

## 시스템 생태학적 접근법에 의한 가막만 패류생산의 지속성 평가 3. 가막만 패류 양식업의 에너지 모델링

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

국립수산과학원 환경관리과, \*부경대학교 생태공학과,

\*\*Univ. Florida Dept. Ecology, \*\*\*Univ. New England Dept. Chemistry & Physics  
(2008년 5월 9일 접수; 2008년 8월 19일 수정; 2008년 8월 19일 채택)

## Sustainability Evaluation of Shellfish Production in Gamak Bay Based on Systems Ecology

### 3. Energy Modeling of Shellfish Aquaculture 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 9 May, 2008; revised 19 August, 2008; accepted 19 August, 2008)

### Abstract

This research was performed to simulate shellfish production systems and sales in Gamak Bay, South Korea. To study the way the shellfish system generates maxima, a numerical model was developed to simulate the model under a control and a number of different scenarios. The program calculates the EMERGY flows by multiplying the flows of energy and materials by the appropriate solar transformity. In this study, an energy systems model was built to simulate the variation of sustainability for oyster aquaculture. The results of the simulation based on 2005 data that as oyster production yield slightly increases, money and assets increase to a steady state. When the program is run control simulation, the system reaches carrying capacity after 8 years. The simulation of models with price of purchased inputs increased with 3.5% inflation rate per year showed maximum benefit of shellfish production occurs after 6 years but amounts are less than control simulation, and then decreases slightly in money and yield results. The results with 3.5% inflation and increase of oyster price annually showed steady and slightly increase of money and yield.

**Key Words** : Energy modeling, Shellfish production, Gamak Bay

### 1. 서 론

남해안의 해산어패류 양식산업은 1970년대부터  
각종 양식기술의 개발과 보급으로 비약적인 성장을

거두었으나, 과거의 호황과는 달리 최근 들어 양식 산업은 많은 어려움에 직면하고 있다. 연안의 산업화와 도시화에 의한 양식환경 악화, 장기간의 집약적 양식에 의한 어장노화, 양식품종의 열성화 그리고 생산량 증대에 집착한 양식장의 적정 수용량을 초과하는 과밀 양식 등의 원인에 따른 질병 피해가 날로 심각해지고 있다. 가막만은 여수반도 남단과 돌산도에 둘러싸인 천해로 어업권이 총 414건(5,263 ha)이며, 이중 패류는 267건(2,101 ha)이며, 935 ha가 미국 FDA에서 패류수출지정해역으로 관리되어 매년 2천톤이상의 굴 수출실적을 올린다. 하지만, 가막만에서는 노로바이러스 발병등으로 60%가 넘는 굴 폐사가 나타나서 양식업의 피해가 두드러졌고, 1990년대 후반들어 고수온으로 인한 대량폐사가 빈번해지면서 굴 양식업에 피해가 반복되며, 양식업의 원자재 가격 상승으로 양식어민의 소득증대는 시설량증가에 비해 변동이 적은 양상이다<sup>1,2)</sup>.

Kang<sup>3)</sup>에 의해 해양수산분야를 포함하여 다양한 생태계 시스템에 적용가능한 모델링 방법을 제시한바 있고, 이 가운데 에머지 개념을 이용한 에너지 모델링 방법은 상호작용을 평가하는데 있어서 쉽고 빠르게 적용가능토록 구성되어져 있다. Odum과 Arding<sup>4)</sup>에 의해 수행된 에쿠아도르의 새우양식 연구는 에머지 분석, 대안평가 및 에너지 모델링을 통한 대안 평가를 통해 최적의 양식방안을 제시하고 있으며, 새로운 시스템이 도입되었을 때 얻게 되는 환경편익에 관해서 비교적 상세한 기술을 하고 있다. 본 연구는 패류양식에 관한 관점으로 Odum과 Arding<sup>4)</sup>의 새우양식과 시스템 내부 구성상의 차이는 있으나, 비교적 재화와 용역이 투입되어지고, 조석과 같은 자연 에너지에 좌우되는 영향이 크다는 점이 유사하다. 그 밖에 본 연구와 관련된

선행연구는 한국 넙치 양식 분석과 전망에 관한 평가<sup>5,6)</sup>가 있다.

본 연구에서는 자연생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정 뿐만 아니라, 인간과의 유기적 상호관계를 과학적이고 정량적으로 파악할 수 있는 시스템 생태학적 접근법을 이용한, 에너지 시스템모델을 통해서 굴 양식산업의 미래를 예측하고자 한다. 특히, 최근 변동요인이 큰 유가 상승률을 고려하여 품종개량 및 환경개선의 효과로 나타나게 될 굴 가격 상승의 변화경향을 살펴보고자 한다. 이를 위해 채묘장 복원에 따른 종묘비 감소와 같은 원자재 및 물가감소 요인에 대해서 영향 평가를 수행을 통해 자재비 삭감요인, 운영비 감소 등이 나타낼 수 있는 재화 및 생산량과의 관계를 살펴보고자 했다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 에너지 시스템 모델링

시스템 생태학적 접근법에 기초하여 굴 양식 산업의 지속성에 대한 변화를 예측하기 위한 에너지 시스템 모델링의 절차는 기념적인 모델을 구현할 수 있는 에너지 시스템 다이어그램 작성 후, 수식을 기록하고, 이를 수치화하여 운용모델을 통해 장기 시뮬레이션 하게 된다. 즉, 시뮬레이션을 위한 다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 보정 및 프로그램 작성, 그리고 시뮬레이션 수행 등으로 이뤄지게 된다<sup>7)</sup>. 본 연구에서는 에너지 시스템 다이어그램을 작성 후 컴퓨터 언어를 이용하여 모델 수행을 한다 (Fig. 1).

에너지 시스템 모델링은 대상 시스템의 다이어그램 작성으로부터 시작되며, 에너지 언어로 작성된 다이어그램 (Energy Diagram)은 시스템의 조직망을 이해하고, 해결하고자 하는 문제와 관련된 주요 흐

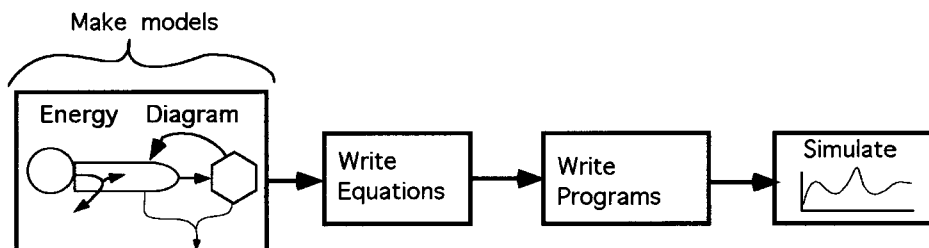


Fig. 1. Modelling and simulation approach flows in systems ecology (modified from Odum and Odum, 2000<sup>7)</sup>).

름과 상호작용을 파악하는데 이용된다.

### 2.2. 에너지 시스템 모델 자료

본 연구에서 굴 양식 산업에 기여하는 에너지원과 내부요소 흐름에 대해서 화폐 보유량을 포함하여 굴 생산에 소요되는 자료는 『굴수하식수산업협동조합(이하 굴 조합)<sup>2)</sup>』의 굴 연승 수하식 생산원가 자료를 기초로 연구가 수행되었고, 생산량은 『굴수협여수지소(이하 굴 지소)<sup>1)</sup>』를 통한 자료 확인을 거쳐서 사용하였다. 굴 조합의 생산비 원가는 1 ha, 3 ha, 5 ha에 대해서 각각 수행하였고, 굴 지소의 시설량, 생산량, 생산원가는 여수시 전체에 대한 내용 중 FDA(U.S. Federation Designated Area) 지정해역에서 80%를 생산하고 있기에, 이를 대상으로 삼았다. 가막만 FDA 지정해역에서 진행되는 굴 양식 면적은 544 ha로 소규모로 이뤄지기 보다는 일정 규모 이상의 시설량 및 생산량을 나타내는 경우가 많기에 굴 조합에서 조사된 ha 별 자료 중 5 ha에 대한 평가값을 근거로 잡았다. 굴 생산원가에는 자재비(종묘비, 보충자재, 유류대, 로프, 수하연 등)가 62%로 가장 많은 부분을 차지했고, 관리인 및 채취인건비가 24%, 제간접비(부식비, 판매수수료, 감가상각, 지급이자)가 그 다음을 차지하고 있다 (Fig. 2).

### 2.3. 에너지 시스템 모델

가막만 굴 양식 산업에 대해서 시스템의 시·공간적 경계를 설정하고, 생산 활동을 하나의 시스템

Money Composition for Oyster Production in Gamak Bay (per 5 ha)

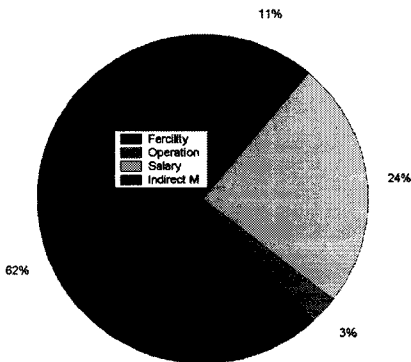


Fig. 2. Contribution of asset with facility, operation, salary, and indirect money for oyster production in Gamak Bay (per 5 ha, 10,000 ropes).

으로 파악할 수 있도록 에너지 부호를 이용하여 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다. 이 다이어그램은 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 각 요소에 대해서 에너지, 물질의 흐름과 에너지, 물질, 정보 등과 반대되는 흐름을 가진 화폐의 흐름에 따라 각 부호를 연결하여 다이어그램을 작성한 것이다.

굴 양식업에 대한 에너지 시스템 다이어그램은 시스템 외부로부터는 자연환경 에너지원 (J)과 각종 재화와 용역( $E=K2 \times M/P2$ )이 시스템 내부로 유입된다. 이를 통해 궁극적으로 굴 생산( $Y=K6 \times R \times E \times A$ )이 이루어진다. 양식시설등의 경제적 자산(A)의 변화는 양식시설내로 유입되는 재화와 용역( $K3 \times E$ )에 의하여 증가하고, 자산의 감가상각( $K4 \times R \times E \times A$ ), 수선 및 유지비( $K5 \times A$ )에 의하여 감소된다. 이번 연구에서 고려된 굴 양식장의 감가상각의 요인으로는 FRP 관리선 1척의 내구수명인 15년, 뗏목과 같은 굴 적재 및 수확 작업대는 10년임을 고려해서 계산하였으며, 연승 및 닻줄 로프 및 부자결박끈에 대해서는 고려대상에서 제외하였다. 모델링을 위한 시스템의 경계를 설정은 5 ha의 범위에서 100대에 25,000연 시설시 발생하는 생산원가를 기준으로 가막만 FDA 해역에서 실제 이뤄지는 200 ha를 기준으로 잡았다. 시간적으로는 1년 단위의 자료를 기초로 하였으며, 이는 1월부터 12월까지가 아닌 4월부터 이듬해 3월까지 이뤄지는 경제활동을 의미한다.

또한, 시스템내 화폐 보유량(M)의 변화는 생산된 굴 판매를 통해 얻어지는 화폐( $P1 \times Y$ )에 의하여 증가하고, 굴양식을 위해 필요한 각종 재화와 용역에 소비하는 화폐( $K2 \times M$ )에 의하여 감소된다. 재화와 용역의 가격은 굴 생산에 소모되는 비용이 상승할 경우에 증가하기에, 모델에서는 표준상태를 가정하 뒤에 비용이 변동되는 경우를 가정하여 모델 계산을 수행하였으며, 일반적으로 굴 판매가격과 굴 생산량과는 수치적으로는 낮지만 감소하는 것으로 나타내었다 (Fig. 3).

$$R = \frac{J}{(1 + K1 \times E \times A)}$$

$$E = \frac{K2 \times M}{P2}$$

$$Y = K6 \times R \times E \times A$$

$$DA = K3 \times E - K4 \times R \times A - K5 \times A$$

$$DM = P1 \times Y - K2 \times M$$

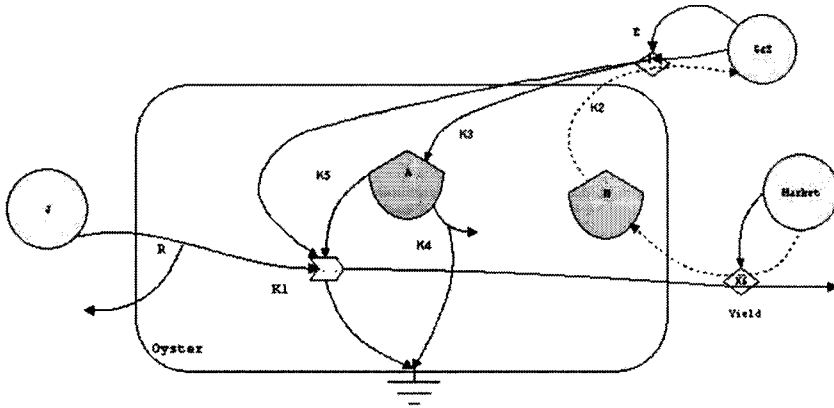


Fig. 3. Systems diagram of oyster aquaculture with labels for sources, storages and pathway.

본 연구에서는 모델 입력 자료를 토대로 Quick Basic 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 수행하였으며, Emergy simulator<sup>8)</sup>에서도 활용가능하다. 프로그램에 의해서 실행된 시뮬레이션 결과와 실측 및 조사자료를 비교하여 모델의 검정을 수행한다. 모델의 검정은 시뮬레이션과 실측 자료를 비교하는 과정으로, 시뮬레이션 결과가 실측 자료와 일치하면, 모델은 시스템의 주요 국면을 반영하고 있는 것으로 판단되고, 시간에 따른 시스템의 변화를 예측하는데 이용될 수 있다. 그리고, 결과가 실제 자료의 추세를 재현해내지 못한다면, 이 모델에는 시스템의 주요 요소가 누락되었거나 또는 보유량이나 흐름의 계수값이 적정하지 못함을 의미하며, 재검토를 통해서 전체적인 에너지 모델링에 대한 자료를 점검하였다.

다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 검보정을 통하여 작성된 프로그램을 이용하여 미래에 대한 예측, 각종 대안이나 예상되는 문제에 대하여 시뮬레이션을 수행한다<sup>9)</sup>. 본 연구에서는 2005년의 정상 상태를 기준으로 현재부터 20년 후의 굴 양식 산업에 대한 예측을 수행하였으며, 양식 산업에 영향을 미칠 수 있는 에너지 자원의 고갈에 따른 물가상승을 고려한 시뮬레이션과 굴 판매가격에 대해 다양한 조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. (Fig. 4).

시뮬레이션을 통해 나타나는 결과는 자산의 변화, 화폐 보유량의 변화, 그리고 굴 생산량의 증감을 통해 향후 굴 양식 산업의 변화에 대한 예측을 하고

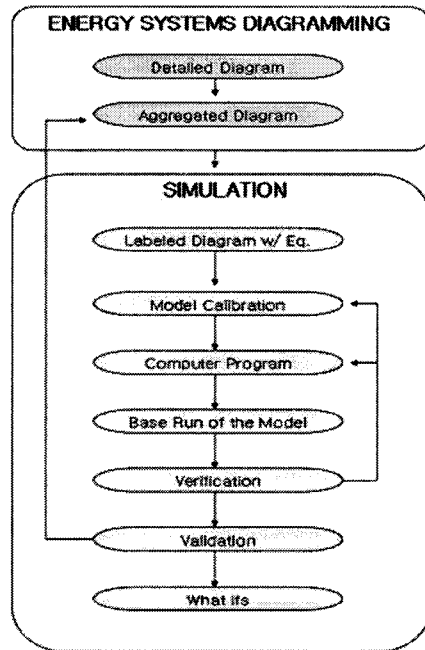


Fig. 4. Schematic diagram showing the procedure of energy system modeling<sup>6)</sup>.

자 했으며, 변화의 폭을 예상하기 힘든 인건비 및 운영비등의 전반적인 사항에 대한 변화는 본 연구에서는 직접적으로는 언급하지 않고자 했다.

2.4. 모델 계산 및 검보정

에너지는 지구적 규모의 생물권에서 국가, 구역, 도시, 산업, 그리고 미소 생태계까지 모든 규모의 시

시스템 활동에 요구된다. 궁극적으로 에너지의 종류와 특성은 시스템의 지속성에 관여하며 에너지 시스템 모델은 시스템의 지속성에 대한 평가에서 유용한 도구로 이용될 수 있다. 가막만 굴 양식의 지속성 평가와 관련하여 시간적 변화 양상을 파악하기 위한 에너지 시스템 모델을 작성하였다. 이는 에너지 시스템 다이어그램과 수식을 기초로 한다.

모델 내부의 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 경로에 2005년의 자료를 이용하여 계수값을 산출하였다. 이를 기초로 프로그램을 작성하여 시물레이션을 수행하였다. 영속성 에너지(J)로부터 시스템내부로 90%가 유입되어지고 자산은 관리선(FRP) 및 뗏목과 같은 작업대의 감가상각과 시설운영비(수선유지비, 운반비, 통신비, 공과금, 교통비, 사무비 등)에 의해서 감소되어진다. 시스템의 공간적인 영역은 5 ha에 대해서 사용되어지는 생산원가를 ton당 생산량에 맞춰서 재조정하였으며, 조사된 생산원가는 목적에 맞게끔 재정리 되어져서 모델 시물레이션을 위한 흐름도를 작성하였다. 굴 양식의 특성상 자산의 감가상각에 의한 감소와 수선 및 유지비에 의해 감소되는 자산의 값은 큰 차이를 보이고 있지 않다. 5 ha의 굴 양식장에서 생산되어지는 양은 연간 62.5 톤으로 산정했으며, 모델 계산에 사용한 굴 조합의 자료는 5 ha 기준으로 작성된 것으로 일치시켰다 (Table 1).

앞선 다이어그램의 흐름의 상관성을 나타내는 계수를 통해서 20년의 시물레이션 기간 동안의 변화하는 값을 이해할 수 있다. 시스템내의 자산의 감소를 일으키는 값은 원자재의 감가상각이 시물레이션 초기에는 발생할 수 있으나, 이후 차츰 안정화 되어질 것으로 보이며, 화폐는 일정수준까지 지속적으로 증가후 안정화할 것으로 여겨진다. 모델을 적용하는데 있어서 계수화를 시도했으며, 이를 통해 모델의 결과값이 자산(A), 재화(M), 생산량(Y)으로 표출되게끔 시물레이션을 시도했다.

에너지 시스템 모델링을 위한 프로그램을 위해서 유도된 방정식에서 모델의 외부 에너지원, 보유량, 그리고 각 흐름에 대한 실측 및 문헌 조사 자료를 기초로 정규화 (Normalization)를 통해서 외부 에너지원과 내부요소 흐름의 계수 값을 구한다. 이들 값들은 특정 시간의 자료이거나, 일정 기간 동안의 평균값이 될 수 있으나, 검토에 사용되는 모든 자료는 동일한 시간과 공간의 단위를 갖도록 했다.

모델의 검증을 위해서 굴 조합으로부터 얻은 연승 수하식 굴 5 ha 생산원가 자료를 이용해서 굴 자산, 화폐, 생산량 예측모델에서 얻어진 자료의 결과와 가막만 굴 생산량 및 생산금액의 결과를 비교하였다. 즉, 모델 내부의 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 경로에 2005년의 굴 수협 자료의 자료를 이용하여 계수값을 산출하였으며, 이를 기초로

**Table 1.** Calibration of the pathway coefficients for the computer simulation of oyster aquaculture

Item	Symbols Equations	Values	Units	Normalization	Calculation	Calibration values
<b>Sources</b>						
1	Renewable Sources	J	9.76E+13 J/ton	1.000		
2	Unused source	$R = J / (1 + K1 * E * A)$	9.76E+12 J/ton	0.100		
3	Goods & Services	$E = K2 * M / P2$	3.41E+04 won/ton	0.152		
4	Price of oyster product	P1	1.60E+06 won/ton	0.667		
5	Price of purchased inputs	P2	2.39E+06 won/ton	2.632		
<b>Storage values</b>						
6	Assets	A	9.12E+05 won/ton	1.000		
7	Money	M	2.40E+06 won/ton	1.000		
<b>Coefficient calibrations</b>						
8	Resources used	$K1 * R * E * A$	8.79E+13 J/ton	0.900	$K1 = 0.9 / (R * E * A)$	59.211
9	Money spent	$K2 * M$	9.60E+05 won/ton	0.400	$K2 = 0.475 / M$	0.400
10	Goods & Services to assets	$K3 * E$	1.04E+14 won/ton	0.114	$K3 = 0.0019 / E$	0.750
11	Assets depreciation	$K4 * R * E * A$	4.80E+13 won/ton	0.053	$K4 = 0.0015 / (R * E * A)$	3.463
12	Assets repairing and maintenance	$K5 * A$	5.60E+13 won/ton	0.061	$K5 = 0.0004 / A$	0.061
13	Oyster yield Y	$K6 * R * E * A$	1 ton	1.000	$K6 = 1 / (R * E * A)$	65.789

시뮬레이션을 수행했다. 본 모델은 정상상태에 도달하는 패턴을 보이지만, 그 값의 차이는 각기 초기 값의 입력내용에 따라 존재한다.

모델의 초기값은 영속성 에너지의 경우 J/ton 단위를 사용하였으며, 나머지 저장 및 시스템내 에너지 흐름을 결정짓는 과정은 모두 실제 화폐의 단위를 사용하였다. 모델로 유입되는 자연환경 에너지원은 9.76 E13 J/ton 으로 해수에 의존하고 있으며, 시스템내 초기 화폐보유량은 2.40 E6 Won/ton, 자산의 가치는 9.16 E5 Won/ton이다. 시스템내 자산의 변화를 나타내는 양식시설 내로 유입되는 재화와 용역은 1.04 E5 Won/ton을 보이며, 이는 자산의 감가상각 4.80 E4 Won/ton, 수선 및 유지비 5.60 E4 Won/ton에 의해서 감소되고 있다 (Fig. 5).

굴 수협에서 제공하는 5 ha당 비용에 대한 생산량을 62.5 ton으로 산정한 후, 1ton 당 사용되어지는 비용의 비를 얻고자 했다. 이를 위해 모델 내부의 외부 에너지원, 보유량, 각각의 에너지 경로에 굴 수협의 값을 이용하여 모델에서 계산시 활용되는 계수값 K1~K6을 산출했고, 이를 기초로 모델 계산을 수행했다. 양식시설로 유입되는 재화와 용역의 계수는 0.75를 나타내며, 감가상각 계수 3.463, 수선 및 유지 계수는 0.0614로 산정했다 (Fig. 6).

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 굴 양식 산업에 대한 예측

굴 양식 산업에 대한 시스템내 5 ha의 보유량, 에

너지원, 흐름에 대해서 2005년의 굴 조합, 굴 지소의 자료를 이용하여 QBasic 프로그램을 작성한 후, 시뮬레이션을 통해 굴 양식 산업의 경제적 자산, 화폐보유량, 그리고 넙치 생산량에 대한 변화를 예측하였다. 본 모델은 새우양식연구 및 넙치양식연구에서 사용되어온 일반적인 모델을 굴 자료를 넣어서 사용한 것이기에 모델의 독창성보다는 적용성면을 강조하고자 하였다. 본 모델에서 영향 받게 되는 ASSET의 경우 MONEY의 영양 및 외부 G&S의 유입에 직접 영향을 받게 되며, 이를 통해서 증가하는 패턴을 보이는 것이 특징이기에 ASSET이 거의 변화가 없는 넙치양식과 비교하면 굴 양식에 사용되어지는 ‘자재, FRP선, 작업대’등의 비용이 자산으로서의 가치를 갖고 있으며, 매년 소모되어지는 로프, 수하연, 끈 등은 자산으로서의 가치에 포함하지 않았다.

굴 양식 산업의 경제적 자산의 규모와 화폐보유량, 그리고 굴 생산량에 대해서 2005년의 경제상황을 기초로 하여 변화를 예측하였다. 이러한 조건에 기초한 향후 20년간의 예측결과를 생산했다. 굴 양식 산업의 경제적 자산은 시간 경과에 따라 초기에서부터 20년 후까지 초기부터 서서히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 굴 양식에 사용되는 재화의 경우 FRP선, 작업대 등이 차지하는 비중이 보다 높고, 매년 투자가 이뤄지기 때문이라 여긴다 (Fig. 7).

굴 양식업의 화폐가치는 향후 10년간 꾸준한 증가세를 보이니 이후 성장은 멈추는 것으로 예측되

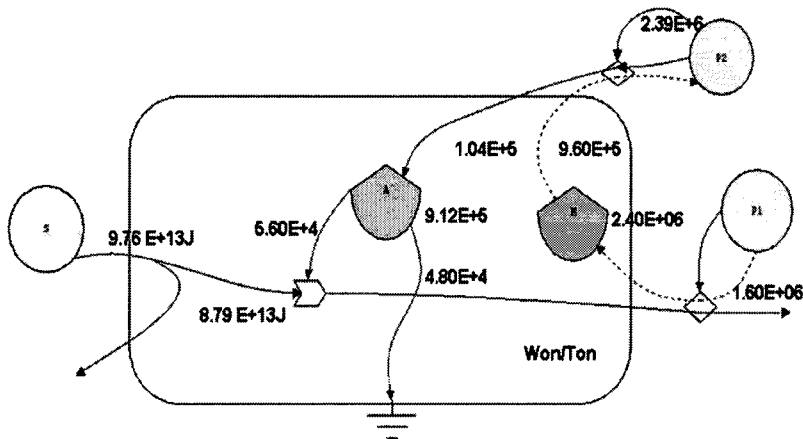


Fig. 5. Calibrated value of sources, storage, and coefficient factors for oyster aquaculture simulation.

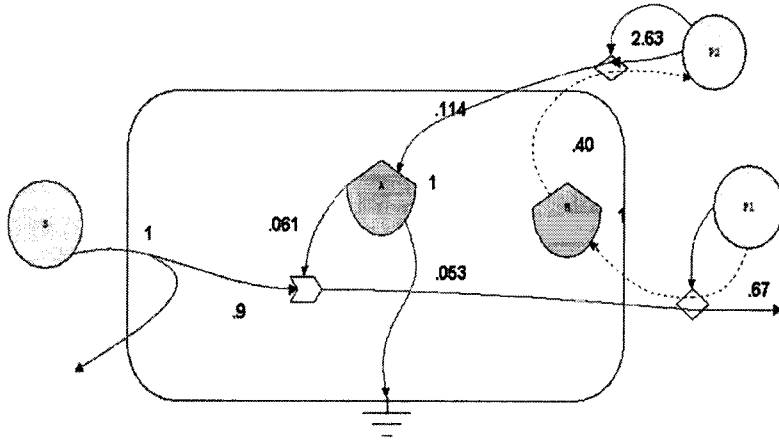


Fig. 6. Normalized value of storage and sources and coefficients calibration values for oyster aquaculture model.

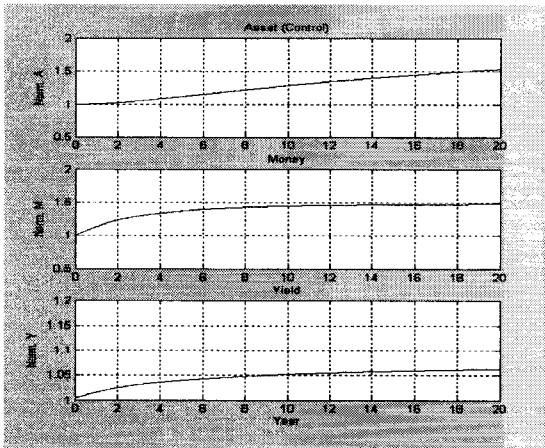


Fig. 7. Simulation results of Control (top: asset, medium: money, bottom: yield).

었다. 시뮬레이션 초기에는 이용가능한 에너지가 상대적으로 높은 단계이기에, 생산량이 증가추세를 보이나, 10년 이후에는 증가된 생산량을 유지하는 모습을 보인다. 생산량은 현재상태가 유지되는 경우 소폭증가 추세를 보일 것으로 여겨지나, 자연자원의 증가 등이 이뤄지면 보다 큰 증가가 나타날 것이고, 향후 환경개선에 따른 시스템의 변화를 살펴볼 필요가 있다. 표준 실험 결과는 새우양식<sup>10)</sup>에서의 결과와 비교하면 재화의 일정성장후 최대상태유지의 결과는 유사했으며, 최대상태를 보인 시기는 본 연구에서 늦게 나타났다. 넙치양식<sup>6)</sup>과는 자산과 생산량의 변화가 거의 없었던 반면, 재화의 증가가

초기에 지속적으로 나타났음이 본 연구결과와 유사했다.

### 3.2. 재화와 용역 변동요인에 따른 시뮬레이션

물가 상승요인중 가장 큰 영향을 미치는 유가의 경우 굴 양식업에서 유류비가 차지하는 비율이 6%로 근로자 가구가 전기, 난방, 취사 등에 사용하는 2.3%보다는 많지만, 넙치 양식과 같은 어류양식이 차지하는 비율에 비해서는 월등히 적다. 반면, 종묘비중 채묘비가 차지하는 비율은 42%로 가장 크다. 가장 큰 비율을 차지하는 채묘의 경우 직접 채묘에 쓰이는 유생의 가격이 차지하는 비율은 매우 적은 반면, 채묘장소가 굴 양식장으로부터 멀리 떨어져 있기에 발생하는 선박이동에 들어가는 비용이 대부분이다. 예를 들어 가막만의 FDA 해역에 채묘를 하는 곳은 여수지역이 아닌 광양부근이고, 평소보다 3배정도 무거운 패각을 통해 이동을 해야하기에 유류비의 경우도 소비되는 정도가 크다. 과거 채묘장소가 가막만내 무술목 및 FDA 해역 인근이었던 것에 비해 고수온, 해양오염의 증가로 인해서 채묘효율이 떨어짐에 따라 불가피하게 먼곳으로 이동하면서 발생한 비용 때문이다. 즉, 이에 따르면 약 48%가 유류비와의 관련성을 직접적으로 나타내고 있다. 이외에 시설운영비 및 인건비, 제 간접비의 경우에 있어 유류비와의 직접관련성보다는 간접 관련으로 인해 물가상승률에 비해서 증가하기에 유류비를 사용하는 것이 타당하다고 여긴다.

최근 5년간(2001-2006)의 물가는 완만하지만 지속적으로 상승하는 모습을 보이며 연 3~4% (2003년 3.6%, 2004년 3.6%, 2005년 2.9%) 안팎으로 상승하고 있으며, 이런 성장은 급격한 경제쇠퇴가 나타나지 않는 한 지속될 것으로 여긴다. 2005년 기준 조건에서 굴 양식 산업을 가능케 하는 일반적인 물가 상승을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다<sup>11)</sup>. 향후 물가상승에 대해 2005년부터 현재까지의 물가상승율을 적용하여 예측한 결과에 의하면 자산은 초기 15년간은 증가를 하나, 인플레이션이 계속될 시 서서히 감소하게 된다. 시뮬레이션을 위한 본 연구 프로그램에서 R의 초기값이 작은 상태에서 출발하였기에 화폐보유량과 굴 양식생산은 초기부터 증가하는 추세를 보이며, 극대값에 다다른 뒤에는 성장세를 유지하지 못하고, 다소 감소하는 측면을 보일 것으로 여겨진다. 특히 화폐보유량이 극대값을 지난 뒤 감소하기 시작하는 시점에서부터 굴 생산량도 서서히 감소하기 시작하는 것으로 나타난다 (Fig. 8).

즉, 물가상승 특히 유가의 급격한 상승 같은 외부 요인에 대해서 적극적인 대처가 없다는 가정을 하면, 자산의 가치는 보유하고 있는 자원의 사용이 완료가 되는 10년 이후의 시점부터 지속적으로 하락할 것으로 여겨지며, 굴 양식량이 감소하기 시작하는 15년 정도가 지난 시점부터는 재화의 가치도 동반하락하기 시작할 것으로 여겨진다. 물가상승을

감안한 연구에서 성장률을 지속시키기 위해서는 모델내에서 영속성 외부 유입원의 증가 및 재화와 용역의 감소요인을 찾아야 한다. 이러한 굴 양식의 최적 개발 대안에 대해서는 현재 시설량의 100%를 수확했을 때 얻을 수 있는 수확량에 비해 매년 50~60%의 폐사가 이뤄지고 있기에 발생하는 소실량을 감소시킬 수 있는 방안을 찾는 것이 필요하다. 즉, 본 연구에서 이뤄진 FDA 해역내의 생산량을 기반으로 해서 최고의 값을 산정하는 것이 가능하나, 이를 저해하는 요인들에 대한 다양한 접근도 필요할 것이다.

### 3.3. 굴 가격 변동에 따른 시뮬레이션

유가, 환율, 공공요금 인상 등으로 인한 물가상승에 의하여 쇠퇴가 예상되는 굴 양식 산업을 유지시키기 위한 대안으로 굴 판매가격에 대해 다양한 조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 다양한 가격상승에 따른 시뮬레이션 수행후 굴 판매가격을 현재 물가상승율의 50% 만큼 증가시켜 예측한 결과, 화폐 보유량의 경우 서서히 증가하여 현재의 상태를 유지할 것으로 나타났지만, 굴 생산량은 서서히 감소하는 추세를 나타내어 생산의 지속성이 유지되지 못하는 것으로 나타났다 (Fig. 9). 이는 화폐 보유량은 비교적 20여 년간 유지 및 상승국면을 나

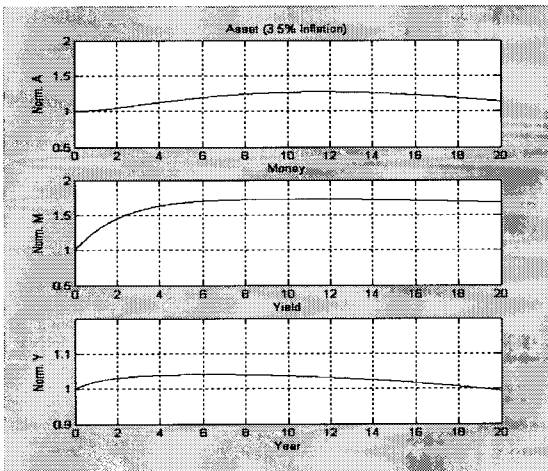


Fig. 8. Simulation results of scenario I with 3.5% inflation per year (top: asset, medium: money, bottom: yield).

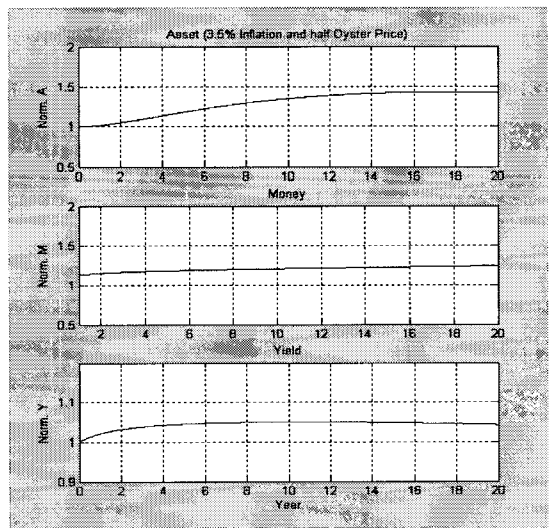


Fig. 9. Simulation results of scenario II with 3.7% inflation and 1.75% increase of oyster price annually (top: asset, medium: money, bottom: yield).



타내나, 지속적인 굴 생산량이 확보되지 못하고 가격 경쟁력이 떨어지게 되면 결국 하강곡면으로 전환할 수밖에 없음을 추론할 수 있다. 모델 결과에서 제시하고 있는 재화의 지속적인 상승은 모델의 구성상의 한계를 나타내고 있는 것으로 보이며, 굴 가격 변동과 물가상승과의 상관관계를 추가 연구하여 향후 모델 개발 및 적용에 다양한 연구를 수행할 필요가 있다.

물가상승율보다 낮은 가격 경쟁이 이뤄졌을 경우, 굴 시뮬레이션 결과는 현재 영속성 에너지에 의존하고 있는 바가 높기에 물가변동에 대해서 품질 향상 등으로 인한 가격상승이 절반 수준에서 나타나게 되면 초기 10년간은 증가추세가 나타날 것으로 보인다. 반면, 극대값에 도달한 이후에는 최대값을 유지하지는 못하고 장기적으로는 감소의 경향을 나타낼 것으로 보인다 (Fig. 10).

굴 판매가격을 물가상승율인 3.5% 만큼 증가시켜 시뮬레이션을 수행한 결과는 경제적 자산과 화폐 보유량은 서서히 증가하는 것으로 보이며, 생산량도 서서히 증가된 뒤 극대값에 도달하는 것으로 여겨진다. 2005년의 상황을 초기조건으로 하여 향후 20년을 예측한 결과, 굴 양식 산업은 영속성 자원에 대한 의존도가 강하므로 넉치양식과는 달리

물가상승에 따른 가격의 상승이 이뤄지게 되면 표준상태와 유사하게 증가추세가 나타날 것으로 보인다.

앞선 물가상승이나 굴 가격의 증가요인들에 대한 장기변동 재현대신, 채묘장 복원에 따른 종묘비 감소와 같은 원자재 및 물가감소 요인에 대해서 영향평가를 수행했다. 이와 같은 연구를 통해서 향후 자재비 삭감요인, 운영비 감소 등이 나타낼 수 있는 재화 및 생산량과의 관계를 살펴보고자 했다. 원자재 감소의 효과에 대해 예를 들면, 가막만 채묘장 복원에 따라 종묘비가 30%정도 감소시 실제 자재비는 10% 감소되는 것으로 추정했으며, 이는 장소이동 및 채묘장 왕복에 따라 소모되는 비용이 상당할 것으로 현지 어민들이 전하기 때문이며, 향후 보다 다양한 시나리오를 통한 연구가 필요하다. 특히, 생산에 투여되는 비용감소를 통해서 얻을 수 있는 수익은 보다 많은 구조로 나타나기에 모델에서는 Control 보다 개선되는 방향으로 결과를 얻을 수 있었으며, 대부분의 패턴은 비슷한 형태로 나타났다. 특히, 가막만에서 이용할 수 있는 자연자원의 경우 어느 정도 한계를 갖고 있기에 재화 및 생산량이 포화가 되어지는 시점은 보다 빠르게 진행되고 있음을 알 수 있어, 향후 가막만 양식환경 악화, 장기간의 집약적 양식에 의한 어장노화, 양식품종의 열성화 그리고 생산량 증대에 집착한 양식장의 적정 수용량을 초과하는 과밀 양식 등의 원인에 따른 질병 피해의 원인 제거를 우선적으로 시행하여 생산량을 보다 증가시킬 필요가 있으며, 장기적으로는 면허권 조정 및 확대를 통한 생산량 증가를 이룰 수 있도록 정책제언이 필요한 사항이다 (Fig. 11).

원자재 및 물가감소 영향평가 연구결과는 많은 생산량등을 나타내고 있어 표준 상태와의 정량적인 차이를 살펴봤다. 자산의 가치는 비교적 소폭 상승하는 국면을 보이고, 재화와 생산량의 경우에는 약 10년 정도는 소폭 상승하는 국면을 나타낸 뒤에는 일정량의 포화상태를 유지하는 것으로 보여서, 자재비 감소 효과가 반영된 것이라 여겨진다. 표준 모델의 결과와 의 차이에서 자재비는 상호 변화가 없는 것으로 나타났으며, 재화의 증가가 초기 10년정도 나타나고, 생산량도 소폭이기는 하지만 증가가 재화와 유사한 기간동안 나타난다. (Fig. 12).

자재비 감소의 대안으로 지적인 종묘비 개선은

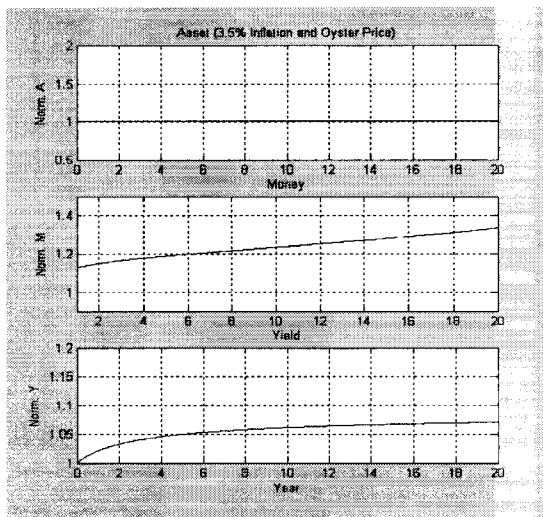


Fig. 10. Simulation results of scenario II with model with 3.5% inflation and the same increase of oyster price annually (top: asset, medium: money, bottom: yield).

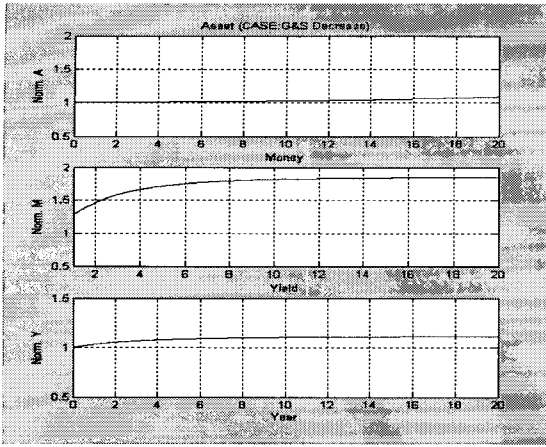


Fig. 11. Results of Scenario III with 10% decrease of G&S money annually (top: asset, midium: money, bottom: yield).

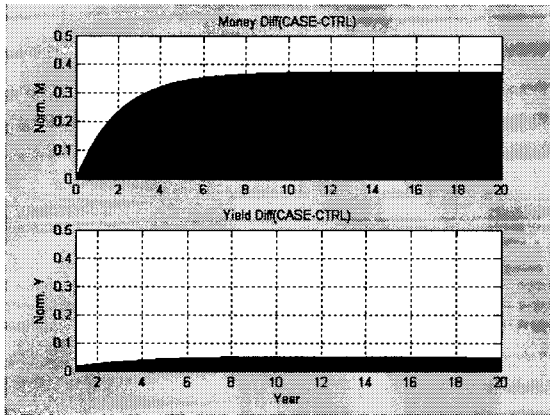


Fig. 12. Difference results between Scenario III minus Control (above: money, below: yield).

무술목 평사리 주변의 환경 개선이 선행되어야만 가능하다<sup>12)</sup>. 박<sup>13)</sup>은 가막만 FDA 해역 우측지역인 평사리 주변의 chl a 농도 값이 높은 이유를 주변의 수심이 상대적으로 얇고, 평사천으로 흘러드는 하천수가 북서 내만의 선소부근 해역보다는 원만한 흐름을 타고 바람의 영향으로 주변해역에 확산되기 때문이라고 지적한 바 있다. 향후 무술목 주변해역의 채묘장 복원시에는 인근 평사리해역을 포함한 종합적인 개선이 요구되며, 이는 가막만 수괴의 특성상 영양염류의 영향을 적게 받는 해수는 만의 좌측 해안을 따라 북쪽으로 흐르나, 영양염류의 영향을 많이 받는 내만의 해수는 만의 우측 해안을 따라

남쪽으로 흐르는 것으로 보아, chl a 농도분포 역시 흐름형태와 밀접한 상관을 가지며, 하부 돌산도 부근으로부터 유입되어지는 영양염류 역시 무술목, 평사리를 거쳐 FDA해역으로 보다 원활하게 유입되어지면 생태복원의 효과는 보다 증폭될 수 있을 것이다. 1990년대 가막만 평사리 주변 해역으로 많은 굴 어장이 형성되어 생산량의 증가가 크게 나타났으나, 현재는 어장이 모두 철거된 상태이며, 일부 패각작업만 이뤄질 뿐이다. 이는 박<sup>13)</sup>이 지적한 오랜 기간 동안의 굴 양식으로 인한 해저에 많은 패각류가 쌓여서 발생하는 자가오염이 심각해진 상황과, 무술목 저수화 등으로 인해 해류소통이 불량해짐에 따라<sup>14)</sup> 발생한 복합적인 요인으로 더 이상 굴의 생산 및 채묘가 이뤄지지 않는 것으로 여겨진다.

#### 4. 결 론

시스템 생태학적 접근법에서의 에너지 시스템 모델링에 의해 굴 양식 산업의 지속성에 대한 변화 양상을 예측한 결과, 굴 양식 산업은 현재의 경제상황에서는 단기적으로 성장하고 있지만, 에너지 자원의 고갈에 따른 물가상승에 의해서 서서히 쇠퇴를 보일 것으로 예측되었다. 에너지 자원의 고갈에 따른 쇠퇴를 보이는 굴 양식 산업을 유지시키기 위한 대안으로 굴의 판매가격에 대해 다양한 조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 굴 양식 산업의 지속성을 유지하기 위해서는 굴의 판매가격을 물가상승율과 유사한 수준으로 증가하여야 만이 가능함을 알 수 있었다. 향후, 굴 가격을 상승시킬 수 있는 방안 및 적절한 가격의 정도에 대한 연구가 수행되어야 함을 알 수 있다.

향후 모델의 개선을 위해서 굴 수협에서 제공한 남해안 굴양식의 일반적인 원가를 고려한 본 연구의 자료 외에 가막만 특성을 반영한 굴 생산원가 생산 및 굴 생산량 자료를 확보하게 되면 도움이 될 것이라고 여긴다. 실제 가막만의 굴 조합에서 얻은 굴 생산량 및 생산금액의 자료는 가막만 FDA 해역에서 얻어지는 굴이 약 90%에 해당하며, 가막만 인근해역인 여수관할 패류생산해역에서 얻어지는 자료 10%정도를 합한 수치이다. 게다가, 굴의 유통과정상 통계에 잡히지 않고 있는 현실이기에 모델과 현실과의 오차는 보다 극복되어야 모델의 실질적

활용성이 높아진다고 여긴다.

앞으로, 굴의 지속적인 생산을 위한 발전 방향은 외부적인 변화요인으로 들 수 있는 기름값 상승 등의 변동에 의존할 수 밖에 없는 상황이기에, 향후 화석연료에 의존하는 양식 산업보다는 수용능력 범위 내에서 자연환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있는 양식기법으로 전환해야 만이 보다 지속가능한 패류생산이 가능하게 될 것으로 여겨진다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

- 1) 굴수협 여수지소, 2006, 가막만 굴 생산 현황, 2-3.
- 2) 굴수하식 수산업 협동조합, 2006, 굴연승 수하식 생산원가, 1-2.
- 3) Kang D. S., 1998, Pulsing and self-Organization, Ph. D. Dissertation, Dept. Ecology, Florida University, Florida.
- 4) Odum H. T., Arding J. E., 1991, Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador, 1st ed., Univ. Florida, 37-44.
- 5) 김남국, 손지호, 김진이, 이석모, 2001, 시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치 생산의 지속성 평가, I. 넙치생산에 대한 emergy 분석, 한국환경과학회지, 34(3), 218-224.
- 6) 김남국, 손지호, 김진이, 조은일, 이석모, 2002, 시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치생산의 지속성 평가, II. 넙치 육상양식산업에 대한 예측, 한국환경과학회지, 35(6), 660-665.
- 7) Odum H. T., Odum E. C., 2000, Modeling for all scales - An introduction to system simulation, 1st ed., Academic Press, 106-110.
- 8) <http://emsim.sourceforge.net>
- 9) Vassallo P., Fabiano M., 2006, A dynamic model approach to the emergy evaluation: The case study of a Mediterianfish farm system, Proceeding of 4th Emergy Research Conference, 18pp.
- 10) Odum H. T., Arding J. E., 1991, Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador, 1st ed., Univ. Florida, 37-44.
- 11) <http://www.kosis.kr>
- 12) 여수시민협, 2007, 돌산읍 무술목 목장용지 현황과 과제, 시민토론회 자료집, 7-12.
- 13) 박성진, 2003, 가막만의 해양환경과 굴양식장에 미치는 바람효과, 석사학위논문, 해양학과, 여수대학교, 여수.
- 14) 김귀영, 2002, 가막만의 이화학적 환경특성과 퇴적물에서의 물질 거동 연구, 박사학위논문, 환경공학과, 영남대학교, 대구.

Appendix 1. Annual expenses for oyster production per 5 ha

항 목		금 액	산 출 근 거	
년 간 투 입 자 재 비	종 묘 비	62,500,000	구입채묘:25,000연×2,500원	62,500,000
	수 하 연	2,850,000	코팅사 9합 6.5m 25,000연×114원	2,850,000
	로 프	3,100,000	연승:50丸(100m×100줄÷200m)×93,000원÷3년 맞줄:50丸(50m+50m×100줄÷200m)×93,000원÷3년	1,550,000 1,550,000
	부자결박근	1,096,000	부자 100대×101개=10,100개 253丸×13,000원÷3년	1,096,000
	보충자재	12,789,330	부자62ℓ형 100대×101개×3,700원÷3년 말목:100대×10,000원÷3년	12,456,000 333,330
	유 류 대	8,704,400	경유10D/M×9월×78,040원 윤활유 6말×9월×31,126원	7,023,600 1,680,800
	소모품비	1,500,000	장갑, 장화, 우의등 기타소모품	1,500,000
	소 계	92,539,730		
생 산 비	수선유지비	750,000	관리선(동력선1척) 상가 및 기관수리등	750,000
	운 반 비 및 제비용	1,100,000	종패 상·하차비 25,000연×20원 운반차량 5톤/2일	500,000 600,000
	통 신 비	480,000	전화료 월40,000원×12월	480,000
	제세공과금	120,000	사업소득외	120,000
	교 통 비	450,000	교통비 1,500원×25일×12월	450,000
	사 무 비	1,200,000	100,000원×12월	1,200,000
소 계	4,100,000			
인 건 비	고정관리인	21,000,000	급여 1명×1,500,000원×12월 상여금 1명×1,500,000원×200%	18,000,000 3,000,000
	수하인건비	9,680,000	수하연조립비 25,000연×350원	8,750,000
			수하연수하작업비 남2명×50,000원×3일 여6명×35,000원×3일	300,000 630,000
	채취인건비	5,760,000	남자5명×50,000원×18일 여자2명×35,000원×18일	4,500,000 1,260,000
소 계	36,440,000			
제 간 접 비	부 식 비	1,359,000	주식:151명×6,000원 간식:151명×3,000원	906,000 453,000
	판매수수료	8,249,060	전년도 가격기준 25,000연×2.5kg×3,771원×3.5%	8,249,060
	감각상각	4,033,000	관리선(FRP 1척) 50,000,000원÷15년	3,333,000
			작업대(뗏목) 7,000,000원÷10년	700,000
	지급이자	3,000,000	영어자금 차입금이자 100,000,000원×3.0%	3,000,000
소 계	16,641,060			
합 계	149,720,790	손익분기점: 연당 5,989 원	연당 수율 (박신비 미포함) 2.0 kg 2,994 원 2.5 kg 2,396 원 3.0 kg 1,996 원 예)수율 2.5kg일때 박신비 1,600원 포함 kg 원가 3,996 원	