

다수어종 · 다수어업의 TAC 평가에 관한 연구 II

- 단일어종 다수어업/다수어종 · 다수어업 TAC 평가 -

2006. 12

이정삼 · 류정곤 · John M. Gates · 남종오 · 김대영

□ 보고서 집필 내역

◆ 연구책임자

- 이 정 삼 : 제1장, 제3장, 제5장

◆ 연구진

- 김 대 영 : 제1장, 제3장, 제5장

- John M. Gates · 남종오 · 류정곤

: 제2장, 제3장, 제4장, 제5장

□ 산·학·연·정 연구자문위원

◆ Kurt Schnier (로드아일랜드대학교 교수)

◆ 권 석 재 (한국해양연구원 선임연구원)

◆ 김 도 훈 (국립수산과학원 연구사)

◆ 서 영 일 (국립수산과학원 연구사)

* 연구자문위원은 산·학·연·정 순임

머 리 말

우리나라의 총허용어획량(Total Allowable Catch : TAC) 제도는 고갈된 수산자원의 회복, 국제해양법협약의 준수 그리고 입구규제방식(input control)의 한계 극복과 같은 다양한 요인들을 해결하기 위한 하나의 대안으로서 도입되어졌다. 이러한 TAC 제도는 시행 목적에 따라 어업자원을 제대로 관리하기 위해서 우선적으로 TAC의 정확한 산정을 필요로 한다. 따라서 우리나라는 TAC 제도의 원활한 운영과 성공적 제도정착을 위해서 운영 및 관리에 용이한 단일어종·단일어업의 가정 하에서 생물학적 허용어획량(Allowable Biological Catch : ABC)을 자원학적으로 추정하고 여기에 사회경제적 여건을 감안하여 TAC를 결정하는 방식을 취했다.

하지만 우리나라의 연근해 어업은 현재 37개 이상의 어업으로 구성되어 다양한 종류의 자원을 다양한 어구를 이용해 어획하는 복잡한 형태를 띠고 있으므로 단일어업에 입각한 TAC 평가 모델만으로는 TAC 산정에 있어서 편향(bias)을 발생시킬 가능성이 커진다는 문제점이 있다. 즉, 현재의 단일어업을 전제로 한 TAC 평가 모델은 어업현실을 제대로 반영하지 못하고 TAC가 과대 평가되는 등 자원관리 목적을 효율적으로 달성하는 데 한계가 있다고 할 수 있다.

특히 향후 TAC 대상어종 및 업종이 계속 확대될 전망이지만 우리나라는 아직 다수어종 또는 다수어업에 대한 TAC 산정의 적합한 평가 모델의 활용에 있어 초보적인 단계를 벗어나지 못하고 있다. 이러한 경우 다수어업에 의한 어업별 기술적 상호작용(혼획), 경제적 상호작용(경쟁적 조업에 기초한 과잉어획노력량 투입) 그리고 생물적 상호작용(피식-포식 관계 등)과 같은 자원량 변동에 영향을 미치는 주요 요인들이 고려되지 못한다. 따라서 우리나라는 향후 시장 가치가 높은 어종을 TAC 대상어종으로 확대시키기에 앞서, 이들 어종에 대한

적합한 TAC 평가 모델을 개발하거나 적극 활용하여 자원의 비효율적 이용을 최대한 줄여나가야 한다.

본 연구는 2개년도 연구로서 우리나라 어업자원 관리정책이 TAC 제도를 근간으로 확대 발전하기 위해서 기본적으로 해결해야 할 TAC 산정에 대해 초점을 맞추고 있다. 구체적으로는 1차 연도에 다수어종·단일어업을, 그리고 2차 연도에는 단일어종·다수어업과 다수어종·다수어업을 대상으로 TAC 평가 모델을 검토하였다. 특히 본 연구인 2차 연도에는 두 가지 평가 모델을 다루고 있는데, 일차적으로 우리나라 어업현실에 적합한 단일어종·다수어업 TAC 평가 모델을 개선해서 실증적으로 적용하고 더 나아가서는 다수어종·다수어업에 활용될 수 있는 TAC 평가 모델을 구축하고 그 적용에 필요한 선결조건을 제시하는 것이다.

이 보고서는 한국해양수산개발원 수산어촌연구본부의 이정삼 책임연구원, 류정곤 연구위원, 김대영 책임연구원과 로드아일랜드대학 John M. Gates 교수, 남종오 대학원생(박사과정)이 공동으로 집필하였다. 그리고 연구수행 과정에 국립수산물과학원 서영일 연구사, 김도훈 연구사, 한국해양연구원 권석재 선임연구원 그리고 한국해양수산개발원 신영태 연구위원께서 많은 조언을 해주었다. 또한 로드아일랜드대학의 Kurt Schnier 교수는 한미공동해양정책연구소가 주최한 워크숍에서 많은 조언을 해주었다. 이 지면을 통하여 깊은 감사를 드린다.

2006년 12월

韓國海洋水產開發院
院長 李 正 煥

목 차

ABSTRACT	i
요 약	iii
제1장 서 론	1
1. 연구의 필요성 및 목적	1
2. 연구의 범위 및 방법	3
제2장 단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축	7
1. TAC 평가체계의 문제점 및 선행연구 검토	7
1) TAC 평가체계의 문제점	7
2) 선행연구 검토	10
2. 모델의 기본가정 및 구조	11
3. 기본 모델 및 분석 방법	13
1) 다수어업의 어획노력량 표준화 추정	13
2) 적용 모델 및 분석 방법	16
제3장 단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 실증분석	27
1. 분석 대상	27
2. 자료 분석	29
1) 갈치의 어업별 어획량 및 어획비율	29

2) 갈치의 어획노력량(E) 및 CPUE	30
3) 갈치의 경제적 변수 추정치	31
3. 분석 결과	33
1) 다수어업의 어획노력량 표준화 분석 결과	33
2) 어획노력량 평균법(Effort Averaging Method)	38
3) MSY 및 E_{MSY} 추정 결과	39
4) ABC 및 E_{ABC} 추정 결과	40
5) MEY 및 E_{MEY} 추정 결과	41
6) 갈치의 ABC 수준에서의 어업별 순이익 분석	44
7) 단일어종 · 단일어업(1×1)과 단일어종 · 다수어업(1×1) 비교	45
제4장 다수어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축	47
1. 선행연구 검토	47
1) 생물적 상호작용에 관한 선행연구	47
2) 기술적 상호작용에 관한 선행연구	49
2. 기본모델 및 분석방법	50
1) 생물적 상호작용의 기본모델 및 분석방법	51
2) 기술적 상호작용의 기본모델 및 분석방법	60
3. 필요 분석 자료	64
제5장 결론 및 정책 제언	67
1. 요약 및 결론	67
1) 요약	67
2) 분석의 함의 및 한계	70
2. 정책제언	74
참고문헌	79

표목차

〈표 2-1〉 Gompertz 성장함수와 어획함수의 기본 가정	18
〈표 2-2〉 Fox 모델의 장·단점	18
〈표 2-3〉 TAC 어업자원관리시스템의 제어자원 ABC 추정모델	23
〈표 3-1〉 갈치의 어업별 어획량(1995~2004)	29
〈표 3-2〉 갈치의 어업별 어획비율(1995~2004)	30
〈표 3-3〉 대상어업의 총척수, 출어일수, 적당어업비용, 판매단가	32
〈표 3-4〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치어획 경제적 변수	32
〈표 3-5〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 표준화된 CPUE 추정치	34
〈표 3-6〉 갈치의 일반선형모델 적용을 위한 회귀계수의 추정치	35
〈표 3-7〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치 CPUE 추정치와 표준화된 어획노력량	37
〈표 3-8〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 어획노력량 비율	37
〈표 3-9〉 모델 요약 및 파라미터 추정치	37
〈표 3-10〉 모델 요약 및 파라미터 추정치	38
〈표 3-11〉 CPUE 추정치	39
〈표 3-12〉 1×1어업과 1×2어업 비교	46
〈표 4-1〉 파라미터 r_i , q_i , K_1 추정방법	63
〈표 4-2〉 다수어종·다수어업에 필요한 기초자료 및 관련 추정식 및 추정변수	66

그림목차

〈그림 1-1〉	1-2차 연도의 연구 범위 및 연구 방법	5
〈그림 2-1〉	일반적 TAC 평가체계(1)	8
〈그림 2-2〉	일반적 TAC 평가체계(2)	9
〈그림 2-3〉	단일어종·다수어업의 기본구조	12
〈그림 2-4〉	단일어종·다수어업 TAC 평가체계	13
〈그림 3-1〉	갈치의 어업별 어획량 및 CPUE	31
〈그림 3-2〉	로그화된 CPUE 및 추정치	36
〈그림 3-3〉	표준화된 어획노력량 추정치 및 CPUE 추정치	38
〈그림 3-4〉	대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치 MSY와 E_{MSY}	40
〈그림 3-5〉	갈치자원의 생물적 남획 상태 하에서의 MEY	43
〈그림 3-6〉	갈치자원의 MEY 및 MSY에서의 순이익 비교	43
〈그림 3-7〉	어획노력량 비율과 순이익과의 관계	45
〈그림 5-1〉	우리나라 TAC 평가 제도의 발전 방향	76

CONTENTS

Chapter I. Introduction	85
1. Necessity and Objectives of the Study	85
2. Scope and Methods of the Study	88
Chapter II. TAC Assessment Model for a Single Species and Multi-gears	91
1. Limitations of 1×1 TAC Assessment and Case Studies	91
1) Limitations of 1×1 TAC Assessment	91
2) Case Studies	94
2. Basic Structure and Assumptions	96
3. Theoretical Approaches: Main Models and Analysis Methods	98
1) Standardization of Fishing Efforts	98
2) Fox Model Introduced by Gompertz Growth Function: MSY and ABC Estimations	101
3) Fox Bioeconomic Model: MEY and NP Estimations	110
Chapter III. Data Analysis and Results of TAC Assessment for a Single Species and Multi-gears	116
1. Target Species and Target Gears	116
2. Data Analysis	117
1) Catches and Catch Rate of Hairtail	117
2) Fishing Effort (E) and Catch per Unit Effort (CPUE: kg/haul) of	

Hairtail	118
3) Estimates of Economic Parameters for Hairtail	119
3. Analysis Results	122
1) Standardized Fishing Efforts: Results	122
2) Effort Averaging Method: Estimation of qk , and q/r	128
3) Estimates of Maximum Sustainable Yield (MSY) and Fishing Efforts at MSY (E_{MSY})	129
4) Estimates of Allowable Biological Catches (ABC) and Fishing Efforts at ABC (E_{ABC})	131
5) Estimates of Maximum Economic Yield (MEY) and Fishing Effort at MEY (E_{MEY})	132
6) Estimates of NP at the level of ABC	135
7) Comparison between Single Species by Single Gear and Single Species by Multi-gears	136
 Chapter IV. TACAM for Multi-species and Multi-gears	 138
1. Case Studies for Multi-species and Multi-gears	138
1) Biological Interactions'Cases	138
2) Technical Interactions'Cases	142
2. Theoretical Approaches of TAC Assesment Model	143
1) Theoretical Approaches of Biological Interactions	143
2) Theoretical Approaches of Technical Interactions	156
3. Data Needs	159
 Chapter V. Conclusions and Suggestions	 162
1. Summary and Conclusions	162
1) Summary	162

2) Conclusions: Implications and Limitations	167
2. Suggestions	172
REFERENCE	175
APPENDIX	179

LIST OF TABLES

<Table II-1> Basic Assumptions of Gompertz Growth Function and Harvest Function	104
<Table II-2> Strong and Weak Points of Fox Model	104
<Table II-3> Korean Tier ABC Determination System for Setting TAC ..	111
<Table III-1> Catches of Hairtail Caught by Each Gear (1995-2004) ..	117
<Table III-2> Catch Rate of Hairtail Caught by Each Gear (1995-2004)	118
<Table III-3> Total Ships, Days at Sea, Fishing Cost per Ship, Market-Sale Price of Target Species and Gears	120
<Table III-4> Economic Parameters'Estimates of Hairtail Caught by Pair Trawl and Large Otter Trawl	121
<Table III-5> CPUE (U) Data, Setup for General Linear Model, Estimated CPUE Values	124
<Table III-6> Estimates of Regression Coefficients, Related Statistics in the General Linear Model	125
<Table III-7> Standardization of Fishing Efforts of the Two Gears for Hairtail	126
<Table III-8> Average Rate of Fishing Efforts of the Two Gears for Hairtail (1989-2004)	127
<Table III-9> Model Summary and Parameter Estimates	127
<Table III-10> Model Summary and Parameter Estimates	128
<Table III-11> Estimated CPUE Produced by the Standardized Estimated	

Fishing Efforts and the Observed Total Catches	129
<Table III-12> Comparison of Economic and Biological Estimates between the Two TAC Assessment Models	137
<Table IV-1> Estimation Methods of Parameters: q, k, and r	158
<Table IV-2> Data necessary for N x N models	161

LIST OF FIGURES

<Figure I-1> Scope and Methods for 1 st and 2 nd Years	89
<Figure II-1> First Version (1) of the Common TAC assessment Process	92
<Figure II-2> Second Version (2) of the Common TAC Assessment Process	93
<Figure II-3> Basic Structure of a Single Species - Multi-gear Fishery ...	97
<Figure II-4> TAC Assessment Process for a Single Species - Multi-gears Fishery	97
<Figure III-1> Catch and CPUE of Hairtail by Gear (1989-2004)	119
<Figure III-2> Observed and Estimated ln (U) of Hairtail by Year and Gear	126
<Figure III-3> Estimated Fishing Effort (E) and Hairtail Catch Per Unit Effort (CPUE) Standardized by Gears	128
<Figure III-4> Sustainable Yield Curve, MSY and E_{MSY} for Hairtail using the Fox Model	130
<Figure III-5> Implication of MEY criterion under depleted statue of the Resource	134
<Figure III-6> Total Revenue, Cost, and Profit of Korean Pair Trawlers and Large Otter Trawlers Harvesting Hairtail: Estimates based on the Fox Bioeconomic Model	135
<Figure III-7> Relationship between Net Profit and the Rate of Fishing Efforts	136
<Figure V-1> Future Direction of TAC Assessment Process	173

ABSTRACT

A Study on Assessment of TAC for Multi-species and Multi-gears II

- Single Species & Multi-gear / Multi-species & Multi-gear TAC
Assessment -

In chapters 2 and 3, this paper, provides a Total Allowable Catch (TAC) assessment model for a single species-multi-gear fishery ($1 \times N$) as an alternative for overcoming the limits of common TAC assessment based on a single species and a single gear (1×1). As a case study on the single species and multi-gears, this paper, in these two chapters, analyzes a hairtail species caught mainly by the Korean pair trawl and large otter trawl gears (1×2). The study uses a surplus production model based on the exponential growth model (Fox 1970). The estimated information includes maximum sustainable yield (MSY), allowable biological catch (ABC), and fishing efforts for MSY (EMSY) and for ABC (EABC). Fishing efforts for the two gears are standardized and used in the general linear model (Gavaris, 1980). The Fox bioeconomic model is then used to estimate maximum economic yield (MEY) and fishing efforts for MEY (EMEY). Furthermore, introducing economic parameters for the single species and multi-gears, the paper shows the net profit (NP) to the two gears from estimated ABC. Finally, comparing this approach to the common TAC assessment model based on 1×1 , the paper suggests the necessity of TAC assessment for the

1×N case.

Chapter IV reviews case studies for multi-species and multi-gears (N×N) with biological (e.g. predator-prey, competition) and technical (e.g. bycatch) interactions and also provides theoretical approaches of TAC assessment for the N×N. These approaches use the extended surplus production models based on the logistic growth model which considers predator-prey, competition, and bycatch factors (Flaaten 1988; Clark 1985, 1990). The estimated information includes MSY and ABC. The Schaefer bioeconomic model extended by predator-prey, competition, and bycatch is then used to estimate MEY and NP of each fishing gear. In addition, this chapter proposes data necessary for NxN TAC assessment.

Chapter V contains a summary and suggests the implications and the limitations of the two abovementioned cases.

제1장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

- 우리나라의 TAC 제도
 - 1999년부터 시행된 우리나라의 TAC 제도는 고갈된 수산자원의 회복, 한·중·일 어업협정 이후 동북아 수역의 합리적 자원관리, 국제해양법협약의 준수, 그리고 입구규제방식(input control)의 한계 극복과 같은 다양한 요인들을 해결하기 위한 하나의 대안으로서 도입되었음
 - TAC 제도 도입 당시 출구규제방식(output control)에 익숙치 않았던 우리나라는 동 제도의 원활한 운영과 성공적 정착을 위해서 운영 및 관리에 용이한 단일어종·단일어업의 가정 하에서 생물학적 허용어획량(ABC)을 자원학적으로 추정하고 여기에 사회경제적 여건을 감안하여 TAC를 결정하는 방식을 취했음
- 다수어종·다수어업 TAC 평가 모델 연구의 필요성
 - 우리나라의 연근해 어업은 현재 37개 이상의 어업으로 구성되어 다양한 자원을 다양한 어구를 이용해 어획하는 복잡한 형태를 띠고 있음
 - 즉, 우리나라의 어업 현실은 여러 어종 간의 생물적 상호작용이나 여러 어업 간의 경제적 상호작용 혹은 혼획과 같은 기술적 상호작용이 혼재된 다수어종·단일어업, 단일어종·다수어업, 그리고 다수어종·다수어업이 일반적이며, 단일어종·단일어업은 극히 일부 어업에 한정되어 있음
 - 특히, 향후 우리나라 정부에 의해 추가될 TAC 대상어종들은 단일어종·단일어업의 구조가 아닌 다수어종·다수어업의 구조를 갖고 있음

- 이는 결국 향후 우리나라의 어업에 적용될 TAC 평가의 방법 또한 단일어종·단일어업에서 다수어종·다수어업으로 발전되어야 할 필요성을 반영하는 것임

○ 연구의 목적

- 본 연구는 1, 2차 연도로 구분하여 1차 연도에는 다수어종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 그 모델로부터 실증적 분석을 시행하였음
- 2차 연도에는 단일어종·다수어업과 다수어종·다수어업에 대하여 TAC 평가 모델을 구축하고 그 모델들에 대한 부분적 분석을 시행함
- 따라서 2차 연도에 해당하는 본 연구의 목적은 일차적으로 우리나라 어업현실에 적합한 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가를 구축된 모델로부터 실증적으로 분석하고,
- 더 나아가서는 다수어종·다수어업에 활용 가능한 TAC 평가 모델을 개발하고 그 적용에 필요한 선결요건을 제시하는 데에 있음

2. 연구의 범위 및 방법

○ 2차 연도에 해당하는 본 연구는 세부적으로 다시 두 부분으로 구분됨

- 우선, 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 실증 분석하는 부분과
- 다음으로 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 평가분석에 필요한 자료를 기술하는 부분임

○ 연구내용

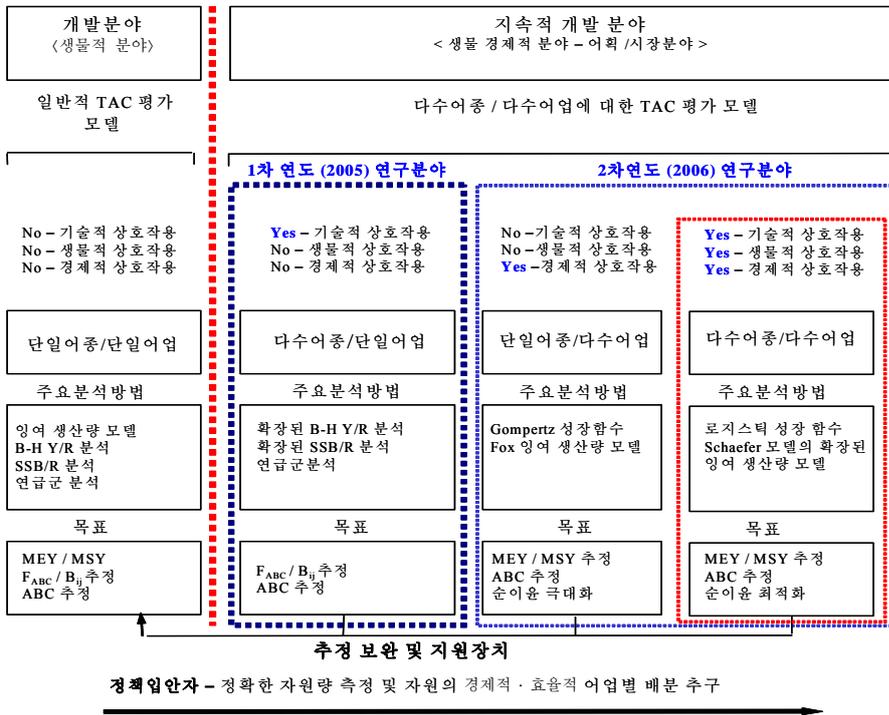
- 2장 : TAC 평가체계의 일반적인 문제점과 선행연구를 간략히 소개하고, 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축의 기본가정, 이론적 모델 및 분석방법에 대해 구체적으로 제시
- 3장 : 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 우리나라 어업에 적용하여 실증적으로 분석. ABC 수준에서 해당어업의 순이익

을 추정하고 이때의 어획노력량 및 최적 할당량 수준을 제공

- 4장 : 다수어종 · 다수어업이 가진 세 가지 유형의 상호작용에 대한 선행연구 검토 및 이론적 분석을 통해 TAC 평가 모델의 적용상 문제점 및 제약요건 그리고 향후 이러한 모델을 우리나라 어업에 적용할 때 갖춰야 할 자료 및 기본요건 등에 대해 기술

- 5장 : 1, 2차 연도의 연구 내용을 모두 요약하고, 그 분석 결과에 대한 시사점과 제약요건에 대해 제시

○ 1~2차 연도의 연구 추진체계



제2장 단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축

1. TAC 평가체계의 문제점 및 선행연구 검토

1) TAC 평가체계의 문제점

- 우리나라의 어업은 일반적으로 한 어종을 한 어업이 독점적으로 어획하는 형태가 아니라 여러 어종(다수어종)을 여러 어업(다수어업)에서 어획하는 다수어종 · 다수어업($N \times N$) 혹은 하나의 어종을 다수의 어업에서 어획하는 단일어종 · 다수어업($1 \times N$)의 형태가 일반적임
 - 그럼에도 불구하고 일반적인 TAC 평가체계가 단일어종-단일어업(1×1)에 기초하고 있어서 단일의 어업만이 고려되고 동일 대상종을 어획하는 다른 어업의 특성은 무시되고 있는 실정임
 - 따라서 현 TAC 평가체계는 다른 어업의 특성이 고려되지 않음으로써 TAC 평가치가 과소 또는 과대평가될 수 있는 문제점을 안고 있음

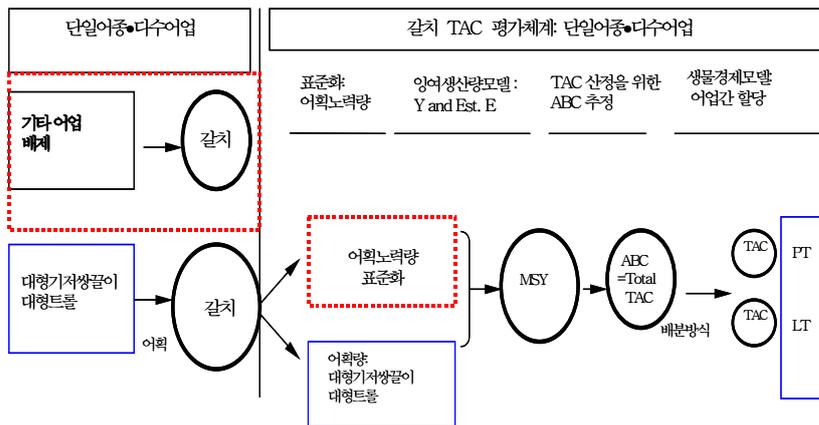
2) 선행연구 검토

- 단일어종 · 단일어업에 대한 TAC 평가 모델의 문제점을 해결하기 위한 대안으로서, 서영일 · 장창익(2001)은 근해 대형기선저인망쌍끌이어업과 안강망어업에 의해 어획된 참조기 자원에 대해 경제적 상호작용을 고려한 개별 어업의 최적할당량을 추정하는 바 있음
- 외국의 선행연구
 - Francis(2002)는 말라위에 위치한 Malombe호의 Chambo(틸라피아 일종) 어업과 Malombe호 전체 어업 간의 자원이용에 대해 생물경제 모델을 적용한 바 있는데, 그는 Gordon-Schaefer와 Fox의 잉여생산량모형을 적용하였고, 여러 어업의 어획노력량 단위를 조정하여 자망 어구로 표준화하였음. 분석 결과, 현재의 어획능력이 지속가능한 생산에 필요한 어획능력을 훨씬 초과하는 것으로 나타났음
 - Berachi(2003)는 탄자니아의 관행어업에 대해 어획노력량 표준화 및

Gordon-Schaefer의 잉여생산량모형을 적용하여 동 어업이 경제적 최적점을 초과하여 어획노력량을 투입하고 있는 것을 밝혀냈음

2. 모델의 기본가정 및 구조

- 단일어종 · 다수어업(1×2) 모델의 기본 가정
 - 첫째, 다수어업 간의 경제적 상호작용이 존재함. 즉, 갈치에 대한 대형기저쌍끌이어업의 어획량이 증가하면 할수록 대형트롤어업이 어획할 수 있는 갈치의 어획량은 감소한다는 가정임
 - 둘째, 어획량은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 어획량만 고려함. 이는 상기 두 어업을 제외한 다른 어업에 의해 어획된 갈치의 어획량은 고려하지 않는다는 것임
- 단일어종 · 다수어업 TAC 평가체계



3. 기본 모델 및 분석 방법

- 적용 모델
 - 본 연구에서 단일어종 · 다수어업(1×N)의 기본 모델은 잉여생산량모

- 텔을 사용하는데, 이는 갈치의 자원생태학적 정보의 부족에 기인함
- 즉, 특정 어업 및 어종에 대해 단지 최소한의 정보(예, 어획량과 어획 노력량)만이 존재할 때, 개별 어종에 대한 보존적 접근의 한 방편으로서 일반적으로 본 모델을 사용하기 때문임
- 또한 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 연도별 어획노력량(E)과 단위노력당어획량(CPUE)이 지수함수적 상관관계를 나타낼 경우 Fox 모델을 사용할 수 있기 때문임
- 다수어업의 어획노력량 표준화 추정
 - 우리나라 갈치자원은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 총 어획량의 약 50%가 어획되고 있으나 이들 어업이 갈치를 어획하는데 투입하는 어획노력량은 그 단위가 같지 않음
 - 따라서 갈치에 대한 MSY와 MEY를 결정하고, 경제성 분석을 통하여 두 어업에 대한 적정 어획량을 배분하기 위해서는 각 어업별 어획노력량을 하나의 노력단위로 표준화할 필요가 있음
 - 본 연구에서는 Gavaris(1980)에 의해 개발된 일반선형 모델의 분석방법을 사용하여 두 어업의 어획노력량 단위를 표준화함
- 분석 방법
 - 추정된 Fox 모델의 생산곡선으로부터 최대지속적생산량(MSY)과 이때의 어획노력량(E_{MSY})을 추정함
 - 우리나라 TAC 어업자원관리시스템에 의한 저어자원의 ABC 추정모델을 이용하여 갈치에 대한 활용 가능한 정보수준(4단계)에 따라 ABC를 추정함
 - 최대경제적생산량(MEY)과 이때의 어획노력량(E_{MEY})은 총 순이익을 추정한 후 어획노력량(E)에 대해 미분하여 0으로 놓고 이때의 어획노력량을 추정함

제3장 단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 실증분석

1. 분석 대상

- 대상어종 및 어업
 - 분석 대상은 현재 9개의 TAC 대상어종에 속하지 않는 상업적 가치가 높은 어종으로서 다수어업에 의해 어획되고 있는 갈치를 그 대상어종으로 선정하였음
 - 최근 10년(1995~2004) 동안 갈치를 어획한 어업별 어획비율을 검토한 후, 그 중 어획비율이 높은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업만을 본 연구의 분석 대상 어업으로 한정하였음

2. 자료 분석

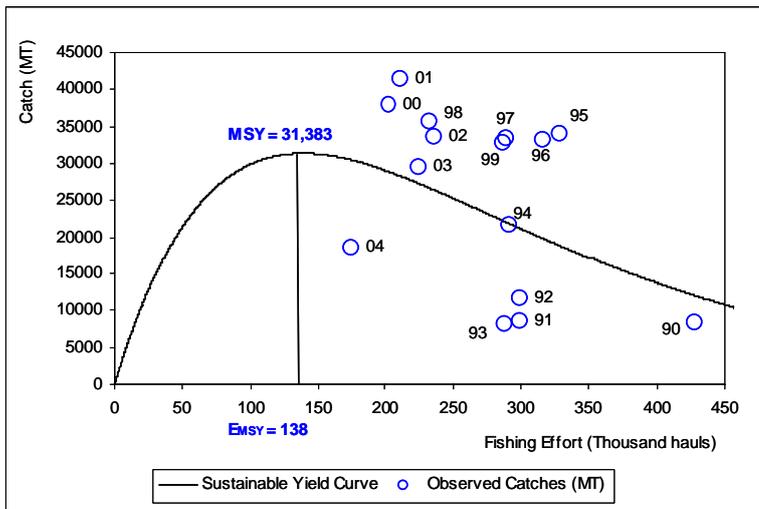
- 어획량과 어획비율
 - 갈치를 어획하는 개별 어업의 최적 어획 할당량을 분석하기 위해서, 최근 10년간 갈치를 어획한 주요 어업의 개별 어획량 및 어획비율을 사용하였음
 - 갈치를 어획하는 개별 어선의 어획노력량(E)을 표준화하기 위해서 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 어업별 갈치의 CPUE를 이용함
- 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치어획 경제적 변수
 - 갈치의 연도별 판매단가와 대상어업의 연도별 척당 어업비용과 출어일수는 수협경영조사보고서 통계자료를 이용함
 - 대상어업의 총척수는 해양수산부 선박 통계자료를 이용하였음
 - 단위어획비용인 1인망당 어업비용은 출어일수와 1일 평균 인망 횟수를 추정하여 척당 연평균 인망 횟수를 계산한 후, 이 값으로 척당 총어업비용을 나누어 구하였음
 - 어획노력량은 연도별 개별 어업의 척당 어획노력량의 평균값을 이용하였고, 생산액 비율은 각 어업의 총생산액에서 갈치가 차지하는 생산액의 비율이며, 그 값은 연도별 생산액 비율의 평균값을 사용하였음

어업	척당어업비용 (천원/척)	어획노력량 (인망수/척)	판매단가 (P: 원/Kg)	단위어획비용 (a: 원/인망)	생산액비율 (m: %)
대형기저쌍끌이	1,682,950	853	1,519	1,765,369	0.151
대형트롤	1,595,634	798	1,135	2,196,907	0.119
평균	1,639,292	-	1,327	1,981,138	0.135
합계	-	1,651	-	-	-

3. 분석 결과

- 다수어업의 어획노력량 표준화 분석 결과
 - 분석을 통해 모델의 절편으로부터 추정된 기준 CPUE 추정치는 17.2이며, 2000년(16.3)과 2001년(17.0)을 제외하고는 기준 CPUE 추정치와 다소 차이가 있는 것으로 나타났음
 - 각 어업의 어획노력량 비율은 각 어업의 어획노력량을 표준화된 어획노력량으로 나누어서 구할 수 있는데, 대형기저쌍끌이어업은 0.76이었고, 대형트롤어업은 0.24로 나타났음
- 어획노력량 평균법에 의한 계수 추정
 - 평형단위노력당어획량($U_{\infty} = qK$)과 계수($-q/r$)를 추정하기 위해 Eview 3.1을 사용하였는데, 추정된 계수의 값은 각각 615.916과 -0.00000722로 나타났음
- MSY 및 E_{MSY} 추정 결과
 - 추정된 Fox 모델의 생산곡선에서 도출된 두 어업의 MSY는 31,383톤이고, 이때의 어획노력량(E_{MSY})은 138,504인망수로 나타났음
 - 한편 개별 어업의 MSY와 E_{MSY} 는 평균 어획노력량 비율(대형기저쌍끌이 0.76, 대형트롤 0.24)을 이용하여 구할 수 있는데, 대형기저쌍끌이어업의 MSY는 23,778톤, E_{MSY} 는 105,263인망수로 나타났고 대형트롤어업의 MSY는 7,605톤, E_{MSY} 는 33,241인망수로 나타났음

- 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 같치 MSY와 E_{MSY}



- 90년대 후반 들어 대형기저쌍끌이어업 및 대형트롤어업에 의한 어획량과 어획노력량 모두 MSY와 E_{MSY} 수준을 초과하여 자원남획을 야기하고 있음을 보여주고 있는데, 이러한 결과는 두 어업에 의해 어획된 같치의 어획량이 급격히 감소한 것과 무관하지 않음

- ABC 추정 결과

- ABC 추정식에 따라 산출된 두 어업에서의 같치의 ABC는 15,283톤임
- MSY와 ABC 간의 커다란 차이는 최근 CPUE의 급속한 감소에 기인함
- 도출된 ABC 수준은 MSY상의 ABC 수준의 약 49% 정도에 해당하는데, 어획노력량 비율에 근거한 개별 어업의 어획노력량 수준을 보면, 대형기저쌍끌이어업이 11,615톤, 그리고 대형트롤이 3,668톤임

- MEY 및 E_{MEY} 추정 결과

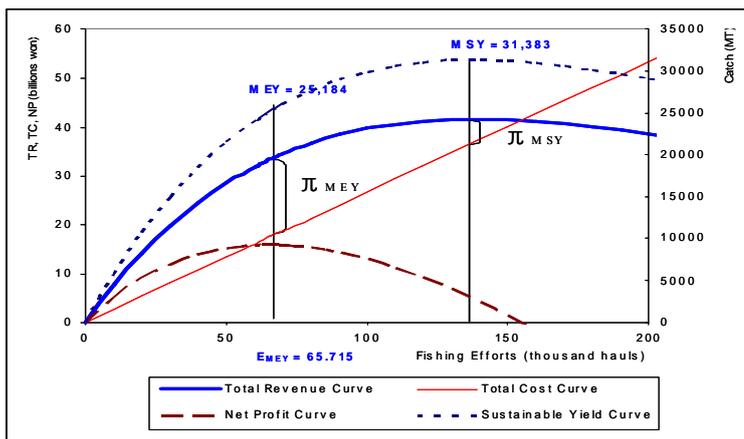
- 두 어업에서의 MEY는 25,184톤이고, 이때의 표준화된 어획노력량 (E_{MEY})은 65,715인망수였음

- 또한 어업수입과 어업활동에 소요되는 비용관계식으로부터 추정된 MEY 수준에서의 순이익(NP)은 약 15,854백만 원으로 나타났음
- 그리고 MEY 수준에서 두 어업의 연평균 어획노력량인 1,651인망수로 나누어 전체 조업척수를 환산하면 총 40척이고, 여기서 두 어업의 어획노력량 비율로 환산하면 대형기저쌍끌이어업의 조업척수는 30척, 대형트롤어업의 조업척수는 10척임

○ MSY와 MEY 비교

- 두 어업에서 추정된 같치의 MEY와 MSY를 비교해 보면 MEY는 MSY의 약 80% 수준이며, E_{MEY} 는 E_{MSY} 의 47% 수준에 있음
- 이는 어획노력량을 MSY 수준으로 감소하여도 그 어획량의 감소폭은 상대적으로 낮다는 것을 의미함
- 즉, 어획노력량을 53% 감소시켜도 어획량은 20%만 감소한다는 것으로서 현재의 어획노력량이 과잉 투입되어져 왔다는 것을 반영함

○ 같치자원의 MEY 및 MSY에서의 순이익 비교



○ ABC 수준에서의 어업별 순이익 분석 결과

- 같치의 ABC 수준에서의 평균 어획노력량 비율에 의한 순이익은 대형

기저쌍끌이어업에서 약 17,643백만 원, 대형트롤어업이 약 4.162백만 원으로 계산되었음

- 따라서 두 어업에서의 총순이익은 약 21,805백만 원임
 - 이러한 결과는 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업에 비해 단위비용이 낮고 시장 판매가격이 높기 때문임
 - 한편, 갈치 어획에 대한 두 어업의 순이익이 같아지게 되는 시점에서 두 어업의 어획노력량 비율은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업이 각각 0.57과 0.43일 때임
 - 여기서 두 어업의 순이익은 각각 9,933백만 원이 되며 두 어업의 총순이익은 19,867백만 원이 되는데, 이는 현재의 어획노력량 비율에 의한 총순이익보다 약 1,938백만 원이 낮은 수치임
- 단일어종 · 단일어업(1×1)과 단일어종 · 다수어업(1×N) 비교
- 분석 결과, 단일어종 · 단일어업(1×1)에서의 MSY는 36,972톤으로서 단일어종 · 다수어업(1×2)에 의한 MSY인 31,383톤을 상회함
 - 또한 1×1 모델에서의 ABC는 17,548톤으로서 1×2 모델에 의한 ABC인 15,283톤을 상회하였음
 - 추가적으로 단일어종·단일어업(1×1)에서의 MEY는 31,542톤으로서 단일어종 · 다수어업(1×2)에 의한 MEY인 25,184톤을 상회하였음
 - 분석 결과에서 알 수 있듯이 1×1 모델에 의한 개별 어업의 MSY 또는 ABC의 합계는 특정 어종에 대한 MSY 또는 ABC 추정에 있어서 과대추정으로 이어질 가능성이 높은 것으로 나타났음

모델	단일어종 · 단일어업(1×1)			단일어종 · 다수어업(1×2)		
	갈치 & 대형기저쌍끌이	갈치 & 대형트롤	합계	갈치 & 대형기저쌍끌이	갈치 & 대형트롤	갈치 & 두 어업
MSY(톤)	29,129	7,843*	36,972	23,778	7,605	31,383
ABC(톤)	9,705	7,843*	17,548	11,615	3,668	15,283
MEY(톤)	27,161	4,381	31,542	-	-	25,184

제4장 다수어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축

1. 선행연구 검토

1) 생물적 상호작용에 관한 선행연구

○ 포식자와 피식자의 관계

- 생물적 상호작용이 다수어업의 최적 어획 전략에 미치는 효과를 증명하기 위해 포식자-피식자 관계에 관련된 연구가 발전해왔음
- 이 중에서 Flaaten(1988)과 Flaaten & Stollery(1994)는 다수어업에 대한 포식자-피식자 잉여생산량모델을 도입하였음
- 우선 Flaaten(1988)은 포식자-피식자 잉여생산량모델을 바렌츠해 어업에 적용하였는데, 당시 그의 연구에서 어류자원을 늘리기 위해서는 해양포유동물의 자원량을 크게 감소시켜야 한다고 주장하여 국제적으로 많은 논쟁을 불러 일으켰음
- 이후 Flaaten & Stollery(1994)는 북동대서양 밍크고래의 어류 포식에 따른 경제적 영향을 분석하여 동 밍크고래의 자원량이 10% 증가할 경우 노르웨이 대구와 청어 어획에 의한 총이익이 각각 5.2%와 12.4% 정도 감소하여 1,700만 달러 이상의 손실이 발생함을 밝혀냈음
- 한편, 다수어종평가실무그룹(Multispecies Assessment Working Group)은 다수어종 간 포식자-피식자 관계 등 생물적 상호작용에 대한 연구를 통해 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가에 기여해 왔음(Pascoe, 1995)

○ 경쟁적 공존 및 배제의 관계

- 경쟁적 공존 및 배제관계는 두 어종이 동일한 서식지 내의 공간에서 서로 경쟁할 때 발생하는데, 1940년대와 1950년대 태평양 정어리 자원량의 붕괴가 지나친 과잉어획의 결과였고, 그 결과 그 당시 어획하지 않았던 멸치 자원이 정어리 자원의 붕괴자리에 대체되었음(Clark,

1990)

- 즉, 멸치의 자원량이 정어리 자원의 회복을 방해한 것으로 나타났음
- 하지만 어업에서의 경쟁적 행동에 대한 사례 연구는 거의 드문 실정인데, 이러한 주요 원인은 어종 간의 경쟁적 공존에서 피식자와 포식자의 관계만큼 명확하게 결론을 내릴 수 있는 근거를 찾기 어렵기 때문임

2) 기술적 상호작용에 관한 선행연구

- 다수어종 · 다수어업에 관한 기술적 상호작용
 - 기술적 상호작용은 인간의 어획활동으로부터 야기된 결과로서 특정 어종을 어획하는 한 어업이 다른 어종의 어획사망률에 영향을 끼칠 때 발생함(Ryu, Gates, Nam, 2005; Sparre, 1998)
 - 따라서 이러한 기술적 상호작용의 형태는 다양한데, 대표적으로 혼획을 들 수 있음
 - 또한 다수어종 간의 생물적 상호작용이 존재하면서 이들 어종이 동일한 장소에서 함께 서식한다면 동일한 기술적 상호작용이 발생할 수 있음
- 선행연구
 - 이상의 현상을 설명하기 위해서 Anderson(1975)은 이론적인 2개 어종에 대한 복수어종 모델을 개발하였는데, 그의 모델에서 한 어종의 어획은 그 어종에 대한 어획노력량의 함수이기도 하면서 타 어종에 대한 어획노력량의 함수이기도 함
 - 또한 Clark(1985)은 혼합어종을 어획하는 혼합어업(Mixed Species Fisheries)에 대한 이론적 모델을 제시하였음
 - Dann과 Pascoe(1994)는 Anderson의 모델과 유사한 모델을 개발하였고, 그들은 목표어종과 부수어획어종의 어획능력계수를 따로 추정하였음

2. 기본모델 및 분석방법

○ 기본모델

- 다수어종 · 다수어업의 경우, 어종 및 업종 간의 상호작용에 기인하여 개별적으로 어업 및 어종을 독립시켜 모델을 분석하기가 쉽지 않음
- Anderson은 이러한 문제를 고려하기 위해, 다수어종 · 다수어업 간의 상호작용을 크게 기술적 상호작용과 생물적 상호작용으로 나누어 이론적으로 규명하였음(Anderson, 1975)
- 첫째, 생물적 상호작용은 어종 간의 상호작용을 의미하며, 그 한 예로서 상업적 가치가 높은 한 어종이 상업적 가치가 있는 다른 어종을 잡아먹는 포식자와 피식자의 경우를 들고 있음
- 둘째, 기술적 상호작용은 다수어업 내의 개별 어종의 어획량과 어획노력량 간의 상호작용을 의미함

1) 생물적 상호작용의 기본모델 및 분석방법

○ 포식자와 피식자의 관계

- 경제적 파라미터(가격, 비용)는 포식자-피식자 잉여생산량모델 속에 포함되어 고려될 수 있음
- 즉, 2개 어종의 포식자-피식자 관계 하에서는 이익 곡선 속에서 두 어종을 결합하는 것이 필요함

○ 경쟁적 공존 및 배제 관계

- 경제적 파라미터(가격, 비용)는 경쟁적 배제 및 공존관계의 잉여생산량모델 속에 포함되어 고려될 수 있음
- 경쟁적 배제 및 공존관계 하에서는 이익 곡선 속에서 두 어종을 결합하는 것이 필요함

2) 기술적 상호작용의 기본모델 및 분석방법

○ 파라미터 r , q , K 추정방법

모델	방법	추정식
로지스틱 잉여생산량 (Logistic Surplus Production)	Schaefer	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r - \frac{r}{qK} \bar{U}_t - q\bar{E}_t$
	Schnute	$\ln\left(\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right) = r - \frac{r}{qK} \left(\frac{\bar{U}_t + \bar{U}_{t+1}}{2}\right) - q\left(\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right)$
	Walters와 Hilbom	$\frac{\bar{U}_{t+1}}{\bar{U}_t} - 1 = r - \frac{r}{qK} \bar{U}_t - q\bar{E}_t$
지수 잉여생산량 (Exponential Surplus Production)	어획노력량평균법	$\ln \bar{U}_t = \ln(qK) - (q/r) \bar{E}_t$
	Fox	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r \ln(qK) - r \ln(\bar{U}_t) - q\bar{E}_t$
	Clarke, Yoshimoto, Pooley	$\ln \bar{U}_{t+1} = \frac{2r}{2+r} \ln(qK) - \frac{2-r}{2+r} \ln(\bar{U}_t) - \frac{q}{2+r} (\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1})$
일반 잉여생산량 (General Surplus Production)	Schnute	$\ln\left(\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right) = r - \frac{r}{q^{m-1}K^{m-1}} \left(\frac{\bar{U}_t^{m-1} + \bar{U}_{t+1}^{m-1}}{2}\right) - q\left(\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right)$

3. 필요 분석 자료

- 생물적 상호작용 분석에 필요한 자료
 - 일반적으로 자원평가를 수행하는 데에 부딪히는 가장 흔한 장애는 적절한 자료의 부재임
 - 생물적 상호작용 분석에 필요한 주요 자료는 포식자-피식자 그리고 경쟁적 공존 및 배제에 대한 생물학적 특성치의 계수(coefficients)임
 - 이러한 계수들은 파라미터 추정방법 또는 위 내용물 분석과 같은 생물학적 방법에 의해 추정될 수 있음
 - 이렇게 추정된 계수는 각 어종별 로지스틱(또는 지수) 성장곡선에 영향을 미치고 어종별 자원량의 변화를 반영함
- 기술적 상호작용 분석에 필요한 자료

- 기술적 상호작용에 관한 분석에 필요한 중요한 자료는 혼획계수임
- 혼획계수는 어획노력량과 혼획 자료에 의해 추정되어짐
- 분석을 위해서는 적어도 10년 이상의 혼획 자료가 축적되어야 하므로 다수어종·다수어업의 성공적인 TAC 평가를 위해서는 혼획 정보에 관한 자료체계 구축이 반드시 선행되어야 함

제5장 결론 및 정책제언

1. 요약 및 결론

- 1, 2차 연도 연구를 통해 다수어종·다수어업에 대한 세 가지 유형의 TAC 평가 모델을 제공하였음
 - 1차 연도에서는 다수어종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델의 구축 및 실증 분석을 실시하였고,
 - 2차 연도에서는 단일어종·다수어업 및 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 부분적으로 실증 분석을 실행하였음

2. 정책제언

- 단일어종·단일어업 이외의 세 가지 다수어종·다수어업($N \times 1$, $1 \times N$, $N \times N$)에 있어서의 TAC 평가에 대한 정책적 시사점을 간략히 요약하면 다음과 같음
 - 첫째, 현행 우리나라 TAC 평가 모델에 대한 보조적 평가방법으로서 자원의 보존적 접근과 관련하여 유용한 정보를 제공함
 - 둘째, 비효율적인 어획활동(과잉어획, 과잉어획능력 등)에 의해 야기된 사회적 손실을 감소시킴
 - 셋째, 과잉어획으로 인한 경쟁적 조업을 방지할 수 있음
 - 넷째, 다수어종·다수어업에서 어종별 어획량과 어획노력량 수준을

통제할 수 있음

- 다섯째, 경제성 분석을 통해 다수어업 간 어종별 TAC 최적 배분에 관한 지침을 제공하고, 또한 최적 통제 이론(optimal control theory)으로부터 이익의 순현재가치를 최적화할 수 있음
- 여섯째, 자원의 생물적 피해를 줄일 수 있음
- 일곱째, 경제적 손실을 야기하는 어업의 퇴출기준을 제공함

제1장

서론

1. 연구의 필요성 및 목적

수산자원에 대한 총허용어획량(Total Allowable Catch : TAC) 평가의 궁극적인 목적은 생태계를 파괴하지 않는 범위 내에서 자원을 최대한 이용하고 더 나아가서는 이러한 자원이용으로부터 사회 전체의 경제적 가치를 극대화하는 데에 있다. 따라서 TAC 평가는 자원의 최대 지속적 이용에 관한 정보 구축과 동시에 어업현실을 고려한 자원의 최적 이용에 관한 경제적 분석 또한 수반되어야 한다. 일반적으로 TAC가 지닌 개념적 취약성에 의해 TAC 평가를 생물적 자원량 추정, 즉 최대지속적생산량(Maximum Sustainable Yield : MSY) 추정의 협의적 개념으로 이해하기 쉽다. 하지만 이러한 평가의 최종목적은 추정된 자원량으로부터 자원이용에 관한 사회 전체의 이윤을 극대화하는 데 있다. 특히, 이러한 평가의 성공적 산물로서 정부와 업계가 바라는 정책성과는 지속 가능한 어업활동으로부터 어업인 수익의 증대와 질 높은 수산물의 안정적인 공급을 통한 소비자 효용의 극대화이다.

최근 미국에서는 이상과 같은 목적을 달성하기 위해 기존의 단일어종·단일어업에 의한 어업관리정책의 한계를 극복하기 위한 하나의 방안으로서 자원량 조사결과 특정 어종의 자원량이 남획되고 있다고 평가되면 해당지역을 관할하는 어업관리위원회(Fishery Management Council)가 더 이상의 남획을 방지하기 위해 대상어종에 대한 가장 효과적인 어업관리수단을 선정하여 미국 수산

국(National Marine Fisheries Service: NMFS)에 보고하도록 되어 있다. 그리고 해당 어업관리위원회는 이러한 어업관리수단을 선정함에 있어 향후 동 자원에 미치는 영향과 목표자원량 달성 정도, 타 어종 및 어장환경에 미치는 영향 그리고 업계의 이윤창출 정도 등 사회경제적 요인 또한 사전분석에 반드시 포함시켜 분석해야 할 법적 의무를 가지고 있다(NMFS 2002). 이것은 결국 자원량 평가가 단지 자원의 지속적 이용에 국한된 것이 아니라, 이용된 자원으로부터 사회 전체의 이윤을 극대화하는 데 있다는 것을 대변해 주는 것이다.

1999년부터 시행된 우리나라의 TAC 제도는 고갈된 수산자원의 회복과 한·중일 어업협정 이후의 동북아 수역의 합리적 자원관리, 그리고 국제해양법협약의 준수 및 입구규제방식(input control)의 한계 극복과 같은 다양한 요인들을 해결하기 위한 하나의 대안으로서 도입되었다(Ryu, Nam, Gates, 2006). 특히 남획으로 인해 고갈된 연근해 수산자원의 회복 방안으로서, 한국 정부는 보존적 차원에서 TAC 산정을 위한 생물학적허용어획량(Allowable Biological Catch : ABC) 추정시스템을 개발하였고, 이에 적합한 TAC 대상어종 선정 및 TAC 할당방법 그리고 제도운영에 관한 법안 등을 마련하였다. 하지만 당시 출구규제방식(output control)에 익숙하지 않았던 우리나라는 TAC 제도의 원활한 운영과 성공적 제도정착을 위해서 운영 및 관리에 용이한 단일어종·단일어업의 가정 하에서 ABC를 자원학적으로 추정하고 여기에 사회경제적 여건을 감안하여 TAC를 결정하는 방식을 취했다.

이론적으로 단일어종·단일어업 모델의 기본 전제는 한 어업이 한 어종만을 완전히 지배한다는 가정에서 출발한다. 따라서 본 모델은 여러 어종 간의 먹고 먹히는 생물적 상호작용이나 여러 어업 간의 경쟁적 조업에 기인한 혼획과 같은 기술적 상호작용을 배제할 수밖에 없다. 그러나 우리나라의 연근해 어업은 현재 37개 이상의 어업으로 구성되어 다양한 종류의 자원을 다양한 어구를 이용해 어획하는 복잡한 형태를 띠고 있다. 즉, 우리나라의 어업 현실은 이러한 상호작용들이 혼재된 다수어종·단일어업, 단일어종·다수어업, 그리고 다수어종·다수어업이 일반적이며, 단일어종·단일어업은 극히 일부 어업에 한정되

어 있다. 특히, 향후 우리나라 정부에 의해 추가될 TAC 대상어종들은 현실적으로 단일어종·단일어업의 구조가 아닌 다수어종·다수어업의 구조를 갖고 있다. 왜냐하면, 해양수산부의 품종별·어업별 통계자료에서도 나타나듯이 높은 시장가치를 지닌 상업적 어종의 대부분이 이상과 같은 단일어종·다수어업 또는 다수어종·다수어업의 범주 속에 포함되기 때문이다. 이는 결국 향후 우리나라의 어업에 적용될 TAC 평가의 방법 또한 단일어종·단일어업에서 다수어종·다수어업으로 발전되어야 할 필요성을 반영하는 것이다.

이상과 같은 배경 및 필요성에 따라 본 연구는 1차 연도와 2차 연도로 구분하여 1차 연도에는 다수어종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 그 모델로부터 실증적 분석을 시행하였다. 그리고 2차 연도에는 단일어종·다수어업과 다수어종·다수어업에 대하여 TAC 평가 모델을 구축하고 그 모델들에 대한 부분적 분석을 시행한다.

따라서 2차 연도에 해당하는 본 연구의 목적은 일차적으로 우리나라 어업현실에 적합한 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가를 구축된 모델로부터 실증적으로 분석하고, 더 나아가서는 다수어종·다수어업에 활용 가능한 TAC 평가 모델을 개발하고 그 적용에 필요한 선결요건을 제시하는 데에 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 앞서 언급한 바와 같이 크게 1차 연도와 2차 연도의 연구로 구분되어 있다. 1차 연도에는 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델에 초점을 맞추었고, 2차 연도에는 단일어종·다수어업, 그리고 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델에 연구의 초점을 맞추었다.

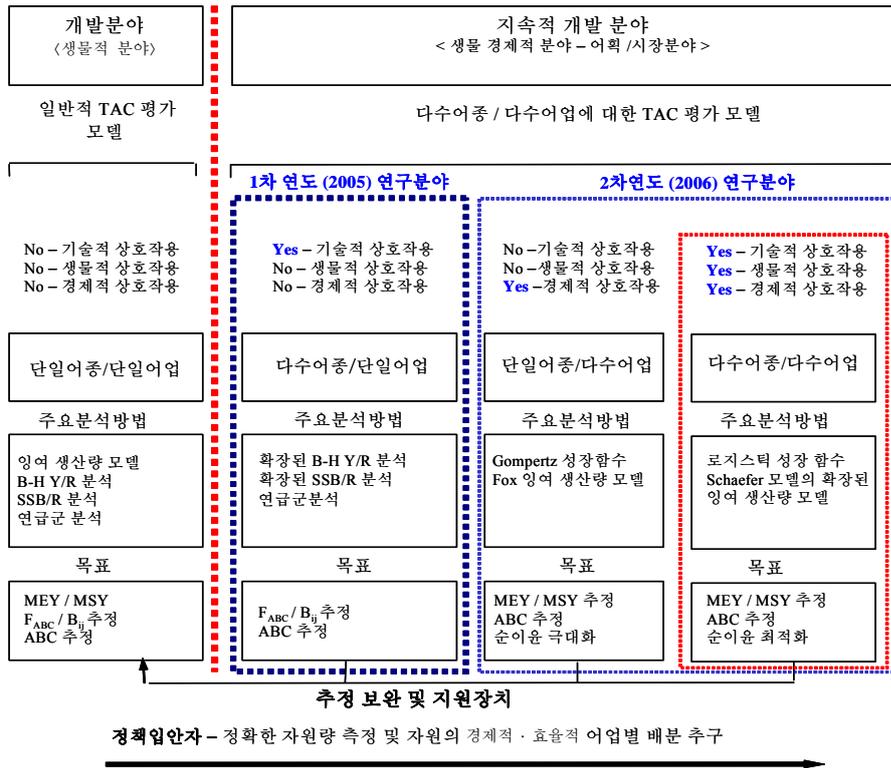
보다 구체적으로 1차 연도는 위의 세 가지 유형의 평가 모델에 대한 기본구조를 제시하고 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델을 활용하여 실증분석을 실시하였다. 실증분석의 대상어종 및 어업은 고등어와 전갱이를 어획하는 대형선망어업이며, 여기에 다수어종의 기술적 상호작용을 고려한 베버톤-홀트

(Beverton-Holt)의 가입당생산량(Yield Per Recruit : YPR) 모델을 적용하여 대상 어업의 TAC 평가를 분석하였다.

2차 연도에 해당하는 본 연구는 세부적으로 다시 두 부분으로 나누어진다. 우선, 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 실증 분석하는 부분과 다음으로 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축하고 평가 분석에 필요한 자료를 기술하는 부분이다. 구체적으로 분석의 첫 번째 모델인 단일어종·다수어업 모델은 대형기선저인망쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치를 분석대상으로 한다. 그리고 분석기법은 Fox 모델에 의한 잉여생산량모델과 Gavaris의 일반선형모델을 이용한 어획노력량 표준화 기법을 이용한다. 위의 분석 기법으로부터 본 모델은 이들 어업으로부터 어획되어지고 있는 갈치의 MSY, ABC, 그리고 MEY를 추정한 후, ABC 수준 하에서의 두 어업의 순이익을 고려한 적정 어획량 및 적정 어획노력량을 산정한다. 또한 분석된 결과로부터 단일어종·단일어업에 의한 ABC 수준과 본 연구의 모델에 의해 분석된 ABC 수준을 비교·검토한다.

분석의 두 번째 모델인 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델을 구축하기 위해, 우선적으로 생물적(예, 포식자와 피식자, 경쟁적 공존 및 배제), 경제적(예, 경쟁적 조업), 기술적(예, 혼획) 상호작용을 가진 다수어종·다수어업에 대한 선행연구를 검토하고, 그 검토된 선행연구로부터 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 구축한다. 또한 구축된 모델에 대한 실증 분석시 요구되는 제약 조건과 기본 자료들에 대해 구체적으로 기술한다.

(그림 1-1) 1-2차 연도의 연구 범위 및 연구 방법



이를 위해서 본 연구는 제2장에서 TAC 평가체계의 일반적인 문제점과 단일 어종·다수어업에 대한 선행연구를 간략히 소개한다. 또한 본 장은 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축의 기본가정과 구조 그리고 이론적 모델 및 분석방법에 대해 구체적으로 제시한다.

제3장에서는 단일어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 우리나라 어업에 적용하여 실증적으로 분석한다. 이에 따라 우선적으로 실증분석에 적용될 대상어업 및 어종을 선정하고, 분석에 필요한 이들 어업 및 어종에 대한 주요 자료를 수집 및 분석한다. 이후 단일어종·다수어업 모델이 가진 경제적 상호작용을 고려하기 위해, Gavaris의 어획노력량 표준화 기법과 Fox의 잉여생산량

모델을 적용한다. 실증분석에서는 ABC 수준에서의 대상어종(갈치)을 어획하는 해당어업(대형기선저인망쌍끌이어업과 대형트롤어업)의 순이익을 추정하고 이때의 어획노력량 및 최적 할당량 수준을 제공한다. 또한 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델과 단일어종·다수어업의 TAC 평가 모델의 분석 결과를 비교·검토한다.

제4장에서는 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축과 관련하여 다수어종·다수어업이 가진 세 가지 유형의 상호작용에 대한 선행연구 검토 및 이론적 분석을 통해, 본 모델의 적용상 문제점 및 제약요건 그리고 향후 이러한 모델을 우리나라 어업에 적용시 구비되어야 할 자료 및 기본요건 등에 대해 기술한다.

마지막으로 제5장은 1, 2차 연도 연구의 결론으로서, 1, 2차 연도의 연구 내용을 모두 요약하고, 그 분석 결과에 대한 시사점과 제약요건을 제시한다. 아울러 향후 우리나라 TAC 정책의 개선 및 발전을 위한 정책방향 및 이를 위해 갖추어야 할 기본요건 등을 제안한다.

제2장

단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축

1. TAC 평가체계의 문제점 및 선행연구 검토

1) TAC 평가체계의 문제점

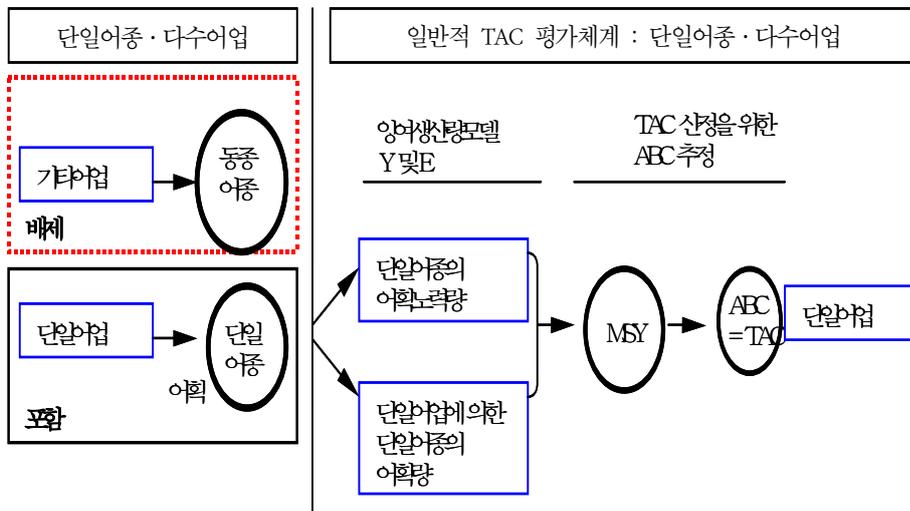
우리나라를 포함하여 세계의 어업은 일반적으로 한 어종을 한 어업이 독점적으로 어획하는 형태가 아니라 여러 어종(다수어종)을 여러 어업(다수어업)에서 어획하는 다수어종 · 다수어업($N \times N$) 혹은 하나의 어종을 다수의 어업에서 어획하는 단일어종 · 다수어업($1 \times N$)의 형태가 일반적이다. 그럼에도 불구하고 일반적인 TAC 평가체계가 단일어종 · 단일어업(1×1)에 기초하고 있어서 단일어업만이 고려되고 동일대상종을 어획하는 다른 어업의 특성은 무시되고 있는 실정이다. 따라서 현재의 TAC 평가체계는 다른 어업의 특성이 고려되지 않으므로써 TAC 산정치가 과소 또는 과대평가될 수 있는 문제점을 안고 있다. 더욱이 단일어종 · 단일어업의 경우는 업종 간 생물학적허용어획량(ABC)의 배분을 전혀 고려하고 있지 않는데, 이는 단일어종 · 단일어업 모델이 단지 단일의 어업만을 고려의 대상에 넣고 있기 때문이다.

이상과 같이 현재의 일반적인 TAC 산정모델은, 실제로 하나의 어종을 다수의 어업이 어획함에도 불구하고, 단일어업에서만 어획한다는 가정 하에 단지 단일어종 · 단일어업(1×1) 모델을 사용하고 있는 실정이다. 이러한 사례는 크게 다음과 같은 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 첫 번째는 단일어업에 의해 어획된 단일어종의 어획량만을 고려하는 것이다. 두 번째는 다수의 어업 중 가장 어획 비중이 큰 특정 어업의 어획노력량만을 고려하면서 어획량은 그 어종

을 어획하는 전체 어업의 어획량을 고려하는 것이다. 예를 들어, 다수의 어업이 선택된 한 어종을 어획하는 상황 하에서, 단일어종·단일어업(1×1) 모델에 의해 추정된 선택된 한 어종의 ABC는 단지 선택된 어업에 대한 선택된 어종의 ABC만을 반영하거나, 아니면 모든 어업에 의해 어획된 그 어종의 총 ABC를 반영하게 된다. 그러므로 후자의 경우는 선택된 어종을 어획하기 위해 이용된 모든 어업의 투입을 반영하고 있다.

〈그림 2-1〉은 잉여생산량모델에 기초한 첫 번째 유형의 TAC 평가체계를 도식화한 것이다.

〈그림 2-1〉 일반적 TAC 평가체계(1)

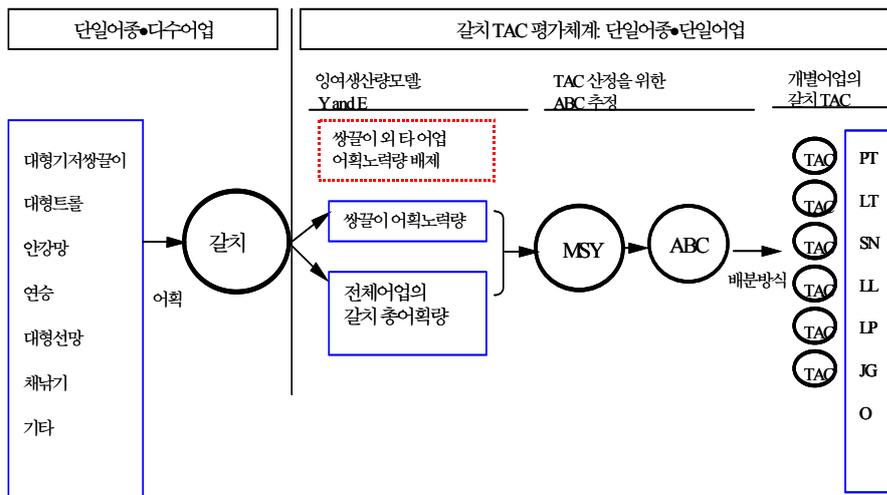


여기서는 단일어업만이 존재하므로 업종별 배분의 필요성이 없다. 따라서 대상어종에 대한 ABC가 곧바로 TAC로 결정될 수 있다.¹⁾

1) 물론 TAC의 산정은 생물학자들이 제시한 ABC를 토대로 가격, 어가소득, 어선척수, 어업수익률 등을 고려한 사회경제적 요인을 감안하여 조정되기는 하지만, 여기서 지적하고자 하는 것은 타어업에서 어획된 어획량은 전혀 고려치 않은 특정 어업의 ABC가 곧바로 TAC가 되는 데 따른 문제를 제기하는 것이다.

〈그림 2-2〉는 두 번째 유형의 TAC 평가체계로서 한국의 사례를 보여주고 있다. 우리나라의 어업은 일반적으로 $1 \times N$ 또는 $N \times N$ 의 형태를 띠고 있다. 현재의 우리나라 자원평가는 대상어종 및 어업에 대한 생물학적 그리고 기술적 정보수준에 따라 여러 가지 방법에 의해 이루어지고 있다. 그러나 이러한 방법은 대부분 특정 어종이 단지 단일의 어업에 의해 어획된다는 비현실적 가정에 기초하고 있다.

〈그림 2-2〉 일반적 TAC 평가체계(2)



예를 들면, 다수어업에 의해 어획되는 갈치는 갈치를 어획하는 모든 어업에서의 갈치 어획량 합계와 이러한 어업을 대표하는 대형기선저인망쌍끌이어업의 어획노력량을 고려하여 ABC를 추정하고 있다. 즉 갈치를 어획하는 다른 어업의 어획노력량은 ABC 추정을 위한 요소로서 고려되지 않고 있다. 따라서 추정된 ABC는 최근의 갈치 어획비율에 기초하여 각 어업에 비례적으로 배분된다. 하지만 이러한 방법은 특정한 어종의 ABC 추정에 있어, 단지 한 어업의 어획노력량만을 고려하고, 타 어업의 어획노력량을 배제함으로써 근본적인 편향(bias)을 발생시킬 수밖에 없다.

2) 선행연구 검토

우리나라의 어업 생산구조는 다수의 어업이 다양한 어업자원을 어획하고 있기 때문에 다른 나라에 비해 복잡한 어업 생산구조를 가지고 있다. 즉 앞서 언급한 바와 같이 우리나라는 한 어업이 여러 어종(다수어종)을 대상으로 어획하거나 아니면 한 어종을 여러 업종(다수어업)이 경쟁적으로 어획하는 경우가 일반적이다(Lee J. U., 1991).

하지만, 우리나라는 현재 단일어종·다수어업($1 \times N$)의 어업상황임에도 불구하고, 단일어종·단일어업(1×1)의 평가 모델을 적용하여 어업별 TAC 물량을 산정하고 있다. 이는 대상어종에 대한 높은 어획비율을 보이는 특정한 어업의 어획노력량과 모든 어업으로부터 어획된 대상어종의 총어획량 자료로부터 동 어종의 TAC 물량을 추정된 후, 동 어종을 어획하는 모든 어업의 최근 3년간 어획비율을 이용하여 어업별 TAC 물량을 산정한다(NFRDI, 2004).

따라서 이러한 TAC 분석 방법은 단지 어획 비율이 높은 특정 어업의 어획노력량만을 고려함으로써, 추정된 특정 어종의 총 TAC는 과소 또는 과대평가 되어질 수 있다.

이러한 단일어종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델의 문제점을 해결하기 위한 대안으로서, 서영일·장창익(2001)은 근해 대형기선저인망쌍끌이어업과 근해안강망어업에 의해 어획된 참조기 자원에 대해 경제적 상호작용을 고려한 개별 어업의 최적할당량을 추정하는 바 있다. 서영일·장창익은 참조기의 어획량과 어획노력량만으로 동 어종의 자원평가가 가능한 Fox 모델을 이용하였다. Fox 모델을 추정하기 위해 Gavaris(1980)에 의해 개발된 어획노력량 표준화 기법을 통해 각 어업의 어획노력량을 하나의 어획노력단위로 표준화하였다.

외국의 선행연구를 살펴보면, Francis(2002)는 말라위에 위치한 Malombe호의 Chambo(틸라피아 일종) 어업과 Malombe호 전체 어업 간의 자원이용에 대해 생물경제모델을 적용한 바 있다. 그는 Gordon-Schaefer와 Fox의 잉여생산량모델을 적용하였고, 여러 어업의 어획노력량 단위를 조정하여 자망어구로 표준화하

였다. 그의 연구는 1979~1999년 사이의 어획량, 어획노력량, 가격 자료를 이용하여 어업 간 자원이용에 대한 생물경제모델을 적용하였는데, 분석 결과, 현재의 어획능력이 지속가능한 생산에 필요한 어획능력을 훨씬 초과하는 것으로 나타났다.

Berachi(2003)는 탄자니아의 관행어업에 대해 생물경제학적 접근을 시도하였다. 분석을 위해 그는 총어획량과 표준화된 어획노력량의 시계열 자료(1987~2000년)에 Gordon-Schaefer의 잉여생산량모델을 적용하였다. 분석 결과, 탄자니아의 관행어업은 경제적 최적점을 초과하여 어획노력량을 투입하고 있는 것으로 나타났다. 또한 현재의 어획노력량이 최대지속적생산량(MSY) 수준을 초과하여 지선어장에서 이미 과잉어획 현상이 나타나고 있음을 지적하였다.

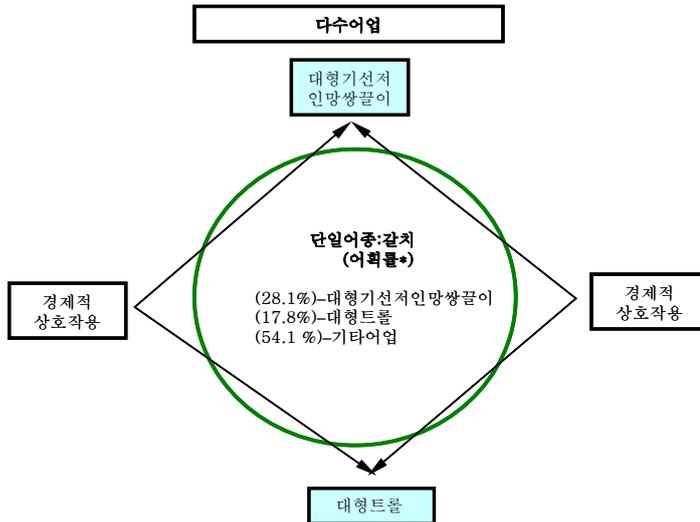
Chae & Pascoe(2005)는 한국의 연안 넙치어업에서 최적어획노력량 수준을 추정하기 위해서 생물경제모델을 적용하였다. 그들은 넙치어업에 잉여생산량 모델을 적용하면서 표준화기법을 사용하였다. 분석 결과 활용 가능한 정보가 빈약함에도 불구하고 어획노력량의 감축에 대한 유의한 추정치가 도출되었다.

2. 모델의 기본가정 및 구조

본 연구에 이용되는 단일어종·다수어업($1 \times N$) 모델의 기본 가정을 설명하기 위해서 대상어종과 어업은 제3장에서 실시된 실증분석과의 연계성을 고려하여 TAC 예비대상종인 갈치를 어획하는 대형기선저인망쌍끌이어업(pair trawl: pt)과 대형트롤어업(large otter trawl: lt)을 이용하였다. 여기서 다수어업을 단지 두 어업으로 대상을 제한한 것은 단일어종·다수어업 중 1×2 모델이 $1 \times N$ 모델의 특징을 포함한 최소 기본형으로서 단순성과 함께 2차원 공간상의 설명을 용이하게 하기 때문이다. 따라서 국내외 선행연구에서도 일반적으로 1×2 모델을 주로 사용하고 있다.

본 연구에 이용되는 단일어종·다수어업(1×2) 모델의 기본 가정을 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 다수어업 간의 경제적 상호작용이 존재한다.

〈그림 2-3〉 단일어종·다수어업의 기본구조

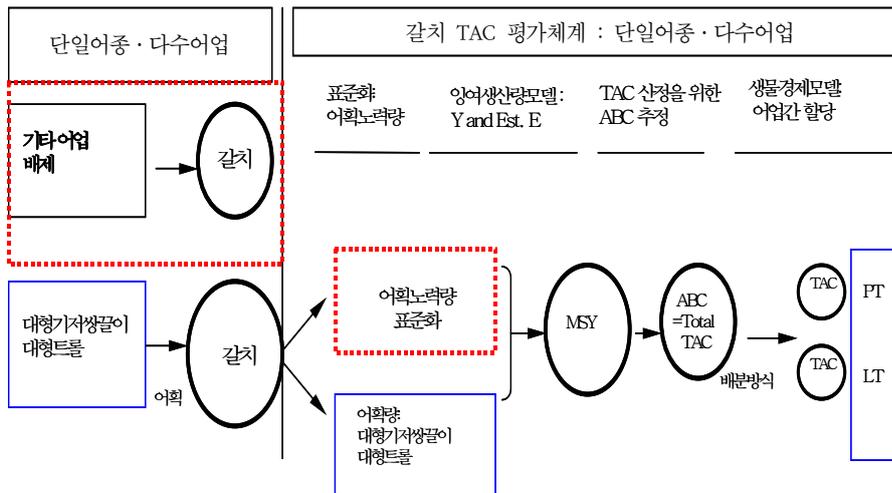


주: * 어업별 갈치 어획량은 1995~2004년간의 해양수산부 품종별 어업통계 자료에 근거함.

즉, 갈치에 대한 대형기선저인망쌍끌이어업(이하 대형기저쌍끌이어업)의 어획량이 증가하면 할수록 대형트롤어업이 어획할 수 있는 갈치의 어획량은 감소할 수 있다는 가정이다. 둘째, 어획량은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 어획량만 고려한다. 이는 상기 두 어업을 제외한 다른 어업에 의해 어획된 갈치의 어획량은 고려하지 않는다. 그 이유는 두 어업의 갈치 ABC를 추정할 때, 만일 타 어업의 어획량을 모두 고려하게 되면 두 어업의 갈치 ABC가 과대평가될 수 있기 때문이다. 이러한 모델의 기본 구조는 〈그림 2-3〉과 같이 나타낼 수 있다.

대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획되는 갈치의 TAC 평가체계는 〈그림 2-4〉와 같이 어획노력량 표준화, 잉여생산량모델, 생물경제모델의 3 단계로 구성되어 있다.

〈그림 2-4〉 단일어종 · 다수어업 TAC 평가체계



3. 기본 모델 및 분석 방법

1) 다수어업의 어획노력량 표준화 추정

우리나라 갈치자원은 2004년 기준 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 총어획량의 약 50%가 어획되고 있다. 그러나 이들 어업이 갈치를 어획하는데 투입하는 어획노력량은 그 단위가 같지 않다. 따라서 갈치에 대한 최대지속적생산량과 최대경제적생산량을 결정하고, 경제성 분석을 통하여 두 어업에 대한 적정 어획량을 배분하기 위해서는 각 어업별 어획노력량을 하나의 노력단위로 표준화할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 Gavaris(1980)에 의해 개발된 일반선형 모델의 분석방법을 사용하여 두 어업의 어획노력 단위를 표준화한다. 여기서 Gavaris는 다수 연도의 연도별 단위노력당어획량(Catch Per Unit Effort: CPUE) 자료를 비교·검토한 후, 어획노력량 단위에 영향을 주는 여러 요인들로부터 그 영향을 분리하기 위해 일반선형모델을 사용하였다.

Gavaris에 의해 개발된 어획노력량 단위의 표준화 식은 다음의 <식 2-1>과 같다.

$$\widehat{U} = U_r \prod_i \prod_j P_{ij}^{X_{ij}} e^{\varepsilon} \quad \langle \text{식 2-1} \rangle$$

여기서 U_r 는 여러 분류형 변수들(연도, 어업 등)의 각 수준(level)에서의 기준(reference) CPUE를 나타내고, i 는 여러 분류형 변수들을 나타내며, j 는 개별 분류형 변수 내의 여러 수준들을 의미한다. 그리고 P_{ij} 는 i 분류형 변수의 j 수준에 대한 상대적 어획강도를 의미한다. 개별 분류형 변수의 기준 수준에 대해, P_{ij} 는 1로서 설정되어진다. 또한 X_{ij} 는 더미변수로서 만일 X 가 i 분류형 변수의 i 수준을 제외한 다른 j 수준을 의미할 때 X_{ij} 는 1과 같다. 그러나 만일 X 가 i 분류형 변수의 i 수준을 의미하면 X_{ij} 는 0이 된다. 여기서 여러 분류형 변수들의 여러 수준 간의 한 결합에 대한 CPUE 일반모델은 로그정규분포에 기초하고 있다. 따라서 ε 는 정규확률변수(normal random variable)로서 평균 0과 일정 상수인 분산 σ^2 를 가진다. 그리고 위의 <식 2-1>을 로그로 치환하면 <식 2-2> 또는 <식 2-3>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln \widehat{U} = \ln U_r + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P_{ij} + \varepsilon \quad \langle \text{식 2-2} \rangle$$

$$Y = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_k + \varepsilon, \quad \{k\} = \{i\} \cup \{j\} \quad \langle \text{식 2-3} \rangle$$

여기서 k 는 i 와 j 를 포괄하며, Y 의 절편 β_0 는 기준 로그 CPUE를 의미한다. 그리고 파라미터 β_k 는 로그화된 어획강도 계수를 의미한다. 따라서 대형 기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 어획노력량을 하나의 단위로 표준화하기 위해서 본 연구에서는 분류형 변수로서 연도와 어구를 사용하고 개별 분류형 변

수의 각각의 수준은 2(대형기저쌍끌이, 대형트롤)와 16(1989-2004년)으로 구분한다. 이러한 분류형 변수와 개별 분류형 변수 내의 여러 수준 간의 결합을 통해 더미변수의 값을 정하고 정해진 값을 회귀모형을 이용하여 분석함으로써 두 어업 간의 CPUE(\hat{U})와 어획노력량 단위를 표준화할 수 있다(Quinn, Deriso, 1999).

한편 추정된 개별 어업의 표준화된 어획노력량(\hat{E}_m, \hat{E}_h)은 추정된 개별 어업의 CPUE(\hat{U})와 갈치 어획량(C_m, C_h)에 의해 도출된다. 따라서 표준화된 총어획노력량(\hat{E}_t)은 아래와 같이 추정된 개별 어획노력량의 합에 의해 구해진다.

$$C_t = C_m + C_h, \quad \hat{E}_t = \hat{E}_m + \hat{E}_h \quad \langle \text{식 2-4-1} \rangle$$

$$\hat{E}_m = \frac{C_m}{\hat{U}}, \quad \hat{E}_h = \frac{C_h}{\hat{U}} \quad \langle \text{식 2-4-2} \rangle$$

여기서 C_t 는 개별 어업에 의한 갈치의 연간어획량을 합산한 t 시점의 총어획량을 나타내고, C_m 와 C_h 는 각 어업에서의 연간어획량을, \hat{E}_m 와 \hat{E}_h 는 각 어업의 표준화된 어획노력량 추정치를 나타낸다. 개별 어업에서의 어획노력량 수준에 따른 갈치의 어획량(C_m, C_h)은 개별 어업의 표준화된 어획노력량 추정치의 비율에 의해 산출되어진다. 즉, 두 어업의 총어획량(C_t)에 각 어업의 어획노력량이 차지하는 비율을 곱하게 된다.

$$C_m = C_t \left(\frac{\hat{E}_m}{\hat{E}_m + \hat{E}_h} \right), \quad C_h = C_t \left(\frac{\hat{E}_h}{\hat{E}_m + \hat{E}_h} \right) \quad \langle \text{식 2-5} \rangle$$

여기서 $\frac{\widehat{E}_m}{\widehat{E}_m + \widehat{E}_u}$ 와 $\frac{\widehat{E}_u}{\widehat{E}_m + \widehat{E}_u}$ 는 개별 어업의 어획노력량비를 나타낸다.

따라서 위 식에 의해 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에서 갈치의 MSY와 그 때의 어획노력량(E_{MSY})을 추정할 수 있다.

2) 적용 모델 및 분석 방법

본 연구에서 단일어종·다수어업(1×N)의 기본 모델은 잉여생산량모델을 사용한다. 이러한 분석에 잉여생산량모델을 사용하는 이유는 우선, 갈치의 자원 생태학적 정보의 부족에 기인한다. 즉, 특정 어업 및 어종에 대해 단지 최소한의 정보(예, 어획량과 어획노력량)만이 존재할 때, 개별 어종의 보존적 접근의 한 방편으로서 일반적으로 본 모델을 사용하기 때문이다. 그리고 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 연도별 어획노력량(E)과 단위노력당어획량(CPUE)이 지수함수적 상관관계를 나타낼 경우, Gompertz 성장함수로부터 유도된 Fox 모델을 사용할 수 있기 때문이다.

갈치를 어획하는 두 어업의 표준화된 어획노력량과 표준화된 단위노력당어획량의 상관관계를 분석한 결과, 두 변수 간의 상관관계가 뚜렷한 지수함수적 성격을 나타내었다. 따라서 로지스틱 성장함수를 이용한 Schaefer 모델보다 Gompertz 성장함수를 이용한 Fox 모델을 적용하는 것이 분석에 더욱 적합한 것으로 나타났다.

(1) 잉여생산량모델과 Fox 모델

수산자원에 대한 어획노력의 영향을 추정하는 방법은 크게 분석적 모델 (Analytic Model), 가입당생산량모델(Yield Per Recruit Models), 그리고 잉여생산량모델(Surplus Production Models)로 구분할 수 있다(Zhang, 1987).

여기서 잉여생산량모델의 주된 분석은 수산자원의 생체량 변동에 중점을 둔다. 즉, 수산자원의 생체량은 일반적으로 환경적 요인과 생물 자체 간의 상호

작용에 의해 변동하고, 수산자원의 균형은 이들 요인들에 의해 변동하는 개체군의 성장률과 가입률이 자연사망률과 일치할 때 발생한다. 따라서 잉여생산량모델은 수산자원의 생체량 크기와 그 자원이 생산하는 잉여생산량(또는 균형생산량)과의 관계를 규명하는 데 그 목적이 있다.

잉여생산량모델의 발전에 대한 이론적 배경을 살펴보면 다음과 같다. 본 모델은 1838년 Verhulst에 의해 처음으로 제안되었고, 그 후 본 모델은 1920년에 Pearl과 Reed가 개발한 로지스틱 성장모델로 발전하였다.

1935년에 Graham은 수산자원의 생체량 단위를 개체수 대신 중량으로 바꾼 후, 원래의 로지스틱 성장모델을 확장한 Sigmoid 성장모델을 개발하였다.

그리고 1954년 Schaefer는 Graham 모델을 체계화시켜 쉽게 이용 가능한 Schaefer 모델로 발전시켰다. 그 후 1961년 Gulland는 자원의 가입량 가정을 달리하여 Schaefer 모델의 변형을 모색했다.

한편 본 연구에 이용된 Fox 모델은 1970년 Fox에 의해 개발되었고, Fox는 어획노력량의 함수인 생체량의 크기가 로지스틱 성장함수와 같이 선형적으로 감소하기보다는 지수함수로 감소할 것이라는 가정 하에 지수성장함수모델(Exponential Growth Function Models)을 개발하였다.

1969년 Pella와 Tomlinson은 위의 여러 모델들을 일반화시키기 위해 m 변수를 추가하여 일반생산량모델(Generalized Production Model)을 개발하였다. 그 후 1977년 Schnute는 어획능력계수도 함께 추정할 수 있는 중회귀선을 이용한 새로운 모델을 개발하였다.

그리고 1983년 Csirke와 Caddy는 지금까지 어획량과 어획노력량 자료를 이용하여 분석한 이전 모델들과 달리, 어획노력량이 어획사망률을 전적으로 반영할 수 없다고 지적하고, 어획노력량 대신 전사망률과 어획사망률을 사용하는 모델을 개발하였다. 여기서 본 연구에 이용된 Fox 모델의 개념과 기본 가정 및 장·단점을 살펴보면 다음과 같다.

Fox 모델은 어획량과 어획노력량 사이의 상관관계가 비대칭 곡선을 가지는 생산량모델의 특수한 로지스틱 형태를 취한다(Fox, 1974; 1975). 그리고 Fox 모델은 Gompertz 성장함수와 어획함수를 사용하므로 두 함수가 가진 가정을

수용하고 있으며, 이상의 두 함수의 가정을 간략히 요약하면 <표 2-1>과 같다. 또한 Fox 모델이 가진 장·단점을 살펴보면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-1> Gompertz 성장함수와 어획함수의 기본 가정

Gompertz 성장함수	<ul style="list-style-type: none"> ① 어종 간의 생물적 상호작용(먹이, 공간, 포획)은 존재하지 않는다. ② 어획의 부재시, 그 자원의 생체량은 주어진 환경수용능력 내에서 일정 상한 수준까지 특정 성장률로 증가한다. ③ 개체군 수준에서 자원의 동태를 묘사할 수 있다. ④ 개체군의 연령구조에 관한 정보는 자원량 동태를 설명하는 데 필요치 않으며, 생체량의 증가율은 자원의 연령 구성과 무관하다. ⑤ 환경요인과 같이 개체군에 영향을 미치는 다른 요인들은 배제한다. ⑥ 개체군의 감소는 자연사망을 제외하고는 모두 어획에 의한 것으로 간주한다.
어획함수	<ul style="list-style-type: none"> ① 어구의 어획능률은 연령과 시간에 관계없이 일정하다. 즉, 어획노력량과 어획사망률의 관계는 자원 크기에 독립적이다. ② 어류 자원은 일정하게 분포되어 있다. ③ 자원 내 모든 개체는 일생 중 어업에 이용될 수 있으며 연령에 관계없이 어구에 잡힐 확률이 동일하다. ④ 어획사망과 자연사망은 동시에 작용한다. ⑤ 어획량 및 어획 노력량 자료는 정확하다.

<표 2-2> Fox 모델의 장·단점

장점	<ul style="list-style-type: none"> ① 어획능력계수를 모르더라도 MSY와 적정 어획노력량은 평형생산량에 대한 어획노력량의 관계로 직접 추정가능하다. ② 어종의 연도별 어획량 및 어획노력량의 자료만으로 MSY와 적정 어획노력량을 추정할 수 있다. ③ 모델의 개념이 단순하며 쉽게 MSY를 추정할 수 있다. ④ 어종의 연령별 정보를 알 수 없는 자원에 대해 분석이 가능하다. ⑤ 자료가 많이 요구되지 않으므로 자원 평가를 하는 비용이 적게 든다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> ① 모델을 이용함에 있어, 비정상적인 환경 조건이나 탁월연급군의 출현 혹은 자원의 연령조성의 변화와 같은 부가적인 정보를 모델에 넣어 분석할 수 없다. ② 이 모델은 생물 간의 경쟁이나 포식 등의 효과와 오염이나 기타 인위적인 영향으로 초래되는 최대 환경수용능력 생체량의 변화 및 서식처의 퇴폐 등에 의한 효과를 고려할 수 없다. ③ 모델에서 MSY를 구하는 데는 자원이 현재의 어획률에 대해 안정(즉, 평형상태)되어 있음을 가정해야 한다. 그러나 실제로 대개의 자료는 평형상태에 있는 어업으로부터 나온 것이 아니다. ④ 자원의 순증가율이 현재의 자원밀도에 의해서 완전히 결정된다는 강한 가정을 가지고 있다. ⑤ CPUE와 어획노력량 간의 상관관계가 지수 함수적 성향을 보인다는 가정 또한 일반적인 것은 아니다. ⑥ 잉여생산량모델은 어획이 가능한 일부 자원보다는 전체 자원이 어획의 대상이 되는 것으로 가정한다.

(2) Fox 모델과 개별 어업의 지속적 생산량

앞서 언급한 바와 같이 Fox(1970)는 Gompertz 성장함수에 기초한 잉여생산량모델을 개발하였다. 특히 Gompertz 성장함수는 지수성장모델(Exponential Growth Models)의 기본 모델로서 Fox 모델을 도출하기 위해 일반적으로 사용되어져 왔다. 이러한 Gompertz 성장 함수를 수식으로 나타내면 <식 2-6>과 같다.

$$G = rB \ln(K/B) \quad \text{〈식 2-6〉}$$

여기서, r 은 자원의 본원적 성장률을 나타내고, K 는 환경수용능력을 나타내며, B 는 자원의 생체량을 나타낸다. 또한 Fox는 특정 어종의 MSY를 추정하기 위해 한 어종의 성장량은 평형생산량과 일치한다고 가정하였다. 이러한 가정을 식으로 나타내면 <식 2-7>과 같다.

$$C_E = rB \ln(K/B) \quad \text{〈식 2-7〉}$$

여기서 C_E 는 특정 어종의 평형생산량을 나타낸다. 위의 <식 2-7>은 단위노력당어획량(CPUE)이 특정 어종의 생체량과 비례한다($U = qB$)는 가정 하에 다음의 <식 2-8>과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$C_E = r \frac{U}{q} (K - \frac{q}{U}) = r \frac{\bar{U}}{q} \left[\ln \left(\frac{U_\infty}{\bar{U}} \right) \right] = r \frac{\bar{U}}{q} \left[\ln \frac{U_\infty}{q} - \ln \frac{\bar{U}}{q} \right] \quad \text{〈식 2-8〉}$$

여기서 U_∞ 는 자원량이 어획되지 않은 상태에서의 단위노력당어획량 ($U_\infty = Kq$)을 나타내며, \bar{U} 는 평균 단위노력당어획량을 나타낸다. 위의 <식 2-8>은 괄호 안의 $\ln(q)$ 을 상쇄함으로써 아래의 <식 2-9>와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

$$C_E = r \frac{\bar{U}}{q} [\ln U_\infty - \ln \bar{U}] \quad \langle \text{식 2-9} \rangle$$

여기서 C_E 는 $E\bar{U}$ 와 같다고 가정한다. 그 결과 어획노력량(E)은 C_E/\bar{U} 와 같다. 따라서 <식 2-9>의 양변을 \bar{U} 로 나누면 아래의 <식 2-10>과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = \frac{r}{q} [\ln U_\infty - \ln \bar{U}] \quad \langle \text{식 2-10} \rangle$$

여기서 <식 2-10>을 $\ln \bar{U}$ 에 관한 식으로 전환하면 아래의 <식 2-11>과 같다.

$$\ln \bar{U} = \ln U_\infty - \left(\frac{q}{r}\right)E \quad \langle \text{식 2-11} \rangle$$

여기서 <식 2-11>의 양변에 지수함수를 곱하면 아래의 <식 2-12>와 같이 평균 단위노력당어획량의 함수로서 나타낼 수 있다.

$$\bar{U} = U_\infty \exp\left(-\left(\frac{q}{r}\right)E\right) \quad \langle \text{식 2-12} \rangle$$

$E\bar{U}$ 는 평형생산량(C_E)과 같으므로 <식 2-12>를 <식 2-13>과 같이 연간 평형생산량(C_t)의 함수인 Fox 모델로 나타낼 수 있다.

$$C_t = U_\infty \exp\left(-\frac{q}{r} E_t\right) E_t \quad \langle \text{식 2-13} \rangle$$

여기서 C_t 는 t 시점에서의 연간평형생산량, U_∞ 는 평형단위노력당어획량을 나타내는 매개변수이며($U_\infty = qK$), q는 어획능률계수, r은 자원의 본원적 성장률, 그리고 E는 t 시점의 어획노력량을 각각 의미한다.

(3) 어획노력량 평균법(Effort Averaging Method)

Fox 생산곡선(〈식 2-13〉 참조)으로부터 생물학적·기술적 계수인 평형단위노력당어획량(U_{∞})과 $-q/r$ 을 도출하기 위해서 어획노력량 평균법을 사용한다. 여기서 사용된 자료는 일반선형모델에 의해 표준화된 단위노력당어획량의 추정치(\widehat{U}_t)와 어획노력량 추정치(\widehat{E}_t)이다. Fox(1970)에 의해 개발된 어획노력량 평균법은 〈식 2-11〉에 근거하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln \widehat{U}_t = \ln qK - \left(\frac{q}{r}\right) \widehat{E}_t \quad \langle \text{식 2-14} \rangle$$

여기에서 추정된 계수는 갈치에 대한 두 어업에서의 MSY와 E_{MSY} 를 도출하기 위해 사용되어진다.

(4) 최대지속적생산량(MSY) 추정

우리나라 갈치의 E_{MSY} 는 〈식 2-13〉을 어획노력량(E)에 관해서 미분한 후 최대치를 구하기 위하여 0으로 놓고, 그때의 어획노력량과 연간평형생산량을 구하면 다음의 〈식 2-15〉와 같다.

$$\frac{\partial C_t}{\partial E} = \frac{\partial \left(\frac{U_{\infty} \exp(-\frac{q}{r} E) E}{r} \right)}{\partial E} = 0 = -\frac{q}{r} U_{\infty} \exp(-\frac{q}{r} E) E + U_{\infty} \exp(-\frac{q}{r} E) \quad \langle \text{식 2-15} \rangle$$

이후 〈식 2-15〉를 어획노력량에 의해 전개하면 MSY 수준에서의 어획노력량을 구하게 된다.

$$E = E_{MSY} = \frac{r}{q} \quad \langle \text{식 2-16} \rangle$$

이후 구해진 E_{MSY} 를 〈식 2-13〉에 대입하면 MSY가 도출되어진다.

$$C = \frac{U_{\infty} r}{q \exp(1)} \quad \langle \text{식 2-17} \rangle$$

본 모델에 의해 갈치자원의 MSY와 E_{MSY} 를 추정하기 위하여 최근 16년(1989-2004) 동안의 연간 갈치 총어획량과 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 인망당 어획량 자료를 사용한다.

(5) 생물학적 허용어획량(ABC) 추정

〈표 2-3〉은 우리나라 TAC 어업자원관리시스템에 의한 저어자원의 ABC 추정모델을 나타낸 것이다.²⁾ 우리나라 갈치에 대한 단일어종·다수어업(1×2) 모델은 활용 가능한 정보수준(4단계)에 따라 추정된 CPUE와 MSY에 의해 계산될 수 있다.

2) 본 연구는 생물학적 TAC의 추정을 위해 「어업자원관리 중·장기 종합계획 수립에 관한 연구(2001)」에서 제시한 바와 같이 저어자원 모델을 이용하였다. 이는 갈치가 저어자원에 속하기 때문이다.

〈표 2-3〉 TAC 어업자원관리시스템의 저어자원 ABC 추정모델

<p>* Tier 1 Information available : Reliable estimates of B, F, B_{MSY}, f_{MSY}, F_{X%}, and M</p> <p>1a) Stock status : B/B_{MSY} > 1 $F_{ABC} \leq \text{low value out of } f_{MSY} \text{ or } F_{35\%}$</p> <p>1b) Stock status : $\alpha < B/B_{MSY} \leq 1$ $F_{ABC} \leq \text{low value out of either } f_{MSY} \times (B/B_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha) \text{ or } F_{35\%}$</p> <p>1c) Stock status : B/B_{MSY} < α : F_{ABC} = 0</p> <p>* Tier 2 Information available : Current B, B_{X%}, F_{X%}, M</p> <p>2a) Stock status : B/B_{35%} > 1 $F_{ABC} \leq F_{35\%}$</p> <p>2b) Stock status : $\alpha < B/B_{35\%} \leq 1$ $F_{ABC} \leq F_{35\%} \times (B/B_{35\%} - \alpha)/(1 - \alpha)$</p> <p>2c) Stock status : B/B_{35%} ≤ α : F_{ABC} = 0</p> <p>* Tier 3 Information available : Current B, F_{0,1}, M $F_{ABC} \leq F_{0,1}$</p> <p>* Tier 4 Information available : Time-series catch (Y) and effort (or CPUE) data</p> <p>4a) Stock status : CPUE/CPUE_{MSY} > 1 $ABC \leq MSY$</p> <p>4b) Stock status : $\alpha < CPUE/CPUE_{MSY} \leq 1$ $ABC \leq MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$</p> <p>4c) Stock status : CPUE/CPUE_{MSY} ≤ α ; ABC = 0</p> <p>* Tier 5 Information available : Reliable catch history Y $ABC \leq 0.75 \times YAM$ (average catch over an appropriate time period)</p> <hr/> <p>1) Equation used to determine ABC in tiers 1 ~ 3 :</p> $ABC = \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M + F_{ABC})})$ <p>where, B : biomass, M : instantaneous coefficient of natural mortality, F_{ABC} : instantaneous coefficient of fishing mortality determined by the data available and the stock status</p> <p>2) In tiers 1, 2, and 4, $\alpha = 0.05$</p>

자료 : Ryu, J. G. et al., *A Study on Comprehensive Mid and Long Term Plan for Fisheries Resource Management*, MOMAF, p. 256.

(6) 최대경제적생산량(MEY) 추정

최대경제적생산량(MEY)은 다음의 과정을 통해 추정이 가능하다. 우선 평형 생산량에 연평균 판매단가를 곱하여 총수입을 산정하고, 각 어업의 갈치의 총 수입으로부터 갈치의 총어업비용을 공제하여 총 순이익을 추정한다.

$$NP = P \left[U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) E \right] - TC \quad \langle \text{식 2-18-1} \rangle$$

$$= P \left[U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) E \right] - cmE \quad \langle \text{식 2-18-2} \rangle$$

여기서 NP는 연간 순이익, P는 연도별 판매단가를 2000년 기준의 현재가치로 환산한 평균판매단가(원/Kg), TC는 총어업비용, α 는 2000년 기준의 현재가치로 환산된 가중평균 1인망당 비용이고, m은 각 어업에 있어서 갈치의 생산액 비율이다. 여기서 갈치의 총어업비용을 추정하기 위해 갈치의 생산액 비율을 사용한 것은 두 어업에 의해 어획된 다수어종 중 갈치의 총어업비용만을 사용하기 위해서이다. 특히 생산액 비율은 어업비용의 어업 노무비와 어업 생산액 사이에 서로 보합제적 성격을 지니고 있기 때문에 갈치의 총어업비용 산정시 대리변수로 사용이 가능하다고 판단된다.

〈식 2-18〉을 어획노력량(E)에 대해 미분하여 0으로 놓고 이때의 어획노력량을 추정한다. 여기서 추정된 어획노력량이 E_{MEY} 이다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial NP}{\partial E} &= \frac{\partial \left(P \left(U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E \right) - cmE \right)}{\partial E} = 0 \\ &= P \left[-\frac{q}{r} U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E + U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \right] - cm \quad \langle \text{식 2-19} \rangle \end{aligned}$$

E_{MEY} 는 지수함수적 성격에 따라 모델 파라미터에 의한 함수식으로 간결하게 나타내기 어려운 측면이 있다. 어획노력량이 E_{MEY} 수준일 때의 순이익 함수는 다음의 〈식 2-21〉과 같이 나타낼 수 있다.

$$\ln(E_{MEY}) - 2\left(\frac{a}{r}\right)E_{MEY} = \ln\left(\frac{a}{U_{\infty}qb}\right) \quad \langle \text{식 2-20} \rangle$$

$$NP|_{E=E_{MEY}} = P \left[\left(U_{\infty} \exp\left(-\frac{a}{r} E_{MEY}\right) E_{MEY} \right) \right] - amE_{MEY} \quad \langle \text{식 2-21} \rangle$$

(7) 개별 어업의 총수입(TR)과 총비용(TC) 추정

대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에서의 생물학적허용어획량(ABC) 수준에서 총수입(TR_{jt} , TR_{lt})은 어업별로 추정된 각각의 ABC 수준($C_{ABC_{jt}}$, $C_{ABC_{lt}}$)에 갈치의 연평균 판매단가를 곱하여 계산한다. 예를 들면, 대형기저쌍끌이어업의 갈치 어획량으로부터 총수입(TR_{jt})은 다음과 같이 각 어업의 갈치 ABC 수준에 평균단가(P_{jt})를 곱하여 구한다.

$$TR_{jt} = P_{jt} C_{ABC_{jt}} = P_{jt} C_{ABC} \left(\frac{E_{jt}}{E_{jt} + E_{lt}} \right) \quad \langle \text{식 2-22} \rangle$$

여기서 TR_{jt} 는 대형기저쌍끌이어업의 총수입, P_{jt} 는 동 어업에 의해 어획된 갈치의 연평균 판매단가이다. 대형트롤어업에 대한 총수입(TR_{lt}) 또한 위의 식의 동일한 적용을 통해 구할 수 있다.

한편 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에서의 갈치 어획에 소요된 연간 총어업비용(TC_{jt} , TC_{lt})은 각 어업별 가중 평균한 1인망당 비용(a), 갈치의 생산액 비율(m) 그리고 어획노력량 수준(E)인 연간 총인망수에 의해 구해진다.³⁾

$$TC_{jt} = a_{jt} m_{jt} E_{jt} \quad \langle \text{식 2-23-1} \rangle$$

$$TC_{lt} = a_{lt} m_{lt} E_{lt} \quad \langle \text{식 2-23-2} \rangle$$

3) 여기서, TC_{jt} 와 TC_{lt} 는 두 어업의 조업척수에 따라 소요되는 개별 어업의 총어업비용이고, 갈치에 대한 비용만을 나타낸다.

여기서, 가중 평균한 1인망당 비용(q)은⁴⁾ 연간 조업일수, 1일당 인망수, 어선척수, 척당 총어업비용 그리고 생산물가지수에 의해 추정될 수 있다.

(8) 개별 어업의 순이익(NP) 추정

대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 ABC 수준에서 어획된 갈치의 순이익(NP)은 개별 어업의 총수입에서 어업별 갈치의 총어업비용을 차감함으로써 계산된다. 개별 어업에서의 갈치의 어획비용은 각 어업에서 소요되는 전체 어업비용에 각 어업에서 생산되는 갈치의 생산액 비율을 곱함으로써 추정할 수 있다. 두 어업의 순이익 곡선식(NP_{pt} , NP_{lt})은 다음의 <식 2-24>와 같다.

$$NP_{pt} = P_{pt} C_{ABCpt} - TC_{pt}, \quad NP_{lt} = P_{lt} C_{ABClt} - TC_{lt} \quad \langle \text{식 2-24} \rangle$$

$$NP_{pt} = P_{pt} C_{ABC} \left(\frac{E_{pt}}{E_{pt} + E_{lt}} \right) - a_{pt} m_{pt} E_{pt} \quad \langle \text{식 2-25-1} \rangle$$

$$NP_{lt} = P_{lt} C_{ABC} \left(\frac{E_{lt}}{E_{pt} + E_{lt}} \right) - a_{lt} m_{lt} E_{lt} \quad \langle \text{식 2-25-2} \rangle$$

<식 2-5>의 어업별 어획량(C_{pt} , C_{lt})에서와 같이 개별 어업에서의 갈치의 ABC(C_{ABC})는 <표 2-3>의 우리나라 TAC 어업자원관리시스템의 저어자원 ABC 추정모델을 이용하여 추정된 ABC(C_{ABC})를 개별 어업에서의 ABC($C_{ABC_{pt}}$, $C_{ABC_{lt}}$)로 분리한다. 이렇게 개별 어업의 어획노력량 비율에 따라 구해진 개별 어업에서의 어획량($C_{ABC_{pt}}$, $C_{ABC_{lt}}$)을 <식 2-25>에 대입하면 ABC 수준에서 어획된 갈치의 순이익(NP_{pt} , NP_{lt})을 구할 수 있다.

4) 단위비용(q : 원/인망) = [척당 총어업비용(원/척)] / (연간 조업일수 × 1일당 인망수) × 생산물가지수.

제3장

단일어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 실증분석

본 장은 Gavaris의 일반선형모델을 이용한 어획노력량 표준화 기법과 Fox 모델에 의한 잉여생산량모델을 이용한 단일어종·다수어업(1×2) 모델을 실증분석하고, 분석 결과로부터 추정된 갈치 어종에 대한 어업별 MSY, ABC, 그리고 MEY를 갈치어종의 단일어종·단일어업(1×1) 모델의 MSY, ABC, 그리고 MEY와 비교·검토한다. 또한 ABC 수준에서의 개별 어업의 순이익 및 최적 할당량을 추정한다.

1. 분석 대상

분석 대상은 현재 9개의 TAC 대상어종에 속하지 않는 상업적 가치가 높은 어종으로서 다수어업에 의해 어획되고 있는 갈치를 그 대상어종으로 선정한다. 갈치를 어획하는 다수어업에는 대형기저쌍끌이어업, 대형트롤어업, 안강망어업, 연승어업, 대형선망어업, 채낚기어업 등이 있다.

이 중 대형기저쌍끌이어업, 안강망어업, 대형선망어업, 채낚기어업의 주요 어장은 서해남부(흑산도, 일향초, 소코트라, 제주도 일대)와 동중국해 북부해역 및 대마도 주변 해역 등이다. 그리고 대형트롤어업, 대형선망어업, 채낚기어업은 주로 제주도와 대마도 주변 해역 어장을 이용하고 있다(NFRDI, 2004).

하지만 본 연구는 최근 10년(1995-2004)간의 갈치 어획에 대한 어업별 어획비율을 검토한 후, 그 중 어획비율이 높은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업

만을 본 연구의 분석대상 어업으로 한정하였다.

안강망어업에 의해 어획된 갈치 어획비율(20.1%)이 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치 어획비율(17.8%)보다 높음에도 불구하고 본 연구의 분석 대상에서 제외된 이유는, 1997년 이후 근해안강망 어선의 대폭적인 감척에 기인하여 갈치의 최근 어획량이 급격히 감소하는 추세에 있기 때문이다(MOMAF, 2003).

특히, 향후 갈치어종의 TAC 편입을 고려할 때, 대형트롤어업이 안강망어업보다 TAC 대상어업이 될 가능성이 높기 때문이다.

또한 최근 갈치의 어획량이 증가하고 있는 연승어업을 대형트롤어업 대신에 분석해 볼 필요도 있다. 하지만 연승어업에 대한 기초정보의 부족으로 인하여, 본 연구에서는 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치를 최종 분석대상어종 및 어업으로 선정하였다.

이상과 같이 우리나라 연근해의 갈치는 단일어종에 대한 다수어업에 의한 어업생산 형태의 전형적인 사례라고 할 수 있다. 하지만 우리나라 연근해의 갈치가 다양한 업종으로 구성된 다수어업에 의해 어획됨에도 불구하고 현 우리나라 갈치에 대한 TAC 평가시스템에 따른 ABC의 평가는 대형기저쌍끌이어업에서 어획된 어획량만을 고려한 단일어업에 의한 단일어종의 자원평가 방법을 그대로 적용하고 있다(NFRDI, 2004). 즉, 현 갈치의 ABC 평가 방법은 갈치의 어획동향 및 자원상태에 대한 생물적 기준에 근거한 MSY를 추정하고, 추정된 MSY를 자원이용의 예방적 접근 방법인 생물학적허용어획량(ABC)의 특정 정보수준에 근거하여 갈치의 적정어획량을 산정한다.

이렇게 산정된 갈치의 ABC는 최근 3년간 어업별 어획실적 및 어획량 비율에 근거하여 개별 어업의 갈치 ABC로 배분된다. 따라서 이러한 ABC 평가 방법은 갈치를 어획하는 다수어업 간의 경제적 상호작용을 고려하지 못하고 있다.

2. 자료 분석

1) 갈치의 어업별 어획량 및 어획비율

갈치를 어획하는 개별 어업의 최적 어획 할당량을 분석하기 위해서, 최근 10년간 갈치를 어획한 주요 어업의 개별 어획량 및 어획비율을 살펴보면 <표 3-1> 및 <표 3-2>와 같다. 다음의 어획량은 1995~2004년까지의 해양수산부 수산통계연보의 어획량 자료에 기초한다.

<표 3-1> 갈치의 어업별 어획량(1995~2004)

단위 : MT

연도	대형기저 쌍끌이	대형 트롤	안강망	연승	대형선망	채낚기	기타	계
1995	17,173	16,875	41,062	5,091	3,966	7,694	2,735	94,596
1996	19,893	13,459	25,732	4,906	3,704	4,987	1,780	74,461
1997	19,988	13,493	19,537	4,591	2,907	4,379	2,275	67,170
1998	19,291	16,430	21,061	5,114	3,020	5,666	4,239	74,821
1999	21,443	11,449	9,516	4,683	4,867	7,081	5,395	64,434
2000	20,549	17,543	5,863	9,316	10,685	6,401	10,693	81,050
2001	22,317	19,136	5,318	12,422	9,642	6,946	4,117	79,898
2002	24,533	9,264	3,178	13,069	2,943	5,106	2,079	60,172
2003	21,182	8,358	4,839	9,603	5,932	2,266	10,681	62,861
2004	13,199	5,404	16,056	8,412	4,687	2,123	16,410	66,291
평균	19,957	13,141	15,216	7,721	5,235	5,265	6,040	72,575

자료 : 해양수산부 수산통계연보(MOMAF, 2006).

〈표 3-2〉 갈치의 어업별 어획비율(1995~2004)

단위 : %

연도	대형기저 쌍끌이	대형 트롤	안강망	연승	대형선망	채낚기	기타
1995	18.2	17.8	43.4	5.4	4.2	8.1	2.9
1996	26.7	18.1	34.6	6.6	5	6.7	2.4
1997	29.8	20.1	29.1	6.8	4.3	6.5	3.4
1998	25.8	22	28.1	6.8	4	7.6	5.7
1999	33.3	17.8	14.8	7.3	7.6	11	8.4
2000	25.4	21.6	7.2	11.5	13.2	7.9	13.2
2001	27.9	24	6.7	15.5	12.1	8.7	5.2
2002	40.8	15.4	5.3	21.7	4.9	8.5	3.5
2003	33.7	13.3	7.7	15.3	9.4	3.6	17
2004	19.9	8.2	24.2	12.7	7.1	3.2	24.8
평균	28.1	17.8	20.1	10.96	7.18	7.18	8.65

자료 : 해양수산부 수산통계연보(MOMAF, 2006).

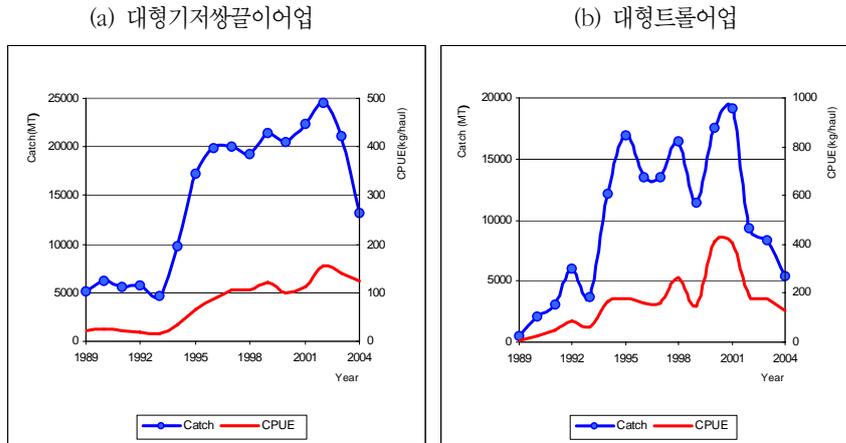
2) 갈치의 어획노력량(E) 및 CPUE

갈치를 어획하는 개별 어선의 어획노력량(E)을 표준화하기 위해서 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 어업별 갈치의 단위노력당어획량(CPUE)을 이용하였다.

어획량, 어획노력량 및 CPUE 자료는 1989년부터 2004년까지 16개년 자료를 이용하였다. 어획노력량과 CPUE 자료는 “근해저인망류어업의 구조개편에 관한 연구” 보고서에 근거하였다(MOMAF, 2003, 2005 및 2006).

대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치 어획량과 CPUE 간의 관계는 〈그림 3-1〉과 같다.

〈그림 3-1〉 갈치의 어업별 어획량 및 CPUE



자료 : 근해저인망류어업의 구조개편에 관한 연구 - 1, 3차 연도 보고서(MOMAF, 2006).

3) 갈치의 경제적 변수 추정치

경제적 변수들로서, 갈치의 연도별 판매단가와 대상어업의 연도별 척당 어업비용과 출어일수는 수협경영조사보고서 통계자료를 이용하였다.

대상어업의 총척수는 해양수산부 선박 통계자료를 이용하였다. 여기서 판매단가와 척당 어업비용 및 단위어획비용은 연도별 자료를 2000년 기준 현재가치로 환산한 다음 그 평균치를 사용하였다. 현재가치로 환산할 때 가장 최근 연도를 기준으로 하는 것이 현실적이지만, 가장 최근의 물가지수 자료는 2000년이기 때문에 본 연구에서는 2000년을 기준으로 하였다.

단위어획비용인 1인망당 어업비용은 출어일수와 1일 평균 인망 횟수를 추정하여 척당 연평균 인망 횟수를 계산한 후, 이 값으로 척당 총 어업비용을 나누어 구하였다.

〈표 3-3〉 대상어업의 총척수, 출어일수, 척당어업비용, 판매단가

연도	대형기선저인망 쌍끌이어업				대형트롤어업			
	총척수	출어일수	척당어업비용 (천원)	판매단가 (원/kg)	총척수	출어일수	척당어업비용 (천원)	판매단가 (원/kg)
1995	357	257	1,071,174	1,780	95	249	1,002,920	1,481
1996	347	270	1,128,607	1,985	95	259	1,205,220	2,102
1997	337	253	1,187,095	2,022	94	242	1,307,337	1,545
1998	304	243	1,192,836	2,170	92	226	1,357,048	1,427
1999	287	253	1,493,639	1,271	90	258	1,536,137	963
2000	206	252	1,654,890	1,138	70	266	1,748,835	1,213
2001	201	301	1,792,789	1,669	62	292	1,918,267	1,176
2002	143	312	2,155,571	1,110	62	297	2,069,832	659
2003	131	280	2,438,981	1,300	60	220	1,852,050	659
2004	95	285	1,071,174	1,117	58	211	1,879,948	608

자료 : 연도별 수협경영조사보고서 및 해양수산부 수산통계연보(MOMAF, 2006).

어획노력량은 연도별 개별 어업의 척당 어획노력량의 평균값을 이용하였다. 그리고 생산액 비율은 각 어업의 총생산액에서 갈치가 차지하는 생산액의 비율이며, 그 값은 연도별 생산액 비율의 평균값을 사용하였다.

〈표 3-4〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치어획 경제적 변수

어업	척당어업비용** (천원/척)	어획노력량 (인망수/척)	판매단가* (P: 원/Kg)	단위어획비용** (a: 원/인망)	생산액비율 (m: %)
대형기저쌍끌이	1,682,950	853	1,519	1,765,369	0.151
대형트롤	1,595,634	798	1,135	2,196,907	0.119
평균	1,639,292	-	1,327	1,981,138	0.135
합계	-	1,651	-	-	-

주 : *판매단가는 통계청 품목별 소비자물가지수내의 선어개류 중 갈치의 2000년 기준 물가지수를 사용함.
 **척당어업비용과 단위어획비용은 통계청 기본 분류형 생산자 물가지수 내의 농림수산물 선어개류의 2000년 기준 물가지수를 사용함.

3. 분석 결과

1) 다수어업의 어획노력량 표준화 분석 결과

우리나라 갈치의 어획노력량을 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 CPUE를 이용하여 일반선형모델(General Linear Model)에 적용하여 대형기저쌍끌이어업에 대한 대형트롤어업의 CPUE를 표준화하였다.

이 과정에서 대상 어업의 어획노력량을 하나의 단위로 표준화하기 위해 분류형 변수에 연도(1989~2004)와 어구(대형기저쌍끌이, 대형트롤)를 사용하였다.

그리고 일반선형모델을 적용하기 위해서 더미변수가 사용되었다. 또한 1989년 대형트롤의 CPUE가 기준 CPUE로서 사용되었다. 이에 따른 표준화된 CPUE 추정치는 <표 3-5>와 같다.

선형모델에서 추정된 회귀계수는 <표 3-6>과 같고, 그 추정된 회귀계수의 추정값에 따라 두 어업의 표준화된 CPUE와 어획노력량을 구하면 <표 3-7>과 같다.

분석 결과, 독립변수의 종속변수에 대한 설명력을 제공하는 결정계수 R² 값이 0.876, 선형모델의 전체 검정을 위해 이용된 F값이 6.658, 그리고 이들 개별 독립변수에 대한 귀무가설의 수렴의 정도를 확률로 나타낸 p값이 0.05 이하로서 전체적인 모델의 통계적 설명력이 비교적 높고 추정모델이 전체적으로 유의한 것으로 나타났다.

또한 개별 변수별 회귀계수의 유의성 또한 전반적으로 높게 나타나 1990년, 1991년과 1993년을 제외하고는 모두 유의한 것으로 분석되었다.

〈표 3-5〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 표준화된 CPUE 추정치

연도	어업	X Dummy Variables															Est. ln (U)	Est. U	
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04			d1
1989	pt*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.2	9
1990	pt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2.8	17.2
1991	pt	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.2	23.9
1992	pt	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.4	29.5
1993	pt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.1	22.8
1994	pt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	55.2
1995	pt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4.4	79.3
1996	pt	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4.4	85.3
1997	pt	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4.5	93.8
1998	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4.8	119.9
1999	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4.6	95.7
2000	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	5	147.1
2001	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5	153
2002	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4.8	124.8
2003	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4.7	114
2004	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4.5	92.3
1989	lt**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.8	17.2
1990	lt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.5	32.9
1991	lt	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	45.7
1992	lt	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	56.4
1993	lt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.8	43.6
1994	lt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.7	105.4
1995	lt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	151.4
1996	lt	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.1	163
1997	lt	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5.2	179.2
1998	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5.4	229.1
1999	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5.2	182.9
2000	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5.6	281
2001	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5.7	292.2
2002	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5.5	238.4
2003	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5.4	217.7
2004	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5.2	176.3

주 : *pt : 대형기선저인망쌍끌이어업.
 **lt : 대형트롤어업.

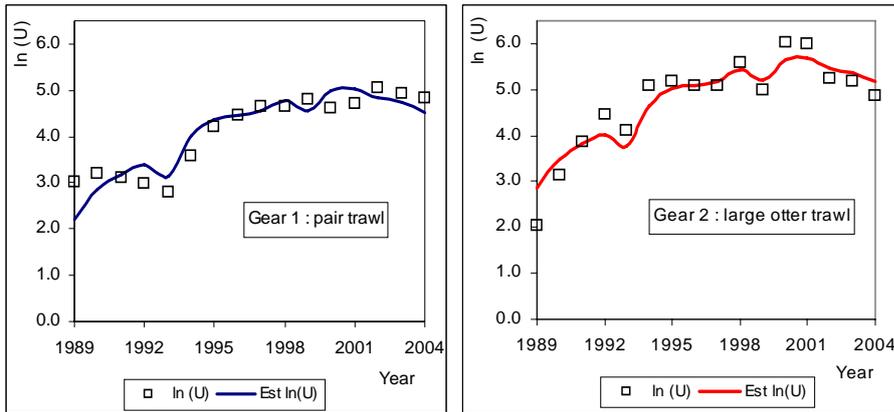
〈표 3-6〉 갈치의 일반선형모델 적용을 위한 회귀계수의 추정치

Factor level	계수 (Coef.)	추정치 (Est.)	표준편차 (S. E)	t Stat	P-value	Pij
Ln (U)	β_0	2,845	0,361	7,890	0,000	17,2
1990	β_1	0,649	0,495	1,313	0,209	1,9
1991	β_2	0,977	0,495	1,976	0,067	2,7
1992	β_3	1,187	0,495	2,400	0,030	3,3
1993	β_4	0,931	0,495	1,882	0,079	2,5
1994	β_5	1,813	0,495	3,665	0,002	6,1
1995	β_6	2,176	0,495	4,398	0,001	8,8
1996	β_7	2,249	0,495	4,547	0,000	9,5
1997	β_8	2,344	0,495	4,739	0,000	10,4
1998	β_9	2,590	0,495	5,235	0,000	13,3
1999	β_{10}	2,364	0,495	4,780	0,000	10,6
2000	β_{11}	2,794	0,495	5,648	0,000	16,3
2001	β_{12}	2,833	0,495	5,727	0,000	17,0
2002	β_{13}	2,630	0,495	5,316	0,000	13,9
2003	β_{14}	2,539	0,495	5,132	0,000	12,7
2004	β_{15}	2,328	0,495	4,706	0,000	10,3
더미변수(d1)	β_{16}	-0,647	0,175	-3,701	0,002	0,5

분석을 통해 모델의 절편으로부터 추정된 기준 CPUE 추정치는 17.2이며, 2000년(16.3)과 2001년(17.0)을 제외하고는 기준 CPUE 추정치와 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 분석 결과, 대형기저쌍끌이어업의 CPUE는 평균적으로 대형트롤어업 CPUE의 절반 수준으로 나타나서 상당한 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

〈그림 3-2〉는 두 어업에서의 자료에 대한 선형모델의 적합도를 나타낸 것이다. 두 어업 모두 시간에 따른 CPUE의 추세가 비슷함을 알 수 있다.

〈그림 3-2〉 로그화된 CPUE 및 추정치



그리고 추정된 CPUE로부터 구해진 표준화된 어획노력량(E)은 〈표 3-7〉과 같다.

각 어업의 어획노력량 비율은 각 어업의 어획노력량을 표준화된 어획노력량으로 나누어서 구할 수 있다. 이렇게 표준화된 어획노력량으로부터 두 어업의 어획노력량 비율을 구하면 대형기저쌍끌이어업은 0.76이었고, 대형트롤어업은 0.24로 나타났다(〈표 3-8〉 참조).

Gompertz 성장함수로부터 유도된 Fox 모델을 사용할 것인지 아니면 로지스틱 성장함수에 기초한 Schaefer 모델을 사용할 것인지를 여부는 추정된 두 어업의 CPUE와 어획노력량 간의 상관관계를 분석함으로써 결정된다. SPSS 14 프로그램의 Curve Estimation Method를 이용하여 분석한 결과 추정된 어획노력량은 선형보다는 지수함수적 상관관계를 보여주고 있어서 Gompertz 성장함수로부터 유도된 Fox 모델이 분석에 더욱 적합한 것으로 판단되었다(〈표 3-9〉 참조).

〈표 3-7〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치 CPUE 추정치와 표준화된 어획노력량

연도	대형기저 쌍끌이			대형트롤			표준화된 어획노력량 (인망수)
	어획량 (MT)	CPUE (kg/인망)	어획노력량 (인망수)	어획량 (MT)	CPUE (kg/인망)	어획노력량 (인망수)	
1989	5,175	9.0	574,925	521	17.2	30,301	605,226
1990	6,277	17.2	364,276	2,080	32.9	63,192	427,469
1991	5,551	23.9	232,095	3,060	45.7	66,979	299,074
1992	5,692	29.5	192,887	5,976	56.4	106,016	298,903
1993	4,662	22.8	204,144	3,638	43.6	83,397	287,541
1994	9,712	55.2	176,034	12,110	105.4	114,909	290,943
1995	17,173	79.3	216,635	16,875	151.4	111,442	328,076
1996	19,893	85.3	233,091	13,459	163.0	82,558	315,650
1997	19,988	93.8	213,036	13,493	179.2	75,286	288,321
1998	19,291	119.9	160,858	16,430	229.1	71,721	232,580
1999	21,443	95.7	223,992	11,449	182.9	62,609	286,600
2000	20,549	147.1	139,667	17,543	281.0	62,421	202,088
2001	22,317	153.0	145,908	19,136	292.2	65,496	211,404
2002	24,533	124.8	196,550	9,264	238.4	38,855	235,405
2003	21,182	114.0	185,842	8,358	217.7	38,389	224,230
2004	13,199	92.3	142,995	5,404	176.3	30,649	173,644

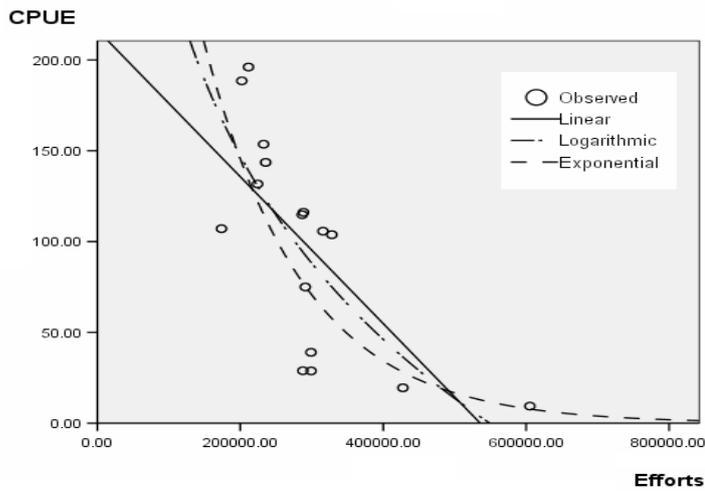
〈표 3-8〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 어획노력량 비율

연도	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	평균
대형기저 쌍끌이	0.95	0.85	0.78	0.65	0.71	0.61	0.66	0.74	0.74	0.69	0.78	0.69	0.69	0.83	0.83	0.82	0.76
대형트롤	0.05	0.15	0.22	0.35	0.29	0.39	0.34	0.26	0.26	0.31	0.22	0.31	0.31	0.17	0.17	0.18	0.24

〈표 3-9〉 모델 요약 및 파라미터 추정치

함수식	모델 요약					파라미터 추정치	
	R ²	F 통계량	DF1	DF2	Signif. F	상수	계수
선형	.493	13.600	1	14	.002	216.510	0.000
로그함수	.547	16.892	1	14	.001	1925.518	-145,698
지수함수	.681	29.911	1	14	.000	616.592	-7.22E-006

〈그림 3-3〉 표준화된 어획노력량 추정치 및 CPUE 추정치



2) 어획노력량 평균법(Effort Averaging Method)

〈식 2-14〉에 대한 어획노력량 평균법에 의한 평형단위노력당어획량 ($U_{\infty} = qK$)과 계수 ($-q/r$)를 추정하기 위해 Eview 3.1을 사용하였다. 추정된 계수의 값은 각각 615.916과 -0.00000722로 나타났다.

〈표 3-10〉 모델 요약 및 파라미터 추정치

함수식	모델 요약					파라미터 추정치	
	R2	F 통계량	DF1	DF2	Signif. F	상수	계수
선형	0,68096	29,881	1	14	0,000083	6,423112	-0,00000722

〈표 3-11〉 CPUE 추정치

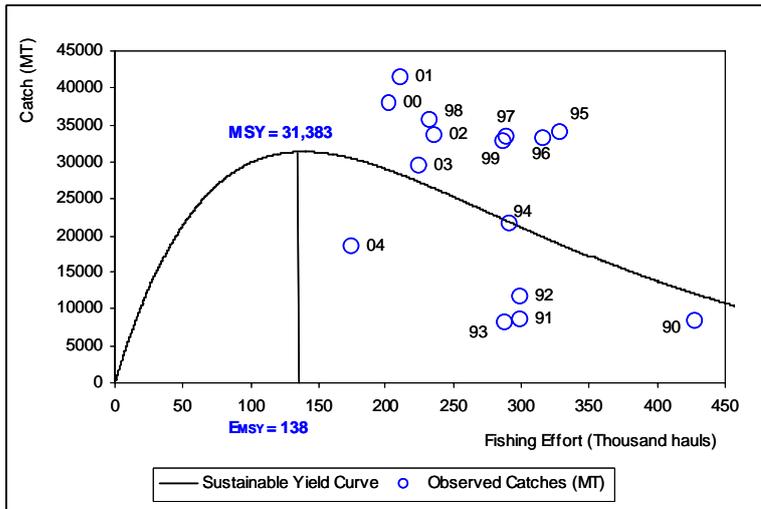
연도	표준화된 어획노력량 (hauls)	총어획량 (MT)	CPUE 추정치 (kg/haul)	로그화된 CPUE 추정치 (kg/haul)
1989	605,226	5,696	9.41	2.24
1990	427,469	8,357	19.55	2.97
1991	299,074	8,611	28.79	3.36
1992	298,903	11,668	39.04	3.66
1993	287,541	8,300	28.87	3.36
1994	290,943	21,822	75.00	4.32
1995	328,076	34,048	103.78	4.64
1996	315,650	33,352	105.66	4.66
1997	288,321	33,481	116.12	4.75
1998	232,580	35,721	153.59	5.03
1999	286,600	32,892	114.77	4.74
2000	202,088	38,092	188.49	5.24
2001	211,404	41,453	196.08	5.28
2002	235,405	33,797	143.57	4.97
2003	224,230	29,540	131.74	4.88
2004	173,644	18,603	107.13	4.67

3) MSY 및 E_{MSY} 추정 결과

Fox 모델의 생산곡선은 어획노력량(E)의 변화에 따라 〈식 2-14〉에 의해 추정된 변수들을 〈식 2-13〉에 대입함으로써 구할 수 있다. 이상의 분석 결과를 토대로 〈식 2-16〉과 〈식 2-17〉에 의해 도출된 두 어업의 최대지속적생산량(MSY)은 31,383MT이고, 이때의 어획노력량(E_{MSY})은 138,504인망수로 추정되었다.

한편 개별 어업의 MSY와 E_{MSY} 는 〈표 3-8〉의 평균 어획노력량 비율(대형기저쌍끌이 0.76, 대형트롤 0.24)을 이용하여 구할 수 있는데, 대형기저쌍끌이어업의 MSY는 23,778톤, E_{MSY} 는 105,263인망수였다. 그리고 대형트롤어업의 MSY는 7,605톤, E_{MSY} 는 33,241인망수로 나타났다

〈그림 3-4〉 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 갈치 MSY와 E_{MSY}



갈치에 대한 1989~2004년의 표준화된 인망당 어획량 자료(CPUE: kg/인망)와 어획량 자료를 Eview 3.1 프로그램을 이용하여 Fox 모델의 생산곡선에 적용시켰다. 그 결과, 독립변수의 종속변수에 대한 설명력을 의미하는 R^2 값은 0.36으로 다소 낮았으나, 5% 유의수준에서 유의한 회귀관계를 나타내는 p 값은 0.0112($p < 0.05$)를 나타냈다.

〈그림 3-4〉는 1990년대 후반 들어 대형기저쌍끌이어업 및 대형트롤어업에 의한 어획량과 어획노력량 모두 MSY와 E_{MSY} 수준을 초과하여 자원남획을 야기하고 있음을 보여준다. 이러한 결과는, 〈표 3-1〉에서 보여준 최근 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 어획량이 급격히 감소한 것과 무관하지 않다.

4) ABC 및 E_{ABC} 추정 결과

우선 생물학적허용어획량(ABC)을 산출하기 위해 우리나라 TAC 어업자원관

리시스템에 의한 저어자원의 ABC 추정모델을 이용하였다. 동 모델에 활용된 자료는 연간 어획량과 어획노력량이며 MSY 수준의 CPUE에 대한 최근 CPUE 비율이 0.05와 1 사이로 나타났기 때문에 <표 2-3>의 4단계 정보수준의 4b)에 따라 ABC를 추정하였다. 여기서 최근 CPUE는 최근 3년(2002~2004)간의 평균 CPUE를 나타낸다. 따라서 CPUE 비율인 $CPUE/CPUE_{MSY}$ 는 약 0.56으로 나타났다.

ABC 추정식 4b)에 따라 산출된 두 어업에서의 갈치의 ABC는 15,283톤이다. MSY와 ABC간의 커다란 차이는 최근 CPUE의 급속한 감소에 기인한다. 도출된 ABC 수준은 MSY상의 ABC 수준의 약 49% 정도에 해당한다. 어획노력량 비율에 근거한 개별 어업의 어획노력량 수준을 보면, 대형기저쌍끌이어업이 11,615MT, 그리고 대형트롤이 3,668MT이었다.

<그림 3-4>는 최근의 갈치어획량이 90년대 이후 2004년을 제외하고는 모두 MSY 수준의 어획노력량을 초과하고 있음을 나타내고 있다. 특히, 2004년의 어획노력량의 소폭 감소에도 불구하고 2001년 이후 두 어업에 의한 갈치의 어획량이 급격히 감소하고 있다. 따라서 갈치의 남획을 막고 자원을 효율적으로 관리하기 위해서는 동 어종을 TAC 대상어종으로 선정하여 관리되어야 할 필요성이 커져가고 있다.

5) MEY 및 E_{MEY} 추정 결과

앞서 언급한 <식 2-18>과 <식 2-19>, 그리고 <표 3-4>로부터 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업의 Fox 모델에 의한 잉여수입곡선을 추정할 수 있다. 그리고 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의해 어획된 갈치의 최대경제적 생산량(MEY) 및 그 때의 어획노력량(E_{MEY})은 Excel Goal Seek 프로그램 및 Maple 8 프로그램을 이용하여 추정하였다.

분석 결과, 두 어업에서의 MEY는 25,184MT이고, 이때의 표준화된 어획노력량(E_{MEY})은 65,715인망수였다. 또한 어업수입과 어업활동에 소요되는 비용관계

식으로부터 추정된 MEY 수준에서의 순이익(NP)은 약 15,854백만 원이었다. 그리고 MEY 수준에서 두 어업의 연평균 어획노력량인 1,651인망수로 나누어 전체 조업척수를 환산하면 총 40척이고, 여기서 두 어업의 어획노력량 비율 0.76과 0.24를 곱하여 두 어업의 조업척수로 나타내면 대형기저쌍끌이어업의 조업척수는 30척, 대형트롤어업의 조업척수는 10척으로 환산되었다.⁵⁾

한편 이들 두 어업에서 추정된 갈치의 MEY와 MSY를 비교해 보면 MEY는 MSY의 약 80% 수준이며, E_{MEY} 는 E_{MSY} 의 47% 수준에 있었다. 이는 어획노력량을 MSY 수준으로 감소하여도 그 어획량의 감소폭은 상대적으로 낮다는 것을 의미한다. 즉, 어획노력량을 53% 감소시켜도 그 어획량은 20%밖에 줄지 않는다는 것으로서 현재의 어획노력량이 과잉 투입되어져 왔다는 것을 반영한다.⁶⁾

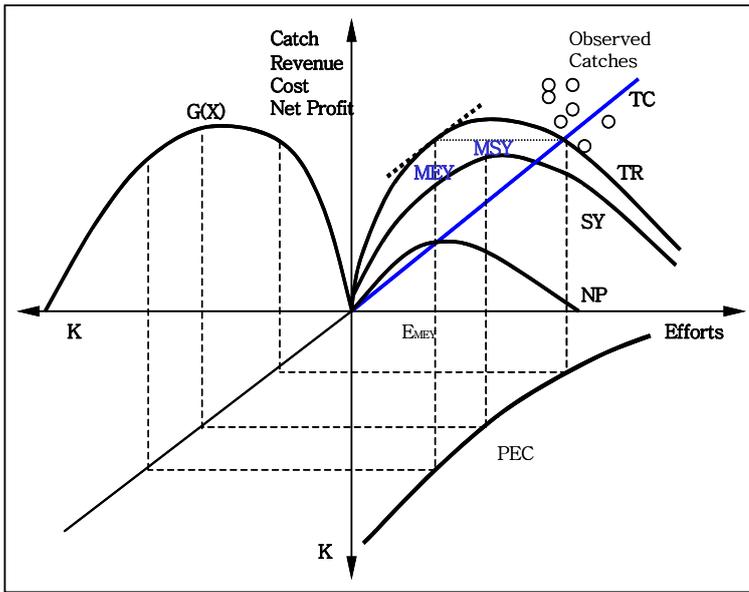
하지만 <그림 3-5>에서와 같이 최근의 과도한 어획으로 인해 갈치자원이 남획되어 왔기 때문에 현재로서는 MEY 수준까지의 어획노력량 감소가 최대 순이익을 발생시키기 어렵다. 환언하면, 자원이 고갈된 상황에서 어획노력량 감소는 동태적으로 자원을 서서히 회복시키게 되므로, 현 시점에서는 최대의 순이익을 확보할 수 없다는 것이다.

<그림 3-6>은 MEY 수준에서의 순이익이 MSY 수준에서의 순이익보다 높다는 것을 보여주고 있다. 즉, 어획노력량과 순이익 측면에서 MEY 수준이 MSY 수준보다 효율적임을 나타내고 있다.

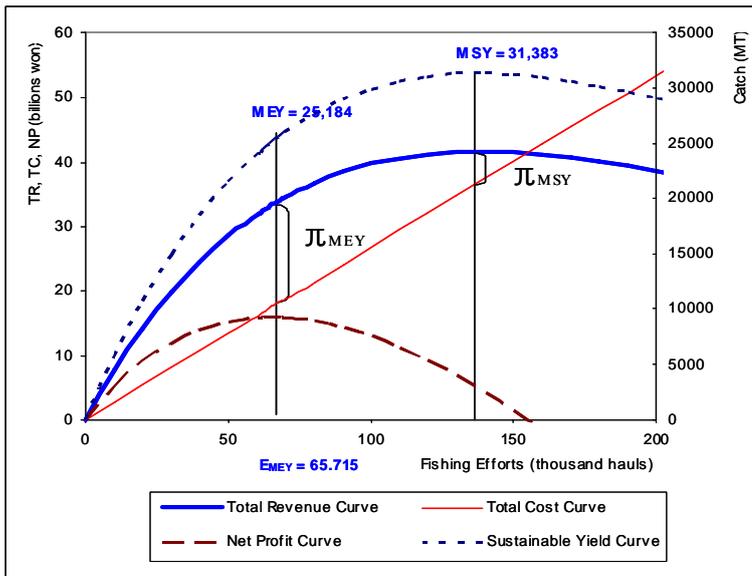
5) 하지만 대형기선저인망쌍끌이어업과 대형트롤어업이 갈치만 어획하는 것이 아니므로 다른 어종의 어획에 필요한 조업척수 또한 동 분석을 통해 검토함으로써 대형기선저인망쌍끌이어업과 대형트롤어업의 적정 조업척수를 산정할 필요가 있다.

6) 생물적 관점에서의 최대지속적 생산량이 경제적 관점에서 볼 때, 오히려 업계의 순이익을 감소시키는 요인이 될 수 있다는 것이다.

〈그림 3-5〉 갈치자원의 생물적 남획 상태 하에서의 MEY



〈그림 3-6〉 갈치자원의 MEY 및 MSY에서의 순이익 비교



6) 갈치의 ABC 수준에서의 어업별 순이익 분석

대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에서의 갈치 어획에 의한 순이익은 <식 2-24>와 <식 2-25>에 의해 도출할 수 있다. 분석 결과, 평균 어획노력량 비율에서의 순이익은 대형기저쌍끌이어업에서 약 17,643백만 원, 대형트롤어업이 약 4,162백만 원이었다.

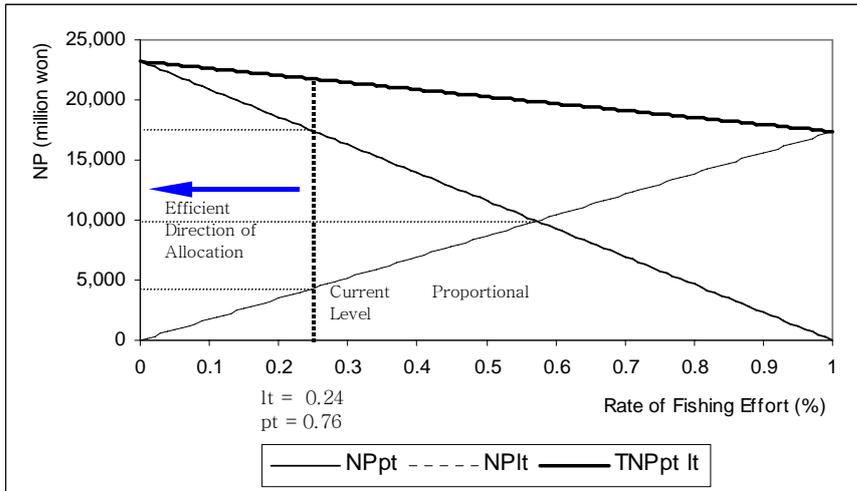
따라서 두 어업에서의 총순이익은 약 21,805백만 원이다. 이는 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업에 비해 더 많은 어획노력량 수준을 투입해 왔음을 의미한다. 결과적으로 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업에 비해 더 많은 순이익을 창출하고 있다.

이러한 결과는 <표 3-4>에서 나타난 바와 같이 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업에 비해 단위비용이 낮고 시장 판매가격이 높기 때문이다.

한편 갈치 어획에 대한 두 어업의 순이익이 같아지게 되는 시점에서 두 어업의 어획노력량 비율은 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업이 각각 0.57과 0.43이다. 여기서 두 어업의 순이익은 각각 9,933백만 원이고, 두 어업의 총순이익은 19,867백만 원이다. 이 금액은 현재의 어획노력량 비율에 의한 총순이익보다 약 1,938백만 원이 적다.

결론적으로 ABC 수준에서 갈치 어획에 대한 두 어업의 경제적 잉여만을 고려한다면, 효율적인 할당 방법은 순이익이 높은 대형기저쌍끌이어업에 할당비중을 높이는 것이 더 바람직하다고 할 수 있다.

〈그림 3-7〉 어획노력량 비율과 순이익과의 관계



7) 단일어종 · 단일어업(1×1)과 단일어종 · 다수어업(1×N) 비교

여기서는 단일어종 · 단일어업(1×1)과 단일어종 · 다수어업(1×N)의 TAC 평가를 비교 분석하였다. 보다 구체적으로는, 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업이 갈치를 어획하는 과정에서 서로 영향을 미치는 것이 아닌 독립적 조업이 가능한 것으로 가정된 1×1 모델의 적용 결과치를 경제적 상호작용이 고려된 1×2 모델의 적용 결과치와 비교·분석하였다.

분석 결과, 〈표 3-13〉에 나타난 바와 같이 단일어종 · 단일어업(1×1)에서의 MSY는 36,972MT으로서 단일어종 · 다수어업(1×2) MSY인 31,383MT을 상회하였고, 1×1 모델에서의 ABC도 17,548MT으로 1×2 모델의 15,283MT을 상회하였다. 또한 1×1모델의 MEY도 31,542MT으로 1×2모델의 25,184MT을 상회하였다.

분석 결과에서 알 수 있듯이 1×1 모델에 의한 개별 어업의 MSY 또는 ABC의 합계는 특정 어종에 대한 MSY 또는 ABC 추정에 있어서 과대추정으로 이어질 가능성이 높은 것으로 나타났다.

〈표 3-12〉 1×1어업과 1×2어업 비교

모델	단일어종·단일어업 (1×1)			단일어종·다수어업 (1×2)		
	갈치 & 대형기저 쌍끌이	갈치 & 대형트롤	합계	갈치 & 대형기저 쌍끌이	갈치 & 대형트롤	갈치 & 두 어업
MSY(MT)	29,129	7,843*	36,972	23,778	7,605	31,383
ABC(MT)	9,705	7,843*	17,548	11,615	3,668	15,283
MEY(MT)	27,161	4,381	31,542	-	-	25,184

주 : *갈치대형트롤의 MSY와 ABC가 같은 이유는 CPUE/CPUEMSY가 1보다 크기 때문이다.

제4장

다수어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델 구축

본 장에서는 다수어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델을 선행연구의 검토에 기초하여 세 가지 유형으로 나누어 구축한다. 여기서 다수어종 · 다수어업에 대한 TAC 평가 모델은 생물적·기술적 상호작용에 따라 각기 다른 기본모형을 가지며, 그 분석방법 또한 각기 상이하다. 따라서 이러한 모델의 적용에 있어 필요한 기본전제 및 자료 또한 달라질 필요가 있다.

1. 선행연구 검토

1) 생물적 상호작용에 관한 선행연구

생물적 상호작용은 동일한 먹이 자원에 대한 경쟁과 포식자-피식자 관계를 통해 발생한다. 이러한 생물적 상호작용에 대한 대표적인 예로 바렌츠 해와 아이슬란드 해 내에 서식하는 대서양 대구와 캐플린(Capelin)의 관계를 들 수 있다. 대서양 대구는 캐플린의 주요 포식자이지만 캐플린 또한 대구의 알을 먹는 포식자이다. 따라서 이들 어종이 가지고 있는 생물적 상호작용에 기인하여 개별 개체군 변화의 효과를 추정하는 것은 쉽지 않다. 따라서 생물 상호간의 상호작용은 개별 어종의 어업별 최대지속적생산량(MSY) 및 최대경제적생산량(MEY) 추정에 어려움을 초래한다(Pascoe, 1995).

(1) 포식자와 피식자의 관계

생물적 상호작용이 다수어업의 최적 어획 전략에 미치는 효과를 증명하기 위해서 포식자-피식자 관계에 관련된 연구가 발전해왔다. 이 중에서 Flaaten (1988)과 Flaaten & Stollery(1994)는 다수어업에 대한 포식자-피식자 잉여생산량모형을 도입하였다. 우선 Flaaten(1988)은 포식자-피식자 잉여생산량모형을 바렌츠 해 어업에 적용하였는데, 당시 그의 연구에서 어류자원을 늘리기 위해서는 해양포유동물의 자원량을 크게 감소시켜야 한다고 주장하여 국제적으로 많은 논쟁을 불러 일으켰다. 이러한 그의 주장은, 당시 유럽 공동체의 물범 가죽 수입 금지로 물범 포획이 상업적으로 활력을 잃었을 때, 바렌츠 해에서의 물범 포획을 보조해 온 노르웨이 정부의 어업정책에 일조하였다(Yodzis, 1994).

이후 Flaaten & Stollery(1994)는 북동대서양 밍크고래의 어류 포식에 따른 경제적 영향을 분석하였다. 그들은 포식자-피식자 잉여생산량 생물경제모형을 적용하여 포식자의 자원량 증가에 따른 피식자 자원감소에 의한 경제적 손실을 분석하였다. 연구 결과, 북동대서양 밍크고래의 자원량이 10% 증가할 경우 노르웨이 대구와 청어의 총이익이 각각 5.2%와 12.4% 정도 감소하여 17백만 달러 이상의 손실이 발생하는 것으로 추정되었다.

Yodzis(1994) 또한 포식자-피식자 이론과 다수어업의 관계에 대한 연구를 진행하였는데, 그의 논문에서 포식자-피식자 모델의 형태에 따라 포식자가 어획에 미치는 영향과 어획이 포식자에 미치는 영향 등을 보여줌으로써 포식자-피식자 모델의 형태에 따른 다양한 생물학적 의미를 검토하였다. 그는 Flaaten의 모델의 경우, 생물학적 측면에서 정당성을 부여 받기 힘들어 해양포유동물의 생존에 대한 편의를 발생시킬 수 있다고 결론지었다.

또한 어종 간 경쟁이 알려진 후 다수어종평가실무그룹(Multispecies Assessment Working Group)은 대상어종을 두 세 어종에서 다수(N)어종으로 확대 분석하였다. 동 그룹은 북해에서 11개 어종에 대한 포식자-피식자 관계를 밝혀냈다. 여기서 실무그룹은 이론적 접근방법으로서 잉여생산량모형과 다수어종

VPA(Virtual Population Analysis)를 함께 사용하였다. 이러한 분석은 먹이 패튼을 추정하기 위해 위(stomach) 내용물 분석과 어획량 및 어획노력량 자료를 포함하였다. 실무그룹은 다수어종 간 포식자-피식자 관계 등 생물적 상호작용에 대한 추정을 제공하고 이러한 상호작용에 입각하여 장기 최대지속적생산량을 분석함으로써 다수어종다수어업에 대한 TAC 평가에 기여해 왔다(Pascoe, 1995).

(2) 경쟁적 공존 및 배제의 관계

경쟁적 공존 및 배제관계는 두 어종이 동일한 서식지 내의 공간에서 서로 경쟁할 때 발생한다. 이러한 예로서, 태평양에서 지나친 과잉어획으로 인하여 1940년대와 1950년대에 정어리 자원이 붕괴된 바 있다. 그리고 그 자리를 그 당시 어획하지 않았던 멸치 자원이 대체하였다. 즉, 멸치의 자원량이 정어리 자원의 회복을 방해한 것으로 나타났다(Clark, 1990). 하지만 어업에서의 경쟁적 행동에 대한 사례 연구는 거의 드문 실정이다. 이러한 주요 원인은 어종 간의 경쟁적 공존이 피식자와 포식자의 관계만큼 명확하게 결론을 내릴 수 있는 근거를 찾아내기 어렵기 때문이다.

2) 기술적 상호작용에 관한 선행연구

다수어종·다수어업에 관한 기술적 상호작용은 인간의 어획활동으로부터 야기된 결과로서 특정 어종을 어획하는 한 어업이 다른 어종의 어획사망률에 영향을 끼칠 때 발생한다(Ryu, Gates, Nam, 2005; Sparre, 1998). 따라서 기술적 상호작용의 형태는 다양하다. 그러한 예로서, 여러 어종들이 생물적으로 독립된 생활을 하지만, 이들 어종이 동일한 장소에서 함께 서식할 때, 어획활동으로부터 상호 불가피한 부수어획이 발생할 수밖에 없다. 또한 다수어종 간의 생물적 상호작용이 존재하면서 이들 어종이 동일한 장소에서 함께 서식한다면 위의 예와 같이 동일한 기술적 상호작용이 발생할 수 있다. 한 예로서, 자망어

업과 트롤어업 간에 기술적 상호작용이 존재하는 Nicoya만을 들 수 있다. 그곳의 어린 새우는 도미류(snappers)와 민어류(sciaenids)의 중요한 먹이 생물로서, 트롤어업의 어획노력량 증가는 도미류와 민어류의 먹이 자원에 영향을 줄 수 있으며 해당 어업에도 영향을 미칠 수 있다. 특히, 이러한 현상은 대형 민어류를 어획하는 자망어업에서 흔히 발생하며, 대형 새우가 이러한 자망에 부수적으로 어획될 수 있다. 또한 새우 트롤어업에서도 위와 같이, 상업적으로 중요한 어류(finfish)의 미성어가 부수적으로 어획될 수 있다.

이러한 현상을 설명하기 위해, Anderson(1975)은 이론적인 2개 어종에 대한 복수 어종 모델을 개발하였다. 즉 그는 한 어종의 어획은 그 어종에 대한 어획노력량뿐만 아니라 타 어종의 어획노력량의 함수임을 식으로 표현하였다. Clark(1985)은 또한 혼합어종을 어획하는 혼합어업(Mixed Species Fisheries)에 대한 이론적 모델을 제시하였다. 그 후, Dann과 Pascoe(1994)는 Anderson의 모델과 유사한 모델을 개발하였고, 그들은 목표어종과 부수어획어종의 어획능률계수를 따로 추정하였다(Pascoe, 1995).

2. 기본모델 및 분석방법

다수어종·다수어업의 경우, 어종 및 업종 간의 상호작용에 기인하여 개별적으로 어종 및 어업을 독립시켜 모델을 분석하기가 쉽지 않다. Anderson은 이러한 문제를 고려하기 위해, 다수어종·다수어업 간의 상호작용을 크게 기술적 상호작용과 생물적 상호작용으로 나누어 이론적으로 규명하였다(Anderson, 1975). 우선, 생물적 상호작용은 어종 간의 상호작용을 의미하며, 그 한 예로서 상업적 가치가 높은 한 어종이 상업적 가치가 있는 다른 어종을 잡아먹는 포식자와 피식자의 경우를 들고 있다. 이 경우 다수어업 내의 한 어종의 어획량 변화는 다른 어종의 자원량과 어획노력량으로부터 영향을 받게 된다. 다음

으로 기술적 상호작용은 다수어업 내의 개별 어종의 어획량과 어획노력량간의 상호작용을 의미한다. 그러한 예로서 어업인들은 그들이 목표한 어종 외에 다른 어종을 부수적으로 어획하는 경우를 들 수 있다. 따라서 생물적·기술적 상호작용은 어업 전체 또는 다수어업의 어종별 총허용어획량(TAC)과 어업별 개별 어종의 최적 어획량 추정에 영향을 끼칠 수 있다.

1) 생물적 상호작용의 기본모델 및 분석방법

(1) 포식자와 피식자의 관계

포식자-피식자 잉여생산량모델 : MSY와 ABC 추정

다수어종·다수어업의 개별 어종의 어업별 최적 어획량을 추정하기 위해, 우선 두 어종 간에 포식자와 피식자의 관계를 가진 기본모델 및 분석방법을 설명하면 다음과 같다.

본 모델은 앞서 언급한 단일어종·다수어업의 잉여생산량모델에 이러한 포식자와 피식자의 관계와 연관된 계수를 모델에 추가함으로써 설명될 수 있다. 본 모델은 포식자와 피식자 관계에 있는 두 어종 모두 어획한다고 가정하고, 한 포식어종은 단지 한 피식어종만을 먹이로 삼고 그 피식어종은 단지 그 포식어종의 먹이 자원이 된다고 가정한다.

Flaaten은 어획의 부재시, 두 어종 간의 포식자와 피식자의 생물적 상호작용을 가진 자원의 성장률을 다음의 <식 4-1>과 <식 4-2>와 같이 설명하였다 (Flaaten, 1988).

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-1} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) \quad \langle \text{식 4-2} \rangle$$

여기서 X_1 과 X_2 는 피식어종(X_1)과 포식어종(X_2) 각각의 자원량을, r_1 과 r_2 는 개별 어종의 본원적 성장률을, K_1 은 피식어종의 환경수용능력을, β 는 포식어종에 의해 소비된 피식어종의 자원량 비율을, α 는 피식어종의 크기와 포식어종의 최대 크기 사이의 관계를 각각 나타낸다. 즉, $(\alpha X_1 = K_2)$ 는 피식어종의 자원량에 의존하는 포식어종의 환경수용능력을 의미한다. 그리고 이들 어종의 균형 자원량에서 α 는 <식 4-3>과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{X_2^E}{X_1^E} = \alpha \quad \langle \text{식 4-3} \rangle$$

여기서 X_1^E 와 X_2^E 는 어획의 부재시, 두 어종의 각각의 균형 자원량 수준을 나타낸다. 그리고 두 어종의 균형자원량 수준은 <식 4-1>과 <식 4-2>을 0으로 두고 두 식을 동시에 풀면 <식 4-4>와 <식 4-5>와 같다.

$$X_1^E = \frac{r_1 K_1}{r_1 + \beta \alpha K_1} \quad \langle \text{식 4-4} \rangle$$

$$X_2^E = \frac{\alpha r_1 K_1}{r_1 + \beta \alpha K_1} \quad \langle \text{식 4-5} \rangle$$

이상의 <식 4-4>와 <식 4-5>에서 포식어종의 균형 자원량 수준이 그 자체어종의 본원적 성장률(r_2)에 영향을 받지 않고 오히려 피식어종의 본원적 성장률(r_1)과 환경수용능력(K_1)에 의존한다.

위의 모델에 두 어종의 어획량의 함수를 추가하면 <식 4-6> 및 <식 4-7>과 같다. <식 4-6>과 <식 4-7>은 두 어종을 어획할 때의 자원 성장률을 나타낸다.

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - \beta X_1 X_2 - q_1 E_1 X_1 \quad \langle \text{식 4-6} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1}\right) - q_2 E_2 X_2 \quad \langle \text{식 4-7} \rangle$$

여기서 q_1 과 q_2 는 개별 어종에 이용된 어획노력량 수준이 각각 E_1 이 E_2 일 때의 개별 어종의 어획능력계수를 나타낸다. 여기서 개별 어종은 서로 독립적으로 어획 가능하며 개별 어종의 어획량은 어획노력량에 대해 선형함수식 ($C=qEX$)을 가진다고 가정한다. 개별 어종의 어획량이 자원의 성장률과 같을 때, 이들 어종은 균형에 도달하며, 이때 자원의 성장률은 0이다($\frac{dX}{dt}=0$). 따라서 자원의 균형상태에서의 어획량과 자원의 성장률과의 관계를 식으로 나타내면 <식 4-8>과 <식 4-9>와 같다.

$$q_1 E_1 X_1 = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-8} \rangle$$

$$q_2 E_2 X_2 = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1}\right) \quad \langle \text{식 4-9} \rangle$$

위의 <식 4-8>과 <식 4-9>를 X_1 과 X_2 식으로 풀면 <식 4-10>과 <식 4-11>로 나타낼 수 있다.

$$X_1^E = \frac{r_1 r_2 [K_1 - (q_1 K_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha K_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \langle \text{식 4-10} \rangle$$

$$X_2^E = \frac{\alpha r_1 r_2 [1 - (q_2 / r_2) E_2] [K_1 - (q_1 K_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha K_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \langle \text{식 4-11} \rangle$$

어획함수가 어획노력량에 대해 선형함수의 성격을 가지기 때문에, <식 4-10>과 <식 4-11>은 다시 두 어종에 대한 최대 지속적 생산량(C^{MSY})의 함수로 전환할 수 있고, 그것은 <식 4-12>와 <식 4-13>으로 나타낼 수 있다.

$$C_1^{MSY} = \frac{r_1 r_2 q_1 E_1 [K_1 - (q_1 K_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha K_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \langle \text{식 4-12} \rangle$$

$$C_2^{MSY} = \frac{\alpha r_1 r_2 q_2 E_2 [1 - (q_2 / r_2) E_2] [K_1 - (q_1 K_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha K_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \langle \text{식 4-13} \rangle$$

추가적으로 ABC_i 는 추정된 C_i^{MSY} 를 <표 2-3>의 ABC 추정식을 이용하여 추정할 수 있다.

포식자-피식자 파라미터 추정 : β α r_2 q_2 K_1

포식자-피식자 잉여생산량모델의 파라미터는 어획량과 어획노력량 자료로부터 추정될 수 있다. <식 4-8>과 <식 4-9>는 평형상태에서 <식 4-14> 및 <식 4-15>와 같이 대체될 수 있다.

$$C_1^E = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-14} \rangle$$

$$C_2^E = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) \quad \langle \text{식 4-15} \rangle$$

CPUE는 자원량($U=qX$)에 비례한다는 가정에 따라 <식 4-14>와 <식 4-15>는 <식 4-16> 및 <식 4-17>로 나타낼 수 있다.

$$C_1^E = \frac{r_1}{q_1} U_1 \left(1 - \frac{U_1}{q_1 K_1} \right) - \frac{\beta}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \langle \text{식 4-16} \rangle$$

$$C_2^E = \frac{r_2}{q_2} U_2 \left(1 - \frac{q_1}{\alpha q_2} \frac{U_2}{U_1} \right) \quad \langle \text{식 4-17} \rangle$$

또한 $\Delta X_i = C^E - C^i$ 이고 $C_i^E = C_i + \Delta U_i / q_i$ 라고 가정하면 <식 4-16>과 <식 4-17>은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta U_1}{U_1} = r_1 - \frac{r_1}{q_1 K_1} U_1 - \frac{\beta}{q_2} U_2 - q_1 \frac{C_1}{U_1} \quad \langle \text{식 4-18} \rangle$$

$$\frac{\Delta U_2}{U_2} = r_2 - \frac{r_1 q_1}{\alpha q_2} \frac{U_2}{U_1} - q_2 \frac{C_2}{U_2} \quad \langle \text{식 4-19} \rangle$$

Schaefer(1957)의 근사치(approximation) 가정에 따라 <식 4-18>과 <식 4-19>는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 파라미터는 관측된 어획량과 어획노력량으로부터 추정이 가능하다.

$$\frac{\overline{U_{1,t+1}} - \overline{U_{1,t-1}}}{2 \overline{U_{1,t}}} = r_{1,0} - r_{1,1} \overline{U_1} - r_{1,2} \overline{U_2} - r_{1,3} \overline{E_1} \quad \langle \text{식 4-20} \rangle$$

$$\frac{\overline{U_{2,t+1}} - \overline{U_{2,t-1}}}{2 \overline{U_{2,t}}} = r_{2,0} - r_{2,1} \frac{\overline{U_2}}{\overline{U_1}} - r_{2,2} \overline{E_2} \quad \langle \text{식 4-21} \rangle$$

파라미터 β , α , r_i , q_i , K_1 은 모두 <식 4-20>과 <식 4-21>의 회귀계수의 조작을 통해 구해질 수 있다. 다른 함수형태의 성장모델(지수함수 모델 등)의 파라미터 또한 이상과 비슷한 방법에 의해 구해질 수 있다(Pascoe, 1995).

포식자-피식자 생물경제 분석 : MEY 및 NP 추정

경제적 파라미터(가격, 비용)는 포식자-피식자 잉여생산량모델 속에 포함되어 고려될 수 있다. 2개 어종의 포식자-피식자 관계 하에서는 이익 곡선 속에서 두 어종을 결합하는 것이 필요하다. 주어진 수준의 자원량에 대한 이익은 다음과 같이 단순화되어 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 NP &= P_1 C_1 + P_2 C_2 - c(E_1 + E_2) && \langle \text{식 4-22} \rangle \\
 &= P_1 q_1 X_1 E_1 + P_2 q_2 X_2 E_2 - \alpha_1 m_1 E_1 - \alpha_2 m_2 E_2
 \end{aligned}$$

여기서 P_i 는 각 어종의 연평균 판매가격, C_i 는 어종별 어획량, c 는 어획노력량 함수로서의 단위비용, E_i 는 각 어종에 대한 개별 어업의 어획노력량 수준, q_i 는 어종별 어획계수, X_i 는 어종별 자원량, α_i 는 어업별 연간 가중평균 단위비용 그리고 m_i 는 어종별 생산가치의 평균비율을 나타낸다. <식 4-12>와 <식 4-13>의 복잡한 수식에서 알 수 있듯이 MEY 수준에서의 어획노력량을 결정하는 것은 매우 어려운 일이다. 수식을 풀 수 있는 가장 쉬운 방법은 <식 4-12>와 <식 4-13>에서 주어진 생물학적 평형 조건 하에서 총 어획노력량에 대한 제한조건(예, $E_1 + E_2 \leq E_{\max}$)을 두면서 <식 4-22>를 극대화하기 위한 목적함수를 설정해서 최적화 프로그램을 사용하는 것이다(Pascoe, 1995).

(2) 경쟁적 공존 및 배제 관계

경쟁적 공존 및 배제 잉여생산량모델 : MSY와 ABC 추정

다수어종·다수어업의 개별 어종의 어업별 최적 어획량을 추정하기 위해, 우선 두 어종 간에 경쟁적 공존 및 배제를 가진 기본모델 및 분석방법을 설명하면 다음과 같다.

개별 어종의 성장함수는 경쟁하는 두 어종의 자원량 크기에 의존할 뿐만 아

나라 로지스틱하다고 가정한다. 그리고 어획량은 어획노력량에 대한 선형의 함수식을 가진다고 가정한다. 경쟁적 공존 및 배제 하에서의 두 어종의 자원 성장률은 <식 4-23>과 <식 4-24>와 같다(Gause, 1935).

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - \alpha X_1 X_2 - q_1 E_1 X_1 \quad \langle \text{식 4-23} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{K_2}\right) - \beta X_1 X_2 - q_2 E_2 X_2 \quad \langle \text{식 4-24} \rangle$$

여기서 α 와 β 는 이들 상호작용의 계수이다. 경쟁적 어종에 대하여, α 와 β 는 0보다 크다. 왜냐하면 개별 어종이 경쟁어종의 성장에 부정적 영향을 주기 때문이다. 만일 α 또는 β 중의 하나만 음의 효과를 가진다면, 그때의 모델식은 앞서 언급한 포식자와 피식자의 관계와 같은 현상을 나타낸다.

앞서 언급한 <식 4-8>과 <식 4-9>와 같이, 자원의 생물적 균형은 두 어종의 자원 성장률이 0일 때 발생한다. 따라서 이것을 식으로 나타내면 <식 4-25> 및 <식 4-26>과 같다.

$$q_1 E_1 X_1 = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - \alpha X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-25} \rangle$$

$$q_2 E_2 X_2 = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{K_2}\right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-26} \rangle$$

<식 4-25>와 <식 4-26>을 X_1 과 X_2 에 대해 풀면 다음의 <식 4-27>과 <식 4-28>을 도출할 수 있다.

$$X_1^E = K_1 \left[1 - \frac{1}{r_1} (\alpha\beta_2 + q_1 E_1) \right] \quad \langle \text{식 4-27} \rangle$$

$$X_2^E = K_2 \left[1 - \frac{1}{r_2} (\alpha\beta_1 + q_2 E_2) \right] \quad \langle \text{식 4-28} \rangle$$

여기서 두 어종의 균형자원량 수준은 <식 4-27>과 <식 4-28>을 0으로 두고 두 식을 동시에 풀면 <식 4-29>와 <식 4-30>과 같다.

$$X_1^E = \frac{K_1 \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1 \right) - \frac{\alpha K_1 K_2}{r_1} \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2 \right)}{1 - \frac{\alpha\beta K_1 K_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{식 4-29} \rangle$$

$$X_2^E = \frac{K_2 \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2 \right) - \frac{\alpha K_1 K_2}{r_2} \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1 \right)}{1 - \frac{\alpha\beta K_1 K_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{식 4-30} \rangle$$

어획함수가 어획노력량에 대해 선형함수의 성격을 가지기 때문에, <식 4-29>와 <식 4-30>은 다시 두 어종에 대한 최대 지속적 생산량(C^{MSY})의 함수로 전환할 수 있고, 그것은 <식 4-31>과 <식 4-32>로 나타낼 수 있다.

$$C_1^{MSY} = q_1 E_1 \frac{K_1 \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1 \right) - \frac{\alpha K_1 K_2}{r_1} \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2 \right)}{1 - \frac{\alpha\beta K_1 K_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{식 4-31} \rangle$$

$$C_2^{MSY} = q_2 E_2 \frac{K_2 \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2\right) - \frac{\beta K_1 K_2}{r_2} \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1\right)}{1 - \frac{a \beta K_1 K_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{식 4-32} \rangle$$

추가적으로 ABC_i 는 추정된 C_i^{MSY} 를 <표 2-3>의 ABC 추정식을 이용하여 추정 가능하다.

경쟁적 공존 및 배제 파라미터 추정 : β , a , r_1 , q_1 , K_1

경쟁적 공존 및 배제관계의 잉여생산량모델에 대한 파라미터는 어획량과 어획노력량 자료로부터 추정될 수 있다. 그리고 <식 4-23>과 <식 4-24>는 평형 상태에서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1^E = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - a X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-33} \rangle$$

$$C_2^E = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{K_2}\right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{식 4-34} \rangle$$

여기서 CPUE는 자원량($U = qX$)에 비례한다는 가정에 따라 <식 4-33>과 <식 4-34>는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_1^E = \frac{r_1}{q_1} U_1 \left(1 - \frac{U_1}{q_1 K_1}\right) - \frac{a}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \langle \text{식 4-35} \rangle$$

$$C_2^E = \frac{r_2}{q_2} U_2 \left(1 - \frac{U_2}{q_2 K_2}\right) - \frac{\beta}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \langle \text{식 4-36} \rangle$$

또한 $\Delta X_i = C^E - C^i$ 이고 $C_i^E = C_i + \Delta U_i / q_i$ 라고 가정하면 <식 4-35>와 <식 4-36>은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta U_1}{U_1} = r_1 - \frac{r_1}{q_1 K_1} U_1 - \frac{\alpha}{q_2} U_2 - q_1 \frac{C_1}{U_1} \quad \langle \text{식 4-37} \rangle$$

$$\frac{\Delta U_2}{U_2} = r_2 - \frac{r_1}{q_2 K_2} U_2 - \frac{\beta}{q_1} U_1 - q_2 \frac{C_2}{U_2} \quad \langle \text{식 4-38} \rangle$$

Schaefer(1957)의 근사치(approximation) 가정에 따라 <식 4-37>과 <식 4-38>은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 파라미터는 관측된 어획량과 어획노력량으로부터 추정이 가능하다.

$$\frac{\bar{U}_{1,t+1} - \bar{U}_{1,t-1}}{2 \bar{U}_{1,t}} = r_{1,0} - r_{1,1} \bar{U}_1 - r_{1,2} \bar{U}_2 - r_{1,3} \bar{E}_1 \quad \langle \text{식 4-39} \rangle$$

$$\frac{\bar{U}_{2,t+1} - \bar{U}_{2,t-1}}{2 \bar{U}_{2,t}} = r_{2,0} - r_{2,1} \bar{U}_1 - r_{2,2} \bar{U}_2 - r_{2,3} \bar{E}_2 \quad \langle \text{식 4-40} \rangle$$

파라미터 $\beta, \alpha, r_i, q_i, K_i$ 은 모두 <식 4-39>과 <식 4-40>의 회귀계수의 조작을 통해 구해질 수 있다. 다른 함수형태의 성장모델(지수함수 모델 등)의 파라미터 또한 이상과 비슷한 방법에 의해 구해질 수 있다(Pascoe, 1995).

경쟁적 공존 및 배제 생물경제 분석: MEY 및 NP 추정

경제적 파라미터(가격, 비용)는 경쟁적 배제 및 공존관계의 잉여생산량모델 속에 포함되어 고려될 수 있다. 경쟁적 배제 및 공존관계 하에서는 이익 곡선

속에서 두 어종을 결합하는 것이 필요하다. 주어진 수준의 자원량에 대한 이익은 앞서 본 <식 4-22>와 같이 단순화되어 표현될 수 있다.

2) 기술적 상호작용의 기본모델 및 분석방법

생물경제학에서의 기술적 상호작용은 생물적 상호작용만큼 중요한 변수 중의 하나이다. 만일 다수어종이 다수어업에 의해 동시에 어획되어지는 기술적 상호작용이 존재할 때, 이들 개별 어종에 대한 개별 어업의 최적 어획노력량 및 최적 어획량을 추정한다는 것은 아주 힘든 일이다. 비록 여러 어종이 독립적으로 어획되어질지라도 어업 전체를 고려한 개별 어종의 적정 어획량 및 어획노력량이 고려될 필요가 있다.

그러한 예로서 한 어종의 TAC 변화는 이들 어종에 투입되어야 할 어획노력량이 다른 어종에 투입된 결과로서 야기될 수 있다. 즉, 개별 어업의 특정 어종에 대한 어획노력량 투입의 변화는 이들 어종의 자원량에 직접적인 영향을 줄 수 있다는 것이다.

특히, 대부분의 다수어종·다수어업에 있어, 어업자들이 그들이 목표한 어종만을 어획하는 데 기술적 한계를 가지고 있다. 따라서 이러한 어획활동은 그들이 목표하지 않은 여러 어종들을 부수적으로 어획하는 결과를 초래할 수밖에 없다.

이에 대해 Clark은 혼합어종을 어획하는 혼합어업(Mixed Species Fisheries)의 이론적 모델을 제시하였다(Clark, 1985). 다수어종·다수어업의 대표적인 사례인 혼합어종을 어획하는 혼합어업은 목표한 개별 어종의 어획능력의 한계로 인해 예상치 않은 다른 어종을 함께 어획하는 다수어종·다수어업을 일컫는다. 이러한 어업의 주요 특징은 상업적 가치가 높은 몇몇 어종의 어획을 지속적으로 증가시킴으로 인해 다른 어종의 고갈을 초래할 수 있다는 것이다(Clark, 1985).

혼획어종 잉여생산량모델: MSY와 ABC 추정

혼획과 같은 기술적 상호작용은 어종 간의 서로 다른 자원 성장률의 결과로서 발생할 수 있다. 따라서 Clark(1985, 1990)은 생물적 상호작용이 존재하지 않는 두 어종에 대해 개별 어업이 서로 다른 자원 성장률을 가진 이들 어종을 혼획할 때의 모델을 제시하였다. 이때 이들 어종의 자원 성장률은 로지스틱 성장함수로 가정한다.

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{K_1}\right) - q_1 E X_1 = G_1(X_1) - q_1 E X_1 \quad \langle \text{식 4-41} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{K_2}\right) - q_2 E X_2 = G_2(X_2) - q_2 E X_2 \quad \langle \text{식 4-42} \rangle$$

여기서 같은 수준의 어획노력량(E)이 두 어종에 적용되어진다. 그러나 두 어종의 어획량($C = qEX$)은 두 어종의 어획능률계수(q) 및 자원량의 크기(X)에 따라 달라질 것이다. 따라서 목표대상어종의 지속적 어획곡선과 부수어획어종의 지속적 어획곡선은 각각의 Schaefer 잉여생산량곡선으로부터 추정 가능하고, 한 어업에 의해 어획된 이들 두 어종의 지속적 어획곡선은 개별 어종의 지속적 어획곡선을 수직으로 합산함으로써 구해질 수 있다.

추가적으로 ABC는 추정된 C_i^{MSY} 를 <표 2-3>의 ABC 추정식을 이용하여 추정 가능하다.

혼획어종 파라미터 추정 : r_i, q_i, K_i

파라미터 r_i, q_i, K_i 는 Schaefer 방법, Schnute 방법, Walters와 Hilborn 방법, 어획노력량평균법, Fox 방법 또는 Clarke, Yoshimoto와 Pooley 방법에 의해 추정될 수 있다.

〈표 4-1〉 파라미터 r , q , K 추정방법

모델	방법	추정식
로지스틱 잉여생산량 (Logistic Surplus Production)	Schaefer	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r - \frac{r}{qK} \bar{U}_t - q\bar{E}_t$
	Schnute	$\ln\left(\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right) = r - \frac{r}{qK} \left(\frac{\bar{U}_t + \bar{U}_{t+1}}{2}\right) - q\left(\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right)$
	Walters와 Hilborn	$\frac{\bar{U}_{t+1}}{\bar{U}_t} - 1 = r - \frac{r}{qK} \bar{U}_t - q\bar{E}_t$
지수 잉여생산량 (Exponential Surplus Production)	어획노력량 평균법	$\ln \bar{U}_t = \ln(qk) - (q/r)\bar{E}_t$
	Fox	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r \ln(qk) - r \ln(\bar{U}_t) - q\bar{E}_t$
	Clarke, Yoshimoto, Pooley	$\ln \bar{U}_{t+1} = \frac{2r}{2+r} \ln(qk) - \frac{2-r}{2+r} \ln(\bar{U}_t) - \frac{q}{2+r} (\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1})$
일반 잉여생산량 (General Surplus Production)	Schnute	$\ln\left(\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right) = r - \frac{r}{q^{m-1}K^{m-1}} \left(\frac{\bar{U}_t^{m-1} + \bar{U}_{t+1}^{m-1}}{2}\right) - q\left(\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right)$

일반적으로 로지스틱 성장모델은 Schaefer 방법, Schnute 방법, Walters와 Hilborn 방법을, 지수 성장모델은 어획노력량평균법, Fox 방법 또는 Clarke, Yoshimoto와 Pooley 방법을 사용한다. 그리고 일반 잉여생산량모델은 Schnute 방법을 사용한다.

혼획어종 생물경제 분석 : MEY 및 NP 추정

경제적 파라미터(가격, 비용)는 혼획어종 잉여생산량모델에 적용할 수 있다. 두 어종 간 기술적 상호작용 하에서는 두 어종을 결합한 순이익을 계산할 필요가 있다. 주어진 수준의 자원량에 대한 순수익은 다음과 같이 단순화되어 표현될 수 있다.

$$NP = P_1q_1X_1E + P_2q_2X_2E - cE = (P_1q_1X_1 + P_2q_2X_2 - c)E \quad \langle \text{식 4-43} \rangle$$

이 경우 지속적 수입곡선은 두 생산곡선의 수직적 합으로 환산된다. 이 곡선의 형태는 생산곡선의 형태와 어종별 가격에 따라 달라진다. 전체 순이익을 최대화하기 위한 어획노력량 수준은 자원량이 적은 어종의 멸종으로 이어질 수도 있다. 즉, 자유어업형 평형생산, MSY, MEY는 자원량이 적은 어종의 멸종으로 이어질 수도 있다(Anderson, 1975; Ryu, Gates, Nam, 2005).

3. 필요 분석 자료

일반적으로 자원평가를 수행함에 있어서 가장 흔히 부딪히는 장벽은 적절한 자료의 부재이다. 이것은 자료의 주된 이용자인 자원평가 관련 과학자들이 자료수집에 대한 직접적인 통제권을 갖고 있지 못하기 때문이다. 특히 상업적 어업의 통계는 더욱 그러하다. 따라서 자료수집의 권한을 가진 자들은 자료가 왜 필요한지 그리고 어떤 자료(자료 유형, 세부사항, 정확도 등)가 필요한지를 숙지하는 것이 매우 중요하다(Gulland, 1985).

본 장의 다수어종-다수어업의 TAC 평가에 필요한 주요 자료는 포식자-피식자 그리고 경쟁적 공존 및 배제의 계수(coefficients)들이다. 이러한 계수들은 파라미터 추정방법 또는 위 내용물 분석과 같은 생물학적 방법에 의해 추정될 수 있다. 이렇게 추정된 계수는 각 어종별 로지스틱(또는 지수) 성장곡선에 영향을 미치고 어종별 자원량의 변화를 반영한다. 결과적으로, 각 어종별 MSY 또는 ABC는 이러한 계수들을 고려하지 않을 때 그 추정 값들이 다르게 추정되어질 것이다. 따라서 다수어종-다수어업에서 보다 정확한 TAC 평가를 위해서 포식자-피식자 정보에 관한 자료체계 구축이 기본적으로 선행되어야 한다.

또한 기술적 상호작용에 관한 분석에 필요한 중요한 자료는 혼획계수(q_i)이다. 혼획계수는 어획노력량과 혼획 자료에 의해 추정되어진다. 그러나 현실의 어업상황에서는 어업인의 해상폐기 및 부정확한 어획실적 보고로 혼획에 관련된 자료를 수집하기란 용이하지 않다. 하지만 이러한 분석을 위해서는 적어도 10년 이상의 혼획 자료가 축적되어야 한다. 따라서 다수어종·다수어업의 성공적인 TAC 평가를 위해서는 혼획 정보에 관한 자료체계 구축이 반드시 선행되어야 한다.

이상과 같이 다수어종·다수어업 모델에 필요한 기초 자료들과 이들 자료로부터 분석에 필요한 개별 변수의 추정치를 구하는 추정식을 요약·정리하면 <표 4-2>와 같다.

〈표 4-2〉 다수어종 · 다수어업에 필요한 기초자료 및 관련 추정식 및 추정변수

구분	기초 자료	관련 추정식	추정 변수	비고
어획노력량 표준화	연도별(또는 계절별, 월별) 어획량, 혼획, 어획노력량, 그리고 CPUE 자료 혼획자료 - 개별어종의 목표어종이 아닌 다른 어종의 부수 어획량 어획노력량 자료- 총척수, 총톤수, 총마력수, 총인망수, 어획량(척당, 톤당, 마력당, 인망당), 어획지역, 수심, 각기 다른 어획 어구, 출어 일수, 일별 인망수 등	〈식 2-1〉 〈식 2-2〉 〈식 2-3〉	표준화된 어획노력량 추정치	분석에 필요한 연도별 (또는 계절별, 월별) 자료가 최소 10개 이상은 되어야 함. 또한 더미(dummy)변수의 수가 많아지면 많아질수록 이들 자료의 수는 분석의 정확도를 높이기 위해 더 필요함
생물적 상호작용	포식자 및 피식자 관계 : 연도별(또는 계절별, 월별) 어획량 및 어획노력량 자료 :어획노력량과 CPUE의 상관관계에 따라 포스 또는 웨퍼모델을 이용할 수 있음	〈식 4-20〉 〈식 4-21〉	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i$	β 와 α 변수의 정확도를 높이기 위해 연도별, 계절별, 월별 자료를 이용할 뿐만 아니라 지역별 자료를 병용하는 것이 바람직함. 또한 이러한 분석에 앞서 이들 어종의 포식자 및 피식자 관계를 생물학적으로 입증할 필요 있음
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i, E_i$	〈식 4-10〉 〈식 4-11〉	X_i^E	-
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i, E_i$	〈식 4-12〉 〈식 4-13〉	C_i^{MSY}	-
	경쟁적 공존 및 배제 관계: 연도별(또는 계절별, 월별) 어획량 및 어획노력량 자료 :어획노력량과 CPUE의 상관관계에 따라 포스 또는 웨퍼모델을 이용할 수 있음	〈식 4-39〉 〈식 4-40〉	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i$	β 와 α 변수의 정확도를 높이기 위해 연도별, 계절별, 월별 자료를 이용할 뿐만 아니라 지역별 자료들을 함께 활용하는 것이 바람직함. 또한 이러한 분석에 앞서 이들 어종의 경쟁관계를 생물학적으로 입증할 필요가 있음
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i, E_i$	〈식 4-29〉 〈식 4-30〉	X_i^E	-
$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i, E_i$	〈식 4-31〉 〈식 4-32〉	C_i^{MSY}	-	
기술적 상호작용	혼획: 연도별(또는 계절별, 월별) 어획량, 혼획, 그리고 어획노력량 자료 :어획노력량과 CPUE의 상관관계에 따라 포스 또는 웨퍼모델을 이용할 수 있음	〈표 4-1〉	$r_i, q_i, k_i, \bar{n}_{bycatch}$	혼획 자료의 연도별 축적이 요구됨
	$r_i, q_i, k_i, E_i, \bar{n}_{bycatch}$	〈식 2-17〉	$X_i^E, C_i^{MSY}, E_i^{MSY}$	-
경제적 상호작용	어종별시장판매가격, 인망당단위 비용, 어종별 생산액 비율, 어업별 개별 어종의 생산액, 소비자 물가지수, 생산자 물가지수, 최당어획 비용, 업종별 개별 어종의 어획비율 등	〈표 3-3〉 〈표 3-4〉 〈식2-18~25〉 〈식 4-22〉 〈식4 -43〉	C_i^{MEY}, NP_i	개별 어종의 업종별 최적할당량을 산출하기 위해 어획 어종별 어획 한계비용의 자료 구축이 요구됨

제5장

결론 및 정책제언

1. 요약 및 결론

1) 요약

본 연구는 다수어종·다수어업에 대한 세 가지 유형의 TAC 평가 모델을 제 공하였다. 이러한 세 가지 유형의 평가 모델은 다수어종·단일어업, 단일어 종·다수어업 및 다수어종·다수어업이다. 그리고 1차 연도에 본 연구는 다수어 종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델의 구축 및 실증 분석을 실시하였고, 2차 연도에 남은 단일어종·다수어업 및 다수어종·다수어업에 대한 TAC 평가 모 델을 구축하고 부분적으로 실증 분석을 실행하였다. 우선 이들 세 가지 유형의 평가 모델의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델

1차 연도 연구의 분석 대상인 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 대형 선망어업이 고등어와 전갱이를 어획할 때 발생 가능한 혼획과 같은 기술적 상 호작용을 고려하기 위해, 본래의 베버톤-홀트의 가입당 생산량모델에 두 개의 추정계수를 추가함으로써 혼획률이 개별 어종의 가입량 및 순간어획사망계수 에 미치는 영향을 고려하였다. 또한 그 추정계수를 추가한 확장된 베버톤-홀트 모델의 TAC 평가 결과로부터 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델에 의해 추정된 고등어의 TAC 수준이 적합한지 아닌지를 비교·분석하였다.

분석 결과, 다수어종·단일어업에 의해 추정된 대형선망어업의 고등어 ABC의 하한 수준은 대략 116,884톤이었고, 전갱이의 ABC의 하한수준은 5,552톤이었다. 이러한 추정치는 현행 단일어종·단일어업에 의해 추정된 고등어의 ABC의 하한수준(128,192톤)보다 다소 낮았다. 이러한 결과는 베버튼-홀트 모델에 추가된 추정계수들의 영향으로 대형선망어업의 고등어에 대한 TAC 수준이 다소 낮아졌다고 볼 수 있다. 즉, 한 어업의 어획이 목표어종이 아닌 다른 어종을 부수 어획함으로 발생시킬 수 있는 다른 어종의 자원량의 변화를 고려해 볼 때, 대형선망어업이 전갱이를 부수 어획함으로써 발생시킬 수 있는 전갱이 자원의 남획을 막기 위해 대형선망어업의 주 목표어종인 고등어의 어획량을 다소 감소시킬 필요가 있음을 시사해 주었다.

(2) 단일어종·다수어업의 TAC 평가 모델

2차 연도의 첫 번째 연구대상인 단일어종·다수어업의 TAC 평가 모델은 단일어종에 대한 다수어업의 어획노력량이 다르므로 Gavaris(1980)의 어획노력량 표준화 기법으로부터 어업별 어획노력량을 하나의 어획노력량 단위로 표준화하여, Fox(1970)에 의한 잉여생산량모델에 적용함으로써, 최대지속적생산량(MSY), 최대경제적생산량(MEY) 및 적정 어획노력량의 값을 추정하였다. 여기서는 갈치에 대해 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 적용하였고, 이 두 어업에 대한 경제성 분석을 통하여 순이익을 추정하였다.

분석 결과, 대형기저쌍끌이어업과 대형트롤어업에 의한 갈치의 MSY는 31,383톤이고, 이때의 어획노력량은 약 138,504인망수였다. 그리고 경제성 분석으로부터 추정된 MEY와 이때의 어획노력량은 각각 25,184톤과 65,715인망수였다. 경제성 분석으로 추정된 MEY와 이때의 어획노력량 E_{MEY} 는 두 어업의 MSY와 이때의 어획노력량 E_{MSY} 보다 약 80%와 47%의 낮은 수준을 보여주었다. 이것은 어획노력량을 E_{MEY} 수준으로 감소하여도 그 어획량의 감소폭은 상대적으로 낮다는 것을 의미한다. 즉, 어획노력량을 53% 감소시켜도 그 어획량은 20%밖에 줄지 않는다는 것으로서 지금껏 이들 두 어업의 어획노력량이 과

잉 투입되어져 왔다는 것을 반영한다.

한편, 갈치를 어획하는 두 어업의 경제성을 비교해 볼 때, 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업보다 다소 수익률이 높은 것으로 나타났다. 즉, 적당 인망수가 많고, 인망당 비용 대비 판매단가가 높은 대형기저쌍끌이어업이 대형트롤어업보다 갈치의 어획에 있어 수익률이 다소 높았다. 또한 실증분석을 통해 얻어진 중요한 결과 중의 하나는 단일어종·단일어업(1×1)에 기초한 TAC 평가 모델이 생물학적 그리고 경제적 편의(bias)를 발생시킬 수 있다는 것이다. 즉, 단일어종·단일어업에 기초한 MSY 혹은 ABC 추정치가 단일어종·다수어업($1 \times N$)에 기초한 추정치를 상회하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 예측 가능하듯이 1×1 모델은 어업인의 허용가능 어획량을 늘려줌으로써 자원량 감소를 초래하게 된다. 따라서 지속가능한 어획 및 어업자원의 유지를 위해서는 가능한 한 다양한 편의(bias)를 줄여줄 수 있는 모델의 선택이 매우 중요한 것으로 나타났다.

(3) 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델

2차 연도 연구의 두 번째 분석 대상인 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델에 대한 선행연구 및 모델 구축을 요약하면, 생물적 그리고 기술적 상호작용을 고려하여 다수어종·다수어업($N \times N$)에 대한 TAC 평가에 관한 이론적 체계를 잉여생산량모델에 관련된 $N \times N$ 과 $N \times 1$ 모델의 사례연구로부터 구축하였다. 특히 Flaaten(1988), Flaaten과 Stollery(1994), Yodzis(1994) 그리고 다수어종평가실무그룹(1991)에 의해 진행된 연구로부터 생물적 상호작용 중의 하나인 포식자-피식자 사례에 대한 기본모델 및 분석방법을 구체적으로 기술하였다. 특히 동 모델의 분석시 중요한 점은 첫째 포식자-피식자 계수를 일반적인 Schaefer 잉여생산량모델에 접목시키는 것이고, 둘째, MSY와 ABC를 추정하기 위하여 이러한 계수를 추정하는 방법을 개발하는 것이다.

또한 Clark(1985, 1990)의 연구에 기초하여 생물적 상호작용 중의 하나인 경쟁적 공존 및 배제에 관한 기본모델과 분석방법을 구축하였다. 이러한 연구방

법의 중요한 점은 위와 같이 우선, 경쟁적 공존 및 배제에 관한 계수를 일반적인 Schaefer의 잉여생산량모델에 접목시키는 것이고, 다음으로 MSY와 ABC를 추정하기 위하여 이러한 계수를 추정하는 방법을 개발하는 것이다.

끝으로 Anderson(1975), Clark(1985, 1990), Dann & Pascoe(1994)의 사례 연구에 기초하여 기술적 상호작용의 대표적인 사례인 혼획에 대한 기본모델과 분석방법을 구축하였다. 이 연구에서 주목할 점은 첫째, 혼획 계수를 일반적인 로지스틱 잉여생산량모델에 접목시키는 것이고, 둘째, 두 어종 간의 수직적으로 합해진 MSY와 ABC 추정을 위해 추정된 혼획계수로부터 목표어종 및 부수 어획어종의 지속적 어획곡선을 수직으로 합산하는 것이다.

그리고 위의 세 가지 유형은 공통적으로 가격과 단위비용과 같은 경제적 파라미터를 이용하여 포식자-피식자, 경쟁적 공존 및 배제, 혼획에 의해 변형된 Schaefer의 생물경제모델로부터 어종별 MEY와 NP를 추정할 수 있도록 생물경제모델을 잘 구축하는 것이었다.

특히 이러한 모델 구축의 기본전제에는 다양한 기본가정을 동반하였고, 그 가정에 적합한 파라미터의 계수 또한 필수적으로 요구되었다.

2) 분석의 함의 및 한계

(1) 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델

1차 연도 연구 대상인 다수어종·단일어업 TAC 평가 모델의 분석 함의 및 한계로서, 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 다수어종에 TAC를 적용함으로써 발생할 수 있는 혼획 및 불법투기, 고등급화와 같은 문제들을 내생변수로서 활용할 수 있을 뿐만 아니라, 개별 어종의 TAC 수준을 보다 정확히 추정할 수 있는 장점을 가지고 있다. 다시 말해, 혼획의 부정적 외부성(externality)을 모델 내의 내생변수로서 활용함으로써 사회적인계비용(Social Marginal Cost)을 부분적으로 감소시키는 긍정적인 유인을 가져올 수 있다.

또한 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 단일어종·단일어업에 의해

추정된 ABC를 보완하는 데 유용하다. 예를 들어, 혼획률을 고려한 다수어종 간의 평균어획사망계수는 단일어종·단일어업에 의해 추정된 어획사망계수를 조정하는 기능을 할 수 있다. 그 결과 다수어종 간의 극단적으로 상이한 어획사망계수가 존재할 때, 자원량이 적은 어종의 남획이나 멸종을 막기 위해 상대적으로 자원량이 풍부한 이들 어종의 어획사망계수의 조정을 유도할 필요가 있다(Ryu, Gates, Nam, 2005).

본 모델의 한계로서, 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 확장된 베버톤-홀트의 가입당 생산량모델을 이용함으로써 다수어종에 속한 개별 어종의 ABC를 추정하는 데 한계를 가지고 있다. 또한 다수어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 개별 어종의 적정 어획사망계수의 추정에 한계를 가지고 있다. 그 외에도 본 모델은 여전히 실제 현실을 단순화한 모델로서 다수어종 간에 야기될 수 있는 다양한 상호작용을 고려하지 못하고 있다(Ryu, Gates, Nam, 2005).

(2) 단일어종·다수어업의 TAC 평가 모델

2차 연도 연구의 첫 번째 분석 대상인 단일어종·다수어업 TAC 평가 모델의 분석 함의 및 한계로서, 우선적으로 단일어종·다수어업은 경쟁적 조업으로 인해 야기되어질 수 있는 특정어종의 남획을 방지할 수 있는 자원의 보존적 접근 방법으로서 단일어종·단일어업에 의해 추정된 ABC를 보완하는 데 매우 유용하다.

한편 본 분석의 한계로서 정확한 생물학적 정보 수집의 어려움을 들 수 있다. 이것은 결국 TAC 평가제도 내에 흡수되어야 할 단일어종·다수어업 평가 모델의 적용에 앞서 분석의 기초가 되는 신뢰성 있는 정보의 축적이 필히 수반되어야 한다는 것을 대변한다. 특히 이러한 정보의 축적 및 공유를 위해 정부는 더 많은 예산을 기초자료 축적에 사용해야 할 것이다.

그리고 본 연구의 분석이 갈치를 어획하는 여러 어업 중, 어획률이 높은 두 어업종에 한정하여 분석하였다는 것이다. 특히 분석의 결과로부터 갈치의 적정 어획량과 적정 어획노력량은 두 어업이 잡고 있는 다른 어종의 어획량과 가치

를 배제한 결과이므로 모델의 기본가정의 한계를 그대로 반영하고 있다. 즉, 대형기선저인망쌍끌이어업이 갈치만을 대상어종으로 어획할 수 없는 현실에서 갈치만을 대상으로 한 분석은 개별 어종의 적정 어획량은 알 수 있으나, 대상 어업의 적정 어획노력량을 갈치만을 기준으로 하여 분리시킬 수 없는 한계가 있었다.

(3) 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델

2차 연도 연구의 두 번째 분석 대상인 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델의 분석 함의 및 한계로서, 생물적 상호작용과 관련해서 다수어종·다수어업에 대한 대부분의 연구는 이러한 상호작용의 통계적 추정의 한계로 인해 포식자-피식자 그리고 경쟁적 공존 및 배제관계에서의 상호작용을 무시해 왔었다. 하지만 만약 이러한 상호작용의 비중이 높다면 TAC 평가에 있어서 커다란 편의를 발생시킬 우려가 있다. 따라서 이러한 일반적 로지스틱(또는 지수) 성장 모델의 문제점을 보완하기 위해서 포식자-피식자 관계와 경쟁적 공존 및 배제 관계가 일반 성장 모델에 추가될 수 있다. 즉 추가된 계수는 포식자-피식자 관계와 경쟁적 공존 및 배제 관계에 의한 자원량 변화를 반영한다. 한편 이러한 계수는 파라미터 추정방법 또는 위 내용물 분석과 같은 생물학적 접근법에 의해 추정될 수 있다.

본 평가 모델 또한 파라미터 추정방법에 의해 추정된 파라미터로부터 생물적 상호작용을 고려하여 어종별 MSY와 ABC가 추정 가능하다. 또한 경제적 파라미터에 기초해 어업별 두 어종 간 수입곡선을 수직적으로 합산함으로써 MEY와 NP를 추정할 수 있다. 따라서 이들 추정 계수 자료의 확보는 생물적 상호작용에 대한 분석에 있어서 가장 중요한 문제이다. 생물적 상호작용 분석의 제약으로서 첫째, 여러 어종 간 먹이사슬로 인해 이러한 상호작용이 매우 복잡할 경우 포식자-피식자 그리고 경쟁적 공존 및 배제의 계수를 추정하기란 쉽지 않다. 둘째, 복잡한 개별 어종별 최대지속적생산량으로 인해 MEY 수준에서의 어획노력량 수준을 결정하는 것은 매우 어렵다.

기술적 상호작용의 사례에서는, 다수어종·다수어업의 대부분의 분석이 일반적으로 혼획의 효과를 무시하고 있는데, 특히 어획량 중 혼획비중이 대상어종에 비해 상대적으로 작을 때 더욱 그러하다. 하지만 총 어획량 중 특정 어업의 부수어종에 대한 혼획 비중이 목표어종에 비해 상대적으로 클 경우, 부수어종의 TAC 평가는 상대적으로 부정확해질 수밖에 없다. 이것은 한 특정어업에 의해 어획된 목표어종의 TAC가 혼획되는 다른 어종의 TAC에 부정적 영향을 초래할 수 있기 때문이다. 따라서 다른 어종의 TAC를 초과시키는 것을 방지하기 위해 중요한 기술적 문제는 대상어종의 TAC 평가에 혼획이 미치는 영향을 반영시키는 것이다.

이러한 경우, 주된 기술적 문제로서 첫째, 어업 간 총어획량(어획량+혼획량)과 표준화된 어획노력량 정보를 어떻게 적용시키느냐 하는 것이고, 둘째는 혼획 자료를 어떻게 수집할 것인가이다. 만약 혼획 자료가 활용 가능하다면, 혼획과 어획노력량 자료로부터 혼획 계수를 추정하는 것은 충분히 가능하다. 그러면 경제적 파라미터에 근거하여 대상어종과 혼획어종의 수입곡선을 수직적으로 통합하여 MEY와 NP를 추정할 수 있게 된다. 따라서 중요한 자료 중 하나는 타 어업에 의해 어획된 혼획자료이며, 이러한 자료의 활용가능성이 기술적 상호작용의 분석을 위한 근본적인 문제이다. 한편 기술적 상호작용의 한계로서 첫째, 현실의 어업상황 하에서는 혼획자료를 수집하는 것이 매우 어렵다는 것이다. 둘째, 금액으로 환산된 지속적 수입곡선과 어업별 비용곡선에 의해 산출된 MEY는 자원량이 적은 어종에 대해 생물적 피해를 발생시킬 수 있다는 것이다.

결론적으로, 본 연구의 생물적 그리고 기술적 상호작용에 관한 이론적 접근 방법은 어종 및 어업 간의 상호작용에 대한 이해수준과 자료이용의 가능성에 의존할 수밖에 없다. 따라서 자료의 활용가능성은 생물적 그리고 기술적 상호작용 분석의 근본적인 문제이다.

2. 정책제언

단일어종·단일어업 이외의 세 가지 다수어종·다수어업($N \times 1$, $1 \times N$, $N \times N$) TAC 평가에 대한 정책적 시사점을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 현행 우리나라 TAC 평가 모델에 대한 보조적 평가방법으로서 자원의 보존적 접근과 관련하여 유용한 정보를 제공한다. 단일어종·단일어업을 가정한 TAC 평가 모델이 갖는 한계, 즉 자원의 과소 및 과대평가에 따른 자원관리 목표치의 부정확한 설정과 그에 따른 자원관리의 실패를 보완할 수 있다. 따라서 가능하다면 정부에서는 본 연구에서 제안하고 있는 다수어종·다수어업 3가지 유형의 모델을 이용하여 TAC를 산정하면 현행 방식의 한계를 상당히 극복할 수 있을 것이다.

둘째, 비효율적인 어획활동(과잉어획, 과잉어획능력 등)에 의해 야기된 사회적 손실을 감소시킨다. 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 혼획 및 불법투기, 그리고 고등급화와 같은 부정적 외부성을 전혀 고려하지 못함으로 인해 어획노력량을 과대 투입할 우려가 있다. 그러나 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델은 이러한 부정적 외부성을 가진 변수들을 내생변수들로 활용함으로써 사회적 한계비용을 감소시키고 그 결과 사회적 편익을 증대시키는 장점을 가지고 있다.

셋째, 과잉어획으로 인한 경쟁적 조업을 방지할 수 있다. 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 특정 한 어업의 특정 한 어종에 대한 TAC 또는 MEY를 반영함으로써 동 어종을 어획하고 있는 다른 업종의 어획량에 대한 영향을 전혀 고려하지 못하고 있다. 그 결과 다른 업종이 그 어종의 어획으로부터 야기되어지는 이들 어업 간의 산업적 충돌에 대한 정보를 제공해 줄 수 없다. 그러나 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델은 특정어종에 대한 업종 간의 조업에 대한 생물적·경제적 정보를 제공해 줌으로써 정부의 수산업 구조조정에 유용한 정보를 제공해 줄 수 있다.

넷째, 다수어업에서 어종별 어획량과 어획노력량 수준을 통제할 수 있다. 일반적으로 특정의 한 어종에 대한 단일어업의 TAC 산정은 동 어종을 어획하는 모든 업종의 TAC 산정을 합산한 것으로써 동 어종에 대한 TAC 물량을 과대평가할 가능성이 높다. 그러나 다수어업에 대한 특정 어종의 TAC 산정은 이들 업종의 어획노력량을 표준화하여 동 어종의 총 TAC를 산정하고 산정된 총 TAC를 다시 개별 어업의 어획노력량으로 환산함으로써 개별 어업의 TAC 물량을 추정할 수 있다. 따라서 이러한 다수어업의 단일어종에 대한 TAC 평가 모델 또한 개별 어업의 어종별 어획량 및 어획노력량 수준을 조정하고 통제할 수 있는 장점이 있다.

다섯째, 경제성 분석을 통해 다수어업 간 어종별 TAC 최적 배분에 관한 지침을 제공한다. 또한 최적 통제 이론으로부터 이익의 순현재가치를 최적화할 수 있다. 단일어종·단일어업에 대한 TAC 평가 모델은 개별 어종에 대한 개별 어업의 순이익은 최적화할 수 있으나, 업종간·어종간 상호작용을 배제함으로써 다수어종의 어업전체에 대한 최적이용 및 현재가치로 환산된 순이익은 분석할 수 없다. 그러나 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델은 앞서 언급한 다수어종에 대한 이들 어종들과 관련된 어업 전체의 최적 이용 및 경제적 이용의 정보를 정부에 제공해 줄 수 있는 장점이 있다. 따라서 어업 전체의 균형적 성장과 발전을 고려해야 할 정부의 입장에서 이러한 정보들은 상당히 유용할 것으로 판단된다.

여섯째, 자원의 생물적 피해를 줄여준다. 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델이 배제하고 있는 생물적·기술적·경제적 상호작용이 어종별 자원량에 미치는 영향들을 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델이 고려함으로써 개별 어종의 자원량 변동을 보다 정확히 파악할 수 있다. 따라서 이러한 개별 어종의 자원량 변동을 정확히 파악하여 어종별 TAC를 산정하면 자원의 생물적 피해는 지속적으로 감소시켜 나갈 수 있을 것이다.

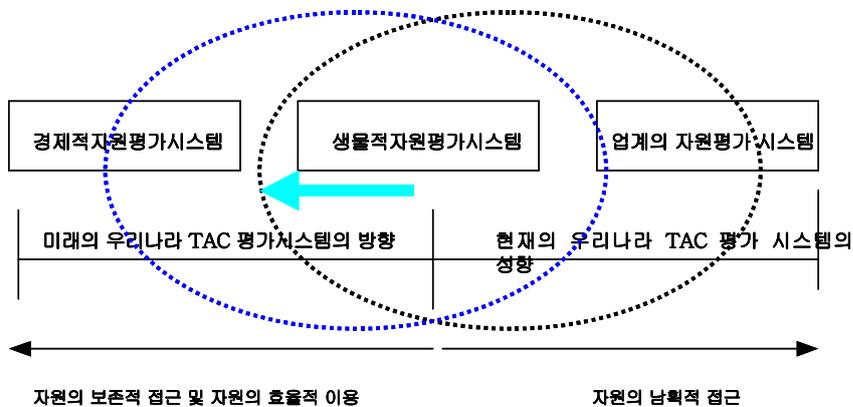
일곱째, 경제적 손실을 야기하는 어업에 대해 퇴출기준을 제공한다. 단일어종·단일어업의 TAC 평가 모델은 업종 간의 경제적 손익을 고려치 않고 단지

단일어종에 대한 개별 어업의 손익만을 고려함으로써 특정 어종에 대한 업종 간의 효율적 이용을 감지할 수 없다. 그러나 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델을 적용할 경우, 특정어종에 대한 다수어업의 경제적 효율성을 추정할 수 있으므로 비효율적인 업종에 대한 시장진입을 제한할 수 있는 기초 정보를 제공해 주는 장점이 있다. 따라서 이러한 정보는 정부의 어종별 어업관리정책에 유용한 정보로서 활용 가능하다.

끝으로, 다수어종·다수어업의 TAC 평가 모델은 단일어종에 대한 다수어업 출구규제방식의 어업관리제도 하에서 정부의 중요한 역할은 최대한 많은 바다의 물고기를 지속적으로 어업자들이 이용할 수 있도록 수산자원을 잘 관리하는 것이 1차적인 목표지만, 매년 정해진 물고기의 총허용량 내에서 개별 어업자들의 수익을 최적화하도록 어업별 할당량을 배분하는 것도 매우 중요하다. 결국, 생물적 관리와 경제적 관리 모두 정부가 담당해야 할 몫이며 어느 한 부분도 소홀해져서는 안 될 것이다.

〈그림 5-1〉은 우리나라 TAC 평가제도의 발전 방향을 도표로 간략히 나타낸 것이다.

〈그림 5-1〉 우리나라 TAC 평가 제도의 발전 방향



타원형의 방향이 업계로 치우칠 경우에는 자원의 남획이 우려되고, 타원형의 방향이 경제로 치우칠 경우에는 장기적으로 자원의 보존적 접근과 자원의 효율적 이용을 달성할 수 있다. 그러나 단기적인 측면에서 타원형의 방향이 경제로 치우칠 경우, 어업자들의 현실적 고통이 수반될 우려가 있으므로 경제성 평가 시스템의 책임 있는 평가 결과가 수반되어야 한다.

참고문헌

- Anderson, L. G., “Analysis of Open-access Commercial Exploitation and Maximum Economic Yield in Biologically and Technologically Interdependent Fisheries”, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 32, No. 10, 1975.
- Berachi, I. G., “Bioeconomic Analysis of Artisanal Marine Fisheries of Tanzania(Mainland)”, MSc. Thesis, 2003.
(<http://www.nfh.uit.no/dok/IFM/thesis/isaac2003.pdf>)
- Chae, D. R. and S. Pascoe, “Use of Simple Bioeconomic Models to Estimate Optimal Effort Levels in the Korean Coastal Flounder Fisheries”, *Aquat. Living Resour*, 18, 2005.
- Clark, C. W., *Bioeconomic Modelling and Fisheries Management*, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- _____, *Mathematical Bioeconomics: the Optimal Management of Renewable Resources(2nd edition)*, John Wiley and Sons, USA, 1990.
- Csirke, J. and J. F., “Caddy, Approximation to Sustainable Yield for Exploited and Unexploited Stocks”, *Oceanogr. Trop*, 18(1), 1983.
- Eyolf, J. L., et al., “Management, Co-Management or No Management? Major Dilemmas in Southern African Freshwater Fisheries”, *FAO Fisheries Technical Paper 426/1*, 2003.
- Fisheries Cooperative Associations, *Annual Fisheries Business Statistic Report*, 1995~2004.
- Flaaten, O., *The Economics of Multispecies Harvesting: Theory and Application to the Barents Sea Fisheries*, Springer-Verlag, Germany, 1988.

- Flaaten, O. and K. Stollery, "The Economic Effects of Biological Predation: Theory and Application to the Case of the North East Atlantic Minke Whales(*Balaenoptera acutorostrata*) Consumption of Fish", *CEMARE Research Paper*, No. 67, Department of Economics, University of Portsmouth, UK, 1994.
- Fox, W. W. Jr., "An Exponential Surplus Yield Model for Optimizing Exploited Fish Populations", *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 99, No. 1, 1970.
- _____, *An Overview of Production Modeling*, WPTD/74/013, 1974.
- _____, *Fitting the Generalized Stock Production Model by Least Squares and Equilibrium Approximation*, *Fish. Bull. (U.S.)* 73: 23-36, 1975.
- Francis, M.T., "Bio-economics of Common Resource Over Exploitation: Case of Lake Malombe Chambo(*Oreochromis* Sp. Cichlidae) Fishery in Malawi", *MSc. Thesis*.
(<http://www.ub.uib.no/elpub/NORAD/2002/uit/thesis01.pdf>)
- Gause, G. F., *La Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie*, Hermann, Paris, 1935.
- Gavaris S., "Use of a Multiplicative Model to Estimate Catch Rate and Effort from Commercial Data", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 2272-2275, 1980.
- Graham, M., "Modern Theory of Exploiting a Fishery, and Application to North Sea Trawling", *Journal du Conseil Internationale et Exploration du Mer*, Vol. 10, No. 3, 1935.
- Goldberger, A., "Best Linear Unbiased Prediction in the Generalized Linear Regression Model", *Journal of the American Statistical Association* 57, 1962.

- Gulland, J. A., Fishing and the Stocks of Iceland, Ministry for Agriculture, *Fisheries and Food Fisheries Investigation Series II*, Vol. 23, No. 4, 1961.
- Gulland, J. A., *Stock Assessment: Why?*, Food And Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1983.
- Lee. J. U., “Estimation on Optimum Fishing Effort of Walleye Pollock Fishery in the East Coast of Korea: Based on the Economic Analysis between Danish Seine Fishery and Trawl Fishery for Walleye Pollock. J”, *Korean Man. Soc*, 22, 1991.
- MOMAF, Analysis on Investment Effects of the Korean Inshore and Offshore Vessel BuyBack Program, 2003.
- _____, *A Study on the Structural Adjustment of Offshore Bottom Trawl Fisheries 1st, 2nd and 3rd Year Report*, 2003, 2005, and 2006.
- _____, Fisheries Statistic Data(<http://www.momaf.go.kr/info/statistics>), 2006.
- NMFS, Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan for Red Grouper, with associated Impacts on Gag and Other Groupers and Draft supplemental Environmental Impact Statement, National Oceanographic and Atmospheric Administration, U. S. Department of Commerce, Sliver Spring, Maryland, 2002.
- NFRDI, *Stock Assessment and Fishery Evaluation Report of Year 2005 TAC-based Fisheries Management in the Adjacent Korean Water*, National Fisheries Research and Development, 2004.
- Pascoe, S., *Bioeconomic Models and Modeling: Theory and Practice*, Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources (CEMARE), Department of Economics, University of Portsmouth, 1995.
- Quinn, T.J., II and R.B. Deriso, *Quantitative Fish Dynamics*, Univ. of

- Oxford. USA, 1999.
- Ryu, J. G. et al., *A Study on Comprehensive Mid and Long Term Plan for Fisheries Resource Management*, MOMAF.
- Ryu, J. G., J. M. Gates, and J. Nam, *A Study on Assessment of TAC for Multi-species and Multi-gears*, Korea Maritime Institute(KMI), 2005.
- Ryu, J. G., J. Nam and J. M. Gates, "Limitations of the Korean Conventional Fisheries Management Regime and Expanding Korean TAC System toward Output Control System", *Marine Policy*, 30, 2006.
- Schaefer M. B., "Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1, 1954.
- _____, "A Study of the Dynamics of the Fishery for Yellowfin Tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 2, 1957.
- Schnute, J., "Improved Estimates from the Schaefer Production Model: Theoretical Considerations", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 34, No. 5, 1977.
- Seo, Y. I. and C. I. Zhang, "A Study on the Multi-gear and Multi-species Fisheries Assessment Models in Korea Waters", *J. Korean Fish. Soc.*, 34(4), 2001.
- Sparre, P. and S. C. Venema, "Introduction to Tropical Fish Stock Assessment", *FAO Fisheries Technical Paper*, 306/1 Rev. 2, 1998.
- Yodzis, P., "Predator-Prey Theory and Management of Multispecies Fisheries", *Ecological Applications*, 4(1), 1994.
- Zhang, C. I., "Biology and Population Dynamics of Alaska Plaice, *Pleuronectes Quadrituberculatus*, in the Eastern Bering Sea", Ph. D. dissertation, Univ. Washington, Seattle, WA, 1987.

**A study on Assessment of TAC for
Multi-species and Multi-gears II**

- Single Species & Multi-gears / Multi-species & Multi-gears
TAC Assessment -

2006. 12

John M. Gates · Jung-Sam Lee · Jeong-Gon Ryu · Jongoh Nam
· Dae-Young Kim

KMI

Korea Maritime Institute

URI

University of Rhode Island

Chapter I

INTRODUCTION

1. Necessity and Objective of the Study

A goal of total allowable catch (TAC) assessment for marine fisheries resources is to maximize social benefits from sustainable use of the resources without any damage of ecosystem. Thus, the TAC assessment should provide necessary information about the sustainable use of the resources and also consider economic and social efficiency for the resources' use.

TAC assessment has been generally understood as maximum sustainable yield (MSY), a criterion of the biological stock assessment due to a conceptual nuance with TAC. However, the TAC assessment needs to consider benefits of the whole society from the estimated stock assessment and also needs to achieve maximum consumer surplus and producer surplus.

For example, in the case of Federal fisheries management in the USA, a target biomass goal may be sought if a certain fishery is overfished. In pursuit of this goal, the regional fishery management council or the Secretary of Commerce should submit a fishery management plan or plan amendment within a certain period. For all users of the resource and the affected fishing communities, the plan or amendment should contain analyses of social and economic impacts which may result from the plans and regulations (NMFS 2002). The plan and any accompanying regulations

should stop overfishing and rebuild affected stocks of fish within a certain period. Thus, the intent of stock assessment is not only to ensure sustainable resource use, but to maximize social surplus.

In 1999, the Korean TAC system was enforced as an alternative to solve following factors:

- establishment of the 1996 UN Law of Sea and its parliamentary ratification,
- depletion of fisheries resources within the Korean inshore and offshore water,
- limitations of the Korean Conventional Fisheries Management Regime,
- fisheries negotiations among Korea, Japan, and China (Ryu, Nam, and Gates 2006).

In particular, as a method for restoring the Korean inshore and offshore fisheries resource depleted by overfishing and overcapacity, the Korean government developed the Korean tiered allowable biological catch (ABC) system as a conservative approach for setting TAC. The tiered TAC system includes:

- TAC target species and fisheries,
- TAC determination criteria and system,
- TAC allocation methods
- TAC monitoring and reporting systems.

However, the government was not familiar with output control systems such as the TAC system at that time only adopted the 1x1 TAC assessment

model to easily manage and control the TAC system.

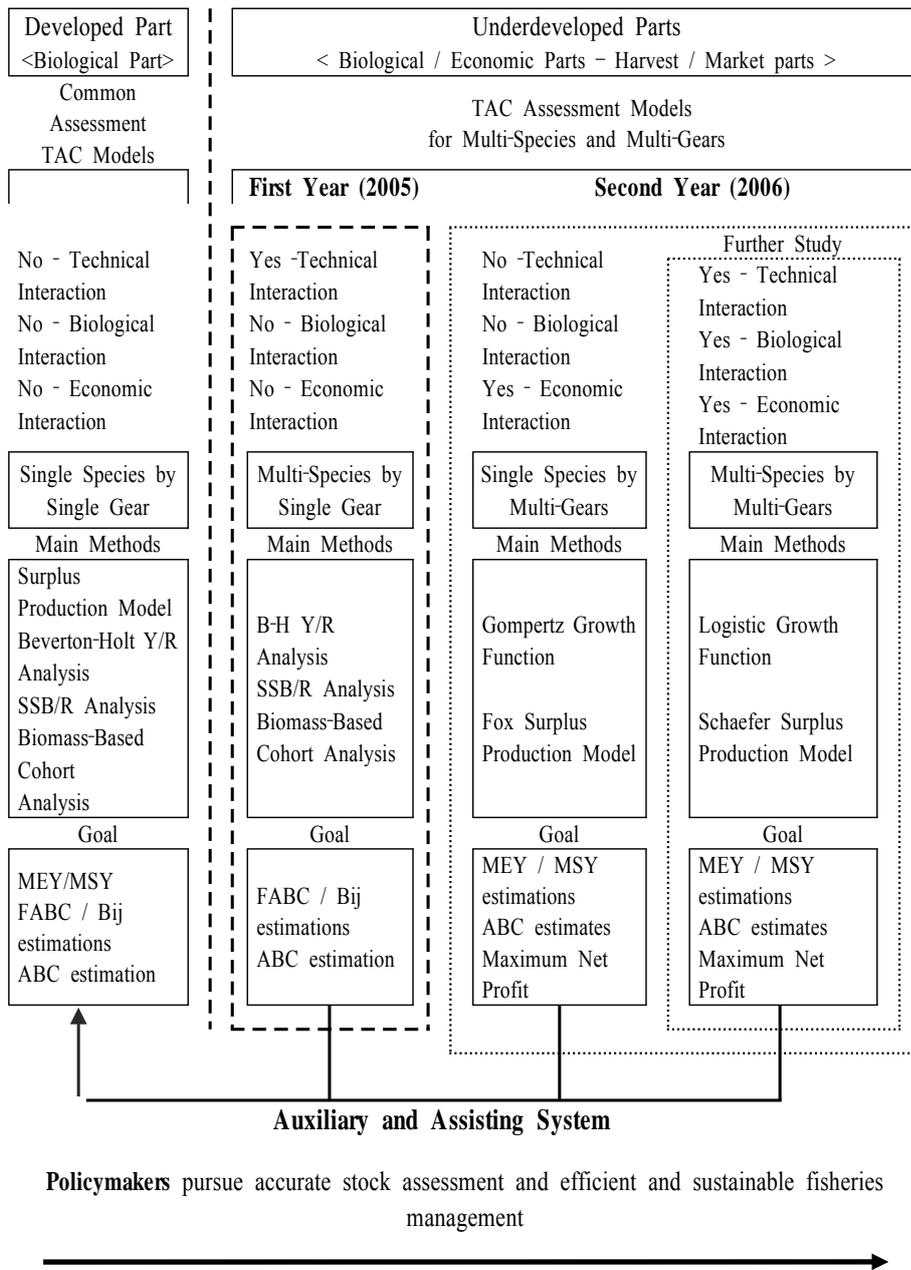
The theory of the 1×1 assessment model starts from a fundamental assumption that a single gear dominates the harvest of a single species. Thus, the 1×1 model excludes technical, biological, economic interactions with multi-species fisheries. However, Korean fishing circumstances are generally not in this 1×1 case but in N×1 case, 1×N case, or N×N cases mixed by these interactions. In particular, the Korean vessel buy-back program adopted in 1995 has even decreased the dominance of a single gear for a single species. In addition, according to fisheries statistic data of MOMAF (2006), most species with high commercial value fall in the N×1 case, 1×N case, or N×N cases mixed by these interactions and also parts of these commercial species will be added to the list of Korean TAC species in the near future. Therefore, the Korean TAC assessment also needs to develop TAC assessment models which reflect N×1 case, 1×N case, or N×N cases rather than the 1×1 TAC assessment model.

Therefore, objectives of the study are first to develop and analyze TAC assessment model of single species and multi-gears suitable to the Korean fisheries circumstance and secondly to develop TAC assessment model of multi-species and multi-gears in order to more significantly estimate stock assessment by considering biological interactions and technical interactions among multi-species fisheries.

2. Scope and Methods of the Study

The paper presents models of three types for multi-species and multi-gears: multi-species and single gear, single species and multi-gears, and multi-species and multi-gears. The first type with multi-species and single gear was composed of mackerel and jack mackerel caught by large purse seine. The first model used an extended Beverton-Holt's yield per recruit model and biomass-based cohort analysis. The first model was carried out in 2005. The second type with single-species and multi-gears is composed of hairtail caught by large pair trawl and large otter trawl gears. A Fox surplus production model and Gompertz growth function are employed in the second model. The third type with multi-species and multi-gears uses a Schaefer surplus production model and logistic growth function which considers economic, biological and technical interactions. The second and third models were carried out in 2006.

(Figure I-1) Scope and Methods for 1st and 2nd Years



This paper is organized as follows. Chapter I explains necessity and objectives of the study and its scope and methods.

Chapter II provides limitations of TAC assessment with single species and single gear (1×1) and also briefly introduces a basic structure and assumptions of an alternative way of multi-gears for hairtail. In addition, this chapter provides main models and analysis methods as theoretical approaches on an alternative way to set a TAC for hairtail caught by the Korean pair and large otter trawls. The alternative approaches use a general linear model to standardize fishing efforts of the two gears and also apply a Fox yield curve and a Fox bioeconomic model to estimate MSY, ABC, MEY, and NPA for hairtail.

Chapter III selects target species and target gears suitable to the 1×N model and provides data necessary to analysis. This chapter then provides the results (e.g., MSY, EMSY, ABC, EABC, MEY, EMEY, and NP) estimated from the 1×2 model and also compares the results of the 1×2 model to those of the first version 1×1 model.

Chapter IV provides case studies and theoretical approaches of TAC assessment model for multi-species and multi-gears and also suggests major data and limitations of information necessary to analyze the TAC assessment model.

Chapter V contains a summary of results and concluding remarks about implications and limitations of TAC assessment for the multi-species and multi-gears.

Chapter II

TAC Assessment Model for a Single Species and Multi-gears

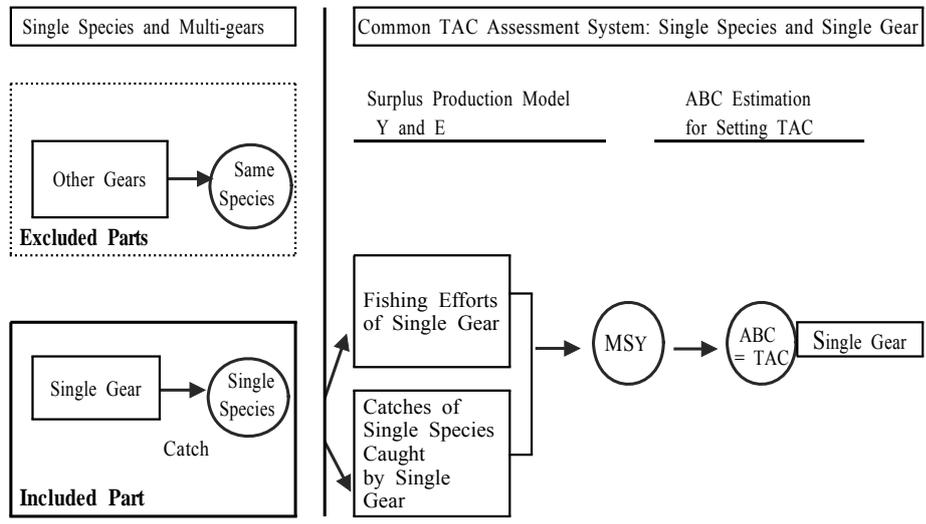
1. Limitations of 1×1 TAC Assessment and Case Studies

1) Limitations of 1×1 TAC Assessment

Fisheries across the world are usually composed of multi-species or a single species and multi-gears ($N \times N$ or $1 \times N$) rather than a single species and a single gear (1×1). Nevertheless the common TAC assessment is based on the 1×1 case, excluding other gears that are catching the given single species. However, this 1×1 case is rare in fisheries. As a result, the TAC, as it is nowadays conventionally calculated, can be overestimated or underestimated. In addition, the assessment based on the 1×1 case does not consider the allocation of ABC between multi-gears, because it only considers one gear. There are usually two versions of the 1×1 model. The first version considers only catches of a single species caught by a single gear. The second version considers all catches of a certain species caught by all gears but its fishing efforts only use one among all gears. For example, if there are $1 \times N$ cases, ABC estimated by the 1×1 model either reflects ABC of the chosen species and the chosen single gear or reflects

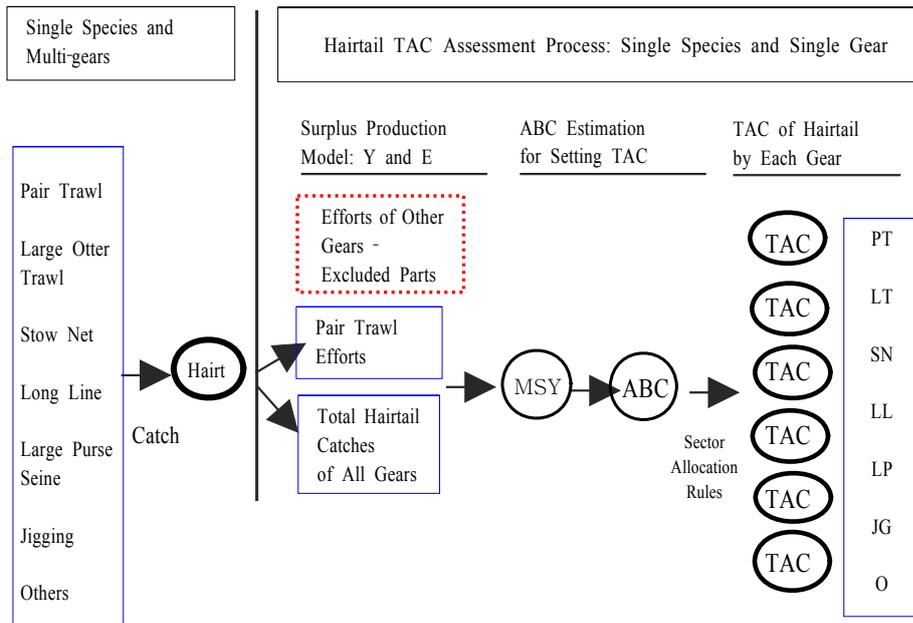
ABC of the species for all gears. Thus second version only uses one of gear types used to harvest the species.

<Figure II-1> First Version (1) of the Common TAC assessment Process



<Figure II-1> shows the first version of TAC assessment process related to the surplus production model. In this case, a single gear catches all of the single species and MSY can be estimated by a given surplus production model. Then, for resource conservation, an ABC that may be less than MSY can be estimated by the ABC determination system. Here, in general, ABC of the single species and the single gear equals TAC. So, ABC and TAC are the same.

<Figure II-2> Second Version (2) of the Common TAC Assessment Process



<Figure II-2> shows the second version of the TAC assessment as a case of Korea. The Korean fishing configuration obviously has $1 \times N$ or $N \times N$ fishing structures. The current Korean stock assessment has been using several assessment methods¹⁾ depending on the degree of biological and technical information on a certain species caught by a certain gear. However, these methods are all based on the strong assumption that a certain species is caught by only one single gear. In particular, the stock assessment of hairtail caught by multi-gears (i.e., pair trawl, large otter trawl, stow net, long line, large purse seine, jigging, and others) is using the surplus production model due to limited information (i.e., catches and

1) Several assessment methods involve the Beverton-Holt yield per recruit model, the biomass-based cohort analysis, and the surplus production model.

efforts). Nevertheless hairtail's TAC²⁾ has been estimated by its total catches caught by all gears above and fishing efforts of only a pair trawl. Here, fishing efforts of the pair trawl represent fishing efforts of all gears so that the efforts of the other gears except the pair trawl have been excluded as factors of the TAC estimation. Thus, the estimated TAC has been proportionally distributed to each gear, based on recent catch rate³⁾ of hairtail caught by each gear. However this approach can also generate a large bias for the TAC estimation by only considering the fishing efforts of pair trawl, a gear chosen.

Thus, many researchers are recently considering the stock assessments for multi-species and multi-gears.

2) Case Studies

Seo and Zhang (2001) introduced multi-gears and multi-species fisheries assessment models in Korean waters. As a case study, they applied the Fox surplus production bioeconomic model and standardization of fishing effort for the small yellow croaker stock caught by the pair trawl and the stow net fishing gears. This result shows that fishing efforts of the two fishing gears for the small yellow croaker are in overcapacity. However, their paper lacks economic analysis (e.g., economic surplus) and implications on the optimal TAC allocation between the two fishing gears.

2) At present, the hairtail species is not included in the Korean TAC species, but the stock assessment for this species has been continually carried out by the National Fisheries Research and Development Institute (NFRDI).

3) Recent catch rate, in general, uses the average catch rate of hairtail caught by each fishing gear for latest 3 years

Francis (2002) used a simple bioeconomic model of fisheries exploitation orientated towards both Lake Malombe Chambo and the Whole Lake Malombe Fishery. He applied the Gordon-Schaefer and the Fox surplus production model and a modified measure for fishing effort, which is the standardized effort in gillnet units. Bioeconomic exploration of both fisheries was based on the catch, effort, and price data from 1976 to 1999. The result draw the problem of effort over capacity as the current capacity exceeds, by a wide margin, the capacity that would be required to harvest a sustained yield.

Also, Berachi (2003) used bioeconomic analysis of artisanal marine fisheries of Tanzania (Mainland). For the analysis, he applied Gordon-Schaefer surplus production model on time series (1987-2000) of total catch and standardized effort. The result shows that the artisanal marine fisheries of Tanzania have expanded beyond the economically optimum point where the current level of effort is further beyond that of maximum sustainable yield resulting in suboptimal yield, i.e. it has been evident that there is already overfishing in the inshore waters where majority of artisan fishermen concentrate.

In addition, Chae and Pascoe (2005) used simple bioeconomic models to estimate optimal effort levels in the Korean coastal flounder fisheries. They applied a simple surplus production bioeconomic model and different effort standardization approaches for the flounder fishery. The result indicates that, even with poor information, relatively robust estimates of necessary reductions in fishing effort can be derived.

Therefore, this study also tries to consider the TAC assessment for single species and multi-gears as a case of multi-species fisheries.

2. Basic Structure and Assumptions

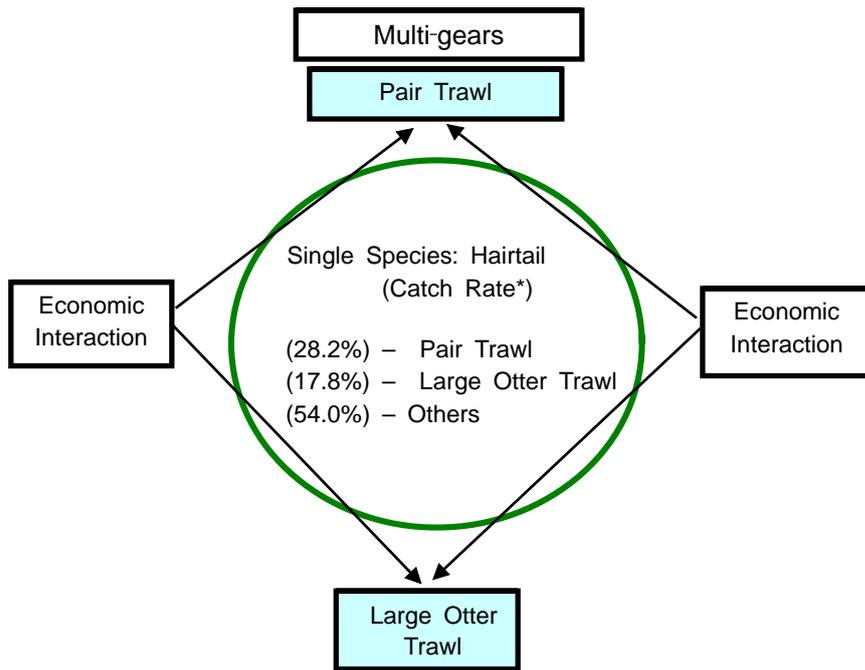
A characteristic of Korean fishing structures is either a single gear that catches multi-species or multi-gears that catch a single species (Lee J. U., 1991). In particular, hairtail caught by pair trawl (about 28%), large otter trawl (about 18%) and long line (about 11%) in the adjacent Korean water is a typical case of Korean single species and multi-gears (MOMAF, 2006: 1995-2004). However to easily describe and explain a TAC assessment model of the single species and multi-species ($1 \times N$), the paper analyzes a 1×2 case of hairtail caught by the Korean pair trawl and large otter trawl (1×2).

Assumptions used in the model are as follows. First, there is an economic interaction among multi-gears, because the more pair trawls catch of the limited hairtail stock the less will be left for its competitors, large otter trawls. Secondly, only catches of the hairtail caught by multi-gears, the pair trawl and the large otter trawl, are considered. Thirdly, the fishing costs invested in each gear are different. The basic structure of a single species and multi-gears is illustrated in the following diagram.

In addition, a TAC assessment process for hairtail caught by the two gears as a simple case is composed of three parts, i) standardization of fishing efforts ii) the surplus production model and iii) bioeconomic model.

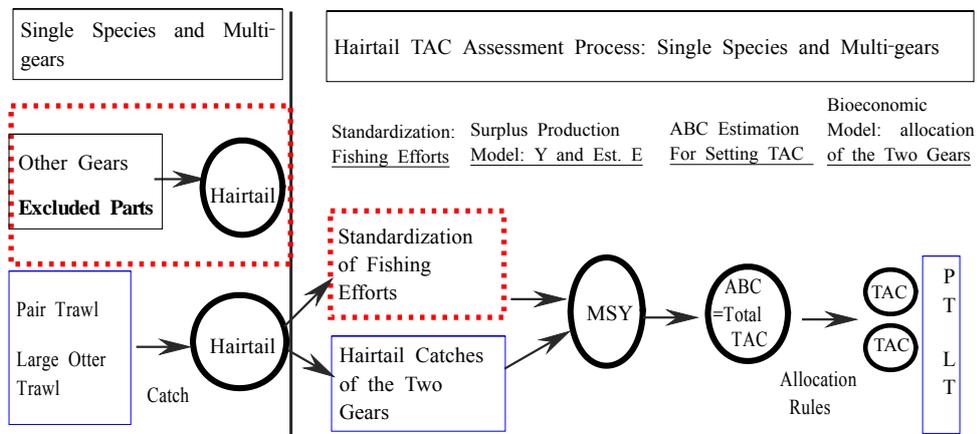
From this process, this paper compares the TAC of each gear estimated by the common TAC assessment (1×1) to that of each gear estimated by the alternative (1×2) for single species and multi-gears ($1 \times N$).

<Figure II-3> Basic Structure of a Single Species - Multi-gear Fishery



Source: * MOMAF Fisheries Production Survey (1995-2004).

<Figure II-4> TAC Assessment Process for a Single Species - Multi-gears Fishery



3. Theoretical Approaches: Main Models and Analysis Methods

1) Standardization of Fishing Efforts

About 50% of the hairtail in the adjacent Korean waters has been caught by pair trawls and large otter trawl (MOMAF, 2004). However, units of fishing efforts input to these gears are different. To determine MSY, MEY, ABC of hairtail between the two gears, the unit of fishing effort of each gear needs to be standardized as one's unit of fishing effort. Therefore, to estimate a unit of standardized fishing effort, we use a general linear model developed by Gavaris (1980). The general linear model involves CPUE data over a number of years and considers effects from several factors such as months, years, different gears, depth zones, and fishing areas.

The standardization equation of the fishing efforts is the general linear model of CPUE for one combination of levels of the factors based on the lognormal distribution.

$$\hat{U} = U_r \prod_i \prod_j P_{ij}^{X_{ij}} e^{\varepsilon} \quad <II-1>$$

where U_r is the reference CPUE at one level of each of the factors (years, gears), subscript i refers to the factors, subscript j refers to the levels of each factor. P_{ij} represents the relative fishing power for the j^{th} level of the i^{th} factor. For the reference level of each factor, P_{ij} is set to 1. A

superscript dummy variable X_{ij} is equal to 1 when a datum refers to the j^{th} level of the i^{th} factor and 0 otherwise. ε is a normal random variable with mean 0 and constant variance σ^2 .

A logarithmic transformation of the Equation <II-1> results in linear regression models as follows.

$$\ln \hat{U} = \ln U_r + \sum_i \sum_j X_{ij} \ln P_{ij} + \varepsilon \quad \text{<II-2>}$$

$$Y = \beta_0 + \sum_k \beta_k X_k + \varepsilon, \text{ where } \{k\} = \{i\} \text{ Y } \{j\} \quad \text{<II-3>}$$

where subscript k subsumes i and j , the Y- intercept β_0 is the reference log CPUE, and the parameters $\{\beta_k\}$ are logarithms of the power coefficients (Quinn, Deriso, 1999).

To estimate a standardized unit of fishing efforts of pair trawls and large otter trawls, we use gears and years respectively as the factors and levels of each factor are 2 (pair trawls and large otter trawls) and 16 (1989-2004). Through the combination among factors and levels of the factors, values of dummy variable are determined, and then, by using the determined values in the general linear model with other variables, the CPUE (\hat{U}) and the unit of fishing efforts standardized between the two gears can be estimated.

For multi-gears harvesting hairtail, the estimated standardized fishing

effort (\hat{E}_{pt} or \hat{E}_{lt}) of each gear can be calculated by the estimated CPUE (\hat{U}) and catches (C_{pt} or C_{lt}) of each gear for hairtail. The estimated standardized fishing effort (\hat{E}_t) of multi-gears is the sum of the estimated standardized fishing effort of each gear.

$$C_t = C_{pt} + C_{lt}, \quad \hat{E}_t = \hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt} \quad \langle \text{II-4-1} \rangle$$

$$\hat{E}_{pt} = \frac{C_{pt}}{\hat{U}_{pt}} \quad \text{and} \quad \hat{E}_{lt} = \frac{C_{lt}}{\hat{U}_{lt}} \quad \langle \text{II-4-2} \rangle$$

where C_t is the total annual (maximum) sustainable yield at t year that sums the annual (maximum) sustainable yield of hairtail caught by each gear, C_{pt} and C_{lt} are the annual (maximum) sustainable yield at t year of the pair trawl and the large otter trawl respectively, and E_t is the estimated total annual (maximum) fishing effort at t year that sums the estimated annual (maximum) fishing effort at t year of each gear. \hat{E}_{pt} and \hat{E}_{lt} are the estimated annual (maximum) fishing efforts at t year of each gear.

The annual (maximum) sustainable yield of hairtail caught at the level of fishing effort of each gear can be allocated by the rate of standardized estimated fishing effort of each gear between the two gears. To estimate C_{pt} and C_{lt} of the equation $\langle \text{II-4-1} \rangle$, the rate of the standardized estimated fishing efforts of each gear between two gears is multiplied by C_t .

$$C_{pt} = C_t \left(\frac{\hat{E}_{pt}}{\hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt}} \right), \quad C_{lt} = C_t \left(\frac{\hat{E}_{lt}}{\hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt}} \right) \quad \langle \text{II-5} \rangle$$

where $\frac{\hat{E}_{pt}}{\hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt}}$, $\frac{\hat{E}_{lt}}{\hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt}}$ are the rate of fishing efforts of each gear. C_{pt} and C_{lt} represent the MSY of hairtail caught by each gear.

An extended model of the single species and multi-gears uses surplus production models.⁴⁾ And also if the relationship between the estimated standardized fishing effort ($\hat{E}_t = \hat{E}_{pt} + \hat{E}_{lt}$) and the estimated catch per unit effort ($\hat{U}_t = C_t / \hat{E}_t$) of the hairtail caught by pair trawls and otter trawls is exponential, then we use the Fox model induced from the Gompertz growth function rather than the Schaefer model based on the logistic growth function.

2) Fox Model Introduced by Gompertz Growth Function: MSY and ABC Estimations

TAC assessment model is generally composed of three models: analytic models, yield per recruit models, and surplus production models (Zhang,

4) Surplus production models are basic tools used to establish safe harvest levels in a gear when only catch and effort data are available. They are also called lumped parameter models because they abstract from age class structure and many other biological determinants of birth, growth senescence and death. While these determinants are important, they cannot be controlled, nor can they be forecast from existing data

1987).

TAC assessment model of this study uses the surplus production model⁵⁾. The surplus production model focuses on change in stock biomass of fish. Stock biomass of fish generally depends upon environmental factors (e.g., carrying capacity, water temperature, etc.), and interrelations among fish stock. When, in the absence of fishing, the level of recruitment to the fishery equals the level of natural mortality, an equilibrium of the fish stock biomass occurs. Thus the objective of the application of surplus production models is to determine the optimum level of effort that is the effort that produces the maximum yield that can be sustained without affecting the long-term productivity of the stock, the so-called MSY (Sparre and Venema, 1998).

Theoretical backgrounds of the surplus production model are as follows. The model was first proposed by Verhulst in 1838 and then the model was developed as logistic growth model by Pearl and Reed in 1925. In 1935, Graham used the concept of MSY that is the maximum surplus production derived from sigmoid curve theory after he substituted weight of population for the number of population as unit of stock biomass (Eyolf Jul-Larsen, et al., 2003).

And in 1954, Schaefer built up the first widely used surplus production

5) The surplus production model, as the most common form of equilibrium model, provides an indication of the long run sustainable yield at given levels of fishing effort. By surplus production, it is meant that the growth in the fish stock is surplus to that required to keep the population at the same level. That is, the difference between the level of recruitment to the fishery and the level of natural mortality. In the absence of fishing, it would be expected that the rate of growth in a population would be zero, as the population would be limited by the natural carrying capacity of the environment (Sean Pascoe, 1995).

(biomass dynamic) model from earlier work by Graham (1935) (Schaefer, 1954). And then Gulland (1961) tried to transform the Schaefer model from a new assumption about “surplus” of the fish stock and he developed a simple method for estimating equilibrium catch rates based on a comparison of catch per unit of effort and average effort over number of previous years.

Pella and Tomlinson (1969) provided a more general model with an additional parameter (m) to allow the biomass level, B_m , at MSY to be shifted to the left or right. Fox (1970), as a special case of Pella-Tomlinson model, developed a surplus production model based on the Gompertz growth function under an assumption that the relationship between CPUE and effort is exponential rather than linear. This study is based on the Fox surplus production bioeconomic model. Then Schnute (1977) developed an alternative approximation system that is based on integration rather than average. Csirke and Caddy (1983) who thought that fishing effort cannot entirely reflect fishing mortality, expressed the equilibrium yield equation of Graham (1935) in terms of the equilibrium value of annual mortality.

The Fox model used in this study is a particular logistic form of production model in which the relation between yield and effort takes the form of an asymmetric parabola contrary to the Schaefer model (Fox, 1974; 1975). The Fox model uses the Gompertz growth function and harvest function. Thus the model is based on basic assumptions of the two functions shown in <Table II-1>. In addition, strong and weak points of the Fox model are shown in <Table II-2>.

〈Table II-1〉 Basic Assumptions of Gompertz Growth Function and Harvest Function

	Gompertz Growth Function	Harvest Function
Basic Assumptions	<ul style="list-style-type: none"> ① Biological interactions (e.g., predator-prey, competition) do not exist ② In the absence of fishing, a stock biomass increases as certain proportion up to an upper-limit level in the given carrying capacity (K) ③ At a certain level of fish population, a change in stock biomass can be described ④ Information on age structure of fish population does not need to explain changes in biomass ⑤ A decrease in fish population fully depends on the fishing mortality and the natural mortality ⑥ Other factors such as environmental factors except the above mortalities do not influence in the change in fish population 	<ul style="list-style-type: none"> ① Catchability coefficient (q) is constant regardless of fish age and time. Thus, both fishing effort and fishing mortality is independent to the stock size ② Fish stock is constantly dispersed regardless of the region ③ Individual fish can be all caught regardless of age. Thus, individual fish can be all used in fishery and catch-possibility of all individual fish is same ④ Fishing death and natural death happens at the same time ⑤ Data of catch and fishing effort is accurate

〈Table II-2〉 Strong and Weak Points of Fox Model

	Strong Points	Weak Points
Fox Model	<ul style="list-style-type: none"> ① Catchability coefficient (q) can be estimated by only annual data of catch and fishing efforts for a certain species ② MSY and E_{MSY} can be estimated by only annual data of catch and fishing efforts for a certain species ③ Model is simple and MSY can be easily estimated ④ It is possible to assess stock regardless of information by age of fish population ⑤ Since data necessary to analysis are only two (fishing effort and catch), cost on stock assessment is relatively small 	<ul style="list-style-type: none"> ① The model is not easy to apply additional information such as abnormal environmental conditions and change in cohort of a certain species ② The model does not reflect changes in carrying capacity (K) and habitat caused by biological interactions, environmental pollution, and others ③ To estimate MSY, the model assumes that the population keeps maximum sustainable yield under the level of current fishing efforts. However, in general, data collected are not in the level of MSY ④ The model has a strong assumption that change rate of the population is completely density dependence. ⑤ An assumption that the relationship between CPUE and fishing efforts is exponential is not also general ⑥ Surplus production model assumes that individual fish can be all caught regardless of age and also all individual fish have catch-possibility. Thus, surplus production model considers whole stock for a certain species

(1) Fox Model induced by Gompertz Growth Function: Description

In 1970, Fox developed a surplus production model based on Gompertz growth function. The Gompertz growth function is an exponential growth model used as an alternative to the logistic growth curve assumed in the Schaefer model. The Gompertz growth function is given by an Equation <II-6>.

$$G = rB \ln(k / B) \quad \text{<II-6>}$$

where r is the intrinsic growth rate and k is the carrying capacity of the environment. r and k are assumed as constants. B is the stock biomass.

In addition, to estimate MSY of each species caught by each gear, Fox assumed that the (maximum) sustainable yield is equal to the growth of the population. The assumption is shown as an Equation <II-7>.

$$C_E = rB \ln(k / B) \quad \text{<II-7>}$$

where C_E is the (maximum) sustainable yield of a certain species equated with population growth. The equation <II-7> is based by an assumption that catch per unit of effort (CPUE) is proportional to the stock biomass ($U = qB$). Thus, the equation <II-5> can be respecified as follows:

$$C_E = r \frac{U}{q} \left(k \frac{q}{U} \right) = r \frac{\bar{U}}{q} \left[\ln \left(\frac{U_\infty}{\bar{U}} \right) \right] = r \frac{\bar{U}}{q} \left[\ln \frac{U_\infty}{q} - \ln \frac{\bar{U}}{q} \right] \quad \langle \text{II-8} \rangle$$

where U_∞ is the catch per unit of effort that would occur if the stock was at an unexploited level ($U_\infty = kq$) and \bar{U} is the mean catch per unit of effort. Expanding out the right hand side results in the cancellation of the $\ln(q)$ terms so that the equation $\langle \text{II-8} \rangle$ can be simplified as follows:

$$C_E = r \frac{\bar{U}}{q} \left[\ln U_\infty - \ln \bar{U} \right] \quad \langle \text{II-9} \rangle$$

Here we assume that C_E is equal to $E \cdot \bar{U}$. Then, by dividing both sides of the equation $\langle \text{II-9} \rangle$ by \bar{U} , equation $\langle \text{II-10} \rangle$ can be induced as follows:

$$E = \frac{r}{q} \left[\ln U_\infty - \ln \bar{U} \right] \quad \langle \text{II-10} \rangle$$

where E is the level of fishing effort and is also equal to $\frac{C_E}{\bar{U}}$. By

transferring the equation <II-10> as a function of $\ln \bar{U}$, we can generate the equation <II-11>.

$$\ln \bar{U} = \ln U_{\infty} - \left(\frac{q}{r} \right) E \quad \text{<II-11>}$$

By exponentiating both sides of the equation <II-8>, we can infer equation <II-12> as the mean per unit effort in the Fox model.

$$\bar{U} = U_{\infty} \exp\left(-\left(\frac{q}{r}\right)E\right) \quad \text{<II-12>}$$

Here since $E \cdot \bar{U}$ is equal to the (maximum) sustainable yield (C_E), the equation <II-12> can be expressed as an equation <II-13>, Fox yield curve.

$$C_t = U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r}E_t\right) \cdot E_t \quad \text{<II-13>}$$

where C_t is the annual (maximum) sustainable yield at t year, U_{∞} is the catch per unit of effort ($U_{\infty}=q \cdot k$), q is the catchability coefficient, r is the intrinsic growth rate, and E_t is the level of fishing effort at t year.

(2) Effort Averaging Method: Estimation of $q \cdot k$ and q/r

To derive the Fox yield curve of the equation <II-13> with estimates of U_{∞} and $-q/r$ as biological and technical parameters of the 1×2 case, we use the effort averaging method. Here, data used in this method are the estimated CPUE (\hat{U}_t) and the estimated fishing Efforts (\hat{E}_t) standardized by the general linear model. The effort averaging method developed by Fox is based on the equation <II-11> (Fox, 1970).

$$\ln \hat{U}_t = \ln(qk) - (q/r) \hat{E}_t \quad \text{<II-14>}$$

Consequently, the annual maximum sustainable yield (MSY) and the annual maximum fishing effort (E_{MSY}) of hairtail caught by the two gears can be estimated by ($U_{\infty} = q \times k$), and ($-q/r$) produced by the equation <II-14>.

(3) Estimation of Maximum Sustainable Yield (MSY)

The level of effort (E_{MSY}) that maximizes yields in the Fox yield curve of the equation <II-13> can be given by the first order condition,

$$\frac{\partial C_t}{\partial E} = 0 :$$

$$\frac{\partial C_t}{\partial E} = \frac{\partial \left(U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r}E\right) \cdot E \right)}{\partial E} = 0 = -\frac{q}{r} U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r}E\right) \cdot E + U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r}E\right)$$

<II-15>

Dividing both sides of the equation <II-15> by $\frac{q}{r} U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r}E\right)$ and solving the resulting equation for E gives

$$E = E_{MSY} = \frac{r}{q}$$

<II-16>

Then, by substituting E_{MSY} for E_t into the equation <II-13>, MSY can be estimated by writing:

$$C = \frac{U_{\infty} r}{q \exp(1)}$$

<II-17>

To estimate MSY and E_{MSY} of hairtail, we use the standardized fishing efforts (E) and annual catches (C) of hairtail caught by pair trawls and large otter trawls respectively over 16 years (1989-2004).

(4) Estimation of Allowable Biological Catches (ABC)

<Table II-3> shows the Korean tier ABC determination system for setting TAC. ABC of the 1×2 model can be calculated by the estimated CPUE and the estimated MSY based on tier 4 information level of <Table II-3>.

3) Fox Bioeconomic Model: MEY and NP Estimations

(1) Estimation of Maximum Economic Yield (MEY)

MEY can be estimated as follows. First of all, total revenue can be estimated by multiplying market-sale price (P) to yields of the equation <II-13>. Net profit (NP) can be estimated by subtracting total cost (TC) from total revenue (TR).

$$NP = P \left[U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E \right] - TC \quad \text{<II-18-1>}$$

$$= P \left[U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E \right] - cmE \quad \text{<II-18-2>}$$

where NP is the annual net profit, P is the average market-sale price (won/kg) of the two gears expressed as present value of hairtail, based consumer price index of Korean commercial fish among 1995-2004 when the base year 2000 is normalized to be 100.

(Table II-3) Korean Tier ABC Determination System for Setting TAC

Tiers	Information Available Levels
* Tier 1 Information available : Reliable estimates of B, F, B _{MSY} , f _{MSY} , F _{X%} , and M	1a) Stock status : $B/B_{MSY} > 1$ $F_{ABC} \leq \text{low value out of } f_{MSY} \text{ or } F_{35\%}$ 1b) Stock status : $\alpha < B/B_{MSY} \leq 1$ $F_{ABC} \leq \text{low value out of either } f_{MSY} \times (B/B_{MSY} - \alpha) / (1 - \alpha) \text{ or } F_{35\%}$ 1c) Stock status : $B/B_{MSY} < \alpha$: $F_{ABC} = 0$
* Tier 2 Information available : Current B, B _{X%} , F _{X%} , M	2a) Stock status : $B/B_{35\%} > 1$ $F_{ABC} \leq F_{35\%}$ 2b) Stock status : $\alpha < B/B_{35\%} \leq 1$ $F_{ABC} \leq F_{35\%} \times (B/B_{35\%} - \alpha) / (1 - \alpha)$ 2c) Stock status : $B/B_{35\%} \leq \alpha$: $F_{ABC} = 0$
* Tier 3 Information available : Current B, F _{0.1} , M	$F_{ABC} \leq F_{0.1}$
* Tier 4 Information available : Time-series catch (Y) and effort (or CPUE) data	4a) Stock status : $CPUE/CPUE_{MSY} > 1$ $ABC \leq MSY$ 4b) Stock status : $\alpha < CPUE/CPUE_{MSY} \leq 1$ $ABC \leq MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - \alpha) / (1 - \alpha)$ 4c) Stock status : $CPUE/CPUE_{MSY} \leq \alpha$; $ABC = 0$
* Tier 5 Information available : Reliable catch history Y	$ABC \leq 0.75 \times YAM$ (average catch over an appropriate time period) 1) Equation used to determine ABC in tiers 1 ~ 3 : $ABC = \frac{BF_{ABC}}{M + F_{ABC}} (1 - e^{-(M+F_{ABC})})$ where, B : biomass, M : instantaneous coefficient of natural mortality, F _{ABC} : instantaneous coefficient of fishing mortality determined by the data available and the stock status 2) In tiers 1, 2, and 4, $\alpha = 0.05$

Source: Ryu, J.G., et al., A Study on Comprehensive Mid and Long Term Plan for Fisheries Resource Management, MOMAF, pp.1-490.

Note: recent years usually represent latest 3 years.

TC is the annual total cost and a is the weighted average unit cost (won/haul) of the two gears expressed as present value of unit cost (won/haul), based on the producer price index of Korean commercial fish between 1995 - 2004 when the base year 2000 is normalized to be 100. m is the weighted average of the rate of hairtail production value caught by each gear. Using the rate of hairtail production value as a cost term of both gears is done because the only fishing cost that has to be considered is that of hairtail caught by the tow gears. Especially, since the rate of production value has a positive relationship between fishing production value and fishing labor charge, the rate, we think, can be used as an alternative variable of fishing cost. E is the annual number of fishing efforts (hauls) that can be estimated by CPUE (kg/haul) and catches.

From the equation <II-18>, the level of effort (E) that produces the maximum economic yield (MEY) and E_{MEY} can be found using the first order condition for profit maximization, $\frac{\partial NP}{\partial E} = 0$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial NP}{\partial E} &= \frac{\partial \left(P \left(U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E \right) - cmE \right)}{\partial E} = 0 \\ &= P \left[-\frac{q}{r} U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \cdot E + U_{\infty} \exp\left(-\frac{q}{r} E\right) \right] - cm \quad \text{<II-19>} \end{aligned}$$

Unlike the related equation in the Gordon-Schaefer model, E_{MEY} cannot easily be expressed as a function of the model parameters due to the

exponential function. At best, the relation can be expressed as follows:

$$\ln(E_{MEY}) - 2\left(\frac{q}{r}\right)E_{MEY} = \ln\left(\frac{\alpha m}{U_{\infty} q P}\right) \quad \langle \text{II-20} \rangle$$

$$NP|_{E=E_{MEY}} = P \left[(U_{\infty} \exp(-\frac{q}{r} E_{MEY}) \cdot E_{MEY}) \right] - \alpha m E_{MEY} \quad \langle \text{II-21} \rangle$$

(2) Estimation of NP at the level of ABC

Total Revenue (TR_{pt} or TR_{lt}) of the hairtail at the level of ABC caught by pair trawls or large otter trawls respectively can be estimated by multiplying the annual average market-sale price (P_{pt} or P_{lt}) of hairtail caught by each gear to yields ($C_{ABC\ pt}$ or $C_{ABC\ lt}$) of hairtail caught by each one. For example, the total revenue (TR_{pt}) from hairtail caught by pair trawls at the level of ABC can be solved by multiplying the annual average market-sale price (P_{pt}) of pair trawls for it to $C_{ABC\ pt}$ of the equation $\langle \text{II-22} \rangle$.

$$TR_{pt} = P_{pt} \cdot C_{ABC\ pt} = P_{pt} \cdot C_{ABC} \left(\frac{E_{pt}}{E_{pt} + E_{lt}} \right) \quad \langle \text{II-22} \rangle$$

where TR_{pt} is the total revenue of it caught by pair trawls at the level

of ABC, P_{pt} is the annual average market-sale price (P_{pt}) of it caught by pair trawls, and C_{ABC} is ABC of it of caught by the two gears. Total revenue (TR_{lt}) of it caught by large otter trawl at the level of ABC, TR_{lt} of the large otter trawl can be solved by the same method as above.

TC (TC_{pt} or TC_{lt}) is the annual total cost of hairtail caught by each gear. TC can be estimated by the annual weighted average unit cost (a) of each gear, the average rate of hairtail production value (m), and the level of fishing efforts (E : annual number of hauls).

$$TC_{pt} = a_{pt} \cdot m_{pt} \cdot E_{pt} \quad <II-23-1>$$

$$TC_{lt} = a_{lt} \cdot m_{lt} \cdot E_{lt} \quad <II-23-2>$$

where the annual weighted average unit cost (a)⁶⁾ of each gear can be estimated by the annual number of days at sea, the number of hauls per day, the number of ships, the total cost per ship and the producer price index. These data use the fisheries cooperative associations' annual fisheries business statistic reports. An average annual rate (m) of hairtail production value of each gear can be estimated by dividing total production values of all species caught by each gear to total production values of hairtail caught by each gear. These two data are obtained from MOMAF statistic reports.

6) Unit cost ; won / haul) = [annual total cost per ship (won / ship) / (annual number of days at sea number of hauls per day) producer price index.

Net profit (NP_{pt} or NP_{lt}) of hairtail at the level of ABC caught by each gear can be estimated by subtracting total cost ($TC_{pt} = a_{pt} \cdot m_{pt} \cdot E_{pt}$ or $TC_{lt} = a_{lt} \cdot m_{lt} \cdot E_{lt}$) of each gear from total revenue ($TR_{pt} = P_{pt} \cdot C_{ABCpt}$ or $TR_{lt} = P_{lt} \cdot C_{ABClt}$) of it. Therefore net profits (NP_{pt} and NP_{lt}) of each gear are as follows.

$$NP_{pt} = P_{pt} C_{ABCpt} - TC_{pt}, \quad NP_{lt} = P_{lt} C_{ABClt} - TC_{lt} \quad \langle \text{II-24} \rangle$$

$$NP_{pt} = P_{pt} C_{ABC} \left(\frac{E_{pt}}{E_{pt} + E_{lt}} \right) - a_{pt} \cdot m_{pt} \cdot E_{pt} \quad \langle \text{II-25-1} \rangle$$

$$NP_{lt} = P_{lt} C_{ABC} \left(\frac{E_{lt}}{E_{pt} + E_{lt}} \right) - a_{lt} \cdot m_{lt} \cdot E_{lt} \quad \langle \text{II-25-2} \rangle$$

Using the same method as for C_{pt} and C_{lt} estimated by the equation <II-5>, the ABC (C_{ABC}) of hairtail for the two gears estimated by the Korean Tier ABC Determination System in <Table II-3> is divided as the ABC (C_{ABCpt}) of hairtail caught by the pair trawl and the ABC (C_{ABClt}) of one caught by the large otter trawl by the same method with C_{pt} and C_{lt} estimated by the equation <II-5>. By substituting C_{ABCpt} and C_{ABClt} divided by the rate of fishing efforts of each gear between two gears into the equation <II-24>, net profit (NP_{pt} or NP_{lt}) curve of hairtail caught by each gear at the level of ABC within a proportional range between 0 and 1 of fishing efforts can be estimated.

Chapter III

Data Analysis and Results of TACAM for a Single Species and Multi-gears

This chapter provides an analysis of the data and of the results estimated from the alternative model. The chapter also compares the above results to those of the 1×1 model.

1. Target Species and Target Gears

Hairtail selected as a target species has a high commercial value but it is not currently included as a species in the current Korean TAC system. Hairtail has been caught by pair trawl, large otter trawl, stow net, long line, large purse seine, jigging and others.

The main fishing areas of gears active in this fishery are the southern area of Yellow Sea (Huk-San Island, Il-Hyang-Cho, Socotra, and Cheju Island etc.), the northern area of the East China Sea and the sea area near Thushima Island. The large otter trawl, the large purse seine, and the jigging gears are mainly used in the sea areas around Cheju Island and Thushima Island (NFRDI, 2004).

However, this paper considers only two gears with high catch rates for recent 10 years (1995-2004) as target gears that catch hairtail. Note that the average catch rate (20.1%) of stow net is higher than that (17.8%) of

large otter trawl as shown in <Table III-2>. However, the reason for choosing the large otter trawl is that the average catch rate of stow net has dramatically decreased since 1997 except 2004 due to its vessel buyback program (MOMAF, 2003).

2. Data Analysis

1) Catches and Catch Rate of Hairtail

Using a Fox model, this section provides catches and fishing rate of hairtail caught by main gears for recent 10 years (1995-2004). These data are based on a MOMAF fisheries statistic report (MOMAF, 2006).

<Table III-1> Catches of Hairtail Caught by Each Gear (1995-2004)

Unit : MT

Year	Pair Trawl	Large Otter Trawl	Stow Net	Long Line	Large Purse Seine	Jigging	Others	Total
1995	17,173	16,875	41,062	5,091	3,966	7,694	2,735	94,596
1996	19,893	13,459	25,732	4,906	3,704	4,987	1,780	74,461
1997	19,988	13,493	19,537	4,591	2,907	4,379	2,275	67,170
1998	19,291	16,430	21,061	5,114	3,020	5,666	4,239	74,821
1999	21,443	11,449	9,516	4,683	4,867	7,081	5,395	64,434
2000	20,549	17,543	5,863	9,316	10,685	6,401	10,693	81,050
2001	22,317	19,136	5,318	12,422	9,642	6,946	4,117	79,898
2002	24,533	9,264	3,178	13,069	2,943	5,106	2,079	60,172
2003	21,182	8,358	4,839	9,603	5,932	2,266	10,681	62,861
2004	13,199	5,404	16,056	8,412	4,687	2,123	16,410	66,291
Average	19,957	13,141	15,216	7,721	5,235	5,265	6,040	72,575

Source: MOMAF 2006, Fisheries Statistic Data, <http://www.momaf.go.kr/info/statistics/>.

〈Table III-2〉 Catch Rate of Hairtail Caught by Each Gear (1995-2004)

Unit : %

Year	Pair Trawl	Large Otter Trawl	Stow Net	Long Line	Large Purse Seine	Jigging	Others
1995	18.2	17.8	43.4	5.4	4.2	8.1	2.9
1996	26.7	18.1	34.6	6.6	5.0	6.7	2.4
1997	29.8	20.1	29.1	6.8	4.3	6.5	3.4
1998	25.8	22.0	28.1	6.8	4.0	7.6	5.7
1999	33.3	17.8	14.8	7.3	7.6	11.0	8.4
2000	25.4	21.6	7.2	11.5	13.2	7.9	13.2
2001	27.9	24.0	6.7	15.5	12.1	8.7	5.2
2002	40.8	15.4	5.3	21.7	4.9	8.5	3.5
2003	33.7	13.3	7.7	15.3	9.4	3.6	17.0
2004	19.9	8.2	24.2	12.7	7.1	3.2	24.8
Average	28.1	17.8	20.1	10.96	7.18	7.18	8.65

Source: MOMAF 2006, Fisheries Statistic Data, <http://www.momaf.go.kr/info/statistics/>.

2) Fishing Effort (E) and Catch per Unit Effort (CPUE: kg/haul) of Hairtail

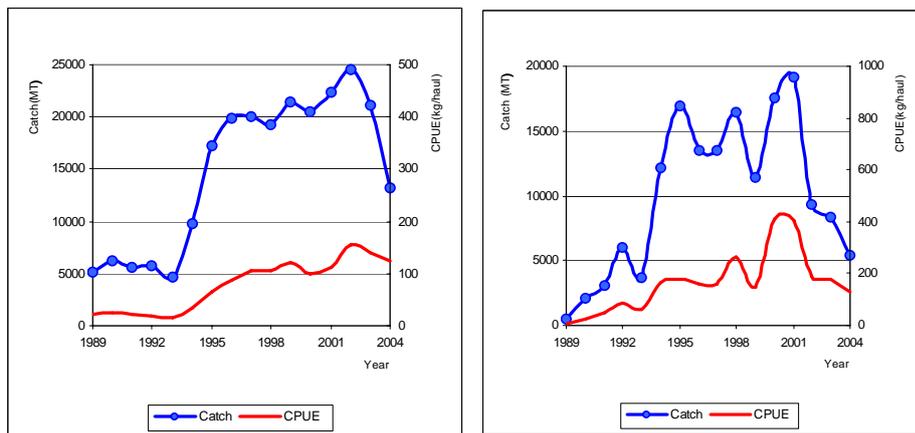
Fishing efforts (E) used in this analysis are the annual number of hauls estimated by the annual total number of ships, the annual number of days at sea, and the number of hauls per day. Catch per unit effort (CPUE) used in this analysis is a unit estimated by the catches and the annual number of hauls. Here, the unit of CPUE uses kg per haul (kg/haul) and the data is based on a study on the structural adjustment of offshore bottom trawl gears (1st and 3rd Year Report) funded from MOMAF (MOMAF, 2003 and 2006). Data (1989-2004: 16 years) of fishing efforts (E) and CPUE of hairtail caught by the pair trawl and the large otter trawl are used to estimate the standardized estimated CPUE and fishing effort (E).

In addition, the relationship of catches and CPUE of hairtail caught by the pair trawl and the large otter trawl respectively shows similar trends as shown in <Figure III-1>.

<Figure III-1> Catch and CPUE of Hairtail by Gear (1989-2004)

(a) Pair Trawl

(b) Large Otter Trawl



Source: MOMAF, 2006, Fisheries Statistic Data, <http://www.momaf.go.kr/info/statistics/>.
MOMAF, 2003 and 2006 A Study on the Structural Adjustment of Offshore Bottom Trawl Fisheries – 1st and 3rd Year Report.

3) Estimates of Economic Parameters for Hairtail

As economic parameters, we used the fisheries cooperative associations' annual fisheries business statistic reports. The economic parameters included the market-sale price of hairtail, fishing cost per ship, and annual days at sea of two gear types (pair trawl and large otter trawl). Total ships of the target gears were found in the Fisheries and Vessel Statistic Data of MOMAF. The rate of hairtail production value of each gear was found in the fisheries statistic report of MOMAF. For the unit cost we used the

fisheries cooperative associations' annual fisheries business statistic reports and MOMAF, 2003 and 2006.

In <Table III-4>, the fishing cost per ship, the market-sale price of hairtail and the unit cost are average values converged as a present value in 2000.

The annual fishing cost per ship represents the weighted average fishing cost per ship (thousand won/ship) expressed as present value of the annual fishing cost per ship, based on producer price index of Korean commercial fish between 1995-2004 when the base year 2000 is normalized to be 100.

<Table III-3> Total Ships, Days at Sea, Fishing Cost per Ship, Market-Sale Price of Target Species and Gears

Year	Pair Trawl						Large Otter Trawl						Consumer Index (Com. Fish)	Producer Index (Com. Fish)
	Total Ships (no.)	Annual Days at Sea (days)	Fishing Cost per Ship (10 ³ won/ship)	Market-Sale Price (won/kg)	Unit Cost (won/haul)	Rate of Production Value (%)	Total Ships (no.)	Annual Days at Sea (days)	Fishing Cost per Ship (10 ³ won/ship)	Market-Sale Price (won/kg)	Unit Cost (won/haul)	Rate of Production Value (%)		
95	357	257	1,071,174	1,780	1,503,102	0.115	95	249	1,002,920	1,481	1,017,615	0.201	71.25	74.1
96	347	270	1,128,607	1,985	1,736,107	0.143	95	259	1,205,220	2,102	1,342,647	0.214	82.28	81.8
97	337	253	1,187,095	2,022	2,110,961	0.133	94	242	1,307,337	1,545	1,433,588	0.150	101.97	87.0
98	304	243	1,192,836	2,170	1,131,846	0.112	92	226	1,357,048	1,427	2,207,719	0.141	107.56	87.1
99	287	253	1,493,639	1,271	1,617,393	0.144	90	258	1,536,137	963	2,753,414	0.076	104.9	95.9
00	206	252	1,654,890	1,138	1,669,638	0.145	70	266	1,748,835	1,213	2,889,204	0.125	100.0	100.0
01	201	301	1,792,789	1,669	1,792,687	0.196	62	292	1,918,267	1,176	2,511,338	0.141	100.6	102.0
02	143	312	2,155,571	1,110	1,964,990	0.172	62	297	2,069,832	659	2,636,012	0.066	108.4	112.9
03	131	280	2,438,981	1,300	2,113,408	0.233	60	220	1,852,050	659	2,354,806	0.051	106.7	111.3
04	95	285	1,071,174	1,117	2,159,219	0.115	58	211	1,879,948	608	2,627,688	0.027	103.2	124.0

Source: Fisheries Cooperative Associations, 1995-2004, Annual Fisheries Business Statistic Report.
MOMAF, 2006, Fisheries Statistic Data, 2006, <http://www.momaf.go.kr/info/statistics/>
MOMAF, 2003 and 2006 A Study on the Structural Adjustment of Offshore Bottom Trawl Fisheries - 1st and 3rd Year Report.

〈Table III-4〉 Economic Parameters' Estimates of Hairtail Caught by Pair Trawl and Large Otter Trawl

Gear	Fishing Cost per Ship (thousand won/ship)	Fishing Efforts (hauls/ship)	Market-Sale Price (<i>P</i> : won/kg)	Unit Cost (<i>a</i> : won/haul)	Rate of Production Value (<i>m</i> : %)
Pair Trawl	1,682,950	853	1,519	1,765,369	0.151
Large Otter Trawl	1,595,634	798	1,135	2,196,907	0.119
Average	1,639,292	-	1,327	1,981,138	0.135
Sum	-	1,651	-	-	-

The fishing efforts per ship are the average of annual fishing efforts per ship from 1995 to 2004. The market-sale price (*P*) represents the annual average market-sale price (won/kg) expressed as present value of hairtail, based on consumer price index of Korean commercial fish between 1995-2004 when the base year 2000 is normalized to be 100.

The unit cost (*a*) represents the weighted average unit cost (won/haul) expressed as present value of unit cost (won/haul), based on producer price index of Korean commercial fish between 1995-2004 when the base year 2000 is normalized to be 100. The unit cost can be estimated by dividing the annual number of hauls per ship to the annual fishing cost per ship.

The annual number of hauls per ship can be estimated by the annual number of days at sea and the number of hauls per day. The rate of production value (*m*) for hairtail of each gear is estimated by dividing total production values of all species caught by each gear to total production values of hairtail caught by each gear. The rate of production value is the average value of annual rate of production value from 1995 to 2004.

3. Analysis Results

1) Standardized Fishing Efforts: Results

The standardized fishing efforts of hairtail caught by the two gears in the adjacent Korean waters are calculated from the logarithm CPUE [$\ln(\hat{U})$] estimated by the general linear model. The estimated CPUE of it caught by the two gears is shown in <Table III-5>.

This analysis is undertaken only with respect to two factors (year and gear) with 16 levels of the year factor (1989-2004) and 2 levels of gear factor (pair trawl and large otter trawl). The reference CPUE is selected as year 1989 and the large otter trawl gear for convenience. The X dummy variables that were needed in order to perform the general linear model analysis are shown in <Table III-5>, along with the logarithm of CPUE as the dependent variable. Note that no X variables are included for factor levels corresponding to the reference CPUE because these levels are obtained by setting the other variable to zero. The general linear model provides an answer by considering consistency in trends over various combinations of factors. Another use of the general linear model is in forecasting missing values of CPUE for some combination of factors (and, indeed, it is for some other factor combinations than those used here), then it can be estimated from the predictive equation.

The general linear model fits the data well, with an R^2 of 0.876 and an F-statistic of 6.658 with 16 and 15 degrees of freedom ($p < 0.05$).

Estimates of regression coefficients and related statistics are shown in <Table III-6>. All are highly significant except for year 90, 91, and 93. In reference, estimates of year 91 and 92 are also significant within ($p < 0.1$). Exponentiating these estimates yields estimates of “fishing power” coefficients⁷⁾. The reference CPUE obtained from the intercept is 17.2. From the year coefficient, CPUE in all other years is somewhat different from the reference year 1989 except for year 2000 (16.3) and 2001(17.0). CPUE for the pair trawl gear averages 50% of the large otter trawl gear, which is a significant difference. This difference could be due to catchability between the two gears. Hence, there is need to standardize for years and gears. The model can be modified to allow differential trends by gear, but an interaction effect is required between dummy variables and gear types. We do not have enough data to do this.

7) This non-linear transformation is biased downward in absolute terms, but the relative values of fishing power are not. Goldberge(16) gives a first order approximation for non-linear bias which would be appropriate in forecasting the dependent variable.

<Table III-5> CPUE (U) Data, Setup for General Linear Model, Estimated CPUE Values

Year	Gear	X Dummy Variables															Est. ln (U)	Est. U	
		90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04			d1
1989	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,2	9,0	
1990	pt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2,8	17,2	
1991	pt	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,2	23,9	
1992	pt	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,4	29,5	
1993	pt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,1	22,8	
1994	pt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4,0	55,2	
1995	pt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4,4	79,3	
1996	pt	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	4,4	85,3	
1997	pt	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4,5	93,8	
1998	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	4,8	119,9	
1999	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4,6	95,7	
2000	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	5,0	147,1	
2001	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	5,0	153,0	
2002	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4,8	124,8	
2003	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	4,7	114,0
2004	pt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4,5	92,3
1989	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,8	17,2	
1990	lt	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,5	32,9	
1991	lt	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	45,7	
1992	lt	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,0	56,4	
1993	lt	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	43,6	
1994	lt	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,7	105,4	
1995	lt	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,0	151,4	
1996	lt	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1	163,0	
1997	lt	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5,2	179,2	
1998	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5,4	229,1	
1999	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5,2	182,9	
2000	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5,6	281,0	
2001	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5,7	292,2	
2002	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5,5	238,4	
2003	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	5,4	217,7	
2004	lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5,2	176,3	

Note: pt = pair trawl / lt = large otter trawl / U = CPUE / d1= dummy variable 1.

(Table III-6) Estimates of Regression Coefficients, Related Statistics in the General Linear Model

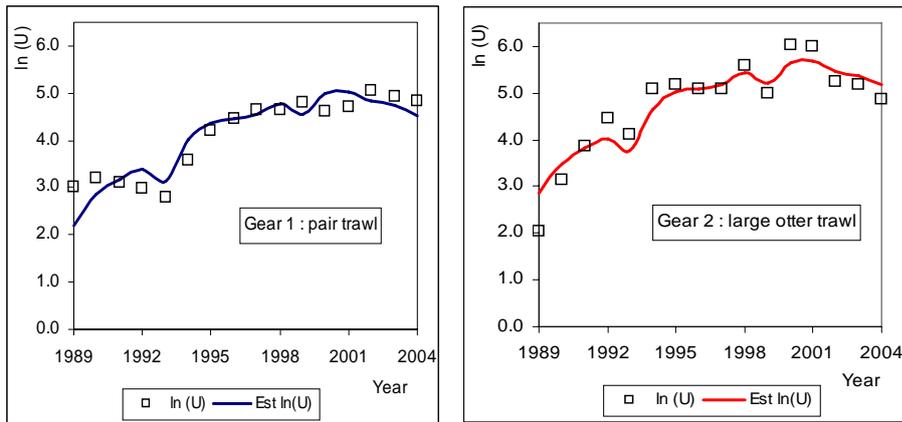
<i>Factor level</i>	Coef.	Est.	<i>S. E</i>	t Stat	P-value	P _{ij}
Ln (U)	β_0	2,845	0,361	7,890	0,000	17.2
Year 90	β_1	0,649	0,495	1,313	0,209	1.9
Year 91	β_2	0,977	0,495	1,976	0,067	2.7
Year 92	β_3	1,187	0,495	2,400	0,030	3.3
Year 93	β_4	0,931	0,495	1,882	0,079	2.5
Year 94	β_5	1,813	0,495	3,665	0,002	6.1
Year 95	β_6	2,176	0,495	4,398	0,001	8.8
Year 96	β_7	2,249	0,495	4,547	0,000	9.5
Year 97	β_8	2,344	0,495	4,739	0,000	10.4
Year 98	β_9	2,590	0,495	5,235	0,000	13.3
Year 99	β_{10}	2,364	0,495	4,780	0,000	10.6
Year 00	β_{11}	2,794	0,495	5,648	0,000	16.3
Year 01	β_{12}	2,833	0,495	5,727	0,000	17.0
Year 02	β_{13}	2,630	0,495	5,316	0,000	13.9
Year 03	β_{14}	2,539	0,495	5,132	0,000	12.7
Year 04	β_{15}	2,328	0,495	4,706	0,000	10.3
d 1	β_{16}	-0,647	0,175	-3,701	0,002	0.5

Note: factors considered are year (1989-2004) and gear (1, 2).

P-value: 95% significant level ($p < 0.05$).

<Figure III-2> shows the good fit of the model to the data and the overall difference between the two gears. A consequence of the general linear model is that the same trend over time is imposed on each combination of a factor, gear.

〈Figure III-2〉 Observed and Estimated $\ln(U)$ of Hairtail by Year and Gear



〈Table III-7〉 Standardization of Fishing Efforts of the Two Gears for Hairtail

Year	Pair Trawl			Large Otter Trawl			Est. Standardized Fishing Effort (hauls)
	Catch (MT)	Est. CPUE (kg/haul)	Est. Fishing Effort (hauls)	Catch (MT)	Est. CPUE (kg/haul)	Est. Fishing Effort (hauls)	
1989	5,175	9.0	574,925	521	17.2	30,301	605,226
1990	6,277	17.2	364,276	2,080	32.9	63,192	427,469
1991	5,551	23.9	232,095	3,060	45.7	66,979	299,074
1992	5,692	29.5	192,887	5,976	56.4	106,016	298,903
1993	4,662	22.8	204,144	3,638	43.6	83,397	287,541
1994	9,712	55.2	176,034	12,110	105.4	114,909	290,943
1995	17,173	79.3	216,635	16,875	151.4	111,442	328,076
1996	19,893	85.3	233,091	13,459	163.0	82,558	315,650
1997	19,988	93.8	213,036	13,493	179.2	75,286	288,321
1998	19,291	119.9	160,858	16,430	229.1	71,721	232,580
1999	21,443	95.7	223,992	11,449	182.9	62,609	286,600
2000	20,549	147.1	139,667	17,543	281.0	62,421	202,088
2001	22,317	153.0	145,908	19,136	292.2	65,496	211,404
2002	24,533	124.8	196,550	9,264	238.4	38,855	235,405
2003	21,182	114.0	185,842	8,358	217.7	38,389	224,230
2004	13,199	92.3	142,995	5,404	176.3	30,649	173,644

$\ln(\hat{U})$ estimated by the general linear model can yield fishing efforts (E) standardized with catch data as shown in <Table III-7>. In addition, the rate of fishing effort of each gear for hairtail can be produced by dividing the standardized fishing effort of the each gear by the standardized fishing efforts of the two gears. The average rate of fishing effort of hairtail caught by the pair trawl and the large otter trawl over 16 years (1989-2004) is 0.76 and 0.24 respectively.

<Table III-8> Average Rate of Fishing Efforts of the Two Gears for Hairtail (1989-2004)

Unit: %

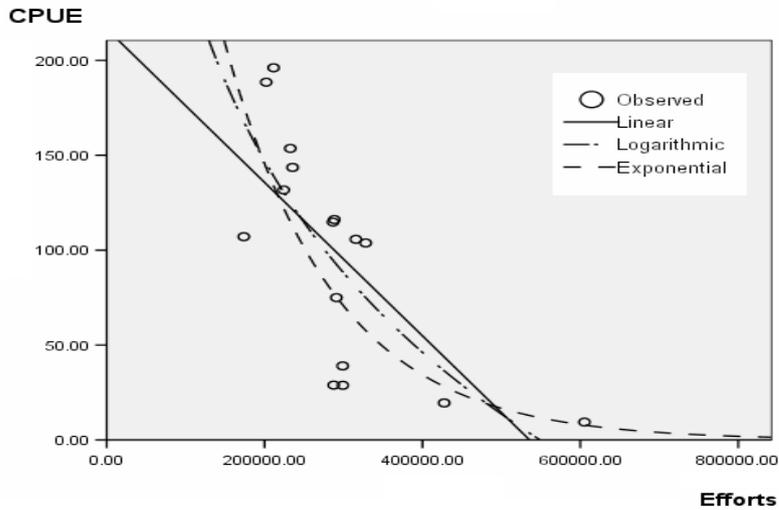
Year	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Ave.
Effort Rate pt	0.95	0.85	0.78	0.65	0.71	0.61	0.66	0.74	0.74	0.69	0.78	0.69	0.69	0.83	0.83	0.82	0.76
Effort Rate lt	0.05	0.15	0.22	0.35	0.29	0.39	0.34	0.26	0.26	0.31	0.22	0.31	0.31	0.17	0.17	0.18	0.24

In addition, to determine whether we should use the Fox model induced from the Gompertz growth function or the Schaefer model based on the logistic growth function, we analyze the relationship between the estimated CPUE and the estimated fishing efforts of the two gears with Curve Estimation Method of SPSS 14.0 program. The analyzed result shows that the relationship between the estimated CPUE and the estimated fishing efforts is closer to exponential rather than linear as shown in <Figure III-3>.

<Table III-9> Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Squared	F-stat.	DF1	DF2	Signif. F	Constant	Coefficient
Linear	.493	13.600	1	14	.002	216.510	.000
Logarithmic	.547	16.892	1	14	.001	1925.518	-145.698
Exponential	.681	29.911	1	14	.000	616.592	-7.22E-006

〈Figure III-3〉 Estimated Fishing Effort (E) and Hairtail Catch Per Unit Effort (CPUE) Standardized by Gears



2) Effort Averaging Method: Estimation of qk , and q/r

The coefficients of ($U_{\infty} = q \times k$), and ($-q / r$) estimated by the effort averaging method of the Equation <II-14> are 615.916 and -0.00000722 respectively. For estimating these parameters with data of <Table III-11>, we used Eviews 3.1.

〈Table III-10〉 Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F-stat.	DF1	DF2	Signif. F	Constant	Coefficient
Linear	0.68096	29.881	1	14	0.000083	6.423112	-0.00000722

Note: $\ln U_{\infty} = 6.423112$ and $\text{Exp} [\ln (U_{\infty})] = U_{\infty} = 615.916$.

〈Table III-11〉 Estimated CPUE Produced by the Standardized Estimated Fishing Efforts and the Observed Total Catches

Year	Stan. Est. Fishing Efforts (hauls)	The Observed Total Catches (MT)	Est. CPUE (kg/haul)	ln Est. CPUE (kg/haul)
1989	605,226	5,696	9.41	2.24
1990	427,469	8,357	19.55	2.97
1991	299,074	8,611	28.79	3.36
1992	298,903	11,668	39.04	3.66
1993	287,541	8,300	28.87	3.36
1994	290,943	21,822	75.00	4.32
1995	328,076	34,048	103.78	4.64
1996	315,650	33,352	105.66	4.66
1997	288,321	33,481	116.12	4.75
1998	232,580	35,721	153.59	5.03
1999	286,600	32,892	114.77	4.74
2000	202,088	38,092	188.49	5.24
2001	211,404	41,453	196.08	5.28
2002	235,405	33,797	143.57	4.97
2003	224,230	29,540	131.74	4.88
2004	173,644	18,603	107.13	4.67

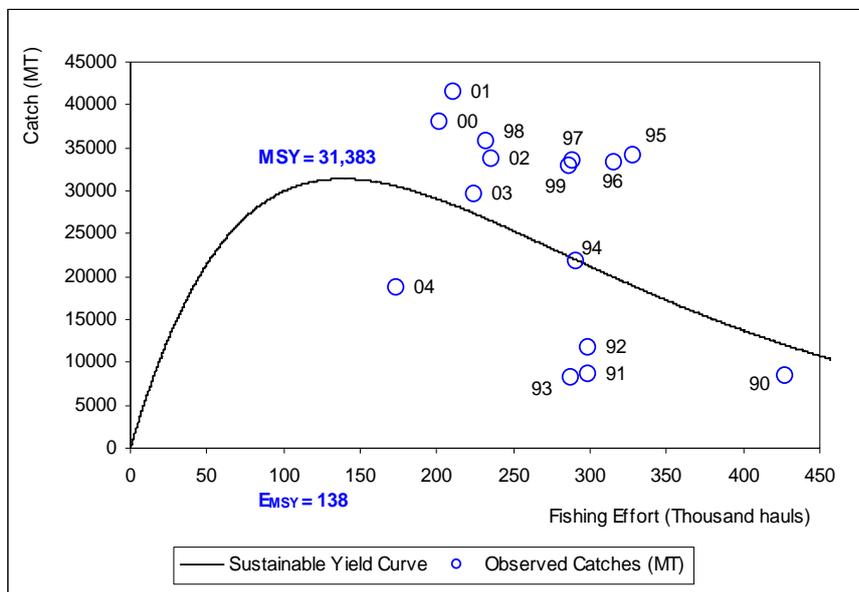
3) Estimates of Maximum Sustainable Yield (MSY) and Fishing Efforts at MSY (E_{MSY})

The Fox yield curve can be driven by substituting U_{∞} and $(-q/r)$ estimated by the equation <II-14> into equations <II-13> when fishing efforts (E) change. As a result, MSY and E_{MSY} of hairtail caught by the two gears estimated by equations <II-16> and <II-17> are 31,383 metric ton (MT) and 138,504 hauls respectively. From the average rate of fishing effort (pair trawl = 0.76 and large otter trawl = 0.24) of each gear within <Table III-8> produced by the equation <II-5>, MSY and E_{MEY} of hairtail by each gear can be estimated. As a result, MSY and

E_{MEY} of hairtail by the pair trawl are 23,778 metric ton (MT) and 105,263 hauls respectively. MSY and E_{MEY} of hairtail by the large otter trawl are 7,605 metric ton (MT) and 33,241 hauls respectively.

Moreover, the results of the regression between the observed catches and the catch curve at the same standardized estimated fishing efforts (E) show that R^2 is 0.36 and p-value of the independent variable (observed catches) is 0.0112 ($p < 0.05$).

〈Figure III-4〉 Sustainable Yield Curve, MSY and EMSY for Hairtail using the Fox Model



4) Estimates of Allowable Biological Catches (ABC) and Fishing Efforts at ABC (E_{ABC})

A Korean tier ABC determination procedure for a hairtail TAC caught by two gears can be found at 4b), tier 4 in <Table II-3>. This hairtail TAC was estimated from data on the annual yield (or catch) and annual effort. The $CPUE:CPUE_{MSY}$ ratio falls in between 0.05 and 1. Here, CPUE represents the average CPUE of the latest 3 years (2002-2004). This value of the CPUE is about 128 kg/haul as shown in <Table III-11>. In addition, $CPUE_{MSY}$ can be estimated by MSY/E_{MSY} so that the value of $CPUE_{MSY}$ is about 227 kg/haul. Thus the $CPUE:CPUE_{MSY}$ ratio is about 0.56.

By the Korean tier ABC determination equation [$= ABC \leq MSY \times (CPUE / CPUE_{MSY} - a)/(1 - a)$] in 4b), ABC of hairtail caught by the two gears is 15,283 metric ton. The large difference between MSY and ABC is due to a rapid decrease in recent CPUE (2002-2004). The level of ABC is about 49% of the level of MSY. Also, based on rates (0.76 and 0.24) of fishing efforts respectively, ABC_{pt} of hairtail caught by the pair trawl is 11,615 metric ton (MT) and ABC_{lt} of hairtail caught by the otter trawl is 3,668 metric ton (MT).

<Figure III-4> shows that current catches of pair trawl and large otter trawl for hairtail have been excessive. Fishing efforts has been in excess of the level of fishing efforts at MSY and also recent catches since 1995 except 2004 have exceeded sustainable yield curve. In addition, CPUE of

hairtail caught by the two gears has been steeply decreasing since 2001. As a result, even though inputs of fishing effort were only slightly reduced in 2004, the catch dramatically decreased. After all, this result shows that hairtail stock is rapidly decreasing.

Therefore, to protect the hairtail stock from overfishing and depletion, it needs to be included in Korean TAC target species.

5) Estimates of Maximum Economic Yield (MEY) and Fishing Effort at MEY (E_{MEY})

MEY and fishing effort (E_{MEY}) at level of MEY of hairtail caught by the two gears can be estimated by the equation <II-18>, <II-19> and economic parameters of <Table III-4>. Here, to estimate MEY and E_{MEY} , Maple 8 program and Excel Goal Seek program are used.

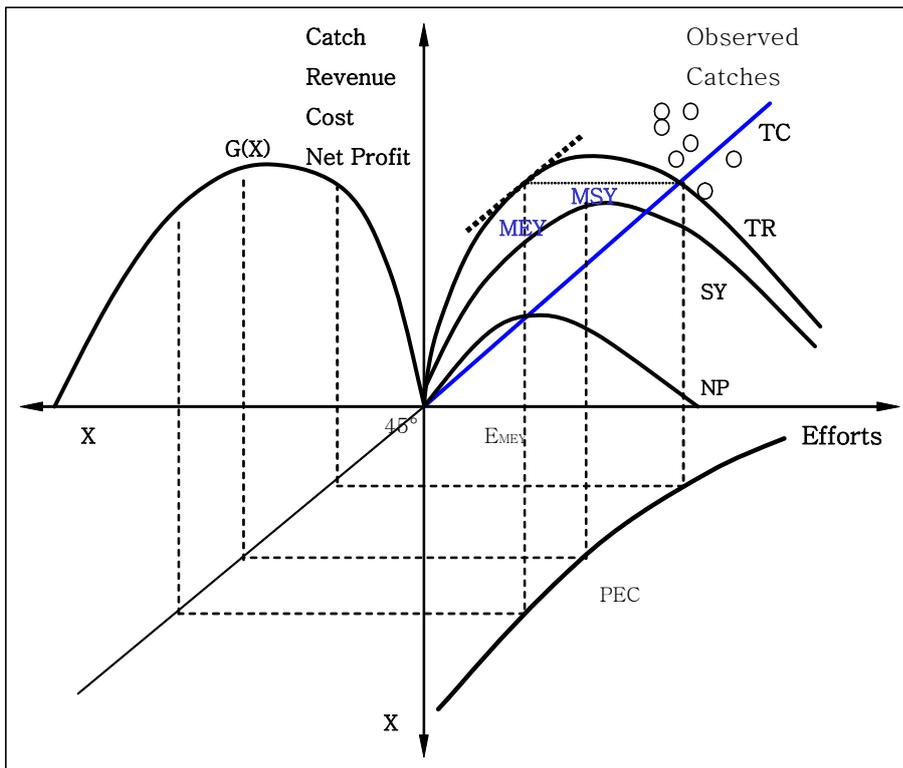
The estimated MEY of hairtail caught by multi-gears is about 25 kilotons and standardized fishing efforts at level of MEY is about 68 thousand hauls. In addition, net profit (NP) at the level of MEY is approximately 16×10^9 won⁸⁾. Here, total operating ships of the two gears at the level of MEY can be estimated by dividing summed annual average fishing efforts (1,651 hauls) in <Figure III-4> to the E_{MEY} (65,716 hauls). The estimated total operating ships at the level of MEY are approximately 40 ships. In addition, the total operating ships of each gear at the level of MEY can be estimated by multiplying the average

8) <http://www.keb.co.k>: Approximately 930 won = 1 dollar.

rate (0.76, 0.24) of fishing efforts of each gear in <Table III-8> to total operating ships estimated above (40 ships). The total operating ships of pair trawl are approximately 30 ships and those of large otter trawl are approximately 10 ships. Also, the estimated MEY of hairtail caught by the two gears is about 80% of the estimated MSY and the estimated E_{MEY} of hairtail caught by the gears is about 47% of E_{MSY} . This means that, when E_{MSY} reduces 53% to reach to E_{MEY} , the MSY just reduces 20% to achieve MEY. Thus this implies that current fishing efforts of the two gears for hairtail are in overcapacity.

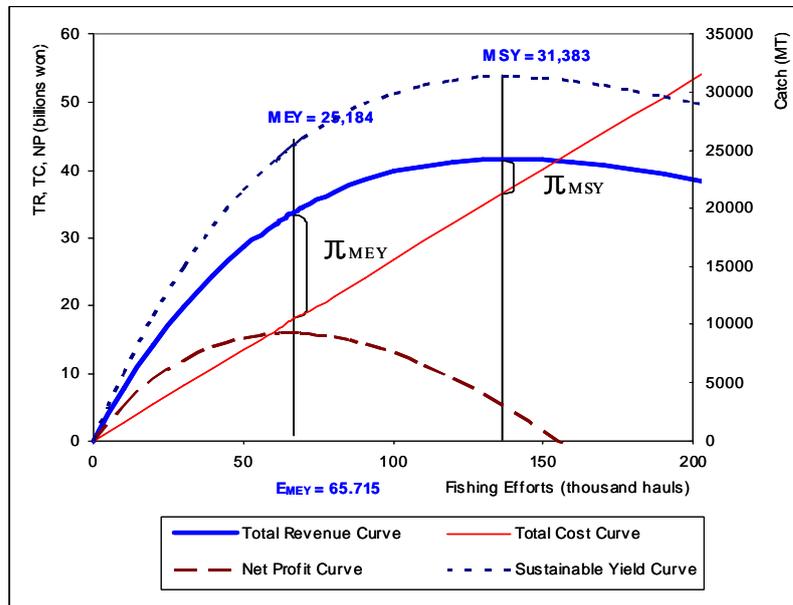
However, since recent hairtail stock has been overfished and overcaught by these gears as shown in <Figure III-5>, it is very difficult for fishing efforts at the level of MEY to achieve the maximum net profit due to the stock depletion at current time. In other words, given the depleted status of the resource, the fishing efforts at the level of MEY can gradually recover the resource but cannot achieve the maximum net profit until the resource recovers to the steady state biomass associated with MEY. In addition, since the pair trawl and the large otter trawl have been used for catching other species, the operating ships of the two gears should also take into account the revenues of ships of the two gears that catch species other than hairtail.

<Figure III-5> Implication of MEY criterion under depleted statue of the Resource



<Figure III-6> shows that the net profit at MEY is higher than at MSY when the resource is recovered. Hence, if the hairtail resource is recovered, the level of MEY can be much more efficient than the level of MSY in aspects of fishing efforts and net profits.

〈Figure III-6〉 Total Revenue, Cost, and Profit of Korean Pair Trawlers and Large Otter Trawlers Harvesting Hairtail: Estimates based on the Fox Bioeconomic Model



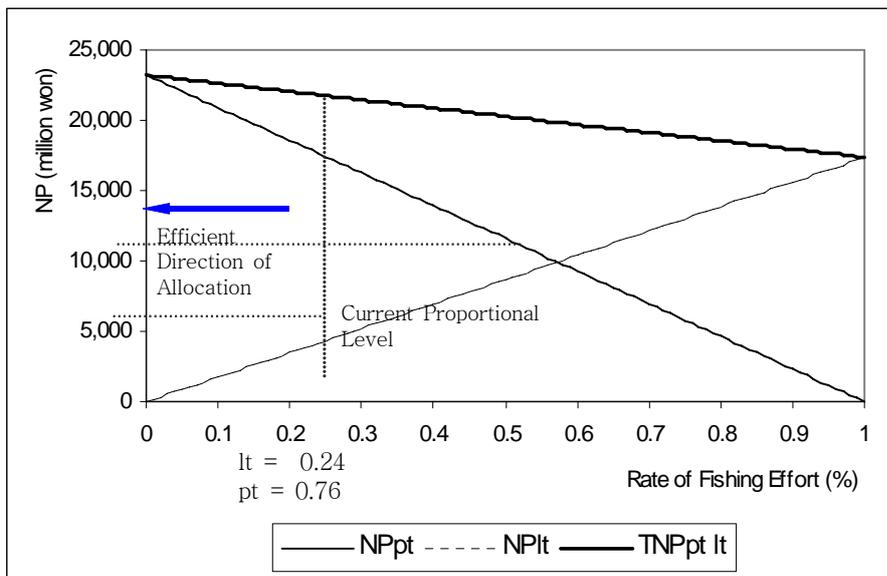
6) Estimates of NP at the level of ABC

Hairtail derived Net profits of the two gears can be estimated by equations <II-24> and <II-25>. As a result, at the current proportional levels ($p_t = 0.76$ and $l_t = 0.24$) of fishing efforts between the two gears, net profit of the pair trawl is about 17,643 million won and the net profit of the large otter trawl is about 4,162 million won. Also, total net profit of the two gears is about 21,805 million won. This result implies that the pair trawl has input much more fishing efforts than those of the

large otter trawl. As a result, the pair trawl has earned much more net profit than the large otter trawl. This result is due to lower unit cost and higher market-sale price of the pair trawl than those of the large otter trawl for hairtail in <Table III-4>.

In addition, <Figure III-7> shows the relationship between the net profit and the rate of fishing efforts.

<Figure III-7> Relationship between Net Profit and the Rate of Fishing Efforts



7) Comparison between Single Species by Single Gear and Single Species by Multi-gears

This section analyzes the common TAC assessment based on a 1×1 case and also compares results of the 1×1 model to those of a 1×2

model. As shown by the results, the total MSY (36,972 MT) estimated by the 1×1 model is greater than MSY (31,383 MT) estimated by the 1×2 model and also ABC (17,548 MT) estimated by the 1×1 model is greater than ABC (15,283 MT) estimated by the 1×2 model. These results reflect that the sum of each MSY or each ABC estimated by the 1×1 can lead to over-estimates of MSY or ABC of a certain species. In addition, the total MEY (31,542 MT) estimated by the 1×1 model is greater than MEY (25,184 MT) estimated by the 1×2 model.

〈Table III-12〉 Comparison of Economic and Biological Estimates between the Two TAC Assessment Models

Model Criteria	Single Species and Single Gear (1×1)			Single Species and Multi-gears (1×2)		
	Hairtail & Pair Trawl	Hairtail & Large Otter Trawl	Total	Hairtail & Pair Trawl	Hairtail & Large Otter Trawl	Hairtail & Two Gears
MSY (MT)	29,129	7,843*	36,972	23,778	7,605	31,383
ABC (MT)	9,705	7,843*	17,548	11,615	3,668	15,283
MEY (MT)	27,161	4,381	31,542	-	-	25,184

Note: * all values are same, because CPUE/CPUEMSY is greater than 1 and ABC equals TAC in 1×1 cases.

Chapter IV

TACAM for Multi-species and Multi-gears

Chapter IV provides case studies and theoretical approaches for TAC assessment models for multi-species and multi-gears and also proposes major data necessary to analyze the TAC assessment which considers economic, technical, and biological interactions⁹⁾ with multi-species and multi-gears.

1. Case Studies for Multi-species and Multi-gears

Case studies for multi-species and multi-gears with biological (e.g. predator-prey and competition) and technical interactions (e.g., bycatch) are as follows¹⁰⁾.

1) Biological Interactions' Cases

Biological interactions are caused by competition for the same food

9) Wmentioned biological and technical interactions to stylized approaches for multi-species in first year report a study on Assessment of TAC for multi-species and multi-gears (pp. 86-104). Hence this section only focuses on case studies ofthes interactions.

10) In Chapter IV, we only consider case studies of multi-species and multi-gears related to the surplus production model.

resources and through predator-prey relationships. For example, Atlantic cod is a major predator of capelin in the waters of Iceland and the Barents Sea. Conversely, capelin also feed on cod eggs. Estimating the effects of a change in the population of either species on the overall productivity of fishery is difficult because of these interactions (Pascoe, 1995).

(1) Predator-Prey Cases

Predator-Prey cases were developed in order to demonstrate the effects of a biological interaction on the optimal harvesting strategy in a multi-species fishery¹¹). Flaaten (1988) and Flaaten and Stollery (1994) introduced predator-prey surplus production model for multi-species fisheries. Flaaten (1988) applied a bioeconomical analysis to the Barents Sea Fisheries with the predator-prey surplus production model. At that time, Flaaten's work was controversial because of his conclusion that sea mammals should be heavily depleted to increase the surplus production of fish resources for man. Also, this was in harmony with Norwegian government policy, which, ever since the European Community ban on the importation of the skins of whitecoat (nursing harp seals) and bluebacks (hooded seals < 1 year old) rendered sealing commercially unviable, had subsidized sealing in the Barents Sea (Yodzis, 1994).

11) Yodzis mentioned that "the first logical steps in this direction are predator-prey and food chain models. An early exploration, May et al. (1979), has proved very influential, and now forms the basis for a very controversy piece of work, a bioeconomical analysis of the Barents Sea fishery by Flaaten (1988)" (Yodzis, 1994).

Subsequently, Flaaten and Stollery (1994) analyzed the economic effects of biological predation in the case of the north east Atlantic minke whale's consumption of fish. They employed a predator-prey surplus production bioeconomic model to measure the economic losses from the reduced harvesting of prey species resulting from an increase in the stock of a natural predator. Their conclusion was that, when the north-east Atlantic minke whale stock increases by 10% stock, the gross profits of the Norwegian cod and herring fisheries are estimated to suffer a reduction of approximately 5.2% and 12.4%, respectively, or over \$17 million.

Yodzis (1994) reviewed predator-prey theory and management of multi-species fisheries. The principal discussion in his paper is a review of the biological meaning of the various forms taken by predator-prey model, to show how, in predator-prey models in which the prey are harvested, the form of the model influences the model's implications as to how the predator affects the harvest, and how the harvest affects the predator. He also reaches the conclusion that the form of model inherited by Flaaten from May et al. (1979) biases the case against marine mammals, without justification in terms of the underlying biology (Yodzis, 1994).

In addition, after the interactions between species are known, the Multi-species Assessment Working Group (1991) has been expanded into an N-species. The Group identified a series of predator-prey relationships for eleven species caught in the North Sea. However, the approach of the Working Group used the surplus production bioeconomic model and multi

-species virtual population analysis together. This involves an analysis of stomach contents to estimate feeding patterns as well as catch and effort data. Contributions of the Working Group are to provide estimations of the biological interactions with predator-prey relationship between multi-species and also to analyze the long term maximum sustainable yields of the species given these interactions (Pascoe, 1995).

(2) Competition Cases

Multi-species can also compete for space within the same habitat. Fishing can affect the balance between the species, favoring one species more than another. In detail, species may compete for a common food source. A reduction in the stock of one species may lead to an increase in the stock of a competing species. In such cases, reducing effort on the one species may not lead to a recovery in the stock it may have been displaced by the other species. For example, due to a consequence of over fishing, the Pacific sardine stocks were collapsed in the 1940s and 1950s. The stocks were soon replaced by an anchovy population which was not being harvested at that time. Clark (1990) indicated that the anchovy stock had prevented the sardine stock from recovering. However, case studies cited of competitive behavior in a fishery are only a few examples, because the existence of competition is generally difficult to demonstrate conclusively.

2) Technical Interactions' Cases

Technical interaction means that the fishery on one stock creates fishing mortality on other stocks because the fishery is either a multi-species fishery or because of inevitable by-catches (Ryu, Gates, Nam, 2005; Sparre, 1998). For example, in the Gulf of Nicoya, the technical interaction exists between the gillnet fishery and the trawl fishery. As young shrimp are an important food item for large sciaenids and snappers, an increased effort in the trawl fishery may affect the food resources of these fish and affect the fishery. In particular, this happens in the gillnet fishery where large sciaenids are caught in the 3.5 inch nets that are primarily directed at large shrimp and also this happens in the shrimp trawl fishery where many juveniles of commercially important finfish are caught as bycatch.

Anderson (1975) developed a theoretical two species model where the catch of one species was a function of the effort directed at that species as well as the effort directed at the other species. Dann and Pascoe (1994) have also developed a model where the catch of one species is a function of the effort applied to that species as well as the effort targeted on other species in the fishery. That is, there were separate target and bycatch catchability coefficients (Pascoe, 1995).

2. Theoretical Approaches of TAC Assessment Model

ulti-gears or the optimal catching strategy for the fishery as a whole. As a result, these interactions can bring out a difficulty of estimating TAC, MSY, or MEY of each species.

1) Theoretical Approaches of Biological Interactions

(1) Theoretical Approaches of Predator-Prey

Predator-Prey Model: MSY and ABC Estimations

A two species model with predator-prey relationship can be developed in order to simply explain the effects of a biological interaction on the optimal catching strategy in multi-species and multi-gears.

The extended surplus production model can be explained by adding parameters (β and α) related to the predator and prey into the normal Schaefer surplus production model.

Basic assumptions of this predator-prey surplus production model are as follows. First, predator and prey species all are subject to exploitation and these species can be targeted individually. Secondly, the prey species is the only source of food for the predator and the predator species is the only predator (other than fishers) of the prey species.

In the absence of fishing, growth rate in the two species with the predator and prey populations can be derived as follows.

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{IV-1} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) \quad \langle \text{IV-2} \rangle$$

where X_1 and X_2 are the stock biomass of the prey and predator species respectively. r_1 and r_2 are the instantaneous growth rate of each species, k_1 is carrying capacity of the prey species, β is the proportion of the biomass of the prey species consumed by an individual predator and α is the relationship between the size of the prey stock and the maximum size of the predator stock. Thus, $\alpha X_1 (= k_2)$ is carrying capacity of the predator stock, which depends upon the size of the prey stock. And, in equilibrium, α can be expressed as follows.

$$\frac{X_2^E}{X_1^E} = \alpha \quad \langle \text{IV-3} \rangle$$

where X_1^E and X_2^E are the equilibrium level of stock biomass for both species in the absence of fishing. And the equilibrium of each stock biomass for both species can be found by setting equations $\langle \text{IV-1} \rangle$ and $\langle \text{IV-2} \rangle$ to zero and solving the equations simultaneously. The

equilibrium of each stock biomass for both species is as follows.

$$X_1^E = \frac{r_1 k_1}{r_1 + \beta \alpha k_1} \quad \langle \text{IV-4} \rangle$$

$$X_2^E = \frac{\alpha r_1 k_1}{r_1 + \beta \alpha k_1} \quad \langle \text{IV-5} \rangle$$

An distinguishing feature of the equations $\langle \text{IV-4} \rangle$ and $\langle \text{IV-5} \rangle$ is that the equilibrium stock biomass of the predator species (X_2) is independent of its intrinsic growth rate (r_2), but dependent on the intrinsic growth rate (r_1) and carrying capacity (k_1) of the prey species (X_1).

By adding catch equation of each species into equations $\langle \text{IV-1} \rangle$ and $\langle \text{IV-2} \rangle$, the growth rate of each stock biomass for the two species can be expressed as follows.

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \beta X_1 X_2 - q_1 E_1 X_1 \quad \langle \text{IV-6} \rangle$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) - q_2 E_2 X_2 \quad \langle \text{IV-7} \rangle$$

where q_1 and q_2 are the catchability coefficients of the prey and predator species while E_1 and E_2 are the levels of fishing effort applied

to each species. Here, we assume that each species can be targeted separately and the catch of each species is given by a linear function, $C=qEX$.

When the catch of each species is equal to its natural population growth, these species reach to equilibrium. At this point, the growth rate at the level of the equilibrium goes to zero ($\frac{dX}{dt}=0$). Hence, equations between the catch and the growth rate of each species in equilibrium can be expressed as follows.

$$q_1 E_1 X_1 = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \text{<IV-8>}$$

$$q_2 E_2 X_2 = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) \quad \text{<IV-9>}$$

Solving equations <IV-8> and <IV-9> for X_1 and X_2 , equations <IV-10> and <IV-11> can be derived as follows.

$$X_1^E = \frac{r_1 r_2 [k_1 - (q_1 k_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha k_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \text{<IV-10>}$$

$$X_2^E = \frac{\alpha r_1 r_2 [1 - (q_2 / r_2) E_2] [k_1 - (q_1 k_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha k_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \text{<IV-11>}$$

Since the catch equation (C) is a function of fishing effort (E) with a linear relationship ($X=C/qE$), the equilibrium catch-effort equations for the two species can be estimated as follows. If β is zero (in the absence of predation), the catch-effort equation for the prey species reverts to the normal Schaefer surplus production model. However, since the carrying capacity of the predator population is defined only in terms of the stock of the prey, the equilibrium catch of the predator species, the equation <IV-11> is meaningless with a zero predation factor (β) (Pascoe, 1995).

$$C_1^{MSY} = \frac{r_1 r_2 q_1 E_1 [k_1 - (q_1 k_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha k_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \text{<IV-12>}$$

$$C_2^{MSY} = \frac{\alpha r_1 r_2 q_2 E_2 [1 - (q_2 / r_2) E_2] [k_1 - (q_1 k_1 / r_1) E_1]}{r_1 r_2 + \beta \alpha k_1 (r_2 - q_2 E_2)} \quad \text{<IV-13>}$$

In addition, ABC can be estimated from the maximum sustainable yields (C_i^{MSY}) of each species by using the Korean tier ABC determination system in <Table II-3>.

Parameter estimations: Estimations of β , α , r_i , q_i and k_1

The parameters of the predator-prey surplus production model can be estimated from catch and effort data. Equations <IV-8> and <IV-9> in equilibrium can be replaced as follows.

$$C^{E_1} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{IV-14} \rangle$$

$$C^{E_2} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{\alpha X_1} \right) \quad \langle \text{IV-15} \rangle$$

According to an assumption that catch per unit of effort (CPUE) is proportional to the stock biomass ($U = qX$), equations <IV-14> and <IV-15> can be respecified as follows.

$$C^{E_1} = \frac{r_1}{q_1} U_1 \left(1 - \frac{U_1}{q_1 k_1} \right) - \frac{\beta}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \langle \text{IV-16} \rangle$$

$$C^{E_2} = \frac{r_2}{q_2} U_2 \left(1 - \frac{q_1 U_2}{\alpha q_2 U_1} \right) \quad \langle \text{IV-17} \rangle$$

Assuming also that $\Delta X_i = C^E - C$ and hence that $C_i^E = C_i + \Delta U_i/q$, then equations <IV-16> and <IV-17> can be expressed as follows.

$$\frac{\Delta U_1}{U_1} = r_1 - \frac{r_1}{q_1 k_1} U_1 - \frac{\beta}{q_2} U_2 - q_1 \frac{C_1}{U_1} \quad \langle \text{IV-18} \rangle$$

$$\frac{\Delta U_2}{U_2} = r_2 - \frac{r_1 q_1 U_2}{\alpha q_2 U_1} - q_2 \frac{C_2}{U_2} \quad \langle \text{IV-19} \rangle$$

According to the approximation assumptions of Schaefer (1957), the equations <IV-18> and <IV-19> can be replaced as follows. The parameters can be estimated from observed catch and effort data.

$$\frac{\bar{U}_{1,t+1} - \bar{U}_{1,t-1}}{2\bar{U}_{1,t}} = \gamma_{1,0} - \gamma_{1,1}\bar{U}_1 - \gamma_{1,2}\bar{U}_2 - \gamma_{1,3}\bar{E}_1 \quad \text{<IV-20>}$$

$$\frac{\bar{U}_{2,t+1} - \bar{U}_{2,t-1}}{2\bar{U}_{2,t}} = \gamma_{2,0} - \gamma_{2,1}\frac{\bar{U}_2}{\bar{U}_1} - \gamma_{2,2}\bar{E}_2 \quad \text{<IV-21>}$$

The parameters, β , α , r_i , q_i and k_i can all be derived from manipulation of the regression coefficients in equations <IV-20> and <IV-21>. Parameters involving other functional forms of the growth models (e.g., the exponential model and general model) can also be estimated in a similar fashion (Pascoe, 1995).

Predator-Prey Bioeconomic Analysis: MEY and NP Estimations

Economic parameters (e.g. price, cost) can be included in the predator-prey surplus production model. Under the predator-prey relationship between the two species, it is necessary to combine both species in the profit equation. The profits for a given level of stock biomass can be simply expressed as follows.

$$NP = P_1C_1 + P_2C_2 - c(E_1 + E_2) = P_1q_1X_1E_1 + P_2q_2X_2E_2 - a_1m_1E_1 - a_2m_2E_2 \quad \langle\text{IV-22}\rangle$$

where P_i is the constant annual average market-sale price of each species, C_i is catch of each species, c is the unit cost as a function of fishing effort, E_i is the level of fishing efforts of each gear for each species, q_i is the catchability coefficient for each species, X_i is the stock biomass of each species, a_i is the annual weighted average unit cost of each gear, and m_i is the average rate of each species production value.

From the complicated equations $\langle\text{IV-12}\rangle$ and $\langle\text{IV-13}\rangle$, it is fairly obvious that determining the level of effort that produces the MEY in such a fishery is difficult. The easiest way to solve the equation is to use an optimization package, setting the objective function to maximize equations $\langle\text{IV-22}\rangle$, subject to the biological equilibrium conditions given in equations $\langle\text{IV-12}\rangle$ and $\langle\text{IV-13}\rangle$, as well as any constraints on the total amount of effort (e.g., $E_1 + E_2 \leq E_{\text{MAX}}$) (Pascoe, 1995).

(2) Theoretical Approaches of Competition

Competition Model: MSY and ABC Estimations

A two species model with competition can be developed to explain the effects of a biological interaction on the optimal catching strategy in multi-species and multi-gears.

The extended surplus production model can be explained by adding parameters (β and α) related to the competition into the normal

Schaefer surplus production model.

Basic assumptions of this competitive species surplus production model are as follows. First, the growth of each stock is logistic. Secondly, the growth of each stock is dependent on the size of the competing stock. In the existence of fishing, the growth rate in the two species with the competition can be derived as follows. This system is based on a dynamic system developed by Gause (1935).

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \alpha X_1 X_2 - q_1 E_1 X_1 \quad \text{<IV-23>}$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{k_2} \right) - \beta X_1 X_2 - q_2 E_2 X_2 \quad \text{<IV-24>}$$

where α and β are the competitive coefficients. The competitive coefficients, α and β are greater than zero, because each species has a negative impact on the growth of the competing species.

As equations <IV-8> and <IV-9> mentioned before, when the catch of each species is equal to its natural population growth, these species reach to equilibrium. At this point, the growth rate at the level of the equilibrium goes to zero ($\frac{dX}{dt} = 0$). Hence, equations between the catch and the growth rate of each species in equilibrium can be expressed as follows.

$$q_1 E_1 X_1 = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1}\right) - \alpha X_1 X_2 \quad \langle \text{IV-25} \rangle$$

$$q_2 E_2 X_2 = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{k_2}\right) - \beta X_1 X_2 \quad \langle \text{IV-26} \rangle$$

Solving equations $\langle \text{IV-25} \rangle$ and $\langle \text{IV-26} \rangle$ for X_1 and X_2 , equations $\langle \text{IV-27} \rangle$ and $\langle \text{IV-28} \rangle$ can be derived as follows.

$$X_1^E = k_1 \left[1 - \frac{1}{r_1} (\alpha X_2 + q_1 E_1) \right] \quad \langle \text{IV-27} \rangle$$

$$X_2^E = k_2 \left[1 - \frac{1}{r_2} (\alpha X_1 + q_2 E_2) \right] \quad \langle \text{IV-28} \rangle$$

Solving these equations $\langle \text{IV-27} \rangle$ and $\langle \text{IV-28} \rangle$ simultaneously, equations $\langle \text{IV-29} \rangle$ and $\langle \text{IV-30} \rangle$ can be driven as follows.

$$X_1^E = \frac{k_1 \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1\right) - \frac{\alpha k_1 k_2}{r_1} \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2\right)}{1 - \frac{\alpha \beta k_1 k_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{IV-29} \rangle$$

$$X_2^E = \frac{k_2 \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2\right) - \frac{\beta k_1 k_2}{r_2} \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1\right)}{1 - \frac{\alpha \beta k_1 k_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{IV-30} \rangle$$

Since the catch equation (C) is a function of fishing effort (E) with a linear relationship ($C=qEX$), the equilibrium catch-effort equations for the two species can be derived as follows. If α and β are zero, then these equations are identical to the normal Schaefer surplus production model.

$$C_1^{MSY} = q_1 E_1 \frac{k_1 \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1\right) - \frac{\alpha k_1 k_2}{r_1} \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2\right)}{1 - \frac{\alpha \beta k_1 k_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{IV-31} \rangle$$

$$C_2^{MSY} = q_2 E_2 \frac{k_2 \left(1 - \frac{q_2}{r_2} E_2\right) - \frac{\beta k_1 k_2}{r_2} \left(1 - \frac{q_1}{r_1} E_1\right)}{1 - \frac{\alpha \beta k_1 k_2}{r_1 r_2}} \quad \langle \text{IV-32} \rangle$$

In addition, ABC can be estimated from the maximum sustainable yields (C_i^{MSY}) of each species by using the Korean tier ABC determination system in <Table II-3>.

Parameter estimations: Estimations of β , α , r_i , q_i and k_i

The parameters of the competitive species surplus production model can be estimated from catch and effort data. Equations <IV-23> and <IV-24> in equilibrium can be replaced as follows.

$$C^{E_1} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1} \right) - \alpha X_1 X_2 \quad \text{<IV-33>}$$

$$C^{E_2} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{k_2} \right) - \beta X_1 X_2 \quad \text{<IV-34>}$$

According to an assumption that catch per unit of effort (CPUE) is proportional to the stock biomass ($U = qX$), equations <IV-33> and <IV-34> can be respecified as follows.

$$C^{E_1} = \frac{r_1}{q_1} U_1 \left(1 - \frac{U_1}{q_1 k_1} \right) - \frac{\alpha}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \text{<IV-35>}$$

$$C^{E_2} = \frac{r_2}{q_2} U_2 \left(1 - \frac{U_2}{q_2 k_2} \right) - \frac{\beta}{q_1 q_2} U_1 U_2 \quad \text{<IV-36>}$$

Assuming also that $\Delta X_i = C^E - C$ and hence that $C_i^E = C_i + \Delta U_i/q_i$, then equations <IV-35> and <IV-36> can be expressed as follows.

$$\frac{\Delta U_1}{U_1} = r_1 - \frac{r_1}{q_1 k_1} U_1 - \frac{\alpha}{q_2} U_2 - q_1 \frac{C_1}{U_1} \quad \langle \text{IV-37} \rangle$$

$$\frac{\Delta U_2}{U_2} = r_2 - \frac{r_2}{q_2 k_2} U_2 - \frac{\beta}{q_1} U_1 - q_2 \frac{C_2}{U_2} \quad \langle \text{IV-38} \rangle$$

According to the approximation assumptions of Schaefer (1957), the equations <IV-37> and <IV-38> can be replaced as follows. The parameters can be estimated from observed catch and effort data.

$$\frac{\bar{U}_{1,t+1} - \bar{U}_{1,t-1}}{2\bar{U}_{1,t}} = \gamma_{1,0} - \gamma_{1,1} \bar{U}_1 - \gamma_{1,2} \bar{U}_2 - \gamma_{1,3} \bar{E}_1 \quad \langle \text{IV-39} \rangle$$

$$\frac{\bar{U}_{2,t+1} - \bar{U}_{2,t-1}}{2\bar{U}_{2,t}} = \gamma_{2,0} - \gamma_{2,1} \bar{U}_1 - \gamma_{2,2} \bar{U}_2 - \gamma_{2,3} \bar{E}_2 \quad \langle \text{IV-40} \rangle$$

The parameters, β , α , r_i , q_i and k_i can be derived from manipulation of the regression coefficients in equations <IV-39> and <IV-40>. Parameters involving other functional forms of the growth models (e.g., the exponential model and general model) can also be estimated in a similar fashion (Pascoe, 1995).

Competition Bioeconomic Analysis: MEY and NP Estimations

Economic parameters (e.g. price, cost) can be included in the

competitive species surplus production model. Under the competitive relationship between the two species, it is necessary to combine both species in the profit equation. The profits for a given level of stock biomass can be simply expressed such as the equation <IV-22> mentioned before.

2) Theoretical Approaches of Technical Interactions

(1) Theoretical Approaches of bycatch

Bycatch Model: MSY and ABC Estimations

A two species model with bycatch can be developed in order to simply demonstrate the effects of a technical interaction on the optimal catching strategy in mixed species fisheries, a case of multi-species fisheries. The distinguishing feature of the mixed species fisheries is that one species may become depleted while the other continues to support high catches. This bycatch effect can occur as a result of different growth rates of the different species.

The extended surplus production model can be explained by considering a bycatch effect into the normal Schaefer surplus production model.

Basic assumptions of the bycatch species surplus production model are as follows. First, there is no biological interaction between species. Secondly, the fishing activity of a certain fishing gear can affect the stock biomass or the growth rate of these species. This system was

developed by Anderson (1975) and Clark (1985, 1990) and Dann and Pascoe (1994).

$$\frac{dX_1}{dt} = r_1 X_1 \left(1 - \frac{X_1}{k_1}\right) - q_1 EX_1 = G_1(X_1) - q_1 EX_1 \quad \text{<IV-41>}$$

$$\frac{dX_2}{dt} = r_2 X_2 \left(1 - \frac{X_2}{k_2}\right) - q_2 EX_2 = G_2(X_2) - q_2 EX_2 \quad \text{<IV-42>}$$

where, E is applied to both species as the same level of effort, but catch ($C=qEX$) are different due to the size of the biomass (X) and the catchability coefficient (q) of each species. MSY and ABC of bycatch species can be estimated by the normal Schaefer (or Fox) surplus production model by vertically summing the sustainable yield curve of each species.

Parameter estimations: Estimations of r_i , q_i and k_i

Parameters, r_i , q_i and k_i , can be estimated by the Schaefer method, the Schnute method, the Walters and Hilborn method, the effort averaging method, the Fox method, or the Clarke, Yoshimoto and Pooley method.

(Table IV-1) Estimation Methods of Parameters: q, k, and r

Models	Methods	Estimation Equations
Logistic Surplus Production	Schaefer	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r - \frac{r}{qk}\bar{U}_t - q\bar{E}_t$
	Schnute	$\ln\left[\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right] = r - \frac{r}{qk}\left[\frac{\bar{U}_t + \bar{U}_{t+1}}{2}\right] - q\left[\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right]$
	Walters and Hilborn	$\frac{\bar{U}_{y+1}}{\bar{U}_t} - 1 = r - \frac{r}{qk}\bar{U}_t - q\bar{E}_t$
Exponential Surplus Production	Effort Averaging	$\ln\bar{U}_t = \ln(qk) - (q/r)E_t$
	Fox	$\frac{\bar{U}_{t+1} - \bar{U}_{t-1}}{2\bar{U}_t} = r \ln(qk) - r \ln(\bar{U}_t) - q\bar{E}_t$
	Clarke, Yoshimoto and Pooley	$\ln\bar{U}_{t+1} = \frac{2r}{2+r}\ln(qk) + \frac{2-r}{2+r}\ln(\bar{U}_t) - \frac{q}{2+r}(\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1})$
General Surplus Production	Schnute	$\ln\left[\frac{\bar{U}_{n+1}}{\bar{U}_n}\right] = r - \frac{r}{k^{m-1}q^{m-1}}\left[\frac{\bar{U}_t^{m-1} + \bar{U}_{t+1}^{m-1}}{2}\right] - q\left[\frac{\bar{E}_t + \bar{E}_{t+1}}{2}\right]$

In general, the logistic growth model uses the Schaefer method, the Schnute method, the Walters and Hilborn method and the exponential growth model employs the effort averaging method, the Fox method, or the Clarke, Yoshimoto and Pooley method. A general surplus production model uses Pella and Tomlinson method.

Bycatch Bioeconomic Analysis: MEY and NP Estimations

Economic parameters (e.g. price, cost) can be included in the bycatch species surplus production model. Under technical interactions between the two species, it is necessary to combine both species in the profit equation. The profits for a given level of stock biomass can be simply

expressed as follows.

$$NP = P_1q_1EX_1 + P_2q_2EX_2 - cE = (P_1q_1X_1 + P_2q_2X_2 - c)E \quad \text{<IV-43>}$$

where P_i is the constant annual average market-sale price of each species, q_i is the catchability coefficient for each species, X_i is the stock biomass of each species, c is the annual weighted average unit cost of a certain gear for the two species. The effect of the level of effort that generates the combined maximum economic yield (MEY) will depend upon the growth rate of the two species and the catch effort relationship.

In this case, the sustainable revenue curve is a monetized version of the sum of the two yield curves. Its exact shape depends on the shapes of the yield curves and the price of each species. The level of fishing effort that maximizes overall profits may result in the extinction of the small stock. In other words, open access equilibrium yield, MSY, or MEY may lead to the extinction of the smaller stock (Anderson 1975; Ryu, Gates and Nam 2005, p88).

3. Data Needs

In general, one of the commonest obstacles to carrying out stock assessments is the absence of adequate data. This often occurs because the main user of the data- the stock assessment scientist -does not have

direct control over the collection of much of the data, especially the statistics of the commercial fishery. It is therefore important that those who do have control of the collection of data have a good understanding of why it is needed, and what is needed (type of data, details required, desirable precision, etc.) (Gulland 1985).

In this section 4, for TAC assessment of the multi-species and multi-gears, major data necessary to the biological interaction analysis are the predator-prey and the competitive coefficients. These coefficients can be estimated by parameter estimation methods or biological science approaches such as the analysis of stomach contents. These estimated coefficients can affect the logistic (or exponential) growth function of each species and reflect changes in stock biomass of each species. As a result, MSY or ABC of each species will be different with that not considering these coefficients. Hence, for more accurate TAC assessment of the multi-species and multi-gears, data base construction about the predator-prey information is basically required.

In addition, an important datum necessary to the technical interaction analysis is the bycatch catchability coefficient (q_i). The bycatch catchability coefficient can be estimated by effort and bycatch data. However, it is not easy to collect the bycatch data in real fisheries circumstances due to fishers' discards and illegal catch report. Also, for the analysis, these bycatch data over at least 10 years need. Hence, for successful TAC assessment of the multi-species and multi-gears, the data base construction about bycatch information is necessarily required.

<Table IV-2> Data necessary for N_xN models

Interactions	Data	Related Equations	Estimates	Comments
Standardization of Efforts	annual, seasonal or monthly data of C_i and E_i and different gears, depth zones, and fishing areas, total ships, total-hauls, total house-power, total days at sea, hauls per days, etc.	Eqs. <II-1, 2, 3>	<i>Estimated standardized E_i</i>	over 10 observations
Biological Interactions	Predator-Prey : annual, seasonal or monthly data of C_i and E_i	Eqs. <IV-20, 21>	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_1$	-
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_1, E_i$	Eqs. <IV-10, 11>	X_i^E	-
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_1, E_i$	Eqs. <IV-12, 13>	C_i^{MSY}	-
	Competition: annual, seasonal or monthly data of C_i and E_i	Eqs. <IV-39, 40>	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i$	-
	$\beta, \alpha, r_i, q_i, k_i$	Eqs. <IV-29, 30>	X_i^E	-
Technical Interactions	Bycatch: annual, seasonal or monthly data of C_i and E_i and $C_{i \text{ bycatch}}$	Table <IV-1>	$r_i, q_i, k_i, r_{i \text{ bycatch}}$	not easy to get $C_{i \text{ bycatch}}, r_{i \text{ bycatch}}$
	$r_i, q_i, k_i, E_i, r_{i \text{ bycatch}}$	Eq. <II-17>	$X_i^E, C_i^{MSY}, E_i^{MSY}$	-
Economic Interactions	market-sale price, unit-cost, production value, the rate of production value, consumer and producer index, fishing cost per ship	Tables <III-3, 4> Eqs. <II-18~25> Eqs. <IV-22, 43>	C_i^{MEY}, NP_i	-

Chapter V

Conclusions and Suggestions

1. Summary and Conclusions

1) Summary

This study provided models of three types for multi-species and multi-gears: i) multi-species and single gear (Nx1), ii) single species and multi-gears (1xN), and iii) multi-species and multi-gears (NxN). In first year, 2005, the Nx1 model based on an extended Beverton-Holt's yield per recruit model and biomass-based cohort analysis was carried out. In second year, 2006, the Nx1 and NxN models based on the surplus production (Fox and Schaefer) models were carried out.

(1) TAC Assessment Model for Multi-Species and a Single gear

To consider technical interactions such as bycatch that is possible to occur when the large purse seine catches mackerel and jack mackerel, the TAC assessment model of the Nx1 case added two indexes [a relative bycatch index (w_i) and a relative instantaneous fishing mortality index (a_i)] to the general Beverton-Holt yield-per-recruit model. The two indexes were used to detect

changes of yield per recruit of each species caused by bycatch. From the extended Beverton-Holt yield per recruit and the biomass-based cohort analysis, we estimated MSY and ABC levels of the Nx1 model and then compared the TAC level of the common 1x1 model to that of the Nx1 model.

As a result of the 2x1 model, lower levels of ABC of mackerel and jack mackerel estimated by the Nx1 model were 116,884 tons and 5,552 tons respectively. The ABC of mackerel estimated by the Nx1 model was less than that (128,192 tons) of mackerel estimated by the 1x1 model. We suggested that, to prevent depletion of jack mackerel with small stock, a non-target species that is possible to occur when the large purse seine catches mackerel, the level of TAC of mackerel, a target species, should be reduced. The result obtained for this case study accorded with a prior expectation in the sense that target TACs would be lower when bycatch is taken into account (Ryu, Gates and Nam 2005).

(2) TAC Assessment Model for a Single Species and Multi-gears

For overcoming the limits of common TAC assessment based on a single species and a single gear (1×1), we provided TAC assessment model for a single species, multi-gears (1×N). As a case study on the single species and multi-gears, we analyzed a hairtail species caught mainly by the Korean pair trawl and large otter trawl gears. For analyzing the 1×N model, we applied the general linear model for standardization of fishing efforts and the Fox surplus production model based on the Gompertz (exponential) growth function. From the analysis

of the $1 \times N$ model, we estimated MSY , ABC , E_{MSY} , E_{ABC} , MEY , E_{MEY} , and NP_{ABC} . Finally, we compared the 1×2 model to the common TAC assessment model based on the 1×1 case and suggested the necessity of TAC assessment for the $1 \times N$.

As a result of the 1×2 analysis, MSY and E_{MSY} of hairtail caught by the large pair trawl and the large otter trawl are 31,383 metric ton and 138,504 hauls respectively. From the average rate of fishing effort (pair trawl = 0.76 and large otter trawl = 0.24) of each gear, MSY and E_{MEY} of hairtail by the large pair trawl are 23,778 metric ton and 105,263 hauls respectively and MSY and E_{MEY} of hairtail by the large otter trawl are 7,605 metric ton and 33,241 hauls respectively.

ABC of hairtail caught by the two gears is 15,283 metric ton. The difference between MSY and ABC is about 16,200 metric ton. This huge difference is due to a fast decrease in recent CPUE. Based on rates of fishing efforts respectively, ABC of hairtail caught by the pair trawl is 11,615 metric ton and ABC of hairtail caught by the otter trawl is 3,668 metric ton.

MEY of hairtail caught by the two gears is about 25,184 metric ton and standardized fishing efforts at level of MEY is about 68 thousand hauls. In addition, net profit (NP) at the level of MEY is approximately 16 billion (16×10^9) won. Also, MEY of hairtail caught by the two gears is about 80% of the estimated MSY and E_{MEY} of hairtail caught by the gears is about 47% of E_{MSY} . This means that, when E_{MSY} reduces 53% to reach to E_{MEY} , the MSY just reduces 20% to achieve MEY . Thus this

implies that current fishing efforts of the two gears for hairtail are in overcapacity. However, since recent hairtail stock has been overfished and overcaught by these gears as, it is very difficult for fishing efforts at the level of MEY to achieve the maximum net profit due to the stock depletion at current time.

NP of the pair trawl is about 17 billion won and NP of the large otter trawl is about 4 billion won at the current proportional levels of fishing efforts between the two gears. Also, total NP of the two gears is about 21 billion won. This result implies that the pair trawl has input much more fishing efforts than those of the large otter trawl. As a result, the pair trawl has earned much more net profit than the large otter trawl. This result is due to lower unit cost and higher market-sale price of the pair trawl than those of the large otter trawl for hairtail.

Also this paper, thought the comparison between a 1×1 model and a 1×2 model, indicates that the common TAC assessment based on the 1×1 model can generate biological and economical bias in general cases except a rare case such that a certain species is only or mainly caught by a single gear. The results analyzed from a Korean case study also show that MSY (36,972 MT), ABC (17,548 MT), and MEY (31,542 MT) estimated by the 1×1 model are somewhat greater than MSY (31,383 MT), ABC (15,283 MT), and MEY (25,184 MT) estimated by the 1×2 model. More specifically, the 1×1 model overestimated MSY by about 18 percent and the MEY by about 15 percent. These results show that the 1×1 model can generate a decline in the stock of a certain

species due to the bias of the analyzed result.

(3) TAC Assessment Models for Multi-species and Multi-gears

To build up theoretical approaches necessary to TAC assessment for the $N \times N$ case with biological (e.g., predator-prey, competition) and technical (e.g., bycatch) interactions, we reviewed case studies about $N \times N$ or $N \times 1$ related to the surplus production model. In particular, from papers carried out by Flaaten (1988), Flaaten and Stollery (1994), Yodzis (1994), and the Multi-species Assessment Working Group (1991) as case studies, the theoretical approach of the predator-prey case, one of biological interactions was set up. Major points of this approach were first to how to add predator-prey coefficients (β and α : e.g., the predator-prey interaction between the north-east Atlantic minke whale and cod and herring fish in the Barents Sea) into the normal Schaefer surplus production model and secondly to how to estimate these coefficients in order to estimate MSY and ABC. Also, based on papers of Clark (1985, 1990) as case studies, the theoretical approach of the competitive species case, one of biological interactions was set up. Key points of this approach were first to how to add competitive coefficients (β and α : e.g., the competitive interaction between the anchovy stock and the sardine stock) into the normal Schaefer surplus production model and secondly to how to estimate these coefficients in order to calculate MSY and ABC. In addition, based on papers of Anderson (1975), Clark (1985,

1990) and Dann and Pascoe (1994) as case studies, the theoretical approach of the bycatch, one of technical interactions was built up. Main points of this approach were first to how to add a bycatch-catchability coefficient (q_i : e.g., the technical interaction between sciaenids and shrimp caught by the gillnet fishery and the technical interaction between shrimp and juveniles of finfish caught by the trawl fishery) into normal logistic surplus production model and secondly to how to estimate this coefficient in order to estimate MSY and ABC vertically summed for the two species. Finally, using economic parameters such as the price and the unit cost, the Schaefer bioeconomic model transformed by predator-prey, competition, and bycatch was used to estimate maximum economic yield (MEY) and net profit (NP) of each fishing gear.

2) Conclusions: Implications and Limitations

(1) TAC Assessment Model for Multi-Species and Single gear

The Nx1 model can not only use, as endogenous variables, problems such as bycatch, discarding, and high grading which can occur by adopting TAC to multi-species, but also may better estimate (not estimated completely) the TAC level of each species. That means, by internalizing negative external costs (e.g., bycatch rate) within our model, marginal social cost shifts down due to the decrease in negative marginal external costs (Ryu, Gates and Nam, 2005).

Also, the Nx1 model is useful as auxiliary and assisting system of the 1x1

model. Thus, the $N \times 1$ model can complement ABC estimation of the 1×1 model by computing ABC of the $N \times 1$ model. For instance, average fishing mortality among multi-species considering bycatch caused by fishing gears can adjust fishing mortality to the 1×1 case to prevent species with small stock from being overfished or depleted when there are extremely different fishing mortalities among multi-species (Ryu, Gates and Nam 2005).

In addition, the $N \times 1$ model has several limitations as follows. First, the $N \times 1$ model has a limit of estimating ABC by individual species by using the extended Beverton-Holt yield per recruit model. Secondly, the $N \times 1$ model does not provide appropriate fishing mortality rate (F_{ABC}) for each species. Thus this model just offers fishing mortality combined by multi-gears, considering bycatch inflicted by fishing gears. Thirdly, as models are a simplification of reality, they cannot contain all possible interactions that occur in the real world (Ryu, Gates and Nam 2005).

(2) TAC Assessment Model for a Single Species and Multi-gears

For problems of TAC allocation which can occur from competitive fishing activities for a certain species between multi-gears, the 1×2 model shows that TAC of each gear at ABC level is economically inefficient. Moreover the 1×2 model suggests the direction of change (more pair trawls; fewer otter trawls) in sector allocations if economic efficiency were allowed to evolve. In detail, under TAC system, major roles of the government are first to maintain the sustainable maximum yield of

fisheries resources and are secondly to facilitate transfers of allocated quota via rights based fishing to maximize the wealth of fisheries. Thus the government should simultaneously consider both biological management system and economic management system.

As limitations of analysis on single species and multi-gears, first, there is a lack of biological and technical information necessary to the analysis. Due to minimal data, in this analysis, the surplus production model was simply used. Secondly, the 1×2 model mentioned as a case study can facilitate understanding of the analysis process, but the model has a limit in not considering other gears commonly used for catching hairtail. Thus as a further study, the $1 \times N$ model considering all gears need to be analyzed. In particular, when the $1 \times N$ model is applied, one of important methods is to standardize fishing efforts for different fishing gears.

(3) TAC Assessment Models for Multi-species and Multi-gears

Most analyses of $N \times N$ cases with the biological interactions have ignored the predator-prey and competitive interactions due to limitations of the statistic estimation on these interactions. However, if these interactions relatively have a high proportion, such analysis may bring out large bias in a set of TACs, such that the TAC of a certain species can be overestimated or underestimated. The main reason for this large bias is due to directly use the normal logistic (or exponential) growth function without considering biological interactions between species. Thus, to

remove misspecification problems of this normal logistic (or exponential) growth model, the predator-prey and the competitive coefficients can be added into the normal growth model. These added coefficients reflect changes in stock biomass caused by predator-prey or competitive interactions. These coefficients can be estimated by parameter estimation methods or biological science approaches such as the analysis of stomach contents. From the parameters estimated by the parameter estimation methods, we can estimate MSY and ABC of each species, considering biological interactions, and also can estimate MEY and NP by vertically summing revenue curves between two species of each fishing gear based on economic parameters. Hence, the coefficient data availability is a primary issue for the biological interaction analyses. As limitations of the biological interaction analyses, first, it is not easy to estimate the predator-prey and the competitive coefficient when these interactions are complex due to several food chains among species. Secondly, from the complicated maximum sustainable yields of each species, it is fairly obvious that determining the level of fishing effort that produces the MEY in such a fishing gear is not easy.

Most analyses of the $N \times N$ cases with the technical interaction have generally ignored the effects of joint catch, particularly when the bycatch component of a species total catch is small relative to the targeted catch the species. However when the bycatch component of a species total catch is large relative to the targeted catch the species, such analysis may result in a set of TACs that are inaccurate, such that the TAC of one

species can only be filled by exceeding the TAC of another species which is caught as bycatch. Therefore, to prevent the exceeding the TAC of another species, an important technical problem is to how to reflect the bycatch effect to TAC assessment of the targeted species. One of biological solutions for technical interactions with multi-species and multi-gears is to add bycatch effects of the species caught by other fishing gears in order to estimate more appropriate TAC assessment for the one. In this case, a main technical issues are first to how to apply the total catch (catch+bycatch) and standardized fishing effort information between a certain fishing gear and the other fishing gears for the species and secondly how to collect bycatch data. In addition, if we are available to use bycatch data, we can estimate the bycatch catchability coefficient from bycatch and effort data. Then, we can estimate MEY and NP by vertically summing revenue curves of targeted species and bycatch species caught by each fishing gear based on economic parameters. Therefore, one of important data is bycatch data caught by other fishing gears for a certain species and this data availability is a fundamental problem for the technical interaction analysis. As limitations of the technical interaction analysis, first, it is not easy to collect bycatch data under real fisheries circumstances. Secondly, MEY produced by the monetized sustainable revenue curve and the linear cost curve of each fishing gear may occur the biological damage of the small fish stock.

Consequently, theoretical approaches about biological and technical interactions undertaken in this paper were largely a function of the data

availability and the level of understanding of these interactions within a fishery. Therefore, data availability is a fundamental problem for the biological and technical interactions analyses.

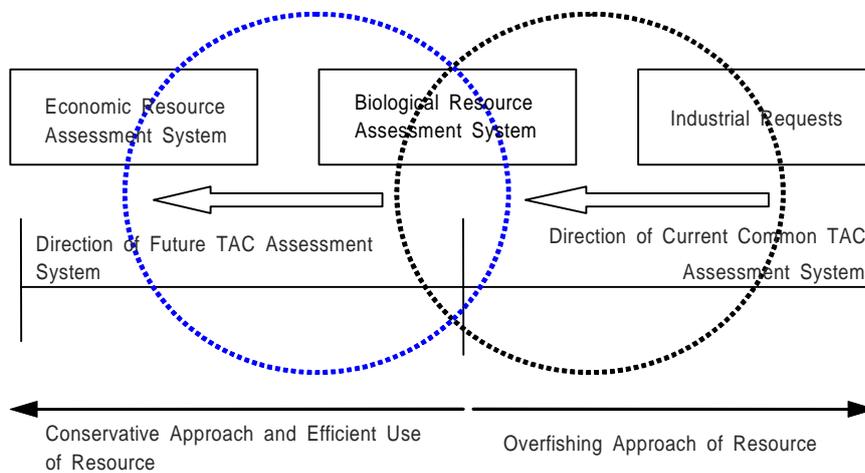
2. Suggestions

As political suggestions with TAC assessment of the multi-species and multi-gears, this TAC assessment can:

- provide useful information as an auxiliary assessment method to current Korean TAC assessment model.
- reduce loss of social welfare caused by inefficient fishing activities (e.g., overfishing, overcapacity).
- prevent competitive fishing activities from overfishing.
- control the catch and the level of fishing effort by species between multi-gears.
- provide the optimal allocation direction of TAC by species between multi-gears through the economic analysis.
- provide the maximization of the net present value of profits from the optimal control theory.
- reduce biological damage of resource stock.
- provide exit criteria of a certain fishery which causes economic loss.

<Figure V-1> briefly shows a direction of TAC assessment models for the $N \times N$ cases. When the circle goes toward the industrial requests, this direction can cause resource depletion. Conversely, when the circle goes toward the economic resource assessment system, this direction can achieve resource's conservative and efficient use in the long run, however in the short run, the implied stock rebuilding can cause large losses for fisheries industries and fishermen's income. Hence, economic resource assessment system needs responsible analyses for the damage.

<Figure V-1> Future Direction of TAC Assessment Process



REFERENCE

- Anderson, L. G., “Analysis of Open-access Commercial Exploitation and Maximum Economic Yield in Biologically and Technologically Interdependent Fisheries”, *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 32, No. 10, 1975.
- Berachi, I. G., “Bioeconomic Analysis of Artisanal Marine Fisheries of Tanzania(Mainland)”, MSc. Thesis, 2003.
(<http://www.nfh.uit.no/dok/IFM/thesis/isaac2003.pdf>)
- Chae, D. R. and S. Pascoe, “Use of Simple Bioeconomic Models to Estimate Optimal Effort Levels in the Korean Coastal Flounder Fisheries”, *Aquat. Living Resour*, 18, 2005.
- Clark, C. W., *Bioeconomic Modelling and Fisheries Management*, John Wiley & Sons, New York, 1985.
- _____, *Mathematical Bioeconomics: the Optimal Management of Renewable Resources(2nd edition)*, John Wiley and Sons, USA, 1990.
- Csirke, J. and J. F., “Caddy, Approximation to Sustainable Yield for Exploited and Unexploited Stocks”, *Oceanogr. Trop*, 18(1), 1983.
- Eyolf, J. L., et al., “Management, Co-Management or No Management? Major Dilemmas in Southern African Freshwater Fisheries”, *FAO Fisheries Technical Paper 426/1*, 2003.
- Fisheries Cooperative Associations, *Annual Fisheries Business Statistic Report*, 1995~2004.
- Flaaten, O., *The Economics of Multispecies Harvesting: Theory and Application to the Barents Sea Fisheries*, Springer-Verlag, Germany, 1988.

- Flaaten, O. and K. Stollery, "The Economic Effects of Biological Predation: Theory and Application to the Case of the North East Atlantic Minke Whales(*Balaenoptera acutorostrata*) Consumption of Fish", *CEMARE Research Paper*, No. 67, Department of Economics, University of Portsmouth, UK, 1994.
- Fox, W. W. Jr., "An Exponential Surplus Yield Model for Optimizing Exploited Fish Populations", *Transactions of the American Fisheries Society*, Vol. 99, No. 1, 1970.
- _____, *An Overview of Production Modeling*, WPTD/74/013, 1974.
- _____, *Fitting the Generalized Stock Production Model by Least Squares and Equilibrium Approximation*, *Fish. Bull. (U.S.)* 73: 23-36, 1975.
- Francis, M.T., "Bio-economics of Common Resource Over Exploitation: Case of Lake Malombe Chambo(*Oreochromis* Sp. Cichlidae) Fishery in Malawi", *MSc. Thesis*.
(<http://www.ub.uib.no/elpub/NORAD/2002/uit/thesis01.pdf>)
- Gause, G. F., *La Theorie Mathematique de la Lutte pour la Vie*, Hermann, Paris, 1935.
- Gavaris S., "Use of a Multiplicative Model to Estimate Catch Rate and Effort from Commercial Data", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37: 2272-2275, 1980.
- Graham, M., "Modern Theory of Exploiting a Fishery, and Application to North Sea Trawling", *Journal du Conseil Internationale et Exploration du Mer*, Vol. 10, No. 3, 1935.
- Goldberger, A., "Best Linear Unbiased Prediction in the Generalized Linear Regression Model", *Journal of the American Statistical Association* 57, 1962.

- Gulland, J. A., Fishing and the Stocks of Iceland, Ministry for Agriculture, *Fisheries and Food Fisheries Investigation Series II*, Vol. 23, No. 4, 1961.
- Gulland, J. A., *Stock Assessment: Why?*, Food And Agriculture Organization of the United Nations Rome, 1983.
- Lee. J. U., “Estimation on Optimum Fishing Effort of Walleye Pollock Fishery in the East Coast of Korea: Based on the Economic Analysis between Danish Seine Fishery and Trawl Fishery for Walleye Pollock. J”, *Korean Man. Soc*, 22, 1991.
- MOMAF, Analysis on Investment Effects of the Korean Inshore and Offshore Vessel BuyBack Program, 2003.
- _____, *A Study on the Structural Adjustment of Offshore Bottom Trawl Fisheries 1st, 2nd and 3rd Year Report*, 2003, 2005, and 2006.
- _____, Fisheries Statistic Data(<http://www.momaf.go.kr/info/statistics>), 2006.
- NMFS, Secretarial Amendment to the Reef Fish Fishery Management Plan for Red Grouper, with associated Impacts on Gag and Other Groupers and Draft supplemental Environmental Impact Statement, National Oceanographic and Atmospheric Administration, U. S. Department of Commerce, Sliver Spring, Maryland, 2002.
- NFRDI, *Stock Assessment and Fishery Evaluation Report of Year 2005 TAC-based Fisheries Management in the Adjacent Korean Water*, National Fisheries Research and Development, 2004.
- Pascoe, S., *Bioeconomic Models and Modeling: Theory and Practice*, Centre for the Economics and Management of Aquatic Resources (CEMARE), Department of Economics, University of Portsmouth, 1995.
- Quinn, T.J., II and R.B. Deriso, *Quantitative Fish Dynamics*, Univ. of

- Oxford. USA, 1999.
- Ryu, J. G. et al., *A Study on Comprehensive Mid and Long Term Plan for Fisheries Resource Management*, MOMAF.
- Ryu, J. G., J. M. Gates, and J. Nam, *A Study on Assessment of TAC for Multi-species and Multi-gears*, Korea Maritime Institute(KMI), 2005.
- Ryu, J. G., J. Nam and J. M. Gates, "Limitations of the Korean Conventional Fisheries Management Regime and Expanding Korean TAC System toward Output Control System", *Marine Policy*, 30, 2006.
- Schaefer M. B., "Some Aspects of the Dynamics of Populations Important to the Management of the Commercial Marine Fisheries", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 1, 1954.
- _____, "A Study of the Dynamics of the Fishery for Yellowfin Tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean", *Bulletin of the Inter-American Tropical Tuna Commission*, 2, 1957.
- Schnute, J., "Improved Estimates from the Schaefer Production Model: Theoretical Considerations", *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, Vol. 34, No. 5, 1977.
- Seo, Y. I. and C. I. Zhang, "A Study on the Multi-gear and Multi-species Fisheries Assessment Models in Korea Waters", *J. Korean Fish. Soc.*, 34(4), 2001.
- Sparre, P. and S. C. Venema, "Introduction to Tropical Fish Stock Assessment", *FAO Fisheries Technical Paper*, 306/1 Rev. 2, 1998.
- Yodzis, P., "Predator-Prey Theory and Management of Multispecies Fisheries", *Ecological Applications*, 4(1), 1994.
- Zhang, C. I., "Biology and Population Dynamics of Alaska Plaice, *Pleuronectes Quadrituberculatus*, in the Eastern Bering Sea", Ph. D. dissertation, Univ. Washington, Seattle, WA, 1987.

APPENDIX

1. TAC Assessment Model for Hairtail Caught by Large Pair Trawl

(1) Effort Averaging Method: Estimation of qk , and q/r

The coefficients of ($U_{\infty} = q \times k$), and ($-q / r$) estimated by the effort averaging method are 1040.94 and -0.00001316 respectively. For estimating these parameters with data of <Table A-1>, we used Eviews 3.1.

<Table A-1> Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F-stat.	DF1	DF2	Signif. F	Constant	Coefficient
Linear	0.734189	38.669	1	14	0.000024	6.948838	-0.00001316

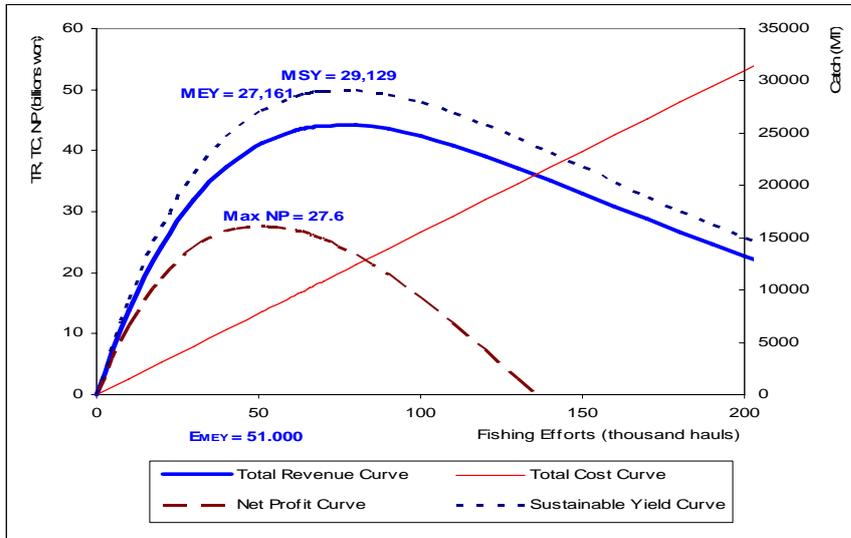
Note: $\ln U_{\infty} = 6.948838$ and $\text{Exp} [\ln (U_{\infty})] = U_{\infty} = 1040.94$.

(2) ABC, MSY, MEY, and NP of Hairtail Caught by Large Pair Trawl

〈Table A-2〉 Estimates of ABC, MSY, MEY, NP

Criteria	Methods	Parameters	Estimates
MSY	Effort Averaging Method	q/r	0.00001316
		$\exp(\ln(qk)) = qk = U_{\infty}$ (kg/haul)	1041
		$E_{MSY}=r/q$ (hauls)	75,994
		$MSY=[U_{\infty} \times r] / [\exp(1) \times q]$ (MT)	29,129
		recent CPUE (kg/haul)	140
ABC	Korean Tier ABC Determination System	CPUE _{MSY} (kg/haul)	383
		recent CPUE / CPUE _{MSY} (%)	0.37
		a (%)	0.05
		ABC (MT)	9,705
MEY and NP	Fox Bioeconomic Model	Market-Sale Price (P: won/kg)	1,519
		Unit Cost (a: won/haul)	1,765,369
		Rate of Production Value (m: %)	0.151
		MEY (MT)	27,161
		E _{MEY} (hauls)	51,000
		Max NP (billions won)	13.8

(Figure A-1) MSY, MEY, and NP of Hairtail Caught by Large Pair Trawl



2. TAC Assessment Model for Hairtail Caught by Large Otter Trawl

(1) Effort Averaging Method: Estimation of qk , and q/r

The coefficients of ($U_{\infty} = q \times k$), and ($-q / r$) estimated by the effort averaging method are 412.81 and -0.00001936 respectively. For estimating these parameters with data of <Table A-3>, we used Eviews 3.1.

(Table A-3) Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates	
	R Square	F-stat.	DF1	DF2	Signif. F	Constant	Coefficient
Linear	0.104451	1.63288	1	14	0.22208	6.022996	-0.00001936

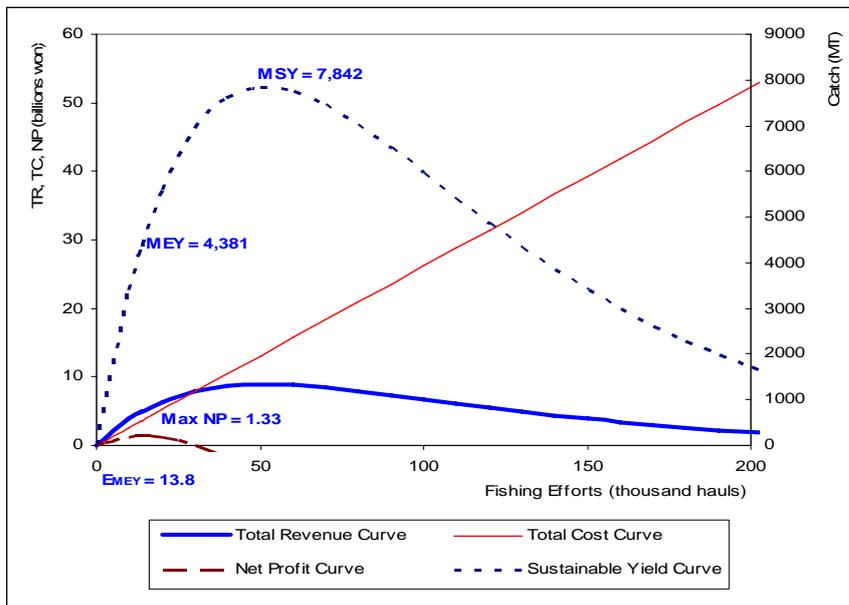
Note: $\ln U_{\infty} = 6.022996$ and $\text{Exp} [\ln (U_{\infty})] = U_{\infty} = 412.81$

(2) ABC, MSY, MEY, and NP of Hairtail Caught by Large Otter Trawl

〈Table A-4〉 Estimates of ABC, MSY, MEY, and NP

	Methods	Parameters	Estimates
MSY	Effort Averaging Method	q/r	0.00001936
		$\exp(\ln(qk)) = qk = U_{\infty}$ (kg/haul)	412
		$E_{MSY}=r/q$ (hauls)	51,644
		$MSY=[U_{\infty} \times r] / [\exp(1) \times q]$ (MT)	7,842
		recent CPUE (kg/haul)	165
ABC	Korean Tier ABC Determination System	$CPUE_{MSY}$ (kg/haul)	151
		recent CPUE / $CPUE_{MSY}$ (%)	1.09
		a (%)	0.05
		ABC (MT)	7,842
MEY and NP	Fox Bioeconomic Model	Market-Sale Price (P: won/kg)	1,135
		Unit Cost (a: won/haul)	2,196,907
		Rate of Production Value (m: %)	0.119
		MEY (MT)	4,381
		E_{MEY} (hauls)	13,800
		Max NP (billions won)	1.33

<Figure A-2>MSY, MEY, and NP of Hairtail Caught by Large Otter Trawl



다수어종 · 다수어업의 TAC 평가에 관한 연구 II

2006年 12月 26日 印刷

2006年 12月 28日 發行

編輯兼
發行人

李 正 煥

發行處

韓國 海洋 水產 開發 院
서울특별시 서초구 방배3동 1027-4
수암빌딩

전 화

2105-2700 FAX : 2105-2800

등 록

1984년 8월 6일 제16-80호

組版·印刷 / 해항사 393-0836

정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물관매센터

Tel : 394-0337, 734-6818