



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시, 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

工學博士 學位論文

시스템 생태학적 접근법에 의한 가막만
패류생산의 지속성 평가



2008年 2月

釜慶大學校 大學院

環 境 工 學 科

吳 鉉 澤

工學博士 學位論文

시스템 생태학적 접근법에 의한 가막만
패류생산의 지속성 평가

指導教授 李 錫 謨

이 論文을 工學博士 學位論文으로 提出함

2008年 2月

釜慶大學校 大學院

環 境 工 學 科

吳 鉉 澤

吳鉉澤의 工學博士 學位論文을 認准함

2008年 2月 日

主 審 工學博士 金 一 奎 ㉠

委 員 工學博士 姜 大 錫 ㉠

委 員 工學博士 金 上 旦 ㉠

委 員 工學博士 李 元 讚 ㉠

委 員 工學博士 李 錫 謨 ㉠

목 차

표목차	iv
그림목차	v
Appendix	ix
Abstract	x

I. 서 론	1
---------------------	----------

II. 문헌 연구	3
------------------------	----------

1. 에머지 평가의 활용 및 선행연구	3
1.1. 환경용량과 지속성 평가	3
1.2. 국내 해양수산분야 에머지 분석	7
1.3. 국외 에머지 분석 사례 연구	9
2. 연구 대상 지역 현황	11
2.1. 일반 현황	11
2.2. 가막만의 해양수질 현황	14
2.3. 가막만의 저서환경 생태특성	16
2.4. 오염물질 부하량 조사	19
2.5. 식물성 플랑크톤 우점종 특성	21
2.6. 환경기초시설 및 해역개선사업	23
2.7. 여수지역의 기상현황	25
2.8. 가막만 굴 양식업 현황	26

III. 연구 방법	29
1. 시스템 생태학	29
2. 가막만 패류양식에 관한 에머지 분석	31
2.1. 에머지 개념	31
2.2. 에너지 시스템 다이어그램	32
2.3. 가치평가로서의 에머지	34
3. 가막만 패류양식의 지속성 확보를 위한 환경회계	36
3.1. 대안평가 방법	36
3.2. 환경회계를 위한 시나리오의 설정	37
3.3. 육상기인 오염부하 에머지 분석	39
3.4. 해역 수질관리 항목간의 상관관계	40
4. 가막만 굴 양식 에너지 시스템 모델링	43
4.1. 에너지 시스템 다이어그램 작성	43
4.2. 굴 양식 모델의 수식화	45
4.3. 굴 양식 생산원가 분석	46
4.4. 시뮬레이션 수행	48
IV. 결과 및 고찰	50
1. 가막만 패류양식 지속성에 관한 에머지 평가	50
1.1. 가막만 패류양식에 대한 시스템 분석	50
1.2. 가막만 패류양식에 대한 에머지 분석	52
1.3. 에머지 지표에 의한 가막만 양식 활동의 지속성 평가	55
1.4. 가막만 FDA 패류 수출지역의 에머지 분석	58
1.5. 가막만과 FDA 해역의 환경용량	63

2. 가막만 환경개선에 관한 환경회계	65
2.1. 가막만 에너지 시스템	65
2.2. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario I 하수처리장)	68
2.3. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario II 종묘장 복원)	72
2.4. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario III 하수처리장+종묘장 복원)	75
3. 시스템 생태학적 방법으로 가막만 굴 양식업 예측	79
3.1. 에너지 시스템 모델 작성	79
3.2. 모델의 보정 및 검증	82
3.3. 굴 양식 산업에 대한 예측	84
3.4. 재화와 용역 변동요인에 따른 시뮬레이션	86
3.5. 굴 가격 변동에 따른 시뮬레이션	89
3.6. 자재비 감소 효과 시뮬레이션	92
V. 요약 및 제언	96
VI. Appendix	99
VII. 약자 목록	113
VIII. 참고문헌	115
감사의 글	122

표 목 차

Table. 1	Emergy evaluation of resources bases for shellfish aquaculture in Gambk Bay (References for Transformity [a] Odum et al., 2000., [b] Brown and Bardi, 2001, [c] Shin, 2007., and [d] Eum et al., 1996.)	52
Table. 2	Comparison of emergy indices of shellfish aquaculture in Gamak bay and other aquacultures (arkshell: Eum et al., 1996, olive flounder: Kim et al., 2001)	56
Table. 3	Emergy evaluation of resource basis for shellfish in FDA designated area (References for Transformity [a] Odum et al., 2000., [b] Brown and Bardi, 2001, [c] Shin, 2007., and [d] Eum et al., 1996.)	59
Table. 4	Emergy evaluation of Baseline in Gamak Bay	67
Table. 5	Emergy indices of Baseline in Gamak Bay	68
Table. 6	Emergy evaluation of new system in Gamak Bay (Scenario I)	70
Table. 7	Comparison of Emergy indices between Baseline and Scenario I	71
Table. 8	Environmental accounting of STP operation (Scenario I)	72
Table. 9	Emergy evaluation of seeding improvement system (Scenario II)	73
Table. 10	Emergy values and indices of Scenario II	74
Table. 11	Environmental accounting of Scenario II	75
Table. 12	Emergy evaluation flow of Scenario III	76
Table. 13	Emergy values and indices of Scenario III	76
Table. 14	Environmental accounting of Scenario III	77
Table. 15	Analysis of benefit relative to cost in STP and larvae resettlement after 3 years	77
Table. 16	Calibration of the pathway coefficients for the computer simulation of oyster aquaculture	81

그 립 목 차

Fig. 1. Conceptual diagram for the assessment of realistic carrying capacity considering various contents such as forestry, aquaculture, fisheries, tourism within thresholds	5
Fig. 2. Schematic diagram of decision making tool	7
Fig. 3. Examples of adaptation Energy to coastal problems in Korea (Kang and Nam, 2003)	9
Fig. 4. Overseas inshore fish farming site (Vassallo et al., 2006)	10
Fig. 5. Overview of research site near Gamak Bay (Shading area means specialized management area both land and ocean by marine environment by MOMAF)	12
Fig. 6. Overview of location of Gamak Bay and marine environmental reservation area near Gamak Bay	13
Fig. 7. Water quality (DO, COD, TN, TP) in Gamak Bay (2001~2005)	14
Fig. 8. COD distribution in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006	15
Fig. 9. DIN distribution at surface in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006	16
Fig. 10. TOC distribution at sediment in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006	17
Fig. 11. The distribution characteristics of benthic macrofauna in Feb., 2006	18
Fig. 12. Pollutants loads observation site overview, YoungDeung stream	19
Fig. 13. Pollutants loads circumstances (Flow rate, COD, DIN, DIP) around Gamak Bay from Jan. to Aug.	20
Fig. 14. Chl a concentration at surface and bottom layer ($\mu\text{g/L}$) in winter, spring, and summer, respectively	23
Fig. 15. Pollutants loads concentration from Yeosu sewage treatment plant	

(COD, SS, TN, TP)	24
Fig. 16. Meteorological data in Yeosu (1999 ~ 2006) (top-left: wind speed, top-right: precipitation, bottom-left: solar radiation, bottom-right: tide range)	25
Fig. 17. Oyster life cycle, <i>Crassostrea gigas</i> (Oyster Association, 2006)	26
Fig. 18. Annual oyster production, fertilities, money during 1997 ~ 2006 (Oyster suhyup in Gamak Bay, 2006)	28
Fig. 19. The methodological roots of systems ecology	30
Fig. 20. Hierarchical chain of energy transformations (left: pyramid structure of food chain, mid: energy transfer from producer to highest consumer with Joule, right: transformity with solar emjoule)	32
Fig. 21. EMERGY based indices, accounting for renewable Emergy flow(I), flow from indigenous nonrenewable reserves(N), purchased inputs from outside the system(F), and yield from system(Y)	35
Fig. 22. Schematic diagram of environmental accounting method	36
Fig. 23. Overview of Yeosu sewage treatment plant in Gamak Bay (Yeosu City, 2007)	38
Fig. 24. Seeding site map for present (near GwangYang) and alternatives method (inner Gamak Bay)	39
Fig. 25. COD/BOD Ratio in coastal areas (above: ratio in each experiments, below: histogram of frequency number)	42
Fig. 26. Modelling and simulation approach flows in systems ecology	43
Fig. 27. Energy system flows for oyster aquaculture in Gamak Bay (S: renewable sources, A: asset, M: money, P1: oyster price, P2: G&S)	44
Fig. 28. Schematic energy systems diagram and equation($DQ=J-K \times Q$) for defining production and consumption	45
Fig. 29. Contribution of money with facility, operation, salary, and indirect	

money for oyster production in Gamak Bay (per 5ha, 10,000 ropes)	46
Fig. 30. Captured window of QBasic program for oyster aquaculture model simulation	47
Fig. 31. Schematic diagram showing the procedure of energy system modeling	49
Fig. 32. Energy systems diagram using Emergy simulator (Valyi, 2004) with system diagram language (Odum, 1986) of shellfish aquaculture in Gamak Bay	51
Fig. 33. Emergy signature of renewable and purchased inputs energy sources in shellfish aquaculture in Gamak Bay	53
Fig. 34. Contribution of Emergy from renewable sources, fossil fuel, and goods & services for aquaculture in Gamak Bay	54
Fig. 35. Comparison of emergy indices with EYR, ELR, and SI between this study's results and previous studies of similar foreign productive systems (<i>S. aurata</i> and <i>S. salar</i>)	57
Fig. 36. Contribution of Emergy in FDA designated area with renewable sources, fule used, and G&S	59
Fig. 37. Comparison of Emergy with R(renewable sources), K(purchased inputs), and U(total emergy) between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar)	60
Fig. 38. A real empower density in relation to the energy transformation hierarchy (Odum, 1996)	61
Fig. 39 Comparison of emergy use per unit area between Gamak Bay and FDA designated area	62
Fig. 40. Comparison Emergy indices with EYR, ELR, and SI between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar)	62
Fig. 41. Comparison of between present production and carrying capacity of	

shellfish (above) and previous research result (Cho et al., 1996) in Gamak Bay and FDA area (below)	64
Fig. 42. Emergy contribution of Baseline with renewable sources, fuel used, and G&S	67
Fig. 43. Systems diagram of oyster aquaculture with labels for sources, storages and pathway	80
Fig. 44. Calibrated value of sources, storage, and coefficient factors for oyster aquaculture simulation	83
Fig. 45. Normalized value of storage and sources and coefficients calibration values for oyster aquaculture model	84
Fig. 46. Simulation Results of Baseline (top: asset, medium: money, bottom: yield)	85
Fig. 47. Monthly inflation rate index (Standard value means 100 in 2005 yr, KOSIS, 2007)	87
Fig. 48. Simulation results of scenario I with 3.5% inflation per year (top: asset, medium: money, bottom: yield)	88
Fig. 49. Simulation results of scenario II with 3.7% inflation and 1.75% increase of oyster price annually (top: asset, medium: money, bottom: yield)	90
Fig. 50. 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)	91
Fig. 51. Results of Scenario III with 10% decrease of G&S money annually (top: asset, midium: money, bottom: yield)	93
Fig. 52. Difference results between Scenario III minus Baseline (above: Money, below: Yield)	94

Appendix

Appendix. 1. Footnote on Table. 1	99
Appendix. 1. (continued)	100
Appendix. 2. Footnote on Table. 3	101
Appendix. 2. (continued)	102
Appendix. 3. Fishery production expenses (Unit: Thousand won)	103
Appendix. 3. (continued)	103
Appendix. 4. Footnote on Table. 4	104
Appendix. 4. (continued)	105
Appendix. 5. Footnote on Table. 12	106
Appendix. 5. (continued)	107
Appendix. 6. Footnote on Table. 16	108
Appendix. 6. (continued)	109
Appendix. 7. Model Code	110

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

Hyun Taik OH

*Department of Environmental Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

This research outlines a method for sustainability evaluation for shellfish aquaculture production in Gamak Bay for based on the systems ecology. For a better understanding of environmental factor influencing oyster production and the management of oyster stocks, it is important to understand and assess the real value of environmental sources such as solar energy, river, tide, wave, wind, etc. In this research, EMERGY flows from environment were 76% for shellfish aquaculture in Gamak Bay. EMERGY yield ratio, Environmental Loading Ratio, and Sustainability Index are 4.2, 0.3, 13.8 respectively.

Using the Emergy evaluation data, the predicted maximum shellfish aquaculture production in Gamak Bay and FDA (Food and Drug Administration, U.S.) designated area in Gamak Bay were 10,845 ton/yr, 7,548 ton/yr, respectively. Actually predicted shellfish production were about 1.3 times more than produced shellfish production in 2005. Therefore, the carrying capacity of the Gamak Bay may be estimated to be 1.3 times as high as the present oyster production.

This research was performed to develop a method of strategic environmental assessment on the operation of sewage treatment plant and reuse of seeding

areas by using the 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 present phase, and developed phase from scenario. Using the result of comparison of Emergy indices between present system and new system (Sewage Treatment Plant, Seeding), the new 1(STP), new 2(Seeding), and new 3(STP & Seeding) cost-benefit output shows 1.88, 0.78, and 1.29, respectively.

In this study, an energy systems model was built to simulate the variation of sustainability of the oyster aquaculture. The results of simulation based on calibration data in 2005 show that oyster production yield slowly slightly increase and money and asset show increase to the steady state because of the law of supply and demand. The results of simulation based on the variation of inflation rate show that the more increase the oil price, the more decrease the oyster production and asset after using the excess environmental resources around 10 years.

English Keyword: EMERGY Analysis, Gamak (Kamak) Bay, Shellfish Aquaculture, Marine Management Policy, Systems Ecology

I. 서론

우리나라 남서해안은 영양염류의 유입 및 먹이생물의 번식이 활발하여 각종 어패류가 산란 및 서식하기에 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 있다 (백, 1998). 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. 또한, 복미 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 체계적으

로 파악하고 정량적인 평가를 통해 이에 따른 관리 방안 및 대안을 제시할 수 있는 적절한 방법과 연구가 필요한 실정이다.

시스템 생태학 (Systems Ecology)은 인간을 포함한 모든 생물군과 그 주변의 환경을 하나의 통합된 시스템으로 인식하여 시스템 내의 유기적인 관계와 상호작용을 체계적이고 정량적으로 파악하는 학문이다. 이를 통하여 시스템의 구조를 분석하고 예상되는 여러 변화에 시스템이 어떻게 운영되어 나갈 것인지를 예측하고, 생태계에서 일어나는 에너지 및 물질의 흐름과 변화과정을 시스템 언어로 분석하여 인간과 자연의 유기적 관계를 규명할 수 있다.

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 평가하여 패류의 수용능력을 산정하였다. 또한, 패류양식의 지속적인 성장을 위한 대안평가와 에너지시스템모델을 통해서 환경개선노력 및 복원에 관한 노력이 실질적인 자연환경에 미치는 영향을 파악하여, 패류 양식산업의 미래를 예측하고자 한다.

II. 문헌 연구

1. 에머지 평가의 활용 및 선행연구

1.1. 환경용량과 지속성 평가

일반적으로 환경용량은 자연환경이 스스로 정화하여 생활환경의 질적 수준을 일정하게 유지하고 자원을 재생산할 수 있는 능력을 양으로 환산한 것이며, 능동적 의미에서 환경용량은 고정된 양이나 값을 의미하는 것이 아닌 인간활동을 통한 증진 및 감소의 대상이 된다. 가막만과 같은 연안 패류양식장에 있어서 적절한 시설량 및 지속적인 생산량을 유지하기 위해서는 패류 양식장의 환경용량을 산정하여 현재와 같은 환경조건하에서의 최대 생산량을 산정할 필요가 있다. 이와 관련하여 조 등(1996)은 대상해역인 가막만에 대해서 굴의 먹이가 되는 식물성 플랑크톤의 생산력을 나타내는 기초 생산력을 파악하여 이를 기초로 최대 생산량을 산정하였다. 이 연구에서는 가막만 전 해역에서 식물성 플랑크톤 생산량을 탄소량으로 환산하였고, 이렇게 환산된 탄소량이 전부 알골로 전환된다는 가정하에 최대 생산이 되어지는 양을 산정하였고, 이것을 가막만의 환경용량이라고 했다. 또한, 박과 최(2002)는 수산자원량의 추정에 이용되는 잉여생산량모델들을 사용하여 역학적인 방법으로 환경용량을 추정한 바 있다.

엄 등(1996)은 에머지 분석법에 의해서 득량만의 환경용량을 산정하였다. 이를 위해 득량만 지역에 유입되는 자연환경에 의한 연속성 에너지원을 에머지로 계산한 뒤, 현재 생산되는 어류, 갑각류, 패류, 해조류 등의 수산물의 생체량을 에머지로 계산한 다음, 에머지 구성비를 구했다. 이렇게 얻어진 비의 값은 에머지 분석을 통해 계산된 자연환경에 의한 연속성 에너지의 에머지량을 현재 에머지 구성비로 나눈 후, 나누어진 에머지량을 생물량으로 다시 환산하여 환경용량을 산정하였다. 이와 같은 방법으로 득량만의 패류양식의 환경용량은 현재보다 높게 나타났

으며, 이는 환경용량을 산정하기 위해서 사용한 전제조건과 관련이 깊다.

연구대상에 따라서 다양하게 환경용량의 개념이 정의되고 있으나, 좀더 포괄적인 의미에서 환경용량은 임 등(2003)에 의해서 이뤄진 “해양환경 내에서 유지될 수 있는 최대 개체군수 또는 생물량”으로 정의할 수 있다. 이는 강과 남(2003)의 연구에서 에머지 개념을 통해서 환경용량을 평가할 수 있는 사례를 제공하고 있으며, 이러한 사례는 우리나라 연안공간의 개발과 관련된 환경용량의 평가에 직접적으로 활용할 수 있다고 주장한 바 있다. 이와 유사한 사례로는 Brown and Ulgiati (2001) 가 연구한 멕시코와 파푸아뉴기니 연안에 있는 리조트를 대상으로 한 개발과 투자에 대한 분석이 있는데, 이 경우에는 개발압력을 견딜 수 있는 수용력을 파악하기 위해서 에머지를 이용해서 산정한 바 있다. 최근, 해양환경의 적정한 관리를 위해서 해양 환경용량 산정 및 개선목표를 설정하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 오 등 (2005)은 건전한 해역의 수질등급을 설정하고 이를 환경용량의 개념으로 잡은 뒤, 이와 같은 개선 목표를 달성하기 위한 방류수 수질농도 설정, 점 오염원의 오염원 삭감 효과 등을 산정한 바 있다. 즉, ‘환경악화를 일으키기 시작하는 오염물질 부하량의 한계’로 규정할 수 있다. Fig. 1과 같이 환경용량의 개념은 어느 것 하나로 특정 지워 지기에는 무리가 있고, 다만 지속적인 발전을 이룰 수 있는 여러 가지 수산업, 관광업, 양식업, 산림업 등이 조화롭게 허용할 수 있는 개발의 정도를 의미한다 (Fig. 1).

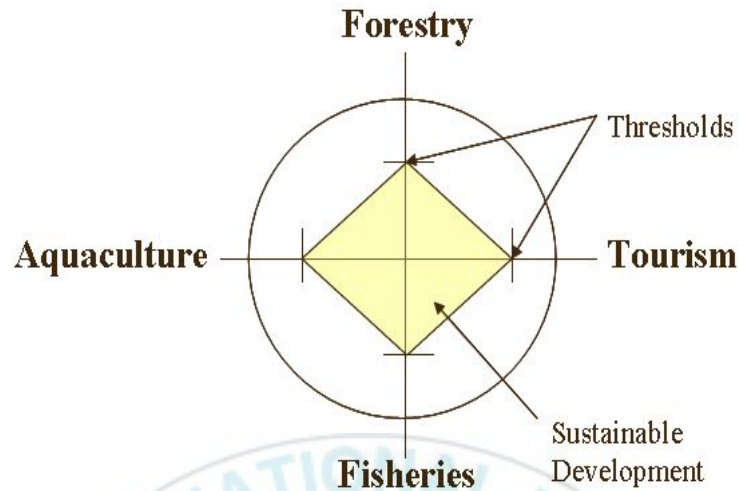


Fig. 1. Conceptual diagram for the assessment of realistic carrying capacity considering various contents such as forestry, aquaculture, fisheries, tourism within thresholds

브라질 사회에서 에머지를 기반으로 장기적인 환경용량을 산정한 Tilley and Comar (2006)의 연구에서는 최대 수용 가능한 정도를 환경용량으로 잡고, 이를 위해서 환경, 전력, 인구가 어느 정도가 적정 수준이 되는지에 대해서 장기 시뮬레이션을 통해서 방법을 찾고자 했다. 이를 위해서 이민자수 및 사망률, 생존율, 탄생율등이 포함되어지고, 전력의 국가간 이동 등에 대해서 고려한 종합적인 환경용량 산정의 연구사례이다.

이(1999)는 기초 생산력을 증가시키기 위한 수단으로 여러 환경인자들을 조절하여 기초 생산력과 용존산소에 주체를 둔 오염물질의 최대 수용력을 예측하여 산정된 기초 생산력에 해당되는 최대 알굴 생산량을 구했으며, 해양수산부(2001)는 빈산소 수괴 해소를 위한 환경용량을 산정하였다. 이들 연구는 용존산소와 생물생산량에 중점을 두었으며, 생물생산이 일어나는 시기, 즉 양식이 행해지는 시기에 이루어졌다.

김(2005)은 해역 환경기준물질인 COD를 이용하여 양식이 행해지는 얕는 4월에 가막만의 환경용량을 평가하였다. 이를 위해서 가막만의 수질 특성을 조사, 3차원 해수유동모델을 이용하여 해수 유동을 재현, 생태계 모델을 이용하여 수질을 재현, 장래 오염의 중요 부하원인 하천유입부하량의 변화에 따른 수질변화를 예측하였다. 최대 환경용량의 크기는 해역수질환경기준 III급수를 기준으로 가막만이 가지는 오염물질에 대한 환경수용력, 즉 환경용량을 산정한 바 있다.

환경정책의 비용/편익분석은 해양환경정책의 긍정적 효과와 기회비용을 비교하는 것이며, 편익이라 함은 해양환경정책에 따라서 자연환경이 개선되면서 자연환경이 제공하는 물리적 편익이 증대되거나 아니면, 환경피해가 감소하기 때문에 발생하는 것이다. 김 (2007)는 정부가 추진 중인 환경정책에 대해서 환경회계를 적용했고, 그 대상으로 오염총량제도 시행 전후에 발생하는 비용/편익 구조에 대해서 분석했다. 김 (2007)는 비용과 편익은 오염의 피해와 환경질 개선과 같은 사회나 국가 전체의 관점에서의 비용과 편익에 영향을 주는 요소들을 모두 포함하여야 한다고 주장한 바 있다. 강과 남(2003)는 환경 정책을 결정할 때 기존의 경제학 방법만을 사용할 것이 아닌 에머지 개념과 같이 동일 사안에 대해서 다른 시각을 제공할 수 있는 몇 가지 방법을 동시에 사용할 것을 제시했다. 이를 위해서는 Fig. 2과 같이 우선 해양 환경과 자원 관리에 활용할 수 있는 방법의 비교 및 검토를 한 뒤 서로 보완적으로 사용할 수 있는 평가방법들을 선택할 필요가 있다고 주장한 바 있다.

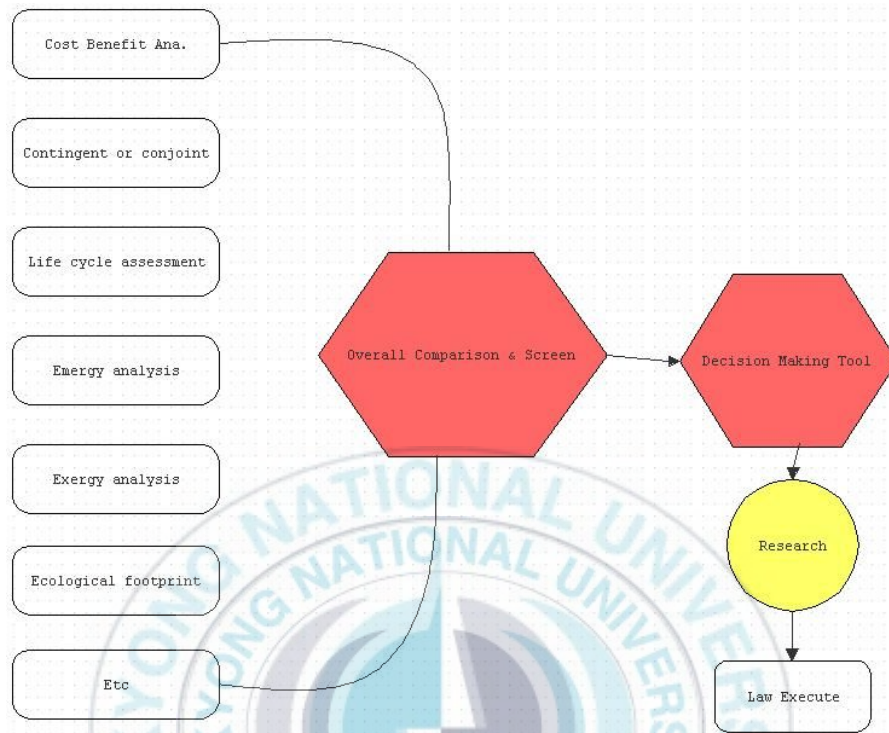


Fig. 2. Schematic diagram of decision making tool

1.2. 국내 해양수산분야 에머지 분석

시스템 생태학적 접근법은 자연환경의 역할과 인간경제활동을 하나의 시스템으로 파악하는 것이고, 이는 Odum(1996)이 1960년대 이후 에너지 언어를 생태계 시스템의 분석, 합성, 시뮬레이션에 이용한 이후 많은 연구자들에 의해서 활발히 사용되고 있다. 이와 같이 자연환경의 역할과 경제활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치 척도로 비교하는 EMERGY(에머지) 개념을 이용하여 수산업의 기여도, 자연환경과 경제활동에 대한 통합 평가 등에 활용되고 있다.

Lee and Odum (1996)이 에머지 분석법을 통해 한국의 자연활동과 경제활동을

평가하여, 국내의 산업이 외국으로부터 유입되는 수입의존도의 자원을 사용하고 있음을 나타냈다. 엄 등(1996)은 기존연구에서 이뤄지는 수산업의 지표를 통한 가치의 평가와 대안 제시를 하였고, 세분화된 시스템으로서의 대상해역 득량만에 대해서 이뤄지는 양식업에 적용하여 구체적인 생물량 산정에 초점을 맞췄다.

손 등(1996)은 한국 수산업을 해면어업, 일반 양식업 등으로 어종별 구분을 한 뒤 에머지 분석 및 지표비교를 통해서 각각의 에너지 시스템 특성을 분석한 바 있다. 손 등(1996)은 우리나라 수산업 전체에 대해 에머지 평가를 수행하여 에머지 가치와 시장의 가격사이에는 전체 수산업은 7배의 차이가 있음을 보였다. 즉, 수산물 생산금액으로 나타낸 수산업의 1992년 경제기여 가치는 바다가 우리 경제에 기여하는 가치를 아주 낮게 평가하고 있다는 것을 알 수 있다.

특히, 김 (2001)에 의한 넙치 생산에 기여하는 자연환경과 경제활동의 가치를 통합적으로 파악하는 연구방법에 대해 기술했으며, 에너지 모델링 과정에서는 넙치로 대표되는 육상 수산업 양식 활동과 패류양식의 특성을 비교하였다. 김 (2001)은 시스템 모델링에 의해 넙치 양식 산업의 지속성에 대한 변화 양상을 예측하고, 이러한 결과를 바탕으로 넙치양식을 비롯한 양식 산업의 발전방향을 제시하고자 했는데, 이러한 양식업의 지속성에 미치는 변화요인을 동일요인과 비교요인에 대해서 찾아내서 비교하고자 했다.

강과 남(2003)은 에머지 개념과 평가법을 연안자원과 환경관리에 활용할 수 있는지에 대한 방법을 토대로 생태계 가치평가, 편익/비용평가, 환경수용력평가, 대안평가를 하는 방법을 가막만 패류양식의 지속적 생산을 위해서 적용했다. 향후 에머지 평가법의 정책활용도를 높이기 위해서는 유형별로 지침서를 개발할 필요성 및 자체개발을 위한 연구를 다학제간 연구 방식으로 진행해야 함을 공감하고, 해양수산분야에 적용하기 위해서는 수산업 및 양식해역별 특성을 반영한 에머지 평가가 선행되어야 함을 강조한 바 있다 (Fig. 3). 그리고 갯벌의 가치 및 대안평가를 수행한 이 (2001) 및 하구가치 평가법에 대한 연구를 수행한 이 등(2001)의 연구결과에 의해서 사례지역에 관한 생태경제학적 가치를 평가한 바 있다.

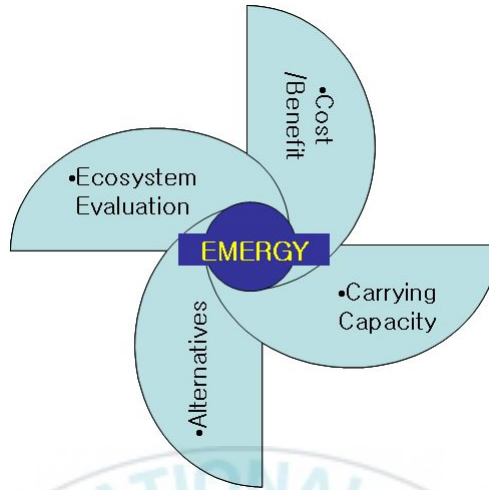


Fig. 3. Examples of adaptation Emergy to coastal problems in Korea
(Kang and Nam, 2003)

1.3. 국외 에머지 분석 사례 연구

Kang(1998)은 해양수산분야나 수산업 분야를 포함하여 다양한 생태계 시스템에 적용할 수 있는 모델링 방법을 제시하고 있으며, 상호작용을 평가하는데 있어서 쉽고 빠르게 적용가능토록 구성되어 있다. Odum and Arding (1991)에 의해 수행된 에쿠아도르의 새우양식 연구는 에머지 분석, 대안평가 및 모델링을 통한 대안 평가를 통해서 최적의 양식방안을 제시하고 있으며, 새로운 시스템이 도입되었을 때 얻게 되는 환경편익에 관해서 비교적 자세하게 기술하고 있다. 이 연구는 새우양식과 패류양식과의 시스템 내부 구성상의 차이는 있으나, 비교적 재화와 용역이 투여되어지고, 조석과 같은 자연 에너지에 좌우되는 영향이 크기에 많은 결과에 있으며, 새우 연구는 이에 그치지 않고, 이후에도 계속적으로 다른 연구지역으로 확대되어져서 비교 검토되어지고 있다.

수산업 분야에 적용된 해외의 에머지관련 연구는 최근의 Vassallo *et al.* (2006) 외에도 많은 연구자들에 의해서 이루어져왔다 (Odum and Arding, 1991; Brown

and Bardi, 2001; Odum, 2001; Bastianoni, 2002, Zuoa *et al.*, 2004). 특히, 최근 Vassallo 등에 의한 연구에서는 대서양 새우 양식 시스템에 적용하여 화석연료 등에 의존적인 현재의 양식시스템의 지속가능성에 대해 논하고, 지역적 특성에 따른 환경 인자의 활용가능성에 대해 논했다. Vassallo *et al.* (2006) 은 *S. aurata* 연구결과를 토대로 Odum(2001)에 의해 수행된 연어양식 결과와 Brown *et al.* (1992)의 *T. mariae* 와 Bastianoni *et al.* (2001)에 의해 수행된 유사어종인 감성돔류의 환경에 미치는 영향에 대해서 지수를 통한 분석방법을 사용했다. 시스템 다이어그램의 경우에 패류양식과의 차이는 Sludges를 통해서 외부로 배출되어지는 해면양식의 특성을 반영하였으며, Catching을 수산업의 한 분야로 특성 지워지고 있고, 이에 대한 비용분석이 이뤄진 면이 있다 (Fig. 4).



Fig. 4. Overseas inshore fish farming site (Vassallo *et al.*, 2006)

국외 에머지 분석의 사례에서 반폐쇄성 해역에서 수하연 굴 양식을 하는 국외 연구사례와 직접 비교할 수 있는 자료는 없었으나, 양식의 특성상 재화와 용역의 이용 및 해수를 사용함에 있어서 동일한 시스템으로 구분할 수 있는 것들을 택해서 비교연구를 수행했다. 양식 이외에 Zuo *et al.* (2004) 에 의해 수행된 Yancheng Biospere Reserve에 관한 연구는 하수처리장 및 하천복원 사업에 대한 보존과 개발에 따른 환경회계 적용방안을 적용하고 있다.

2. 연구 대상 지역 현황

2.1. 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 해양환경 관리법에 의한 환경보전해역등의 관리기본계획 수립 및 시행계획에 의거하여 가막만 관리계획이 수립되는 지역으로 여수시와 돌산읍, 화양면으로 둘러싸인 총 255.3km²(해양부 154.17km², 육지부 101.13km²)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. 5, 6).

가막만은 평균 폭 9Km, 길이 15Km의 타원형 형태를 갖고 있으며, 만의 표면적이 112 Km², 해수용적 10.2×10⁸ m³의 반폐쇄성 천해역에 해당한다. 이와 조(1990)는 가막만은 북동쪽의 여수항과 남쪽의 만 입구를 통해 해수의 출입이 이루어지며, 이 결과 만내에는 물리적 성질이 서로 다른 세 개의 수괴가 형성되는 것으로 밝힌바 있다. 또한, 가막만은 1일 2회의 창·낙조가 규칙적으로 발생하는 반일주조가 우세한 만이지만, 평균 수심이 10m 미만으로 비교적 얇고, 만의 규모도 그다지 크지 않기 때문에 만내 흐름은 바람에 의한 영향을 강하게 받을 수 있는 해역으로 생각된다.

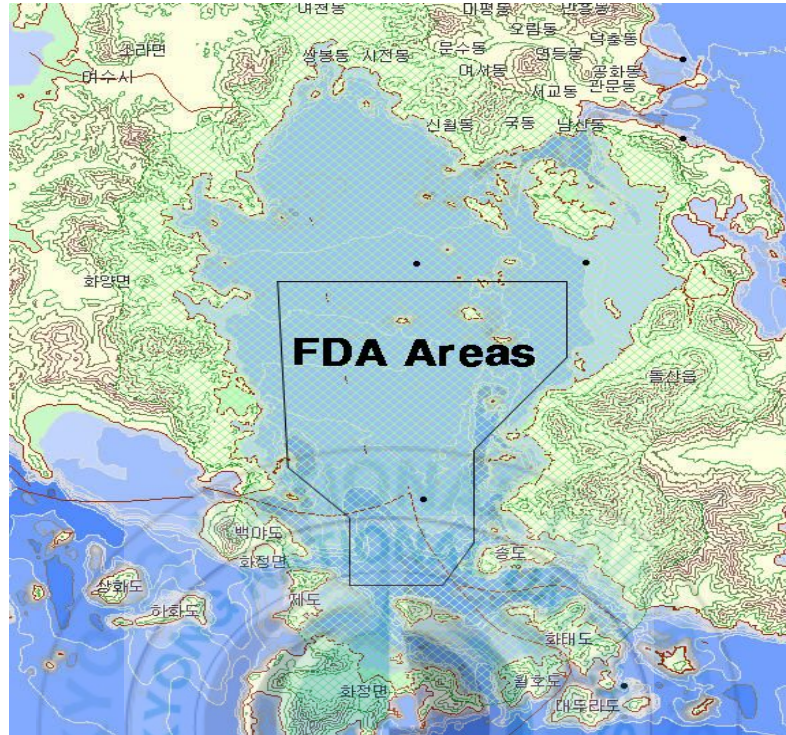


Fig. 5. Overview of research site near Gamak Bay (Shading area means specialized management area both land and ocean by marine environment by MOMAF)

여수시의 인구는 30만 명이며, 연평균 1%내외로 감소추세를 보이고 있다. 가막만 주변의 인구밀도는 $716.2 \text{ 명} / \text{Km}^2$ 로 전국 연안 인구밀도 406명보다 높아 밀집특성을 보이고 있으며, 이로 인한 생활오수에 의한 오염부하가 높으나, 2005년부터 가동을 시작한 신월동 하수종말처리장의 준공으로 저감될 것으로 전망된다. 가막만 유역의 축산오염 부하는 미미하나, 주변의 농경지는 여수시의 70%를 차지하여 비점오염원 영향 대책이 필요한 실정이다.

향후 여수시는 가막만 인근의 오동도 지역 부근으로 유치가 결정된 2012년 세계 엑스포 배후 육지부 개발 수요 증가로 가막만의 오염부하는 더욱 가중될 우

려가 있다. 게다가 소호지구등을 대상으로 해상레저활동의 중심지로 수변위락공간 조성의 계획에 따라 해양수질에 대한 부하 압력은 더욱 커질 것으로 보인다. 현재 까지 거론되는 여수엑스포 개최에 약 1조7000억원의 사업비가 들어갈 것으로 추정되며, 이 같은 사업비를 들여 거둬들이는 경제적 효과는 무려 10조원으로 전망 되고, 고용 유발효과만 9만명 가량이기에 (해양수산부, 2007) 이로 인한 영향평가가 향후 필요한 실정이다.

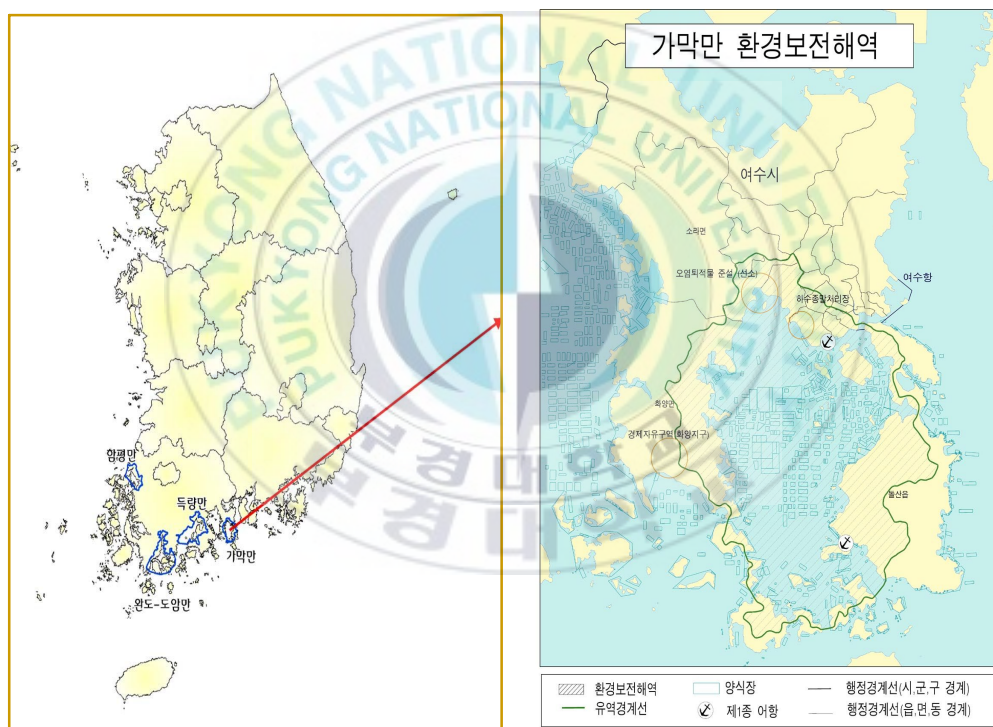


Fig. 6. Overview of location of Gamak Bay and marine environmental reservation area near Gamak Bay

2.2. 가막만의 해양수질 현황

해양수질은 1980년대 중반부터 1990년대 말까지 생활하수를 비롯한 육상기인 오염원과 양식에 의한 자가 오염원에 의한 오염이 심화되었으나 2000년 이후 개선되고 있는 상태이다. 최근 5년간(2001~2005년) 해양수질현황을 보면, 용존산소는 평균 8.72mg/L로 I 등급을 보이고 있으며, 화학적 산소요구량은 평균 1.57mg/L로 II 등급을 유지하고 있다 (국립수산과학원, 2005, Fig. 7).

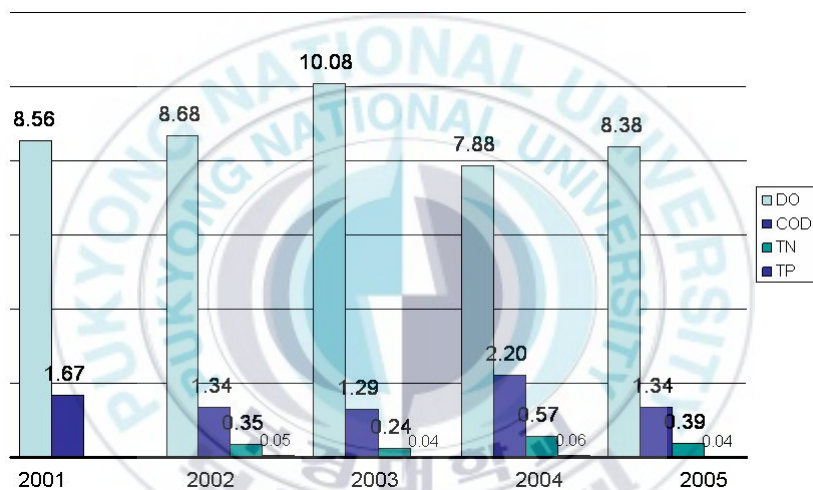


Fig. 7. Water quality (DO, COD, TN, TP) in Gamak Bay
(2001~2005)

국립수산과학원 환경연구팀에서는 가막만 해양환경조사를 위해 2005~2006년에 걸쳐 계절별로 해양환경에 대한 조사를 수행했다 (국립수산과학원, 2005; 국립수산과학원, 2006). COD 농도 분포는 조사기간 동안 0.0~3.6 mg/L (평균 1.7 mg/L) 범위였고, 평균농도는 2월 1.3 mg/L, 5월 1.9 mg/L, 8월 1.8 mg/L이었으며 큰 농도의 변동이 없었으며, 공간적으로는 만 북서측과 남측에서, 다소 높은 값을 보였고 만 중앙부에서 다소 낮게 나타났다 (Fig. 8). 만 북서측은 만 중앙역에 비해 수심이 깊어지고, 해수교환이 약해지는 곳에 해당하며 여름철 육상으로부터 기인한 오

염물질에 의한 수질악화가 반복되는 해역이다. 만 중앙역의 우측부근에는 무술목 해역에 해당하는데, 이곳은 무술목 독 설치이후 해수교환이 불량해지고, 인근 저수시설로부터 오염된 물질이 유입되고 있어 수질악화가 빈번히 발생하는 해역이다. 게다가, 하수처리장이 가동되어 방류되는 방류수의 경우 무술목 앞으로 모여들 것으로 여겨져 수질악화가 심히 우려되는 해역에 해당한다.

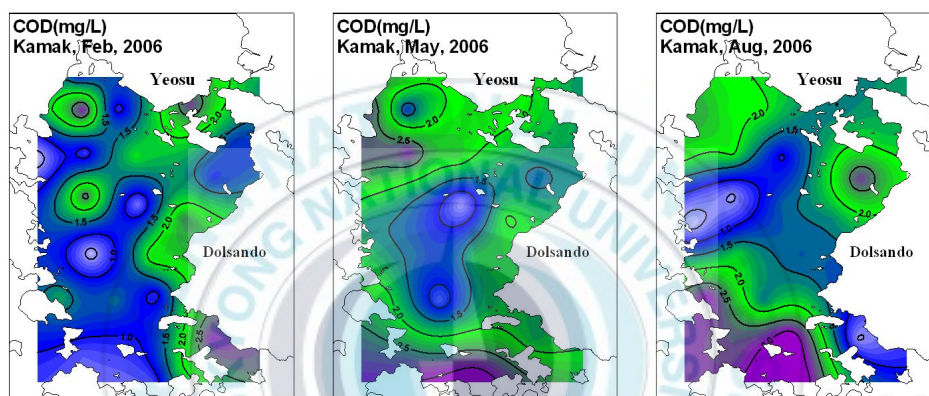


Fig. 8. COD distribution in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006

DOC의 농도 분포는 조사기간 동안 0.2~3.9 mg/L (평균 1.5 mg/L) 범위였으며, 8월에 평균농도가 1.2 mg/L로 가장 낮은 농도를 보였고, 공간분포 경향은 COD와 유사하였다. DIN의 농도 분포는 조사기간 동안 0.000~0.265 mg/L (평균 0.032 mg/L) 범위였고, 평균농도는 2월 0.018 mg/L, 5월 0.048 mg/L, 8월 0.032 mg/L로 5월이 가장 높았다. DIP의 농도 분포는 조사기간 동안 0.000~0.109 mg/L (평균 0.007 mg/L) 범위였고, 평균농도는 2월 0.007 mg/L, 5월 0.008 mg/L, 8월 0.006 mg/L로 시기별로는 큰 변동은 없었다 (Fig. 9).

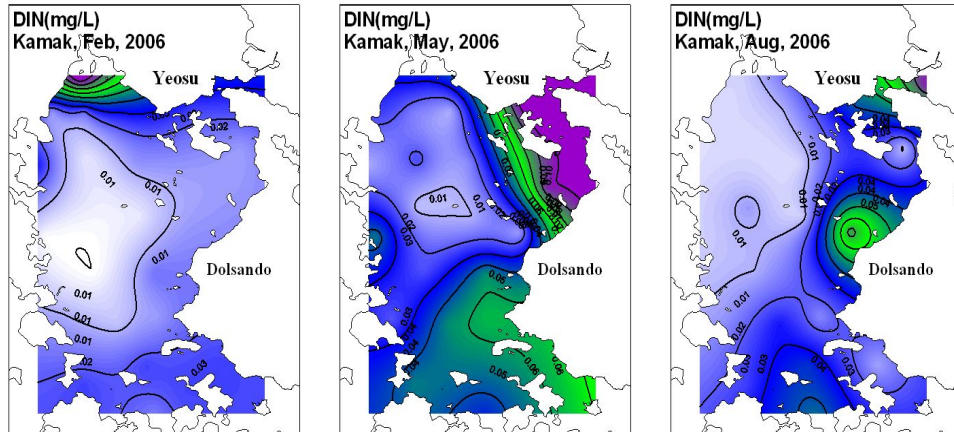


Fig. 9. DIN distribution at surface in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006

2.3. 가막만의 저서환경 생태특성

퇴적물의 COD 농도 분포는 조사기간 동안 4.4~21.6 mg/g dry (평균 13.1 mg/g dry) 범위였고, 동계에서 하계로 갈수록 농도가 증가하는 경향을 보였으며, 만 중부 수역이 낮은 농도 분포를 보인 반면, 북부 내만역이 높은 농도를 보였다. 퇴적물의 오염도 역시 만 북서 내만역의 조류소통 불량으로 인해서 오염물질이 정체되는 특성을 반영한 것으로 보이며, 육상으로부터 기인하는 오염물질이 감소되지 못하고 있기에 계속 악화되어지는 형태를 보이고 있다.

TOC의 농도 분포는 0.10~0.50 % (평균 0.19 %) 범위였고 2월 평균농도가 0.24 %로 타 계절에 비해 가장 높았으며, 육상부하량이 많은 만 북부 내만수역에서 높고 만 입구로 갈수록 낮아지는 경향을 보였다. 이는 COD의 분포 특성과 유사한 형태를 보이며, 가막만의 퇴적물 환경 개선을 위해서는 북서 내만역의 조류소통 개선 및 해역환경 개선을 위한 조치가 필요함을 반증해 주고 있다 (Fig. 10).

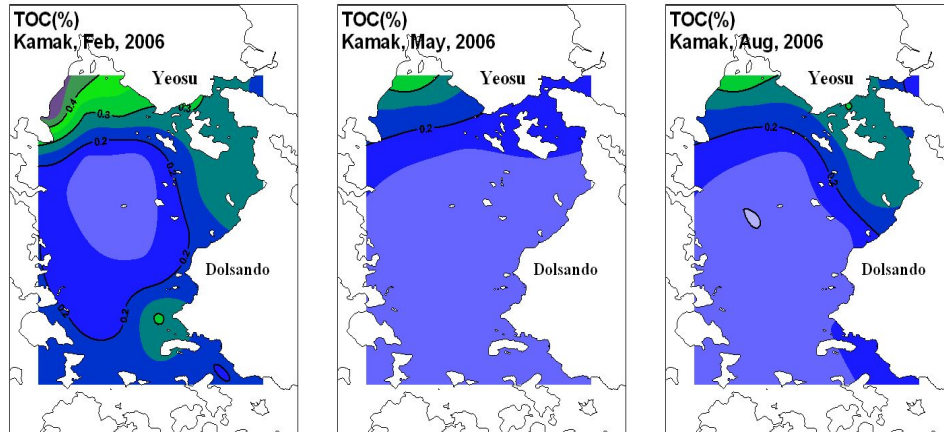


Fig. 10. TOC distribution at sediment in Feb(left), May(center), Aug.(right), 2006

저서동물 군집 구조를 파악하기 위해 조사한 저서동물상은 2월에 총 78종의 다모류가 채집되었으며, 북서내만역에서 낮고 만중앙부에서 25종 내외의 안정적인 분포를 보였다. 8월에는 총 91종의 다모류가 출현하였으며, 만 북부역에서 빈산소의 영향으로 무생물역이 형성되었고, 여수항 주변에서 최대 종수를 그리고 만 중앙부역으로 가면서 증가하여 20종 이상의 비교적 높은 종 수를 보였다 (Fig. 11).

다모류군집의 평균밀도는 2월에 95 개체/0.1m² 이며, 북서내만역이 낮은 밀도를, 국동항 주변이 400 개체/0.1m²의 높은 밀도를 기록하였다. 만 중앙부는 100~259 개체/0.1m²으로 평균밀도와 유사한 범위를 보였다. 8월에는 평균밀도가 262 개체/0.1m²으로 2월에 비해 큰 폭으로 증가하였다. 전반적인 분포 경향은 2월과 마찬가지로 여수항 주변이 다른 해역에 비해 상대적으로 높은 밀도를 보이는 것으로 나타났다.

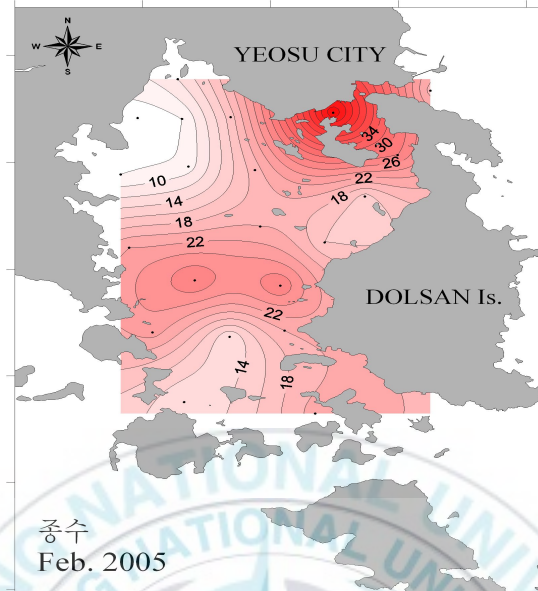


Fig. 11. The distribution characteristics of benthic macrofauna in Feb., 2006

퇴적물의 산소소모량(SOD)은 만 남측에서 $1.07 \sim 26.79 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 로, 평균 $9.99 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 나타났으며, 만 중앙부 지점에서 $1.34 \sim 38.57 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 로, 평균 $13.55 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값을 보였다.

퇴적물의 영양염 용출량은 동계의 경우 DIN이 $0.23 \sim 0.71 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 범위로 평균 $0.44 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값을 보였으며, DIP가 $0.01 \sim 0.07 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 범위로 평균 $0.08 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값을 보였다. 하계의 경우 DIN이 $0.15 \sim 0.23 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 범위로 평균 $0.19 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값을 보였으며, DIP가 $0.00 \sim 0.03 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 범위로 평균 $0.01 \text{ mmole/m}^2 \cdot \text{day}$ 의 값을 보여, 건기에 다소 높은 용출율을 나타내었다.

2.4. 오염물질 부하량 조사

가막만으로 유입하는 주요 하천 유량은 조사기간 동안 118.8~51742.8 m³/day 범위로, 7월이 평균유량 11256.2 m³/day로 가장 많았고, 특히, 연등천의 하천유량이 평균 28,449 m³/day로 가장 큰 유량을 차지하였다. 이 등(2002)에 의해 조사된 가막만으로 유입되는 유량은 일 15만 톤을 보임에 비해 본 조사에서는 집중호우 시기 등을 안전상의 이유로 비껴갈 수밖에 없었기에 총량이 다소 감소한 특성을 보였다.

COD 부하량은 조사기간 동안 0.0~2282.5 kg/day 범위로, 여름철 평균부하량이 339.0 kg/day로 가장 큰 값을 나타내었으며, 특히, 항호의 부하량이 2.9 kg/day로 가장 높은 비율을 차지하였다. 여수의 연등천은 악취가 매우 심하며, 주변시장 및 횃집에서 생활하수가 여과 없이 유입되고 있어 오염원 관리가 필요한 지역이고, 연등천과 해역의 입구가 만나는 하부 정체지역의 부영양화 심각한 수준이다 (Fig. 12).



Fig. 12. Pollutants loads observation site overview,
YoungDeung stream

DIN 부하량은 0.04~578.19 kg/day범위, 도심의 인구밀집 지역에 위치한 연등천의 부하량이 199.87 kg/day로 가장 높은 비율을 차지하였다. DIP 부하량은 0.00~33.41 kg/day범위로, 1월 평균부하량이 6.31 kg/day로 가장 큰 값을 나타내었으며, 6월의 평균부하량이 0.56 kg/day로 가장 작은 값을 나타내었다. 특히, 연등천의 DIP 부하량이 평균 13.14 kg/day 로 가장 큰 부하량을 차지하는 것으로 나타났다 (Fig. 13).

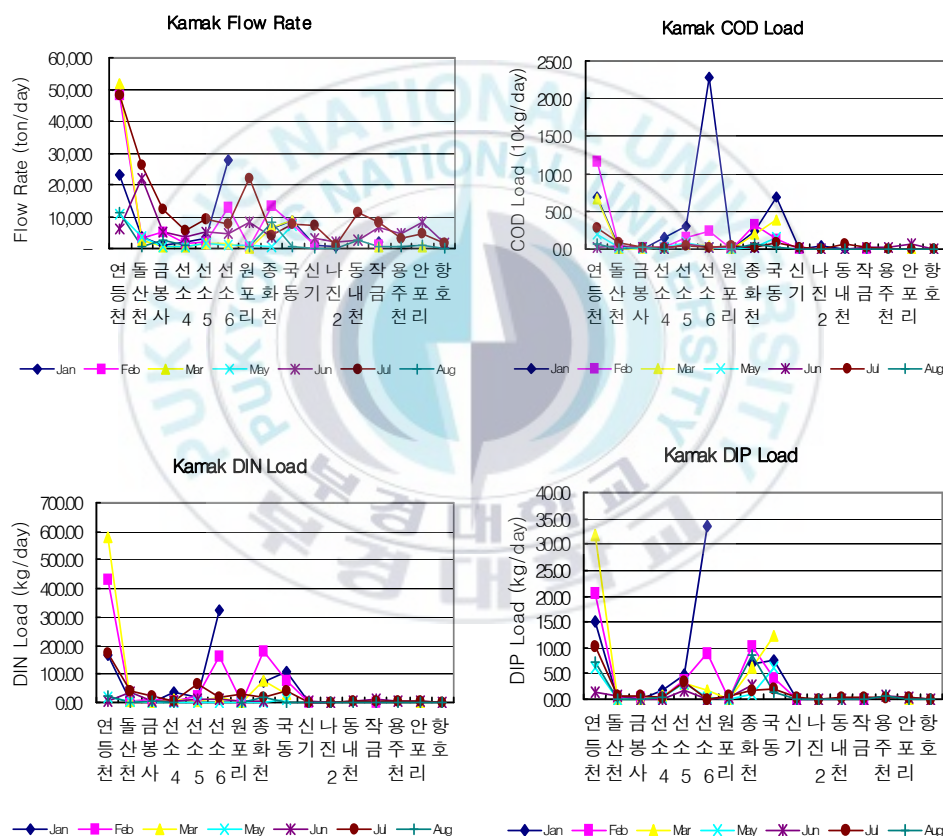


Fig. 13. Pollutants loads circumstances (Flow rate, COD, DIN, DIP) around Gamak Bay from Jan. to Aug.

2.5. 식물성 플랑크톤 우점종 특성

가막만 굴 양식해역의 먹이질 특성과파악을 위한 현장조사 결과, 2006년 2월 가막만 해수에서 검출된 식물플랑크톤 광합성 색소는 chlorophyll 3종과 carotenoid 12종이며, chl *a*의 분해산물인 chlorophyllide *a* (chl *a*)와 phaeophytin *a* (phytin *a*)가 검출되었다. Chlorophylls는 chlorophyll *a* (chl *a*)를 비롯하여 chlorophyll *b* (chl *b*), chlorophyll *c* (chl *c*)가 검출되었고, carotenoids는 fucoxanthin (fuco), alloxanthin (allo), peridinin (perid), diadinoxanthin (diadino), diatoxanthin (diato), 19'-hexanoyloxyfucoxanthin (hex-fuco), 19'-butanoyloxyfucoxanthin (but-fuco), zeaxanthin (zea), lutein (lut), prasinoxanthin (prasino), violaxanthin (viola) 그리고 beta-carotene (beta-car) 이 검출되었다.

2006년 2월 가막만 표층수의 경우, chl *a* 농도가 0.50 ~ 2.4 µg/L (평균: 1.11 µg/L)범위로 만의 남쪽 해역에서 비교적 높은 농도를 보였다. 저층수의 chl *a* 농도는 0.42~2.35 µg/L (평균: 1.05 µg/L)범위로 검출되었다. 저층수의 분포특성은 전반적으로 표층수와 유사하였으나, 수심이 얇은 가막만의 특성으로 표층의 chl *a*가 분해되기 전에 중층과 저층에 도달하여, 표층수에서보다는 중층, 저층수에서의 chl *a* 농도가 다소 높은 값을 나타내었다. 가막만 해수에서 검출된 보조색소 중, fuco가 주요색소로 검출되었고, 그 외 색소들은 미량 검출되었다. 검출된 색소 종류와 함량을 보았을 때, fuco, diadino, diato, beta-car를 주요색소로 가지는 diatoms가 전체 식물플랑크톤 생체량의 대부분을 차지하는 주요 종으로 나타났다.

식물성 플랑크톤의 grazing 정도를 파악하는 척도로 사용되는 phytin A의 분포는 2006년 2월에 가막만 남부해역에서 높게, 북부 내만 역에서 낮게 나타났다. 이는 굴성장이 활발한 2월에 굴 양식해역에서 수서생물에 의한 grazing이 활발하게 이뤄지고 있음을 나타낸다. 수서미세조류의 노화정도를 파악하는데 사용되는 chl *a*의 분해산물인 chl *a*의 농도는 chl *a*에 대한 상대적인 비를 나타내는데 이는 대부분 해역에서 10% 이하의 범위를 보이고 있어, Bidigare *et al.* (1986)에 의해 보고된 자료에 의하면 건강한 식물플랑크톤으로 볼 수 있다.

이와 같은 분포는 가막만 저층에서도 유사한 형태를 보이고 있으며, phytin A의 농도가 가막만 동부 내측수역까지 높게 나타나고 있어 현지 어민들에 의해 이뤄지고 있는 굴양식의 현황을 반영하고 있다. 저층상태역시 대체로 건강한 식물플랑크톤으로 보이며, 전년도 보다 미세조류가 성장하는데는 더 좋은 환경이었던 것으로 여겨진다.

클로로필 a는 양식을 집약적으로 행하는 연안해역에 먹이량의 척도로서 사용되고 있다. 자연산 먹이를 섭취하여 성장하는 패류들의 먹이생물에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나 정론은 없으며, 일반적으로 입자유기물질이 먹이로 사용된다고 보고하고 있다. 또한 미소 현탁물과 플랑크톤의 침전량이 많은 양식어장에서는 굴의 성장이 양호한 것으로 알려져 있고 굴 양식장의 먹이량의 측정으로 현탁물 중의 유기질소 양보다는 클로로필 a 농도를 측정하는 것이 바람직하다고 하였다.

가막만의 표·저층 클로로필 a 농도는 0.24 ~ 8.11 $\mu\text{g/L}$ 로서 계절별로 점진적인 증가를 보이고 있으며 2월의 경우, 표층은 가막만 중부 해역과 대경도와 돌산도 간의 해역에서 가장 높은 농도를 보이고 있다. 5월의 경우, 2월과 같은 특징을 보이고 있으며, 8월의 경우 돌산도 남부와 백야도 부근에서 가장 높은 농도를 보이고 있다 (Fig. 14). 표층의 경우, 굴양식장 성행하고 있는 중부해역에서 타시기와 비슷한 농도를 보이고 있다. 이는 굴성장에 필요한 먹이로서 상당한 량의 클로로필 a를 먹이원으로서 사용하고 있음을 시사하고 있다.

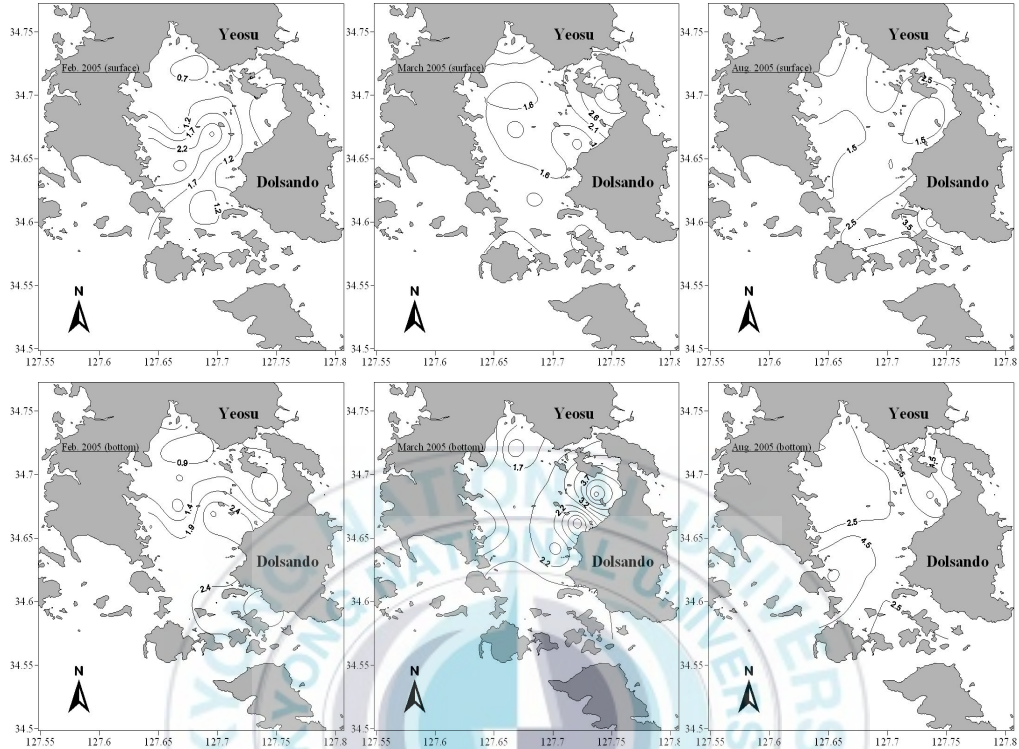


Fig. 14. Chl *a* concentration at surface and bottom layer ($\mu\text{g/L}$) in winter, spring, and summer, respectively

2.6. 환경기초시설 및 해역개선사업

여수시는 신월동 일대에 하수종말처리장을 건설하여 2005년부터 시범가동후 일일 5만톤 규모로 하수처리중에 있다. 하수관거는 계획연장 806,737 m, 시설연장 628,350m 로 약 78%의 보급률을 보이며 하수 슬러지 처리 시설을 여수시 웅천동에 2006년에 건설했다. 하수처리장은 시설용량은 110,000 ton/day 규모로 설계되었고, 처리공법은 MSBR, 사여과시설을 사용하고 있으나 현재 하수처리장으로 전달되어지는 생활하수의 양이 많지 못하기에 일 5만톤 규모로 처리되며, 이를 고시

된 수질농도를 통하여 얻어진 부하량은 Fig. 15과 같다. 특히, 하수처리후 방류구가 위치한 지역은 돌산도 바깥해역에 수중방류를 하고 있으나, 방류시 오염물질에 관한 확인 및 식별의 어려움이 있다 (Fig. 15).

가막만 북서 내만역의 반복적인 해양환경 오염을 개선하기 위해서 여수시 선소마을-소호동 항오마을 해상에 준설사업을 실시하였고, 국동어항 및 돌산어항 주변에 수중 침적 폐기물 수거사업을 실시중에 있다. 그러나 유역인구 증가 및 연안개발에 따른 육상기인 오염부하가 가중되고 있으며, 해양과 배후 육지부 환경에 대한 종합적 이해를 통한 통합관리 체제가 미비한 실정이다.

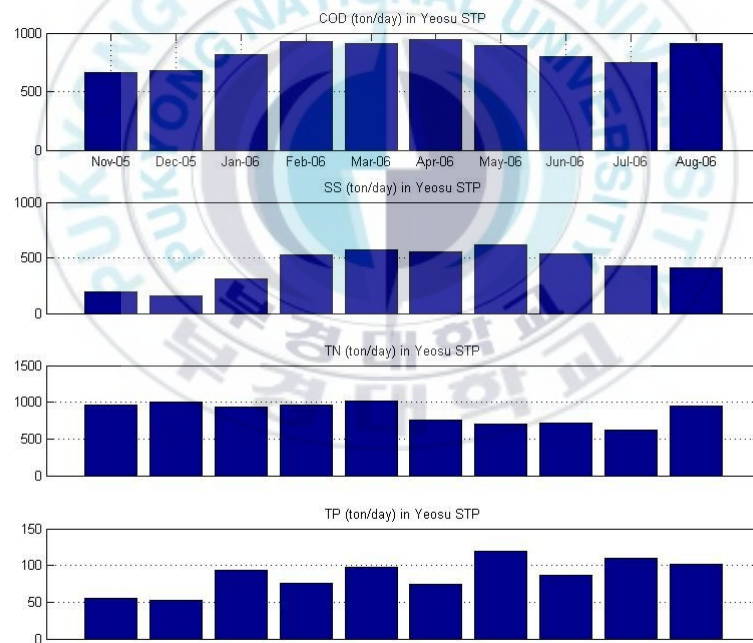


Fig. 15. Pollutants loads concentration from Yeosu sewage treatment plant (COD, SS, TN, TP)

2.7. 여수지역의 기상현황

여수시는 남해안 중앙의 여수반도에 위치하여 해양성 기후 특성을 보이며 강수량은 풍부하나 연 변동이 크게 나타나며, 겨울철에는 온화하고, 여름철에는 서늘한 특성을 보인다. 강수는 여름철 장마, 집중호우, 태풍 등이 영향을 미칠때 집중하며, 안개와 강수현상이 자주 나타난다. 본 연구를 위하여 여수지방 기상청에서 관측한 지난 10년간의 기상관측 자료를 활용했으며, 일사량 관측 자료의 경우에는 가장 인근에 위치한 광주지방 기상청에서 제공하는 자료를 갖고 분석에 활용했다. 여수시의 연중 강우량은 1561 mm 이며, 평균기온은 14.3 도를 나타내고, 바람은 연평균 4.00 ~ 4.60 m/s를 보이고 있다. 박(2003)은 가막만의 해양환경과 굴양식장에 미치는 바람효과를 연구하기 위해 가막만 풍향의 특성을 연구한바 있다. 그에 따르면 하계에는 남남서풍 또는 남서풍, 추계에는 북동풍, 겨울철에는 북서풍을 주 탁월풍향으로 나타냈지만, 이 역시 현장에서는 일관성 있는 데이터를 얻기 힘들어서 탁월풍을 분석하는 것은 제외했다 (Fig. 16).

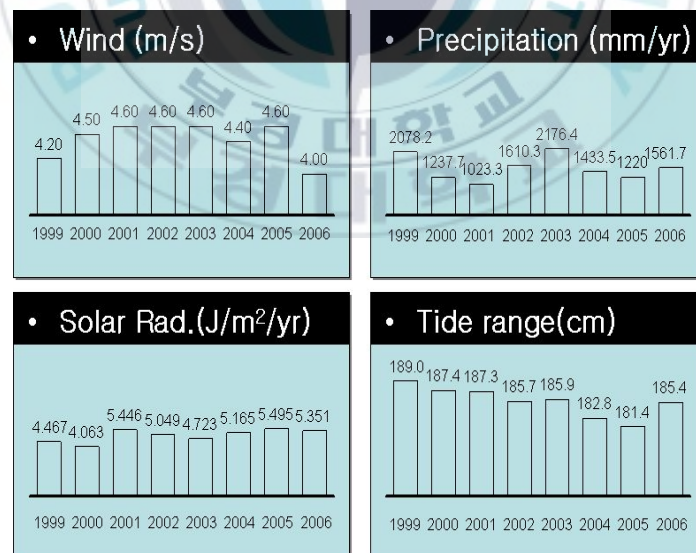


Fig. 16. Meteorological data in Yeosu (1999 ~ 2006) (top-left: wind speed, top-right: precipitation, bottom-left: solar radiation, bottom-right: tide range)

2.8. 가막만 굴 양식업 현황

가막만 FDA 해역에서 이뤄지는 굴 양식업은 초여름부터 굴의 유생을 받는 일로 시작된다 (굴 수하식 수협, 2007). 즉, 산란기에 굴의 껍질을 해수에 담궈서 유생을 굴껍질에 자연 부착시키는 것이 채묘이다. 이때, 농어촌의 인력이 굴껍질에 구멍을 뚫어 구슬을 꿰듯 50~60개씩 꿰어 놓고, 굴껍질을 뗏목에 적재했다가 어장 관리선을 이용 채묘장소로 이동하며, 오염되지 않은 해역에서 바람, 조류, 먹이생물 등 해황에 따라 채묘를 하게 된다. 이후 각 연안에서 채묘기로 조립된 굴껍질에 부착된 유생을 햇빛노출을 통해 성장을 억제시켜가며 건강한 굴만을 얻기 위해 단련시키게 된다. 이 과정은 병해예방과 굴의 성장, 비만 증대를 통해 상품성을 높이는데 일조한다 (Fig. 17).

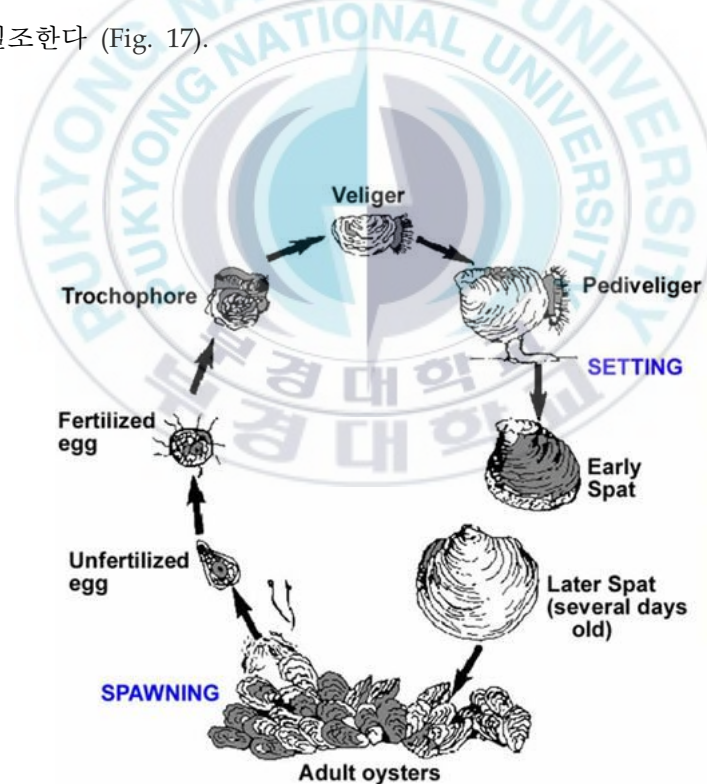


Fig. 17. Oyster life cycle, *Crassostrea gigas* (Oyster Association, 2006)

이후 단련장에서 단련된 종묘중 우량한 것을 선별하여 20~25개씩 조립하여 청정해역인 어장으로 이동하여 수면에 연승수하식으로 시설한다. 이 경우 인력을 동원한 조립, 선박을 이용한 어장 이동, 시설설치등의 비용이 발생한다. 수하이후에는 자연해수에서 일정기간동안 성육시킴으로써 해수와 적정영양분 밀도, 굴의 발육상태 크기가 형성되기에 매우 중요한 시기이다. 특히, 지정된 청정해역에서 청정해수속에 담겨서 천연의 영양분인 플랑크톤을 섭취, 성장 함으로써 알맹이가 크고 영양분이 풍부한 남해안 특유의 굴이 탄생하게 된다. 앞의 단계를 거치면 채취를 하는데, 수하식 방법은 연승의 길이가 길고 무게가 상당하기에 인력으로 하기에는 어려움이 많기에 기계를 사용한 유류사용이 필수적이다. 요약하면, 가막만내 굴 양식은 [채묘] - [단련] - [수하] - [양성] - [채취] 의 단계를 통해 이뤄진다 (굴수협, 2007). 이런 각각의 단계에서 양식산업을 위협하는 요인으로서는 유충채취, 적정상태에서 성장, 포식자로부터 보호, 안정된 수확, 폭넓은 출하시장 확보등이 되며, 매해 굴의 품질과 생산량에 따라 소득금액의 차이가 발생한다.

가막만내의 굴 양식 생산과 관련된 자료는 연별 굴 생산실적, 어장위치, 시설량, 판매실적등은 굴수협, 굴지소, 여수시청을 통해서 확보하였으며, 굴 생산 및 유통의 특성상 통계에 미포함된 자료등도 상당수 있는 것으로 파악된다. 박 (2003)은 어민을 대상으로 설문을 실시하여 어장별 줄당 생산량을 확보하여 어장에 대한 대표값으로 산정한 바 있으며, 조 등(1996)은 대상지역의 양식시설대수 (7,470)에서 전체 양식시설대수 (10,242)를 나눈 비율을 곱하여 실제 굴 생산량을 구한바 있다. 이렇게 구한 가막만의 1994년 생산된 총굴 생산량은 20,412톤이었고, 수율을 곱하여 알굴 생산량으로 계산하면 4,532톤으로 분석한 바 있다.

본 연구에서 사용한 최근 10년간의 굴 시설량은 12,000 ~ 16,000 대(단위: 100m)로 나타났고, 연간 변동량이 나타나고 있다. 굴 생산량과 생산금액은 비례관계를 보이고 있는데, 노로바이러스 발병등으로 60% 넘는 폐사가 나타났던 2004년의 굴 양식업의 피해가 두드러졌고, 1990년대 후반들어 고수온으로 인한 대량폐사가 빈번해 지면서 굴 양식업에 막대한 피해가 반복되고 있다. 이런 굴의 폐사율은 1990년대 30%에서 2000년대 들어 50%이상으로 증가했으며, 패류 폐사에 따른 정부 지원금은 2005년 19억원, 2006년 20억원에 달한다 (Fig. 18).

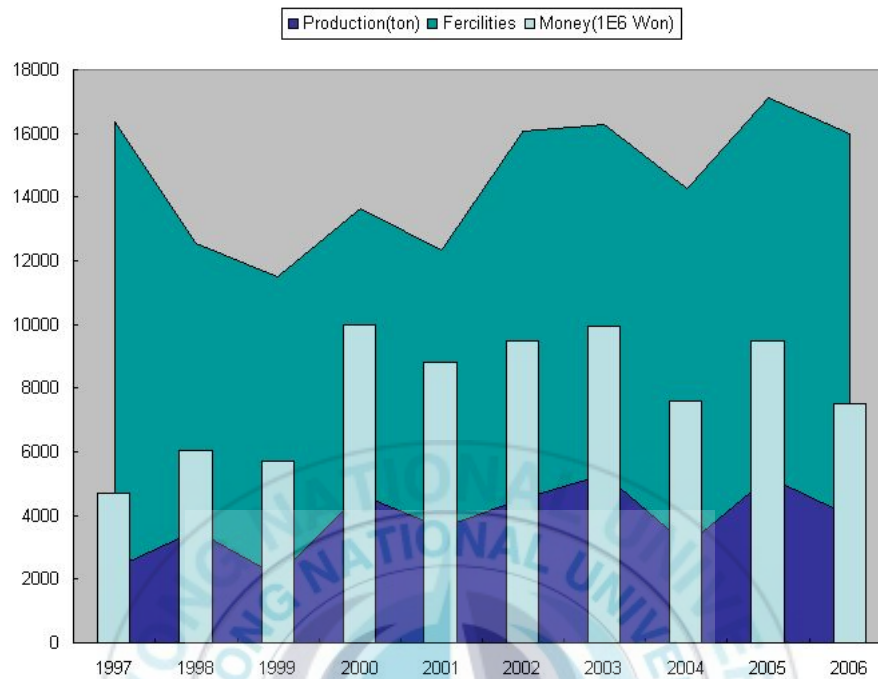


Fig. 18. Annual oyster production, fertilities, money during 1997 ~ 2006
(Oyster suhyup in Gamak Bay, 2006)

III. 연구 방법

1. 시스템 생태학

20세기 후반 산업혁명·의학발전에 따른 인구의 기하급수적인 증가로 쓰레기, 배기가스, 폐기물 등이 늘고 있다. 이렇듯 산업생산력의 향상은 막대한 양의 원료와 에너지를 요구하게 되었고, 이에 따라 무절제한 자연자원 사용으로 환경파괴를 직면하게 되었다. 또한, 인간에 의한 무분별한 생물 포획 등으로 멸종되거나 멸종 위기에 처한 동식물이 늘고 있다. 게다가 인류가 자연에 대한 비뚤어진 가치관으로 인해 바다·대기·토지 등 공유물에 대한 이기적인 이용, 전쟁을 통한 국력 과시, 개발도상국으로의 공해형 산업 수출 등이 환경오염을 야기시켰다.

이러한 광범위한 환경문제에 대한 대처를 위해 지구환경보전을 위한 국제적 노력으로서 화석연료의 사용량 억제, 대체 에너지의 개발, 에너지 효율의 향상 및 청정에너지기술의 개발 등 온갖 방법이 총동원되고 있다. 지구를 살리기 위한 노력이 범세계적으로 전개되어 1992년 6월에 세계 환경회의가 개최되었고, 바젤협약, 기후변화협약, 생물성 다양성협약 등이 체결 되어 국제적인 노력이 계속되고 있다. 1992년 환경과 개발에 관한 유엔회의(UNCED)가 열려 '의제 21'이 채택되었으며, 이의 실시를 위해 유엔지속개발위원회(CSD) 등이 설립되어 각종 환경관련 활동을 전개하고 있다.

생태학은 20세기 후반 환경문제의 심각성이 널리 인식되어지고 컴퓨터라는 좋은 연구도구가 등장함에 따라 급속히 발달하게 되었는데 '시스템 생태학'은 이러한 배경 속에서 Odum (1983) 이 창안한 이래 새로운 생태학연구의 주류로서 발전을 거듭하였다. 시스템 생태학은 관련이 없는 것 같아 보이던 학문 분야 사이의 간격을 연결하여 종합(synthesis)하기도 하는데, Odum 은 생태계에서 일어나는 현상을 시스템 언어를 이용하여 체계적으로 분석하고 수식으로 정량화하여 모델화했다. 이를 통해 생물학과 물질과학을 연결하고, 과거 설명적 과학에 불과하던 생태학은 인간 활동과 같은 외부 요인들에 의한 자연생태계의 변화과정을 정량적으

로 예측할 수 있게 되었고, 컴퓨터 시뮬레이션이 가능케 되었다.

시스템 생태학은 자연환경과 경제활동이 상호 작용하는 농업, 공업, 그리고 지역 등의 시스템에 대해 자연과학, 공학, 사회과학 등의 모든 학문분야의 기술과 방법을 연계시킬 수 있는 에너지 척도를 기초로 시스템의 구조를 다이어그램으로 표현하고, 이를 기초로 생태계의 부분적 기능을 통합하여 하나의 시스템으로 연구하는 시스템 분석과 컴퓨터를 이용하여 생태계를 분석하고 재구성하는 에너지 시스템 모델을 이용하여 시스템을 종합적으로 평가하고 있다 (김 등, 2001, Fig. 19).

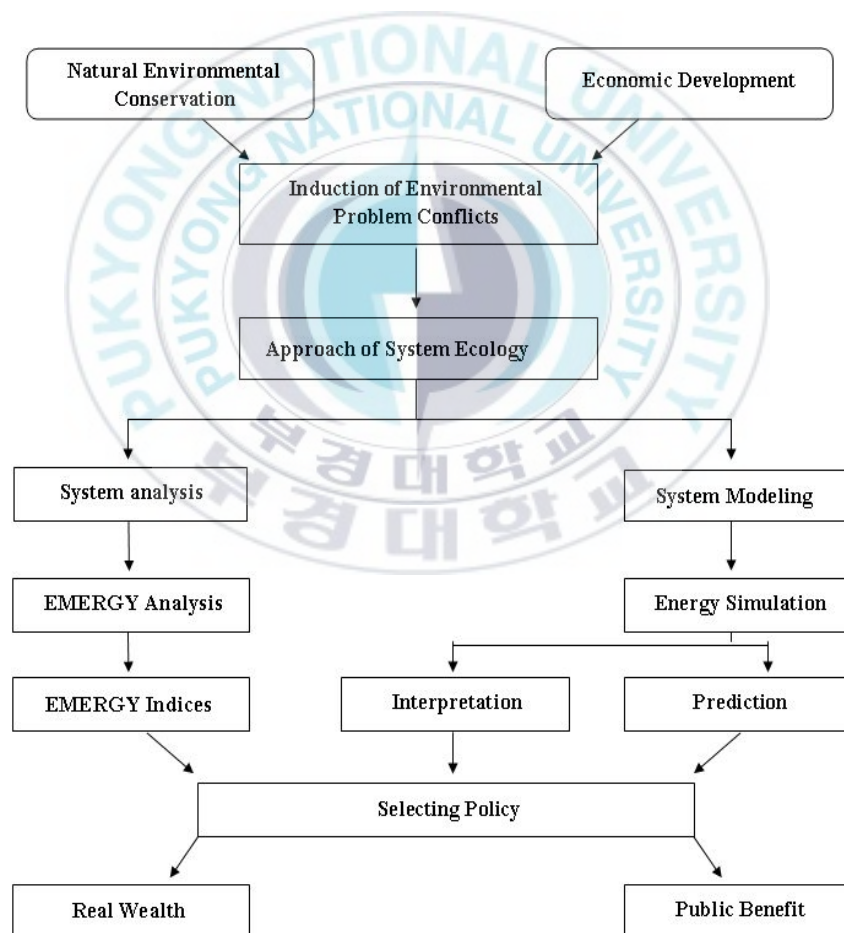


Fig. 19. The methodological roots of systems ecology

2. 가막만 패류양식에 관한 에머지 분석

2.1. 에머지 개념

자연환경의 가치를 평가하는데 있어서 인간 경제활동에 의한 지불의사를 기준으로 하게 되면 진정한 기여가치를 평가하는데 한계가 있다고 여겨, 에너지를 공통 화폐로 사용하여 가치를 평가하고자 하고자 했다 (Odum, 1996). 본 연구에서 사용되는 에머지는 (EMergy) "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 기여하는 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 에너지 원인 태양에너지를 기준으로 동일한 척도로 평가하기 위해 각기 다른 형태의 재화와 용역이 형성되기까지 직접 및 간접적으로 소모된 태양 에너지를 Solar Emergy라고 정의한다 (Odum, 1988). 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. Fig. 20과 같이 에머지는 각 에너지원에 내재된 태양에너지에 대한 척도가 되며, 이런 계산을 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 Solar Transformity를 사용한다. Odum(1983)이 제안한 Transformity는 에너지 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다. Fig. 20에서 보듯이 에너지는 저차에서 고차 생태계로 갈수록 수렴되며, Transformity가 증가됨에 따라 각 시스템의 전체 에너지는 보존되는 열역학 법칙을 만족한다.

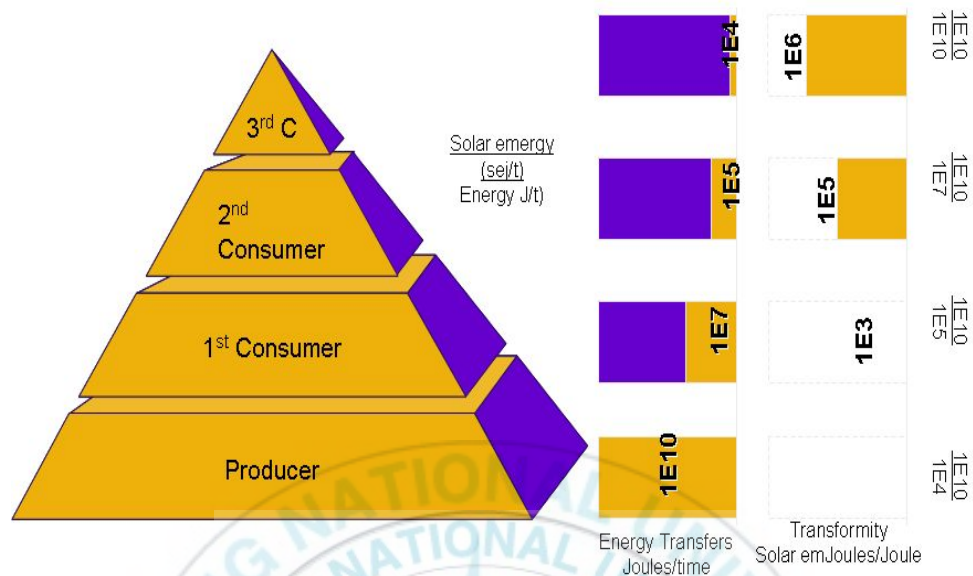


Fig. 20. Hierarchical chain of energy transformations (left: pyramid structure of food chain, mid: energy transfer from producer to highest consumer with Joule, right: transformity with solar emjoule)

2.2. 에너지 시스템 다이어그램

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, 환경관리 해역은 비교적 물리적 경계가 뚜렷하다. 본 연구는 가막만 전체 영역에 대해서 에머지 분석을 하게 되며, 가막만내 위치한 FDA 지정해역에 초점

을 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.

2.3. 가치평가로서의 에머지

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 인간경제활동에 대한 가치의 척도를 다루는 도구로서 사용되어지며, 이는 경제활동에서 언급되는 국민 총생산 (GNP), 미국 경제 지표 (DOW JONES)가 현상과 경향을 설명하듯이, 에머지는 에너지 시스템을 평가하는 도구 (Tool) 로서 이용된다.

에머지는 주어진 자원에 현재 남아 있는 에너지뿐만 아니라 과거에 사용된 모든 에너지까지 모두 포함하는 개념으로 주요 에너지원은 재생 가능한 자연환경 에너지원(R), 재생 불가능한 보유자원(N), 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 이용하는 데 얼마나 경제적인가를 나타내는 에머지 투자비율(EIR), 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 얼마나 지속가능한지 나타내는 지속성지수(EmSI)를 사용하였다 (Fig. 21).

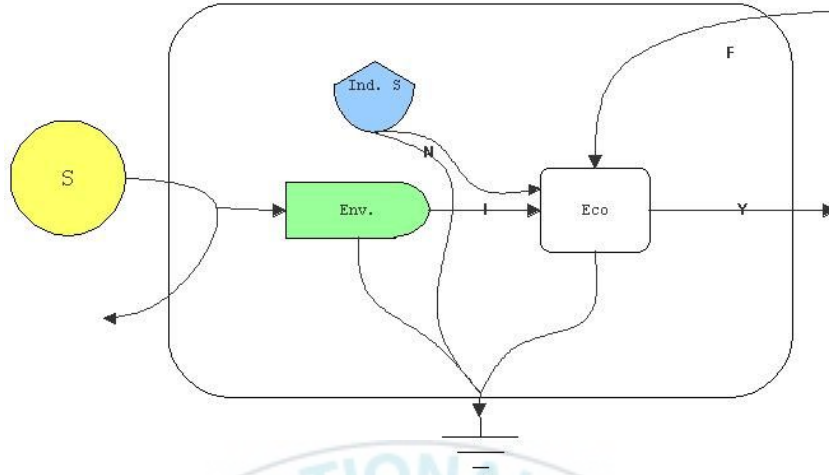


Fig. 21. EMERGY based indices, accounting for renewable Emergy flow(I), flow from indigenous nonrenewable reserves(N), purchased inputs from outside the system(F), and yield from system(Y)

$$EYR = \frac{Y}{F}$$

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

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

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

3. 가막만 패류양식의 지속성 확보를 위한 환경회계

3.1. 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 해준다. 높은 가치를 갖는 에머지 흐름은 대안평가를 통해서 보다 경제가치가 풍부해지도록 기여하도록 자료를 제공해 준다. 시행착오와 이성적인 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. 22와 같이 환경정책 시행 전후의 생태경제학적 평가를 통해서 보다 나은 대안평가가 가능하다.

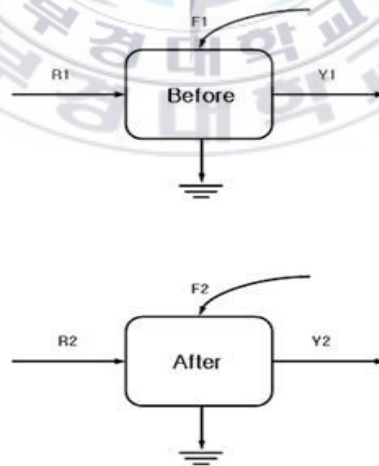


Fig. 22. Schematic diagram of environmental accounting method

Fig. 22. 에 설명된 방법은 에머지 평가가 제안된 계획이 원래의 시스템이나 다른 대안들과 어떻게 비교될 수 있는지에 관한 사항이다. 현재의 상태를 정상상태 (Baseline)라 두고, 투여되는 재화와 용역의 비에 대해 재생가능한 에너지와의 비율을 통해 생태경제학적인 가치의 평가가 가능하다.

에머지 이론은 적정 효율로 자원의 유입량을 강화함으로써 에머지의 흐름을 최대화하는 시스템이 다른 시스템과 경쟁에서 이기게 될 것이라고 주장한다 (Odum, 1988). 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 정책대안으로 선정될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 환경회계 방법을 통해서 환경 복원 및 보전을 위한 정책이 생태 경제적으로 어느 정도의 이익을 나타내는지에 대해서 비용편익으로 분석하고자 한다.

3.2. 환경회계를 위한 시나리오의 설정

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 38Km에 달하는 하수관을 통해 유입되고 여수시 일원에서 배출되는 분뇨는 위생업체에서 수거 운반하여 하수와 섞어 깨끗하게 정화하여 방류되고 있다 (Fig. 23). 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.



Fig. 23. Overview of Yeosu sewage treatment plant in Gamak Bay
(Yeosu City, 2007)

가막만 패류 생산지역의 어민들이 주장하는 환경피해의 대표적인 사례로 과거 채묘지였던 돌산읍 무술목 지역에 대한 원상회복 요구가 있다. 이는 1970년대 쌀 증산 목적의 간척지 조성사업이나 현재 목장용지허가상태이며 어업 활동은 불법으로 진행 중이다. 이곳은 90%가 바닷물 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. 24). 본 연구에서 사용한 환경회계 시나리오는 1차: 하수처리장 가동-기존동일, 2차: 무술목 복원, 3차: 무술목 복원 및 하수처리장 가동으로 구분하여 계산에 활용했다.



Fig. 24. Seeding site map for present (near GwangYang) and alternatives method (inner Gamak Bay)

3.3. 육상기인 오염부하 에머지 분석

에머지 분석에 있어 육상으로부터 기인하는 점오염원의 화학적 에너지를 구하기 위해 총용존고형물 (Total Dissolved Solids, TDS) 값을 이용한다 (김, 2007). TDS값은 전도도 값을 이용하여 환산하며, 이는 이온의 총합 및 각이온간의 구성 성분비와 관련이 있기 때문이다. 일반적으로 TDS가 높은 물을 Saline Water라 부르며 주요 TDS의 성분은 염분이기에, TDS 제거 공정을 Desalination이라고 한다. 본 연구에서 사용한 전환식은 $TDS = 0.64 \times \text{Conductivity (uS/cm)}$ 이며 전기전도도에 전환계수 0.64(Peter A. Krenkel, 1980)를 곱하여 TDS를 구한다. 전기전도도는

국립수산과학원의 수질자동측정망 가막만 자료를 이용하였다.

김 (2007)는 BOD와 TDS의 상관관계를 알아보기 위해서 해당지역의 상관분석을 실시했고, 상관관계에 대한 피어슨 상관관계수 r 및 분석의 유의성 검증을 실시했다. 그 결과 BOD와 전기전도도의 상관관계 계수는 강한 것으로 나타났고, 유의성 검증결과 적합으로 판정했다. 이에 BOD와 전기전도도의 단순선형회귀분석을 실시하여 단순회귀식을 도출하였으며 BOD를 통한 전기전도도 값을 예측하였다.

$$TDS = 0.64 \times \text{Conductivity} \left(\frac{\mu S}{cm} \right)$$

$$\text{Conductivity} \left(\frac{\mu S}{cm} \right) = 55.00 \times (BOD \text{ Concentration}) + 76.79$$

3.4. 해역 수질관리 항목간의 상관관계

BOD(생물학적산소요구량) 항목은 호기성 조건하에서 미생물의 증식 및 호흡작용에 의하여 소비되는 산소의 양을 측정하는 방법(수질오염공정시험방법, 2004)으로 분해가 용이한 유기물 오염도 추정에 이용되는 농도를 말한다. 반면, COD(화학적산소요구량) 항목은 산화제(과망간산칼륨, 중크롬산칼륨 등)를 이용하여 소비되는 산소의 양을 화학적으로 측정하는 방법(수질오염공정시험방법, 2004)으로 분해가 어려운 난분해성 또는 해수, 호소의 유기물 양의 추정에 이용되는 방법이나 산화제에 따라 수치가 다르게 나타나는 경우가 많다. 우리나라에서는 현재 과망간산칼륨을 산화제로 쓰는 방법을 표준으로 하고 있다. 본 연구의 대상해역에 대해서 해역수질관리항목은 COD이고, 하천의 수질관리항목은 BOD(COD 항목도 조사)이다.

해역 수질관리에 유역 COD 오염부하량 조사·추정이 필요하나, 현재 발생오염부

하량 등 대부분의 추정식이 BOD 기준으로 제시되어 있는 실정이며, 해역오염총량 관리를 수행하기 위한 COD 오염부하량 추정식 개발은 많은 시간 소요가 예상된다. 따라서 적절한 추정식을 이용하여 연안해역의 COD 오염부하량 추정방법을 제시할 필요가 있다. 연안유역의 COD 오염부하량 추정식은 유역에서 기측정된 BOD, COD 수질항목의 평균 농도비 또는 안전계수(평균+[1~3]×표준편차 등)가 포함된 농도비로 추정하는 방법을 이용하거나 대상 유역의 관측 자료를 이용하여 추정할 수 있다.

본 연구에서는 마산만 유역에 대해서 실시한 하천(남천, 양덕천) 및 공단배수(창원공단, 마산공단) 수질측정자료 이용하여 BOD-COD 비율 분석하였고, 향후 지역 특성을 반영한 환산계수에 대한 수치 조정이 필요하다고 여겨진다. Fig. 25에 나온 월별 측정자료를 통한 상관관계를 얻었으며, 약 680개의 자료에 대한 COD/BOD 평균비는 1.12, 표준편차 0.52로, 안전계수 1.0 적용시 1.64 ($=1.12+0.52$)의 값을 사용하고자 한다 (Fig. 25).

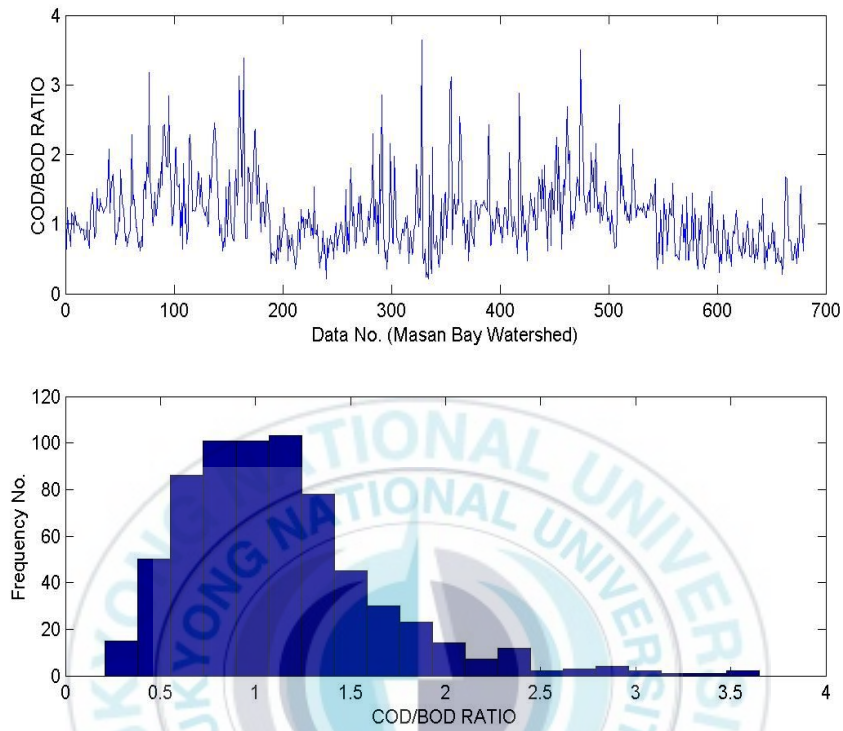


Fig. 25. COD/BOD ratio in coastal areas (above: ratio in each experiments, below: histogram of frequency number)

$$COD\ Loads = 1.64 \times BOD\ Loads$$

$$= [1.12 + 1 \times 0.52] BOD\ Loads$$

4. 가막만 굴 양식 에너지 시스템 모델링

4.1. 에너지 시스템 다이어그램 작성

시스템 생태학적 접근법에 기초하여 굴 양식 산업의 지속성에 대한 변화를 예측하기 위한 에너지 시스템 모델링의 절차는 기념적인 모델을 구현할 수 있는 에머지 다이어그램 작성후, 수식을 기록하고, 이를 수치화하여 운용모델을 통해 장기 시물레이션 하게 된다. 즉, 시물레이션을 위한 다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 보정 및 프로그램 작성, 그리고 시물레이션 수행 등으로 이뤄지게 된다. 본 연구에서는 에머지 다이어그램을 작성후 컴퓨터 언어를 이용하여 모델 수행을 한다 (Fig. 26).

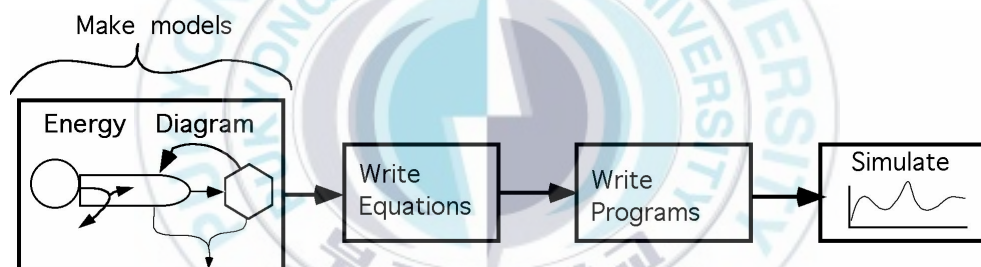


Fig. 26. Modelling and simulation approach flows in systems ecology

에너지 시스템 모델링은 대상 시스템의 다이어그램 작성으로부터 시작되며, 에너지 언어로 작성된 다이어그램 (Energy Diagram)은 시스템의 조직망을 이해하고, 해결하고자 하는 문제와 관련된 주요 흐름과 상호작용을 파악하는데 이용된다. 가막만 굴 양식 산업에 대해서 시스템의 시·공간적 경계를 설정하고, 생산 활동을 하나의 시스템으로 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. 가막만 굴 양식에 대해서 적용된 이 시스템과 유사한 선행연구는 에쿠아도

르 새우 양식에 관한 에머지 평가 (Odum and Arding, 1991), 한국 넙치 양식 전
망에 관한 평가 (김 등, 2002)에 적용된 PRODSALE 시스템과 개념적으로 유사하
다 (Fig. 27).

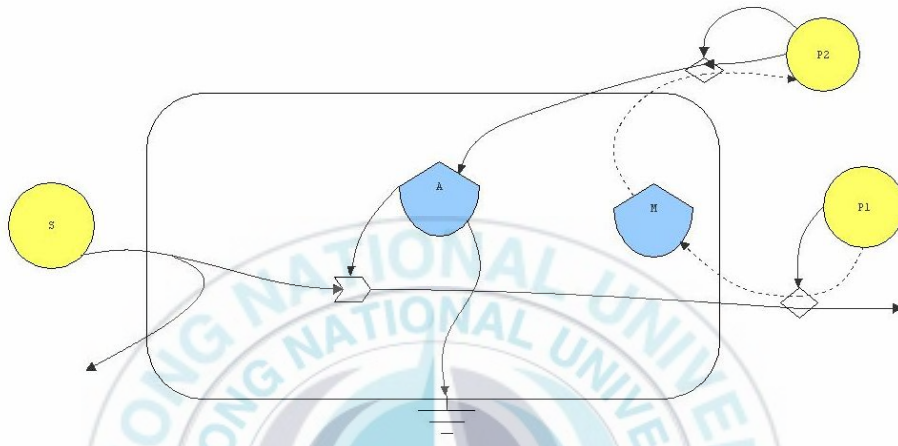


Fig. 27. Energy system flows for oyster aquaculture in Gamak Bay (S: renewable sources, A: asset, M: money, P1: oyster price, P2: G&S)

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

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

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

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

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

모델링을 위한 시스템의 경계를 설정은 5ha의 범위에서 100대에 25,000원 시설
시 발생하는 생산원가를 기준으로 가막만 FDA 해역에서 실제 이뤄지는 200ha를
기준으로 잡았다. 시간적으로는 1년 단위의 자료를 기초로 하였으며, 이는 1월부
터 12월까지가 아닌 4월부터 이듬해 3월까지 이뤄지는 경제활동을 의미한다.

4.2. 굴 양식 모델의 수식화

에너지 시스템 다이어그램의 내부 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너
지 경로들은 그 자체에 수학적 의미들을 포함하여 수학적 조작이 가능하며, 동시
에 에너지 법칙을 따른다. 따라서 각 보유량에 대한 방정식은 다이어그램으로부터
직접적으로 얻을 수 있다.

Fig. 28과 같이 에너지 경로상의 흐름(Flow)과 내부 보유량(Storage)에 각각의
기호를 첨가하고, 이를 기초로 방정식을 유도하며, 이러한 방정식은 컴퓨터 프로
그래밍에 이용된다.

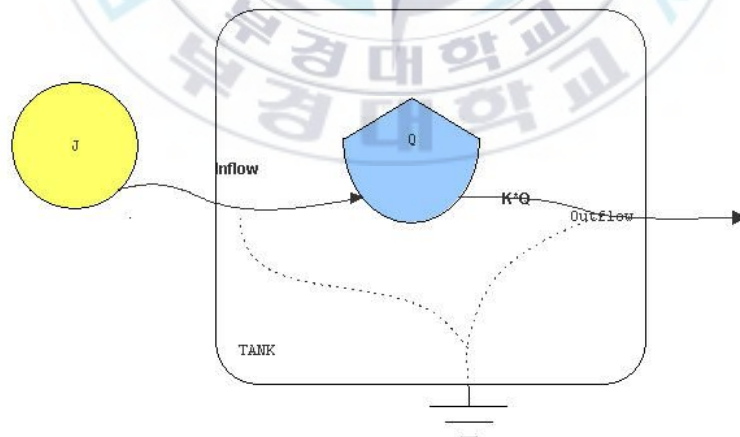


Fig. 28. Schematic energy systems diagram and equation($DQ=J-K \times Q$)
for defining production and consumption

4.3. 굴 양식 생산원가 분석

본 연구에서는 굴 양식 산업에 기여하는 에너지원과 내부요소 흐름에 대해서 화폐 보유량을 포함하여 굴 생산에 소요되는 자료는 『굴수하식수산업협동조합(이하 굴 조합)』의 굴 연승 수하식 생산원가 자료를 기초로 연구가 수행되었고, 생산량은 『굴수협여수지소(이하 굴 지소)』을 통한 자료 확인을 거쳐서 사용하였다. 굴 조합의 생산비 원가는 1ha, 3ha, 5ha에 대해서 각각 수행하였고, 굴 지소의 시설량, 생산량, 생산원가는 여수시 전체에 대한 내용 중 FDA(U.S. Federation Designated Area) 지정해역에서 생산되는 총량의 80%에 해당하는 내용만을 대상으로 잡았다. 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 자료중 5ha에 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. 29).

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

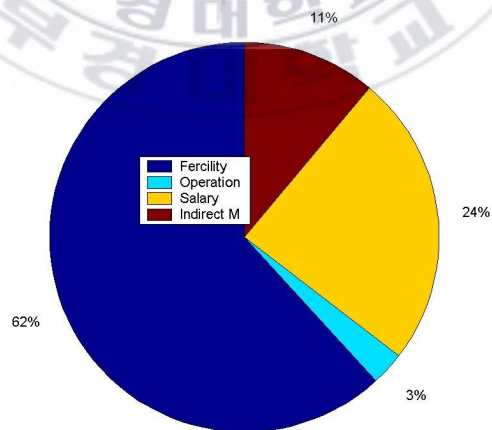
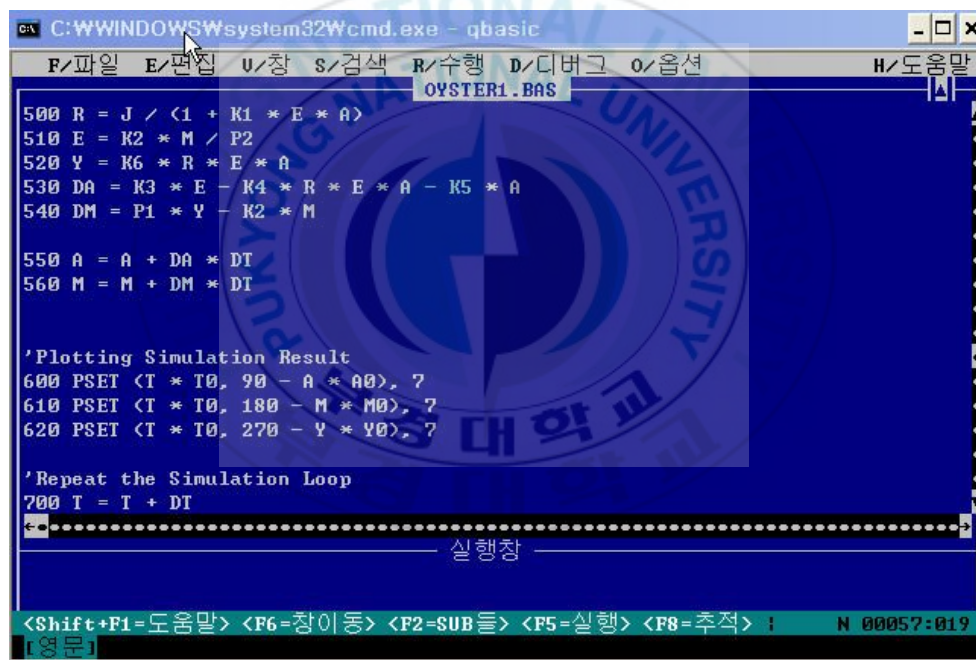


Fig. 29. Contribution of money with facility, operation, salary, and indirect money for oyster production in Gamak Bay (per 5ha, 10,000 ropes)

에너지 시스템 모델링을 위한 프로그램은 유도된 방정식과 모델 검토에서 얻어진 계수 값을 이용하여 프로그램 언어를 이용하여 작성한다. 프로그램의 구성은 일반적으로 시뮬레이션 결과에 대한 스크린 출력문, 보유량과 에너지원에 대한 초기값 설정문, 출력을 위한 스케일 추정치를 나타낸 문장, 각 경로에 대한 계수 값을 표현한 문장, 시간 변화에 따른 보유량의 변화를 계산하기 위한 차분방정식 문장으로 구성한다. 본 연구에서는 모델 입력 자료를 토대로 Quick Basic 프로그램을 Fig. 30과 같이 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다.



```

C:\WINDOWS\system32\cmd.exe - qbasic
F/파일 E/편집 U/창 S/검색 R/수행 D/디버그 O/옵션 H/도움말
OYSTER1.BAS

500 R = J / (1 + K1 * E * A)
510 E = K2 * M / P2
520 Y = K6 * R * E * A
530 DA = K3 * E - K4 * R * E * A - K5 * A
540 DM = P1 * Y - K2 * M

550 A = A + DA * DT
560 M = M + DM * DT

'Plotting Simulation Result
600 PSET (T * T0, 90 - A * A0), 7
610 PSET (T * T0, 180 - M * M0), 7
620 PSET (T * T0, 270 - Y * Y0), 7

'Repeat the Simulation Loop
700 T = T + DT
.....
실행창

<Shift+F1=도움말> <F6=창이동> <F2=SUB들> <F5=실행> <F8=추적> : N 00057:019
[영문]
  
```

Fig. 30. Captured window of QBasic program for oyster aquaculture model simulation

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.

4.4. 시뮬레이션 수행

Fig. 31과 같이 다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 검보정을 통하여 작성된 프로그램을 이용하여 미래에 대한 예측, 각종 대안이나 예상되는 문제에 대하여 시뮬레이션을 수행한다. 본 연구에서는 2005년의 정상상태를 기준으로 현재부터 20년 후의 굴 양식 산업에 대한 예측을 수행하였으며, 양식 산업에 영향을 미칠 수 있는 에너지 자원의 고갈에 따른 물가상승을 고려한 시뮬레이션과 굴 판매 가격에 대해 다양한 조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 모델의 결과를 보다 쉽게 이해하기 위해서 Scaling Factors를 통해서 결과를 표현하며, 초기 조건이나 환산계수에 따라서 규모 범위를 벗어나는 결과에 대해서는 (too large or too small) 그림 표출시 이를 보완토록 했다 (Fig. 31).

시뮬레이션을 통해 나타나는 결과는 자산의 변화, 화폐 보유량의 변화, 그리고 굴 생산량의 증감을 통해 향후 굴 양식 산업의 변화에 대한 예측을 하고자 했으며, 변화의 폭을 예상하기 힘든 인건비 및 운영비등의 전반적인 사항에 대한 변화는 본 연구에서는 직접적으로는 언급하지 않고자 했다. 그러나 연구에서 고려되는 굴 가격, G&S 가격 상승 등은 다른 운영비 및 인건비등과 밀접한 연관을 나타내고 있기에, 어느 정도 포함하여 시뮬레이션 되고 있다고 여긴다.

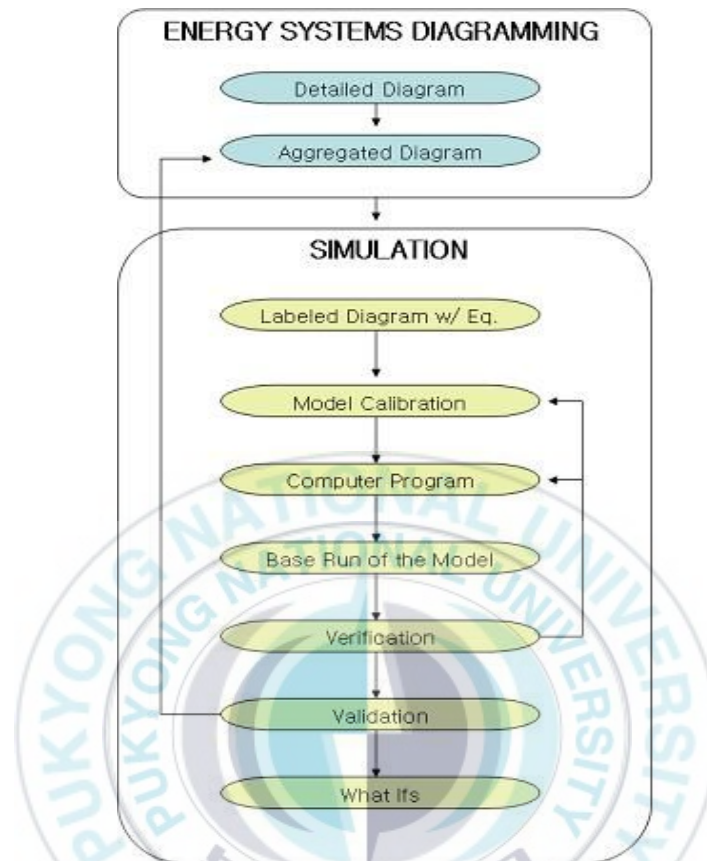


Fig. 31. Schematic diagram showing the procedure of energy system modeling

IV. 결과 및 고찰

1. 가막만 패류양식 지속성에 관한 에머지 평가

1.1. 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. 굴 양식을 위해서 이듬해 봄에 채묘가 이뤄지며 경제적인 활동으로는 어민들의 노동력과 설치를 위한 선박활용이 주로 이뤄진다. 이후, 착생한 굴은 고착생활을 하면서 아가미로 육상으로부터의 점오염원과 비점오염원에 의한 영양염 유입과, 조석 및 해류에 의해 전해지는 동식물성 플랑크톤을 걸러서 먹이로 삼는다. 굴이 상품 크기로 성장할 경우 수하연은 어선에 설치된 원치를 이용하여 배 위로 끌려 올려진 뒤, 11월부터 이듬해 3월까지 수확하여 굴 수협을 통해 판매 유통과정으로 옮겨진다. 따라서 본 연구의 시간적인 경계는 굴 채묘시기인 2004년 봄부터 판매 유통이 완료되는 2005년 봄까지다. 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 $1.54 \times 10^8 \text{ m}^2$ 를 대상 지역 시스템의 경계로 설정하였다. Fig. 32는 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 자연활동 에너지원 (Sun, Wind, Wave, Tide, Rain, River)을 이용하여 시스템내 저장활동 (CO_2 , 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 수하식 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 판매되어 진다 (Fig. 32).

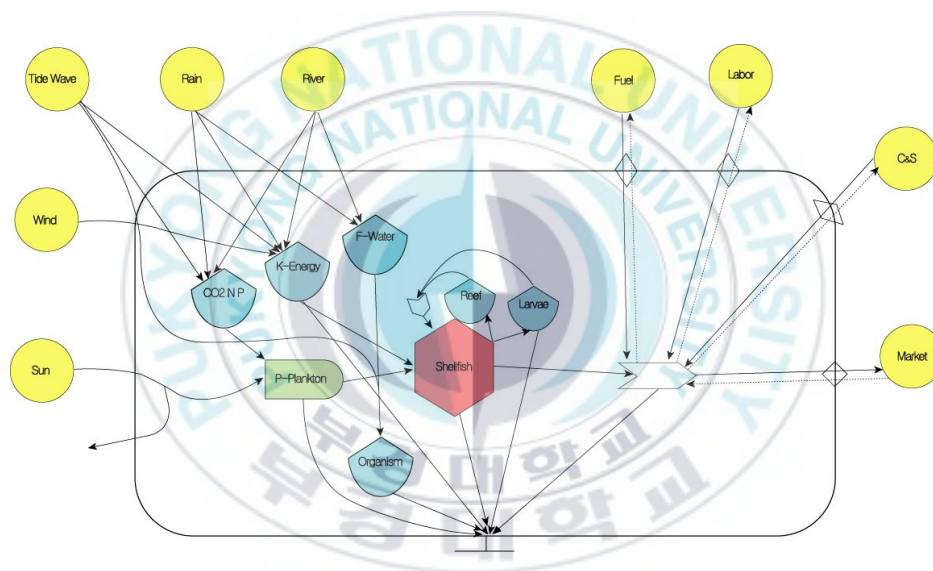


Fig. 32. Energy systems diagram using Emergy simulator (Valyi, 2004) with system diagram language (Odum, 1986) of shellfish aquaculture in Gamak Bay

1.2. 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(W/yr) 단위의 값을 각종 통계자료 및 문헌 등을 통해 산정하여, 주요 에너지원이 가지는 실제적인 값에 태양에너지 변환도를 곱하여 에머지 값을 산정하였다.

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

Table. 1 Energy evaluation of resources bases for shellfish aquaculture in Gambk Bay (References for Transformity [a] Odum et al., 2000., [b] Brown and Bardi, 2001, [c] Shin, 2007., and [d] Eum *et al.*, 1996.)

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	$4.58\text{E}+17$	J	1	[a]	$4.58\text{E}+17$	$3.69\text{E}+05$
2	Wind	$4.31\text{E}+15$	J	$2.45\text{E}+03$	[a]	$1.06\text{E}+19$	$8.51\text{E}+06$
3	Rainfall, chemical	$1.10\text{E}+15$	J	$3.05\text{E}+04$	[a]	$3.37\text{E}+19$	$2.72\text{E}+07$
4	Tide	$1.89\text{E}+15$	J	$7.39\text{E}+04$	[a]	$1.40\text{E}+20$	$1.13\text{E}+08$
5	Waves	$2.53\text{E}+13$	J	$5.10\text{E}+04$	[a]	$1.29\text{E}+18$	$1.04\text{E}+06$
6	River chemical potential	$2.36\text{E}+14$	J	$8.10\text{E}+04$	[a]	$1.91\text{E}+19$	$1.54\text{E}+07$
PURCHASED INPUTS							
7	Fuel	$4.10\text{E}+13$	J	$5.30\text{E}+04$	[b]	$2.17\text{E}+18$	$1.75\text{E}+06$
8	Human Labor	$6.37\text{E}+12$	J	$1.24\text{E}+06$	[b]	$7.90\text{E}+18$	$6.37\text{E}+06$
9	Seed	$5.94\text{E}+09$	W	$2.10\text{E}+09$	[c]	$1.25\text{E}+19$	$1.01\text{E}+07$
10	Misc. Supplies	$5.11\text{E}+08$	W	$2.10\text{E}+09$	[c]	$1.07\text{E}+18$	$8.66\text{E}+05$
11	Services	$1.69\text{E}+10$	W	$2.10\text{E}+09$	[c]	$3.54\text{E}+19$	$2.85\text{E}+07$
PRODUCTION							
12	Fishes	$3.84\text{E}+14$	J	$3.22\text{E}+06$	[d]	$1.24\text{E}+21$	$9.98\text{E}+08$
13	Crustaceans	$7.84\text{E}+12$	J	$1.30\text{E}+07$	[d]	$1.02\text{E}+20$	$8.22\text{E}+07$
14	Shellfish	$3.06\text{E}+13$	J	$5.95\text{E}+06$	[d]	$1.82\text{E}+20$	$1.47\text{E}+08$
15	Seaweeds	$4.73\text{E}+10$	J	$1.10\text{E}+04$	[d]	$5.21\text{E}+14$	$4.20\text{E}+02$
16	Total production	$4.23\text{E}+14$	J			$1.52\text{E}+21$	$1.23\text{E}+09$

외부로부터 유입된 구매자원으로는 연료, 노동력, 종묘비, 재화와 용역으로 나누어 평가되었다. 패류 양식 활동을 위한 선박의 유류사용(2.17×10^{18} sej/yr)보다 재화와 용역에 의한 기여도(3.54×10^{19} sej/yr)가 높게 나오고 있다 (Fig. 33). 이는 김 등(2001)에 의한 넙치양식에서 유류사용비용이 재화와 용역의 비용보다 높았던 것과 상반되는 형태의 양식특성을 반영하고 있다. 반면, 굴 양식의 특성상 종묘비로 분류되는 채묘활동의 경우에 선박에 종패를 싣고 유생이 대량 분포하는 지역에서 이뤄져야 하기에 이를 찾아 이동하는데 비용이 상당히 많이 투입되고 있는 실정이다. 이는 엄 등(1996)에 의한 살포식 패류양식장인 득량만 해역에서 이뤄지고 있는 것보다 높은 값이며, 이는 가막만의 수하식 양식업과 득량만의 살포식 패류양식법에 있어서 차이를 반영한 것이다.

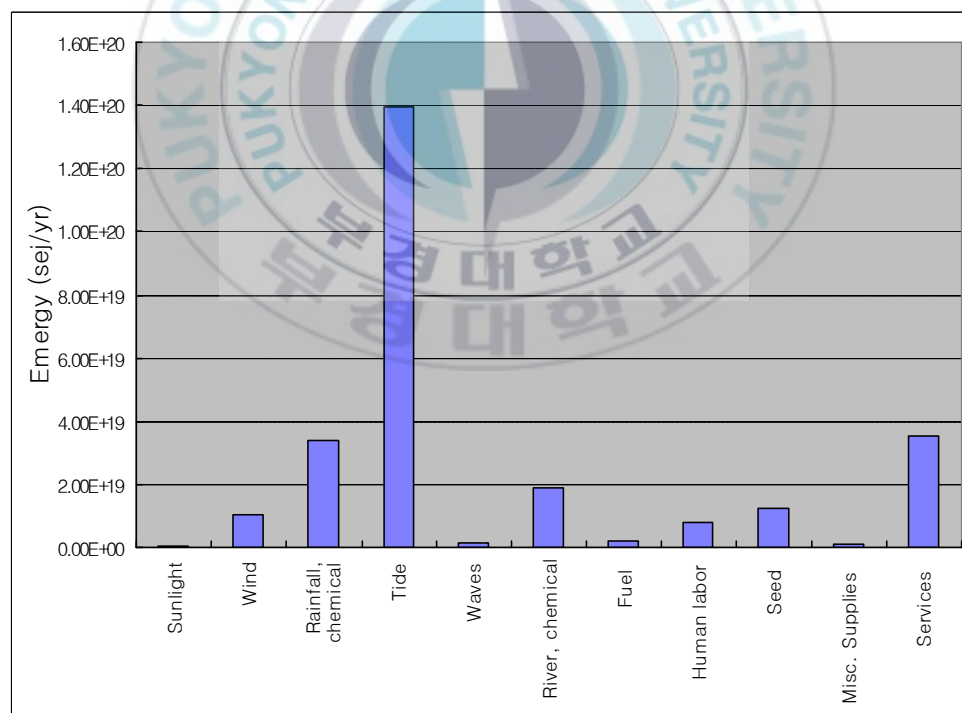


Fig. 33. Emery signature of renewable and purchased inputs energy sources in shellfish aquaculture in Gamak Bay

가막만은 자연환경으로부터의 유입이 전체에너지원의 76%를 차지하고 있고, 주경제로부터의 유입은 34%로서 자연환경자원에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 보이고 있다. 이는 엄 등(1996)의 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 (Fig. 34).

그리고, 각 에너지원을 영속성 에너지, 비영속성 에너지, 그레고 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.

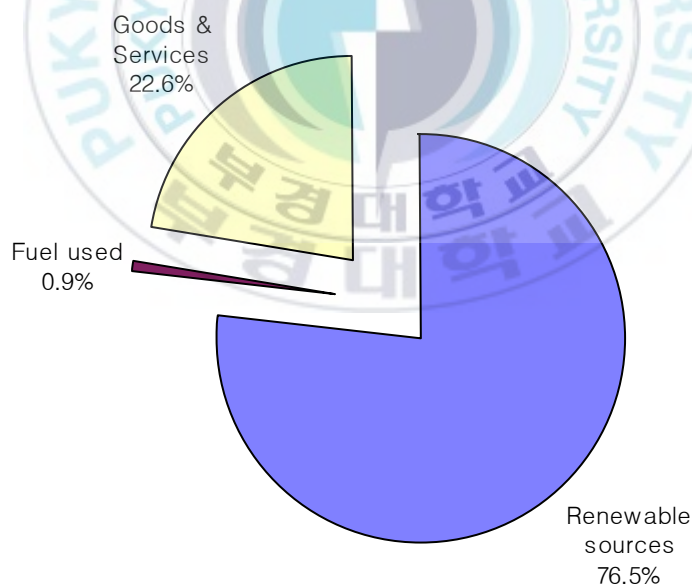


Fig. 34. Contribution of Emergy from renewable sources, fossil fuel, and goods & services for aquaculture in Gamak Bay

1.3. 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, 어업활동에 소요된 노동 및 각종 재화와 용역을 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원(K)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 등(1996)에 의한 득량만 패류양식에 대한 영속성 에너지원의 점유율(78.0%) 보다는 다소 낮고, 김 등(2001)에 의한 넙치 양식(2.2%)보다는 월등히 높다.

대상 시스템의 효율성 및 생산성을 나타내는 에너지산출비율(EYR)은 각 에너지원이 생산되기 까지 이용된 에머지 양에 대해 생산된 에머지의 비로서 계산되어 지는데, 1차 에너지원의 경우에는 EYR이 5이상이며, 2차 에너지원의 경우에는 2에서 5의 범위를 가진다. 가막만의 경우에는 EYR이 4.26으로 가막만 지역의 자원 생산의 시스템에서 비교적 효율적인 기여를 하는 것으로 평가되며, 이는 엄 등(1996)에 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 경제활동으로부터 에너지를 유입시키면 3.2배에 해당하는 에너지를 자연환경에서 얻을 수 있음을 의미한다. 이는 득량만의 3.6배 보다는 낮은 값을 보이나, 넙치에 비해서는 높은 값을 보여서 가막만 굴 양식이 자연환경에 비교적 의존적임을 보인다.

Table. 2 Comparison of emergy indices of shellfish aquaculture in Gamak bay and other aquacultures (arkshell: Eum *et al.*, 1996, olive flounder: Kim *et al.*, 2001)

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

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. Brown and Ulgati (1997)는 환경부하비의 3과 10을 기준으로 그 영향의 판단범위를 제시하고 있는데, 가막만내 패류양식에 대한 ELR은 0.3로, 가막만내에서 패류양식을 위해 이루어지고 있는 경제활동이 자연환경에 미치는 영향과 부정적인 부담이 작다는 것을 알 수 있다.

에머지 지속성 지수(EmSI)는 현재의 환경상태와 사회경제활동 상황에서 대상 시스템이 얼마나 지속가능할지를 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 13.8으로 생산의 지속성이 높게 평가되었고, 이는 넙치 양식 0.023에 비해서는

높으나, 특량만의 패류양식(16.5) 보다는 낮게 평가되었다. 이를 통해 가막만의 패류 양식은 현재와 같은 상태가 유지된다면 가막만의 굴 양식은 외부 변동요인에 따라 지속성이 변할 가능성이 낮다고 여겨진다.

본 연구에서 수행된 에머지 지표를 해외의 천해양식분석결과와 비교하면, ELR 값은 Bastianoni 의 감성돔류 (*S. aurata*) 의 5.00 및 연어류 (*S. salar*)의 4.24 보다 낮은 값을 보이는 등 노동력과 유류비가 많이 소모되는 어류양식보다는 환경부하의 값이 월등히 낮게 나타났다 (Fig. 35). 즉, 한국의 넙치양식의 비교에서 나타난 특징과 유사하게 외국의 다른 어류 양식보다 사회경제활동이 자연환경에 미치는 영향이 적다는 것을 의미한다. 에머지 지속성지수를 통해 살펴본 평가대상의 지속가능성은 타 시스템보다 월등히 높게 나타났으며, 이를 통해 가막만 굴 양식은 재생 가능한 에너지의 사용량이 많고, 외부에서 구입한 에너지와 물질에 대한 의존도가 낮으며, 환경에 주는 스트레스가 낮음을 의미한다. 본 연구를 수행하면서 양식업 특성을 반영한 해역별 에머지 지수가 다르게 나타날 수 있기에 향후 품종별, 만별로 에머지 평가를 확대할 필요가 있다고 여긴다.

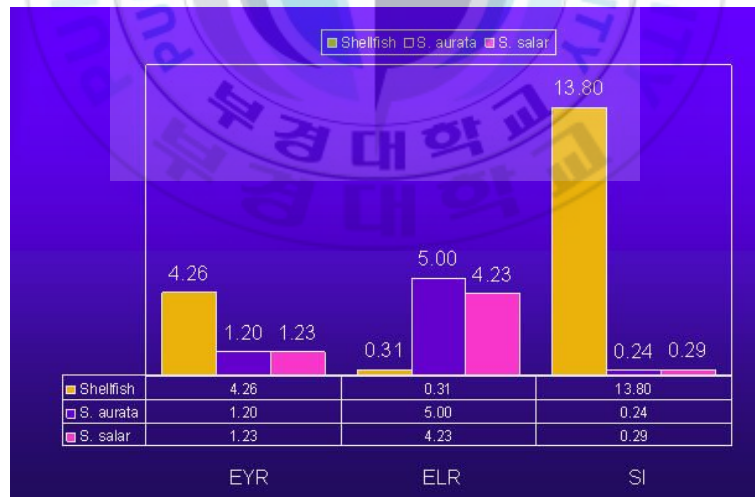


Fig. 35. Comparison of emergy indices with EYR, ELR, and SI between this study's results and previous studies of similar foreign productive systems (*S. aurata* and *S. salar*)

1.4. 가막만 FDA 패류 수출지역의 에머지 분석

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 영양염이 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 점 오염원의 유입을 고려하고 있고, 하수처리장 본격 가동은 2006년 기준으로 진행되었기에 고려하지 않았다.

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

가막만 미국 FDA 패류 수출 지정해역의 경우 양식 생산 활동을 위해 필요한 에너지원을 자연환경 자원으로부터의 영속성 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 (Fig. 36).

Table. 3 Emergy evaluation of resource basis for shellfish in FDA designated area (References for Transformity [a] Odum et al., 2000., [b] Brown and Bardi, 2001, [c] Shin, 2007., and [d] Eum *et al.*, 1996.)

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	W	2.10E+09	[c]	3.12E+18	2.51E+06
10	Misc. Supplies	2.55E+08	W	2.10E+09	[c]	5.36E+17	4.32E+05
11	Services	4.21E+09	W	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

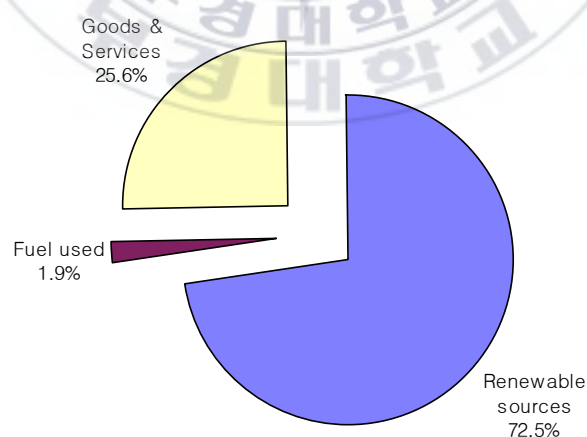


Fig. 36. Contribution of Emergy in FDA designated area with renewable sources, fule used, and G&S

FDA 지정해역으로 들어오는 총 에머지는 $6.64 \text{ E}19 \text{ sej/yr}$ 로 가막만에 비해 27% 를 차지하고 있으나 외부로부터 구매되는 유입자원의 비율은 $1.83 \text{ E}19 \text{ sej/yr}$ 로 31%로 평가되었다. 이는 FDA 해역에 많은 어업인이 집중적으로 어업활동을 수행하고 있으며, 양식업을 위해 투여되는 재화와 용역이 가막만의 평균적인 어업 활동보다 많기 때문으로 여겨진다 (Fig. 37).

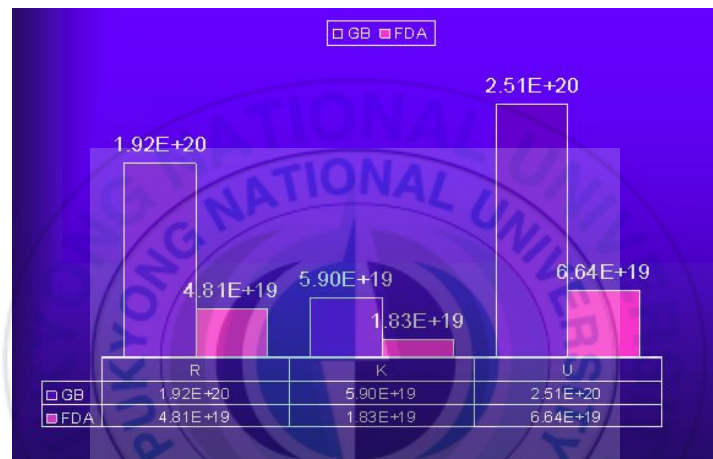


Fig. 37. Comparison of Energy with R(renewable sources), K(purchased inputs), and U(total energy) between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar)

FDA 지정해역에 대한 Net Emery yield ratio는 3.64로 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(Energy use per unit area)은 대상 시스템에서 일정

기간 사용한 총 에머지량을 시스템의 전체 면적으로 나눈 값으로, 에머지 밀도 (empower density, sej/m²)라고도 하며, 이는 평가대상 경제시스템의 공간적 집중 정도, 즉 경제활동 강도를 나타낸다(Fig. 38). FDA 지정해역에 대한 단위면적당 에머지 사용량은 1.87 E12sej/m²/yr로, 가막만 전체에 대한 단위면적당 에머지 사용량인 1.63 E12sej/m²/yr에 보다 높은 값을 나타내어 FDA 해역에 대해서 단위면적당 많은 경제활동이 집중되고 있는 것으로 평가되었다 (Fig. 39).

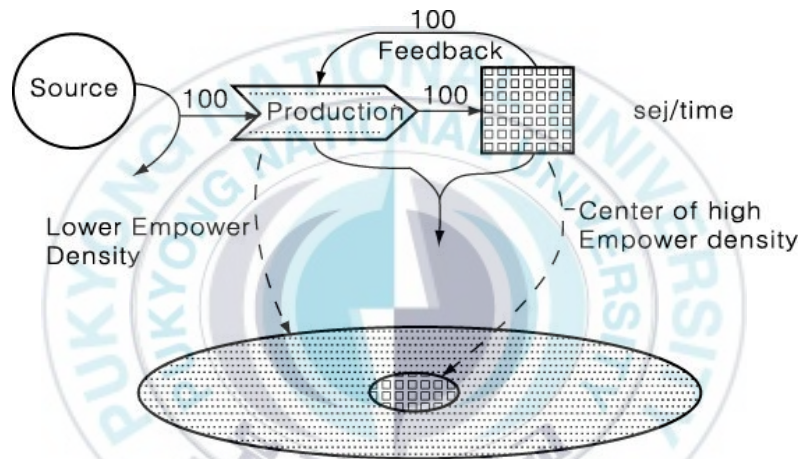


Fig. 38. A real empower density in relation to the energy transformation hierarchy (Odum, 1996)

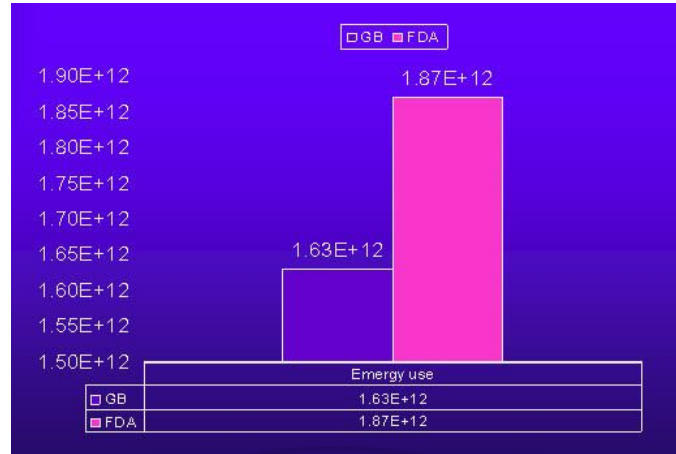


Fig. 39 Comparison of emergy use per unit area between Gamak Bay and FDA designated area

지속성 지수는 FDA 해역에 대해서 9.58로 나타나서 가막만의 13.8에 비해서 4 정도 낮아진 값을 보이고 있고, 이는 FDA 지정 해역이 생산의 지속성이 낮게 평가되는 것으로 여겨지며, 지속적인 발전가능성이 외부의 유입 에너지원에 대해서 훨씬 유동적임을 의미한다 (Fig. 40).



Fig. 40. Comparison Emergy indices with EYR, ELR, and SI between Gamak Bay (left bar) and FDA designated area (right bar)

1.5. 가막만과 FDA 해역의 환경용량

본 연구에서 가막만과 FDA 해역의 환경용량을 산정하기 위해서 현재 환경 조건하에서 굴생산의 최대지속가능생산량(maximum sustainable yield)을 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, 나누어진 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. 41). 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 확인가능하다. 이는 조 등(1996)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 생산 가능량은 15,443톤이 된다고 밝힌바 있다.



Fig. 41. Comparison of between present production and carrying capacity of shellfish (above) and previous research result (Cho *et al.*, 1996) in Gamak Bay and FDA area (below)

본 연구에서 나타난 실제 패류생산량이 적은 원인으로는 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, 이것을 고려한다면 가막만의 경우 패류생산량은 환경용량에 미치지 못하는 적은 생산량을 보이는 것으로 알 수 있었다.

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 추정한 값이다. 즉, 연구기간동안 굴 생산량과 시설대수 변화에 따라 환경용량 자료는 변화할 수 밖에 없어 보편적인 값이라고 여기기에는 무리가 있다 (박과 최, 2002).

2. 가막만 환경개선에 관한 환경회계

2.1. 가막만 에너지 시스템

앞장의 가막만 에머지 분석을 실시한 결과 해당해역에 시스템 외부로부터는 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 조석, 파도, 강수와 같은 영속성 에너지원이 유입된다. 또한, 양식어업활동을 위한 연료, 선박 및 재화와 용역이 투입되어진다. 시스템 내부에서는 자연활동으로부터 유입되는 에너지를 이용하여 생산자인 식물플랑크톤이 성장하며, 먹이사슬을 통해서 동물성 플랑크톤을 거쳐 수산업 및 양식 활동이 이뤄지고, 이를 통해 성장한 굴양식량은 연료와 재화와 용역을 투입한 활동을 통해서 시장에 판매되어 진다.

자연환경에서 기인한 에너지원의 경우 해양으로부터 유입되는 에머지가 가장 높은 비율을 나타내었으며, 강우시 육상의 부하량을 통한 유입, 하천, 바람, 태양의 순으로 실질적인 기여도가 평가되었다. 경제활동에 필요한 에너지원의 경우는 패류 양식 활동을 위한 선박의 유류사용보다 재화와 용역에 의한 기여도가 높게 나타나고 있다. 이는 넙치양식에서 유류사용비용이 재화와 용역의 비용보다 높았던 것과 상반되는 형태의 양식특성을 반영하고 있다. 특히, 이번 연구에서 육상으로부터 기인하는 오염원 삭감에 따른 영향을 살펴보고자 질소, 인, COD, TDS로 구분하여 각 영향을 구분하여 나타냈다.

가막만 해양수질은 1980년대 중반부터 1990년대 말까지 생활하수를 비롯한 육상기인 오염원과 양식에 의한 자가 오염원에 의한 오염이 심화되었으나 2000년 이후 개선되고 있는 상태이다. 최근 (2001~2005) 해양수질현황은 용존산소는 평균 8.72 mg/L로 I 등급을 보이고 있고, COD는 1.57 mg/L로 II 등급을 유지하고 있다 (국립수산과학원, 2006). 가막만 해양수질 및 저질 환경 관리를 위해서 육상 및 해양오염원 저감대책이 마련되어 진행되고 있으며, 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 38Km에 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 부가적인 여가, 레저, 관광, 휴식처의 기능보다는 해양환경 수질 개선에 따른 직접적인 영향을 살펴보고자 한 것이며, 차후 부가적인 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 반면, 수산업 전반에 걸쳐서는 65.8%를 보이고 있으며, 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원인 화석연료와 재화와 용역의 경우에는 34.2%를 차지하고 있어, 자연환경에 대한 의존도가 패류양식보다는 감소한 결과를 보였다 (Fig. 42).

영속성 에너지원의 경우에는 에머지 분석에 있어서 앞장과 차이가 없으나, 외부로부터 유입되어지는 비 영속성 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 4).

Table. 4 Emergy evaluation of Baseline 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	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	2.36E+14	J	8.10E+04	[a]	1.91E+19	1.54E+07
							1.74E+08
PURCHASED INPUTS							
7	Fuel	1.46E+14	J	5.30E+04	[b]	7.72E+18	6.23E+06
8	Human Labor	5.09E+12	J	1.24E+06	[b]	6.32E+18	5.09E+06
9	Seed	7.60E+09	W	2.10E+09	[c]	1.60E+19	1.29E+07
10	Misc. Supplies	1.68E+10	W	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
11	Services	1.65E+10	W	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
							8.06E+07
PRODUCTION							
12	Fishes	3.84E+14	J	3.22E+06	[d]	1.24E+21	9.98E+08
13	Crustaceans	7.84E+12	J	1.30E+07	[d]	1.02E+20	8.22E+07
14	Shellfish	3.06E+13	J	5.95E+06	[d]	1.82E+20	1.47E+08
15	Seaweeds	4.73E+10	J	1.10E+04	[d]	5.21E+14	4.20E+02
16	Total production	4.23E+14	J			1.52E+21	1.23E+09

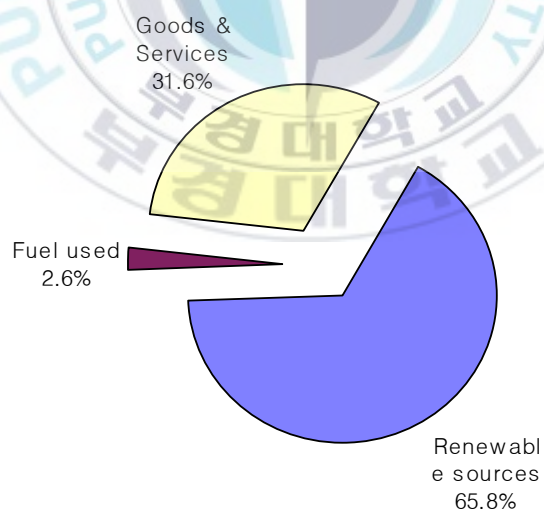


Fig. 42. Emergy contribution of Baseline with renewable sources, fuel used, and G&S

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, 안정도 지수의 경우에는 5.63를 보이고 있어서 재생 불가능한 에너지의 사용에 대해서 의존도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 아직까지는 환경에 스트레스가 높지는 않으나, 향후 지속성에 변동을 주는 요인, 즉 물가상승등에 대해서 안정적이지는 못함을 의미한다 (Table 5).

Table. 5 Emergy indices of Baseline in Gamak Bay

Item	Name of Index	Expression	Quantity	Unit
1	Renewable EMERGY R		1.92E+20	sej/yr
2	Flow of imported EM K=F+PI		1.00E+20	sej/yr
3	Total EMERGY inflow R+F+PI		2.92E+20	sej/yr
4	Total EMERGY used, U=R+F+PI		2.92E+20	sej/yr
5	% Renew	$(R/U)*100$	65.81	
6	EMERGY Yield ratio (U/K		2.92	
7	EMERGY investment K/R		0.52	
8	Environment loading K/R		0.52	
9	SI	EYR/ELR	5.63	

2.2. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario I 하수처리장)

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 차

이를 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 패류양식장에 미치는 영향 등에 대한 불필요한 오해를 줄이기 위해서 유기물 감소에 따른 영향을 살펴보고자 했다.

수질 처리를 통해서 재생가능한 자원이 증가함에 비해, PI역시 일정부분 비용면에서 증가하게 됨으로써 에머지 지수들에는 상쇄효과가 나타나고 있으며, 이는 향후 고도 하수처리 개선, 점오염원 처리시설 확충, 비점오염원 관리 등으로 효과가 증가될 수 있을 것으로 여긴다. 특히, 양식 활동은 전체 발생부하량의 60%, 배출부하량의 80%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. 처리된 육상기인 오염원은 효율적인 시설사용에 따른 Transformity 증가에 따라서 자연자원의 에너지원이 전체적으로 상승하는 효과를 나타내었음을 보인다. 이는 하수처리장 개선에 따라서 유입되는 영속적인 에너지는 증가하는 측면을 보이는 것으로 사료되며, 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 $2.54 \text{ E}19 \text{ sej/yr}$ 로 이전의 $1.91 \text{ E}19 \text{ sej/yr}$ 의 값보다 증가했다. 반면, PI에서는 하수처리장 가동에 따른 비용이 $3.36 \text{ E}18 \text{ sej/yr}$ 로 나타나서 가동을 통해서 시스템의 비용에 따른 편익은 $2.94 \text{ E}18 \text{ sej/yr}$ 증가했다 (Table 6).

Table. 6 Emergy evaluation of new system in Gamak Bay (Scenario I)

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	W	2.10E+09	[c]	1.60E+19	1.29E+07
11	Misc. Supplies	1.68E+10	W	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
12	Services	1.65E+10	W	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
13	STP Operation & maintenance	1.60E+09	W	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

에머지 지수 분석결과 EYR의 경우 기존시스템과 새로운 시스템의 경우에는 2.92로 차이가 거의 없으나, 지속성 지수역시 5.63에서 5.62로 거의 유사한 값을 보이고 있다. 이는 현재의 시스템에 비해 육상기인 오염물질을 제거한 시스템이 가막만 해양환경의 영속성에 큰 영향을 미치고 있지 못함을 의미하며, 현재와 같은 상태의 에너지 이용에 따르면 새로운 시스템을 적용해도 가막만 패류양식의 지속성은 유지될 것으로 여겨진다 (Table 7).

Table. 7 Comparison of Emergy indices between Baseline and Scenario I

Item	Name of index	Expression	Original use	Scenario I	Unit
1	Renewable EMERGY flow	R	1.92E+20	1.99E+20	sej/yr
2	Flow of imported EMERGY	K=F+PI	1.00E+20	1.03E+20	sej/yr
3	Total EMERGY inflows	R+F+PI	2.92E+20	3.02E+20	sej/yr
4	Total EMERGY used, U	U=R+F+PI	2.92E+20	3.02E+20	sej/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	Environment loading ratio (ELR)	K/R	0.52	0.52	
9	SI	EYR/ELR	5.63	5.62	

본 연구에서 사용한 하수처리장의 일평균 방류량(약 50,000 ton/day)으로 유입 시키면 인근의 수질에 미치는 영향은 비교적 미미한 것으로 판단된다 (전남대, 2006). 즉, 저염수로 인한 수질에 미치는 영향은 거의 없고, 시설 용량인 110,000 ton/day을 방류시켜도 방류구 인근해역에 다소의 염분감소와 저염분 확산이 일어나지만, 그 폭은 매우 작아서 그 영향은 매우 미미한 것으로 예측되었다 (여수시, 1995). 향후 하수처리시설의 효과를 극대화하기 위해서 하천을 통한 방류보다 처리시설을 통한 오염이 저감된 처리수의 방류량을 늘리는 노력과 영양염류의 고차 처리등의 기술적인 방법에 대한 연구가 진행되어질 필요가 있겠다. 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 1.88배에 해당하는 것으로 나타났다 (Table 8). 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 6.5ppm 으로 처리되고 있으나, 이를 3ppm 이하로 유지하는 것이 보다 높은 환경편익을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 점오염원중 오염정도가 심한 연등천등에 관한 특별관리가 요구되며, 인근 해역으로 유입하는 다른 점원/비점오염원의 차단과 관리가 필수적이라고 여

긴다. 또한, 이 해역이 갖고 있는 오염물질의 농도 저감을 위한 지속적인 해양환경 및 육상기인 오염부하 관리와 대책이 강구될 필요가 있다.

Table. 8 Environmental accounting of STP operation (Scenario I)

No	Item	Env Cost	Env Benefit	Unit
1	River Chemical Potential		6.30E+18	sej/yr
5	STP Operation	3.36E+18		
	Cost-Benefit		2.94E+18	sej/yr
	Benefit/Cost		1.88E+00	

2.3. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario II 종묘장 복원)

가막만에서는 1970년대 쌀증산 목적의 간척지 조성사업으로 무술목 지역에 대해서 댐설치후, 목장용지 조성을 허가한 바 있다. 그러나 1980년대 완공이후부터 현재까지 목장용지허가상태이며 무허가 어업활동이 진행되고 있다. 이로 인해 무술목 저수지는 90%가 바닷물 잠긴 호수상태로 방치돼 고인 물이 썩어 인근 양식장과 어장으로 흘러들어가고 있으나, 어업권 보상대상이 아닌 피조개, 새조개, 꼬막 및 굴 양식어민이 연간 10억여 원 피해가 발생하고 있고, 인근의 굴전어촌계 임대료가 5천만 원에서 현재 5백만 원 수준으로 자산가치 하락한 상태이다.

이로 인해 가막만 지역사회 및 어민들은 무술목 원상복구 요구 및 토지등록 말소 요청한 상태이며, 해양환경 개선 및 굴 채묘장 복원을 위해서 향후 개선방안이 시급이 요구된다 (김, 2002). 따라서 본 환경회계는 무술목 복원에 관한 분석을 통해 채묘를 개선하는 것에 중점을 두었다.

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

다. 가막만 일대 일부 수정채묘가 이뤄지고 있으나 대량 채묘를 위해서는 작업선에 다량의 패각을 싣고 이동해서 채묘를 한 뒤에 수하연에 부착시킴으로 인해서 많은 양의 채묘비가 소요되는 실정이다.

따라서 이번 환경회계에서는 무술목 복원에 해당하는 경제적 비용과 채묘장 복원에 따라서 채묘비가 가막만내로 투입되는 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 9로 나타냈다.

영속성에너지원의 경우 복원이전에 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 인건비 등을 포함하여 연간 8.33 E08 원이 투입되어 지고, 사업비는 총 25억원이 되며, 종묘가 가막만에서 이뤄지는 경우가 1.05 E17 sej/yr로 나타났다 (Table 9).

Table. 9 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	W	2.10E+09	[c]	1.68E+19	1.35E+07
11	Misc. Supplies	1.68E+10	W	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
12	Services	1.65E+10	W	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
13	Reclamation project (total)	2.50E+09	W				
14	Compensation(annual)	8.33E+08	W	2.10E+09	[c]	1.75E+18	1.41E+06
15	Larvae resettlement(annual)	5.00E+07	W	2.10E+09	[c]	1.05E+17	8.47E+04
PRODUCTION							
16	Fishes	3.84E+14	J	3.22E+06	[d]	1.24E+21	9.98E+08
17	Crustaceans	7.84E+12	J	1.30E+07	[d]	1.02E+20	8.22E+07
18	Shellfish	3.06E+13	J	5.95E+06	[d]	1.82E+20	1.47E+08
19	Seaweeds	4.73E+10	J	1.10E+04	[d]	5.21E+14	4.20E+02
20	Total production	4.23E+14	J			1.52E+21	1.23E+09

이와 같이 무술목 복원으로 인해 재생 가능한 에너지원은 소량 증가를 하나 영

향이 매우 미미하며, 저수지를 원상태로 복원하는 데 사용되는 재화와 용역이 초기 3년 동안 투입되어야 하기 때문에 이로 인한 비용이 기존보다 많게 차지함으로써 생산성지수는 2.89로 복원이전의 2.92에 비해 다소 하락한 면을 보인다 (Table 10).

반면, 공사가 끝나게 되는 2년 이후에는 이런 재화와 용역의 비용은 추가 발생하지 않게 되며, 채묘장 복원에 따른 생산성 향상이 기대되고, 이 경우 비용-이익의 추가 증가요인도 발생하게 된다.

Table. 10 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	65.41	
6	EMERGY Yield ratio (EYR)	U/K	2.89	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.53	
8	Environment loading ratio (ELR)	K/R	0.53	
9	SI	EYR/ELR	5.47	

본 연구에서는 에머지 분석시 고려되지 못한 내재적 에너지원(벤토스, 수질개선 효과, 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, 유동개선상황등이 궁극적으로 생태계에 미치는 영향 등에 관한 연구가 필요한 실정이다.

무술목 복원에 따른 영속성 에너지원의 증가는 1.73 E18 sej/yr 이며, 복원을 위한 연간 구매자원으로는 1.75 E18 sej/yr, 채묘추가에 따른 연간비용은 1.05 E17 sej/yr로 나타나서 환경부하의 경우에는 다소 증가하는 면을 보이나, 공사초기인 것을 감안할 필요가 있으며, 이 결과로 얻어진 생태경제적인 비용에 대한 이익의

비는 0.93로 나타났다 (Table 11).

Table. 11 Environmental accounting of Scenario II

No	Item	Env Cost	Env Benefit	Unit
1	River Chemical Potential		1.73E+18	sej/yr
14	Compensation(annual)	1.75E+18		
15	Larvae resettlement(annua	1.05E+17		
	Subtotal	1.86E+18	1.73E+18	sej/yr
	Cost-Benefit		-1.22E+17	sej/yr
	Benefit/Cost		9.34E-01	

2.4. 적용 시스템의 에머지 분석 (Scenario III 하수처리장+종묘장 복원)

앞선 시나리오 연구에서 수행한 하수처리장 가동에 따른 환경회계 및 채묘장 복원에 따른 생태 경제적 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 있다 (여수시, 2005). 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 III 의 경우 재생 가능한 에너지원, 재화와 용역이 모두 증가하여 가막만내 총 에머지의 양은 초기 보다 1.4 E+19 sej/yr 증가한 값을 보인다 (Table 12).

Table. 12 Emergy evaluation flow of Scenario III

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	4.60E+17 J	1	[a]	4.60E+17	3.71E+05
2	Wind	4.33E+15 J	2.45E+03	[a]	1.06E+19	8.55E+06
3	Rainfall, chemical	1.11E+15 J	3.05E+04	[a]	3.39E+19	2.73E+07
4	Tide	1.90E+15 J	7.39E+04	[a]	1.40E+20	1.13E+08
5	Waves	2.55E+14 J	5.10E+04	[a]	1.30E+19	1.05E+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						
9	Fuel	1.46E+14 J	5.30E+04	[b]	7.72E+18	6.23E+06
10	Human Labor	5.09E+12 J	1.24E+06	[b]	6.32E+18	5.09E+06
11	Seed	8.00E+09 W	2.10E+09	[c]	1.68E+19	1.35E+07
12	Misc. Supplies	1.68E+10 W	2.10E+09	[c]	3.53E+19	2.85E+07
13	Services	1.65E+10 W	2.10E+09	[c]	3.47E+19	2.80E+07
14	STP Operation & maintenance	1.60E+09 W	2.10E+09	[c]	3.36E+18	2.71E+06
15	Compensation(annual)	8.33E+09 W	2.10E+09	[c]	1.75E+19	1.41E+07
16	Larvae resettlement(annual)	5.00E+07 W	2.10E+09	[c]	1.05E+17	8.47E+04
PRODUCTION						
17	Fishes	3.84E+14 J	3.22E+06	[d]	1.24E+21	9.98E+08
18	Crustaceans	7.84E+12 J	1.30E+07	[d]	1.02E+20	8.22E+07
19	Shellfish	3.06E+13 J	5.95E+06	[d]	1.82E+20	1.47E+08
20	Seaweeds	4.73E+10 J	1.10E+04	[d]	5.21E+14	4.20E+02
21	Total production	4.23E+14 J			1.52E+21	1.23E+09

이를 지수로 나타낸 결과로 보면, 생산성지수는 다소 낮아지고, 안정도도 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 13).

Table. 13 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	65.31	
6	EMERGY Yield ratio (EYR)	U/K	2.88	
7	EMERGY investment ratio (EIR)	K/R	0.53	
8	Environment loading ratio (ELR)	K/R	0.53	
9	SI	EYR/ELR	5.43	

Scenario III에 나타난 하수처리장 및 채묘장 복원에 따른 생태경제학적인 비용~이익의 비는 1.38로 Scenario II에 비해서는 다소 증가한 면을 보이나, 복원 초기부터 큰 이익을 보고 있다고는 여길 수 없을 것이다 (Table 14).

Table. 14 Environmental accounting of Scenario III

No	Item	Env Cost	Env Benefit	Unit
1	River Chemical Potential		7.17E+18	sej/yr
5	STP Operation Price	3.36E+18		
13	Compensation(annual)	1.75E+18		
14	Larvae resettlement(annua	1.05E+17		
	Subtotal	5.21E+18	7.17E+18	sej/yr
	Cost-Benefit		1.95E+18	sej/yr
	Benefit/Cost		1.38E+00	

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, 3년의 공사 후에 무술목 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 15).

Table. 15 Analysis of benefit relative to cost in STP and larvae resettlement after 3 years

No	Item	Env Cost	Env Benefit	Unit
1	Renewable sources		7.17E+ 18	sej/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+ 18	sej/yr
	Benefit/ Cost		2.07E+ 00	sej/yr

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 Transformity 증가에 따라서 자연자원의 에너지원이 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.



3. 시스템 생태학적 방법으로 가막만 굴 양식업 예측

3.1. 에너지 시스템 모델 작성

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

굴 양식업에 대한 에너지 시스템 다이어그램은 시스템 외부로부터는 자연환경 에너지원인 해수(J)와 각종 재화와 용역($E=K_2 \times M/P_2$)이 시스템 내부로 유입된다. 이를 통해 궁극적으로 굴 생산($Y=K_6 \times R \times E \times A$)이 이루어진다. 양식시설등의 경제적 자산(A)의 변화는 양식시설내로 유입되는 재화와 용역($K_3 \times E$)에 의하여 증가하고, 자산의 감가상각($K_4 \times R \times E \times A$), 수선 및 유지비($K_5 \times A$)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.

또한, 시스템내 화폐 보유량(M)의 변화는 생산된 굴 판매를 통해 얻어지는 화폐($P_1 \times Y$)에 의하여 증가하고, 굴양식을 위해 필요한 각종 재화와 용역에 소비하는 화폐($K_2 \times M$)에 의하여 감소된다. 굴 생산과 자산의 유입에 이용되는 재화와 용역의 가격 (P_2)은 원자재, 물가 등이 상승할 경우에 증가하게 되며, 굴 판매가격은 생산량에 반비례하는 관계식으로 나타내었다 (Fig. 43).

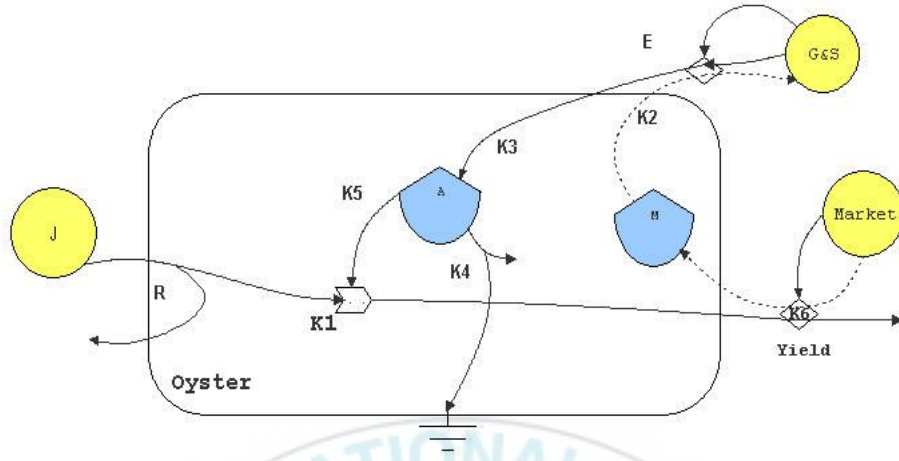


Fig. 43. Systems diagram of oyster aquaculture with labels for sources, storages and pathway

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

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

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

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

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

모델 내부의 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 경로에 2005년의 자료를 이용하여 계수 값을 산출하였다. 이를 기초로 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 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 5ha에 대해서 사용되어지는 생산원가를 ton당 생산량에 맞춰서 재조정하였으며, 조사된 생산원가는 목적에 맞게끔 재정리 되어져서 모델 시뮬레이션을 위한 흐름도를 작성하였다. 굴 양식의 특성상 자산의 감가상각에 의한 감소와 수선 및 유지비에 의해 감소되는 자산의 값은 큰 차이를 보이고 있지 않다. 5ha의 굴 양식장에서 생산되어지는 양은 연간 62.5 톤으로 산정했으며, 모델 계산에 사용한 굴 조합의 자료는 5ha 기준으로 작성된 것으로 일치시켰다 (Table 16).

Table. 16 Calibration of the pathway coefficients for the computer simulation of oyster aquaculture

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

앞선 다이어그램의 흐름의 상관성을 나타내는 계수를 통해서 20년의 시뮬레이션 기간동안의 변화하는 값을 이해할 수 있다. 시스템내의 자산의 감소를 일으키는 값은 원자재의 감가상각이 시뮬레이션 초기에는 발생할 수 있으나, 이후 차츰

안정화 되어질 것으로 보이며, 화폐는 일정수준까지 지속적으로 증가후 안정화 할 것으로 여겨진다. 모델을 적용하는데 있어서 계수화를 시도했으며, 이를 통해 모델의 결과값이 자산(A), 재화(M), 생산량(Y)으로 표출되게끔 시뮬레이션을 시도했다.

3.2. 모델의 보정 및 검정

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 기간동안의 평균값이 될 수 있으나, 검정에 사용되는 모든 자료는 동일한 시간과 공간의 단위를 갖도록 했다.

모델의 검증을 위해서 굴 조합으로부터 얻은 연승 수하식 굴 5ha 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 수협의 자료를 이용하여 계수값을 산출하였으며, 이를 기초로 시뮬레이션을 수행했다. 본 모델은 정상상태에 도달하는 패턴을 보이지만, 그 값의 차이는 각기 초기값의 입력내용에 따라 존재한다. 향후 모델의 개선을 위해서 굴 수협에서 제공한 남해안 굴양식의 일반적인 원가를 고려한 본 연구의 자료외에 가막만 특성을 반영한 굴 생산원가 생산 및 굴 생산량 확보를 하게 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.

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 $9.76 \text{ E}13 \text{ J/ton}$ 으로 해수에 의존하고 있으며, 시스템내 초기 화폐보유량은 $2.40 \text{ E}6 \text{ Won/ton}$, 자산의 가치는 $9.16 \text{ E}5 \text{ Won/ton}$ 이다. 시스템내 자산의 변화를 나타내는 양식시설 내로 유입되는 재화와 용역은 $1.04 \text{ E}5 \text{ Won/ton}$ 을 보이며, 이는 자산의 감가상각 $4.80 \text{ E}4 \text{ Won/ton}$, 수선 및 유지비 $5.60 \text{ E}4 \text{ Won/ton}$ 에 의해서 감소되고 있다 (Fig. 44).

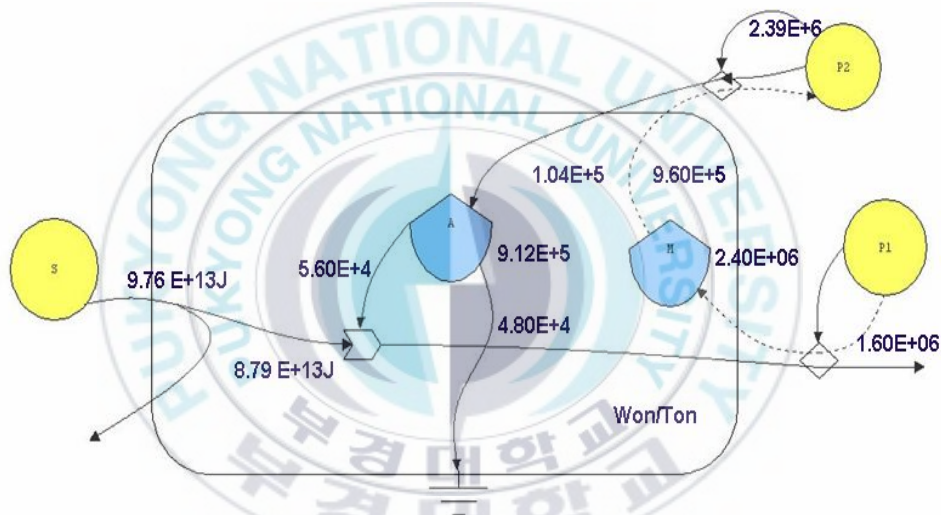


Fig. 44. Calibrated value of sources, storage, and coefficient factors for oyster aquaculture simulation

굴 수협에서 제공하는 5ha당 비용에 대한 생산량을 62.5 ton 으로 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~K6를 산출했고, 이를 기초로 모델 계산을 수행했다. 양식시설로 유입되는 재화와 용역의 계수는 0.75를 나타내며, 감가상각 계수 3.463, 수선 및 유지계수는 0.0614로 산정했다 (Fig. 45).

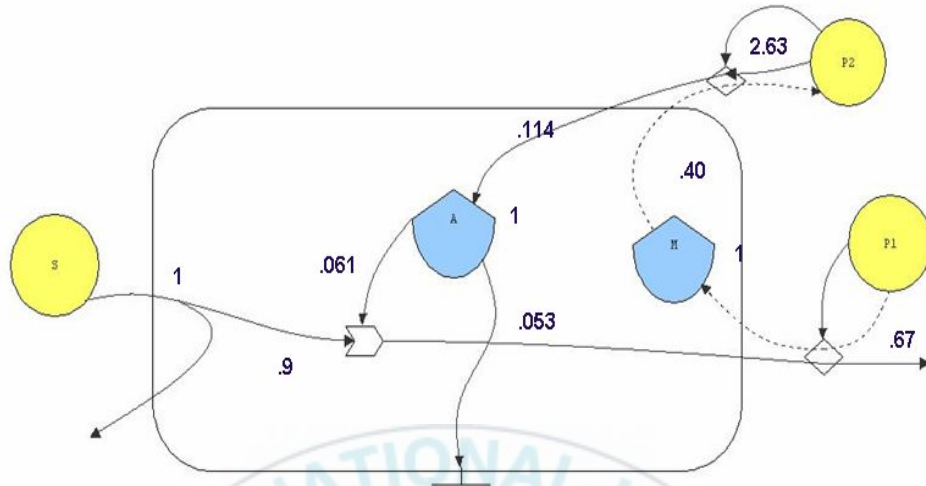


Fig. 45. Normalized value of storage and sources and coefficients calibration values for oyster aquaculture model

3.3. 굴 양식 산업에 대한 예측

굴 양식 산업에 대한 시스템내 5ha의 보유량, 에너지원, 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 영향 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 '로프, 수하연, 끈, 자재, FRP선, 작업대'등의 부수비용이 자산으로서의 가치를 갖고 있다.

굴 양식 산업의 경제적 자산의 규모와 화폐보유량, 그리고 굴 생산량에 대해서 2005년의 경제상황을 기초로 하여 변화를 예측하였다. 이러한 조건에 기초한 향후 30년간의 예측결과를 생산했다. 굴 양식 산업의 경제적 자산은 시간 경과에 따라 초기에서부터 30년 후까지 초기부터 서서히 증가하는 것으로 나타났으며, 이는 굴 양식에 사용되는 재화의 경우 매년 소모되는 로프, 끈등에 비해 FRP선, 작업대 등이 차지하는 비중이 보다 높고, 매년 투자가 이뤄지기 때문이라 여긴다 (Fig. 46).

굴 양식업의 화폐가치는 향후 10년간 꾸준한 증가세를 보이거나 이후 성장은 멈추는 것으로 예측되었다. 이는 현재의 시스템 내에서는 이용가능한 에너지가 비교적 많기에 증가추세를 보이거나, 극대값에 도달한 뒤에는 더 이상의 에너지 투입이 없다면 증가추세는 멈출것으로 보인다. 생산량은 현재상태가 유지되는 경우 소폭 증가 추세를 보일 것으로 여겨지나, 자연자원의 증가등이 이뤄지면 보다 큰 증가가 나타날 것이고, 앞선 연구에서와 같이 하수처리, 무술목 복원등으로 영속성 에너지 추가 증가가 이뤄지면 보다 긍정적인 효과를 미칠 것으로 보인다.

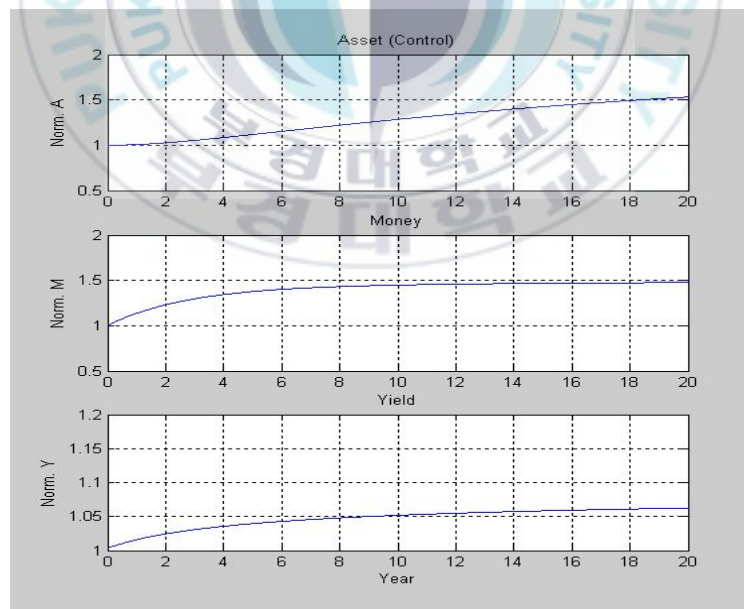


Fig. 46. Simulation Results of Baseline (top: asset, medium: money, bottom: yield)

표준 실험 결과는 새우양식 (Odum and Arding, 1991)에서의 결과와 비교하면 재화의 일정성장후 최대상태유지의 결과는 유사했으나, 새우양식자체의 자산은 증가에 한계를 보인 점이 차이를 보인다. 넙치양식 (김 등, 2001)과는 자산과 생산량의 변화가 거의 없었던 반면, 재화의 증가가 초기에 지속적으로 나타났음이 본 연구결과와 유사했다.

3.4. 재화와 용역 변동요인에 따른 시뮬레이션

굴 양식 시뮬레이션에 있어 변동요인이 큰것으로는 투여되는 재화와 용역의 변화이며, 이는 물가에 좌우된다. 이런 물가는 국제원유가에 의해 가장 큰 영향을 받으며, 다음이 환율, 그리고 공공요금으로 이루어져 있다. 최근 5년간의 물가는 완만하지만 지속적으로 상승하는 모습을 보이며 연 3~4%(2003년 3.6%, 2004년 3.6%, 2005년 2.7%) 안팎으로 상승하고 있으며, 이런 성장은 급격한 경제쇠퇴가 나타나지 않는한 지속될 것으로 여겨진다 (Fig. 47).

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, 김 등(2002)에 의한 넙치 양식과 같은 어류양식이 차지하는 비율에 비해서는 월등히 적다. 반면, 물가상승률에는 자재비 전반, 인건비, 관리비등 굴 양식의 주요 재화사용에 영향을 미치고 있기에 이를 근거로 모델 시뮬레이션을 실시하는 것이 비교적 타당한 결과를 제시할 것으로 여겨진다. 반면, 최근 유가의 변동이 크게 나타나고 있으나, 고유가의 근본 원인이 노후화된 정유시설로는 중국, 인도 등 개발도상국으로 인해 늘어난 석유 수요를 충족시키지 못하는 수급불균형에 있다는 점을 고려하면 속도가 문제지, 유가의 상승세 및 이로인한 물가상승은 지속될 것이라는 전망이 우세하기에 물가를 통한 굴 양식업의 전망을 시도했다. 최근 5년간 연간 물가 상승률은 평균 3.5%를 나타내고 있기에 투여하는 재화와 용역이 이와 반비례하고 있음을 모델로 재현하고자 했다.

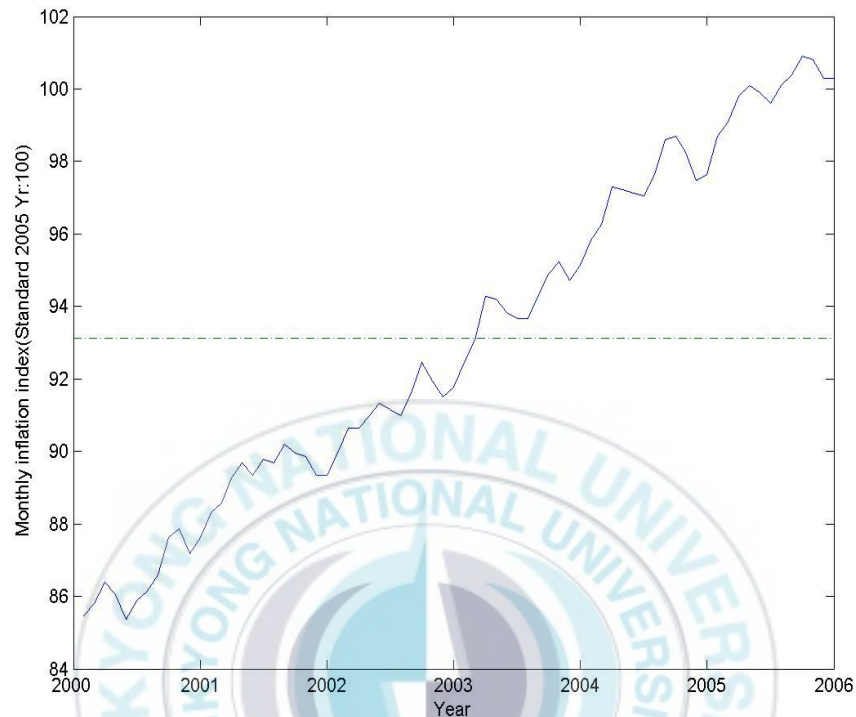


Fig. 47. Monthly inflation rate index (Standard value means 100 in 2005 yr, KOSIS, 2007)

2005년 예측한 조건에서 굴 양식 산업을 가능케 하는 일반적인 물가상승을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 향후 물가상승에 대해 2005년부터 현재까지의 물가상승율을 적용하여 예측한 결과에 의하면 자산은 초기 15년간은 증가를 하나, 인플레이션이 계속될 시 서서히 감소하게 된다. 화폐보유량과 굴 양식생산은 초기 부터 증가하는 추세를 보이지만 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. 48).

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

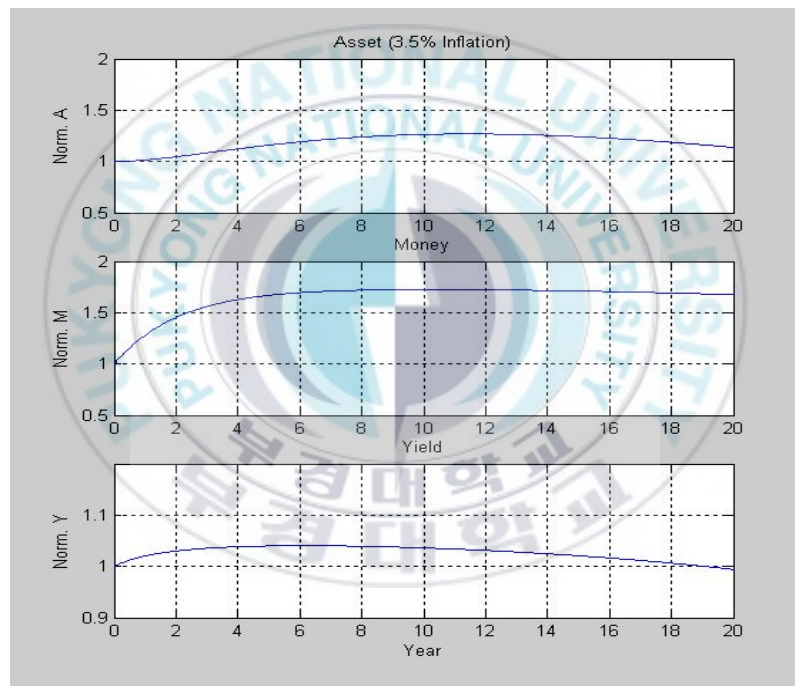


Fig. 48. Simulation results of scenario I with 3.5% inflation per year (top: asset, medium: money, bottom: yield)

물가상승을 감안한 연구에서 성장률을 지속시키기 위해서는 모델내에서 영속성 외부 유입원의 증가 및 재화와 용역의 감소요인을 찾아야 한다. 이런 굴 양식의 최적 개발 대안에 대해서는 현재 시설량의 100%를 수확했을 때 얻을 수 있는 수

확량에 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 산정이 가능하나, 이를 저해하는 요인들에 대한 다양한 접근이 필요하다.

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 산정이 가능하나, 이를 저해하는 요인들에 대한 다양한 접근이 필요하다.

3.5. 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.

굴 판매가격을 현재 물가상승율의 50% 만큼 증가시켜 예측한 결과, 화폐 보유량의 경우 서서히 증가하여 현재의 상태를 유지할 것으로 예측되었지만, 굴 생산량은 서서히 감소하는 추세를 나타내어 생산의 지속성이 유지되지 못하는 것으로 예측되었다 (Fig. 49). 이는 화폐보유량은 비교적 20여 년간 유지 및 상승국면을 나타내나, 지속적인 굴 생산량이 확보되지 못하고 가격 경쟁력이 떨어지게 되면 결국 하강국면으로 전환할 수 밖에 없는 제한적인 한계를 갖고 있음을 나타낸다. 모델 결과에서 제시하고 있는 재화의 지속적인 상승은 모델의 구성상의 한계를 나타내고 있는 것으로 보여 향후 모델 개발 및 적용에 보다 다양한 접근을 해야 할 것으로 여겨진다.

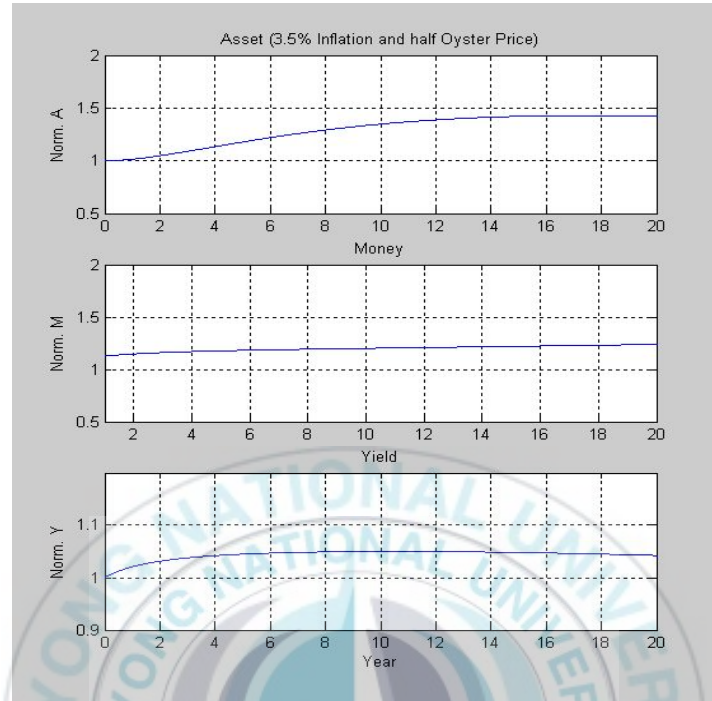


Fig. 49. Simulation results of scenario II with 3.7% inflation and 1.75% increase of oyster price annually (top: asset, medium: money, bottom: yield)

물가상승율보다 낮은 가격 경쟁이 이뤄졌을 경우, 굴 시뮬레이션 결과는 현재 영속성 에너지에 의존하고 있는 바가 높기에 물가변동에 대해서 품질 향상등으로 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. 50).

굴 판매가격을 물가상승율인 3.5% 만큼 증가하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 경제적 자산과 화폐 보유량은 서서히 증가하는 것으로 예측되며, 생산량도 서서히 증가된 뒤 극대값에 도달하는 것으로 예측되었다. 2005년의 상황을 초기조건으로 하여 향후 20년을 예측한 결과, 굴 양식 산업은 영속성 자연 자원에 대한 의존도

가 강하므로 넙치양식과는 달리 물가상승에 따른 가격의 상승이 이뤄지게 되면 Baseline과 유사하게 증가추세가 나타날 것으로 보인다. 따라서 물가상승에 대비한 굴 가격 상승을 위해서는 생산량 증가가 크게 영향을 미치지 못하는 모델결과를 인용하면, 굴 양식 산업의 지속성을 유지하기 위해서는 굴 품질향상등으로 인한 굴의 판매 가격자체가 경쟁력을 확보해야 함을 알 수 있었다.

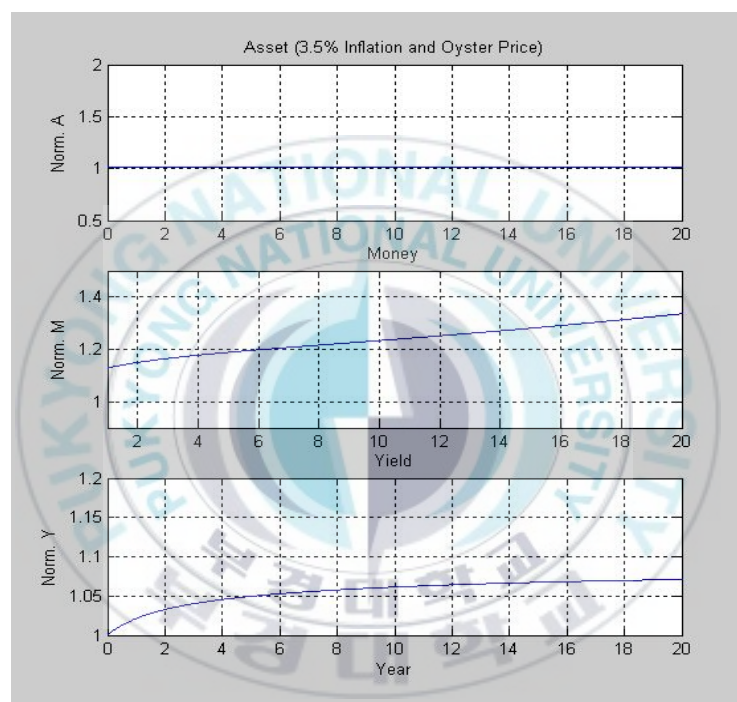


Fig. 50. Simulation results of scenario II with model with 3.5% inflation and the same increase of oyster price annually (top: asset, medium: money, bottom: yield)

이번 연구를 통해서 현재의 상태에서 변화하게 되는 자산, 재화, 생산량 등을 기름값 및 굴 가격의 상승면으로 반응의 정도를 살펴봤다. 이런 연구의 결과는 보다 상세한 자료를 바탕으로 이뤄져야 민감도가 증가할 것으로 여겨지며, 향후 다

양한 시나리오제시를 통한 연구 접근을 해야 할 것으로 보인다.

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.

결론적으로, 굴의 지속적인 생산을 위한 발전방향은 외부적인 변화요인으로 들 수 있는 기름값 상승 등에 변화를 크게 겪을 수 밖에 없는 상황이기때문에, 향후 화석연료에 의존하는 양식 산업보다는 수용능력 범위 내에서 자연환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있는 양식기법으로 전환해야만이 지속적인 생산이 가능할 것이다.

3.6. 자재비 감소 효과 시뮬레이션

앞선 실험에서는 물가상승이나 굴 가격의 증가요인들에 대한 장기변화를 재현했으나, 앞장의 채묘장 복원에 따른 종묘비 감소와 같은 원자재 및 물가감소 요인에 대해서 영향을 평가를 수행했다. 이와 같은 연구를 통해서 향후 자재비 삭감요인, 운영비 감소등이 나타낼 수 있는 재화 및 생산량과의 관계를 살펴보고자 한다.

원자재 감소의 효과로 예를 들수 있는 것은 앞장의 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, 보다 다양한 시나리오를 통한 연구가 필요하다. 특히, 생산에 투입되는

비용감소를 통해서 얻을 수 있는 수익은 보다 많은 구조로 나타나기에 모델에서는 Baseline 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, 시설량 확대 및 면허권 증가를 통해서 생산량을 보다 증가시키는 방향으로의 정책제언이 필요한 사항이다 (Fig. 51).

Scenario III 연구결과가 보다 많은 생산량등을 나타내고 있어 이를 Baseline 과의 차이를 통해서 어느 정도 영향을 미치는가 비교하였다. 이를 통해 자산의 가치는 비교적 소폭 상승하는 국면을 보이며, 재화와 생산량의 경우에는 약 10년 정도는 소폭 상승하는 국면을 나타낸 뒤에는 일정량의 포화상태를 유지하는 것으로 보여서, 자재비 감소 효과가 반영된 것이라 여겨진다.

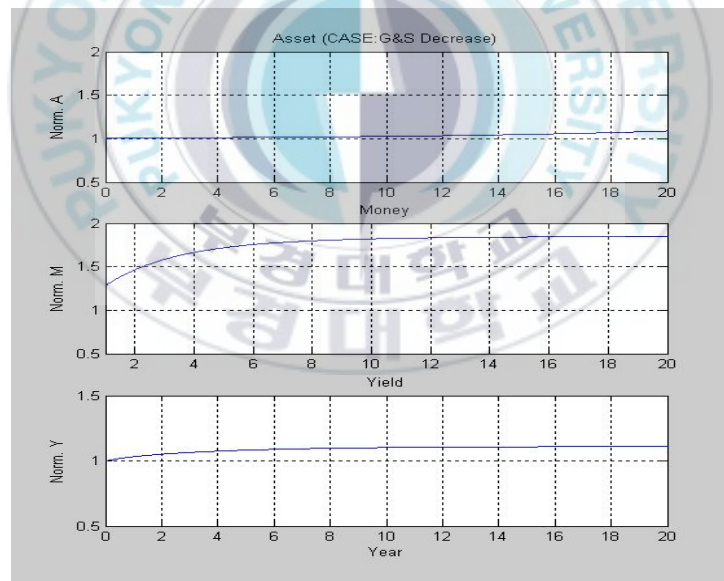


Fig. 51. Results of Scenario III with 10% decrease of G&S money annually (top: asset, midium: money, bottom: yield)

표준 모델의 결과와 자재비 감소요인의 결과와의 비교 결과, 자재비는 상호 변화가 없는 것으로 나타났으며, 재화의 증가가 초기 10년정도 나타나고, 생산량도 소폭이기는 하지만 증가가 재화와 유사한 기간동안 나타난다. 극대값을 보인 이후에 더 이상의 증가가 없기에 자재비의 감소가 나타난다 하더라도 영속성 자원의 유입이 없다면 차이는 더 이상 벌어지지 않게 된다 (Fig. 52).

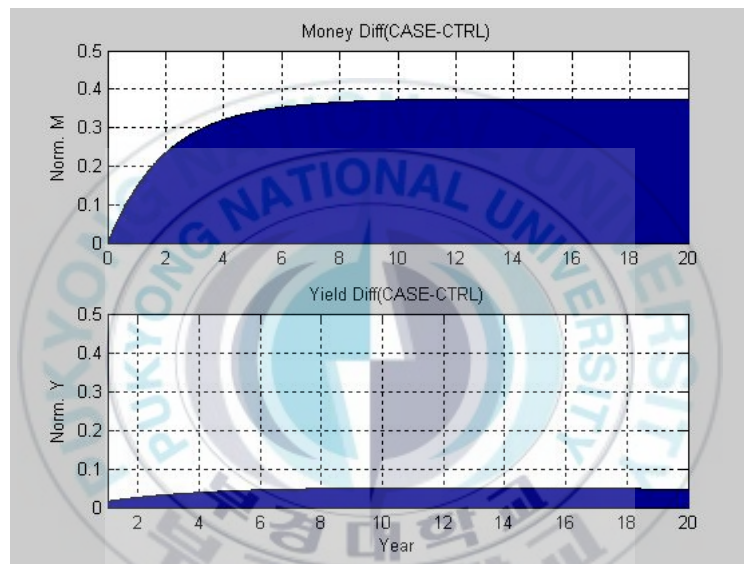


Fig. 52. Difference results between Scenario III minus Baseline (above: Money, below: Yield)

자재비 감소의 대안으로 지적인 종묘비 개선으로 무술목 평사리 주변의 환경 개선이 선행되어야만 가능하다. 박(2001)은 가막만 FDA 해역 우측지역인 평사리 주변의 chl *a* 농도 값이 높은 이유를 주변의 수심이 상대적으로 얇고, 평사천으로 흘러드는 하천수가 북서 내만의 선소부근해역보다는 원만한 흐름을 타고 바람의 영향으로 주변해역에 확산되기 때문이라고 지적한바 있다. 향후 무술목 주변해역의 채묘장 복원시에는 인근 평사리해역을 포함한 종합적인 개선이 요구되며, 이는 가막만 수괴의 특성상 영양염류의 영향을 적게 받는 해수는 만의 좌측 해안을 따

라 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 영양염류역시 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(2001)이 지적한 오랜 기간동안의 굴 양식으로 인한 해저에 많은 패각류가 쌓여서 발생하는 자가 오염이 심각해진 상황과, 무술목 저수화등으로 인한 해류소통이 불량해짐에 따라 (김, 2002) 발생한 복합적인 요인으로 더 이상 굴의 생산 및 채묘가 이뤄지지 않는 것으로 여겨진다.



V. 요약 및 제언

가막만은 생물서식 및 양식어업에 적합한 지형적 조건과 어장 환경으로, 현재 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 환경보전해역으로 지정하여 해역특성을 반영한 최적의 관리방안을 마련하고자 하고 있다. 특히 가막만은 여수반도 남단과 돌산도로 둘러싸여 있는 반폐쇄성 내만으로 각종 어패류 양식이 성행하며, 북미 패류 수출을 위한 미국 식약청 (FDA, Food and Drug Administration)의 지정해역으로 엄격한 환경관리가 요구되는 해역이다. 따라서, 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 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 이에 따른 관리 방안 및 대안을 제시할 수 있는 적절한 방법과 연구가 필요한 실정이다.

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 시스

템에 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.

가막만내의 굴을 비롯한 패류양식 생산 활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도를 평가하기 위한 에머지 분석 결과, 가막만 패류생산활동에 기여하는 자연환경 에너지원의 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.

또한 가막만의 패류생산에 기여한 각 에너지원을 영속성 에너지, 화석연료를 포함하는 비영속성 에너지, 그리고 재화와 용역으로 구분할 경우, 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제한 영속성 에너지원의 비율은 76.5%, 시스템 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원은 0.9%, 그리고 재화와 용역은 22.6%의 기여를 나타내어 자연환경자원에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 보이고 있다.

대상 시스템의 효율성 및 생산성을 나타내는 에너지산출비율(EYR)은 4.26으로 가막만 유역의 자원 생산의 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 상황에서 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.

환경회계에 의한 환경성검토를 위해 가막만 환경관리해역의 환경개선사업에 대해 환경영향요소와 환경인자에 관한 행렬식 대조표를 기초로 에너지 시스템 다이어그램을 분석하였다. 이를 통해 재생가능한 에머지와 시스템 외부로부터 유입된 에너지의 양은 모두 새로운 시스템에서 증가한 양상을 보인다. EYR의 경우 기존 시스템은 2.09를 보이나 새로운 시스템의 경우에는 2.11로 약간 증가했으나 큰 변화는 찾기 어려우며, 지속성 지수역시 다소 증가한 값을 나타내고 있다. 가막만 해양환경 보전을 위한 하수처리장의 COD, TN, TP등의 처리에 따른 생태·경제적인 가치평가의 환경비용/편익 분석표는 다음과 같다. 수질개선 노력의 비용에 비해 수질 개선되어지는 환경비용은 $2.92E+18(\text{sej/yr})$ 의 편익으로 평가되었다.

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.

앞으로, 굴의 지속적인 생산을 위한 발전방향은 외부적인 변화요인으로 들 수 있는 물가 상승 등에 변화를 크게 겪을 수 밖에 없는 상황이기때문에, 향후 화석연료에 의존하는 양식 산업보다는 수용능력 범위 내에서 자연환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있는 양식기법으로 전환해야만이 지속적인 생산이 가능할 것이다.

VI. Appendix

Appendix. 1. Footnote on Table. 1

RENEWABLE RESOURCES			
1	Sunlight	Fisheries Area = 1.54E+08 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) = 4.58E+17 J/yr	국립수산진흥원, 1993 기상청, 2003
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 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) = 4.31E+15 J/yr	기상청, 2004 이필호, 1987 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
3	Rainfall, chemical potential	Fisheries Area = 1.54E+08 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) = 1.10E+15 J/yr	기상청, 2004
4	Tide	Fisheries Area = 1.54E+08 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) = 1.89E+15 J/yr	국립해양조사원, 2004 estm. of 2 tides/day in 365 days
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 Energy(J) = (4.48 J/g)(1E6 g/m ³)(5.27E07 m ³ /yr) = 2.36E+14 J/yr	이대인 등, 2002
PURCHASED INPUTS			
7	Fuel	Fuel used for fishery production = 3.76E+05 won/households/yr Fishery Households = 4,445 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) = 4.10E+13 J/yr	해양수산부, 2007 여수시청, 2004 산업자원부, 2006 산업자원부, 2006

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 E03 hr/yr)(2500kcal/day)(1day/24hr)(4186J/kcal)(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 ton/yr)(1E6 g/ton)(103Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	3.84E+14 J/yr	
13	Crustaceans	1.97E+03 M/T	
	Energy(J)= (1970 ton/yr)(1E6 g/ton)(95.2Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	7.84E+12 J/yr	
14	Shellfish	8300 M/T	
	Energy(J)= (8300 ton/yr)(1E 6 g/ton)(88kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	3.06E+13 J/yr	
15	Seaweeds	430 M/T	
	Energy(J)= (430 ton/yr)(1E 6 g/ton)(26.3 Kcal/100g)(4186 J/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 = $3.55 \times 10^7 \text{ m}^2$ Insolation = $4.24 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr}$ Albedo = 0.3 (% given as decimal) Energy(J) = (Fisheries area)(average insolation)(1-albedo) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(4.23 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr})(1-0.3)$ = $1.05 \times 10^{17} \text{ J/yr}$	국립수산진흥원, 1993 기상청, 2003
2	Wind	Fisheries Area = $3.55 \times 10^7 \text{ m}^2$ Density of Air = 1.30 kg/m^3 Avg. annual wind velocity = 4.40 m/sec Geostrophic wind = 8.80 m/sec Drag Coefficient = 1.00×10^{-3} Energy(J) = (area)(air density)(drag coefficient)(velocity) ³ = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.3 \text{ kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3})(8.8 \text{ m/sec})^3(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $9.92 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	기상청, 2004 이필호, 1987 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
3	Rainfall, chemical potential	Fisheries Area = $3.55 \times 10^7 \text{ m}^2$ Rainfall = 1.45 m/yr Gibbs free energy = 4.94 J/g Energy(J) = (area)(rainfall)(Gibbs free energy) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.91 \text{ m/yr})(1 \text{ E}6 \text{ g/m}^3)(4.94 \text{ J/g})$ = $2.54 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	기상청, 2004
4	Tide	Fisheries Area = $3.55 \times 10^7 \text{ m}^2$ Avg. Tide Range = 1.83 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Tides/year = 7.30×10^2 Energy(J) = (Area)(0.5)(tides/yr)(mean tidal range) ² (density)(gravity) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(0.5)(730/\text{yr})(1.83 \text{ m})^2(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)$ = $4.35 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	국립해양조사원, 2004 estm. of 2 tides/day in 365 days
5	Waves	Shore length = $2.56 \times 10^5 \text{ m}$ Wave height = 0.55 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Energy(J) = (shore length)(1/8)(density)(gravity)(wave height) ² (velocity) = $(8.46 \times 10^4 \text{ m})(1/8)(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)(0.55 \text{ m})^2(0.025 \text{ m/sec})(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $7.66 \times 10^{13} \text{ J/yr}$	
6	River chemical Potential	River chemical energy = 750 TDS. Gibbs free energy relative to sea water = $138.8 \times \ln((1 \text{ E}6 - 750)/965000) = 4.48 \text{ J/g}$ Coastal river discharges = $2.27 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ Energy(J) = $(4.48 \text{ J/g})(1 \text{ E}6 \text{ g/m}^3)(2.27 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr})$ = $1.02 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	국립수과원, 2005
PURCHASED INPUTS			
7	Fuel	Fuel used for fishery production = $3.76 \times 10^5 \text{ won/households/yr}$ Fishery Households = 2,550 households Energy conversion factor = $8.00 \times 10^3 \text{ kcal/L}$ Fuel price = $1.37 \times 10^3 \text{ won/L}$ Energy(J) = (Fuel used)(Energy conversion factor)(Fuel price)(4186J/kcal) = $(1.67 \times 10^9 \text{ won/yr})(8000 \text{ kcal/l})(1 \text{ L}/1,365.3 \text{ won})(4186 \text{ J/kcal})$ = $2.35 \times 10^{13} \text{ J/yr}$	해양수산부, 2007 굴조함, 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)(1E6 g/ton)(78kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	1.30603E+12 J/yr	
	Hard shell mussel(홍합등)=	100 M/T	
	Energy(J)= (1300 ton/yr)(1E6 g/ton)(69 Kcal/100g)(4186 J/Kcal)		
	=	2.88834E+11 J/yr	

Appendix. 3. Fishery production expenses (Unit: Thousand won)

단위 : 천원

Unit: Thousand won

구 분 Classification	어업경영비 Fishery Production Expenses					
	양식지출 Aquaculture Expenses					
		종묘비 Seeds & Seeding	사료비 Feed Purchases	물품비 Goods	노무비 Labor Cost	광열비 Fuels & Electricity
1999	3 662	1 264	739	...	680	163
2000	4 083	1 268	714	...	644	262
2001	4 670	892	1 170	...	689	291
2002	3 924	974	1 050	...	637	290
2003	4 641	1 008	541	105	776	336
2004	4 651	1 067	307	97	626	334
2005	5 619	1 337	516	115	677	376
2006	5 624	1 327	519	101	966	394

Appendix. 3. (continued)

단위 : 천원

Unit: Thousand won

구 분 Classification	어업경영비 Fishery Production Expenses						
	양식지출 Aquaculture Expenses						
	어구 구입 보수비용 등 Buying Gear & Repair	임차료 Rent	조세및이자 Taxes & Interest	판매용 자재 Materials for Sale	위판수수료 Consignment Fee	보험료 및기타 Insurance & Other	기타 ¹⁾ Other
1999	623	-	...	...	-	293	1 291
2000	809	83	...	...	44	279	1 206
2001	1 041	234	...	...	37	317	1 662
2002	657	34	...	...	68	214	1 283
2003	739	114	816	63	128	16	...
2004	836	110	849	63	146	26	...
2005	1 111	179	885	35	145	43	...
2006	1 084	130	901	26	140	34	...

주 1) 수산물가공지출이 2002년까지는 어업경영비의 기타로 분류되었으나, 2003년부터 겸업지출로 분류됨

Appendix. 4. Footnote on Table. 4

RENEWABLE RESOURCES			
1	Sunlight	Fisheries Area = $1.54 \times 10^8 \text{ m}^2$ Insolation = $4.24 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr}$ Albedo = 0.3 (% given as decimal) Energy(J) = (Fisheries area)(average insolation)(1-albedo) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(4.23 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr})(1-0.3)$ = $4.58 \times 10^{17} \text{ J/yr}$	국립수산진흥원, 1993 기상청, 2003
2	Wind	Fisheries Area = $1.54 \times 10^8 \text{ m}^2$ Density of Air = 1.30 kg/m^3 Avg. annual wind velocity = 4.40 m/sec Geostrophic wind = 8.80 m/sec Drag Coefficient = 1.00×10^{-3} Energy(J) = (area)(air density)(drag coefficient)(velocity)³ = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.3 \text{ kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3})(8.8 \text{ m/sec})^3(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $4.31 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	기상청, 2004 이필호, 1987 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
3	Rainfall, chemical potential	Fisheries Area = $1.54 \times 10^8 \text{ m}^2$ Rainfall = 1.45 m/yr Gibbs free energy = 4.94 J/g Energy(J) = (area)(rainfall)(Gibbs free energy) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.91 \text{ m/yr})(1 \text{ E6 g/m}^3)(4.94 \text{ J/g})$ = $1.10 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	기상청, 2004
4	Tide	Fisheries Area = $1.54 \times 10^8 \text{ m}^2$ Avg. Tide Range = 1.83 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Tides/year = 7.30×10^2 Energy(J) = (Area)(0.5)(tides/yr)(mean tidal range)²(density)(gravity) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(0.5)(730/\text{yr})(1.83 \text{ m})^2(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)$ = $1.89 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	국립해양조사원, 2004 estm. of 2 tides/day in 365 days
5	Waves	Shore length = $8.46 \times 10^5 \text{ m}$ Wave height = 0.55 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Energy(J) = (shore length)(1/8)(density)(gravity)(wave height)²(velocity) = $(8.46 \times 10^5 \text{ m})(1/8)(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)(0.55 \text{ m})^2(0.025 \text{ m/sec})(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $2.53 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	
6	River chemical Potential	River chemical energy = 750 TDS. Gibbs free energy relative to sea water = $138.8 \times \ln((1 \text{ E6}-750)/965000) = 4.48 \text{ J/g}$ Coastal river discharges = $5.27 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ Energy(J) = $(4.48 \text{ J/g})(1 \text{ E6 g/m}^3)(5.27 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr})$ = $2.36 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	국립수과원, 2005
PURCHASED INPUTS			
7	Fuel	Fuel used for fishery production = $1.67 \times 10^6 \text{ won/households/yr}$ Fishery Households = 3,556 households Energy conversion factor = $8.00 \times 10^3 \text{ kcal/L}$ Fuel price = $1.37 \times 10^3 \text{ won/L}$ Energy(J) = (Fuel used)(Energy conversion factor)(Fuel price)(4186J/kcal) = $(1.67 \times 10^6 \times 1,110 \text{ won/yr})(8000 \text{ kcal/l})(1 \text{ L}/1,365.3 \text{ won})(4186 \text{ J/kcal})$ = $1.46 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	해양수산부, 2007 굴조함, 2005 산업자원부, 2006 산업자원부, 2006

Appendix. 4. (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)		
	=	5.09E+12 J/yr	
9	Seed		
	Consumption (Avg. per Household) =	2.14E+06 won/households/yr	
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Seed for fishery production =	7.60E+09 won/yr	
10	Misc. Supplies		
	Misc. Supplies (Ave. per Household) =	4.73E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Misc. Supplies for fishery production =	1.68E+10 won/yr	
11	Services		
	Services (Average per Household) =	4.65E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Services for fishery production =	1.65E+10 won/yr	
	OUTPUT		
12	Fishes	8.92E+04 M/T	농촌진흥청, 2006
	Energy(J)= (89155 ton/yr)(1E6 g/ton)(103Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	3.84E+14 J/yr	
13	Crustaceans	1.97E+03 M/T	
	Energy(J)= (1970 ton/yr)(1E6 g/ton)(95.2Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	7.84E+12 J/yr	
14	Shellfish	8300 M/T	
	Energy(J)= (8300 ton/yr)(1E6 g/ton)(88kcal/100g)(4186J/Kcal)		
	=	3.06E+13 J/yr	
15	Seaweeds	430 M/T	
	Energy(J)= (430 ton/yr)(1E6 g/ton)(26.3 Kcal/100g)(4186 J/Kcal)		
	=	4.73E+10 J/yr	
16	Total production		
	Total production =	4.23E+14 J/yr	

Appendix. 5. Footnote on Table. 12

RENEWABLE RESOURCES			
1	Sunlight	Fisheries Area = $1.55 \times 10^8 \text{ m}^2$ Insolation = $4.24 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr}$ Albedo = 0.3 (% given as decimal) Energy(J) = (Fisheries area)(average insolation)(1-albedo) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(4.23 \times 10^9 \text{ J/m}^2/\text{yr})(1-0.3)$ = $4.60 \times 10^{17} \text{ J/yr}$	국립수산진흥원, 1993 기상청, 2003
2	Wind	Fisheries Area = $1.55 \times 10^8 \text{ m}^2$ Density of Air = 1.30 kg/m^3 Avg. annual wind velocity = 4.40 m/sec Geostrophic wind = 8.80 m/sec Drag Coefficient = 1.00×10^{-3} Energy(J) = (area)(air density)(drag coefficient)(velocity)³ = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.3 \text{ kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3})(8.8 \text{ m/sec})^3(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $4.33 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	기상청, 2004 이필호, 1987 Miller, 1964 quoted by Kraus, 1972
3	Rainfall, chemical potential	Fisheries Area = $1.55 \times 10^8 \text{ m}^2$ Rainfall = 1.45 m/yr Gibbs free energy = 4.94 J/g Energy(J) = (area)(rainfall)(Gibbs free energy) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(1.91 \text{ m/yr})(1 \text{ E6 g/m}^3)(4.94 \text{ J/g})$ = $1.11 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	기상청, 2004
4	Tide	Fisheries Area = $1.55 \times 10^8 \text{ m}^2$ Avg. Tide Range = 1.83 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Tides/year = 7.30×10^2 Energy(J) = (Area)(0.5)(tides/yr)(mean tidal range)²(density)(gravity) = $(1.54 \times 10^8 \text{ m}^2)(0.5)(730/\text{yr})(1.83 \text{ m})^2(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)$ = $1.90 \times 10^{15} \text{ J/yr}$	국립해양조사원, 2004 estm. of 2 tides/day in 365 days
5	Waves	Shore length = $8.50 \times 10^5 \text{ m}$ Wave height = 0.55 m Density = $1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ Energy(J) = (shore length)(1/8)(density)(gravity)(wave height)²(velocity) = $(8.46 \times 10^5 \text{ m})(1/8)(1.03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)(9.8 \text{ m/sec}^2)(0.55 \text{ m})^2(0.025 \text{ m/sec})(3.15 \times 10^7 \text{ sec/yr})$ = $2.55 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	
6	River chemical Potential	River chemical energy = 750 TDS Gibbs free energy relative to sea water = $138.8 \times \ln((1 \text{ E6} - 750)/965000) = 4.48 \text{ J/g}$ Coastal river discharges = $3.45 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ Energy(J) = $(4.48 \text{ J/g})(1 \text{ E6 g/m}^3)(5.27 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yr})$ = $1.54 \times 10^{14} \text{ J/yr}$	국립수과원, 2005
7	Treated River Che. Potential	River chemical energy = $0.64((55.0 \times \text{BOD}(\text{mg/L}) + 76.79))$ BOD Concentration = 6.5 (mg/L) River chemical energy = 277.95 TDS Gibbs free energy re. sea water = $138.8 \times \ln((1 \text{ E6} - \text{TDS})/965000)$ = 4.91 Coastal river discharges = $1.83 \times 10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ Energy(J) = (Gibbs E J/g)(1 E6 g/m³)(1.83 E07 m³/yr) = $8.95 \times 10^{13} \text{ J/yr}$	국립수과원, 2005

Appendix. 5. (continued)

PURCHASED INPUTS			
Fuel			
8	Fuel used for fishery production =	1.67E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2005
	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 E06 * 1,110 won/yr)(8000 kcal/l)(1L/1,365.3 won)(4186J/kcal)		
	=	1.46E+14 J/yr	
Human labor			
9	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)(1 day/24hr)(4186J/kcal)(Households)		
	=	5.09E+12 J/yr	
Seed			
10	Consumption (Avg. per Household) =	2.25E+06 won/households/yr	
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Seed for fishery production =	8.00E+09 won/yr	
Misc. Supplies			
11	Misc. Supplies (Ave. per Household) =	4.73E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Misc. Supplies for fishery production =	1.68E+10 won/yr	
Services			
12	Services (Average per Household) =	4.65E+06 won/households/yr	해양수산부, 2007
	Fishery Households =	3,556 households	여수시청, 2004
	Services for fishery production =	1.65E+10 won/yr	
STP Operation Price			
13	Treated discharges=	1.83E+07 m ³ /yr	
	Operation Price=	8.76E+01 W/ton	
	STP Operation Price=	1.60E+09 W/yr	
OUTPUT			
14	Fishes	8.92E+04 M/T	농촌진흥청, 2006
	Energy(J)= (89155 ton/yr)(1E6 g/ton)(103Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
		3.84E+14 J/yr	
15	Crustaceans	1.97E+03 M/T	
	Energy(J)= (1970 ton/yr)(1E6 g/ton)(95.2Kcal/100g)(4186J/Kcal)		
		7.84E+12 J/yr	
16	Shellfish	8300 M/T	
	Energy(J)= (8300 ton/yr)(1E 6 g/ton)(88kcal/100g)(4186J/Kcal)		
		3.06E+13 J/yr	
17	Seaweeds	430 M/T	
	Energy(J)= (430 ton/yr)(1E 6 g/ton)(26.3 Kcal/100g)(4186 J/Kcal)		
		4.73E+10 J/yr	
18	Total production		
	Total production =	4.23E+14 J/yr	

Appendix. 6. Footnote on Table. 16

Sources			
1	Renewable Sources (J)		
	Total Renewable Sources in GB =	700000000 ton/day *730 day/yr	
	=	5.11E+12 ton/yr	
	Target area=	5.00E+00 ha	가막만 총 4188ha
	Ren Soc. In Target Area=	6.10E+09	5ha 굴 생산량 62.5 ton/yr
	Gibbs no. =	1.0 J/g	
	=	(6.13E+06 ton/yr)(1E6 g/m ³)(1 J/g)	
	=	6.10E+15 J/yr	
	Renewable Sources for oyster =	9.76E+13 J/ton	
	yield (1 ton)		
2	Unused source (R)		
	Unused source = Renewable Sources*0.1		
	=	6.10E+14 J/yr	
	Unused source for oyster =	9.76E+12 J/ton	
	yield (1 ton)		
3	Goods & Services (E)		
	Goods & Services =	133079730원/yr*(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)	
	=	1.33E+17 sej/yr	
	Goods & Services for oyster =	2.13E+15 sej/ton	
	=	2.13E+06 won/ton	
4	Price of oyster product (P1)		
	Price of olive flounder product =	100000000 won/yr	
	Price of olive flounder yield (1 ton) =	1.60E+06 won/ton	
5	Price of purchased inputs (P2)		
	Price of purchased inputs =	1/[(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)]	
	=	1.60E-11 won/sej	
	=		
Storages			
6	Assets (A)		
	Assets =	57000000원*(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)	
	=	9.12E+14 sej	
	=	57000000 won	
7	Money (M)		
	Money =	150000000 won	(어가유통자산, 수산연감 1996)
	=	2.40E+06 won	
	=	2.40E+15 sej	

Appendix. 6. (continued)

Flows		
8	Resource used ($K1 \cdot R \cdot E \cdot A$)	
	Resource used = Renewable Sources*0.9	
	=	5.49E+15 J/yr
	Resource used for olive flounder yield (1 ton) =	8.79E+13 J/ton
9	Money spent ($K2 \cdot M$)	간접비(포함)
	Money spent =	60000000 won/yr
	Money spent for oyster yield (1 ton) =	9.60E+05 won/ton
10	Goods & Services to assets ($K3 \cdot E$)	
	Goods & Services to assets = (자산가치+수선비)원/yr*(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)	
	=	6.50E+15 sej/yr
	Goods & Services to assets	
	for oyster yield (1 ton) =	1.04E+14 sej/ton
11	Assets depreciation ($K4 \cdot R \cdot E \cdot A$)	
	Assets depreciation = 4033000원/yr*(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)	
	=	3.00E+15 sej/yr
	Assets depreciation for oyster	
	yield (1 ton) =	4.80E+13 sej/ton
12	Assets repairing and maintenance ($K5 \cdot A$)	
	Assets repairing and maintenance = 4100000원/yr*(1\$/1240원)*(1.24 E12 sej/\$)	
	=	3.50E+15 sej/yr
	Assets repairing and maintenance	
	for oyster yield (1 ton) =	5.60E+13 sej/ton
13	Oyster yield ($K6 \cdot R \cdot E \cdot A$)	
	Olive flounder yield =	1 ton

Appendix. 7. Model Code

```
'Oyster Aquaculture Model

'Plotting Frames
10 SCREEN 12
20 LINE (0, 0)-(320, 90), 7, B
30 LINE (0, 90)-(320, 180), 7, B
40 LINE (0, 180)-(320, 270), 7, B
50 LOCATE 2, 30: PRINT "Assets"
60 LOCATE 7, 30: PRINT "Money"
70 LOCATE 13, 30: PRINT "Yield"

'Sources and Initial Values
100 J = 1
110 R = .1
120 P1 = .63
130 P2 = 2.61

140 A = 1: REM Asset
150 M = 1: REM Money
160 Y = 1: REM Yield

'Iteration Time Step during Simulation
200 DT = .01

'Scaling Factors for Plotting
300 A0 = 40
310 M0 = 40
320 Y0 = 40
330 T0 = 10
```

'Pathway Coefficients

400 K1 = 60.99

410 K2 = .385

420 K3 = .5608

430 K4 = 4.795

440 K5 = .0708

450 K6 = 68

'Simulation Loop

500 R = J / (1 + K1 × E × A)

510 E = K2 × M / P2

520 Y = K6 × R × E × A

530 DA = K3 × E - K4 × R × E × A - K5 × A

540 DM = P1 × Y - K2 × M

550 A = A + DA × DT

560 M = M + DM × DT

'Plotting Simulation Result

600 PSET (T × T0, 90 - A × A0), 7

610 PSET (T × T0, 180 - M × M0), 7

620 PSET (T × T0, 270 - Y × Y0), 7

REM 630 WRITE #5, A

REM 635 PRINT A

REM 640 CLOSE #5

'Repeat the Simulation Loop

700 T = T + DT

800 IF $T \times T_0 < 319$ THEN GOTO 500

1000 LOCATE 2, 50: PRINT "Asset(A)=": LOCATE 2, 60: PRINT A

1100 LOCATE 3, 50: PRINT "Money(M)=": LOCATE 3, 60: PRINT M

1200 LOCATE 4, 50: PRINT "Yield(Y)=": LOCATE 4, 60: PRINT Y

1300 LOCATE 27, 2: PRINT "T=": LOCATE 27, 6: PRINT T



VII. 약자 목록

A	Asset
BOD	Biological Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
CSD (UNCSD)	Commission on Sustainable Development
DIN	Dissolved Inorganic Nitrogen
DIP	Dissolved Inorganic Phosphate
DO	Oxygen Demand
DOC	Dissolved Organic Carbon
EIR	Emergy Investment Ratio
ELR	Environmental Loading Ratio
EmSI (=SI)	Sustainability Index, Emergy Sustainability Index, Ratio of the EYR to the ELR
EYR	Emergy Yield Ratio
F	Fuel
FDA	Food & Drug Administration, United States
FRP	Boat made by Fibre-Reinforced Plastic Material

G&S	Good & Service
GB	Gamak Bay
GNP	Gross National Product
I	Renewable Emergy Flow
M	Money
MSBR	Molten Salt Breeder Reactor
N	Indigenous Nonrenewable Reserves
PI	Purchased Inputs
QBasic	QuickBasic (Computer Programming Language)
R	Renewable Sources
SOD	Sediment Oxygen Demand
STP	Sewage Treatment Plant
TDS	Total Dissolved Solids
TN	Total Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
TP	Total Phosphate
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
Y	Yield

VIII. 참고문헌

- Bastianoni, S., 2002, Use of thermodynamic orientors to assess the efficiency of ecosystems: a case study in the Lagoon of Venice, Science World Journal, 2, pp. 255~260
- Brown M. T., S. Ulgiati, 1997, Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economics and technology toward environmentally sound innovation, Ecological Engineering, 9, pp. 51~69.
- Brown, M. T., and T. R. McClanahan, 1996, Emergy Analysis Perspectives of Thailand and Mekong River Dam Proposals, Ecological Modelling, Vol 91, pp. 105~130
- Brown, M. T., H. T. Odum and S. E. Jorgensen, 2003, Emergy Hierarchy and Transformity in the Universe, Ecological Modelling, Vol. 178, pp. 17~28
- Brown, M. T., P. Green, A. Gonzalez and J. Venegas, 1992, Emergy analysis perspectives, Public Policy Options, and Development Guidelines for the Coastal Zone of Nayarit, Mexico, 1(2), Center for Wetlands, University of Florida, Gainesville, pp. 405
- Brown, M. T., S. Ulgiati, 2001, Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments, Population & Environment, Vol 22(5), pp. 471~501
- CERN, the colt java open source mathematical library, 2002, <http://hosc hek.home.cern.ch/hosehek/colt/>

- Ivaylo I. Ilien. Fractal aid, a java library and language to process and plot symbolic mathematical data, 2004, <http://www.fraid.org>,
- Kang, Daeseok, 1998, Pulsing and Self-Organization, A Dissertation Presented to the Graduate School of the University of Florida in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, pp. 27~35
- Kang, Daeseok, and Seok Soon Park, 2002, Emergy Evaluation Perspectives of a Multipurpose Dam Proposal in Korea, Journal of Environmental Management, Vol 66, pp. 293~306
- Lee, S. M., and H. T. Odum, 1994, Emergy analysis overview of Korea, Journal of the Korean Environmental Sciences Society, Vol 3(2), pp. 165~175
- Lu., Hongfang, Daniel Campbell, Jie Chen, Pei Qin, Hai Ren, 2007, Conservation and economic viability of nature reserves: An emergy evaluation of the Yancheng Biosphere Reserve. Biological Conservation. Vol. 39, pp. 415~438
- Odum, H. T., 1983, System Ecology: An Introduction, John Wiley & Sons International Rights, Inc., pp. 10~25
- Odum, H. T., 1988, Self organization, transformity, and information, Science, Vol 242, pp. 1132~1139
- Odum, H.T., 1996, Environmental Accounting, Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley & Sons, New York, pp. 294~303
- Odum, H.T., and J.E. Arding, 1991. Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador. Univ. Florida, pp. 37~44

- Odum, H. T., 2001, Emergy evaluation of salmon pen culture, University of Florida Press
- Odum, H. T., 1983, Systems Ecology An Introduction. John Wiley & Sons
- Peter, A. K. 1980, Water quality management, Vladimir Novony, pp. 59~68
- Qin, P., Y. S. Wong, and N. F. Y. Tam, 2000, Emergy Evaluation of Mai Po Mangrove Marshes, Ecological Engineering, Vol. 16, pp. 271~280
- Tilley, David and Vito Comar, 2006, Emergy-based Simulation to Assess Brazil's long term carrying capacity : Environment, Electricity and Population, Population & Environment, Vol 27(3), pp. 307~326
- Ulgiate, S., and M. T. Brown, 2007, Emergy and Ecosystem Complexity, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, DOI: 10. 1016
- Valyi, R., and E. Ortega, 2004, Emergy simulator, an open source simulation platform dedicated to systems ecology and Emergy studies, Sourceforge website (<http://emsim.sourceforge.net>)
- Vassallo, P., and M. Fabiano, 2006, A dynamic model approach to the Emergy evaluation : The case study of a Mediterian fish farm system, Proceeding of 4th Emergy Research Conference, pp. 18
- Vassallo, P., S. Bastianoni, I. Beiso, R. Ridoffi and M. Fabiano, 2007, Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. Ecological Indicators, 7(2), pp. 290~298
- Zhou, J. B., M. M. Jiang, B. Chen, G. Q. Chen, 2007, Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments.

Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation,
doi:10.1016/j.cnsns. 2007. 08. 010

Zuo P., S. W. Wan, P. Qin, J. Du, and H. Wang, 2004, A Comparison of the Sustainability of Original and Constructed Wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: Implications from Emergy Evaluation, Environmental Science & Policy, Vol 7, pp. 329~343

강대석, 남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경 자원의 가치평가와 정책활용 방안, 한국해양수산개발원, 기본연구 2003-19, pp. 65~87.

국가 통계 포털 (KOSIS), 2007, <http://www.kosis.kr/>

국립수산진흥원. 1993. '93年 근해어장어업량의 동향, pp. 93~107.

국립수산과학원, 2005, 해양환경공정시험방법

국립수산과학원, 2006, 해양환경공정시험방법

국립해양조사원, 2004, 여수항 일대 조류관측결과, 수로기술연보.

굴구협 여수지소, 2006, 가막만 굴 생산 현황

굴수하식 수산업 협동조합, 2006, 굴연승 수하식 생산원가 (1ha 20대 시설 5,000원, 3ha 60대 시설 15,000원, 5ha 100대 시설 25,000원)

기상연감, 기상청, <http://www.kma.go.kr>

김귀영, 2002, 가막만의 이화학적 환경특성과 퇴적물에서의 물질 거동 연구. 영남대학교 이학박사학위논문, pp. 133~135

김남국, 2001, 시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치 생산의 지속성 평가, 부경대학교 석사학위 논문, pp. 28~47

- 김남국, 손지호, 김진이, 이석모, 2001, 시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치 생산의 지속성 평가(I). 넙치생산에 대한 emergy 분석, 한국환경과학회지, 34(3), pp. 218~224.
- 김우석, 2002, 환경회계에 의한 공유수면매립사업의 사전환경성검토방법 개발과 적용, 부경대학교 대학원 공학석사 학위논문, pp. 46~49
- 김종구, 2005, 생태계 모델을 이용한 가막만 해역의 환경용량 산정, 해양환경안전학회 2005년도 추계학술발표회, pp 147~151
- 김진이, 2007, 낙동강 유역의 오염총량관리계획에 대한 환경회계, 부경대학교 대학원 공학박사 학위논문, pp. 42~47
- 박영철, 최광식, 2002, 가막만 양식 참굴의 성장과 환경용량 추정에 대한 연구, 한국 환경생물학회, Vol 20(4), pp. 378~385
- 박성진, 2003, 가막만의 해양환경과 굴양식장에 미치는 바람효과, 여수대학교 대학원 공학석사 학위논문, pp. 64~72
- 백상호, 1998, 판별함수에 의한 진해만 적조발생의 예찰수법, 여수대학교 공학석사 학위논문, pp. 70
- 손지호, 신성교, 조은일, 이석모, 1996, 한국수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), pp. 689~700.
- 수계오염총량관리기술지침, 2004, 국립환경연구원, pp. 125
- 수질오염공정시험법, 2004, 환경부(환경부 고시 제2004-188호), pp. 75~98
- 신봉균, 2007, 하수슬러지의 처분에 대한 생태경제성 평가, 부경대학교 공학석사학위논문, pp. 48~60
- 엄기혁, 손지호, 조은일, 이석모, 박청길, 1996, Emergy 분석법에 의한 득량만의 환

- 경용량 산정, 한국환경과학회지, 29(5), pp. 629~636.
- 여수대학교 수산해양연구원, 2005, 여수시 관내 국도대체우회도로(우두-종화) 건설
공사 해양조사 보고서. pp. 66
- 여수시, 1995, 여수·여천시 통합하수종말처리장 설치와 관련처리수의 해역배출에
따른 시뮬레이션 연구 및 개선방안. pp. 366
- 여수시, 2001, 여수시 진두-하동간 군도사업지구 환경성 검토 및 어업 피해영향조
사. pp. 331.
- 여수시, 2004. 연등천 자연형(오염)하천 정화사업 실시설계 보고서. pp. 187
- 여수시, 2005, 2004년 여수통계연보, pp. 172~180.
- 여수시, 2005, 연등천 하천정비 기본계획 사전환경성검토서. pp. 206
- 여수시, 2006. 하수처리수 재하수처리수 재이용에 따른 연등천 하류주변 시뮬레이
션 연구 용역. pp. 204
- 여수시민협, 2007, 돌산읍 무술목 목장용지 현황과 과제, 시민토론회 자료집, pp.
7~12
- 오현택, 구준호, 박성은, 최윤선, 정래홍, 최우정, 이원찬, 박종수, 2005, 하수처리장
개선이 마산만 수질에 미치는 영향분석, 한국환경과학회지, Vol 14(8),
pp. 777~783
- 이규형, 조규대, 1990, 가막만의 수온과 염분의 분포, 한국수산학회지, Vol 23 (1),
pp. 25~39
- 이대인, 조은일, 박청길, 1999, 가막만에서의 기초생산력 향상방안에 관한 생태계
모델링. 한국환경과학회지, 8(5), pp. 575~586.
- 이대인, 조현서, 2002, 가막만 해역의 오염부하 특성에 관한 연구, 한국환경과학회

지, 11(9), pp. 945~954.

이원찬, 1995, 가막만의 수중유기물이 굴성장에 미치는 영향, 부경대학교 공학석사 학위논문, pp. 39

이원찬, 2001, 패류양식장 어장환경용량 산정 모델개발 및 적용, 부경대학교 공학 박사 학위논문, pp. 132

이창희, 강대석, 남정호, 이병국, 유혜진, 2001, 하구·석호 육해전이수역 통합환경 관리방안 연구, pp. 349

임효혁, 강대석, 남정호, 2003, 연안유역 관리를 위한 해양환경 수용력 평가모델의 활용 개선방안, 한국해양수산개발원 해양정책연구, Vol 18(1), pp. 8~15

조은일, 1996, 생태계모델을 이용한 어장환경용량 조사, 부산수산대학교 대학원 박사학위 논문, pp. 97

조은일, 박청길, 이석모, 1996, 가막만의 환경용량 산정 (I) - 생태계 모델을 이용한 기초생산력 산정, 한국수산학회지, Vol 29(3), pp. 369~385

전남대학교, 2006, 여수 하수종말처리장 최종방류구 주변해역에 하수처리수 배출 수 미치는 영향 파악 보고서 - 육상 오염부하량 및 해역의 물질확산 시뮬레이션, pp. 43~44

해양수산부, 2000, 환경보전해역 고시, pp. 25

해양수산부, 2001, 환경관리해역 시범해역관리 시행계획 수립연구, pp. 275

해양수산부, 2005, 해양환경공정시험방법, pp. 35~46

해양수산부, 2007, 2012여수세계박람회 유치, <http://www.momaf.go.kr>

감사의 글

제가 학문을 연구하는데 있어 박사학위 논문으로 새롭게 탄생하는데는 많은 분들의 정성스러운 도움이 있었기에 가능한 것이었음을 스스로 잘 알고 있기에, 그 모든 분들께 감사를 전하고 싶습니다.

이석모 지도교수님의 변함없는 정열과 올바른 학문의 길로 가르쳐주신것에 감사드리며, 시작부터 완성에 이르기까지 바쁘신 와중에도 귀한 지도를 해주시지 않았다면 결실은 어려웠을 것이라 여깁니다. 바쁜 업무와 연구 일정에도 불가하고 제 논문의 심사위원을 기꺼이 맡아주신 김일규 교수님, 강대석 교수님, 김상단 교수님, 이원찬 연구관님께 다시 한번 감사의 마음을 전합니다. 자상한 지도와 날카로운 비판의 가르침을 잊지 않고 부단히 노력하는 연구자가 되겠습니다. 그리고, 논문 지도과정에서 응원과 배려를 아끼지 않으신 부경대학교 환경공학과, 생태공학과 교수님들께 깊이 감사드립니다.

함께 고민하고 고생한 국립수산물학원과 학교의 많은 선배님, 동기, 그리고 후배들께 소중한 인연이었으며 좋은 만남들이었다고 말하고 싶습니다. 제가 그동안 받은 많은 도움을 조금이라도 베풀고, 도움드릴 수 있도록 하겠습니다. 특히, 김남국선배님과 밤낮없이 함께한 학문에 대한 토론과 해석은 소중한 기억으로 간직하겠습니다. 김진이 박사님의 관심과 도움에 깊이 감사드립니다.

학문 연마 과정에서 끝까지 저를 믿어 주시고 격려해 주신 부모님, 장인, 장모님 감사드립니다. 마지막으로 제 곁에서 함께 걱정해주며 용기를 넣어준 나의 아내, 딸, 아들에게 감사의 마음과 함께 이 결실을 바칩니다.