

2009. 12
정책연구 2009-14(기본)

# **생물경제모형을 이용한 수산물 최적 생산량 추정 및 활용에 관한 연구**

2009. 12

조정희 . . . .

#### ◆ 보고서 집필 내역

- 연구책임자
  - － 조 정 희 :
- 연구진
  - － 김 대 영 : 제
  - － 이 정 삼 : 제
- 외부연구진
  - － Hirotsugu Uchida·Emi Uchida : 제2장, 제3장, 제4장

#### ◆ 산·학·연·정 연구자문위원

- 이 성 희(한국수산회 부장)
- 송 정 현(부경대학교 교수)
- 김 도 훈(국립수산과학원 연구사)
- 조 성 남(농림수산식품부 사무관)

\* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

#### ◆ 연구감리

- 신 영 태(한국해양수산개발원 연구심의역)

머 리 말

# 차 례

Executive Summary	i
-------------------	---

제1장 서 론	1
---------	---

1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구의 범위와 방법	4
1) 연구의 내용 및 범위	4
2) 연구의 방법	5
3. 선행연구 검토 및 선행연구와의 차별성	6
1) 선행연구의 내용	6
2) 선행연구와의 차별성	8

제2장 최적 생산량 추정 모형	9
------------------	---

1. 최적 생산량의 개념	9
1) 어업자원의 생물경제학적 특징	9
2) 최적 생산량의 개념	13
2. 잉여생산 기본 모형	17
1) 잉여생산량 모형	19
2) 연령구조 모형	30
3. 생물경제 기본 모형	32
1) 어획생산함수 모형	32
2) 어획비용함수 및 이윤함수 모형	33
3) 최적화 모형	34

### 제3장 분석 대상어종 선정 및 대상어종의 어업 현황 ————— 38

1. 선정 기준 및 대상어종 .....	38
1) 선정기준 .....	38
2) 대상어종 .....	41
2. 대상어종의 어업 현황 .....	41
1) 고등어 .....	41
2) 전갱이 .....	45
3. 대상어종의 자원관리 .....	50
1) 어획노력량 관리 .....	50
2) 어획량 관리 .....	52
3) 기술적 관리 .....	56
4. 대형선망어업 현황 .....	57
1) 어선세력 및 조업어장 .....	57
2) 어획량 및 어획금액 .....	60
3) 경영실태 .....	62
4) 가격 및 비용 분석 .....	65

### 제4장 고등어와 전갱이의 최적 생산량 추정 ————— 70

1. 분석 개요 및 분석 자료 .....	70
1) 분석 개요 .....	70
2) 분석 자료 .....	73
2. 분석모형 및 추정방법 .....	77
1) 로지스틱 성장함수 .....	77
2) 콥-더글라스 어획생산함수 .....	79
3) 어획비용함수 .....	81
4) 이윤함수 .....	82
3. 분석결과 .....	86

1) 로지스틱 성장함수 .....	86
2) 콥-더글라스 어획생산함수 .....	96
3) 어획비용함수 .....	97
4) 이윤함수 : 최적 생산량 추정 .....	98
4. 생물경제모형 분석결과의 시사점 및 한계 .....	102
1) 한국형 어업 분석을 위한 신모형 개발의 필요성 .....	102
2) 신개념 어업자원 관리제도 도입 필요성 .....	103
3) 한중일 공동 어업자원 관리방안 마련의 필요성 .....	104
4) 분석의 한계 .....	104

## 제5장 분석결과의 활용 ..... 107

1. 시나리오별 분석 개요 .....	107
2. WTO/DDA 협상타결로 인한 어가 변동시 최적생산량 변화 .....	108
1) 개요 .....	108
2) 최적 생산량 변화 .....	112
3. 국제유가 변동시 최적생산량 변화 .....	113
1) 개요 .....	113
2) 최적 생산량 변화 .....	116
4. 현재의 TAC 수준과 최적 생산량 수준 비교 .....	119
5. 대형선망어업의 적정 감척수준 .....	123
1) 개요 .....	123
2) 최적어획노력량 변화 .....	123

## 제6장 결 론 ..... 126

1. 요약 및 결론 .....	126
2. 정책 제언 .....	129

참 고 문 헌	132
부록 1 : 분석에 사용된 세부 자료 및 분석 결과	136
부록 2 : Maple 분석 프로그램	141
부록 3 : 근해 선망 관련 자료	145
부록 4 : 2009년도 어종별 TAC 할당량 및 소진량	152

## 표 차례

표 2-1. 잉어생산모형별 필요한 생물학적 자료 .....	18
표 3-1. 이용가능 정보수준에 따른 5단계 모델 및 어종 .....	39
표 3-2. 어종별 어획량(상위 10개 어종) .....	40
표 3-3. 선정기준 및 관련 어종 .....	41
표 3-4. 어업별 고등어 어획량 변화 .....	45
표 3-5. 어업별 전갱이 어획량 변화 .....	49
표 3-6. 대상어종 관련 주요 관리수단 .....	50
표 3-7. 감척사업 추진실적 .....	51
표 3-8. TAC 대상어종 및 업종 .....	53
표 3-9. 연도별 TAC 물량 및 소진율 .....	55
표 3-10. 대형선망어업 어선 추이 .....	58
표 3-11. 대형선망어업 어획량 및 어획금액 .....	61
표 3-12. 대형선망어업의 어종별 어획량 및 어획금액 .....	62
표 3-13. 대형선망어업의 자산 및 자기자본비율 .....	63
표 3-14. 대형선망어업의 어업수익 및 비용 .....	64
표 3-15. 비용요소의 한계효과 .....	67
표 3-16. 대형선망어업 양망당 비용 .....	68
표 3-17. 대형선망어업 어종별 어획비중 .....	69
표 3-18. 어종별 양망당 어업비용 .....	69
표 4-1. 함수, 분석모형, 적용변수, 추정변수, 추정식, 기본가정 .....	72
표 4-2. 대형선망에 의해 어획된 고등어의 어획량, 어획노력량, CPUE 현황 .....	74
표 4-3. 대형선망에 의해 어획된 전갱이의 어획량, 어획노력량, CPUE 현황 .....	75
표 4-4. 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 위관가격 .....	76
표 4-5. 고등어 잉어생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (톤수) .....	87
표 4-6. 고등어 잉어생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (마력수) .....	88



표 4-7. 고등어 잉여생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (양망횟수) .....	89
표 4-8. 전갱이 잉여생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (톤) .....	90
표 4-9. 전갱이 잉여생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (마력수) .....	91
표 4-10. 전갱이 잉여생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (양망횟수) .....	92
표 4-11. 고등어 잉여생산모형의 추정결과 : $r, q, K$ .....	93
표 4-12. 전갱이 잉여생산모형의 추정결과 : $r, q, K$ .....	94
표 4-13. OLS를 이용한 고등어, 전갱이의 생물적 계수( $r, K$ ) 추정 .....	95
표 4-14. OLS를 이용한 고등어, 전갱이의 기술적 계수 및 콥-더글라스 승수 추정 .....	97
표 4-15. 고등어와 전갱이의 양망당 비용 .....	98
표 4-16. 공공투자사업 적용 사회적 할인율 사례 .....	98
표 4-17. 고등어와 전갱이의 위판가격 및 사회적 할인율 .....	99
표 4-18. 고등어, 전갱이 최적생산량 추정에 필요한 생물경제적 파라미터 및 추정치 .....	99
표 4-19. 자유입어의 생태적 균형하에서 고등어, 전갱이 최적자원량, 최적생산량, 최적어획노력량 추정 .....	100
표 4-20. 단독소유의 생태적 균형하에서 고등어, 전갱이 최적자원량, 최적생산량, 최적어획노력량 추정 .....	102
표 5-1. WTO/DDA NAMA 논의 대상 품목의 실행관세 구조 .....	110
표 5-2. 우리나라 주요 수입어종 .....	111
표 5-3. 최근 3년간 업종별 면세유류 소비실태 .....	114
표 5-4. 고등어 TAC 수준과 자유입어 및 단독소유하에서의 어획량 수준 비교 ...	120
표 5-5. 전갱이 TAC 수준과 자유입어 및 단독소유하에서의 어획량 수준 비교 ...	121
표 5-6. 어획 노력 수준의 효과 .....	124
표 부록-1. 고등어의 연도별 어획량 및 어획노력량 .....	136
표 부록-2. 전갱이의 연도별 어획량 및 어획노력량 .....	137
표 부록-3. 대형선망어업 어종별 어획비중 .....	138
표 부록-4. 근해선망어업 변천사 .....	147
표 부록-5. 대형선망어업 양륙지별 위판 .....	148

표 부록-6. 연도별 대형선망어업 고등어, 전갱어 어획실적 .....	150
표 부록-7. 연근해어업 어획량 평균('00~'08) 상위 10개 어종 .....	151
표 부록-8. 총 허용어획량 설정 .....	152
표 부록-9. 연도별 총허용어획량(TAC) 소진량 .....	153

## 그림 차례

그림 1-1. 생물경제모형내의 상호 연관관계 .....	3
그림 1-2. 본 연구의 수행체계 .....	6
그림 2-1. 비갱신성 자원과 갱신성 자원(어업자원)의 순환 .....	10
그림 2-2. 어업자원의 변동요인 .....	11
그림 2-3. 개방형 수산물 공급의 연관관계 .....	14
그림 2-4. 생물경제모형내의 최적 자원량, 최적 어획량 관계 .....	16
그림 2-5. 최적 자원량 .....	37
그림 2-6. 최적 어획량 추이 .....	37
그림 3-1. 고등어의 회유 분포도 .....	42
그림 3-2. 고등어의 연도별 자원량 추정치(1990~2008) .....	43
그림 3-3. 고등어 어획량 변화(1990~2008) .....	44
그림 3-4. 전갱이의 회유 분포도 .....	46
그림 3-5. 전갱이 연도별 자원량 추정치(1990~2008) .....	47
그림 3-6. 전갱이 어획량 변화 (1990~2008) .....	48
그림 3-7. TAC제도 사업 추진절차 .....	54
그림 3-8. 대형선망어업 조업도 .....	57
그림 3-9. 대형선망의 월별 조업도 .....	59
그림 3-10. 대상어종 가격 추이 .....	65
그림 3-11. 대형선망어업 비용 추이 .....	66
그림 4-1. 실증분석 흐름도 .....	71
그림 4-2. 사회적 할인율의 증가에 대한 어획량 변화 .....	84
그림 4-3. 자유입어의 고등어 어획량 및 어획노력량 .....	101
그림 4-4. 자유입어의 전갱이 어획량 및 어획노력량 .....	101
그림 5-1. 가격하락에 따른 어획노력량의 감소효과 .....	108

그림 5-2. 자유입어하에서의 가격변화에 따른 어획노력량 변화 추이 .....	112
그림 5-3. 자유입어하에서의 가격변화에 따른 어획량 변화 추이 .....	113
그림 5-4. 근해어업의 조업활동별 연료유 평균 소비량(2005~2007년) .....	115
그림 5-5. 근해어업 업종별 어업비용 대비 연료유 비중 분포 .....	116
그림 5-6. 자유입어하에서의 비용변화에 따른 어획노력량 변화 추이 .....	117
그림 5-7. 자유입어하에서의 비용변화에 따른 어획량 변화 추이 .....	118
그림 5-8. 자유입어하에서의 비용변화에 따른 자원량 변화 추이 .....	118
그림 5-9. 비용상승에 따른 어획노력량 및 어획량의 변화 .....	119
그림 5-10. 고등어 자원량 변화 추이 .....	120
그림 5-11. 고등어 실제 어획량과 TAC 수준과의 비교 .....	121
그림 5-12. 전갱이 자원량 변화 추이 .....	122
그림 5-13. 전갱이 실제 어획량과 TAC 수준과의 비교 .....	122
그림 5-14. 어획노력량 변화에 따른 고등어, 전갱이의 어획량 변화 추이 .....	125
그림 5-15. 어획노력량 변화에 따른 고등어, 전갱이 자원량 변화 추이 .....	125
부록 그림-1. 근해선망 조업도 .....	145
부록 그림-2. 대형선망어업 어획물 양륙 및 경매 .....	149

## Executive Summary

### **A Study on Estimating the Fishery Optimal production Using Bioeconomic Model**

- Introduction and background

# 제 1 장 서 론

## 1. 연구의 필요성 및 목적

현재 우리나라 어업자원(fish stock)은 기후변화, 해양생태계의 악화, 과잉어획 등으로 인해 점점 고갈되거나 정체 되어 있는 상태에 놓여있다. 따라서 정부가 여러 가지 자원관리 수단을 이용하여 지속가능한(sustainable) 수준에서 자원을 이용하기 위해 적극적인 자원관리를 수행하고 있으나, 여러 가지 어려움에 직면해 있다. 왜냐하면 자원에 영향을 미치는 요소가 수온, 영양영류, 피식자-포식자 관계, 국가간의 경계를 회유하는 특성 등 다양하게 존재하고, 이들 요소간의 관계가 복잡하게 연결되어 있기 때문이다. 게다가 해양생태계내에서 자원량에 영향을 미치는 요소 중 인간이 직접적으로 통제 할 수 있는 것은 단지 어획량만 있기 때문이다.

1970년 대 이후 어업자원을 무한히 어획할 수 있다는 인식에 변화가 생기게 되었고, 전 세계적으로 어획기술의 급격한 발달, 어선척수의 증가, 개별 국가의 소홀한 자원관리, 해양 생태계의 악화 등으로 인해 자원량은 급속히 감소하였다. 그 결과 지속가능한 자원의 이용에 상당한 위협을 받아왔다. 우리나라의 경우도 예외는 아니다. 우리나라 주요 어업자원의 1/3 정도가 적정수준 보다 많은 어획노력량을 투입함으로써 자원 고갈을 심화시켜 왔다. 아울러 자원구조에 있어서도 연급군(cohort)<sup>1)</sup>이 단순해지고 소형어의 비율이 현저히 증가되고 있어 어업 경영체의 채산성이 악화되고 있다. 따라서 어업인은 과거에 비해 어획을 많이 한다고 해서 이윤을 극대화 시킬 수 없음을 인식하게 되었고, 어획 활동에 수반되는 비용과 어가 등 경제적 요소를 고려한 어획활동이 요구되고

---

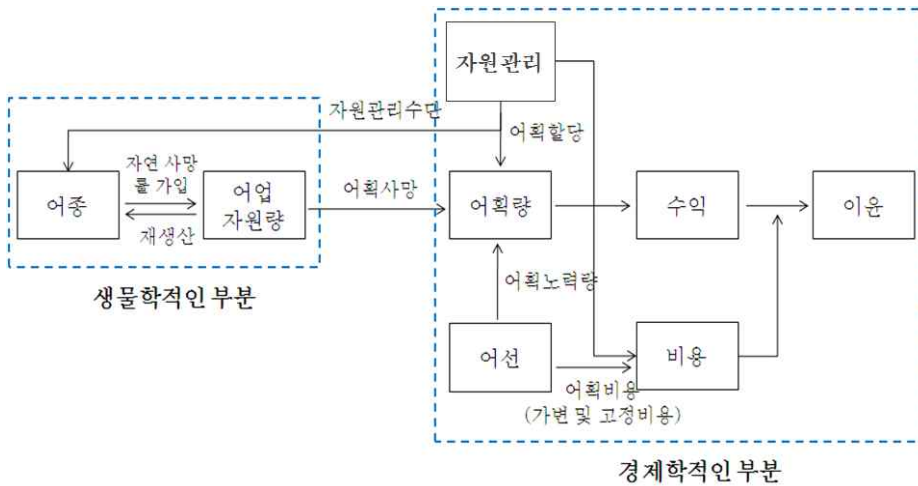
1) 연급군이란 같은 해에 산란된 어류군을 의미함. 예를 들면 2009년에 산란된 어류군은 나이가 0이고 2010년에는 나이가 1이 된다.

있다. 또한 대외적인 환경 변화 즉, WTO/DDA 협상, FTA, 국제 유가 등으로 인해 어업인의 이윤변화가 외부요인에 의해 영향을 받고 있다.

일반적으로 수요함수와 공급함수로부터 도출된 시장균형가격은 소비자와 생산자의 합리적인 경제 활동의 지표가 될 수 있다. 아울러 수산부문에 있어서도 어종별 공급함수와 수요함수로부터 추정된 시장균형가격 역시 어업인의 어획활동에 있어 기본적인 지표 역할이 가능하다. 하지만 시장균형가격의 기초가 되는 수요와 공급함수의 추정이 합리적인 경제활동에 있어 매우 중요함에도 불구하고, 수산부문의 기존 연구들은 수요함수 추정에 국한하여 이루어졌고, 공급함수를 추정한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 지속가능한 수산물 공급을 위해서는 어종의 성장률 등과 같은 생물학적 요인을 필히 고려해야 함에도 불구하고, 공급함수와 관련된 소수의 연구들은 이를 고려하지 않고 일반적인 생산함수의 이론에 근거하여 분석되어졌다.

하지만 일반경제이론에 기초한 수산물의 어획생산함수 추정은 수산물의 생산량 예측에 있어 신뢰성과 정확성이 낮을 뿐만 아니라, 동 어획생산함수로부터 유도된 공급함수 또한 공급량 예측에 한계를 가질 수밖에 없다. 왜냐하면 어업에서의 어획생산함수는 여타 산업에서의 생산함수와 구별되는 특수성을 가지고 있기 때문이다. 일반 공산품의 경우 생산비용은 생산품의 판매가격과 매우 밀접한 상관관계를 가지나, 상대적으로 어업에서의 생산비용은 어획물의 판매가격과 큰 상관관계를 가지고 있지 않다. 예를 들면 어업인이 낮은 생산비용을 투입하고도 다량의 어획물을 어획하는 경우가 종종 발생하게 되는데, 이는 개별 어종의 자원량 및 기타 환경요인과 같은 외생변수들이 이들 어종의 어획량에 크게 영향을 미치고 있기 때문이다. 결과적으로 생산요소의 투입에 대한 생산비용과 생산량간의 상관관계의 불완전성은 어업의 생산함수를 일반경제이론으로 설명할 수 없게 하는 높은 장벽이 되어왔다. 그럼에도 불구하고 어업인은 예측 가능한 지속적 자원 이용을 영위하기 위하여 그들 스스로 적정 어획량을 유지할 필요가 있다.

이상과 같이 수산물의 특성을 반영한 개별 품목의 최적 생산량(=어획량)을 추정하는 새로운 정책 결정의 기초 자료로서 그 필요성이 증대 되고 있다. 그리고 이러한 추정에 이용되는 생물경제모형은 생물학적·경제학적 상호작용의 관계를 모형화함으로써 적정어획수준 및 적정자원배분 등을 추정하는데 매우 중요한 계량적 기법이다. 아울러 생물경제모형은 다양한 집단 간의 상호협력이 요구되며, 어업과 관련한 모든 분야들 간의 연계성을 체계적으로 이해하는데 도움을 줄 수 있다(<그림 1-1> 참조).



| 그림 1-1 | 생물경제모형내의 상호 연관관계

따라서 본 연구의 목적은 생물경제모형을 이용하여 주요 어종에 대한 최적 생산량을 추정하고, 이를 기초로 하여 여러 가지 시나리오별 정책적 시사점을 제공하는 데에 있다.<sup>2)</sup> 예를 들면 WTO/DDA 협상 타결에 따른 관세인하, 면세유 금지, 고유가 상황 등을 고려한 최적생산량 추정은 보다 현실상황에 맞는 정책수립에 있어 선행 지시자(indicator)로서 매우 유용한 자료가 될 수 있다. 아

2) 동 연구 제목에서 언급한 생물경제모형이란 어획생산함수, 어획비용함수, 이윤함수 등을 모두 포함한다.



울러 현재 시행되고 있는 총허용어획량(Total Allowable Catch, 이하 ‘TAC’)제도에 있어 TAC 수준을 결정할 때 기존자료에 추가적으로 자원화적인 측면과 경제적 측면을 동시에 고려한 새로운 최적 생산량 기준을 제시할 수도 있을 것이다.

## 2. 연구의 범위와 방법

### 1) 연구의 내용 및 범위

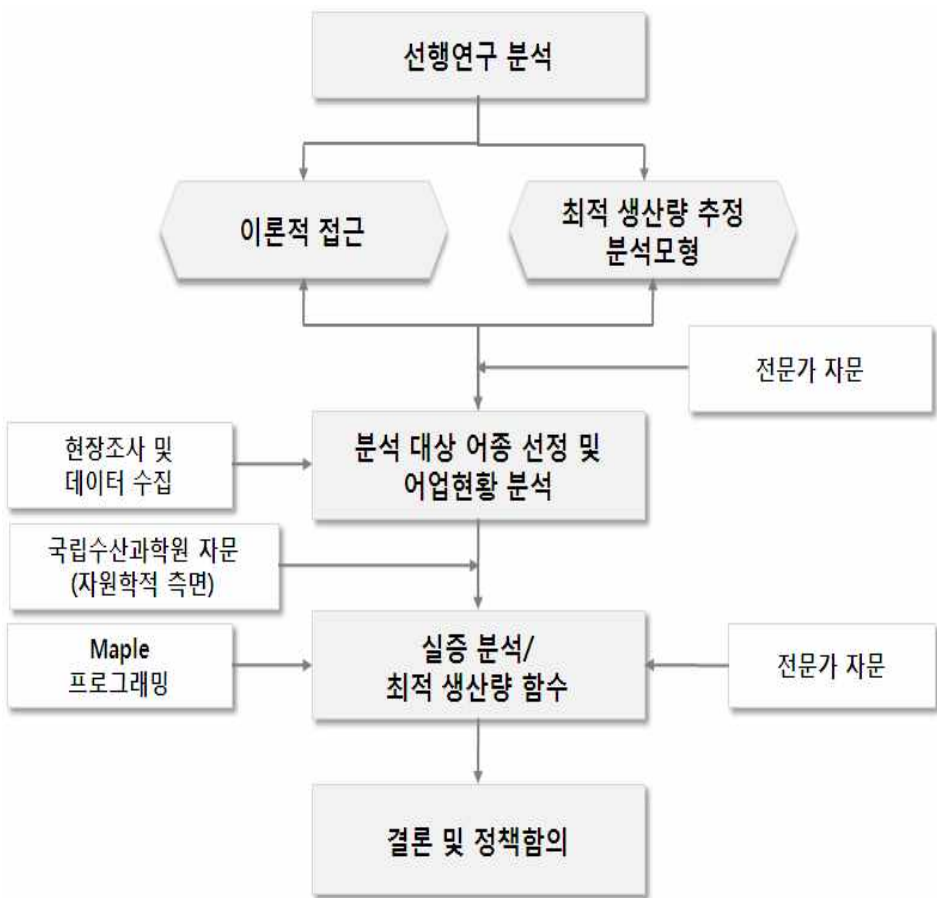
본 보고서는 총 6개의 장으로 구성되어 있다. 제1장에서는 연구의 필요성, 목적, 범위 및 방법을 기술하고, 최적 생산량 추정과 관련된 선행연구를 제시하였다. 아울러 기존 연구와 본 연구의 차별성을 기술하였다. 제2장에서는 최적 생산량의 개념을 설명하였고, 여러가지 잉여생산모형을 비교·분석하였다. 그리고 생물경제모형에 필요한 어획생산함수, 어획비용함수, 이윤함수, 최적화 모형을 이론적으로 검토하였다. 제3장에서는 분석대상 어종을 선정하기 위한 기준을 설정하였다. 또한 동 기준에 적합한 어종을 선정하고, 선정된 어종의 어업현황을 분석하였다. 제4장에서는 실증 분석을 위해 분석 자료, 분석 모형 등에 대해 설명하였다. 아울러 선정된 어종에 대하여 Maple 프로그램을 이용하여 실증분석을 수행하였고, 분석에 따른 한계점을 적시하였다. 제5장에서는 어가, 어업비용, TAC 등과 같은 계수들을 이용하여 시나리오별 상황 분석을 시도하였다. 추가적으로 추정치와 실제 어획량 및 어획노력량 등을 비교·분석함으로써 정책적 시사점을 도출하였다. 마지막으로 제6장에서는 연구 내용을 요약하고 결론을 도출하였다. 또한 이 연구의 결과의 활용 차원에서 정책적 방안을 제시하였다.

## 2) 연구의 방법

본 연구는 주로 이론연구, 문헌조사 및 수리분석을 통해 수행되었고, 연구 내용 중 자원학적인 부분은 국립수산물과학원의 전문가 자문을 거쳤다. 그리고 대상어종의 자료는 현지 업계를 방문하여 직접 요청·수집함으로써 자료의 현실성을 제고시켰다. 아울러 전문가 워크숍을 개최하여 최종 연구결과를 검증 받았다. 또한 동 연구결과의 활용도를 제고시키기 위하여 전문가, 정책 입안자, 업계 관련자간의 브레인스토밍을 거쳐 연구결과의 활용에 관한 새로운 의견들을 상호 교환함으로써 현실성 있는 정책 대안을 모색하였다.

단계별 연구방법은 먼저 수산물 어획생산함수와 생물경제모형의 기술적 상관관계를 최적화하기 위해 기존에 발표된 다양한 생물경제모형과 생산함수모형을 검토한 후, 검토 내용을 토대로 어획생산함수, 어획비용함수, 이윤함수, 최적함수 순으로 추정하였다. 세부적으로 살펴보면 첫째, 자원량, 어획량, 어획노력량에 기초한 전통적 회귀분석(OLS), Schaefer 모형, Fox 모형, Schnute 모형 등으로부터 도출 가능한 파라미터들(어획능력계수, 최대환경용량, 자원의 본원적 성장률 등)을 추정하였다. 둘째, 어획노력량과 자원량 변수를 내생화한 어획생산함수로부터 기술적 파라미터를 추정하였다. 셋째, 어종의 어획 상황을 고려한 이론적 가정하에 어획비용함수를 추정하였다. 마지막으로 성장함수, 어획생산함수, 어획비용함수, 이윤함수를 작간접적으로 포함하는 생물경제모형을 이용하여 최적함수를 추정하는 실증분석을 수행하였다. 그러나 이러한 실증분석시 특정어종의 어업상황을 단순화시키는 가정이 요구되며, 생물적, 기술적 파라미터 추정의 신뢰성에는 한계가 존재한다.

이상에서 설명한 본 연구의 조사방법을 적용한 수행체계는 <그림 1-2>와 같이 정리할 수 있다.



| 그림 1-2 | 본 연구의 수행체계

### 3. 선행연구 검토 및 선행연구와의 차별성

#### 1) 선행연구의 내용

생물경제모형은 최근 들어 국제적으로 수산자원관리 수단의 평가, 적정 어획량 추정, 수산물 균형공급 함수 추정 등 많은 분야에서 널리 활용되고 있다. 한 예로서 Anderson(2000)은 자유입어(Open Access)하에서의 TAC 수단과 출어당

어획량 통제 수단과의 효과를 비교·분석하였고, Lee, Larkin, Adams(2000)는 미국 북대서양 황새치 자원에 대한 TAC 수단, 어선감척사업에 대한 효과를 분석하였다. Sakuramoto 외(2001)는 어획량 예측모델과 연령구조모델을 이용하여 일본 근해 도루묵 자원에 대한 해양보호구역(marine protected area)제도의 효과를 분석하였다. 아울러 이외에도 많은 연구자들이 생물경제모형을 이용하여 어업자원관리 수단을 비교·분석하였다.

적정어획량 추정과 관련된 연구들로, Pascoe, Battaglene, Campbell(1992)은 연령구조모형에 기반을 둔 호주 남부의 상어잡이어업에 대한 최적어획전략을 제시하였다. Conrad(1992)는 태평양 대구어업의 최적어획노력 수준을 추정하였고, Lopes, Michel, Rotilon(1996)은 왕새우의 이용과 관리를 검토하는데 생물경제모형을 이용하였다.

수산물 균형공급함수 추정과 연관된 선행연구로는 Nahrstedt 외(1992)는 덴마크 북해 해저류에 대한 정태적, 생산적 Schaefer 생산함수를 추정하였다. 동 연구에서 정태적 Schaefer 생산함수에 적용된 마력수와 선원 사이에 심각한 다중공선성이 나타남으로 인해 생산적 Schaefer 생산함수를 적용하는 것이 바람직하다고 제시하였다. Nostbakken and Bjørndal(2003)은 개방형어업과 최적관리어업 하에서의 북해 청어의 공급함수를 추정함으로 어업관리규제의 유형에 따라 북해 청어의 공급은 중대한 영향을 미친다고 하였다. Olagunju, Adesiyun, Ezekiel(2007)은 나이지리아 메기 생산 활동에 대한 경제성을 분석함으로써 나이지리아 메기의 생산은 높은 수익을 창출하며, 수익창출의 이유는 규모의 경제에 기인한다고 하였다.

한편 국내에서 생물경제모형을 이용한 연구는 매우 미흡한 실정이다. Kim and Lee(2004)가 잉여생산모델을 바탕으로 생물경제모형을 구축하여 우리나라 어선감척사업의 효과를 분석하였다. 김도훈(2004)이 미국 멕시코만에 서식하는 2개 어종에 대하여 복수어종 생물경제모형을 활용하여 TAC, 연승어구 금지수단 등에 대한 효과를 분석하였다. 조정화·홍설걸(2001)이 생물경제모형을 이용

하여 우리나라 고등어 자원에 대해 최적 어획량과 자원량 수준을 분석하였다. 표희동(2001)은 생물학적 잉여생산모형의 종류를 살펴보고 각 모델의 추정치와 추정 결과치를 비교·분석하였다.

## 2) 선행연구와의 차별성

본 연구와 선행연구의 뚜렷한 차별성으로 우선, 잉여생산모형으로부터 생물적, 기술적 계수를 추정하는데 그치지 않고, 로지스틱성장함수와 어획량 변수를 이용하여 보다 신뢰성 높은 변수 추정을 시도하였다. 특히, 어획노력량 변수에 있어 주로 이용되는 어선척수, 톤수, 마력수 등이 자원량 추정의 변수로서 신뢰성에 한계가 있다는 점을 착안하여 기 추정된 자원량 정보에 기초하여 이들 생물적 계수를 역추정하였다.

둘째, 특정어종의 최적어획량을 추정할 때, 일반적으로 어획생산함수는 분석의 어려움에 기인하여 선형적인 어획생산함수로 가정하는 사례가 많았다. 그러나 본 연구에서는 이들 관계성을 선형으로 단정 짓지 않고, Cobb-Douglas 어획생산함수를 이용하여 어획노력량과 자원량의 탄성치 즉, Cobb-Douglas 승수 (b, g)를 추정하여 분석하였다.<sup>3)</sup>

셋째, 생태적 균형하에서 추정된 대형선망어업의 고등어와 전갱이의 최적 생산량에 대해 환경 및 경제 변수들의 다양한 변화를 고려하였다. 즉, 관세율 변화에 따른 가격 변동, 유가 상승에 따른 어업비용 증가 등에 대해 시나리오 별로 다양한 분석결과를 제시함으로써 정책적 의사결정의 기초 자료를 제공하고 있다.

3) 여기서 b는 자원량에 대한 탄력성(Stock-output elasticity), g는 어획노력량에 따른 탄력성(effort-output elasticity)을 의미한다.

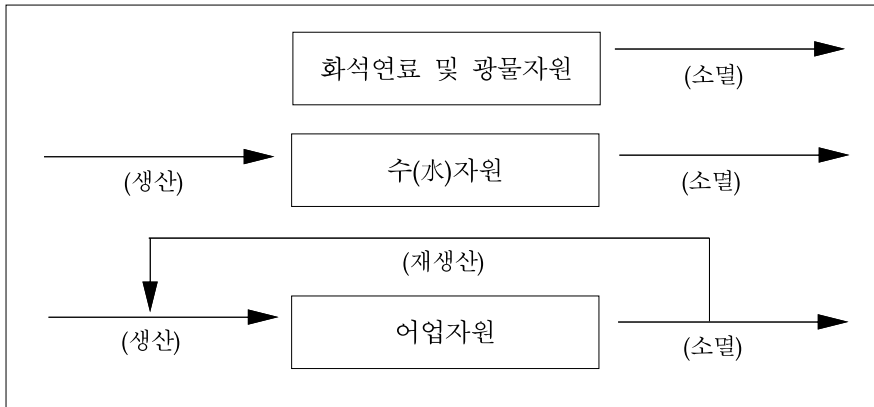
## 제 2 장 최적 생산량 추정 모형

제2장은 주로 문헌조사에 기초한 이론적인 내용을 정리하였다. 즉, 제3장의 대상어종 선정과 4장의 실증분석에 기초가 되는 내용을 이론적으로 검토함으로써, 대상어종 선정 및 실증분석 모형의 타당성과 논리성을 제공하였다.

### 1. 최적 생산량의 개념

#### 1) 어업자원의 생물경제학적 특징

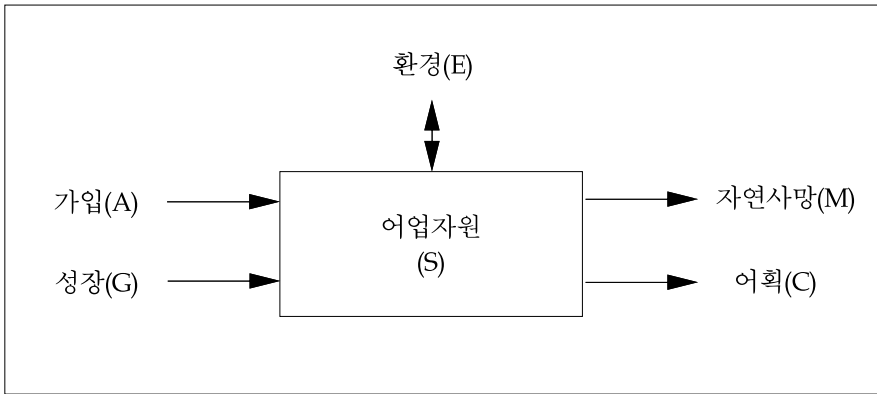
어업자원은 수산자원 중에서 어업활동에 의해 이용될 수 있는 생물집단을 의미하며, 지구상에 존재하고 있는 다른 천연자원과는 다른 특성을 가지고 있다. 즉, 화석연료인 석탄, 석유, 가스나 광물자원 등은 인간이 이용함에 따라 매장량이 계속적으로 감소만 하고, 재생이 불가능한 소위 갱신불가능한(non-renewable) 자원이다. 하지만 어업자원은 자율적으로 갱신 가능한(self-renewable) 자원으로 스스로 번식하고, 성장할 수 있기 때문에 해양 생태계 내의 급격한 변화가 없다고 가정하면 적절한 관리를 통해 지속적인 이용이 가능 할 수 있다 (<그림 2-1> 참조).



| 그림 2-1 | 비갱신성 자원과 갱신성 자원(어업자원)의 순환

그러나 어업자원도 계속되는 외부의 태양 에너지로부터 생산되는 기초 생산력(=플랑크톤)에 의존하여 재생산이 가능하나 부적절한 관리로 자원이 일정 수준 이하로 떨어지면, 자원자체의 재생산력(reproduction power)을 잃어버려 광물성 자원과 같은 고갈성 자원이 될 수도 있다. 따라서 어업자원의 고갈을 막고 어업자원의 재생산 관계로부터 지속가능한 최대의 생산량을 얻기 위해서는 어업자원량을 적정상태로 유지시켜야 한다.

세부적으로 어업자원의 일반적 특성으로서 어업자원량의 변동을 살펴보면, 어획이 없는 천연자연 상태 하에서 어업자원은 자연사망에 의해 자원량이 감소하고, 출생(가입)에 의해 자원량이 증가하게 된다. 그러나 자원이 무한정 증가되는 것이 아니라 해양생태계가 수용할 수 있는 정도까지 증가하게 된다. 하지만 어업자원의 자연 증가량보다 어획량이 커지게 되면, 자원량 감소는 더욱 커지게 된다. 이와 같이 어업자원량의 변동은 크게 가입량과 자연사망량 그리고 어획사망량의 세 개 변수에 의해 결정된다. 물론 각 요소들은 어업자원이 속해 있는 해양 생태계의 환경에 따라서도 변하게 된다(<그림 2-2> 참조).



| 그림 2-2 | 어업자원의 변동요인

Russell(1931)은 이러한 어업자원량 변화 관계를 다음 식 (2-1)로 나타내었는데,

$$S_{i+1} = S_i + (A+G) - (M+C) \quad \text{식 (2-1)}$$

여기서,  $S_{i+1}$ 는  $i+1$ 년도의 자원량,  $S_i$ 는  $i$ 년도의 자원량,  $A$ 는 가입량,  $G$ 는 개체의 성장량,  $M$ 은 자연사망량, 그리고  $C$ 는 어획량을 의미한다. 즉,  $i+1$ 년도와  $i$ 년도의 자원량( $S$ ) 변화에는 가입량( $A$ )과 개체의 성장에 따른 증중량( $G$ )에 의한 자원량 증가요인과 자연사망량( $M$ )과 어획사망량( $C$ )에 의한 감소요인이 작용하게 된다. 자원변동이 없는 평형상태( $S_{i+1}=S_i$ ) 하에서는  $A+G = M+C$ 의 관계가 성립하게 되어 증가요인과 감소요인의 크기가 같게 된다. 그리고 이를 바탕으로 어획량( $C$ )을 구하면 식 (2-2)와 같이 된다.

$$C = A + G - M \quad \text{식 (2-2)}$$

식 (2-2)은 어업생산의 기초 함수식으로 어획량( $C$ )을 자연 변동량( $A+G-M$ )



만큼만 취하게 되면, 어업자원량은 균형상태를 유지하게 된다. 하지만 어획량(C)이 자연 변동량보다 증가하게 되면 균형 자원량 상태는 깨어지게 되어 자원량은 감소하고, 반대로 어획량(C)이 자연 변동량보다 적으면 자원량은 증가하게 된다.

어업자원의 또 다른 특징 중의 하나는 다른 천연자원과 달리 대개 이동성(mobility)을 가지며, 어업자원을 소유하는 주인이 없는 것이 특징이다. 물론 엄청난 비용을 들여서 일정 수역에 대해 울타리를 친다면 사유화가 불가능한 것도 아니지만, 완전히 경계를 치고 어업자원을 사유화하는 것은 경제적으로 또는 물리적으로 불가능한 일이다. 이에 따라 누구나 똑같은 권리를 가지고 자유로이 어획활동을 행할 수 있어 자연 변동량을 초과한 과도한 어획으로 어업자원은 쉽게 고갈될 우려가 있다.<sup>4)</sup>

어업인의 어획활동은 경제적 행위의 일종으로서 다른 산업분야에서의 경제활동과 마찬가지로 주로 경제적 인센티브에 의해 동기부여가 된다. 그러나 어업은 다른 1차 산업과는 달리 어획활동으로 인한 어획물은 해양생태계내의 어업자원 상태에 크게 의존하고 있다. 아울러 여러 가지 경제조건의 변화에 따른 단기적인 대응수단으로서의 어업인의 급격한 어획활동 변화는 자원량에 영향을 미치게 되고 이는 미래의 어획량에 변화를 초래하는 ‘외부성(externality)’을 동반하게 된다.

---

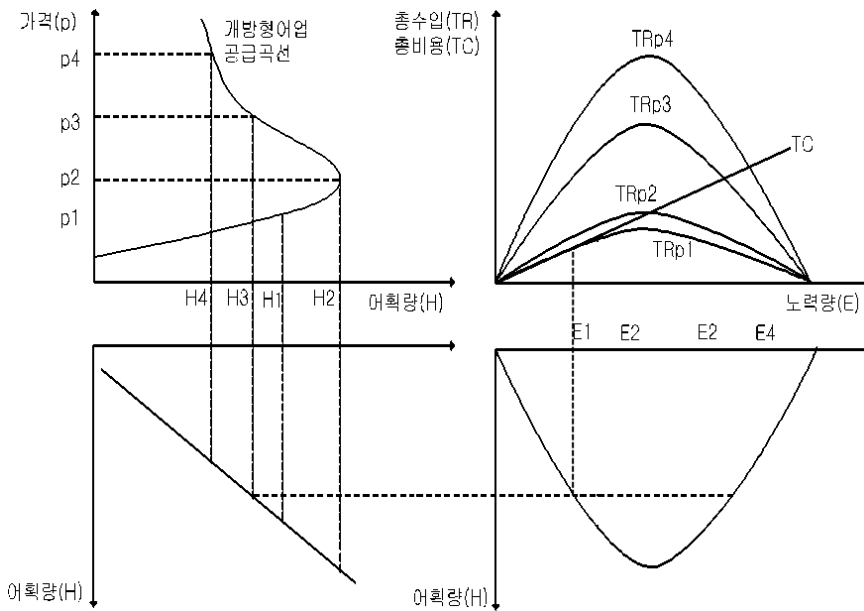
4) 어업자원 남획의 주요 원인은 어업자원의 소유권이 명확히 구분되어 있지 않기 때문이다. 따라서 자유입어 하에서 어업인은 상대적으로 가능한 한 빨리 그리고 많이 어획하려는 동기부여를 가진다고 할 수 있다.

## 2) 최적 생산량의 개념

### (1) 후방굴절형 수산물 공급곡선

수산자원과 관련하여 어획량-어획노력량의 기본적인 모형을 이해하기 위해서는 먼저 후방굴절형(backward bending) 공급곡선이 어떻게 도출되는지를 살펴볼 필요가 있다. <그림 2-3>의 공급곡선은 로지스틱 성장모형으로부터 도출한 것인데, 동 성장모형은 주로 자원(population)의 생물경제학적 성장률을 모형화하는 데에 사용되며, 수산자원의 성장률이 지속가능한 최대생산량(maximum sustainable yield : MSY) 수준에 도달하기까지 지속적으로 증가한다는 것을 전제로 한다.

이에 따르면, 수산자원은 해양생태계의 환경수용력(carrying capacity)에 영향을 받기 때문에 기하급수적으로 계속 증가하는 것이 아니라, 일정 시점에 이르러서는 환경적 저항으로 인하여 성장률이 감소하게 된다. 여기서 만일 어획노력량과 자원량 간에 직접적인 관계가 있다면 어획량-자원량 곡선 자체가 곧 어획량-어획노력량 관계를 나타내게 되며(Anderson 1977, Hannesson 1993), 이러한 어획량-어획노력량 관계는 <그림 2-3>과 같이 나타낼 수 있다.



| 그림 2-3 | 개방형 수산물 공급의 연관관계

여기서 어획량과 어획노력량 간의 상관관계는 어업수입과 어획노력량 간의 상관관계로 전환될 수 있는데, <그림 2-3>의 오른쪽 상단 그림에 나타난 바와 같다. 이때 X축은 어획노력량을 나타내지만 Y축은 어획량이 아니라 어업수입을 나타낸다. 그리고 어업수입과 어획노력량 간의 관계는 총수입(TR)과 총비용(TC)곡선으로 표시된다. 즉, 총수입(TR)은 어획량에 가격을 곱해서 도출하고, 총비용(TC)은 단위어획노력비용과 어획노력량 수준을 곱해서 도출한다.

개방형(open access) 어업구조 하에서는 주어진 생산가격과 어획노력량 비용에 대해 총수입과 총비용이 같을 때 균형이 이루어진다. 그리고 만약 이러한 균형점을 초과하여 계속적으로 어획노력량을 증가시키게 되면 비용이 수입을 초과하게 되어 어업인의 지속적 어업활동이 불가능하게 된다. 또한 균형점 이

하에서 어획을 할 경우에도 수익이 발생하는 한 어업인은 계속적으로 어획노력량을 증가시키려는 경향을 나타내기 때문에 이 역시 지속가능하다고 할 수 없다.

수산물에 대한 후방굴절형 공급곡선은 이상과 같이 어획노력량-가격과 어획노력량-어획량을 통해서 도출할 수 있는데, 이를 그림으로 나타내면 <그림 2-3>의 좌측상단과 같다. 이와 같은 후방굴절형 공급곡선에 의하면, 가격이 상승하면 균형어획량이 증가되면서 MSY에 이를 때까지 공급곡선이 우상향하지만, 이후에도 이러한 가격상승이 계속되면 추가적인 어획노력량 증가는 자원량의 감소로 이어져 결국은 지속가능한 어획량까지도 감소시키게 됨을 알 수 있다.

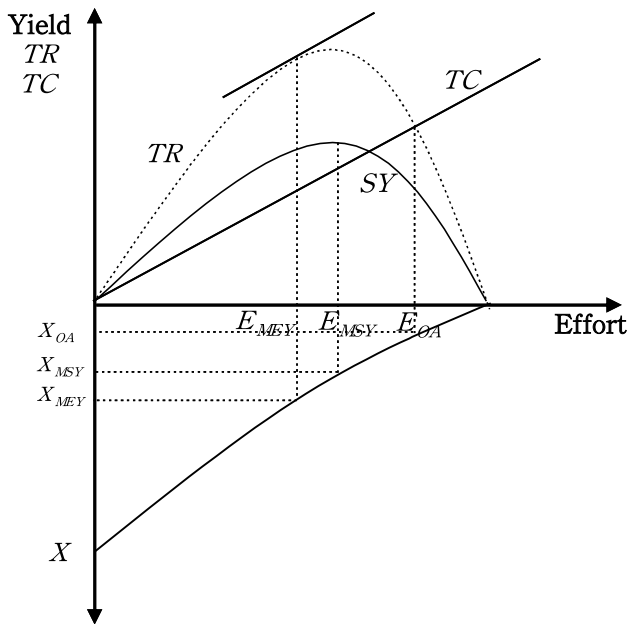
## (2) 최적 생산량의 개념

최적 생산량의 개념은 생물학적, 경제적, 사회적 요소들을 포함함에 따라 다양한 의미를 가지며 유동적이기도 하다. 그러나 최적 생산량의 개념에 있어 생물학적 사고는 어업정책의 틀을 구성하는데 지배적인 역할을 하고 있다. Cunningham, Dunn, Whitmarsh(1985)는 최적생산량의 개념이 MSY개념의 결함으로부터 나왔다고 주장하였다. 어업의 환경은 매년 변동이 심하며, 불확실한 환경조건에서 MSY가 과도하게 추정된다면 자원의 남획 가능성이 존재함으로 MSY이하에 있는 어획량 수준이 대안적인 생물학적 목표로 제안되어왔다. 수산 생물학자에 의해 가정된 한 수준은 어업사망률인  $F_{0.1}$  수준이다<sup>5)</sup>(Gulland, 1983, Deriso, 1987). 최적어획수준으로  $F_{0.1}$ 은 경제적 편익이 자유입어의 어획노력량 수준보다 낮으며, MSY를 생산할 수 있는 어획노력량의 수준에서 실현된다. 그러나  $F_{0.1}$ 의 목표는 임의적이며, 어획량이 최적이라는 이론적인 근거도 없다. 그럼에도 불구하고 자원량을 부당하게 감소시키지 않는다는 점에서 여러 수산

5)  $F_{0.1}$  수준은 가입량당 어획량 곡선의 기울기가 초기 기울기의 10% 수준인 것을 의미한다.

업에서 최적어획량 전략으로 채택되어왔다.

반면, 경제적인 관점에서 볼 때 공유자원인 어업자원을 이용하는데 있어 어획활동을 어업인의 자유로운 판단에 맡기게 되면 자원으로부터 얻을 수 있는 경제적 지대(economic rent)는 소멸하게 된다. 따라서 자원의 지속가능한 수준을 유지하면서 경제적 지대를 최대화 하기 위해서는 어획량을 추가하는데 소요되는 한계비용과 한계편익이 같은 수준에서 어획활동이 이루어져야 한다. 따라서 최적 생산량이란 지속가능한 자원을 유지하면서 최대의 경제적 이윤을 얻을 수 있는 생산량을 의미한다. 즉, 최적 생산량은 지속 가능한 자원상태, 어가, 비용 등을 모두 고려하여 추정된다.



| 그림 2-4 | 생물경제모형내의 최적 자원량, 최적 어획량 관계

한편, 최적어획량수준을 유지하기 위해서는 정확한 자원량 추정과 더불어 어종의 성장에 대한 정보가 매우 중요하다. 왜냐하면 자원량 추정과 성장률에

따라 최적 어획량이 달라질 수 있기 때문이다. 그러나 현실적으로 해양 생태계 내에서 서식하는 어종의 자원량 추정은 매우 어렵고 복잡하다. 이는 해양생태계 내에서 자원에 미치는 요소는 매우 다양하고, 각 요소의 상관관계는 매우 복잡하기 때문이다.

## 2. 잉여생산 기본 모형<sup>6)</sup>

생물경제모형을 구축하여 최적 생산량을 추정하기 위해서는 우선 생물학적 잉여생산모형의 선정과 추정이 가장 중요하다. 이는 생물경제모형이 어업자원의 생산적 자원량 변화를 바탕으로 어획량 변화 및 경제적 효과 변화를 분석하기 때문이다. 즉 어업자원량 변화에 따라 어획량 수준이 달라지고, 그 결과 경제적인 어업이윤도 결정된다. 따라서 잉여생산모형을 어떻게 설정하고, 얼마나 적합하게 추정하는가가 생물경제모형 결과치(추정치)의 신뢰성을 높이는 데 아주 중요하다고 할 수 있다.

어업자원의 생물학적 생산모형을 세분하여 구분하면 아주 다양하지만, 일반적으로 생물경제모형에서 사용하는 것은 크게 두 가지 모형으로 구분된다. 하나는 잉여생산량 모형(surplus production model)이고, 다른 하나는 연령구조 모형(age-structured model)인데, 이들은 자원량 평가에 대한 가정이나 추정하는 자료가 다르게 이용된다.<sup>7)</sup> 일반적으로 생물학적 자료가 부족할 경우에는 잉여생산량 모형을 사용하고, 보다 많은 자료가 활용 가능할 경우에는 연령구조 모형을 사용하게 된다(Haddon, 2001; Hilborn and Walters, 2001; Quinn and Deriso, 1999).

6) 동 기본과제 외부전문가 활용 보고서 내용에서 발췌·수정하였다.

7) 연령구조모형의 추정치가 잉여생산모형의 결과치보다 더욱 정확한 경우도 있으나, 어종에 따라 잉여생산모형의 결과치가 더욱 정확한 경우도 있다(M. Haddon, *Modelling and Quantitative in Fisheries*, Champman & Hall/CRC, 2001).

잉여생산모형은 생물학적 자료의 유무와 자료의 신뢰성에 따라 평가 모형이 달라진다. 앞에서 언급한바와 같이 필요한 생물학적 자료가 적을 경우 잉여생산모형을 사용하여 자원량을 추정하고, 분석에 필요한 관련 생물학적 자료가 많을수록 연령구조모형을 선호하게 된다. 특히 연령구조모형을 이용하기 위해서는 연령별 자원 개체수, 중량, 자연 사망률 및 어획가능계수, 혼획율, 산란량 및 가입량 등의 자료가 필요하고, 이들 자료를 얻기 위해서는 많은 노력과 비용이 들게 된다. 반면 연령구조모형의 장점은 비교적 정확한 자원량 추정이 가능하다는 것이다.

| 표 2-1 | 잉여생산모형별 필요한 생물학적 자료

구분	필요한 자료(자원평가 결과로부터 추정된 자료)
잉여생산량 모형	어업자원의 본원적 성장률( $r$ ), 현재 자원량 수준( $X_0$ ), 최대 자원량 수준( $K$ ), 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준( $X_{msy}$ ), 최대 어획량수준( $MSY$ ), 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 모형	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( $X_{msy}$ ), 최대어획량수준( $MSY$ ), 연령별 어획능률계수( $Catchability\ coefficient\ by\ age$ ), 어종의 해역별 이동 자료 및 해역별 산란, 성장, 자연 및 어획사망계수 자료

자료 : 류정곤 외, 어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제 모형 활용에 관한 연구, KMI, 2005.

잉여생산량 모형은 어획노력량 자료와 어획량 자료만 있으면 자원량 평가가 가능하므로, 자료수집에 있어 비교적 적은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 현실적으로 여러 가지 제약상 연령구조 모델보다는 잉여생산모형이 널리 활용되고 있는 실정이다.

본 절에서는 주로 잉여생산량 모형중에서 5가지 모형에 대해 세부적인 이론적인 설명을 하였는데, 이는 이들 모형이 제4장 최적어획량추정을 위한 실증 분석에서 생물학적 계수를 추정하는데 사용되기 때문이다.<sup>8)</sup>

## 1) 잉여생산량 모형

잉여생산량 모형은 어업자원량 평가 및 잉여생산모형으로서 가장 간단한 분석적 방법으로, 어업자원의 변동량을 나타내는 가입량, 성장량, 자연사망량이 하나의 단일함수 형태로 평가된다. 따라서 잉여생산량 모형은 어업자원군의 크기 변화만을 다루게 되므로, 그 어업자원군의 연령분포와 같은 세부적인 속성을 고려하지 않는 것이 특징이다. 또한 단위노력당어획량(catch per unit effort : CPUE)과 같은 자원량 평가지표와 어획량 자료만 있으면 모형 추정이 가능하므로 비교적 적은 자료를 가지고 자원량 생산변화를 추정할 수 있는 장점이 있다.

잉여생산량 모형은 Verhulst(1838)에 의해 처음으로 제시되었고, Graham (1935)은 개체수 대신 생체량(중량) 변화를 도입함으로써 원래의 로지스틱 모형을 확장시킨 시그모이드(sigmoid) 성장모형을 개발하였다. 이후 Shaefer (1954, 1957)는 Graham의 모형을 체계화시켜서 쉽게 이용될 수 있는 모형으로 발전시켰으며<sup>9)</sup>, Gulland(1961)는 가입량은 다소 일정하다는(적어도 어떤 경향은 보이지 않는다는) 가정을 바탕으로, 자원군 크기가 현재로부터 몇 년 전동안의 어획 크기에 의해 조절될 것이라 하여 Shaefer 모형을 변형시켰다.

또한 Fox(1970)는 자원군 크기가 어획노력량의 함수로서 직선적으로 감소하기보다는 오히려 지수적으로 감소한다고 가정하여, Gompertz의 개체군 성장식을 적용하여 지수함수 모형을 개발하였다.<sup>10)</sup> 그리고 Pella and Tomlinson(1969)

8) 연령구조모형은 생물학적 자료의 미흡으로 인해 동 분석에서는 사용하지는 않았으나, 독자의 잉여생산모형에 대한 이해를 돕기 위해 설명하였다.

9) 로지스틱모형(logistic growth model)은 환경수용능력(Environmental carrying capacity)의 절반 수준( $K/2$ )에서 자원량의 최대 성장이 이루어진다.



은 위의 모형들을 일반화시켜서 또 하나의 변수인  $m$ 을 추가한 일반화된 생산량 모형(generalized production model)을 개발하였고, Schnute(1977)는 중회귀직선을 사용해서 해결할 수 있는 새로운 모형을 개발하였다. 이 외 Csirke and Caddy(1983)는 어획노력량은 어획사망계수에 직접 비례한다는 가정이 더 이상 옳지 않다고 가정하고, 어획노력량을 사용하는 대신 전사망계수나 어획사망계수를 사용하는 모형을 개발하였다(장창익, 1991).

앞에서 언급한 여러 가지 모형 중 5개 모형(Graham-Schaefer모형, Schnute모형, Walters & Hilborn 모형, Fox모형, CY& P모형)에 대하여 살펴보고자 한다.

### (1) Graham-Schaefer 모형

Graham-Schaefer 잉여생산량 모형은 다른 잉여생산량 모형과 마찬가지로, 어업자원량의 크기와 자원군이 생산하는 잉여생산량간의 관계를 규명하는 것이다. 이 모형에서는 어업자원량( $X$ )의 변화는 식 (2-3)에서 보는 바와 같이, 어업자원 자체의 자연증가율에서 어획에 의한 감소율에 의해 결정되는 것으로 가정하고 있다.

$$\frac{dX}{dt} = [G(X) - H(F)] \cdot X \quad \text{식 (2-3)}$$

여기서,  $G(X)$ 는 어업자원의 성장함수,  $H$ 는 어획함수, 그리고  $F$ 는 어획사망계수 수준을 의미한다. 그리고 순간어획량( $\frac{dH}{dt}$ )은 어획사망계수( $F$ )와 현재 어업자원량의 곱으로 식 (2-4)와 같이 나타낼 수 있게 된다.

10) 지수성장모형(Exponential growth model)은 로지스틱곡선보다 더 낮은 수준에서 자원량의 최대성장이 이루어진다.

$$\frac{dH}{dt} = F \cdot X \quad \text{식 (2-4)}$$

여기서, 어획사망계수(F)는 어획능률계수(q)와 어획노력량(E)의 곱이므로, 식 (2-4)은 다음의 식 (2-5)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dH}{dt} = q \cdot E \cdot X \quad \text{식 (2-5)}$$

또한 Schaefer는 어업자원의 성장함수[G(X)]를 식 (2-6)에서와 같은 로지스틱 함수로 가정하였다.

$$G(X) = r \cdot X \cdot \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{식 (2-6)}$$

여기서, r은 어업자원의 본원적 성장률(intrinsic rate) 그리고 K는 환경수용 능력을 의미한다. 이에 따라 어업자원의 성장함수식을 이용하여 자원량 변화식을 정리하면 식 (2-7)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad \text{식 (2-7)}$$

그리고 자연 상태에서 어획활동이 이루어지게 되면 자원량 변화식은 식 (2-5)을 식 (2-7)에 대입하여 식 (2-8)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

$$X_{t+1} = X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - H_t$$

$$\begin{aligned}
 &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - F_t \cdot X_t \\
 &= X_t + r \cdot X_t \cdot \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) - q \cdot E_t \cdot X_t \quad \text{식 (2-8)}
 \end{aligned}$$

식 (2-8)에서 보는 바와 같이, t기의 어획량 수준이 t기의 재생산 수준보다 높으면 t+1기의 어업자원량은 감소하게 되고, 반대이면 어업자원량은 증가하게 된다. 만약 식 (2-8)에서 어획에 의한 감소가 자원의 자연 증가와 같게 될 경우 ( $=\frac{dX}{dt}$ ), 이를 균형상태라 부르게 되고, 이 때의 연간 어획량( $X_t$ )은 연간 균형생산량( $H^*$ )이라 할 수 있으며 식 (2-9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H^* = r \cdot X \cdot \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{식 (2-9)}$$

균형생산량( $H^*$ )을 식 (2-5)과 같이 나타내어 식 (2-9)을 X에 대해 정리하면 식 (2-10)과 같이 되고,

$$X = \frac{K}{r} \cdot (q \cdot E - r) \quad \text{식 (2-10)}$$

이를 어획함수(H)에 대입하면 어획노력량(E) 수준과 지속가능한 어획량과의 관계를 식 (2-11)과 같이 도출할 수 있다.

$$H = q \cdot K \cdot E \cdot \left(1 - \frac{q \cdot E}{r}\right) \quad \text{식 (2-11)}$$

그리고 식 (2-11)을 더욱 간단히 표시하면,  $H = \alpha E - \beta E^2$  ( $\alpha = qK$ ,

$\beta = \frac{q^2 K}{r}$ )으로 나타낼 수 있다. 여기서, 어획량 자료와 어획노력량 자료가 활용 가능하면 회귀분석을 통해 각 계수의 값을 추정할 수 있게 된다.

또한 최대지속적생산량(MSY)을 얻을 수 있는 어획노력량( $E_{MSY}$ ) 수준은 식 (2-11)을 어획노력량( $E$ )에 대해 미분함으로써 구할 수 있는데, 그 해는 다음의 식 (2-12)에서 보는 바와 같다.

$$E_{MSY} = \frac{r}{2q} \quad \text{식 (2-12)}$$

그리고  $E_{MSY}$  수준에 따른 최대지속적생산량(MSY)은 식 (2-12)을 식 (2-11)에 대입하여 구하면 식 (2-13)과 같이 계산된다.

$$MSY = \frac{K \cdot r}{4} \quad \text{식 (2-13)}$$

## (2) Schnute 모형

Schnute 잉여생산량 모형은 Schaefer 모형을 식 (2-14)과 같은 생산식으로 변형하여 중회귀직선을 만들어 매개변수들을 추정하는 방법이다.

$$\log\left(\frac{U_{t+1}}{U_t}\right) = r - \frac{r}{qK} \left(\frac{U_{t+1} + U_t}{2}\right) - q \left(\frac{E_{t+1} + E_t}{2}\right) \quad \text{식 (2-14)}$$

여기서,  $U$ 는 단위노력당어획량( $CPUE = \frac{H}{E}$ )을 의미한다. 그리고 식 (2-14)에서 보는 바와 같이, 좌변항 변수인  $\log\left(\frac{U_{t+1}}{U_t}\right)$ 는 우변항 변수인

$\frac{U_{t+1} + U_t}{2}$ 와  $\frac{E_{t+1} + E_t}{2}$ 의 선형함수이다. 따라서 연도별 어획량과 어획노력량 자료를 이용하여 중회귀식으로 세 개의 매개변수인  $r$ (어업자원의 본원적 성장률),  $K$ (최대 자원량 수준),  $q$ (어획능률계수)를 추정할 수 있게 된다.

Schnute 모형에서 균형생산량은  $\frac{dX}{dt} = 0$ 인 경우가 되므로, 균형 단위노력당어획량( $U^*$ )은 식 (2-15)과 같이 나타낼 수 있다.

$$U^* = q \cdot K \cdot \left(1 - \frac{q}{r}E\right) \quad \text{식 (2-15)}$$

그리고 균형생산량( $H^*$ )은  $\frac{dX}{dt} = 0$ 이 되는 균형자원량( $X^*$ )을 계산하여 어획함수( $H$ )에 대입하면 어획노력량( $E$ ) 수준과 지속가능한 어획량과의 관계를 식 (2-16)과 같이 도출할 수 있다.

$$H^* = q \cdot E \cdot K \left(1 - \frac{q}{r}E\right) \quad \text{식 (2-16)}$$

또한 최대지속적생산량(MSY)을 얻을 수 있는 어획노력량( $E_{MSY}$ ) 수준은 식 (2-16)을 어획노력량( $E$ )에 대해 미분함으로써 구할 수 있는데, 그 해는 다음의 식 (2-17)에서 보는 바와 같다.

$$E_{MSY} = \frac{r}{2q} \quad \text{식 (2-17)}$$

그리고  $E_{MSY}$  수준에 따른 최대지속적생산량(MSY)은 식 (2-17)을 식 (2-16)에 대입하여 구하면 식 (2-18)과 같이 계산된다.

$$MSY = \frac{K \cdot r}{4} \quad \text{식 (2-18)}$$

이상과 같이, Schnute 모형의 경우 어획능률계수(q)를 중회귀분석에서 독립적으로 추정할 수 있을 뿐만 아니라, 모형의 매개변수를 추정하는데 있어 평형 상태의 자료를 필요로 하지 않는다는 장점이 있다. 이에 반해 다른 잉여생산량 모형의 단점과 마찬가지로 부정확한 어획량이나 어획노력량 자료를 사용할 경우 모형 추정치가 상당히 불안정할 단점이 있다. (3) Walters & Hilborn 모형

Walters와 Hilborn(1976)은 Schnute의 접근법보다 더욱 간단한 방법으로 다음과 같은 생산적인 형태를 제시하였다.

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{k}\right) - qE_t B_t \quad \text{식 (2-19)}$$

양변을 현재의 자원량인  $B_t$ 로 나누면,

$$\frac{B_{t+1}}{B_t} = 1 + r \left(1 - \frac{B_t}{k}\right) - qE_t \quad \text{식 (2-20)}$$

(식 2-20)으로부터  $B_t = \frac{\overline{U}_t}{q}$ 를 가정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\overline{U_{t+1}}}{\overline{U}_t} = 1 + r \left(1 - \frac{\overline{U}_t}{qk}\right) - qE_t \quad \text{식 (2-21)}$$

이를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\overline{U_{t+1}}}{U_t} - 1 = r - \frac{r}{qk} \overline{U_t} - qE_t \quad \text{식 (2-22)}$$

#### (4) Fox 모형

Fox 잉여생산량 모형은 어업자원량 변화율을 Gompertz 성장식으로 나타내는 모형으로서, 식 (2-23)과 같은 미분방정식을 가정하고 있다.

$$\frac{dX}{dt} = r \cdot X \cdot (\ln K - \ln X) - q \cdot E \cdot X \quad \text{식 (2-23)}$$

식 (2-23)에서 보는 바와 같이, t기의 어획량 수준이 t기의 재생산 수준보다 높으면 t+1기의 어업자원량은 감소하게 되고, 반대이면 어업자원량은 증가하게 된다. 만약 식 (2-23)에서 어획에 의한 감소가 자원의 자연 증가와 같게 될 경우 ( $=\frac{dX}{dt}$ ), 이를 균형상태라 부르게 되고, 이 때의 연간 어획량(Xt)은 연간 균형생산량(H\*)이라 할 수 있으며 식 (2-24)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H^* = r \cdot X \cdot (\ln K - \ln X) \quad \text{식 (2-24)}$$

균형생산량(H\*)을 식 (2-24)과 같이 나타내어 식 (2-24)을 X에 대해 정리하면 식 (2-25)과 같이 되고,

$$X = \exp\left(\ln K - \frac{q \cdot E}{r}\right) \quad \text{식 (2-25)}$$

이를 어획함수(H)에 대입하면 어획노력량(E) 수준과 지속가능한 어획량과의 관계를 식 (2-26)과 같이 도출할 수 있다.

$$H = q \cdot E \cdot \exp\left(\ln K - \frac{q \cdot E}{r}\right) \quad \text{식 (2-26)}$$

또한 최대지속적생산량(MSY)을 얻을 수 있는 어획노력량( $E_{MSY}$ ) 수준은 식 (2-26)을 어획노력량(E)에 대해 미분함으로써 구할 수 있는데, 그 해는 다음의 식 (2-27)에서 보는 바와 같다.

$$E_{MSY} = \frac{r}{q} \quad \text{식 (2-27)}$$

그리고  $E_{MSY}$  수준에 따른 최대지속적생산량(MSY)은 식 (2-27)을 식 (2-26)에 대입하여 구하면 식 (2-28)과 같이 계산된다.

$$MSY = \frac{K \cdot r}{e} \quad \text{식 (2-28)}$$

이상과 같이, Fox 모형은 Schaefer 모형과 같이 Gompertz 성장 모형을 가정함으로써 어업자원의 생산을 보다 정확하게 추정할 수 있는 장점이 있다. 하지만 Fox 모형에서 가정하고 있는 어획량과 어획노력량 간의 지수형(exponential) 관계에 대한 가정은 정확한 것이 아닐 가능성이 크다(Quinn and Deriso, 1999; 장창익, 1991).



### (5) Csirke and Caddy 모형

Csirke and Caddy 모형은 Schaefer 잉여생산량 모형 등과 같이 어업자원량의 크기와 자원군이 생산하는 잉여생산량 간의 관계를 규명하는 것이지만, 차이점으로는 Csirke and Caddy 모형의 경우 최대지속적생산량(MSY)과 MSY에서의 순간전사망계수(ZMSY) 혹은 MSY에서의 순간어획사망계수(FMSY)를 구하는데 있다. 따라서 어획량 자료와 순간전사망계수 혹은 순간어획사망계수 자료가 활용 가능할 경우 이 모형을 사용할 수 있게 된다.

로지스틱 성장 모형에서 균형생산량( $H^*$ )은 다음의 식 (2-29)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H^* = r \cdot X \cdot \left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{혹은} \quad H^* = q \cdot E \cdot X = F \cdot X$$

식 (2-29)

식 (2-29)의 정리에 따라  $\frac{H^*}{X} = r \cdot \left(1 - \frac{X}{K}\right) = F$ 가 되고, 이를 어업자원량( $X$ )에 대해 정리하면 식 (2-30)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$X = \left(\frac{r - F}{r}\right) \cdot K$$

식 (2-30)

위의 식을 식 (2-29)에 대입하면 식 (2-31)과 같이 정리될 수 있고,

$$H^* = K \cdot F - \frac{F^2}{r} K$$

식 (2-31)

여기서, 순간전사망계수( $Z$ )는 순간어획사망계수( $F$ )와 자연사망계수( $M$ )의 합이므로,  $F = Z - M$ 을 식 (2-31)에 대입하면 균형생산함수( $H^*$ )는 식 (2-32)에

서와 같이 순간전사망계수( $Z$ )에 대한 2차 방정식으로 정리할 수 있게 된다.

$$H^* = -(KM + K\frac{M^2}{r}) + (K + 2K\frac{M}{r})Z - (\frac{K}{r})Z^2 \quad \text{식 (2-32)}$$

식 (2-32)을 보다 간단하게 정리하여 식 (2-33)과 같이 나타낼 수 있으며,

$$H = a + bZ + cZ^2 \quad \text{식 (2-33)}$$

여기서,  $a = -K(\frac{rM - M^2}{r})$ ,  $b = K(\frac{r + 2M}{r})$ , 그리고  $c = -\frac{K}{r}$ 이다. 그

리고 식을  $Z$ 에 관해 미분하여 영(0)으로 정리하면 최대지속적생산량(MSY)의  $Z$  값( $Z_{MSY}$ )은 식 (2-34)과 같이 구할 수 있다.

$$Z_{MSY} = -\frac{b}{2c} \quad \text{식 (2-34)}$$

식 (2-34)의  $Z_{MSY}$  값을 식 (2-33)에 대입하면 계산하면 최대지속적생산량(MSY)은 다음의 식 (2-35)과 같이 구해지게 된다.

$$MSY = a - \frac{b^2}{4c} = \frac{K \cdot r}{4} \quad \text{식 (2-35)}$$

이상에서 살펴본 바와 같이, Csirke and Caddy 모형은 연도별 어획량과 전사망계수에 대한 자료만 있으면 최대지속적생산량(MSY)과 적정 어획률을 계산해 낼 수 있는 장점이 있다. 또한 어획노력량 자료 대신에 전사망계수나 어획사망계수를 활용하므로 부적절한 어획노력량 자료를 사용하는데 따른 문제점

들을 제거할 수 있는 장점이 있다.

## 2) 연령구조 모형

연령구조 모형(age-structured model)은 잉어생산량 모형과 달리 어업자원의 연령별로 자원량과 자원생산 변화를 평가하는 방법이다. 보다 구체적으로 연령구조 모형은 연령별 개체수의 가입과 성장 그리고 자연 및 어획사망에 대한 관계를 분석하는 모형 방법이다. 이에 따라 가입이나 성장, 자연사망, 어획사망 등에 대한 정보와 어획개시연령, 가입연령, 최대연령 등을 알 수 있으며, 주어진 가입연령에 대한 최대생산량을 초래하는 어획율을 예측할 수 있다.

그리고 연령구조모형은 연령별로 분석이 가능함으로 어업자원의 어획대상 부분과 비어획 대상부분을 상세하게 나타낼 수 있고, 어업자원의 자원생산 변화를 포괄적으로 분석할 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 서로 다른 가입연령에 대한 어획량과 서로 다른 어획노력량에 대한 어획량을 동시에 검토할 수 있어 잉어생산량 모형에서 평가할 수 없는 다양한 어업관리수단들의 효과를 분석할 수 있는 장점이 있다. 하지만 연령구조 모형의 단점으로는 모형 구축을 위한 가입량 함수, 어업자원의 연령구조, 연령별 개체수, 성장함수, 연령별 어획 및 자연사망계수 등 생물학적 자료가 충분히 조사되고 수집되어야 한다.

어획활동이 이루어지지 않을 경우 자원량 수준은 가입량과 자연사망계수에 의해서만 변하게 된다. 하지만 어획활동이 행해질 경우 어획사망계수가 부과되어 자원량 변화를 더욱 가속시키게 된다. 이에 따라 연령별 자원량 구성이 변하게 되고, 어획에 의하여 친어 자원량 수준이 변하기 때문에 가입량도 변하게 되는 등 전체적인 자원량 수준이 변하게 된다. 만약 자연사망계수를 포함한 어획율이 성장률과 가입율의 합보다 크게 되면 전체 자원량 수준은 감소하게 되고, 그 반대이면 전체 자원량 수준은 증가하게 된다.

연령구조 모형에서 연령별 자원량 변화를 수식으로 살펴보면,  $t+1$ 기의 각

연령군의 개체수( $N_{a+1, t+1}$ )는 다음의 식 (2-36)에서 보는 바와 같이,  $t$ 기의 어획 사망( $F$ )과 자연사망( $M$ )으로부터 감소된 개체수( $N_{a,t}$ )에 의해 결정된다.

$$N_{a+1, t+1} = N_{a,t} \cdot e^{-(M+F_t)} \quad \text{식 (2-36)}$$

여기서,  $t+1$ 기와  $t$ 기 사이의 연령군  $a$ 의 개체수 감소분은 식 (2-37)에서 보는 것과 같이 된다.

$$N_t - N_{t+1} = N_t - N_t \cdot e^{-(M+F_t)} = N_t \cdot (1 - e^{-(M+F_t)}) \quad \text{식 (2-37)}$$

그 결과  $t$ 기의 연령군  $a$ 의 어획개체수( $C_t$ )는 총 개체수 감소분 중에서 어획에 대한 부분으로 다음의 식 (2-38)과 같이 나타낼 수 있게 된다.

$$C_t = \frac{F_t}{M+F_t} \cdot N_t \cdot (1 - e^{-(M+F_t)}) = \frac{F_t}{M+F_t} [N_t - N_{t+1}] \quad \text{식 (2-38)}$$

위의 식에서 연령군  $a$ 에 체중( $w_a$ )을 곱해주면  $t$ 기의 연령군  $a$ 의 어획량( $H_a, t$ )을 구할 수 있게 된다. 그리고  $t$ 기의 총어획량( $H_t$ )은 식 (2-39)에서 보는 바와 같이, 연령별( $a=1, \dots, n$ ) 어획량의 합으로써 구할 수 있게 된다.

$$H_t = \sum_{a=1}^n N_{a,t} \cdot \frac{F_{a,t}}{F_{a,t} + M_a} \cdot (1 - e^{-(M_a+F_{a,t})}) \cdot w_a \quad \text{식 (2-39)}$$

### 3. 생물경제 기본 모형

본 절에서는 생물경제 모형에 필요한 어획생산함수, 어획비용함수, 이윤함수 모형 등을 검토하고, 이들 함수를 포함하는 최적화 모형에 대해 이론적인 검토를 하고자 한다.

#### 1) 어획생산함수 모형

어획생산량은 자원량 및 어획노력량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 어획노력량은 생물경제 분석에 있어서 매우 중요한 변수중 하나이다. 생물경제모형 내에서 어획생산함수는 생산요소의 투입에 따른 생산물의 양을 결정한다. 일반적으로 어획생산함수는 자원량과 어획노력량의 함수인데, 주로 콥-더글라스함수(Cobb-Douglas Function)가 어획생산함수로서 사용되어지고 있는데, 어업에서 흔히 사용되는 콥-더글라스함수의 형태는 다음과 같이 나타낼 수 있다.<sup>11)</sup>

$$H_t = q * X_t^\beta E_t^\alpha \quad \text{식 (2-40)}$$

여기서 H는 어획량을 나타내고, E는 어획노력량, X는 어종의 자원량을 나타낸다. 파라미터로서 q는 어획능력계수(Catchability Coefficient)를 나타내는데,

---

11) 콥-더글라스함수를 사용하는 데 있어 파라미터 값들을 구하기가 불가능할 경우 대체방법으로 바라노브 어획생산함수를 사용할 수 있다.

$$DY_t = N_t \frac{F_t}{Z_t} (1 - e^{-F_t})$$

여기서 DY는 어획량을 나타내고, Ft는 어획사망률을 나타내며 EInyrt의 함수이다, i.e. Ft = f(EInyrt) · Nt은 어종의 수, 그리고 Zt는 어획사망률과 자연사망률을 합한 총사망률을 나타낸다(T. Quinn II and R. Deriso, *Quantitative Fish Dynamaics*, Oxford University, 1999, p. 542).

어획능률계수는 단위어획노력량에 의해 어획되는 양을 자원량의 비율(%)로 나타낸다.  $\beta$  는 자원량에 따른 탄력성(Stock-output Elasticity)을,  $\gamma$  은 어획노력량에 따른 탄력성(Effort-output Elasticity)을 나타내는데, 이들 파라미터의 값은 일정하고 양의 값을 갖고 있다. 흔히  $\beta = \gamma = 1$ 을 가정하여 선형적인 함수형태로 사용되고 있다(Amderson, 1986, Clark, 1990, Commad, 1991). 그러나 제1장 선행 연구와의 차별성에서도 언급했듯이 본 연구에서는  $\beta$  와  $\gamma$  값을 추정하였다.

어획노력량에 대한 단위는 어업형태에 따라 조업일수, 양망횟수, 선박크기, 마력수, 어구 크기, 조업인원수 등이 될 수 있다. 그러나 실제적으로 어획량은 앞서 언급한 기준들이 복합적으로 작용하여 이루어지는 것이므로 어획노력량의 기준을 정하기는 매우 어렵다. 따라서 어획노력량의 측정치를 어획량의 상관관계를 잘 나타 낼 수 있도록 표준화 시키는 것이 매우 중요하다.

## 2) 어획비용함수 및 이윤함수 모형

생물경제모형에 있어 어획비용함수를 나타내기 위해서는 다음과 같은 가정이 필요하다. 어획노력당 단위비용(c)은 어획노력량을 조업일수로 정의할 경우, 어획활동을 하고 있는 어선들에 대해 표준이 되는 어선이 하루 동안 조업을 하는 데 있어 드는 비용을 의미한다. 일반적으로 자원량이 감소함에 따라 어획에 드는 비용은 증가한다. 예를 들면, 어획을 하기 위해 어군을 탐색하는 비용은 자원이 감소됨에 따라 증가할 수 있다. 그러나 고등어와 같이 군집특성이 있는 어종의 어획노력당 단위비용은 자원량의 밀도(stock density)와 상관없이 일정하다.<sup>12)</sup> 따라서 어획노력량(E)에 따른 어획비용함수는 다음과 같다

$$VC = c * E$$

식 (2-41)

12) T. Bjorndal, "The Optimal Management of North Sea Herring", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol.15, 1988, pp. 9~21.

그러나 위의 어획비용함수는 오직 가변비용(variable Cost, vc)만을 포함하고 있다. 어획비용은 가변비용과 고정비용(fixed Cost, fc)으로 나눌 수 있는데, 가변비용은 연료, 소모품 및 선원급여 등을 포함하고 고정비용은 조업활동과 상관 없이 지출되는 비용을 말한다. 예를 들면, 어선의 보험료, 어선의 최초가격 및 사무실 운영비 등이 포함된다. 따라서 고정비용을 포함한 총비용함수는 다음과 같다.

$$TC = fc + c * E \quad \text{식 (2-42)}$$

다음으로 어업이윤은 고등어의 평균가격(P)에 어획량(H)을 곱하면 구할 수 있다. 따라서 이윤함수(Revenue)는 다음과 같이 나타낸다.

$$\text{Revenue} = P * H(E) \quad \text{식 (2-43)}$$

또한 어종의 가격이 일정불변이고, 어획노력량의 한계 및 평균비용이 일정 불변이라 가정할 때, 어획노력량을 투입하여 얻을 수 있는 어획량에 따른 지속 경제지대(sustainable economic rent)는 다음과 같다.

$$\pi(t) = \text{Revenue} - TC = \{P * H(E)\} - (fc + c * E) \quad \text{식 (2-44)}$$

### 3) 최적화 모형

정태분석의 경우에는 어업자원의 이용에 있어서 시간의 흐름에 따른 어업인의 선택과 생물학적인 생산(dynamics)를 고려하지 않는다. 어획을 다음 시기로 미루게 되면 이에 따른 편익과 비용이 발생하게 된다. 예를 들면, 편익의 경우 어획을 다음 시기로 미루게 됨에 따라 어업자원의 자연성장에 따른 자원량

의 증가로 인해 자원지대가 늘어난다. 비용의 경우에는 어획으로 인한 어업이윤을 다음시기로 미룸으로써 늘어나는 비용이다. 예를 들면 투입노력량에 대한 이자와 같은 손실이 발생하게 된다.

어업의 생산적 분석에서는 이와 같이 자원의 시간적 배분에 따른 편익과 비용의 발생을 고려하여 각 시기의 어획량을 결정한다. 즉 생산적 어업자원의 효율성은 각 시기에 어업에서 얻어지는 경제지대에 대한 현재가치의 합이 극대화됨으로써 이루어진다.

어업자원에 대한 생산적 생물경제모형을 세워보면 다음과 같다. 목적함수는 현재가치로서 순사회적편익(net social benefit)을 최대화하는 것이다. 식으로 표현한 목적함수는<sup>13)</sup> 다음과 같다.

$$\text{Max.NB} = \int_0^{\infty} e^{-\delta t} U(h) dt \quad \text{식 (2-45)}$$

Subject to

$$\dot{X} = G(X) - H$$

여기서  $U$ 는 순사회적 편익을 나타내고,  $\delta$ 는 이자율을 나타내고 있다. 모형을 단순화하기 위해서 자원에 대한 외부성은 고려하지 않았다. 목적함수를 해밀토니안(Hamiltonian) 함수로 표현하면 아래의 식과 같다.<sup>14)</sup>

$$\begin{aligned} H &= e^{-\delta t} U(h) + \lambda [G(X) - h] \\ H^{cv} &= U(h) + m[G(X) - h] \end{aligned} \quad \text{식 (2-46)}$$

13) C. G. Plourde, "A Simple model of Replenishable Natural Resource Exploitation", *American Economic Review*, Vol.49, 1970, pp. 1762~1769.

14) R. Johnston and J. Sutinen, "Uncertain Biomass Shift and Collapse : Implications for Harvest Policy in the Fishery", *Land Economics*, Vol.72(4), 1996, pp. 500~518.



여기서  $H^{CV}$  는 현재 가치를 나타내고,  $m$ 은  $\lambda e^{\delta}$ 와 같다.  
필요조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\frac{\partial H^{cv}}{\partial h} &= U'(h) - m = 0 \\ \Rightarrow U'(h) &= m \\ m &= -\frac{\partial H^{cv}}{\partial X} + \delta m \\ &= -mG'(X) + \delta m \\ \Rightarrow G'(X) &= \delta\end{aligned}\quad \text{식 (2-47)}$$

식(2-47)은 이자율과 어업자원의 성장변화율이 일치하는 곳에서 이윤의 극대화가 이루어진다는 것을 보여준다.

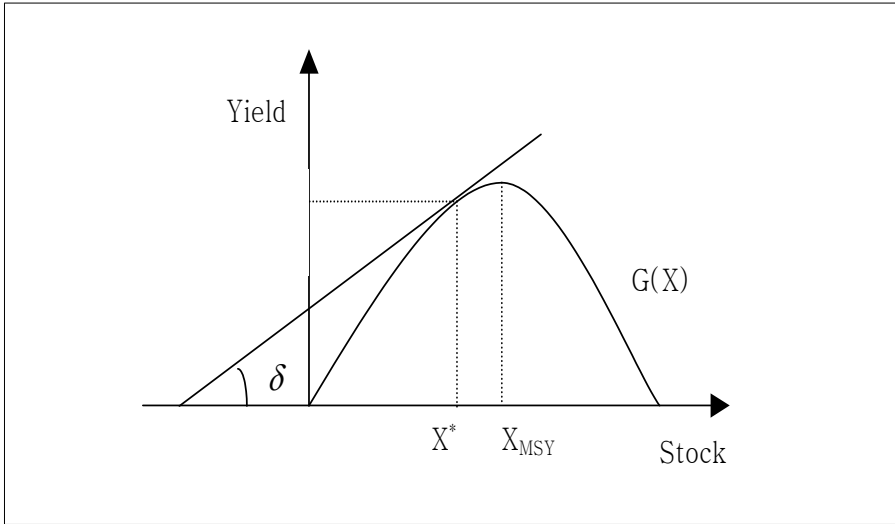
<그림 2-3>는 안정상태(Steady-state,  $X = 0$ ,  $m = 0$ )하에서의 최적자원량( $X^*$ )을 보여준다. 최적자원량은 이자율과 어업자원의 성장률, 즉 성장곡선,  $G(X)$ 의 기울기와 만나는 점에 해당하는 자원량이다. <그림 3-3>은 최적어획량( $h^*$ )의 추이를 현재의 자원량이 최적자원량보다 많은 경우( $X > X^*$ )와 현재의 자원량이 최적자원량보다 적은 경우( $X < X^*$ )로 나누어 보여주고 있다. 최적자원량( $X^*$ )의 경우, 자원경제학에서 “황금률(Golden Rule)”이라 부르는 식,<sup>15)</sup>

$$G'(X) - \frac{c'(X)G(X)}{p - c(X)} = \delta$$

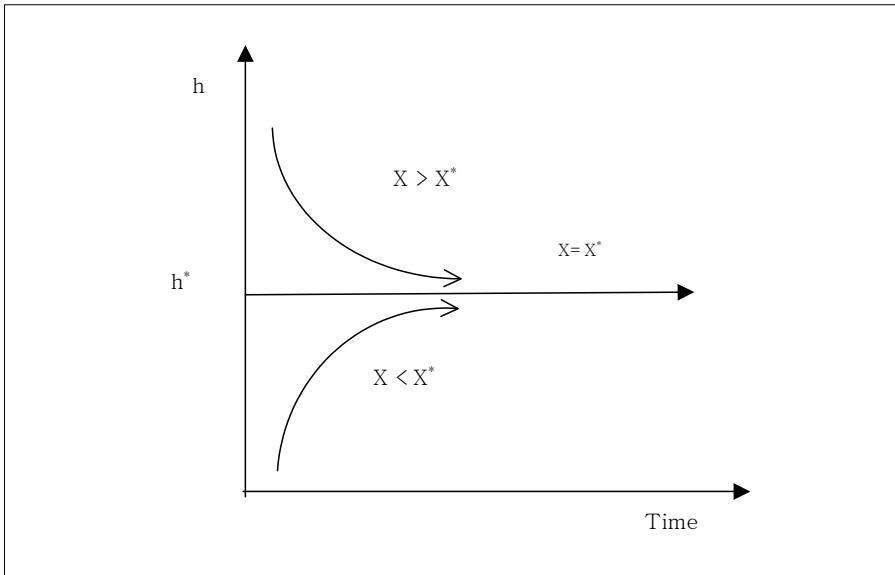
을 이용하여  $X^*$ 을 다른 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$X^* = 0.25\left[\frac{c}{pq} + K\left(1 - \frac{\delta}{r}\right) + \left[\frac{c}{pq} + K\left(1 - \frac{\delta}{r}\right)\right] + 8K\left[\frac{c\delta}{pqr}\right]\right] \quad \text{식 (2-48)}$$

15) C. Clark, *Mathematical Bioeconomics*, John Wiley & Sons, 1990, p. 386.



| 그림 2-5 | 최적 자원량



| 그림 2-6 | 최적 어획량 추이

## 제 3 장 분석 대상어종 선정 및 대상어종의 어업 현황

본 장에서는 생물경제모형의 구축 및 분석을 위한 대상어종을 선정하고, 이후 선정된 대상어종에 대한 어업현황 분석을 통해서 동 모형의 분석에 사용될 기본적인 자료를 생성한다. 아울러 본 연구에서는 생물경제모형 분석의 대상이 되는 어종을 선정하기 위해서 생물학적 자료의 활용 가능성, 조업활동의 단순성, 어획량이라는 3가지 기준을 검토하였다.

### 1. 선정 기준 및 대상어종

#### 1) 선정기준

##### (1) 생물학적 자료의 활용 가능성

기본적으로 생물경제모형을 분석하기 위해서는 제2장에서 언급한 잉여생산모형에 필요한 생물학적인 자료가 구비되어야 한다.<sup>16)</sup> 하지만 우리나라는 아직 자원생물학에 대한 역사가 길지 않아 다양한 어류자원의 생물학적 특성치에 대한 자료축적이 미흡한 수준에 있다. 따라서 대상어종의 잉여생산 모형을 이용한 최적생산량을 추정하기 위해서는 대상어종과 관련한 선행연구가 많아 생물학적인 자료를 활용하기 용이한 어종을 선정하여야 한다.

따라서 본 연구는 첫 번째 선정기준과 관련하여 대상어종을 TAC가 적용되

---

16) 잉여생산모형은 생물학적인 자료가 다소 미흡해도 모형 구축이 가능하지만, 동 모형을 통해 추정된 결과치에 대한 신뢰성 검증을 위해서는 과학적 분석에 의해 생성된 생물학적인 자료가 구비되어야 한다.

는 10개 어종<sup>17)</sup>으로 한정하였다. 이것은 TAC 대상어종이 다른 어종에 비해 생물학적인 자료가 많고, 본 연구 결과의 활용차원에서 추정된 연구 결과치를 TAC 물량 등과 비교함으로써 다양한 정책적 함의를 도출할 수 있기 때문이다.

<표 3-1>은 우리나라의 주요 어업자원 중에서 이용 가능한 정보수준에 따라 어종을 분류한 것이다. 동 분류에 의하면 현재까지 1단계에 포함되는 어종은 없고, 2단계에는 고등어, 전갱이, 개조개, 키조개가 포함되어 있다. 또한 3단계에서는 꽃게와 소라, 대구, 멸치, 대게, 도루묵, 참조기 등이 필요한 정보를 충족시키고 있다. 하지만 갈치, 갯장어, 명태, 삼치, 오징어류 등 우리나라 대부분의 어종은 연도별 자료나 CPUE(Catch Per Unit Effort, 단위노력당 어획량) 자료만 구비된 4단계 또는 5단계 수준에 머물러 있다.

| 표 3-1 | 이용 가능 정보수준에 따른 5단계 모델 및 어종

모델	필요한 정보	어종
1단계	연도별 연령별 자원량, 어획사망계수, 최대 지속적 어획가능한 자원량 수준, 최대 지속적 어획가능한 어획사망계수 수준	
2단계	최근년도 연령별 자원량, 어획사망계수, 자연사망계수	고등어, 전갱이, 개조개, 키조개
3단계	최근년도 연령별 자원량, $F_{0.1}$ , 자연사망계수	꽃게, 소라, 대구, 멸치, 대게, 도루묵, 참조기, 붉은대게
4단계	연도별 어획량과 어획노력량	갈치, 갯장어, 말쥐치, 명태, 보구치, 부세, 삼치, 아귀류, 갑오징어류, 오징어류, 눈볼대, 붕장어
5단계	연도별 어획량	가오리, 가자미류, 강당어류, 꽁치, 민어, 병어, 참돔, 청어, 대하

자료 : 국립수산물과학원, 한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요, 2007

17) 2008년도 TAC 대상어종은 고등어, 전갱이, 정어리, 붉은대게, 대게, 개조개, 키조개, 제주 소라, 꽃게, 오징어이다.

## (2) 조업활동의 단순성

두 번째 기준은 경제학적 자료 확보 및 분석의 용이성과 관련된 조업활동의 단순성이다. 구체적으로는 대상어종을 어획하는 업종이 단순하여 1개 업종에서의 어획비중이 높을수록 비용 등 경제학적 자료의 확보 및 분석이 용이해진다. 이러한 기준을 충족시키는 어종은 주로 군집성이 강한 어종으로서 고등어, 전갱이, 정어리, 청어, 명태 등이 있다.

## (3) 어획량

마지막 기준은 어획량이다. 즉, 본 연구에서는 여러 대상어종중 어획량이 많고 상업적으로 중요한 어종을 선정하고자 하였다. 이것은 어획량이 많아 상업적으로 중요한 어종이 상기에서 설명된 자료의 확보 측면에서도 유리하지만, 중요 어업자원으로서 일반의 관심도가 높아 연구결과의 활용 측면에서도 중요도가 높아지기 때문이다.

<표 3-2>는 2000~2008년까지의 평균적인 어획량을 순서대로 나타낸 것이다. 어획량 상위 10위의 상업적으로 중요한 어종에는 멸치, 오징어, 고등어, 갈치, 삼치, 전갱이, 붉은대게, 참조기, 가자미, 붕장어가 해당된다.

| 표 3-2 | 어종별 어획량(상위 10개 어종)

단위 : 톤

어종	멸치류	오징어류	고등어류	갈치	삼치류
어획량	239,464	207,938	151,839	68,049	31,069
어종	전갱이류	붉은대게	참조기	가자미류	붕장어
어획량	24,101	20,032	18,589	16,541	14,996

자료 : 농림수산식품부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>. 2000~2008년 어획량의 평균치임

## 2) 대상어종

앞에서 언급한 3가지 선정기준과 관련 어종을 종합하면 <표 3-3>와 같다.

3가지 선정기준 및 관련 어종을 분석한 결과, 고등어와 전갱이가 대상어종으로서 가장 적합하다고 판단하여 두 어종을 본 연구의 대상어종으로 선정하였다. 두 어종은 TAC 대상어종으로서 이용가능 정보수준에 따른 5단계 모델에서 가장 높은 2단계에 위치해 있고, 군집성이 강한 어종으로서 주로 대형선망어업에 의해 어획되고 있어 대상어종이 비교적 단순하며, 어획량 순위에서도 각각 3위와 6위를 차지하고 있어서 상기 3가지 선정기준을 적절히 충족시키고 있다.

| 표 3-3 | 선정기준 및 관련 어종

선정기준	관련 어종
이용 가능 정보수준	2단계 : <b>고등어, 전갱이</b> , 개조개, 키조개 3단계 : 꽃게, 소라, 대구, 멸치, 대게, 도루묵, 참조기, 붉은대게
군집성 및 조업활동의 단순성	<b>고등어, 전갱이</b> , 정어리, 청어, 명태 등
어획량	멸치, 오징어, <b>고등어</b> , 갈치, 삼치, <b>전갱이</b> , 붉은대게, 참조기, 가자미, 붕장어

## 2. 대상어종의 어업 현황

### 1) 고등어

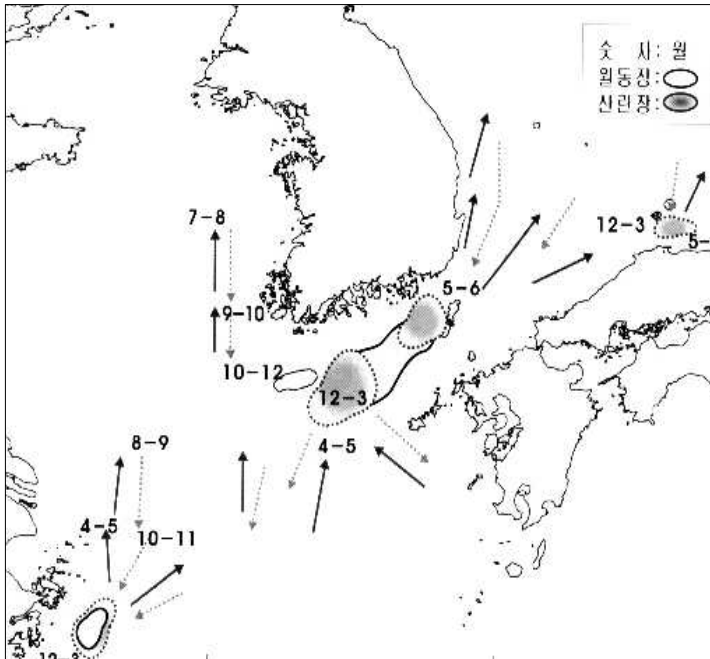
#### (1) 고등어의 생태 및 자원량<sup>18)</sup>

고등어는 열대역과 온대역을 오가며 대서양, 인도양, 태평양 등 전 세계 해

18) 본 절의 내용 중 고등어의 생태와 관련된 내용은 자원생물학적 내용으로서 주로 국립수산물 과학원의 자료를 발췌·정리하였다. 국립수산물과학원, 「한국 연근해 2007년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태 평가」, 2006. p. 1~6.

역에 광범위하게 분포하는 연안성 부어류에 속한다. 그리고 고등어는 표층부터 수심 300m까지의 대륙사면에 주로 서식한다. 고등어는 회유성이 강한 어종으로서 계절적인 회유를 하는데, 북반구에서는 여름철 수온 상승에 따라 북쪽으로 이동하고, 겨울철 월동 및 봄철 산란을 위해서는 남쪽으로 이동한다.

한반도 주변 해역에 분포하는 고등어는 크게 2가지 계통으로 분류되는데, 대마난류 계통과 동중국해 계통이 있다. 이 중 대마난류 계통군에 속하는 고등어는 가을과 겨울에는 五島 서부에서 대마도 주변 해역에 걸쳐 분포한다. 그리고 봄과 여름에는 대마난류를 따라 동해로 분산되며, 산란기에는 五島 서부에서 4~5월, 대마도 근해에서 5~6월, 그리고 鳥取 근해에서 6월경에 자원이 형성된다.

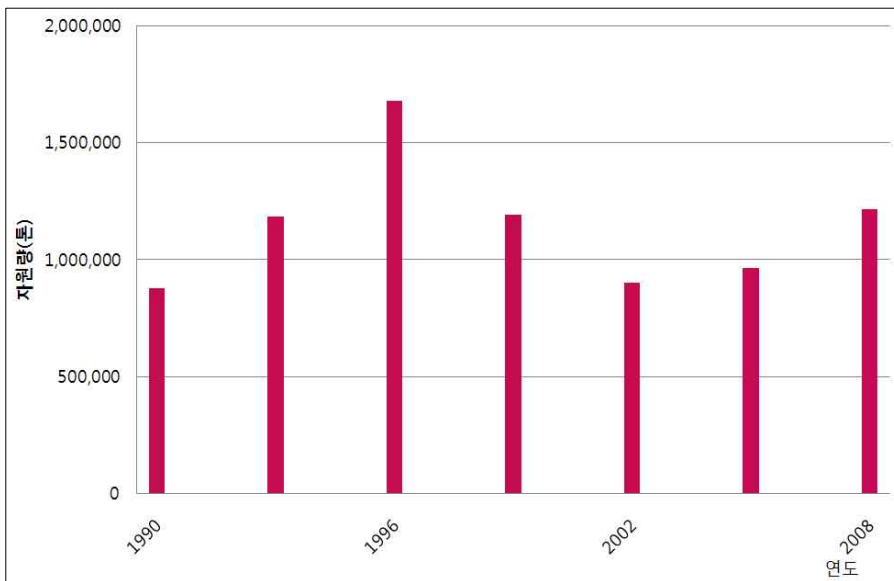


자료 : 국립수산물과학원 내부자료

| 그림 3-1 | 고등어의 회유 분포도

한편, 동중국해 계통군은 동중국해 남부, 중국대륙연안, 바렌 근해에 걸쳐 분포하며, 양자강 이남의 연안역에서 3~5월에 산란한다. 또한 동중국해 계통군 중 동중국해 북부, 황해, 발해를 생활영역으로 하는 계통군은 봄철에 황해와 발해에서 산란한다.

<그림 3-2>은 고등어의 연도별 추정 자원량을 나타낸 것이다. 고등어 자원량은 1996년에 168만 톤으로 정점에 도달하였다가 이후 2003년까지 크게 감소하였다. 하지만 2003년 이후부터는 자원량이 점차 회복되기 시작하여 2008년에는 120만 톤 수준까지 회복되었다.



자료 : 농림수산물부 내부자료

| 그림 3-2 | 고등어의 연도별 자원량 추정치(1990~2008)

## (2) 어획량

고등어는 우리나라 일반 해면어업 중 멸치와 오징어 다음으로 어획량이



많은 어종이다. 1990년 이후 고등어의 어획실적을 살펴보면, 1990년에 약 10만 톤의 어획량을 보이다가 계속 증가하여 1996년에는 약 41만 5,000 톤이라는 기록적인 어획량을 나타냈다. 하지만 다음 해에 어획량이 급감한 후 연간 증감을 반복하고 있다.

2008년 현재 고등어 어획량은 약 18만 7,000톤 수준으로서 1996년 최고치에 비해 약 45% 수준을 나타내고 있다(<그림 3-3> 참조).



자료 : 농림수산물부 수산정보포털 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

| 그림 3-3 | 고등어 어획량 변화(1990~2008)

고등어는 대형선망어업을 비롯하여 유자망어업, 정치망어업, 저인망어업, 소형선망어업, 저인망어업 등 다양한 어업에 의해 어획되고 있다. 하지만 아래 <표 3-4>에서 보는 바와 같이, 대형선망어업에 의한 어획이 전체 어획량의 80~90% 정도를 점하고 있어서 1개 업종에 의한 어획 집중도가 매우 높다.<sup>19)</sup>

19) 최근에는 소형선망어업과 정치망어업의 어획비중이 점차 늘어나고 있는 추세이지만 대형 선망어업과 비교하여 전체 어획량에서 차지하는 비중은 미미한 수준이다.

2008년 현재 고등어의 어업별 어획량 현황을 살펴보면, 대형선망어업이 약 88%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 정치망어업 8.2%, 소형선망어업 1.7%, 기타 1.3%, 유자망어업 0.6%, 그리고 저인망어업 0.4% 순으로 나타났다.

| 표 3-4 | 어업별 고등어 어획량 변화

단위 : 톤, %

구분	1990		1996		2002		2008	
	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중
합계	97,227	100.0	415,003	100.0	141,751	100.0	187,240	100.0
대형선망	92,775	95.4	386,877	93.2	126,519	89.3	164,375	87.8
유자망	668	0.7	2,111	0.5	3,663	2.6	1,061	0.6
정치망	1,749	1.8	1,735	0.4	2,732	1.9	15,312	8.2
소형선망	1,101	1.1	8,185	2.0	982	0.7	3,242	1.7
저인망	423	0.4	12,544	3.0	6,402	4.5	674	0.4
안강망	276	0.3	2,023	0.5	260	0.2	195	0.1
기타	235	0.2	1,528	0.4	1,193	0.8	2,381	1.3

자료 : 농림수산물부 수산정보포털 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

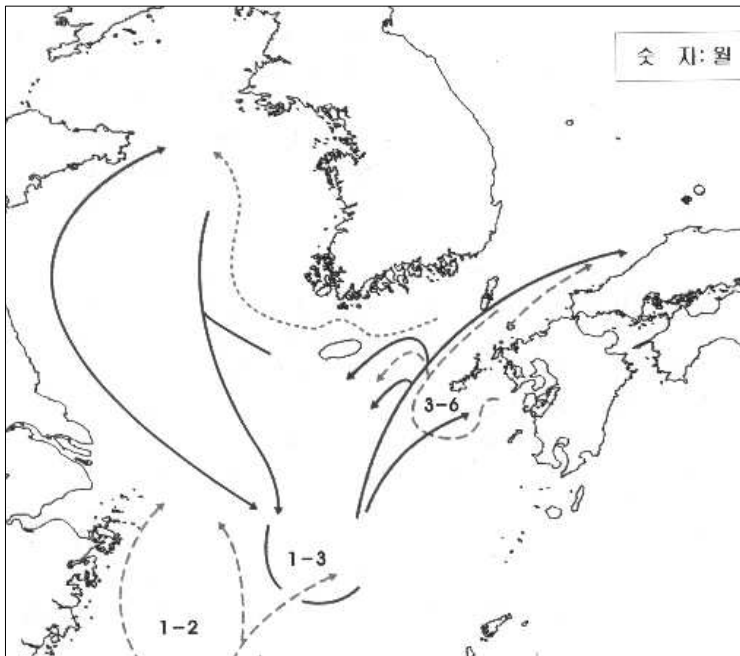
## 2) 전갱이

### (1) 전갱이의 생태 및 자원량<sup>20)</sup>

우리나라 주변 해역에 서식하는 전갱이는 주요 분포 해역에 따라 동해와 일본 큐슈 서부해역, 서해와 동중국해, 그리고 동중국해 남부해역으로 구분된다. 이 중 일본 큐슈 서부해역에 분포하는 어군은 쿠로시오 난류의 발달과 함께 3월경부터 북상하기 시작하여 4월 초순에 제주도 주변에 밀집하고, 5~6월경에는 제주도에서 거문도 근해에 밀집한다. 그리고 9~10월에는 경상북도 근해까

20) 본 절의 내용 중 전갱이의 생태와 관련된 내용은 자원생물학적 내용으로서 주로 국립수산물과학원의 자료를 발췌·정리하였다(국립수산물과학원, 2006, p. 31~36).

지 북상하고, 이후 11월경부터는 남쪽으로 이동하기 시작한다.<sup>21)</sup> 한편, 동중국해 중부해역에 분포하는 어군은 5~6월경에 어청도 부근과 중국 산둥반도 부근까지 회유하여 가을이 되면 남하하기 시작하고 겨울에는 월동을 위해서 동중국해 중부해역에서 분포한다.



자료 : 국립수산물과학원 내부자료

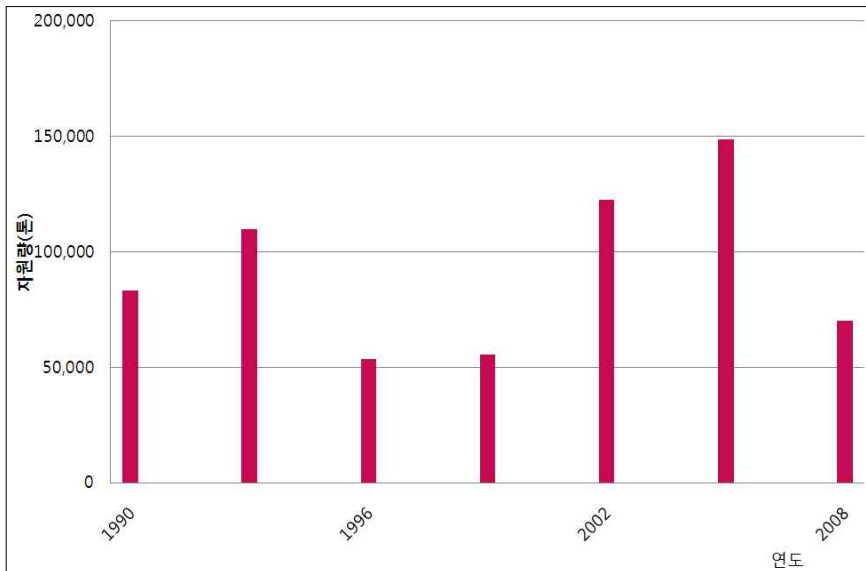
| 그림 3-4 | 전갱이의 회유 분포도

일반적으로 전갱이는 수심 10~120m에 분포하는데, 성장과 함께 점차 깊은 곳으로 이동하는 경향을 보인다. 그리고 해역별 산란기를 살펴보면, 일본 큐슈 서부해역에서는 4~5월, 동중국해 중부해역에서는 2~3월, 제주도 근해에서는

21) 동중국해 중부해역의 어군은 5~6월에 어청도 부근, 중국 산둥반도 부근까지 회유한 후, 가을에 남하하기 시작하고 겨울에는 동중국해 중부해역에서 월동한다.

6~8월인 것으로 알려져 있다. 그 밖에도 전갱이는 7년 이상 생존하는 것으로 추정되고 있으며, 이 경우 체장은 35cm 이상에 이른다.

<그림 3-5>는 전갱이의 연도별 자원량 추정치의 추이를 나타낸 것이다. 전갱이 자원량은 1990년대 초에는 8만 톤대를 보였으나 1990년대 중반 최고점에 도달한 고등어와 달리 전갱이 자원량은 1990년대 중반에 최저점을 기록했다. 그리고 최저점 이후 1996년부터 전갱이 자원량은 점차 회복되어 2001년부터는 10만 톤대에 진입하였고, 2004년에는 무려 15만 톤으로 증가하여 최고점을 기록했다. 하지만 동 어종의 자원량은 2006년에 9만 톤대로 급감하였고, 2007년에는 7만 톤, 2008년에는 7만 톤에도 못 미치는 자원량 수준까지 감소하였다.



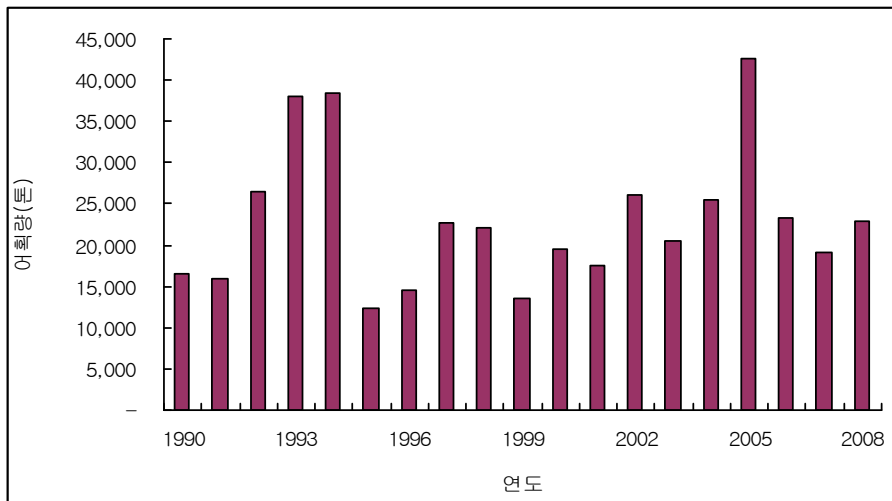
자료 : 농림수산식품부 내부자료

| 그림 3-5 | 전갱이 연도별 자원량 추정치(1990~2008)

## (2) 어획량

1990년 이후 전갱이의 어획실적을 살펴보면, 1990년에 약 1만 7,000톤이 어획되던 것이 점차 증가하기 시작하여 1994년에는 약 3만 8,000톤에 달하였다. 하지만 1995년에 어획량이 1만 2,000톤으로 급감한 후 연도별 증감을 반복하다가 2005년에 약 4만 3,000톤으로 어획량 최고치를 기록하였다. 2006년에는 재차 어획량이 급감하였고, 2008년 현재 어획량은 약 2만 3,000톤으로, 2005년 최고치에 비해 약 53% 수준에 머물러 있다(<그림 3-6> 참조).

전갱이는 대형선망어업, 정치망어업, 유자망어업, 저인망어업, 소형선망어업 등 다양한 어업에 의해 어획되고 있다. 하지만 아래 <표 3-5>에서 보는 바와 같이, 2008년을 제외하면, 대형선망어업에 의한 어획이 전체 전갱이 어획량의 평균 75% 이상을 점하고 있다.



자료 : 농림수산물부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

| 그림 3-6 | 전갱이 어획량 변화 (1990~2008)

반면, 2008년에는 대형선망어업 어획량이 크게 감소하고, 소형선망어업과 정치망어업 등에서의 어획량이 크게 증가하여 전체 전갱이 어획량에서 대형선망어업 어획량이 차지하는 비율이 크게 하락하였다.

| 표 3-5 | 어업별 전갱이 어획량 변화

단위 : 톤, %

	1990		1996		2002		2008	
	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중	생산량	비중
합계	17,376	100.0	14,542	100.0	26,037	100.0	22,752	100.0
대형선망	12,525	72.1	10,790	74.2	18,965	72.8	11,533	50.7
정치망	1,128	6.5	396	2.7	1,227	4.7	2,543	11.2
유자망	41	0.2	1	-	203	0.8	455	2.0
소형선망	2,510	14.4	1,803	12.4	2,276	8.7	4,050	17.8
안강망	22	0.1	46	0.3	14	0.1	1	-
저인망	783	4.5	1,402	9.6	831	3.2	728	3.2
기타	367	2.1	104	0.7	2,521	9.7	3,442	15.1

자료 : 농림수산식품부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

### 3. 대상어종의 자원관리

본 연구의 대상어종인 고등어와 전갱이에 관련된 자원관리는 크게 어획노력량 관리, 어획량 관리, 기술적 관리로 구분할 수 있다.

| 표 3-6 | 대상어종 관련 주요 관리수단

관리수단		주요 관련 시책
어획노력량	허가정수, 어선톤수·마력수 규제	연근해어업 구조조정(감척사업)
어획량	TAC(총허용어획량)	TAC제도 실시, 옴서버 모니터링
기술적수단	어선·어구제한, 망목제한, 어구사용 금지구역·기간제한, 포획금지제장, 특정어업 금지구역, 수산자원보호구역	휴어제 선망어업 불빛 사용 금지구역(조업 금지구역)

#### 1) 어획노력량 관리

우선 어획노력량 관리의 대표적인 수단에는 허가정수와 어선 톤수·마력수 규제를 들 수 있다.<sup>22)</sup> 허가정수는 어업별로 허가의 정한수를 정하여 어업 진입자 수를 제한하는 것이다. 이와 같은 허가정수 제도는 대형기선저인망어업의 경우는 일제 강점기부터 존재하였고, 근해안강망어업, 중형기선저인망어업 등에서는 1976년부터 실시되었으며, 대형선망어업에서는 1978년부터 실시되었다(류정곤 외, 2001, p. 7).

어선 톤수 및 마력수 제한과 관련해서는 1971년부터 모든 연근해어업에 대

22) 대형선망어업 허가 정한수

- 1982년 11월 13일 수산자원보호령 개정
  - 조업구역 : 전국 근해
  - 허가정한수 : 35건으로 제한, 실제 허가건수는 48건으로 신설된 정한수를 초과
- 1985년부터 허가 정한수 제한 준수를 목적으로 어업인 자발적 감척. 1986년에 3통 감척.
- 2007년 수산자원보호령 개정 : 허가 정한수 29건. 2008년 12월 말 30건 보유.

해 어업별 어선 톤수가 규정되었다. 즉, 어업별로 어선의 총톤수를 제한해서 어획능력 증가에 의한 어획압력 상승을 제한하려는 것이다. 그리고 일부 근해어업에 어업별 최대 마력수가 규정되었다.

어획노력량 관리와 관련된 가장 중요한 시책 중 하나는 연근해어업 구조조정사업 즉, 감척사업이다.

| 표 3-7 | 감척사업 추진실적

단위 : 척

구 분		합계	연안어업	근해어업	대형선망
합계	합계	8,452	6,427	2,025	60
	일반	7,144	6,427	717	60
	국제	1,308	-	1,308	
1994	일반	54	54	-	
1995	일반	117	111	6	6
1996	일반	136	110	26	12
1997	일반	135	48	87	
1998	일반	159	63	96	23
1999	일반	78	-	78	5
	국제	652	-	652	
2000	일반	109	36	73	
	국제	31	-	31	
2001	일반	77	55	22	
	국제	509	-	509	
2002	일반	164	21	143	10
	국제	116	-	116	
2003	일반	61	16	45	
2004	일반	698	639	59	
2005	일반	841	841	-	
2006	일반	1,597	1,597	-	
2007	일반	2,918	2,836	82	4

주 : 1997년 외환위기의 여파로 1998년에 대형선망어업 어선 중 23척이 감척되었음

자료 : 농림수산식품부 내부자료, 2008



우리나라는 1980년대 이후 해양환경 악화 이외에도 과도한 어획에 의해서 연근해 어업자원이 감소함에 따라 어획능력 증강의 주된 원인인 어선척수를 어업자원에 적합한 수준으로 유지시키기 위한 필요성이 대두되었다.

이에 따라 우리나라는 1994년부터 연근해어선을 대상으로 감척사업을 실시하였다. 그리고 1999년 이후부터는 한중일간 어업협정의 체결로 인해서 어장이 축소됨에 따라 근해어업 경영악화에 대비하기 위해 근해어업을 대상으로 국제규제 감척사업을 실시하였다.

한편, 고등어 및 전갱이를 주요 어획대상종으로 하는 대형선망어업의 경우, 감척사업은 일반감척 위주로 추진되었다. 그리고 감척사업이 시작된 1994년부터 2007년까지 대형선망어업에서 총 60척이 감척되었다.

## 2) 어획량 관리

우리나라의 어업관리수단 중에서 어획량 관리수단과 관련된 대표적인 제도는 TAC제도이다. 그리고 본 연구의 대상어종인 고등어와 전갱이는 TAC제도가 실시되는 첫 해부터 TAC 대상어종으로 선정되었다. 따라서 TAC제도는 동어종에 대한 대표적인 어획량 관리수단이라고 할 수 있다.

우선 TAC제도가 우리나라에 도입된 배경에는 유엔해양법협약의 발효에 따른 신해양질서의 수용, 전통적 어업관리제도의 보완, 한중일 어업협정 및 우리나라 주변수역 수산자원의 합리적 관리체제 구축 필요성 부각 등이 있다(류정곤 외, 2005, p. 6). 이러한 대내외적 배경 하에서 우리나라는 1995년 수산업법 개정을 통해서 TAC제도에 대한 시행 근거를 마련하고 1996년에 수산자원보호령을 개정하여 1998년 4월 “총허용어획량의 관리에 관한 규칙”을 제정함으로써 TAC제도의 법적 근거를 마련하였다.

TAC제도는 1998년 도상연습을 마친 후 1999년부터 시범사업이 실시되었는데, 당시 고등어와 전갱이를 포함한 4개 어종이 대상어종으로 선정되었다. 당

시의 대상어종 선정기준은 i) 어획량이 많고 경제적 가치가 높은 어종(고등어, 전갱이, 정어리), ii) 자원상황이 극도로 악화되어 시급한 보존 및 관리가 필요한 어종(붉은대게), iii) 우리나라 주변수역에서 외국어선이 어획하는 어종(고등어, 전갱이, 정어리)이었다. 동 연구의 대상어종인 고등어와 전갱이는 첫 번째와 세 번째 선정기준에 동시에 적용되는 어종으로서 12개 검토어종 중 4개 대상어종에 포함되었다. 그리고 고등어와 전갱이의 대상업종으로는 동 어종에 대한 어획비중이 가장 큰 대형선망어업으로 선정되었다(<표 3-8>참조).

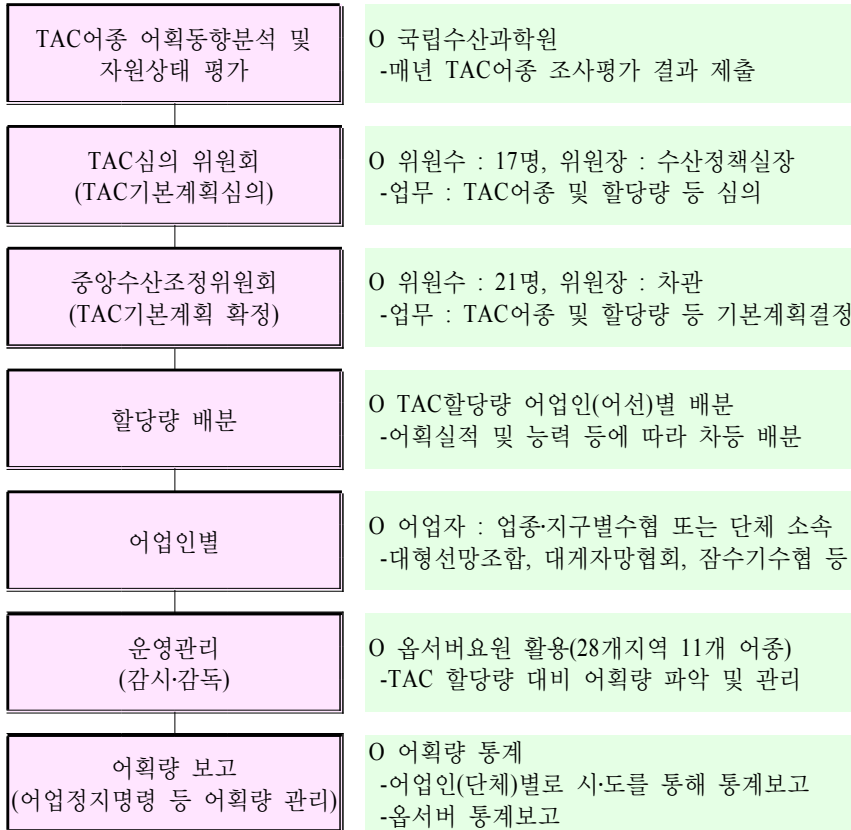
| 표 3-8 | TAC 대상어종 및 업종

연도	대상어종 및 업종
1999	고등어, 전갱이, 정어리(대형선망), 붉은대게(근해통발)
2001	개조개, 키조개(잠수기), 소라(마을어업)
2002	대게(근해자망·통발), 꽃게(연·근해자망·통발)
2007	오징어(근해채낚기·동해구트룰·대형트룰·대형선망)
2009	도루묵(동해구트룰), 참홍어(근해연승·연안복합)

한편, TAC제도의 추진절차를 살펴보면 <그림 3-7>과 같다. 먼저 국립수산물과학원에서는 매년 TAC어종에 대한 자원조사 및 평가 결과를 제출한다. 다음으로 TAC 심의위원회에서는 TAC어종 및 할당량 등을 심의한다. 이후 중앙수산조정위원회에서 TAC기본계획을 확정하는데, 여기서 TAC어종 및 할당량 등 기본계획이 결정된다. 이후 어획실적 및 능력 등에 따라 TAC할당량이 어업인(어선)별로 배분되고, 대형선망조합 등 업종 및 지구별 수협 또는 단체 소속 어업인들은 배분량 내에서 조업을 실시한다.<sup>23)</sup>

23) 할당량 중에서 80%를 어업인에게 우선배정하고 나머지 물량(20%)은 할당량 소진이 많은 어업인에게 추가로 할당한다. 그리고 추가 할당량도 모두 소진된 경우에는 소진량이 부진한 어업인의 할당량 중 일부를 회수하여 추가할당(전배)을 시행한다.

한편, TAC 어획량에 대한 관리는 읍서버요원을 활용한 감사·감독과 어획량 보고에 의해 이루어진다. 즉, 어업인에게 배분된 할당량은 TAC 실시 지역에 배치된 읍서버의 보고 및 어업인의 어획량 보고를 통해서 관리되는 것이다.



| 그림 3-7 | TAC제도 사업 추진절차

구체적으로 읍서버는 어선별 할당량 관리를 위해서 어획량 파악 및 자원 평가에 필요한 과학적 기초자료인 어획물의 체중 및 체장 등을 수집·보고한다. 그리고 어업인은 사군 보고(어업자단체수협 협의) → 시도 승인 → 농림수산

식품부(본부, 수산과학원, 어업지도사무소, 수협중앙회 등) 보고의 과정을 거치면서 어획량 보고의 의무를 수행한다.

이상과 같이 고등어는 어업자별·어선별 어획실적 기준 등을 감안하여 어획량이 할당되고, 어업인 보고 및 읍서버 등을 통해서 소진율이 파악되고 있다. <표 3-9>는 연도별 고등어 및 전갱이의 할당량과 소진량을 나타낸 것이다.<sup>24)</sup>

| 표 3-9 | 연도별 TAC 물량 및 소진율

단위 : 톤

연도	전체 어종 TAC			고등어			전갱이		
	할당량	소진량	%	할당량	소진량	%	할당량	소진량	%
2000	245,400	124,028	50.5	170,000	83,629	49.2	13,800	9,376	67.9
2001	238,750	194,328	81.4	165,000	156,081	94.6	10,600	9,335	88.1
2002	231,928	166,247	71.7	160,000	126,502	79.1	10,600	10,593	99.9
2003	231,650	161,298	69.6	158,000	116,226	73.6	11,000	10,979	99.8
2004	218,650	193,670	88.6	155,000	151,268	97.6	10,000	9,933	99.3
2005	215,983	154,374	71.5	160,000	111,169	69.5	12,000	11,991	99.9
2006	217,670	131,861	60.6	155,000	88,134	56.9	19,000	11,370	59.8
2007	465,930	313,718	67.3	154,000	125,729	81.6	19,000	9,108	47.9
2008	478,990	327,858	68.4	159,000	147,945	93.0	21,000	10,967	52.2

자료 : 농림수산식품부 내부자료, 2008

우선 고등어를 살펴보면, 표에서 나타난 바와 같이 2001년, 2004년, 2008년을 제외하고는 고등어에 대한 TAC 할당량과 소진량 간에 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이에 대한 여러 가지 해석이 있지만, 주요 원인으로서 연간 TAC가 적정어획량인 생물학적 허용어획량(ABC)을 초과하여 설정된 점, 인접국과의 어업협정에서 유리한 위치를 점하기 위해 의도적으로 TAC가 높게 설정한

24) 우리나라 TAC 어종의 어획량 보고체계는 어업자가 양륙시 양륙판매자에게 보고하고, 양륙판매자는 그 내용을 TAC 할당자에게 보고하는 단일 보고체계이다. 이러한 단일보고체제로 인하여 어업자의 보고내용에 대한 정확성 여부를 확인하기 어렵다는 문제점이 지적되고 있다(류정곤 외, 2006, p. 19).

점, 실제 소진율은 높지만 어획량 보고의 부정확으로 소진율이 낮게 나타난 점 등을 들 수 있다.

한편, 전갱이는 <표3-8>에서 나타난 바와 같이 2000년에 67.9%이던 것이 빠르게 증가하여 2002년부터는 거의 100%에 가까운 소진율을 보였다. 하지만 2006년부터 할당량 대비 소진율이 크게 감소하여, 50% 전후의 소진율을 보이고 있다.<sup>25)</sup>

### 3) 기술적 관리

기술적 관리수단은<sup>26)</sup> 조업구역, 조업시기, 어구어법, 망목, 체장 제한 등이 포함되는데, 대상어종 및 업종과 관련된 대표적 관리수단에는 조업금지구역과 휴어제가 있다. 조업금지구역과 관련하여 대형선망어선은 불빛 이용 금지로 인해서 제주도 본도 및 추자도와 전남 거문도 주변 해역 등에서의 조업이 금지되어 있다.

휴어제와 관련해서는 고등어와 전갱이를 주로 어획하는 대형선망어업에서 실시되고 있는데, 2005년부터 수산자원보호 및 어가유지를 위해 1개월간(음력 3. 14~4. 14) 휴어기를 자율적으로 실시하고 있다.

한편 수산자원보호령 제6조 그물코 규격의 제한에 따라 대형선망어업에서는 30mm 이하의 망목은 사용이 금지되어 있다. 체장 및 체중 제한과 관련하여 수산자원보호령에서는 고등어와 전갱이의 포획·채취금지 체장 및 체중을 제한하고 있지 않다.

25) 업계에 따르면 고등어는 2005년과 2006년에 어군형성이 제대로 이루어지지 않아 어획량이 크게 감소하였고, 2006년부터는 전갱이의 어군형성이 좋지 않았음.

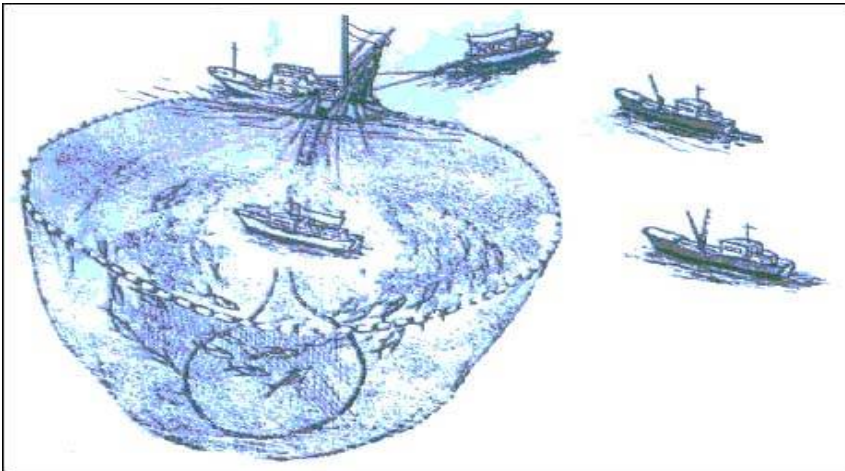
26) 기술적 규제수단의 장점에는 실시 및 관리 용이, 저비용 등이 있다. 하지만 규제대상을 피하여 집중남획이 이루어질 수 있으며, 제한된 어구어법으로 남보다 많이 어획하기 위해 어업자간에 비생산적이고 비경제적인 과당경쟁과 과잉투하가 이루어 질 수 있다(류정곤 외, 2001, p. 14).

## 4. 대형선망어업 현황

전절에서 살펴본 바와 같이 대형선망어업은 고등어와 전갱이에 대한 어획량 비중이 가장 높은 어업이다. 여기서는 대형선망어업에 대한 어선세력 및 조업어장, 어획량, 어획금액, 경영상태 등에 대하여 파악하고자 한다.

### 1) 어선세력 및 조업어장

대형선망어업은 불빛을 이용하여 고등어, 전갱이 등 부어자원을 어획하는 어업으로서 우리나라 연근해어업에서 가장 생산력이 높다. 동 어업은 본선 1척, 등선 2척, 운반선 3척이 선단(통)을 이루어 조업하는데, 1개 선단의 평균 승선원은 약 73명에 달한다.<sup>27)</sup>



자료 : 이장욱 외, 2000, p. 317

| 그림 3-8 | 대형선망어업 조업도

27) 본선은 130톤급이 중심이며 선원은 통상 27명 정도이다. 등선은 90톤급으로서 2척에 약 16명이 승선한다. 운반선은 150~250톤급으로 1통당 3척이 중심이며 선원은 척당 10명씩 모두 30명에 달한다(김대영 외, 2008, p. 55).

대형선망어업의 전체 어선수는 1990년 367척에서 2000년 232척, 2008년 154척으로 지속적인 감소세를 보이고 있다. 이와 같이 전체 어선수가 감소한 것은 한중일 EEZ체제 확립에 따른 어장 축소 및 어획량 감소 그리고 이에 따른 국제감척, 그 밖에도 유류비 및 인건비와 같은 어업비용 상승으로 인한 수익성 악화가 진행되었기 때문이다.

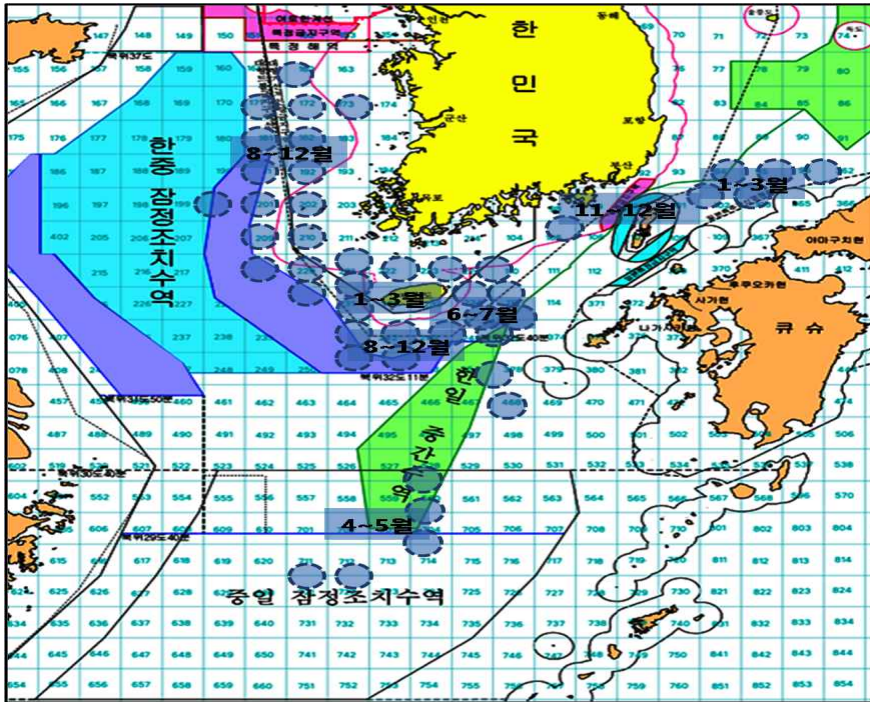
반면, 전체 어선수의 감소에도 불구하고 척당 톤수 및 마력 수는 1990년에 각각 129톤, 785마력이던 것이 2008년에는 각각 144톤, 1,351마력으로 증가하였다. 즉, 동 어업 어선에 있어서 대형화 및 고마력화가 진행되어온 것을 알 수 있다.

표 3-10 | 대형선망어업 어선 추이

연도	합계			척당 톤수	척당 마력 수
	척수	톤수	마력 수		
1990	367	47,227	278,985	128.8	784.7
2000	232	31,377	255,927	135.2	1,103.1
2002	220	29,496	255,641	134.1	1,162.0
2004	190	25,880	194,166	136.2	1,021.9
2006	191	26,191	228,933	137.1	1,198.6
2007	179	24,999	220,829	139.7	1,233.7
2008	154	22,286	208,121	144.7	1,351.4

자료 : 농림수산식품부 수산정보포탈, 대형선망수협 내부자료

한편, 대형선망어업의 주요 조업어장은 동해 남부 및 대마도 주변해역, 제주도 주변해역, 흑산도 및 격렬비열도를 중심으로 한 서해해역 등이다.



자료 : 김대영 외, 2008. p. 58

| 그림 3-9 | 대형선망의 월별 조업도

대형선망어업의 주요 어장은 대상어종 및 회유경로의 변화에 따라 달라져 왔는데, 1980년대에는 황해의 흑산도 및 거문도 주변, 제주도 남방, 대마도 서방, 동중국해 북부, 동해이던 것이 대상어종의 회유경로 변화에 따라 1990년대에는 흑산도에서 제주도 서방에 걸친 수역에서 주로 조업하게 되었다. 그리고 동해는 정어리 자원 감소로 인해 이용도가 낮아졌으며, 1999년 한일어업협정 발효 이후, 일본 해역에서의 조업이 축소되면서 우리나라 해역에서의 조업의존도가 높아지게 되었다(김대영 외, 2008, p58).



## 2) 어획량 및 어획금액

대형선망어업의 조업 통수는 1990년 48통에서 이후 전반적으로 계속 감소하여 2008년에는 26통까지 줄어들었다.<sup>28)</sup> 이것은 앞서 설명한 바와 같이 한중일 EEZ체제 전환에 따른 국제감척 및 구조조정 그리고 수익성 악화에 따른 조업중단에 기인한다.

대형선망어업의 어획량은 해마다 커다란 변동 폭을 보이고 있는데, 이것은 동 어업의 대상어종인 고등어 및 전갱이가 자원변동이 심한 부어류에 속하기 때문이다. 하지만 1990년대에 21~47만 톤이 어획되던 것이 2000년대에 들어서는 10만 톤 대까지 감소하였다가 2008년에 다시 20만 톤대로 회복되었다. 반면, 전체 어획금액은 어가 상승의 영향으로 전반적인 상승세를 보이고 있다.

통당 평균 어획량 및 금액을 살펴보면, 어획량은 1990년대 초반 4,000~7,500톤대에서 2000년대에는 4,800~9,100톤대로 증가하였다. 이것은 조업 통수의 감소, 어선의 대형화 및 고마력화 등에 기인한다. 그리고 통당 평균 어획금액은 어가상승의 영향으로 전반적인 증가세를 보이고 있다.

<표 3-11>은 대형선망어업의 어종별 어획량 및 어획금액을 나타낸 것이다. 우선 어종별 어획량을 살펴보면, 1990년에는 정어리와 말쥐치가 상당히 많이 어획되었는데, 특히 정어리의 어획량은 고등어의 어획량을 상회하였다. 하지만 1990년대 중반부터 정어리와 말쥐치의 어획량이 급감하면서 고등어가 주력 어종의 지위를 계속 유지하고 있다.

28) 경영체수와 통수에는 다소 차이가 있다. 이것은 1경영체가 2통(선단) 이상을 보유하는 것이 가능하기 때문에 나타난다.

| 표 3-11 | 대형선망어업 어획량 및 어획금액

연도	통수	어획량 (천 톤)	어획금액 (억 원)	단가 (원/kg)	1통 평균	
					어획량 (톤)	어획금액 (백만 원)
1990	48	358,993	113,174,253	315	7,479	2,357,797
1991	48	191,815	132,152,478	689	3,996	2,753,177
1992	48	212,475	147,368,030	694	4,427	3,070,167
1993	48	283,577	174,291,816	615	5,908	3,631,080
1994	48	310,967	158,553,143	510	6,478	3,303,190
1995	47	227,995	165,187,707	725	4,851	3,514,632
1996	42	453,337	189,655,776	418	10,794	4,515,614
1997	42	184,789	134,967,556	730	4,400	3,213,513
1998	37	205,037	206,412,905	1,007	5,542	5,578,727
1999	37	229,927	182,454,217	794	6,214	4,931,195
2000	35	179,988	179,256,114	996	5,143	5,121,603
2001	31	231,821	215,335,207	929	7,478	6,946,297
2002	31	181,849	209,066,280	1,150	5,866	6,744,074
2003	33	158,662	192,929,172	1,216	4,808	5,846,339
2004	32	220,004	280,617,407	1,276	6,875	8,769,294
2005	32	173,795	206,283,916	1,187	5,431	6,446,372
2006	28	146,839	186,256,250	1,268	5,244	6,652,009
2007	28	194,093	222,199,567	1,145	6,932	7,935,699
2008	26	234,525	264,668,939	1,129	9,020	10,179,575

자료 : 농림수산식품부 어업생산통계시스템, 대형선망수협 내부자료

고등어의 연도별 어획량 비중을 보면, 1990년에 26.8%를 차지했으나 계속적으로 증가하여 2004년에는 79.9%를 기록하였다. 이후 2006년에는 어획량 점유율이 63.9%까지 감소하였지만 최근 들어 다시 증가하여 2008년에는 70.1%를 나타내고 있다.

전갱이의 경우, 1990년에는 어획량 점유율이 3.5%를 나타냈지만, 2000년대 초반에는 7.9~10.4%까지 점유율이 증가하였다. 하지만 2008년에는 고등어 어획량의 급증으로 인해서 점유율이 4.9%로 하락하였다.

대형선망어업의 어종별 어획금액을 살펴보면, 고등어 어획량이 급감한 2006년을 제외하고는 1990년 이후 전반적인 증가세를 보이고 있다. 전갱이의

경우는 2004년까지 어획금액이 계속 증가하다가 2006년에 어획금액이 급감하였고, 2008년에 다소 회복되었으나 아직 2004년도 수준을 하회하고 있다.

| 표 3-12 | 대형선망어업의 어종별 어획량 및 어획금액

단위 : 천 톤, 억 원

연도	합계		고등어류		전갱이류		삼치		정어리		쥐치류		오징어류		기타	
	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액	어획량	어획금액
90	359	1,132	93	528	13	40	10	91	127	128	70	122	1	12	45	209
91	192	1,322	83	504	11	43	20	252	40	62	10	31	4	53	26	376
92	212	1,474	109	857	21	112	5	63	42	84	6	33	5	28	25	297
93	284	1,743	157	865	30	149	11	164	25	55	0	2	27	161	34	346
94	311	1,586	198	904	35	159	4	102	35	57	0	5	15	164	23	195
95	228	1,652	160	1,130	8	67	10	156	13	49	0	0	10	94	28	155
96	453	1,897	387	1,343	11	122	2	28	16	74	0	0	20	186	18	144
97	185	1,350	139	1,057	13	98	1	22	7	27	1	3	3	24	21	120
98	205	2,064	149	1,579	15	155	7	87	6	34	1	4	4	37	24	168
99	230	1,825	156	1,347	8	78	5	71	17	58	0	1	8	66	37	204
00	180	1,793	109	1,266	14	122	5	46	2	8	0	3	21	138	29	208
01	232	2,153	178	1,617	11	122	7	79	0	1	0	2	13	104	23	229
02	182	2,091	127	1,564	19	160	7	100	0	0	0	0	17	142	13	124
03	159	1,929	113	1,486	14	109	4	58	0	0	0	5	14	148	13	124
04	220	2,806	176	2,233	17	177	6	96	0	1	0	1	10	157	12	142
05	174	2,063	128	1,577	21	148	5	65	0	0	0	1	8	153	11	119
06	147	1,863	94	1,365	18	109	10	113	0	0	0	10	10	117	15	149
07	194	2,222	138	1,704	10	99	14	143	0	0	0	0	9	85	23	190
08	235	2,647	164	1,851	12	143	10	179	0	1	0	0	5	43	43	430

자료 : 농림수산식품부 수산정보포털 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

### 3) 경영실태

대형선망어업의 경영체별 경영실태를 보면, 자산은 유동자산에 비해 고정

자산이 높은 편인데, 이것은 고정자산의 대부분이 어선이기 때문이다.<sup>29)</sup> 고정 자산은 1990년 28억 원에서 계속적으로 증가하여 2008년에는 75억 원에 이르고 있다. 선령이 전반적으로 높아지는데도 불구하고 고정자산 금액이 높아지는 것은 중고선 도입, 고마력화, 어탐기 등 첨단 어로장비의 구입이 증가한 것과 관련이 높다.

유동자산은 1990년에서 2003년까지는 고정자산에 비해 매우 낮았지만 2004년부터 급격한 증가세를 보이고 있다. 그리고 자기자본 비율은 1990년대에는 대체로 70%대 수준이었지만 경영악화로 인해서 부채가 급증하면서 2004년부터는 40%대로 낮아졌다.

| 표 3-13 | 대형선망어업의 자산 및 자기자본비율

년차	자산(백만 원)		자기자본비율 (%)	선령 (년)	선원 (명)
	고정	유동			
1990	2,847	258	78.4	16	89
1992	3,459	317	79.1	16	84
1994	4,168	360	78.9	16	81
1996	4,998	360	46.0	22	78
1998	5,641	242	74.8	17	73
2000	6,208	371	71.3	17	72
2002	6,311	439	73.6	19	80
2004	5,739	7,049	31.1	21	77
2006	7,141	2,854	43.7	20	74
2007	7,460	2,927	44.5	20	71
2008	7,537	3,365	44.2	21	71

자료 : 수협중앙회, 어업경영조사보고 각 년도

어업노동력은 지속적인 감소세를 보이고 있는데, 1990년에 89명이던 것이 수익성 악화의 영향으로 운반선 1척이 감소되면서 1990년대 말부터 70명 수준

29) 경영체별 경영실태는 수협중앙회의 어업경영조사보고를 참조하였음. 여기서의 경영체는 6척 선단은 1통 경영체이다.

까지 감소하였다.

한편, 대형선망어업의 수익과 비용을 살펴보면, 우선 어업수익은 1990년 이후 전반적인 증가세를 보이다가 2006년에 다소 하락한 이후 재차 증가하여 2008년에는 최고의 어업수익을 기록하고 있다. 그리고 어업비용은 1990년 이후 커다란 등락 없이 지속적인 증가세를 보이고 있다. 어업비용의 구체적인 내용을 살펴보면, 연료비와 임금이 차지하는 비중이 압도적인데, 두 가지 비용요소가 어업비용의 41~51%를 차지하고 있다. 이 중 임금이 차지하는 비중은 약간 감소한 반면, 국제유가 상승 등의 영향으로 2008년 연료비 비중은 1990년의 배 이상으로 증가되었다.

| 표 3-14 | 대형선망어업의 어업수익 및 비용

단위 : 백만원, %

연도	어업 수익 (백만 원)	어업비용						
		합계	임금 (백만 원)	임금비중 (%)	연료 (백만 원)	연료비중 (%)	수리 (백만 원)	기타 (백만 원)
1990	2,317	2,447	894	36.53	326	13.32	207	1,007
1992	3,164	3,141	959	30.53	366	11.65	254	1,562
1994	3,572	3,698	1,041	28.15	486	13.14	282	1,889
1996	4,417	4,226	1,401	33.15	566	13.39	316	1,943
1998	5,347	4,902	1,436	29.29	780	15.91	526	2,160
2000	5,867	5,402	1,654	30.62	878	16.25	503	2,367
2002	6,441	5,810	1,876	32.29	1,062	18.28	319	2,553
2004	10,651	8,431	2,155	25.56	1,558	18.48	1,315	3,403
2006	8,375	8,173	2,290	28.02	2,010	24.59	810	3,063
2007	8,912	8,378	2,372	28.31	2,023	24.15	734	3,249
2008	11,487	10,125	2,490	24.59	2,739	27.05	802	4,094

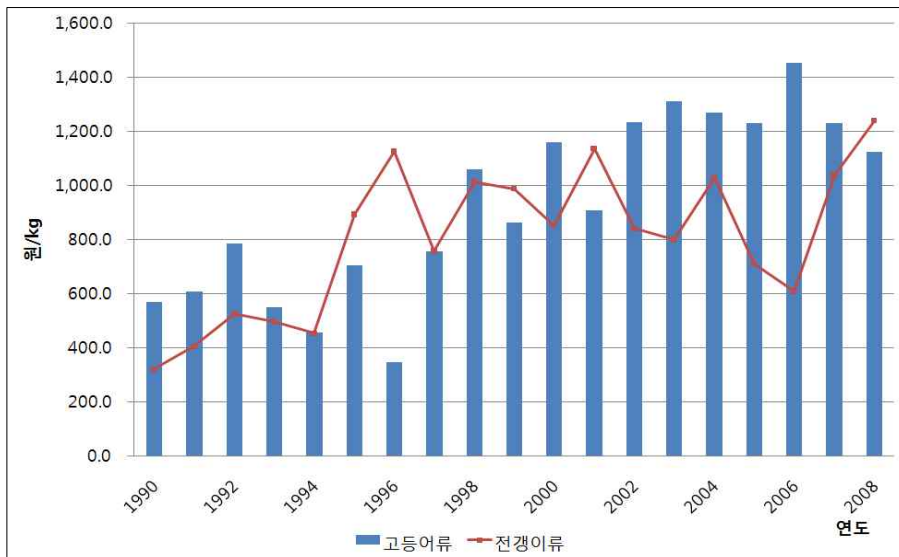
자료 : 수협중앙회, 어업경영조사보고 각 년도

#### 4) 가격 및 비용 분석

생물경제 모형 구축 및 실증분석을 하는데 있어 가장 중요한 경제적인 파라미터는 가격과 비용이다. 따라서 본 절에서는 고등어와 전갱이의 가격과 비용에 대해 설명하고자 한다.

##### (1) 가격 분석

생물경제모형의 분석에 필요한 고등어와 전갱이의 가격 추이는 <그림 3-10>과 같다. 우선 고등어의 가격 추이를 살펴보면, 1990년에 kg당 569.6원 이었던 것이 등락을 반복하면서 점차 증가하여 2000년에는 1,161.6원을 기록하였다.



자료 : 농림수산식품부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

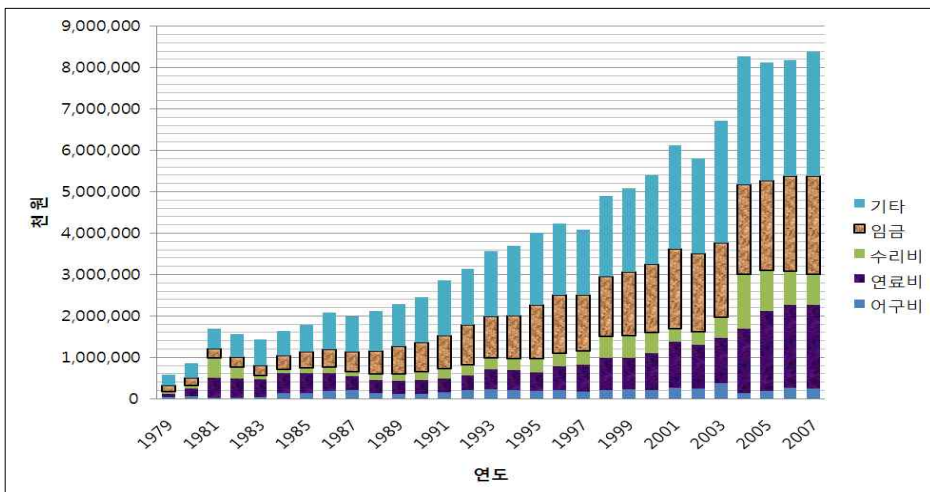
| 그림 3-10 | 대상어종 가격 추이

이후 어획량 변화에 따라 900원대에서 1,400원대까지 증감을 반복하였는데, 어획량이 2000년대에서 어획량이 제일 낮은 2006년에는 1,455.2원까지 증가하였으나 어획량이 회복된 2008년에는 1,125.9원으로 하락하였다.

전갱이의 경우, 1990년에는 kg당 321.4원으로서 고등어의 56% 수준이던 것이 1990년대 중반 고등어 생산량의 급증에 따라 가격이 하락하면서 1996년에는 고등어 가격의 3.25배인 1,128.5원까지 상승하였다. 이후 등락을 거듭하다가 어획량이 다소 줄어든 2007년과 2008년에는 각각 1,039.2원과 1,240.9원을 나타내었다. 전갱이의 위판가격이 고등어 보다 다소 높다.

## (2) 비용 분석

본 연구의 대상어종인 고등어와 전갱이를 주로 어획하는 대형선망어업의 비용은 크게 임금, 연료비, 어구비, 수리비, 기타 등으로 구분할 수 있다. 대형선망어업의 연도별 비용 추이는 <그림 3-11>과 같다.



자료 : 수협중앙회, 「어업경영조사보고」, 각 연도

| 그림 3-11 | 대형선망어업 비용 추이

한편, 전체 비용에 있어서 비용 요소의 한계효과를 추정하기 위해서 회귀 분석을 실시하였으며, 회귀모형은 다음과 같다.<sup>30)</sup>

$$TC = \alpha_0 + \beta_1 Wage + \beta_2 Fuel + \beta_3 FG + \beta_4 Repair$$

Wage : 인건비, Fuel : 연료비, FG : 어구비, Repair : 수리비

추정결과는 다음의 <표 3-15>와 같다. 추정결과에 의하면 연료비 수치가 1% 높아지면 총비용은 1.604%정도 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 인건비 수치가 1% 높아지면 총비용은 1.327%정도 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 연료비가 총비용에 미치는 영향이 인건비 보다 크다는 것을 실증적으로 보여 주고 있다.

| 표 3-15 | 비용요소의 한계효과

구분	계수	표준 오차	t 통계량	P-값
상수항( $\alpha_0$ )	141,804.707	297,216.8	0.477109	0.637601
어구비(FG)	4.73904057	2.617318	1.810647	0.082733
연료비(Fuel)	1.60453286	0.500013	3.208981	0.003758
수리비(Repair)	1.1550791	0.836695	1.380526	0.180148
인건비(Wage)	1.32743145	0.514237	2.58136	0.016379

주 :  $R^2$  는 0.9479임

### (3) 단위노력당 비용 분석

본 절에서는 대상어종 및 대상업종의 현황분석을 통해서 확보된 자료를 바탕으로 생물경제모형의 구축 및 분석에 사용되는 비용함수의 바탕을 이루는

30) 고정비용을 고려하기 위해 감가상각비 등을 고려하여야 하나, 본 분석에서는 고려하지 않았다.



단위노력당 비용을 산출하고자 한다.

단위노력당 비용은 총비용을 단위노력으로 나눈 것을 의미한다. 여기서 총비용은 대상업종인 대형선망어업 전체의 총어업비용을 의미한다. 그리고 단위노력은 일반적으로 사용되는 양망횟수를 의미한다. 따라서 여기서의 단위노력당 비용은 양망당 어업비용을 의미한다. <표 3-16>은 대형선망어업 총비용, 양망횟수, 양망당 비용을 나타낸 것이다.

수협중앙회 2008년도 어업경영조사보고에 따르면 2007년의 대형선망어업 단위 경영체(1통)당 연간 총어업비용은 83억 7,797만 원으로 나타났다. 여기에 조업 통수를 곱하여 환산한 비용이 <표 3-16>과 같은 대형선망어업 전체 경영체의 총어업비용이 된다.

표 3-16 | 대형선망어업 양망당 비용

연도	총어업비용 (천원)	양망횟수 (회)	양망당 비용 (천원)
2000	189,074,970	9,318	20,291
2001	189,774,529	11,121	17,065
2002	181,972,418	9,585	18,986
2003	221,278,299	8,023	27,581
2004	264,689,024	8,255	32,064
2005	259,917,440	8,532	30,463
2006	228,831,260	7,344	31,157
2007	234,583,160	7,344	31,940

주 : 2006~2007년의 양망횟수가 부재하여 대리값으로 2004~2005년의 양망횟수 평균치를 조업 통수로 나누어 통별 양망횟수를 구한 후 다시 2006년과 2007년의 조업통수에 곱하여 산출하였음.

그러나 대형선망어선은 고등어, 전갱이 이외에도 여러 어종을 동시에 어획하고 있기 때문에 어종별로 어업비용을 산출하기 위해서는 동 어선의 총어획량 중 본 분석의 대상인 고등어와 전갱이 각각의 어획량 비중으로 분리해야 한다. <표 3-17>은 최근의 대형선망어업 어종별 어획비중을 나타낸 것이다.

| 표 3-17 | 대형선망어업 어종별 어획비중

단위 : 톤, %

구분	2005		2006		2007	
어종	어획량	비중	어획량	비중	어획량	비중
고등어	127,983	73.64	93,787	63.87	138,086	71.14
전갱이	20,831	11.99	17,815	12.13	9,566	4.93
전체어종	173,795	100.00	146,839	100.00	194,093	100.00

자료 : 농림수산식품부 수산정보포털 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

이상과 같이 대형선망어업 총어업비용을 대상어종별로 분리하면 어종별 단위노력당 어업비용을 산출할 수 있다(<표 3-18> 참조). 2007년도 고등어의 양망당 비용은 2,272만 4,000원으로 나타났다. 그리고 전갱이의 양망당 비용은 157만 4,000원으로 나타났다.

| 표 3-18 | 어종별 양망당 어업비용

단위 : 천 원

연도	고등어	전갱이
2005	22,433	3,651
2006	19,900	3,780
2007	22,724	1,574
3개년 평균	21,686	3,002

## 제 4 장 고등어와 전갱이의 최적 생산량 추정

### 1. 분석 개요 및 분석 자료

#### 1) 분석 개요

분석개요에서는 고등어와 전갱이의 가격변화에 따른 최적생산량 추이를 분석하기 위한, 로지스틱 성장함수, 콥-더글라스(Cobb-Douglas) 어획생산함수, 어획비용함수, 자유입어(Open Access)와 단독소유(Sole Owner)의 이윤함수 순으로 모형을 설정하고, 변수추정 방법을 설명하고자 한다. 첫째, 잉여생산모형은 어획량과 어획노력량을 이용하여 생물작기술적 계수( $r, K, q$ )를 추정한다. 그러나 만일 잉여생산모형으로부터 추정된 이들 계수 값들이 통계적으로 신뢰성이 낮다면, 로지스틱 성장함수를 이용하여 이들 계수 값들을 추정해 볼 수 있다. 구체적으로 로지스틱 성장함수는 자원량에 의존하며, 어획량 변수를 추가하여 고등어, 전갱이의 생물적 계수( $r, K$ )를 추정한다.

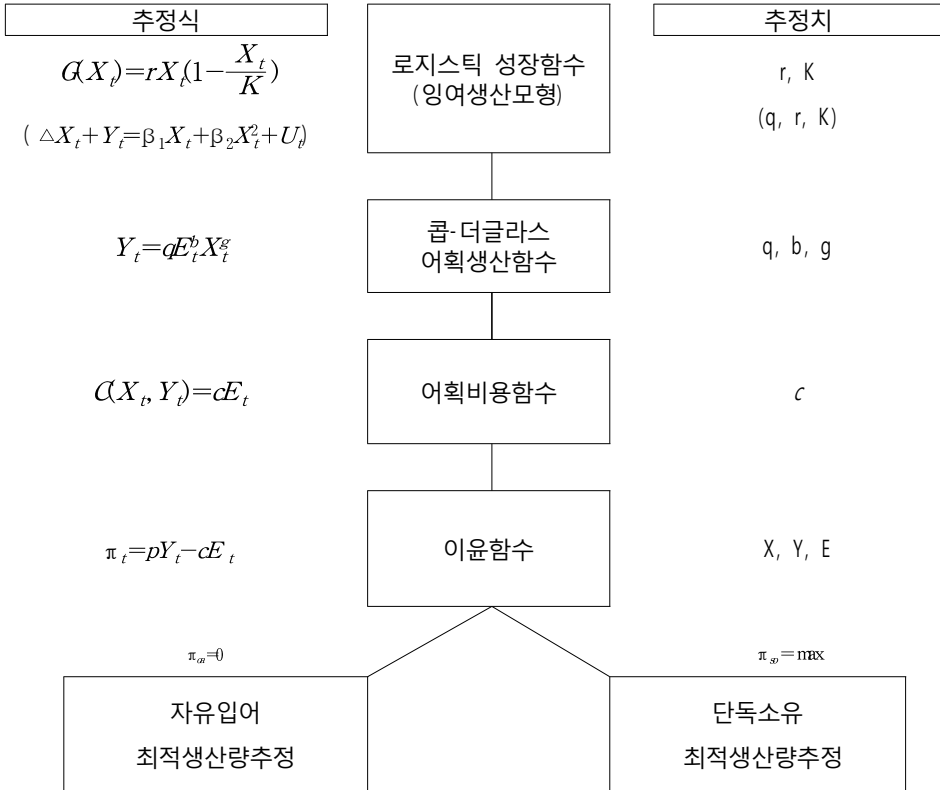
둘째, 콥-더글라스 어획생산함수는 어획노력량과 자원량에 의존하며, 본 함수로부터 어획능력계수( $q$ )와 콥-더글라스 승수( $b$ 와  $g$ )를 추정한다. 일반적으로 어획함수는 자원량과 어획노력량을 함수로 하는 선형의 관계식( $Y=qEX$ )으로 가정되어지나, 본 연구에서는 콥-더글라스 어획생산함수를 이용함으로 선형이 아닌 비선형의 형태를 취한다.

셋째, 어획비용함수는 어획노력량의 함수로, 단위비용  $c$ 는 양망당 비용으로 총 어업비용을 총 양망횟수로 나누어 산정한다. 따라서 어획비용은 어획노력량에 의존하는 선형의 형태를 가진다.

넷째, 이윤함수는 자유입어와 단독소유로 구분하여 분석한다. 즉 자유입어의 경우, 이윤을 '0'으로 하고 최적생산량을 추정하며, 단독소유일 경우에는 어

업이익의 순 현재가치를 극대화하여 최적생산량을 추정한다.

따라서 대형선망에 의해 어획되고 있는 고등어와 전갱이의 최적생산량을 추정하는 실증 분석의 흐름도를 살펴보면 <그림 4-1>과 같다.



| 그림 4-1 | 실증분석 흐름도

또한 분석에 적용된 모형의 함수, 적용변수, 추정변수, 추정식, 기본 가정 등을 살펴보면 <표 4-1>과 같다.

| 표 4-1 | 함수, 분석모형, 적용변수, 추정변수, 추정식, 기본가정

함수		분석모형	적용변수	추정변수	추정식	기본 가정
로지스틱 성장함수		$G(X_t) = rX_t(1 - \frac{X_t}{K})$	$X_t$ : $t$ 기의 자원량 $r$ : 본원적 성장률 $K$ : 환경수용능력	$r = \beta_1$ $-\frac{r}{K} = \beta_2$	$(X_{t+1} - X_t) + Y_t = \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + U_t$ $(X_{t+1} - X_t) + Y_t = \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + U_t$	$(X_{t+1} - X_t) = G(X_t) - H(E_t, X_t)$ $(X_{t+1} - X_t) = G(X_t) - Y_t$
어획생산 함수		$Y_t = H(E_t, X_t)$ $= qE_t^b X_t^g$	$Y_t$ : $t$ 기의 어획량 $E_t$ : $t$ 기의 어획능력량 $q$ : 어획능력계수	$q, b, g$	$\ln(Y_t) = \ln(q) + b \ln(E_t) + g \ln(X_t) + U_t$	$Y_t$ 는 $E_t$ 와 $X_t$ 의 함수로서 비선형의 관계성을 가짐 $E_t \approx \left( \frac{Y_t}{qX_t^g} \right)^{1/b}$
어획비용 함수		$C(X_t, Y_t) = cE_t$ $= c \left( \frac{Y_t}{qX_t^g} \right)^{\frac{1}{b}}$	$C$ : 단위비용	$c$	$c = \frac{C(X_t, Y_t)}{E_t} \cdot pr$ $E_t = \text{days} \times hl \times \text{total vessel no.}$	$E_t$ 는 출어일수, 양망수, 총 어선척수의 함수임
이윤 함수	OA	$\pi_t = pH(E_t, X_t) - cE_t$ $= pH(E_t, X_t) - C(X_t, Y_t)$ $= 0$	$\pi_t$ : $t$ 기의 이윤	$X_{OA}$ $Y_{OA}$ $E_{OA}$	$X_{OA} = \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{g}}$ , $E_{OA} = \frac{p}{c} Y_{OA}$ $Y_{OA} = r \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{g}} \left[ 1 - \frac{1}{K} \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{g}} \right]$	$\pi = 0$ ( $X_{t+1} - X_t$ ) = $G(X_t) - Y_t = 0$
	SO	$\sum_{t=0}^{\infty} \left( \frac{1}{1+p} \right) \left[ pY_t - c \left( \frac{Y_t}{qX_t^g} \right)^{\frac{1}{b}} \right]$ $MAX \Pi(X_t, Y_t)$	$p$ : 가격 $\rho$ : 사회적 할인율	$X_{SO}$ $Y_{SO}$ $E_{SO}$	$p = \frac{c}{bY} \left( \frac{Y}{qX^g} \right)^{\frac{1}{b}} + \frac{\frac{g}{bX} \left( \frac{Y}{qX^g} \right)^{\frac{1}{b}}}{\rho - r + \frac{2rX}{K}}$ $Y = rX(1 - \frac{X}{K})$	$\max \pi$ $Y = G(X) = rX(1 - \frac{X}{K})$

## 2) 분석 자료

분석대상어종으로 선정된 고등어와 전갱이의 최적생산량을 추정하기위해 서는 생물적 및 경제적 자료가 필요하다. 우선, 고등어와 전갱이의 자원량은 대형선망어업으로부터 포획된 어획량과 어획노력량으로부터 추정이 가능하다. 여기서 어획노력량 변수는 주로 어선척수, 마력수, 톤수, 양망횟수 등이 사용되며, 이들 어종의 자원량 추정을 위한 잉여생산모형들로는 Shaefer 모형, Schnute 모형, Walters and Hilborn 모형, Fox 모형, CY&P(Clarke, Yoshimoto and Poolley) 모형 등이 있다.

또한 앞서 언급된 잉여생산모형들은 고등어와 전갱이 각각의 생물적 정보, 즉 본원적 성장률( $r$ )과 환경수용능력( $K$ ) 뿐만 아니라, 고등어와 전갱이를 어획하는 대형선망의 개별 어획능력계수( $q$ )까지 추정한다. 그리고 이들 계수들(coefficients)로부터 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 최대지속적자원량( $X_{MSY}$ ), 최대지속적어획량( $Y_{MSY}$ ), 최대지속적어획노력량( $E_{MSY}$ )이 추정될 수 있다.

하지만 잉여생산모형을 통해 추정된 고등어의 생물적·기술적 계수들( $r$ ,  $q$ ,  $K$ )이 항상 유의한 것만은 아니다. 특히, CPUE 또는 어획노력량의 변동이 불규칙할 경우, 이들 변수로부터 추정된 생물 및 기술적 계수들은 종종 실제 계수와 크게 벗어나는 편이(bias)를 발생시키기도 한다.

따라서 본 분석에서는 대형선망에 의해 어획된 고등어의 자원량 추정을 위해 다양한 잉여생산모형을 이용하여 생물 및 기술적 계수들을 추정해 보고, 만일 잉여생산모형으로부터 추정된 생물적·기술적 계수 값이 통계적으로 유의하지 못할 경우, 추가적으로 국립수산물과학원에서 이미 추정된 연도별 고등어와 전갱이의 자원량과 어획량을 가지고 생물적 계수들( $r$ ,  $K$ )을 재 추정한다.

1987년부터 2005년까지 대형선망에 의해 어획된 고등어의 연도별 어획량, 어획노력량, CPUE를 살펴보면 <표 4-2>와 같다.<sup>31)</sup>

31) 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이 자원량 자료(1990~2005)는 국립수산물과학원의 중요 내부자료이므로 <표 4-2>과 <표 4-3>에 기재하지 않았음.

| 표 4-2 | 대형선망에 의해 어획된 고등어의 어획량, 어획노력량, CPUE 현황

연도	어획량	톤	마력수	양망 횃수	CPUE (톤)	CPUE (마력수)	CPUE (양망수)
1978	85,421	28,735	136,014	5,177	2.973	0.628	16.5
1979	65,938	36,389	192,221	3,663	1.812	0.343	18.0
1980	60,578	35,625	197,094	5,825	1.700	0.307	10.4
1981	100,528	35,939	194,161	7,674	2.797	0.518	13.1
1983	119,508	35,814	182,345	8,986	3.337	0.655	13.3
1984	99,444	35,301	184,875	10,147	2.817	0.538	9.8
1985	62,419	36,633	195,335	9,046	1.704	0.320	6.9
1986	98,202	38,221	214,105	11,976	2.569	0.459	8.2
1987	88,490	39,945	232,770	9,724	2.215	0.380	9.1
1988	154,948	40,486	238,595	10,062	3.827	0.649	15.4
1989	158,744	46,016	273,005	10,176	3.450	0.581	15.6
1990	92,775	47,228	287,983	9,467	1.964	0.322	9.8
1991	82,541	46,670	288,461	6,822	1.769	0.286	12.1
1992	108,848	44,652	282,924	8,373	2.438	0.385	13.0
1993	156,573	43,454	289,211	9,376	3.603	0.541	16.7
1994	197,761	43,494	295,383	12,360	4.547	0.670	16.0
1995	159,820	41,650	290,567	12,294	3.837	0.550	13.0
1996	386,877	39,348	285,059	10,599	9.832	1.357	36.5
1997	139,293	37,047	279,551	9,606	3.760	0.498	14.5
1998	148,892	32,482	259,070	8,272	4.584	0.575	18.0
1999	155,728	32,060	256,416	9,107	4.857	0.607	17.1
2000	109,025	31,377	255,927	9,318	3.475	0.426	11.7
2001	177,935	29,546	252,840	11,121	6.022	0.704	16.0
2002	126,519	29,512	255,641	9,585	4.287	0.495	13.2
2003	113,121	28,463	246,957	8,023	3.974	0.458	14.1
2004	175,831	25,880	194,166	8,255	6.794	0.906	21.3
2005	127,983	25,664	181,126	8,532	4.987	0.707	15.0

주 : 잉여생산모형으로부터  $q$ ,  $K$ ,  $r$  추정치를 구하기 위해 1978-2005년의 어획노력량 자료와 CPUE 자료를 이용하였음

자료 : 국립수산물과학원 내부자료

그리고 전갱이의 1987년부터 2005년까지의 연도별 어획량, 어획노력량, CPUE를 살펴보면 <표 4-3>과 같다.

| 표 4-3 | 대형선망에 의해 어획된 전갱이의 어획량, 어획노력량, CPUE 현황

연도	어획량	톤	마력수	양망횟수	CPUE (톤)	CPUE (마력수)	CPUE (양망수)
1978	835	28,735	136,014	5,177	0.029	0.006	0.16
1979	5,721	36,389	192,221	3,663	0.157	0.030	1.56
1980	280	35,625	197,094	5,825	0.008	0.001	0.05
1981	656	35,939	194,161	7,674	0.018	0.003	0.09
1983	10,090	35,814	182,345	8,986	0.282	0.055	1.12
1984	1,829	35,301	184,875	10,147	0.052	0.010	0.18
1985	12,726	36,633	195,335	9,046	0.347	0.065	1.41
1986	2,465	38,221	214,105	11,976	0.064	0.012	0.21
1987	4,526	39,945	232,770	9,724	0.113	0.019	0.47
1988	31,740	40,486	238,595	10,062	0.784	0.133	3.15
1989	10,582	46,016	273,005	10,176	0.230	0.039	1.04
1990	12,525	47,228	287,983	9,467	0.265	0.043	1.32
1991	10,664	46,670	288,461	6,822	0.228	0.037	1.56
1992	21,316	44,652	282,924	8,373	0.477	0.075	2.55
1993	30,062	43,454	289,211	9,376	0.692	0.104	3.21
1994	35,036	43,494	295,383	12,360	0.806	0.119	2.83
1995	7,521	41,650	290,567	12,294	0.181	0.026	0.61
1996	10,790	39,348	285,059	10,599	0.274	0.038	1.02
1997	12,867	37,047	279,551	9,606	0.347	0.046	1.34
1998	15,296	32,482	259,070	8,272	0.471	0.059	1.85
1999	7,913	32,060	256,416	9,107	0.247	0.031	0.87
2000	14,288	31,377	255,927	9,318	0.455	0.056	1.53
2001	10,729	29,546	252,840	11,121	0.363	0.042	0.96
2002	18,965	29,512	255,641	9,585	0.643	0.074	1.98
2003	13,558	28,463	246,957	8,023	0.476	0.055	1.69
2004	17,179	25,880	194,166	8,255	0.664	0.088	2.08
2005	20,831	25,664	181,126	8,532	0.812	0.115	2.44

주 : 잉여생산모형으로부터  $q$ ,  $K$ ,  $r$  추정치를 구하기 위해 1978~2005년의 어획노력량 자료와 CPUE 자료를 이용하였음

자료 : 국립수산물과학원 내부자료



또한 경제적 변수로서 대형선망어업에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 위판가격은 동 업종으로부터 어획된 어종별 총 생산액을 어종별 총 어획량으로 나누어 산출하였다. 구체적으로 본 분석에서의 위판가격은 통계청 자료를 이용하였고, 분석에 적용된 고등어와 전갱이의 위판가격은 2005부터 2007년까지의 최근 3년 값의 평균을 적용하였다.

| 표 4-4 | 대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 위판가격

단위 : 원 /kg

연도	고등어	전갱이
1990	570	321
1991	611	405
1992	787	526
1993	552	497
1994	457	453
1995	707	895
1996	347	1128
1997	758	759
1998	1061	1015
1999	865	988
2000	1162	853
2001	909	1137
2002	1236	841
2003	1314	801
2004	1270	1029
2005	1232	711
2006	1455	610
2007	1234	1039

자료 : 통계청 어업생산통계

그리고 본 분석에서 적용된 양망당 비용은 <표 3-18>의 어종별 양망당 어업비용의 최근 3년(2005~2007년) 평균값을 적용하였다.

## 2. 분석모형 및 추정방법

### 1) 로지스틱 성장함수

#### (1) 분석모형

어업자원의 성장량은 일반적으로  $t+1$ 기의 자원량에  $t$ 기의 자원량을 차감하여 구할 수 있다. 여기서  $t$ 기의 자원량에 의해 차감된  $t+1$ 기의 성장량은  $t$ 기의 자원 그 자체의 성장량에  $t$ 기의 어획량을 차감한 것과 같다.

$$X_{t+1} - X_t = G(X_t) - H(E_t, X_t) \quad \text{식 (4-1)}$$

$E_t$ :  $t$  기간의 어획 노력량 즉, 대형선망의 양망횟수

$X_t$ :  $t$  기간의 고등어 또는 전갱이 자원량

$G(X_t)$ :  $t$  기간의 고등어 또는 전갱이 성장함수

$H(E_t, X_t)$ :  $t$  기간의 고등어 또는 전갱이 어획함수

여기서, 어업자원의 성장함수는 Schaefer에 의해 제안된 로지스틱 성장함수로 가정된다.

$$G(X_t) = rX_t \left( 1 - \frac{X_t}{K} \right) \quad \text{식 (4-2)}$$

$r$  : 고등어 또는 전갱이의 본원적 성장률

$K$  : 고등어 또는 전갱이의 환경수용능력

## (2) 추정방법

본 분석에서 잉여생산모형은 대형선망에 의해 어획된 고등어 또는 전갱이의 CPUE와 어획노력량을 가지고 생물 및 기술적 계수들을 추정하여 동 어종의  $X_{MSY}$ ,  $Y_{MSY}$ ,  $E_{MSY}$ 를 산출한다.

하지만 앞서 2장에서 언급한 Schaefer 모형, Schnute 모형, Walters and Hilborn 모형, Fox 모형, CY&P 모형으로부터 추정된 생물 및 기술적 계수들이 통계적으로 신뢰성이 낮을 경우, 이미 국립수산물과학원에서 추정된 고등어, 전갱이의 자원량 자료와 통계청의 어획량 자료를 활용하여 이들 생물적 계수들( $r$ ,  $K$ )을 추정할 수 있다.

식 (4-3)은 로지스틱 성장함수 모형과 어획량 변수를 가지고 이들 생물적 계수들은 추정하는 식이다.

$$Q(X_t) = (X_{t+1} - X_t) + Y_t = rX_t - \frac{r}{K}X_t^2 = \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 \quad \text{식 (4-3)}$$

$Y_t$  : t 기간의 특정 어종의 어획량

여기서  $\beta_1$ 은 본원적 성장률인  $r$ 을 의미하고,  $\beta_2$ 는  $-\frac{r}{K}$ 를 의미한다. 따라서 식 (4-3)은 전통적 통계처리방법인 일반최소자승법(OLS)을 이용하여 생물적 계수들을 추정할 수 있다.

$$(X_{t+1} - X_t) + Y_t = \beta_1 X_t + \beta_2 X_t^2 + U_t \quad \text{식 (4-4)}$$

$U_t$  : 오차항

또한 비선형최소자승법(NLS)을 이용하여 고등어와 전갱이의 생물적 계수들 또한 구할 수 있으며, 이때,  $\delta=2$  귀무가설을 통해 고등어와 전갱이의 자원량과 어획량의 상호 관계가 로지스틱 성장함수의 성향을 갖는지도 검정해 볼 수 있다. 즉, 귀무가설  $\delta=2$ 를 검정해 봄으로써 Schaefer 모형의 적용 유무를 판단할 수 있다(Nostbakken, Bjorndal, 2003).

$$(X_{t+1}-X_t)+Y_t=\beta_1X_t+\beta_2X_t^\delta+U_t \quad \text{식 (4-5)}$$

하지만 본 분석에서는 로지스틱 성장함수를 가정하고 생물적 계수,  $r$ ,  $K$ 를 추정하였다.

## 2) 콥-더글라스 어획생산함수

### (1) 분석모형

$t$  기간 동안의 특정 어종 어획량,  $Y_t$ 는 콥-더글라스 어획생산함수로 가정한다. 일반적으로 어획생산함수는 어획노력량과 자원량에 의존한다.

$$Y_t = H(E_t, X_t) = qE_t^b X_t^g z \quad \text{식 (4-6)}$$

$Y_t$  :  $t$  기간의 어획량

$q$  : 어획능률계수

$b, g$  : 콥-더글라스 승수

여기서 어획노력량( $E_t$ )은 척수, 톤수, 마력수, 출어일수, 양망횟수 등을 다

양하게 사용할 수 있으나, 본 분석에서는 양망횟수를 이용하였다. 어획능률계수,  $q$ 는 자원량이 일정하다고 가정할 때 어업 기술이 발전할수록 증가한다. 또한  $b$ ,  $g$ 는 콥-더글라스 승수를 의미하는데, 어획노력량이 증가할수록 생산은 증가하고 ( $dh/dE > 0$ ), 어업자원량이 많을수록 어업생산은 증가한다( $dh/dX > 0$ ).

Bjorndal과 Conrad(1987)는 유럽 청어의 어획노력량 변수로 어선 척수를 이용하는 것이 바람직하다고 보았는데, 우리나라의 고등어와 전갱이는 최근 어선 척수와 마력수의 연도별 변화가 심해 어획노력량의 변수로 이용하기에 다소 어려움이 있다. 또한 무리를 지어 회유하는 고등어와 전갱이의 경우, 이들 어종을 탐색하고 어획하는 기술이 발전하면서 비록 이들 어종의 자원량이 매우 적다고 하더라도 어획량은 단기적으로 일정량을 유지할 수 있다. 따라서 대형선망에 의해 어획되고 있는 이들 어종의 자원량 승수,  $g$ 는 0과 1사이( $0 \leq g < 1$ )에 있을 가능성이 높을 수 있다고 판단된다.

한편 표준 Schaefer 어획생산함수는 식 (4-6)의 한 특수 사례로 선형의 형태를 띠는데, 이때의 식 (4-6)의 콥-더글라스 승수,  $b$ 와  $g$ 는 '1'의 값을 가진다. 그 외의 특수 사례로서 완전군집성(pure schooling)어업을 들 수 있는데, 이때의  $g$ 는 '0'으로 가정되어, 어획량은 자원량에 의존하지 않게 된다(Nostbakken, Bjorndal 2003).

## (2) 추정방법

식 (4-6)의 콥-더글라스 어획생산함수를 로그-로그 형태로 변환하면, 변환된 식으로부터 기술적 계수인  $q$ 와 콥-더글라스 승수,  $b$ ,  $g$ 를 추정할 수 있다.

$$\ln(Y_t) = \ln(q) + b \ln(E_t) + g \ln(X_t) + U_t \quad \text{식 (4-7)}$$

여기서 콥-더글라스 승수,  $b$ 는 대형선망의 양망횟수(어획노력량)가 1% 증

가할 때 어획량의 % 변화를 의미하며,  $g$ 는 고등어의 자원량이 1% 증가할 때 고등어 어획량의 % 변동을 의미한다.

### 3) 어획비용함수

#### (1) 분석모형

본 분석에서의 어획비용함수는 자원량과 어획량에 의존하며, 여기서 어획 노력량은 대형선망어업의 양망횟수를 이용한다.

$$C(X_t, Y_t) = cE_t = c \left( \frac{Y_t}{qX_t^g} \right)^{\frac{1}{b}} \quad \text{식 (4-4)}$$

$C(X_t, Y_t)$  : 어획비용함수

$c$  : 단위비용

#### (2) 추정방법

단위비용( $c$ )은 고등어와 전갱이를 어획하는 대형선망의 양망당 비용으로, 동 어선이 어획하는 모든 어종 중 고등어, 전갱이의 어획량 비중을 이용하여 산출한다. 따라서 양망당 비용은  $t$  기간 동안의 대형선망 총 양망횟수를  $t$  기간 내 대형선망의 총 어업비용으로 나눈 후, 그 값에 고등어와 전갱이의 어획량 비중을 곱하여 산출한다.

$$c = \frac{C(X_t, Y_t)}{E_t} \cdot pr \quad \text{식 (4-5)}$$

$c$  : 고등어 또는 전갱이의 양망당 비용

$E_t$  :  $t$  기간 동안 대형선망의 총 양망횟수

$C(X_t, Y_t)$  :  $t$  기간 동안 대형선망의 총 어업비용

$pr$  : 대형선망의 총 어획량 중 고등어, 전갱이의 어획량 비중

그리고  $t$  기간 동안의 대형선망 총 양망횟수는 대형선망의 총 어선척수를  $t$  기간 출어일수에 곱하고, 다시 그 값을 대형선망의 1일 평균 양망 횟수에 곱하여 산출한다.

$$E_t = days \times hl \times total\ vessel\ no. \quad \text{식 (4-6)}$$

$total\ vessel\ no.$  : 대형선망의 총 어선척수

$days$  : 대형선망의  $t$  기간 출어일수

$hl$  : 대형선망의 1일 평균 양망 횟수

#### 4) 이윤함수

##### (1) 분석모형

이윤함수는 총수입에 총비용을 차감하여 산출한다. 여기서 총수입은 위판 가격에 어획량을 곱하여 산출하고, 총비용은 단위당 양망비용에 어획노력량을 곱하여 산출한다.

$$\pi_t = pH(X_t, Y_t) - cE_t = pH(X_t, Y_t) - C(X_t, Y_t) \quad \text{식 (4-7)}$$

$\pi_t$ : 고등어 또는 전갱이를 어획하는 대형선망업의 t기간 동안의 이윤

$p$ : 고등어 또는 전갱이의 위판가격

#### 가. 생태적 균형하에서의 자유입어의 최적 생산량 함수

자유입어 하에서의 생태적 균형은 Gordon(1954)에 의해 제시되었고, 생태적 균형을 위한 기본가정은 우선, 어획량과 자연성장량이 동일하고 ( $X_{t+1} - X_t = F(X_t) - H(E_t, X_t) = 0$ ), 다음으로 이윤이 '0'이 될 때까지 어업자들은 조업한다( $\pi = 0$ )는 것으로부터 출발한다. 즉, 자유입어의 생태적 균형은 식 (4-1)과 식 (4-8)을 만족시켜야 한다.

$$\pi_t = pH(X_t, Y_t) - cE_t = pH(X_t, Y_t) - C(X_t, Y_t) = 0 \quad \text{식 (4-8)}$$

#### 나. 생태적 균형하에서의 단독소유의 최적 생산량 함수

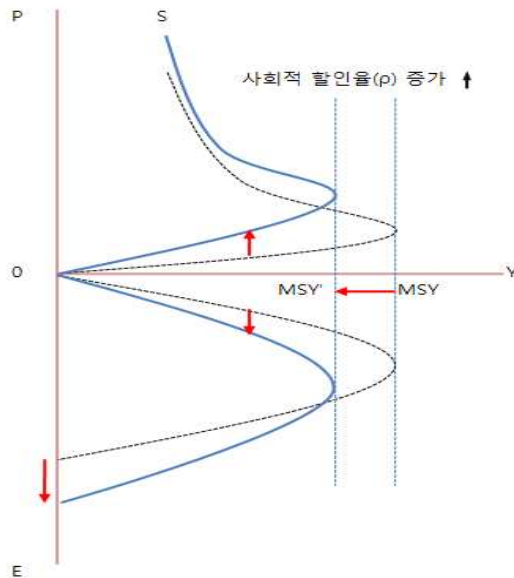
단독소유는 어업으로부터 이윤의 현재가치를 극대화할 수 있는 방향으로 어업자원을 이용·관리한다. 하지만 단독소유의 경우도 식 (4-1)의 생태적 균형을 만족시킨다는 전제하에서 이윤의 현재가치를 극대화시킨다는 점을 유념해야 한다.

$$MAX_{\Pi}(X_t, Y_t) = \sum_{t=0}^{\infty} \left\{ \left( \frac{1}{1+\rho} \right)^t \left[ pY_t - c \left( \frac{Y_t}{qX_t^g} \right)^{\frac{1}{b}} \right] \right\} \quad \text{식 (4-9)}$$

$\rho$ : 사회적 할인율



여기서  $X_i$ 는 상태변수(state variable),  $Y_i$ 는 조절변수(control variable)로 maximum principle를 적용함으로써 가격(p)에 대한 자원량( $X_i$ )과 어획량( $Y_i$ )의 관계식을 도출할 수 있다(Nostbakken, Bjorndal 2003). 특히, 사회적 할인율의 변동, 어선감척에 따른 양망횟수 감소, 관세 영향에 따른 가격 변동, 유가상승에 따른 단위비용(c)의 상승, 국제 환율 변동 등은 생태적 균형 하에서 단독소유자의 이익의 현재가치를 극대화하는데 다양한 변화를 초래할 수 있다.



| 그림 4-2 | 사회적 할인율의 증가에 대한 어획량 변화

한 예로서 <그림 4-2>와 같이, 만일 사회적 할인율( $\rho$ )이 증가한다면, 어업자들은 현존하는 자원을 미래에 사용하기보다 현재에 소비하기를 더 선호하게 된다. 그 결과, 어획노력량은 증가하고, 지속가능한 자원의 이용은 감소하게 된다.

## (2) 추정방법

### 가. 생태적 균형 하에서의 자유입어의 최적 생산량 추정

자유입어의 생태적 균형 하에서의 최적어획량( $Y_{OA}$ ), 최적어획노력량( $E_{OA}$ ), 최적자원량( $X_{OA}$ )은 식 (4-1)과 식(4-8)로부터 도출되어진다.

$$E_{OA} = \frac{p}{c} Y_{OA} \quad \text{식 (4-10)}$$

$$Y_{OA} = r \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{g}} \left[ 1 - \frac{1}{K} \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{g}} \right] \quad \text{식 (4-11)}$$

$$X_{OA} = \left( \frac{c}{pqE_{OA}^{(b-1)}} \right)^{\frac{1}{b}} \quad \text{식 (4-12)}$$

### 나. 생태적 균형 하에서의 단독소유의 최적 생산량 추정

생태적 균형 하에서의 단독소유의 최적 생산량 추정은 식 (4-13)의 가정하에서 maximum principle을 적용함으로써 식 (4-14)의 가격으로 표현된 자원량과 어획량의 관계식이 도출되어진다.

$$Y = Q(X) = rX \left( 1 - \frac{X}{K} \right) \quad \text{식 (4-13)}$$

$$p = \frac{c}{bY} \left( \frac{Y}{qX^g} \right)^{\frac{1}{b}} + \frac{\frac{\alpha}{bX} \left( \frac{Y}{qX^g} \right)^{\frac{1}{b}}}{\rho - r + \frac{rX}{K}} \quad \text{식 (4-14)}$$

따라서 식 (4.13)과 식 (4.14)로부터 가격과 어획량의 최적 균형 조합을 구할 수 있으며, Clark (1990)은 식 (4-14)를 할인된 공급 곡선으로 언급하기도 하였다(Nostbakken, Bjorndal 2003).

### 3. 분석결과

#### 1) 로지스틱 성장함수

##### (1) 잉여생산모형의 분석결과

대형선망에 의해 어획된 고등어와 전갱이에 대해 통계적으로 신뢰성 높은 생물 및 기술적 계수들( $q$ ,  $K$ ,  $r$ )을 추정해 보기 위해 3개의 어획노력량, 즉 톤수, 마력수, 양망횟수와 이들 어획노력량과 어획량으로부터 산출된 CPUE를 가지고 분석하였다.

##### 가. 고등어

먼저, 대형선망에 의해 어획된 고등어의 어획노력량 변수로서 톤수를 적용하여  $q$ ,  $K$ ,  $r$  값을 추정해 보았는데, 그 결과, 대부분의 모형에서 통계적으로 유의성이 낮게 나타났다. 단지, Walters & Hilborn 모형과 CY&P 모형만이 CPUE ( $\bar{U}$ )의 t-통계량에 있어 유의성이 존재하는 것으로 나타났다. 그러나 이들 모

형 또한 어획노력량 계수와 조정계수 값이 신뢰할 수 없거나 설명력이 낮아, 결론적으로 추정된  $q$ ,  $K$ ,  $r$  계수 값으로부터 이들 어종의 자원량을 추정하는데 한계가 있었다.

| 표 4-5 | 고등어 잉여생산모형의 추정 결과 : 어획노력량 (톤수)

모형	독립변수	추정계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	-0.15664	-0.07238	-0.36462	0.122575
	U	0.001773		0.049301	
	Effort	0.00000472		0.478577	
Schnute	상수항	-0.21835	-0.07424	-0.32718	0.067047
	(U+U1)/2	0.012289		0.188125	
	(E+E1)/2	0.00000526		0.363577	
Walters & Hilborn	상수항	0.533497	0.108257	0.873883	2.638898
	U	-0.11473**		-2.17276	
	Effort	0.0000000531		0.003755	
Fox	상수항	-0.19444	-0.07149	0.689921	0.132592
	Ln(U)	0.022445		0.882631	
	Effort	0.00000518		0.61476	
CY&P	상수항	1.127263*	0.23452	1.881095	5.135984
	LN(U)	0.443973**		2.347967	
	E+E1	-0.000006		-0.94725	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함

다음으로, 대형선망에 의해 어획된 고등어의 어획노력량 변수로서 마력수(horsepower)를 적용하여 q, K, r 값을 추정해 보았는데, 분석 결과, 5개의 모형 모두 통계적으로 유의성이 낮게 나타났다. 즉, 대부분의 모형에서 t-통계량이 2보다 낮았으며, 조정된 결정계수 또한 설명력이 매우 낮게 나타났다.

|표 4-6| 고등어 잉여생산모형의 추정결과 : 어획노력량 (마력수)

모형	독립변수	추정계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	-0.12563	-0.07889	-0.29971	0.04943
	U	0.0072		-0.02421	
	Effort	0.000000507		0.314414	
Schnute	상수항	-0.25811	-0.07369	-0.43432	0.073516
	(U+U1)/2	0.054549		0.094227	
	(E+E1)/2	0.000000795		0.355827	
Walters & Hilborn	상수항	-0.20832	-0.01705	-0.36401	0.773655
	U	-0.35812		-0.80391	
	Effort	0.0000021		0.974293	
Fox	상수항	-0.13024	-0.07891	-0.30895	0.049179
	Ln(U)	-0.00174		-0.00939	
	Effort	0.000000505		0.313562	
CY&P	상수항	-0.82303	-0.04112	-1.87115	0.466779
	LN(U)	0.155837		0.770094	
	E+E1	0.000000483		0.567906	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함

마지막으로, 양망횟수(haul)를 적용하여  $q$ ,  $K$ ,  $r$  값을 추정해 보았으나, 그 결과 또한 대부분의 모형에서 통계적으로 유의성이 낮게 나타났다. 다만, Walters & Hilborn 모형에 한해 CPUE( $\bar{U}$ )의 t-통계량이 유의적인 것으로 나타났으나, 동 모형 또한 어획노력량 계수와 조정계수 값이 신뢰할 수 없거나 설명력이 낮아, 결론적으로 추정된  $q$ ,  $K$ ,  $r$  계수 값을 사용하기에 부적합한 것으로 분석되었다.

| 표 4-7 | 고등어 잉어생산모형의 추정 결과 : 어획노력량 (양망횟수)

모형	독립변수	추정계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	-0.27764	-0.03276	-0.9137	0.6193
	U	-0.0009		-0.0924	
	Effort	0.0000321		1.110534	
Schnute	상수항	-0.21645	-0.07445	-0.43933	0.133869
	(U+U1)/2	0.000209		0.010815	
	(E+E1)/2	0.000023		0.516663	
Walters & Hilborn	상수항	0.219382	0.180641	0.498145	3.755822
	U	-0.0376**		-2.50362	
	Effort	0.0000447		1.088984	
Fox	상수항	-0.2767	-0.03312	-0.53146	0.615288
	Ln(U)	-0.0051		-0.03067	
	Effort	0.000032		1.10698	
CY&P	상수항	1.726717**	0.017407	2.651139	1.22144
	LN(U)	0.198617		1.561682	
	E+E1	0.00000437		0.240336	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함

나. 전갱이

전갱이의 경우도 고등어와 같은 방법으로 톤수에 대해  $q$ ,  $K$ ,  $r$  값을 추정해 보았는데, 결론적으로 대부분의 모형에서 통계적으로 유의성이 낮게 나타났다. 단지, Walters & Hilborn 모형과 CY&P 모형만이 CPUE( $\bar{U}$ )와 일부 상수항에 있어  $t$ -통계량에 유의성이 있었으나, 이들 모형 또한 어획노력량 계수와 조정계수 값에 신뢰성이 낮아 자원량 추정에 이들 생물 및 기술적 계수들을 적용하기에 한계가 있다.

| 표 4-8 | 전갱이 잉여생산모형의 추정 결과 : 어획노력량 (톤)

모형	독립변수	추정계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	0.068022	-0.08083	0.022375	0.027805
	U	-3.34941		-0.23579	
	Effort	0.000000422		0.03392	
Schnute	상수항	0.479027	-0.07285	0.298941	0.083361
	(U+U1)/2	-0.48646		-0.40596	
	(E+E1)/2	-0.0000058		-0.15025	
Walters & Hilborn	상수항	5.904019*	0.230961	1.790894	5.054381
	U	-6.78535**		-3.17747	
	Effort	-0.000063		-0.76473	
Fox	상수항	0.136084	-0.05761	0.048834	0.291841
	Ln(U)	0.330334		0.763984	
	Effort	0.00000853		0.112255	
CY&P	상수항	-0.25882	0.146659	-0.22656	3.320176
	LN(U)	0.41612**		2.473332	
	E+E1	-0.0000069		-0.44157	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함

다음으로 전갱이의 어획노력량 변수로서 마력수(horsepower)를 적용해 보았으나, 이들 모형 또한 유의성이 낮게 나타났다. 단지, Walters & Hilborn 모형만이 CPUE( $\bar{U}$ )와 상수항에서 유의성이 있는 것으로 나타났다.

하지만 동 모형 또한 앞서 언급한 어획노력량 계수와 조정계수 값의 문제로 q, K, r 값을 사용하기에는 부적합하였다.

| 표 4-9 | 전갱이 잉여생산모형의 추정 결과 : 어획노력량 (마력수)

모형	독립변수	추정 계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	0.286663	-0.03276	0.089512	0.045711
	U	4.059183		0.271259	
	Effort	-0.0000023		-0.17512	
Schnute	상수항	0.858028	-0.06736	0.594222	0.147972
	(U+U1)/2	-0.90201		-0.09803	
	(E+E1)/2	-0.000003		-0.47771	
Walters & Hilborn	상수항	6.885308**	0.209111	2.237425	4.569393
	U	-38.6582**		-2.3796	
	Effort	-0.000016		-1.21122	
Fox	상수항	3.184804	-0.04115	0.746994	0.486214
	Ln(U)	0.511658		0.976697	
	Effort	-0.000064		-0.47223	
CY&P	상수항	-4.1867**	0.101257	-2.48741	2.520975
	LN(U)	0.203225		1.027291	
	E+E1	0.00000333		1.281828	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함



마지막으로 양망횟수를 이용하여  $q$ ,  $K$ ,  $r$ 을 추정해 보았으나, 이 또한 다른 어획노력량 변수와 같이 통계적 유의성이 낮게 나타났다.

표 4-10 | 전갱이 잉여생산모형의 추정 결과 : 어획노력량 (양망횟수)

모형	독립변수	추정계수	Adj. R2	t-통계량	F-통계량
Schaefer	상수항	-4.39708	-0.01991	-1.20644	0.765713
	U	0.637474		0.801781	
	Effort	0.000347		0.933509	
Schnute	상수항	0.578891	-0.07949	0.395996	0.079583
	(U+U1)/2	-0.11193		-0.28435	
	(E+E1)/2	-0.000035		-0.22317	
Walters & Hilborn	상수항	5.914308**	0.320033	2.3931	6.883238
	U	-2.07046***		-3.5271	
	Effort	-0.0002		-0.75497	
Fox	상수항	-2.98223	0.070102	-0.89152	1.904643
	Ln(U)	1.063107		1.683656	
	Effort	0.000293		0.823899	
CY&P	상수항	-0.93588	0.013865	-0.80796	1.175748
	LN(U)	0.19526		0.973762	
	E+E1	0.0000524		0.842476	

주 : U는 CPUE를 칭함. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함

<표 4-11>과 <표 4-12>은 5개의 잉어생산모형으로부터 추정된 고등어와 전갱이의  $q$ ,  $K$ ,  $r$  값을 제시하였다. 하지만 대형선망어업에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 어획노력량과 CPUE의 관측치 수 부족과 이들 변수의 연도별 불규칙한 변동으로 인해 기대했던 만큼의 유의성 있는 생물 및 기술적 계수를 도출하지는 못하였다.

| 표 4-11 | 고등어 잉어생산모형의 추정결과 :  $r$ ,  $q$ ,  $K$

어획노력량 (톤)					
	Schaefer	Schnute	Walters & Hilborn	Fox	CY&P
$r$	-0.15664	-0.21835	0.533497	-0.022445	0.77013489
$q$	-0.00000472	-0.00000526	-0.000000531	-0.00000518	0.00001662
$k$	-18700000	-3380000	-87600000	-1116698349	456895.353
어획노력량 (마력수)					
$r$	-0.12563	-0.25811	-0.20832	0.00174	1.460695583
$q$	-0.000000507	-0.000000795	-0.0000021	-0.000000505	-0.00000167
$k$	34400000	-5950000	277000		-225666.5936
어획노력량 (양망횟수)					
$r$	-0.277639822	-0.216453108	0.219381931	0.005095401	1.053022937
$q$	-0.000032063	-0.00002304	-0.00004466	-0.00003198	-0.00001333
$k$	9570971.22	-44901945.82	-130644.516	-8.15E-20	-916923.2818

| 표 4-12 | 전갱이 잉여생산모형의 추정결과 :  $r$ ,  $q$ ,  $K$

어획노력량 (톤)					
	Schaefer	Schnute	Walters & Hilborn	Fox	CY&P
$r$	0.068022	0.479027	5.904019	-0.330334	0.824619
$q$	-0.00000042	0.0000058	0.000063	-0.0000085	0.000019
$k$	-48100	170000	13800	-77650	32937
어획노력량 (마력수)					
$r$	0.286663	0.858028	6.885308	-0.511658	1.324399
$q$	0.00000230	0.00000300	0.0000160	0.0000064	-0.000011
$k$	-30700	317000	11100		-471.8646
어획노력량 (양망횟수)					
$r$	-4.397078992	0.578890853	5.914307816	-1.063106702	1.346553575
$q$	-0.00034663	0.00003509	0.00019807	-0.00029341	-0.000175317
$k$	-19899.2899	147381.010	14421.78859	-56339.6724	-1782.829196

따라서 본 연구는 추가적으로 우리나라 국립수산물과학원에서 이미 추정한 연도별 고등어와 전갱이의 자원량과 기존의 어획량 자료에 기초하여 생물적 계수들( $r$ ,  $K$ )을 다시 추정하였다.

(2) 자원학적 계수 추정치 대입 모형의 분석결과

본 분석은 추정된 자원량과 실제 어획량이 Gordon-Schaefer의 로지스틱 성장함수의 관계식을 가진다는 가정으로부터 출발한다. 하지만 자원량과 어획량이 로지스틱성장함수의 성향을 갖지 않을 경우, 본 모형은 생물적 계수( $r$ ,  $K$ ) 추정에 편이(bias)를 발생시킬 수 있다.<sup>32)</sup>

32) 향후 연구시, 비선형최소자승법(NLS)을 이용하여 자원량과 어획량이 로지스틱성장함수의 형태를 가지는지에 대한 유무(귀무가설:  $\delta = 2$ )를 검정해 볼 필요가 있다.

분석 결과, 고등어의 추정 계수  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 의 t 통계값 각각 3.38, -2.67로 5%의 유의수준에서 모두 유의한 것으로 나타났다. 결정계수는 0.23으로 설명력이 다소 낮게 나타났다. 하지만 다른 잉여생산모형 보다는 상대적으로 유의한 통계값을 보여 로지스틱 성장함수로부터 도출된  $r$ ,  $K$ 를 사용하였다. 그리고 전갱이의 추정계수,  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 의 t 통계값도 고등어와 같이 각각 3.06, -2.35로 5%의 유의수준에서 모두 유의한 것으로 나타났다. 그러나 결정계수는 0.12로 설명력이 낮게 나타났다. 전갱이의 경우, Walters & Hilborn 잉여생산모형이 통계적으로 다소 유의한 결과를 보였으나, 어획노력량으로부터 도출된 어획능력계수의 통계적 신뢰성이 떨어져 로지스틱 성장함수로부터 도출된  $r$ ,  $K$ 를 사용하기로 하였다.

따라서 고등어와 전갱이의 본원적 성장률,  $r$ 은 각각 0.543643, 0.549859로 추정되었으며, 환경수용능력,  $K$ 는 각각 1,553,266톤, 154,022톤으로 추정되었다.

| 표 4-13 | OLS를 이용한 고등어, 전갱이의 생물적 계수( $r$ ,  $K$ ) 추정

파라미터	어종 추정방법	고등어 OLS	전갱이 OLS
$\beta_1 = r$		0.543643*** (3.379)	0.549859*** (3.063)
$\beta_2 = -r/K$		-0.000000351** (-2.671)	-0.00000357** (-2.350)
$K$		1,553,266	154,022
$R^2$		0.23	0.12
DW		1.60	1.35

주 : ()는 t-통계량임. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함  
고등어는 연도별(1990-2006년) 어획량과 추정된 자원량 자료를 이용하며, 전갱이는 1990-2005년간의 어획량과 추정된 자원량 자료를 이용하였음

## 2) 콥-더글라스 어획생산함수

대형선망어업에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 어획능률계수( $q$ )와 콥-더글라스 승수( $b, g$ )를 추정하기 위해, 콥-더글라스 어획생산함수의 양변을 로그-로그 형으로 변환시켜 일반최소자승법(OLS)으로 추정하였다.

분석 결과, 고등어의 추정 계수  $b$ 는 10%의 유의수준에서 통계적으로 유의하였으나,  $g$ 는 약 15%의 유의수준에서 통계적 유의성이 존재하는 것으로 나타났다. 또한 상수항으로 대변된  $\log(q)$ 의 계수 값은 통계적 유의성이 예상보다 낮게 나타났다. 하지만 모델의 설명력을 나타내는 결정계수  $R^2$ 값은 0.46으로 어느 정도 신뢰할 만 한 것으로 분석되었다.

다음으로 전갱이의 추정 계수  $g$ 는 1%의 유의수준에서 높은 통계적 유의성을 보였으나,  $b$ 는 약 30%의 유의수준에서 단지 통계적 의미를 가지는 것으로 나타났다. 마지막으로 상수항,  $\log(q)$ 의 계수 값은 통계적으로 유의성이 낮게 나타났다. 그러나 모델 전체의 설명력을 나타내는 결정계수  $R^2$ 값은 0.45로 고등어와 유사하여 신뢰할 만 하였고, F-통계량도 1%의 유의수준에서 높은 통계적 유의성을 보여 모형 자체의 유의성은 나쁘지 않는 것으로 판단된다.

결론적으로 분석결과로부터 도출된 대형선망어업의 고등어, 전갱이의 어획능률계수  $q$ 는 각각 0.3683, 0.0089로 추정되었고, 어획량에 대한 자원량과 어획노력량의 품목별 콥-더글라스 승수 ( $b, g$ )는 고등어가 각각 0.6899, 0.4671이고, 전갱이는 각각 0.5828, 0.7882인 것으로 추정되었다.<sup>33)</sup>

33) 하지만 본 분석은 상수항 즉  $\log(q)$ 의 계수 값의 통계적 유의성이 낮다는 한계를 지니고 있어, 향후 보다 정확히 추정된 자원량 및 어획량이 필요할 것으로 판단된다. 특히, 추정된 자원량의 경우, 장기적으로 충분한 시계열 자료의 축적 및 확보가 요구된다.

| 표 4-14 | OLS를 이용한 고등어, 전갱이의 기술적 계수 및 콥-더클래스 승수 추정

파라미터 \ 추정방법	어종	고등어	전갱이
		OLS	OLS
c=log(q)		-0.998766 (-0.2723)	-4.713701 (-0.7768)
q		0.368333685	0.008971512
b		0.689922* (1.9427)	0.582833 (1.1387)
g		0.467192 (1.4962)	0.788275*** (3.6140)
R <sup>2</sup>		0.46	0.45
F-Statistic		6.844	6.566
Prob(F-Stat.)		0.007	0.008
DW		1.605	1.685

주 : ()는 t-통계량임. \*, \*\*, \*\*\*는 각각 10%, 5%, 1%의 유의수준을 의미함  
고등어, 전갱이는 연도별(1990-2008년) 어획량, 어획노력량(양망횟수), 추정된 자원량 자료를 이용함

### 3) 어획비용함수

대형선망어업에 의해 어획된 고등어와 전갱이의 단위 노력당 비용(c)은 대형선망의 총어업 비용을 총 양망횟수로 나눈 후, 동 어업이 어획하는 고등어와 전갱이의 어획량 비중을 곱하여 산출하였다. 또한 총 양망횟수는 대형선망의 총 어선 척수×연간 출어일수×출어 일당 평균 양망투여횟수에 의해 산출되었다. 따라서 양망당 비용에는 어구비, 연료비, 수리비, 인건비 등이 포함된다.

본 분석에서 사용된 양망당 비용은 <표 3-18>과 같이 최근 3년(2005-2007년) 양망당 비용을 평균하여 산출하였다. 즉, 고등어의 양망당 비용은 약 21,686,000원이었고, 전갱이의 양망당 비용은 약 3,002,000원이었다.

| 표 4-15 | 고등어와 전갱이의 양당당 비용

단위 : 원 /양당

파라미터 \ 어종	고등어	전갱이
c	21,686,000	3,002,000

4) 이윤함수 : 최적 생산량 추정

이윤함수를 추정하기 위해 우선적으로 고려해야 할 파라미터로서, 대형선 망에서 어획되는 고등어와 전갱이의 위판가격을 들 수 있고, 여기서 위판가격은 동 업종으로부터 어획된 어종별 총생산액을 어종별 총 어획량으로 나누어 산출하였다. 구체적으로 본 연구에서 사용된 고등어와 전갱이의 위판가격은 양당당 비용의 산출방법과 같이 최근 3년(2005-2007년)의 위판가격을 평균하여 산출하였다(<표 4-4> 참조). 산출결과, 고등어와 전갱이의 최근 3년 kg당 연평균 위판가격은 각각 약 1,272원과 963원이었다.

다음으로 개별어업자들의 어획활동으로부터 이윤의 현재가치를 극대화하기 위한 한 파라미터로서 사회적 할인율을 들 수 있다.

일반적으로 수산에 부문의 공공투자사업에 있어 적용된 국내외 사회적 할인율의 사례를 살펴보면 다음과 같다.

| 표 4-16 | 공공투자사업 적용 사회적 할인율 사례

국내사례		국외사례	
공공투자사업(1999년 이후)*	7.5%	미국, 캐나다, 프랑스	7.0%
애월항 외항 타당성 조사 (2006)	6.5%	영국, 스페인	6.0%
비용도 어항 타당성 조사 (2000)	7.5%	일본	4.0%
전북 방류사업 경제성 분석 (2005)	8.0%		

자료 : 한국해양수산개발원, 대형선망어업 전진기지 조성을 위한 타당성 분석 연구, 2008 p. 131

본 분석에서는 상기 사례 중 평균적 수준에 해당하는 한국개발연구원의 애월항 외항 타당성 조사에 적용된 6.5%의 사회적 할인율을 적용하였다(한국개발연구원, 2004).

| 표 4-17 | 고등어와 전갱이의 위판가격 및 사회적 할인율

단위 : 원/kg, %

파라미터 \ 어종	고등어	전갱이
p	1,271.5915	963.312
$\rho$	6.5	6.5

자료 : 통계청 어업생산통계

이상으로 생태적 균형 하에서 자유입어와 단독소유의 최적 생산량 추정에 필요한 파라미터 추정치들을 요약정리하면 <표 4-18>과 같다.

| 표 4-18 | 고등어, 전갱이 최적생산량 추정에 필요한 생물·경제적 파라미터 및 추정치

파라미터 \ 어종	고등어	전갱이
	추정치 또는 산정값	추정치 또는 산정값
r	0.543643	0.549859
K (ton)	1,553,266	154,022
q	0.368333685	0.008971512
b	0.689922	0.582833
g	0.467192	0.788275
c (원/양망)	21,686,000	3,002,000
p (원/kg)	1271.5915	963.312
$\rho$	6.5	6.5

### (1) 생태적 균형 하에서의 자유입어의 최적생산량 추정

생태적 균형 하에서 자유입어의 최적자원량( $X_{0A}$ ), 최적어획노력량( $E_{0A}$ ), 최



적어획량( $Y_{OA}$ )을 산출하기 위하여, 식 (4-10)과 식 (4-11)에 어획량과 어획노력량을 Maple 8.0 응용 수학 프로그램을 이용하여 추정하였다.

구체적으로 대형선망의 고등어 경우, 생태적 균형하에서 이윤이 '0'이 되는 각각의 최적 해(解)는 상기 프로그램으로부터 도출되었다. 이 때의 도출된 각각의 식은 다음과 같다.

$$\left| \begin{array}{l} E_{oa} = 0.05865535368 \times Y_{oa} \\ Y_{oa} = E_{oa} / 0.05865535368 \\ X_{oa} = 561.7036871 \times Y_{oa}^{0.6638115631} \end{array} \right|$$

상기 도출된 식으로부터  $X_{OA}$ ,  $Y_{OA}$ ,  $E_{OA}$ 는 각각 1,087,193톤, 169,198톤, 9,915양망횟수로 추정되었다. 또한 전갱이의 경우, 최적 해는 다음과 같다.

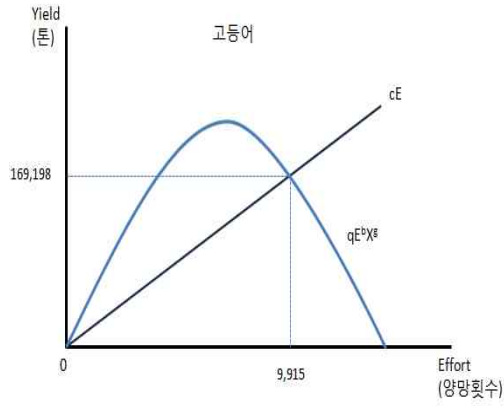
$$\left| \begin{array}{l} E_{oa} = 0.3207861426 \times Y_{oa} \\ Y_{oa} = E_{oa} / 0.3207861426 \\ X_{oa} = 928.1586299 \times Y_{oa}^{0.5291878173} \end{array} \right|$$

상기 도출된 결과로부터  $X_{OA}$ ,  $Y_{OA}$ ,  $E_{OA}$ 는 각각 107,810톤, 16,352톤, 5,244양망횟수로 추정되었다.

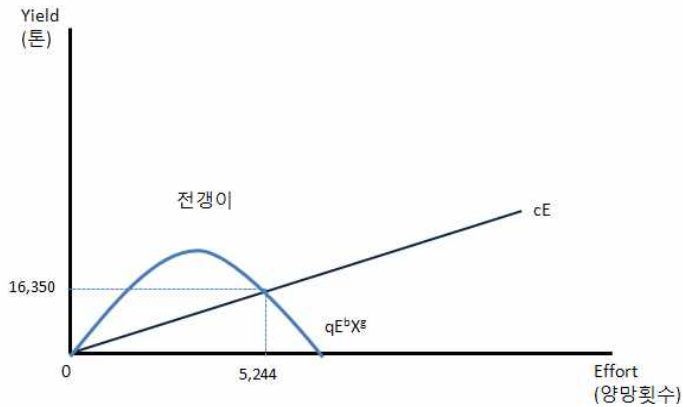
| 표 4-19 | 자유입어의 생태적 균형하에서 고등어, 전갱이 최적자원량, 최적생산량, 최적어획노력량 추정

단위 : 톤, 양망횟수

구 분	최적량	고등어	전갱이
자유입어	XOA	1,087,193	107,810
	YOA	169,198	16,352
	EOA	9,915	5,244



| 그림 4-3 | 자유입어의 고등어 어획량 및 어획노력량



| 그림 4-4 | 자유입어의 전갱이 어획량 및 어획노력량

## (2) 생태적 균형하에서의 단독소유의 최적생산량 추정

생태적 균형하에서 단독소유의 최적자원량( $X_{so}$ ), 최적어획노력량( $E_{so}$ ), 최적자원량( $Y_{so}$ )을 산출하기 위하여, Maximum Principle에 도출된 식 (4-13)과 식

(4-14)의 자원량과 어획량을 Maple 8.0 응용 수학 프로그램을 이용하여 추정하였다.

구체적으로, 식 (4-13)에  $Y_{so}$ 를 식 (4-14)의  $Y_{so}$ 에 대입함으로써  $p$ 로 표현된 식 (4-13)을  $X$ 의 함수로 변환시킨 후, 식 (4-14)의  $p$  값을 만족시키는  $X$ 의 값을 추정할 수 있다.

추정 결과, 대형선망어업에 의해 어획된 고등어의 생태적 균형하에서 단독소유의 이윤의 현재가치가 극대화 되는  $X_{so}$ ,  $Y_{so}$ ,  $E_{so}$ 는 각각 1,107,819톤, 172,512톤, 8,508양망횟수이었고, 대형선망어업에 의해 어획된 전갱이의 생태적 균형하에서 단독소유의 이윤의 현재가치가 극대화 되는  $X_{so}$ ,  $E_{so}$ ,  $Y_{so}$ 는 각각 112,084톤, 16,937톤, 4,915양망횟수이었다.

| 표 4-20 | 단독소유의 생태적 균형하에서 고등어, 전갱이 최적자원량, 최적생산량, 최적어획노력량 추정

단위 : 톤, 양망횟수

구 분	최적량	고등어	전갱이
단독소유	$X_{so}$	1,107,819	112,084
	$Y_{so}$	172,512	16,937
	$E_{so}$	8,508	4,915

## 4. 생물경제모형 분석결과의 시사점 및 한계

이상의 수행한 생물경제모형 분석결과로부터 아래의 시사점 및 분석의 한계를 도출하였다.

### 1) 한국형 어업 분석을 위한 신모형 개발의 필요성

연근해 어업자원의 경제분석을 위해서는 보다 진보한 모형의 개발이 요구

된다. 본 연구에서 잉여생산모형을 적용한 분석에서 통계적으로 유의한 결과를 얻지 못한 점은 모형에서 사용된 데이터의 결합에 기인하는 측면도 있겠지만, 보다 근본적인 원인은 다수의 어종을 다수의 어법으로 어획하는 우리나라 근해 어업의 특징에 기인한다고 볼 수 있다. 다수의 업종이 경쟁적으로 조업하는 경우, 한 업종에서 발생한 어획노력량의 변화가 한 어종의 어획강도에 미치는 영향을 분석하기란 쉽지 않다. 이를 해결하는 방법으로는 여러 가지 업종의 어업 노력량을 표준화하는 방안을 생각해 볼 수 있다(Chae & Pascoe, 2005). 한편, 다수 어종을 대상으로 하는 생물경제분석에서 단순히 어획량과 어획노력량 데이터만을 대입하는 잉여생산모형의 한계는 단일어종을 대상으로 하는 경우보다 훨씬 심각할 것이다. 따라서, 어획대상 어종별로 연령별 개체수, 체장·체질량 비율, 산란가능 자원량(Spawning Stock Biomass) 및 가입연령 등 자원학적 정보를 수집하여 이를 반영한 모형으로 발전시킬 필요가 있다.

## 2) 신개념 어업자원 관리제도 도입 필요성

생물경제모형 분석 결과로 볼 때 고등어와 전갱이의 관리수단제도를 보완할 새로운 개념의 어업자원 관리가 필요하다. 지난 2002년 개최된 ‘지속가능한 발전을 위한 세계 정상 회담(World Summit on Sustainable Development)’에서는 해양의 지속가능성 유지를 위한 총체적 관리 수단으로 생태계 기반의 어업관리(Ecosystem-Based Fisheries Management)를 선정하였다. 이는 개별 어종 및 개별 어업에 대한 관리가 아닌 생태계 전반을 관리대상으로 하는 것으로, 그 목적은 생태계의 건강성과 지속가능성을 유지하는 것이다. 어획노력량 규제와 어획량 할당 등 개별 어종 및 개별 업종에 대한 관리수단은 서식 환경의 변화와 생물의 포식 및 피식 관계가 미치는 영향을 고려하지 않는다. 반면에 생태계 기반의 어업관리는 생태계를 이용하는 행위가 야기하는 결과에 대한 예측능력이 제한적임을 인정하고 서로 연관된 생태계의 기능과 생태계의 자연회복력에 의존

한 관리를 추구한다.

### 3) 한중일 공동 어업자원 관리방안 마련의 필요성

여러 국가가 어장을 공유하거나 회유성어종(migratory fish species)의 조업에 공동으로 참여한다면 어느 한 국가의 자원이용 및 관리 행위는 다른 국가의 자원이용에 영향을 줄 수 있다. 이 경우, 어업자원 관리수단을 적용함에 있어서 인접국과의 공동대응이 필요하다. 우리나라 근해어업에서 중요한 위치를 차지하는 고등어, 전갱이 등 회유성 어종은 인접한 중국 및 일본의 어획 수준에 따라 자원량이 변할 수 있다. 따라서 한 국가의 독자적인 자원관리노력만으로는 3국이 공유하는 어종의 자원상태를 개선하기에는 한계가 있다. 한편, 최근 지구 온난화가 야기하는 이상기후의 잦은 출현과 생물종 및 개체수의 변화 등 갑작스러운 생태환경 변화에 대해서 인접국이 공동으로 대응할 필요가 있으며, 각국이 수집한 정보의 신속한 교류로 생태계 변화에 기인한 어업피해를 예방할 수 있다. 예컨대, 올해 우리나라는 전 해역에 걸쳐 대형 해파리떼의 출현으로 심각한 어업피해를 발생케 하였는데, 이와 같은 문제도 한중일 3국이 해파리떼의 이동 정보와 퇴치 경험을 공유하였다면 보다 용이하게 대처하여 그 피해를 사전에 저감할 수 있었을 것이다.

### 4) 분석의 한계

생물경제모형은 일반적으로 분석 대상 어종에 대해 사용 가능한 생물학적 및 경제학적 정보를 이용하고 있지만, 이들 간의 상관관계를 밝혀주는 변수들이 종종 현실을 제대로 반영하지 못하곤 하였다. 예를 들면 자원량과 어획노력량 간의 불규칙한 시계열 변동성으로 모형의 정확도(fitting)를 약화시키는 경우를 들 수 있다. 본 분석에서도 최적 생산량 추정의 기초가 되는 생물 및 기술적 계수( $q$ ,  $K$ ,  $r$ )들을 추정하는데 많은 어려움이 있었다. 이러한 이유에 대해 간단

히 요약하면 다음과 같다.

첫째, 확보된 자원량 자료의 연도별 관측치(observation)수 부족으로 통계적으로 설명력 높은 생물 및 기술적 계수 추정에 제약이 많았다.

둘째, 분석 대상 어종의 자원량과 어획노력량 등의 자료 이용에 있어 이들 어종을 공동으로 이용하는 우리나라와 인접한 국가들(중국, 일본, 북한)로 부터의 자료 확보가 필요하나, 현실적으로 이들 자료를 확보할 수 없는 문제가 있었다.

셋째, 수집된 어획량 및 어획노력량 자료에 기초하여 여러 유형의 잉여생산모형을 이용해 보았으나, 실질적으로 이들 변수의 불규칙한 관계성에 기인하여, 신뢰성 있는 결과 도출에 한계가 있었다. 한 예로서, 어획노력량의 변수로서 자주 활용되는 어선 척수의 경우, 자원이 일정 수준을 유지하거나 과잉 어획되고 있는 상태에서는 어선 척수를 감소시키면 어선당 어획량은 자원량이 회복됨에 따라 함께 증가해야 되는데, 우리나라의 어선감척사업은 어선의 용적(톤수)과 엔진 성능(마력수)을 고려하지 않고 오직 어선척수를 줄이는 방향으로만 진행되었다. 이에 따라 어획강도가 낮은 노후 어선들부터 감척되었으며, 남아있는 어선들은 대형화, 고마력화 되는 결과를 초래하였다. 결국 어선의 척수는 줄어들었으나 어획강도를 저감하는 효과는 뚜렷하지 않았다. 그 결과, 자원량과 어획량 그리고 어획노력량 사이에 통계적으로 신뢰할 만한 추정치들을 도출하는데 제약 요인이 되었다.

넷째, 생물경제모형을 이용한 최적어획량을 추정함에 있어 자원량과 어획노력량은 어획량의 함수로서 선형(linear)의 관계( $Y = qEX$ )를 가진다고 가정하는 경우가 많았다. 하지만 본 분석에서는 이들 관계성을 선형으로 단정하지 않았으며, 콥-더글라스 어획생산함수를 이용하여 어획노력량과 자원량의 탄성치 즉, 콥-더글라스 승수(b, g)를 추정하여 분석에 적용하였다. 하지만 이들 승수 또한 자료의 관측치 수의 부족으로 변수의 유의성을 확보하는데 어려움이 있었다. 예를 들어, 고등어와 전갱이의 추정된 자원량 관측 수의 부족으로 어획

능률계수  $q$  값의 유의성이 낮게 나타난 것을 들 수 있다.

마지막으로 로지스틱 성장함수를 모형에 적용함에 있어 자원량과 어획량 사이의 모형 적합성 검정의 한계가 있었다. 예를 들어, 비선형최소자승법(NLS)으로 고등어와 전갱이의 자원량과 어획량 간에 로지스틱 성장함수의 성향을 갖는지를 검정해 볼 수 있는데, 본 연구에서는 이러한 검정을 시도하지 않았다.

Box(1979)는 모형의 한계를 “ 모든 모형은 틀리다. 그러나 유용하다”라고 지적한 바 있다. 이와 마찬가지로 고등어와 전갱이의 생물경제모형 실증분석에 있어 분석의 한계는 여전히 존재한다. 따라서 동 생물경제모형을 통한 추정된 최적 어획량은 절대적으로 정확한 수치이기 보다는 하나의 참고자료인 동시에 향후 가능한 결과의 지표로서 이용될 수 있다.

## 제 5 장 분석결과의 활용

### 1. 시나리오별 분석 개요

생물경제모형은 특정 어업제도하에서의 여러 가지 파라미터를 변화시킴으로서 추정된 다양한 결과치를 비교할 수 있는 이론적 실험실(theoretical laboratory) 기능이라는 장점을 가지고 있다.<sup>34)</sup> 따라서 이러한 장점을 활용하여 다양한 경제 현상의 변화에 대해 가상의 시나리오를 설정하고 그에 대한 결과를 도출하는 것은 매우 의미있는 분석이라 할 수 있다.

일반적으로 다수의 변수에 대한 가상의 시나리오를 적용하고 그 결과를 도출하고자 할 때는 가능하면 모형 자체를 단순화시킬 필요가 있다. 왜냐하면 현실의 복합 다양한 변화를 특정 모형에서 여과 없이 모두 고려하고자 할 경우, 찾고자 하는 특성이 제대로 부각되지 않는 등 변수들 간의 이론적 이해관계를 설명하기에 매우 어려움이 있기 때문이다.

제5장에서는 대형선망어업에 의해 어획되고 있는 고등어와 전갱이의 최적생산량 변화에 주요 원인이 될 수 있는 외부 환경요인의 변화, 즉 i) WTO/DDA 협상타결로 인한 어가 변동시 최적생산량 변화, ii) 국제유가 변동시 최적생산량 변화를 비교·분석하였다. 아울러 최적어획량 수준과 현재 TAC 수준의 비교를 통해 이들 TAC 대상어종의 어획량 수준이 적정한지에 대해서도 분석하였다. 마지막으로 분석결과를 바탕으로 대형선망어업의 적정 감척수준과 어획노력량 규제방향을 제시하였다.

---

34) J. E. Padilla, *A Bioeconomic Model for Fisheries Management in Tropical Countries with Applications*. In: *Indo-Pacific Fisheries Commission*, ed., Paper Presented at the Seventh Session of the Standing Committee of Resource Research and Development (FAO Fisheries Report No.499 Supplement FIRL/R499), FAO, Rome, 1994.

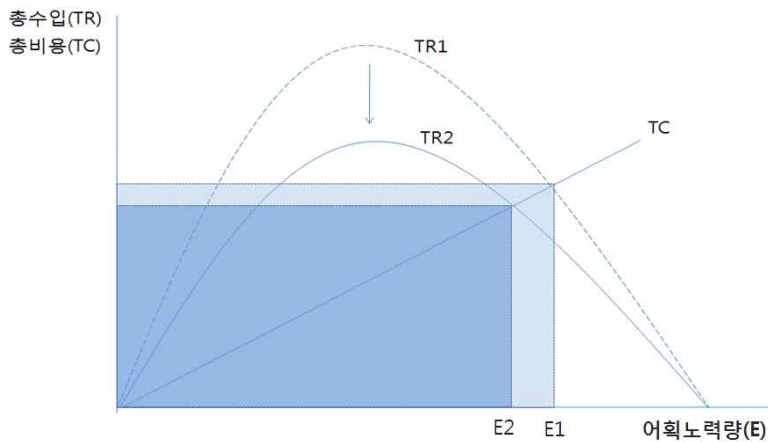


## 2. WTO/DDA 협상타결로 인한 어가 변동시 최적생산량 변화

### 1) 개요

대형선망어업에 의해 어획되는 고등어와 전갱이의 가격변화는 실질적으로 어업인들의 어획활동에 가장 직접적으로 영향을 미치는 경제 지표이다. 따라서 고등어와 전갱이의 가격 변화가 어떻게 이들 어종을 어획하는 어업인들의 어획 활동에 변화를 주는지를 검토해 보는 것은 매우 의미있는 분석이라 할 수 있다.

즉, 수산물 시장의 개방으로 인하여 국내생산 어종의 가격이 하락할 경우, <그림 5-1>에서 총수입 곡선은 TR1에서 TR2로 변하는데, 저변의 크기는 변화가 없지만 포물선의 정점이 하방으로 이동하는 결과가 된다. 다른 조건은 변하지 않는다(*Ceteris Paribus*)고 가정하면, 어업비용의 변화가 없을 경우, 자유입어시 어획량, 또는 시장기능에 의해 결정되는 어획량은  $E_1$ 에서  $E_2$ 로 감소하게 된다.



| 그림 5-1 | 가격하락에 따른 어획노력량의 감소 효과

예를 들어 WTO/DDA 비농산물시장접근(NAMA) 협상이 타결되어 해당 어종의 관세가 철폐되었을 경우를 가정하자.<sup>35)</sup> 만일 이들 어종의 가격이 관세율 하락만큼 국내시장에서 인하된다면, 이들 어종을 어획하는 어업인들의 최적어획량 또한 변화가 발생할 것으로 예상할 수 있다.<sup>36)</sup>

우리나라의 수산물 관세구조는 비교적 단순하다. 2001년 경우에 353개 품목의 평균 실행관세율은 17.7%이고, 조정관세 품목과 30% 이상의 고관세를 유지하고 있는 품목이 각각 14개와 3개이다.<sup>37)</sup> 특히 실행관세가 20% 이상인 품목이 총 240개로 전체 품목의 68%에 달해 NAMA 협상 잠정합의안의 선진국 계수를 적용할 경우에 우리나라 수산물 평균관세가 17.7%에서 8%이하로 떨어질 것으로 예상된다. 결과적으로 볼 때, 선진국 계수를 적용하면 우리나라 수산물 관세율은 (i) 조정관세 및 고관세 품목일수록, (ii) 동일 세율일 경우에 미양허품목보다는 양허품목일수록 관세하락률이 커진다.

35) 현재 WTO/DDA 협상이 마무리 단계에 접어들고 있다. 특히 NAMA 협상과 관련된 세부 원칙 중 관세감축 공식은 스위스 공식으로 결정되었고, 계수는 선진국의 경우 8로 잠정 합의된 상황이다. 따라서 향후 DDA 협상이 본격적으로 재개된다면 빠른 시일 내에 세부원칙에 합의할 가능성이 높다.

36) 단, 어업인의 어획활동 수준 결정에 영향을 미치는 다른 요소는 불변하다고 가정한다.

37) WTO/DDA 관세협상이 타결될 경우, 관세인하의 기준년도는 2001년이 된다.

| 표 5-1 | WTO/DDA NAMA 논의 대상 품목의 실행관세 구조

단위 : %, 개

2008년 관세구조		
실행세율	품목수	해당품목
평균 17.02	353	조정관세 품목(총9개)
53	1	민어(냉동,0303799095)
46	1	새우·보리새우(염장/염수장,0306233000)
38	1	활농어(0301999059)
36	2	돔(활어,0301994090), 민어(활어,0301999095)2)
31	1	꽂치(학꽂치포함-냉동,0303798000)
30	4	명태(냉동,0303791000), 어류엑스(1603003000) 어류즙(1603004000), 기타수생무척추동물의 엑스와 즙(1603009000)
27	1	기타-뱀장어(활어,0301929000)
22	1	오징어(냉동,0307491020)
20	226	신선냉장류(0302류, 38개), 피레트류(0304류, 6개), 건조,염건품류(05류, 38개), 갑각류(0306류, 19개), 연체류(0307류, 61개), 조제품류(1604류, 34개), 기타조제품류(1605류, 30개)
14	2	꽃게(냉동, 0306143000), 기타게(냉동, 0306149000)
10	91	활어(0301류, 25개), 냉동류(0303류, 50개), 피레트류(0304류, 11개), 연체류(0307류, 5개)
8	14	산호류(0508류, 10개), 동물성해면(0509류, 1개), 기타동물생생산물(0511류, 3개)
5	4	활, 신냉 굴치패(0307101019) 등
3	3	상어의 간유와 분획물(1504101000), 기타 어류의 간유와 분획물(1504109000), 어류의 유지와 그 분획물(1504200000) 등
0	1	실뱀장어(양식용)(활어,0301921000)

주 : 1) 굵은 글씨는 조정관세 품목임

2) 2001년도 민어(활어)의 경우 기타어종(0301-99-9099)에 포함되었다가, 2002년부터 조정관세 품목으로 분류됨

자료 : 농림수산식품부, 「관세·통계통합품목분류표(HSK)-수산물」, 2001년 및 2008년 각 호.

고등어의 경우 우리나라 주요 수입어종의 하나이다. 2002년부터 2006년까지 평균 수입금액 기준으로 볼 때, 고등어는 14위를 차지하고 있다. 이는 간접적으로 NAMA 협상이 타결될 경우, 관세 인하로 인한 고등어의 시장가격 변화가 있어 어업인의 최적 어획량에 영향을 끼칠 가능성이 매우 높을 수 있다.

| 표 5-2 | 우리나라 주요 수입어종

단위 : 천톤, 백만달러

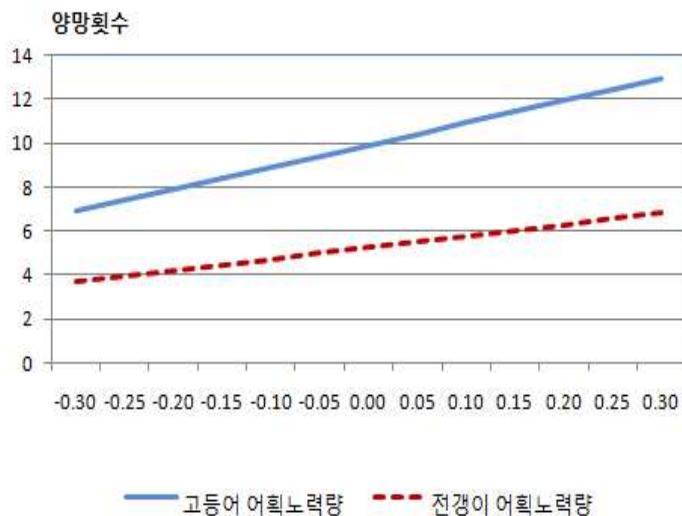
구분	2002년		2003년		2004년		2005년		2006년		평균규모		순위	
	중량	금액	중량	금액	중량	금액	중량	금액	중량	금액	중량	금액	중량	금액
명태	199.1	200.5	292.4	295.2	235.9	274.1	223.6	277.7	215.8	289.2	233.4	267.3	1	1
새우	42.1	103.5	47.5	125.6	53.5	159.0	50.9	167.5	62.5	219.1	51.3	154.9	3	2
조기	52.8	137.9	56.2	127.8	53.9	130.2	59.3	142.7	52.5	147.9	54.9	137.3	2	3
갈치	52.2	100.7	47.7	82.9	51.6	101.9	45.1	100.3	46.2	102.9	48.6	97.7	4	4
어란	13.1	87.5	11.8	75.9	11.0	76.9	11.8	53.7	19.3	79.4	13.4	74.7	12	5
꽃게	20.6	62.7	18.6	58.5	24.1	89.9	18.4	67.7	24.3	82.4	21.2	72.2	10	6
아귀	25.5	73.8	24.9	56.7	27.0	52.5	28.2	60.1	30.4	72.1	27.2	63.0	8	7
오징어	17.8	38.7	13.9	33.4	26.8	48.9	31.7	64.1	43.2	86.0	26.7	54.2	9	8
낙지	25.2	40.3	27.6	48.1	33.5	63.3	33.2	67.0	34.1	32.0	30.7	50.1	7	9
새우살	7.9	32.4	7.9	33.7	9.7	43.4	10.6	46.6	12.5	60.5	9.7	43.3	13	10
참치	6.2	34.4	4.3	35.4	4.6	34.3	6.1	48.3	8.0	60.5	5.8	42.6	19	11
문어	13.9	32.4	17.4	39.9	17.3	40.7	14.4	43.0	15.7	51.8	15.7	41.6	11	12
돔	8.7	34.0	7.8	30.9	8.3	37.7	8.4	41.7	10.5	57.9	8.7	40.4	14	13
고등어	37.6	38.1	30.8	29.5	47.7	47.9	19.5	25.8	39.6	42.4	35.1	36.7	6	14
게	12.2	42.0	4.7	15.9	6.6	25.7	7.2	35.5	9.2	49.1	8.0	33.6	18	15
대게	0.0	0.0	8.3	31.5	9.1	36.3	7.5	31.1	8.3	33.8	8.3	33.2	15	16
연어	7.5	19.4	6.0	19.2	7.1	27.2	9.5	36.0	10.4	56.9	8.1	31.7	17	17
쥐치	6.9	28.2	6.7	29.2	8.5	29.2	8.4	27.7	10.1	34.8	8.1	29.8	16	18
캐비아	0.8	5.7	1.0	6.4	3.2	30.8	5.6	56.7	5.0	43.2	3.1	28.6	20	19
꽁치	27.2	20.2	30.6	17.2	44.2	29.7	45.1	28.3	56.4	37.9	40.7	26.7	5	20
기타	609.1	753.0	572.5	768.1	597.2	881.7	611.5	961.8	663.1	1,079.8	610.7	888.9		

주 : 자료제약 상, 2002년부터 2006년 자료를 활용함

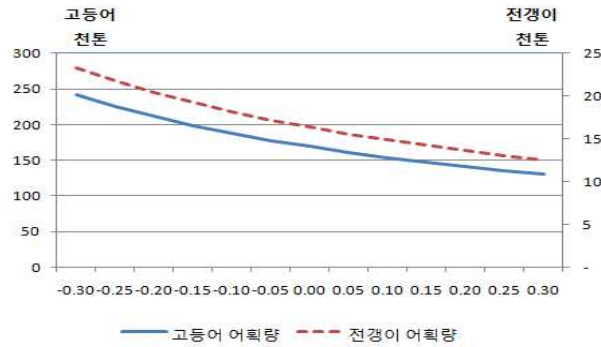
자료 : 한국해양수산개발원, 「수산·해양환경통계」, 2007

## 2) 최적 생산량 변화

<그림 5-2>과 <그림 5-3>는 자유입어하에서 가격변화에 따른 어획노력량 및 어획량의 추이를 보여 주고 있다. 다른 조건은 일정한 상황에서 고등어와 전갱이의 가격이 현재보다 각각 5%씩 증감할 경우, 시장가격이 높아질수록 어획노력량은 증가하는 것으로 나타났다. 아울러 이러한 가격 변화에 따른 어획노력량의 증가는 자원량이  $K/2$ 를 넘어선 상황에서 생산량을 감소시키는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 일반적으로 생산요소가 증가하면 생산량은 증가한다. 그러나 동 생물경제모형에 있어 어획노력량이 증가한 경우, 어획량이 줄어드는 이유는 지속가능한 자원량을 유지시켜야 하는 제약 조건이 모형에 설정되어 있기 때문일 것이다. 따라서 시나리오 분석을 통하여 관세감축에 따른 실증적인 결과들의 도출이 가능함으로 향후 관세인하로 인한 가격 변동에 대한 구체적인 수치를 제시할 수 있다.



| 그림 5-2 | 자유입어하에서의 가격변화에 따른 어획노력량 변화 추이



| 그림 5-3 | 자유입어하에서의 가격변화에 따른 어획량 변화 추이

### 3. 국제유가 변동시 최적생산량 변화

#### 1) 개요

대형선망 어업비용에는 어구비, 연료비, 수리비, 인건비 등이 포함되어있다. 여러 가지 어업비용 항목 중 본 시나리오 분석에서는 유가 변동에 따른 연료비 변화와 WTO 수산보조금의 협상 타결에 따른 면세유 폐지 등의 사회적 이슈들을 고려한 어업 비용의 변화에 따른 최적 어획량의 변화를 살펴보고자 한다.

국제 유가가 급등하였던 2008년 하반기에는 어선을 주요 생산수단으로 하는 어업도 고유가의 충격으로 인해 경영에 큰 타격을 입었다. 국제유가가 정점이었던 2008년 7-8월에는 어업용 면세유 가격이 드럼당 23만 원을 넘어서면서 전년 동기의 약 10만 원에 비해 2배 이상 급등한 바 있다. 대형선망어업은 근해 어업 가운데 면세유 소비량 비중이 높은 업종으로서 총 면세유 공급량의 9%를 차지하고 있다.

어선 척당 연료유 소비량을 살펴보면, 근해어업의 평균은 연간 904드럼 수

준이다. 그러나 대형선망어업은 근해어업의 평균보다 연료유 소비가 높은 업종으로 약 2,673드림을 사용하고 있다.

| 표 5-3 | 최근 3년간 업종별 면세유류 소비실태

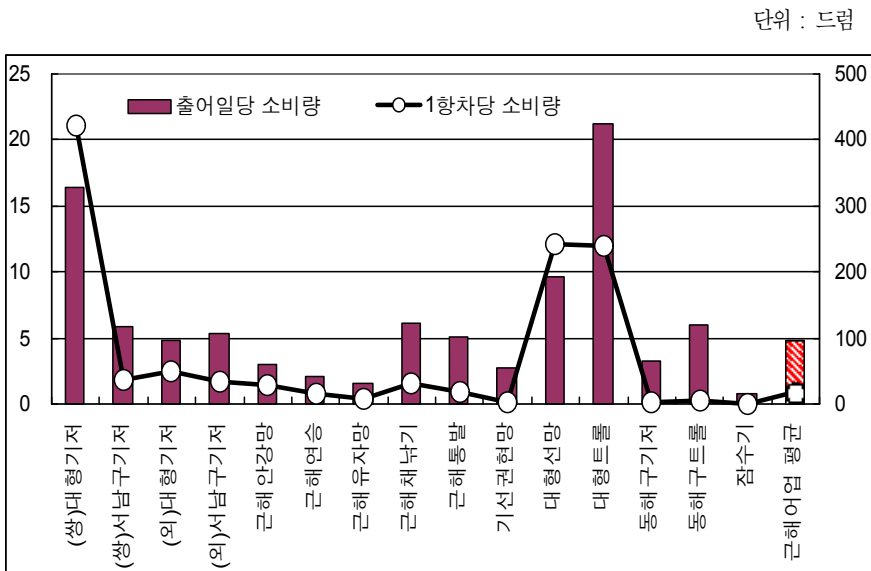
단위 : 드림, %

구 분		2006~2008년 평균	비중
근해어업	(쌍)대기저어업	364,842	7.0
	(쌍)서남구기저어업	33,677	0.6
	(외)대기저어업	66,760	1.3
	(외)서남구기저어업	59,095	1.1
	근해개량안강망어업	915	0.0
	근해고정자망어업	61,405	1.2
	근해안강망어업	183,084	3.5
	근해연승어업	230,461	4.4
	근해외줄낙시어업	4,863	0.1
	근해유자망어업	130,327	2.5
	근해채낚기어업	496,335	9.5
	근해통발어업	215,980	4.1
	기선권현망어업	260,532	5.0
	기선형망	42	0.0
	대형선망어업	470,277	9.0
	대형정치망어업	15,872	0.3
	대형트롤어업	200,430	3.8
	동해구기저어업	23,859	0.5
	동해구트롤어업	51,663	1.0
	소형선망어업	35,632	0.7
	잠수기어업	21,763	0.4
	패류형망어업	22,092	0.4
	기타통발어업	60,293	1.2
	장어통발어업	4,138	0.1
	문어단지어업	1,171	0.0
연안어업	연안어업 소계	1,858,422	35.6
양식어업(양식장 관리선)		282,250	5.4
기타어업		65,718	1.3
총 계		5,221,894	100.0

주 : 면세유 공급물량 가운데는 일부 재고로 비축되는 물량도 있을 수 있으나 이를 파악하는 것은 현실적으로 어렵기 때문에 공급물량 자체를 유류 소비량으로 간주해도 무리가 없다고 판단됨

자료 : 수협중앙회, 자재사업부 내부자료

한편, 연료유 소비실태를 출어일수 및 출어회수(1항차)와 같은 조업활동별로 살펴보면 다음과 같다. 우선 어선 1척의 출어일당 연료유 소비량을 살펴보면 근해어업의 평균은 약 5드림 수준이었다. 출어일당 연료 소비량이 가장 높은 업종은 대형트롤어업으로 약 21드림을 소비하며, 다음으로 쌍끌이대형기저 16드림, 대형선망 10드림 등의 순으로 나타났다. 그리고 어선 2척의 출어 회당(1항차) 연료유 소비량을 살펴보면 근해어업의 평균은 약 19드림으로 나타났다. 상대적으로 1항차당 출어일수가 긴 쌍끌이대형기저, 대형선망, 대형트롤 어업의 소비량이 여타 업종에 비해 월등히 높은 것으로 분석되었다.



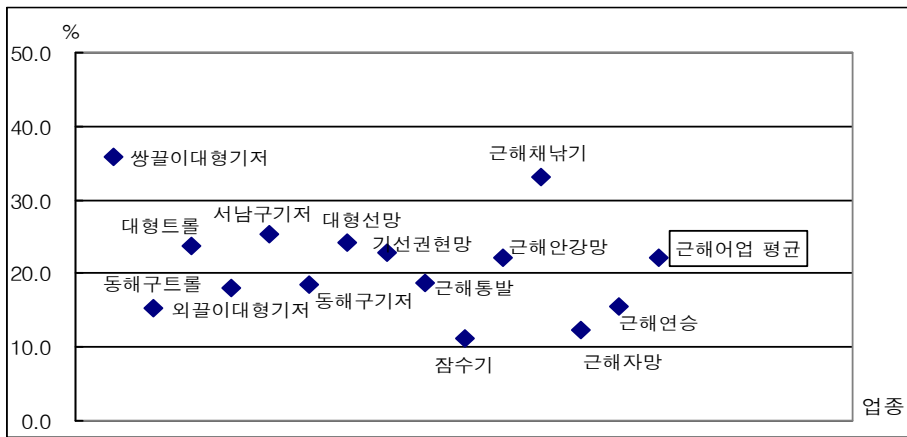
자료 : 전계 자료

| 그림 5-4 | 근해어업의 조업활동별 연료유 평균 소비량(2005~2007년)

한편, 수협이 「어업경영조사보고」 자료를 이용하여 근해어업의 주요 업종별로 어업비용에서 연료유 비용이 차지하는 비중(연료비/어업비용×100)을 분



석하였다. 최근 3개년(2005~2007년)의 평균치 자료를 토대로 분석한 결과, 근해어업의 평균은 22.1%였다. 근해어업 평균에 비해 연료비 비중이 높은 업종은 쌍끌이대형기저어업(35.8%), 근해채낚기어업(33.1%), 서남구기저어업(25.4%), 대형선망어업(24.1%), 대형트롤어업(23.8%), 기선권현망어업(22.9%)이었으며, 기타 업종은 평균보다 낮은 것으로 나타났다.



자료 : 수협중앙회, 「어업경영조사보고」, 2006년~2008년

| 그림 5-5 | 근해어업 업종별 어업비용 대비 연료유 비중 분포

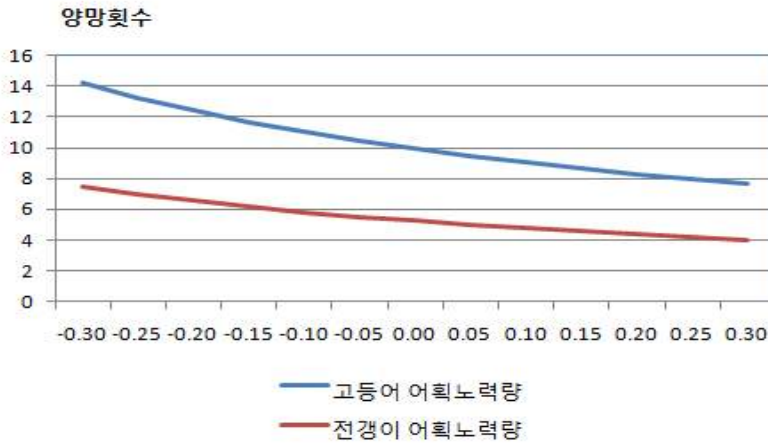
이와 같이 대형선망의 연료 소비는 타 업종보다 높다고 할 수 있다. 또한 어업비용에서 연료비가 차지하는 비중이 약 24.1%인데 이는 유가 급등 혹은 면세유 제도 폐지에 따른 어업경영에 미치는 부정적인 영향이 매우 클 수 있다는 것을 보여주고 있다.

## 2) 최적 생산량 변화

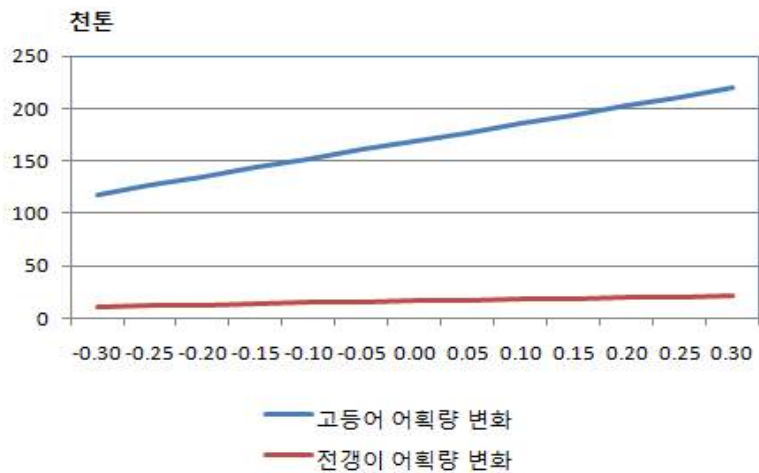
<그림 5-6>는 자유입어 하에서 비용변화에 따른 어획노력량 변화추이를 보여 주고 있다. 자유입어 하에서 다른 조건은 일정하다고 가정할 때 고등어와

전쟁이의 어획비용이 상승하면 어획노력량은 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 이러한 비용 변화에 따른 어획노력량의 감소는 생산량을 증가시키는 경향을 보이는 것으로 나타났다(<그림 5-7>참조). <그림 5-8>은 비용 상승에 따른 어획노력량의 감소는 어획량을 증가시켜 자원량을 감소시키는 경향을 초래함을 보여 주고 있다.

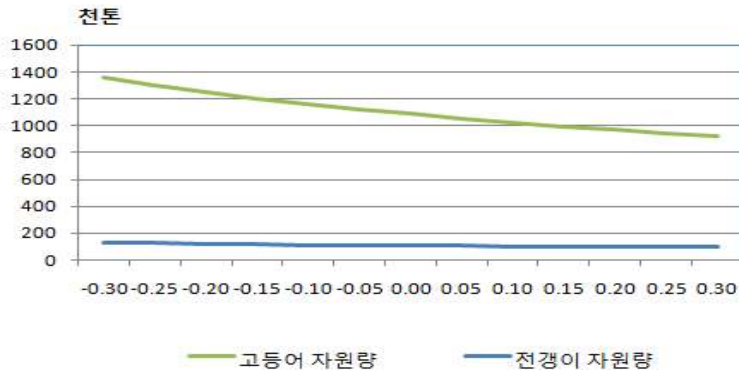
전쟁이의 경우 고등어에 비해 상대적으로 비용변화에 따른 어획량과 자원량의 변화는 크지 않다(<그림 5-7>, <그림 5-8> 참조). 이는 전쟁이의 어획량이 고등어의 어획량에 비해 작고, 어획량의 변화가 자원량의 변화에 영향을 적게 미치기 때문이라고 추측된다.



| 그림 5-6 | 자유입어하에서의 비용 변화에 따른 어획노력량 변화 추이

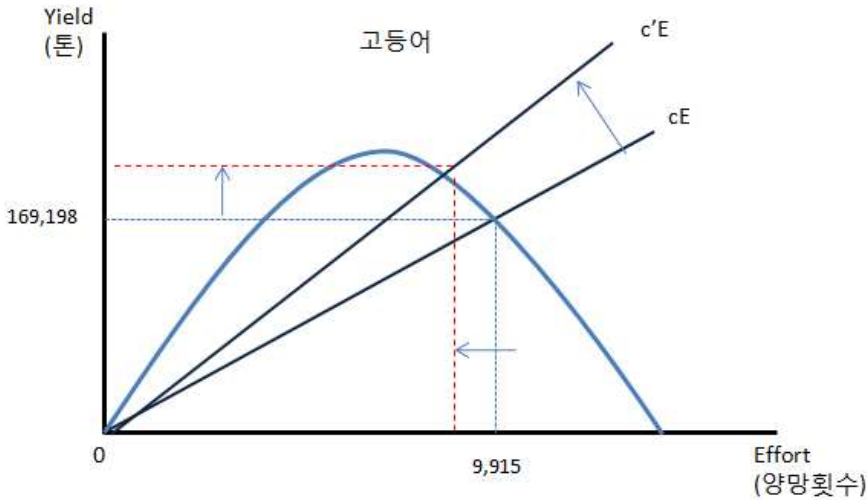


| 그림 5-7 | 자유입어하에서의 비용변화에 따른 어획량 변화 추이



| 그림 5-8 | 자유입어하에서의 비용변화에 따른 자원량 변화 추이

<그림 5-9>은 비용 상승에 따른 고등어의 어획노력량 및 어획량의 변화를 보여주고 있다. 앞에서 언급했듯이 양망횟수가 줄어들 경우 어획량은 늘어나는 데, 이는 고등어의 자원에 기인한다고 할 수 있다.



| 그림 5-9 | 비용 상승에 따른 어획노력량 및 어획량의 변화

#### 4. 현재의 TAC 수준과 최적 생산량 수준 비교

고등어와 전갱이는 대표적인 TAC 대상어종이다. 따라서 본 분석에서는 대형선망어업에 의해 어획되고 있는 고등어와 전갱이의 실제어획량과 TAC 수준이 어업인들의 이윤극대화에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 비교·분석해 보고자 한다.

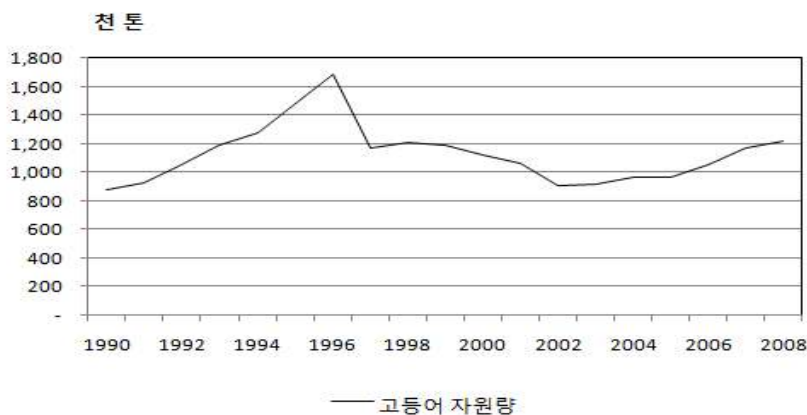
<표5-4>는 2008년도 기준, 실제어획량, TAC 수준 및 최적어획량을 보여주고 있다. 대형선망어업에 의해 어획된 고등어의 추정된 최적어획량은 현 TAC 수준보다 다소 높다. 아울러 실제 어획량도 추정된 최적어획량보다 다소 낮게 어획되고 있음을 보여주고 있다. 특히, 1999년 이후 TAC제도 시행과 함께 조금씩 자원량이 회복되면서 어획량 또한 최근에 다소 증가하고 있는 것으로 추정된다.

| 표 5-4 | 고등어 TAC 수준과 자유입어 및 단독소유하에서의 어획량 수준 비교

단위 : 톤

고등어			
실제 어획량	TAC 수준	자유입어어획량	단독소유 어획량
147,945	159,000	169,198	172,512

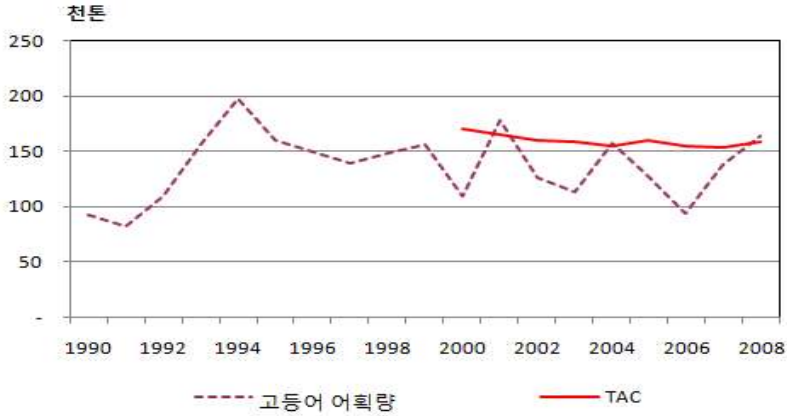
따라서 고등어의 TAC 수준은 최근 자원량 증가를 고려할 때 조금 낮게 설정된 것으로 판단되므로, 최근의 고등어 자원량을 고려한 어획량 수준을 고려할 때 TAC 수준에 대한 조정이 필요할 수도 있다(<그림 5-10> 참조).



| 그림 5-10 | 고등어 자원량 변화 추이

특히, 고등어의 실제어획량이 1999년부터 시행된 고등어의 TAC 수준보다 낮은 어획 소진율을 보임으로써 고등어 자원량에 긍정적 효과를 가져 온 것으로 추정된다(<그림 5-11> 참조). 그 결과, 단독소유하에서 고등어의 최적생산량은 최근 TAC 수준보다 높은 수준인 것으로 분석되었다. 그러나 최종적인 TAC 수준에 대한 사회·경제적 요소 등 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 분석에 기

초하여 이루어져야 한다. 단지 동 생물경제모형을 이용한 최적생산량 추정치는 여러 가지의 판단 기준중의 하나임을 밝혀 둔다.



| 그림 5-11 | 고등어 실제 어획량과 TAC 수준과의 비교

| 표 5-5 | 전갱이 TAC 수준과 자유입어 및 단독소유하에서의 어획량 수준 비교

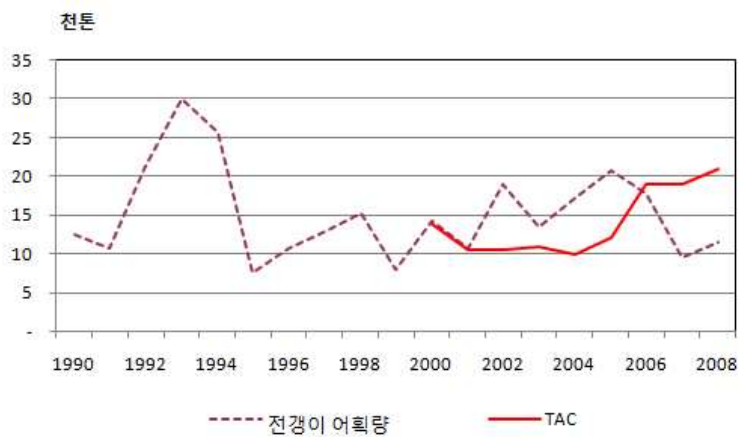
단위 : 톤

전갱이			
실제 어획량	TAC 수준	자유입어 어획량	단독소유 어획량
10,967	21,000	16,352	16,937

반면, 전갱이의 TAC 수준은 최근 자원량 감소를 고려할 때 다소 높게 설정되어 있는 것으로 추정된다. 최근의 전갱이 자원량 감소를 고려한 어획량 수준을 고려할 때 현재의 TAC 수준을 다소 하향 조정할 필요가 있는 것으로 판단된다. 또한 생태적 균형 하에서 이윤을 극대화하는 적정어획량 또한 기존의 TAC 수준보다는 다소 낮을 때 이윤이 극대화될 수 있음을 보여 주고 있다.



| 그림 5-12 | 전갱이 자원량 변화 추이



| 그림 5-13 | 전갱이 실제 어획량과 TAC 수준과의 비교

## 5. 대형선망어업의 적정 감척수준

### 1) 개요

일반적으로 어선감척사업은 어획강도를 줄여 어업자원에 대한 압박을 완화시키고, 잔존 어업인의 어획량을 증대시켜 경제적인 이익을 늘릴 수 있기 때문에 어업관리수단으로서 전 세계적으로 널리 활용되고 있다. OECD에 따르면, 2005년도에 OECD 회원국들은 약 4억 3,000만 달러를 감척사업 비용으로 사용하였는데, 이는 총 정부재정이전(Governmental Financial Transfer)의 약 7% 정도를 차지하는 규모이다.<sup>38)</sup> 본 분석에서는 대형선망어업에 의해 어획되고 있는 고등어와 전갱이의 실제 어획노력량과 어업자들의 이윤극대화를 위해 투입되는 최적 어획노력량 추정치를 비교·검토해 보고자 한다.

### 2) 최적어획노력량 변화

제3장에서 살펴보았듯이 우리나라 고등어와 전갱이의 대형선망어업 연간 양망 횟수는 2007년을 기준으로 약 7,344이었다. 그런데 제4장의 분석 결과, 고등어의 최근 자원량 증가를 고려할 때, 양망 횟수는 약 8,508까지는 증가시킬 수 있는 것으로 분석되었다. 그러므로 현재보다 약 1,075정도 양망 횟수를 늘릴 수 있는 것으로 판단된다. 이는 1999년 TAC제도가 시행된 이후, 고등어의 어획수준을 관리하면서 자원량이 다소 증가한 결과에 기인한 것으로 보여 진다.

이상의 결과만을 본다면 대형선망어업은 더 이상의 감척이 필요하지 않은 것으로 보인다. 하지만 대형선망의 주 어획 어종이 고등어인 것을 감안할 때, 전갱이의 양망 횟수는 현재의 7,344 양망 횟수에 비해 많이 줄여야 할 것으로

38) 반면 대부분의 어선감척사업이 당초의 경제적 및 자원적인 목표를 충분히 달성하지 못하고 있고, 일부 어선감척사업의 경우에는 정책적 실패 사례로 거론되기도 한다.



분석되었다. 즉, 대형선망이 전갱이만을 어획한다고 가정할 때, 전갱이의 최적 어획노력수준은 약 4,915 양망 횟수로 약 2,518 양망 횟수를 줄여야 할 것으로 보인다. 이는 최근 전갱이의 자원량이 감소하고 있는 상황에서 어획수준 또한 높은 수준을 유지하고 있고, 현 시점에서는 어획노력량을 감소시켜 어획수준을 줄여 나갈 필요가 있는 것으로 보인다. 그리고 만약에 양망횟수를 현재의 수준으로 유지하고자 한다면, 앞에서 제시된 2,518 양망횟수에 상응하는 비율의 어선수를 줄일 필요가 있다. 하지만 대형선망어업이 전갱이만을 어획하는 것이 아니므로, 다수어종을 어획하는 대형선망의 경우, 어종간의 기술적, 경제적 상호작용을 고려한 후 최적 어획노력량 수준을 결정할 필요가 있다.<sup>39)</sup>

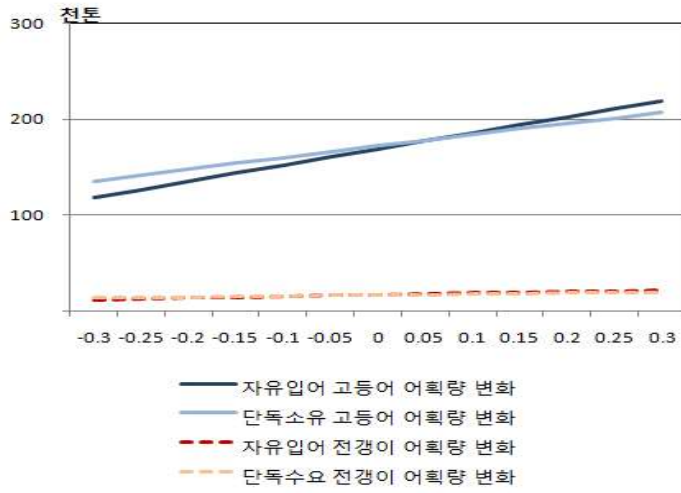
| 표 5-6 | 어획 노력 수준의 효과

단위 : 톤, 양망횟수

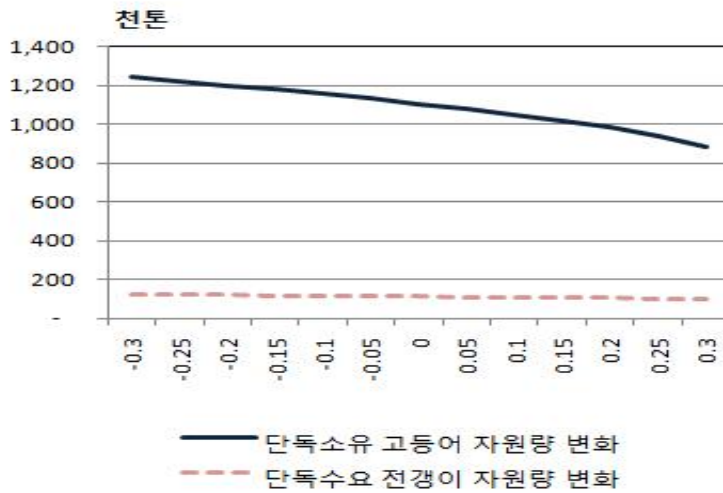
구 분	고등어	전갱이
최적 어획노력량	8,508	4,515
현재 어획노력량	7,344	7,344
어획노력량증분	+ 1,075	- 2,918

또한 어획노력량 수준의 변화에 따른 고등어와 전갱이의 어획량 변화를 살펴볼 때, 어획노력량 수준을 높일수록 자유어업에서 어획량이 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 단독소유의 경우 어획노력량 수준의 변화에 따른 고등어와 전갱이의 자원량 변화를 살펴볼 때, 어획노력량 수준을 높일수록 자원량이 계속 감소하고 있음을 볼 수 있다.

39) 그러나 만약 대형선망어업이 연중 주로 고등어를 목표로 어획을 하며, 전갱이는 고등어 어획의 부수어획물일 뿐이고, 생산금액에서 차지하는 비중도 현저히 낮을 경우에는 전갱이의 양망횟수를 줄이는 것이 불가능하며, 전갱이와 관련한 경제적 변수를 고려할 필요가 없을 수도 있다.



| 그림 5-14 | 어획노력량 변화에 따른 고등어, 전갱이의 어획량 변화 추이



| 그림 5-15 | 어획노력량 변화에 따른 고등어, 전갱이 자원량 변화 추이

## 제 6 장 결 론

### 1. 요약 및 결론

어업자원은 생물학적 특성상 다른 천연자원과 달리 자율갱신적인 성격을 가지고 있다. 이에 따라 어업자원 스스로 번식하고, 성장할 수 있기 때문에 적절히 생산하고 관리한다면 지속적인 이용이 가능하다. 하지만 어업자원은 공유자원으로 어업인 개인이 사적으로 소유하기 어렵고, 공유자원의 성격인 경합성과 비배제성으로 인하여 쉽게 남획상태에 놓이게 될 위험성이 크다. 이에 따라 대부분의 국가에서는 정부가 직접적으로 각종 어업관리수단을 동원하여 어업자원을 관리하고 있는 실정이다.

적정 어업생산 수준은 생물학적 기준, 사회적 기준 등 다양한 기준에서 결정될 수 있다. 하지만 어업경영의 입장에서는 어업자원의 생산적 변화 속에서 어업이익이 가장 크게 되는 수준에서 어업 생산이 결정되는 것이 바람직하다. 아울러 현재와 같이 한정된 어업자원에 대한 과잉어획 노력량 투입으로 인해 어업자원이 고갈 혹은 정체되어 가는 상황 하에서 어업자원관리의 목적은 과거처럼 자원 증대 혹은 회복에만 맞출 수는 없다. 이러한 상황에서 어업자원정책은 지속가능한 자원을 유지하면서 동시에 수산업계의 이윤을 최대화 하는 방법의 모색이 되어야 하고, 이를 위해서 어업 정책적으로는 어업이익이 가장 크게 되는 최적 어업생산 수준을 지속적으로 유지할 수 있는 최적 어업자원을 유지하고 관리해 가야 한다. 따라서 향후 우리나라의 어업관리정책도 생물학적 측면만을 고려한 정책에서 경제적 측면을 고려한 정책으로의 전환이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 필요성에 부응하기 위하여 우리나라 주요 어종 중 고등어 및 전갱이 자원을 대상으로 지속가능한 자원수준을 유지하면서 경제적인 효율성을 최대로 살릴 수 있는 최적 생산량을 추정하였다.

생물경제모형은 일반적으로 분석 대상 어종에 대해 사용 가능한 생물학적 및 경제학적 정보를 이용하고 있지만, 대부분의 경우 이들의 상관관계를 나타내는 변수가 현실을 제대로 반영하기는 어렵다. 예를 들면 미래의 어가 수준, 어획량 등과 같은 변수의 불확실성은 모형의 예측력을 제한할 수 있다. 더욱이 우리나라 수산물 시장의 개방이 더욱 가속화 되면서 수입수산물이 가격 결정 메카니즘에 미치는 영향이 커짐에 따라 이를 고려해야 하는 상황에 놓여있다.

따라서 생물경제모형은 일정한 어업제도 하에서의 여러 가지 파라미터의 상호작용에 기초한 이론적 실험실(theoretical laboratory)로서 사용되어질 수 있다.<sup>40)</sup> 그럼에도 불구하고, 모형의 결과를 해석하기 위해서는 모형의 기초가 되는 가정을 단순화 하는 것이 필요하다. 따라서 현실을 정확히 반영시킨 모형은 불가능하므로 최대한 현실을 반영시킨 가정에 기초하여 분석함으로써 인해 가정에 따라 결과는 달라질 수 있다. 특히 자원량 추정에 있어 한중일 3국이 어업 자원을 공동으로 이용하고 있으므로 3국간의 어획량 자료를 확보하여 추정하여야 하나, 이것은 현재로서는 현실적으로 불가능한 실정이다.

본 연구에 있어서는 어업자원의 성장 함수식과 어업생산 함수식을 조건으로 하는 생산적 어업이익의 순현재가치(NPV) 극대화를 위한 목적함수를 설정하고, 최적 생산량 추정을 위한 이론적 모형을 분석하였다. 그리고 이를 고등어 및 전갱이를 어획하는 대형선망어업에 적용하여 최적 생산 수준을 평가해 보았다. 분석 결과, 단독소유의 생태적 균형 하에서 고등어의 최적 생산량은 172,512 톤 그리고 전갱이의 최적 생산량은 16,937톤으로 추정되었다. 아울러 최적어획 노력량의 경우 고등어는 8,508 양망횟수, 전갱이는 4,915 양망횟수로 추정되었다. 이에 따라 최적 생산을 위해서는 현재 어획노력량 수준을 다소 감소시켜

---

40) J. E. Padilla, *A Bioeconomic Model for Fisheries Management in Tropical Countries with Applications*. In: *Indo-Pacific Fisheries Commission*, ed., Paper Presented at the Seventh Session of the Standing Committee of Resource Research and Development (FAO Fisheries Report No.499 Supplement FIRL/R499), FAO, Rome, 1994.

어업자원을 최적 수준으로 증가시켜야함을 알 수 있었다. 동 생물경제모형을 통한 추정된 최적 어획량은 절대적인 결과이기 보다는 향후 가능한 결과의 지표로서 이용되어야 한다. 아울러 향후 연구에 있어 모형 내의 주요 경제적 변수들에 대한 현실적인 설명력을 더욱 제고시킬 필요가 있다.

동 모형의 활용차원에서 이루어진 시나리오별 분석결과는 다음과 같다. 자 유입어 하에서 가격변화에 따른 어획노력량의 추이는 다른 조건이 일정한 상황에서 고등어와 전갱이의 시장가격이 높아질수록 어획노력량이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 비용 상승에 따른 어획노력량의 변화는 어획비용이 상승할수록 어획노력량은 감소하고, 어획노력량의 감소는 생산량을 증가시키는 경향을 보여 주고 있다. 실제어획량, TAC 수준 및 최적어획량의 비교에서는 최적어획량이 현재 TAC 수준보다 다소 높게 추정되었다. 특히, 현재 고등어의 TAC 수준은 최근 어획량을 고려 할 때 조금 낮게 설정된 것으로 추측되나, 최종적인 TAC 수준에 대한 결정은 여러 가지 요소를 고려한 종합적인 분석에 기초하여야 한다. 마지막으로 대형선망어업의 적정 감척수준과 관련한 분석에서는 현재 어획노력량을 다소 감소시킬 필요가 있다고 분석되었다.

고등어 어업자원 관리를 위해 현재 대형선망어업의 고등어 연간 총 생산량을 규제하는 TAC제도가 1999년부터 시행되어 오고 있다. 이 제도에 있어서는 정부가 고등어 어업자원 평가결과를 바탕으로 생물학적으로 허용 가능한 범위의 연간 어획량을 정해주면 대형선망어업 개별 경영체들은 그 범위 내에서만 생산을 해야 한다. 현재 TAC 제도 하에서 연간 허용 생산량은 주로 생물학적인 기준에 의해서만 결정되고 있다. 하지만 생물학적 기준과 더불어 본 연구의 내용과 결과를 바탕으로 어업이익이 극대화될 수 있는 생산적 최적 생산을 결정한다면 보다 지속적이고 안정적인 어업경영을 도모할 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점 및 향후 제언사항으로, 실증분석에서 사용된 생물학적 변수들이 많은 불확실성을 가지고 있기 때문에 추정된 최적 생산 수준에 대한 불확실성이 크다. 따라서 향후 보다 정확한 최적 생산 결정을 위해서는 생물학

적 변수들에 대한 집중적인 연구가 더욱 필요하며, 보다 정확한 변수들의 값이 추정되어야 한다. 예를 들면 비용자료의 경우 다년간 비용에 대한 분석을 통해 어획활동에 따라 비용이 어떻게 변화하는가에 대한 연구가 필요하다. 이외에도 어종 혹은 어업에 대한 단순화된 가정에 대해 현실상황을 더욱 반영시키려는 노력이 필요하다. 또한 고등어와 같은 어업자원은 회유성 자원으로 인접 국가들에 의해서도 어획되고 있으므로 보다 합리적인 자원관리를 위해서는 인접 국가들과 공동으로 자원을 평가하고, 이를 바탕으로 공동 관리방안이나 국가별 최적 생산 수준을 결정해 가는 것이 더욱 필요할 것이다.

## 2. 정책 제언

지속가능한 어업자원 수준을 유지하면서 수산업계의 경제적인 이윤을 고려한 생산적 최적생산량 추정에 대한 연구는 향후 어업정책결정의 기초자료로 그 활용가치가 높을 것이다.

첫째, 현재 우리나라는 주요 10개 어종에 대해 TAC제도를 실시하고 있다. TAC 대상어종의 쿼터량을 결정하는데 있어 경제적 요인을 포함한 생물경제모형의 추정치를 고려한다면 어업인의 입장에서 볼 때 더욱 현실적인 TAC 수준이 결정될 수 있을 것이다. 아울러 현행 TAC와 어업인(sole owner)이 최대 이윤을 추구하는 어획량을 비교함으로써 TAC 수준의 적정성 검토가 가능할 수 있다. 그러나 가입량 또는 산란자원량의 상황에 따라 추정되는 최적생산은 의미가 달리 해석될 수 있다. 따라서 향후 가입량과 산란자원량을 세분화한 생물경제모형을 이용하여 경제적 최적생산을 달성하면서 수산자원 본연의 생물학적으로 지속가능한 생산을 달성하는 실용적인 결과를 제시할 필요가 있다.

둘째, 어선감척의 목표는 어획노력량을 줄임으로 인해 고갈된 자원을 회복시키고, 지속가능한 수산업을 영위하는 것이다. 따라서 동 생물경제모형을 이

용하여 지속가능한 자원량 수준에서 적정 어획노력량을 추정함으로써 장기적인 어선감척 목표 결정에 활용이 가능하다. 최근에 OECD는 어선감척사업에 대한 가이드라인을 제시하였는데, 어선감척사업을 설계시에는 “어선감척사업의 목표를 명확히 하고, 추정이 가능해야 한다” 그리고 “어선감척 설계단계에서 어선감척사업의 기대 비용과 여러 가지 기대이익에 대한 평가를 하여야 한다”라고 권고하고 있다.<sup>41)</sup> 이를 위해서는 생물경제모형을 이용하여 기대이익에 대한 추정이 가능할 수 있다.

셋째, 생물경제모형에 기초한 우리나라 주요 어종의 최적 생산량 분석을 통해 이들 어종의 증장기 공급량을 예측함으로써 수산물 증장기 정책 수립에 유용한 자료를 제공할 수 있다.

넷째, 고등어와 전갱이를 종합하여 생물경제모형을 만들어 최적 생산량을 추정한다면 어종별이 아닌 어업별 특히, 대형선망어업에 관한 여러 가지 정책 자료를 제공할 수 있다. 아울러 최적어획량 추정치와 실제 어획량을 비교함으로써 경제적인 관점에서 잉여 극대화가 이루어지지 못함을 판단할 수 있다.

다섯째, 배타적경제수역(Economic Exclusive Zone) 체제 하에서 동일한 어업 자원을 한중일 삼국이 공동으로 이용함에 따라 지속가능한 자원관리를 위해서는 어종별 공동어업관리가 필요한데, 이를 위해서는 국별 쿼터배정이 무엇보다 중요하게 된다. 따라서 동 모형을 더욱 발전시켜 지속가능한 자원량 수준 및 적정한 어획량 수준을 추정함으로써 국별 배분물량에 대한 신뢰성을 제고시킬 수 있다.

마지막으로 Campell and Haynes(1990)<sup>42)</sup>은 효과적인 어업관리를 이행한다면 현재 어업 활동으로 인한 경제적 편익의 잠재적인 수준을 어획물가치(Value of landings)로 25%에서 60%까지 증가시킬 수 있다고 추정한다. 따라서 생

41) OECD, *Reducing Fishing Capacity: best Practices for Decommissioning Schemes*, 2009.

42) D. Campell and J. Haynes, *Resource Rent in Fisheries*, ABARE Discussion paper 9010, Canberra: ABARE, 1990.

물경제모형을 더욱 발전시켜 업종별 및 어업별로 표준화시켜 정책 결정전에 사전적으로 정책 수단의 효과를 추정함으로써 보다 효과적인 정책 수단이 시행된다면 우리 수산업은 지속가능하게 발전할 수 있을 것이다.



## 참 고 문 헌

### <국내 문헌>

국립수산과학원, 「한국 연근해 2007년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태 평가」, 2006.

김대영 외, 「대형선망어업 전진기지 조성을 위한 타당성 분석 연구」, 한국해양수산개발원, 2008.

장창익, 「수산자원 생태학」, 석성문화사, 1991.

표희동, 「지속가능한 어업관리를 위한 생물경제모형의 비교분석」, 한국해양수산개발원, 2001.

국립수산과학원, 「한국 연근해 2007년도 TAC 대상어종에 대한 어획동향 분석 및 자원상태 평가」, 2006.

\_\_\_\_\_, 「한국 연근해 주요 어업자원의 어획동향 및 자원평가 개요」, 2007.

류정곤 외, 「어업자원관리 중·장기 종합계획 수립에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 2001.

\_\_\_\_\_, 「우리나라 TAC제도의 평가시스템 구축에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 2005.

\_\_\_\_\_, 「대형선망어업 산지종합유통센터 조성을 위한 사전예비타당성 조사 및 기본계획수립」, 한국해양수산개발원, 2009.

조정희 외, 「한·중·일 공동어업관리방안 연구(II)」, 한국해양수산개발원, 2006.

### <해외 문헌>

Anderson, L. G., *The Economics of Fisheries Management*, Johns Hopkins University Press, 1986.

- Bjorndal, T., "The Optimal Management of North Sea Herring", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 15, 1988, pp. 9~21.
- Bjorndal, T. and J. M. Conrad, "The Dynamics of an Open Access Fishery", *Canadian Journal of Economics*, Vol. 1, 1987, pp. 74~85.
- Box, G. E. P., "Robustness in the Strategy of Scientific Model Building", In: R.C, Louries and G. N. Wilkinson, Eds, *Robustness in Statistics*, NY, Academic Press, 1979, pp. 201~236,
- Campbell, D. and J. Haynes, "Resource Rent in Fisheries", ABARE Discussion paper 9010, Canberra: ABARE, 1990.
- Chae, D. and S. Pascoe, "Use of simple bioeconomic models to estimate optimal effort levels in the Korean coastal flounder fisheries", *Aquatic Living Resources*, 2005.
- Clark, C., *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*, John Wiley & Sons Inc, 1990.
- Conrad, J., *Resource Economics*, Cambridge University Press, 1999.
- Clark, Colin W., *Mathematical Bioeconomics : The Optimal Management of Renewable Resources*, 1990, pp. 131~135.
- Csirke, J. and J. F. Caddy, "Production modelling using mortality estimates", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 40, 1983, pp. 43~51.
- Fox, W. W., "An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations", *Trans. Amer. Fish. Soc.*, Vol. 90, 1970, pp. 80~88.
- Gordon, H. S. "The Economics Theory of a Common Property Resource: The Fishery", *The Journal of Political and Economy*, Vol. 62(2), 1954, pp. 124~142.
- Graham, M., "Modern theory of exploiting a fishery, an application to North Sea trawling", *J. Cons. int. Explor. Mer.*, Vol. 10, 1935, pp. 264~274.

- Gulland, J. A., *Fishing and stocks of fish at Iceland. Fishery Invest*, Lond. Ser II., 1961.
- Haddon, M., *Modelling and Quantitative Methods in Fisheries*, Champman & Hall/CRC, 2001.
- Hilborn, R. and C. Walters, *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics & Uncertainty*, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- Johnston, R. and J. Sutinen, "Uncertain Biomass Shift and Collapse : Implications for Harvest Policy in the Fishery", *Land Economics*, Vol.72(4), 1996, pp. 500~518.
- Linda. N. and T. Bjorndal, "Supply Functions for North Sea Herring", *Marine Resource Economics*, Vol. 18, 2003, pp. 345~361.
- OECD, *Reducing Fishing Capacity: best Practices for Decommissioning Schemes*, 2009.
- Padilla, J. E., *A Bioeconomic Model for Fisheries Management in Tropical Countries with Applications*, In: Indo-Pacific Fisheries Commission, ed., Paper Presented at the Seventh Session of the Standing Committee of Resource Research and Development (FAO Fisheries Report No.499 Supplement FIRL/R499), FAO, Rome, 1994.
- Pella. J. J. and P. K. Tomlinson, "A generalized stock production model", *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, Vol. 13, 1969, pp. 419~496.
- Plourde, C. G., "A Simple model of Replenishable Natural Resource Exploitation", *American Economic Review*, Vol.49, 1970, pp. 1762~1769.
- Russell, E. S. "Some theoretical considerations of the overfishing problem", *J. Cons. int. Explor. Mer.*, Vol. 6, 1931, pp. 1~20.
- Quinn, T. and R. Deriso, *Quantitative Fish Dynamics*. New York: Oxford University Press, 1999.

- Schaefer, M. B., “Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries”, *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* Vol. 1, 1954, pp. 25~56.
- Schaefer, M. B., “A study on the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean”, *Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* Vol. 2, 1957, pp. 245~285.
- Schnute, J. “Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations”, *J. Fish. Res. Bd. Can.* Vol. 34, 1977, pp. 583~603.
- Verhulst, L. A. “Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement”. *Corresp. Math. et Phys.* Vol. 10, 1838, pp. 113~121.

<인터넷 자료>

<http://www.fips.go.kr/>

## 부 록 1 : 분석에 사용된 세부 자료 및 분석 결과

| 표 부록-1 | 고등어의 연도별 어획량 및 어획노력량

단위 : 톤, 횡수

연도	어획량	어획노력량(톤)	어획노력량(마력)	어획노력량(양망)	CPUE(톤)	CPUE(마력)	CPUE(양망)
1978	85,421	28,735	136,014	5,177	2.973	0.628	16.5
1979	65,938	36,389	192,221	3,663	1.812	0.343	18.0
1980	60,578	35,625	197,094	5,825	1.700	0.307	10.4
1981	100,528	35,939	194,161	7,674	2.797	0.518	13.1
1983	119,508	35,814	182,345	8,986	3.337	0.655	13.3
1984	99,444	35,301	184,875	10,147	2.817	0.538	9.8
1985	62,419	36,633	195,335	9,046	1.704	0.320	6.9
1986	98,202	38,221	214,105	11,976	2.569	0.459	8.2
1987	88,490	39,945	232,770	9,724	2.215	0.380	9.1
1988	154,948	40,486	238,595	10,062	3.827	0.649	15.4
1989	158,744	46,016	273,005	10,176	3.450	0.581	15.6
1990	92,775	47,228	287,983	9,467	1.964	0.322	9.8
1991	82,541	46,670	288,461	6,822	1.769	0.286	12.1
1992	108,848	44,652	282,924	8,373	2.438	0.385	13.0
1993	156,573	43,454	289,211	9,376	3.603	0.541	16.7
1994	197,761	43,494	295,383	12,360	4.547	0.670	16.0
1995	159,820	41,650	290,567	12,294	3.837	0.550	13.0
1996	386,877	39,348	285,059	10,599	9.832	1.357	36.5
1997	139,293	37,047	279,551	9,606	3.760	0.498	14.5
1998	148,892	32,482	259,070	8,272	4.584	0.575	18.0
1999	155,728	32,060	256,416	9,107	4.857	0.607	17.1
2000	109,025	31,377	255,927	9,318	3.475	0.426	11.7
2001	177,935	29,546	252,840	11,121	6.022	0.704	16.0
2002	126,519	29,512	255,641	9,585	4.287	0.495	13.2
2003	113,121	28,463	246,957	8,023	3.974	0.458	14.1
2004	175,831	25,880	194,166	8,255	6.794	0.906	21.3
2005	127,983	25,664	181,126	8,532	4.987	0.707	15.0

| 표 부록-2 | 전갱이의 연도별 어획량 및 어획노력량

단위 : 톤, 횡수

연도	어획량	어획노력량(톤)	어획노력량(마력)	어획노력량(양망)	CPUE(톤)	CPUE(마력)	CPUE(양망)
1978	835	28,735	136,014	5,177	0.029	0.006	0.16
1979	5,721	36,389	192,221	3,663	0.157	0.030	1.56
1980	280	35,625	197,094	5,825	0.008	0.001	0.05
1981	656	35,939	194,161	7,674	0.018	0.003	0.09
1983	10,090	35,814	182,345	8,986	0.282	0.055	1.12
1984	1,829	35,301	184,875	0,147	0.052	0.010	0.18
1985	12,726	36,633	195,335	9,046	0.347	0.065	1.41
1986	2,465	38,221	214,105	11,976	0.064	0.012	0.21
1987	4,526	39,945	232,770	9,724	0.113	0.019	0.47
1988	31,740	40,486	238,595	10,062	0.784	0.133	3.15
1989	10,582	46,016	273,005	10,176	0.230	0.039	1.04
1990	12,525	47,228	287,983	9,467	0.265	0.043	1.32
1991	10,664	46,670	288,461	6,822	0.228	0.037	1.56
1992	21,316	44,652	282,924	8,373	0.477	0.075	2.55
1993	30,062	43,454	289,211	9,376	0.692	0.104	3.21
1994	35,036	43,494	295,383	12,360	0.806	0.119	2.83
1995	7,521	41,650	290,567	12,294	0.181	0.026	0.61
1996	10,790	39,348	285,059	10,599	0.274	0.038	1.02
1997	12,867	37,047	279,551	9,606	0.347	0.046	1.34
1998	15,296	32,482	259,070	8,272	0.471	0.059	1.85
1999	7,913	32,060	256,416	9,107	0.247	0.031	0.87
2000	14,288	31,377	255,927	9,318	0.455	0.056	1.53
2001	10,729	29,546	252,840	11,121	0.363	0.042	0.96
2002	18,965	29,512	255,641	9,585	0.643	0.074	1.98
2003	13,558	28,463	246,957	8,023	0.476	0.055	1.69
2004	17,179	25,880	194,166	8,255	0.664	0.088	2.08
2005	20,831	25,664	181,126	8,532	0.812	0.115	2.44

| 표 부록-3 | 대형선망어업 어종별 어획비중

단위 : 톤, %

연도	합계	고등어류	전갱이류	고등어비중	전갱이비중
1990	358,993	92,775	12,525	0.2584	0.0349
1991	191,815	82,541	10,664	0.4303	0.0556
1992	212,475	108,848	21,316	0.5123	0.1003
1993	283,577	156,573	30,062	0.5521	0.1060
1994	310,967	197,761	35,036	0.6360	0.1127
1995	227,995	159,820	7,521	0.7010	0.0330
1996	453,337	386,877	10,790	0.8534	0.0238
1997	184,789	139,293	12,867	0.7538	0.0696
1998	205,037	148,892	15,296	0.7262	0.0746
1999	229,927	155,728	7,913	0.6773	0.0344
2000	179,988	109,025	14,288	0.6057	0.0794
2001	231,821	177,935	10,729	0.7676	0.0463
2002	181,849	126,519	18,965	0.6957	0.1043
2003	158,662	113,121	13,558	0.7130	0.0855
2004	220,004	175,831	17,179	0.7992	0.0781
2005	173,795	127,983	20,831	0.7364	0.1199
2006	146,839	93,787	17,815	0.6387	0.1213
2007	194,093	138,086	9,566	0.7114	0.0493

## 〈고등어 생물적 계수(r, K) 추정〉

Dependent Variable: A				
Method: Least Squares				
Date: 09/28/09 Time : 01:59				
Sample: 1990 2006				
Included observations: 17				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X	0.543643	0.160877	3.379241	0.0041
X^2	-3.50E-07	1.31E-07	-2.671673	0.0174
R-squared	0.224948	Mean dependent var		152058.1
Adjusted R-squared	0.173278	S.D. dependent var		164918.6
S.E. of regression	149951	Akaike info criterion		26.78414
Sum squared resid	3.37E+11	Schwarz criterion		26.88216
Log likelihood	-225.6652	Hannan-Quinn criter.		26.79388
Durbin-Watson stat	1.599203			

## 〈전갱이 생물적 계수(r, K) 추정〉

Dependent Variable: A				
Method: Least Squares				
Date: 09/28/09 Time: 02:17				
Sample: 1990 2005				
Included observations: 16				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X	0.549859	0.179479	3.063641	0.0084
X^2	-3.57E-06	1.52E-06	-2.350632	0.0339
R-squared	0.120191	Mean dependent var		16461.88
Adjusted R-squared	0.057347	S.D. dependent var		18817.79
S.E. of regression	18270.25	Akaike info criterion		22.5804
Sum squared resid	4.67E+09	Schwarz criterion		22.67698
Log likelihood	-178.6432	Hannan-Quinn criter.		22.58535
Durbin-Watson stat	1.35033			



### 〈고등어 기술적 계수(q) 및 Cobb-Douglas 승수 추정〉

Dependent Variable: LOG(YIELD_TON)				
Method: Least Squares				
Date: 09/28/09 Time: 11:27				
Sample: 1990 2008				
Included observations: 19				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.998766	3.667849	-0.272303	0.7889
LOG(EFFORT_HAUL)	0.689922	0.35513	1.942733	0.0699
LOG(X)	0.467192	0.312241	1.496253	0.1541
R-squared	0.461065	Mean dependent var		11.80091
Adjusted R-squared	0.393699	S.D. dependent var		0.238118
S.E. of regression	0.185412	Akaike info criterion		-0.388538
Sum squared resid	0.550039	Schwarz criterion		-0.239416
Log likelihood	6.691114	Hannan-Quinn criter.		-0.363301
F-statistic	6.844104	Durbin-Watson stat		1.605532
Prob(F-statistic)	0.007117			

### 〈전갱이 기술적 계수(q) 및 Cobb-Douglas 승수 추정〉

Dependent Variable: LOG(YIELD_TON)				
Method: Least Squares				
Date: 09/28/09 Time: 11:43				
Sample: 1990 2008				
Included observations: 19				
	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-4.713701	6.067949	-0.776819	0.4486
LOG(EFFORT_HAUL)	0.582833	0.511799	1.138792	0.2716
LOG(X)	0.788275	0.218113	3.614076	0.0023
R-squared	0.450776	Mean dependent var		9.560177
Adjusted R-squared	0.382123	S.D. dependent var		0.380902
S.E. of regression	0.299409	Akaike info criterion		0.569925
Sum squared resid	1.43433	Schwarz criterion		0.719047
Log likelihood	-2.414292	Hannan-Quinn criter.		0.595163
F-statistic	6.566008	Durbin-Watson stat		1.685568
Prob(F-statistic)	0.008279			

## 부록 2 : Maple 분석 프로그램

### [고등어 Maple 프로그램]

#### [Zero Profit – Open Access : 고등어]

> restart;

> Xeq:0.55\*Xoa\*(1-Xoa/1553266)-0.368\*Eoa^0.69\*Xoa^0.467;

> Eoa:(1272/21686.000)\*Yoa;

> Xoa:(21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467);

> Yoa:0.55\*(21686.000/(1272\*0.368\*Eoa^(0.69-1)))^(1/0.467)\*(1-(1/1553266)\*(21686.000/(1272\*0.368\*Eoa^(0.69-1)))^(1/0.467));

> Yoa1:0.55\*(21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467)\*(1-(1/1553266)\*(21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467));

> Eoa1:1272/21686.000\*(0.55\*(21686.000/(1272\*0.368\*Eoa^(0.69-1)))^(1/0.467)\*(1-(1/1553266)\*(21686.000/(1272\*0.368\*Eoa^(0.69-1)))^(1/0.467))));

> A1:0.55\*((21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467)\*(1-((21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467))/1553266)-0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^0.69\*((21686.000/(1272\*0.368\*(1272/21686.000\*Yoa)^(0.69-1)))^(1/0.467)))^0.467;

> solve(A=0, Yoa1);

### [Max Profit – Sole Owner : 고등어]

> restart;

> Y=0.55\*X\*(1-X/1553266);

> 0=-1272+(21686/0.69\*Y)\*(Y/0.37\*X^0.467)^(1/0.69)+(21686\*0.467/0.69\*X)\*(Y/0.37\*X^0.467)^(1/0.69)/(6.5-0.55+2\*0.55\*X/1553266);

> A=-1272+(21686/0.69\*(0.55\*X\*(1-X/1553266)))\*((0.55\*X\*(1-X/1553266))/0.37\*X^0.467)^(1/0.69)+(21686\*0.467/0.69\*X)\*((0.55\*X\*(1-X/1553266))/0.37\*X^0.467)^(1/0.69)/(6.5-0.55+2\*0.55\*X/1553266);

> solve(A=0, X);

## [전갱이 Maple 프로그램]

### [Zero Profit – Open Access : 전갱이]

```

> restart: Xeq:0.55*Xoa*(1-Xoa/154022)-0.0089*Eoa^0.583*Xoa^0.788;

> Eoa:(963/3002.000)*Yoa;

> Xoa:(3002.000/(963*0.0089*((963/3002.000)*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788);

> Yoa:0.55*(3002.000/(963*0.0089*Eoa^(0.583-1)))^(1/0.788)*(1-(1/154022)*(3002.000/(963*0.0089*Eoa^(0.583-1)))^(1/0.788));

> Yoa1:0.55*(3002.000/(963*0.0089*(963/3002.000*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788)*(1-(1/154022)*(3002.000/(963*0.0089*(963/3002.000*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788));

> Eoa1:963/3002.000*(0.55*(3002.000/(963*0.0089*Eoa^(0.583-1)))^(1/0.788)*(1-(1/154022)*(3002.000/(963*0.0089*Eoa^(0.583-1)))^(1/0.788)));

> A1:0.55*((3002.000/(963*0.0089*((963/3002.000)*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788))*(1-((3002.000/(963*0.0089*((963/3002.000)*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788))/154022)-0.0089*((963/3002.000)*Yoa)^0.583*((3002.000/(963*0.0089*((963/3002.000)*Yoa)^(0.583-1)))^(1/0.788))^0.788;

> solve(A=0, Eoa);

```

### [Max Profit – Sole Owner : 전갱이]

> restart;

> Y=0.549\*X\*(1-X/154022);

> 0 = -963 + (3002/0.583\*Y)\*(Y/0.00897\*X^0.788)^(1/0.583) + (3002\*0.788/0.583\*X)\*(Y/0.00897\*X^0.788)^(1/0.583)/(6.5-0.549+2\*0.549\*X/154022);

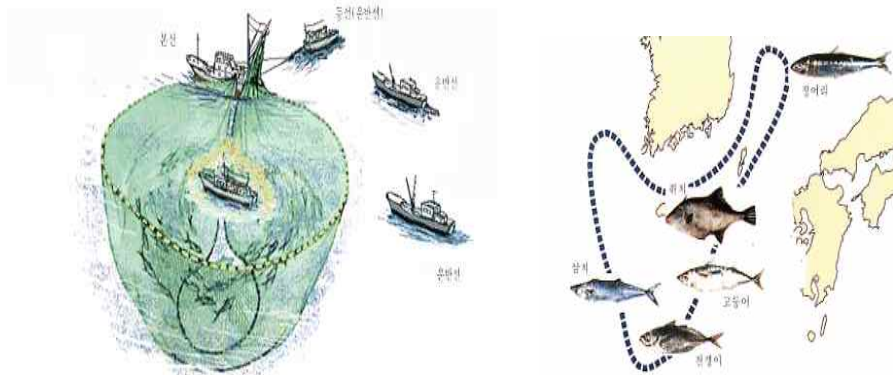
> A = -963 + (3002/0.583\*(0.549\*X\*(1-X/154022)))\*((0.549\*X\*(1-X/154022))/0.00897\*X^0.788)^(1/0.583) + (3002\*0.788/0.583\*X)\*((0.549\*X\*(1-X/154022))/0.00897\*X^0.788)^(1/0.583)/(6.5-0.549+2\*0.549\*X/154022);

> solve(A=0, X);

## 부록 3 : 근해 선망 관련 자료

### 〈조업 방법 및 선단 구성〉

- 근해선망어업은 총톤수 8톤 이상의 동력선에 의하여 선망을 사용하여 수산동물을 포획하는 어업이다. 대형선망의 어선규모는 50톤 이상~130톤 미만이며, 소형선망의 어선규모는 8톤 이상~20톤 미만이다.



자료 : 수산경제정책연구원, 2004

### 부록 그림-1 | 근해선망 조업도

- 선단구성 및 조업방법(예) : 129톤 본선 1척, 87톤 등선 2척, 150~300톤 급 운반선 3척으로 선단을 구성하여 조업. 그물을 둘러 고등어, 전갱이 등을 포획하는 어업으로 연근해어업에서 가장 규모가 큰 어업임.
- 조업일수 : 연간 250~300일(월 25일).
- 자율휴어기 : 음력 3월 14~ 4월 14일.

선망 본선(129톤급)



선망 등선(87톤급)



선망 운반선(150~300톤급)



부산 남항 출항모습



자료 : [http://www.sunmang.com/05\\_sunmang/01\\_sunmang.php](http://www.sunmang.com/05_sunmang/01_sunmang.php)

| 표 부록-4 | 근해선망어업 변천사

시 기	내 용
일제시대	고등어건작망어업과 정어리건작망어업으로 대별
1953년 수산업법	-주무부장관 허가어업 제11조 : 기선건작망어업 -지방장관 허가어업 제12조 : 선망어업
1971년 1월 22일 수산업법 개정	건작망어업 명칭 대신 선망어업 명칭만 사용 -기선선망어업 : 제1종 선망어업 명칭 개정 -선망어업 : 제2종 선망어업 명칭 개정 ※ 제1종 : 동력선에 의한 선망어업, 제2종 : 무동력선
1978년 6월 17일 농수산부령 제725호	“허가어업의 명칭과 어선의 규모 및 기준에 관한 규칙”에 의거 대형선망어업과 소형선망어업 2종으로 분류 -대형선망어업 : 본선 70톤 이상 150톤 미만(구 톤수) -소형선망어업 : 5톤 이상 30톤 미만
1991년 2월 18일 수산업법시행령	근해선망어업과 원양선망어업으로 구분
1991년 부령	“어업허가 및 신고 등에 관한 규칙”에 의거 근해선망어업을 대형선망어업과 소형선망어업으로 분류
2008년 12월 31일	“어업허가 및 신고 등에 관한 규칙”에 의거 대형선망 본선 총톤수가 50톤 이상 140톤 미만으로 기준 변경

자료 : [http://www.sunmang.com/05\\_sunmang/01\\_sunmang.php](http://www.sunmang.com/05_sunmang/01_sunmang.php)

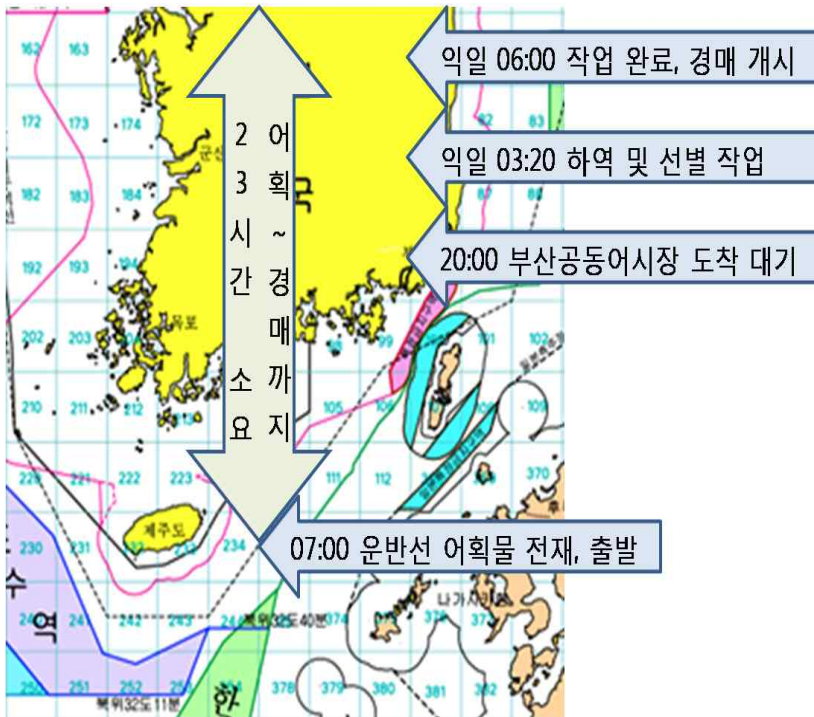


| 표 부록-5 | 대형선망어업 양륙지별 위판

단위 : 톤, 백만 원

		2005		2006		2007		2008	
합 계	수량	176,501	100.0	148,984	100.0	197,999	100.0	238,368	100.0
	금액	204,857	100.0	185,985	100.0	226,690	100.0	268,582	100.0
부산공동어 시장	수량	149,161	84.5	122,269	82.1	157,405	79.5	182,724	76.7
	금액	175,340	85.6	156,798	84.3	186,962	82.5	219,527	81.7
부산시수협 다대위판장	수량	13,520	7.7	15,884	10.7	23,885	12.1	27,174	11.4
	금액	14,615	7.1	16,308	8.8	23,674	10.4	28,443	10.6
한림수협	수량	729	0.4	614	0.4	969	0.5	2,520	1.1
	금액	715	0.3	686	0.4	1,163	0.5	2,042	0.8
성산포수협	수량	197	0.1	87	0.1	298	0.2	149	0.1
	금액	135	0.1	56	0.0	265	0.1	218	0.1
제주수협	수량	139	0.1	156	0.1	181	0.1	201	0.1
	금액	162	0.1	87	0.0	187	0.1	152	0.1
서귀포수협	수량	15	0.0	5	0.0	118	0.1	171	0.1
	금액	12	0.0	6	0.0	37	0.0	108	0.0
인천공판장	수량	0	0.0	0	0.0	80	0.0	0	0.0
	금액	0	0.0	0	0.0	163	0.1	0	0.0
서산수협	수량	20	0.0	1,248	0.8	1,448	0.7	4,187	1.8
	금액	51	0.0	2,036	1.1	1,380	0.6	2,461	0.9
목포수협	수량	231	0.1	275	0.2	56	0.0	0	0.0
	금액	217	0.1	372	0.2	77	0.0	0	0.0
여수수협	수량	3,162	1.8	834	0.6	2,402	1.2	4,263	1.8
	금액	2,609	1.3	811	0.4	2,095	0.9	3,194	1.2
거제수협	수량	734	0.4	989	0.7	382	0.2	0	0.0
	금액	633	0.3	640	0.3	206	0.1	0	0.0
마산수협	수량	350	0.2	196	0.1	301	0.2	326	0.1
	금액	578	0.3	139	0.1	295	0.1	165	0.1
삼천포수협	수량	6,292	3.6	4,356	2.9	7,476	3.8	8,040	3.4
	금액	7,441	3.6	5,355	2.9	7,277	3.2	6,265	2.3
통영수협	수량	1,859	1.1	2,011	1.4	2,169	1.1	3,537	1.5
	금액	2,294	1.1	2,611	1.4	2,104	0.9	2,538	0.9
개별	수량	94	0.1	61	0.0	829	0.4	5,076	2.1
	금액	54	0.0	80	0.0	805	0.4	3,474	1.3

자료 : 대형선망수협 내부자료



자료 : 류정곤 외, 2009. p. 57

| 부록 그림-2 | 대형선망어업 어획물 양륙 및 경매

| 표 부록-6 | 연도별 대형선망어업 고등어, 전갱어 어획실적

단위 : MT, 천 원

연도	어획량			어획금액		
	합계	고등어류	전갱어류	합계	고등어류	전갱어류
1990	358,993	92,775	12,525	113,174,253	52,844,591	4,025,109
1991	191,815	82,541	10,664	132,152,478	50,437,783	4,321,847
1992	212,475	108,848	21,316	147,368,030	85,662,689	11,212,203
1993	283,577	156,573	30,062	174,291,816	86,502,011	14,929,379
1994	310,967	197,761	35,036	158,553,143	90,425,611	15,883,633
1995	227,995	159,820	7,521	165,187,707	112,969,358	6,728,278
1996	453,337	386,877	10,790	189,655,776	134,317,692	12,176,308
1997	184,789	139,293	12,867	134,967,556	105,650,087	9,763,429
1998	205,037	148,892	15,296	206,412,905	157,936,262	15,528,873
1999	229,927	155,728	7,913	182,454,217	134,669,228	7,821,199
2000	179,988	109,025	14,288	179,256,114	126,646,195	12,193,251
2001	231,821	177,935	10,729	215,335,207	161,656,466	12,202,901
2002	181,849	126,519	18,965	209,066,280	156,425,945	15,958,417
2003	158,662	113,121	13,558	192,929,172	148,603,024	10,859,956
2004	220,004	175,831	17,179	280,617,407	223,286,769	17,675,534
2005	173,795	127,983	20,831	206,283,916	157,705,603	14,805,428
2006	146,839	93,787	17,815	186,256,250	136,474,491	10,864,460
2007	194,093	138,086	9,566	222,199,567	170,366,141	9,941,002
2008	234,525	164,375	11,533	264,668,939	185,062,002	14,311,151

자료 : 농림수산물부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>

| 표 부록-7 | 연근해어업 어획량 평균('00~'08) 상위 10개 어종

단위 : 톤

연도	어종									
	멸치류	오징어류	고등어류	갈치	삼치류	참조기	붉은 대게	가자미 류	붕장어	전갱이 류
1990	130,195	74,172	96,297	103,736	16,700	27,890		12,594	21,848	16,586
1991	124,513	107,607	89,738	95,466	24,285	37,387		12,707	21,332	15,923
1992	116,914	136,928	115,619	87,169	7,925	39,664		14,111	23,633	26,533
1993	249,209	219,467	174,684	58,035	13,927	30,902	24,440	13,466	29,882	38,095
1994	193,398	189,572	210,442	101,052	8,667	37,212	31,063	13,343	21,703	38,433
1995	230,679	200,897	200,481	94,596	17,429	25,173	33,155	13,683	19,667	12,269
1996	237,128	252,618	415,003	74,461	6,419	22,894	37,362	18,078	17,314	14,542
1997	230,911	224,959	160,448	67,170	11,173	21,769	38,896	18,081	19,136	22,766
1998	249,519	163,016	172,925	74,851	22,809	15,011	33,146	20,135	11,913	22,132
1999	238,934	249,991	177,540	64,434	19,502	13,490	22,366	19,569	10,160	13,552
2000	201,192	226,309	145,908	81,050	25,641	19,630	16,281	15,423	8,303	19,510
2001	273,927	225,616	203,717	79,898	25,513	7,938	12,973	14,503	7,676	17,537
2002	236,315	226,656	141,751	60,172	25,956	10,941	9,166	13,816	17,210	26,037
2003	250,106	233,254	122,049	62,861	22,608	7,098	19,262	13,107	17,451	20,454
2004	196,646	212,760	184,324	66,291	26,622	17,570	23,113	12,038	16,506	25,513
2005	249,001	189,126	135,676	60,086	33,794	15,272	21,926	15,319	14,739	42,671
2006	265,346	197,084	101,611	63,739	36,484	21,428	23,890	19,879	15,242	23,261
2007	221,110	174,479	144,077	66,029	42,199	34,221	25,388	24,357	19,399	19,116
2008	261,532	186,160	187,435	72,312	40,808	33,199	28,293	20,426	18,441	22,810
평균	239,464	207,938	151,839	68,049	31,069	18,589	20,032	16,541	14,996	24,101

자료 : 농림수산식품부 수산정보포탈 <http://www.fips.go.kr/main.jsp>. 2000~2008년 어획량의 평균  
치임

부록 4 : 2009년도 어종별 TAC 할당량 및 소진량

| 표 부록-8 | 총 어용어획량 설정

단위 : 톤

대상업종	대상어종	2009년도		2008년 TAC	자원상태
		적정어획량(ABC)	TAC		
대형선망	고등어	136,000~159,000	159,000	159,000	중위평형
	전갱이	18,000~21,000	18,000	21,000	중위평형
	*정어리	-	-	5,000	* '09년 제외
근해통발	붉은대게	26,000~29,000	29,000	27,700	중위증가
근해자망, 근해통발	대    게	1,100~1,400	1,400	1,500	고위증가
잠수기	개조개	1,370~1,770	1,700	3,200	저위감소
	키조개	2,650~3,100	3,100	3,200	저위평형
마을어업	제주 소라	850~1,320	1,320	1,500	저위감소
연근해자망, 통발 등	꽃    게	5,730	5,730	6,890	저위증가
근해채낚기, 대형선망, 대형트롤, 동해구트롤	오징어	118,000~185,400	185,000	250,000	고위평형
동해구트롤	*도루묵	1,100~1,600	1,500	-	*저위평형
근해연승, 연안복합	*참홍어	140	140	-	*저위평형
계	11개어종		405,890	478,990	

자료 : 농림수산식품부 내부자료

| 표 부록-9 | 연도별 총허용어획량(TAC) 소진량

구 분	2000년 할당량/ 소진량(%)	2004년 할당량/ 소진량(%)	2005년 할당량/ 소진량(%)	2006년 할당량/ 소진량(%)	2007년 할당량/ 소진량(%)	2008년 할당량/ 소진량(%)
계	245,400/ 124,028 (50.5)	218,650/ 193,670 (88.6)	215,983/ 154,374 (71.1)	217,670/ 131,861 (60.6)	465,930/ 313,718 (67.3)	478,990/ 327,858 (68.4)
고등어 (Mackerels)	170,000/ 83,629 (49)	155,000/ 151,268 (97.6)	160,000/ 111,169 (69.5)	155,000/ 88,134 (56.9)	154,000/ 125,729 (81.6)	159,000/ 147,945 (93.0)
전갱이 (Jack mackerels)	13,800/ 9,376 (68)	10,000/ 9,933 (99.3)	12,000/ 11,991 (99.9)	19,000/ 11,370 (59.8)	19,000/ 9,108 (47.9)	21,000/ 10,967 (52.2)
정어리 (Sardines)	22,600/ 661 (3)	5,000/ 2 (0.0)	5,000/ 0 (0.0)	5,000/ 0 (0.0)	5,000/ 77 (1.5)	5,000/ 0 (0.0)
붉은대게 (Red Snow crab)	39,000/ 30,362 (78)	22,000/ 22,745 (103.4)	22,000/ 21,813 (99.1)	24,500/ 23,828 (97.3)	25,000/ 25,090 (100.4)	27,700/ 27,467 (99.2)
대게 (Snow crab)		1,000/ 780 (78.0)	1,000/ 805 (80.5)	1,000/ 1,128 (112.8)	1,200/ 1,135 (94.6)	1,500/ 1,120 (74.7)
개조개 (Purplish washington clam)		8,000/ 4,636 (57.9)	7,000/ 3,854 (55.1)	5,100/ 2,672 (52.4)	3,700/ 2,608 (70.5)	3,200/ 2,141 (66.9)
키조개 (Pen shell)		2,500/ 1,740 (69.6)	2,300/ 2,293 (99.7)	2,440/ 2,440 (100.0)	3,200/ 2,733 (85.4)	3,200/ 2,898 (90.6)
제주소라 (Cheju top shell)		2,150/ 1,688 (78.5)	1,683/ 1,585 (94.2)	1,629.5/ 1,346 (82.6)	1,480/ 1,351 (91.3)	1,500/ 1,357 (90.5)
꽃게 (Blue crab)		13,000/ 878 (6.8)	6,000/ 864 (14.4)	4,000/ 943 (23.6)	3,350/ 2,809 (83.9)	6,890/ 6,420 (93.2)
오징어 (Common squid)					250,000/ 143,078 (57.2)	250,000/ 127,543 (51.0)

주 : 오징어 : 2007(2007. 7. 1.~2008. 6. 30), 2008(2008. 7. 1.~2009. 6. 30)

## 생물경제모형을 이용한 수산물 최적 생산량 추정 및 활용에 관한 연구

---

2009年 12月 29日 印刷

2009年 12月 31日 發行

編輯兼 發行人	姜 淙 熙
發行處	韓國海洋水產開發院 서울특별시 마포구 상암동 1652
전 화	2105-2700 FAX : 2105-2800
등 록	1984년 8월 6일 제16-80호

---

組版・印刷 / 해항사 393-0836      정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터 Tel : 394 - 0337