



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

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

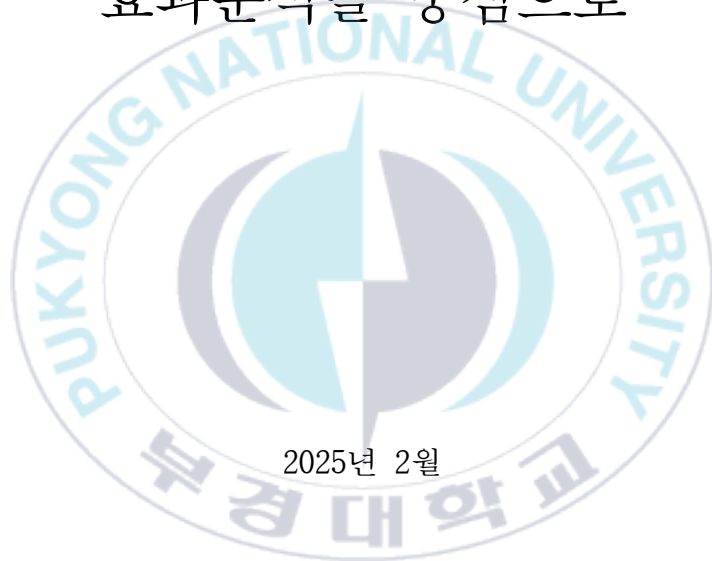
저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

[Disclaimer](#)

경 영 학 석 사 학 위 논 문

참조기 어업의 생물경제학적 분석: LBB
모델을 이용한 포획금지체장
효과분석을 중심으로



2025년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

곽 동 진

경 영 학 석 사 학 위 논 문

참조기 어업의 생물경제학적 분석: LBB
모델을 이용한 포획금지체장
효과분석을 중심으로

지도교수 김 도 훈

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함.

2025년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

곽 동 진

곽동진의 경영학석사 학위논문을
인준함.

2025년 2월 21일



위원장 경제학박사 장호근 (인)
위원 경영학박사 조현주 (인)
위원 경영학박사 김도훈 (인)

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 방법 및 내용	4
II. 선행연구	6
1. 참조기 수산자원평가에 관한 선행연구	6
2. 생물경제학적 분석에 관한 선행연구	13
3. 선행연구와의 차별성	17
III. 참조기 어업 현황	19
1. 생산 현황	19
2. 경영 현황	23
IV. 분석 방법 및 자료	33
1. 분석 방법	33
2. 분석 자료	43
V. 분석 결과	55
1. 참조기 수산자원평가	55
2. 참조기 생물경제학적 분석	67
VI. 요약 및 결론	78
참고 문헌	85

<표 차례>

<표 II-1> 선행연구 요약 (참조기 수산자원평가)	11
<표 II-2> 선행연구 요약 (생물경제학적 분석)	16
<표 III-1> 업종별 참조기 어획량(2019-2023년)	20
<표 III-2> 업종별 참조기 생산금액(2019-2023년)	22
<표 III-3> 근해자망 수지 현황(2019-2023년)	23
<표 III-4> 근해안강망 수지 현황(2019-2023년)	24
<표 III-5> 쌍끌이대형저인망 수지 현황(2019-2023년)	25
<표 III-6> 외끌이대형저인망 수지 현황(2019-2023년)	26
<표 III-7> 참조기 TAC 참여 업종별 평균 수지 현황(2019-2023년)	28
<표 III-8> 근해자망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)	29
<표 III-9> 근해안강망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)	30
<표 III-10> 쌍끌이대형저인망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)	31
<표 III-11> 외끌이대형저인망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)	32
<표 III-12> 참조기 TAC 참여 업종별 평균 어획 비중 (2019-2023년)	32
<표 IV-1> B_{MSY} 대비 마지막 자원량 비율에 따른 자원상태	40
<표 IV-2> 참조기 자원평가 분석 자료(전체 어업)	44
<표 IV-3> 참조기 자원평가 분석 자료(근해자망)	45
<표 IV-4> 참조기 자원평가 분석 자료(근해안강망)	46
<표 IV-5> 참조기 자원평가 분석 자료(쌍끌이대형저인망)	47
<표 IV-6> 참조기 자원평가 분석 자료(외끌이대형저인망)	48
<표 IV-7> TAC 참여 업종별 참조기 판매 단위 가격(2019-2023년)	50
<표 IV-8> TAC 참여 업종별 경영체 수 및 경영체당 참조기 어업수익 50	
<표 IV-9> TAC 참여 업종별 경영체당 어업비용(2019-2023년)	51
<표 IV-10> TAC 참여 업종별 참조기 원가배부율 (2019-2023년)	52
<표 IV-11> TAC 참여 업종별 경영체당 참조기 어업비용(2019-2023년) 52	
<표 IV-12> 부산공동어시장 위판 실적 평균값	53
<표 V-1> LBB 모델을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과	56
<표 V-2> LBB 모델을 활용한 참조기 TAC 참여 업종별 분석 결과	60

<표 V-3> LBB 모델을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과	65
<표 V-4> 최근 5개년 체장 빈도 자료 및 어획량 감소율	68
<표 V-5> 금지체장에 따른 추정 어획량	69
<표 V-6> 금지체장에 따른 참조기 판매 단위 가격	70
<표 V-7> 금지체장 16cm 설정 시 참조기 TAC 참여 업종별 NPV	72
<표 V-8> 금지체장 17cm 설정 시 참조기 업종별 NPV	73
<표 V-9> 금지체장 20cm 설정 시 참조기 업종별 NPV	74
<표 V-10> 금지체장 L_{opt} (28cm) 설정 시 참조기 업종별 NPV	75
<표 V-11> 금지체장에 따른 참조기 어업 NPV	76



<그림 차례>

[그림 III-1] 연근해어업 참조기 어획량(1990-2023년)	19
[그림 III-2] 연근해어업 참조기 생산금액(1990-2023년)	21
[그림 V-1] 참조기 전체 어업 체장 빈도 분포표 (좌) 및 참조기 전체 어업 마지막 연도(2022년) 체장 빈도 분포표 (우)	63
[그림 V-2] 참조기 TAC 참여 업종별 체장 빈도 분포표 및 업종별 마지막 연도 체장 빈도 분포표	64
[그림 V-3] 금지체장에 따른 어획량	69
[그림 V-4] 금지체장 설정에 따른 참조기 전체 어업이익	71
[그림 V-5] 금지체장 설정에 따른 참조기 업종별 어업이익	71
[그림 V-6] 금지체장에 따른 참조기 NPV	76

**A Bioeconomic Analysis of Yellow Croaker Fisheries: Focusing on the
Analysis of Size Limit Regulation using LBB model**

Dong-Jin Kwak

Department of Marine & Fisheries Business and Economics,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The aim of this study is to evaluate the stock status of the Yellow Croaker (*Larimichthys polyactis*) and to analyze changes in fishing profits based on catch size limit regulation. The Yellow Croaker is one of commercially significant species in Korea, with market prices closely tied to catch size. For the stock assessment, a length-based bayesian model (LBB) is employed. The LBB model indicates that the asymptotic length L_{∞} and the optimum fishing length L_{opt} of the Small Yellow Croaker are 41.12 cm and 28 cm, respectively. Moreover, the estimated ratio of the current exploited biomass relative to the unexploited biomass (B/B_0) is 0.49. In particular, the estimated biomass as of 2022, is 68% of the biomass that can produce maximum sustainable yield. Based on these findings, a management analysis is conducted to evaluate the potential impacts of increasing catch size limit regulations.

The bioeconomic analysis projects the net present value (NPV) of a total allowable catch (TAC)-based Yellow Croaker fishery next 30 years. The analysis revealed that, although short-term revenues initially decline due to reduced catches associated with the implementation of prohibitive size limits, long-term revenues exhibit a substantial increase. These results can be attributed to enhanced catches driven by reproductive the Yellow Croaker resource recovery and large market price variation by reference size. Additionally, the NPV of the Yellow Croaker fishery improves as the catch

size limit regulation becomes more restrictive.

These findings suggest that increasing the catch size limit regulation is essential for the effective management of the Yellow Croaker fishery. Targeting larger fish sizes not only supports the recovery of fishery resources but also enhances economic efficiency.



I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

참조기(*Larimichthys polyactis*)는 농어목(*Perciformes*) 민어과(*Sciaenidae*)에 속하는 어종으로, 우리나라 서·남해, 발해만, 그리고 동중국해 등 수심 40-160m인 바닥이 모래 및 펄인 곳에 서식한다. 또한 겨울철 제주도 남서쪽 및 중국 동남쪽 해역에서 월동 후 난류를 타고 북상, 5월경 연평도 근해에서 산란 후 황해 중심 해역에서 섭식 활동을 하다 가을철에 남하하는 대표적인 회유성 어종이다(국립수산과학원, 2024a).

참조기 생산량은 1990년대를 기점으로 증감을 반복하는 추세를 보이다가 2003년 7,000톤까지 감소하였다. 특히, 2011년 약 60,000톤을 기록하였으나 2020년 이후 큰 폭으로 감소하여 2023년 약 15,000톤으로 최근 15년간 가장 낮았다(통계청, 2024a).

한편, 어획되는 참조기의 평균 체장 감소 현상이 뚜렷하게 나타나 어획물의 질적 저하가 지속되는 양상을 보이고 있다. 상대적으로 낮은 영양단계에 속하는 참조기 어획으로 인한 참조기의 평균 체장 감소 현상은 중국에서도 유사하게 나타났다(연인자 외, 2010; Li et al., 2011; Lin et al., 2011). 이에 따른 결과로, 참조기 조기 성숙 현상이 보고되고 있으며, 현재까지 보고된 참조기 성숙 체장에 관한 연구에서도 Park et al. (1981), 조영복 외 (2013), 그리고 강희중 외 (2020)는 각각 19.1cm, 18.6cm, 그리고 15.7cm로 성숙 체장이 감소한다고 추정하는 등 이와 같은 사실을 잘 반영하고 있다.

더불어 참조기 미성어 개체의 생사료 이용 및 새우젓에 혼입하여 판매하는 어업인의 무분별한 남획도 생산량 저하 현상에 중요한 원인으로 나타났다. 예를 들면, 2016년 기준 참조기 미성어 비율은 근해유자망 54.4%에서 근해안강망의 경우는 약 93.8% 정도까지 차지하였으나, 대부분의 개체

는 넙치 양식의 생사료로 이용되었다. 심지어 일부 참조기 미성어가 새우젓에 혼입되어 새우젓갈류로 분류되어 판매되었다(이정삼 외, 2018). 즉, 우리나라 참조기 수산자원의 재생산이 원활하게 이루어지지 못하는 실정이다.

참조기는 2007년 수산자원회복계획 대상종으로 선정되었다. 미성어 관리에 따른 금지체장 및 금어기 설정, 어획량 관리에 따른 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC) 설정 및 양륙항 위판 시스템 개선, 어장환경 관리에 따른 생분해성 어구 보급 및 사용 확대, 그리고 폐어구 수거사업 등 다양한 수단으로 자원 회복에 노력하였다(한국수산자원공단, 2024). 그리고 2022년 7월에는 TAC 제도의 시범 대상 중에서 관리 대상 종으로 포함되었다(국립수산과학원, 2024b). 또한, 참조기는 「수산자원 유형별 맞춤형 관리 방안」에 의거, 지속가능형, 기후변화형, 남획형, 고갈형의 네 종류 중 ‘고갈형’으로 분류되었다(해양수산부, 2017). 고갈형은 자원량이 낮고, 어획량도 감소하는 분류로 미성어 어획 금지 및 중국어선 불법조업 통제 강화 등의 강력한 규제가 따른다.

참조기 자원회복 수단으로 사용할 금지체장은 기술적 관리수단으로 치어 및 미성어를 보호함으로써 향후 자원량을 증대시켜서 어획량 증대를 도모할 수 있다(김도훈 외, 2018). 금지체장은 가장 경제적이고 실시가 용이한 방법으로 금지체장의 적절한 수준은 추가적으로 강화된 어획노력량 및 어획량 관리 수단 없이 MSY 수준의 80%까지 다다를 수 있는 높은 생산량 및 자원량을 유지할 가능성이 있다고 보고되고 있다(Froese, 2004; Prince and Hordyk, 2019).

2016년 참조기의 최소 체장은 자원고갈 우려 및 지속가능한 어업을 위하여 금지체장 등의 기준을 설정, 규제에 따른 어업경영에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 15cm로 설정되었다. 금지체장 관련 정책 추진 시 조업 현실 및 어업인들의 수용 여부가 우선적으로 고려되고 있으며(최완현, 2020), 지속적인 참조기 수산자원 이용 및 원활한 참조기의 재생산력을 위하여 현 금지체장(15cm) 수준을 재조정해야 한다고 보고되고 있다(이정삼

외, 2018; 김한주 외, 2024).

따라서, 향후 금지체장 상향이 이루어질 때 이에 따른 참조기 어업에 종사하는 어업인들의 어업이익 등 경제적 효과 변화를 함께 살펴보아야 할 것으로 판단된다. 특히 이러한 과정 속에서 과학적 근거를 기반으로 한 참조기 수산자원평가 연구가 추가적으로 선행될 필요가 있다.

지금까지 참조기 자원의 변동 상황을 파악하는 데 필요한 연구들이 진행되고 있으며, 연령 및 성장 추정(이만우 외, 2000; 김영혜 외, 2006; 김한주 외, 2024), 자원생태학적 매개변수 추정(장창익 외, 1992; 이종희 외, 2013), 성숙체장 추정(Park et al., 1981; 조영복 외, 2013; 강희중 외, 2020; 김무진 외, 2024), 나아가 참조기 수산자원평가 및 생물경제학적 연구(심성현 외, 2015; 장창익 외, 2016; 최민제 외, 2020) 등이 있었다. 그러나 선행 연구들은 금지체장의 효과를 고려하지 않고 참조기의 자원생태학적 특성 및 자원관리 방안만을 수행한 한계점이 있다.

이에 본 연구에서는 최근 국제적으로 널리 활용되고 있는 LBB(Length-based Bayesian) 모델을 활용하여 참조기 수산자원에 대한 자원평가를 우선적으로 실시하고, 이를 기반으로 금지체장에 따른 참조기 TAC 참여 업종별로 경영체 수준에서의 경제적 효과 분석을 수행하고자 한다. 구체적으로, 금지체장은 현 수준(15cm), 16cm, 17cm, 20cm, 그리고 LBB 모델을 활용하여 분석된 적정가입체장(L_{opt}) 수준 설정에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 어업인들의 어업이익 변화를 평가해 보았다.

2. 연구의 방법 및 내용

본 연구에서 분석하고자 하는 내용은 다음과 같이 2가지로 나뉜다.

첫째, LBB 모델을 활용하여 참조기 수산자원의 자원생태학적 매개변수 추정 및 자원량 상태를 진단하였다. LBB 모델은 분석 자료의 불확실성이 많은 상황 속에서 체장 빈도 자료를 활용하여 보다 실효성 있는 어업관리 기준점을 제시할 수 있다(Froese et al., 2018). 여기서, 체장 빈도 자료는 해당 수산자원의 개체별로 체장을 측정하여 그 분포를 분석한 자료를 의미한다.

체장 빈도 자료는 수산자원의 자원생태학적 특성 및 영양 단계와 밀접한 관련이 있는 지표이다. 그리고 수산물 유통시장과 수산업협동조합 공판장 등 지정된 곳에서 수산자원조사원이 직접 조사하고 있으며, 상대적으로 수집하기 용이한 장점을 지닌다(Hilborns and Walters, 1992; Hixon et al., 2014; 법제처, 2024a).

또한 체장 빈도 자료는 예로부터 자원량 및 어획 수준을 추정하는데 활용되어 왔으며, 자료 수준의 불확실성이 많은 상황 속에서도 수산자원의 자원량 추정에 유용하다고 다수 연구된 바 있다(Pauly and Morgan, 1987; Gulland and Rosenberg, 1992; Free et al., 2017; Rudd and Thorson, 2017; Froese et al., 2018). 본 연구에 활용된 분석 자료는 국립수산과학원으로부터 제공받은 참조기 자원의 체장 빈도 자료이며, 분석 자료의 범위는 2001-2022년 총 22개년도이다(국립수산과학원, 2024c).

둘째, LBB 모델을 통해 분석된 참조기 수산자원평가 결과 및 어업경영 현황 자료, 그리고 실제 위판장 판매 단위 가격 자료를 바탕으로 생물경제학적 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 금지체장에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익의 변화를 살펴보았다.

먼저, 참조기 수산자원평가 결과를 기반으로 MSY 수준에 다다를 수 있는 어획량(H_{MSY}) 수준을 도출한 후 금지체장별 어획량을 추정하였다. 이 과정 속에서 어획 감소, 어획 감소 기간, 재생산 기간 등이 고려되었다. 이

후 추정된 어획량 및 실제 위관장 판매 단위 가격 자료를 활용하여 금지체장에 따른 향후 30년간의 참조기 TAC 참여 업종별 어업이익 변화 및 NPV(Net Present Value)를 제시하였다.

본 연구의 내용은 제1장 서론, 제2장 선행연구, 제3장 참조기 어업 현황, 제4장 분석 방법 및 자료, 제5장 분석 결과, 제6장 요약 및 결론으로 구성된다. 제1장에서는 연구의 배경 및 목적 그리고 연구의 방법 및 내용에 대해 기술하였다. 제2장에서는 본 연구의 분석 내용과 관련된 선행연구를 검토하였다. 제3장에서는 참조기 어업 현황에 대해 분석하였다. 제4장에서는 LBB 모델 및 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화에 필요한 분석 방법 및 자료를 제시하였다. 제5장에서는 우선적으로 LBB 모델을 활용한 참조기 수산자원평가 결과를 제시하였고, 분석 결과를 토대로 금지체장에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화를 제시하였다. 마지막으로, 제6장에서 본 연구의 분석 결과를 요약하고, 기대효과 및 한계점에 대해서 논의하였다.

II. 선행연구

1. 참조기 수산자원평가에 관한 선행연구

장창익 외 (1992)는 참조기 수산자원의 효율적 관리를 위한 기초 자료 제공의 일환으로 자원평가를 실시하였다. Schaefer 및 Fox 모델을 활용하여 최대지속적생산량(MSY) 및 MSY 수준일 때의 어획노력량(f_{MSY})을 추정하였으며, 19개년도(1970-1988년) 자원량 및 순간어획사망계수를 고려한 Zhang 모델을 활용하여 MSY 및 MSY 수준일 때의 순간어획사망계수(F_{MSY}) 추정, 그리고 순간어획사망계수(F)에 따른 향후 참조기 자원량 변동을 예측하였다.

상기 분석을 바탕으로 Beverton and Holt 모델을 통해 순간어획사망계수(F)에 따른 가입당생산량 및 어획개시연령(t_c) 관계를 분석하였다. 분석에 있어서, 쌍끌이대형기선저인망 어업에 의해 어획된 19개년도(1970-1988년) 참조기 어획량 및 어획노력량 자료를 활용하였다.

분석 결과, MSY 수준은 Schaefer 모델 37,000톤, Fox 모델 33,450톤으로 추정되었으며, f_{MSY} 수준은 각각 316,400 인망수, 325,700 인망수로 나타났다. Zhang 모델을 통해 도출된 MSY 수준은 42,328톤, 그리고 F_{MSY} 수준은 0.493로 나타났다. 다음으로 Beverton and Holt 모델 분석 결과, 현재 가입당생산량은 20g으로 추정되었다. 따라서, 순간어획사망계수(F)가 현 수준(1.11) 대비 최대 가입당생산량(40g)을 도출하기 위해서는 어획개시연령(t_c)를 최소 0.604세, 최대 3세까지 증가시켜야 한다고 분석되었다. 마지막으로 Zhang 모델을 통한 자원량 변동 분석 결과, 순간어획사망계수(F)를 0.5까지 낮춰야 8년 이내 현 수준 대비 약 2배 가량 자원량이 증가할 것으로 예측하였다.

심성현 외 (2015)는 국내 참조기를 대상으로 단일어종·다수어업 사례를 중점적으로 자원평가를 수행하였다. CY&P(Clarke·Yoshimoto·Pooley) 모형

의 잉여생산량 모델을 통해 참조기의 MSY , 생물학적 허용어획량(ABC), 그리고 최대경제적생산량(MEY) 수준을 추정하였다. 구체적인 분석을 살펴보면, MSY 및 ABC 수준 추정은 22개년도(1992-2013년) 참조기 연간 어획량 자료 및 어획노력량(마력) 자료를 활용하였으며, MEY 수준 추정은 22개년도(1992-2013년) 참조기 연간 어획량 자료, 근해자망 및 근해안강망 5개년도(2009-2013년) 판매 단위가격을 고려한 어업 수입, 어업 비용, 그리고 이에 따른 어업 이윤 자료 등을 활용하였다.

어업 수입은 5개년도(2009-2013년) 참조기 판매 단위 가격, 잉여생산량 모델로부터 도출된 ABC 수준의 어획량, 그리고 각 업종별 어획노력량 비율 등이 고려되었다. 어업 비용은 5개년도(2009-2013년) 평균 마력당 비용, 생산금액 비율, 그리고 어획노력량 비율을 활용하였다.

참조기와 같이 단일어종에 대한 다수어업 사례의 경우, GLM 모형을 활용하여 근해안강망 및 근해자망 어획노력량 자료 표준화 과정을 선행하였다. 분석 결과 도출 이후, 참조기 수산자원에 대한 단일어종·단일어업 및 단일어종·다수어업의 ABC 수준을 최종 비교·분석하였다. 분석 결과, 참조기의 어획능력계수(q), 본원적 성장률(r) 그리고 환경수용능력(k)은 각각 0.00000129, 0.337, 239,323,336톤으로 나타났으며, MSY 수준은 29,667톤, E_{MSY} 수준은 261,064마력으로 나타났다.

근해안강망의 MSY 수준은 5,637톤, E_{MSY} 수준은 49,602마력으로 나타났으며, 근해자망의 경우 각각 24,030톤, 211,462마력으로 분석되었다. 참조기 ABC 수준은 18,449톤, E_{ABC} 수준은 82,028마력으로 나타났으며, 근해안강망의 ABC 수준은 3,515톤, E_{ABC} 수준은 15,585마력, 근해자망의 ABC 수준은 14,984톤, E_{ABC} 수준은 66,443마력으로 추정되었다. 마지막으로, MEY 수준은 25,706톤, E_{MEY} 수준은 145,134마력으로 추정되었다.

각 업종별 MEY 및 E_{MEY} 수준을 살펴보면, 근해안강망 4,884톤, 27,575마력, 근해자망 20,882톤, 117,559마력으로 추정되었다. 참조기 단일어종·단일어업 ABC 수준은 27,512톤으로 추정된 반면, 단일어종·다수어업 ABC 수준은 18,499톤으로 다소 낮게 추정되었다.

상기 분석을 기반으로 참조기 수산자원과 같이, 다수어업에 의해 어획되는 수산자원관리는 단일어종·다수어업의 *ABC* 수준이 보다 적합한 것으로 나타났다. 이와 더불어, 현재 경쟁적 어업으로 인해 남획되고 있는 참조기의 생태적 특성 파악 및 효율적인 수산자원관리방안 모색이 필요할 것으로 나타났다.

최민제 외 (2020)는 국내 참조기 적정 TAC 수준 설정의 일환으로 다양한 모델을 활용하여 참조기 수산자원평가를 수행하였다. 수산자원평가 모델에 있어서, 과정오차 모델(CY&P 모델), 관측오차 모델, 그리고 BSS(Bayesian state-space) 모델을 활용하여 비교·분석 한 후, 가장 적합한 수산자원평가 모델을 선정하였다. 분석에 있어서 27개년도(1992-2018년) 참조기 어획량 자료 및 표준화된 참조기 대상 3개 업종(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망)의 어획노력량(척수) 자료를 활용하였다.

참조기 수산자원평가 분석 결과 제시에 앞서, 모델 간 비교·분석 과정을 선행하였으며, 구체적으로 오차 제공 평균 제곱근(RMSE), 결정계수(R^2), 그리고 켄달의 순위상관계수(τ)를 비교·분석하였다. 이에 따른 결과로 가장 낮은 RMSE(3.693), 가장 높은 적합도($R^2=0.963$), 그리고 실제 CPUE 및 모델 추정 CPUE 간 가장 높은 상관관계($\tau=0.949$)를 감안하여 가장 적합한 수산자원평가 모델은 BSS 모델로 분석되었다. BSS 모델을 활용하여 분석된 참조기의 r , q , 그리고 K 값은 각 0.447, $2.03E-04$, 그리고 214,100톤으로 도출되었으며, 이에 따른 *MSY* 수준은 23,920톤으로 분석되었다.

Zhu et al. (2021)는 최근 증가된 어획 노력량으로 인하여 감소된 중국 참조기를 대상으로 자원평가를 실시하였다. 어획 사망률(F)이 참조기 수산자원에 미치는 생산량 및 산란자원량 추정을 위하여 가입당생산량 모델(YPR, yield-per-recruit) 및 가입당산란자원량 모델(SSBPR, spawning stock biomass-per-recruit) 모델을 활용하였다. 여기서 황해 중부 참조기를 위도에 따라 5개의 집단으로 구분한 후 분석 자료로 활용하였다(258,955개체, 258,591개체, 258,120개체, 258,637개체, 258,793개체).

가입당생산량(YPR) 모델 분석 결과, 모든 참조기 집단에서 최대 연령 (t_{\max} : 3년)일 때, 현 어획 사망률(F_{cur})이 MSY 수준의 어획 사망률(F_{MSY})보다 높은 것으로 나타났으며, 참조기가 최적최대연령(t_{optmax})에 도달하기 위해서는 현 어획 사망률(F_{cur})이 다소 높은 것으로 분석되었다. 이와 더불어, 어획개시체장(L_c)이 12cm일 때, 최대 가입당생산량은 25.54-34.20g으로 나타났다. 가입당산란자원량(SSBPR) 모델 분석 결과, 최대 연령(t_{\max} : 3년)일 때, 최적어획개시체장 (L_{c-opt})은 각각 15.05cm, 14.80cm, 15.15cm, 15.20cm, 15.55cm로 나타났으며, 최적최대연령(t_{optmax}) 도달 시, L_{c-opt} 은 23.30cm, 22.67cm, 22.19cm, 22.76cm, 22.35cm로 추정되었다. 이에 따라, 최대 연령(t_{\max} : 3년)에 도달함과 동시에 최적어획개시체장 구간의 참조기를 어획하면 생산량이 증가할 것으로 분석되었다(14%, 6%, 11%, 17%, 16%).

상기 분석을 기반으로, 중국 참조기 5개 집단 모두 남획 가능성이 존재하지만, 최대 연령(t_{\max} : 3년)의 참조기를 어획하면 가입 남획이 발생하지 않을 것으로 예측하였다. 따라서, 최적어획개시체장(L_{c-opt}) 구간 참조기 어획 및 중국 참조기 어업의 현 금어기간 정책을 고수한다면, MSY 수준의 자원량으로 회복할 수 있을 것으로 나타났다. 이와 더불어, 참조기 최대 연령 도달을 위하여 어획 강도를 반드시 줄여야 할 것으로 분석되었다.

Wang et al. (2022)는 중국 참조기를 비롯한 주요 상업 어종(10종)에 대하여 수산자원평가를 실시하였다. 구체적인 분석에 있어서, 어획량 자료만으로 자료 수준이 낮은 상황 속에서도 수산자원의 자원량을 추정할 수 있는 CMSY 모델을 활용하여 중국 어업통계연감 64개년도(1956-2019년) 참조기 어획량 자료를 분석하였다.

분석 결과, 참조기의 r 및 K 값은 0.64 및 2,109,000톤으로 추정되었으며, MSY 수준은 346,000톤, B_{MSY} 수준은 1,397,000톤으로 분석되었다. 이에 따라, B_{MSY} 수준 대비 마지막 연도 자원량(B_{2019}) 비율은 0.93로 'Slightly Overfished'로 평가되었다. 향후 중국 참조기 수산자원 회복을 위하여 어선 척수 및 어획 노력 제한(Dual Control) 및 어획량 제한(Zero-Growth) 정책

등이 지속적으로 이루어져야 하며 미성어 보호를 위한 어구 선택성 고려 등이 필요하다고 시사하였다.

Han et al. (2023)는 수산자원조사선 CPUE 자료 및 상업 CPUE 자료에 따른 참조기의 자원량 현황을 비교하기 위하여 수산자원평가를 실시하였다. JABBA(Just Another Bayesian Biomass Assessment) 기법이 적용된 Schaefer, Fox, 그리고 Pella-Tomlinson 모델을 통해 분석되었으며, 36개년도(1985-2020년) 참조기 어획량 자료 및 어획노력량 자료가 분석 자료로 활용하였다. 구체적인 어획노력량 자료는 중국 황해 수산 연구소 저층 트롤 조사선 마력수 자료(수산자원조사선 CPUE) 및 중국 어업통계연감 마력수 자료(상업 CPUE)를 활용하였다.

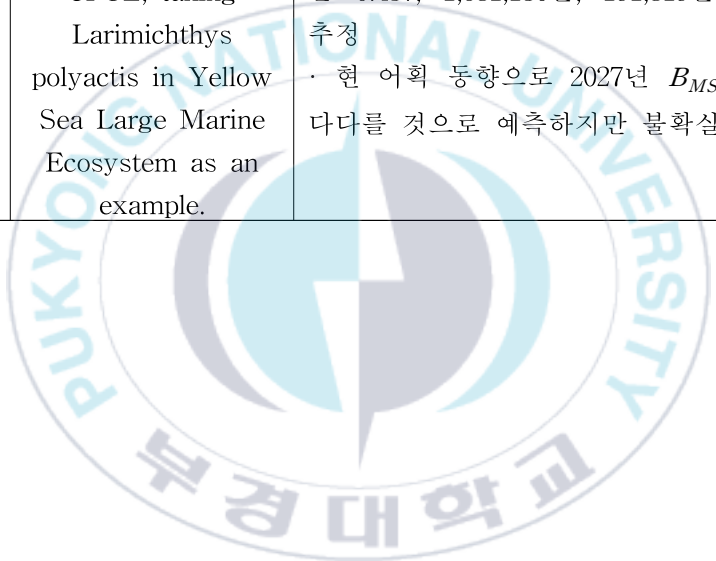
수산자원조사선 CPUE 자료에 따른 참조기 수산자원평가 분석 결과 제시에 앞서, DIC 검정을 통하여 DIC 값이 가장 작은 Schaefer 모델을 선정하였다. 이에 따른 결과로 참조기의 r , K 값 그리고 F_{MSY} 각각 0.457, 1,681,130톤, 그리고 0.228으로 추정되었다. MSY 수준은 191,819톤, B_{MSY} 수준은 840,565톤으로 나타났으며, 2010년 이후 참조기의 자원량 수준은 지속적으로 B_{MSY} 보다 낮은 것으로 평가되었다. 이에 따라, 참조기의 B_{2020}/B_{MSY} 은 0.65(Overfished)로 나타났으며, Kobe plot을 통한 현재 참조기 자원량의 남획 확률은 54.5%로 분석되었다.

상업 CPUE 자료에 따른 참조기 수산자원평가 분석 결과, 참조기의 r , K 값, 그리고 F_{MSY} 은 각각 0.287, 3,411,844톤, 0.144로 추정되었다. 이에 따른 참조기 MSY 수준은 247,565톤, B_{MSY} 수준은 1,705,922톤으로 추정되었으며, B_{MSY} 대비 마지막 연도 자원량(B_{2020})은 132% 수준(Healthy)으로 평가되었다.

<표 II-1> 선행연구 요약 (참조기 수산자원평가)

구분	제목	요약
장창익 외 (1992)	한국 근해 참조기의 자원평가 및 관리방안	<ul style="list-style-type: none"> · 잉여생산량 모델을 활용한 참조기 자원평가 · MSY수준은 Schaefer, Fox 모델 각 37,000톤, 33,450톤 추정 · 최대 가입당생산량(40g) 도출을 위해선 t_c를 최대 3세까지 증가
심성현 외 (2015)	생물경제모형을 이용한 참조기의 자원평가에 관한 연구 -단일어종 다수어업 사례를 중심으로	<ul style="list-style-type: none"> · CY&P 모형을 활용한 참조기 자원평가 · MSY수준은 29,667톤, E_{MSY} 수준은 261,064마력 추정 · 단일어종·다수어업 ABC 수준 적합
최민제 외 (2020)	참조기 어업관리를 위한 생물경제학적 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 참조기 어업관리를 위한 모델 선정 및 자원평가 · BSS 모델 적합 · r, q, K값, 그리고 MSY 수준은 각 0.447, 2.03E-04, 214,100톤, 23,920톤 추정
Zhu et al. (2021)	Stock Assessment of Small Yellow Croaker (<i>Larimichthys polyactis</i>) Off the Coast of China Using Per-Recruit Analysis Based on Bayesian Inference.	<ul style="list-style-type: none"> · YPR 모델 및 SSBPR 모델을 활용한 참조기 자원평가 · 최대 연령 도달 시, 최적어획개시체장 참조기를 어획하면 더 높은 생산량 도달 가능 · 참조기 최대 연령 도달을 위한 감소된 어획 강도 필요

Wang et al. (2022)	Fishery Dynamics, Status, and Rebuilding Based on Catch-Only Data in Coastal Waters of China.	<ul style="list-style-type: none"> · CMSY 모델을 활용한 참조기 자원평가 · r값, K값은 각 0.64, 2,109,000톤 추정 · MSY 수준은 346,000톤, B_{MSY} 수준은 1,397,000톤으로 추정
Han et al. (2023)	Contrasting stock status trends obtained from survey and fishery CPUE, taking <i>Larimichthys polyactis</i> in Yellow Sea Large Marine Ecosystem as an example.	<ul style="list-style-type: none"> · CPUE 자료에 따른 참조기 자원평가 · r값, K값, MSY 수준, 그리고 B_{MSY} 수준은 0.457, 1,681,130톤, 191,819톤, 840,565톤 추정 · 현 어획 동향으로 2027년 B_{MSY} 수준까지 다다를 것으로 예측하지만 불확실성 존재



2. 생물경제학적 분석에 관한 선행연구

이도경 외 (2018)는 국내 고등어를 대상으로 포획·채취금지규정(금어기 및 금지체장) 효과 분석을 수행하였다. 연령구조모형을 활용하여 고등어 자원량 및 어획량 변동을 추정하였으며, 사회적 할인율 5.5%를 적용한 NPV법을 활용하여 향후 10년간 생산금액의 순현재가치를 도출하였다. 분석에 있어서, 고등어 연령별 생체량 및 평균중량, 성숙비, 평균체장, 포란수 그리고 생산금액 산정을 위한 최근 3개년(2013-2015년) 평균 생산단가를 이용한 생산가격 등이 활용되었다.

분석 결과, 금지체장과 관계없이 자원량 및 어획량은 금어기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였다. 구체적으로 현 수준 대비 금어기 1개월 및 금지체장 30cm 이하일 때 향후 10년 이후 어획량 및 자원량이 각각 104% 증가하였다. 금어기 2개월 및 금지체장 21cm일 경우 어획량 및 자원량은 현 수준 대비 60% 감소하였지만, 금어기 2개월 및 금지체장 30cm 이하일 경우 어획량 및 자원량이 현 수준 대비 140% 이상 회복되었다.

금어기 3개월 및 금지체장 21cm 일 경우 어획량 및 자원량은 현 수준 대비 감소하였지만 금어기 3개월 및 금지체장 30cm 이하일 경우 어획량 및 자원량이 회복되었다. 마지막으로 금어기 4개월일 경우 금지체장 변화와 관계없이 어획량 및 자원량이 모두 회복되는 것으로 나타났다.

또한, 금어기 및 금지체장이 길어질수록 생산금액의 증가 정도가 커지는 것으로 나타났다. 구체적으로 금어기 규정 시행 이전 NPV는 1,174,423백만원, 금어기 1개월 및 금지체장 21cm 이하일 때 NPV는 1,300,572백만원, 30cm 이하인 경우 1,466,470백만원, 36cm 이하인 경우 1,329,204백만원으로 나타나 금지체장 30cm이하인 경우 가장 큰 값을 보였다.

김시현 외 (2023)는 국내 갈치를 대상으로 CMSY 및 BSS 모형을 활용하여 자원평가를 실시하였으며, 그 결과를 기반으로 생물경제학적 분석을 수행하였다. 생물경제학적 분석에 있어서, 갈치 TAC 참여 업종별 향후 30년간의 자원량 및 어업이익 변화를 제시하였으며 TAC 미참여 업종 어획

영향까지 고려하였다.

분석 결과, 갈치 TAC 미참여 업종들의 어획량이 유지될 경우 현 TAC 설정 대비 10% 증가, 10% 감소 그리고 20% 감소할 때, 자원량은 모두 회복되는 것으로 나타났다. 한편, 현 TAC 설정 대비 20% 증가할 때, B_{MSY} 수준에 근접하지 못할 것으로 분석되었다. 이때에 갈치 TAC 참여 업종별 NPV는 TAC 30% 감소한 경우를 제외하곤 경제성이 있다고 나타났다.

이와 더불어, 갈치 TAC 미참여 업종들의 어획량 변화에 따른 갈치 TAC 참여 업종별 자원량을 살펴보면, 현 수준 대비 어획량이 30%까지 증가하여도 갈치 자원량은 회복 가능한 것으로 나타났다. 한편, 갈치 TAC 미참여 업종들의 어획량이 50%까지 증가 시 갈치의 자원량은 감소하였으며, 70% 및 90% 증가 시 갈치의 자원량은 향후 30년후 고갈될 것으로 나타났다.

Choi et al. (2021)는 도루묵을 대상으로 상태공간모형을 활용하여 자원평가를 실시하였으며, 그 결과를 기반으로 TAC 및 어획노력량 수준에 따른 생물경제학적 분석을 수행하였다. 분석에 있어서, 16개년도(2004-2019년) 도루묵 어획량 및 어획노력량(마력수) 자료를 활용하여 자원평가를 우선 실시하였다. 이후 현TAC(2,196톤) 기준 +50%, +30%, -30%, -50%, 그리고 현 마력수(17,796마력) 기준 +60%, +50%, 30%, -30%, -50%을 설정하여 향후 10년간 어업이익을 산정하였다.

분석 결과, 현 TAC 대비 50% 감소한 TAC일 때, 도루묵의 자원량은 24,446톤으로 가장 높게 추정되었다. 현 수준 대비 어획노력을 60% 증가하였을 때, 도루묵의 자원량은 12,590톤으로 감소한 것으로 나타났다. 한편, 어획노력을 30% 감소하였을 때 도루묵의 자원량은 20,815톤으로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서, 최적의 도루묵 수산자원관리를 위해서는 TAC 설정을 현 수준 대비 30% 이하로 설정해야 한다고 나타났다.

Sun et al. (2022)는 생물경제학적 분석을 활용하여 망목 크기에 따라 변화하는 중국 참조기 어업 종사자들의 경제적 효과를 분석하였다. 분석에 있어서, 어획 사망률 설정 및 망목 크기 확대에 따라 총 15개 시나리오를

통해 각 참조기 자원량 및 평균 체장의 변화를 제시하였다.

분석 결과, 참조기 자원량은 망목 크기가 클수록, 어획 사망률이 낮을수록 증가하는 경향을 보였다. 구체적으로 어획사망률 0.2이고 망목 크기 50mm일 때 참조기의 자원량이 가장 큰 것으로 나타난 반면, 어획사망률 0.6이고 망목 크기 20mm일 때 참조기의 자원량이 가장 낮은 것으로 나타났다.

경제적 효과 분석에 있어서, 초기 3년까지의 어업이익은 어획사망률 0.2와 망목 크기 50mm인 시나리오에서 가장 높은 것으로 나타났다. 한편, 향후 20개년까지의 누적된 어업이익은 어획사망률 0.6과 망목 크기 45mm인 시나리오에서 가장 높은 것으로 나타났다.

이에 따라, 망목 크기 확대는 단기간 어업이익 손실을 초래할 수 있으나 장기적으로는 어업이익 증진 및 참조기 수산자원관리의 효과적인 방안으로 나타났다. 이와 더불어, 단기적 손실을 최소화하면서 장기적 어업이익을 극대화할 수 있는 합리적인 망목 크기를 산정해야 한다고 나타났다.

<표 II-2> 선행연구 요약 (생물경제학적 분석)

구분	제목	요약
이도경 외 (2018)	포획·채취금지 어업관리수단의 생물경제적 효과 분석: 고등어를 대상으로	<ul style="list-style-type: none"> · 금어기·금지체장에 대한 고등어 생물학적 및 경제적 효과 분석 · 분석 결과, 금지체장과 관계없이 자원량 및 어획량은 금어기간이 길어질수록 증가하는 경향을 보였으며, 금어기·금지체장이 길어질수록 생산금액의 증가 정도가 커짐
김시현 외 (2023)	갈치 총허용어획량(TAC) 어업관리를 위한 생물경제학적 분석	<ul style="list-style-type: none"> · 갈치에 대한 수산자원평가 및 생물경제학적 분석 · 분석 결과, 현 TAC 설정 대비 20% 증가할 때, B_{MSY} 수준에 근접하지 못할 것으로 분석
Choi et. al. (2021)	A Bioeconomic Analysis of the Sandfish (<i>Arctoscopus japonicus</i>) Management Policies of the Eastern Sea Danish Fishery in Korea	<ul style="list-style-type: none"> · 도루묵 최적자원관리를 위한 생물경제학적 분석 · 분석 결과, 현 TAC 설정 대비 30% 이하로 설정해야 도루묵 수산자원관리가 이루어질 것
Sun et. al. (2022)	The Effects of Selective Harvest on Exploited Population and Economic Benefits	<ul style="list-style-type: none"> · 어획사망률 및 망목 크기에 따른 중국 참조기 생물경제학적 분석 · 망목 크기를 확대할수록 자원량 및 어업이익 증가

3. 선행연구와의 차별성

앞서 제시한 바와 같이, 국내외적으로 선행된 참조기 수산자원평가 연구들은 대부분 어획량 자료를 기반으로 한 수산자원 평가모델을 활용하였다. 어획량 자료는 각 국가 기관마다 수집하고 있으며, 사용이 용이한 장점을 지니지만 해당 수산자원의 정보를 충분히 반영하지 못하는 단점을 가진다.

예를 들어, 기후 변화, 어획노력의 기술적인 문제, 타국가의 불법 어획, 새로 개발된 어업의 참여, 그리고 TAC와 같은 어획량 규제 정책들로 인해 어획량 자료의 불확실성이 커질 우려가 있다(Free et al., 2020). 또한, 1997년 임의상장제로 전환되면서 사매매 증가로 인한 비계통 어획량 통계 결과의 정확성에 문제가 제기되고 있다(이창현, 2014). 특히 참조기의 사매매 거래량은 계통 판매 어획량을 크게 상회하는 것으로 추정되고 있어 통계 자료의 신뢰성 저하 문제가 국가적 차원으로 확대될 우려가 있다(이정삼 외, 2018).

나아가 참조기 수산자원의 현재 자원량 수준을 진단하는데 있어서 정확한 결과 도출에 한계가 있고, 불확실성이 커질 수 있다. 구체적으로, 참조기 수산자원평가에 있어 Kwon et al. (2020)는 최대 엔트로피(ME) 모델을 활용하여 B_{MSY} 대비 마지막 연도 자원량 비율 (B/B_{MSY})을 0.31(Grossly Overfished)로 평가한 반면, Choi et al. (2020)는 Fox 함수를 활용하여 B/B_{MSY} 을 1.2(Healthy)로 평가하였다.

이와 더불어, 이전 연구에서 도출된 자원생태학적 매개변수를 근거로 참조기 수산자원평가 및 관리 연구가 진행되고 있었다(이종희 외, 2013; 장창익 외, 2014; 장창익 외, 2016). 한편, 이러한 연구들은 현재 참조기 수산자원 관리에 불확실성을 초래할 우려가 있다.

예를 들어, 해당 어종의 수산자원평가 연구 및 관리 시 이전 연구 또는 전문가로부터 도출된 매개변수를 근거로 한 분석은 결과 도출 시 주관적인 결과 또는 순환논증의 오류를 범할 수 있다고 지적되고 있다(Mangel et al., 2013; Froese et al., 2018). 따라서, 현재 참조기 수산자원의 보다 정확

한 자원 진단 및 관리에 상당한 한계가 있을 것으로 추측된다.

이에 따라 본 연구에서는 선행연구의 한계점을 인식하여 체장 빈도 자료를 활용한 LBB 모델을 통해 현재 참조기 수산자원의 자원생태학적 매개변수 추정 및 자원량 상태를 진단하였다. 이를 토대로 금지체장 상향에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화 및 NPV를 제시하는 생물경제학적 분석을 통해 참조기 어업의 자원 변화 및 사회경제적 효과를 추정하고자 한다.

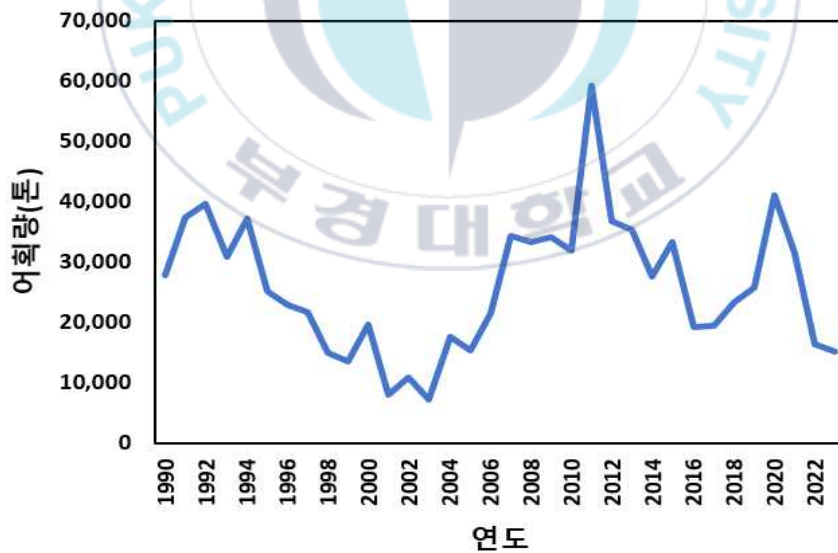


Ⅲ 참조기 어업 현황

1. 생산 현황

가. 참조기 어획량

다음 [그림 III - 1]에 나타난 바와 같이, 참조기 전체 어획량 추세는 증감을 반복하고 있는 형태로 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 1990년 27,890톤을 시작으로 소폭 증가하였으나, 1994년 37,212톤을 기록한 후 지속적으로 감소하였다. 2003년 약 7,000톤 수준까지 감소하였지만 다시금 회복세를 보여 2011년 59,226톤을 기록하였다. 이후 증감을 반복하다 2020년 (41,039톤)을 기점으로 꾸준히 감소하였다. 2023년 기준 15,117톤으로, 금지체장이 신설된 2016년(19,271톤)보다 더 감소한 것으로 나타났다(통계청, 2024).



자료: 통계청 (2024a)

[그림 III-1] 연근해어업 참조기 어획량(1990-2023년)

보다 상세한 생산 현황을 파악하기 위하여 연근해어업 업종별 참조기 어획량을 살펴보았다. 다음 <표 III - 1>에서 나타난 바와 같이, 참조기는 근해자망어업에서 어획하는 비중이 전체 참조기 어획량의 절반 이상을 차지하는 것으로 조사되었다.

<표 III-1> 업종별 참조기 어획량(2019-2023년)

(단위: 톤, %)

연도	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중
근해자망	18,642	24,135	21,624	11,261	8,594	16,851	64.9
근해안강망	3,053	6,562	3,604	2,507	3,548	3,855	14.8
연안자망	1,747	4,502	3,147	528	416	2,068	8.0
외끌이대형저인망	946	2,613	1,338	1,183	1,216	1,459	5.6
연안개량안강망	326	1,225	621	284	391	569	2.2
쌍끌이대형저인망	293	733	207	82	309	325	1.3
*기타	734	1,269	1,021	555	643	844	3.2
합계	25,741	41,039	31,562	16,400	15,117	25,972	100

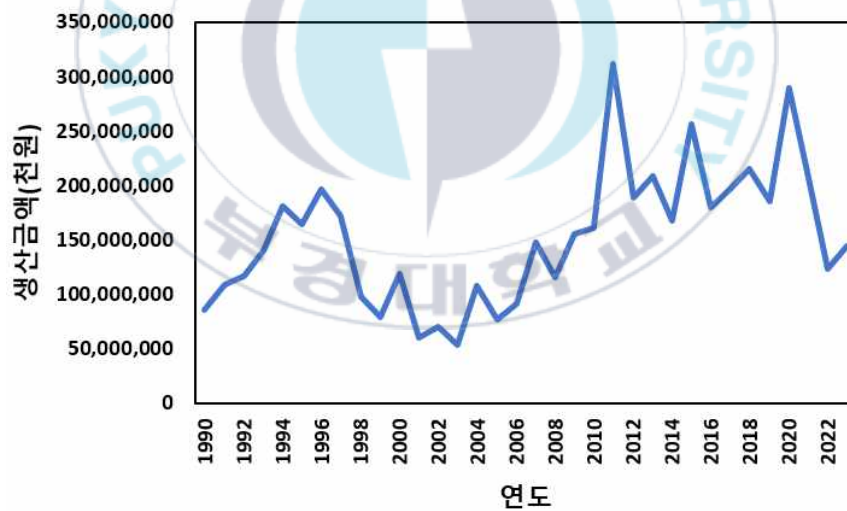
* 서남해구외끌이중형저인망, 서남해구쌍끌이중형저인망, 대형트롤 등
자료: 통계청 (2024a)

구체적으로 살펴보면, 전체 참조기 어획량 중 근해자망을 통해 어획되는 참조기 어획량은 최근 5개년도(2019-2023년) 평균 16,851톤으로 약 65% 차지하고 있는 것으로 조사되었다. 다음으로 근해안강망을 통해 어획되는 참조기 어획량은 평균 3,855톤으로 약 15% 정도 차지하였다. 마지막으로 연안자망 및 외끌이대형저인망 등의 어업을 통해 어획된 참조기 평균 어획량은 약 10% 미만 정도로 조사되었다. 쌍끌이대형저인망의 경우 최근 5개년

도(2019-2023년) 평균 어획량 325톤(1.3%)을 기록하였으며, 참조기 TAC 참여 업종 중 가장 낮은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

나. 참조기 생산금액

참조기 생산금액은 다음 [그림 III-2]에 나타난 바와 같다. 구체적으로 살펴보면, 1990년 85,651,247천 원을 시작으로 상승세를 보이다가 1996년 (196,111,521천 원) 이후 감소세를 보였다. 2003년 53,021,583천 원으로 최저 생산금액을 기록한 이후 다시금 회복세를 보여 꾸준히 증가하는 양상으로 나타났다. 2010년부터 2021년까지 등락을 거듭하다가 2023년 기준 소폭 증가한 144,714,518천 원으로 나타났다(통계청, 2024).



자료: 통계청 (2024a)

[그림 III-2] 연근해어업 참조기 생산금액(1990-2023년)

다음으로, 업종별 참조기 생산금액을 살펴보았다. 다음 <표 III-2>에 나타난 바와 같이, 근해자망 어업 생산금액의 경우 전체 참조기 업종별 생산금액의 77.2%를 차지하여 상대적으로 높은 비중을 보이는 것으로 나타났다. 연안자망(8.7%) 그리고 근해안강망(7.4%)이 뒤를 잇고 있으며, 외끌이대형저인망 어업 생산금액의 경우 5개년(2019-2023년) 평균 6,369,496천 원으로 전체 참조기 업종별 생산금액의 5% 미만을 차지하는 것으로 조사되었다. 앞서 <표 III-1>에 나타난 바와 같이, 쌍끌이대형저인망 어업은 생산금액 역시 1% 미만 비중을 차지하고 있었으며, 그 생산금액은 5개년(2019-2023년) 평균 1,291,344천 원을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

<표 III-2> 업종별 참조기 생산금액(2019-2023년)

(단위: 천원, %)

연도	2019	2020	2021	2022	2023	평균	비중
근해자망	152,455,572	204,433,139	157,526,427	102,769,939	117,060,598	146,849,135	77.2
연안자망	12,374,460	34,682,981	26,054,332	4,566,050	5,245,905	16,584,746	8.7
근해안강망	12,534,381	23,295,695	13,435,932	8,789,919	11,992,837	14,009,753	7.4
외끌이대형 저인망	3,417,672	14,788,647	4,468,138	4,048,861	5,124,160	6,369,496	3.3
연안개량 안강망	1,305,341	2,996,374	1,638,600	819,596	1,038,205	1,559,623	0.8
쌍끌이대형 저인망	953,097	3,014,346	766,249	351,236	1,371,794	1,291,344	0.7
*기타	3,018,681	6,668,173	3,551,373	1,881,773	2,881,019	3,600,204	1.9
합계	186,059,204	289,879,355	207,441,051	123,227,374	144,714,518	190,264,300	100

* : 서남해구외끌이중형저인망, 서남해구쌍끌이중형저인망, 대형트롤 등

자료: 통계청 (2024a)

2. 경영 현황

가. 업종별 경영 현황

참조기 TAC 참여 업종별 경영 현황을 파악하기 위해, 주요 어업의 경영실태 및 현황을 파악할 수 있는 통계청 수산업협동조합중앙회의 어업경영조사결과를 참고하였다. 전반적인 근해자망의 수지 현황을 살펴보면, 다음 <표 III-3>에서 보는 바와 같이, 2023년 기준 모든 항목에서 전년 대비 증가한 것으로 나타났다.

<표 III-3> 근해자망 수지 현황(2019-2023년)

(단위: 천 원)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외비용	총비용	경영체 순이익
2019	1,231,611	1,231,611	776,014	455,596	3,802	779,816	451,795
2020	1,548,526	1,548,526	905,720	642,806	2,498	908,218	640,308
2021	1,332,668	1,332,668	894,799	437,869	3,356	898,155	434,513
2022	1,146,019	1,146,019	927,454	218,565	5,146	932,600	213,419
2023	1,369,038	1,369,038	994,603	374,436	8,648	1,003,251	365,787
평균	1,325,572	1,325,572	899,718	425,854	4,690	904,408	421,164

자료: 통계청 (2024b)

구체적으로 살펴보면, 어업수익 및 총 수익은 동일하게 나타났다. 어업수익 및 총수익의 경우 2019년 이후 12.3억 원을 시작으로 증가하여 2020년 15.4억 원을 기록한 반면, 지속적으로 감소하는 추세를 보였으나, 2023년 13.6억 원으로 전년 대비 19.5% 증가한 것으로 나타났다.

어업비용은 2019년 약 7.8억 원을 기록한 이후 등락을 거듭하였으며, 2023년 9.9억 원으로 나타났다. 어업이익은 2020년 6.4억 원을 기록한 이후, 꾸준히 감소하였으며, 2023년 전년 대비 소폭 증가한 3.7억 원으로 조사되었다. 마지막으로 경영체 순이익은 2020년 6.4억 원으로 조사되었지만, 점차 감소하여 2022년 2.1억 원으로 나타났다. 한편, 다시금 회복세를 보여 2023년 약 3.7억 원으로 조사되었다.

근해안강망 수지 현황의 경우, 다음 <표 III-4>에서 보는 바와 같다. 전반적으로 2023년 기준 어업 외 비용 항목을 제외한 모든 항목에서 전년 대비 증가한 것으로 나타났다.

<표 III-4> 근해안강망 수지 현황(2019-2023년)

(단위: 천 원)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외비용	총비용	경영체 순이익
2019	1,062,237	1,065,696	777,896	284,341	3,886	781,783	283,914
2020	1,242,595	1,242,595	875,058	367,537	7,295	882,353	360,241
2021	1,121,792	1,121,792	872,193	249,599	6,017	878,210	243,582
2022	999,277	1,010,703	948,995	50,282	10,906	959,901	50,803
2023	1,295,949	1,295,949	1,038,329	257,620	10,520	1,048,849	247,100
평균	1,144,370	1,147,347	902,494	241,876	7,725	910,219	237,128

자료: 통계청 (2024b)

구체적으로 살펴보면, 어업수익 및 총 수익은 2019년 및 2022년을 제외한 3개년도에서 동일하게 나타났다. 먼저, 어업수익의 경우 2019년 10.6억 원을 시작으로 2020년(12.4억 원) 증가하였으나, 이후 지속적으로 감소하였다. 다시금 회복세를 보여 2023년 기준 12.9억 원을 기록하였다. 총 수익의 경우 어업수익의 변동 추세와 유사하였으며, 2023년 12.9억 원으로 나타났다.

다. 어업비용은 다른 항목과는 다르게 전반적으로 증가하고 있는 추세를 보였다. 2023년 기준 약 10.4억 원으로, 2019년(7.7억 원) 대비 33% 증가한 것으로 조사되었다. 어업이익의 경우 어업수익 및 총 수익의 변동 추세와 유사하였다. 2022년 0.5억 원을 기록한 후 다소 급격히 감소하였으나, 회복세를 보여 2023년 약 2.6억 원으로 조사되었다. 경영체 순이익의 경우 2019년 2.8억 원을 시작으로 등락을 거듭하였으며, 2023년 기준 약 2.5억 원으로 전년대비 약 5배 증가한 것으로 나타났다.

다음 <표 III-5>은 쌍끌이대형저인망의 수지 현황을 제시하였다. 전반적인 쌍끌이대형저인망의 수지 현황을 살펴보면, 어업 비용 및 총 비용을 제외한 항목에서 전년 대비 증가한 것을 알 수 있었다. 아울러 참조기 TAC 참여 업종 중 모든 항목에서 다소 큰 값을 나타내고 있었다.

<표 III-5> 쌍끌이대형저인망 수지 현황(2019-2023년)

(단위: 천 원)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외비용	총비용	경영체 순이익
2019	4,378,398	4,378,398	4,019,428	358,970	25,833	4,045,262	333,136
2020	3,861,915	3,861,915	3,359,486	502,429	0	3,359,486	502,429
2021	4,074,660	4,074,660	3,548,492	526,168	5,134	3,553,626	521,034
2022	4,260,195	4,374,703	4,326,253	-66,058	12,833	4,339,086	35,617
2023	4,972,115	5,005,801	4,096,015	876,099	46,333	4,142,349	863,452
평균	4,309,457	4,339,095	3,869,935	439,522	18,027	3,887,962	451,134

자료: 통계청 (2024b)

구체적으로 살펴보면, 어업수익의 경우 2019년(43.7억 원) 이후 감소하였지만 2021년(40.7억 원) 이후 꾸준히 증가하여 2023년 기준 49.7억 원을 기록하였다. 총 수익의 전반적인 변동 추세는 어업수익과 유사하였으며, 2022년

및 2023년은 각 43.7억, 50.0억으로 어업수익에 비해 소폭 증가한 것으로 조사되었다. 어업비용은 2019년 (40.2억 원) 이후 감소하였지만 다시금 증가하여 2022년 43.2억 원을 기록하였다. 2023년 기준 40.9억 원으로, 전년 대비 약 5% 감소한 것으로 나타났다. 어업수익에서 어업비용을 차감한 어업이익을 살펴보면 2019년 3.58억 원을 시작으로 꾸준히 증가하다 2022년 -0.66억 원으로 적자를 보였다. 경영체 순이익의 경우 2022년 0.35억 원으로 전년 대비 다소 감소하였지만, 2023년 8.6억 원으로 전년 대비 약 10배 이상 증가한 것으로 조사되었다.

마지막으로, 외끌이대형저인망의 수지 현황은 다음 <표 III-6>에 나타난 바와 같다. 전반적인 외끌이대형저인망의 수지 현황을 살펴보면, 쌍끌이대형저인망과 유사하게 어업이익 및 경영체 순이익이 2022년 상당히 감소하였지만, 2023년 다시금 회복세를 보인 것으로 나타났다.

<표 III-6> 외끌이대형저인망 수지 현황(2019-2023년)

(단위: 천 원)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외비용	총비용	경영체 순이익
2019	918,686	918,686	646,544	272,142	0	646,544	272,142
2020	868,643	868,643	691,658	176,986	0	691,658	176,986
2021	841,622	841,622	676,526	165,096	5,000	681,526	160,096
2022	748,646	760,479	801,920	-53,274	11,000	812,920	-52,441
2023	820,395	820,395	817,234	3,161	16,167	833,401	-13,005
평균	839,598	841,965	726,776	112,822	6,433	733,210	108,756

자료: 통계청 (2024b)

구체적으로 살펴보면, 어업수익 및 총 수익은 2022년을 제외한 4개년 (2019-2023년)에서는 동일하게 나타났다. 어업수익의 경우, 2019년 약 9.2

억 원을 기록한 이후, 지속적으로 감소한 추세를 보였으며, 2023년 8.2억 원으로 나타났다. 총 수익 역시 어업수익의 변동 추세와 동일하였으며, 2023년 기준 8.2억 원으로 조사되었다. 어업이익의 경우 2022년 기준 -0.5억 원으로 적자인 상태로 나타났다. 이후 2023년 기준 0.03억 원으로 회복세를 보였지만, 참조기 TAC 참여 업종 중 가장 낮은 어업이익을 기록하였다. 이에 따라 경영체 순이익은 어업이익 적자의 영향으로 2022년 -5.2억 원, 및 2023년 -1.3억 원 등 2개년 연속 적자를 보였다.

다음 <표 III-7>에서 보는 바와 같이, 참조기 TAC 참여 업종별 최근 5개년(2019-2023년) 평균 수지 현황을 살펴보면, 전반적으로 쌍끌이대형저인망이 모든 항목에서 가장 높은 값을 기록한 것으로 나타났다. 특히, 쌍끌이대형저인망은 높은 어업 수익 및 비용에도 불구하고 근해자망과 유사한 수준의 어업 이익(439,522천 원)을 기록한 것으로 조사되었다.

한편, 외끌이대형저인망은 모든 항목에서 상대적으로 낮은 값을 기록하였다. 구체적으로 최근 5개년(2019-2023년) 평균 경영체 순이익은 108,756천 원을 기록하였으며, 2개년(2022-2023년) 어업이익 적자의 영향으로 인해 참조기 TAC 참여 업종 중 가장 낮게 나타난 것으로 조사되었다.

<표 III-7> 참조기 TAC 참여 업종별 평균 수지 현황(2019-2023년)

(단위: 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
어업 수익	1,325,572	1,144,370	4,309,457	839,598
총수익	1,325,572	1,147,347	4,339,095	841,965
어업 비용	899,718	902,494	3,869,935	726,776
어업 이익	425,854	241,876	439,522	112,822
어업 외비용	4,690	7,725	18,027	6,433
총비용	904,408	910,219	3,887,962	733,210
경영체 순이익	421,164	237,128	451,134	108,756

자료: 통계청 (2024b)

나. 업종별 참조기 어획 비중

다음으로 TAC 참여 업종별 참조기 어획 비중을 살펴보았다. 먼저 <표 III-8>에 나타난 바와 같이, 근해자망 참조기 어획 비중의 경우 2020년 38.6%를 기록한 이후 참조기 전체 어획량이 감소함에 따라 근해자망 참조기 어획량 역시 감소한 것으로 나타났다. 이에 따른 결과로 2023년 16.6%를 기록하였다. 근해자망 전체 생산 금액에서 참조기가 차지하는 비중 역시 2019년 42.4%에서 지속적으로 감소하여 2023년 29.0%를 기록하였다. 평균적으로 근해자망을 통해 어획되는 참조기 어획 비중은 30.3%인 반면, 생산금액 비중은 36.5%로 참조기 어획 비중에 비해 높은 것으로 나타났다.

<표 III-8> 근해자망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)

(단위: 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	참조기	비중	전체	참조기	비중
2019	48,370	18,642	38.5%	359,974,392	152,455,572	42.4%
2020	62,446	24,135	38.6%	466,818,227	204,433,139	43.8%
2021	62,326	21,624	34.7%	422,832,464	157,526,427	37.3%
2022	53,442	11,261	21.1%	356,011,352	102,769,939	28.9%
2023	51,914	8,594	16.6%	403,319,501	117,060,598	29.0%
평균	55,700	16,851	30.3%	401,791,187	146,849,135	36.5%

자료: 통계청 (2024a)

근해안강망 참조기 어획 비중은 다음 <표 III-9>에서 보는 바와 같다. 전반적인 근해안강망 어획량 중 참조기 어획 비중은 10% 이내로 나타났으며, 증감을 변동하다 2023년 5.8%로 조사되었다. 근해안강망 전체 생산 금액에서 참조기가 차지하는 비중 역시 2020년을 제외한 나머지 4개년도에서

10% 이내로 나타났으며, 2023년 기준 5.1%를 기록하였다. 평균적으로 근해안강망을 통해 어획되는 참조기 어획 비중은 7.2%인 반면, 생산금액 비중은 7.7%로 근소하게 높은 것으로 나타났다.

<표 III-9> 근해안강망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)

(단위: 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	참조기	비중	전체	참조기	비중
2019	44,807	3,053	6.8%	141,319,032	12,534,381	8.9%
2020	51,101	6,562	12.8%	170,274,933	23,295,695	13.7%
2021	49,559	3,604	7.3%	169,056,329	13,435,932	7.9%
2022	61,288	2,507	4.1%	197,317,690	8,789,919	4.5%
2023	60,837	3,548	5.8%	236,135,028	11,992,837	5.1%
평균	53,518	3,855	7.2%	182,820,602	14,009,753	7.7%

자료: 통계청 (2024a)

다음으로 쌍끌이대형저인망의 참조기 어획 비중은 다음 <표 III-10>에 나타난 바와 같다. 1990년대 쌍끌이대형저인망의 참조기 어획 비중의 경우 최대 17%를 기록하는 등 10% 이상 비중을 차지하고 있었지만 2000년 한중어업협정에 따른 이용 어장의 이동 및 사용 그물 변경 등의 요인들로 인해 참조기의 어획 비중이 대폭 감소하였다(이동우 외 2013).

이에 따른 결과로 최근 5개년도(2019-2023년) 참조기 TAC 참여 업종 중 참조기 어획 비중 및 생산금액 비중이 가장 낮게 나타난 것으로 조사되었다. 쌍끌이대형저인망을 통해 어획되는 참조기 비중 및 생산금액 비중은 전반적으로 1% 이내로 나타났으며, 2023년 각각 0.8%, 0.8%로 나타났다. 이에 참조기 평균 어획 비중 및 생산금액 비중 역시 각각 0.9%, 0.8%로 1% 미만으로 나타났다.

<표 III-10> 쌍끌이대형저인망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)

(단위: 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	참조기	비중	전체	참조기	비중
2019	39,961	293	0.7%	160,467,387	953,097	0.6%
2020	35,326	733	2.1%	142,234,427	3,014,346	2.1%
2021	37,669	207	0.5%	154,805,515	766,249	0.5%
2022	34,615	82	0.2%	150,863,731	351,236	0.2%
2023	39,925	309	0.8%	181,508,962	1,371,794	0.8%
평균	37,499	325	0.9%	157,976,004	1,291,344	0.8%

자료: 통계청 (2024a)

마지막으로 외끌이대형저인망 참조기 어획 비중은 다음 <표 III-11>에서 보는 바와 같다. 외끌이대형저인망 어업에서 참조기가 차지하는 어획 비중은 2019년 5.9%를 시작으로 다소 증가한 양상을 띠었고, 2023년 14.0%를 기록하였다. 외끌이대형저인망 전체 생산금액에서 참조기가 차지하는 비중은 어획 비중과 유사한 변동 추세를 보였으며, 2023년 12.2%를 기록하였다.

생산금액 비중 역시 2019년 4.0% 이후 다소 증가한 양상을 띠었으며, 2023년 기준 12.2%를 기록하여 전년대비 2.6%p 증가한 것으로 조사되었다. 평균적으로 외끌이대형저인망을 통해 어획되는 참조기 비중은 12.4%인 반면, 생산금액 비중은 10.9%로 나타났다.

<표 III-11> 외끌이대형저인망 참조기 어획 비중 (2019-2023년)

(단위: 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	참조기	비중	전체	참조기	비중
2019	15,941	946	5.9%	85,979,441	3,417,672	4.0%
2020	16,086	2,613	16.2%	83,251,728	14,788,647	17.8%
2021	9,109	1,338	14.7%	39,205,094	4,468,138	11.4%
2022	8,959	1,183	13.2%	42,116,774	4,048,861	9.6%
2023	8,694	1,216	14.0%	41,998,194	5,124,160	12.2%
평균	11,758	1,459	12.4%	58,510,246	6,369,496	10.9%

자료: 통계청 (2024a)

참조기 TAC 참여 업종별 최근 5개년도(2019-2023년) 평균 어획 비중은 다음 <표 III-12>에 나타난 바와 같다. 참조기 TAC 참여 업종 중 근해자망은 각 30.3%, 36.5%로 가장 높은 어획량 및 생산금액 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 쌍끌이대형저인망 어업에서 참조기가 차지하는 어획 및 생산금액 비중은 0.9%, 0.8%로 참조기 TAC 참여 업종 중 가장 낮은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다.

<표 III-12> 참조기 TAC 참여 업종별 평균 어획 비중 (2019-2023년)

(단위: 톤, 천 원)

구분	어획량			생산금액		
	전체	참조기	비중	전체	참조기	비중
근해자망	55,700	16,851	30.3%	401,791,187	146,849,135	36.5%
근해안강망	53,518	3,855	7.2%	182,820,602	14,009,753	7.7%
쌍끌이대형저인망	37,499	325	0.9%	157,976,004	1,291,344	0.8%
외끌이대형저인망	11,758	1,459	12.4%	58,510,246	6,369,496	10.9%

자료: 통계청 (2024a)

IV. 분석 방법 및 자료

1. 분석 방법

가. 참조기 수산자원평가 모델

본 연구에서 활용된 LBB 모델은 체장 빈도 자료를 기반으로 하여 수산 자원의 성장률을 추정하는 von Bertalanffy의 성장 모델을 따르게 된다. 따라서 시간이 지남에 따른 수산자원의 성장을 표현하면 다음 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다(von Bertalanffy, 1938).

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad (1)$$

여기서 L_t 은 t 연령 일때의 체장, L_∞ 은 어종이 무한히 산다면 도달할 수 있는 점근적 최대체장, K 는 시간이 지남에 따라 최대 체장에 도달하기 까지를 나타내는 성장 계수, t_0 은 체장이 0일 때 이론적 연령을 의미한다. 체장 빈도 분포표 곡선은 해당 수산자원이 완전한 어구 선택성인 상황을 가정하였을 때, K 에 대한 총 사망률(Z , $Z = F + M$) 함수로부터 추정된다. 여기서 F 은 어획 사망률, M 은 자연 사망률, 그리고 완전한 어구 선택성은 특정 체장 구간 이상의 수산자원이 어구에 의해 동일한 확률로 어획된 상황을 말한다. 이를 나타내면 다음 식 (2)와 같다(Quinn and Deriso, 1999).

$$N_L = N_{L_{start}} \left(\frac{L_\infty - L}{L_\infty - L_{start}} \right)^{Z/K} \quad \text{for } L > L_{start} \text{ and } L < L_\infty \quad (2)$$

여기서, N_L 은 체장 L 에 도달할 때까지 생존한 어종을, $N_{L_{start}}$ 은 체장 L_{start} 일 때의 어종을 말한다. 이때에 L_{start} 은 완전한 어구 선택성인 상황을

가정하였을 때의 체장을, Z/K 은 성장계수(K) 대비 총 사망률(Z)을 의미한다. 본 연구에 활용된 체장 빈도 자료는 해당 수산자원의 정확한 개체수를 나타내는 자료가 아니므로 다음 식 (3)와 같이 식 (2) 양변을 각각의 합으로 나누어 주게 된다. 이를 통해 식 (2) 우변의 분모와 분자 $N_{L_{start}}$ 를 상쇄시킬 수 있다.

$$\frac{N_L}{\sum N_L} = N_{L_{start}} \frac{\left(\frac{L_\infty - L}{L_\infty - L_{start}}\right)^{Z/K}}{\sum \left(\frac{L_\infty - L}{L_\infty - L_{start}}\right)^{Z/K}} \quad (3)$$

해당 수산자원에 어떠한 어획이 이루어지지 않은 상황, 즉 자연 상태일 때 수산자원의 Z/K 는 M/K , L_{start} 은 0, $N_{L_{start}}$ 은 1로 가정할 수 있다. 이때에 식 (2)는 다음 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{L/L_\infty} = \left(1 - \frac{L}{L_\infty}\right)^{M/K} \quad (4)$$

여기서, P_{L/L_∞} 는 수산자원이 L/L_∞ 체장에 도달할 생존 확률을 나타낸다. 식 (4)에서 M/K 만을 고려하게 되는데, 이는 동일한 M/K 을 가진 어종은 크기, 수명, 서식지에 관계없이 최대 체장에 도달할 확률이 같기 때문이다 (Froese et al., 2018).

이후, 본 연구에서 활용된 LBB 모델은 어구 선택성(gear selectivity)을 트롤 선택 곡선 및 자망 선택 곡선으로 구분지어 추정하게 된다. 먼저 트롤 선택 곡선을 살펴보면, 다음 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{Li} = \frac{1}{1 + e^{-a(L-L_c)}} \quad (5)$$

S_{L_i} 은 체장 L_c 에 대한 선택비율, α 은 ogive 함수의 기울기(steeptness)를 말한다. ogive 함수는 체장 및 포획률 관계를 표현하는 함수로 완만한 로지스틱 곡선을 띤다. 예를 들어, 기울기(steeptness)가 클 경우 특정 체장에서 어구에 의해 빠르게 어획된다(Cadima, E.L., 2003).

다음으로 자망 선택 곡선의 경우 종 모양으로 나타난다고 가정하게 된다. 이를 정규분포 곡선으로 나타낼 수 있으며, 다음 식 (6)에서 보는 바와 같다(Holt, 1963; Sparre and Venema, 1998).

$$S_{L_j} = \exp \left[\frac{-(L-L_c)^2}{2s^2} \right] \quad (6)$$

여기서, S_{L_j} 은 체장 L_c 에 대한 선택비율, s 는 정규분포의 표준편차를 말한다. 어구 선택 곡선에 따라 P 확률로 어구에 어획되는 체장 L_p 은 다음 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_p = \frac{\alpha L_c - \log(1/P - 1)}{\alpha} \quad (7)$$

여기서 L_c 및 α 가 주어진다면, 식 (7)을 활용하여 다음 3가지 체장, 구체적으로 P 가 1%일 때, 수산자원의 1%가 어구에 어획되는 L_x , P 가 50%일 때, 수산자원의 50%가 어구에 어획되는 체장 L_c , 마지막으로 P 가 95%일 때, 수산자원의 95%가 어구에 어획되는 체장 L_{start} 이 추정된다. 다음 식 (8)을 활용하여 L_∞ , L_c , α , M/K 그리고 F/K 를 추정할 수 있다.

$$N_{L_i} = N_{L_{i-1}} \left(\frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i-1}} \right)^{\frac{M}{K} + \frac{F}{K} S_{L_i}} \quad (8)$$

$$C_{L_i} = N_{L_i} S_{L_i} \quad (8.1)$$

여기서 L_i 은 체장 i 인 수산자원을, L_{i-1} 은 이전 체장 $i-1$ 인 수산자원을 나타내며 C 는 어구에 어획된 수산자원을 비례적으로 나타낸다. 식 (8.1) 양변에 각각의 합계로 나누어 표준화 과정을 거치는데 다음 식 (9)과 같다.

$$\frac{C_{L_i}}{\sum C_{L_i}} = \frac{N_{L_i} S_{L_i}}{\sum N_{L_i} S_{L_i}} \quad (9)$$

LBB 모델 분석 자료 및 식 (9)을 활용하여 M/K , F/K 그리고 F/M 을 도출할 수 있다. 이후, L_∞ 및 M/K 을 활용하여 다음 식 (10)에서 보는 바와 같이, L_{opt} 을 추정할 수 있다(Holt, 1958).

$$L_{opt} = L_\infty \left(\frac{3}{3 + M/K} \right) \quad (10)$$

여기서 L_{opt} 는 적정가입체장 즉, 아직 어획되지 않은 연령군이 최대 코호트(cohort) 자원량에 이를 수 있는 체장을 나타낸다. 식 (10) 및 F/M 을 이용하여 다음 식 (11)에서 보는 바와 같이, L_{c-opt} 을 추정할 수 있다.

$$L_{c-opt} = \frac{L_\infty \left(2 + 3 \frac{F}{M} \right)}{\left(1 + \frac{F}{M} \right) \left(3 + \frac{M}{K} \right)} \quad (11)$$

여기서, L_{c-opt} 은 최적어획개시체장을 말한다. 최적어획개시체장 (L_{c-opt})은 현재 처한 상대적 어획 강도(F/M) 및 참조기 생활사(M/K) 특성을 고려한 상황 속에서 생산량을 최대화할수 있는 체장을 말한다. 최적어획개시체장 (L_{c-opt}) 수준에서 어획이 이루어질 때, 해당 수산자원의 평균 체장은 적정가입체장 (L_{opt}) 수준에 다다를 수 있다(Froese et al., 2018).

LBB 모델을 통해 분석되는 자연 상태의 기초 자원량(B_0) 대비 현재 자

원량 (B/B_0)은 가입당생산량(YPR, yield-per-recruit) 함수로부터 추정할 수 있다. 이에 따라, 가입당생산량 지수(Y'/R)는 다음 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{Y'}{R} = \frac{F/M}{1+F/M} (1-L_c/L_\infty)^{M/K} \quad (12)$$

$$\left(1 - \frac{3(1-L_c/L_\infty)}{1 + \frac{1}{M/K+F/K}} + \frac{3(1-L_c/L_\infty)^2}{1 + \frac{2}{M/K+F/K}} + \frac{(1-L_c/L_\infty)^3}{1 + \frac{3}{M/K+F/K}}\right)$$

이 과정 속에서 어획 사망률(F)은 어획노력량(CPUE, catch per unit effort)에 비례하는 것으로 가정하게 된다. 이에 따라, 식 (12)을 F/M 으로 나누어 주면 다음 식 (13)과 같이 어획노력량 지수($CPUE'/R$)를 도출할 수 있다.

$$\frac{CPUE'}{R} = \frac{\frac{Y'}{R}}{\frac{F}{M}} = \frac{1}{1+F/M} (1-L_c/L_\infty)^{M/K} \quad (13)$$

$$\left(1 - \frac{3(1-L_c/L_\infty)}{1 + \frac{1}{M/K+F/K}} + \frac{3(1-L_c/L_\infty)^2}{1 + \frac{2}{M/K+F/K}} + \frac{(1-L_c/L_\infty)^3}{1 + \frac{3}{M/K+F/K}}\right)$$

수산자원평가에 활용되는 어획노력량(CPUE) 자료는 해당 수산자원의 자원량과 비례관계로써 가정되므로, 식 (12)의 어획노력량 지수($CPUE'/R$)는 자원량 지수(B'/R)로도 표현할 수 있다(Beverton and Holt, 1966). 해당 수산자원에 어떠한 어획이 이루어지 않은 상태 즉, 자연 상태의 상대적 자원량은 다음 식 (14)로부터 추정된다.

$$\frac{B'_0 > L_c}{R} = (1 - L_c/L_\infty)^{M/K} \quad (14)$$

$$\left(1 - \frac{3(1 - L_c/L_\infty)}{1 + \frac{1}{M/K}} + \frac{3(1 - L_c/L_\infty)^2}{1 + \frac{2}{M/K}} + \frac{(1 - L_c/L_\infty)^3}{1 + \frac{3}{M/K}}\right)$$

여기서, $B'_0 > L_c$ 는 자연 상태의 기초 자원량 (B_0) 중 어획 가능한 L_c 을 나타낸다. 식 (14)은 각 체장 범위의 상한값 및 하한값에 적용되며, 상한값 및 하한값의 차이는 각 체장 범위 내에서 어획되지 않은 상태 즉, 자연 상태의 기초 자원량으로 나타낼 수 있다. 다음으로 식 (15)을 통해 자연 상태의 기초 자원량(B_0) 대비 마지막 연도의 자원량을 추정할 수 있다 (Beverton and Holt, 1966).

$$\frac{B}{B_0} = \frac{\frac{CPUE'}{R}}{\frac{B'_0 > L_c}{R}} \quad (15)$$

식 (8)을 기반으로 LBB 모델이 예측한 체장 분포는 다음 식 (16)와 같이 나타낼 수 있다(Froese et al., 2018). 여기서 \hat{P}_{L_i} 과 \hat{N}_{L_i} 은 각각 LBB 모델이 예측한 체장 분포 및 체장 L 에 도달할 때까지 생존한 수산자원을 말한다.

$$\hat{P}_{L_i} = \frac{\hat{N}_{L_i}}{\sum \hat{N}_{L_i}} \quad (16)$$

이후 관측 체장 분포 및 예측 체장 간 분포 적합도 추정을 위해 Dirichlet-다항 분포를 활용하였다. Dirichlet-다항 분포는 베이저안 추론을

기반으로 하는 수산자원평가 모델에 주로 활용되며, 표준 다항 분포와 다르게 과분산까지 고려할 수 있다(Mantyniemi et al., 2015; Thorson et al., 2017). EU Data Collection Framework로부터 얻은 체장 자료의 샘플 크기(800-3,000)를 기반으로 본 연구에서는 체장 자료의 샘플 크기(n_{LF})를 1,000으로 가정하였다(Froese et al., 2018).

체장 빈도 자료를 활용하는 LBB 모델은 베이저안 추론 기법을 적용하여 사후 분포를 추정하게 된다. 베이저안 추론은 베이즈 이론(Bayes' Theorem)에 기반을 둔 통계적 분석 기법이다. 베이즈 이론은 조건부 확률을 결정하는 수식으로 사전 정보(Prior Information) 및 새로운 증거를 통합하여 사후 정보(Posterior Information)를 추정하는 이론이다(Bayes T, 1763).

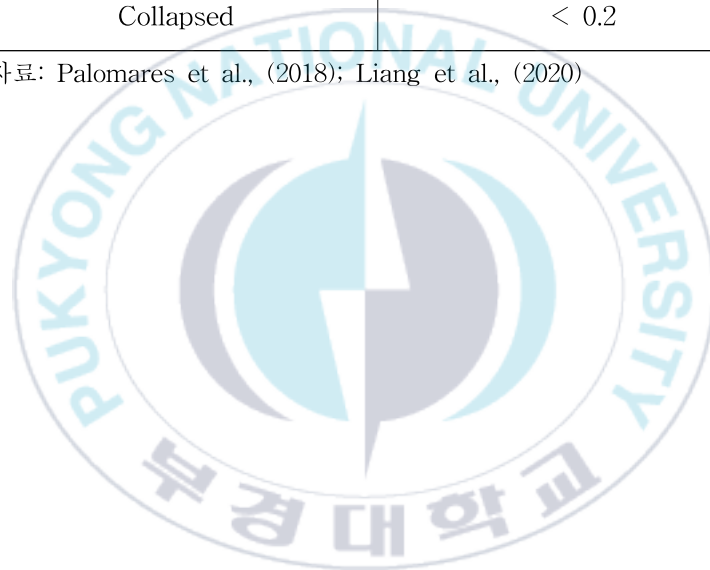
각 매개변수의 확률분포 샘플링은 JAGS 소프트웨어 프로그램의 MCMC 방법을 활용하였다(Meyer & Millar, 1999). MCMC 방법은 과거 시점의 확률분포를 이용하여 다음 시점의 확률분포를 계산 및 반복하여 목표 분포를 생성하는 방법이다. 구체적으로 정상 상태(Stationary Distribution)로 가려는 마코프 체인(Markov Chain)을 통해 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션을 반복하여 목표 분포에 다다른 샘플을 생성하게 된다(Annis et al., 2017; 최윤경 외, 2018).

한편, 몬테카를로 시뮬레이션 과정 속에서 목표 분포에 다다른 샘플은 무작위로 생성되는데, 이때에 Gibbs Sampler를 활용하여 조건부 확률분포로부터 샘플을 하나씩 순차적으로 추출하였다(Kery & Schaub, 2011; 최민제 외, 2019). 여기서, 샘플링 세부사항은 다음과 같다. 총 600개 표본을 추출한 후, 300개 표본을 번인(burn-in)하여 초기 표본들의 영향을 제거한다. 이후 발생하는 자기상관 문제를 해결하기 위해 10번째마다 표본을 추출한다(Froese et al., 2018). 위의 분석 방법을 토대로 하여 참조기 자원평가 결과를 도출한 후 선행연구에 따라 B_{MSY} 대비 마지막 연도의 자원량 비율에 따라 <표 IV-1>에서와 같이, 5단계로 구분 지어 나타낼 수 있다.

<표 IV-1> B_{MSY} 대비 마지막 자원량 비율에 따른 자원상태

Stock status	B/B_{MSY}
Healthy	≥ 1.0
Slightly overfished	0.8 - 1.0
Overfished	0.5 - 0.8
Grossly overfished	0.2 - 0.5
Collapsed	< 0.2

자료: Palomares et al., (2018); Liang et al., (2020)



나. 참조기 생물경제학적 분석

본 연구에서는 참조기 수산자원평가와 더불어 금지체장에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체 수준에서 사회경제적 효과를 분석하고자 한다. 우선적으로, 금지체장과 같은 어업관리수단을 적용하게 된 시점을 기준으로, 해당 시점의 전·후 간 어업이익의 변화는 다음 식 (17)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi = H \cdot p - C \quad (17)$$

여기서, π 은 어업이익, H 는 어획량, p 는 시장 가격, C 는 어업비용을 의미한다. 현 시점 어업이익(π)은 어획량(H)에 시장 가격(p)을 곱한 후, 어업비용(C)을 차감하여 산출할 수 있다.

먼저, TAC 참여 업종별 경영체당 참조기 어업수익(Total Revenue, TR)은 다음 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다. 현재 참조기 TAC 참여 업종(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 외끌이대형저인망)이 최근 5개년도(2019-2023년) 평균 어획 비중만큼 어획한 것으로 가정하였다. 이후, 최근 5개년도(2019-2023년) 판매 단위 가격을 곱하여 어업수익을 산정하였다. 마지막으로, 본 연구는 경영체 수준에서 분석을 수행하였으므로, 참조기 TAC 참여 업종별 경영체 수로 나누어 주어 각 경영체당 참조기 어업수익을 산출하였다.

$$TR_j = (H_j \times h_j \times p_j) / v_j \quad (18)$$

여기서, TR_j 은 어업수익, H_j 은 j 업종별 참조기 어획량, h_j 은 j 업종별 참조기 어획 비중, 그리고 p_j 는 참조기 판매 단위 가격, v_j 은 j 업종별 경영체 수를 의미한다. TAC 참여 업종별 경영체당 참조기 어업비용(Total Cost, TC)은 다음 식 (19)에 나타난 바와 같다. 매년 동일하다고 가정한

후, 최근 5개년도(2019-2023년) 업종별 경영체당 어업비용 평균값과 최근 5개년도(2019-2023년) 업종별 참조기 원가배부율을 곱하여 도출하였다.

$$TC_j = C_j \times s_j \quad (19)$$

여기서, TC_j 은 어업비용, C_j 은 j 업종별 경영체당 어업비용 평균치, s_j 는 업종별 참조기 원가배부율을 의미한다. 식 (18) 및 식 (19)으로부터 도출된 어업수익 및 어업비용을 활용하여 최종적으로 어업이익(Total Profit, TP)을 산출하였으며, 다음 식 (20)과 같이 나타낼 수 있다.

$$TP_j = TR_j - TC_j \quad (20)$$

한편, 금지체장 상향이 이루어졌을 때, 미래에 발생하는 어업이익의 합을 현재가치화하여 합산할 필요가 있다. 이때에, 향후 30년간의 어업이익을 현재가치로 환산하는 순현재가치법(Net present value, NPV)을 활용하였으며, 다음 식 (21)에 나타난 바와 같다.

$$NPV = \sum_{t=0}^{30} \frac{TP_t}{(1+r)^t} \quad (21)$$

여기서, TP_t 은 향후 30개년까지 참조기 TAC 업종별 경영체당 어업이익을, r 은 사회적 할인율을 의미한다. 사회적 할인율은 미래 특정 시점에 발생하는 비용 및 수익을 현재 시점으로 환산할 때 적용되는 계수를 말하며, 본 연구에서는 예비타당성조사 수행 총괄지침에 따라 4.5%를 적용하여 분석하였다(법제처, 2024c).

2. 분석 자료

가. 참조기 수산자원평가

LBB 모델을 활용하여 우리나라 참조기 자원평가를 하기 위해서는 참조기 체장 빈도 자료가 필요하다. 본 연구에서 수행하고자 하는 참조기 자원평가는 전체 어업 그리고, 각 참조기 TAC 참여 업종(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 외끌이대형저인망)이다. 여기서, 참조기 전체 어업은 참조기 TAC 참여 업종 전체를 의미한다. 참조기 체장 빈도 자료는 국립수산물과학원으로부터 제공받은 22개년(2001-2022년)간 부산공동어시장, 부산시수협 다대공판장, 부산시수협 자갈치공판장, 부산시수협 민락위판장, 기장수협 수산물위판장, 기장수협 학리위판장, 그리고 부산국제수산물도매시장 등에서 어획된 170,873개체를 활용하였다.

다음 <표 IV-2>에 나타난 바와 같이, 본 연구에 활용된 170,873개체 중 최소 체장은 2013년에 어획된 3.6cm(1개체)이며, 최대 체장은 2022년에 어획된 41.3cm(1개체), 중앙값은 20.5cm, 그리고 평균 (\pm 표준편차) 체장은 19.24cm (\pm 3.00cm)로 나타났다. 2000년대 평균 20cm 내외를 웃돌던 참조기 평균 체장은 2007년 이후 지속적으로 감소하여, 평균 20cm를 하회하는 추세를 보였다. 최근 3개년(2020-2022년)간 평균 체장 증가 추세를 보여 2022년 기준 참조기 평균 체장은 20.88cm를 기록하였다.

<표 IV-2> 참조기 자원평가 분석 자료(전체 어업)

(단위: cm)

구분	시점(월)	개체수	최소 체장	최대 체장	평균 (± 표준편차)
2001년	4-8,11-12	2,263	11.5	32.5	20.91 (± 3.82)
2002년	6,8-9	936	13.0	28.8	19.33 (± 2.50)
2003년	1-3,8-12	6,249	10.4	27.9	20.38 (± 2.22)
2004년	8-12	2,552	13.2	32.3	21.66 (± 1.81)
2005년	1,3,9,11,12	4,188	10.2	29.9	21.43 (± 2.02)
2006년	1,3,7-12	6,385	11.8	29.9	20.67 (± 2.17)
2007년	1,2,10-12	3,895	11.5	30.8	21.29 (± 2.89)
2008년	1-3,5,8-11	6,565	7.8	31.3	19.34 (± 2.85)
2009년	1-4,7,8,10-12	9,533	10	29.7	18.97 (± 2.76)
2010년	1-3,8-12	6,572	10.8	32.9	19.94 (± 2.24)
2011년	1-3,8-12	7,001	11.2	27.3	19.74 (± 2.32)
2012년	1-4,6,8-12	21,317	7.2	34.9	19.29 (± 2.77)
2013년	1,2,4,7-12	20,651	3.6	38.3	18.33 (± 3.55)
2014년	1-4,8-11	14,110	10	34.0	18.79 (± 2.83)
2015년	1-2,6-8,10-12	11,775	7.6	36.3	18.89 (± 2.81)
2016년	1-4,8-12	9,433	8	35.8	17.85 (± 3.01)
2017년	1,3-5,8-12	8,027	8.1	36.9	18.15 (± 2.94)
2018년	1-12	7,214	8.6	39.2	17.90 (± 2.38)
2019년	1,3,4,9-12	8,613	8.8	38.7	18.60 (± 2.54)
2020년	1-3,6,9,11-12	4,375	11.5	32.9	19.42 (± 2.49)
2021년	1,3,4,9-11	4,417	11.6	38.9	21.05 (± 2.89)
2022년	1-4,8-12	4,803	11	41.3	20.88 (± 3.69)
전체	·	170,873	3.6	41.3	19.24 (± 3.00)

자료: 국립수산과학원 내부자료

참조기 근해자망 체장 빈도 자료는 9개년도(2012-2022년, 1)2017,2018년 제외) 26,994개체를 활용하였으며, 다음 <표 IV-3>에 나타난 바와 같다. 최소 체장은 10.1cm (2019년, 2개체), 최대 체장은 41.3cm (2022년, 1개체)

1) 근해자망을 비롯한 참조기 TAC 참여 업종의 경우 부분적으로 자료(년수)가 누락됨

인 것으로 조사되었다. 참조기 근해자망 평균 (\pm 표준편차) 체장은 약 20.71 (\pm 2.67)cm로, 참조기 전체 어업 평균 체장과 유사하며, 참조기 TAC 참여 업종별 평균 체장 중 가장 큰 것으로 나타났다.

<표 IV-3> 참조기 자원평가 분석 자료(근해자망)

(단위: cm)

구분	시점(월)	개체수	최소 체장	최대 체장	평균 (\pm 표준편차)
2012년	2,3,4,9,11,12	5,639	11.6	33.6	21.15 (\pm 2.77)
2013년	2,3,4,8,9	5,175	11.8	34.5	20.13 (\pm 3.25)
2014년	10-12	2,031	13.6	27.6	20.37 (\pm 2.64)
2015년	10-12	3,203	12.7	29.1	20.45 (\pm 2.15)
2016년	9	1,384	12.6	29.1	19.69 (\pm 2.30)
2019년	4,8,10	2,832	10.1	32.5	19.42 (\pm 2.78)
2020년	11	825	15.4	32.9	21.52 (\pm 2.57)
2021년	1,3,4,9-11	2,777	11.6	32.6	21.43 (\pm 2.79)
2022년	1-4,8-12	3,128	13.4	41.3	22.19 (\pm 3.55)
전체	.	26,994	10.1	41.3	20.71 (\pm 2.67)

자료: 국립수산과학원 내부자료

다음으로 참조기 근해안강망 체장 빈도 자료는 13개년도(2008-2022년, 2010,2011년 제외) 53,757개체를 활용하였으며, 다음 <표 IV-4>에 나타난 바와 같다. 참조기 근해안강망 체장 빈도 자료 중 최소 체장은 8.8cm (2019년, 1개체), 최대 체장은 38.9cm (2022년, 1개체)로 조사되었다. 참조기 근해안강망 평균 (\pm 표준편차) 체장은 약 18.50 (\pm 2.67)cm로 참조기 TAC 참여 업종별 평균 체장 중 가장 낮은 것으로 나타났다.

<표 IV-4> 참조기 자원평가 분석 자료(근해안강망)

(단위: cm)

구분	시점(월)	개체수	최소 체장	최대 체장	평균 (± 표준편차)
2008년	8-10	3,132	7.8	31.3	19.2 (± 2.01)
2009년	10	1,139	14.7	28.2	20.7 (± 1.48)
2012년	2-4,6,8,9-12	9,671	11.0	34.9	18.6 (± 2.28)
2013년	2-4,7,10-12	7,469	8.2	38.3	17.5 (± 3.66)
2014년	3-4,8-12	8,617	10.5	34.0	18.8 (± 2.33)
2015년	2,6,7,10,11	5,310	11.7	36.3	18.6 (± 2.42)
2016년	4,9,11	2,370	11.9	29.1	17.9 (± 2.49)
2017년	1,4,8-10,12	3,441	9.5	36.9	18.4 (± 2.80)
2018년	1,4,6,8-10,12	4,112	9.9	31.8	18.0 (± 2.22)
2019년	1,3,4,8,9,10,12	4,631	8.8	38.7	18.4 (± 2.35)
2020년	9,12	550	13.0	30.0	19.4 (± 2.82)
2021년	1,3,9-12	1,640	15.0	38.9	20.4 (± 2.94)
2022년	3,8-11	1,675	11.0	34.0	18.4 (± 2.54)
전체	.	53,757	8.8	38.9	18.5 (± 2.67)

자료: 국립수산과학원 내부자료

참조기 쌍끌이대형저인망 체장 빈도 자료는 19개년도(2001-2020년, 2019년 제외) 64,320개체를 활용하였고 다음 <표 IV-5>에서 보는 바와 같다. 최소 체장은 3.6cm (2013년, 1개체), 최대 체장은 39.2cm (2018년, 1개체)이다. 이에 따른 참조기 쌍끌이대형저인망 평균 (± 표준편차) 체장은 약 19.24 (± 3.06)cm로 나타났다.

<표 IV-5> 참조기 자원평가 분석 자료(쌍끌이대형저인망)

(단위: cm)

구분	시점(월)	개체수	최소 체장	최대 체장	평균 (± 표준편차)
2001년	4-8	1,069	11.5	30.5	20.11 (± 3.70)
2002년	6,8	936	13.0	28.8	19.33 (± 2.50)
2003년	1-3,8,10-12	6,249	10.4	27.9	20.38 (± 2.22)
2004년	8-12	2,552	13.2	32.3	21.66 (± 1.81)
2005년	1,3,9,11	3,325	15.3	29.9	21.36 (± 1.95)
2006년	1,3,8-12	5,967	11.8	29.9	20.91 (± 2.01)
2007년	1-2,10,12	2,987	11.5	30.3	20.71 (± 2.82)
2008년	1-3,5	2,483	10.8	27.8	19.01 (± 3.69)
2009년	2-4,8	2,887	13.9	24.2	19.41 (± 1.53)
2010년	1-3,8-11	4,437	10.8	27.8	20.16 (± 2.13)
2011년	1-3,8-10	4,981	11.2	27.3	19.35 (± 2.41)
2012년	3,10-12	3,957	7.2	26.3	18.15 (± 2.90)
2013년	1-2,08-12	8,007	3.6	26.8	17.97 (± 3.23)
2014년	1,2	2,023	10.0	29.1	17.12 (± 4.17)
2015년	8,11-12	2,501	7.6	25.7	17.38 (± 3.18)
2016년	1-3,8-9,12	3,064	8.0	35.8	16.75 (± 3.36)
2017년	1,3,9,12	2,159	8.1	22.7	16.56 (± 2.78)
2018년	2-3,9,11-12	2,136	8.6	39.2	18.11 (± 2.81)
2020년	1-3,6,11	2,600	11.5	29.4	18.79 (± 1.86)
전체	.	64,320	3.6	39.2	19.24 (± 3.06)

자료: 국립수산과학원 내부자료

마지막으로, 참조기 외끌이대형저인망 체장 빈도 자료는 16개년도 (2001-2020년, 2002-2004년, 2013년 제외) 25,803개체를 활용하였고 다음 <표 IV-6>에 나타난 바와 같다. 최소 체장은 10.0cm (2009년, 1개체), 최대 체장은 34.6cm (2015년, 1개체)으로 조사되었다. 이에 따른 참조기 외끌이대형저인망 체장 빈도 평균(± 표준편차) 체장은 19.29(± 2.98)cm로 나타났다.

<표 IV-6> 참조기 자원평가 분석 자료(외끌이대형저인망)

(단위: cm)

구분	시점(월)	개체수	최소 체장	최대 체장	평균 (± 표준편차)
2001년	06,11,12	1,194	11.5	32.5	21.63 (± 3.80)
2005년	12	863	10.2	29.0	21.70 (± 2.27)
2006년	07	418	14.3	21.6	17.15 (± 1.07)
2007년	11	908	18.9	30.8	23.20 (± 2.22)
2008년	11	950	10.5	29.5	20.86 (± 2.20)
2009년	01,07,11,12	5,507	10.0	29.7	18.38 (± 3.23)
2010년	10,11	2,135	11.0	32.9	19.49 (± 2.41)
2011년	11,12	2,020	11.9	25.6	20.70 (± 1.75)
2012년	01,02,06	2,050	11.2	31.5	19.58 (± 1.97)
2014년	11	1,439	13.1	25.5	19.16 (± 2.03)
2015년	01	761	13.3	34.6	19.53 (± 3.22)
2016년	10,11,12	2,615	10.7	29.8	18.11 (± 2.81)
2017년	05,09,10,11,12	2,427	12.7	28.1	19.17 (± 2.69)
2018년	05,07,08,10	966	10.7	22.3	16.99 (± 1.75)
2019년	10,11	1,150	10.6	22.6	17.45 (± 2.03)
2020년	12	400	12.2	24.0	19.20 (± 2.99)
전체	.	25,803	10.0	34.6	19.29 (± 2.98)

자료: 국립수산과학원 내부자료

나. 참조기 생물경제학적 분석

1) 참조기 경영 현황 분석

본 연구 대상인 참조기 수산자원의 TAC 참여 업종들을 대상으로 금지체장 상향에 따른 사회경제적 효과를 살펴보기 위해서는 참조기의 자원평가 결과, 업종별 어업경영조사 자료 그리고 체장별 참조기 판매 단위가격 자료 등이 필요하다. 참조기 수산자원을 대상으로 하는 어업인들에게 보다 실질적인 결과를 제시하기 위하여 경영체 수준의 분석 자료를 파악하였다.

참조기 TAC 참여 업종별(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 외끌이대형저인망) 경영체당 어업이익 변화를 살펴보기 위해서는 어업수익 및 어업비용 도출이 선행되어야 한다. 먼저, 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업수익을 도출하기 위해서는 TAC 참여 업종별 참조기 평균 어획량 및 TAC 참여 업종별 참조기 판매 단위 가격 자료가 필요하다.

TAC 참여 업종별 참조기 평균 어획량 도출을 위해서는 각 업종별 참조기 어획량 비중을 고려하여야 한다. 본 연구에서 활용된 TAC 참여 업종별 참조기 어획량 비중은 최근 5개년(2019-2023년) 평균 각 업종별 어획량 비중의 평균값을 활용하였다. 구체적으로 근해자망 74.9%, 근해안강망 17.1%, 쌍끌이대형저인망 1.4% 그리고 외끌이대형저인망 6.5%로 조사되었다(통계청, 2024).

다음으로 TAC 참여 업종별 참조기 판매 단위 가격 자료는 수산업협동조합중앙회의 어업경영조사 자료를 참고하였으며, 다음 <표 IV-7>에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 최종적으로 최근 5개년도(2019-2023년) 참조기 판매 단위 가격의 평균값을 활용하였다. 구체적으로 살펴보면, 근해자망 10,887천 원/톤, 근해안강망 3,953천 원/톤, 쌍끌이대형저인망 3,643천 원/톤, 그리고 외끌이대형저인망 4,004천 원/톤으로 조사되었다.

<표 IV-7> TAC 참여 업종별 참조기 판매 단위 가격(2019-2023년)

(단위: 천 원/톤)

연도	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
2019	9,238	5,597	3,062	*5,076
2020	9,159	4,644	3,760	*5,107
2021	8,293	*3,625	*3,329	3,264
2022	13,438	*3,402	*4,762	2,938
2023	14,308	*2,498	*3,300	3,637
평균	10,887	3,953	3,643	4,004

자료: 어업경영조사보고 (2024), *어업경영조사보고 자료 부재

누락된 판매 단위 가격의 경우, 참조기 원가배부율을 고려한 업종별 어업수익을 업종별 참조기 어획량으로 나누어 각각 도출하였다. TAC 참여 업종별 경영체당 참조기 어업수익은 최종적으로 경영체 수를 고려하여 다음 <표 IV-8>에 나타난 바와 같이 도출하였다. 구체적으로 근해자망 4.91억 원, 근해안강망 0.77억 원, 쌍끌이대형저인망 0.31억 원, 그리고 외끌이대형저인망 1.49억 원으로 조사되었다.

<표 IV-8> TAC 참여 업종별 경영체 수 및 경영체당 참조기 어업수익

(단위: 개, 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
경영체수	373	197	38	39
어업수익	491,849	77,351	31,550	149,824

다음으로 참조기 TAC에 참여하고 있는 업종별 경영체당 참조기 어업비용을 도출하기 위해서는 TAC 참여 업종별 경영체당 어업비용 자료 및 TAC 참여 업종별 참조기 원가배부율 자료가 필요하다. 먼저, TAC 참여 업종별 경영체당 어업비용 자료는 통계청의 수산업협동조합중앙회 어업경영조사 자료를 참고하였으며, 다음 <표 IV-9>에 나타난 바와 같다. 본 연구에서는 최종적으로 최근 5개년도(2019-2023년) 경영체당 어업비용의 평균값을 활용하였으며, 구체적으로 근해자망 8.99억 원, 근해안강망 9.02억 원, 쌍끌이대형저인망 38.6억 원, 그리고 외끌이대형저인망 7.26억 원으로 조사되었다.

<표 IV-9> TAC 참여 업종별 경영체당 어업비용(2019-2023년)

(단위: 천 원/경영체)

연도	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
2019	776,014	777,896	4,019,428	646,544
2020	905,720	875,058	3,359,486	691,658
2021	894,799	872,193	3,548,492	676,526
2022	927,454	948,995	4,326,253	801,920
2023	994,603	1,038,329	4,096,015	817,234
평균	899,718	902,494	3,869,935	726,776

자료: 통계청 (2024b)

다음 <표 IV-10>에 나타난 TAC 참여 업종별 참조기 원가배부율 평균값을 TAC 참여 업종별 경영체당 어업비용의 평균값에 고려하였으며, 이에 따른 결과로 다음 <표 IV-11>에서 보는 바와 같이 TAC에 참여하고 있는 4개 업종의 각 경영체당 참조기 어업비용을 도출하였다. 본 연구에서는 최종적으로 최근 5개년도(2019-2023년) 경영체당 참조기 어업비용의 평균값

을 활용하였다. 구체적으로 근해자망 3.23억 원, 근해안강망 0.70억 원, 쌍
 끝이대형저인망 0.30억 원, 그리고 외끝이대형저인망 0.83억 원으로 조사되
 었다.

<표 IV-10> TAC 참여 업종별 참조기 원가배부율 (2019-2023년)

(단위: %)

연도	근해자망	근해안강망	쌍끝이대형저인망	외끝이대형저인망
2019	42.35	8.87	0.59	5.93
2020	43.79	13.68	2.12	17.76
2021	37.26	7.95	0.49	11.40
2022	29.02	4.46	0.23	9.61
2023	29.02	5.08	0.76	12.20
평균	36.3	8.0	0.8	11.4

자료: 어업경영조사보고 (수협)

<표 IV-11> TAC 참여 업종별 경영체당 참조기 어업비용(2019-2023년)

(단위: 천 원/경영체)

연도	근해자망	근해안강망	쌍끝이대형저인망	외끝이대형저인망
2019	328,656	68,996	23,874	38,368
2020	396,641	119,719	71,291	122,865
2021	333,358	69,319	17,564	77,102
2022	269,185	42,286	10,072	77,091
2023	288,677	52,735	30,957	99,710
평균	323,303	70,611	30,752	83,027

자료: 통계청 (2024b)

2) 금지체장을 고려한 경영 분석

본 분석에서는 금지체장 설정에 따라 변화하는 체장별 참조기 판매 단위 가격 자료를 고려하였다. 구체적으로 체장별 참조기 판매 단위 가격은 부산공동어시장의 36개월(2021.09-2024.08)간 참조기 위판 실적 자료를 활용하였으며, 이에 따른 평균값을 분석에 최종적으로 활용하였다.

<표 IV-12> 부산공동어시장 위판 실적 평균값

(단위: kg, 원, 원/kg, cm)

어종	수량	금액	판매단가	체장 구간
참조기(4단)	30	1,040,000	34,667	`
참조기(5단)	75	1,687,143	22,625	`
참조기(6단)	72	1,706,700	23,704	26-30
참조기(7단)	66	1,243,250	18,945	21-25
참조기(8단)	495	5,607,375	11,328	18-20
참조기(9단)	1,862	11,580,000	6,219	17
참조기(10단)	5,716	20,665,626	3,615	16

자료: 부산공동어시장 (2024)

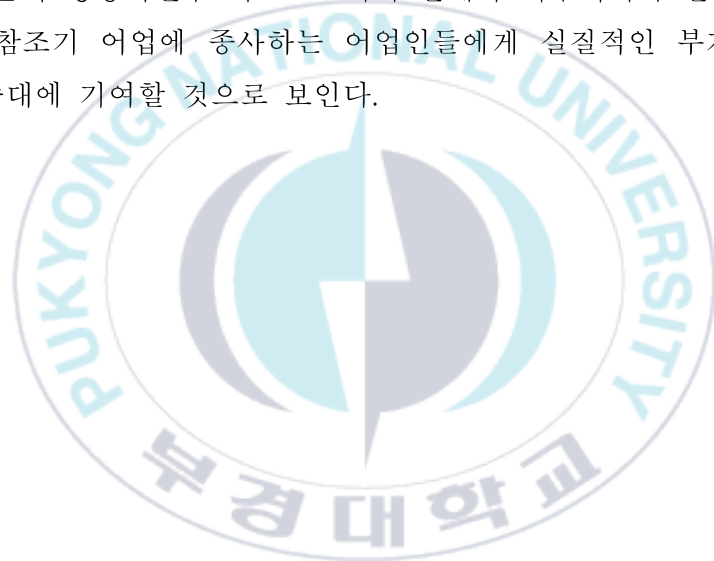
<표 IV-12>에 나타난 바와 같이, 현재 부산공동어시장에 위판되고 있는 참조기는 kg 당 최소 3,615원에서 최대 34,667원에 거래되고 있는 것으로 조사되었다. 참조기 4단 및 5단은 위판 물량이 극소량으로, 이에 따라 체장 구간이 집계되지 않은 것으로 나타났다(부산공동어시장, 2024).

구체적으로 살펴보면, 부산공동어시장에 위판되고 있는 참조기 중 최소 체장인 16cm 참조기 판매 단위 가격은 kg 당 3,615원인 반면, 17cm 6,219원, 18cm 11,328원, 21-25cm 18,945원, 그리고 26-30cm 23,704원으로 조사

되었다. 한편, 제주양식어류수협 내부자료에 따르면, 2017년 기준 참조기 생사료의 경우 kg당 693원에 거래되는 것으로 파악되고 있었다(이정삼 외 2018).

특히, 참조기는 크기별 가격 변동 폭이 높으며, 생사료 등 비식용으로 사용될 경우 극히 낮은 판매 단위 가격을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 예를 들어, 주로 어획된 16cm 참조기를 5-10cm 가량 성장 후 어획하면, 최소 5배에서 최대 6.5배 판매 단위 가격으로 판매할 수 있다.

따라서, 본 연구 대상인 참조기를 미성어 크기의 낮은 품질로 판매하기 보다는 충분히 성장시킨후 더 큰 크기의 판매가 이루어져야 한다고 판단된다. 이는 참조기 어업에 종사하는 어업인들에게 실질적인 부가가치 확대 및 소득 증대에 기여할 것으로 보인다.



V. 분석 결과

1. 참조기 수산자원평가

본 장에서는 참조기 체장 빈도 자료를 활용한 LBB 모델을 이용하여 참조기 수산자원평가 결과를 제시하였다. 본 연구 대상인 참조기 TAC 참여업종 중 쌍끌이대형저인망 및 외끌이대형저인망 어업에 대해서는 트롤 선택 곡선을 적용하였으며, 근해자망 및 근해안강망 어업은 자망 선택 곡선을 적용하여 분석을 수행하였다.

근해안강망은 조류가 빠른 곳에 어구를 설치하여 조업하는 어업으로 닻으로 고정시킨 후 조류에 떠밀려 온 수산자원이 끝자루까지 이동하여 어획하는 형태로 조업을 하고 있다(국립수산과학원, 2018). 이러한 조업 특성은 수산자원이 망에 조우하여 망목에 끼어 어획이 이루어지는 자망의 소극적인 어구 특성과 유사하다고 판단하여 자망 선택 곡선을 적용하였다.

<표 V-1>에 제시한 바와 같이, 분석 자료 중 참조기 전체 어업은 자망 선택 곡선을 적용한 분석 결과를 우선적으로 도출하였으며, 이후 트롤 선택 곡선을 적용한 분석 결과를 제시하였다. LBB 모델을 활용하여 추정된 분석 결과를 제시하는 과정 중 통계적 불확실성을 최소화하고 보다 정확한 결과 도출을 위하여 L_{∞} , L_c , F/K , Z/K , F/M , 그리고 M/K 은 중앙값을 비롯하여 95% 신뢰구간(Confidence interval) 기준 하한 및 상한의 범위까지 제시하였다(Froese et al., 2018).

<표 V-1> LBB 모델을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과

구분	전체 어업 (자망 선택 곡선)	전체 어업 (트롤 선택 곡선)
L_{∞} (cm)	41.12 (40.3~41.8)	41.56 (41.3~42.7)
L_{opt} (cm)	28	27
L_{c-opt} (cm)	26	26
${}^2)L_c$ (cm)	.	16.77 (16.7~16.9)
L_{mean}/L_{opt}	0.54	0.77
F/K	4.36 (3.88~4.48)	6.66 (5.95~7.22)
Z/K	5.42 (5.01~5.98)	8.31 (7.8~8.74)
F/M	2.94 (2.27~3.68)	4.3 (3.44~5.55)
M/K	1.34 (1.08~1.64)	1.5 (1.27~1.83)

<표 V-1>에 나타난 바와 같이, 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 점근적 최대 체장 L_{∞} 은 41.12cm, 95% 신뢰구간 범위는 40.3에서 41.8 사이로 나타났다. 적정가입체장 L_{opt} 은 28cm, 그리고 최적어획개시체장 L_{c-opt} 은 26cm로 추정되었다.

2) 어획개시체장 L_c 은 LBB 모델 특성 상 트롤 선택 곡선을 적용한 경우에만 도출됨

다음으로 L_{mean}/L_{opt} 은 참조기 체장 구간별 분포 형태를 나타내는 비율로 상업 어종의 지속 가능성을 평가하는 지표이다(Froese et al., 2018). 어획 등 외부 요인의 영향이 있더라도 안정적인 체장 구간을 유지하기 위해서는 L_{mean}/L_{opt} 이 0.9 이상이어야 하지만, 0.54로 다소 낮게 도출되었다.

이에 따라, 현재 참조기 수산자원은 어획의 영향을 다소 받아 부분적으로 단절된, 즉 불안정한 체장 분포를 띠고 있는 것으로 판단된다(MSFD, 2008; COM, 2017; Froese et al., 2018). 성장계수 대비 어획 사망률 F/K 은 4.36, 95% 신뢰구간 범위는 3.88에서 4.48 사이로 나타났으며 성장계수 대비 총 사망률 Z/K 은 5.42, 95% 신뢰구간 범위는 5.01에서 5.98 사이로 나타났다.

위의 분석 결과를 종합하였을 때 현재 참조기 수산자원은 성장 및 산란 과정에서 높은 어획 강도의 영향을 받고 있으며 산란 가능 크기에 도달하기 전 사망하는 비율이 큰 것으로 판단된다. 따라서, 참조기 수산자원은 남획에 따른 높은 고갈 위험에 처해 있으며 현 수산자원회복 조치보다 강화된 수산자원회복을 위한 노력이 필요한 것으로 보인다.

마지막으로 상대적 어획사망률을 나타내는 F/M 은 2.94, 95% 신뢰구간 범위는 2.27에서 3.68로 나타났다. 한편, LBB 모델을 통해 추정된 F/M 은 여타 다른 수산자원평가모델을 통해 도출되는 상대적 어획사망률 F/F_{MSY} 와 동일한 해석을 하는 데 한계를 지닐 수 있다.

구체적으로 최근 어획 등 외부 요인이 지속적으로 감소할 때, 참가자미 (*Pleuronectes platessa*), 북대서양 대구(*Pollachius virens*) 그리고 도버 서대기(*Solea solea*)와 같이 F_{MSY} 가 자연사망률(M)보다 큰 어종일 때, F/M 은 F/F_{MSY} 보다 높게 추정될 수 있다고 보고된 바 있다(ICES, 2017). 그럼에도 자료 수준이 낮은 상황 속에서 F/M 은 지속 가능한 수산자원관리 기준 참조점 또는 예비 지침으로 사용될 수 있다(Froese et al., 2018).

따라서 현재 참조기에 가해지는 어획 강도가 다소 높은 수준으로 평가되었다. 향후 참조기 자원관리를 위한 수단에 있어서 특히 어획사망률을 줄일 수 있도록 감척과 같은 어획 강도 제한이 필요할 것으로 보인다.

이후 트롤 선택 곡선을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과 역시 자망 선택 곡선을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과와 유사하게 도출되었다. 구체적으로 살펴보면, 점근적 최대 체장 L_{∞} 은 41.56cm, 적정가입체장 L_{opt} 은 27cm, 최적어획개시체장 L_{c-opt} 은 26cm, 마지막으로 어획개시체장 L_c 은 16.7cm로 도출되었다. 어획개시체장 L_c 에 비해 최적어획개시체장 L_{c-opt} 이 10cm 가량 높은 점을 고려하였을 때, 현재 참조기는 성장 남획의 징후가 나타나고 있는 것으로 판단된다(Froese et al., 2018). L_{mean}/L_{opt} 은 0.77로 분석되었으며 F/K , Z/K 그리고 F/M 은 각 6.66, 8.31, 그리고 4.3로 앞서 제시된 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 $F/K(4.36)$, $Z/K(5.42)$ 그리고 $F/M(2.94)$ 보다 다소 높게 나타났다.

본 연구에서 활용된 LBB 모델은 M , K , 그리고 F 등 각 매개변수의 변동성을 완화하기 위해 M/K 및 F/M 등 비율을 활용하여 분석하였다(Froese et al., 2018). M/K 은 수산자원의 생활사를 나타내며 일반적으로 산란 능력, 체장 그리고 체중이 최대가 되는 1.5를 기준으로 판단한다(Jensen et al., 1996; Froese et al., 2016). 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 M/K 은 1.34 95% 신뢰구간 범위는 1.08에서 1.64로, 수산자원 표준 생활사(1.5)보다 낮게 나타났다.

따라서 참조기는 상대적으로 성장률에 비해 자연 사망률이 낮으며, 성장 속도가 빠르지 않아 상대적으로 늦은 연령에 최대 코호트(cohort) 자원량에 이를 수 있는 어종으로 판단된다(Froese et al., 2016). 이에 따라, 참조기 수산자원은 상대적으로 낮은 사망률로 인해 급격하게 자원량이 감소하지 않을 것으로 전망되지만, 일단 참조기 수산자원이 한번 감소하면 회복하는데 오랜 시간이 소요될 수 있다는 점을 간과해서는 안 된다. 이와 더불어, 상대적으로 늦은 연령일 때 최대 코호트(cohort) 자원량에 다다르므로, 최소 1세 연령 참조기 수산자원은 반드시 보호하여야 한다고 판단된다.

국내의 참조기 연령 및 성장 연구에서 추정된 참조기 1세 연령에 따른 체장은 약 16cm이다(이만우 외, 2000; 김영혜 외, 2006; 김한주 외, 2024). 현재 참조기 수산자원의 금지체장이 15cm인 점을 감안하였을 때, 산란 자

원 보호 및 최근 감소된 참조기 수산자원 회복을 위해서는 우선적으로 금지체장 상향이 이루어져야 한다고 판단된다.

앞서 제시한 <표 III-1>에 나타난 바와 같이 쌍끌이대형저인망어업 및 외끌이대형저인망어업의 참조기 어획 비중은 각각 1.2% 및 6.6%, 그리고 근해자망 및 근해안강망은 각각 65.0% 및 13.8%으로 조사되었다. 따라서, 본 연구에서 활용된 참조기 자원은 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 분석 결과가 보다 실효성 있다고 판단된다.

본 연구의 LBB 모델을 활용하여 추정된 참조기의 점근적 최대 체장 L_{∞} 41.12cm는 김한주 외 (2024) 연구 결과와 유사하게 나타났다. 구체적으로 김한주 외 (2024)는 본 버틀란피 성장식을 통해 점근적 최대 체장 L_{∞} 을 추정하였다. 이 과정 속에서 894개체 참조기의 연령 및 실측 전장(TL, Total length)이 활용되었으며, 41.24cm로 추정되었다. 이러한 추정 결과는 LBB 모델의 신뢰성을 뒷받침할 수 있을 것이라고 본다. 또한, 어획량 자료의 불확실성이 많은 상황 속에서 체장 빈도 자료를 활용한 새로운 수산자원평가모델로서 LBB 모델의 활용 가능성을 시사한다.

LBB 모델을 활용한 참조기 TAC 참여 업종별 분석 결과는 다음 <표 V-2>에 나타난 바와 같다. 추정된 매개변수를 종합적으로 살펴보았을 때, 외끌이대형저인망의 값이 다른 3개 업종에 비해 낮게 도출된 것으로 나타났다.

<표 V-2> LBB 모델을 활용한 참조기 TAC 참여 업종별 분석 결과

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
L_{∞} (cm)	41.07 (40.2~42)	38.67 (37.8~39.3)	38.6 (38~39.5)	34.49 (33.9~35.3)
L_{opt} (cm)	28	27	27	23
L_{c-opt} (cm)	24	25	26	20
L_c (cm)	.	.	18.46 (18.4~18.6)	12.73 (12.6~12.9)
L_{mean}/L_{opt}	0.58	0.51	0.74	0.43
F/K	2.77 (1.88~4.49)	5.04 (4.94~5.07)	8.13 (7.19~8.85)	3.06 (2.7~3.97)
Z/K	4.13 (3.21~6.06)	6.03 (5.78~6.36)	9.73 (8.92~10.4)	4.57 (4.23~5.38)
F/M	2.00 (1.3~2.87)	3.85 (3.21~4.78)	7.71 (6.16~9.81)	2.03 (1.6~2.84)

구체적으로 살펴보면, 점근적 최대 체장 L_{∞} 은 근해자망 41.07cm, 95% 신뢰구간 40.2cm에서 42cm로 가장 높게 나타났으며, 근해안강망(38.67cm, 95% 신뢰구간 37.8-39.3cm) 및 쌍끌이대형저인망(38.6cm, 95% 신뢰구간 38-39.5cm)이 뒤를 잇는다. 외끌이대형저인망 점근적 최대 체장 L_{∞} 은 34.49cm, 95% 신뢰구간 33.9cm에서 35.3cm로 다소 낮게 추정되었다. 적정 가입체장 L_{opt} 은 근해자망, 근해안강망, 그리고 쌍끌이대형저인망의 경우 약 27cm로 유사하게 도출된 반면, 외끌이대형저인망의 23cm로 다소 낮게 도출되었다.

최적어획개시체장 L_{c-opt} 는 근해자망 24cm, 근해안강망, 25cm, 쌍끌이대형저인망 26cm로 나타났으며, 외끌이대형저인망은 20cm로 다소 낮게 조사되었다. 어획개시체장 L_c 의 경우, 쌍끌이대형저인망은 18.46cm로, 트롤 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 어획개시체장 L_c (16.7cm 95% 신뢰구간 16.7-16.9cm)보다 높게 도출되었으며, 95% 신뢰구간 범위는 18.4에서 18.6으로 나타났다. 한편, 외끌이대형저인망은 12.73cm, 95% 신뢰구간 범위는 12.6에서 12.9로, 다소 낮게 도출되었다.

현재 쌍끌이대형저인망 및 외끌이대형저인망 그물코 규격 제한은 각 54mm 및 33mm 이하로 규정되어 있다(법제처, 2024b). 한편, 이러한 망목 규정에도 불구하고 유체저항으로 인해 끝자루 부분의 망목이 닫히는 등 미성어 어획률이 높아질 우려가 있다(국립수산과학원, 2011).

특히 트롤어업의 경우, 합리적인 망목 크기를 적용하면 참조기 미성어에 대한 어획 강도를 줄일 수 있다고 보고된 바 있다(Chen et al., 2018). 이에 따라, 참조기 미성어 보호 정책의 일환으로 참조기 TAC 참여 업종인 쌍끌이대형저인망 및 외끌이대형저인망 그물코 규격을 합리적인 크기로 재산정할 필요성이 있어 보인다.

참조기의 체장 구간별 분포 형태는 각 업종별로 다소 상이한 결과로 나타났다. 근해자망 및 근해안강망 L_{mean}/L_{opt} 은 각 0.58 및 0.51로 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업의 L_{mean}/L_{opt} (0.54)와 유사하게 도출되었다. 쌍끌이대형저인망의 L_{mean}/L_{opt} 은 0.74로 도출된 반면, 외끌이대형저인망의 L_{mean}/L_{opt} 은 0.43로 다소 낮게 도출되었다.

F/K 는 쌍끌이대형저인망 8.13 (95% 신뢰구간 7.19-8.85)로 가장 높게 도출되었으며, 근해안강망 5.04 (95% 신뢰구간 4.94-5.07), 외끌이대형저인망 3.06 (95% 신뢰구간 2.7-3.97), 그리고 근해자망 2.77 (95% 신뢰구간 1.88-4.49)이 뒤를 잇는다. 근해자망의 Z/K 은 4.13, 95% 신뢰구간 3.21-6.06로 참조기 TAC 참여 업종 중 가장 낮게 나타났으며, 쌍끌이대형저인망은 9.73, 95% 신뢰구간 8.92-10.4로 다소 높게 분석되었다. 계속해서 근해안강망 6.03, 95% 신뢰구간 5.78-6.36, 외끌이대형저인망 4.57, 95% 신뢰구간

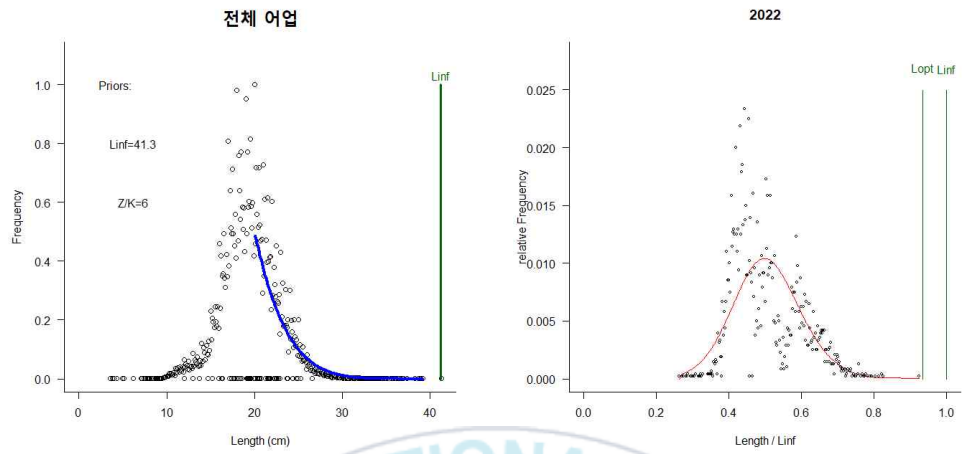
4.23-5.38로 도출되었다.

근해자망 및 근해안강망 F/M 은 각각 3.85 (95% 신뢰구간 3.21-4.78), 2.00 (95% 신뢰구간 1.3-2.87)로 참조기 전체 어업과 유사하였고, 외끌이대형저인망 F/M 은 2.03, 95% 신뢰구간 1.6-2.84로 도출된 반면, 쌍끌이대형저인망 F/M 은 7.71, 95% 신뢰구간 6.16-9.81로 가장 높게 추정되었다. 참조기 TAC 참여 업종 모두 상대적으로 높은 어획 사망률 수준인 점을 고려하였을 때, 참조기 어업의 어획 강도가 전반적으로 높은 수준으로 판단된다.

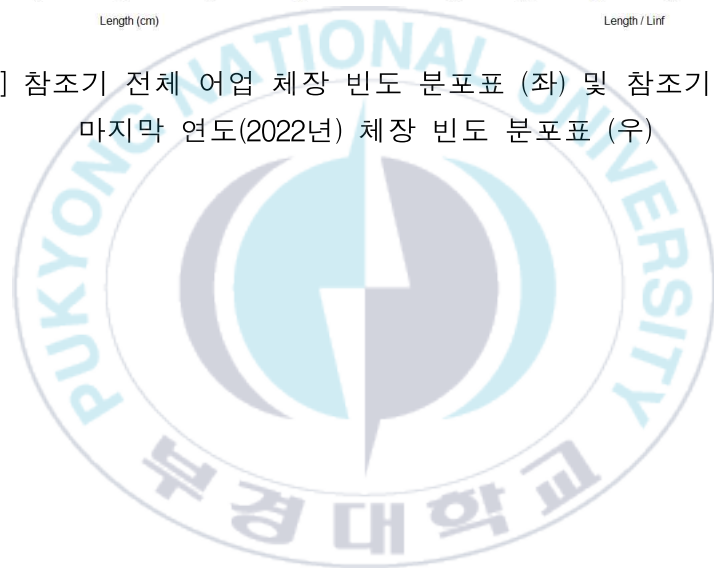
LBB 모델을 활용하여 추정된 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 체장 빈도 분포는 다음 [그림 V-1]에 나타난 바와 같다. [그림 V-1] (좌) 분포표는 표준화된 체장 빈도 분포표이며, 이때에 과란 곡선은 각 체장 구간에 반영되어 L_{∞} 의 사전값을 추정하였다. [그림 V-1] (우) 분포표 빨간 곡선은 M/K 및 L_{∞} 추정에 반영되었으며, 추정된 M/K 으로부터 적정가입체장 L_{opt} 을 추정하게 된다.

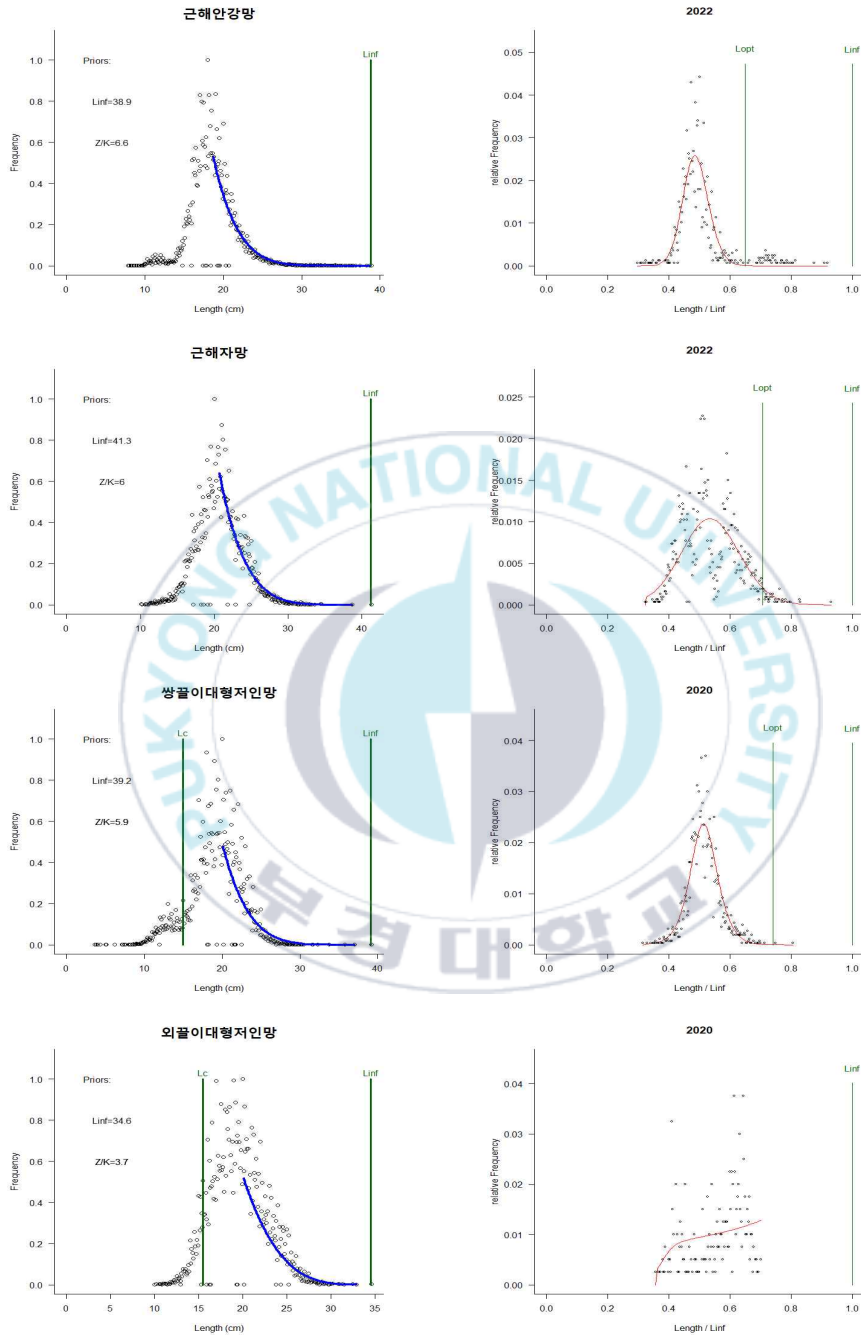
체장 빈도 분포 중앙 또는 좌측 지점에 적정가입체장 L_{opt} 이 위치하여야 해당 수산자원의 체장 분포가 균형 잡힌 구조임을 나타내지만(Froese et al., 2018), [그림 V-1](우) 분포표 및 [그림 V-2](우) 분포표에 제시된 적정가입체장 L_{opt} 은 체장 빈도 곡선 우측 지점에 위치하고 있는 것으로 나타났다.

따라서, 참조기 체장 구조는 불균형하며 부분적으로 단절된 체장 구조를 지니고 있는 것으로 판단된다. 외끌이대형저인망어업 참조기 체장 빈도 분포표의 경우 종 모양의 정규분포를 띠지 않은 형태를 띠고 있는데, 해당 어업 분석 자료의 일부 누락으로 인해 대표성을 갖지 못한 한계로 판단된다.



[그림 V-1] 참조기 전체 어업 체장 빈도 분포표 (좌) 및 참조기 전체 어업
 마지막 연도(2022년) 체장 빈도 분포표 (우)





[그림 V-2] 참조기 TAC 참여 업종별 체장 빈도 분포표 및 업종별 마지막 연도 체장 빈도 분포표

마지막으로 LBB 모델을 통해 분석된 자연 상태의 기초 자원량 대비 현재 자원량(B/B_0), 그리고 B_{MSY} 대비 마지막 연도 자원량(B/B_{MSY})은 <표 V-3>에 나타난 바와 같다. B/B_0 가 0.4보다 작을 때 이미 남획이 진행되고 있음을 의미하는데(Ye, 2011; Froese et al., 2018), 전체 어업의 B/B_0 은 현재 자원량이 자연 상태의 기초 자원량 대비 49% 수준으로 평가되었다.

한편, 참조기 수산자원은 앞서 추정된 다소 높은 F/K , Z/K , 그리고 F/M 등 높은 어획 강도의 영향으로 고갈 위험 정도가 크며, 생활사 특성 (M/K)에 따라 수산자원 회복까지 오랜 시간이 필요할 것으로 분석되었다.

따라서, 남획 위험 정도가 커지지 않도록 선제적인 수산자원회복 조치가 이루어져야 한다고 본다. 더불어 참조기 수산자원 어업인들의 수익이 감소되지 않기 위한 노력들이 수반되어야 한다고 판단된다.

<표 V-3> LBB 모델을 활용한 참조기 전체 어업 분석 결과

구 분	B/B_0	B/B_{MSY}
전체 어업 (자망 선택 곡선)	0.49 (0.291~0.742)	0.68 (Overfished)

본 연구에서 분석된 참조기 자원량 평가는 현재 참조기 자원량이 자연 상태의 기초 자원량에 비해 낮은 점에서 Wang et al. (2021) 및 Han et al. (2023)과 유사하게 나타났다. 구체적으로 Wang et al. (2021) B/B_0 이 0.13로 나타났는데, 분석 자료에서 차이를 보이고 있었다. 예를 들어, Wang et al. (2021)의 분석 자료는 참조기 1개년(2018년) 표준 체장(SL, Standard Length) 656개체를 활용하였다. 해당 분석 자료의 참조기 평균 체장은 12.4cm로, 본 연구의 2022년 참조기 평균 체장(21.32cm)과 다소 차이를 보인다.

다음으로 Han et al. (2023) B/B_0 은 Schaefer 모델을 통해 분석되었으며, 2020년 기준 0.324로 나타났다. 본 연구에서 LBB 모델을 활용하여 도출된

참조기 전체어업 B/B_0 은 0.49로, 선행연구의 결과보다 높지만, 현재 참조기 자원량은 기초 자원량에 비해 낮은 상태인 점은 공통적으로 나타났으며, 이를 통해 참조기 자원 회복을 위한 노력이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

다음으로 LBB 모델에서 추정된 참조기 전체 어업 마지막 연도 자원량은 B_{MSY} 대비 68% 수준으로 선행연구에 따라 'Overfished'로 평가되었다. 본 연구에서 추정된 참조기 자원상태 분석 결과는 마지막 연도 참조기 자원량이 B_{MSY} 대비 낮은 점에 대해서 국내 뿐 아니라 중국에서도 유사하게 나타났다. 구체적으로 국내 참조기 수산자원평가 연구의 경우, Kwon et al. (2020)은 ME 모델을 통해 분석된 2018년 기준 B/B_{MSY} 는 0.31로, 최민제 외 (2020)은 BSS 모델을 활용하여 추정한 2018년 기준 B/B_{MSY} 는 0.85로 분석되었다.

다음으로 중국 참조기 수산자원평가 연구의 경우, Han et al. (2023)은 Schaefer 모델을 활용하여 2020년 기준 B/B_{MSY} 0.65로 추정하였다. 또한, Zou et al. (2024)은 Pella-Tomlinson 모델을 활용하여 2022년 기준 B/B_{MSY} 0.68로 분석하였다. 마지막으로 본 연구는 LBB 모델을 통해 추정한 2022년 기준 B/B_{MSY} 은 0.68로 국내외 선행연구의 참조기 자원량 상태 평가와 유사한 것으로 나타났다.

2. 참조기 생물경제학적 분석

본 장에서는 금지체장 상향에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화를 제시하고자 한다. 생물경제학적 분석은 어업관리수단에 따른 자원량의 동태적 변화 및 경영 성과에 대한 동태적 변화를 모두 예측할 수 있는 장점을 지닌다(한국해양수산개발원, 2005).

한편, 본 연구 참조기 수산자원평가에 활용된 LBB 모델 특성 상 자원량의 동태적 변화 추정에 한계를 지닌다. 이에 따라, 어획량 및 자원량 간 비례관계를 기반으로 MSY 수준에 다다를 수 있는 어획량(H_{MSY})을 추정 및 활용하여 생물경제학적 분석을 수행하였다.

생물경제학적 분석을 수행하기 위해서는 H_{MSY} 수준 추정이 선행되어야 한다. H_{MSY} 수준은 자망 선택 곡선을 적용한 참조기 전체 어업 B/B_{MSY} 으로부터 추정할 수 있다. LBB 모델을 활용한 참조기 전체 어업 B_{MSY} 대비 현재 자원량(B) 수준이 68%로 나타났다. 통상적으로 어획량은 자원량에 비례하므로 H_{MSY} 로도 표현할 수 있다. 즉, H_{MSY} 수준은 현 수준 대비 32% 추가 어획하였을 때 MSY 수준에 다다를 수 있는 어획량 수준으로 해석할 수 있다.

따라서, H_{MSY} 은 최근 5개년도(2019-2023년) TAC 참여 업종별 참조기 평균 생산량(22,490톤)에 32% 추가 어획한 29,687톤으로 산정할 수 있다. 여기서, 참조기 적정가입체장 L_{opt} 인 28cm 구간 참조기 어획 시 B_{MSY} 수준에 다다를 수 있는 분석 결과를 기반으로 금지체장 28cm 설정 시 H_{MSY} (29,687톤) 수준에 도달할 것으로 가정할 수 있다.

한편, 향후 금지체장 조정이 이루어지면 금지체장 상향에 따른 어획 감소로 인해 초기 어획량은 감소될 것이다. 따라서, 금지체장 상향에 따라 단기간 어획량이 감소한 후 참조기의 재생산이 점진적으로 이루어져 어획량이 증가하여 유지될 것으로 가정하였다. 이에 따라, 금지체장 16cm, 17cm, 20cm, 그리고 L_{opt} (28cm) 상향 시 발생하는 어획 감소, 어획 감소 기간, 참

조기 재생산 기간, 금지체장에 따른 H_{MSY} 수준의 어획량 그리고 금지체장에 따른 참조기 판매 단위 가격 등이 종합적으로 고려되어야 한다.

먼저, 어획 감소의 경우 본 연구 분석 자료 중 최근 5개년(2018-2022년) 체장 빈도 자료를 활용하여 설정하였다. 구체적으로, 최근 5개년(2018-2022년) 개체수(22,490)를 대상으로 금지체장 상향에 따라 현 수준 대비 감소하는 개체수 비율을 어획량 감소율로 가정하였다. 예를 들어, 금지체장을 16cm로 설정하였을 때, 최근 5개년(2018-2022년) 개체수(22,490) 중 현 금지체장(15cm) 및 16cm 사이에 해당하는 개체수 비율을 어획량 감소율로 적용하였다. 이를 나타내면 다음 <표 V-4>에서 보는 바와 같다.

<표 V-4> 최근 5개년 체장 빈도 자료 및 어획량 감소율
(단위: 개)

구분	개체수	감소율
16cm (15-16cm)	1,349	6%
17cm (15-17cm)	3,823	17%
20cm (15-20cm)	5,847	26%
L_{opt} (28cm) (15-28cm)	12,369	55%
합계	22,490	

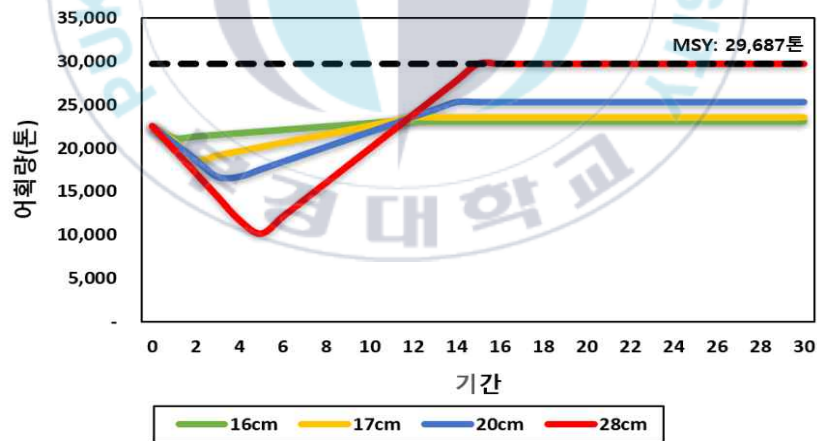
어획 감소 기간은 16cm 1년, 17cm 2년, 20cm 3년, 그리고 L_{opt} (28cm)은 금지체장 간격을 고려하여 5년으로 설정하였으며, 참조기 재생산 기간의 경우 참조기의 수명을 바탕으로 10년으로 가정하였다(국립수산과학원, 2010). 금지체장에 따른 어획량은 현 금지체장(15cm)에 따른 어획량 및 적정가입체장 L_{opt} 에 따른 H_{MSY} 관계를 활용하여 다음 <표 V-5>와 같이 제시하였다.

<표 V-5> 금지체장에 따른 어획량

(단위: 톤)

구분	16cm	17cm	20cm	$L_{opt}(28cm)$
근해자망	17,266	17,681	18,925	22,244
근해안강망	3,950	4,045	4,329	5,088
쌍끌이대형저인망	341	349	365	429
외끌이대형저인망	1,495	1,531	1,639	1,926
합계	23,044	23,598	25,258	29,687

상기 가정들을 고려한 금지체장에 따른 어획량은 다음 [그림 V-3]에 나타난 바와 같다. 향후 30개년간 참조기 TAC 참여 업종별 어획량은 최근 5개년도(2019-2023년) 평균 어획량 비중을 고려하여 각각 추정하였다.



[그림 V-3] 금지체장에 따른 어획량

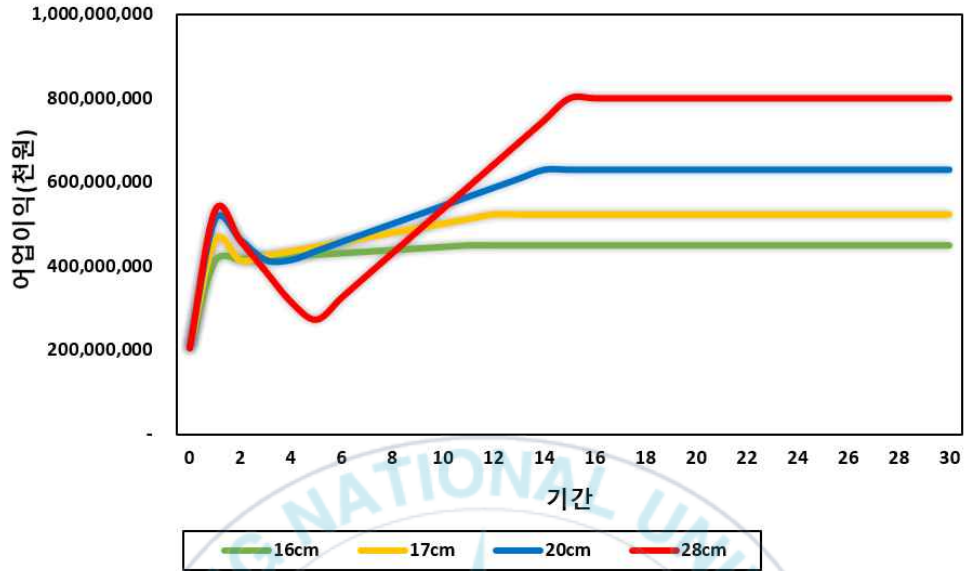
마지막으로 금지체장에 따른 참조기 판매 단위 가격은 부산공동어시장 위판 실적을 참고하였다. 다음 <표 V-6>와 같이 제시하였으며, 본 연구에서는 참조기 체장별 판매 단위 가격의 평균값을 최종적으로 활용하였다.

<표 V-6> 금지체장에 따른 참조기 판매 단위 가격

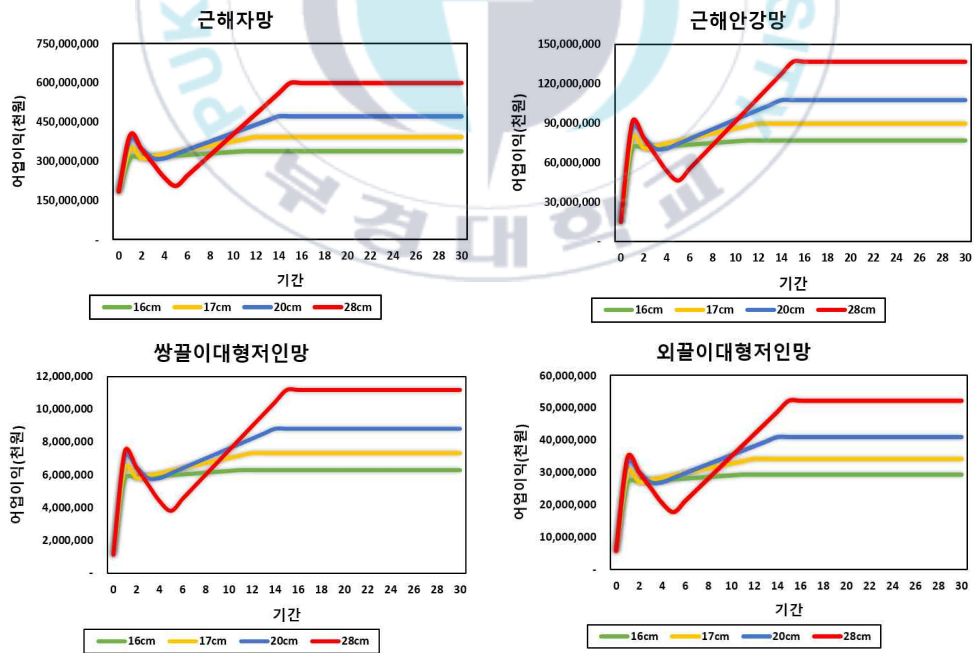
(단위: 원, cm, 원)

구분			16cm	17cm	20cm	L_{opt} (28cm)
어종	판매단가	체장구간				
참조기 (4단)	34,667	·	O	O	O	O
참조기 (5단)	22,625	·	O	O	O	O
참조기 (6단)	23,704	26-30	O	O	O	O
참조기 (7단)	18,945	21-25	O	O	O	·
참조기 (8단)	11,328	18-20	O	O	·	·
참조기 (9단)	6,219	17	O	·	·	·
참조기 (10단)	3,615	16	·	·	·	·
평균			19,581	22,254	24,985	26,998

금지체장 설정에 따른 향후 30개년간 참조기 시나리오별 전체 어업이익은 다음 [그림 V-4]에 보는 바와 같다. 금지체장 상향에 따라 1년을 제외한 단기간 어업이익은 어획 감소로 인해 감소하지만, 참조기의 재생산 기간 이후 증가되는 어획량 및 크기별 큰 폭의 판매 단위 가격 등의 요인 등으로 장기적으로 어업이익이 증가하는 것을 알 수 있었다. 다음 [그림 V-5]에서 보는 바와 같이, 금지체장 설정에 따른 향후 30개년간 참조기 TAC 참여 업종별 어업이익 변화 역시 유사한 어업이익 변화 양상을 보였다.



[그림 V-4] 금지체장 설정에 따른 참조기 전체 어업이익



[그림 V-5] 금지체장 설정에 따른 참조기 업종별 어업이익

금지체장 16cm 설정 시 다음 1년은 현 어획량(22,490톤)에 6% 감소된 21,141톤으로 설정되었으며, 이후 10년의 재생산 기간을 거쳐 다음 11년 23,044톤까지 증가한 것으로 가정하였다. 여기서, 참조기 판매 단위 가격은 <표 V-6>에 따라 19,581원으로 설정되었다.

이에 따른 결과로, [그림 V-4]에 나타난 바와 같이, 금지체장 16cm 설정 시 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익은 다음 1년에 급격히 증가한 후, 비슷한 수준으로 어업이익이 유지되고 있는 것으로 나타났다. 특히, 어획량은 감소한 반면, 어업이익은 급격하게 증가한 것은 참조기의 크기별 큰 폭의 판매 단위 가격에서 비롯된 것으로 판단된다.

향후 30개년간의 어업이익을 현재 가치로 환산하게 되면 다음 <표 V-7>에서 보는 바와 같다. 구체적으로 근해자망 5,553,532,304천 원, 근해안강망 1,241,284,471천 원, 쌍끌이대형저인망 101,096,174천 원, 외끌이대형저인망 470,936,882천 원으로 추정되었다.

<표 V-7> 금지체장 16cm 설정 시 참조기 TAC 참여 업종별 NPV

(단위: 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
NPV	5,553,532,304	1,241,284,471	101,096,174	470,936,882

금지체장 17cm 설정 시 다음 2년까지 현 어획량(22,490톤)에 17% 감소된 18,667톤으로 설정되었으며 이후 10년간 참조기의 재생산이 이루어진 후, 다음 12년 23,598톤까지 증가한 것으로 가정하였다. 여기서, 참조기 판매 단위 가격은 <표 V-6>에 따라 22,254원으로 설정되었다.

어획 감소로 인해 금지체장 16cm 설정 대비 2년 어업이익 감소폭이 크지만, 점진적으로 상승하여 증가하는 것으로 나타났다. 향후 30개년간의 어업이익을 현재 가치로 환산하게 되면 다음 <표 V-8>에서 보는 바와 같다. 구체적으로 근해자망 6,175,353,712천 원, 근해안강망 1,383,249,038천

원, 쌍끌이대형저인망 112,719,004천 원, 외끌이대형저인망 524,900,021천 원으로 추정되었다.

<표 V-8> 금지체장 17cm 설정 시 참조기 업종별 NPV

(단위: 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
NPV	6,175,353,712	1,383,249,038	112,719,004	524,900,021

97.5% 성숙체장, 즉 대다수 참조기가 성숙에 이르는 체장이 17cm인 점을 고려하였을 때(강희중 외, 2020) 금지체장 17cm 설정 시, 미성어의 어장 가입이 늘어남과 동시에 산란 가능한 어미 고기 증가로 인한 자원가입량이 증대될 것으로 보인다. 이에 따른 결과로 참조기 수산자원 회복뿐 아니라 참조기 TAC 참여 업종별 종사자들에게 다소 큰 경제적 이익을 가져다줄 것으로 판단된다.

수산자원이 최소 1회 산란 이후 어획된다면 다소 높은 어획 사망률에도 수산자원이 남획될 가능성이 크게 감소하며, 어획되기 전 성장 및 산란할 기회를 제공하는 것이 향후 어업인들에게 더 큰 수익을 가져다줄 수 있다(Graham, 1935; Beverton and Holt, 1957; Garcia and Demetropoulos 1986; Vasilakopoulos et al., 2015).

이에 따라, 본 금지체장은 이만우 외 (2000), 김영혜 외(2006), 그리고 김한주 외 (2024) 연구에서 추정된 참조기 연령(2세)에 따른 체장(20cm, 19.8cm, 20.7cm)을 고려하여 20cm로 설정하였다.

금지체장 20cm 설정 시 향후 3년 시점까지 감소하는 어획량은 현 어획량(22,490톤)에 26% 감소된 16,643톤으로 설정되었으며 10년간 재생산이 이루어진 후, 다음 13년에 24,397톤까지 증가한 것으로 가정하였다. 여기서, 참조기 판매 단위 가격은 <표 V-6>에 따라 24,985원을 적용하였다.

이에 따른 결과로, 금지체장 20cm 설정 시 참조기 TAC 참여 업종별 경

영체당 어업이익은 1년 이후 3년까지 감소하는 것으로 나타났다. 구체적으로 3년 시점의 어업이익은 근해자망 311,130,250천 원, 근해안강망 71,035,607천 원, 쌍끌이대형저인망 5,790,810천 원, 외끌이대형저인망 26,945,652천 원으로 나타났다.

참조기의 재생산 기간 이후 30년까지의 어업이익은 점진적으로 증가하는 경향을 보였다. 구체적으로 참조기 재생산 기간 이후 13년의 어업이익은 근해자망 456,236,953천 원, 근해안강망 104,164,107천 원, 쌍끌이대형저인망 8,503,085천 원, 외끌이대형저인망 39,538,357천 원으로 분석되었다.

향후 30개년간의 어업이익을 현재 가치로 환산하게 되면 다음 <표 V-9>와 같이 나타낼 수 있으며, 구체적으로 근해자망 6,881,911,737천 원, 근해안강망 1,544,559,349천 원, 쌍끌이대형저인망 125,925,696천 원, 외끌이대형저인망 586,216,806천 원으로 추정되었다.

<표 V-9> 금지체장 20cm 설정 시 참조기 업종별 NPV

(단위: 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
NPV	6,881,911,737	1,544,559,349	125,925,696	586,216,806

위와 같이, 금지체장 20cm 설정 시 현 금지체장(15cm) 대비 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익이 향후 30개년까지 증가할 수 있는 결과는 금지체장 20cm 설정을 제안한 김한주 외 (2024) 연구를 뒷받침할 수 있을 것이라고 본다.

마지막으로, 금지체장 L_{opt} (28cm) 설정 시 향후 5년까지 감소하는 어획량은 현 어획량(22,490톤)에 55% 감소된 10,121톤으로 설정되었으며 10년의 재생산 기간 이후, MSY 수준에 다다를 수 있는 H_{MSY} (29,687톤) 수준까지 증가하는 것으로 가정하였다. 여기서, 참조기 판매 단위 가격은 <표 V-6>에 따라 26,998원이 적용되었다.

이에 따른 향후 30년간 어업이익은 5년까지 증감하다 지속적으로 증가하여 안정화되는 경향을 보였다. 구체적으로 5년 어업이익은 근해자망 204,341,941천 원, 근해안강망 46,655,366천 원, 쌍끌이대형저인망 3,794,767천 원, 외끌이대형저인망 17,678,309천 원으로 가장 낮게 나타났다.

한편, 재생산(10년) 이후 15년의 어업이익은 근해자망 600,002,465천 원, 근해안강망 136,986,407천 원, 쌍끌이대형저인망 11,190,291천 원, 외끌이대형저인망 52,014,669천 원으로 동일 연도 대비 가장 높게 나타난 것을 알 수 있다.

향후 30개년간의 어업이익을 현재 가치로 환산하게 되면 다음 <표 V-10>와 같이 나타낼 수 있다. 구체적으로 근해자망 7,416,665,820천 원, 근해안강망 1,666,646,062천 원, 쌍끌이대형저인망 135,921,100천 원, 외끌이대형저인망 632,624,036천 원으로 분석되었다.

<표 V-10> 금지체장 L_{opt} (28cm) 설정 시 참조기 업종별 NPV

(단위: 천 원)

구분	근해자망	근해안강망	쌍끌이대형저인망	외끌이대형저인망
NPV	7,416,665,820	1,666,646,062	135,921,100	632,624,036

다음 <표 V-11> 및 [그림 V-6]에 나타난 바와 같이 금지체장에 따라 변화하는 참조기 어업 NPV를 제시하였다. 먼저 현 금지체장(15cm)일 때의 어획량은 최근 5개년도(2019-2023년) 참조기 평균 어획량인 22,490톤로 설정되었으며, 향후 30개년간 유지되는 것으로 가정하였다. 이에 따라, 향후 30개년간 발생하는 미래 어업이익을 현재 가치로 환산한 참조기 TAC 참여 전체 NPV는 2,872,859,046천 원으로 분석되었다.

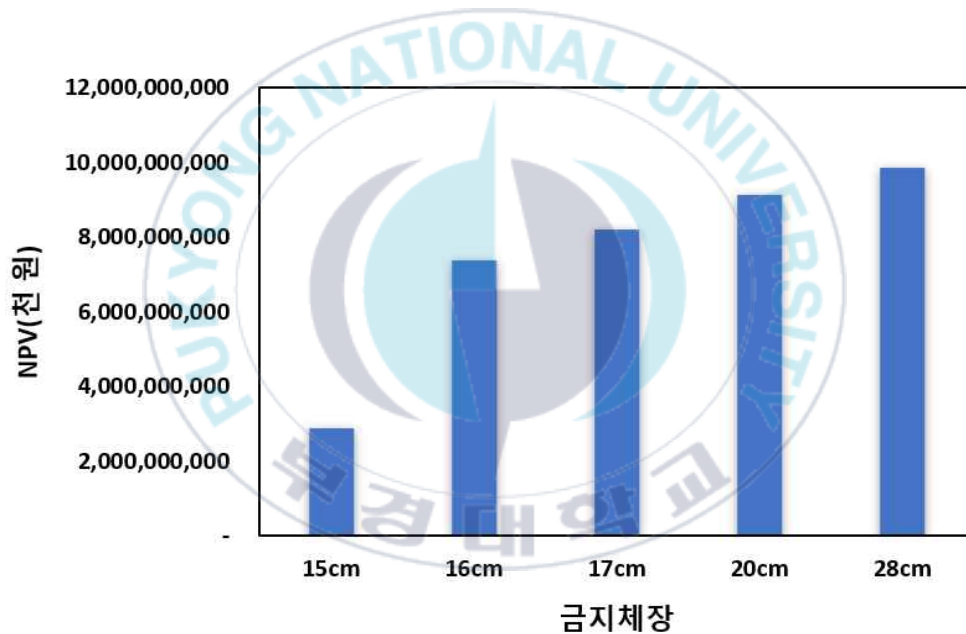
금지체장 16cm로 설정하였을 때 분석된 참조기 TAC 참여 전체 NPV는 7,366,849,832천 원으로 현 금지체장 대비 약 2.5배 증가된 것으로 나타났다. 다음으로 17cm 설정 시 8,196,221,775천 원, 20cm 설정 시 9,138,613,588천 원, 마지막으로 28cm(L_{opt}) 설정 시 9,851,857,017천 원으로 나타났다. 향후 금

금지체장 상향이 이루어졌을 때 미래에 발생하는 어업이익을 현재 가치로 환산한 NPV는 점진적으로 증가하는 것으로 추정되었으며, 특히 금지체장을 28cm(L_{opt}) 설정 시 NPV가 가장 높은 것으로 분석되었다.

<표 V-11> 금지체장에 따른 참조기 어업 NPV

(단위: 천 원)

구분	15cm(현)	16cm	17cm	20cm	28cm(L_{opt})
NPV	2,872,859,046	7,366,849,832	8,196,221,775	9,138,613,588	9,851,857,017



[그림 V-6] 금지체장에 따른 참조기 어업 NPV

더불어, L_{opt} 수준에서 어획이 이루어진다면, 참조기 수산자원이 최소 1회 이상 산란을 한 상태로 어획되기에 성장·가입 남획 현상이 급격히 감소되고, 최근 두드러진 참조기의 조기 성숙 현상까지 최소화할 수 있다 (Conover and Munch, 2002; Ernande et al., 2003; Brikeland and Dayton, 2005; Froese et al., 2008).

예를 들어, 줄무늬 농어(*Morone saxatilis*) 및 알래스카 명태(*Theragra chalcogramma*; Gadidae)는 L_{opt} 수준에서 어획 활동이 이루어졌고, 이에 따른 결과로 지속 가능한 수산자원 관리의 효과성이 입증된 바 있다. 구체적으로 미국 체서피크 만 줄무늬 농어 어업은 1980년대 가입 남획으로 인해 크게 감소한 생산량 회복 정책의 일환으로, L_{opt} 구간 줄무늬 농어를 어획하기 시작하였다. 이에 따른 결과로, 줄무늬 농어의 어업개시연령이 2세에서 8세로 증가하였고, 1995년 줄무늬 농어 수산자원의 완전한 회복 및 더 나아가 MSC (Marine Stewardship Council) 인증 평가를 받은 바 있다 (Richards et al., 1994).

또한, 미국 알래스카 만 명태 어업은 최소 1회 이상 산란한 명태를 최소 체장으로 하였고, L_{opt} 수준에 다다른 명태 중 26% 정도만을 어획하였다. 이에 따른 결과로 미성어를 보호하였으며, 2005년 MSC 인증을 평가받았다 (Froese et al., 2008).

위의 사례 및 본 생물경제학적 분석 결과에 나타난 바와 같이, 금지체장 L_{opt} (28cm) 설정 시 참조기 미성어 보호로 인한 높은 재생산력 및 어획대상자원의 증가된 가입량을 바탕으로 탄력적인 참조기 수산자원 회복이 이루어질 것이다. 아울러 참조기를 대상으로 하는 어업인들에게 보다 높은 어업소득이 창출될 것으로 기대된다.

VI. 요약 및 결론

본 장에서는 수행하였던 참조기 수산자원평가 및 생물경제학적 분석을 요약하였다. 그리고 본 연구의 기대효과 및 한계점에 대해 서술하였다.

1. 요약 및 결론

가. 참조기 수산자원평가

본 연구는 참조기 수산자원평가를 통해 참조기에 대한 자원생태학적 매개변수를 추정 및 자원량 진단을 수행하였다. 더 나아가 경제적 효과를 분석하여 참조기 수산자원관리의 실질적인 기준점을 제시하고자 하였다.

참조기 수산자원평가에는 2000년부터 2022년까지 TAC 참여 업종별 체장 빈도 자료를 활용하였다. 자료 현황을 살펴보면, 전체 어업(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 외끌이대형저인망) 22개년(2000-2022년), 근해자망어업 9개년(2012-2022년, 2017,2018년 제외), 근해안강망어업 13개년(2008-2022년, 2010,2011년 제외), 쌍끌이대형저인망어업 19개년(2001-2020년, 2019년 제외), 그리고 외끌이대형저인망어업 16개년(2001-2020년, 2002-2004년 및 2013년 제외)에 해당된다.

이와 같은 체장 빈도 자료를 바탕으로 LBB 모델을 활용하여 참조기에 대한 수산자원평가를 실시하였다. 분석 결과, 참조기의 점근적 최대 체장 L_{∞} 은 41.12cm, 적정가입체장 L_{opt} 은 28cm, 최적어획개시체장 L_{c-opt} 은 26cm로 도출되었다.

상기 결과 기반 자연 상태의 기초 자원량 대비 현재 자원량(B/B_0) 수준은 0.49이며, B_{MSY} 대비 68% 수준으로 남획(Overfished) 상태로 평가되어, 국내외 선행연구와 유사하게 나타난 것을 알 수 있었다(Kwon et al., 2020;

최민제 외, 2020; Han et al., 2023; Zou et al., 2024). 향후 실질적인 참조기 수산자원 관리를 위해서는 상대적으로 큰 체장을 가진 참조기를 어획하도록 하여 경제성을 높이고 자원 회복을 위한 기반을 조성해야 할 것으로 판단된다.

나. 참조기 생물경제학적 분석

참조기 수산자원평가 결과를 기반으로 금지체장 상향에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화는 어업수익 및 비용 자료를 활용하여 파악하였다. 어업이익 변화 제시에 앞서, LBB 모델 특성상 동태적 자원량 변화 추정의 한계로 인해 자원량 및 어획량 간 비례관계를 기반으로 H_{MSY} 수준에 따른 어획량을 추정하였다.

향후 금지체장 상향에 따라 어획 감소로 인해 단기간 어획량이 감소한 후, 참조기의 재생산 기간을 거쳐 H_{MSY} 수준에 다다르고 유지될 것으로 가정하였다. 이에 따라 어획 감소는 분석 자료의 개체수 감소율을 기준으로 설정하였으며, 어획 감소 기간은 1년, 2년, 3년, 5년으로, 그리고 재생산 기간은 참조기 수명을 고려하여 10년으로 가정하였다. 마지막으로, L_{opt} (28cm) 어획 시 MSY 수준에 다다를 수 있는 어획량(H_{MSY}) 관계를 활용하여 H_{MSY} 수준의 어획량을 각각 추정하였다.

분석 결과, 금지체장 상향에 따라 1년을 제외한 초기 어업이익은 어획 감소로 인해 낮지만, 참조기의 재생산 기간 이후 증가하는 어획량 및 크기별 큰 폭의 판매 단위 가격 등으로 장기적으로 어업이익이 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따른 참조기 TAC 참여 업종 전체 NPV는 금지체장 16cm 7,366,849,832천 원, 17cm 8,196,221,775천 원, 20cm 9,138,613,588천 원, 그리고 L_{opt} (28cm) 9,851,857,017천 원으로 나타났다.

2. 연구의 기대효과

본 연구에서는 참조기 수산자원평가를 통해 도출된 분석 결과를 활용하여 금지체장 상향에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화를 파악하였다. LBB 모델을 통해 분석된 수산자원평가 결과는 참조기 수산자원회복 관련 연구에 중요한 기초 자료를 제공할 것이며, 수산자원관리의 새로운 기준점을 제시할 것으로 판단된다.

현재 우리나라 참조기 점근적 최대 체장 (L_{∞})은 33.88cm로 명시되어 있다(국립수산과학원, 2010). 이와 더불어 국내에 선행되어 온 참조기 자원생태학적 매개변수 추정 연구에서도 참조기 점근적 최대 체장(L_{∞})은 40cm 미만으로 추정하였다(장창익 외, 1992; 이만우 외, 2000; 김영혜 외, 2006).

앞서 제시한 <표 IV-1> - <표 IV-5>에 나타난 바와 같이, 점근적 최대 체장 보다 큰 참조기 수산자원이 존재하는 것으로 나타났다. 또한, 최대 체장 및 점근적 최대 체장 간 높은 상관관계를 가지고 있다고 보고되고 있다(Froese et al., 2000). 따라서, 효과적인 참조기 수산자원 관리를 위해서 점근적 최대 체장 (L_{∞})을 재산정할 필요성이 있어 보인다.

본 연구에서는 참조기 수산자원의 자원생태학적 매개변수로 점근적 최대 체장 L_{∞} , 어획개시체장 L_c , 최적어획개시체장 L_{c-opt} 그리고 적정가입체장 L_{opt} 을 도출하였다. 최적어획개시체장 L_{c-opt} , 적정가입체장 L_{opt} 그리고 자연 상태의 기초 자원량 대비 현재 자원량 비율(B/B_0) 도출을 통해 향후 참조기 수산자원평가 연구에 중요한 의의가 있다고 판단된다.

최적어획개시체장 L_{c-opt} 구간 참조기를 어획하게 되면, 평균 체장이 적정가입체장 L_{opt} 수준까지 근접하여 생산량 및 자원량을 최대화할수 있다. 이에 따라 참조기 수산자원에 대한 탄력적인 회복 증가를 이룰 수 있으며, 더 나아가 체장별 가격 변동이 큰 참조기의 시장 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

국내에 현재까지 다량 어획되는 참조기는 크기별 출하금액이 상당히 큰

경제성 어종으로 대상 어업인의 중요한 어업 소득원 역할을 담당하고 있었다. 그러나 지속적인 작은 개체의 어획으로 인한 어업인의 경제적 타격에도 불구하고 현재까지 참조기 대상 어업인 경영 분석 연구는 상대적으로 미흡한 실정이었다.

본 연구 결과를 기반으로 어업인들에게 보다 체계적이고 실증적인 경제적 효과를 제시하기 위한 경영체 수준에서의 어업이익 변화를 파악한 점에서 의의가 크다고 판단된다. 구체적으로 실제 위판장에서 거래되고 있는 판매 단위 가격을 활용하여 금지체장 상향에 따른 참조기 TAC 참여 업종별 경영체당 어업이익 변화를 분석하였다. 따라서, 본 연구는 금지체장을 비롯한 기술적 어업관리수단의 효과 분석에 관한 기초 자료로 활용될 가능성이 있을 것으로 기대된다.

2022년 ‘수산자원 정책혁신 현장발굴단’ 토론회에서 일부 동남권역(부산 및 경남 지역) 어업인들은 참조기 수산자원에 대해 금어기·금지체장 적용의 완화 또는 폐지를 요구한 바 있다. 2024년 수산자원관리시행계획에 따르면, TAC 및 금어기·금지체장 등 중복 규제에 대하여 수산자원관리 제도의 수용성 확보가 필요하다고 지적하였다. 또한, 『어업 선진화 추진방안』에서 2027년까지 TAC 전면 도입을 통해 금지체장, 금어기, 어선 크기, 그리고 어획 방법 등의 규제를 대폭 완화하기로 하였다. 이를 근거로 참조기에 대해 3년간 TAC를 운영하여 정착 여부를 확인한 후 금지체장 적용 제외를 권고하였다.

본 연구에서 수행한 참조기 생물경제학적 분석 결과, 단기간 어획 감소로 인하여 초기 어업이익은 낮아지지만, 최소 1세 이상 산란한 상태로 어획되기에 증가하는 어획량 및 크기별 큰 폭의 판매 단위 가격 등으로 어업이익이 증가할 것으로 나타났다. 구체적으로 금지체장 L_{opt} (28cm) 설정 시 참조기 재생산 기간 이후 어업이익은 근해자망 600,002,465천 원, 근해안강망 136,986,407천 원, 쌍끌이대형저인망 11,190,291천 원, 외끌이대형저인망 52,014,669천 원으로 추정되었다.

이에 따라 미래에 발생한 어업이익을 현재 가치로 환산한 NPV는 근해

자망 7,416,665,820천 원, 근해안강망 1,666,646,062천 원, 쌍끌이대형저인망 135,921,100천 원, 외끌이대형저인망 632,624,036천 원으로 나타났다.

금지채장 정책 추진 시 어업인의 조업 현실, 경영 상황, 그리고 수용 여부를 최우선적으로 고려하고 있다. 본 연구는 이를 바탕으로 참조기 어업인 및 이해관계자들에게 보다 설득력 있는 과학적 연구가 될 것으로 기대된다.



3. 연구의 한계점

본 연구는 우선 분석 자료에서 한계점을 가진다. LBB 모델을 활용하는데 있어서 분석 자료의 대표성을 가지기 위해서는 해당 수산자원의 총생산량 비중에 따른 가중치 부여 등을 고려하여야 하지만(Froese et al., 2018), 이와 같은 특성을 포함하지 못하였다. 우리나라와 인접한 발해만 및 동중국해까지 아주 넓게 회유하는 참조기의 회유 특성을 고려하여 인접 중국 체장-빈도 자료까지 활용할 수 있었다면 보다 정확한 결과 도출이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

현재 중국에서도 참조기 수산자원 회복을 위한 체장-빈도 자료를 활용한 수산자원평가 결과가 보고되고 있다(Zhai et al., 2019; Wang et al., 2021). 따라서 참조기 수산자원관리는 국내뿐만 아니라 인접 국가인 중국의 공동 연구로 광역적이고 국가별 적정 자원관리 대책 수립이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 활용된 참조기 TAC 참여 업종들의 체장-빈도 자료 중 부분적으로 자료가 누락되어 자원평가 결과의 불확실성이 다소 존재하는 한계를 지닌다. 더불어, 참조기 수산자원의 체장 빈도 자료를 기반으로 본 분석을 진행하였으나, 체중 자료를 함께 고려하지 못한 한계를 지닌다. 체장-체중 관계는 수산자원평가 및 생물학적 연구에서 널리 활용되고 있으며 이를 통해 체장의 성장식을 체중으로 변환하거나 수산자원 건강 상태 및 성숙도를 평가할 수 있는 지표인 비만도 지수(Condition factor)를 추정할 수 있다(Moutopoulos and Stergiou, 2002). 향후 연구에서는 체장 및 체중 자료를 통합적으로 고려하여 더욱 정확한 수산자원평가가 이루어질 필요가 있다.

이 외에도 생물경제학적 분석에서 금지체장 상향에 따른 어획량 변화 및 어획 감소 기간은 미래 환경 변화 및 참조기 수산자원 특성에 따라 변동할 수 있다. 즉, 금지체장 상향에 따라 변화되는 어획량은 조업 환경 및 어업 구조에 미치는 잠재적 영향을 내포하고 있지 못한 한계를 지니고 있

으며, 어획 감소 기간은 해당 수산자원의 자원생태학적 특성에 좌우될 수 있어 이에 따른 추정에 있어 불확실성이 존재할 수 있다.



참고 문헌

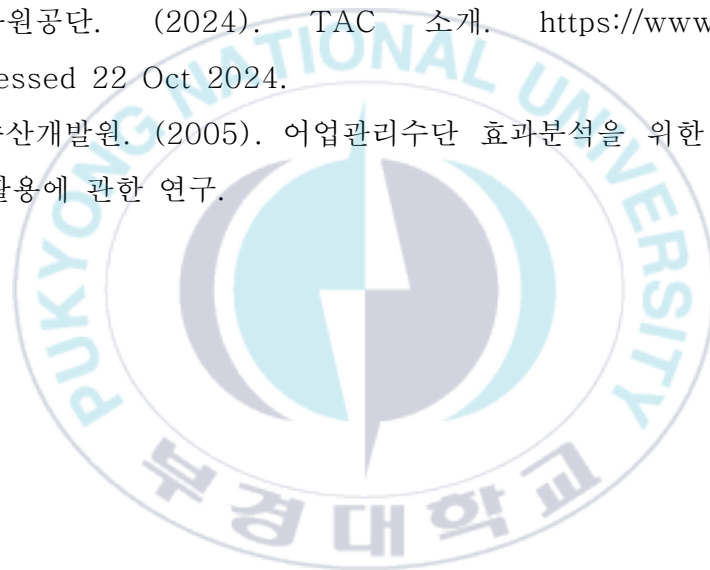
[국내 문헌]

- 국립수산과학원. (2010). 생태와 어장.
- 국립수산과학원. (2011). 참조기 수산자원회복사업.
- 국립수산과학원. (2018). 우리나라 연근해 어선도감.
- 국립수산과학원 수산생명자원정보센터. (2024a). 생물종정보. 22 October 2024.
- 국립수산과학원. (2024b). 수산자원회복사업.
- 국립수산과학원. (2024c). 참조기 체장 빈도 내부자료.
- 강희중, 마지영, 김현지 and 김한주 (2020). 한국 서해 참조기 (*Larimichthys polyactis*)의 육안판별법과 GSI판별법에 의한 성숙 체장 추정. 한국수산과학회지, 53(1), 50 - 56.
- 김도훈, 박경일, 김규민, 이우성, 장한별, 최민제. (2018) 주요 상업어종 포획채취 금지규정 설정 효과 분석. 국립수산과학원.
- 김시현. "갈치 총허용어획량(TAC) 어업관리를 위한 생물경제학적 분석." 국내석사학위논문 부경대학교 대학원, 2023. 부산
- 김무진, 강희중, and 윤상철. "장기간 시계열 자료를 활용한 우리나라 참조기 (*Larimichthys polyactis*) 자원의 생태학적특성 변동 분석." 수산해양기술연구 60, no. 3 (2024): 235-243.
- 김영혜, 이선길, 이재봉, 이동우 and 김영섭. "한국 남해 참조기의 연령과 성장" 한국어류학회지 18, no.1 (2006) : 45-54.
- 김한주, 김정년, 손호선, 오택윤 and 이정훈. "한국 해역에서 어획된 참조기 (*Larimichthys polyactis*)의 연령과 성장 연구" 한국수산과학회지

- 57, no.4 (2024) : 372-379.
- 부산공동어시장. (2024). www.bcfm.co.kr Accessed 22 Oct 2024.
- 법제처 2024a. 수산자원관리법 어획물 등의 조사(제12조제1항 관련), <https://www.law.go.kr/>, Accessed 30 Aug 2024.
- 법제처. 2024b. 수산자원관리법 시행령 [별표 8] 어업의 종류별 그물코 규격의 제한(제38조 제3항 관련) <https://www.law.go.kr/>, Accessed 30 Aug 2024.
- 법제처. 2024c. 예비타당성조사 수행 총괄지침 경제적 타당성 평가(제50조 관련), <https://www.law.go.kr/>, Accessed 25 Nov 2024.
- 심성현 and 남종오. "생물경제모형을 이용한 참조기의 자원평가에 관한 연구 - 단일어종·다수어업 사례를 중심으로" *Ocean and Polar Research* 37, no.2 (2015) : 161-177.doi:
- 이도경. "포획·채취금지 어업관리수단의 생물경제적 효과 분석:고등어를 대상으로." 국내석사학위논문 부경대학교, 2018. 부산
- 이동우, 최광호, and 강수경. "한국 근해 쌍끌이대형저인망어업의 어장 변화." *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46, no. 6 (2013): 917-922.
- 이만우, 장창익, 이장욱. (2000). 이석을 이용한 참조기(*Pseudosciaena polyactis*, Bleeker)의 연령사정과 성장식 추정. *수산해양기술연구*, 36(3), 222-233.
- 이정삼. "어린물고기 남획실태 및 보호정책 연구." [KMI] 연구보고서 (2018): 0-0.
- 이창헌 (Chang Heon Lee), 안장영 (Jang Young Ahn), 최찬문 (Chan Moon Choi), and 김병엽 (Byeong Yeob Kim). "제주도 애월항 선적 조업어선의 기초생산성 분석." *수산해양기술연구* 50.4 (2014): 495-501.

- 연인자, 이동우, 이재봉, 최광호, 김영섭, 김주일, 홍병규. (2010). 황해 및 동중국해 참조기, *Larimichthys polyactis* 자원의 장기변동. 수산해양기술연구, 46(4), 392-405.
- 이중희, 서영일, 오택윤, and 이동우. "한국 주변해역 참조기의 자원생태학적 특성치 추정." 수산해양기술연구 (구 한국어업기술학회지) 49, no. 4 (2013): 440-448.
- 장창익, 김용문, 유신재, 박차수, 김수암, 김종관, and 윤성봉. "한국 근해 참조기의 자원생태학적 특성치 추정." 한국수산과학회지 25, no. 1 (1992): 29-36.
- 장창익, 이은지, and 강희중. "가입당 생산액 분석에 의한 한국 해역 참조기 *Larimichthys polyactis* 자원의 관리." 수산해양기술연구 (구 한국어업기술학회지) 50, no. 4 (2014): 467-475.
- 장창익, 김현아, and 강희중. "체장기반 가입당생산액 분석에 의한 한국 연근해 참조기 *Larimichthys polyactis* 자원과 갈치 *Trichiurus lepturus* 자원의 관리." 수산해양기술연구 (구 한국어업기술학회지) 52, no. 3 (2016): 220-231.
- 조영복. "참조기 유자망어업의 실태와 적정 망목 추정." 국내박사학위논문 부경대학교 대학원, 2013. 부산
- 최민제, and 김도훈. "효과적인 자원평가모델 선정을 위한 잉여생산량모델의 비교 분석: 동해 생태계의 잠재생산량 분석을 대상으로." *Ocean and Polar Research* 41.3 (2019): 183-191.
- 최민제. "참조기 어업관리를 위한 생물경제학적 분석." 국내석사학위논문 부경대학교, 2020. 부산
- 최완현. "효과적인 자원관리를 위한 어업관리수단의 생물경제학적 분석." 국내박사학위논문 부경대학교 대학원, 2020. 부산
- 최윤경. "반연속 데이터에 대한 베이지안 혼합모형." 국내석사학위논문 중

- 양대학교 대학원, 2018. 서울
- 통계청. (2024a). 어업생산동향조사. <http://kosis.kr>. Accessed 22 Oct 2024
- 통계청. (2024b). 어업경영조사. <http://kosis.kr>. Accessed 10 Oct 2024; 22 Oct 2024;
- 해양수산부. (2017). 「수산자원 유형별 맞춤형 관리 방안」.
- 해양수산부. (2022). 어업인의 목소리를 담은 어업인 중심 수산 정책으로 나아가다(수산자원정책과).
- 한국수산자원공단. (2024). TAC 소개. <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 22 Oct 2024.
- 한국해양수산개발원. (2005). 어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제모델 활용에 관한 연구.



[국외 문헌]

- Al-Mamun, M.A.; Shamsuzzaman, M.M.; Schneider, P.; Mozumder, M.M.H.; Liu, Q. Estimation of Stock Status Using the LBB and CMSY Methods for the Indian Salmon *Leptomelanosoma indicum* (Shaw, 1804) in the Bay of Bengal, Bangladesh. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, 10, 366.
- Annis, J., Miller, B.J. & Palmeri, T.J. Bayesian inference with Stan: A tutorial on adding custom distributions. *Behav Res* 49, 863-886 (2017).
- Beverton, R. J. H., and Holt, S. J. 1966. Manual of methods for fish stock assessment, Part II - Tables of Yield Functions. *FAO Fisheries Technical Paper No. 38 (Rev. 1)*, 10 pp.
- Birkeland, C., Dayton, P.K., 2005. The importance in fishery management of leaving the big ones. *Trends Ecol. Evol.* 20, 356-358.
- Cadima, E.L. 2003. Fish stock assessment manual. *FAO Fisheries Technical Paper*. No.393. Rome, FAO. 161p.
- Chen, R., Li, X., Fan, G., Zhao, X., and Zhang, G. (2018). Minimal cod-end mesh of a pair trawl in the Yellow Sea. *J. Dalian Ocean Univ.* 33, 258-264.
- Choi, Min-Je, and Do-Hoon Kim. "Assessment and management of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) stocks in South Korea." *Sustainability* 12, no. 19 (2020): 8257.
- COM. 2017. Commission Decision (EU) 2017/848 of 17 May 2017 laying down criteria and methodological standards on good

- environmental status of marine waters and specifications and standardised methods for monitoring and assessment, and repealing Decision 2010/477/EU. Official Journal of the European Union, L125: 43-74.
- Conover, D.O., Munch, S.B., 2002. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. *Science* 297, 94-96.
- Ernande, B., Dieckmann, U., Heino, M., 2003. Adaptive changes in harvested populations: plasticity and evolution of age and size at maturation. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271, 415-423.
- FAO (2012), The state of world fisheries and aquaculture.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Wiedenmann, J., and Deroba, J. J. 2017. The refined ORCS approach: a catch-based method for estimating stock status and catch limits for data-poor fish stocks. *Fisheries Research*, 193: 60-70.
- Free, C. M., Jensen, O. P., Anderson, S. C., Gutierrez, N. L., Kleisner, K. M., Longo, C., Minto, C., Osio, G. C., & Walsh, J. C. (2020). Blood from a stone: Performance of catch-only methods in estimating stock biomass status. *Fisheries Research*, 223, 105452.
- Froese, R. and Binohlan, C. (2000), Empirical relationships to estimate asymptotic length, length at first maturity and length at maximum yield per recruit in fishes, with a simple method to evaluate length frequency data. *Journal of Fish Biology*, 56: 758-773.
- Froese, R., 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. *Fish Fish*. 5 (1), 86-91.

- Froese, Rainer, Amanda Stern–Pirlot, Henning Winker, and Didier Gascuel. "Size matters: how single–species management can contribute to ecosystem–based fisheries management." *Fisheries Research* 92, no. 2–3 (2008): 231–241.
- Froese, R. and Pauly, D. (2013) Fish stocks. In: *Encyclopedia of Biodiversity*. (ed S. Levin), 3rd edn. Academic Press, Cambridge, MA, pp. 477–487.
- Froese, R., Winker, H., Gascuel, D., Sumaila, U. R., and Pauly, D. 2016. Minimizing the impact of fishing. *Fish and Fisheries*, 17: 85–802.
- Froese, R., H. Winker, G. Coro, N. Demirel, A. C. Tsikliras, D. Dimarchopoulou, G. Scarcella, W. N. Probst, M. Dureuil, and D. Daniel Pauly. 2018. A new approach for estimating stock status from length frequency data. *ICES Journal of Marine Science* 75: 2004–2015.
- Garcia, S.M. and Demetropoulos, A. (1986) Management of Cyprus fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper No. 250*; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Graham, M. (1935) Modern theory of exploiting a fishery, and application to North Sea trawling. *ICES Journal of Marine Science* 10, 264–274.
- Gulland, J. A., and Rosenberg, A. A. 1992. A review of length–based approaches to assessing fish stocks. *FAO Fisheries Technical Paper, No. 323*. Rome, FAO, 100 pp.
- Han, Qingpeng, Xiujuan Shan, Xianshi Jin, and Harry Gorfine. "Contrasting stock status trends obtained from survey and

- fishery CPUE, taking *Larimichthys polyactis* in Yellow Sea Large Marine Ecosystem as an example." *Ecological Indicators* 147 (2023): 110032.
- Holt, S. J. 1958. The evaluation of fisheries resources by the dynamic analysis stocks, and notes on the time factors involved. *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries, Special Publication*, 1: 77-95.
- Holt, S. J. 1963. Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fish. Bull. NOAA/NMFS*, 81 (4), 898-903.
- Hilborn R and Walters CJ. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, New York, NY, U.S.A.
- ICES. 2017. Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSSK), 26 April-5 May 2016, Hamburg, Germany. ICES Document CM 2016/ACOM: 14. 19 pp.
- Jensen A. L., Beverton and Holt life history invariants result from optimal trade-off of reproduction and survival, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1996, vol. 53 (pg. 820-822)
- Kery, M., and Schaub, M. (2011). *Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective*. Academic Press.
- Kwon, Y., E. Lee, Y. Seo, H. Kang, and C. I. Zhang. "Evaluation of total allowable catch (TAC) based fishery resources management in Korea." *Journal of Environmental Biology* 41 (2020): 1407-1423.

- Liang, C., Xian, W., and Pauly, D. (2020). Assessments of 15 exploited fish stocks in Chinese, South Korean and Japanese waters using the CMSY and BSM methods. *Frontiers in Marine Science*, 623
- Lin L, Liu Z, Jiang Y, Huang W and Gao T. 2011. Current status of small yellow croaker resources in the southern Yellow Sea and the East China Sea. *Chin. J Oceanol Limn* 29, 547– 555.
- Li Z, Jin X, Shan X and Dai F. 2011. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*). *J Fish Sci China* 18, 602–610.
- ICES, 2005. Working group on the assessment of demersal stocks in the North Sea and Skagerrak. *ICES J. Mar. Sci.* 2005/ACFM:08, pp. 1-772.
- Mangel, M., MacCall, A. D., Brodziak, J., Dick, E. J., Forrest, R. E., Pourzand, R., and Ralston, S. 2013. A perspective on steepness, reference points, and stock assessment. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70: 930-940.
- Mantyniemi, S. H. P., Whitlock, R. E., Peralta, T. A., Blomstedt, P. A., Vanhatalo, J. P., Margarita Maria Rincon, M. M., Kuparinen, A. K. et al. 2015. General state-space population dynamics model for Bayesian stock assessment. *ICES Journal of Marine Science*, 72: 2209-2222.
- Marine Strategy Framework Directive (MSFD). 2008. Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action

in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive). Official Journal of the European Union, L 164/19–39.

Mark A. Hixon, Darren W. Johnson, Susan M. Sogard, BOFFFFs: on the importance of conserving old–growth age structure in fishery populations, ICES Journal of Marine Science, Volume 71, Issue 8, October 2014,

Meyer, R., & Millar, R. B. (1999). BUGS in Bayesian stock assessments. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56(6), 1078–1087.

Moutopoulos DK and Stergiou KI. 2002. Length–weight and length–length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece). J Appl Ichthyol 18, 200–203.

Mr. Bayes, & Mr. Price. (1763). An Essay towards Solving a Problem in the Doctrine of Chances. By the Late Rev. Mr. Bayes, F. R. S. Communicated by Mr. Price, in a Letter to John Canton, A. M. F. R. S. Philosophical Transactions (1683–1775), 53, 370–418.

NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 2024. “Stock Assessment Model Descriptions Accessed 2024.10.22.

Pauly, D., and Morgan, G. R.(Eds). 1987. Length–based methods in fisheries research. ICLARM Conference Proceedings 13. 486 pp.

Palomares, M. L., R. Froese, B. Derrick, S. L. Noel, G. Tsui, J. Woroniak, D. Pauly, A preliminary global assessment of the

- status of exploited marine fish and invertebrate populations, A Report Prepared By The Sea Around US For OCEANA(Washington, DC: OCEANA). 2018.
- Park CS. 1981. Maturity and spawning of yellow croaker, *pseudosciaena manchurica* (JORDAN et THOMPSON), in the western waters of Korea. Bull Fish Res Dev Agency 23, 171–178.
- Prince, J., Hordyk, A., 2019. What to do when you have almost nothing: a simple quantitative prescription for managing extremely data-poor fisheries. Fish Fish. 20 (2), 224-238.
- Quinn, T. J., and Deriso, R. B. 1999. Quantitative Fish Dynamics. Oxford University Press, New York. 560
- Richards, A.H., Bell, L.J., Bell, J.D., 1994. Inshore fisheries resources of Solomon Islands. Mar. Pollut. Bull. 29, 90-98.
- Rudd, M. B., and Thorson, J. T. 2017. Accounting for variable recruitment and fishing mortality in length-based stock assessments for data-limited fisheries. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1. Published on the Web August 2017, doi:10.1139/cjfas-2017-0143.
- Sparre, P., and Venema, S. C. 1998. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. Manual. FAO Fisheries Technical Paper No. 306.1, Rev. 2. Rome, FAO. 407 pp.
- Sun P, Yu J, Sun R, Liu G, Xi X and Tian Y (2022) The Effects of Selective Harvest on Exploited Population and Economic Benefits. Front. Mar. Sci. 9:847840.
- Thorson, J. T., Johnson, K. F., Methot, R. D., and Taylor, I. G.

2017. Model-based estimates of effective sample size in stock assessment models using the Dirichlet-multinomial distribution. *Fisheries Research*, 192: 84-93.
- Vasilakopoulos, P., O' Neill, F.G. and Marshall, T. (2015) The unfulfilled potential of fisheries selectivity to promote sustainability. *Fish and Fisheries*.
- Von Bertalanffy, L. 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II.). *Human Biology*, 10: 181-213.
- Wang YC, Liang C, Xian W and Wang YB (2021) Using the LBB Method for the Assessments of Seven Fish Stocks From the Yangtze Estuary and Its Adjacent Waters. *Front. Mar. Sci.* 8:679299. doi: 10.3389/fmars.2021.679299
- Wang L, Lin L, Liu Y, Zhai L and Ye S (2022) Fishery Dynamics, Status, and Rebuilding Based on Catch-Only Data in Coastal Waters of China. *Front. Mar. Sci.* 8:757503. doi: 10.3389/fmars.2021.757503
- Ye, Y. (2011). Review of the State of the World Marine Fishery Resources. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*. Rome: FAO, 569.
- Zhai L and Pauly D (2019) Yield-per-Recruit, Utility-per-Recruit, and Relative Biomass of 21 Exploited Fish Species in China's Coastal Seas. *Front. Mar. Sci.* 6:724.
- Zhai L, Liang C and Pauly D (2020) Assessments of 16 Exploited Fish Stocks in Chinese Waters Using the CMSY and BSM Methods. *Front. Mar. Sci.* 7:483993.
- Zhu L, Ge C, Jiang Z, Liu C, Hou Gand Liang Z (2021) Stock

Assessment of Small Yellow Croaker (*Larimichthys polyactis*) Off the Coast of China Using Per-Recruit Analysis Based on Bayesian Inference.

Zou, Jianyu, Xianshi Jin, Xiujuan Shan, Yiping Ren, and Yunlong Chen. "Whether the summer fishing moratorium can improve the status of fisheries resources in the yellow sea and Bohai Sea." *Heliyon* 10, no. 19 (2024).

