

어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제모델 활용에 관한 연구

2005. 12

류정곤 · 김대영 · 이정삼 · 김수진

□ 보고서 집필 내역

◆ 연구책임자

- 류 정 곤 : 제1장, 제2장, 제5장

◆ 연 구 진

- 김 대 영 : 제2장, 제7장
- 이 정 삼 : 제5장, 제6장
- 김 수 진 : 제2장, 제5장

◆ 외부집필진

- 김 도 훈(국립수산물과학원 연구원) :
제3장~제5장

□ 산 · 학 · 연 · 정 연구자문위원

◆ 강 준 석 (해양수산부 과장)

◆ 김 태 기 (해양수산부 사무관)

◆ 이 상 고 (부경대학교 교수)

◆ 최 종 두 (한국디지털대학교 교수)

머 리 말

어업자원은 생물학적 특성상 다른 천연자원과는 달리 자율적으로 갱신 가능하여 스스로 번식하고, 성장할 수 있기 때문에 적절히 관리한다면 영구적으로 이용할 수 있다. 하지만 관리적 측면에서 어업자원은 개인에 의해 사유화될 수 없는 공유재적 성격을 가지고 있기 때문에 소수 특정인 혹은 어업인 스스로가 어업자원을 보존 및 관리하는 것이 불가능하다. 또한 어업자원에 대한 소유권이 없기 때문에 어업자원의 선점을 위한 조업활동이 경쟁적으로 행해지게 된다. 그 결과 어획노력량의 과잉투입에 따른 어업자원의 남획현상이 발생하고, 어업자원이 지니는 지대(地代)는 완전히 소멸하게 된다. 이에 따라 어업자원의 남획을 방지하고, 어업자원 이용에 따른 사회경제적 편익을 극대화시키기 위해 정부가 개입하여 어업활동을 관리하고 통제하게 되는 것이다.

그러나 어업활동에 대한 완벽한 통제가 이루어지지 않을 경우 어업자원의 특성에 기인하여 어획노력량 수준이 높아지게 되고, 어업자원의 감소현상이 보다 심각해지게 된다. 지금까지 전 세계적으로 어업관리가 행해져 왔음에도 불구하고 대부분의 주요 어업자원은 남획상태에 있거나, 계속 남획이 진행 중인 것으로 나타나고 있다. 우리나라도 허가제를 비롯한 다양한 어업관리수단을 사용하여 어업관리를 행해왔지만, 최근의 자원량 조사·평가 결과 어업자원의 감소경향이 심각한 것으로 나타나고 있다.

이러한 전 세계적인 어업자원량 감소현상에 대해 최근에는 특히 남획되었거나, 지속적으로 자원량이 감소하고 있는 어업자원을 회복시키기 위한 정책적 움직임이 활발히 일어나고 있다. 소위 ‘수산자원회복계획’이라는 어업관리정책이 적극적으로 추진되고 있는데, 이는 자원량 평가 결과 남획상태에 있거나 남획이 진행 중인 어종에 대해서 자원회복기간과 목표 자원량을 설정하여 보다 체계적이고 실질적으로 어업자원을 회복시키고자 하는 것이다. 자원회복계획에 있어서는 특히 주어진 자원회복기간 동안 목표 자원량을 달성시킬 수 있도록 하는 어업관리수단의 선택과 운용이 가장 중요하다. 이를 위해 이미 수산

자원회복계획을 추진하고 있는 선진국들은 어업관리수단의 사전 및 사후분석을 통해 보다 효과적인 어업관리수단이 선택되도록 하고 있다.

내년부터 우리나라에서도 수산자원회복계획이 추진될 예정이다. 따라서 지금까지 사전 및 사후적인 효과분석 없이 막연하게 어업관리수단이 채택되어 어업관리의 실효성이 떨어졌던 것과는 달리 실질적인 수산자원회복을 이루기 위해서는 반드시 어업관리수단에 대한 사전적이고 사후적인 분석이 행해질 필요성이 있다. 이러한 효과분석 결과를 근거로 효과적인 어업관리수단을 선택하고, 효율적으로 운용해 간다면 기대하는 어업관리의 목표를 달성할 수 있을 것이다.

현재 우리나라에서는 어업관리수단의 효과분석을 위한 방법론과 활용에 대한 연구가 미진한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 어업관리수단의 효과분석을 위한 방법론과 그 활용방안에 대해 모색해 보고자 하였다. 특히 본 연구에서는 수산선진국을 중심으로 어업관리수단 효과분석시 널리 활용되고 있는 생물경제모델링(bioeconomic modeling) 방법론을 소개하고 그 활용방안에 대해 모색하고자 하였다. 최근 효율적인 어업관리정책을 위한 어업관리수단의 효과에 대한 검증이 시급한 가운데 본 연구는 향후 정책평가를 위한 방법론과 정책수단 선택의 지침을 제공하기 위해 지극히 필요한 연구라고 생각된다.

이 보고서는 한국해양수산개발원 수산어촌연구센터 류정곤 연구위원, 김대영 책임연구원, 이정삼 책임연구원, 김수진 연구원, 그리고 국립수산물과학원 김도훈 박사가 공동으로 집필하였다. 그리고 연구수행 과정에 부경대학교 이상고 교수, 해양수산부 강준석 과장, 한국디지털대학의 최종두 교수, 그리고 한국해양수산개발원 신영태 수산어촌연구센터장, 조정희 부연구위원께서 많은 조언을 해주셨다. 필자를 대신하여 이 지면을 통하여 깊은 감사를 드린다.

2005년 12월

韓國海洋水產開發院
院長 李 正 煥

목 차

ABSTRACT	i
----------	---

요 약	iii
-----	-----

제1장 서 론	1
---------	---

1. 연구의 목적 및 필요성	1
2. 연구 내용 및 방법	4

제2장 우리나라 어업관리수단과 문제점	6
----------------------	---

1. 어업관리수단의 종류	6
1) 기술적 관리수단 / 7	
2) 어획노력량 관리수단 / 7	
3) 어획량 관리수단 / 8	
2. 우리나라의 어업관리수단	9
1) 허가 및 기술적 통제수단 / 12	
2) 총허용어획량(TAC) 수단 / 13	
3) 어선감척사업 / 14	
3. 우리나라 어업관리수단 운용의 문제점	15

제3장 어업관리수단의 효과분석과 생물경제모델	17
--------------------------	----

1. 어업관리수단 효과분석의 필요성	17
---------------------	----

1) 어업관리수단 효과분석의 목적 / 17	
2) 어업관리수단 효과분석의 필요성 / 18	
3) 수산자원회복계획과 어업관리수단의 효과분석 / 20	
2. 생물경제모델 개념 및 모델구축을 위한 요인분석	22
1) 생물경제모델링 방법의 개념 / 22	
2) 생물경제모델의 구축 방법 / 26	
3) 생물학적 자원동태모델 / 30	

제4장 생물경제모델 활용의 외국사례 분석 ————— 39

1. 선행연구들	39
2. 생물경제모델의 활용사례 (1)	46
1) 어업배경 / 46	
2) 생물경제모델의 구축 / 48	
3) 모델 분석 결과 / 53	
4) 모델의 유용성 및 한계점 / 56	
3. 생물경제모델의 활용사례 (2)	58
1) 어업배경 / 58	
2) 생물경제모델의 구축 / 59	
3) 모델 분석 결과 / 63	
4) 모델의 유용성 및 한계점 / 66	

제5장 생물경제모델을 이용한 우리나라 어업관리수단의 실증분석 — 68

1. 고등어 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석	69
1) 고등어 어획동향 / 69	
2) 고등어 자원상태 / 69	

3) 생물경제모델의 구축 / 70	
4) 어업관리수단 / 73	
5) 분석 결과 / 74	
6) 정책제언 / 77	
2. 도루묵의 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석	78
1) 도루묵의 어획동향 / 78	
2) 도루묵의 자원상태 / 79	
3) 생물경제모델의 구축 / 80	
4) 어업관리수단 / 83	
5) 분석 결과 / 84	
6) 정책제언 / 87	
제6장 생물경제모델 활용방안 검토	88
1. 생물학적 자료	88
2. 경제학적 자료	92
3. 향후 개선방향	95
제7장 결론 및 정책건의	97
참고문헌	101
부록 I : 우리나라 연근해 어종별 생물학적 특성치	108
부록 II : 어종별 중장기 회복가능 추정량	111

표목차

〈표 2-1〉 어업관리수단의 기능별 종류	6
〈표 2-2〉 우리나라 어업관리수단의 종류 및 내용	10
〈표 2-3〉 우리나라 근해어업의 허가정수	12
〈표 2-4〉 우리나라 어선감척사업 추진 실적	14
〈표 3-1〉 어업관리수단 선택을 위한 10가지 가이드라인	21
〈표 3-2〉 생물경제모델 구축을 위해 필요한 자료	29
〈표 4-1〉 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 실증 분석한 선행연구	40
〈표 4-2〉 레드그루퍼 자원평가 결과	47
〈표 4-3〉 레드그루퍼 자원회복 어업관리수단	47
〈표 4-4〉 어업별 어선수, 출어횟수, 출어당 조업일수, 어업비용	52
〈표 4-5〉 레드그루퍼의 생물경제모델에 의한 시뮬레이션 분석 결과 ...	55
〈표 4-6〉 레드스넵퍼 어업관리수단의 종류 및 내용	58
〈표 4-7〉 GBFSM으로 분석할 수 있는 어업관리수단의 종류	60
〈표 4-8〉 GBFSM에 의한 어업관리수단 분석 결과	65
〈표 5-1〉 대형선망어업의 총어획노력량	71
〈표 5-2〉 고등어 자원의 어업관리수단	74
〈표 5-3〉 고등어 자원의 생물경제모델 분석결과	74
〈표 5-4〉 도루묵 자원에 대한 ASPIC 모델 분석 결과	79
〈표 5-5〉 도루묵 어업에 있어 표준화된 어선의 어획노력량	81
〈표 5-6〉 도루묵 자원의 어업관리수단	83
〈표 5-7〉 도루묵 자원의 생물경제모델 분석결과	84

〈표 6-1〉 자원동태모델별 필요한 생물학적 자료	89
〈표 6-2〉 이용가능 정보수준에 따른 5단계 모델 및 어종	90
〈표 6-3〉 자원평가모델별 추정 어업자원	91
〈표 6-4〉 생물경제모델 구축을 위해 필요한 경제학적 자료	92

그림목차

〈그림 1-1〉 연구체계도	5
〈그림 3-1〉 어업관리수단 효과분석의 필요성	19
〈그림 3-2〉 생물경제모델의 개념도	24
〈그림 3-3〉 시간의 흐름에 따른 자원량 변화	25
〈그림 3-4〉 생물경제모델의 구축 절차	26
〈그림 3-5〉 연령구조 모델 하에서 시간의 흐름에 따른 연령별 자원량 변화 ..	36
〈그림 4-1〉 LEM 생물경제모델의 흐름도	49
〈그림 4-2〉 GBFSM의 구조도	61
〈그림 4-3〉 평가된 어업관리수단 간의 효과 비교	65
〈그림 5-1〉 각 정책수단 하에서의 고등어 자원량 변화	75
〈그림 5-2〉 각 정책수단 하에서의 고등어 어획량 변화	76
〈그림 5-3〉 각 정책수단 하에서의 도루묵 자원량 변화	85
〈그림 5-4〉 각 정책수단 하에서의 도루묵 어획량 변화	85

ABSTRACT

In spite of various management measures to prevent the over-fishing and depletion of fish stocks, the fish stock biomass of the coastal and offshore fisheries have been decreasing over time. We can provide many reasons for fish stock reductions, it is primarily pointed out some reasons such as no clear target of fisheries management, no fishery policies based on stock biomass, and no perfect control in fishing activities.

However, one of major reasons may be that there is no clear target for the utilization of management measures. That is, the preliminary analysis on the effects of measures has not been accomplished and the evaluation of results for utilization of measures has not been done. As a result, implementation of various management measures has not successfully contributed to the recovery and conservation of fish stocks.

Even though choosing a method is of primary importance, efforts to date have been insufficient. Thus a management system based on a 'Fish Stock Rebuilding Plan' will be carried out in 2006. In order to achieve the target stock biomass during the rebuilding period, the most effective management measures should be selected. Therefore, a preliminary analysis on the effects of alternative management measures has been completed to choose the best method.

For this reason, the aim of this study is to investigate the utilization and methodologies for analysis of fisheries measures. This study will

especially focus on the Bioeconomic Modeling Method that has been widely used in advanced fishing countries including its concepts, sub-factors for constructing the bioeconomic model, and case studies. In addition, bioeconomic models for mackerel fishery and sandfish fishery were constructed and proposed management measures were also evaluated in this study.

To attain the expected biological and socio-economic objectives from utilization of fish stocks is an extremely urgent task. Assessing case studies will be a useful tool for evaluating a bioeconomic modeling method.

Results of mackerel and sandfish bioeconomic models provided many useful policy implications for their respective management. A mackerel bioeconomic model showed that the amount of current TAC quota should be reduced and fishing effort should be limited in order to increase stock biomass. A sandfish bioeconomic model that assumed a target stock biomass as X_{MSY} and a 10-year rebuilding period proposed that the fishing mortality should be limited between 0.21~0.26 to achieve the target biomass after a 10-year period. In addition, the model result indicated that if the annual catch quota is maintained at 2,500(ton) for three years, the stock biomass could be increased.

In order to construct and utilize the bioeconomic model more widely in Korean fisheries, necessary data for a sub-biological model and a sub-economic model should be collected. If continuing efforts to collect these necessary biological and economic data, and to improved model specifications are encouraged, the bioeconomic model will provide more realistic and significant policy implications, and play an important role in fisheries management.

제1장 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

- 전 세계적으로 어업자원이 급격히 감소하고 있음
 - 세계식량농업기구(FAO) 보고서에 따르면 세계 전체 어업자원 중 75% 이상이 과잉 개발상태 내지 남획상태에 있는 것으로 나타났음
 - 어업자원량 감소를 초래한 원인에 대해서는 과도한 어획이 주된 원인인 것으로 판단됨
 - 각국별로 남획된 어업자원을 회복시키기 위한 각종 어업관리정책이 수립되고 있는데, 특히 미국, 일본, EC 등 수산선진국들은 수산자원 회복계획을 수립하여 실질적인 자원회복을 위해 노력하고 있음
- 우리나라 어업자원 감소현상도 심각
 - 지금까지 다양한 수단으로 어업관리를 행해 왔음에도 불구하고 1980년대 150만 톤이던 연근해 어획량이 2003년 현재 110만 톤으로 급감하였고, 전체적인 어업자원량도 감소하였음
 - 다양한 관리수단의 사용에도 불구하고 어업자원이 감소한 원인에 대해서는 사전적인 효과분석없이 어업관리수단이 선택되었고, 어업관리수단 운용 또한 체계적으로 이루어지지 못했기 때문임
 - 따라서 향후 보다 실효성 있는 어업자원 관리 및 회복을 위해서는 지금까지 사용된 어업관리수단에 대한 효과분석이 이루어져야 하고, 향후 취해질 수단들에 대해서도 사전적인 효과분석을 통해 가장 효과적인 수단이 선택되고 운용되어야 함

- 어업관리수단에 대한 효과분석이 중요함에도 불구하고 효과분석을 위한 방법론과 활용에 대한 연구는 미진하였음
- 본 연구는 어업관리수단 효과분석을 위한 방법론 중 최근 수산선진국을 중심으로 널리 활용되고 있는 생물경제모델링 방법을 소개하고, 이의 활용을 위한 방안을 제시하고자 하였음
- 구체적으로 연구에 있어서는 생물경제모델의 개념과 모델 구축을 위한 요인들을 분석하고, 선행연구 검토와 우리나라 어업을 대상으로 한 실증분석을 통해 우리나라 어업관리수단 평가를 위한 활용방안과 제반사항들을 제시하였음

2. 연구 내용 및 방법

- 본 연구의 내용은 크게 현행 우리나라 어업관리수단 운용의 문제점을 분석, 생물경제모델의 개념 및 구축을 위한 요인분석, 선행 연구 및 적용사례 분석, 우리나라 어업관리수단의 실증적 효과분석, 그리고 생물경제모델 활용방안에 대한 분석으로 구성되어 있음
- 2장 : 우리나라 어업관리수단의 종류 및 어업관리수단 운용상의 문제점 분석
- 3장 : 어업관리수단 효과분석의 필요성 검토와 어업관리수단 효과분석을 위한 방법론으로서 생물경제모델의 개념 및 모델구축을 위한 기본이론 정립
- 4장 : 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 분석한 선행 사례연구 검토와 사례연구에서 사용된 생물경제모델의 유용성 및 장단점 평가
- 5장 : 고등어와 도루묵에 대한 생물경제모델을 구축하여 우리나라 어업관리수단의 효과를 실증적으로 분석하고, 이들 어종의 어업관리를 위한 정책적 시사점 제공
- 6장 : 향후 어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제모델 활용 방안 검토 및 개선방안 제시

제2장 우리나라 어업관리수단과 문제점

1. 어업관리수단의 종류

- 어업관리수단을 기능별로 분류하면 기술적 관리수단, 어획노력량 관리수단, 그리고 어획량 관리수단으로 나눌 수 있음
 - 기술적 관리수단의 목적은 어선이나 어구의 물리적 특성을 제한하거나 조업일수 및 장소 등을 제한하여 어획노력량 수준을 줄여 어업자원을 관리 및 보존하고자 하는 것임
 - 어획노력량 관리수단은 어획노력량(fishing effort)의 규제 및 통제라고 하는 어업대상 자원에 대한 투입량에 착안한 어업관리수단으로 면허제도와 허가제도가 대표적임
 - 어획량 관리수단은 전통적으로 미국을 비롯한 서구 국가들에서 주로 사용되어온 방식으로 단위 어종별로 어획할 수 있는 어획량을 정하여 통제하는 방식임

2. 우리나라의 어업관리수단

- 우리나라는 전통적으로 어선어업의 허가제를 근간으로 어구, 금어기, 망목규제와 같은 기술적 통제수단을 통해 어업자원을 관리해 왔음
 - 그리고 1994년부터는 어선감척사업, 1999년부터는 어획량 통제수단인 총허용어획량(TAC) 제도를 시행해 오고 있음

3. 우리나라 어업관리수단 운용의 문제점

- 지금까지 다양한 관리수단을 사용하여 어업관리를 행해 왔음에도 불구하고 1980년대 중반 150만 톤 수준이던 연근해어업 어획량이 이후 지속적으로 감소하여 2003년 현재 110만 톤 수준으로 감소했음
 - 또한 2000년대 들어 전체 어획물 중 성어비율이 20% 이하 수준으로 떨어져 어업자원의 자율갱신력이 크게 위협받고 있으며, 현 추세

지속될 경우 어업자원량은 현재 수준의 40% 정도로 감소할 것으로 예상됨

- 이와 같은 어업자원의 감소 원인에 대해서는 어업관리수단의 자원회복에 대한 목표가 불분명했던 점, 어업활동에 대한 철저한 통제 및 관리의 미비 등 다양하게 지적되고 있음
 - 하지만 가장 중요한 원인 중의 하나는 지금까지 다양하게 실시되었던 어업관리수단에 대한 관리기준이 모호했다는 것으로, 자원의 특성에 따라 관리목표가 설정되고 이를 달성하기 위한 관리수단의 설정이 미비했고,
 - 어업관리수단 선택 시 사전평가가 제대로 이루어지지 않아 어업관리수단 운용에 대한 실효성 여부가 파악되지 못했음
 - 그 결과 다양하게 운용되고 있는 어업관리수단들 간의 효과적인 병용 또한 제대로 이루어지지 못해 실질적인 자원회복에 그 효과가 미진했던 것으로 평가됨
- 따라서 향후 보다 실질적인 어업자원의 관리 및 회복을 도모하기 위해서는 현재 시행되고 있거나 앞으로 시행될 어업관리수단들에 대한 실증적인 효과분석이 반드시 이루어져야 할 것임
 - 이는 현재 취해지고 있는 어업관리수단의 경우 효과분석을 통해 향후 운용여부를 판단할 수 있으며, 보다 효과적인 수단운용을 파악할 수 있기 때문이고, 향후 시행될 수단의 경우도 사전적인 효과분석을 통해 도입 여부, 실효성 있는 운용방안 강구가 가능해질 수 있기 때문임
 - 그리고 효과분석을 통해 어업관리수단의 효율적인 운용이 가능해지기 때문에 운용상의 실효성 증대와 관리비용 절약 등 경제적인 효과를 거둘 수 있을 것임
 - 또한 내년부터 시행될 수산자원회복계획 하에서도 사전적인 효과분석을 통해 가장 합리적인 어업관리수단을 선택할 수 있고, 이를 통해 자원회복 목표를 보다 실질적으로 달성할 수 있을 것임

제3장 어업관리수단의 효과분석과 생물경제모델

1. 어업관리수단 효과분석의 필요성

- 어업관리수단의 효과분석은 어업관리 목표라 할 수 있는 사회적 안정성, 어업자원의 생물학적 지속성, 어업의 경제적 발전성, 그리고 어업관리의 행정 및 제도적 효율성을 달성하기 위해 관리수단을 개발하거나, 기존 관리수단을 검증하여 관리체계를 재정립하고, 관리정책 이론의 일반화를 위한 기초적이고 과학적인 연구를 위해 반드시 필요함
 - 즉, 사전적인 효과분석이 없는 어업관리수단의 선택은 어업관리정책 운영의 합리성을 기할 수 없게 하고, 기대 목표를 달성할 수 없게 함
 - 그리고 사후적인 평가가 없으면 정책목표 달성을 위한 정책운영의 집중도를 떨어뜨리고, 새로운 대안 창출에 대한 피드백으로서의 기능을 상실하게 되어 어업관리 발전, 나아가서는 수산업의 발전을 도모할 수 없게 됨
- 어업관리수단 효과분석의 구체적인 목적으로는 어업관리 목표의 달성도 측정과 어업관리수단 운용의 성공과 실패의 원인 규명, 어업관리의 성공적 수단이나 정책에 대한 원리나 원칙 발견, 어업관리수단의 효과성 증진을 위한 다양한 기법의 실험 및 개발, 어업관리수단 운용의 집중도와 효율성 증진, 그리고 관리비용의 최소화 등을 들 수 있음

2. 생물경제모델 개념 및 모델구축을 위한 요인분석

- 생물경제모델링(Bioeconomic modeling) 방법은 생물학적 자원평가모델과 어업인의 어업활동모델을 결합하여 동시에 분석하기 때문에 어업관리수단으로부터의 어획사망계수 수준 변화에 따른 자원량의 동태적 변화뿐만 아니라 어업인에 대한 경제적인 동태효과를 동시에 예측할 수 있음
 - 이에 따라 각 어업관리수단에 대한 분석을 행함으로써 정해진 기간

내의 목표 자원량 달성 여부, 어업인의 소득효과 등을 중심으로 가장 합리적인 수단을 선택할 수 있도록 함

- 생물경제모델에서는 생물학적 자원동태모델이 가장 중요한데, 이는 자원량 변화에 따라 어획량 수준이 달라지고, 그 결과 경제적인 어업이익의 변화도 결정되기 때문임
 - 따라서 자원동태모델을 어떻게 설정하고, 그리고 얼마나 자원동태모델을 적합하게 추정하는가가 생물경제모델 결과치(추정치) 신뢰성을 높이는데 아주 중요함
- 어업자원 동태모델을 세분하여 구분하면 아주 다양하지만, 일반적으로 생물경제모델에서 사용되는 것으로 잉여생산량 모델(surplus production model)과 연령구조 모델(age-structured model) 두 가지로 나눌 수 있음
 - 잉여생산량 모델은 어업자원량 평가 및 자원동태모형으로서 가장 간단한 분석적 방법으로 어업자원의 변동량을 나타내는 가입량, 성장량, 자연사망량이 하나의 단일함수 형태로 평가됨
 - 따라서 잉여생산량 모델은 자원군의 크기 변화만 다루게 되므로 그 자원군의 연령분포와 같은 세부적인 속성을 고려하지 않는 것이 특징이고, 자원량 평가지표(예를 들어, 단위어획노력당 어획량(CPUE))와 어획량 자료만 있으면 모델 추정이 가능하므로 적은 관련 생물학적 자료를 가지고 자원량 동태변화를 추정할 수 있는 장점이 있음
 - 연령구조 모델은 잉여생산량 모델과 달리 어업자원의 연령별로 자원량과 자원동태 변화를 평가하는 방법으로, 구체적으로 연령별 개체수의 가입과 성장, 그리고 자연사망 및 어획사망에 대한 관계를 분석하는 모델방법임
 - 따라서 가입이나 성장, 자연사망, 어획사망 등에 대한 정보와 어획개시연령, 가입연령, 최대연령 등을 알 수 있으며, 연령별로 분석이 가능해 어업자원의 어획대상 부분과 비어획 대상부분을 상세하게 나타낼 수 있고, 어업자원의 동태적인 변화를 포괄적으로 분석할 수 있는 장점이 있음

제4장 생물경제모델 활용의 외국사례 분석

1. 선행연구들

- 생물경제모델링 방법은 최근 국제적으로 어업관리수단 평가에서 널리 활용되고 있는데, 생물경제모델을 사용하여 어업관리수단의 효과를 분석한 선행연구들은 크게 이론적 연구와 실증적 연구로 구분할 수 있음
- Anderson(2000)은 자유어업(open access) 하에서의 TAC 수단과 출어당 어획량 통제수단(Trip Limit)과의 효과를 비교 분석했는데, TAC 수단 하에서보다 출어당 어획량 통제수단 하에서 조업일수가 보다 길어질 수 있어 어업인들이 보다 안정적으로 조업을 행할 수 있는 것으로 분석되었음
- 또한 Anderson(2000)은 잉여생산량 모델을 자원동태모델로 하여 ITQ 수단에 대한 효과 분석을 행했는데, 어업이익 측면, 시장수급 측면, 어업구조조정 측면에서 올림픽 방식의 TAC 수단과 ITQ 수단의 효과를 비교 및 평가하였음
 - 분석 결과 ITQ 수단 하에서 어선별 어업이익이 더 높게 나타났고, 시장공급측면에서도 연중 안정적인 공급이 가능한 것으로 나타났음
- Conrad(1999), Pezzy et al.(2000)은 잉여생산량 모델을 이용한 생물경제모델을 구축하여 MPA 효과를 추정했는데, 특히 Conrad의 연구에서는 TAC 수단과 MPA 수단의 병용효과를 함께 검토하였음
 - 분석 결과, MPA에 의한 자원량 및 어획량 증대효과는 MPA의 면적과 어종별 이동률에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났고, 특히 TAC 수단과 병용될 경우 자원량 증대효과는 더욱 크게 나타난 반면, 자원회복이 이루어지기까지의 어획량은 큰 폭으로 감소하는 것으로 평가되었음
- Ward(1994)는 잉여생산량 모델을 바탕으로 복수어업에 있어서의 혼획관계를 분석하고, 어업관리수단으로서의 '부수어획감소장치(BRD :

- Bycatch Reduction Device)'의 효과를 이론적으로 분석했음
- 분석 결과에 있어서는 혼획 관계에 있는 어종의 경우 개별어종별 관리보다는 복수어종별 관리가 반드시 필요한 것으로 나타났음
 - Chakravorty and Nemoto(2001)는 미국 하와이 연승어업에 있어서 수정된 잉여생산량 모델을 사용하여 금어구역 수단과 세금 수단의 효과를 비교·분석하였는데, 이들의 연구에 있어서는 복수어업 관계를 분석하여 바다거북 보호에 따른 황새치 자원량의 변화를 살펴보고, 각 관리수단에 따른 어업인의 소득변화가 평가되었음
 - 분석 결과, 금어구역이나 세금 수단에 의해 어업인들의 소득은 감소하는 것으로 나타난 반면 자원량 증대에는 큰 효과가 있는 것으로 나타났음
 - 특히 바다거북의 서식처를 금어구역으로 지정함으로써 바다거북의 감소를 막을 수 있는 동시에 황새치의 자원량도 증가시킬 수 있는 것으로 분석되었음
 - Sakuramoto et al.(2001)은 어획량 예측모델과 연령구조모델을 이용하여 일본 근해 도루묵 자원에 대한 MPA 제도의 효과를 분석하였음
 - 분석 결과, 3년간의 MPA 수단을 사용할 경우 도루묵 자원량이 크게 증가될 수 있는 것으로 나타났는데, MPA 지정 해역의 범위가 넓을수록 그 효과는 더욱 커지는 것으로 나타났음
 - 또한 어획노력량 수준이 현재수준보다 2/3 정도로 통제될 경우에도 자원량 증대효과를 기대할 수 있는 것으로 분석되었는데, MPA 효과와 병행된다면 자원량 증대효과를 보다 크게 나타낼 것으로 추정된 반면, 어업이익은 자원회복기간 동안 크게 감소하는 것으로 평가되었음
 - Lee, Larkin, and Adams(2000)는 미국 북대서양 황새치 자원에 대한 연령구조모델 결과를 바탕으로 TAC 수단, 어선감적사업에 대한 효과를 분석하였는데, 특히 분석에 있어서 아무런 규제수단이 없는 현 상태를 기준으로 해서 각 어업관리수단의 효과를 검토하였음

- 분석 결과, 현 어획량 수준보다 약 25% 정도 적은 수준에서 TAC를 설정하면 자원량은 증가추세로 돌아서는 반면 향후 5년간 어업이익은 무려 52%나 감소하는 것으로 나타났음
- 그리고 어선척수를 25% 감축한다면 황새치 자원량이 증가함과 동시에 어선척수 감소에 따라 잔존 어선별 향후 5년 동안 어업이익은 40% 정도 증가하는 것으로 분석되었음
- Thunberg, Helser, and Mayo(1998)는 미국 대서양 민대구 어종에 대한 연령구조모델 평가를 바탕으로 치어의 어획을 줄일 수 있는 기술적 규제수단(망목규제, 금어기, 금어구역 등)의 효과를 분석하였음
 - 분석 결과, 치어에 대한 어획압력을 증가시킬 경우 단기적인 어업이익은 증가하지만, 장기적으로는 치어 남획으로 인한 자원량 감소에 따라 어업이익이 감소하는 것으로 분석된 반면, 기술적 수단을 통해 치어의 어획량을 낮출 경우 자원량 증대 효과와 장기적인 어업이익 증대효과를 거둘 수 있는 것으로 평가되었음
- Danielsson et al.(1997)은 아이슬란드 수역 대구어업자원 관리를 위해 TAC 제도의 효과를 분석했는데, 대구자원의 동태변화는 연령구조모델에 의해 평가되었음
 - 특히 본 연구에서는 복수어종에 대한 관계를 TAC 효과분석에 포함시켜 대구, 빙어(capelin), 새우 어종 간의 자원량 변화를 동시에 분석했음
 - 모델분석 결과에서는 대구어업에 있어서 TAC 제도를 시행할 경우 대구자원은 증가할 것으로 추정된 반면 대구자원 증가에 의해 대구의 먹이가 되는 빙어와 새우의 자원량은 감소하는 것으로 분석되었음

제5장 생물경제모델을 이용한 우리나라 어업관리수단의 실증분석

- 실증적 분석에 있어서는 고등어와 도루묵을 분석 대상종으로 하였는데,

- 이는 고등어의 경우 우리나라 연근해에서 가장 어획량이 많은 대표적인 어종일 뿐만 아니라 단일어업에 의해 주로 어획되고 있으므로 어업관리 수단의 효과분석을 위해 가장 적합한 어종으로 판단되었기 때문이다
- 뿐만 아니라 활용 가능한 자료가 구비되어 있어 생물경제모델의 구축이 용이하였고, TAC 제도의 효과를 분석할 수 있는 장점이 있기 때문이었음
 - 도루묵의 경우는 내년부터 시행될 예정인 우리나라 수산자원회복계획의 시범어종이므로, 이 어종을 대상으로 생물경제모델을 활용한 어업관리수단의 효과분석 결과는 향후 시범사업에 있어 많은 시사점을 제공해 줄 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다
 - 따라서 도루묵 생물경제모델 하에서는 제안된 자원회복 조치수단의 효과를 분석하여 자원회복기간 동안의 목표 자원량 수준 달성 여부를 중점적으로 평가해 보았음

1. 고등어의 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석

- 고등어 어업의 생물경제모델에서는 어획량 통제수단인 TAC제도의 효과를 분석해 보고자 했음
 - 이에 따라 분석대상 <정책수단 1>은 2004년 고등어 TAC 물량 155,000톤으로 설정하여 향후 25년간의 자원량 변화와 어업소득 변화 등을 분석하였음
 - <정책수단 2>에서는 최영민 외 (2004)에서 권고한 환경적 요인을 포함하여 총허용어획량 산정을 위한 정보수준 2단계를 적용했을 경우의 생물학적 허용어획량 수준인 82,687톤을 2004년도 TAC 물량으로 설정한 시나리오의 효과를 분석하였음
 - <정책수단 3>으로는 최근 대형선망어업에서 자율적으로 실시하고 있는 3개월간 휴어제에 대한 효과를 추가적으로 분석하였음
- 고등어 생물경제모델 분석 결과, TAC 물량 155,000톤이 설정될 경우 현재 XMSY 수준보다 낮은 것으로 추정된 고등어 자원량의 증가를 기

대하는 것이 어려운 것으로 분석되었음

- 이에 반해 정책수단 2와 3에서는 TAC 물량이 현재수준보다 더욱 제한되거나 혹은 휴어제 등에 따라 조업일수가 감소함에 따라 어획사망계수 수준이 낮아져 자원량이 점차 증가하고, 이에 따라 어획량 수준도 꾸준히 높아질 수 있는 것으로 분석되었음

2. 도루묵의 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석

- 도루묵 생물경제모델에서는 자원회복기간 동안 목표 자원량을 달성하기 위한 도루묵 자원회복계획 하의 어업관리수단들을 평가하고자 하였음
 - 우선 목표 자원량 수준은 일반적으로 자원회복계획 하에서 설정되는 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준(XMSY)으로, 그리고 자원회복기간은 10년으로 가정하였음
 - <정책수단 1>에서는 2002년도 어획사망계수 수준을 유지할 경우의 어획노력량 수준(=조업일수)을 계산하고 이에 따른 도루묵의 자원량과 어획량 수준 변화를 분석하였음
 - <정책수단 2>에서는 현재의 어획사망계수 수준이 유지될 경우의 어획노력량 수준을 살펴보고 이에 따른 효과를 평가하였음
 - <정책수단 3>에서는 ASPIC 모델 결과로부터 도출된 최대 지속적 생산가능한 어획사망계수(FMSY) 수준을 유지할 경우의 어획노력량 수준과 그 효과를 추정하고, 다른 정책수단들의 결과와 비교해 보았음
 - <정책수단 4>에서는 국립수산물과학원의 제안에 따라 3개월간 도루묵 어획량을 2,500톤으로 유지할 경우의 효과를 분석해 보았음
- 분석 결과, 10년간의 자원회복기간 동안 목표 자원량(XMSY)을 달성시키기 위해서는 어획사망계수의 수준이 0.21~0.26 사이로 통제되어야 하는 것으로 나타났고, 또한 특정 수준의 어획량을 일정기간 동안 통제함으로써도 목표 자원량을 달성시킬 수 있는 것으로 평가되었음
 - <정책수단 3>에서는 경제적 효과를 크게 발생시킬 수 있는 반면, 생물학적인 자원량 증대효과는 다소 감소되는 것으로 나타났음

- <정책수단 4>의 경우와 같이 고정 TAC 물량 설정방법 하에서는 자원량 증대효과가 큰 것으로 나타난 반면 일정기간 동안 어획량 수준이 고정되어 있기 때문에 어획량 고정기간 동안 어업이익이 다른 수단 하에서보다 감소되는 단점이 있을 수 있는 것으로 평가되었음

제6장 생물경제모델 활용방안 검토

1. 생물학적 자료

- 우리나라는 어업자원량 조사 및 평가(생물학적 허용어획량(ABC))를 위해 이용 가능한 생물학적 정보의 수준에 따라 자원량을 5단계로 나누어 추정하는 모델을 개발해 놓고 있음
 - 특히 TAC 제도 시행에 따라 연간 TAC 물량을 설정하기 위한 생물학적 허용어획량(Biological Acceptable Catch)을 추정하기 위해 자원량 평가는 더욱 중요하게 되었음
 - 주요 어업자원 중에서 이용가능한 정보수준이 최고위 단계인 1단계에 이른 어종은 아직 없는 상태이고, 고등어, 전갱이, 개조개, 키조개가 2단계 모델에서 추정되고 있음
 - 3단계 모델에서는 꽃게, 소라의 ABC 자원량이 추정되고 있고, 갈치, 갯장어, 대구, 가오리, 가자미 등 대부분의 어종은 연도별 자료나 CPUE 자료만 활용하는 4단계 및 5단계 수준에 머물러 있음
- 이러한 어업자원의 ABC 추정 외에 생물경제모델을 구축하기 위한 자원평가모델 및 자원동태모델을 살펴보면, 연령구조모델에 의해 평가될 수 있는 어종은 고등어, 전갱이, 키조개, 개조개, 소라, 꽃게 정도이고, 나머지 어업자원은 대부분 잉어생산량모델에 의해서 자원량과 자원동태 분석의 평가가 가능한 정도임
 - 따라서 보다 효과적으로 우리나라 연근해 어업자원을 회복하고 관리

해 나가기 위해서는 표본조사 확대 등을 통한 생물학적 자료를 체계적으로 수집하여 고차원적인 자원평가모델을 이용함으로써 자원량과 자원동태변화를 보다 정확하게 파악해 가야 할 것임

- 또한 필요한 자료가 수집되고 생물경제모델을 구축하여 어업관리수단을 평가할 수 있도록 현행 생물학적 자료수집의 내용과 범위를 확대해 가야 할 것임

2. 경제학적 자료

- 생물경제모델 하에서는 어업관리수단의 사용에 따른 어업활동의 변화와 경제적인 효과를 분석하기 위해서 하부모델로서 생물학적 자원동태 모델 외에 어업경제모델이 구축되어야 함
 - 어업경제모델을 구축하기 위해서는 크게 어획량 자료, 어업활동(어획 노력량), 어업경제에 관련된 자료가 필요함
 - 어획량 자료부분에 있어서는 어획량 자료가 가장 중요한 자료인데, 한 어종을 여러 어업이 어획할 경우에는 어업별 어획량 자료와 혼획률 자료가 필요하고, MPA 등의 어업관리수단을 평가하기 위해서는 조업 해역별 어획량 자료도 필요하게 됨
 - 어업활동 자료부분에 있어서는 어획노력량과 관련된 자료가 필요한데, 어획노력량의 지표로서 사용할 수 있는 어선척수, 어업별 출어횟수, 출어당 조업일수, 어업별 어선별 톤수 및 마력수 자료 등이 구비되어야 함
- 어업경제 자료들은 대부분이 어업관리수단의 적용에 따른 어업이익 등 경제적인 효과를 분석하기 위해 필요한 자료들로서 시장가격, 어업비용(어업별 어선별 출어비용, 고정비용) 등의 자료도 필요함
 - 이 외에도 경제적 효과로서 소비자 잉여 등을 추정하기 위해서는 어종별 가격함수가 설정되어 생물경제모델에 포함되어 분석되어야 하는데, 가격함수 추정을 위해서는 당해어종의 시장가격, 대체어종의 시장가격, 소득 등의 자료가 수집되어야 함

- 또한 상업적 어업의 경제적 가치 추정만이 아니라 유어부문에 대한 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 유어활동에 대한 수요함수가 추정되어야 하는데, 이를 위해서는 유어인구, 당해어종의 어획을 위한 출조횟수, 출조비용, 어획률, 소득 등과 같은 자료들이 필요하게 됨

3. 향후 개선방향

- 향후에는 표본조사 등 자원조사의 내용과 범위가 보다 확대되어 자원량 평가를 위한 많은 생물학적인 자료가 조사되고 수집되어야 함
 - 특히 어획량 통제수단의 사용과 자원회복계획 하에서는 이러한 자원량 조사 및 평가는 다른 어떤 어업정책보다 중요한 사항이므로 자료 수집 내용에 있어서는 생물경제모델 구축을 위한 자료들이 체계적으로 수집되어야 할 것임
- 이 외에도 자원동태모델이 가진 불확실성을 생물경제모델 분석에서 고려해 줄 필요성이 있는데, 이는 자원량 추정 자체가 불확실성을 많이 내포하고 있고, 더욱이 추정된 자원동태모델의 계수값도 실제 자원량 및 어획량 변화를 추정함에 있어 많은 불확실성을 내포하고 있기 때문임
 - 최근에는 이런 자원동태변화 및 자원평가모델의 추정계수에 대한 불확실성을 고려하는 방법들이 많이 개발되고 있는데, 그 중의 한 방법은 부스트래핑(bootstrapping)기법을 이용하여 추정된 자원평가모델의 추정계수의 신뢰도를 구해 추정된 계수가 타당한가를 검토하는 것임
 - 다른 방법으로는 자원평가모델에서 추정된 계수에 대해 몬테카를로(Monte Carlo) 분석을 이용하여 생물경제모델 예측치의 확률분포를 구하고 추정편차에 따른 오차범위를 함께 분석함으로써 모델 예측치에 대한 불확실성을 줄일 수 있음
 - 이러한 불확실성을 고려한 방안들을 함께 병용함으로써 모델 결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 자료부족으로 인한 하부 사용모델들의 단점을 보완할 수 있을 것임

- 사회경제적인 자료 수집에 있어서는 생물경제모델에서 활용할 수 있는 자료의 종류와 내용을 명확히 파악할 필요가 있는데, 이는 필요한 자료의 내용과 종류를 모를 경우 사용목적에 부합되지 않는 자료들을 많은 시간과 비용을 들여 수집하는 결과를 낼 수 있기 때문임
- 사회경제적인 자료를 용이하게 수집하기 위해서는 어선감시시스템(Vessel Monitoring System)을 확대 시행하여 이로부터 해역별 조업 행동에 대한 관련자료를 용이하게 수집할 수 있고,
- 또한 어선별 조업일지(logbook) 작성 및 제출을 의무화하여 어업활동에 관련된 자료를 체계적으로 수집·정비해 갈 필요성이 있음
- 뿐만 아니라 어종에 대한 수요함수 추정, 유어활동에 대한 수요함수 추정 등은 지속적으로 연구 분석되어 생물경제모델에 포함시켜 분석한다면 어업관리수단의 더 많은 효과들을 평가할 수 있을 것임

제7장 결론 및 정책건의

- 우리나라 어업관리수단과 운용의 문제점 분석 결과, 향후 우리나라 어업관리수단 운용의 실효성을 높이기 위해서는 어업관리수단의 체계적이고 과학적인 평가가 가장 우선적인 것으로 나타났음
- 외국사례 분석 결과, 생물경제모델을 활용한 어업관리수단의 효과분석이 널리 행해지고 있으며, 어업관리에 있어 중요한 정책적 근거자료를 제공하는 것으로 나타났음
- 우리나라 고등어와 도루묵에 대한 생물경제모델을 구축하고, 어업관리수단의 효과를 분석한 결과, 고등어의 경우 현재 TAC 물량 설정이 고등어 자원량 회복에 별 영향이 없는 것으로 나타나 TAC 물량 감축과 고등어 어업활동에 있어 어획노력량 제한 등이 필요한 것으로 분석되었음
- 또한 우리나라 수산자원회복계획 시범어종인 도루묵의 경우 10년간의 자원회복기간 동안 목표 자원량을 달성시키기 위해서는 어획사망계수

의 수준이 0.21~0.26 수준으로 제한되거나 혹은 특정 TAC 물량을 일정기간 설정해야 하는 것으로 평가되었음

- 생물경제모델 구축을 통해 보다 널리 어업관리수단의 효과분석을 행하기 위해서는 모델구축에 필요한 생물학적 자료와 경제적인 자료수집이 보다 확대되어야 함
 - 필요한 생물학적, 그리고 사회경제적인 자료들을 체계적으로 수집하고, 관계함수 결합을 통한 생물경제모델의 적합성(정밀성) 향상을 위한 노력이 꾸준히 이루어진다면 생물경제모델은 향후 어업관리수단 평가를 위한 유용한 정책분석 도구가 되어 많은 정책적 시사점을 제공해 줄 수 있을 것임
- 정책적 건의사항으로는 첫째, 어업관리수단에 대한 사전분석 과정은 자원회복계획수립 과정에 반드시 하나의 절차로서 시행되어야 하고, 본 연구에서 시행한 도루묵의 생물경제모델 분석과 같이 시범어종에 대해 사전적인 어업관리수단의 효과를 분석하고, 이를 바탕으로 효과적인 어업관리수단의 선택과 운용에 활용해야 할 것임
 - 나아가서는 도출된 생물경제모델에 의한 경제적 효과분석 결과는 자원회복계획 하의 어업인 지원책 강구를 위한 정책적 시사점을 제공해 줄 것임
- 둘째, 어종별 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 어종별 생물학적인 자료가 반드시 필요한데, 이를 위해서는 수산자원 조사 및 평가를 담당하고 있는 국립수산물과학원이 중심이 되어 지역 연구소별로 지역별 해당어종에 대한 자원량 조사평가시스템을 구축하여 지속적으로 연구해 가야 할 것임
 - 물론 이 때에는 본 연구 제6장에서 제안한 바와 같이, 생물경제모델 활용을 위해 필요한 자료들의 수집이 행해져야 함
 - 어업활동과 관련된 사회경제적인 자료 수집을 위해서는 근해어업뿐만 아니라 연안어업에 있어서 조업활동과 관련된 조업일지 등을 작성하여 제출할 것을 의무화하는 방안이 강구될 필요가 있음

제1장

서론

1. 연구의 목적 및 필요성

최근 세계식량농업기구(FAO)의 어업자원조사 결과에 따르면, 전 세계의 어업자원 감소가 갈수록 심각해져 지속 가능한 어업이 중대한 도전에 직면하고 있다고 한다. 즉, 세계 전체 어업자원 중 25%만 저개발 상태에 있는 반면, 47%는 지속 가능한 최대한도에 근접한 완전 개발상태에 있으며, 18%는 과잉 개발상태에 있어 어획량이 줄어들고 있을 뿐만 아니라, 나머지 10%는 사실상 고갈상태에 있는 것으로 나타났다(FAO, 2003).¹⁾ 이러한 악화일로의 어업자원량 감소를 초래한 원인에 대해서는 해양오염, 해양환경 변화 등 여러 가지가 있겠지만, 과도한 어획이 주된 원인인 것으로 판단되고 있다(EU, 2003; ICES, 2003; FAO, 2002; WWF, 2002; NOAA, 1999).

이에 따라 세계 각국에서는 남획된 상태에 있거나, 계속 남획이 진행 중인 어업자원을 회복시키기 위한 각종 어업관리정책을 수립하고 있다. 특히, 미국, 일본, EU 등 수산선진국들은 보다 실질적인 자원관리 목표를 달성하기 위해서 자원회복계획(rebuilding plan)²⁾을 바탕으로 한 어업관리정책을 추진하는 등

1) FAO, State of World Fisheries and Aquaculture, Rome, 2003.

2) 자원회복계획은 현재 남획된 상태에 있는 어종의 자원량을 일정한 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준으로 회복시키기 위한 종합적인 계획을 말한다. 미국은 1996년 어업법(Sustainable Fisheries Act)을 개정하여 이러한 자원회복계획의 수립과 시행을 법제화하였고, 일본도 2001년 6월 수산기본법을 새로이 제정하여 자원회복계획을 통한 어업관리방안을 수립하였다. 또한 EU도 2003년 1

어업자원을 회복시키기 위한 다양한 방안을 강구하고 있다.

우리나라의 경우도 1980년대 중반 150만 톤이던 연근해어업 어획량이 이후 지속적으로 감소하여 2003년 현재 110만 톤으로 감소하는 등 어업자원량 감소 현상이 심각해지고 있다. 특히 2000년대 들어 전체 어획물 중 성어비율이 20% 이하 수준으로 떨어져 어업자원의 자율갱신력이 크게 위협받고 있으며, 현 추세가 지속될 경우 향후 10년 후 어업자원량은 현재 수준의 40%로 감소하고, 어획량은 66만 톤 수준으로 급감할 것으로 예상되고 있다(국립수산물과학원, 2004).³⁾

과잉어획으로 인한 어업자원량 감소를 막기 위해 지금까지 다양한 수단으로 어업관리를 행해 왔음에도 불구하고⁴⁾ 이처럼 어업자원이 감소하고 있는 원인에 대해서는 자원회복에 대한 분명한 목표가 없었던 점, 자원량에 기초한 관리정책이 미비했던 점, 어업활동에 대한 철저한 관리 및 통제의 미비 등 다양하게 지적되고 있다(류정곤, 2004; 이상고, 2004; 신영태, 2002).

그리고 이 외에 빼놓을 수 없는 원인 중의 하나는 지금까지 다양하게 실시되었던 어업관리수단들에 대한 관리기준이 모호했다는 점이다. 즉, 자원의 특성에 따라 관리목표가 설정되고 이를 달성하기 위한 정책수단의 설정이 미비했고, 정책수단 선택 시 사전 및 사후평가가 제대로 이루어지지 않아 어업관리수단의 운용에 대한 실효성 여부가 제대로 파악되지 못했다. 그 결과 다양하게 운용되고 있는 어업관리수단들 간의 효과적인 병용 또한 제대로 이루어지지 못해 실질적인 자원회복에는 그 효과가 미진했던 것으로 평가되고 있다(류정곤, 2004; 조정희, 2003).

월 공동수산정책(Common Fisheries Policy)을 개정하여 자원회복계획 수립을 제도화했다(김도훈, 2004; 日本水産廳, 2002; European Commission, 2003).

3) 국립수산물과학원, 「수산자원회복계획 심포지엄」, 해양수산부, 2004.

4) 우리나라는 전통적으로 어선어업의 허가제를 근간으로 한 진입규제와 어구, 금어기, 망목규제와 같은 기술적 통제수단을 통해 어업을 관리해 오고 있다. 여기에 더해 1994년부터는 어선감척사업을, 1999년 이후에는 총허용어획량(Total Allowable Catch) 제도를 도입하는 동시에 어장정화사업, 치어방류사업, 인공어초 및 바다목장화사업 등을 통한 자원관리정책들이 꾸준히 추진되어 오고 있다.

이에 따라 향후 보다 실효성 있는 어업자원 회복을 도모하기 위해서는 현재 취해지고 있는 어업관리수단들에 대한 실증적인 효과분석이 시급히 이루어져야 한다. 이는 효과분석을 통해 현재 운용되고 있는 어업관리수단의 지속 여부와 어업자원 회복을 위한 실효성 있는 운용방식을 꾀할 수 있기 때문이다. 그리고 향후 취해질 수단들에 대해서도 사전분석을 통한 어업관리수단 운용의 실효성 향상이 반드시 필요하다. 특히, 향후 우리나라에서도 추진될 자원회복계획을 통한 어업관리방식에 있어서 정해진 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성하기 위해서 어업관리수단을 선택할 때 자원회복의 실효성 향상을 위해 어업관리수단에 대한 효과분석은 반드시 선행되어야 한다.⁵⁾

이러한 어업관리수단의 효과분석을 위해서는 분석방법론에 대한 모색이 필요하다. 하지만 이러한 어업관리수단 효과분석 방법론 강구가 시급함에도 불구하고 우리나라에서는 어업관리수단 효과분석을 위한 방법론과 활용에 대한 연구가 미진한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 어업관리수단의 효과분석을 위한 방법론과 그 활용방안에 대해 모색해 보고자 하였다.

특히, 본 연구에서는 다양한 어업관리수단 효과분석 방법론 중 하나인 생물경제모델링(Bioeconomic Modeling) 방법을 소개하고자 하였다. 이는 생물경제모델링 방법으로 어업관리수단 효과분석 대상의 핵심이 되는 어업관리수단의 생물학적 그리고 경제적 효과를 동시에 고려할 수 있기 때문이다. 즉, 생물경제모델은 하부모델로서 생물학적인 자원동태모델과 어업경제모델을 결합하여 구축되기 때문에 어업관리수단 활용으로 인한 자원량 변화, 어획량 변화, 그리고 어업이익 변화 등을 분석할 수 있어 어업관리에 필요한 가장 유용한

5) 미국의 경우 자원회복계획 하에서 어업관리수단을 선택할 때는 미국의 연방예산법(Federal Mandate Reduction, Reform, and Budget Act)에 따라 어업관리수단에 대한 사전분석을 통해 가장 효과적인 어업관리수단이 선택되도록 법제화하고 있다. 더욱이 사전분석에 있어서는 단순히 해당어종의 자원회복 정도만이 고려되는 것이 아니라 다른 어종에 대한 영향, 어업인의 소득 변화, 관리비용, 해양환경에 대한 영향 등에 대한 분석도 의무화되어 있다. 그리고 일본의 어종별 자원회복계획을 상세히 분석해 보면 어업관리수단 선택 시 생물경제모델의 시뮬레이션을 통한 사전분석을 강화하고 있을 뿐만 아니라 이를 통해 자원회복의 실효성 향상을 도모하고 있다(日本水産廳, 2002).

의사결정 자료를 제공할 수 있다.⁶⁾ 이러한 유용성으로 인해 생물경제모델링 방법은 최근 수산선진국을 중심으로 어업관리수단 효과분석에 널리 활용되고 있다. 보다 구체적으로 연구에 있어서는 생물경제모델의 개념과 모델 구축을 위한 하부요인들을 분석한 후, 생물경제모델에 관한 선행연구와 적용사례 분석을 통해 우리나라 어업관리수단 평가를 위한 활용방안과 제반사항들을 제시하고자 한다.

2. 연구 내용 및 방법

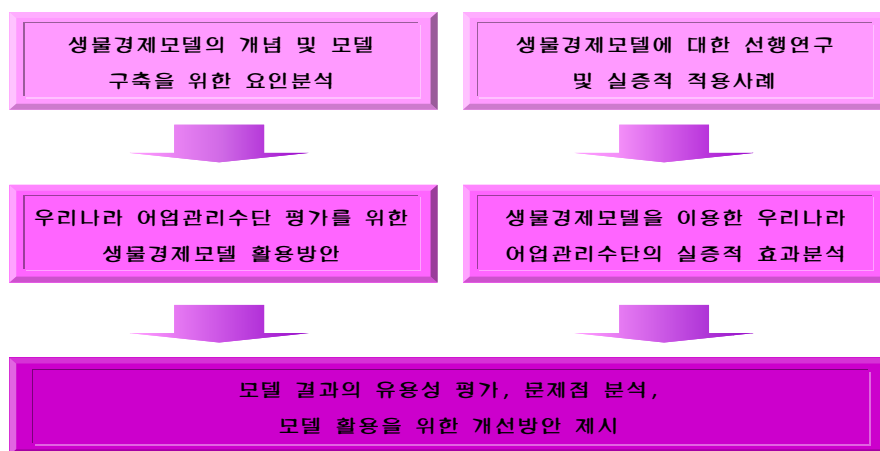
본 연구의 내용은 크게 현행 우리나라 어업관리수단 운용의 문제점 분석, 생물경제모델의 개념 및 구축을 위한 요인 분석, 선행연구 및 적용사례 분석, 우리나라 어업관리수단의 실증적 효과분석, 그리고 생물경제모델 활용방안에 관한 분석으로 구성되어 있다. 즉, 제2장에서는 자원관리를 위해 사용되고 있는 현행 우리나라 어업관리수단의 종류에 대해 살펴보고, 어업관리수단 운용상의 문제점을 분석해 보았다. 제3장에서는 우선 어업관리수단 효과분석의 필요성과 어업관리수단 효과분석을 위한 방법론으로서 생물경제모델의 개념을 살펴 보았다. 그리고 생물경제모델의 구성요소로서 수산생물학적 자원동태모델과 어업경제모델 등을 살펴봄으로써 생물경제모델 구축에 대한 기본적인 이론을 정립하였다.

제4장에서는 생물경제모델링 방법론의 실증적 활용을 살펴보기 위해 선행연구와 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 실증적으로 분석한 외국의 사례를 분석하였다. 그리고 사례분석을 바탕으로 하여 생물경제모델의 유용성과 장단점을 평가하였다. 제5장에서는 고등어와 도루묵에 대한 생물경

6) 효과적인 어업관리수단을 평가하는 기준은 보통 관리목표를 명확히 하여 이에 적합한 수단인가 여부와 관리수단 적용으로 인한 경제적 효과 등인데, 생물경제모델링 방법을 통하여 이를 동시에 평가할 수 있다.

제모델을 구축하여 각 어업관리수단의 효과를 실증적으로 분석하고자 하였다. 이를 통해 현재 취해지고 있는 어업관리수단의 효과를 평가하고, 향후 어업관리를 위한 정책적 시사점을 제안하였다.

제6장에서는 향후 보다 적극적인 생물경제모델 활용을 위한 방안을 검토하였다. 활용 가능성 검토에 있어서는 생물경제모델 구축을 위해 필요한 생물학적 그리고 사회경제적인 관련 자료를 비교 조사하고, 모델 활용을 위한 향후 개선점에 대해서 분석하였다. 나아가서 분석 결과의 유용성을 평가하고, 모델 활용 시 발생할 수 있는 문제점과 이를 개선할 수 있는 보완방안을 제시하였다. 이상의 본 연구의 내용 및 수행방법을 체계화하면 <그림 1-1>과 같다.



〈그림 1-1〉 연구체계도

제2장

우리나라 어업관리수단과 문제점

1. 어업관리수단의 종류

어업관리의 목적을 달성하고, 어업자원을 회복시키고 관리하기 위해서는 어획노력량을 통제하거나 어획량 자체를 제한하는 등 어업관리수단이 필요하다. 생물학적 그리고 사회경제적인 모든 조건을 만족시키는 소위 '만병통치약' 과 같은 하나의 어업관리수단은 존재하지 않기 때문에 어업의 상황에 따라 다양한 형태의 어업관리수단이 국제적으로 사용되고 있다. 하지만 어업관리수단을 기능별로 크게 분류하면 다음의 <표 2-1>과 같이 기술적 관리수단(technical measures), 어획노력량 관리수단(input control), 그리고 어획량 관리수단(output control)으로 나눌 수 있다(FAO, 2002).⁷⁾

<표 2-1> 어업관리수단의 기능별 종류

구분	양적 규제	질적 규제	
	어획량 관리수단	어획노력량 관리수단	기술적 관리수단
관리수단	- 총허용어획량(TAC) - 개별어획할당량(IQ) - 양도성개별어획할당량(ITQ) - 기타	- 허가 및 면허 - 개별어획노력할당 - 어구 및 어선의 제한 - 총허용어획노력량(TAE) - 기타	- 체장 및 성별 제한 - 어기제한(금어기) - 어장제한(금어구) - 기타

7) FAO, A fishery manager's guidebook - Management measures and their application, Rome, 2002.

1) 기술적 관리수단

기술적 관리수단의 목적은 어선이나 어구의 물리적 특성을 제한하거나 조업 일수 및 장소 등을 제한하여 어획노력량 수준을 줄이고자 하는 것이다. 특히 어업자원의 상태가 남획 이전 단계에서 가장 경제적으로 실시될 수 있어 현재 대부분의 수산 국가들에서 사용되고 있다.

기술적 관리수단을 종류별로 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 어구 규제는 엔진의 크기나 어선 길이, 어망 크기 등을 제한하는 것으로 어획능률을 감소시켜 전체적인 어획강도를 줄이고자 하는 것이다. 둘째, 망목규제는 망목의 크기를 조정하여 어업자원의 연령별 어획능률을 줄임으로써 전체적인 어획 사망계수 수준을 낮추고자 하는 것으로, 주로 치어의 어획을 방지하여 향후 자원량 증대를 도모하는 것을 목적으로 하고 있다. 셋째, 금어기는 일정기간 동안 조업을 금지시킴으로써 자원량 증대를 도모하고자 하는 것이고, 금어구는 산란장이나 생육장 등 일정 수역을 조업금지 수역으로 설정하여 치어와 산란어를 보호함으로써 전체적인 자원량 증대를 도모하고자 하는 수단이다. 넷째, 체장 및 성별 어획 제한은 특정 어종의 체장 이하 크기나 특정 성별의 어획을 금지시키는 것으로, 특히 산란가능 어미 자원의 보호를 통해 어획대상 자원의 가입량을 증대시키고자 하는 수단이다.

2) 어획노력량 관리수단

어획노력량(fishing efforts) 관리수단은 어획노력량의 규제 및 통제라고 하는 어업대상자원에 대한 투입량에 착안한 어업관리수단으로 자유로운 어업참여를 제한하는 수단을 말하는데, 여기에는 면허제도와 허가제도가 대표적이다.

우선, 면허제도는 일정수역에 대해 시설물을 설치하여 양식 또는 어업을 하는 경우에 배타적인 독점권을 부여하는 것으로써, 흔히 우리나라의 양식 어업과 정치망 어업, 마을 어업 등이 여기에 해당한다. 법적 성격상 어업면허는 물권으로 재산권을 가지게 된다. 통상 해당 수역의 해양환경 상태를 감안하여 다

른 어업에 지장을 초래하지 않는 범위 내에서 특정 어업에 대한 면허가 이루어진다. 그리고 법적으로 시설방법이나 시설규모 등을 설정하는 것이 통례이다. 이에 반해, 허가제도는 공유재인 어업자원의 무분별한 이용을 원칙적으로 배제한 상태에서 특별한 경우에 어업자원의 이용을 허용하는 제도이다. 허가 기준은 원칙적으로 자원상태, 어업의 경영상태 등을 중심으로 하는데, 이 외에도 국민소득 기여도, 고용효과 등의 사회경제적 여건 등이 반영된다. 물론 허가처분 시에는 가장 우선적으로 자원의 과학적 조사와 허가대상 어업의 어획강도를 정해 허가건수를 정하게 된다. 현재 우리나라를 비롯하여 허가제도를 도입하고 있는 국가들은 어업허가 대상인 어선 및 어구의 정한수를 정한다던가 혹은 어선의 길이, 톤수를 제한하는 방법을 활용하고 있다.

이 외에도 총허용어획노력량(TAE : Total Allowable Effort) 관리수단은 어업자원에 투입되는 어획노력량의 상한을 설정하여 이를 초과하지 않도록 관리함으로써 어업자원량 증대를 도모하는 것이다. 특히, TAE제도는 최근 들어 일본의 수산자원회복계획 하에서 널리 활용되고 있는데, TAE는 TAC와 마찬가지로 MSY(최대지속적어획량)를 실현할 수 있는 수준으로 어업자원을 회복 및 유지시키는 것으로 설정되고 있다. 보다 구체적으로는 자원회복 대상어종별로 어업종류를 정하고, 어업별로 해역 및 기간을 정해 TAE가 설정되고 있다(全國漁業協同組合聯合會, 2002).⁸⁾

3) 어획량 관리수단

어획량 관리수단은 전통적으로 미국을 비롯한 서구 국가들에서 주로 사용되어온 방식으로 가장 기본적인 방법이 단위 어종별로 어획할 수 있는 어획량을 정해 놓고 어업자들로 하여금 할당된 양 이내에서 어획하도록 통제하는 총허용어획량(TAC : Total Allowable Catch) 제도이다. 하지만 TAC제도 하에서는 생물학적 자원량 증대 효과는 크게 나타날 수 있는 반면, 소위 ‘올림픽 방

8) 全國漁業協同組合聯合會, 「資源回復制度普及全國會議資料」, 日本 水産省, 2002.

식'의 어획으로 인해 어업인 간의 과당경쟁으로 인한 경제적 비효율성이 발생할 수 있는 문제점이 있다.

따라서 TAC제도의 문제점을 보완할 수 있는 새로운 어획량 관리수단들이 등장했는데, 대표적인 것이 개별어획할당량(IQ : Individual Quota)와 양도성 개별어획할당량(ITQ : Individual Transferable Quota) 수단이다. IQ제도는 결정된 TAC 물량을 어업인이나 어선에 개별적으로 할당하여 어업인이 독자적으로 어업활동을 할 수 있도록 하는 것이고, ITQ제도는 여기서 한 걸음 더 진보하여 개별 어업인들 간의 할당어획량을 서로 자유로이 사고 팔 수 있도록 한 것이다.

특히, ITQ제도는 정해진 허용어획량의 일부를 개별 어업인들에게 어획권으로 할당·배분함으로써 어업자원의 관리 보존과 어업자원 이용의 경제적 효율성을 동시에 달성하기 위한 것으로, 개별 어업인의 어획량이 제도적으로 제한되기 때문에 개별 어업인들은 자신의 어업이익을 극대화하기 위해 자신에게 할당된 어획량을 시장원리에 입각하여 관리 및 운영할 수 있게 된다. 그 결과 어업인들 간의 과당 어획경쟁을 줄일 수 있는 등 기존 올림픽 방식의 TAC제도의 문제점들을 해소할 수 있게 된다. 이 제도는 미국, 호주, 뉴질랜드 등 수산선진국에서 이미 시행해 오고 있으며, 그 제도의 효율성이 이미 인정되고 있다(류정곤 외 2인, 2004; Akland and Bjorndal, 2002; Arnason, 2001; Annala, 1996; Clark, 1992).

2. 우리나라의 어업관리수단

우리나라는 전통적으로 어선어업의 허가제를 근간으로 한 진입규제와 어구, 금어기, 망목규제와 같은 기술적 통제수단을 통해 어업 및 어업자원을 관리해 오고 있다. 그리고 1994년부터는 어선감척사업을, 그리고 1999년 이후에는 총 허용어획량(TAC)제도를 도입하여 기존의 기술적 규제와 어획노력량 통제수단

외에 어획량 통제수단도 동시에 병행하고 있다. 현재 우리나라에서 사용되고 있는 어업관리수단의 내용을 요약하면 다음의 <표 2-2>와 같이 나타낼 수 있다.

<표 2-2> 우리나라 어업관리수단의 종류 및 내용

종류	세부종류 및 내용	정책내용 및 근거	장점	단점
어획 노력량 규제	허가정수제	- 연안·구획 : 법 제41조, 보호령 23조, 허가규칙 제3조 - 근해 : 법 제52조, 보호령 제17조	대상어업별 특성을 고려한 현실적이고 구체적인 규제가 가능	규제에 대한 효과가 단기적일 수 있는데, 특히 기술적 대체(technical substitution) 발생시 규제내용을 계속 변경해 나가야 함
	어선톤수 규제	- 연안·구획 : 법 제41조, 허가규칙 제3조 - 근해 : 법 제41조, 보호령 제23조, 허가규칙 제32조		
	어선마력수 규제	- 근해 : 법 제41조, 보호령 제23조, 허가규칙 제3조		
	선복량 제한	- 연안·구획 : 법 제41조 - 근해 : 법 제52조, 보호령 제23조의 2		
	어선감척 사업	어업인지원특별법 제19조, 농발법 제11조, 농발법 시행령 제17조	어획능력 감소를 통한 어업자원회복, 잔류어업인의 소득증대 기여	어선감척 후 능률적인 어구어법의 사용, 그리고 기술적 진보로 어획능력이 다시 증가될 우려(Boomerang Effect)
어획량 규제	TAC 관리	법 제54조, 보호령 제27조의 3, TAC규칙 9, 11, 16조	중요 관리대상 어종에 대한 과학적 자원조사를 실시하고 지속적인 어획이 가능하도록 관리수준 제시	자원량 추정이 제대로 이루어지지 않을 경우 자원감소 가속화, 어획량 할당이 제대로 이루어지지 않을 경우 단기간에 경쟁이 가속되어 자원압력 심화, TAC 미소진 등

〈표 2-2〉 우리나라 어업관리수단의 종류 및 내용〈계속〉

종류	세부종류 및 내용	정책내용 및 근거	장점	단점
기술적 수단	어선·어구 제한 금지	법 제79조, 보호령 제23조	어획능력 감소로 자 원압력 감소, 어업별 상황을 고려한 조업 활동 규제도 가능	기술적 대체로 어획능 력이 다시 증가할 우려 와 단속의 어려움
	2중 이상 자망금지	법 제79조, 보호령 제5조	치어 보호, 자원압력 감소	
	그물코 규격제한	법 제79조, 보호령 제6조	치어 보호, 자원압력 감소	
	어구 규모제한	법 제79조, 보호령 제6조	자원압력 감소 및 어 업조정	
	어구사용금지구 역·기간	법 제79조, 보호령 제7조	조업분쟁 완화 및 자 원압력 감소	단속의 어려움
	포획금지구역 및 기간	법 제79조, 보호령 제8조	산란장 보호 및 산란 기 동안의 자원 보호	
	포획금지 채장·채중	법 제79조, 보호령 제10조	치어 및 산란어 보호	
	대개·붉은대개 암컷포획금지	법 제79조, 보호령 제11조		
	어란채취 및 치어포획금지	법 제79조, 보호령 제11조의 2		
	특정어업 금지구역	법 제79조, 보호령 제4조	조업질서 유지 및 자 원압력 감소	
	보호수면	법 제67조, 보호수면규칙	수산동식물의 산란 및 치어의 성장 보호	이동성이 높은 어종에 대해서는 효과 감소
	육성수면	법 제70조, 육성수면규칙	정착성 수산동식물 의 보호 및 조성	육성수면의 이용을 둘 러싼 갈등과 분쟁 발생
	수산자원 보호구역	국토이용법 제40조	어업자원의 보호 및 육성	해면이용과 어업측면에 서의 규제는 거의 없음
	수산자원 관리수면	기르는어업법 제10-11조	수산동식물의 보호 및 조성	

1) 허가 및 기술적 통제수단

허가제 하에서의 어업관리는 어구 및 어법에 따라 어업의 명칭을 규정하고, 각 어업별로 행정관청의 허가를 받아야만 어업이 가능하도록 하여 진입을 규제하고 있다. 보다 구체적으로 허가제도는 원칙적으로 어업을 금지한 상태에서 일정한 요건을 갖출 경우 허가를 통하여 어업행위를 인정하는 제도로, 이러한 허가정책을 통해 행정관청은 어획노력량 수준을 통제하고 어업자원의 관리 및 회복을 도모할 수 있게 된다.

우리나라에서는 어업별로 허가의 정한수를 정하여 참여자 수를 제한해 오고 있는데, 근해어업의 경우 대형기선저인망어업과 잠수기어업은 1953년부터, 다른 어업은 1976년부터 허가정한수 제도를 시행해 오고 있다(〈표 2-3〉). 이와 더불어 연안어업의 경우 1975년부터 허가의 정한수를 정할 수 있도록 하였으나, 실질적으로는 1986년에 연안선망어업 중 석조망어업과 양조망어업에 대해서 정한수를 정했고, 1990년대 이후에는 다른 연안어업으로 확대 시행되었다.⁹⁾

〈표 2-3〉 우리나라 근해어업의 허가정수

구분	1953	1976	1978	1982	1998
대형기선저인망	185			외(80), 쌍(180)	
잠수기	295	283	273		249
중형기선저인망		125	동해구(42), 서남구(65)		
동해구트롤		25		43	
근해안강망		1,100		850	
근해유자망		2,200			
근해형망		540			
권현망		200		150	
대형트롤				60	
대형선망				35	
근해장어통발				300	

9) 2002년 현재 연안어업의 허가정한수를 어업별로 살펴보면, 연안자망어업(19,273건), 연안개량안강망어업(850건), 연안양조망어업(426건), 연안통발어업(10,672건), 연안들망어업(781건), 연안새우방어업(1,475건), 연안선인망어업(17건), 그리고 연안복합어업(30,753건)이다.

이러한 어업별 어선수에 대한 제한 외에도 어선의 톤수와 마력수를 제한하기 위해 1971년부터 모든 연근해어업에 대하여 어업별로 어선의 톤수를 규정하였고, 일부 근해어업의 경우에는 어업별 최대 마력수를 설정하였다. 이는 어선의 톤수를 제한해 어선의 규모를 늘리지 못하게 함으로써 실질적인 어획노력량의 증가를 막기 위한 것이었다.

기술적 규제수단으로는 <표 2-2>에서 보는 바와 같이, 망목 크기, 채포금지체장, 금어종, 금어기, 금어구, 조업제한구역 등으로 규정하고 있는데, 최근에는 각 내용이 확대 혹은 강화되고 있는 추세이다.

2) 총허용어획량(TAC) 수단

TAC수단은 어획량 제한 방법의 대표적인 수단으로 하나의 단위자원(종)에 대한 어획량을 총량적으로 관리하는 방식으로, 연간 어획량 허용치를 설정하여 해당 어업인들에 의한 어획량이 이 목표치에 이르면 당해연도의 조업을 종료시키는 제도이다.

우리나라 TAC수단은 1995년 12월 30일 수산업법 개정에서 동 시행의 근거조항을 만들고, 1996년 12월 31일 수산자원보호령을 개정, 1998년 4월 25일 「총허용어획량의 관리에 관한 규칙」이 제정되면서 본격적으로 시행되었다. 이 관리수단의 도입배경은 UN해양법 발효에 따른 신해양질서의 수용, 전통적 어업관리제도의 보완, 한·중·일 어업협정 및 우리나라 주변 수역 수산자원의 합리적인 관리체제를 구축 등의 필요성 때문이었다(장창익·이상고, 2002; 류정곤, 2001; 장창익, 2000).

현행 우리나라의 TAC제도 운용은 연간 TAC를 결정하고, 이를 개별로 할당하는 두 단계로 나누어져 있다. 즉, 연간 TAC는 국립수산과학원이 추정한 기본적인 자원상태를 바탕으로 TAC 심의위원회가 평가한 연간 TAC 및 관리에 대한 사항을 중앙수산조정위원회가 최종 결정하게 된다. 그리고 이 연간 TAC를 해양수산부에서 시·도별로 배정하게 되면, 시·도에서는 이 물량의 70%를

최근 3년간 어획실적, 어선 톤수 등을 바탕으로 개별 어업인에게 할당하고, 이 개별 할당량의 80% 이상이 소진될 경우 나머지 30% 내에서 추가로 할당 또는 전배 조치를 취하게 되어 있다.

이 제도를 처음 도입 시행했던 1999년 당시의 TAC 대상어종은 어획량이 많고 산업적 비중이 크거나, 자원감소가 현저하여 보호가 필요한 정착성 어종인 고등어, 전갱이, 정어리 및 붉은 대게의 4개 어종이었다. 하지만 2004년 현재까지 대게, 키조개, 제주도 소라, 꽃게가 추가되어 대상어종이 9개 어종으로 늘어났고, 2010년까지는 저서어를 중심으로 20여개 어종으로 확대될 예정으로 있다.¹⁰⁾

3) 어선감척사업

어선감척사업(Vessel Buyback Program)은 어선척수를 감소시켜 과잉된 조업경쟁을 줄이고, 어업자원에 대한 어획압력을 감소시켜 어업자원 회복을 도모함과 동시에 어선별 어업수입을 증대시키고자 하는 어업관리 정책수단이다.

우리나라에서의 어선감척사업은 1994년부터 실시되어 오고 있는데, 연근해 어업 중 과잉어획능력으로 인해 어업자원을 남획시키거나 경쟁력이 없는 업종을 대상으로 어선을 감척해 오고 있다. 최근까지 진행된 어선감척사업의 추진 실적을 살펴보면, 1994년부터 2002년까지 총 2,457척이 감척되었는데, 이 중에서는 연안어선 539척, 근해어선 1,918척이 각각 감척되었다(〈표 2-4〉).

〈표 2-4〉 우리나라 어선감척사업 추진 실적

구분	감척계획(A) (1994~2004)	감척실적(B) (1994~2002)	감척비율
합계	2,990	2,457	82.2%
연안어업	712	539	75.7%
근해어업	2,278	1,918	84.2%

자료 : 해양수산부(2004)

10) 해양수산부, 「어업관리 중·장기 발전계획안」, 해양수산부, 2003.

지금까지 시행된 감척사업에도 불구하고 연안어선은 오히려 증가추세인 점을 감안하여 해양수산부에서는 2004년부터 연안통발, 연안개량안강망 등 어획강도가 큰 연안어업에 대해 현재 척수의 10% 수준인 6,300여척을 연차적으로 감척할 계획을 가지고 있다.

3. 우리나라 어업관리수단 운용의 문제점

이처럼 과잉어획으로 인한 어업자원량 감소를 막기 위해 지금까지 다양한 수단으로 어업관리를 행해 왔음에도 불구하고 1980년대 중반 150만 톤이던 연근해어업 어획량이 이후 지속적으로 감소하여 2003년 현재 110만 톤으로 감소하는 등 어업자원량 감소현상은 더욱 심각해지고 있다. 특히, 2000년대 들어 전체 어획물 중 성어비율이 20% 이하 수준으로 떨어져 어업자원의 자율갱신력이 크게 위협받고 있으며, 현 추세가 지속될 경우 향후 10년 후 어업자원량은 현재 수준의 40%로 감소하고, 어획량은 66만 톤 수준으로 급감할 것으로 예상되고 있다(국립수산물과학원, 2004).

이처럼 어업자원이 감소하고 있는 원인에 대해서는 어업관리수단의 자원회복에 대한 분명한 목표가 없었던 점, 자원량에 기초한 관리정책이 미비했던 점, 어업활동에 대한 철저한 관리 및 통제의 미비 등 다양하게 지적되고 있다(류정곤, 2004; 이상고, 2004; 신영태, 2002). 특히, 이러한 원인들 외에 빼놓을 수 없는 원인 중의 하나는 지금까지 다양하게 실시되었던 어업관리 정책수단들에 대한 관리기준이 모호했다는 점이다. 즉, 자원의 특성에 따라 설정된 관리목표를 달성하기 위한 정책수단의 설정이 미비했고, 정책수단 선택 시 사전 및 사후평가가 제대로 이루어지지 않아 어업관리수단의 운용에 대한 실효성 여부가 제대로 파악되지 못했다. 그 결과 다양하게 운용되고 있는 어업관리수단들 간의 효과적인 병용 또한 제대로 이루어지지 못해 실질적인 자원회복에는 그 효과가 미진한 것으로 평가되고 있다(류정곤, 2004; 조정희, 2003).

이에 따라 향후 보다 실효성 있는 어업자원 관리 및 회복을 도모하기 위해서는 현재 취해지고 있는, 그리고 앞으로 시행될 어업관리수단들에 대한 실증적인 효과분석이 이루어져야 한다. 그리고 이러한 분석 결과를 바탕으로 어업 관리 정책수단 운용 및 집행이 이루어져야 할 것이다. 특히, 향후 우리나라에서 추진될 자원회복계획을 통한 어업관리정책에 있어서 정해진 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성하기 위한 어업관리수단 선택 시 실질적인 자원 회복을 위해서는 어업관리수단에 대한 효과 분석이 반드시 선행되어야 할 것이다.

제3장

어업관리수단의 효과분석과 생물경제모델

1. 어업관리수단 효과분석의 필요성

1) 어업관리수단 효과분석의 목적

어업관리수단 효과분석의 기본전제는 어업관리의 효과를 극대화하기 위해서 선택된 다양한 수단의 실행 결과 및 효과에 대한 정확한 정보를 얻는 것이다. 따라서 어업관리수단이 실제 어업관리를 전제로 그 활용의 유용성이 무엇보다 중시되어야 하고, 사전 관리수단의 대상평가가 정교하고 적합하며 효과 중심적이어야 한다.

어업관리수단 효과분석의 목적은 어업관리자나 어업인들에게 어업관리수단에 대한 정확한 정보를 제공함과 동시에 책임을 부여하고, 관리수단의 사전 및 사후 정책을 효율적으로 전개함과 동시에 지속적으로 새로운 수단이나 정책개발을 유도하는 것이다.¹¹⁾ 보다 구체적으로 어업관리수단 효과분석의 목적은 첫째, 어업관리 목표의 달성도 측정과 어업관리수단의 성공과 실패의 원인 규명, 둘째, 어업관리의 성공적 수단이나 정책에 대한 원리나 원칙 발견, 셋째, 어업관리수단의 효과성 증진을 위한 다양한 기법의 실험 및 개발, 넷째, 어업관리수단 운용의 집중도와 효율성 증진, 관리비용의 최소화 등에 있다.

11) Weimer, D. and A. R. Vining, Policy Analysis : Concepts and Practice, Prentice Hall, 2004.

2) 어업관리수단 효과분석의 필요성

어업관리수단의 효과분석은 이해 관계자의 활용을 전제로 어업관리가 집행된 후에 목적하는 바의 대상이나 현상의 변화가 효율적으로 나타났는지를 확인하기 위해 정보를 체계적으로 수집하는 활동이다. 또한 합리적인 어업관리수단의 운용을 위해서 사전에 어업관리수단의 효과를 예측하거나 대안의 비교 검토를 위한 어업관리수단의 평가와 효과의 예측에 필요한 체계적인 정보를 위한 것이다.

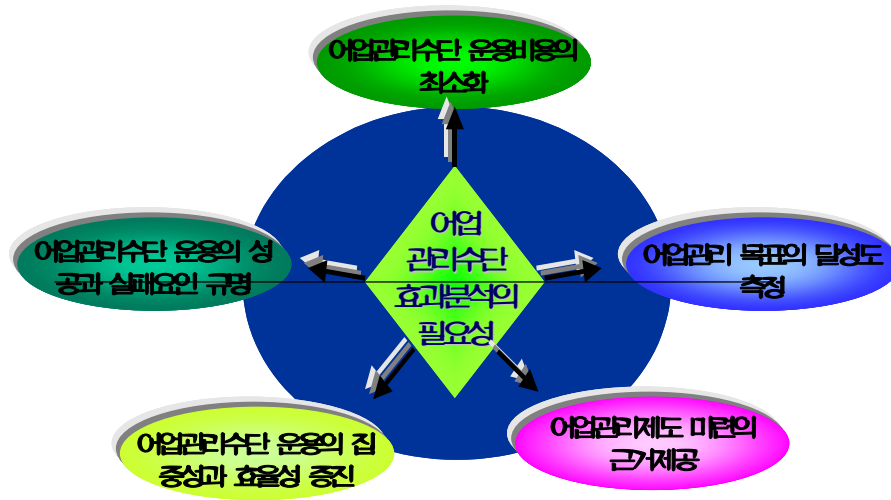
이러한 평가는 어업관리 목표라 할 수 있는 사회적 안정성, 어업자원의 생물학적 지속성, 어업의 경제적 발전성, 그리고 어업관리의 행정 및 제도적 효율성을 달성하기 위해 관리수단을 개발하거나, 기존 관리수단을 검증하여 관리체계를 재정립하고, 관리정책 이론의 일반화를 위한 기초적이고 과학적인 연구를 위해서 반드시 필요하다.¹²⁾ 즉, 사전평가가 없는 어업관리수단의 선택은 어업관리정책 운영의 합리성을 기할 수 없게 하고, 기대 목표를 달성할 수 없게 한다. 그리고 사후적인 평가가 없으면 정책목표 달성을 위한 정책운영의 집중도를 떨어뜨리고, 새로운 대안 창출에 대한 피드백으로서의 기능을 상실하게 되어 어업관리 발전, 나아가서는 수산업의 발전을 도모할 수 없게 된다.

이 외에도 어업관리수단의 효과분석은 어업관리의 의사결정을 위한 정보를 제공하고, 어업관리수단의 선택대안들을 명확하게 하고, 정책의 불확실성을 감소시켜 어업의 경제적 가치를 증대시키고 시간 및 공간상의 효율적자원 이용 배분을 위한 정보제공을 위해서도 반드시 필요하다.

일반적으로 어업관리의 집행기관인 해양수산부가 수산업법이나 어업관리 행정체계에 따라 산업의 지속적 기반을 위한 관리정책을 채택하고 다양한 관리수단을 통하여 어업관리를 운용하게 된다. 그리고 어업관리의 행정체계가 구체화된 생산조직을 통하여 어업관리를 집행하며, 어업관리의 효과는 자원대상업종에서 장단기적으로 일어난다고 가정하게 된다. 하지만 이러한 가정이 항

12) 장창익·이상고, 「어업관리학」, 부산 : 세종출판사, 2002.

상 보장되지는 않는다. 어업관리의 효과에 대한 일반적 인식은 어업관리 집행 기관과 대상 업종 간에 상당한 차이가 있을 수 있다.



〈그림 3-1〉 어업관리수단 효과분석의 필요성

어업관리수단에 관한 정보는 어업관리의 대상이 되는 어업 또는 비어업, 그리고 관련 산업 영향에 대한 모든 것을 포함한다. 어업관리수단 효과분석은 실제 어업의 산업 경제적 부분과 수산자원을 포함한 생태 환경적 부분에 걸쳐서 일어나는 모든 효과를 의미한다. 따라서 경제적 성장·발전성에는 대상 업종의 생산, 고용, 수입 등의 변화와 대상 업종 이외의 업종이나 관련 산업에의 영향을 포함한다. 생물학적 지속성은 주로 자원상태와 생태 환경적 변화에 관한 것이다. 사회적 안정성에는 어촌사회의 정주력 확립, 안정적 생산량 유지와 생물다양성 유지가 포함되며, 행정적 제도적 국제성, 효율성은 어업관리의 직접적인 비용과 간접적인 기회비용에 관한 것이다.

3) 수산자원회복계획과 어업관리수단의 효과분석

향후 우리나라에서 추진될 ‘수산자원회복계획’ 하에서 정해진 자원회복기간 동안 목표 자원량을 효율적으로 달성하기 위해서는 어업관리수단의 선택이 그 무엇보다 중요한 정책적 과제이고, 수산자원회복계획의 합리적이고 효율적인 운영을 위해서는 어업관리수단의 평가가 반드시 필요하다.

수산자원회복계획 하에서는 앞서 살펴본 어업관리수단의 종류에서와 같이 다양한 수단을 강구할 수 있을 것이다. 하지만 자원회복 대상어종의 생물학적 특성, 당해어업을 둘러싼 사회경제적인 요인들로 인해 각 어업관리수단의 효과는 다르게 나타나게 된다. 따라서 가장 효과적인 어업관리수단의 선택을 위해서는 수산자원회복계획 하에서 사용될 어업관리수단에 대한 사전 및 사후분석이 반드시 행해질 필요가 있다.

특히, 사전분석에 있어서는 어업관리수단이 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성시킬 수 있는가를 가장 중점적으로 고려함과 동시에, 다른 관련어종에 대한 생물학적 영향, 해양생태계에 대한 영향, 지역 어업경제에 대한 파급효과, 그리고 어업인들의 소득변화 등이 함께 고려되어야 할 것이다. 이러한 어업관리수단에 대한 사전분석을 통해서 수산자원회복계획의 목표 달성 가능성을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라 어업관리수단의 설정기준 제시 등 수산자원회복계획의 수립과 운영의 효율성을 높일 수 있을 것이다.

수산자원회복계획을 가장 먼저 시행하고 있는 미국의 경우에는 수산자원회복계획 하의 어업관리수단을 선택할 때 연방예산법(Federal Mandate Reduction, Reform, and Budget Act)에 따라 어업관리수단에 대한 사전분석을 통해 가장 효과적인 어업관리수단이 선택되도록 법제화하고 있다(미국 어업법(MSFCMA) 304조). 더욱이 동 어업법에서는 아래 <표 3-1>과 같이 효과적인 어업관리수단 선택을 위한 10가지 가이드라인을 설정하고 있는데, 수산자원회복계획 하에서 선택되는 어업관리수단들은 반드시 이 기준에 부합되도록 규정하고 있다.¹³⁾

13) The H. John Heinz III Center, *Fishing Grounds: Defining a New Era for American Fisheries*

〈표 3-1〉 어업관리수단 선택을 위한 10가지 가이드라인(10 National Standards)

- | |
|---|
| <p>I. 남획을 방지하고 지속가능한 적정 어획량을 유지할 수 있어야 함</p> <p>II. 가장 활용가능한 과학적 자료를 이용해야 함</p> <p>III. 개별어종 관리에 있어서도 가능한 한 관련 있는 다른 어종까지 고려해야 함</p> <p>IV. 각 주의 어업인들에 대한 차별 금지. 어업인들 사이의 어획량(혹은 어획기회) 배분은 공정해야 하며, 자원보전을 더욱 촉진해야 하고, 지나친 지분(혹은 이익) 배분은 피해야 함</p> <p>V. 가능한 한 어업자원 이용에 있어서 효율성을 고려해야 함</p> <p>VI. 어업, 어업자원, 그리고 어획에 있어서의 효율성을 고려해야 함</p> <p>VII. 비용을 최소화하고, 가능한 한 불필요한 중복사항은 없애야 함</p> <p>VIII. 어촌공동체에 대한 어업자원의 중요성을 고려해야 하고, 이들 어촌공동체에 대한 부정적인 경제적 피해를 최소화해야 함</p> <p>IX. 가능한 한 부수어획을 최소화해야 하고, 피할 수 없는 부수어획에 대해서는 그 사망률을 최소화시켜야 함</p> <p>X. 조업 중 어업인의 안전을 촉진시켜야 함</p> |
|---|

2004년 6월 수산기본법을 새롭게 제정하여 자원회복계획을 운용하고 있는 일본의 경우도 수산자원회복계획 수립에 있어서 사전분석을 중요시하고 있다. 특히, 목표 자원량 설정과 이를 달성하기 위한 어획노력량 감축기준을 정함에 있어서 사전적인 생물학적 시뮬레이션 분석을 통해 수산자원회복계획 운용의 근거로 이용하고 있다(日本水産廳, 2005).¹⁴⁾

Management. Island Press, 2000.

14) 예를 들어, 세토나이 해 삼치어종의 자원회복계획 수립 시 생물학적 시뮬레이션 분석 결과, 현재의 어획노력량 수준을 일정 부분 감소시키면 5년 후 자원량이 20% 증대될 것으로 나타났는데, 이러한 결과를 바탕으로 목표 자원량과 자원회복기간이 각각 설정되었다.

2. 생물경제모델 개념 및 모델구축을 위한 요인분석

1) 생물경제모델링 방법의 개념

어업관리수단의 효과분석방법으로는 정성적인 방법에서 계량학적 방법에 이르기까지 다양하다. 특히, 계량학적인 평가방법의 중요성이 커짐에 따라 기존에는 일반적인 회귀분석 방법이나, 자원포락분석(data envelopment analysis) 방법¹⁵⁾이 널리 활용되었고, 이 외에도 생산자보조균형(producer subsidy equivalent) 모델¹⁶⁾, 보조효율(effective rate of assistance) 모델¹⁷⁾, 생산자-소비자잉여(produce surpluses and consumer surpluses) 모델¹⁸⁾, 정책평가행렬(policy evaluation matrix) 모델¹⁹⁾ 등이 사용되었다.

하지만 최근에는 어업관리수단의 효과분석에 있어서 생물경제모델링(Bioeconomic Modelling) 방법이 널리 활용되고 있다. 이는 생물경제모델링

-
- 15) 자원포락분석(DEA) 방법은 선형계획법에 근거한 행정적, 제도적, 효율성 측정방법으로서 회귀분석법과는 달리 사전에 구체적인 함수형태를 가정하고 모수를 추정하는 것이 아니고 일반적으로 생산가능집합에 적용되는 몇 가지를 선정하여 평가대상의 경험적 효율성 변경(frontier)을 도출한 뒤 효율성 변경과 평가대상을 비교하여 평가대상의 효율치를 추정하는 비모수적 접근방식이다.
- 16) 생산자보조균형(PSE) 모델방법은 모든 요소를 일정하다는 가정 하에 어업관리 정책수단의 변화에 따라 일어나는 어업인의 손실을 보상하는 어업관리의 보조액을 통하여 관리수단에 대한 효율성을 추정하는 것으로, 특히 농업부문의 정책수단 평가에 널리 이용되고 있다.
- 17) 보조효율(ERA) 모델은 생산효율(effective rate of production)의 접근방법에서 착안한 것으로 어업관리의 지원부문과 그렇지 않은 다른 부분과의 부가가치의 차이를 통하여 어업관리 정책수단의 순효과를 추정하는 방법이다.
- 18) 생산자-소비자잉여(PS/CS) 모델방법은 어업관리수단의 적용에 의해 변화되는 소비자 잉여와 생산자 잉여의 변화를 측정하는 것으로, 이 방법은 기본적으로 수요곡선과 공급곡선을 도출하여 어업관리수단의 영향으로 변화하는 가격 변화 등을 바탕으로 어업관리수단의 효과를 추정한다. 특히 이 방법은 어업관리수단을 평가하기 위한 이론적으로 가장 우수한 방법 중의 하나이지만, 수요곡선과 생산곡선을 도출하는 것이 현실적으로 어렵고 또한 생물학적 변화를 분석할 수 없다는 단점 등이 있어 실제 어업관리수단 평가에 널리 사용되지 못하고 있다.
- 19) 정책평가행렬(PEM) 모델은 행렬(matrix) 방법을 사용하여 정책수단의 효과를 분석하고자 하는 것으로, 기본 구조는 부분균형모형이며, 기본 방정식은 상품수요, 생산 및 요소수요, 요소공급, 그리고 상품가격과 시장균형 등 4개의 행렬집단으로 구성된다. 평가방법은 관리수단의 상대적 효과 또는 상대적 효율성을 평가하는 것으로 비교지표를 이용하여 대상 관리수단의 효과를 추정한다. 하지만 기본 행렬을 구성하는 각 부분의 정교한 계량모형이 구축되어야 하고, 많은 양의 통계자료가 필요하다는 단점이 있다.

방법 하에서는 생물학적 자원평가 모델(population dynamics)과 어업인의 어업활동 모델을 동시에 분석하기 때문에 어업관리수단으로부터의 어획사망계수 수준 변화에 따른 자원량의 동태적 변화뿐만 아니라 어업인에 대한 경제적인 동태효과를 동시에 예측할 수 있기 때문이다. 따라서 각 어업관리수단에 대한 분석을 행함으로써 정해진 기간 내의 목표 자원량 달성 여부, 어업인의 소득효과 등을 중심으로 가장 합리적인 수단을 선택할 수 있도록 한다.

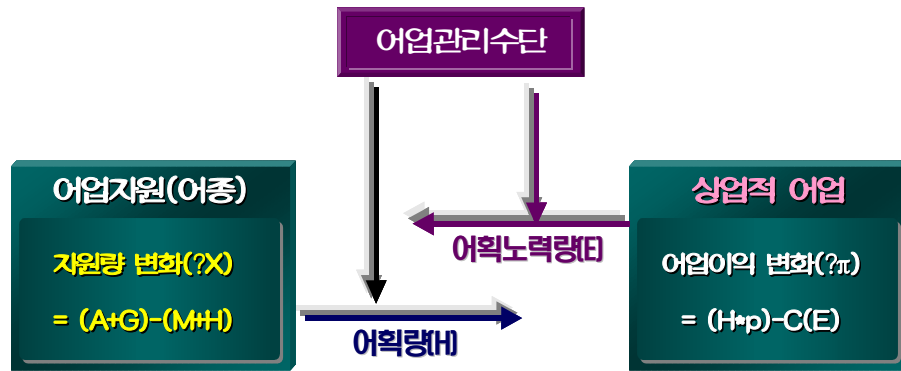
생물경제모델의 개념을 좀더 구체적으로 살펴보면, <그림 3-2>에서 보는 바와 같이, 어획활동이 이루어지지 않을 경우 자원량은 가입과 성장에 의해 증가하고, 자연사망에 의해 감소하게 된다. 가입량과 성장량이 자연사망량보다 크면 자원량은 계속 증가하여 한계점인 최대 자원량 수준(K, carrying capacity)에 이르게 된다. 하지만 해당 어업자원에 대한 어획활동이 이루어지게 되면 어업자원에 대한 어획압력(=어획노력량 투입)이 이루어지게 되고, 그 결과 어업자원량은 자연사망 외에 어획사망에 의해서 감소폭이 증가하게 된다. 즉, 어획이 이루어지게 되면 어획노력량(E)이 투입되어 어획사망계수(F, $F=q \cdot E$) 수준이 증가하게 되고, 상업적 어업인은 투입된 어획노력량 수준에 따른 어획량(H, $H=F \cdot X$)을 얻게 된다. 반면에, 어업자원량은 다음의 식 (3-1)과 같이 자연사망량과 더불어 어획량(H)만큼 감소하게 되는 것이다.

$$\Delta X = \frac{dX}{dt} = X - H (= F \cdot X) \quad \text{식 (3-1)}$$

생산된 어획량(H)에 시장가격(p)을 곱하고, 여기에 어업비용(C)을 제하면 해당어종의 어획활동으로부터 어업이익(π)이 산출된다($\pi = H \cdot p - C(E)$).

이러한 어획활동에 있어 어업자원 회복 및 관리를 위한 어업관리수단이 취해지게 된다면 어획사망계수(F) 수준에 영향을 끼치거나 직접적으로 어획량 수준을 통제하게 된다. 즉, 기술적 통제수단이나 어획노력량 관리수단이 취해지게 되면 다음의 식 (3-2)와 같은 어획량 함수식에서

$$H = f(q, E, X) \quad \text{식 (3-2)}$$



A : 가입량, B ; 성장량, M ; 자연사망량

〈그림 3-2〉 생물경제모델의 개념도

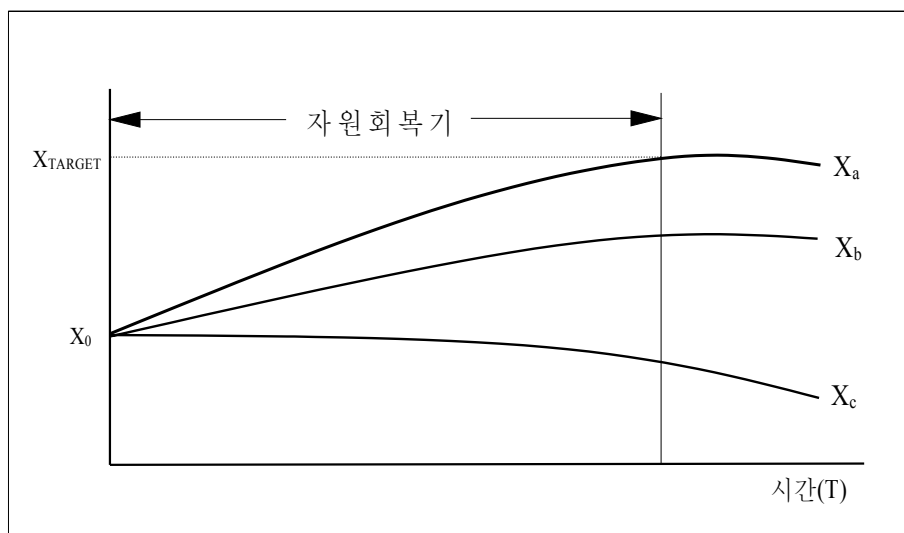
어획능력계수(q)와 어획노력량(E) 수준이 통제되게 되어 어업자원에 대한 어획사망계수의 수준이 감소하게 된다. 또한 TAC 등과 같은 어획량 관리수단이 취해지면 어획량 자체가 통제되므로 역시 어획사망계수의 수준이 낮아져 어업자원에 대한 어획압력이 감소하게 된다. 그 결과 어업관리수단 조치 전후의 어업이익 변화는 식 (3-3)과 같이 어업관리수단의 사용에 따라 감소된 어획사망계수($\square\square$) 수준, 즉 통제된 어획량(\dot{H})에 따라 달라지게 된다.

$$\Delta \pi = [H \cdot p - C(E)] - [\dot{H} \cdot p - C(\square\square)] \quad \text{식 (3-3)}$$

물론 어획량 변화에 따라 시장가격(p)이 변할 수 있다. 즉, 어획량이 줄어들면 시장공급이 감소하여 가격이 상승할 수 있다. 하지만 어업관리수단에 의해 어업자원이 일정수준 이상으로 회복되기 전에는 어획량 수준은 관리조치 이전보다 낮아지고 이에 따라 어업수입도 관리조치 이전보다 낮아지게 된다. 그러나 향후 자원량이 증가되면 어획량 수준도 증가하게 되고 이에 따른 어업수입도 증가하게 된다. 생물경제모델링 방법 하에서 어업인들의 경제적 효과(소득 효과)는 향후 일정 기간동안의 시뮬레이션 분석을 통해 어업관리수단이 취해

졌을 경우와 그렇지 않을 경우 발생하는 어업이익을 현재가치로 환산하여 서로 비교 및 평가한다.

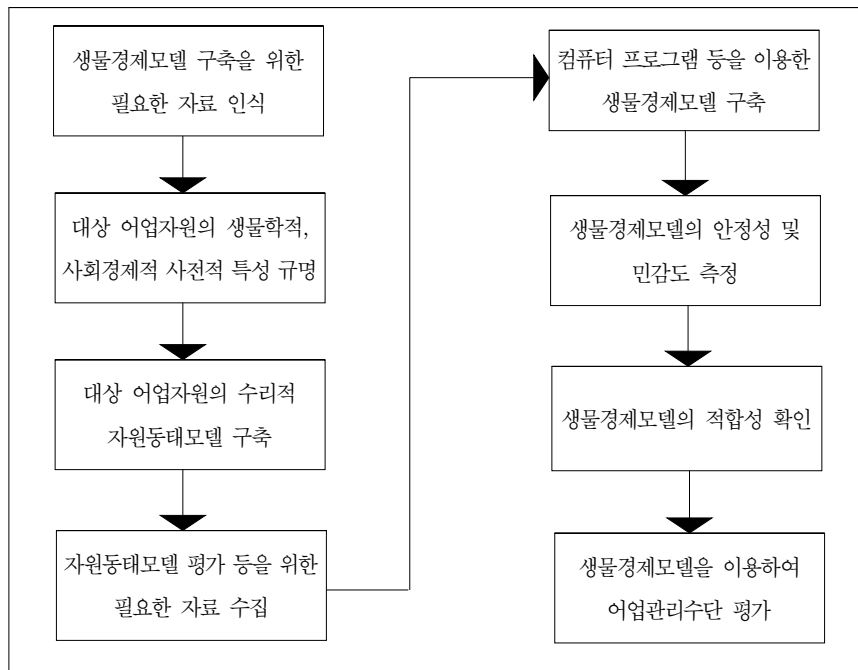
그리고 생물학적 자원량 변화 효과는 향후 자원량 수준의 변화정도로서 분석하게 된다. 즉, 〈그림 3-3〉에서 보는 바와 같이, 일정 기간동안 특정 어업관리수단을 취했을 경우 현재 자원량이 목표 자원량 수준을 달성하는지 등의 자원량 변화 정도로 어업관리수단의 효과를 분석하게 되는 것이다. 특정 어업관리수단 조치 이후에 자원량은 목표 자원량을 달성할 수 있고(X_a), 목표 자원량은 달성되지 못하더라도 자원량 증가가 이루어질 수도 있으며(X_b), 혹은 자원량은 계속 감소할 수도 있다(X_c). 따라서 생물경제모델링 방법은 각 어업관리수단을 평가하여 자원량 증대효과가 가장 큰 어업관리수단을 선택할 수 있도록 한다. 동시에 앞서 살펴본 바와 같이, 어업인들의 경제적 효과도 동시에 고려할 수 있으므로 어업관리수단의 효과분석에 가장 적합한 방법으로 평가되고 있다.



〈그림 3-3〉 시간의 흐름에 따른 자원량 변화

2) 생물경제모델의 구축 방법

생물경제모델링은 향후 일정기간 동안 어업관리수단에 의한 자원량 변화와 어업경제효과를 분석하기 위한 동태적 시뮬레이션 방법으로, 어업관리수단 평가를 위한 생물경제모델은 다음의 <그림 3-4>와 같은 절차를 통해 구축되게 된다.



〈그림 3-4〉 생물경제모델의 구축 절차

(1) 생물경제모델 구축을 위한 필요한 자료 인식

생물경제모델을 구축하기 위해서는 우선 대상 어업자원이나 어업활동 파악에 관한 필요한 자료를 살펴보는 것이 필요하다. 첫째, 자원특성 파악에 필요한 자료로서는 현재의 자원량 수준, 환경적 요인, 자원의 분포 상황, 현재의 어

업관리수단 등 관련 자료에 대한 인식이 필요하다. 둘째, 어업활동 파악을 위해서는 관련 어업인, 업종, 어업소득, 타업종과의 관계, 어업활동 범위 등에 대한 자료 인식이 필요하다. 그리고 대체적인 어업관리수단 등에 대한 사전적인 인식도 필요하다.

(2) 어업자원의 생물학적, 사회경제적 사전적 특성 규명

생물경제모델 구축을 위한 필요한 자료를 인식한 후에는 어업자원의 생물학적 그리고 사회경제적인 사전적인 특성을 규명할 필요가 있다. 이를 위해서는 (i) 어업자원, (ii) 어업자원 이용자, (iii) 어업자원 관리수단에 대한 상호작용을 파악하는 것이 중요하다.

첫째, 어업자원에 있어서는 어업자원의 재생산력 즉, 가임, 성장, 사망 등 생 활사에 대한 파악, 자원량과 지역적 이동에 대한 환경적 요인 파악, 다른 어업 자원이나 해양환경과의 생태적인 관련성 정도를 규명해야 한다.

둘째, 어업자원 이용자 규명에 있어서는 참여하는 어업인의 수, 사용하는 어 구의 특성, 어획 어종의 종류, 어획 어종의 체장 크기, 혼획률, 시장가격 등이 파악되어야 한다.

셋째, 어업자원 관리수단 부문에 있어서는 현재 채택하고 있는 어업관리수 단의 평가, 자원회복계획 하에서의 목표 자원량 수준 및 자원회복 기간과 그에 따른 어업관리수단의 내용 등이 사전적으로 검토되어야 한다.

(3) 어업자원의 수리적 자원동태모델 구축

앞선 대상 어업자원의 생물학적 특성이 사전적으로 규명되면, 어업자원의 동태적 변화모델(population dynamics)을 구축해야 한다. 어업자원의 자원량 변화모델은 활용 가능한 자료의 성격, 어종의 특성 등에 따라 잉여생산량모델 (surplus-production model), 연령구조 모델(age-structured model) 등 다양하 다. 이들 모델의 특성 및 자원량 변화 내용에 대해서는 아래에서보다 구체적으 로 살펴보았다.

(4) 자료수집

자원량 변화모델이 구축되면 실제 자원량 추정과 생물경제모델 하에서 자원 동태를 보여주기 위한 자료가 수집되어야 한다. 특히 생물학적 자료 수집은 자원평가모델의 특성에 따라 다르게 이루어지는데, 잉여생산량 모델을 사용하여 자원량 변화를 살펴보기 위해서는 어획노력량과 어획량 자료가 반드시 수집되어야 한다. 반면에, 연령구조 모델에 의해 자원량 변화를 추정하기 위해서는 연령별 자원량 자료, 즉 연령구조별 개체수, 성어비율, 어획 및 사망계수, 성숙도, 이 외에 가입량 함수식, 성어 자원의 산란량 함수식 등을 위한 자료가 자원조사를 통해 수집되어야 한다.

그리고 경제적 효과를 분석하기 위해서는 어업활동에 필요한 자료, 즉 어선수, 출어횟수, 출어당 조업일수, 어획노력량, 어업비용 등의 자료가 수집되어야 한다. 이상 생물경제모델 구축을 위해 필요한 자료를 요인별로 요약하면 다음의 <표 3-2>와 같이 정리할 수 있다.

(5) 컴퓨터 프로그램을 이용한 생물경제모델 구축

생물학적인 자원동태모델이 구축되고 필요한 어업활동 및 사회경제적 자료들이 수집되면 향후 장기적인 자원량 변화와 어업이익 변화 추정 등 시뮬레이션 분석을 위한 생물경제모델을 구축해야 한다. 이를 위해서 QuickBASIC, Visual BASIC이나 C-Language, GAMS 등 컴퓨터 프로그램을 이용할 수도 있고, Microsoft EXCEL 등과 같은 Spreadsheet 프로그램을 활용하여 생물경제모델을 구축할 수 있다.

특히 자원동태모델로 연령구조모델을 이용하는 경우 분석 대상어종의 연령구조에 맞는 자원량 변화 프로그램이 구축되어야 하고, 또한 향후 자원량 변화 및 경제적 효과를 추정하고자 하는 기간에 맞추어 프로그램을 설정해야 한다.

〈표 3-2〉 생물경제모델 구축을 위해 필요한 자료

생물학적 자료	어업활동 자료
<ul style="list-style-type: none"> • 연령별 어업자원 개체수 • 성비 조성 • 연령별 자연 및 어획사망계수 • 어구별 연령별 어획능력계수 • 연령별 성숙도 및 산란량 • 가입량 및 성장량 함수식 	<ul style="list-style-type: none"> • 어업별 어선수 및 사용어구 • 어업별 어선별 어업인수 • 조업기간과 어항수 • 어장 정보 및 어항으로부터의 거리 • 출어일수와 출어당 조업일수 • 어업별 어선의 톤수 및 마력수 • 기타 어획노력량 자료
어획량 자료	경제적 자료
<ul style="list-style-type: none"> • 어종이 양육되는 어항의 위치 및 수 • 어종별 어업별 출어별 어획량 • 어획물의 체장 조성 • 다른 어종의 혼획률 	<ul style="list-style-type: none"> • 시장가격 • 어업별 어선별 어업비용 <ul style="list-style-type: none"> - 출어당 가변비용, 고정비용 • 사회적 이자율

* 필요한 생물학적 자료의 종류는 자원량 평가모델의 특성에 따라 달라지고, 다른 요인들의 자료들도 구체적으로 분석하고자 하는 어업관리수단의 특성에 따라 달라질 수 있음.

(6) 생물경제모델의 안정성 및 민감도 측정

생물경제모델이 구축되면 모델 자체에 대한 안정성을 평가해 봐야 한다. 이는 생물경제모델이 불확실성이 큰 자원량 변화 등을 장기적으로 추정하는 것이므로 모델이 안정적이지 않을 경우 예측치가 크게 빗나가 합리적인 어업관리수단 평가가 이루어질 수 없기 때문이다.

생물경제모델의 안정성 평가에서는 자원량 변화 분석을 위한 자원동태모델의 변수 측정이 가장 중요하다. 특히, 자원의 본원적 성장률(r), 어획능력계수(q), 초기 자원량(X_0)의 변수 등은 추정값의 불확실성이 높기 때문에 이들 변수의 안정성이 신뢰되지 않을 경우 향후 자원량 변화에 대한 추정의 신뢰도를 높이기 어렵다. 따라서 이를 경우에는 각 변수에 대한 민감도 분석(sensitive analysis)을 통해 불확실성을 고려하면서 최적의 변수가 선택될 수 있도록 해야 한다.

(7) 생물경제모델의 적합성 확인

생물경제모델을 구축하는 하부모델들의 각 변수에 대한 안정성이 평가되면 최종적으로 생물경제모델에 의한 자원량 변화, 어업이익 변화 등의 추정치를 신뢰할 수 있는 모델의 적합성이 평가되어야 한다. 적합성 평가에서는 주로 실제 어획량과 모델 추정 어획량의 통계학적 비교를 통해 모델 결과가 얼마나 현실적인 상황을 잘 반영하는가를 분석하게 된다. 평가 결과 생물경제모델에 의한 추정치의 적합성이 높은 것으로 판명되면 비로소 어업관리수단의 효과분석을 위한 생물경제모델이 구축되게 된다.

(8) 어업관리수단 평가

생물경제모델이 구축되면 대상 어업관리수단에 대한 효과분석이 이루어지게 되는데, 평가 결과로서 어업관리수단에 의한 향후 자원량 변화와 이에 따른 어획량 변화, 그리고 어업소득 변화가 추정되게 된다. 또한 분석 대상에 따라서 어업관리수단의 다른 어종에 대한 영향도 파악될 수 있으며, 어업관리수단이 취해진 전과 후의 유무분석(with-without analysis), 대체적인 관리수단들 간의 효과분석도 이루어질 수 있다.

특히, 자원회복계획 하의 어업관리수단 평가에 있어서는 특정 어업관리수단 사용으로 인한 자원회복기간 동안 목표 자원량 달성 여부, 자원회복 기간 동안의 어업소득 감소 정도 등이 파악될 수 있으므로 자원회복계획을 바탕으로 한 어업관리정책에 많은 시사점을 제공해 주게 된다.

3) 생물학적 자원동태모델(population dynamic models)

생물경제모델에서는 생물학적 자원동태모델이 가장 중요하다. 이는 자원량 변화에 따라 어획량 수준이 달라지게 되고, 그 결과 경제적인 어업이익의 변화도 결정되기 때문이다. 따라서 자원동태모델을 어떻게 설정하고, 그리고 얼마나 자원동태모델을 적합하게 추정하는가가 생물경제모델 결과치(추정치) 신뢰

성을 높이는 데 아주 중요하다.

어업자원 동태모델을 세분하여 구분하면 아주 다양하지만, 일반적으로 생물경제모델에서는 다음의 두 가지 모델이 주로 사용된다. 하나는 잉여생산량 모델(surplus production model)이고, 다른 하나는 연령구조 모델(age-structured model)로, 이들은 자원량 평가에 대한 가정이나 추정하는 자료가 다르게 이용된다. 일반적으로 생물학적 자료가 부족한 경우에는 잉여생산량 모델을 사용하고, 자료가 풍부할 경우에는 연령구조 모델을 사용하게 되는데, 생물경제모델의 생물학적 하부모델로 연령구조 모델을 사용할 경우 보다 많은 어업관리수단의 효과를 추정할 수 있는 것으로 알려져 있다(Haddon, 2001; Hilborn and Walters, 2001; Quinn and Deriso, 1999).

(1) 잉여생산량 모델

잉여생산량 모델은 어업자원량 평가 및 자원동태모형으로서 가장 간단한 분석적 방법으로, 어업자원의 변동량을 나타내는 가입량, 성장량, 자연사망량이 하나의 단일함수 형태로 평가된다. 따라서 잉여생산량 모델은 자원군의 크기 변화만 다루게 되므로 그 자원군의 연령분포와 같은 세부적인 속성을 고려하지 않는 것이 특징이다. 또한 자원량 평가지표(예를 들어, 단위어획노력당 어획량(CPUE))와 어획량 자료만 있으면 모델 추정이 가능하므로 적은 관련 생물학적 자료를 가지고 자원량 동태변화를 추정할 수 있는 장점이 있다.

흔히, 자원량 평가 및 동태분석에 있어서 다음에 소개될 연령구조 모델(age-structured model) 추정결과가 잉여생산량 모델 결과치보다 우수하다고 평가되고 있지만, Ludwig and Walters(1985, 1989)의 연구결과에 따르면 잉여생산량 모델의 결과치가 연령구조 모델 결과치보다 정확한 경우도 있어, 어종에 따라서는 실질적으로 어업관리정책에 더 큰 기여를 할 수도 있다는 것이 입증되었다.²⁰⁾

Schaefer(1954)는 처음으로 잉여생산량 모델을 사용하여 태평양 넙치자원량

20) Haddon, M., Modelling and Quantitative Methods in Fisheries, Chapman & Hall/CRC, 2001.

을 평가하였는데, 로지스틱 함수곡선을 이용하여 자원량 변화식을 다음의 식 (3-4)와 같은 형태로 나타내었다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad \text{식 (3-4)}$$

여기서, X_{t+1} 은 t+1기 때의 자원량, X_t 는 t기 때의 자원량, r은 자원의 본원적 성장률(intrinsic rate), 그리고 K는 최대 자원량 수준(carrying capacity)을 의미한다. 그리고 순간어획량($\frac{dH}{dt}$)은 어획사망계수(F)와 현재 자원량의 곱으로써 식 (3-5)와 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$\frac{dH}{dt} = F \cdot X \quad \text{식 (3-5)}$$

여기서, 어획사망계수(F)는 어획능률계수(q)와 어획노력량(E)의 곱이므로 식 (3-5)는 다음의 식 (3-6)과 같은 변형이 가능하다.

$$\frac{dH}{dt} = q \cdot E \cdot X \quad \text{식 (3-6)}$$

따라서 자연 상태에서 어획활동이 이루어지게 되면 자원량 변화식은 식 (3-6)을 식 (3-4)에 대입하여 다음과 같은 식 (3-7)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - H_t \\ &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - F_t \cdot X_t \\ &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E_t \cdot X_t \end{aligned} \quad \text{식 (3-7)}$$

식 (3-7)에서 보는 바와 같이, t 기의 어획량 수준이 t 기 자원의 재생산 수준보다 높게 되면 $t+1$ 기의 자원량은 감소하게 되고, 반대이면 자원량은 증가하게 된다. 특히, 어업관리수단이 취해져 어획노력량($□□$) 수준이 제한되거나 혹은 어획량(\dot{H}) 자체가 제한된다면 자원량의 감소율은 더욱 낮아지게 된다.

그리고 어획량에 시장가격(p)을 곱하고 어업비용을 제하면 t 기의 어업이익(π)은 식 (3-8)과 같이 구할 수 있다.

$$\pi = H_t \cdot p - C(E_t) \quad \text{식 (3-8)}$$

생물경제모델 시뮬레이션 분석에서 m 기간 동안 발생할 총어업이익(NPV : net present value of returns)은 각 기간에 발생하는 이익(TP_t)을 사회적 이자율(δ)로 할인된 현재가치의 합으로써 식 (3-9)와 같이 구할 수 있게 된다.

$$NPV = \sum_{t=1}^m \frac{TP_t}{(1+\delta)^t} \quad \text{식 (3-9)}$$

잉여생산량 모델에서는 모델의 추정치로서 최대 지속적 어획량(MSY)과 MSY 시의 어획노력량 수준(E_{MSY})을 구할 수 있는데, 이를 구하는 공식은 다음과 같다.

잉여생산량 모델 균형상태에서 어획량은 어업자원의 성장률과 같기 때문에 식 (3-7)은 다음의 식 (3-10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$q \cdot E \cdot X = r \cdot X \cdot \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{식 (3-10)}$$

식 (3-10)을 X 에 대해 정리하면 식 (3-11)과 같이 되고,

$$X = \frac{K}{r} \cdot (q \cdot E - r) \quad \text{식 (3-11)}$$

이를 식 (3-6)에 대입하면 어획노력량 수준과 지속가능한 어획량과의 관계를 다음의 식 (3-12)와 같이 도출할 수 있다.

$$H = q \cdot K \cdot E \cdot \left(1 - \frac{q \cdot E}{r}\right) \quad \text{식 (3-12)}$$

이를 더욱 간단히 표시하면, $H = \alpha E - \beta E^2$ ($\alpha = qK, \beta = \frac{q^2 K}{r}$)으로 나타낼 수 있다. 따라서 어획량 자료와 어획노력량 자료만 있으면 회귀분석을 통해 각 계수의 값을 구할 수 있게 된다.

여기서, MSY를 얻을 수 있는 어획노력량 수준(E_{MSY})은 식 (3-12)를 어획노력량 수준(E)에 대해 미분함으로써 구할 수 있는데, 그 해는 다음의 식 (3-13)과 같다.

$$E_{MSY} = \frac{r}{2q} \quad \text{식 (3-13)}$$

그리고 이에 따른 최대 지속적 어획량(MSY)은 식 (3-13)을 식 (3-11)에 대입하여 구한 식 (3-14)와 같이 된다.

$$MSY = \frac{K \cdot r}{4} \quad \text{식 (3-14)}$$

지금까지 살펴본 Schaefer의 잉여생산량 모델은 자원의 성장곡선이나 어획노력량과 어획량간의 균형관계 등 비현실적인 가정을 하고 있는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위한 수정된 잉여생산량 모델들이 이후 발전되어오고 있다. 특히, 어업생산 모형에 있어서는 기존의 Schaefer 로지스틱 모형 외에 Fox(1970)는 식 (3-15)와 같이 자원군 크기가 지수적으로 감소한다고 가정하여 Gomperts의 개체군 성장식을 적용하여 지수함수 모형을 개발하였고,

$$f(X_t) = \ln(K) \cdot r \cdot X_t \cdot [1 - (\frac{\ln(X_t)}{\ln(K)})] \quad \text{식 (3-15)}$$

Pella and Tomlinson(1969)은 Schaefer의 함수에 지수 m 을 추가하여 식 (3-16)과 같은 일반화된 생산량 모델을 개발하였다.²¹⁾

$$f(X_t) = \frac{r}{m} \cdot X_t \cdot [1 - (\frac{X_t}{K})^m] \quad \text{식 (3-16)}$$

또한 Prager(1995)는 Schaefer의 균형생산량 모형의 가정에서 벗어나 어획노력량 수준 변화에 따른 어업자원의 동태적 자원량 변화를 추정할 수 있는 ASPIC(A Stock-Production Model Incorporating Covariates) 잉여생산량 모델을 개발하였는데, 이 모델에서는 부스트래핑(bootstrapping) 기법을 이용하여 추정계수의 신뢰도도 추정할 수 있어 최근 대서양참치보존위원회(ICCAT) 등에서 자원평가모델로 널리 활용되고 있다. 생물경제모델에서는 컴퓨터 프로그램을 이용하여 이 모든 잉여생산량 모델을 생물학적 자원동태모델로 활용할 수 있기 때문에 보다 정확하게 자원량과 자원동태 변화를 추정할 수 있는 모델의 사용이 중요하다.

(2) 연령구조 모델

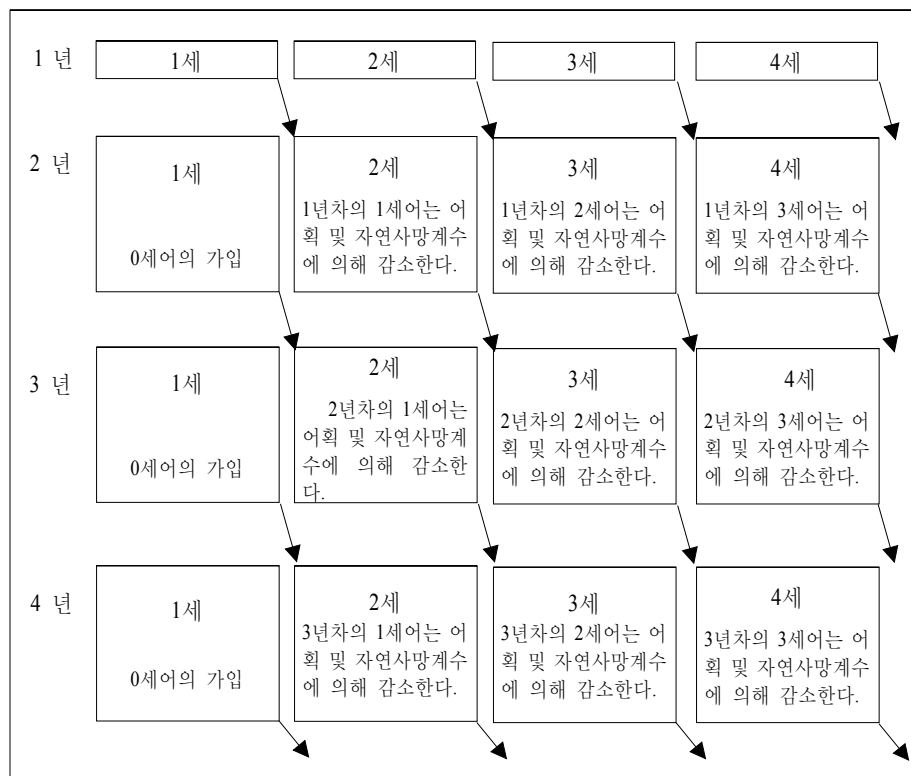
연령구조 모델은 잉여생산량 모델과 달리 어업자원의 연령별로 자원량과 자원동태 변화를 평가하는 방법으로, 구체적으로 연령별 개체수의 가입과 성장, 그리고 자연 및 어획사망에 대한 관계를 분석하는 모델방법이다.

따라서 가입이나 성장, 자연사망, 어획사망 등에 대한 정보와 어획개시 연령, 가입 연령, 최대 연령 등을 알 수 있으며, 주어진 가입 연령에 대한 최대생산량을 초래하는 어획률을 예측할 수 있다. 또한 연령별로 분석이 가능해 어업자원의 어획대상 부분과 비어획 대상부분을 상세하게 나타낼 수 있고, 어업자

21) 수정된 잉여생산량 모델에 대한 평가방법 및 MSY , E_{MSY} 등의 추정방법에 대한 자세한 설명에 대해서는 장창익(1991), 표희동(2001), Hilborn and Walters(2001) 등을 참조하기 바람.

원의 자원동태 변화를 포괄적으로 분석할 수 있는 장점이 있다. 여기에 더하여, 서로 다른 가입연령에 대한 어획량과 서로 다른 어획노력량에 대한 어획량을 동시에 검토할 수 있어 잉여생산량 모델에서 평가할 수 없는 다양한 어업관리수단에 대한 효과분석이 가능하다. 하지만 연령구조 모델을 구축하기 위해서는 가입량 함수, 어업자원의 연령구조, 연령별 개체수, 성장함수, 연령별 어획 및 자연사망계수 등 생물학적 자료가 충분히 조사 및 수집되어야 한다.

보다 구체적으로 연령구조 모델 하에서의 자원동태 변화는 다음의 <그림 3-5>와 같이 나타낼 수 있다.



<그림 3-5> 연령구조 모델 하에서 시간의 흐름에 따른 연령별 자원량 변화

어획활동이 행해지지 않을 경우 자원량 수준은 가입량과 자연사망계수에 의해서만 변하게 된다. 하지만 어획활동이 이루어지면 어획사망계수가 부과되어 자원량 변화를 더욱 가속시키게 된다. 이에 따라 연령별 자원량 구성이 바뀌게 되며, 어획에 의하여 친어 자원량 수준이 변하기 때문에 가입량도 변하게 되어 전체적인 자원량 수준은 바뀌게 된다. 만약 자연사망계수를 포함한 어획률이 성장률과 가입률의 합보다 크게 되면 전체 자원량 수준은 감소하게 되고, 그 반대이면 전체 자원량 수준은 증가하게 된다.

앞의 <그림 3-5>에서는 연령구조 모델 하의 연차별 연령별 자원량에 대한 처음 1세어로부터의 후방적 변화를 보여준다. 그림에서 행은 각 연령을 나타내고, 열은 4년 동안의 연령별 자원량 변화를 나타내고 있다. 1세 때의 0세어 가입은 친어자원량-가입량의 함수식으로부터 구해지고, 어획활동이 이루어지면 연령별 어획사망계수에 의해 연령별 어획량이 결정되고, 이를 더함으로써 총어획량이 구해진다.

연령별 자원량 변화를 수식으로 살펴보면, $t+1$ 기의 각 연령군의 개체수 ($N_{a+1, t+1}$)는 다음의 식 (3-17)과 같이 t 기의 어획사망(F_t)과 자연사망(M)으로부터 감소된 개체수(N_a, t)에 의해 결정된다.

$$N_{a+1, t+1} = N_{a, t} \cdot e^{-(M+F_t)} \quad \text{식 (3-17)}$$

여기서, $t+1$ 기와 t 기 사이의 연령군 a 의 개체수 감소분은 식 (3-18)과 같게 되고,

$$N_t - N_{t+1} = N_t - N_t \cdot e^{-(M+F_t)} = N_t(1 - e^{-(M+F_t)}) \quad \text{식 (3-18)}$$

그 결과 t 기의 연령군 a 의 어획개체수(C_t)는 총 개체수 감소분 중에서 어획에 대한 부분으로 다음의 식 (3-19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C_t = \frac{F_t}{M + F_t} \cdot N_t \cdot (1 - e^{-(M + F_t)}) = \frac{F_t}{M + F_t} [N_t - N_{t+1}] \text{식 (3-19)}$$

식 (3-19)에 연령군 a의 체중(w_a)을 곱해주면 t기의 연령군 a의 어획량($H_{a,t}$)을 구할 수 있다. 그리고 t기의 총어획량(H_t)은 식 (3-20)과 같이 연령별($a=1, \dots, n$) 어획량의 합으로써 구할 수 있게 된다.

$$H_t = \sum_{a=1}^n N_{a,t} \cdot \frac{F_{a,t}}{F_{a,t} + M_a} \cdot (1 - e^{-(M_a + F_{a,t})}) \cdot w_a \quad \text{식 (3-20)}$$

식 (3-20)의 총어획량에 시장가격(p)을 곱하고 어업비용을 제하면 t기의 어업이익(π)은 식 (3-21)과 같이 구할 수 있다.

$$\pi = H_t \cdot p - C(E_t) \quad \text{식 (3-21)}$$

생물경제모델 시뮬레이션 분석에서 m기간 동안 발생할 총어업이익은 각 기간에 발생하는 이익(TP_t)을 사회적 이자율(δ)로 할인된 현재가치의 합으로써 식 (3-22)와 같이 구할 수 있게 된다.

$$NPV = \sum_{t=1}^m \frac{TP_t}{(1 + \delta)^t} \quad \text{식 (3-22)}$$

이러한 자원동태 모델과 어업경제 모델을 컴퓨터 프로그램을 이용해서 생물경제모델을 구축하여 어획사망계수 변화를 통한 어업관리수단들의 효과를 평가하게 된다.

제4장

생물경제모델 활용의 외국사례 분석

1. 선행연구들

앞서 살펴본 바와 같이, 생물경제모델링 방법은 생물학적 자원동태모델과 어업경제모델을 동시에 고려하기 때문에 어업관리수단으로부터의 어획사망계수 변화에 따른 자원량의 동태적 변화뿐만 아니라 어업이익 변화를 동시에 추정할 수 있어 어업관리수단 평가를 위한 가장 좋은 방법 중의 하나이다. 이에 따라 <표 4-1>에서 보는 바와 같이, 생물경제모델은 최근 국제적으로 어업관리수단 평가방법으로 널리 활용되고 있다.

생물경제모델을 사용하여 어업관리수단의 효과를 분석한 선행연구들은 크게 이론적 연구와 실증적 연구로 구분할 수 있다. 그리고 각 연구에 있어서는 단일어업에 있어서의 어업관리수단 효과분석과 복수어업에 있어서의 어업관리수단 효과분석으로 크게 대별할 수 있다. 평가된 어업관리수단의 종류는 망목규제, 금어기, 금어구와 같은 기술적 규제수단, 허가제, 어획노력량 통제 등과 같은 어획노력량 관리수단, 그리고 TAC 등과 같은 어획량 관리수단 등 제2장에서 언급한 어업관리수단들 대부분이 포함된다.

이론적 연구에 있어서는 가상의 어업활동을 가정하고 생물경제모델을 구축하여 어업관리수단의 효과를 분석하였다. Anderson(2000)은 자유어업(open access) 하에서의 TAC수단과 출어당 어획량 통제수단(Trip Limit)과의 효과를 비교 분석했는데, TAC수단 하에서보다 출어당 어획량 통제수단 하에서 조업

일수가 보다 길어질 수 있어 어업인들이 보다 안정적으로 조업을 행할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 Anderson(2000)은 잉여생산량 모델을 자원동태모델로 하여 ITQ수단에 대한 효과 분석을 행했는데, 어업이익 측면, 시장수급 측면, 어업구조조정 측면에서 올림픽 방식의 TAC수단과 ITQ수단의 효과를 비교 및 평가하였다. 그 결과 ITQ 수단 하에서 어선별 어업이익이 더 높게 나타났다, 시장공급측면에서도 연중 안정적인 공급이 가능한 것으로 분석되었다.

〈표 4-1〉 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 실증 분석한 선행연구

선행연구	생물경제모델에서 사용된 생물학적 자원동태모델	분석대상 어업 및 어종	평가된 어업관리수단의 종류
Anderson and Kim (2002)	연령구조모델	미국 멕시코만 레드그루퍼 어업	금어기, 출어당 어획량 통제 수단 등
Chakravorty and Nemoto (2001)	수정된 잉여생산량 모델	미국 하와이 연승어업	금어구역, 세금(Tax) 수단
Sakuramoto <i>et al.</i> (2001)	연령구조모델	일본 근해 도루묵 어업	MPA, 어획노력량 통제
Pastoor <i>et al.</i> (2000)	연령구조모델	북해 가자미(plaice) 어업	MPA
Pezzy <i>et al.</i> (2000)	잉여생산량 모델	캐리비안 어업	MPA
Lee, Larkin, and Adams (2000)	연령구조모델	미국 북대서양 황새치(swordfish) 어업	TAC, 어선감척사업 등
Eggert and Ulmestrand (2000)	연령구조모델	노르웨이 가재(lobster) 어업	어획노력량 통제
Griffin <i>et al.</i> (1999)	연령구조모델	미국 멕시코만 레드스넵퍼(red snapper) 어업	TAC, BRD, Bag Limit
Sun (1999)	잉여생산량 모델	대만 근해어업	어선감척사업
Thunberg, Helser, and Mayo (1998)	연령구조모델	미국 대서양 민대구(silver hake)어업	기술적 규제

〈표 4-1〉 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 실증 분석한
선행연구(계속)

선행연구	생물경제모델에서 사용된 생물학적 자원동태모델	분석대상 어업 및 어종	평가된 어업관리수단의 종류
Walters and Bonfil (1998)	연령구조모델	캐나다 브리티쉬 컬롬비아 트롤어업	MPA, TAC 등
Bjorndal and Conrad (1998)	잉여생산량 모델	노르웨이 밍크 고래(minke whale)어업	-
Sumaila (1998)	잉여생산량 모델	북동대서양 바렌츠 해 대구(cod)어업	MPA
Danielsson <i>et al.</i> (1997)	연령구조모델	아이슬란드 대구(cod)어업	TAC
Ruth and Lindholm (1996)	연령구조모델	미국 조오지뱅크 수역 저서어업	기술적규제, 어획노력량 통제
Yew and Heaps (1996)	잉여생산량 모델	말레이시아 북서반도 소형표층어업	허가정수제도
Overholtz <i>et al.</i> (1995)	연령구조모델	미국 뉴잉글랜드 저서어업	어획노력량 통제
Kuronuma and Tisdell (1994)	잉여생산량 모델	남극해역 밍크 고래(minke whale) 어업	-
Edward and Murawski (1993)	잉여생산량 모델	미국 뉴잉글랜드 저서어업	ITQ
Polacheck (1990)	연령구조모델	미국 조오지뱅크 수역 대구(cod) 어업	금어구역
Pikitch (1987)	연령구조모델	미국 오레곤 저서어업	망목규제
Murawski (1984)	연령구조모델	미국 조오지뱅크 수역 저서어업	망목규제

Conrad(1999), Pezzy et al.(2000)은 잉여생산량 모델을 이용한 생물경제모
델을 구축하여 해양보호구역(MPA : Marin Protected Area)을 추정했다. 특히,
Conrad의 연구에서는 TAC수단과 MPA수단의 병용효과를 함께 검토하였다.
또한 잉여생산량 모델 추정의 불확실성을 줄이기 위해 자원량 추정계수에 대

한 확률적 변수를 사용해서 결정적 모형과 확률적 모형 두개를 설정하여 MPA 수단 효과와 TAC와 병용된 MPA의 효과를 분석하였다. 이들의 연구 분석결과, MPA에 의한 자원량 및 어획량 증대효과는 MPA의 면적과 어종별 이동률에 따라 크게 달라지는 것으로 나타났다. 특히, TAC수단과 병용될 경우 자원량 증대효과는 더욱 크게 나타난 반면, 자원회복이 이루어지기까지의 어획량은 큰 폭으로 감소하는 것으로 평가되었다.

Ward(1994)는 잉여생산량 모델을 바탕으로 복수어업에 있어서의 혼획관계를 분석하고, 어업관리수단으로서의 '부수어획감소장치(BRD : Bycatch Reduction Device)'의 효과를 이론적으로 분석했다. 분석 결과에 있어서는 혼획 관계에 있는 어종의 경우 개별어종별 관리보다는 복수어종별 관리가 반드시 필요한 것으로 나타났다. 그리고 BRD를 사용할 경우 혼획되는 어종의 가입량이 증가하고, 그 결과 전체적인 자원량 수준도 높아지는 것으로 분석되어 BRD 사용 효과가 큰 것으로 평가되었다.

생물경제모형을 이용하여 어업관리수단을 분석한 실증적 연구도 <표 4-1>에서 보는 바와 같이 이론적 연구만큼이나 많이 이루어졌다. 최근에는 생물학적 자료수집으로 인한 어종별 자원동태모형의 활용이 가능해짐에 따라 다양한 어업관리수단에 대한 생물경제모형 활용이 더욱 증가하고 있다. 생물경제모형을 구축하여 어업관리수단의 효과를 실증적으로 분석한 몇몇 연구들의 분석내용을 살펴보면 다음과 같다.

Chakravorty and Nemoto(2001)는 미국 하와이 연승어업에 있어서 수정된 잉여생산량 모델을 사용하여 금어구역 수단과 세금 수단의 효과를 비교·분석하였다. 이들의 연구에 있어서는 복수어업 관계를 분석하여 바다거북 보호에 따른 황새치 자원량의 변화를 살펴보고, 각 관리수단에 따른 어업인의 소득변화가 평가되었다. 금어구역이나 세금 수단에 의해 어업인들의 소득은 감소하는 것으로 나타난 반면 자원량 증대에는 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 바다거북의 서식처를 금어구역으로 지정함으로써 바다거북의 감소를 막을 수 있는 동시에 황새치의 자원량도 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Sakuramoto et al.(2001)은 어획량 예측모델과 연령구조모델을 이용하여 일본 근해 도루묵 자원에 대한 MPA제도의 효과를 분석하였다. 분석 결과, 3년간의 MPA수단을 사용할 경우 도루묵 자원량이 크게 증가될 수 있는 것으로 나타났는데, MPA 지정 해역의 범위가 넓을수록 그 효과는 더욱 커지는 것으로 나타났다. 또한 어획노력량 수준이 현재 수준보다 2/3 정도로 통제될 경우에도 자원량 증대효과를 기대할 수 있는 것으로 분석되었는데, MPA 효과와 병행된다면 자원량 증대효과를 보다 크게 나타낼 것으로 추정된 반면, 어업이익은 자원회복기간 동안 크게 감소하는 것으로 평가되었다. 이 연구결과는 우리나라에서도 자원량이 크게 감소한 도루묵 관리에 많은 시사점을 제공해 주었다.

Lee, Larkin, and Adams(2000)는 미국 북대서양 황새치 자원에 대한 연령구조모델 결과를 바탕으로 TAC수단, 어선감척사업에 대한 효과를 분석하였다. 분석에 있어서 아무런 규제수단이 없는 현 상태를 기준으로 해서 각 어업관리수단의 효과를 검토하였다. 분석 결과, 현 어획량 수준보다 약 25% 정도 적은 수준에서 TAC를 설정하면 자원량은 증가추세로 돌아서는 반면 향후 5년간 어업이익은 무려 52%나 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 어선척수를 25% 감척한다면 황새치 자원량이 증가함과 동시에 어선척수 감소에 따라 잔존어선별 향후 5년 동안 어업이익은 40% 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

Sun(1999)은 잉여생산량 모델로 대만 근해 총어업자원에 대한 자원량 평가를 바탕으로 생물경제모델을 구축하여 어선감척사업에 대한 시나리오별 분석을 행했는데, 어선감척이 이루어지지 않을 경우 총자원량 수준은 계속 낮아지는 것으로 나타난 반면, 시나리오에 따른 어선감척이 이루어질 경우 자원량은 증가하는 것으로 분석되었다. 특히, 시나리오별 분석에 있어서 어선감척기간이 짧을수록 자원량 증대효과가 큰 것으로 나타난 반면 자원회복이 이루어지기 전까지의 어획량은 급격히 감소하는 것으로 추정되었다.

이와 비슷한 연구로 Kim and Lee(2004)는 우리나라의 총연근해 어업자원을 ASPIC 잉여생산량 모델로 추정하고, 생물경제모델을 구축하여 지난 1994~2003년간 실시된 어선감척사업의 효과를 분석하였다. 분석 결과, 어선감척사업으로

인해 자원량의 감소율이 보다 둔화된 것은 사실이지만, 지속적인 자원량 감소 추세를 반전시킬 수는 없는 것으로 평가되었다. 자원량 추세를 증가시키기 위해서는 톤수 환산한 표준화된 어선의 약 30% 정도가 감소되어야 하는 것으로 분석되어 향후 우리나라 어선감척사업에 대한 정책적 시사점을 제공해 주었다.

Thunberg, Helser, and Mayo(1998)는 미국 대서양 민대구 어종에 대한 연령구조모델 평가를 바탕으로 치어의 어획을 줄일 수 있는 기술적 규제수단(망목규제, 금어기, 금어구역 등)의 효과를 분석하였다. 분석 결과, 치어에 대한 어획압력을 증가시킬 경우 단기적인 어업이익은 증가하지만 장기적으로는 치어 남획으로 인한 자원량 감소에 따라 어업이익이 감소하는 것으로 분석된 반면, 기술적 수단을 통해 치어의 어획률을 낮출 경우 자원량 증대 효과와 장기적인 어업이익 증대효과를 거둘 수 있는 것으로 평가되었다.

Sumaila(1998)는 잉여생산량 모델을 하부 자원동태모델로 한 생물경제모델을 구축하여 북동대서양 바렌츠 해 대구자원에 대한 MPA 효과를 분석했다. 본 연구에서는 MPA 면적에 따른 대구어업에 대한 영향을 실증적으로 분석했는데, 어업이익을 가장 크게 하는 MPA 면적을 구하려고 시도하였다. 물론 정확한 대구자원의 이동률을 구할 수 없어 이동률을 가정하여 분석했지만, 최적의 경제적 효과를 얻을 수 있는 MPA의 면적을 추정했다는 점에서 본 연구의 의의가 크다고 할 수 있다. 하지만 어획노력량 수준 증대에 따른 경제적 효과, 즉 어업비용 증가에 따른 어획노력량 감소 효과를 고려하지 않아 보다 현실적인 MPA 효과분석이 이루어지지 못한 단점이 있다.

Danielsson et al.(1997)은 아이슬란드 수역 대구어업자원 관리를 위해 TAC 제도의 효과를 분석했는데, 대구자원의 동태변화는 연령구조모델에 의해 평가되었다. 본 연구에서는 복수어종에 대한 관계를 TAC 효과분석에 포함시켜 대구, 빙어(capelin), 새우 어종 간의 자원량 변화를 동시에 분석했다. 모델분석 결과에서는 대구어업에 있어서 TAC제도를 시행할 경우 대구자원은 증가할 것으로 추정된 반면, 대구자원 증가에 의해 대구의 먹이가 되는 빙어와 새우의 자원량은 감소하는 것으로 분석되었다.

Ruth and Lindholm(1996)은 컴퓨터 프로그램인 'STELLA II(High Performance Systems, 1994; Hannon and Ruth, 1994)'를 이용하여 미국 북동부 조오지뱅크 수역 저서어종(Cod, Haddock, Pollack)의 복수어종모형을 구축하여 기술적 규제수단(망목규제)과 어획노력량 감축효과를 분석하였다. 각 어종마다의 체장, 연령별 어획사망계수 등의 차이에 따라 어업관리수단의 효과분석이 달리 나타났는데, 현행 망목 크기가 계속 유지될 경우 모든 어종의 자원량은 여전히 감소하는 것으로 나타났다. 더구나 망목 크기를 확대하더라도 명태(Pollack) 자원은 다소 증가하는 반면 대구(Cod)와 해덕(Haddock) 자원량은 계속 감소하는 것으로 분석되어 현행 규제수단 이외에 대체적인 관리수단의 적용이 필요하다고 지적하였다.

이와 비슷한 연구로 Overholts et al.(1995)은 미국 북동부 뉴잉글랜드 저서어종에 대한 복수어종 생물경제모형을 구축하여 어획노력량 감축효과를 살펴 보았다. 이 연구에서는 보다 구체적인 어업이익 효과를 분석하기 위해 어종별 가격함수를 추정하여 생물경제모형과 결합하였다. 이에 따라 어업관리수단에 의한 어종별 공급 차이에 따라 발생하는 가격 변화와 소비자 잉여를 동시에 분석하였다. 분석 결과, 현재의 어획노력량 수준을 30~60% 정도 감소시키면 향후 어업자원량은 증가하고, 그 결과 어획량과 어업이익도 크게 증가할 수 있는 것으로 나타났다. 이 연구는 뉴잉글랜드 어업관리위원회에 향후 저서자원 회복을 위한 중요한 정책적 근거를 제시했을 뿐만 아니라 동태적인 가격변화를 생물경제모형 분석에서 함께 고려했다는 데 의의가 크다고 할 수 있다.

우리나라에서 생물경제모형을 활용하여 어업관리수단을 분석한 연구는 그리 많지 않다. 앞서 언급한 Kim and Lee(2004)가 ASPIC 잉여생산량 모델을 바탕으로 한 생물경제모형을 구축하여 우리나라 어선감척사업의 효과를 분석한 연구가 있고, 김도훈(2004)이 미국 멕시코만 레드그루퍼(red grouper)와 옐로우엣지그루퍼(yellowedge grouper)의 복수어종 생물경제모형을 활용해 TAC, 연승어구 금지수단, 1800 파운드 출어당 어획량 통제수단의 효과를 분석했다. 이 외에 조정희·홍성걸(2001)이 생물경제모형을 이용해 우리나라 고등어 자

원에 대한 평가를 실시했지만, 동태적 최적 어획노력량 및 자원량 수준을 분석했을 뿐 어업관리수단에 대한 효과는 분석하지 않았다. 표희동(2001)은 생물학적 자원동태모델의 종류를 살펴보고 각 모델의 추정방식과 MSY, MEY, EMSY, CMSY 등과 같은 모델에 의한 추정 결과치에 대해 비교분석하였다. 그리고 분석한 모델들을 이용해 몇몇 어종에 대해 실증적으로 자원량을 추정해 보았지만, 생물경제모델을 이용한 어업관리수단의 효과분석은 행해지지 않았다.

다음에서는 생물경제모델에 의한 어업관리수단의 평가 결과가 실질적으로 어업관리정책에 반영되어 운영되고 있는 사례를 바탕으로 생물경제모델의 구축방법, 분석대상이 된 어업관리수단의 종류, 어업관리수단의 효과분석 결과, 모델 추정의 유용성과 한계점 등을 살펴보았다.

2. 생물경제모델의 활용사례 (1) : 미국 멕시코만 레드 그루퍼 어업

1) 어업배경

레드그루퍼(red grouper)는 미국 멕시코 만에서 게그(gag), 블랙그루퍼(black grouper)와 더불어 상업적 어업 및 유어업으로 어획되는 천해 그루퍼류의 대표적인 어종으로서 전체 그루퍼 어획량의 약 60%를 차지하고 있는 중요한 어종이다. 1986~1998년 동안 생산량 수준은 4천 톤에서 2천 톤으로 격감했다가 1999년 이후에는 매년 약 3천2백 톤대를 유지하고 있다. 레드그루퍼는 연승어업에서 약 42%, 기계식 외줄낚시어업에서 약 34%, 그리고 유어업에 의해 21% 정도가 어획되고 있다.

최근 레드그루퍼에 대한 자원량 감소 우려에 따라 2000년 10월 처음으로 연령구조모델에 의한 레드그루퍼 자원량 평가가 이루어졌는데, <표 4-2>에서와

같이 자원평가 결과 현재의 친어 자원량 수준은 남획상태에 있고, 어획사망계수 평가 결과 남획이 계속 진행 중인 것으로 나타났다.

〈표 4-2〉 레드그루퍼 자원평가 결과

최대 지속적 생산량(MSY)	1,380(MT)
MSY 수준의 어획사망계수(F_{MSY})	0.270
2000년도의 어획사망계수(F_{2000})	0.302
F_{2000}/F_{MSY}	1.117
최대 지속적 어획 가능한 친어자원량 수준(SS_{MSY})	350.7
2000년도의 친어자원량 수준(SS_{2000})	246.3
SS_{2000}/SS_{MSY}	0.702

이에 따라 멕시코만 어업관리위원회는 미국 어업법에서 규정하는대로 레드그루퍼 자원을 10년간의 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준으로 회복시키기 위해 〈표 4-3〉과 같은 어업관리수단을 제시하여 각 수단에 대한 효과를 분석하고자 하였다.

〈표 4-3〉 레드그루퍼 자원회복 어업관리수단

어업관리수단 1	5개월 금어기(2월 15일 ~ 7월 15일) 수단
어업관리수단 2	1개월 금어기(2월 15일 ~ 3월 15일) 수단과 연승어선의 50패덤 이내에서의 조업금지 수단 ²²⁾
어업관리수단 3	3개월 금어기(1월 ~ 3월) 수단과 2,000 파운드 출어당 어획량 수단

22) 해양대기청 수산국의 플로리다 출어자료에 의하면, 1998~2000년 동안 연승어선은 50패덤 이내에서 약 82~99%의 레드그루퍼를 어획하고 있고, 이 중 46~70%는 30패덤 이내에서 어획하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 연승어구가 치어의 산란장 파괴 등 해양환경에 대한 악영향을 초래하고 있는 것으로 나타났기 때문에 연승어선을 50 패덤 밖으로 축출한다면 레드그루퍼 자원량 증가에 큰 효과가 있을 것으로 예상되어 제시되었다.

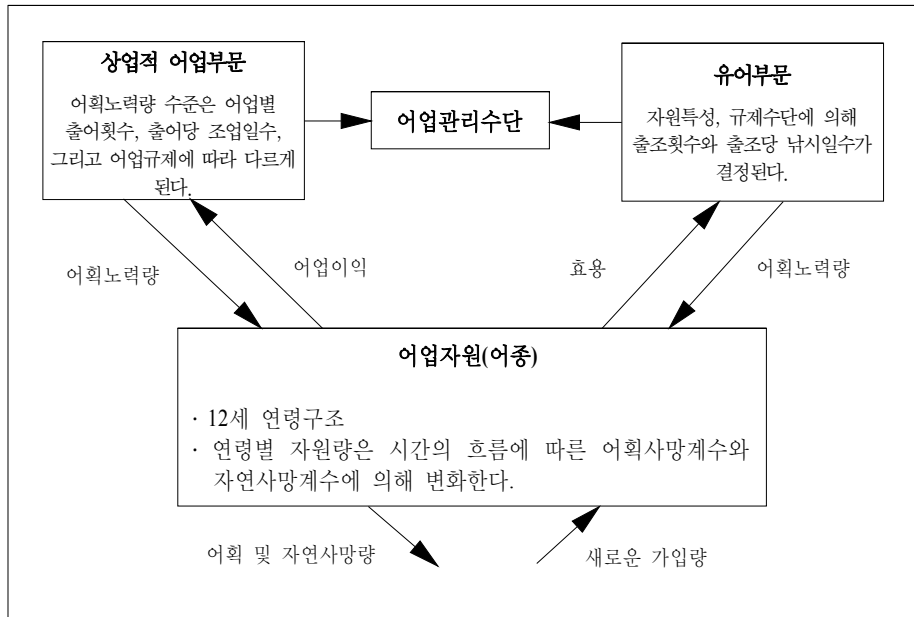
2) 생물경제모델의 구축

Anderson and Kim(2002)은 어업관리위원회에 의해 제시된 어업관리수단의 효과를 평가하기 위해 Anderson의 'LEM 생물경제모델²³⁾'을 이용·발전시켰다. LEM 모델은 연령구조 자원동태모델(an age-structured model)을 바탕으로 최대 12세 연령구조까지 어종에 대한 상업적 그리고 유어업에 의한 자원량 변화 분석을 행할 수 있다. 모델의 분석을 위해서는 <표 3-2>에서 살펴본 자료와 같이, 초기 자원량 수준과 연령별 자원상태, 어선과 유어업자의 수, 가입량과 연령 성장식에 있어서의 결정계수, 연령별 성숙도, 연령별 어획 및 자연사망계수, 그리고 경제적 효과분석을 위한 분석대상 어종의 시장가격과 어업비용 자료, 어획노력량 등의 자료가 필요하다.

12세까지의 각 연령마다 분리하여 어획사망계수와 자연사망계수에 의한 자원량 변화와 어획량 변화를 분석하기 때문에 모델구조는 상당히 복잡하게 된다. LEM 모델의 기본적인 흐름은 다음의 <그림 4-1>과 같이 요약 할 수 있다.

그림에서 보는 바와 같이, 각 어업부문은 어획노력량(어선수, 출어횟수, 출어당 조업일수)을 투입하여 어획을 행함으로써 상업적 어업부문에서는 어업수입을 얻게 되고, 유어부문에서는 어획활동을 통한 효용을 얻게 된다. 이러한 각 어업부문에서 투입된 어획노력량은 각 연령별 자원량 수준에 영향을 미치게 된다. 그리고 어업관리수단이 적용되면 각 어업부문의 어획노력량 수준이 통제되어 자원량 수준이 변하게 되는데, 감소된 어획사망률의 정도에 따라 그 변화를 달리하게 된다.

23) 미국 해양대기청 수산국(NOAA Fisheries)의 연구기금으로 미국 델라웨어대학(University of Delaware)의 Lee G. Anderson 교수에 의해 2000~2002년 동안의 연구를 통해 개발되었다.



〈그림 4-1〉 LEM 생물경제모델의 흐름도

연령별 자원량은 〈그림 3-5〉와 같이 변하게 되는데, 어업이 행해지지 않을 경우 자원량 수준은 가입량과 자연사망계수에 의해서만 변하게 된다. 하지만 어업이 행해지면 어획사망계수가 부가되어 자원량 변화를 더욱 가속시키게 된다. 이에 따라 연령별 자원량 구성이 바뀌게 되며, 어획에 의하여 친어 자원량 수준이 변하기 때문에 가입량도 변하게 되어 전체적인 자원량 수준이 변하게 된다. 만약 자연사망계수를 포함한 어획률이 성장률과 가입률의 합보다 크게 되면 전체 자원량 수준은 감소하게 되고, 그 반대이면 자원량은 증가하게 된다.

(1) 레드그루퍼 생물학적 모델

① 친어자원량과 가입량의 관계(stock-recruitment relationship)

가입량은 매년 어획될 수 있는 자원량으로 가입되는 양을 말한다. 레드그루퍼 자원평가보고서에 의하면, 친어자원량과 가입량과의 관계를 베벌튼-홀트 함수

수식(Beverton-Holt recruitment function)을 이용하여 다음의 식 (4-1)과 같이 추정하였다.

$$N_1(t) = \frac{\alpha \times SS(t-1)}{\beta + SS(t-1)} \quad \text{식 (4-1)}$$

여기서, SS는 친어자원량(spawning stock)으로 연령별 자원량에 평균 산란량(fecundity)을 곱하여 12세 연령 모두의 합으로써 구해졌다. α 와 β 는 가입량을 구하기 위한 결정계수로써 $\alpha=6,729,860$, 그리고 $\beta=150,428,000$ 으로 분석되었다.

② 자원동태분석

각 연령별 초기 자원량 수준은 연령별(a) 순간자연사망계수(Ma)와 어업기간 동안의 어업별 어선(i)에 의한 순간어획사망계수(Fa,i)에 의해 감소하게 된다. t기와 t+1기 사이의 연령별 자원량 변화식은 식 (4-2)와 같다.

$$N_{a+1,t+1} = N_{a,t} \cdot e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a,i})} \quad \text{식 (4-2)}$$

앞서 언급한 것과 같이, 레드그루퍼는 연승어선(42%), 기계식 외줄낚시어선(34%), 그리고 유어(24%)에 의해 대부분 어획되고 있기 때문에 이 세 가지가 모델에서 주된 어업($i=1,2,3$)으로 가정되었다.

③ 어획량

연령별 자원량 수준의 변화식으로부터 t기와 t+1기 사이의 연령별(a) 자원량의 감소는 다음의 식 (4-3)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} N_{a,t} - N_{a+1,t+1} &= N_{a,t} - N_{a,t} \cdot e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a,i})} \\ &= N_{a,t} \cdot (1 - e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a,i})}) \end{aligned} \quad \text{식 (4-3)}$$

따라서, t기의 연령별(a) 어획($C_{a,t}$)은 식 (4-4)에서와 같이 연령별 총자원량 감소 중 어획으로 인한 비율로써 구할 수 있다.

$$C_{a,t} = \frac{\sum_{i=1}^3 F_{a,i}}{(\sum_{i=1}^3 F_{a,i} + M)} \cdot (1 - e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a,i})}) \quad \text{식 (4-4)}$$

그리고 t기에 있어서 연령별 어획량($WC_{a,t}$)은 단순히 연령별 어획($C_{a,t}$)에 연령별 체중(w_a)을 곱해주면 된다. 따라서 t기의 총어획량(WC_t)은 식 (4-5)와 같이 연령별 어획량의 합으로써 구해진다.

$$WC_t = \sum_{a=1}^{12} N_{a,t} \frac{\sum_{i=1}^3 F_{a,i}}{(\sum_{i=1}^3 F_{a,i} + M)} \cdot (1 - e^{-(M + \sum_{i=1}^3 F_{a,i})}) \cdot w_a \quad \text{식 (4-5)}$$

(2) 경제학적 모델

① 총어업수입과 비용

t기의 총어업수입(TR_t)은 총어획량(WC_t)과 레드그루퍼 단위당 시장가격(p)을 곱하여 구했다($TR_t = WC_t \cdot p$). 그리고 레드그루퍼 시장가격은 해양대기청 수산국의 시장가격조사 자료의 1996~2001년간 평균으로부터 구했다(\$5/kg).

또한 t기의 총어업비용(TC_t)은 각 어업별 총변동비용($TVC_{i,t}$)과 총고정비용($TFC_{i,t}$)의 합으로 구했는데 [$TC_t = \sum_{i=1}^3 (TFC_i + TVC_{i,t})$], t기의 총변동비용($TVC_{i,t}$)은 각 어업별 어선의 출어횟수($Trips_{i,t}$)와 출어비용(TTC_i)의 함수로써 구해졌다. 그리고 각 어업별 어선의 출어비용은 고정적인 것으로 가정되었는데²⁴⁾, 각 어업별 출어비용과 고정비용은 다음의 <표 4-4>와 같다.

〈표 4-4〉 어업별 어선수, 출어횟수, 출어당 조업일수, 어업비용

	연승어선	기계식 외줄낚시어선
어선수	105	200
연간 출어횟수	10.15	18
출어당 조업일수	12	7
출어비용	\$2,200	\$650
고정비용	\$29,139	\$16,662

② 총어업이익

t기에 있어서의 총어업이익(TPt)은 총어업수입(TRt)에서 총어업비용(TCt)을 차감함으로써 구할 수 있고 $TPt = TRt - TCt$, 분석 결과 향후 m기간 동안 발생하는 어업의 할인된 총어업이익(NPV)은 각 기간에 발생하는 어업이익을 사회적 이자율(δ)로 할인하고 m기간 동안의 합으로써 구해진다.

(3) 어획노력량

각 어업별 어선의 어획노력량은 해양대기청 수산국의 멕시코만 어업항해일지(logbook)의 1999~2001년 동안의 자료로부터 분석되었다. 매년 1000 파운드 이상 어획하는 어선을 대상으로 어선수, 출어횟수, 출어당 조업일수를 조사하였다(〈표 4-4〉 참조).

유어활동에 대한 자료부족으로 인하여 유어의 총어획노력량을 구하는 것이 불가능하였다. 실제적으로 유어활동 모델은 자원특성의 변화, 즉 일일 어획량의 변화나 평균 어체 크기 등에 따라 파악된 유어자들의 출어횟수가 변화도록 설정되어야 하는데, 이러한 모델을 위한 자료가 전무하였다. 따라서 본 연구에서는 유어자수를 고정하고, 이들의 조업행동은 자원특성에 의해 변하지 않고 단지 자원량의 증가에 따라 출조횟수가 증가하는 것으로 가정하였다.

24) 어업별 어선의 출어비용은 1996년에 전체 멕시코만에서 행해졌던 어선별 출어경비 조사보고서의 자료를 이용하였다(Waters, 1996). 하지만 보고서에서는 각 어업별로 어선을 소형어선과 대형어선으로 나누어 각각의 출어비용을 조사하였기 때문에 본 연구에서는 모델의 적합성을 위해 가중평균을 이용해서 동일한 어선의 출어비용으로 가정하였다.

(4) 생물경제모델의 조정과 적용

모델의 적합성을 위해 2001년도 실제 어획량에 맞도록 모델이 조정되었다. 상업적 어업의 어획능률계수(catchability coefficient)를 2001년 상업적 어업에 의한 어획량과 일치하도록 조정하였다. 그리고 유어에 있어서는 추정된 어획량이 2001년 실제 어획량과 일치하도록 유어자 수를 조정하였다. 모델 조정 후 정밀도를 추정해 본 결과 전체적으로 실제 어획량과 3% 정도의 오차가 발생했는데, 상업적 어업의 경우에는 실제 어획량과 100% 일치하였고, 유어에 있어서는 5% 정도의 오차가 발생하였다. 하지만 이 정도의 오차는 총어획량의 1% 미만인 수준이므로 모델에 의해 추정된 어획량은 실제 어획량과 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다.

그리고 모델 분석에 있어서 제안된 어업관리수단 2를 분석하기 위해서는 모델을 다소 수정하는 것이 필요하였다. 어업관리수단 2의 연승어선 50패덤 이내에서의 조업금지수단은 이 수단이 선택되면 연승어선은 레드그루퍼를 거의 어획하지 못하게 된다. 하지만 장비교체의 용이성, 장비교체에 따른 규제의 미비 등으로 연승어선이 기계식 외줄낚시어선으로 전환하게 될 가능성이 제기되었다. 2002년 5월 멕시코만 어업관리위원회의 주최로 열린 생물경제모델 워크숍에서 관리위원회 관계자 및 어업인들은 정책수단 2가 선택될 경우 약 70%의 연승어선들이 기계식 외줄낚시어선으로 전환할 것이라고 전망했다. 이에 따라 본 연구에서는 전문가들의 의견을 수렴하여 어업관리수단 2의 분석에 있어서는 70%의 연승어선이 기계식 외줄낚시어선으로 전환한다고 가정하고 어획능률계수를 변환시켰다. 또한 출어비용도 기존의 연승어업에서보다는 낮아질 것으로 모델을 조정하였다.

3) 모델 분석 결과

생물경제모델 분석 결과에서는 레드그루퍼의 친어 자원량 수준 변화, 특히 자원회복기간 10년 동안의 목표 자원량 달성여부를 평가의 중심으로 하였

다.²⁵⁾ 이를 위해 각 어업관리수단별 10년 기간 후의 SS_{MSY} 에 대한 자원량의 퍼센트로 나타내었다. 그리고 경제적 효과분석에서는 각 수단별에 따른 어업별 어업이익의 변화를 파악하였다. 여기서 어업별 어업이익은 7%의 사회적 이자율을 사용하여 향후 25년 기간 동안 발생할 어업이익을 현재가치로 할인하여 더함으로써 구했다.

사전분석 결과, 유어 어획량에 대한 통제가 이루어지지 않을 경우 제안된 어업관리수단 모두 목표 자원량 수준을 달성할 수 없는 것으로 평가되었다. 이는 유어부문의 어획량 비중(약 21%)이 커서 상업적 어업의 통제에 따른 자원량 증가 효과를 유어부문의 어획량 증가가 그 효과를 상쇄시켰기 때문이었다.²⁶⁾ 따라서 유어활동에 대한 관리 분석을 위해 멕시코만 어업관리위원회에 의해 제공된 레드그루퍼의 총허용어획량(TAC) 중 유어업의 평균 어획량에 해당하는 21%를 유어업에 대한 TAC로 미리 설정해 놓고, 상업적 어업에 대한 각 어업관리수단의 효과를 분석하였는데, 그 결과는 다음 <표 4-5>에 정리되어 있다.

유어활동에 대한 TAC 규제가 이루어지면 모든 어업관리수단 하에서 목표 자원량 수준이 거의 달성되었다. 어업관리수단 1에서는 10년 후의 자원량이 목표 자원량의 96%에 이르렀고, 어업별 어업이익도 연승어업과 기계식 외줄낚시어업에서 각각 19%와 38%씩 현 상태 하에서보다 증가하는 것으로 추정되었다. 특히, 유어업에 대한 TAC가 적용되지 않았을 때는 연승어업의 경우 현 상태 하에서보다 적은 어업이익을 거뒀으나, 유어업이 TAC에 의해 통제되어지면 자원증가에 따라 어획량 수준이 보다 높아지기 때문에 어업이익이 증가하게 된 것이다.

25) 멕시코만 어업관리위원회는 최대 지속적 생산량을 유지할 수 있는 자원량 수준(X_{MSY})을 목표 자원량으로 정했는데, 본 모델 분석에 있어서는 생물학자들의 권고에 따라 친어 자원량을 자원량의 대리 변수로 하여 목표 친어 자원량 수준(SS_{MSY})을 목표 자원량 수준으로 간주하였다.

26) 현행 유어활동에 대한 규제로는 20인치 체장제한이 있는데, 모델에 사용된 유어업의 어획사망계수가 이미 이 규제 하에서 조사된 것이기 때문에 이 수단의 효과는 이미 모델 결과에서 분석된 것이라고 볼 수 있다.

〈표 4-5〉 레드그루퍼의 생물경제모델에 의한 시뮬레이션 분석 결과

	$SS_{10}/SS_{MSY}^{1)}$	$SS_{25}/SS_{MSY}^{2)}$	연승어업의 어업이익 ³⁾	기계식외줄낚시 어업의 어업이익 ⁴⁾	총어업이익 ⁵⁾
현 상태 유지정책	55%	52%	49.6	25.6	75.2
어업관리수단 1	96%	96%	58.9 (19%)	35.2 (38%)	94.1 (25%)
어업관리수단 2	100%	101%	19.3 (-61%)	55.2 (116%)	74.5 (-1%)
어업관리수단 3	105%	114%	23.0 (-54%)	49.9 (95%)	72.9 (-3%)

- 주 : 1) 목표 자원량(SSMSY)에 대한 10년 후의 자원량 비율(%)
 2) 목표 자원량(SSMSY)에 대한 25년 후의 자원량 비율(%)
 3) 연승어업의 향후 25년 기간동안 발생할 어업이익을 현재가치로 할인한 어업이익(백만 달러)
 4) 기계식외줄낚시어업의 향후 25년 기간동안 발생할 어업이익을 현재가치로 할인한 어업이익(백만 달러)
 5) 향후 25년 동안 할인된 어업전체의 총이익
 6) 괄호 안의 퍼센트는 현 상태 유지정책으로부터의 변화된 정도를 의미함.

어업관리수단 2 하에서는 10년 후의 자원량이 목표 자원량 수준을 달성하는 것으로 나타났다. 그러나 상업적 어업의 어업이익 변화는 어업별로 크게 상반되는 것으로 나타났는데, 어업관리수단 2 하에서는 70%의 연승어선만이 낮아진 어획강도로써 조업을 행하기 때문에 연승어업의 어획량이 크게 줄어들었고, 이에 따라 어업이익도 크게 감소(-61%)한 것으로 분석되었다. 이에 반해 연승어업의 어획강도 저하로부터 상대적 자원이용의 이점을 얻게 된 기계식 외줄낚시어업의 경우는 어업이익이 크게 증가하였는데, 현 상태 유지정책 하에서보다 무려 116%나 증가한 것으로 분석되었다. 하지만 기계식 외줄낚시어업의 어업이익 증가가 연승어업의 어업이익 감소분보다 적어서 어업 전체의 총이익은 현 상태 유지정책 하에서보다 다소 감소한 것으로 나타났다.

어업관리수단 3에서는 자원량이 다른 관리수단 하에서보다 크게 증가한 것으로 분석되었는데, 10년 후의 자원량이 목표 자원량 수준을 초과 달성한 것으로

로 추정되었다(105%). 출어당 어획량 통제 때문에 연승어업의 경우 어업이익이 감소한 것으로 분석된 반면, 연승어선의 어획량 저하에 따른 상대적 자원이용의 우위를 점한 기계식 외줄낚시어업의 어업이익은 크게 증가한 것으로 나타났다.²⁷⁾ 그러나 어업관리수단 2의 분석 결과와 마찬가지로, 기계식 외줄낚시어업의 어업이익 증가가 연승어업의 어업이익 감소분보다는 적어서 전체적인 상업적 어업의 총어업이익 수준은 현 상태 유지정책 하에서보다 낮은 것으로 평가되었다.

4) 모델의 유용성 및 한계점

본 모델 분석 결과 레드그루퍼 자원회복을 위한 정책적 운용에 많은 시사점을 얻을 수 있었는데, 첫째, 다양한 어업관리수단 중에서 관리수단 1과 2 하에서 자원회복기간 동안 목표 자원량이 달성될 수 있는 것으로 나타나 자원학적 측면에서 보다 합리적인 것으로 평가되었다. 둘째, 어업이익의 경제적 효과분석에서는 어업관리수단 1 하에서 연승어업과 기계식 외줄낚시어업 모두 어업이익이 증가할 수 있는 것으로 추정되었다. 하지만 다른 두 관리수단 하에서는 어업별 경제적 효과가 상반되었다. 셋째, 유어부문 관리에 있어서도 분석 결과에서 중요한 점을 발견할 수 있었는데, 어업자원 회복을 위해서는 상업적 어업뿐만 아니라 유어부문에 대한 통제도 보다 강화되어야 함을 알 수 있었다. 분석에 있어서는 분석의 편의상 유어부문에 대한 TAC수단을 설정하여 어업관리수단을 분석했지만, 이것은 반드시 유어부문에 대한 TAC 규제가 이루어져야 한다는 것이 아니라 TAC에 의해 규제되는 어획량만큼은 반드시 다른 유어 관리수단에 의해 통제되어야 함을 의미한다.

27) 레드그루퍼 어업에 있어서 1999~2000년 동안의 어업별 평균 출어당 어획량을 살펴보면 연승어선이 평균 1,956~3,532파운드를 어획하고 있는 반면, 기계식 외줄낚시어선의 경우 대략 620파운드 정도를 어획하고 있다. 따라서 2,000파운드 출어당 어획량 통제수단은 연승어선의 조업에 많은 영향을 미치게 되어 연승어선의 어획량이 크게 줄어들 수 있게 된다. 이와 반대로, 기계식 외줄낚시어선은 어업자원 이용의 상대적 경쟁력 강화로 전체적인 어획량 수준은 높아질 수 있게 된다.

이상의 분석 결과를 바탕으로 멕시코만 어업관리위원회는 어업인들의 여건 및 규제순응도, 고용효과, 해양환경에 대한 영향, 지역어업 여건 등을 부가적으로 고려하였다. 특히, 어업인들은 금어기 수단 등 하에서 지속적인 생산불능으로 인한 거래가격 하락을 우려하여 연중조업을 선호하는 것으로 나타났다. 또한 연승어선의 어획강도가 높아 자원량 감소에 대한 압력이 강하고, 어류의 서식지 파괴 등 해양환경에 대한 피해가 크기 때문에 연승어업을 점진적으로 철폐하고자 하였다. 따라서 위원회는 최종적으로 어업관리수단 2를 자원회복 계획 하의 어업관리 조치수단으로 채택하고자 하였다(GMFMC, 2002).

이러한 모델 결과의 유용성에도 불구하고, 모델의 단점으로는 첫째, 각 어업별 어선들은 레드그루퍼와 다른 어종을 동시에 어획하고 있기 때문에 레드그루퍼 어종에 대한 어업관리수단은 다른 어종에도 부정적 영향을 미칠 수 있다. 하지만 본 모델에서는 다른 관련어종에 대한 영향을 분석하지 못했다. 따라서 복수어종 생물경제모델을 구축하여 다른 관련어종의 영향까지도 함께 분석한다면 보다 현실적인 관리시사점을 제공해 줄 수 있을 것이다.

둘째, 자료부족으로 인해 어업활동에 대한 동태적인 변화를 고려하지 못했다. 즉 정태적인 어획노력량 자료만으로 분석하여 어업관리수단에 따른 어업활동 변화를 제대로 반영하지 못했다. 이를 위해서는 어업활동에 대한 자료를 더욱 보강하거나 혹은 분석에 있어서 민감도 분석을 통해 수단 평가에 대한 다양한 결과치들을 비교·분석할 수 있을 것이다.

셋째, 유어활동에 대한 자료부족으로 인해 유어부문의 생물학적 자원효과 및 경제적 효과분석이 행해지지 못했다. 보다 많은 자료가 수집되어 유업활동에 대한 수요함수가 추정된다면 이를 생물경제모델에 포함시켜 자원량 변화에 따른 출어일수의 변화 및 유어의 경제적 효과를 동시에 추정할 수 있을 것이다.

3. 생물경제모델의 활용사례 (2) : 미국 멕시코만 레드 스넵퍼 어업

1) 어업배경

레드스넵퍼(red snapper)는 위에서 분석한 레드그루퍼와 더불어 미국 멕시코만에서 가장 중요한 어종 중의 하나로, 멕시코 만에서의 어획량이 미국 총어획량의 95% 이상을 점하고 있다. 하지만 이러한 중요한 어종임에도 불구하고 자원량 평가 결과 자원량 감소현상이 아주 심각한 것으로 나타났는데, 1998년에 실시되었던 자원조사평가 결과에서는 1970년대 이후로 자원량이 무려 90% 정도 감소된 것으로 나타났다. 그리고 이러한 급격한 자원감소의 원인은 상업적 어업부문과 유어부문의 직접적인 성어자원 남획, 그리고 새우어업에 의한 레드스넵퍼 치어자원의 혼획 때문인 것으로 평가되었다(GMFMC, 1999).

이에 따라 멕시코만 어업관리위원회는 레드스넵퍼 자원을 안정적인 수준에서 지속적으로 이용하기 위해 자원회복 노력을 강구하면서 상업적 부문, 유어 부문, 그리고 새우어업에 대한 합리적인 통제를 기하고자 하였다. 보다 구체적으로 멕시코만 어업관리위원회는 <표 4-6>과 같은 어업관리수단을 제시하여 각 수단에 대한 효과를 비교 검토하고자 하였다.

<표 4-6> 레드스넵퍼 어업관리수단의 종류 및 내용

어업관리수단	어업관리수단의 내용
기준 정책수단(Base Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • TAC(6,0백만 파운드) <ul style="list-style-type: none"> - 상업적 어업부문의 TAC 할당 : 51% - 유어부문의 TAC 할당 : 49% + 10% 초과 할당 • 유어부문의 출조당 어획량 제한(bag limit) : 출조당 5마리 • 상업적 어업의 조업 개시일 : 2월 24일 • 상업적 어업부문의 출어당 어획량 통제 : 2,000파운드

〈표 4-6〉 레드스넵퍼의 어업관리수단의 종류 및 내용(계속)

어업관리수단	어업관리수단의 내용
1995년 유어 초과 어획량 수단 (1995 Overage Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • TAC(6,0백만 파운드) <ul style="list-style-type: none"> - 상업적 어업부문의 TAC 할당 : 51% - 유어부문의 TAC 할당 : 49% + 53% 초과 할당 • 유어부문의 출조당 어획량 제한(bag limit) : 출조당 5마리 • 상업적 어업의 조업개시일 : 2월 24일 • 상업적 어업부문의 출어당 어획량 통제 : 2,000파운드
혼획 감소장치 수단 (BRD Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • 레드스넵퍼 0세어의 어획 감소 : 0 • 레드스넵퍼 1세어의 어획 감소 : 44.5% • 새우혼획률 : 6.5% • 혼획된 새우의 생존율 : 50%
TAC 증대 수단 (Increased TAC Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • TAC(9,12백만 파운드) <ul style="list-style-type: none"> - 상업적 어업부문의 TAC 할당 : 51% - 유어부문의 TAC 할당 : 49% + 10% 초과 할당 • 상업적 어업의 조업 개시일 : 2월 1일
유어부문의 출조당 어획량 감소 수단 (Decreased Bag Limit Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • 유어부문의 출조당 어획량 제한(bag limit) : 출조당 4마리
1998년 현행 어업관리 수단 (1998 Current Policy)	<ul style="list-style-type: none"> • TAC(9,12백만 파운드) <ul style="list-style-type: none"> - 상업적 어업부문의 TAC 할당 : 51% - 유어부문의 TAC 할당 : 49% + 10% 초과 할당 • 유어부문의 출조당 어획량 제한(bag limit) : 출조당 4마리 • 레드스넵퍼 생존율 50% 하의 BRD 장착

2) 생물경제모델의 구축

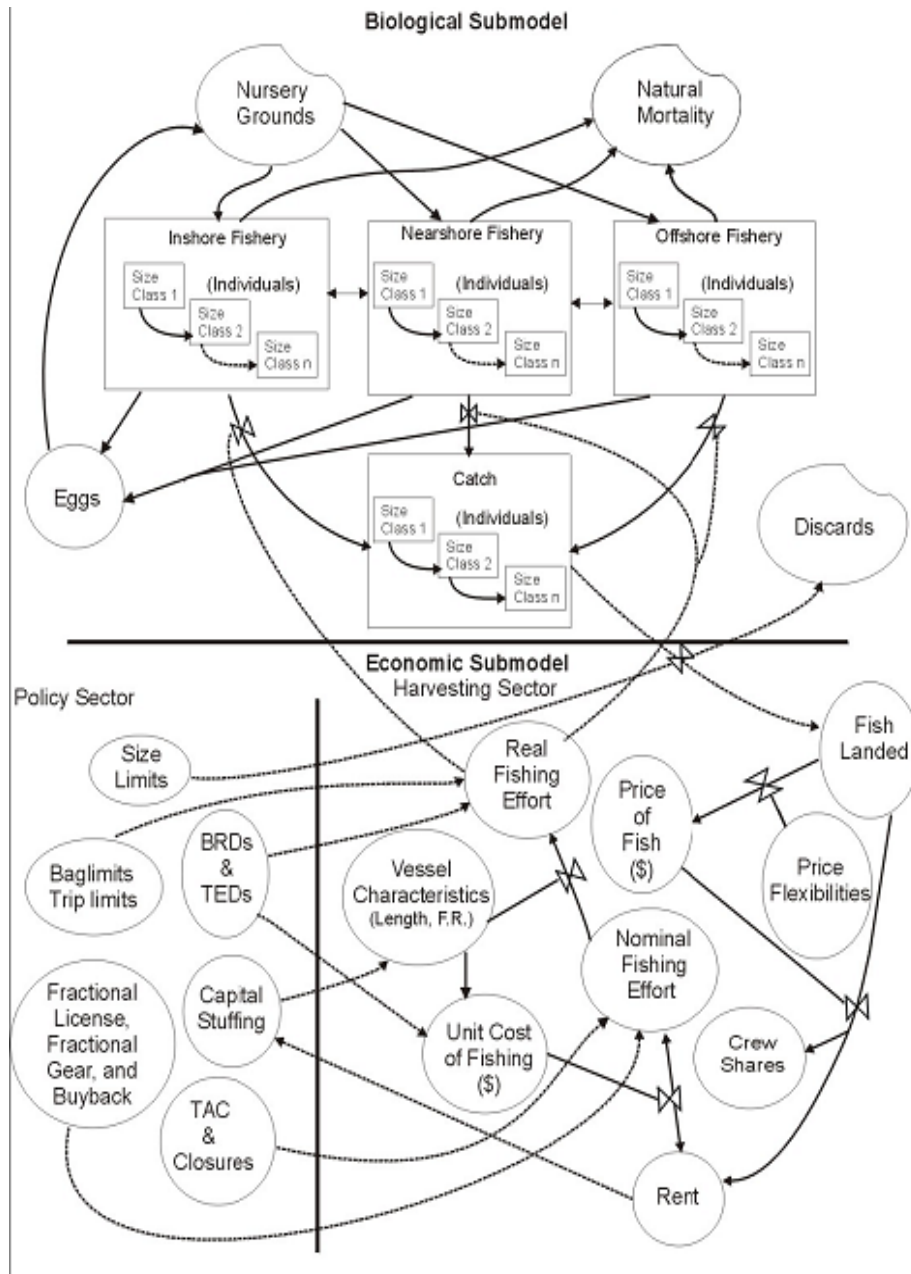
Griffin, Gillig, and Ozuna(1999)는 위에서 제시된 어업관리수단들의 효과를 평가하기 위해 Griffin이 개발한 생물경제모델(GBFSM : General Bioeconomic Fisheries Simulation Model)을 확장·이용하였다. GBFSM 자원동태모델은 연령구조모델을 바탕으로 단일어종은 물론 복수어종에 대해서도 어업관리수단의 효과까지도 분석할 수 있다.

GBFSM의 구조는 <그림 4-2>에서 보는 것처럼, 크게 생물학적 하부모델(biological submodel)과 경제적 하부모델(economic submodel)로 구성되어 있는데, 경제적 하부모델 하에서는 다시 어업관리수단을 나타내는 정책부문(policy sector)과 어업활동을 분석하는 어획부문(harvesting sector)으로 이루어져 있다. GBFSM의 장점으로서는 분석이 필요한 어업관리수단에 따라 생물학적 어획활동, 그리고 유어활동 등에 대한 하부모델들을 결합함으로써 다양한 어업관리수단의 효과를 평가할 수 있다는 데 있다. GBFSM으로 평가할 수 있는 어업관리수단들을 정리하면 다음의 <표 4-7>과 같다.

<표 4-7> GBFSM으로 분석할 수 있는 어업관리수단의 종류

1	해역별, 어종별, 계절별 어업금지 수단
2	해역별, 어종별, 수심별, 어선별, 계절별 혼획방지장치(BRD) 수단
3	지역별 어선별 허가금지 수단
4	어선감척사업
5	해역별, 어종별, 어선별 총허용어획량(TAC) 수단
6	상업적 어업 및 유어부문의 어종별 출어/출조당 어획량 통제 수단
7	체장제한 수단
8	특정어구 제한 수단

GBFSM은 멕시코만의 새우어업에 대한 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해 최초로 개발되었다. 따라서 본 연구에 있어서는 레드스넵퍼에 대한 어업관리수단의 생물학적 및 경제적 효과를 분석하기 위해 다소 수정되었다. 그러나 어업관리수단에는 새우어업에 의한 레드스넵퍼 혼획 효과도 함께 분석해야 하므로 기존의 새우어업에 대한 모델을 포함하여 GBFSM을 보다 확장시킨 것이라 할 수 있다.



〈그림 4-2〉 GBFSM의 구조도

(1) GBFSM의 생물학적 모델

GBSFS의 자원동태, 어획량의 생물학적 모델의 공식은 대부분 앞서 살펴본 레드그루퍼의 생물학적 공식과 거의 유사하다. 단, GBFSM 하의 레드스넵퍼에 대한 친어자원량-가입량의 관계(stock-recruitment relationship)는 다음의 식 (4-6)과 같이 리커(Ricker) 함수에 의해 추정되었다.

$$R = \alpha \cdot P \cdot e^{-\beta \cdot P} \quad \text{식 (4-6)}$$

여기서, R은 가입량, P는 산란량을 의미하고, 자원량 조사 및 평가 결과 $\alpha = 40.0$, $\beta = 0.00144$ 로 추정되었다. Ricker의 자원량-가입량의 관계식은 산란자원량과 가입량의 관계를 볼록(convex)한 형태로 나타나는데, 이에 따라 산란자원량이 증가할수록 특정 시점까지는 가입량도 증가하게 된다. 하지만 일정 시점을 넘어서서는 산란자원량이 증가하더라도 가입량은 감소하게 된다. 이는 먹이나 서식처 등의 환경적인 요인 때문으로 산란자원량이 증가할수록 먹이부족 현상이 발생하고, 심지어 레드스넵퍼와 같은 육식성 어종은 치어를 잡아먹는 요인 등으로 가입량이 감소하게 되는 것이다.

(2) 경제학적 모델

레드스넵퍼 GBFSM의 경제학적 모델에서는 하부구조모델로 3가지의 모델이 개발되어 GBFSM에 포함되었다. 첫 번째 모델은 레드스넵퍼의 상업적 어업부문, 유어부문, 그리고 새우어업에 대한 수요함수모델, 두 번째 모델은 레드스넵퍼의 상업적 어업부문과 새우어업의 생산자 및 소비자 잉여, 그리고 레드스넵퍼 유어부문의 소비자 잉여 추정모델²⁸⁾이 구축되었다. 마지막으로 세 번째 모델은 레드스넵퍼와 새우어업의 어획노력량 모델로, 이들 각 모델은 별

28) 미국 멕시코만 레드스넵퍼 유어부문의 수요함수는 여행비용법(Travel Cost Method)을 이용하여, 출조횟수에 따른 출조비용, 어획률, 소득, 어선유무, 경험에 대한 포아송(poisson) 모형과 음이항(negative binomial) 모형을 통해 유어부문의 수요함수를 도출하고, 유어활동의 경제적 가치를 추정하였다(Gillig *et al.*, 2000).

도의 연구에 의해 개발되어 GBFSM에 포함되었다. 특히 레드스넵퍼와 새우어업의 소비자 잉여와 생산자 잉여는 첫 번째 모델인 각 부문의 수요함수모델에서 추정된 가격탄력성을 이용하여 분석되었다.

레드스넵퍼와 새우어업의 어획노력량 모델은 어업관리수단에 따른 새우어업인들과 레드스넵퍼의 상업적 어업인 및 유어인들의 어획노력량 수준 변화를 분석하기 위한 것으로, GBFSM에서는 각 어업에 있어 어업지대가 발생할수록 어획노력량 수준이 증가하고, 반대로 어업지대가 없으면 어획노력량 수준이 감소하는 것으로 가정되었다. 현재 레드스넵퍼에 대한 TAC수단이 실시되고 있기 때문에 레드스넵퍼 상업적 어업부문의 어획노력량 수준은 상업적 어업부문의 TAC 할당량에 의해 결정된다. 마찬가지로, 레드스넵퍼 유어부문의 어획노력량 수준도 유어부문의 TAC 할당량에 의해 결정되고, 부가적으로 CPUE와 조업허용기간에 의해 결정되는 것으로 나타났다.

(3) 모델조정

앞서 설명한 생물학적 하부모델과 경제학적 하부모델로 구축된 GBFSM은 1995년 실제 자료치와 일치되도록 조정되었다. 1995년 자료치가 모델조정을 위한 근거로 선택된 것은 레드스넵퍼 상업적 어업부문과 유어부문의 어획량 및 어획노력량 자료가 가장 최근 자료였기 때문이었다.

3) 모델 분석 결과

모델 분석 결과에서 생물학적 효과는 향후 50년 이후의 레드스넵퍼 산란가능 자원량의 변화로 평가되었는데, 자원량이 많으면 많을수록 더 좋은 어업관리수단으로 판정되었다. 그리고 경제적 효과는 다음의 식 (4-7)에서 보는 바와 같이, 향후 50년 동안 발생할 레드스넵퍼 상업적 어업부문과 유어부문, 그리고 새우어업의 생산자 잉여와 소비자 잉여를 더한 총 잉여가치를 사회적 이자율로 할인한 현재가치의 합으로 분석했는데, 생물학적 효과분석에서와 마찬가지로 현재가치의 합이 크면 클수록 바람직한 어업관리수단으로 평가되었다.

$$TNS = CS_S + CS_{CR} + CS_{RR} + PS_S + PS_{CR} \quad \text{식 (4-7)}$$

여기서, CS_S 는 새우어업의 할인된 소비자 잉여($\sum_{t=0}^{50} (\frac{CS_{S_t}}{(1+\delta)^t})$), CS_{CR} 는 레드스넵퍼 상업적 어업부문의 할인된 소비자 잉여($\sum_{t=0}^{50} (\frac{CS_{CR}}{(1+\delta)^t})$), CS_{RR} 은 유어부문의 소비자 잉여($\sum_{t=0}^{50} (\frac{CS_{RR}}{(1+\delta)^t})$)를 의미한다. 그리고 PS_S 는 새우어업의 생산자 잉여($\sum_{t=0}^{50} (\frac{PS_{S_t}}{(1+\delta)^t})$), 그리고 PS_{CR} 은 레드스넵퍼 상업적 어업부문의 생산자 잉여($\sum_{t=0}^T (\frac{PS_{S_t}}{(1+\delta)^t})$)를 나타낸다. 생산자 및 소비자 잉여의 현재가치 계산에 있어서 사회적 할인율(δ)은 연방 편익비용분석 프로그램의 할인이자율 7%를 사용하였다.

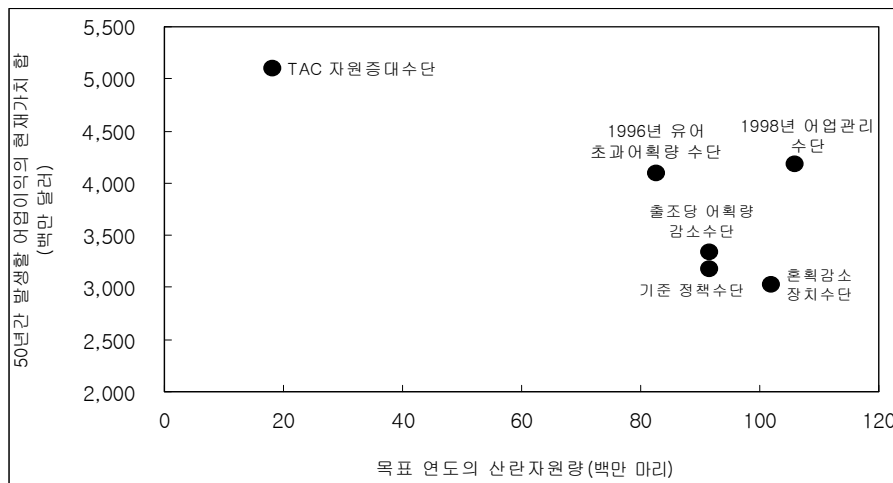
구축된 GBFSM을 이용하여 <표 4-6>의 어업관리수단을 평가해 본 결과는 다음의 <표 4-8>과 <그림 4-3>에 요약되어 있다. <그림 4-3>에서 쉽게 알 수 있는 것과 같이, 전체적으로 1998년 현행 어업관리수단이 다른 수단들보다 생물학적 효과나 경제적 효과에서 모두 우수한 것으로 평가되었다. BRD수단 하에서 자원량의 증가율이 가장 높은 것으로 나타났지만, 가장 낮은 경제적인 효과가 발생하는 것으로 분석되었다. 반면, TAC 증가수단 하에서는 가장 큰 경제적인 효과가 발생하는 것으로 나타났지만, 자원량 증대 효과는 미미한 것으로 추정되었다.

유어부문의 출조당 어획량 감소수단 하에서는 기준 정책수단 하에서보다 경제적인 효과는 조금 높은 것으로 나타났지만, 생물학적 효과는 거의 없는 것으로 나타나 레드스넵퍼 자원량 증대에는 다른 수단들보다 비교적 덜 효과적인 것으로 분석결과 확인되었다. 이러한 결과는 1995년 유어 초과 어획량 수단(1995 Overage Policy)에서도 비슷하게 나타났는데, 이로부터 유어부문에 대한 통제는 레드스넵퍼 자원량 증대에 별 효과가 없는 것으로 판명되었고, 상업적

〈표 4-8〉 GBFSM에 의한 어업관리수단 분석 결과

어업관리수단	산란가능 자원량 (SS)	소비자 잉여			생산자 잉여		어업별 총잉여		총잉여 (TSS+ TSR)
		CSS	CSCR	CSRR	PSS	PSCR	TSS (CSS+ PSS)	TSR (CSCR+ CSRR+ PSCR)	
Base	91.5	227.9	3.7	1363.8	1,566.6	22.2	1,794.6	1,389.9	3,184.5
1995 Overage	82.5	227.9	4.4	2,228.2	1,566.6	20.5	1,794.6	2,307.8	4,102.4
BRD	101.9	221.4	3.7	1,270.5	1,508.0	23.9	1,729.4	1,298.2	3,027.6
Increased TAC	18.0	227.9	5.6	3,287.0	1,566.6	10.6	1,794.6	3,303.2	5,097.9
Decreased Bag Limit	91.5	227.9	3.6	1,521.4	1,566.6	22.1	1,794.6	1,547.3	3,341.9
1998 Current	105.9	221.4	5.6	2,415.7	1,508.0	32.7	1,729.4	2,454.1	4,183.6

주 : 산란가능 자원량(spawning stock)의 단위는 백만 마리(Millions of Fish)이고, 경제적 효과분석의 소비자 및 생산자 잉여의 단위는 백만 달러(Millions of Dollars)임.



〈그림 4-3〉 평가된 어업관리수단 간의 효과 비교

어업부문을 통제하는 것이 자원량 증대에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다. 하지만 이들 유어부문의 관리수단들이 1998년 현행 어업관리수단과 결합된다면 자원량 증대효과나 경제적 효과는 크게 향상될 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 레드스넵퍼 자원량 증대 효과가 컸던 BRD(혼획방지장치)수단과 어업인들의 어획률이 높게 평가되었던 유어부문의 TAC 증대수단이 1998년 현행 어업관리수단과 결합되더라도 높은 자원량 증대효과 및 어획률 증가에 따른 생산자 잉여 및 소비자 잉여가 아주 높게 증가할 수 있는 것으로 추정되었다.

하지만 1998년 현행 어업관리수단의 적용으로 레드스넵퍼 자원량 및 경제적 인 효과가 증가할 수 있는 것으로 분석된 반면, 이 관리수단으로 인해 새우어업의 생산자 잉여와 소비자 잉여의 경제적 가치는 감소하는 것으로 추정되었다. 이는 BRD 장착으로 인해 새우어업의 어획률이 6.5% 정도 감소하기 때문이었다. 따라서 BRD를 더욱 개선시켜 새우 어획률을 감소시키는 것이 무엇보다 중요한 것으로 분석되었다.

4) 모델의 유용성 및 한계점

본 연구에서 구축된 GBFSM에서는 우선 복수어종 간의 관계를 분석하여 BRD와 같은 어업관리수단의 효과를 보다 구체적이고 현실적으로 분석하여 어업관리수단 운용의 직접적인 대상어종뿐만 아니라 다른 관련어종의 영향도 함께 평가하여 보다 많은 어업관리정책적 시사점을 얻을 수 있었다. 또한 유어부문에 대한 수요함수를 도출하고 이를 생물경제모델과 결합함으로써 어업관리수단에 따른 유어부문의 효과분석도 행할 수 있었다. 흔히 어업관리수단의 효과는 상업적 어업부문에 한해서만 하는 경우가 대부분이지만 유어부문의 비중이 증가하고 있는 어종에 있어서는 이러한 유어부문의 분석도 함께 행하는 것이 반드시 필요하다. 따라서 본 연구와 같은 생물경제모델에 유어활동 함수를 포함시켜 분석한 것은 향후 어업관리수단의 분석에 많은 시사점을 제공해 주고 있다.

이러한 유어부문에 대한 수요함수 추정 및 생물경제모델과의 결합 외에도

상업적 어업부문, 새우어업에 대한 수요함수를 추정하여 생물경제모델과 결합하여 분석함으로써 소비자 잉여와 생산자 잉여와 같은 보다 구체적인 경제적 효과분석이 가능하였다. 더욱이 수요함수가 생물경제모델에 결합됨으로써 시장상황 변화에 따른 어업생산의 변화도 역으로 분석할 수 있기 때문에 어업관리수단 분석으로부터 보다 많은 정책적인 정보를 얻을 수 있게 된다.

하지만 이러한 많은 모델 유용성에도 불구하고 많은 한계점을 드러냈는데, 우선 복수어종관계를 분석함에 있어서 어업인들의 어종대체 활동(target species switching behavior)이 고려되지 못했다. 즉, 레드그루퍼 어업통제를 위한 어업관리수단의 적용에 대해서 어업인들은 다른 어종에 대한 어획노력량 수준을 증가시키게 되는데, 이에 따라 다른 어종의 자원량이 감소할 수 있게 된다.²⁹⁾ 따라서 분석된 어업관리수단의 경제적 효과(생산자 및 소비자 잉여)가 지나치게 과다 추정되었을 우려가 있다. 따라서 향후 생물경제모델 활용에 있어서는 관련 어종까지도 함께 파악함으로써 보다 신뢰성 있는 분석 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

또 다른 모델의 한계점으로, 본 연구에서 자원회복기간 동안 자원량 증대를 최대화하거나 어업이익을 최대화할 수 있는 TAC 물량 설정 등 생물학적 그리고 경제적 효과를 최대화하는 각 어업관리수단의 내용에 대해서는 분석하지 못했다. 이러한 자원량 혹은 경제적 효과를 최대화할 수 있는 어업관리수단의 내용 및 수준을 분석하는 것은 향후 자원회복계획 하의 어업관리수단 설정 등에 있어서 반드시 필요한 것이다. 생물학적 그리고 경제적 효과를 극대화할 수 있는 어업관리수단의 내용 및 설정 수준을 평가하기 위해서는 앞의 제2장에서 살펴본 어업활동이론 중 동태 최적화 모델(dynamic optimization model)을 구축하고, 이를 생물경제모델에 결합함으로써 가능해진다.

29) 본 연구에 있어서는 BRD 장악에 따른 새우어업에 대한 효과가 분석되었지만, 레드그루퍼 상업적 어업인들의 다른 어종에 대한 어획활동은 분석되지 못했다.

제5장

생물경제모델을 이용한 우리나라 어업관리수단의 실증분석

본 장에서는 지금까지 살펴본 생물경제모델을 이용하여 실증적으로 우리나라 어업관리수단의 효과를 분석해 보고자 한다. 실증분석에 있어서는 고등어와 도루묵을 분석 대상으로 선정하고, 이들 어종에 대한 어업관리수단의 효과분석을 위한 생물경제모델의 구축과 활용에 대해서 간단히 살펴보았다. 고등어가 분석 대상으로 선정된 이유는 고등어의 경우 우리나라 연근해에서 어획량이 가장 많은 대표적인 어종일 뿐만 아니라 단일어업에 의해 주로 어획되고 있으므로 어업관리수단의 효과분석을 위해 가장 적합한 어종으로 판단되었기 때문이다. 뿐만 아니라 활용 가능한 생물학적 자료가 구비되어 있어 생물경제모델의 구축이 용이하였고, 특히 어업관리수단의 효과분석을 위한 생물경제모델의 분석사례로서 TAC제도의 효과를 분석할 수 있는 장점이 있기 때문이었다.

다음으로 도루묵의 경우는 내년부터 시행될 예정인 우리나라 수산자원회복계획의 시범어종이므로, 이 어종을 대상으로 생물경제모델을 활용한 어업관리수단의 효과분석 결과는 향후 시범사업에 있어 많은 시사점을 제공해 줄 수 있을 것으로 판단되었기 때문이다. 따라서 도루묵 생물경제모델 하에서는 제안된 자원회복 조치수단의 효과를 분석하여 자원회복기간 동안의 목표 자원량 수준 달성 여부를 중점적으로 평가해 보았다.

1. 고등어의 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석

1) 고등어 어획동향

우리나라 고등어 어획동향을 살펴보면, 1975~1987년까지는 5만~10만 톤에서 변동을 보였으며, 1988년 및 1989년에 15만 톤을 넘어섰다. 그 이후 10만 톤 수준으로 감소하였지만 1993년 이후 최근까지 15만 톤 이상을 유지하고 있다. 특히, 1996년에는 최고치인 42만 톤의 어획을 기록하기도 했다. 2004년도 현재 어획량은 184,324톤 수준이다.

고등어는 대형선망어업을 비롯한 유자망, 정치망, 저인망, 소형선망 등의 다양한 어업에 의해 어획되고 있다. 최근 들어 대형트롤어업을 비롯한 쌍끌이대형기선저인망 등의 저인망류 어업에 의한 어획비율이 점차 증가하고 있는 것으로 나타나고 있지만, 여전히 대형선망어업에 의한 고등어 어획량이 전체 고등어 어획량의 대부분(80~90%)을 차지하고 있다.

2) 고등어의 자원상태

국립수산물과학원에서는 고등어 자원상태를 대형선망어업의 CPUE(양망당어획량) 분석을 통해 평가하고 있다. 대형선망어업의 고등어 CPUE는 1985년에 6.9톤/양망으로 최저치를 보인 후 회복세를 보여 1996년에 36.5톤/양망으로 최고치를 나타낸 것을 제외하고는 평균 14톤/양망 수준을 보이고 있다. 최근 양망당 어획량은 2001년 16.0톤, 2002년 13.2톤으로 감소추세를 보였으며, 2003년도에는 14.1톤 수준을 기록하였다.

추정된 친어자원량 수준은 1996년 이후 40만 톤 이상 수준에서 변동하였으나, 최근에는 지속적인 감소추세를 보이고 있다. 뿐만 아니라 1세 이하 가입량 변동에서도 감소경향을 보이고 있는데, 1997년 이후 20만 톤 이상 수준에서 2002년에는 10만 톤 이하 수준으로 감소하였다. 고등어의 친어자원량과 가입

량은 1999년~2002년에 친어량 고수준 및 가입량 저수준으로 나타났으며, 2003년에는 친어량과 가입량이 모두 저수준에 있는 것으로 분석되었다.³⁰⁾

3) 생물경제모델의 구축

(1) 성장량 함수

고등어의 성장량 함수(G)는 식 (5-1)과 같이 일반적으로 가정되어지는 쉘퍼(Schaefer) 함수형태를 이용하였다.

$$G(X_t) = r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad \text{식 (5-1)}$$

여기서, r 은 자원의 본원적 성장률(intrinsic rate), K 는 최대 자원량 수준(carrying capacity), 그리고 X 는 자원량 수준을 나타낸다. 식으로부터 $X=K/2$ 일 때 성장량이 최대로 되고, 자원량 수준이 그 이후로 증가하게 되면 성장량은 오히려 감소하게 된다. 고등어의 경우 자원의 본원적 성장률(r)은 0.299, 최대 자원량 수준(K)은 1,530,000톤으로 추정되었다.³¹⁾

2002년도 현재 자원량 수준(X_0)은 350,000톤으로 조사되었는데³²⁾, 이는 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준($X_{MSY}=K/2=564,665$ 톤)의 약 62% 수준인 것으로 평가되었다.

(2) 어획량 함수

고등어 어획량 함수는 식 (6-2)와 같이 자원량 수준(X)과 어획노력량 수준(E)에 대해 선형적으로 비례하는 형태로 가정하였다(Clark, 1990).

30) 국립수산물과학원, 「한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요」, 2004.

31) 최영민 외 4a, “한국 근해 고등어의 자원평가 및 관리”, 한국수산자원학회지, 6(2), 2004, pp. 90~100.

32) 최영민 외 4b, “한국 근해 고등어의 생태학적 특성치 및 자원량 변동”, 한국수산자원학회지, 6(2), 2004, pp. 79~89.

$$H_t = q \cdot E \cdot X_t \quad \text{식 (5-2)}$$

여기서, q 는 어획능률계수(catchability coefficient), E 는 어획노력량 수준을 의미한다. 본 연구에서는 어획노력량 수준(E)을 총조업일수(출어횟수 \times 출어당 조업일수 \times 어선척수)로 가정하였다. 그리고 대형선망어업에서 고등어 총어획량의 약 90% 이상을 어획하고 있기 때문에 본 분석에서는 대형선망어업만이 고등어를 어획한다고 가정하였다.

2000~2003년 기간 동안 수산업협동조합중앙회의 「어업경영조사보고」에 의하면 대형선망 35통이 고등어 어획을 하고 있으며, 출어횟수는 연간 12회, 출어당 조업일수는 평균 24일로 나타났다(〈표 5-1〉 참조).

〈표 5-1〉 대형선망어업의 총어획노력량

구분	어선척수 (통)	연간 출어횟수 (회)	출어당 조업일수 (일)	총어획노력량 (일)
대형선망어업	35	12	24	10,080

(3) 자원동태함수

앞서 설명한 성장량 함수와 어획량 함수로부터 자원동태함수는 아래 식 (5-3)의 형태를 취하게 된다.

$$X_{t+1} = X_t + G(X_t) - H_t \quad \text{식 (5-3)}$$

여기서, X_t 와 X_{t+1} 은 각각 t 년도와 $t+1$ 년도의 고등어 자원량 수준, $G(X_t)$ 는 t 년도의 고등어 성장량, 그리고 H_t 는 t 년도의 고등어 어획량 수준을 의미한다. 식 (5-1)과 (5-2)에서 가정된 성장량 함수와 어획량 함수를 고려하면, 식 (5-3)은 다음과 같은 식 (5-4)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E_t \cdot X_t \quad \text{식 (5-4)}$$

식에서 보는 바와 같이, 성장량 수준이 어획량 수준보다 높으면 자원량은 증가하게 되고, 반대로 어획량 수준이 성장량 수준보다 높게 되면 자원량은 감소하게 된다. 따라서 어획노력량 통제수단이나 어획량 통제수단을 강구하여 성장량 이하로 어획량 수준을 제한하게 되면 고등어 자원량 회복을 도모할 수 있게 된다.

(4) 수입함수

t년도에 있어서 대형선망어업의 수입(TR_t)은 식 (5-5)에서와 같이 어획량 함수에서 평가된 t년도의 어획량(H_t)에 시장가격(p)을 곱함으로써 구했다.

$$TR_t = H_t \cdot p \quad \text{식 (5-5)}$$

고등어의 평균 시장가격(p)은 2002~2004년 기간 동안의 평균 가격으로 1,256원/kg으로 조사되었다.

(5) 비용함수

t년도 대형선망어업의 비용(TC_t)은 식 (5-6)과 같이 출어비용으로써 구했다. 이는 출어횟수($TRIP_t$)에 대한 함수로 출어당 비용(TTC : Trip Cost)은 일정한 것으로 가정하였다.

$$TC_t = TTC \cdot TRIP_t \quad \text{식 (5-6)}$$

대형선망어선의 평균 출어비용은 2000~2003년 기간 동안의 수산업협동조합 중앙회 「어업경영조사보고」로부터 구했는데, 총출어비용 2,603,894(천원)을 평균 출어횟수(12회)로 나누었다.

그리고 대형선망어선은 고등어 외에도 전갱이, 갈치, 삼치, 오징어 등 다양

한 어종을 함께 어획하고 있기 때문에 고등어 어획을 위한 출어비용을 구하기 위해서 대형선망어업 총어획량 중 고등어 어획량이 차지하는 비율 약 72%를 곱하여 계산하였다[3,099,092(천원)÷12×0.72].

(6) 이익함수

t년도의 고등어 대형선망어선의 어업이익(TP_t)은 총수입(TR)에서 총출어비용(TC_t)을 차감함으로써 구했다. 그리고 고등어 생물경제모델 하의 각 정책별 경제적 효과는 식 (5-7)과 같이 향후 25년간 발생할 연간 어업이익을 4% 사회적 이자율(i)로 할인한 현재가치(NPV)로써 분석하였다.

$$NPV = TP_0 + \frac{TP_1}{(1+i)} + \frac{TP_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{TP_{24}}{(1+i)^{24}} \quad \text{식 (5-7)}$$

$$= \sum_{t=0}^{24} \frac{TP_t}{(1+i)^t}$$

4) 어업관리수단

위에서 구축된 생물경제모델을 활용하여 효과를 분석할 고등어 어업의 관리 수단으로는 표 <6-2>와 같이 제안되었다.³³⁾ 고등어 어업의 생물경제모델에서는 어획량 통제수단인 TAC제도의 효과를 분석해 보고자 했다. 이에 따라 분석대상 정책수단 1은 2004년 고등어 TAC 물량 155,000톤으로 설정하여 향후 25년간의 자원량 변화와 어업소득 변화 등을 분석하였다. 다음으로 정책수단 2에서는 최영민 외 4a(2004)에서 권고한 환경적 요인을 포함하여³⁴⁾ 총허용어

33) 실증분석에 있어서는 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단 효과분석의 예를 보여주는 것이 목적이므로 현재 고등어에 대한 모든 어업관리수단을 분석하기보다는 주요 어업관리수단만을 선택하여 분석하였다.

34) 최영민 외 4(2004)에서는 고등어의 가입량과 해양환경요인의 관계를 제주도과 대마도 주변수역인 204선, 206선 및 207선에서 조사된 수온, 염분의 관측치와 동물성 플랑크톤, 요각류의 생체량 결과를 이용하여 분석하였다. 분석 결과, 고등어의 가입량과 동물성 플랑크톤 및 요각류 생체량 간의 상관관계는 1% 수준에서 유의한 것으로 나타났으며, 고등어 자원량 가입량(R_t)과 산란자원량(S_{t-1})간의 관계는 동물성 플랑크톤과 염분의 변동을 고려한 Penn and Caputi(1986) 모델 결과

획량 산정을 위한 정보수준 2단계를 적용했을 경우의 생물학적 허용어획량 수준인 82,687톤을 2004년도 TAC 물량으로 설정한 시나리오의 효과를 분석하고, 정책수단 1 하에서의 효과와 비교해 보고자 하였다. 또한 정책수단 3으로 는 최근 대형선망어업에서 자율적으로 실시하고 있는 3개월간 휴어제에 대한 효과를 분석하고자 하였다.

〈표 5-2〉 고등어 자원 어업관리수단

정책수단 1	2004년도 TAC 물량 155,000톤 설정
정책수단 2	2004년도 TAC 물량 82,687톤 설정
정책수단 3	3개월간 휴어제 실시

5) 분석 결과

생물경제모델을 활용하여 고등어 어업에 대한 각 어업관리수단의 자원량 수준 변화, 어획량 변화, 그리고 경제적 어업소득 분석결과는 다음의 〈표 5-3〉과 〈그림 5-1〉, 〈그림 5-2〉와 같다.

〈표 5-3〉 고등어 자원 생물경제모델 분석결과

	25년 후의 자원량 수준 (톤)	향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합 (천원)
정책수단 1	106,633	16,077,636
정책수단 2	462,905	46,818,546 (191%)
정책수단 3	389,932	42,582,143 (165%)

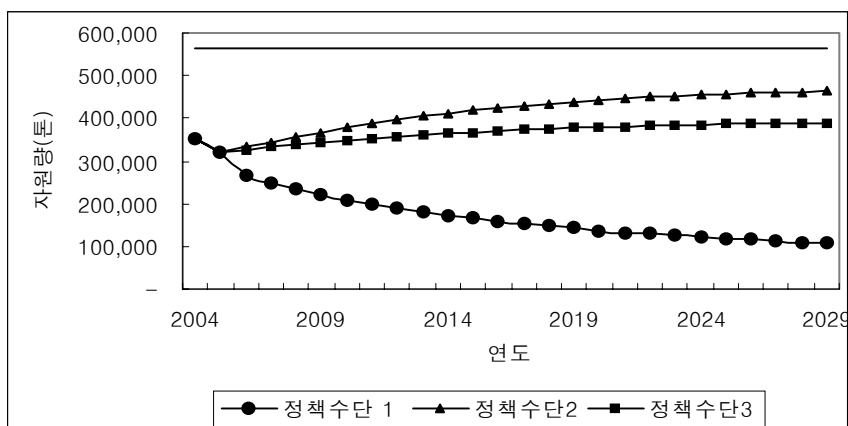
주 : 1. 총출어이익의 현재가치를 구할 때는 4%의 사회적 이자율이 적용되었음
2. 괄호 안의 퍼센트는 정책수단 1 하에서부터의 변화 정도를 나타냄

에 따라 $R_t = 0.546S_{t-1} \cdot \exp(-2E - 0.06S_{t-1} + 0.251Z_t)$ 로 구해졌다.

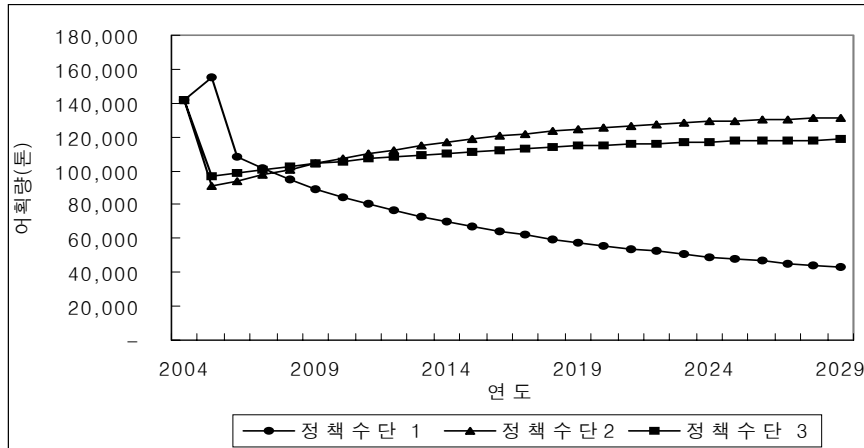
정책수단 1의 2004년도 TAC 물량을 155,000톤 수준으로 설정하게 되면 대형선망어업에 의한 어획사망계수(F , $F=q \cdot E$) 수준은 0.49 정도인 것으로 분석되었다. 이를 바탕으로 향후 고등어 자원량과 어획량 변화, 그리고 어업소득 변화를 분석해 본 결과 <그림 5-1>에서 보는 것처럼 현재의 어획사망계수 수준이 그대로 유지된다면 고등어 자원량은 계속 감소하는 것으로 추정되었다. 25년 후의 추정된 자원량은 106,633톤으로 현재 자원량 수준의 약 30% 정도, 그리고 고등어 X_{MSY} 수준의 약 19% 수준으로 감소하는 것으로 분석되었다.

그리고 자원량 감소에 따라 어획량 수준도 시간이 지남에 따라 점차 낮아지는 것으로 나타났다. 이에 따라 향후 25년간의 대형선망어업 총출어이익의 현재가치(NPV)는 16,077,636천 원으로 분석되었으며, 어선별 출어이익의 현재가치(NPV)는 459,631(천 원)로 추정되었다.

환경요인과 가입당산란자원량 유지를 위한 순간어획사망계수가 고려되어 TAC 물량(90,643톤)이 추정된 정책수단 2 하에서는 어획사망계수(F)의 수준이 0.28로 분석되었다. 이 수준이 계속 유지된다고 가정했을 경우의 고등어 자원량 변화는 시간이 지남에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다(<그림 5-1> 참조).



<그림 5-1> 각 정책수단 하에서의 고등어 자원량 변화



〈그림 5-2〉 각 정책수단 하에서의 고등어 어획량 변화

보다 구체적으로 25년 후의 자원량은 462,905톤으로 현재 수준보다 약 32% 증가하는 것으로 나타났고, 정책수단 1에서의 자원량 수준보다는 무려 334%나 높은 것으로 분석되었다. 그리고 어획량은 처음에는 TAC 물량 제한으로 인해 현재 수준보다 낮아지지만, 자원량 증대에 따라 이후에는 점차 증가하는 것으로 분석되었다(〈그림 5-2〉 참조). 이러한 어획량 증가에 따라 정책수단 2 하에서의 향후 25년 동안의 대형선망어업 총출어이익의 현재가치(NPV)는 46,818,546천원으로 분석되었다. 따라서 어선별 출어이익의 현재가치(NPV)는 1,337,673(천원)으로 나타났으며, 정책수단 1 하에서의 NPV와 비교하면 191% 정도 높은 것으로 추정되었다.

대형선망어업 3개월간 휴어제 효과분석을 위한 정책수단 3 하에서는 조업일 수가 줄어들어 어획사망계수(F) 수준이 0.30 정도로 추정되었다. 이 수준을 유지할 경우 고등어 자원량은 〈그림 5-1〉에서 보는 바와 같이, 시간이 지남에 따라 점차 증가할 것으로 추정되었다. 구체적으로 25년 후의 자원량은 389,932톤 수준으로 현재보다 약 11% 정도 증가하는 것으로 나타났다. 앞서 살펴본

정책수단 1과 비교할 때는 자원량이 크게 증가하는 것으로 나타났지만, 정책수단 2에 비해서는 어획사망계수 수준이 다소 높아 자원량 증가율이 낮은 것으로 분석되었다.

어획량 변화도 정책수단 2 하에서와 같이, 처음에는 조업일수 감소로 인하여 어획량이 현재 수준보다 낮은 것으로 나타났지만, 이후 자원량 증대에 따라 어획량 수준은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 어획량 증가에 따른 정책수단 3에 있어 향후 25년 동안 총출어이익의 현재가치(NPV)는 42,582,143천원으로 분석되었으며, 어선별 출어이익의 현재가치(NPV)는 1,216,643(천원)으로 나타났다. 이는 정책수단 1의 NPV에 비해 약 165% 정도 많은 것이지만, 정책수단 2에 비해서는 어획량 수준이 낮아 다소 적은 것으로 추정되었다.

6) 정책제언

이상의 고등어 생물경제모델 분석 결과와 같이, 2002~2004년 동안의 평균 어획량(149,375톤) 수준보다 높은 TAC 물량(155,000톤)이 설정될 경우 현재 X_{MSY} 수준보다 낮은 것으로 추정된 고등어 자원량의 증가를 기대하는 것이 어려운 것으로 분석되었다. 오히려 최근 설정된 TAC 물량 만큼에 따른 어획사망계수 수준이 유지될 경우 시간이 지남에 따라 자원량은 계속 감소하는 것으로 나타났고, 이에 따라 어획량도 현저히 감소할 것으로 추정되었다.

정책수단 2와 3의 효과분석 결과에서와 같이 TAC 물량이 현재수준보다 더욱 제한되거나 혹은 휴어제 등에 따라 조업일수가 감소하여 어획사망계수 수준이 낮아져야 자원량이 점차 증가하고, 이에 따라 어획량 수준도 꾸준히 높아질 수 있는 것으로 분석되었다. 그 결과 전체적인 어업이익도 크게 증대될 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 향후 고등어의 자원량 증대와 이에 따른 어획량 수준의 증가를 도모하기 위해서는 TAC 물량 설정의 경우 최영민 외 4a(2004)의 권고대로 82,687~108,181톤 수준에서 결정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그렇지 않을 경우 어획사망계수 수준을 0.26~0.34에서 유지할 수 있도록

휴어제 등을 보다 철저한 시행하여 조업일수 감축 등을 통해 현재의 어획사망 계수 수준을 낮추는 것이 필요하다. 그리고 경우에 따라서는 어선감척사업을 병행해 어선척수를 줄임으로써 어획사망계수 수준을 낮추고, 개별어선의 어업 이익 증가를 보다 확대하는 방안도 고려해 볼 필요가 있다.

2. 도루묵의 생물경제모델 구축 및 어업관리수단 분석

1) 도루묵의 어획동향

도루묵은 우리나라 동해 및 일본 중부 이북, 캄차카반도, 알래스카 및 사할린에 분포하고 있다. 우리나라의 경우 도루묵 남방한계 서식수역은 구룡포 장기갑 수역까지이며, 수온 2~13℃에 서식하는 냉수성 어류로 수심 100~200m 정도 대륙붕 모래, 진흙지역에 서식하는 것으로 추정되고 있다. 그리고 도루묵의 개체군은 편의상 ‘우리나라 동해계군’과 ‘일본 서해계군’의 2개 계군으로 분류되어 있다.

도루묵의 어획동향을 살펴보면, 1970년대 초에는 어획량이 25,000톤까지 증가하였으나 이후 급격히 감소하여 2,000톤 수준까지 감소하였다. 하지만 1980년대 중반 다시 10,000톤 이상으로 증가를 보였으나 이후 다시 감소하기 시작하여 현재는 평균 2,000톤 수준에 머물러 있다. 도루묵은 동해구기저, 서남해구기저, 동해구트롤, 대형기저, 연안자망 등 다양한 어업에 의해 어획되고 있다. 하지만 동해구기저에서 약 50% 정도, 그리고 연안자망에서 약 30% 정도를 어획하고 있어 이들 두 어업에 의한 도루묵 어획량이 전체 도루묵 어획량 가운데 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

2) 도루묵의 자원상태

국립수산물과학원에서는 자원회복계획을 바탕으로 한 어업관리체제의 구축을 위한 시범어종으로 도루묵을 선정하고, ASPIC 잉여생산량 모델³⁵⁾을 통해 도루묵의 자원량을 추정하였다. 자원량 평가 결과 <표 5-4>에서 보는 것처럼, 최대 지속적 어획 가능한 자원량(X_{MSY})은 약 27,090톤, 이 때 최대 지속적 어획량(MSY)은 8,393톤으로 추정되었다.

그리고 최대 지속적 어획 가능한 자원량 수준(X_{MSY})에 대한 현재 2004년도 자원량 수준(X_{2004})은 약 36%인 것으로 나타나 심각한 남획상태에 있는 것으로 평가되었다.

<표 5-4> 도루묵 자원에 대한 ASPIC 모델 분석 결과

추정변수	결과치
최대 자원량(K)	54,180(톤)
최대 지속적 어획량(MSY)	8,393(톤)
최대 지속적 어획가능한 자원량(X_{MSY})	27,090(톤)
최대 지속적 어획가능한 어획사망계수(F_{MSY})	0.31
최대 지속적 어획가능한 자원량에 대한 현재 자원량 비율(X_{2004}/X_{MSY})	0.3576
최대 지속적 어획가능한 어획사망계수에 대한 현재 어획사망계수의 비율(F_{2004}/F_{MSY})	0.92

또한 최대 지속적 어획가능한 어획사망계수 수준(F_{MSY})에 대한 최근 어획사망계수 수준(F)은 2002년까지는 약 1.8 이상으로 나타나 남획상태가 계속 진

35) ASPIC 모델은 비균형 쉘퍼(Schaefer) 잉여생산량 모델로 어획량(혹은 단위노력당 어획량)과 어획노력량 자료를 이용하여 최대 자원량(carrying capacity: K)과 자원의 본원적 성장률(r) 변수를 조절함으로써 자원량 수준을 평가하고, 식 (1)~(3)과 같은 생물학적 변수를 추정하게 된다. (1) $MSY = K \cdot r / 4$ (2) $X_{MSY} = K / 2$ (3) $F_{MSY} = r / 2$. ASPIC 잉여생산량 모델은 기존의 쉘퍼모델처럼 단순히 가정된 자원군의 변화로부터 균형어획량을 추정하여 자원량을 평가하는 것이 아니라 최대 자원량 수준, 자원의 성장률, 그리고 최대 가능생산량을 반복적으로 조절함으로써 모델로부터 추정된 어획량이 실제 어획량과 일치하도록 하고, 이로부터 추정된 변수를 이용하여 동태적인 자원량 수준 변화를 평가할 수 있다(Prager, 1995).

행 중인 것으로 판명되었지만, 2004년에는 F_{2004}/F_{MSY} 가 약 0.92 정도로 추정되었다. 하지만 현재 자원상태 등을 고려해 볼 때 도루묵에 대한 어획압력은 여전히 높은 것으로 판단되며, 도루묵 자원회복을 위해서는 어획사망계수 수준이 상당히 줄어들어야 하는 것으로 분석되었다.

3) 생물경제모델의 구축

(1) 성장량 함수

도루묵의 성장량 함수(G)는 앞서 ASPIC 모델에서 추정된 함수인 쉘퍼(Schaefer) 함수형태를 이용하였다.

$$G(X_t) = r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad \text{식 (5-8)}$$

고등어 생물경제모델에서 살펴본 것과 같이, 여기서 r 은 자원의 본원적 성장률, K 는 최대 자원량 수준, 그리고 X 는 자원량 수준을 나타낸다. 도루묵의 경우 ASPIC 모델 결과치로부터 자원의 본원적 성장률(r)은 0.61, 최대 자원량 수준(K)은 54,180톤으로 추정되었다. 이미 앞서 살펴본 바와 같이, 2004년도 도루묵 자원량 수준(X_0)은 9,687톤으로 추정되었는데, 이는 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준($X_{MSY}=K/2=27,090$ 톤)의 약 36% 수준인 것으로 평가되었다.

(2) 어획량 함수

도루묵 어획량 함수는 고등어 어획량 함수와 동일하게 식 (5-9)와 같이 자원량 수준(X)과 어획노력량 수준(E)에 대해 선형적으로 비례하는 형태로 가정하였다.

$$H_t = q \cdot E \cdot X_t \quad \text{식 (5-9)}$$

여기서, q 는 어획능률계수, E 는 어획노력량 수준을 의미한다. 본 분석에서는

앞서 구축한 고등어 생물경제모델에서와 같이 어획노력량 수준(E)을 총조업일수(출어횟수×출어당조업일수×어선척수)로 가정하였다. 그리고 앞서 언급한 것과 같이, 도루묵은 동해구기저, 서남해구기저, 동해구트롤 등 다양한 어업에 의해 어획되고 있기 때문에 본 분석에서는 이들 어선을 표준화하였다. 2000~2003년 기간 동안 수산업협동조합중앙회의 「어업경영조사보고」 자료를 바탕으로 표준화된 어선의 어획노력량 수준을 계산한 결과, 표준화된 어선의 출어횟수는 연간 128회, 출어당 조업일수는 평균 2일로 나타났다(〈표 5-5〉 참조).

〈표 5-5〉 도루묵 어업에 있어 표준화된 어선의 어획노력량

	어선척수 (척)	연간 출어횟수 (회)	출어당 조업일수 (일)	총어획노력량 (일)
도루묵 어업의 표준화 어선	42	128	2	8,998

(3) 자원동태함수

앞서 설명한 성장량 함수와 어획량 함수로부터 자원동태함수는 아래 식 (5-10)의 형태를 취하게 된다.

$$X_{t+1} = X_t + G(X_t) - H_t \quad \text{식 (5-10)}$$

여기서, X_t 와 X_{t+1} 은 각각 t년도와 t+1년도의 도루묵 자원량 수준, $G(X_t)$ 는 t년도의 도루묵 성장량, 그리고 H_t 는 t년도의 도루묵 어획량 수준을 의미한다. 식 (5-8)과 (5-9)에서 가정된 성장량 함수와 어획량 함수를 고려하면 식 (5-10)은 다음과 같은 식 (5-11)의 형태로 나타낼 수 있다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E_t \cdot X_t \quad \text{식 (5-11)}$$

식에서 보는 바와 같이, 성장량 수준이 어획량 수준보다 크면 자원량은 증가하게 되고, 반대로 어획량 수준이 성장량 수준보다 높게 되면 자원량은 감소하

게 된다. 따라서 어획노력량 통제수단이나 어획량 통제수단을 강구하여 성장량 이하로 어획량 수준을 제한하게 되면 도루묵 자원량 회복을 도모할 수 있게 된다.

(4) 수입함수

t년도에 있어서 표준화된 도루묵어업의 수입(TR_t)은 식 (5-9)에서와 같이 어획량 함수에서 평가된 t년도의 어획량(H_t)에 시장가격(p)을 곱함으로써 구했다.

$$TR_t = H_t \cdot p \quad \text{식 (5-12)}$$

도루묵의 평균 시장가격(p)은 2002~2004년 기간 동안의 평균 가격으로 4,162원/kg으로 조사되었다.

(5) 비용함수

t년도 표준화된 어선의 비용(TC_t)은 식 (5-13)과 같이 출어비용으로써 구했다. 이는 출어횟수($TRIP_t$)에 대한 함수로 출어당 비용(TTC)은 일정한 것으로 가정하였다.

$$TC_t = TTC \cdot TRIP_t \quad \text{식 (5-13)}$$

표준화된 어선의 평균 출어비용은 2000~2003년 기간 동안의 수산업협동조합중앙회 「어업경영조사보고」로부터 구했는데, 평균 출어비용은 196,000원으로 계산되었다.

(6) 이익함수

t년도의 표준화된 도루묵 어선의 어업이익(TP_t)은 총수입(TR_t)에서 총출어비용(TC_t)을 차감함으로써 구했다. 그리고 도루묵 생물경제모델 하의 각 정책수단별 경제적 효과는 식 (5-14)와 같이 향후 25년간 발생할 연간 어업이익을 4% 사회적 이자율(i)로 할인한 현재가치(NPV)로써 분석하였다.

$$NPV = TP_0 + \frac{TP_1}{(1+i)} + \frac{TP_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{TP_{24}}{(1+i)^{24}} \quad \text{식 (5-14)}$$

$$= \sum_{t=0}^{24} \frac{TP_t}{(1+i)^t}$$

4) 어업관리수단

위에서 구축된 생물경제모델을 활용하여 주어진 자원회복기간 동안 목표 자원량을 달성하기 위한 도루묵 자원회복계획 하의 어업관리수단들을 평가하고자 하였다. 우선 목표 자원량 수준은 일반적으로 자원회복계획 하에서 설정되는 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준(X_{MSY})로 가정하였으며, 자원회복기간은 10년으로 하였다. 그리고 현재 도루묵 어업에 대한 구체적인 어업관리수단이 없기 때문에 본 분석에서는 임의로 아래 <표 5-6>과 같은 정책수단들을 제안하여 각 수단의 효과를 분석해 보았다.

<표 5-6> 도루묵 자원의 어업관리수단

정책수단 1	2002년도 어획사망계수 수준 유지
정책수단 2	현재(2004년)의 어획사망계수 수준 유지
정책수단 3	최대 지속적 생산가능한 어획사망계수(FMSY) 수준 유지
정책수단 4	3년간 어획량 2,500톤 유지

정책수단 1에서는 2002년도 어획사망계수 수준을 유지할 경우의 어획노력량 수준(=조업일수)을 계산하고 이에 따른 도루묵의 자원량과 어획량 수준 변화를 분석하고자 하였다. 정책수단 2에서는 현재의 어획사망계수 수준이 유지될 경우의 어획노력량 수준을 살펴보고 이에 따른 효과를 평가하였다. 그리고 정책수단 3에서는 ASPIC 모델 결과로부터 도출된 최대 지속적 생산가능한 어획

사망계수(F_{MSY}) 수준을 유지할 경우의 어획노력량 수준과 그 효과를 추정하고, 다른 정책수단들의 결과와 비교해 보았다. 마지막 정책수단 4에서는 국립수산물과학원의 제안에 따라 3년간 도루묵 어획량을 2,500톤으로 유지할 경우의 효과를 분석해 보았다. 특히, 정책수단별 효과분석에 있어서는 주어진 자원회복기간 동안 목표 자원량 달성여부를 중점적으로 살펴보았으며, 경제적인 어업이익의 변화도 함께 고려하여 가장 합리적인 어업관리수단을 선택하도록 하였다.

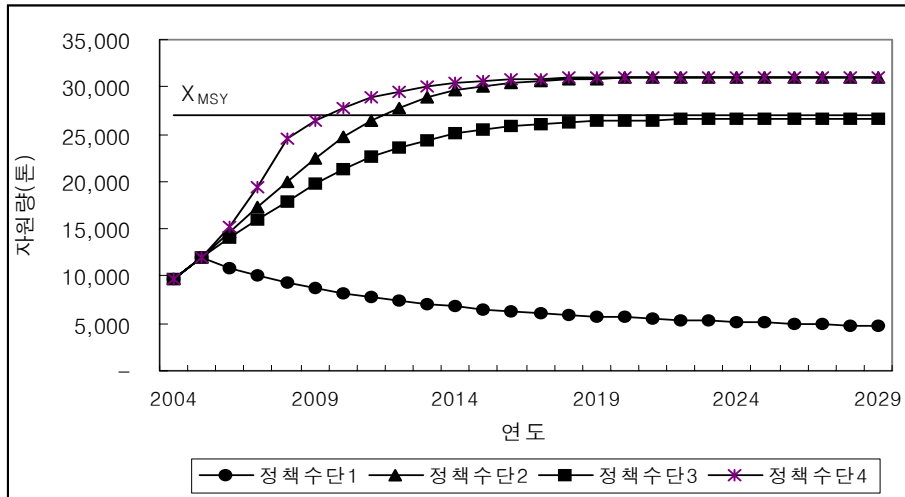
5) 분석 결과

생물경제모델을 활용하여 도루묵 어업에 대한 각 어업관리수단의 자원량 수준 변화, 자원회복기간 동안의 목표 자원량 달성 여부, 어획량 변화, 그리고 경제적 어업소득 변화 분석에 대한 결과는 다음의 <표 5-7>과 <그림 5-3>, <그림 5-4>에서 보는 바와 같다.

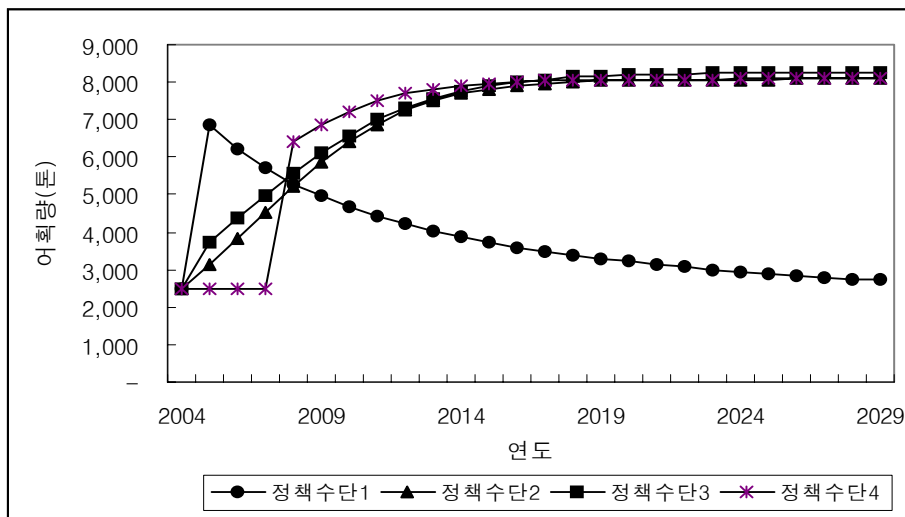
<표 5-7> 도루묵 자원의 생물경제모델 분석결과

	10년 후의 자원량 수준 (톤)	25년 후의 자원량 수준 (톤)	향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합 (천원)
정책수단 1	6,789 (25%)	4,766	6,315,188
정책수단 2	29,589 (109%)	31,084	10,346,635 (64%)
정책수단 3	25,015 (92%)	26,637	10,607,765 (68%)
정책수단 4	30,411 (112%)	31,086	10,396,952 (65%)

- 주 : 1. 총출어이익의 현재가치를 구할 때는 4%의 사회적 이자율이 적용되었음
 2. 10년 후의 자원량 괄호 안의 퍼센트는 목표 자원량(X_{MSY})에 대한 비율을 나타냄
 3. 현재가치 괄호 안의 퍼센트는 정책수단 1 하에서부터의 변화 정도를 나타냄



〈그림 5-3〉 각 정책수단 하에서의 도루묵 자원량 변화



〈그림 5-4〉 각 정책수단 하에서의 도루묵 어획량 변화

정책수단 1인 2002년도의 어획사망계수 수준($F=0.57$)이 유지될 경우 <그림 5-3>에서 보는 것처럼, 도루묵의 자원량은 시간이 지남에 따라 계속 감소하는 것으로 추정되었다. <표 5-7>에 나타나 바와 같이, 10년 후의 자원량 수준은 6,789톤으로 이는 목표 자원량 수준의 약 25% 정도에 지나지 않는 것으로 나타났다. 그리고 25년 후에는 자원량이 더욱 감소하여 현재 수준의 50% 미만으로 격감하는 것으로 분석되었다. 그 결과 어획량도 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합(NPV)은 6,315,188(천 원)로, 어선별 NPV는 150,362(천 원)로 분석되었다.

정책수단 2인 현재(2004년)의 어획사망계수 수준($F=0.26$)이 유지될 경우 도루묵의 자원량은 점차 증가하는 것으로 추정되었다. 그리고 10년 후의 자원량은 29,589톤으로 목표 자원량 수준을 달성하는 것으로 나타났다(<표 5-7> 참조). 이러한 자원량 증가에 따라 어획량도 <그림 5-4>에서 보는 것처럼, 꾸준히 증가하는 것으로 분석되었다. 향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합(NPV)은 10,346,635(천 원)로, 어선별 NPV는 246,348(천 원)로 추정되었다. 정책수단 1과 비교해서는 목표 자원량이 달성되었을 뿐만 아니라 경제적 이익도 약 64% 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

최대 지속적 생산가능한 어획사망계수 수준($F=0.31$)으로 유지된 정책수단 3 하에서는 정책수단 2 하에서와 같이 도루묵의 자원량은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 10년 후의 자원량은 25,015톤으로 X_{MSY} 수준에 대해 약 92% 수준으로 자원회복기간 이후에 목표 자원량은 달성되지 않는 것으로 분석되었다(<표 5-7> 참조). 25년 후에는 자원량이 더욱 증가하여 거의 근사하게 목표 자원량 수준에 이르는 것으로 나타났다. 자원량 증가에 따라 어획량도 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합(NPV)은 10,607,765(천원)로 추정되었는데, 이는 다른 정책수단에 비해 가장 높은 것으로 분석되었다. 보다 구체적으로 정책수단 1과 비교해서는 경제적 이익이 약 68% 정도 증가하는 것으로 나타났다.

마지막으로 정책수단 4인 3년간 TAC 물량(2,500톤) 설정 시나리오 하에서

는 정책수단 2와 3과 같이 도루묵의 자원량은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 또한 10년 후의 자원량은 30,441톤으로 다른 정책수단에 비해 가장 빨리 자원량이 증가하면서 목표 자원량을 달성하였다(〈표 5-7〉 참조). 어획량 변화는 〈그림 5-4〉에서 보는 것처럼, 3년간은 25,000톤 수준으로 일정하게 유지되다 이후 자원량 증가에 따라 급격히 증가하고 있음을 볼 수 있다. 그리고 향후 25년간 발생할 출어이익의 현재가치 합(NPV)은 10,396,952(천 원)로 추정되어 정책수단 1에 비해 경제적 이익이 약 65% 정도 많은 것으로 나타났다.

6) 정책제언

이상 도루묵 생물경제모델 분석 결과에서와 같이, 10년간의 자원회복기간 동안 목표 자원량(X_{MSY})을 달성하기 위해서는 어획사망계수의 수준이 0.21~0.26 사이로 통제되어야 하는 것으로 나타났다. 또한 특정 수준의 어획량을 일정기간 동안 통제함으로써 목표 자원량을 달성할 수 있는 것으로 평가되었다.

그리고 정책수단 3의 분석 결과와 같이, 어획사망계수 수준을 조금 완화할 경우, 즉, 조업일수를 다소 증대시키거나 사용어구수를 늘릴 경우 등에 있어서는 경제적 효과를 크게 발생시킬 수 있는 반면, 생물학적인 자원량 증대효과는 다소 감소되는 것으로 나타났다. 또한 정책수단 4의 경우와 같이 고정 TAC 물량 설정방법 하에서는 자원량 증대효과가 큰 것으로 나타난 반면 일정기간 동안 어획량 수준이 고정되어 있기 때문에 어획량 고정기간 동안 어업이익이 다른 수단 하에서보다 감소되는 단점이 있을 수 있다. 따라서 어업의 상황이나 어업인들의 어업관리수단 선호도에 따라 적절한 방안을 선택해야 할 것이다.

본 분석에서 제안된 어업관리수단 외에도 다양한 어업관리수단이 제안될 수 있으므로 이들 수단들도 생물경제모델 분석을 통해 생물학적인 자원량 증대효과와 경제적 이익효과를 분석할 수 있다. 이러한 분석결과는 정책결정자가 가장 합리적인 어업관리수단을 선택할 수 있도록 하는데 정책적인 근거자료를 제공할 수 있을 것이다.

제6장

생물경제모델 활용방안 검토

생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 앞서 제4장의 외국사례나 제5장의 실증분석에서 살펴본 바와 같이, 무엇보다 생물경제모델 구축을 위한 생물학적 그리고 사회경제적인 자료가 수집되어야 한다. 따라서 본 장에 있어서는 생물경제모델 구축을 위해 필요한 자료를 생물학적인 부분과 경제적인 부분으로 나누어 살펴보고, 현재 우리나라의 관련 자료 유무를 비교 검토하였다. 그리고 이러한 관련 자료의 비교 검토를 통해 우리나라 어업관리수단의 효과분석을 위한 생물경제모델 구축 및 활용에 대한 향후 개선방향에 대해서 살펴보았다.

1. 생물학적 자료

생물경제모델을 구축하기 위해서는 하부모델로서 생물학적 자원동태모델의 구축은 아주 중요하다. 이는 생물경제모델이 어업자원의 동태적 자원량 변화를 바탕으로 어획량 변화, 경제적인 효과 변화를 분석하기 때문이다.

어업자원의 자원동태모델은 앞의 제3장에서 살펴본 바와 같이 크게 잉여생산량 모델과 연령구조 모델로 나눌 수 있는데, 이들 모델을 구축하기 위해 필요한 자료는 <표 3-2>를 더욱 확장하여 정리한 다음 <표 6-1>과 같다.

자원동태모델은 자원량 조사평가 모델과 같은 것으로 필요한 생물학적 자료

의 유무에 따라 어종에 대한 평가모델이 달라진다. 이미 앞의 제3장에서 살펴본 바와 같이, 필요한 생물학적 자료가 적을 경우에는 잉여생산량 모델을 사용하여 자원량을 추정하게 되고, 관련 자료가 많을수록 연령구조 모델에 의한 자원량 추정이 가능하다. 특히 연령구조모델 방법을 사용하기 위해서는 연령별 자원개체수, 중량, 자연 및 어획사망계수, 어획능률계수, 혼획률, 산란량 및 가입량 등의 자료수집에 있어 많은 노력과 비용이 들게 된다. 하지만 보다 정확히 자원량을 추정할 수 있고, 연령별 자료가 있어 보다 다양한 어업관리수단의 효과를 분석할 수 있는 장점이 있다.

이에 반해 잉여생산량 모델은 어획노력량 자료와 어획량 자료만 있으면 자원량 평가가 가능하므로 자료수집에 있어 비교적 적은 시간과 비용이 소요되게 된다. 현실적으로도 이러한 모델사용의 유용성으로 인해 잉여생산량 모델이 어업자원량 평가 및 추정에 있어 널리 활용되고 있다.

〈표 6-1〉 자원동태모델별 필요한 생물학적 자료

	필요한 자료(자원평가 결과로부터 추정된 자료)
잉여생산량 모델	어업자원의 본원적 성장률(r), 현재 자원량 수준(X_0), 최대 자원량 수준(K), 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준(X_{MSY}), 최대 어획량 수준(MSY), 현재의 어획사망계수 수준(F_0), 최대 지속적 어획가능한 어획사망계수의 수준(F_{MSY}), 어획능률계수(catchability coefficient), 어종의 해역별 이동 자료 및 해역별 산란, 성장, 자연 및 어획사망계수 자료*
연령구조 모델	산란자원량-가입량 함수(산란자원량 및 가입량), 연령별 개체수, 연령별 체장크기 및 중량, 연령별 어획사망계수(F) 수준 및 자연사망계수(M), 연령별 혼획율, 연령별 어획능률계수, 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준(X_{MSY}), 최대 어획량 수준(MSY), 연령별 어획능률계수(catchability coefficient by age), 어종의 해역별 이동 자료 및 해역별 연령별 산란, 성장, 자연 및 어획사망계수 자료*

* 어종의 해역별 이동 자료 및 자원량 변화 자료는 MPA 등 어종의 이동에 대한 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해 필요한 자료들임.

우리나라는 <표 6-2>에서 보는 바와 같이, 어업자원량 조사 및 평가(생물학적 허용어획량(ABC))를 위해 이용 가능한 생물학적 정보의 수준에 따라 자원량을 5단계로 나누어 추정하는 모델을 개발해 놓고 있다. 특히, TAC제도 시행에 따라 연간 TAC물량을 설정하기 위한 생물학적 허용어획량(Biological Acceptable Catch)을 추정하기 위해 자원량 평가는 더욱 중요하게 되었다.

<표 6-2>에서 보는 것과 같이, 주요 어업자원 중에서 이용가능한 정보수준이 최고위 단계인 1단계에 이른 어종은 아직 없는 상태이고, 고등어, 전갱이, 개조개, 키조개가 2단계 모델에서 추정되고 있다. 3단계 모델에서는 꽃게, 소라의 ABC 자원량이 추정되고 있고, 갈치, 갯장어, 대구, 가오리, 가자미 등 대부분의 어종은 연도별 자료나 CPUE 자료만 활용하는 4단계 및 5단계 수준에 머물러 있다.

<표 6-2> 이용가능 정보수준에 따른 5단계 모델 및 어종

모델	필요한 정보	어종
1단계	연도별 연령별 자원량(X), 어획사망계수(F), 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준(X_{MSY}), 최대 지속적 어획가능한 어획사망계수 수준(F_{MSY})	
2단계	최근년도 연령별 자원량(X), 어획사망계수(F), $X_{X\%}$, $F_{X\%}$, 자연사망계수(M)	고등어, 전갱이, 개조개, 키조개
3단계	최근년도 연령별 자원량(X), $F_{0.1}$, 자연사망계수(M)	꽃게, 소라
4단계	연도별 어획량과 어획노력량(CPUE)	갈치, 갯장어, 대구, 말쑤치, 멸치, 명태, 보구치, 부세, 삼치, 아귀류, 대게, 갑오징어류, 오징어류
5단계	연도별 어획량	가오리, 가자미류, 강달이류, 쾡치, 눈볼대, 도루묵, 민어, 병어류, 봉장어, 옥돔류, 참돔, 참조기, 청어, 대하, 붉은대게

자료 : 국립수산물학원, 「한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요」, 2004.

이러한 어업자원의 ABC 추정 외에 생물경제모델을 구축하기 위한 자원평가 모델 및 자원동태 모델을 살펴보면 아래의 <표 6-3>에서 정리한 바와 같다. 연령구조모델에 의해 평가될 수 있는 어종은 고등어, 전갱이, 키조개, 개조개, 소라, 꽃게 정도이고, 나머지 어업자원은 대부분 잉여생산량 모델에 의해서 자원량과 자원동태 분석의 평가가 가능한 정도이다.

<표 6-3> 자원평가모델별 추정 어업자원

	잉여생산량 모델	연령구조 모델
어종	정어리, 붉은대게, 대게, 갈치, 멸치 외 어획노력량 및 어획량 자료만이 있는 대부분의 어종	고등어, 전갱이, 키조개, 개조개, 소라, 꽃게

자료 : 국립수산물과학원, 「한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요」, 2004.

하지만 어업자원이 잉여생산량이나 연령구조모델에 의해 추정된다 하더라도 자원의 동태적 변화를 살펴보기에는 한계점이 많다. 이는 현재의 자원량 추정이 어업자원의 자원량 변화 자체를 분석하기 보다는 현재의 자원상태만을 파악하는데 초점이 맞추어져 있기 때문이다. 즉, 잉여생산량 모델이나 연령구조 모델에서 추정된 값은 어업자원의 MSY 수준, 그리고 이 MSY수준에 따른 어획노력량 수준(F_{MSY})을 평가하고 이를 바탕으로 ABC를 산정하는 데 자원량 평가의 중심이 있다(최영민 외 4, 2004; 박차수 외 3, 2000).

그 결과 현재의 자원량 수준이나 자원의 본원적 성장률(r) 등 자원동태분석에 필요한 추정치를 구할 수 없어 어획노력량 변화에 따른 자원량 변화, 어획량 변화를 추정하기 어려운 점이 있다. 즉, 생물경제모델의 하부모델인 자원동태모델로 사용할 경우 어종에 따라서는 자원의 본원적 성장률(r), 최대 자원량 수준(K), 현재 산란자원량 및 가입량, 연령별 어획사망계수(F) 수준 및 자연사망계수(M), 연령별 혼획률, 연령별 어획능률계수(catchability coefficient by age) 등 부족한 자료들이 있어 생물경제모델 활용을 위해서는 보다 많은 자료가 수집되어야 한다. 그 결과 현재의 자원량 파악이 불가능하고 시간의 흐름에 따른 자원량 변화 추정이 불가능하게 되어 자원회복계획 하에서의 목표 자원

량과 자원회복기간을 설정하는 일이 상당히 어려울 수도 있다.

따라서 보다 효과적으로 우리나라 연근해 어업자원을 회복하고 관리해 나가
기 위해서는 표본조사 확대 등을 통한 생물학적 자료를 체계적으로 수집하여
고차원적인 자원평가모델을 이용함으로써 자원량과 자원동태변화를 보다 정확
하게 파악해 가야 할 것이다. 또한 <표 6-1>에서 열거된 자료가 수집되어 생물
경제모델을 구축하여 어업관리수단을 평가할 수 있도록 현행 생물학적 자료수
집의 내용과 범위를 확대해 가야 할 것이다.

2. 경제학적 자료

생물경제모델 하에서는 어업관리수단의 사용에 따른 어업활동의 변화와 경
제적인 효과를 분석하기 위해서 하부모델로서 생물학적 자원동태모델 외에 어
업경제모델이 구축되어야 한다. 어업경제모델을 구축하기 위해서는 <표 6-4>
에서 제시된 바와 같이 어획량 자료, 어업활동(어획노력량), 어업경제에 관련
된 자료가 필요하다.

<표 6-4> 생물경제모델 구축을 위해 필요한 경제학적 자료

어획량 관련자료	어업활동 관련자료	어업경제 관련자료
<ul style="list-style-type: none"> • 어업별 어종별 어획량 • 어획물의 체장조성 • 다른 어종의 혼획률 • 조업해역별 어획량 	<ul style="list-style-type: none"> • 어획노력량(출어횟수, 출어 당 조업일수, 톤수, 마력수 등) 자료 • 어업별 어선수, 어업인수 및 사용어구 • 조업해역별 어획노력량 • 어업인들의 어종별 어획 대체활동 자료 	<ul style="list-style-type: none"> • 시장가격 • 사회적 할인율 • 어업별 어선별 어업비용 (출어비용, 고정비용) • 잉여분석을 위한 어종별 가격 함수 관련자료(가격, 대체어 종의 가격, 소득, 어획량 등) • 유어부문의 수요함수추정 관련자료(출어횟수, 유어 인 구수, 어획률, 소득, 경험정 도, 목표 대상어종 등)

우선 어획량 자료부문에 있어서는 어획량 자료가 가장 중요한데, 한 어종을 여러 어업이 어획할 경우에는 어업별 어획량 자료와 혼획률 자료가 필요하다. 나아가 MPA 등의 어업관리수단을 평가하기 위해서는 조업해역별 어획량 자료도 필요하게 된다. 그리고 망목규제와 같은 어업관리수단 분석에 있어서는 어획물의 체장조성과 어구의 선택도(gear selectivity) 등의 관련 자료가 수집되어야 한다.

어업활동 자료부문에 있어서는 어획노력량과 관련된 자료가 필요한데, 어획 노력량의 지표로서 사용할 수 있는 어선척수, 어업별 출어횟수, 출어당 조업일수, 어업별 어선별 톤수 및 마력수 자료 등이 구비되어야 한다. 이 외에도 앞서 지적한 바와 같이 조업해역별 이동과 관련된 어업관리수단을 평가하기 위해서는 조업해역별 어획노력량 자료가 수집되어야 할 것이다. 그리고 한 어업이 여러 어종을 어획할 경우에는 어업인들의 목표 어획대상종의 대체활동에 대한 자료도 필요하게 된다.

어업경제 자료들은 대부분이 어업관리수단의 적용에 따른 어업이익 등 경제적인 효과를 분석하기 위해 필요한 자료들로서 시장가격, 어업비용(어업별 어선별 출어비용, 고정비용) 등의 자료가 필요하다. 그리고 시뮬레이션 분석에 의해 향후 발생할 어업이익을 현재가치로 환산하기 위해서는 사회적 이자율에 대한 데이터도 필요하게 된다.

이 외에도 경제적 효과로서 소비자 잉여 등을 추정하기 위해서는 어종별 가격함수가 설정되어 생물경제모델에 포함되어 분석되어야 하는데, 가격함수 추정을 위해서는 당해어종의 시장가격, 대체어종의 시장가격, 소득 등의 자료가 수집되어야 한다. 또한 상업적 어업의 경제적 가치추정만이 아니라 유어부문에 대한 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 유어활동에 대한 수요함수가 추정되어야 하는데, 이를 위해서는 유어인구, 당해어종의 어획을 위한 출조횟수, 출조비용, 어획률, 소득 등과 같은 자료들이 필요하다.

이러한 생물경제모델의 어업경제모델 구축을 위해 필요한 자료를 바탕으로 현재 우리나라에서 활용 가능한 자료를 살펴보면 기본적인 어획량 부문의 자

료(어선별 어종별 어획량), 어업활동 부문자료(어업별 어획노력량 자료, 어업별 어선척수 및 인구수), 그리고 어업경제 부문자료(시장가격, 사회적 이자율, 어업별 어업비용)는 잘 구비되어 있다고 볼 수 있다.

하지만 어획량 자료 중 다른 어획종의 혼획률에 대한 구체적인 자료가 없으며, 조업해역별 어획량 자료는 거의 전무하여 조업해역별 이동과 관련된 어업관리수단(MPA 등)의 효과를 분석하는 데 한계가 있다. 어업활동과 관련된 자료에 있어서는 근해어업의 경우 비교적 어업별 어획노력량 자료가 잘 구비된 반면 연안어업의 어획노력량 자료(어선척수, 출어횟수, 출어당 조업일수 등)는 체계적으로 수집되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 연안어업과 관련된 어업관리수단의 분석을 위해서는 이러한 연안어업들의 어업활동과 관련된 자료수집이 시급하다.

어업경제부문과 관련된 자료에 있어서는 시장가격이나 사회적 이자율 관련 정보는 쉽게 구할 수 있다. 그리고 근해어업의 어업별 어선별 어업비용은 수산업협동조합중앙회 등에서 체계적으로 수집하고 있으나, 연안어업에 대한 어업비용 관련 자료는 수집하기 어려운 실정이다. 따라서 어업관리수단에 의한 연안어업의 경제적 효과분석을 위해서는 관련 어업비용 자료도 체계적으로 수집해 가는 것이 필요하다.

그리고 총어업활동에 있어서 유어부문의 비중이 높아지고 있는 어종의 경우 어업관리수단의 효과분석에 있어 유어부문을 제외할 수 없다. 이를 위해서는 유어활동에 대한 수요함수를 추정하고, 이를 생물경제모델에 포함시켜 어업관리수단의 효과를 분석하는 것이 필요하다. 유어활동의 수요함수 추정을 위해서는 분석대상 어종의 유어인구수(지역별), 출조횟수, 출조비용, 어획률, 소득 등과 같은 자료가 필요하다. 이러한 자료부족으로 인해 우리나라에서는 유어활동의 수요함수를 추정한 사례가 많지 않은 실정이다. 따라서 향후 이러한 유어활동에 대한 자료수집에도 더 많은 노력이 기울어져야 할 것이다.

3. 향후 개선방향

지금까지 살펴본 바와 같이, 생물경제모델을 활용하여 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 생물학적 그리고 사회경제적인 많은 자료가 필요함을 알 수 있었다. 이미 이러한 관련 자료들이 잘 구비되고 체계적으로 계속 수집되고 있다면 어업관리수단의 평가를 위한 생물경제모델의 활용이 훨씬 수월해질 것이다. 하지만 우리나라의 경우 이미 살펴본 바와 같이, 생물학적 자원동태모델 등과 관련된 활용 가능한 자료들이 아직 미비한 수준에 머물러 있어 보다 고차원적인 자원평가모델의 사용은 일부 어종을 제외하고는 거의 불가능한 실정이었다.

따라서 향후에는 표본조사 등 자원조사의 내용과 범위가 보다 확대되어 자원량 평가를 위한 많은 생물학적인 자료가 조사되고 수집되어야 할 것이다. 특히 어획량 통제수단의 사용과 자원회복계획 하에서는 이러한 자원량 조사 및 평가는 다른 어떤 어업정책보다 중요한 사항이다. 그리고 자료수집 내용에 있어서는 생물경제모델 구축을 위한 자료들이 체계적으로 수집되어야 할 것이다.

이 외에도 자원동태모델이 가진 불확실성을 생물경제모델 분석에서 고려해 줄 필요성이 있다. 이는 자원량 추정 자체가 상당히 불확실성을 많이 내포하고 있고, 더욱이 추정된 자원동태모델의 계수값도 실제 자원량 및 어획량 변화를 추정함에 있어 많은 불확실성을 내포하고 있기 때문이다. 만약 자원동태변화에 대한 불확실성이 클 경우 생물경제모델 예측치에 대한 정책적인 신뢰성을 부여하기 어렵게 된다. 따라서 최근에는 이런 자원동태변화 및 자원평가모델의 추정계수에 대한 불확실성을 고려하는 방법들이 많이 개발되고 있다.

그 중의 한 방법은 부스트래핑(bootstrapping)기법을 이용하여 추정된 자원평가모델의 추정계수의 신뢰도를 구해 추정된 계수가 타당한가를 검토하는 것이다. 그리고 신뢰구간별 예측치를 모델에서 함께 분석함으로써 생물경제모델 예측치의 불확실성을 크게 줄일 수 있다. 다른 방법으로는 자원평가모델에서 추정된 계수(예를 들어, 자원의 본원적 성장률, 현재 자원량, 최대 자원량,

X_{MSY} , F_{MSY} 등)에 대해 몬테카를로(Monte Carlo) 분석을 이용하여 생물경제 모델 예측치의 확률분포를 구하고 추정편차에 따른 오차범위를 함께 분석함으로써 모델 예측치에 대한 불확실성을 줄일 수 있다. 이러한 불확실성을 고려한 방안들을 함께 병용함으로써 모델 결과에 대한 신뢰성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 자료부족으로 인한 하부 사용모델들의 단점을 보완할 수 있을 것이다.

그리고 사회경제적인 자료 수집에 있어서는 생물경제모델에서 활용할 수 있는 자료의 종류와 내용을 명확히 파악할 필요가 있다. 왜냐하면 필요한 자료의 내용과 종류를 모를 경우 사용목적에 부합되지 않는 자료들을 많은 시간과 비용을 들여 수집하는 결과를 낼 수 있기 때문이다. 따라서 앞서 살펴본 <표 3-2>와 <표 6-4>에서 제시된 자료들을 중점적으로 수집해 가야 할 것이다. 이를 위해서는 어선감시시스템(Vessel Monitoring System)을 확대 시행하여 이로부터 해역별 조업행동에 대한 관련 자료를 용이하게 수집할 수 있을 것이고, 또한 어선별 조업일지 작성 및 제출을 의무화하여 어업활동에 관련된 자료를 체계적으로 수집·정비해 갈 필요성이 있다. 뿐만 아니라 어종에 대한 수요함수 추정, 유어활동에 대한 수요함수 추정 등은 지속적으로 연구 분석되어 생물경제모델에 포함시켜 분석한다면 어업관리수단의 더 많은 효과들을 평가할 수 있을 것이다.

제7장

결론 및 정책건의

과잉어획으로 인한 어업자원량 감소를 막기 위해 지금까지 다양한 수단으로 어업관리를 행해 왔음에도 불구하고 어업자원이 감소하고 있는 원인에 대해서는 자원회복에 대한 분명한 목표가 없었던 점, 자원량에 기초한 관리정책이 미비했던 점, 어업활동에 대한 철저한 관리 및 통제의 미비 등 다양하게 지적되고 있다. 하지만 가장 중요한 원인 중의 하나는 지금까지 다양하게 실시되었던 어업관리 정책수단들에 대한 관리기준이 모호했다는 점이다.

즉, 자원의 특성에 따라 관리목표가 설정되고 이를 달성하기 위한 정책수단의 설정이 미비했고, 정책수단 선택 시 사전 및 사후평가가 제대로 이루어지지 않아 어업관리수단의 운용에 대한 실효성 여부가 제대로 파악되지 못했다. 그 결과 다양하게 운용되고 있는 어업관리수단들 간의 효과적인 병용 또한 제대로 이루어지지 못해 실질적인 자원회복에는 그 효과가 미진했던 것으로 평가되고 있다.

또한 우리나라도 내년부터 본격적으로 시행하고자 하는 등 최근 세계적으로 중요한 어업관리정책으로 대두되고 있는 ‘수산자원회복계획’을 바탕으로 한 어업관리체계 하에서는 정해진 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성하기 위해서 어업관리수단을 선택할 때 자원회복의 실효성 향상을 위해 어업관리수단에 대한 효과분석은 반드시 필요하다.

이처럼 향후 보다 실효성 있는 어업자원회복을 도모하기 위해서는 현재 취해지고 있는 어업관리 정책수단들에 대한 실증적인 효과분석은 시급한 과제이

고, 향후 취해질 수단들에 대해서도 사전 및 사후분석을 통한 어업관리수단 운용의 실효성 향상이 필요하다. 하지만 우리나라에서는 어업관리수단 효과분석을 위한 방법론과 활용에 대한 연구가 미진한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 어업관리수단의 효과분석을 위한 방법론과 그 활용방안에 대해 모색해 보고자 하였다. 특히, 본 연구에서는 다양한 어업관리 정책수단 평가방법 중 하나인 생물경제모델링(Bioeconomic Modeling) 방법을 소개하고자 하였다. 제2장에서 분석한 우리나라 어업관리수단과 문제점에서 향후 우리나라 어업관리수단 운용의 실효성을 높이기 위해서는 어업관리수단의 체계적이고 과학적인 평가가 가장 우선적인 문제인 것이 분명하게 나타났다. 그리고 제4장 외국사례를 통해서 이미 생물경제모델을 활용한 어업관리수단 분석이 널리 행해지고 있으며, 중요한 정책분석 수단임을 알 수 있었다.

그리고 제5장에서 우리나라 고등어와 도루묵에 대한 생물경제모델을 구축하고, 어업관리수단의 효과를 분석한 결과 고등어의 경우 현재 TAC 물량 설정이 고등어 자원량 회복에 별 영향이 없는 것으로 나타나 TAC 물량 감축과 고등어 어업활동에 있어 어획노력량 제한 등이 필요한 것으로 분석되었다. 또한 우리나라 수산자원회복계획 시범어종인 도루묵의 경우 10년간의 자원회복기간 동안 목표 자원량을 달성시키기 위해서는 어획사망계수의 수준이 0.21~0.26 수준으로 제한되거나 혹은 특정 TAC 물량을 일정 기간 설정해야 하는 것으로 평가되었다. 그리고 이러한 생물경제모델 활용을 통한 어업관리수단 평가를 위해서는 모델구축에 필요한 생물학적 자료와 경제적인 자료수집이 보다 확대되어야 하는 것으로 나타났다.

이와 같이 필요한 생물학적 그리고 사회경제적인 자료들을 체계적으로 수집하고, 관계함수 결합을 통한 생물경제모델의 적합성(정밀성) 향상을 위한 노력이 꾸준히 이루어진다면 생물경제모델은 향후 어업관리수단 평가를 위한 유용한 정책분석도구가 되어 많은 정책적 시사점을 제공해 줄 수 있을 것이다.

본 연구로부터 제기할 수 있는 정책적 건의사항으로는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 내년부터 실시될 우리나라 수산자원회복계획에 대한 최근 정책적 준비과정(연구용역 내용, 전문가 회의 등)을 살펴보면 우리나라 연근해 어종별 어획량 변화 분석, 어종별 목표 어획량 결정과 자원회복기간의 설정 등은 체계적으로 준비되고 있다. 하지만 시범대상종을 비롯하여 회복대상 어종별 자원회복 계획에 있어서 강구될 어업관리수단들은 아무런 적용근거 없이 기존에 사용되던 수단들을 열거한 정도에 지나지 않고 있다. 이미 앞서 지적한 바와 같이, 자원회복계획이 성공적으로 시행되기 위해서는 주어진 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성할 수 있는 가장 효과적인 어업관리수단의 강구가 그 무엇보다 중요하다.

따라서 자원회복계획 하에서 효과적인 어업관리수단의 선택과 운용을 위해서는 본 연구에서 제시한 것과 같은 사전적인 분석이 반드시 필요하며, 이러한 어업관리수단에 대한 사전분석과정은 자원회복계획수립 과정에 반드시 하나의 절차로서 시행되어야 할 것이다. 현재 수산자원회복계획 추진전략을 수립하고 있는 해양수산부 어업자원국 수산자원회복팀은 이러한 자원회복계획 하의 어업관리수단에 대한 사전적 효과분석의 중요성을 다시 한번 인식하고, 어종별 수산자원회복계획 수립 시 이를 반드시 반영해야 할 필요가 있다. 그리고 본 연구에서 시행한 도루묵의 생물경제모델 분석과 같이 시범어종에 대해 우선적으로 이러한 사전적인 어업관리수단의 효과를 분석하고, 이를 바탕으로 효과적인 어업관리수단의 선택과 운용에 활용해야 할 것이다. 나아가서는 경제적 효과분석 결과를 바탕으로 어업인 지원책도 강구할 수 있을 것이다.

또한 현재 우리나라 수산자원관리에 관한 법인 ‘수산자원관리법’이 새로이 제정되고 있는데, 미국의 경우와 같이 수산자원회복계획 하에서 어업관리수단에 대한 사전적인 효과분석을 ‘수산자원관리법’에 포함시켜 제도화시키는 방안도 생각해 볼 필요가 있다.

둘째, 생물경제모델을 구축하여 어업관리수단의 효과분석을 위해서는 생물학적 자료나 사회경제적인 자료 수집이 대단히 중요하다. 특히 어종별 어업관리수단의 효과를 분석하기 위해서는 어종별 생물학적인 자료가 반드시 필요한

데, 현재 우리나라에서 자원동태모델을 구축하기 위한 자료가 있는 어종의 수는 앞서 살펴본 바와 같이 그리 많지 않다. 더욱이 향후 지역별 어종별 수산자원회복계획의 수립과 시행을 위해서는 많은 어종에 대한 자원량 조사 및 평가가 이루어져야 한다. 이를 위해서는 수산자원조사 및 평가를 담당하고 있는 국립수산물과학원이 중심이 되어 지역연구소별로 지역별 해당어종에 대한 자원량 조사평가시스템을 구축하여 지속적으로 연구해 가야 할 것이다. 물론 이 때에는 본 연구 제6장에서 제안한 바와 같이, 생물경제모델 활용을 위해 필요한 자료들의 수집이 집중적으로 행해져야 한다.

그리고 어업활동과 관련된 사회경제적인 자료 수집을 위해서는 근해어업뿐만 아니라 연안어업에 있어서 조업활동과 관련된 조업일지 등을 작성하여 제출할 것을 의무화하는 방안이 강구될 필요가 있다. 현재 어선활동에 대한 자료는 수산업협동조합중앙회에서 작성하는 ‘어업경영조사보고’에서만 얻을 수 있는데, 이 보고서의 경우 근해어업에만 한정되어 있고, 또한 표본어선에 대해서만 조사되어 전체적인 어선들의 조업활동에 관한 자료를 수집하는데 한계가 있다. 따라서 생물경제모델 구축에 있어 어선들의 조업활동이나 사회경제적인 자료 활용이 불가능하고, 연안어선어업에 대해서는 분석 자체가 곤란하다. 이에 따라 어선들의 조업활동에 대한 자료를 수집할 수 있는 방안이 적극적으로 강구되어야 한다.

셋째, 본 연구에서 생물경제모델을 활용하여 실증 분석한 결과 고등어 자원량을 증가시키기 위해서는 최영민 외 4a(2004)의 연구 결과와 같이, 현행 TAC 물량이 감소되든지 혹은 어획노력량 제한으로 인해 어획사망계수 수준이 다소 제한되어야 하는 것으로 나타났다. 따라서 TAC제도를 통해 실질적인 어업자원량의 회복을 도모하기 위해서 수산행정당국은 보다 심층적인 분석을 통해 현행 TAC 물량설정에 대해 다시 한번 신중히 재검토할 필요가 있을 것이다. 또한 향후 효과적인 어업관리수단의 선택과 운용을 위해 생물경제모델의 활용을 적극적으로 검토해야 한다.

참고문헌

- 국립수산물과학원, 「수산자원회복계획 심포지엄」, 해양수산부, 2004.
- 국립수산물과학원, 「한국 근해 2005년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태평가」, 2004.
- 국립수산물과학원, 「한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요」, 2004.
- 김도훈, “복수어업에 있어서의 어업관리수단 평가를 위한 생물경제학적 연구”, 수산경영론집, 제35권 제1호, 2004. 6.
- 김도훈, “자원회복계획 하에서의 TAC 어업정책 효과에 관한 경제학적 분석”, 자원환경경제연구, 12(4), 2003.
- 김도훈, 「자원회복계획의 개념과 도입 방향」, KMI 해양수산 현안분석, 한국해양수산개발원, 2004.
- 류정곤 외 2, 「우리나라 ITQ제도 시행을 위한 기반조성 연구」, 한국해양수산개발원 기본연구 2004-22, 2004.
- 류정곤, “우리나라 수산업 여건과 수산자원관리 제도 및 정책 분석”, 수산자원회복계획 심포지움, 해양수산부, 2004.
- 박차수 외 3, “한국 연근해 갈치의 자원평가 및 관리방안”, 한국수산자원학회지, 3, 2000.
- 수산업협동조합중앙회, 「어업경영조사보고」, 각년도.
- 신영태, 「연안어업 관리제도 개선방안」, 해양수산부, 2002.
- 이상고, “우리나라 수산의 비전과 나아갈 방향”, 수산자원회복계획 심포지엄, 해양수산부, 2004.
- 장창익 · 이상고, 「어업관리학」, 부산 : 세종출판사, 2002.

- 장창익, 「EEZ 체제 하에서의 TAC 어업자원 관리기법 및 공동이용자원에 대한 쿼터시스템 개발에 관한 연구」, 해양수산부, 2000.
- 장창익, 「수산자원 생태학」, 서울 : 우성문화사, 1991.
- 조정희 외, 「생물경제모델을 이용한 고등어자원의 최적어획량 추정에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 2001.
- 최영민 외 4a, “한국 근해 고등어의 자원평가 및 관리”, 한국수산자원학회지, 6(2), 2004.
- 최영민 외 4b, “한국 근해 고등어의 생태학적 특성치 및 자원량 변동”, 한국수산자원학회지, 6(2), 2004.
- 표희동, 「지속가능한 어업관리를 위한 생물경제모델의 비교분석」, 한국해양수산개발원, 2001.
- 해양수산부, 「어업관리 중·장기 발전계획안」, 해양수산부, 2003.
- 全國漁業協同組合聯合會, 「資源回復制度普及全國會議資料」, 日本水産庁, 2002.
- Anderson, Lee G., "Open access fisheries utilization with an endogenous regulatory structure: An expanded analysis," *Annals of Operations Research*, 94, 2000.
- Anderson, Lee G., "The Effects of ITQ Implementation : A Dynamic Approach", *Natural Resource Modeling*, 13(4), 2000.
- Anderson, L. G., *The Economics of Fisheries Management*. The Johns Hopkins University Press, 1986.
- Anderson, L. G. and Kim, D. *Bioeconomic Analysis of Alternative Management Policies for the United States Gulf of Mexico Red Grouper Fishery*, Report of the Socioeconomic Panel Meeting on Draft on Rebuilding Plan for Red Grouper, Gulf of Mexico Fishery Management Council, 2002.
- Annala, J. H., "New Zealand's ITQ system : Have the First Eight Years Been a Success or a Failure?", *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, Vol. 6, 1996.

- Arland, K. and T. Bjorndal, "Fisheires Management in Norway - an Overview", *Marine Policy*, Vol. 26, 2002.
- Arnason, R., *Alternative Fisheries Management Systems : The Icelandic Experience*, EIPA-ECR, 2001.
- Chakravorty and Nemoto, "Modeling the Effects of Area Closure and Tax Policies : A Spatial-Temporal Model of the Hawaii Longline Fishery", *Marine Resource Economics*, Vol 15, 2001.
- Clark, C., *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley & Sons, Inc.: New York, 1990.
- Clark, C. and G. R. Munro, "The economics of fishing and modern capital theory : a simplified approach", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 2, 1975.
- Clark, I. *New Zealand's ITQ system for fisheries management - History, Description, Current Status, and Issues-*, New Zealand Fishing Industry Board, 1992.
- Conrad, J., "The Bioeconomic of Marine Sanctuaries", *Journal of Bioeconomics*, Vol. 1, 1999.
- Danielsson, A., F. Stefansson, and K. Thorarinsson, "Utilization of the Icelandic Cod Stock in a Multispecies Context," *Marine Resource Economics*, 12, 1997.
- Eggert, H. and M. Ulmestrand. "Bioeconomic Analysis of Swedish Fishery for Norway Lobster," *Marine Resource Economics*, 14(3), 1999.
- European Commission, *A Long-term Approach to Fisheries Management*. Europe. 2003.
- FAO, *State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, 2003.
- FAO, *State of World Fisheries and Aquaculture*. Rome, 2002.
- FAO, *A fishery manager's guidebook - Management measures and their application*, Rome, 2002.

- Fox, W. W., "An exponential surplus-yield model for optimizing exploited fish populations", *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 99, 1970.
- Gillig, D. et al., "The Value of the Gulf of Mexico Recreational Red Snapper Fishery," *Marine Resource Economics*, Vol. 15, 2000.
- GMFMC, *Report of the Socioeconomic Panel Meeting on Draft Secretarial Amendment to the Reef Fish Management Plan to set A 10-year Rebuilding Plan for Red Grouper and Charter/Headboat Study*, Tampa, Florida, 2002.
- GMFMC, *Draft Supplemental Environmental Impact Statement Scoping Document and Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan to set A 10-year Rebuilding Plan for Red Grouper*, Gulf of Mexico Fishery Management Council, Tampa, Florida, 2002.
- GMFMC, *December 2000 Report of the Reef Fish Fishery Stock Assessment Panel*, Tampa, florida, 2000.
- GMFMC, *October 2001 Report of the Reef Fish Fishery Stock Assessment Panel*, Tampa, florida, 2001.
- Gordon, H. S., "The Economic Theory of a Common Property Resource : the Fishery", *Journal of Political Economy*, Vol. 62, 1954.
- Greene, W. H., *Econometric Analysis*, Fourth Edi. Prentice Hall Inc. 2000.
- Griffin, L. W. et al., A Bio-Economic Assessment of Gulf of Mexico Red Snapper Management Policies, *Transaction of the American Fisheries Society*, 30, 2001.
- Haddon, M., *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*, Champman & Hall/CRC, 2001.
- Hannon, B. and Ruth, M., *Dynamic Modelling*, New York : Springer Verlag, 1994.

- High Performance Systems, *STELLA II Technical Documentation*.
Hanover : High Performance systems, Inc. 1994.
- Hilborn, R. and C. Walters, *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics & Uncertainty*, Kluwer Academic Publishers. 2001.
- Holiman, S. G., *Summary data for the Gulf of Mexico Shallow-water Grouper Complex Recreational Fishery*, SERO-ECON-01-02, NMFS-SERO, St.Petersburg, FL, 2001.
- ICES, *Annual Report-Annual Science Conference*, Norway, 2003.
- Kim, D. and Lee, S. "A Bioeconomic Analysis on the Evaluation of Vessel Buyback Program in Korean Fisheries", *the Korean Journal of Agricultural Economics*, Vol. 45, No. 3, 2004.
- Lee, D., S. Larkin, and C. Adams, "A Bioeconomic Analysis of Management Alternatives for the U.S. North Atlantic Swordfish Fishery", *Marine Resource Economics*, 15(2), 2000.
- Ludwig, D. and C. J. Walters, "A robust method for parameter estimation from catch and effort data", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol. 46, 1989.
- Ludwig, D. and C. J. Walters, "Are age-structured models appropriate for catch-effort data?", *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, Vol. 42, 1985.
- NMFS, *Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan for Red Grouper, with associated Impacts on Gag and Other Groupers and Draft supplemental Environmental Impact Statement*. NOAA, U.S. Department of Commerce, 2002.
- NOAA Fisheries, *Report to Congress - The Status of U.S. Fisheries*, U.S. Department of Commerce, 2004.
- Overholtz, *et al.*, "Effort control in the New England Groundfish Fishery

- : A Bioeconomic Perspective", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 52, 1995.
- Pella, J. J. and P. K. Tomlinson, "A generalized stock-production model", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, Vol. 13, 1969.
- Pezzy, *et al.*, "A simple bioeconomic model of a marine reserve", *Ecological Economics*, Vol. 33, 2000.
- Prager, M.H., *Users manual for ASPIC: a stock-production model incorporating covariates*, SEFSC Miami Laboratory Document. MIA-92/93-55, 1995.
- Quinn, T. and R. Deriso. *Quantitative Fish Dynamics*. New York: Oxford University Press, 1999.
- Russell, E. S., "Some theoretical considerations of the overfishing problem", *J. Cons. int. Explor. Mer.* Vol. 6, 1931.
- Ruth, M. and J. Lindholm, "Dynamic modelling of multispecies fisheries for consensus building and management", *Environmental Conservation*, 23(4), 1996.
- Sakuramoto, *et al.*, "Models for Forecasting Sandfish Catch in the Coastal Waters off Akita Prefecture and the Evaluation of the Effect of a 3-year Fishery Closure", *Fisheries Science*, Vol. 67, 2001.
- Schaefer, M. B., "Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commerce marine fisheries", *Bulletin of Inter-American Tropical Tuna Commission*, Vol. 1, 1954.
- Schirripa, M., C. Legault. and M. Ortiz, *The Red Grouper Fishery of the Gulf of Mexico: Assessment 3.0*. Southeast Fisheries Science Center, Sustainable Fisheries Division, Miami, Florida, 1999.
- Sumaila, U. R., "Protected Marine Reserves as Fisheries Management Tools : A Bioeconomic Analysis", *Fisheries Research*, Vol. 37,

- 1998.
- The H. John Heinz III Center, Fishing Grounds: Defining a New Era for American Fisheries Management, Island Press, 2000.
- Thunberg, E., T. Helser., and R. Mayo, "Bioeconomic Analysis of Alternative Selection Patterns in the United States Atlantic Silver Hake Fishery", *Marine Resource Economics*, 13(1), 1998.
- Ward, J., "The Bioeconomic Implications of A Bycatch Reduction Devices as a Stock Conservation Management Measures," *Marine Resource Economics*, 9(3), 1994.
- Waters, J. *An Economic Survey of Commercial Reef Fish Vessels in the U.S. Gulf of Mexico*. U.S. Department of Commerce, NOAA, NMFS. Beaufort, North Carolina, 1996.
- Weimer, D. and A. R. Vining. *Policy Analysis : Concepts and Practice*. Prentice Hall, 2004.
- World Wildlife Fund, *The Economics of Tragedy at Sea*, Swiss, 2002.
- Yew T. and T. Heaps. "Effort Dynamics and Alternative Management Policies for the Small Pelagic Fisheries of Northwest Peninsular Malaysia," *Marine Resource Economics*, 11, 1996.

부 록 I

우리나라 연근해 어종별 생물학적 특성치

어종	성장계수 (K)	수명(년)	성숙연령 (년)	자연사망 계수	포란수 (최소-최대)	세대기간 (G)
갈치	0.41	10	2.5	0.33	2-8,5만	4.8
참조기	0.38	10	2.0	0.35	3-10만	3.9
민어	0.32	10	4.0	0.40	72-216만	7.4
강달이류						
명태	0.22	10	3.0	0.50	7,2-216만	5.6
정어리	0.59	7	1.5	0.47	3-10만	3.1
보구치	0.27	7	2.5	0.77	5-65만	4.8
부세	0.61	6	1.5	0.61		3.1
꿀뚜기류		1	1.0			2.2
꽃게	0.78	3	0.5	1.63		1.3
가자미(물)	0.18	10	4.0	0.55		7.4
전어	0.48	7	1.5	0.56	3118-9383개	3.1
가오리(눈)					98-556개	
참돔	0.25	10	3.0	0.47	30-700만	5.6
도루묵	0.17	6	3.0	1.08	600-2600개	5.6
갯장어	0.14	15	3.5	0.34	183-886천	6.5
양태	0.18	10	3.0	0.55	9500-14000개	5.6
중하		1	0.5			1.3
말쥐치	0.17	8	3.0	0.75	21-146만	5.6
임연수어	0.30	10	3.6	0.42	9000-19000개	6.7
서대류(참)	0.19	6	2.0	1.05		3.9
뱅어류(베)	0.34	5	1.5	1.12		3.1
보리새우		2	1.0			2.2
벤댕이						
갑오징어		1	1.0			2.2
홍어	0.18	6	2.5	1.06	4 -5개	4.8

어종	성장계수 (K)	수명(년)	성숙연령 (년)	자연사망 계수	포란수 (최소-최대)	세대기간 (G)
준치						
낙지		1	1.0		140-160개	2.2
젓새우		1	1.0			2.2
꽃새우		2	1.0		46-285천	2.2
개랑조개	0.74	6	1.5	0.50		3.1
까나리	0.61	5	1.0	0.84		2.2
오분자기		6	1.5			3.1
골뱅이						
자리돔	0.50	7	1.5	0.54		3.1
성게	0.22	7	2.0	0.83		3.9
전복	0.25	12	5.0	0.35	20-40만	9.3
해삼	0.45	5	1.5	1.00	50-100만	3.1
코끼리조개	0.27	10	3.0	0.45		5.6
키조개	0.33	15	3.0	0.18		5.6
고등어	0.40	8	2.0	0.51	30-140만	3.9
오징어		1	1.0		30-50만	2.2
삼치	0.20	10	3.0	0.53	50-90만	5.6
전갱이	0.25	10	2.5	0.47	2-18만	4.8
방어류	0.22	10	2.5	0.50	61-155만	4.8
꽁치	0.52	3	1.0	1.93	2-8.5만	2.2
대구	0.13	15	4.0	0.36	150-250만	
청어	0.66	10	1.5	0.18	2-8만	
다랑어(참)	0.09	15	5.5	0.40	300-1000만	
멸치	0.57	2	0.5	3.15	1700-16000개	
붕장어	0.06	8	3.5	0.90	110-440만	6.5
송어류(송)	0.27	10	1.5	0.45		3.1
조피볼락	0.31	10	3.0	0.41	2-41만	5.6
농어류	0.14	15	4.0	0.34	18-40만	7.4
대하		1	1.0		20-100만	2.2
병어류(덕)	0.32	10	2.0	0.40	1.2-17만	3.9
옥돔	0.30	10	2.0	0.42	12-22만	3.9
아귀류(황)	0.18	10	3.5	0.55	37-190만	6.5
강성돔	0.24	15	3.0	0.25	150-350만	5.6
눈볼대	0.18	10	4.0	0.55	25만	7.4

어종	성장계수 (K)	수명(년)	성숙연령 (년)	자연사망 계수	포란수 (최소-최대)	세대기간 (G)
학공치		5	2.0		3천	3.9
매통이류		5	2.0		5-15만	3.9
문어		1	1.0			2.2
주꾸미		1	1.0			2.2
소라	0.36	8	1.3	0.54		2.7
바지락	0.33	9	1.5	0.47		3.1
붉은대게		7			4.7-20.3만	4.6
넙치	0.17	13	3.0	0.39	14-40만	5.6
복어류						
대게		20	8.0		2-15만	16.2
새조개	0.47	3	0.5	1.99		1.3
노래미(노)	0.19	6	1.5	1.05	3-16천	3.1
가무락						
맛류						
백합	0.21	10	3.0	0.52		5.6
동죽						
닭새우류			3.5			6.5
고막류						
능성어						
망둥어류						
상어류						
개조개	0.25	10	3.0	0.47		5.6
연어		6	4.0			
미더덕						
먹장어					18-32개	
성대류						
보리멸	0.41	6	2.0	0.80	16만	3.9
솜뱅이	0.44	10	3.0	0.31	13-15천	5.6
피조개	0.99	5	1.0	0.53	90-3000만	2.2
우렁이	0.47	5	1.0	0.98	30만	2.2
홍합			2.0		7500만	3.9
가리비	0.42	8		0.49	8-10천만	6.2
굴류		8	2.0		4-8천만	3.9

부 록Ⅱ

어종별 중장기 회복가능 추정량

어종	현 어획량	2010년 회복 가능량	2015년 회복 가능량
갈치	66,291	67,000	82,000
참조기	17,570	20,000	25,000
민어	974	600	1,2000
강달이류	18,727	26,000	33,000
명태	64	0	1,500
정어리	215	8,000	16,000
보구치	320	300	700
부세	65	100	200
꼴뚜기류	793	1,400	1,600
꽃게	2,683	7,200	8,100
가자미(물)	12,038	9,600	14,000
전어	4,313	5,700	7,000
가오리(눈)	2,320	2,700	3,600
참돔	518	500	700
도루묵	2,427	2,300	3,600
갯장어	766	500	700
양태	1,477	1,400	3,100
중하	414	1,600	1,100
말쥐치	1,267	7,700	2,000
임연수어	772	400	1,900
서대류(참)	803	1,000	21,000

어종	현 어획량	2010년 회복 가능량	2015년 회복 가능량
뱅어류(베)	1,888	3,500	1,200
보리새우	132	600	1,500
벵탕이	755	4,900	5,000
갑오징어	905	2,900	800
홍어	259	300	6,000
준치	16	50	3,200
낙지	7,023	10,200	700
젓새우	7,889	12,500	150
꽃새우	2,575	4,000	11,000
개량조개	3,363	4,400	14,000
까나리	2,642	4,100	5,000
오분자기	19	40	5,500
꿀뱅이	2,101	3,000	5,000
자리돔	15	60	100
성게	1,301	1,500	1,800
전복	82	20	100
해삼	1,154	1,300	1,600
코끼리조개	15	10	30
키조개	2,471	2,100	4,000
계	169,467	219,480	294,490

어종	현 어획량 (2004년)	2010년 회복 가능량	2015년 회복 가능량
고등어	184,274	201,000	235,000
오징어	212,760	229,000	232,000
삼치	26,622	26,000	27,000
전갱이	25,513	26,000	31,000
방어류	5,321	5,400	7,000
꽁치	2,960	5,000	6,000
대구	2,641	2,600	3,000
청어	5,113	6,700	8,100
다랑어(참)	1,755	700	2,000
멸치	196,646	238,000	250,000
붕장어	16,506	14,000	20,000
숭어류(숭)	8,023	8,500	9,000
조피볼락	3,774	3,700	3,700
농어류	1,382	1,000	1,600
대하	848	1,200	1,300
병어류(덕)	9,286	10,000	12,000
옥돔	1,405	1,500	2,000
아귀류(황)	11,885	11,800	12,000
강성돔	820	800	900
눈볼대	3,336	3,300	3,500
학공치	1,137	1,200	1,500
매통어류	29	60	150
문어	5,953	8,500	9,000
주꾸미	5,048	5,500	5,700
소라	9,507	9,800	10,500

어종	현 어획량 (2004년)	2010년 회복 가능량	2015년 회복 가능량
바지락	12,902	15,000	17,500
붉은대게	23,113	24,000	30,000
넙치	1,737	1,600	2,000
복어류	3,971	3,400	5,500
대게	2,605	2,500	2,600
새조개	2,846	4,300	4,700
노래미(노)	2,578	2,500	2,600
가무락	950	1,200	1,500
맛류	5,400	5,800	6,500
백합	6,860	6,800	7,000
동죽	13,433	14,600	15,600
닭새우류	595	500	600
고막류	2,571	3,200	3,700
능성어	50	60	70
개조개	5,380	5,300	54,00
계	827,591	912,020	999,220

어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제모델 활용에 관한 연구

2005年 12月 28日 印刷

2005年 12月 30日 發行

編輯兼
發行人 李 正 煥

發行處 韓國海洋水產開發院
서울특별시 서초구 방배3동 1027-4
수암빌딩

전 화 2105-2700 FAX : 2105-2800

등 록 1984년 8월 6일 제16-80호

組版・印刷 / 영진인쇄사 02)734-3713 정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물관매센터
Tel : 394-0337, 734-6818