

시스템 생태학적 접근법에 의한 넙치생산의 지속성 평가

II. 넙치 육상양식산업에 대한 예측

김남국 · 손지호 · 김진이 · 조은일* · 이석모[†]
부경대학교 환경공학과, *제주대학교 환경공학과

Sustainability of Olive Flounder Production by the Systems Ecology

II. Simulating the Future of Olive Flounder Aquaculture on the Land

Nam Kook KIM, Ji Ho SON, Jin Lee KIM, Eun Il CHO* and Suk Mo LEE[†]

Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

**Environmental Engineering, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea*

In Korea, an olive flounder is very popular fish food item. However, due to the increasing human population, the present catches of the olive flounder may not be sufficient to satisfy the present demand. To increase the supply of the olive flounder, aquaculture has been begun. An interest in the aquaculture of the olive flounder has been increased recently because of its characteristics of good growth and high price in the market. However, the productivity of the olive flounder aquaculture depends on economic inputs such as fuels, facilities, and labor. The rapid growths of the olive flounder aquaculture and the concerns about economic and ecological sustainability have focused peoples attention on the aquaculture industry. In this study, an energy systems model was built to simulate the variation of sustainability on the aquaculture of olive flounder. The results of simulation based on calibration data in 1995 show that olive flounder production yield and asset slowly increase to steady state because of the law of supply and demand. The results of simulation based on the variation of oil price show that the more increase the oil price, the more decrease the olive flounder economic yield and asset. Energy sources required for systems determine the sustainability of systems. Conclusively, the present systems of the olive flounder aquaculture should be transformed to ecological-recycling systems or ecological engineering systems which depend on renewable resources rather than aquaculture systems which depend on fossil fuels, and be harmonized with the fishing fisheries by the sustainable use of renewable resources in the carrying capacity.

Key words: Olive flounder, Aquaculture, Energy systems model, Sustainability

서 론

세계의 해양 강대국들은 200해리 배타적 경제수역 (EEZ: Exclusive Economic Zone)을 선포하고 해양자원, 특히 수산생물 자원을 지키려는 적극적인 노력들을 하고 있고, 연안의 수산자원은 남획과 환경오염 등으로 그 자원량이 급격히 감소하여 잡는 어업만으로는 국민들의 수산단백질 요구량을 충족할 수 없게 되었다.

잡는 어업에 의한 수산물 생산량은 감소하고 있음에도 과거 축산육 중심의 소비형태가 선진국형인 수산물 중심으로 바뀌어 가고 건강식품으로서의 수산물 선호도가 크게 부각되면서 그 소비량이 급증하고 있는 추세여서 수산양식을 통해서 요구량을 충족시킬 수밖에 없는 실정이다. 이와 같은 여건 속에서 수산물의 생산방식을 근본적으로 바꾸어야 할 필요성에 따라 양식은 중요하게 되었다.

이 중 넙치 (*Paralichthys olivaceus*) 양식산업은 먹이효율이 높아 성장속도가 빠르며 소비수요마저 커서 각광받는 산업으로 그 보급이 전국적으로 확대되는 추세이다. 현재 우리나라의 천해어류 양식 중 넙치양식이 거의 2/3 이상을 차지하며 육상수조식의 양식방법이 주류를 이루고 있음에도 불구하고, 넙치 양식에서의 육상수조식에 대한 경영관리적 관점에서의 경제성 평가는 이루어져

있으나 (Park and Uh, 1993), 넙치 양식산업에 기여하는 자연환경과 경제활동의 가치를 통합적으로 파악하여 넙치생산활동에 기여하는 자연환경의 실질적인 가치와 인간경제 시스템에 대한 기여도 평가 (Kim et al., 2001)를 기초로 넙치 육상양식산업의 미래를 예측하고 발전방향을 제시한 연구는 이루어지지 않았다.

시스템 생태학적 접근법은 여러 시스템 생태학자들에 의해서 지구 (Odum et al., 1987; MaGrane, 1989), 국가 (Odum and Arding, 1991; Lee et al., 2001), 지역 (Odum, 1987; Hansen, 1987), 생태계 (Odum et al., 1995; Kang, 1999) 등의 시스템에 대하여 단순한 부분적 기능의 합으로서가 아니라 시스템의 전체적인 역할과 기능을 평가하기 위한 연구가 수행되어 왔다. 이러한 접근법을 통한 미래 예측은 우리에게 모든 것의 토대가 에너지임을 인식하게 하고 (Odum, 1994), 비영속성 에너지원에 의존한 현재의 지구적 경제성장이 정점에 도달한 이후 초래될 경제성장의 점진적인 하강에 따른 국가, 지역, 산업의 변화에 대한 예견을 제공할 것으로 기대 된다.

따라서 본 연구에서는 실질적인 수산자원으로서의 넙치 가치를 평가한 Emergy 분석 (Kim et al., 2001)을 기초로 시스템 생태학적 접근법에 기초한 에너지 시스템 모델링에 의해 넙치 양식산업의 미래를 예측하고, 이러한 결과를 바탕으로 넙치양식을 비롯한 수산양식산업의 발전방향을 제시하고자 한다.

[†]Corresponding author: leesm@pknu.ac.kr

방 법

시스템 생태학적 접근법에 기초하여 농업 생산의 지속성에 대한 변화 양상을 예측하기 위한 에너지 시스템 모델링의 절차는 Fig. 1과 같으며, 시뮬레이션을 위한 다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 보정 및 프로그램 작성, 그리고 시뮬레이션 수행 등으로 구성된다.

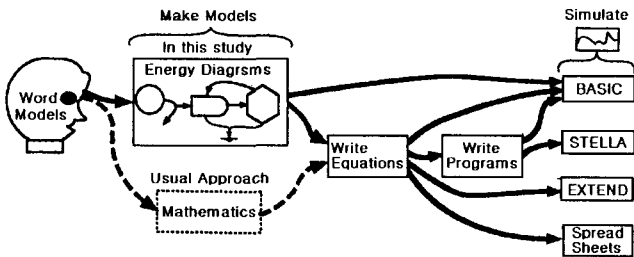


Fig. 1. Approaches to modeling and simulation in systems ecology, starting with word models on the left (Odum and Odum, 2000).

시뮬레이션을 위한 다이어그램 작성

에너지 시스템 모델링은 대상 시스템의 다이어그램 작성으로부터 시작되며, 에너지 언어로 작성된 다이어그램 (energy diagrams)은 시스템의 조직망을 이해하고, 해결하고자 하는 문제와 관련된 주요 흐름과 상호작용을 파악하는데 이용된다.

농업 생산 시스템의 시·공간적 경계를 설정하고, 생산활동을 하나의 시스템으로 파악할 수 있도록 에너지 부호를 이용하여 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다. 다이어그램 작성방법은 첫째, 시스템의 경계를 설정하는 것으로, 농업 생산장의 규모는 Park and Uh (1993)의 연구에 의해 수조면적과 양식기간을 기준으로 농업 생산장 규모에서 경제성이 가장 높게 평가된 3,000 m²의 육상수조 양식장을 공간적 경계로 설정하고, 시간적으로는 1년 단위의 자료를 기초로 하였다. 둘째, 주요 외부에너지원, 시스템 내의 주요 생산, 소비, 그리고 저장과정을 Odum (1971)에 의해서 개발된 에너지 시스템 언어 (energy systems language)로 나타내었다. 셋째, 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 각 요소에 대하여 에너지, 물질의 흐름과 에너지, 물질, 정보 등과 반대되는 흐름을 가진 화폐의 흐름에 따라 각 부호를 연결하여 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다 (Odum, 2000).

모델의 수식화

에너지 시스템 다이어그램의 내부 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 경로는 수학적 의미들을 포함하고 있으므로 모델의 수학적 조작이 가능하며, 동시에 에너지 법칙을 따르기 때문에 각 보유량에 대한 방정식은 다이어그램으로부터 직접 얻을 수 있다. 에너지 경로 상의 흐름과 내부 보유량에 각각의 기호를 첨가하고 이를 기초로 방정식을 유도하며, 이러한 방정식은 컴퓨터 프로그래밍에 이용된다.

모델의 보정 및 프로그램 작성

유도된 방정식은 모델의 보정 및 프로그램 작성을 위해 첫째, 모델의 외부 에너지원, 보유량 그리고 흐름에 대한 실측 및 조사 자료를 기초로 정규화 (normalization)를 통해 외부 에너지원과 내부요소 흐름의 계수 값을 구한다. 둘째, 유도된 방정식과 계수 값을 이용하여 Quick BASIC® 프로그램 (Microsoft corporation, 1995)을 작성한다.

시뮬레이션 수행

Fig. 2와 같이 다이어그램 작성, 모델의 수식화, 모델의 보정을 통하여 작성된 프로그램을 이용하여 미래에 대한 예측, 각종 대안이나 예상되는 문제에 대하여 시뮬레이션을 수행한다.

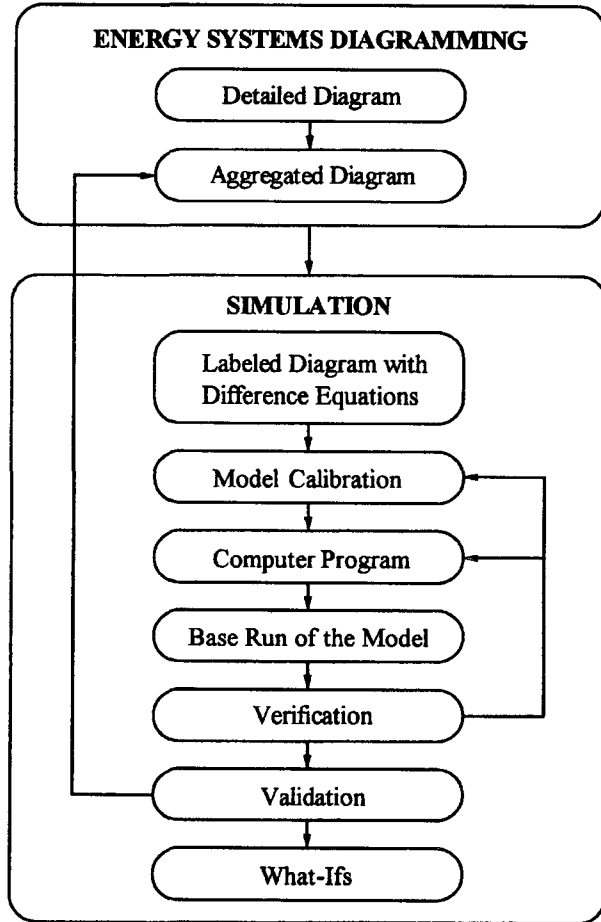


Fig. 2. Schematic diagram showing the procedure of energy systems modeling.

결과 및 고찰

에너지 시스템 모델 작성

에너지 (여기서는 에너지 뿐만아니라 물질, 재화와 용역, 정보, 화폐를 포함함)는 지구적 규모의 생물권 (biosphere)에서, 국가, 유역, 도시, 산업, 그리고 미소 생태계까지 모든 규모의 시스템

활동에 요구된다. 궁극적으로 에너지의 종류와 특성은 시스템의 지속성 (sustainability)에 관여하며 에너지 시스템 모델은 시스템의 지속성에 대한 평가에서 유용한 도구로 이용될 수 있다. 넙치 양식산업의 지속성 평가와 관련하여 넙치 생산 시스템의 시간적 변화 양상을 파악하기 위한 에너지 시스템 모델은 Fig. 3과 같이 에너지 시스템 다이어그램과 수식을 기초로 한다. 시스템 외부로부터는 재생가능한 자연환경 에너지원인 해수 (S)와 넙치 생산활동을 위한 사료, 전기, 노동력과 같은 각종 재화와 용역 (Ep=K5×M/Pg)이 시스템 내부로 유입되어 넙치 생산 (K1×S×E×A)을 가능하게 한다. 양식시설과 건물 등의 경제적 자산 (A)의 변화는 양식 시설에 투자되는 재화와 용역 (K4×M/Pg), 넙치 생산에 이용되는 자산 (K2×S×Ep×A), 자산의 감가상각 (K3×A)에 의해서 결정된다. 화폐보유량 (M)의 변화는 생산된 넙치의 판매를 통해 얻는 수익 (Py×Y)과 넙치양식을 위한 각종 재화와 용역의 구매에 필요한 지출 (K4×M, K5×M)에 의해서 결정된다. 넙치 생산과 자산의 유입에 이용되는 재화와 용역의 가격 (Pg)은 원자재, 유가 등이 상승할 경우 증가하며, 넙치의 판매가격 (Py)은 넙치 생산량에 반비례하는 관계 식 (Py=K6/Y)으로 나타내었다.

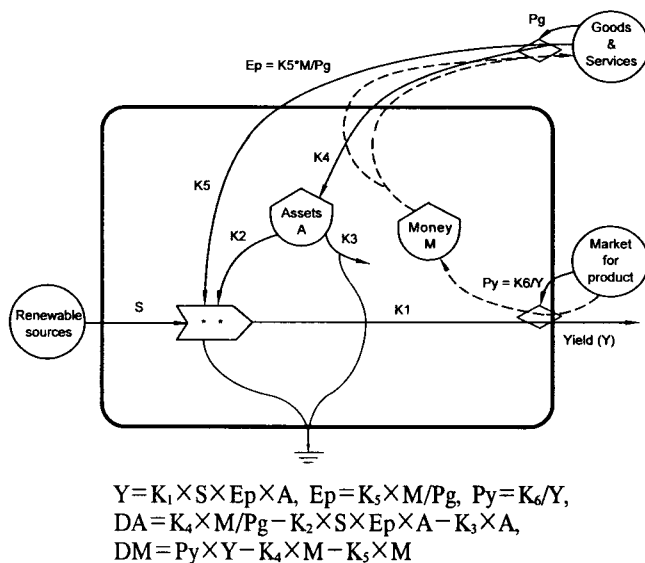


Fig. 3. Systems diagram of olive flounder aquaculture with labels for sources, storages and pathways, and difference equations derived from energy systems diagram.

모델의 보정

에너지 시스템 모델에서 모델의 보정은 모델 내부의 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 경로에 대해 Table 1의 실측 및 조사 자료를 이용한 Table 2의 계수 값 산정을 통해 이루어지며, 이를 기초로 Quick BASIC® 프로그램을 작성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

계수 산정은 보유량, 외부 에너지원, 그리고 각각의 에너지 흐름에 대한 자료를 조사하여 정규화 하였다. 외부 자연에너지원의 유입은 수조면적, 3,000 m² 육상 수조 양식시설에 유입되는 해수로

Table 1. Data used in the olive flounder aquaculture with sea water tanks on the land (Unit area: 3,000 m²)

No. Item	Value	Reference
1 Pumped sea waters ¹⁾	6,132,000 m ³ /yr	Park and Uh (1993)
2 Asset	1,569,900,000 won	Park and Uh (1993)
3 Capital	15,700,000 won	KFA (1996)
4 Olive flounder yield	57.6 ton	Park and Uh (1993)
5 Life time of facilities	11.4 yr	Park and Uh (1993)
6 Cost of repair & maintenance	18,204,000 won/yr	Park and Uh (1993)
7 Depreciations rates	8.75 %	Park and Uh (1993)
8 G. & S. for assets	155,914,526 won/yr	Park and Uh (1993)
9 G. & S. for production	430,367,000 won/yr	Park and Uh (1993)
10 Earned money	691,200,000 won/yr	Park and Uh (1993)

¹⁾ area of a fish tank in this study, 3,000 m²; height of a fish tank, 0.7 m; rotation of seawater in a fish tank, 8/day: (3,000 m²) × (0.7 m) × (8 rotation/day) × (365 day/yr) = 6,132,000 m³/yr.

연간 6,132천톤이었다. 3,000 m² 면적의 넙치 양식수조로부터 연간 생산량은 57.6 ton 이었고, 이로부터의 수익은 691,200,000 won/yr, 넙치 생산에 이용되는 재화와 용역의 구매 비용은 430,367,000 won/yr, 초기 화폐보유량은 15,700,000 won이었다. 양식시설과 건물을 포함한 경제적 자산은 1,590,000,000 won, 자산의 내용연수는 11.4 year, 수리 및 유지비는 18,204,000 won/yr, 자산의 감가상각율은 8.75% 이었다 (Table 1).

이상의 조사된 자료를 3,000 m² 면적으로 나누어 초기 경제적 자산과 화폐 보유량은 won/m², 자연에너지원은 Joule/m²yr, 넙치 생산량은 ton/m²yr, 경제 활동으로부터의 유입은 won/m²yr로 단위를 표현하였고, 각각의 흐름을 정규화하기 위하여 경제적 자산, 화폐보유량, 자연에너지원을 1로 하였다. 이를 기초로 계수 값 K₁은 0.07004, K₂는 0.04230 K₃은 0.08772, K₄는 9.93, K₅는 27.41, K₆은 43.97로 각각 산정되었다 (Table 2).

넙치 양식 시스템에 대한 예측

에너지 시스템 다이어그램, 수식화, 모델 보정 및 프로그램 작성을 거친 에너지 시스템 모델에 1995년도 넙치 양식산업의 자료를 적용하여 미래에 대한 예측을 실시하였다. 본 연구에서는 두가지 조건, 첫째, 넙치 양식산업 시스템의 1995년도 자연환경과 경제활동의 이용률과 넙치의 공급증가에 따른 가격변동을 고려한 조건, 둘째, 향후 화석연료 고갈에 따른 유가상승을 가정하여 시스템의 변화를 예측하였다.

Fig. 4는 1995년도 자연환경과 경제 상황을 기초로 하여 넙치 양식산업 시스템의 경제적 자산, 화폐 보유량, 그리고 넙치 생산량의 변화에 대한 향후 30년 간의 변화를 예측한 결과이다. 자산 보유량은 생산의 증가와 수익의 재투자로 초기에는 증가하지만 생산의 둔화와 함께 정상상태에 도달하는 것으로 예측되었다. 화폐보유량은 넙치 생산 판매로부터의 수익이 모두 생산비용에 이용되기 때문에 시뮬레이션 초기에 증가를 나타낸 이후에 정상상태에 도달하여 계속적으로 유지되고 있었다. 넙치 생산량은 초기에는 비용에 비하여 수익이 큰 관계로 증가하는 추세를 보이지만 시간이 경과함에 따라 수입과 지출이 균형을 이루면서 그 증가

Table 2. Calibration of coefficients based on 1 m² of fish tank for the simulation of olive flounder aquaculture model

No. Item	Expression	Value	Units	Normalization	Coefficients	
Sources for calibration						
1 Renewable sources ¹⁾	S	2.04E+09	Joule/m ² /yr	1		
2 Price of olive flounder	Py	1.20E+07	won/ton	2,290		
3 Price of purchased inputs	Pg			100		
Storages for calibration						
4 Assets	A	5.23E+05	won/m ²	1		
5 Capital	M	5.23E+03	won/m ²	1		
Flows and their coefficients						
6 Olive flounder yield (Y)	K ₁ ×S×Ep×A	0.0192	ton/m ² /yr	0.0192	K ₁ =0.0192/(S×Ep×A)	0.07004
7 Assets used in production	K ₂ ×S×Ep×A	6.07E+03	won/m ² /yr	0.0116	K ₂ =0.0116/(S×Ep×A)	0.04230
8 Assets depreciation	K ₃ ×A	4.59E+04	won/m ² /yr	0.0877	K ₃ =0.0877/A	0.08772
9 Assets from goods & services	K ₄ ×M	5.20E+04	won/m ² /yr	9.93	K ₄ =9.93/M	9.93
10 Goods & services for production	K ₅ ×M	1.43E+05	won/m ² /yr	27.41	K ₅ =27.41/M	27.41
11 Price control for olive flounder	Py=K ₆ /Y				K ₆ =2,290×Y	43.97

¹⁾ (6,132,000 m³/yr) × (1E+06 g/m³) × (1 Joule/g)/(3,000 m²) = 2.04E+09 Joule/m²/yr.

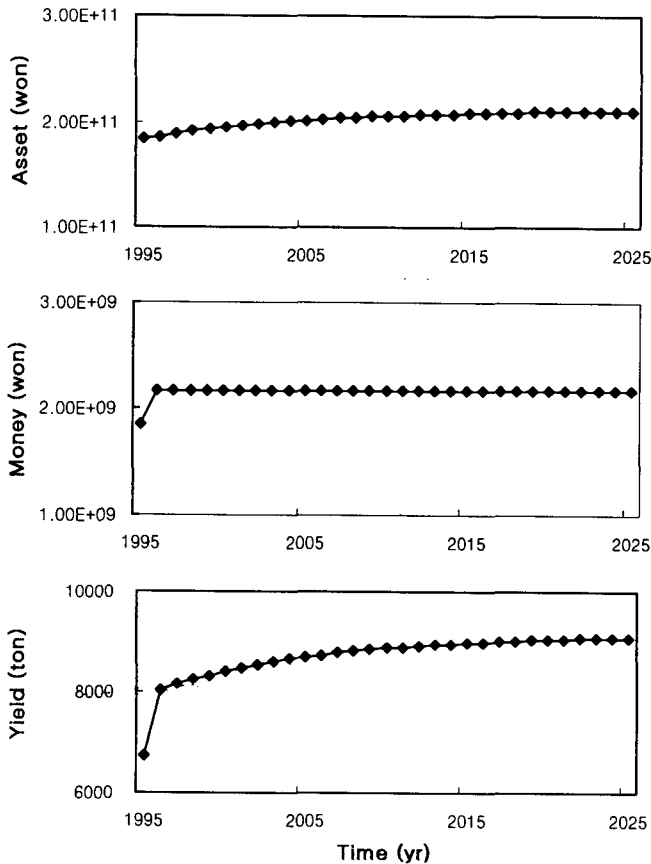


Fig. 4. Simulation results of olive flounder aquaculture model with present condition.

속도가 감소하여 정상상태에 도달하는 것으로 예측되었다. 이상의 시뮬레이션 결과에서 넙치 육상 양식 시스템은 초기 수익에 의해서 양식 시설 및 각종 재화와 용역의 계속적인 유입으로 넙치의

생산이 지속적으로 증가되지만 넙치의 과잉 생산은 넙치 판매가격의 하락을 초래하여 경제적 자산, 화폐보유량, 넙치 생산량이 지속적으로 증가되지 못하고 정상상태에 도달하는 것으로 예측되었다. 이는 수산물 뿐만아니라 공산품의 경우에도 과잉 생산으로 인한 공급 증가는 가격의 하락을 야기하면서 공급과 수요가 균형을 찾아가는 일반적인 현상이다.

Fig. 5에서는, 향후 화석연료의 고갈에 따른 유가상승과 이에 따른 넙치 생산의 주요 원동력인 전기, 사료 등의 구매 비용 증가에 따른 예측 결과이다. Fig. 4의 예측 조건에서 1995년부터 2000년까지의 생산자 물가지수 (한국은행, 2002) 증가율을 적용하였다. 경제적 자산은 초기에는 넙치의 판매 수익의 증가로 인해 다소 상승하는 경향을 보이지만 해를 거듭할수록 누적된 유가상승의 영향으로 인해 판매 수입이 생산 비용에 미치지 못하는 시점부터는 감소하는 경향을 보였다. 화폐 보유량은 초기에는 수입이 비용보다 많아서 증가하는 패턴을 보이지만 그 이후에는 넙치 생산량과 경제적 자산의 감소에 영향을 받아 줄어들어 아 하지만 판매가격의 상승에 의해서 일정한 정상상태를 유지하는 것으로 예측되었다. 넙치의 생산량은 초기에는 증가를 보이지만 유가 상승으로 인한 전기, 사료와 같은 재화와 용역의 유입 감소로 인하여 계속적으로 줄어드는 양상을 나타내었다.

이상의 넙치 육상양식 시스템의 시뮬레이션 결과는 자연환경과 경제활동이 상호 작용하는 시스템의 지속성에 유용한 정보를 제공한다. 각 시스템이 의존하는 에너지원의 종류와 특성은 시스템의 지속성에 직·간접적으로 관여한다. 에너지원의 종류에는 태양, 바람, 비, 파도, 조석, 지열과 같이 재생가능한 영속성 에너지원 (renewable sources)과 석유, 천연가스, 석탄, 경제활동의 재화와 용역과 같이 생성 속도에 비해 이용 속도가 지나치게 빠른 비영속성 에너지원 (non-renewable sources)으로 구분될 수 있다. 최근 지구적 규모의 화석연료 확인 매장량과 연간 소비량을 고려할 경우, 석유는 38.2년, 천연가스는 64.5년, 석탄은 301.6년이면 현재의

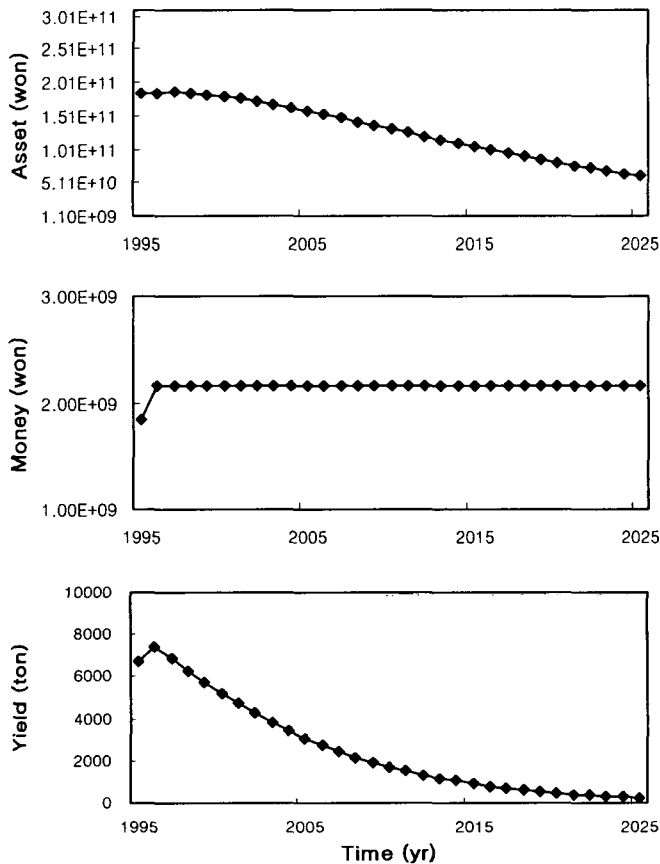


Fig. 5. Simulation results of olive flounder aquaculture model with increase of producer's price per year.

확인된 매장량이 다 소모되는 것으로 보고되고 있다 (British Petroleum, 2002). 따라서 지구의 모든 시스템은 궁극적으로 재생 가능한 에너지원의 점유율을 증가시킬 때 향후 예견되는 비영속성 에너지원의 감소에 보다 능동적으로 대처할 수 있을 것이다.

넙치 육상양식 시스템의 경우 양식 비용측면에서 가장 많은 비중을 차지하는 것이 양어용 배합사료, 전기, 연료 등으로 양식 비용의 절반이상을 점유하지만 (Park and Uh, 1993), 이들 대부분이 외국으로부터의 수입품과 비영속성 에너지원에 의존하는 것이다. 육상수조 양식장 운영측면에서는 양식장의 급수온도 조절을 위한 보일러를 사용과 액체 질소, 얼음 및 지하수 이용 등 에너지 다소비적인 시스템의 특성을 가지고 있어 최근 유가 상승에 의한 양식 생산비 증가는 양식장 폐수에 의한 연안해역의 환경오염 등과 함께 지속적인 양식업 및 소득향상을 저해하는 요인으로 작용하고 있다. 따라서 장기적인 측면을 고려할 때, 자연 친화적이며, 에너지를 절약할 수 있는 시스템으로의 전환이 필요하다. 이를 위해서는 국내의 자연환경자원과 천연 사료에 의존하는 에너지 저 소비형의 생산 시스템 구조를 가진 양식기법과 같은 생태공학적인 방식으로의 전환과 아울러 자연환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있는 일반해면어업과의 상호보조적인 조화가 이루어져야 넙치 뿐만 아니라 수산 양식산업의 지속성이 유지될 것이다.

요 약

본 연구에서는 자연환경과 경제활동에 의존하는 넙치 양식산업의 변화 양상을 파악하기 위해서 시스템 생태학적 접근법에 의한 에너지 시스템 모델을 작성하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면 현재와 같은 에너지 소비구조와 시스템으로 넙치 양식산업이 진행될 경우에 자산, 화폐보유량, 생산량은 일정한 수준의 정상상태에서 지속되는 것으로 예측되었다. 그러나 화석연료의 고갈을 고려할 경우, 비영속성 에너지원에 의존하는 현재의 시스템은 초기 증가 후 수입과 지출이 균형을 이루는 시점부터 자산, 생산량 등이 지속적으로 감소하는 것으로 예측되었다. 따라서 장기적인 측면을 고려할 때, 넙치 양식산업 및 수산 양식산업의 지속성을 위해서는 국내의 자연환경자원에 의존하는 에너지 저 소비형의 생산 시스템 구조를 가진 생태공학적인 시스템으로의 전환 뿐만 아니라 일반해면어업과 조화를 이룰 수 있는 수산정책이 요구된다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 부경대학교 기성회 학술연구조성비에 의하여 지원되었으며 이에 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

- British Petroleum. 2002. BP statistical review of world energy London. <http://www.bp.com/downloads/1087/statistical-review.pdf>.
- Hansen, K.L., H.T. Odum and M.T. Brown. 1982. Energy models for Volusia County, Florida. Q. J. Fla. Acad. Sci., 45, 209~227.
- Kang, D.S. 1999. Pulsing and self-organization. Ph. D. Dissertation, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 238pp.
- Kim, N.K., J.H. Son, J.L. Kim and S.M. Lee. 2001. Evaluation of sustainability for olive flounder production by the systems ecology: I. Emergy analysis of olive flounder production, J. Kor. Fish. Soc., 34, 218~224 (in Korean).
- Korea Fisheries Association. 1996. Korean Fisheries Yearbook, 379~548 (in Korean).
- Lee, S.M., J.H. Son and J.L. Kim. 2001. Evaluation of Korea's sustainability development by the system ecology: II. Simulating the future of Korea's natural environment and economic development. J. Kor. Env. Sci. Soc., 10, 91~97 (in Korean).
- MaGrane, G. 1998. Simulating whole-earth cycles using hierarchies and other general systems concepts. Ph. D. Dissertation, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, 372pp.
- Microsoft corporation. 1995. Introducing Microsoft Windows 95. Microsoft Press, Washington, Redmond, 344pp.
- Odum, H.T. 1971. An energy circuit language for ecological and social system, its physical basis. In System Analysis and Simulation in Ecology. B. Pattern, Ed. Academic Press. New York, Vol. 2, 139~211.
- Odum, H.T. 1987. Models for national, international, and global

- systems policy. Chap., 13, pp. 203~251 in *Economic-Ecological Modelling*, ed by L.C. Braat and W.F.J. Van Lierop. Elsevier science Publishing, New York, 329pp.
- Odum, H.T., E.C. Odum and M. Blissett, eds. 1987. *Ecology and Economy: Emergy analysis and public policy in Texas*. L.B.J. School of Public Affaris and Texas dept. of Agriculture (Policy Research Publication 78). Univ. of Texas, Austin, 178pp.
- Odum, H.T. and J.E. Arding. 1991. *Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador*. Report to Costal Studies Institute, Univ. of Rhode Island, Nrragansett. Center for Wetlands Univ. of Florida, Gainesville, 87pp.
- Odum, H.T. 1994. *Ecological and general systems*. The Univrsity Press of Colorado, 644pp.
- Odum, W.E., E.P. Odum and H.T. Odum. 1995. *Nature's Pulsing Paradigm*. *Estuaries*, 18, 547~555.
- Odum, H.T. and E.C. Odum. 2000. *Modeling for All Scales: An Introduction to Systems and Simulation*. Academic Press, 398pp.
- Park, Y.B. and Y.Y. Uh. 1993. *Analysis of the profitability and efficiency of the Bastard Hallibut aquaculture business with sea water tanks on the land*. Univ. of Pusan National Fisheries, 40 pp. (in Korean).
- 한국은행. 2002. 한국은행 국내경제지표. <http://www.bok.or.kr/>.

2002년 6월 21일 접수

2002년 11월 23일 수리