

시스템 생태학적 접근법에 의한 가막만 패류생산의 지속성 평가

1. 가막만 패류양식의 에머지 평가

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 6월 27일 채택)

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

1. EMERGY Evaluation for Shellfish Production in Gamak Bay

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 27 June, 2008)

Abstract

This research outlines a new method for evaluation of shellfish production in Gamak Bay based on the concept of EMERGY. Better understanding of those environmental factors influencing oyster production and the management of oyster stocks requires the ability to assess the real value of environmental sources such as solar energy, river, tide, wave, wind, and other physical mechanisms. In this research, EMERGY flows from environment sources were 76% for shellfish aquaculture in Gamak Bay. EMERGY yield ratio, Environmental Loading Ratio, and Sustainability Index were 4.26, 0.31 and 13.89, respectively. Using the Emergy evaluation data, the predicted maximum shellfish aquaculture production in Gamak Bay and the FDA (Food and Drug Administration, U.S.) designated area in Gamak Bay were 10,845 ton/yr and 7,548 ton/yr, respectively. Since the predicted shellfish production was approximately 1.3 times more than produced shellfish production in 2005, the carrying capacity of Gamak Bay is estimated to be 1.3 times more than the present oyster production.

Key Words : EMERGY, Gamak Bay, FDA designated area, Oyster production

1. 서 론

우리나라 남서해안은 영양염류의 유입 및 먹이생물의 번식이 활발하여 각종 어패류가 산란 및 서식

하기에 좋은 지형적 조건과 어장환경을 지니고 있다. 특히, 남해안의 중앙에 위치하고 있는 가막만은 독특한 지형과 해양수리학적 조건 때문에 3개의 수괴가 존재하며 기초 생산력이 매우 커 다양한 생물의 서식 및 양식어업에 매우 좋은 지형적 조건과 어장 환경을 갖고 있다¹⁾. 이로 인해 현재 가막만의 굴 양식은 전국 굴 생산량의 30% 내외를 생산하고 있는 황금어장으로, 굴 양식을 비롯한 패류생산이 활발하게 이뤄지고 있다.

그러나 최근 가막만 내 양식밀도 증가와 육상의 개발압력, 부영양화 현상으로 인한 적조발생, 장기적인 사용으로 인한 어장 노화 등으로 인해 해양환경 악화가 우려되고 있으며, 이를 해결하고자 해양수산부는 2001년도에 환경보전해역으로 지정하여 해역특성을 반영한 최적의 관리방안을 마련하고 있다. 가막만의 양식시설대수는 2000년 초반에 비해 2006년까지 약 30% 이상 증가한 반면, 굴 생산량은 연간 5천톤 내외를 보이는데다 연간 변동성이 커서 어민의 안정적인 재원확보가 어려운 상황이다. 또한, 북미 패류 수출을 위한 미국 식품의약품안전청(FDA, Food & Drug Administration)의 지정해역으로 엄격한 환경관리가 요구되는 해역이므로, 연안어장의 수질 및 저질환경을 악화시키지 않고 보존하면서 연안어장의 생산성 향상 또는 지속적인 이용을 위한 효율적인 관리방안이 요구된다.

이에 대한 지금까지의 가막만의 수산 및 환경정책을 위한 노력이나 학문적 접근방식은 물리, 환경, 어장, 생물, 경제적 측면으로 세분화되어 각각의 독자적인 평가 및 접근법을 보여 효율적 관리방안을 위한 자료의 생산과 해석 그리고 적용 등이 서로 통합되지 못하였다. 다시 말해 서로 다른 측정단위와 용어를 사용하고 유기적 관계와 상호작용을 간과함으로써 지금까지의 가막만 패류생산의 효율적 관리를 위한 노력이나 학문적 접근방식은 효과적이지 못하였다. 따라서 지금까지의 접근방식을 탈피하여 통합적 사고에 의하여 재편성함으로써 가막만의 패류 생산 활동에 기여하는 자연환경과 경제활동의 유기적 관계와 상호작용을 체계적으로 파악하고 정량적인 평가를 통해 해역 환경용량 산정을 통한 적절한 관리가 요구된다.

이에 대한 지금까지의 가막만 수산 및 환경정책

을 위한 노력이나 학문적 접근방식은 물리, 환경, 어장, 생물, 경제적 측면으로 세분화되어 각각의 독자적인 평가 및 접근법을 보여 효율적 관리방안을 위한 자료의 생산과 해석 그리고 적용등이 서로 통합되지 못하였다. 지금까지의 접근방식을 탈피하여 통합적 사고에 의하여 재편성함으로써 가막만의 패류 생산 활동에 기여하는 자연환경과 경제활동의 유기적 관계와 상호작용을 체계적으로 파악하고 정량적인 평가를 통해 이에 따른 관리방안 및 대안을 제시할 수 있는 적절한 방법과 연구가 필요한 실정이다. 강과 남은 환경정책을 결정할 때 기존의 방법과 비교를 위해 에머지 개념을 활용하여 종합적인 평가를 수행한바 있다.

본 연구에서는 자연생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정 뿐만 아니라, 인간과의 유기적 상호관계를 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 에머지 분석 통하여, 여수반도 남단에 위치한 가막만내의 굴을 비롯한 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도를 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 가막만 일반 현황

가막만은 청정해역으로 인정되나, 양식밀도의 증가와 육상기인오염원의 증가로 해양환경의 악화가 우려되고 있다. 육상과 해양의 통합관리 차원에서 가막만의 해양환경문제를 해결하려는 노력이 필요하며, 환경보전해역으로 지정된 가막만에 대하여 해역특성을 반영한 최적의 관리방안 마련이 필요한 상황이다. 또한 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 지역으로 미국 FDA의 패류수출지정구역으로 엄격한 관리가 요구되는 지역에 해당한다. 가막만내 FDA 지정해역은 만 중앙역부터 남측입구에 해당하며 이곳 대부분의 지역에서는 연승수하식 굴 양식이 이뤄진다(Fig. 1).

가막만은 평균 폭 9Km, 길이 15Km의 타원형 형태를 갖고 있으며, 만의 표면적이 112 Km², 해수용

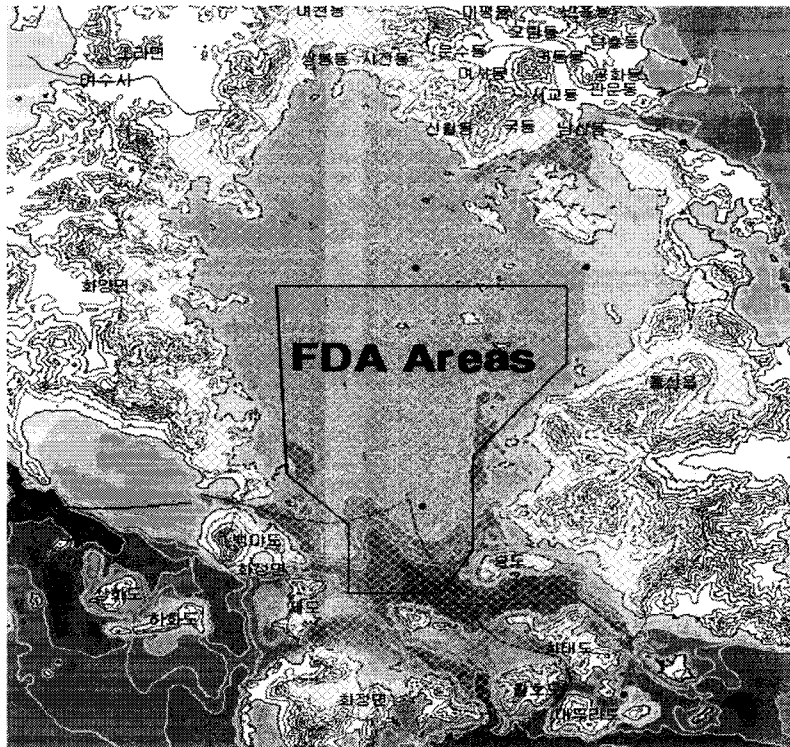


Fig. 1. Overview of research site near Gamak Bay (Shading area means specialized management area both land and ocean by marine environment by MOMAF).

적 $10.2 \times 10^8 \text{ m}^2$ 의 반폐쇄성 천해역에 해당한다. 가막만은 북동쪽의 여수항과 남쪽의 만 입구를 통해 해수의 출입이 이루어지며, 이 결과 만내에는 물리적 성질이 서로 다른 세 개의 수괴가 형성되는 것으로 밝혀바 있다. 또한, 가막만은 1일 2회의 창·낙조가 규칙적으로 발생하는 반일주조가 우세한 만이지만, 평균 수심이 10 m 미만으로 비교적 얕고, 만의 규모도 그다지 크지 않기 때문에 만내 흐름은 바람에 의한 영향을 강하게 받을 수 있는 해역으로 생각된다.

가막만 중앙부에서 남측 입구까지는 미국 식품의약품안전청(Food and Drug Administration, FDA)에서 지정한 패류양식 수출지정해역이다. 이런 FDA 해역을 통해서 매년 굴과 피조개, 바지락 등이 연간 5천 톤 이상 생산되어지고 있고, 이 가운데 2천 톤 가량이 미국으로 수출되고 있기에 수산물 안정성 및 적정 수용력 산정을 위한 노력이 요구되고 있다. 이런 FDA 해역 주변으로는 점원 및 비점 형태로 영

양염이 전달되어 지며, 만 상부 입구에는 하수처리장을 통해 매일 5만 톤 (시설량 11만 톤)의 유량이 방류되어 일부해역에 영향을 미치고 있다. 하지만, 에머지 분석 기준으로는 강과 하천을 통한 점오염원의 유입을 고려하고 있고, 하수처리장 본격 가동은 2006년 기준으로 진행되었기에 고려하지 않았다.

2.2. 에머지 평가

자연환경의 가치를 평가하는데 있어서 인간 경제 활동에 의한 지불의사를 기준으로 하게 되면 진정한 기여가치를 평가하는데 한계가 있다고 여겨, 에너지를 공통 화폐로 사용하여 가치를 평가하고자 하고자 했다²⁾. 본 연구에서 사용되는 에머지(EMERGY)는 “Energy Memory”로 줄여서 표현이 가능하며, 이는 자연환경의 서비스와 시장경제의 재화와 용역을 동일 관점에서 평가하고자 하는 시도에 해당한다. 이를 활용해 본 연구에서도 가막만 패류생산활동에 자연환경이 기여하는 가치와 인간의 경제활동이 기

여하는 가치를 동일한 기준 하에서 비교하고자 한다.

에너지원은 다량의 저급 에너지로부터 소량의 고급에너지로 전환되는 계층구조를 갖고 있고, 일을 할 수 있는 능력의 차이를 갖게 된다. 이런 보편적인 에너지원인 태양에너지를 기준으로 동일한 척도로 평가하기 위해 각기 다른 형태의 재화와 용역이 형성되기까지 직접 및 간접적으로 소모된 태양 에너지를 Solar Emergy라고 정의한다³⁾. 본 연구에서는 에머지의 단위인 sej (solar emjoule)을 사용하여 가막만 패류양식에 기여하는 각 시스템의 에너지를 비교하고자 하며, 동일한 척도를 사용하는 시스템이 전체 시스템에 기여하고 있는 가치를 평가하고자 한다.

연결망 구조를 가진 에너지 흐름은 에너지 변환이 수렴하는 계층구조를 이룬다. 에머지는 각 에너지원에 내재된 태양에너지에 대한 척도가 되며, 이런 계산을 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 Solar Transformity를 사용한다. Odum⁴⁾이 제안한 Transformity는 에너지 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다. 에너지는 저차에서 고차 생태계로 갈수록 수렴되며, Transformity가 증가됨에 따라 각 시스템의 전체 에너지는 보존되는 열역학 법칙을 만족한다.

에너지시스템 언어는 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. 본 연구에서 에너지 시스템 다이어그램의 작성과정은 아래 5단계를 거쳐서 이뤄졌다.

1단계에서는 평가대상 시스템의 경계를 정하여야 한다. 가막만, 환경관리해역은 비교적 물리적 경계가 뚜렷하다. 본 연구는 가막만 전체 영역에 대해서 에머지 분석을 하게 되며, 가막만내 위치한 FDA 지정해역에 초점을 둔 연구를 수행했다. 환경회계시 사용하는 채묘비 삭감을 위해서 경남 하동지역을 언급하지만, 궁극적으로 시스템 바운더리는 가막만에 한한다.

2단계는 시스템의 경계 외부에서 대상 시스템에 영향을 미치는 모든 요소들을 파악한다. 여기에는 시스템에 유입하는 모든 에너지와 물질이 포함된다. 즉, 자연적인 요소로는 태양, 강우, 바람, 조석, 해류를 비롯해서 연료, 전기, 상품, 용역처럼 외부에서 구입한 인위적 요소를 포함한다. 본 연구에서 가막만내 자연환경의 내재적인 요인들을 고려하지 않았기에, 재생 불가능한 에너지원은 없는 것으로 가정하였다.

3단계는 평가대상 시스템의 내부에 있는 주요 구성요소를 파악하는 단계이다. 가막만에 대해서 분석된 결과를 토대로 주요한 에너지원, 구성 에너지원간의 관계파악등을 수행한다. 본 연구에서는 외부에너지원에 대해서는 노란색으로 구분하고, 자산과 재화의 변동같은 시스템 내부의 에너지원의 흐름은 파란색으로 나눴다.

4단계에서는 이들 구성요소와 외부 에너지원을 연결하는 주요 흐름을 파악한다.

5단계에서는 에너지시스템 언어의 규칙에 따라 외부 에너지원과 내부 구성요소를 적절한 위치에 배치하고 이들을 연결함으로써 에너지 시스템 다이어그램을 완성한다. 에너지시스템 다이어그램을 작성할 때는 기호사이의 연결 관계가 열역학 기본 법칙을 만족하는지 점검한다.

에머지는 에너지 계층구조의 각 단계에서 실질적인 가치를 평가하는 수단이다. 효율적인 일반 시스템에서 생산되어진 상품이나 용역의 에머지는 이용된 에너지에 대한 가치평가를 할 수 있는 척도가 될 수 있으며, 실질적인 기여도에 대한 평가수단도 가능하다. 에머지는 자연환경활동 뿐만 아니라 인간 경제활동에 대한 가치의 척도를 다루는 도구로서 사용되어지며, 이는 경제활동에서 언급되는 국민총생산 (GNP), 미국 경제 지표 (DOW JONES)가 현상과 경향을 설명하듯이, 에머지는 에너지 시스템을 평가하는 도구 (Tool) 로서 이용된다.

에머지는 주어진 자원에 현재 남아 있는 에너지 뿐만 아니라 과거에 사용된 모든 에너지까지 모두 포함하는 개념으로 주요 에너지원은 재생 가능한 자연환경 에너지원(R), 재생 불가능한 보유자원(N),

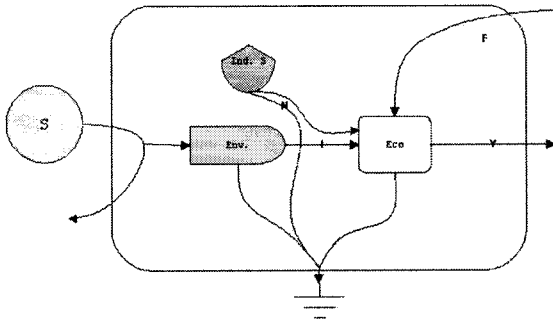


Fig. 2. EMERGY based indices, accounting for renewable EMERGY flow(I), flow from indigenous non-renewable reserves(N), purchased inputs from outside the system(F), and yield from system(Y).

$$EYR (Emergy Yield Ratio) = \frac{Y}{F}$$

$$EIR (Emergy Investment Ratio) = \frac{F}{(I + N)}$$

$$ELR (Environmental Loading Ratio) = \frac{(N + F)}{I}$$

$$SI (= EmSI, Sustainability Index) = \frac{EYR}{ELR}$$

상품과 재화를 통한 외부로부터 유입된 에너지원 (F)으로 구분된다. 주요 에머지 지수는 전체에머지 양에 대한 자연환경 에너지원의 점유율(%Renew), 대상 시스템의 효율성 및 생산성을 나타내는 에너지산출비율(EYR), 대상 시스템내에서 이루어지고 있는 인간활동이 자연환경에 미치는 영향의 정도를 나타내는 환경부하비율(ELR), 주어진 경제활동이 외부 자원을 이용하는데 얼마나 경제적인가를 나타내는 에머지 투자비율(EIR), 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 얼마나 지속가능한지 나타내는 지속성지수(EmSI)를 사용하였다(Fig. 2).

3. 결과 및 고찰

3.1. 가막만 패류양식에 대한 시스템 분석

굴양식을 포함한 가막만의 패류양식은 인간활동의 경제적인 요인과 자연환경적인 요인이 결합한 시스템으로서, 시스템 분석을 위해서는 자연환경에 의한 환경적인 경계와 어장관리에 의한 경제적인 경계로 구분하여 시스템 경계를 설정하였다. 본 연구의 시간적인 경계는 굴 채도시기인 2004년 봄부터 판매 유통이 완료되는 2005년 봄까지이다. 이 경우 자료의 특성상 2004년의 통계자료를 사용해야 하는

경우가 대부분이며, 굴 통계자료 등을 위해서는 2005년의 자료를 모두 포함해야 한다.

본 연구에서는 평가대상 시스템의 경계 설정을 위해 2004년 봄부터 2005년 봄까지를 기준으로 하여 가막만 1.54 E+08 m²를 대상 지역 시스템의 경계로 설정하였다. Fig. 3은 가막만내의 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경과 경제활동의 상호관계를 포괄적으로 나타낸 에너지 시스템 다이어그램이다. 시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 조석, 파도, 강수와 같은 영속성 에너지원이 유입되며, 패류양식활동을 위한 연료, 노동력 및 각종 재화와 용역이 투입되어진다.

시스템 외부로부터 유입되는 자연환경에너지원 (Sun, Wind, Wave, Tide, Rain, River)을 이용하여 시스템내 저장활동 (CO₂, Nitrogen, Phosphate, Kinetic Energy, Freshwater)을 거쳐, 생산자인 식물플랑크톤 (Phytoplankton)이 성장하며, 패류 양식 (Shellfish Aquaculture)의 특성상 패각 (Shell Reef)을 활용하여, 유생(Larvae) 채묘를 통해서 수확식 굴 성장이 이뤄진다. 이러한 패류양식활동 (Fishing)이 이뤄지고, 이를 통해 성장한 굴양식량은 연료와 재화와 용역 (Fuel, Labor, G&S)을 투입한 활동을 통해서 시장 (Market)에 판매되어진다.

3.2. 가막만 패류양식에 대한 에머지 분석

에너지 시스템 다이어그램을 바탕으로 한 가막만 패류양식에 대한 에머지 분석 결과는 아래 표의 결과와 같다. 먼저, 가막만의 자연환경과 경제활동을 유지하는 외부의 주요 에너지원이 가지는 실질적인 에너지(J/yr), 물질(G/yr), 또는 화폐(₩/yr) 단위의 값을 각종 통계자료 및 문헌 등을 통해 산정하여, 주요 에너지원이 가지는 실질적인 값에 태양에너지 변환도를 곱하여 에머지 값을 산정하였다.

가막만 패류생산활동에 기여하는 자연환경에너지원은 태양, 바람, 강우, 조석, 파도, 하천 등 6가지로 구분하여 계산하였다. 자연환경에서 기인한 에너지원의 경우 해양의 조석(1.40E+20 sej/yr)이 가장 높은 비율을 나타내었으며, 강우시 육상으로부터 유입(3.37 E+19 sej/yr), 하천(1.91 E+19 sej/yr), 바람(1.06E+19 sej/yr), 태양(4.58E+17 sej/yr)의 순으로 실질적인 기여도가 평가되었다 (Table 1).

외부로부터 유입된 구매자원으로는 연료, 노동

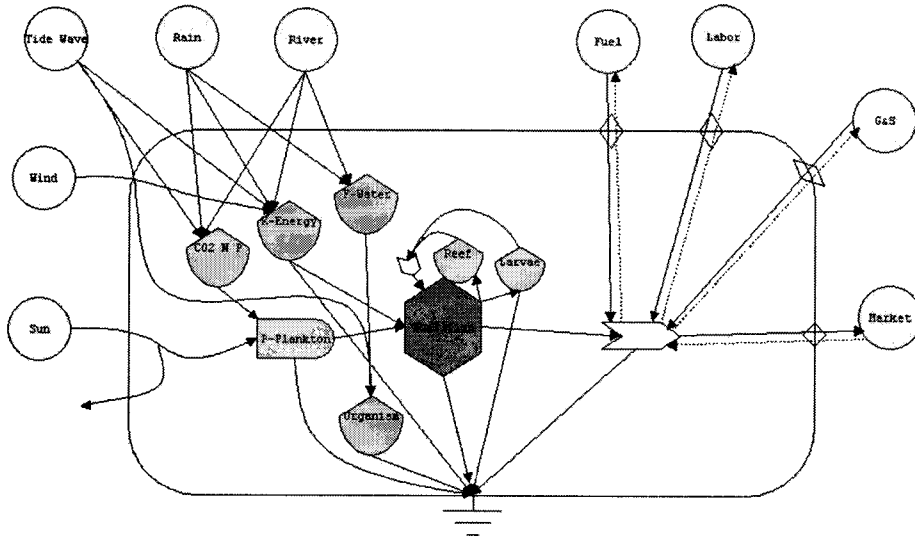


Fig. 3. Energy systems diagram using EMERGY simulator with system diagram language of shellfish aquaculture in Gamak Bay.

Table 1. EMERGY evaluation of resources bases for shellfish aquaculture in Gamak Bay

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	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] Odum et al.⁵⁾, [b] Brown and Bard⁶⁾, [c] Shin⁷⁾ and [d] Eum et al.⁸⁾. Transformities referred to Eum et al.⁸⁾ 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.)

력, 종묘비, 재화와 용역으로 나누어 평가되었다. 패류 양식 활동을 위한 선박의 유류사용(2.17 E+18

sej/yr)보다 재화와 용역에 의한 기여도(3.54 E+19 sej/yr)가 높게 나오고 있다(Fig. 4.). 이는 김 등⁹⁾에

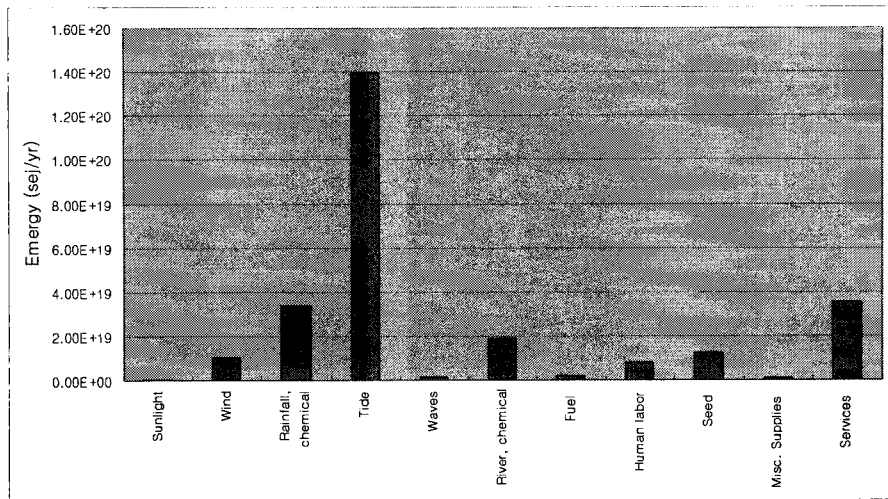


Fig. 4. EMERGY signature of renewable and purchased inputs energy sources in shellfish aquaculture in Gamak Bay.

의한 넙치양식에서 유류사용비용이 재화와 용역의 비용보다 높았던 것과 상반되는 형태의 양식특성을 반영하고 있다. 반면, 굴 양식의 특성상 종묘비로 분류되는 채묘활동의 경우에 선박에 중패를 싣고 유생이 대량 분포하는 지역에서 이뤄져야 하기에 이를 찾아 이동하는데 비용이 상당히 많이 투입되고 있는 실정이다. 이는 엄 등⁸⁾에 의한 살포식 패류양식장인 득량만 해역에서 이뤄지고 있는 것보다 높은 값이며, 이는 가막만의 수하식 양식업과 득량만의 살포식 패류양식법에 있어서 차이를 반영한 것이다.

가막만은 자연환경으로부터의 유입이 전체에너지원의 76%를 차지하고 있고, 주경제로부터의 유입은 34%로서 자연환경자원에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 보이고 있다. 이는 엄 등의 득량만 꼬막 양식에서 자연자원에의 의존도가 78%이었던 것에 비해서는 덜 영향 받고 있고, 이는 주경제로부터 수하식 굴 생산 등에 필요한 종묘비, 수하연 설치, 선박이용등을 활용하기 때문으로 여겨진다.

그리고, 각 에너지원을 영속성 에너지, 비영속성 에너지, 그리고 재화와 용역으로 구분할 경우에 자원으로부터의 영속성 에너지원의 경우 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제한 비율은 76%, 내부 보유자원의 비영속성 에너지원은 고려하지 않았으며, 시스템 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원은

1%, 재화와 용역은 23%의 기여를 나타냈다.

3.3. 에머지 지표에 의한 가막만 양식 활동의 지속성 평가

에머지 분석값을 기초로 가막만 패류양식활동에 대한 시스템 특성을 평가하고 특성을 파악하기 위해 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제한 조석의 유입량, 강수의 화학에너지, 및 하천을 영속성 에너지원(R)로 구분하고, 화석연료 사용량(F), 어업활동에 소요된 노동 및 각종 재화와 용역(PI)을 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원(K=F+PI)로 구분하여 이를 바탕으로 한 에머지 지수(EMERGY indices) 산정 및 기존 평가와의 EMERGY 지표를 비교한 결과는 Table 2와 같다. 전체에머지 양에 대한 자연환경 에너지원의 점유율(%Renew)은 76.5%로 엄 등⁸⁾에 의한 득량만 패류양식에 대한 영속성 에너지원의 점유율(78.0%) 보다는 다소 낮고, 김 등⁹⁾에 의한 넙치 양식(2.2%)보다는 월등히 높다. 국내에서 수산물 개체에 대한 에머지 분석은 넙치와 득량만 꼬막에 대해서 이뤄졌기에 이에 대한 비교를 수행했으며, 넙치 양식은 양식의 형태가 가막만 패류와 차이가 나기에 상대적인 비교는 무리가 있다.

대상 시스템의 효율성 및 생산성을 나타내는 에너지산출비율(EYR)은 각 에너지원이 생산되기 까지 이용된 에머지 양에 대해 생산된 에머지의 비로서 계산되는데, 1차 에너지원의 경우에는 EYR

Table 2. Comparison of emergy indices of shellfish aquaculture in Gamak bay and other aquacultures (arkshell: Eum et al.⁸⁾, olive flounder: Kim et al.⁹⁾)

Name of index	Expression	Quantity (sej/yr)		
		Arkshell	Olive flounder	GB (shellfish)
Renewable EMERGY flow	R	5.46 E19	9.59 E16	1.92 E20
Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.51 E19	4.26 E18	5.90 E19
Total EMERGY inflows	R+K	6.97 E19	4.35 E18	2.51 E20
Total EMERGY used	U=R+K	6.97 E19	4.35 E18	2.51 E20
Renewability (% Renew)	R/U	78	2.2	76.53
EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	4.63	1.02	4.26
Environmental loading ratio (ELR)	K/R	0.28	44.41	0.31
EMERGY investment ratio (EIR)				0.31
Sustainability index (EmSI)	EYR/ELR	16.50	0.02	13.89

이 5이상이며, 2차 에너지원의 경우에는 2에서 5의 범위를 가진다. 가막만의 경우에는 EYR이 4.26으로 가막만 유역의 자원 생산의 시스템에서 비교적 효율적인 기여를 하는 것으로 평가되며, 이는 업 등에 의한 득량만 꼬막 양식의 효율보다는 다소 낮으나, 경제활동에 의존도가 높은 넙치 양식에 비해서는 상당히 높은 값으로 평가되었다 (Table 2).

주어진 경제활동이 외부 자원을 이용하는데 얼마나 경제적인가를 나타내는 에머지 투자비율(EIR)은 생산활동의 경제적인 경쟁력과 자연환경에 의한 개발강도를 나타내는데, EIR이 클수록 단위 내부 에머지당 외부 에머지의 양이 증가한다. 따라서 주어진 경제활동이 경쟁력을 가지기 위해서는 대안들의 EIR과 유사하거나 적어야 한다. 또한 EIR은 개발의 강도를 간접적으로 나타내는데, EIR이 클수록 개발의 강도가 높다고 볼 수 있다. 가막만 패류양식에 대한 EIR은 0.31로 평가되었으며 이는 득량만의 0.28보다 높은 값을 보이고, 한국의 넙치양식 44.41 보다는 낮은 값을 보인다.

환경부하비(ELR)는 인간의 경제활동이 자연환경에 미치는 압력(스트레스)을 나타내기 위한 지수로, ELR이 낮을수록 인간의 경제활동이 자연환경에 미치는 영향이 적고, ELR이 높을수록 주어진 경제활동이 주위환경에 미칠 잠재적 영향이 크다는 것을 의미한다. Brown과 Ulgiati¹⁰⁾ 환경부하비의 3과 10을 기준으로 그 영향의 판단범위를 제시하고 있는데, 가막만내 패류양식에 대한 ELR은 0.31로, 가막만내에서 패류양식을 위해 이루어지고 있는 경제활동이 자연환경에 미치는 영향과 부정적인 부담이 작

다는 것을 알 수 있다.

에머지 지속성 지수(EmSI)는 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 대상 시스템이 얼마나 지속 가능할지를 나타내는 지수로, 지속성 지수가 작을수록 재생 불가능한 에너지의 사용량이 많고, 외부에서 구입한 에너지와 물질에 대한 의존도가 높으며, 환경에 주는 스트레스가 높다. 그 값은 1보다 작으면 지속성이 적은 시스템이고, 10보다 클 경우에는 지속성이 높은 시스템이며, 1에서 10사이의 경우에는 지속성이 중간정도인 시스템임을 반영한다. 가막만내 패류양식의 경우 EmSI가 13.89으로 생산의 지속성이 높게 평가되었고, 이는 넙치 양식 0.02에 비해서는 높으나, 득량만의 패류양식(16.50) 보다는 낮게 평가되었다. 이를 통해 가막만의 패류 양식은 현재와 같은 상태가 유지된다면 가막만의 굴 양식은 외부 변동요인에 따라 지속성이 변할 가능성이 낮다고 여겨진다.

3.4. 가막만 FDA 패류 수출지역의 에머지 분석

가막만내 FDA 해역에 대해 에머지 분석한 결과를 살펴보면 태양에너지로부터 1.05 E+17 sej/yr, 바람으로부터 2.43 E+18 sej/yr, 비로부터 7.76 E+18 sej/yr, 해양의 조석으로부터 3.22 E+19 sej/yr, 강과 하천으로부터 8.22 E+18 sej/yr가 유입되고 있다. 외부로부터 유입되는 구매자원으로는 연료 1.25 E+18 sej/yr, 노동력 4.53 E+18 sej/yr, 종묘비 3.12 E+18 sej/yr, 재화와 용역 8.84 E+18으로 평가되었다 (Table 3).

가막만 미국 FDA 패류 수출 지정해역의 경우 양식 생산 활동을 위해 필요한 에너지원을 자연환경

Table 3. EMERGY evaluation of resource basis for shellfish in FDA designated area

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	1.05E+17	J	1	[a]	1.05E+17	8.50E+04
2	Wind	9.92E+14	J	2.45E+03	[a]	2.43E+18	1.96E+06
3	Rainfall, chemical	2.54E+14	J	3.05E+04	[a]	7.76E+18	6.25E+06
4	Tide	4.35E+14	J	7.39E+04	[a]	3.22E+19	2.59E+07
5	Waves	7.66E+13	J	5.10E+04	[a]	3.91E+18	3.15E+06
6	River chemical potential	1.02E+14	J	8.10E+04	[a]	8.22E+18	6.63E+06 4.40E+07
PURCHASED INPUTS							
7	Fuel	2.35E+13	J	5.30E+04	[b]	1.25E+18	1.01E+06
8	Human labor	3.65E+12	J	1.24E+06	[b]	4.53E+18	3.65E+06
9	Seed	1.48E+09	₩	2.10E+09	[c]	3.12E+18	2.51E+06
10	Msc. supplies	2.55E+08	₩	2.10E+09	[c]	5.36E+17	4.32E+05
11	Services	4.21E+09	₩	2.10E+09	[c]	8.84E+18	7.13E+06 1.47E+07
PRODUCTION							
	Oyster	1.84E+13	J	3.29E+06	[d]	6.07E+19	4.89E+07
	Little neck clam	1.42E+11	J	3.29E+06	[d]	4.69E+17	3.78E+05
	Ark shell	1.31E+12	J	3.29E+06	[d]	4.30E+18	3.47E+06
	Hard shelled mussel	2.89E+11	J	3.29E+06	[d]	9.51E+17	7.67E+05 5.35E+07
12	Total Shellfish produced	2.02E+13	J	3.29E+06	[d]	6.64E+19	5.35E+07

(References for Transformity [a] Odum et al.^{5), [b] Brown and Bardi^{6), [c] Shin^{7), and [d] this study)}}}

자원으로부터의 영속성 자연환경 에너지원(R), 비영속성 에너지원인 화석연료(F) 및 재화와 용역(PI)으로 구분할 경우, 자연환경 자원으로부터의 영속성 에너지원의 에머지 점유율은 73%, 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원인 화석연료와 재화와 용역의 경우 37%의 기여를 나타내어, 가막만내 패류양식 생산 활동을 위해 외부로부터의 화석연료 및 재화와 용역에 의존하기 보다는 자원 환경에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 나타내고 있는 것으로 평가되었다.

FDA 지정해역으로 들어오는 총 에머지는 6.64 E19 sej/yr 로 가막만에 비해 27% 를 차지하고 있으나 외부로부터 구매되는 유입자원의 비율은 1.83 E19 sej/yr 로 31%로 평가되었다. 이는 FDA 해역에 많은 어업인이 집중적으로 어업활동을 수행하고 있으며, 양식업을 위해 투여되는 재화와 용역이 가막

만의 평균적인 어업활동보다 많기 때문에 여겨진다 (Fig. 5., Table 4).

FDA 지정해역에 대한 Energy yield ratio는 3.64로

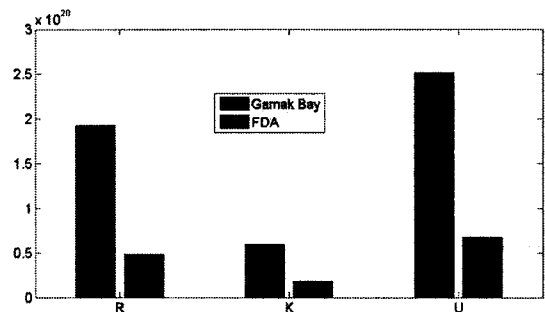


Fig. 5. Comparison of Emergy with R(renewable sources), K(purchased inputs), and U(total energy) between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar).

Table 4. EMERGY comparison between Gamak Bay and FDA designated area

Item	Name of index	Expression	Quantity(GB)	Quantity(FDA)	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	1.92E+20	4.81E+19sej/yr	
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	5.90E+19	1.83E+19sej/yr	
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	2.51E+20	6.64E+19sej/yr	
4	Total EMERGY used, U	U=R+F+PI	2.51E+20	6.64E+19sej/yr	
5	% Renew	(R/U)*100	76.53	72.49	
6	EMERGY yield ratio (EYR)	U/K	4.26	3.64	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.31	0.38	
8	Environmental loading ratio (ELR)	K/R	0.31	0.38	
9	SI	EYR/ELR	13.89	9.58	

이는 가막만 FDA 지정해역의 패류양식업이 경제활동으로부터 투입된 에너지의 3.64배만큼 전체 에머지를 얻을 수 있는 자원으로서의 가치를 가진다. 생산비의 경우 가막만에서는 4.26을 나타낸 것에 비해서 효율성은 다소 떨어지는 것으로 나타났다. EIR 0.38은 경제활동으로부터 에너지를 투입시키면 약 2.6배 (가막만 전체 유역 평균은 3.1배) 에 해당하는 에너지를 자연환경에서 얻을 수 있음을 의미한다.

단위면적당 에머지 사용량(EMERGY use per unit area)은 대상 시스템에서 일정기간 사용한 총 에머지량을 시스템의 전체 면적으로 나눈 값으로, 에머지 밀도(empower density, sej/m²)라고도 하며, 이는 평가대상 경제시스템의 공간적 집중정도, 즉 경제활동 강도를 나타낸다. FDA 지정해역에 대한 단위면적당 에머지 사용량은 1.87 E12 sej/m²/yr로, 가막만 전체에 대한 단위면적당 에머지 사용량인 1.63 E12 sej/m²/yr에 보다 높은 값을 나타내어 FDA 해역에 대해서 단위면적당 많은 경제활동이 집중되고 있는 것으로 평가되었다 (Fig. 6).

지속성 지수는 FDA 해역에 대해서 9.58로 나타나서 가막만의 13.8에 비해서 4정도 낮아진 값을 보이고 있고, 이는 FDA 지정 해역이 생산의 지속성이 낮게 평가되는 것으로 여겨지며, 외부로부터 투입되는 재화와 용역에 대해서 반응을 크게 나타냄을 의미한다 (Fig. 7).

3.5. 가막만과 FDA 해역의 환경용량

본 연구에서 가막만과 FDA 해역의 환경용량을 산정하기 위해서 현재 환경 조건하에서 굴생산의 최대지속가능생산량(maximum sustainable yield)을

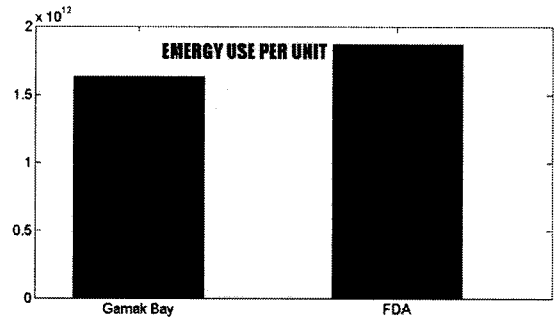


Fig. 6. Comparison of EMERGY use per unit area between Gamak Bay and FDA designated area.

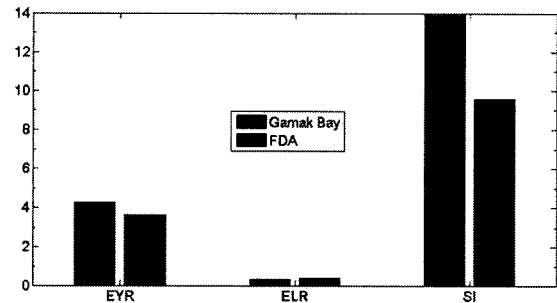


Fig. 7. Comparison EMERGY indices with EYR, ELR, and SI between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar).

산정하고자 했다. 이를 위해 가막만 지역에 유입되는 자연환경에 의한 영속성 에너지를 에머지로 계산하고, 현재 생산되는 수산물의 생체량을 에머지로 계산한 뒤, 에머지 구성비를 구했다. 에머지 분석을 통해 계산된 자연환경에 의한 영속성에너지의 에머지량을 현재 에머지 구성비로 나눈 뒤, 나누어

진 에머지량을 생물량으로 환산하여 환경용량을 산정하였다.

자연환경으로부터 유입된 에머지량이 모두 현재의 에머지 생산비대로 생산이 된다면 가막만 패류양식은 현재의 연간 8300톤 보다 2천 톤 이상 많은 10,845톤이 생산 가능한 것으로 나타났다. 이를 FDA 해역에 적용하게 되면 현재 5500톤 보다 2천 톤 많게 생산이 가능하며, 가리비, 피조개, 홍합역시 상당한 양의 생산이 더 이뤄질 수 있음을 의미한다 (Fig. 8.). 매해 FDA 지정해역에서 생산되는 패류종류는 시설량에 따라 큰 차이를 나타내나, 최근 가리비 양식은 거의 이뤄지고 있지 않으며, 홍합은 일부 생산되나 대부분은 FDA 지정해역이 아닌 가막만 북서내만역에서 생산이 이뤄지고, 피조개는 종패의 투입장소 및 물량에 따라 큰 차이를 나타낸다. 즉, FDA 해역 대부분은 굴 양식으로 이뤄진다고 볼 수 있기에, 최대 굴 양식 생산이 증가할 수 있음을 의미한다. 시스템내에서 영속성 자연자원의 비가 높아질수록 최대 수용력에 도달하기가 용이했음을 확인 가능하다. 이는 조 등¹¹⁾은 1994년 굴 생산량을 4500여 톤으로 산정한 뒤, 가막만 전 해역에서 식물플랑크톤 생산량은 탄소량으로 변환한 뒤, 이 양이 전부 알굴로 전환된다는 가정 하에 연간 최대 알굴 생산가능량은 15,443톤이 된다고 밝힌바 있다.

본 연구에서 나타난 실제 패류생산량이 적은 원인으로서는 최대생산량을 보였던 1980년대 후반의 시설대수 25,000여대보다는 적은 현재는 10,000~14,000여대의 수준으로 훨씬 줄어들었음을 알 수 있다. 반면, 시설대수당 생산량 역시 적게 나타나고 있어, 이

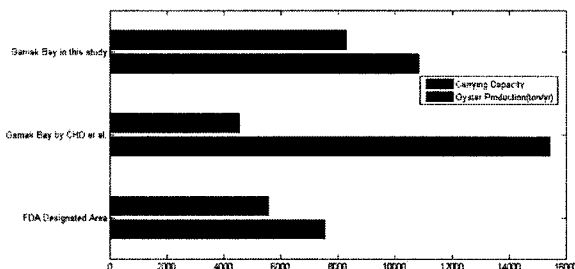


Fig. 8. Comparison of between present production and carrying capacity of shellfish (above) and previous research result (Cho et al.¹¹⁾, middle) in Gamak Bay and FDA area (below).

것을 고려한다면 향후 가막만의 패류생산량은 환경용량까지 자연환경에너지원을 이용한 패류양식의 생산여지가 남아있는 것으로 사료된다.

가막만 해양환경은 해마다 같을 수 없으며, 환경여건이 변함에 따라 환경용량 역시 변하게 된다. 본 연구의 환경용량 추정치는 계산에 사용된 기준 해의 생산량과 자연 자원을 기초로 하여 추정된 값이다. 즉, 연구기간동안 굴 생산량과 시설대수 변화에 따라 환경용량 자료는 변화할 수 밖에 없어 보편적인 값이라고 여기기에는 무리가 있다¹²⁾.

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 가막만내의 굴을 비롯한 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도를 평가하고, 이를 통해 패류양식 생산의 지속성을 평가하였다.

가막만내의 굴을 비롯한 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도를 평가하기 위한 에머지 분석 결과, 가막만 패류생산활동에 기여하는 자연환경에너지원의 경우 조석(1.40E+20 sej/yr)이 가장 높은 비율을 나타내었으며, 강우시 육상의 부하량을 통한 유입(3.37 E+19 sej/yr), 하천(1.91 E+19 sej/yr), 바람(1.06E+19 sej/yr), 태양(4.58E+17 sej/yr)의 순으로 실질적인 기여도가 평가되었다. 외부로부터 유입된 자원으로는 양식활동을 위한 재화와 용역에 의한 기여도(3.54 E+19 sej/yr) 및 유류사용(2.17 E+18 sej/yr)의 기여도가 높게 평가되었다.

대상 시스템의 효율성 및 생산성을 나타내는 에너지산출비율(EYR)은 4.26으로 가막만 유역의 자원생산의 시스템에서 비교적 효율적인 기여를 하는 것으로 평가되었으며, 가막만내 패류양식에 대한 환경부하비(ELR)는 0.3으로, 가막만내에서 패류양식을 위해 이루어지고 있는 경제활동이 자연환경에 미치는 영향과 부정적인 부담이 적게 평가되어, 결과적으로 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에

서 대상 시스템이 얼마나 지속가능할지를 나타내는 지수인 가막만내 패류양식의 경우 에머지 지속성 지수(EmSI)는 13.8로 생산의 지속성이 높게 평가되었다.

에머지 분석을 통해 계산된 자연환경에 의한 영속성 에너지의 에머지량을 현재 에머지 구성비로 나눈 뒤, 나누어진 에머지량을 생물량으로 환산하여 굴의 최대 생산량인 가막만의 환경용량을 산정하였다. 이를 통해 가막만 패류양식은 자연환경으로부터 유입된 에머지량이 모두 현재의 에머지 생산비대로 생산이 된다면 현재 연간 패류 생산량 8300톤 보다 2천톤 이상 많은 10845톤이 생산 가능할 것으로 나타났으며, 이를 FDA 해역에 적용하게 되면 현재 5500톤보다 많은 7500여톤이 생산이 가능함을 밝혔다. 이를 통해 가막만의 패류생산량은 환경용량에 미치지 못하는 적은 생산량을 보이는 것으로 알 수 있다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 1) 백상호, 1998, 판별함수에 의한 진해만 적조발생의 예찰수법, 석사 학위논문, 여수대학교, 여수.
- 2) Odum H. T., 1996, Environmental Accounting, Energy and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons, New York, 294-303.
- 3) Odum H. T., 1988, Self organization, transformity and information, Science, 242, 1132-1139.
- 4) Odum H. T., 1983, System Ecology: An Introduction, John Wiley & Sons International Rights, Inc., 10-25.
- 5) Odum H. T., 2001, Emergy evaluation of salmon pen culture, University of Florida Press, 110-125.
- 6) 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.
- 7) 신봉균, 2007, 하수슬러지의 처분에 대한 생태경제성 평가, 석사학위논문, 부경대학교, 부산
- 8) 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, Emergy 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정, 한국환경과학회지, 29(5), 629-636.
- 9) 김남국, 2001, 시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치 생산의 지속성 평가, 석사학위 논문, 부경대학교, 부산.
- 10) Brown M. T., Ulgiati S., 2001, Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments, Population & Environment, 22(5), 471-501.
- 11) 조은일, 박청길, 이석모, 1996, 가막만의 환경용량 산정 (I) - 생태계 모델을 이용한 기초생산력 산정, 한국수산학회지, 29(3), 369-385.
- 12) 박영철, 최광식, 2002, 가막만 양식 참굴의 성장과 환경용량 추정에 대한 연구, 한국 환경생물학회, 20(4), 378-385.

1) 백상호, 1998, 판별함수에 의한 진해만 적조발생의

Appendix 1. Footnote on Table 1.

RENEWABLE RESOURCES		
1	Sunlight	
	Fisheries Area =	1.54E+08 m ² 국립수산진흥원, 1993
	Insolation =	4.24E+09 J/m ² /yr 기상청, 2003
	Albedo =	0.3 (% given as decimal)
	Energy(J) = (Fisheries area)(average insolation)(1-albedo)	
		= (1.54E08 m ²)(4.23E9 J/m ² /yr)(1-0.3)
		= 4.58E+17 J/yr
2	Wind	
	Fisheries Area =	1.54E+08 m ²
	Density of Air =	1.30 kg/m ³
	Avg. annual wind velocity =	4.40 m/sec 기상청, 2004
	Geostrophic wind =	8.80 m/sec 이필호, 1987
	Drag Coefficient =	1.00E-03 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
	Energy(J) = (area)(air density)(drag coefficient)(velocity ³)	
		= (1.54 E108 m ²)(1.3 kg/m ³)(1.00 E-3)(8.8 m/sec) ³ (3.15 E07 sec/yr)
		= 4.31E+15 J/yr
3	Rainfall, chemical potential	
	Fisheries Area =	1.54E+08 m ²
	Rainfall =	1.45 m/yr 기상청, 2004
	Gibbs free energy =	4.94 J/g
	Energy(J) = (area)(rainfall)(Gibbs free energy)	
		= (1.54E08 m ²)(1.91 m/yr)(1E6 g/m ³)(4.94 J/g)
		= 1.10E+15 J/yr
4	Tide	
	Fisheries Area =	1.54E+08 m ²
	Avg. Tide Range =	1.83 m 국립해양조사원, 2004
	Density =	1.03E+03 kg/m ³
	Tides/year =	7.30E+02 estm. of 2 tides/day in 365 days
	Energy(J) = (Area)(0.5)(tides/yr)(mean tidal range) ² (density)(gravity)	
		= (1.54 E08 m ²)(0.5)(730/yr)(1.83 m) ² (1.03 E03 kg/m ³)(9.8 m/sec ²)
		= 1.89E+15 J/yr
5	Waves	
	Shore length =	8.46E+04 m
	Wave height =	0.55 m
	Density =	1.03E+03 kg/m ³
	Energy(J) = (shore length)(1/8)(density)(gravity)(wave height ²)(velocity)	
		= (8.46 E04 m)(1/8)(1.03 E3 kg/m ³)(9.8 m/sec ²)(0.55 m) ² (0.025 m/sec)(3.15E7 sec/yr)
		= 2.53E+13 J/yr
6	River chemical Potential	
	River chemical energy =	750 TDS.
	Gibbs free energy relative to sea water =	138.8*ln((1E6-750)/965000) = 4.48J/g
	Coastal river discharges =	5.27E+07 m ³ /yr 이대인 등, 2002
	Energy(J) = (4.48 J/g)(1E6 g/m ³)(5.27E07 m ³ /yr)	
		= 2.36E+14 J/yr
PURCHASED INPUTS		
7	Fuel	
	Fuel used for fishery production =	3.76E+05 won/households/yr 해양수산부, 2007
	Fishery Households =	4,445 households 여수시청, 2004
	Energy conversion factor =	8.00E+03 kcal/L 산업자원부, 2006
	Fuel price =	1.37E+03 won/L 산업자원부, 2006
	Energy(J) = (Fuel used)(Energy conversion factor)(Fuel price)(4186J/kcal)	
		= (1.67 E09 won/yr)(8000 kcal/l)(1L/1,365.3 won)(4186J/kcal)
		= 4.10E+13 J/yr

Appendix 1. (continued)

8	Human labor		
	Labor for fishery production =	3.29E+03 hr/yr	estm. of 9 hr/day
	Kcal consumed =	2.50E+03 kcal/day	
	Energy(J) =	$(3.29 \text{ E}03 \text{ hr/yr})(2500\text{kcal/day})(1 \text{ day}/24\text{hr})(4186\text{J/kcal})(\text{Household})$	
	=	6.37E+12 J/yr	
9	Seed		
	Consumption (Avg. per Household) =	1.34E+06 won/households/yr	
	Fishery Households =	4,445 households	여수시청, 2004
	Seed for fishery production =	5.94E+09 won/yr	
10	Misc. Supplies		
	Misc. Supplies (Average per Household) =	1.15E+05 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	4,445 households	여수시청, 2004
	Misc. Supplies for fishery production =	5.11E+08 won/yr	
11	Services		
	Services (Average per Household) =	3.79E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	4,445 households	여수시청, 2004
	Services for fishery production =	1.69E+10 won/yr	
	OUTPUT		
12	Fishes	8.92E+04 M/T	농촌진흥청, 2006
	Energy(J)=	$(89155 \text{ ton/yr})(1\text{E}6 \text{ g/ton})(103\text{Kcal}/100\text{g})(4186\text{J}/\text{Kcal})$	
		3.84E+14 J/yr	
13	Crustaceans	1.97E+03 M/T	
	Energy(J)=	$(1970 \text{ ton/yr})(1\text{E}6 \text{ g/ton})(95.2\text{Kcal}/100\text{g})(4186\text{J}/\text{Kcal})$	
		7.84E+12 J/yr	
14	Shellfish	8300 M/T	
	Energy(J)=	$(8300 \text{ ton/yr})(1\text{E}6 \text{ g/ton})(88\text{kcal}/100\text{g})(4186\text{J}/\text{Kcal})$	
		3.06E+13 J/yr	
15	Seaweeds	430 M/T	
	Energy(J)=	$(430 \text{ ton/yr})(1\text{E}6 \text{ g/ton})(26.3 \text{ Kcal}/100\text{g})(4186 \text{ J}/\text{Kcal})$	
		4.73E+10 J/yr	
16	Total production		
	Total production =	4.23E+14 J/yr	

Appendix. 2. Footnote on Table 3.

RENEWABLE RESOURCES		
1	Sunlight	
	Fisheries Area =	3.55E+07 m ²
	Insolation =	4.24E+09 J/m ² /yr
	Albedo =	0.3 (% given as decimal)
	Energy(J) = (Fisheries area)(average insolation)(1-albedo)	
		= (1.54E08 m ²)(4.23E9 J/m ² /yr)(1-0.3)
		= 1.05E+17 J/yr
		국립수산진흥원, 1993 기상청, 2003
2	Wind	
	Fisheries Area =	3.55E+07 m ²
	Density of Air =	1.30 kg/m ³
	Avg. annual wind velocity =	4.40 m/sec
	Geostrophic wind =	8.80 m/sec
	Drag Coefficient =	1.00E-03
	Energy(J) = (area)(air density)(drag coefficient)(velocity ³)	
		= (1.54 E108 m ²)(1.3 kg/m ³)(1.00 E-3)(8.8 m/sec) ³ (3.15 E07 sec/yr)
		= 9.92E+14 J/yr
		기상청, 2004 이필호, 1987 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
3	Rainfall, chemical potential	
	Fisheries Area =	3.55E+07 m ²
	Rainfall =	1.45 m/yr
	Gibbs free energy =	4.94 J/g
	Energy(J) = (area)(rainfall)(Gibbs free energy)	
		= (1.54E08 m ²)(1.91 m/yr)(1E6 g/m ³)(4.94 J/g)
		= 2.54E+14 J/yr
		기상청, 2004
4	Tide	
	Fisheries Area =	3.55E+07 m ²
	Avg. Tide Range =	1.83 m
	Density =	1.03E+03 kg/m ³
	Tides/year =	7.30E+02
	Energy(J) = (Area)(0.5)(tides/yr)(mean tidal range) ² (density)(gravity)	
		= (1.54 E08 m ²)(0.5)(730/yr)(1.83 m) ² (1.03 E03 kg/m ³)(9.8 m/sec ²)
		= 4.35E+14 J/yr
		국립해양조사원, 2004 estm. of 2 tides/day in 365 days
5	Waves	
	Shore length =	2.56E+05 m
	Wave height =	0.55 m
	Density =	1.03E+03 kg/m ³
	Energy(J) = (shore length)(1/8)(density)(gravity)(wave height ²)(velocity)	
		= (8.46 E04 m)(1/8)(1.03 E3 kg/m ³)(9.8 m/sec ²)(0.55 m) ² (0.025 m/sec)(3.15E7 sec/yr)
		= 7.66E+13 J/yr
6	River chemical Potential	
	River chemical energy =	750 TDS.
	Gibbs free energy relative to sea water =	138.8*ln((1E6-750)/965000) = 4.48J/g
	Coastal river discharges =	2.27E+07 m ³ /yr
	Energy(J) = (4.48 J/g)(1E6 g/m ³)(2.27E07 m ³ /yr)	
		= 1.02E+14 J/yr
		국립수과원, 2005
PURCHASED INPUTS		
7	Fuel	
	Fuel used for fishery production =	3.76E+05 won/households/yr
	Fishery Households =	2,550 households
	Energy conversion factor =	8.00E+03 kcal/L
	Fuel price =	1.37E+03 won/L
	Energy(J) = (Fuel used)(Energy conversion factor)(Fuel price)(4186J/kcal)	
		= (1.67 E09 won/yr)(8000 kcal/l)(1L/1,365.3 won)(4186J/kcal)
		= 2.35E+13 J/yr
		해양수산부, 2007 굴조합, 2005 산업자원부, 2006 산업자원부, 2006

Appendix. 2. (continued)

8	Human labor		
	Labor for fishery production =	3.29E+03 hr/yr	estm. of 9 hr/day
	Kcal consumed =	2.50E+03 kcal/day	
	Energy(J) =	(3.29 E03 hr/yr)(2500kcal/day)(1day/24hr)(4186J/kcal)(Households)	
	=	3.65E+12 J/yr	
9	Seed		
	Consumption (Avg. per Household) =	1.34E+06 won/households/yr	
	Fishery Households =	1,110 households	여수시청, 2004
	Seed for fishery production =	1.48E+09 won/yr	
10	Misc. Supplies		
	Misc. Supplies (Average per Household) =	1.15E+05 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	2,220 households	여수시청, 2004
	Misc. Supplies for fishery production =	2.55E+08 won/yr	
11	Services		
	Services (Average per Household) =	3.79E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	1,110 households	여수시청, 2004
	Services for fishery production =	4.21E+09 won/yr	
OUTPUT			
12	Total Fisheries produced		
	Total Fisheries produced =	5,550 M/T	
	Energy(J) =	2.02E+13 J/yr	
	Oyster(굴)=	5.00E+03 M/T	여수시청, 2006
	Energy(J)=	(3200ton/yr)(1E6 g/ton)(88Kcal/100g)(4186J/Kcal)	농촌진흥청, 2006
	=	1.84E+13 J/yr	
	Little neck clam(바지락)=	5.00E+01 M/T	
	Energy(J)=	(500 ton/yr)(1E6 g/ton)(68Kcal/100g)(4186J/Kcal)	
	=	1.42E+11 J/yr	
	Ark shell(피조개)=	400 M/T	
	Energy(J)=	(800 ton/yr)(1E 6 g/ton)(78kcal/100g)(4186J/Kcal)	
	=	1.30603E+12 J/yr	
	Hard shell mussel(홍합등)=	100 M/T	
	Energy(J)=	(1300 ton/yr)(1E 6 g/ton)(69 Kcal/100g)(4186 J/Kcal)	
	=	2.88834E+11 J/yr	