 박사 학위논문, 부경대학교, 부산.
- 9) 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, Emergy 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정, 한국환경과학회지, 29(5), 629-636.
- 10) 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), 689-700.
- 11) Odum H. T., 2001, Emergy evaluation of salmon pen culture, University of Florida Press, 110-125.
- 12) Brown M. T., Bardi E., 2001, Emergy of Ecosystems. Emergy. Folio 4. of Handbook of Emergy Evaluation

The Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, 93pp.

- 13) 신봉균, 2007, 하수슬러지의 처분에 대한 생태경제성 평가, 석사학위논문, 부경대학교, 부산.
- 14) 전남대학교, 2006, 여수 하수종말처리장 최종방류구 주변해역에 하수처리수 배출수 미치는 영향 파악 보고서 - 육상 오염부하량 및 해역의 물질확산 시뮬레이션, 43-44.
- 15) 여수시, 1995, 여수·여천시 통합하수종말처리장 설치와 관련처리수의 해역배출에 따른 시뮬레이션 연구 및 개선방안, 366pp.
- 16) 여수시, 2005, 연등천 하천정비 기본계획 사전환경성검토서, 206pp.
- 17) 여수시, 2005, 2004년 여수통계연보, 172-180.
- 18) Brown M. T., Ulgiati S., 1997, Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economics and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, 51-69.