



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

갈치 총허용어획량(TAC) 어업관리를
위한 생물경제학적 분석



2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

김 시 현

경 영 학 석 사 학 위 논 문

갈치 총허용어획량(TAC) 어업관리를
위한 생물경제학적 분석

지도교수 김 도 훈

이 논문을 경영학석사 학위논문으로 제출함.

2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

김 시 현

김시현의 경영학석사 학위논문을 인준함.

2023년 2월 17일



위원장 경제학박사 장호근



위원 경영학박사 조헌주



위원 경영학박사 김도훈



목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 방법 및 내용	4
II. 선행연구	6
1. 수산자원평가	6
2. 생물경제학적 분석	12
III. 갈치 어업 현황	17
1. 생산 현황	17
2. 경영 현황	26
3. 관리 현황	36
IV. 분석 자료 및 방법	38
1. 분석 자료	38
2. 분석 방법	47
V. 분석 결과	60
1. 자원평가 결과	60
2. 생물경제학적 분석 결과	68
VI. 요약 및 결론	74
참고 문헌	77

표 차례

<표 II-1> 수산자원평가 관련 선행연구	11
<표 II-2> 생물경제학적 분석 관련 선행연구	16
<표 III-1> 업종별 갈치 어획량(2016년-2020년)	18
<표 III-2> 근해연승 수지현황(2016년-2020년)	26
<표 III-3> 근해안강망 수지현황(2016년-2020년)	27
<표 III-4> 대형선망 수지현황(2016년-2020년)	28
<표 III-5> 대형트롤 수지현황(2016년-2020년)	29
<표 III-6> 쌍끌이대형저인망 수지현황(2016년-2020년)	30
<표 III-7> 근해연승 갈치 어획 비중(2016년-2020년)	31
<표 III-8> 근해안강망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)	32
<표 III-9> 대형선망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)	33
<표 III-10> 대형트롤 갈치 어획 비중(2016년-2020년)	34
<표 III-11> 쌍끌이대형저인망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)	35
<표 III-12> 어업관리수단 분류	36
<표 IV-1> 갈치 자원평가를 위한 분석 자료	39
<표 IV-2> 일반화된 선형모형 추정 결과	40
<표 IV-3> TAC 업종별 연도별 표준화된 어획노력량	41
<표 IV-4> TAC 대상업종별 경영체당 갈치 단위가격(2016-2020)	43
<표 IV-5> TAC 대상업종별 경영체당 어업비용(2016-2020)	44
<표 IV-6> TAC 대상업종별 갈치 원가배부율(2016-2020)	45
<표 IV-7> TAC 대상업종별 경영체당 갈치 어업비용(2016-2020)	45
<표 IV-8> TAC 대상업종별 총 갈치 어업비용(2016-2020)	46
<표 IV-9> 본원적 성장률에 따른 사전적 범위에 대한 정의(Resilience)	49
<표 IV-10> 환경수용력 대비 자원량 수준에 따른 사전적 범위에 대한 정의	50
<표 IV-11> 실행 가능한 'r-k' 탐색 조건	51
<표 IV-12> B_{MSY} 대비 B 수준 기반 자원상태의 정의	54
<표 IV-13> TAC 설정량에 따른 자원량 변화	56
<표 IV-14> Non-TAC 어획량에 따른 자원량 변화	57

<표 V-1> CMSY 및 BSS 모델을 활용한 갈치 자원평가 분석 결과	61
<표 V-2> 갈치 자원량 및 B_{MSY} 추정 결과	62
<표 V-3> TAC 설정량에 따른 30년 후 갈치 자원량 추정	70
<표 V-4> 갈치의 TAC 업종별 NPV	71
<표 V-5> Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 30년 후 갈치 자원량 추정	73



그림 차례

[그림 II-1] 고등어의 자원량 변화(왼쪽: CMSY, 오른쪽: BSS)	8
[그림 II-2] CMSY 모델을 활용한 Kobe plot 결과(선행연구)	9
[그림 II-3] BSS 모델을 활용한 Kobe plot 결과(선행연구)	9
[그림 II-4] 갈치 자원평가 결과(선행연구)	13
[그림 II-5] 어획량(ABC)변동 갈치 자원량 예측(선행연구)	13
[그림 III-1] 연근해어업 갈치 어획량(1970년-2021년)	17
[그림 III-2] 연도별·업종별 갈치 어획량(1990년-2020년)	19
[그림 III-3] 나라별 갈치 어획량(1950년-2020년)	20
[그림 III-4] 연근해어업 갈치 생산금액(1990년-2021년)	21
[그림 III-5] 업종별·어업별 갈치 생산금액(2006년-2021년)	22
[그림 III-6] 연도별·업종별 갈치 어선척수(1992년-2020년)	23
[그림 III-7] 연도별·업종별 갈치 어선톤수(1992년-2020년)	24
[그림 III-8] 연도별·업종별 갈치 어선마력수(1992년-2020년)	25
[그림 V-1] 자원평가모델에 의해 도출된 ‘r-k쌍’ 결과 (원: CMSY, 오른: BSS)	60
[그림 V-2] CMSY 모델을 활용한 갈치 자원평가 결과(PPVR)	63
[그림 V-3] BSS 모델을 활용한 갈치 자원평가 결과(PPVR_hp)	63
[그림 V-4] CMSY 모델의 갈치 자원량 추정 결과(1970년-2020년)	65
[그림 V-5] BSS모델의 갈치 자원량 추정 결과(1970년-2020년)	65
[그림 V-6] CMSY 모델을 이용한 고베플롯 결과	67
[그림 V-7] BSS 모델을 이용한 고베플롯 결과	67
[그림 V-8] TAC 설정량에 따른 갈치 자원량 변화	69
[그림 V-9] Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 갈치 자원량 변화	73

A Bioeconomic Analysis of Largehead hairtail(*Trichiurus lepturus*) Total
Allowable Catch(TAC) Fisheries Management

Si-Hyeon Kim

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

Abstract

This study attempted to evaluate the stock status of Largehead hairtail (*Trichiurus lepturus*) which is one of commercially important fish species in South Korea. In addition, based on results of stock assessment, a bioeconomic model of Largehead hairtail was developed to consider the level of annual Total Allowable Catch(TAC) and impacts of Non-TAC target fisheries that catch Largehead hairtail.

In the analysis, as stock assessment models, Catch-Maximum Sustainable Yield(CMSY) and Bayesian state-space(BSS) models were used.

Results showed that the biomass of Largehead hairtail was estimated to be 'Overfished' in common by CMSY and BSS models. Specifically, as of 2020, the biomass was estimated to be 56% and 59% of the biomass which can produce maximum sustainable yield respectively.

Based on the above results, the biomass change of Largehead hairtail and the profits (NPV) by TAC fishery according to the amount of TAC considering non-TAC over the next 30 years were examined with bioeconomic analysis.

As results of bioeconomic analysis it was shown that resource recovery would be possible at the current level of TAC. However, it was shown that resource recovery would be impossible if the current TAC level would be increased by more than 20%. Furthermore, it was predicted that the biomass

would not be increased if the catch of Non-TAC target fisheries would be increased by more than 50% from the current catch level. In addition, even if it would be reduced by 20% from the current TAC level, it was shown that all TAC fisheries would have positive profits.

Keywords : Stock assessment, CMSY, BSS, Bayesian state-space model, Largehead hairtail, Bioeconomic model, Total Allowable Catch(TAC)



I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

갈치(*Trichiurus lepturus*)는 농어목(*Perciformes*) 갈치과(*Trichiuridae*)에 속하는 어류로, 우리나라 전 연근해 특히 서해와 남해, 일본, 동중국해, 전 세계의 온대 또는 아열대 해역에 분포하는 어종이다(국립수산물과학원, 2022). 또한 갈치는 우리나라 국민의 선호도가 높은 수산물 중 하나로 고등어, 오징어와 함께 대표적인 어종이라 불릴 만큼 소비량이 많으며, 어업 자원으로서 어업인들의 소득에 있어 중요한 위치를 차지하고 있다(남종오 외, 2018).

2020년 기준 우리나라 연근해 갈치의 어획량은 65,719톤으로 총 어류 어획량의 약 9.6%를 차지하고 있다. 생산금액은 약 4,660억 원으로 연근해어업에서 오징어에 이어 두 번째로 많으며, 총 연근해 어류 생산금액의 약 19.4%를 차지하고 있다(통계청, 2022).

이러한 중요한 위치를 차지하고 있는 어종임에도 불구하고, 갈치의 어획량은 과거에 비해 매우 저조한 수준이다. 구체적으로 살펴보면, 갈치의 어획량은 1970년 약 7만 톤을 시작으로 1974년 최대치인 17만 톤을 기록한 후 지속적으로 감소하였다. 이후 증가하는 경향을 보이는 듯 했으나 2011년 최저치인 3만 톤을 기록하였다. 최근 소폭 상승하여 약 6만 톤 수준을 보이고 있으나, 이는 1974년 최대어획량 대비 약 39.5% 수준이다(통계청, 2022).

과거에 비해 어획량이 급격하게 감소한 원인으로는 조업의 과도한 경쟁과 중국어선의 불법 조업, 어장축소 및 환경변화 등의 대내외적 원인지적되고 있었다. 이러한 문제로 인하여 수산자원회복 및 체계적인 자원관리에 대한 필요성이 지속적으로 대두되고 있다(남종오 외, 2018).

이에 따라 정부는 2006년부터 수산자원회복계획을 수립하여 감소된 수

산자원을 목표 자원량 수준으로 회복시키기 위해 종합적이고 체계적인 관리를 실행하고 있다.

본 연구의 대상 어종인 갈치의 경우 수산자원계획에서는 지금까지 포획 금지체장 상향 조정, 산란기의 친어 보호 등이 자원회복수단으로 활용되어져 왔다. 그리고 2022년 7월부터 직접적인 어획량 규제 중의 하나인 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC) 제도의 시범 대상종에서 관리 대상종으로 포함되었다(한국수산자원공단, 2022).

우리나라 갈치의 경우 다양한 연근해 업종들에 의해 어획되는 어종이며, 각 업종의 어획 비중이 비교적 고르게 분포되어 있다. 2016년부터 2020년까지의 최근 5개년 평균 업종별 갈치 어획량 비중을 살펴보면, 근해연승이 전체의 24.8%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 다음으로는 연안복합이 14.2%, 근해안강망 12.8%, 대형선망 10.5%, 근해채낚기 7.9%, 대형트롤 6.9%, 그리고 쌍끌이대형저인망 6.8% 등으로 구성되어 있다(통계청, 2022).

이 중 최근 TAC 제도에 의해 도입된 대상업종은 근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 그리고 쌍끌이대형저인망 총 5가지로, 전체 어획량의 약 61.7%에 해당되는 업종만 TAC 내에서 관리가 이루어지고 있는 실정이다. 이에 따라 향후 보다 실효성 있는 갈치 수산자원의 회복과 관리를 위해서는 현재 TAC 대상업종 이외의 어획량의 약 40%를 차지하고 있는 나머지 업종들에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다.

구체적인 TAC 설정에 앞서 해당 어업관리수단에 대한 생물학적·경제학적 효과 분석이 선행된다면, 보다 효과적인 자원관리가 가능할 것이다(Sandberg et al., 1998; Thunberg et al., 1998, 최민제, 2020). 생물경제학적 모델은 어업관리수단에 따른 향후 자원량의 변화뿐만 아니라 어업인의 어업소득의 효과를 동시에 고려할 수 있는 장점이 있다(김도훈, 2003). 따라서 생물경제학적 모델 분석을 통해 향후 갈치에 대한 TAC 설정에 있어 합리적인 기준점을 도출할 수 있을 것이다.

이러한 배경 하에서 본 연구에서는 갈치에 대한 생물경제적 모델을 활용하여 현행 TAC 제도의 효과 분석을 살펴보고자 한다. 생물경제적 모델

을 활용한 효과 분석을 위해서는 우선적으로 갈치에 대한 자원평가가 선행되어야 한다.

최근에 이루어진 갈치 자원평가의 경우 Clarke·Yoshimoto·Pooley (CY&P) 모델을 이용한 남중오·조훈석(2018)의 연구와 Bayesian State space(BSS) 모델을 활용한 최완현(2020) 등의 연구가 있다. 하지만 이러한 선행연구의 경우 자원평가에 활용한 모델에 있어서 한계점이 존재한다.

남중오·조훈석(2018)에서 활용한 CY&P 모델의 경우 자원평가모델에서 발생하는 불확실성인 과정오차(Process-error)만을 고려하기 때문에 관측자료에서 발생하는 불확실성인 관측오차(Observation-error)를 고려하지 못하는 한계점이 존재한다. 그리고 최완현(2020)에서는 과정오차와 관측오차를 모두 고려하는 BSS 모델을 사용하였으나, 주요 모수를 추정하기 위한 사전 정보를 설정하는 과정에서 필요한 사전 정보에 대해 명확한 근거 없이 임의로 설정했다는 한계가 존재한다.

Froese et al., (2017)의 CMSY 모델은 분석 자료가 제한적인 상황 하에서도 어획량 및 어종의 Resilience 자료를 기반으로 자원량 및 어획율 (exploitation rate), MSY, 본원적 성장률(r), 그리고 최대자원량 수준인 환경수용력(k)을 추정할 수 있는 장점이 있다. 그리고 단위노력당어획량 자료를 추가로 활용하면 CMSY와 BSS 모델을 동시에 비교·분석할 수 있다.

이에 따라, 본 연구에서는 CMSY 및 BSS 모델을 활용하여 우리나라 갈치에 대한 자원평가를 우선적으로 실시하고, 이를 기반으로 생물경제적 모델을 통한 분석을 수행하고자 한다. 특히, 생물경제학적 분석에 있어서는 기존의 선행연구와는 달리 주요 어획 업종뿐만 아니라 갈치를 어획하는 비주요 업종을 모두 고려하여 분석하고자 한다.

구체적인 분석에 있어서는 자원평가모델과 TAC 업종별 경제모델을 결합한 갈치의 생물경제학 모델을 구축하고, TAC 대상업종들의 TAC 물량 및 TAC 비대상 업종들의 어획량에 따른 향후 자원량 변화와 업종별 어업 수익 변화 등을 분석하고자 한다. 이를 통해 갈치 자원회복을 위한 보다 실효성 있는 어업관리 기준점을 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법 및 내용

우리나라 갈치의 효과적인 자원관리를 위한 최적의 어업관리 기준점을 제시하기 위해서는 우선적으로 갈치의 자원상태에 대한 면밀한 파악이 이루어져야 한다. 그리고 자원평가 결과를 바탕으로 생물경제적 모델을 활용하여 갈치의 TAC 업종 및 TAC 비대상 업종들의 변화에 따른 자원량 및 어업이익의 변화를 분석해야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 크게 두 가지 단계에 걸쳐 연구를 수행하였다. 먼저, CMSY 및 BSS 모델을 통해 갈치의 자원상태를 파악하였다. CMSY 모델은 분석 자료가 부족한 상황 하에서 어획량 자료와 주요 변수들에 대한 비교적 타당하고 근거 있는 사전정보를 활용하는 자원평가 모델이다. 기존의 많은 선행연구에서 이루어진 과정오차 모델과 관측오차 모델을 이용한 자원평가 방법의 한계점을 보완하기 위해 과정오차와 관측오차의 불확실성을 모두 고려한 BSS 모델을 활용하였다. 그리고 최종적으로 CMSY 및 BSS 모델에서 도출한 자원평가 결과를 비교·분석하였다.

분석에 앞서 갈치 TAC 대상이 되는 다섯 업종(근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망)의 서로 다른 어획 능력을 표준화하였다. 표준화 과정에서 다섯 업종의 어획노력량에 대한 유의성을 확보하였으며, 최종적으로 CPUE 값을 도출하여 분석을 수행하였다.

다음으로 자원평가 결과와 업종별 어업경영 현황 자료를 바탕으로 생물경제학적 분석을 실시하였다. 본 연구에서는 우리나라 갈치의 TAC 대상업종 뿐만 아니라 TAC 비대상 업종들(이하 “Non-TAC 대상업종”) 어획의 영향까지 고려하여 향후 30년간의 자원량 및 어업이익의 변화를 살펴보았다. 구체적으로 다음의 두 가지 시나리오를 설정하여 분석을 실시하였다.

먼저, 첫 번째 시나리오에서는 Non-TAC 대상업종 어획량은 현 수준을 유지한다는 가정 하에 TAC 설정량에 따른 향후 갈치 자원량 변화를 살펴보았다. 두 번째 시나리오에서는 TAC 설정량이 현 수준을 유지한다는 가정 하에 Non-TAC 대상업종 어획량 수준에 따른 향후 갈치 자원량 변화

를 살펴보았다. 그리고 수산업협동조합중앙회 어업경영조사 자료를 바탕으로 업종별 갈치의 시장가격과 갈치 어획에 투입되는 비용을 산출하여 TAC 수준에 따른 업종별 어업이익 변화를 분석하였다.

이러한 본 연구의 내용은 구체적으로 제1장 서론, 제2장 선행 연구, 제3장 갈치 어업 현황, 제4장 분석 자료 및 방법, 제5장 분석 결과, 그리고 제6장 요약 및 결론으로 구성된다.

제1장에서는 연구의 배경 및 목적 그리고 연구의 방법 및 내용에 대해 서술하였다. 제2장에서는 수산자원평가 및 생물경제학적 분석과 관련하여 선행연구들의 분석 방법 및 결과를 살펴보았다. 제3장에서는 우리나라 갈치에 대한 생산 및 경영 현황, 그리고 관리 현황 등 전반적인 어업 현황에 대해 살펴보았다.

제4장에서는 갈치의 자원평가 및 생물경제학적 모델의 분석 자료와 방법에 대해 서술하였다. 제5장에서는 본 연구에서 활용한 CMSY 및 BSS 모델 자원평가 결과를 비교·분석하였고, 자원평가 분석 결과를 활용한 생물경제학적 분석을 통해 향후 갈치 자원량 및 어업이익 변화를 살펴보았다. 마지막으로 제6장에서는 본 연구의 분석 결과를 종합적으로 살펴보고, 결과에 따른 향후 필요한 정책의 방향성, 연구의 기대효과 및 한계점 등을 서술하였다.

II. 선행 연구

1. 수산자원 평가

박차수 외(2000)는 잉어생산량 모델을 기반으로 한 Schaefer 및 Fox 모델을 활용하여 우리나라 근해 갈치의 자원평가를 실시하였다. 분석 자료로는 농림수산통계연보의 어획량 자료와 국립수산진흥원에서 조사한 1970년부터 1997년도까지의 근해안강망의 양망당 어획량을 활용하였다. 구체적으로 Schaefer(1954)와 Fox(1970) 모델을 통해 최대지속적생산량(MSY)과 MSY일 때의 어획노력량(f_{MSY})을 추정하였다.

분석 결과, Schaefer(1954) 모형의 경우 MSY는 132,757 톤으로 추정되었고, 이 때의 f_{MSY} 는 0.88×10^6 양망횟수로 나타났다. 그리고 Fox(1970) 모형에서는 MSY 113,272톤, f_{MSY} 0.78×10^6 으로 추정되었다. 두 모형의 결과를 비교하였을 때 Fox 모델이 더 적합한 것으로 나타났으며, 추정된 양망횟수는 0.78×10^6 로서 현재 수준의 양망횟수 1.98×10^6 에 비해 39% 수준에 있는 것으로 분석되었다.

이를 통해 어획노력량 및 어획사망계수 등 모든 수치가 적정 수준을 넘어서고 있는 것으로 나타나 현재 갈치의 경우 남획 상태에 있는 것으로 분석되었다. 이에 따라 갈치에 대한 어획 강도를 낮추고 총허용어획량(TAC) 제도 등 자원관리수단의 필요성을 제시하였다. 그리고 총허용어획량 설정에 따른 어업별 어획량 할당 시 발생하는 여러 가지 문제점에 대한 해결방안의 필요성을 제안하였다.

남종오·조훈석(2018)은 우리나라 갈치 자원평가를 위해 CY&P 모형을 활용하였다. 분석 자료로 2016년 갈치 어획량의 약 61%에 해당하는 5개 업종(쌍끌이대형저인망, 대형트롤, 대형선망, 근해연승, 근해채낚기) 어획량의 합계와 5개 업종의 어선마력수를 표준화한 어획노력량을 활용하였다.

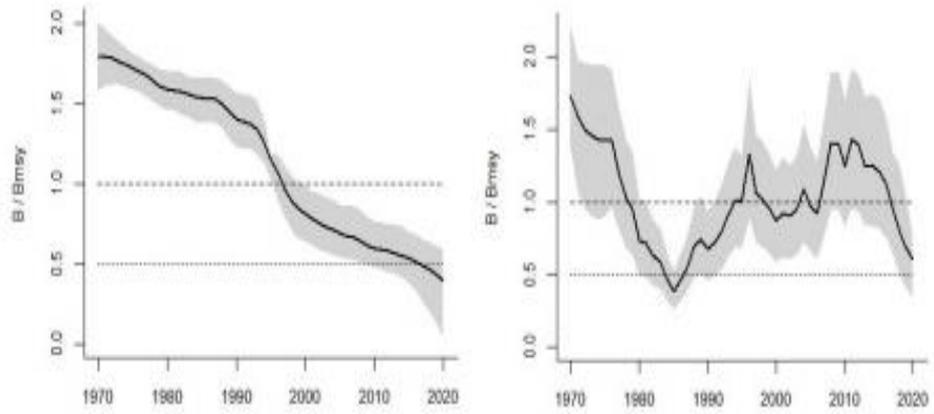
분석 결과, 갈치의 최적 자원량, 최적 어획노력량, 최적 어획량은 각각

79,877톤, 901,080마력, 33,133톤 수준으로 추정되었다. 이 중 최적 어획노력량은 최근 3개년(2014년-2016년)에 해당하는 최근 3년 표준화된 어획노력량보다 현저히 낮은 수치로 나타났다. 이를 통해 현재 갈치 자원은 비효율적으로 이용되고 있는 것으로 나타났으며, 어업 경영에 있어서도 비효율성이 나타난 것으로 분석되었다. 이에 따라 지속가능한 갈치의 자원관리를 위해 적정 수준의 어획노력량수준을 유지할 수 있는 어선감척사업 및 어장휴어제 도입 그리고 총허용어획량(TAC) 등 다양한 관리수단의 필요성을 제안하였다.

홍재범·김도훈(2021)은 CMSY 및 BSS 모델을 활용하여 우리나라 고등어 자원평가를 실시하였다. 분석 자료로는 1970년부터 2020년까지 총 51개년 어획량 자료와 1976년부터 2017년까지 42개년의 대형선망어업의 양망횟수로 계산된 CPUE를 활용하였다. 그리고 Fishbase 정보를 기반으로 주요 변수의 사전적 범위를 설정하였는데, 사전적 r 값은 0.48(95% 신뢰구간 : 0.32-0.73) 그리고 Resilience는 Medium 값을 활용하였다.

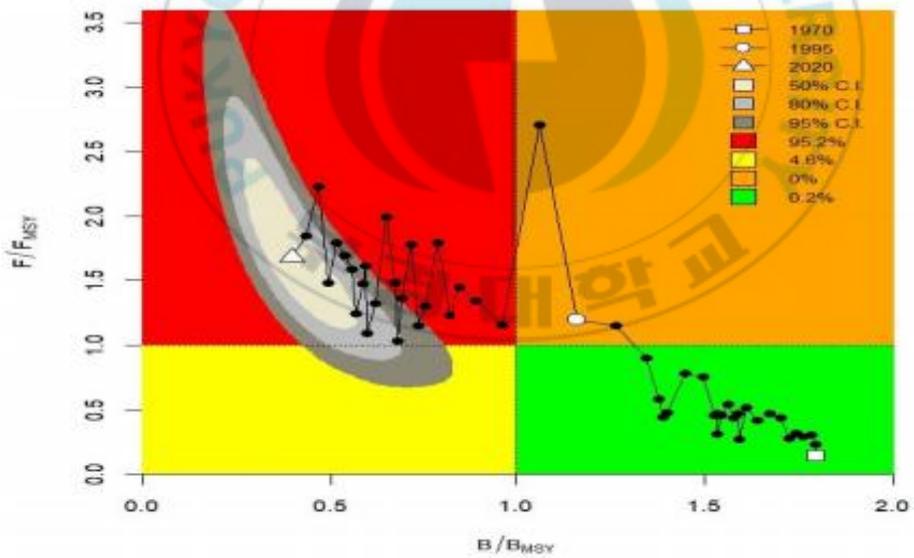
CMSY 모델을 활용한 결과, 2020년 기준 고등어 자원량은 344,657톤으로 추정되었다. 이는 [그림 II-1]에서와 같이, B_{MSY} 864,481톤 대비 약 40% 수준으로 현재 자원상태는 심각하게 남획된 수준(Grossly overfished)으로 평가되었다. 그리고 BSS 모델을 활용한 결과, 2020년 기준 고등어 자원량은 442,660톤으로 B_{MSY} 729,751톤 대비 61% 수준으로 추정되었다. 또한 [그림 II-2]와 [그림 II-3]에서 보는 바와 같이 현재 고등어 자원량은 매우 낮게 나타난 것에 비해 어획강도는 매우 높은 것으로 추정되었다.

이에 따라 현재 고등어의 자원상태는 남획된 수준(Overfished)인 것으로 분석되었다. 또한 우리나라 고등어의 TAC 소진율이 2019년 65% 그리고 2020년 59% 수준으로 TAC 할당량이 실제 어획량에 비해 상당히 높게 책정되어 있음을 문제점으로 제기하였다. 이에 따라 향후 효과적인 고등어 자원관리를 위해서는 최적의 TAC 수준에 대한 재검토의 필요성을 제안하였다.



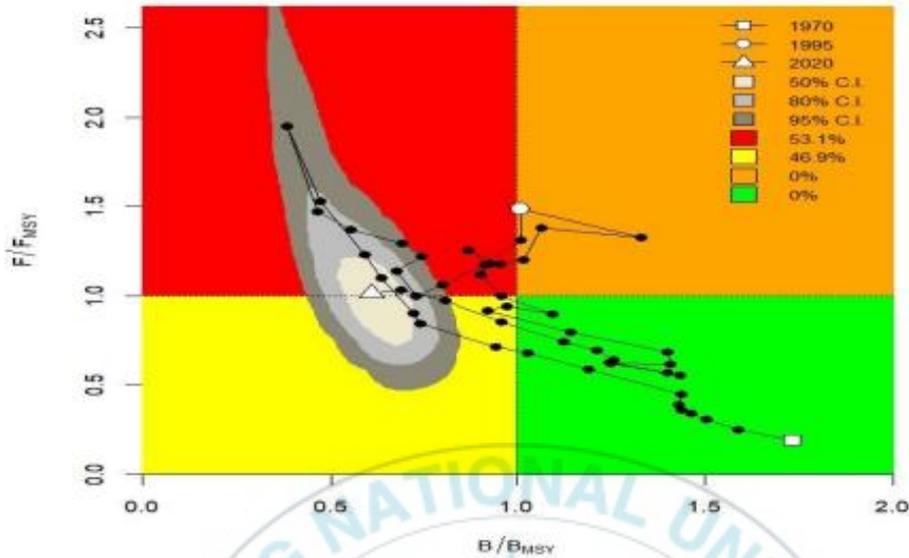
자료 : 홍재범·김도훈(2021)

[그림 II-1] 고등어의 자원량 변화(왼쪽: CMSY, 오른쪽: BSS)



자료 : 홍재범·김도훈 (2021)

[그림 II-2] CMSY 모델을 활용한 Kobe plot 결과(선행연구)



자료 : 홍재범·김도훈(2021)

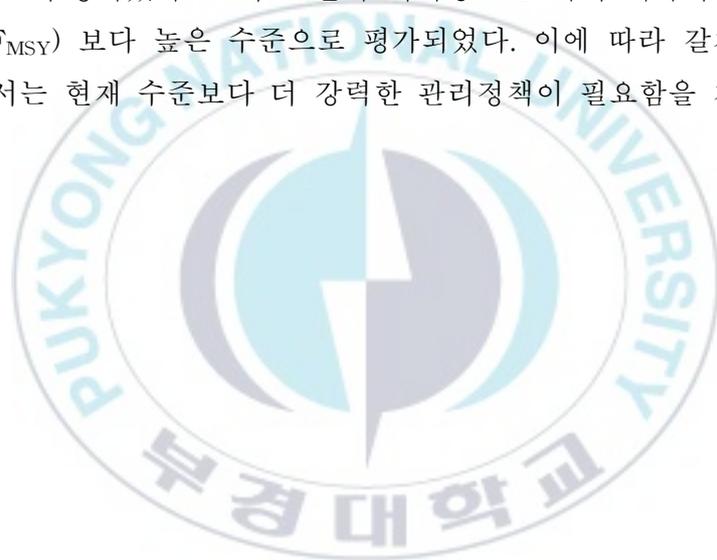
[그림 II-3] BSS 모델을 활용한 Kobe plot 결과(선행연구)

박차수 외(2000)와 남종오·조훈석(2018)과 같이 기존의 전통적인 자원평가모델 이외에 홍재범·김도훈(2021)에서와 같이 최근 활용되고 있는 분석방법으로 어획량 기반 자원평가모델이 있다. 어획량 기반 자원평가모델의 대표적인 연구로는 Froese et al. (2017)가 있으며, 이는 자원평가에 있어 활용할 수 있는 자료가 부족할 경우 수산자원관리를 위한 기준점을 추정하기 위한 방법이다.

Froese et al. (2017)는 어획량 자료를 기반으로 자원평가모델의 활용 가능성에 대하여 제시하였다. 분석 자료는 태평양, 북대서양, 남대서양, 지중해, 그리고 흑해에서 어획되고 있는 159개 어종을 대상으로 어획량 자료를 활용한 자원평가모델인 CMSY 모델을 제시하였다. 추가적으로 CMSY 모델의 결과를 비교 분석하기 위해 잉여생산량 모델을 기반으로 한 Schaefer 모형을 이용하여 BSS 모델을 활용하였다. CMSY 모델 및 BSS 모델을 활용한 어종에 대한 자원평가 결과는 대부분 유사하게 나타났으며, 이를 통

해 활용 할 수 있는 자료가 제한적인 경우에도 CMSY 모델을 이용한 자원평가의 가능성을 제시하였다.

Ji et al. (2019)은 중국의 Yellow Sea, Bohai Sea 해역에서 갈치를 대상으로 자원평가를 실시하기 위해 CMSY 및 BSS 모델을 활용하였다. 분석 자료는 1986년부터 2012년까지의 어획량 및 CPUE 자료를 활용하였다. 그리고 주요 변수의 사전범위 설정은 Fishbase의 회복력(Resilience) 자료를 활용하였다. 분석 결과, 현재 갈치 자원량이 최대지속적생산량(Maximum Sustainable Yield, MSY) 수준을 달성할 수 있는 자원량(B_{MSY}) 수준보다 낮은 것으로 추정되었다. 그리고 현재 어획강도는 최대 지속가능 생산량의 어획강도(F_{MSY}) 보다 높은 수준으로 평가되었다. 이에 따라 갈치의 자원회복을 위해서는 현재 수준보다 더 강력한 관리정책이 필요함을 제안하였다.



<표 II-1> 수산자원평가 관련 선행연구

제목	저자	분석방법 및 자료
한국 연근해 갈치 (<i>Trichiurus lepturus</i> Linnaeus)의 자원평가 및 관리방안	박차수 외 (2000)	- 1970년-1997년 어획량 및 CPUE 자료 활용 - Schaefer, Fox 모형 활용
다수어업의 갈치 자원평가 및 최적어획량 추정	남종오·조훈석 (2018)	- 1990년-2016년 업종별 어획량 및 표준화된 CPUE 자료 활용 - CY&P 모형 활용
CMSY 및 BSS 모형을 활용한 한국의 고등어 자원평가 연구	홍재범·김도훈 (2021)	- 1976년-2017년 업종별 어획량 및 표준화된 CPUE 자료 활용 - CMSY 및 BSS 모형 활용
Estimating fisheries reference points from catch and resilience	Froese et al. (2017)	- 자료가 부족한 경우에서의 어업관리를 위한 기준점 추정 - CMSY, BSS 모형 활용
Estimating biological reference points for Largehead hairtail (<i>Trichiurus</i> <i>lepturus</i>) fishery in the Yellow Sea and Bohai Sea	Ji et al. (2019)	- 1986년-2012년 어획량 및 CPUE 자료 활용한 자원평가 분석 - CMSY, BSS 모형 활용

2. 생물경제학적 분석

최민제(2020)는 우리나라 참조기의 적정 Total Allowable Catch(TAC) 수준을 제시하기 위해 BSS를 활용한 생물경제학적 분석을 실시하였다. 구체적으로 자원평가 결과를 기반으로 TAC 설정 시나리오에 따른 자원량 변화와 업종별 경영성과를 분석하고, 이를 바탕으로 참조기 어업 관리를 위한 적정 TAC 수준을 제시하였다. 구체적으로 TAC 설정 시나리오에 있어서는 2014년부터 2018년까지의 업종별(근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망) 참조기 평균어획량을 기준으로 10% 증가(C_{1.1}), 20% 증가(C_{1.2}) 등 6가지로 설정하였다.

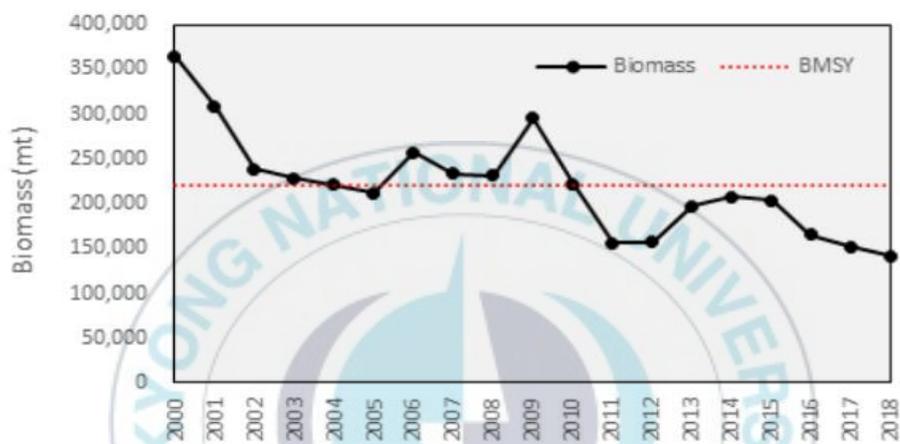
분석 결과, 향후 참조기 자원량을 고려한 TAC 수준은 현재 평균 어획량 대비 최대 10% 증가한 수준까지 설정 가능한 것으로 분석되었다. 경영성과(수익성) 관점에서는 TAC 수준을 현재의 평균 어획량 대비 -30% 설정할 경우 각 업종의 어업이익을 발생시킬 수 없을 것으로 분석되었다. 이에 따라 참조기 TAC 설정을 각 업종의 어업이익이 발생하는 20% 수준까지 설정해야 참조기 어획에 있어 수익성을 보장할 수 있을 것으로 분석되었다.

최완현(2020)은 BSS를 활용하여 우리나라 연근해 갈치에 대한 자원을 평가하였다. 그리고 그 결과를 바탕으로 생물경제학적 분석을 실시하였다. 분석 자료는 2000년부터 2018년까지의 우리나라 주요 근해어업 5개 업종(근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망) 어획량 자료와 어선마력수를 표준화하여 분석하였다.

분석 결과, 갈치 자원의 r 은 0.382, 최대자원량 수준인 환경수용력 k 는 442,738톤으로 나타났다. 그리고 최대 지속 가능한 어획량(MSY)은 42,108톤, MSY를 실현할 수 있는 적정 자원량(B_{MSY}) 수준은 221,369톤, 그 때의 적정 어획강도(F_{MSY})는 0.190/년으로 나타났다.

분석 결과로 추정된 갈치자원의 자원량은 [그림 II-4]에서 보는 바와 같이, 2018년 기준 B_{MSY} 수준의 64%로 나타났으며, 향후 자원량은 지속적으로

로 감소할 것으로 추정되었다. 생물경제학적 분석의 결과로는 [그림 II-5]에서와 같이 모든 시나리오 하에서 자원량이 증가하는 것으로 나타났다. 이에 따라 어선척수 또는 조업일수를 제한하거나 어획강도를 감소시키는 등 향후 자원회복을 위해 현재보다 강력한 관리수단의 적용이 필요함을 제안하였다.



자료 : 최완현(2020)

[그림 II-4] 갈치 자원평가 결과(선행연구)



자료 : 최완현(2020)

[그림 II-5] 어획량(ABC)변동 갈치 자원량 예측(선행연구)

최지훈 외(2020)는 기름가자미를 대상으로 BSS 모델을 활용하여 자원평가를 실시하였다. 그리고 자원평가 결과를 바탕으로 어업관리수단들에 대한 생물경제학적 효과를 분석하여 최적의 어업관리 기준점을 찾고자 하였다. 구체적으로 TAC와 어획노력량 수준에 따라 변화하는 자원량과 어업이익의 변화를 분석하였다. 분석에 있어 TAC 할당량 범위는 2018년 어획량 수준인 1,761톤 기준으로 하여 +30% 증가부터 -10% 감소까지 총 5가지로 설정하였다.

분석 결과, 기름가자미의 적정 TAC 수준은 현재 어획량 기준 최대 30% 증가한 수준까지 설정 가능할 것으로 분석되었다. 그리고 TAC 설정을 2018년 어획량 기준 10% 증가시킬 경우 어업이익(NPV)은 가장 높은 수준으로 분석된 반면, 자원량은 감소하는 것으로 분석되었다.

결론적으로 기름가자미의 TAC 할당량이 현 수준으로 유지될 경우 자원량 또한 지속적으로 유지될 것으로 추정되었다. 하지만 본 연구의 경우 동해구외끌이중형저인망만을 대상으로 분석한 것으로, 보다 정확한 자원평가를 위해서는 어획비중이 높은 연안자망까지 포함할 필요성을 제안하였다.

Tokunaga et al. (2019)은 1964년부터 2015년까지 일본의 39개 연안에서 해조류와 포유류를 제외한 86개 어종에 대하여 자원평가 및 생물경제학적 분석을 실시하였다. 분석에 있어서는 어획량 기반 자원평가모형을 활용하였으며, 이를 바탕으로 생물경제학적 분석을 실시하였다. 구체적으로 적정 어획강도(F_{MSY})와 자원량(B_{MSY})의 시나리오별 분석을 통해 최적의 MSY 및 최대 이익을 얻을 수 있는 자원량을 추정하였다.

분석 결과, 분석대상 어종들의 79%는 남획되었으며, 자원량은 최대지속가능한생산량(MSY)의 자원량 수준보다 낮은 것으로 추정되었다. 어획강도를 최소화 하였을 경우, 단기적으로 어획량은 줄었으나 자원량은 지속적으로 증가하여 2065년까지 연간 어업이익은 3.5배, 그리고 자원량은 30%까지 증가할 수 있을 것으로 추정되었다.

Mamdouh (2019)은 1985년부터 2016년까지 이집트의 지중해와 홍해에서 어획되는 어종에 대하여 생물경제학적 분석을 실시하였다. 어획량 및 어획

노력량 자료를 바탕으로 CY&P 모형을 활용하여 분석하였다.

분석 결과, 현재 이집트의 지중해와 홍해 모두 자원량이 남획 상태로 감소하고 있는 것으로 나타났으며, 현재 어획노력량이 최대 지속가능한 어획노력량(EMSY) 수준보다 높은 것으로 추정되었다. 어업경영에 있어서도 과거에 비해 어업비용이 크게 증가하여 어업이익이 많이 감소한 것으로 분석되었다.

이에 따라 지중해와 홍해의 어획량을 각각 45.6%와 40.5% 정도 감소시키는 방안을 제안하였으며 특히, 트롤 어구의 경우 어획량 감소에 따라 순이익이 각각 168.0%와 19.2% 증가시킬 수 있을 것으로 분석되었다. 또한 관리수단으로서 세금 부과, TAC, 어망 크기 제한, 어업 통계 기록 시스템 개선 등을 제안하였다.



<표 II-2> 생물경제학적 분석 관련 선행연구

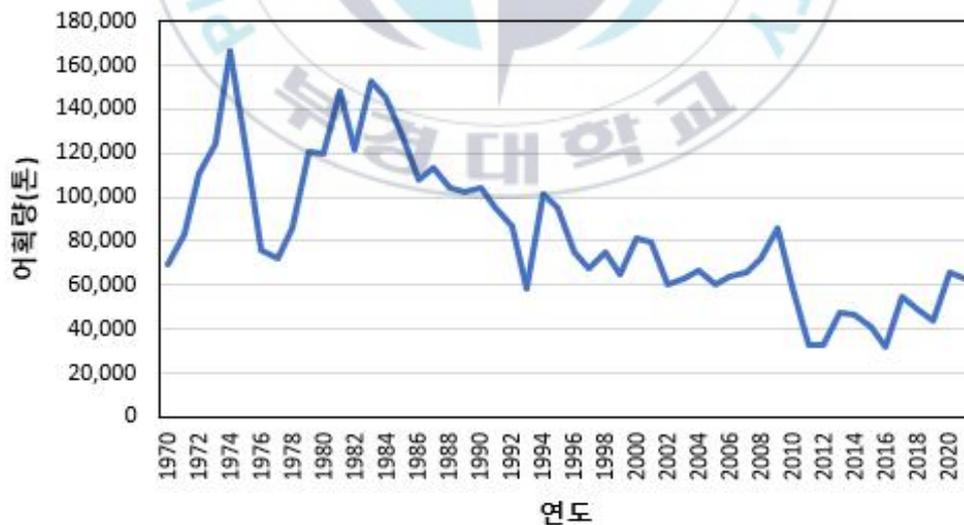
제목	저자	분석방법 및 자료
참조기 어업관리를 위한 생물경제학적 분석	최민제 (2020)	- Bayesian state-space 모델 활용 - TAC 설정 시나리오별 참조기 자원량 및 업종별 어업이익 변화 예측
효과적인 자원관리를 위한 어업관리수단의 생물경제학적 분석	최완현 (2020)	- 2000년-2018년 업종별 어획량 및 표준화된 CPUE 자료 활용 - Bayesian state-space 모델 활용
기름가자미 어업관리방안 평가를 위한 생물경제학적 분석	최지훈 외 (2020)	- Bayesian state-space 모델 활용 - TAC, 어획노력량 수준에 따른 생물경제학적 변화 예측
Alternative outcomes under different fisheries management policies: A bioeconomic analysis of Japanese fisheries	Tokunaga et al. (2019)	- 1964-2015년 일본의 39개 연안에서의 86개 어종에 대한 자원평가 결과를 활용 - F_{MSY} , B_{MSY} 수준에 따른 생물경제학적 변화 예측
Bioeconomic Analysis on the Egyptian Coastal Fisheries in the Mediterranean and Red Seas	Mamdouh (2019)	- 1985-2016년 이집트의 지중해와 홍해 해역에 대한 자원평가 결과를 활용

Ⅲ. 갈치 어업 현황

1. 생산 현황

1) 갈치 어획량

우리나라 연근해어업 갈치 총 어획량은 1970년 기준 69,082톤을 시작으로 지속적으로 증가하였으며, 1974년에는 166,391톤으로 최대 어획량을 기록하였다. 이후 증감을 반복하여 평균적으로 10만 톤 이상의 어획량을 기록하다가 1990년대 중반부터 10만 톤 이하의 수준으로 감소하였다. 2000년대로 들어서면서 약 6만 톤에서 8만 톤 수준으로 미미한 변동을 보이고 있으며, 2010년부터 급격하게 감소하여 2011년 33,101톤으로 최저 어획량을 기록하였다. 이후 증감을 반복하는 경향을 보이며, 2021년 기준 소폭 상승하여 63,056톤을 보이고 있다(통계청, 2022).



자료 : 통계청(2022)

[그림 III-1] 연근해어업 갈치 어획량(1970년-2021년)

우리나라 갈치의 경우 다양한 업종에서 어획되는 어종이며, 각 업종의 어획 비율이 비교적 고르게 분포되어 있다. <표 III-1>에서는 2016년부터 2020년까지의 최근 5개년 연근해어업 업종별 갈치 어획량을 나타내었다.

최근 5개년(2016년-2020년) 평균 어획량을 기준으로 근해연승이 전체 어획량의 24.8%로 가장 많은 비중을 차지하고 있다.

다음으로는 연안복합 14.2%, 근해안강망 12.8%, 대형선망 10.5%, 근해채낚기 7.9%, 대형트롤 6.9%, 쌍끌이대형저인망 6.8% 등의 순으로 나타났다(통계청, 2022).

<표 III-1> 업종별 갈치 어획량(2016년-2020년)

(단위 : 톤, %)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	평균	비율
근해연승	6,569	13,193	13,892	11,447	15,736	12,167	24.8%
연안복합	4,487	9,684	7,025	6,116	7,632	6,989	14.2%
근해안강망	4,301	6,199	7,739	5,581	7,522	6,268	12.8%
대형선망	6,435	8,373	4,969	2,426	3,603	5,161	10.5%
근해채낚기	2,741	4,931	3,830	3,235	4,557	3,859	7.9%
대형트롤	713	1,033	1,438	5,312	8,454	3,390	6.9%
쌍끌이 대형저인망	3,304	4,343	3,008	1,897	4,070	3,324	6.8%
기타*	3,781	6,726	7,550	7,464	14,146	7,933	16.2%
합계	32,331	54,481	49,451	43,478	65,720	49,092	100%

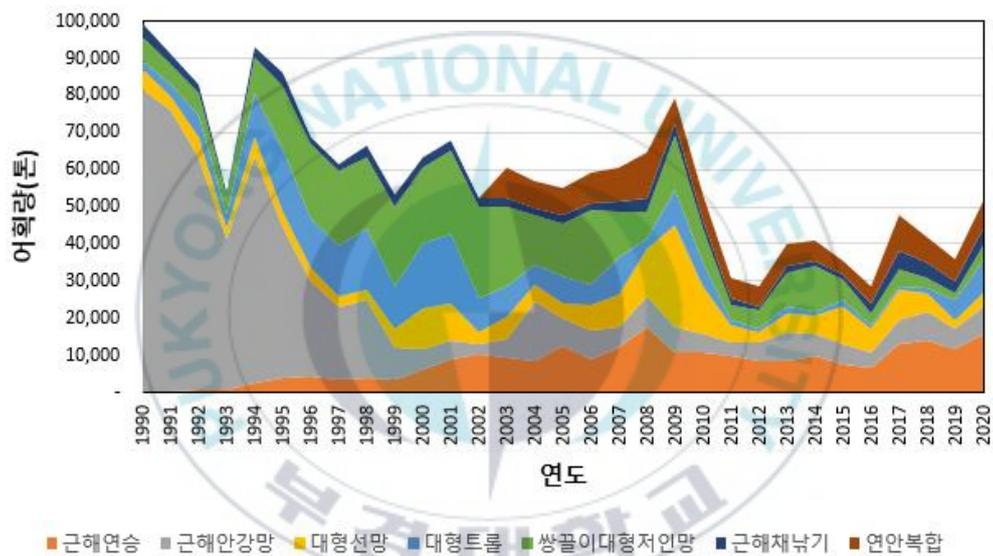
*서남해구쌍끌이중형저인망, 근해자망, 대형자망 등

자료 : 통계청(2022)

이와 같이, 갈치는 다수의 어업(업종)에 의해 어획되고 있으며, 주요 어업을 제외한 기타어업 비율이 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었다. 갈치의 업종별 어획량 변화를 살펴보면, [그림 III-2]에서 보는 바와 같다. 1990년대 갈치 어획량의 대부분은 근해안강망이 차지하고 있는 것으로 나타났다. 다음으로는 쌍끌이대형저인망과 대형트롤이 양분하여 어획하는 형

태었다. 하지만 2000년대에 들어서면서 근해안강망의 어획 비중은 급격하게 줄어든 반면, 근해연승과 대형선망의 어획 비중이 증가하게 되었다.

특히, 2004년부터 연안복합이 상대적으로 갈치를 많이 어획하면서 근해채낚기의 어획 비중이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 최근 5년 기준 갈치 어획량을 살펴보면, 근해연승과 연안복합 그리고 근해안강망의 비중이 가장 높은 것으로 나타났으며, 나머지 기타 어업들이 양분하여 갈치를 어획하는 것으로 분석되었다.

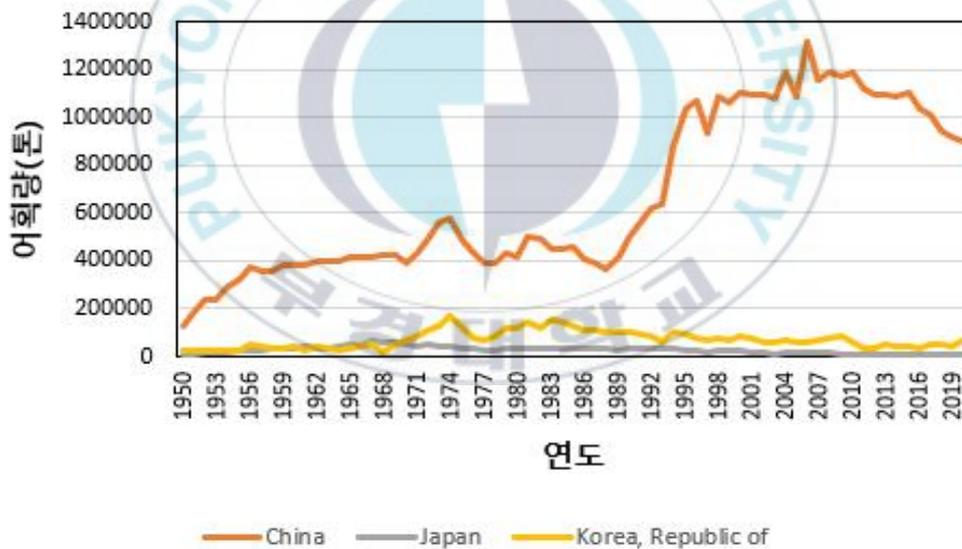


자료 : 통계청(2022); 국립수산과학원(2017)

[그림 III-2] 연도별·업종별 갈치 어획량(1990년-2020년)

갈치의 경우 한국과 인접한 중국과 일본에서도 어획이 이루어지고 있으며, 각 나라의 어획량 변동에 따라 타 국가의 어획량에 상당한 영향을 미치고 있다. 중국의 경우 한·중·일 3개 국가 중에서 가장 많은 어획이 이루어지고 있다. 구체적으로 살펴보면, 중국은 1950년 129,200톤을 시작으로 지속적으로 증가하여 2006년 최대치인 1,315,730톤을 기록하였다. 하지만 이후 감소하는 추세를 보이며, 최근에는 약 90만 톤 수준에서 미미한 변화를 보이고 있다.

일본의 경우 1950년 10,000톤을 시작으로 꾸준히 증가하는 추세를 보이며, 1967년 68,300톤을 기록하였다. 하지만 이후 지속적으로 감소하여 2010년 이후 10,000톤 이하의 어획량을 보이고 있으며, 최근 5년간 약 6,000톤에서 7,000톤 사이의 어획량 수준을 보이고 있다(FAO, 2022).



자료 : FAO(2022)

[그림 III-3] 나라별 갈치 어획량(1950년-2020년)

2) 갈치 생산금액

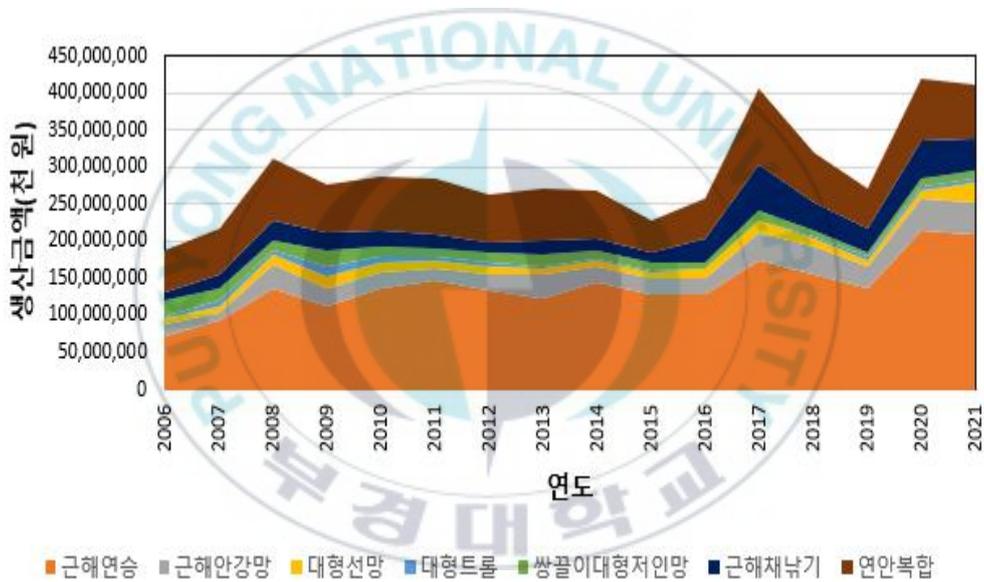
갈치의 전체 생산금액은 <그림 III-4>에서 보는 바와 같이, 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. 구체적으로 살펴보면, 1990년 기준 약 1,236.9억 원에서 지속적으로 증가하여 2008년 3,284.7억 원을 기록하였다. 이후 2009년부터 2015년까지 감소하는 추세를 보였으며, 2015년부터 다시 증가하여 2017년 4,387.4억 원으로 나타났다. 2020년에는 전년도 대비 약 54% 증가한 4,660.3억 원을 기록하였으며, 2021년의 경우 소폭 감소하여 4,536.9억 원으로 나타났다.



자료 : 통계청(2022)

[그림 III-4] 연근해어업 갈치 생산금액(1990년-2021년)

갈치의 업종별 생산금액의 경우 통계청에서 활용 가능한 2006년부터 2021년까지의 자료를 살펴보면, [그림 III-5]에서 보는 바와 같이, 갈치 업종별 생산금액에서 가장 큰 비중은 근해연승이 차지하고 있는 것으로 나타났다. 다음으로 연안복합, 근해채낚기, 근해안강망, 대형선망, 쌍끌이대형저인망, 그리고 대형트롤 순으로 나타났다. 한편 2021년 기준 대형트롤의 경우 톤당 갈치 생산금액이 47.6억 원으로 상대적으로 다른 업종에 비해 생산금액 비중이 낮은 것으로 나타났으며, 변동의 폭이 매우 큰 것으로 분석되었다.

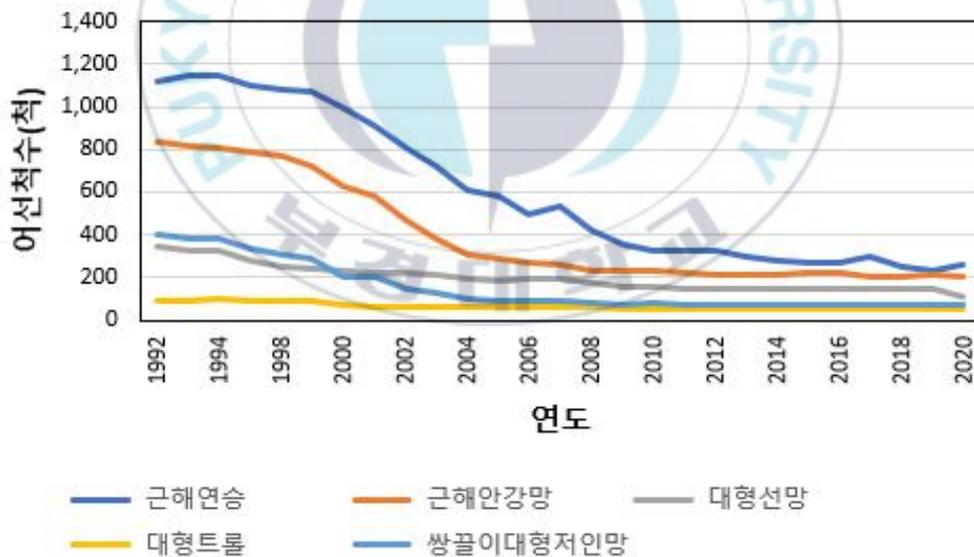


자료 : 통계청(2022)

[그림 III-5] 업종별·어업별 갈치 생산금액(2006년-2021년)

3) 주요 업종별 어획노력량

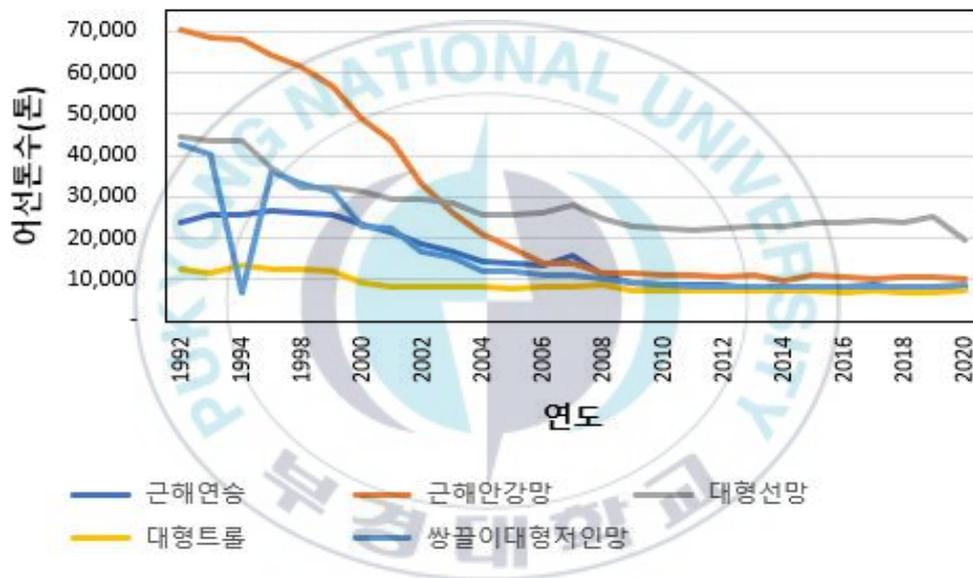
갈치의 주요 업종별 어획노력량 변화를 분석하기 위해 본 연구에서는 TAC 대상업종인 근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤 그리고 쌍끌이 대형저인망의 척수, 톤수, 마력수 자료를 살펴보았다. 먼저 업종별 척수의 경우 [그림Ⅲ-6]에서 보는 바와 같이, 다섯 업종 모두에서 과거에 비해 감소한 것으로 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 근해연승의 경우 1992년 1,123척에서 2020년 261척, 근해안강망의 경우 1992년 833척에서 2020년 205척, 그리고 대형선망의 경우 1992년 342척에서 2020년 111척으로 각각 감소하였다. 다음으로 대형트롤의 경우 1992년 94척에서 2020년 53척, 쌍끌이 대형저인망의 경우 1992년 401척에서 2020년 74척으로 각각 감소한 것으로 나타났다.



자료 : 통계청(2022)

[그림 Ⅲ-6] 연도별·업종별 갈치 어선척수(1992년-2020년)

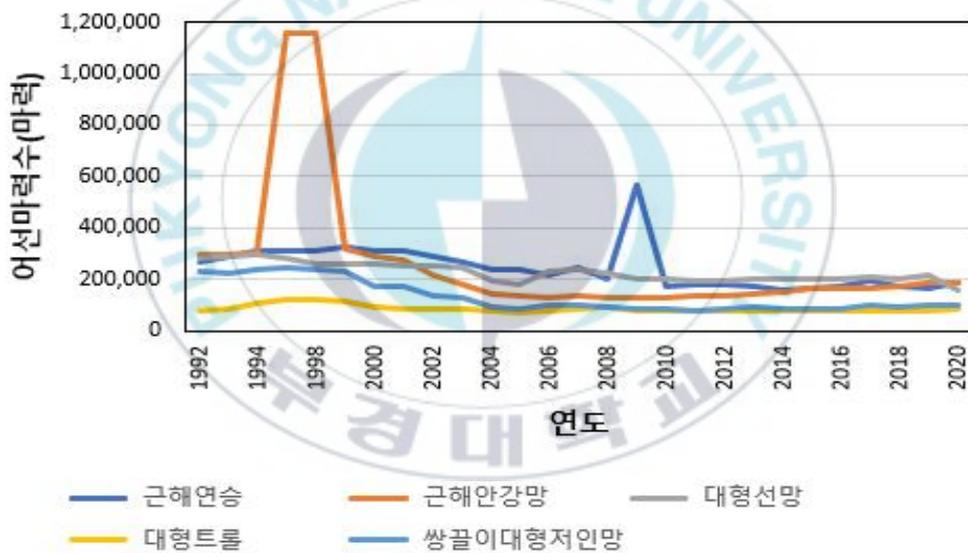
업종별 톤수의 경우 [그림 III-7]에서 보는 바와 같이, 다섯 업종 모두 과거에 비해 감소한 것으로 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 근해연승의 경우 1992년 23,885톤에서 2020년 8,189톤, 근해안강망의 경우 1992년 70,348톤에서 2020년 10,358톤, 그리고 대형선망의 경우 1992년 44,652톤에서 2020년 19,509톤으로 각각 감소하였다. 또한 대형트롤의 경우 1992년 12,312톤에서 2020년 7,150톤, 쌍끌이대형저인망의 경우 1992년 42,563톤에서 2020년 8,597톤으로 각각 감소한 것으로 나타났다.



자료 : 통계청(2022)

[그림 III-7] 연도별·업종별 갈치 어선톤수(1992년-2020년)

업종별 마력수의 경우 [그림Ⅲ-8]에서 보는 바와 같이, 근해연승과 근해안강망의 경우 급격한 증감을 나타냈으며, 최근 미미하게 증가하는 추세를 보였다. 반면 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망의 경우 큰 변화는 나타나지 않았다. 구체적으로 살펴보면 근해연승의 경우 1992년 263,731마력에서 2020년 183,966마력, 근해안강망의 경우 1992년 295,468마력에서 2020년 183,875마력, 그리고 대형선망의 경우 282,924마력에서 2020년 160,220마력으로 나타났다. 또한 대형트롤의 경우 1992년 73,855마력에서 2020년 81,798마력, 쌍끌이대형저인망의 경우 1992년 227,430마력에서 2020년 102,288마력으로 나타났다.



자료 : 통계청(2022)

[그림 Ⅲ-8] 연도별·업종별 갈치 어선마력수(1992년-2020년)

2. 경영 현황

1) 업종별 경영 현황

갈치의 주요 업종별 경영 현황을 파악하기 위해 2016년부터 2020년까지의 5개년도 경영체 단위 어업별 현황을 분석하였다. 구체적으로 어획량 변화에 직접적으로 관련이 있는 업종별 어업수익, 총수익(어업수익+어업외수익), 어업비용(출어비+임금 및 관리비+감가상각비), 어업이익(어업수익-어업비용), 어업외비용, 총비용(어업비용+어업 외 비용), 그리고 경영체 순이익(총수익-총비용)을 중심으로 살펴보았다.

먼저 근해연승의 수지 현황을 살펴보면, <표 III-2>에서와 같이, 어업수익이 총수익과 동일했으며, 2016년부터 증감을 반복하여 2020년 15.9억 원을 기록하였다. 어업비용의 경우 증감을 반복하다 2020년에 소폭 증가한 것으로 나타났다. 이에 따른 2020년 어업이익은 전년 대비 104% 증가한 것으로 나타났다. 경영체 순이익의 경우에도 2020년 기준 전년 대비 104% 증가한 것으로 나타났다.

<표 III-2> 근해연승 수지현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외 비용	총비용	경영체 순이익
2016	1,130,224	1,130,342	823,950	306,274	2,262	826,211	304,130
2017	1,475,911	1,475,911	962,697	513,214	4,545	967,242	508,669
2018	1,273,666	1,273,666	890,797	382,869	-	890,797	382,869
2019	1,129,518	1,129,518	845,811	283,707	-	845,811	283,707
2020	1,585,425	1,585,425	1,007,954	577,470	-	1,007,954	577,470
평균	1,318,949	1,318,972	906,242	412,707	3,404	907,603	411,369

자료 : 통계청(2022)

근해안강망의 수지 현황을 살펴보면 <표 III-3>에서와 같이, 어업수익 및 총수익은 2016년에 비해 소폭 증가한 것으로 나타났으며 2020년 기준 총수익은 12.4억 원을 기록하였다.

어업비용의 경우 비슷한 수준에서 증감 변동을 보였으며, 이에 따른 어업이익은 2020년 기준 전년 대비 29% 증가하였다. 경영체 순이익의 경우 2020년 기준 전년 대비 27% 증가한 것으로 나타났다.

<표 III-3> 근해안강망 수지현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외 비용	총비용	경영체 순이익
2016	1,026,394	1,026,394	796,501	229,893	9,198	805,699	220,695
2017	1,177,249	1,177,288	900,089	277,160	8,677	908,766	268,522
2018	1,204,459	1,204,687	823,718	380,742	4,303	828,021	376,665
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
평균	1,142,587	1,143,332	834,652	307,935	6,672	841,324	302,007

자료 : 통계청(2022)

대형선망의 수지 현황을 살펴보면, 어업수익의 경우 2017년 이후 지속적으로 증가하여 2020년 122.8억 원으로 나타났다. 총수익의 경우 감소추세를 보이다 2020년 소폭 상승하여 133.3억 원으로 나타났다.

어업비용의 경우 2016년부터 지속적으로 감소하다가 2020년 소폭 상승하여 113.5억 원을 기록하였다. 이에 따라, 총수익에서 어업 비용을 차감한 어업이익을 살펴보면 대형선망의 경우 2017년과 2018년 각각 16.0억 원, 5.6억 원의 적자를 보임으로써 유일하게 적자를 보인 업종으로 조사되었다.

하지만 2019년부터 최근까지는 증가하는 추세를 보이고 있으며, 2020년

기준 전년 대비 -7%, 2016년 대비 238% 증가하는 결과를 나타냈다. 경영체 순이익의 경우 어업이익의 적자의 영향으로 2017년과 2018년 동일한 마이너스(-) 결과를 나타냈으며, 2020년은 전년 대비 163% 증가한 것으로 조사되었다.

<표 III-4> 대형선망 수지현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외 비용	총비용	경영체 순이익
2016	13,862,084	14,292,932	13,588,138	273,896	668,864	14,257,002	35,930
2017	10,504,753	11,443,813	12,104,196	-1,599,443	553,229	12,657,424	-1,213,611
2018	10,848,499	11,231,188	11,406,308	-557,809	406,193	11,812,501	-581,312
2019	11,856,631	12,521,841	10,858,291	998,340	1,051,730	11,910,021	611,819
2020	12,275,279	13,335,789	11,349,460	925,820	375,420	11,724,880	1,610,909
평균	11,869,439	12,565,113	11,861,279	8,161	611,087	12,472,366	92,747

자료 : 통계청(2022)

대형트롤의 수지현황을 살펴보면, 어업수익 및 총수익의 경우 동일하게 2016년 37.0억 원을 시작으로 증감 변동을 통해 2020년 30.1억 원으로 감소한 결과를 기록하였다.

다음으로 어업비용의 경우 2017년 34.7억 원을 기록한 이후 지속적으로 감소하여 25.6억 원으로 나타났다. 이에 따른 어업이익은 2020년 기준 4.5억 원으로 전년 대비 -28%의 감소한 수치를 확인할 수 있었다. 경영체 순이익의 경우 2020년 기준 4.1억 원으로 전년 대비 -5%의 감소한 결과로 조사되었다.

<표 III-5> 대형트롤 수지현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외 비용	총비용	경영체 순이익
2016	3,697,082	3,697,082	3,472,195	224,887	6,720	3,478,915	218,167
2017	4,577,107	4,577,107	3,448,494	1,128,614	8,998	3,457,492	1,119,616
2018	4,144,653	4,144,653	2,887,045	1,257,609	-	2,887,045	1,257,609
2019	3,439,590	3,439,590	2,812,680	626,910	189,800	3,002,480	437,110
2020	3,008,011	3,008,011	2,559,733	448,278	34,062	2,593,795	414,216
평균	3,773,289	3,773,289	3,036,029	737,260	59,895	3,083,945	689,344

자료 : 통계청(2022)

쌍끌이대형저인망의 수지현황을 살펴보면, 어업수익 및 총수익의 경우 2016년부터 증가추세를 보이다 2018년 이후 지속적으로 감소하여 2020년 38.6억 원을 기록하였다.

어업비용은 2016년 42.6억 원을 기록한 이후 비슷한 수준에서 증감 변동을 보이다 2020년 33.6억 원으로 감소한 결과를 나타냈다. 이에 따라 총수익에서 어업비용을 차감한 어업이익은 2020년 기준 5.0억 원으로 나타났으며, 이는 전년 대비 40% 증가한 것으로 나타났다. 경영체 순이익의 경우 2020년 기준 5.0억 원으로 나타났고, 이는 전년 대비 51% 증가한 것으로 조사되었다.

<표 III-6> 쌍끌이대형저인망 수지현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

연도	어업 수익	총수익	어업 비용	어업 이익	어업 외 비용	총비용	경영체 순이익
2016	4,302,310	4,302,310	4,255,907	46,403	8,333	4,264,240	38,070
2017	5,231,157	5,231,157	4,280,638	950,520	8,763	4,289,400	941,757
2018	5,014,058	5,014,058	3,947,262	1,066,796	-	3,947,262	1,066,796
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	-	3,359,486	502,429
평균	4,557,568	4,557,568	3,972,544	585,024	14,310	3,981,130	576,438

자료 : 통계청(2022)



2) 업종별 갈치 어획비중

다음으로 갈치를 어획하는 주요 업종별 어획 비중을 살펴보았다. 먼저 근해연승의 경우 <표 III-7>에서 보는 바와 같이, 2016년 51.3%에서 증감 변동을 반복하여 2020년 73.6%로 나타났다. 이에 따라 근해연승 전체 생산 금액에서 갈치가 차지하는 비중도 2016년 73.3%에서 2020년 85.2%로 나타났다. 2016년부터 2020년까지 근해연승에서 평균적으로 갈치가 차지하는 어획비중은 어획량에서 66.1%로 나타났으며, 생산금액은 79.9%로 조사되었다.

<표 III-7> 근해연승 갈치 어획 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	갈치	비중	전체	갈치	비중
2016	12,802	6,569	51.3%	173,918,571	127,405,592	73.3%
2017	18,689	13,193	70.6%	210,422,171	174,648,767	83.0%
2018	18,979	13,892	73.2%	190,282,944	154,666,175	81.3%
2019	18,498	11,447	61.9%	176,419,077	135,849,809	77.0%
2020	21,377	15,736	73.6%	250,433,559	213,365,006	85.2%
평균	18,069	12,167	66.1%	200,295,264	161,187,070	79.9%

자료 : 통계청(2022)

근해안강망 어획량에서 갈치가 차지하는 어획 비중은 <표 III-8>에서 보는 바와 같이, 2016년 10.0%에서 증가하여 2020년 14.7%로 나타났다. 이에 따라 근해안강망 전체 생산 금액에서 갈치가 차지하는 비중은 2016년 15.9%에서 증가하여 2020년 26.5%로 나타났다. 2016년부터 2020년까지 근해안강망에서 평균적으로 갈치가 차지하는 어획 비중은 어획량에서 12.6%,

생산금액에서는 21.2%로 나타났다.

<표 III-8> 근해안강망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	갈치	비중	전체	갈치	비중
2016	43,128	4,301	10.0%	147,381,188	23,450,417	15.9%
2017	58,553	6,199	10.6%	201,148,256	36,763,091	18.3%
2018	50,188	7,739	15.4%	164,978,391	39,053,513	23.7%
2019	44,807	5,581	12.5%	141,319,032	30,859,688	21.8%
2020	51,101	7,522	14.7%	170,274,933	45,136,264	26.5%
평균	49,555	6,268	12.6%	165,020,360	35,052,595	21.2%

자료 : 통계청(2022)

대형선망 어획량에서 갈치가 차지하는 어획 비중은 <표 III-9>에서 보는 바와 같다. 구체적으로 2016년 3.1%를 시작으로 증감 변동을 반복하여 2020년 기준 2016년 대비 동일한 수치인 3.1%로 나타났다. 다음으로 대형선망 전체 생산 금액에서 갈치가 차지하는 비중을 살펴보면 2016년 4.1%를 시작으로 증감 변동을 통해 2020년 기준 4.5%로 2016년에 비해 소폭 증가한 수치로 파악되었다. 이에 따라 2016년부터 2020년까지 대형선망에서 평균적으로 갈치가 차지하는 어획 비중은 어획량 3.1%, 생산금액 4.6%로 나타났다.

<표 III-9> 대형선망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	갈치	비중	전체	갈치	비중
2016	207,989	6,435	3.1%	272,786,327	11,184,632	4.1%
2017	148,677	8,373	5.6%	209,821,097	15,569,196	7.4%
2018	241,897	4,969	2.1%	259,901,933	9,891,771	3.8%
2019	145,066	2,426	1.7%	196,475,572	6,664,434	3.4%
2020	120,404	3,603	3.0%	214,893,675	9,587,629	4.5%
평균	172,807	5,161	3.1%	230,775,721	10,579,532	4.6%

자료 : 통계청(2022)

대형트롤 어획량에서 갈치가 차지하는 어획 비중은 <표 III-10>에서 정리된 바와 같다. 대형트롤 어업에서 갈치가 차지하는 비중을 살펴보면 2016년 1.4%를 시작으로 증감 변동을 반복하여 2020년에는 크게 증가한 36.9%로 나타났다. 다음으로 대형트롤 전체 생산금액에서 갈치가 차지하는 비중은 2016년 0.4%에서 2020년 6.9%로 크게 증가한 수치를 기록하였다. 이에 따라 2016년부터 2020년까지 대형트롤에서 평균적으로 갈치가 차지하는 어획 비중은 어획량에서 13.9%, 생산금액에서는 3.3%로 나타났다.

<표 III-10> 대형트롤 갈치 어획 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	갈치	비중	전체	갈치	비중
2016	50,990	713	1.4%	187,255,897	742,609	0.4%
2017	32,462	1,033	3.2%	163,337,381	1,792,640	1.1%
2018	18,689	1,438	7.7%	106,959,793	1,906,226	1.8%
2019	26,334	5,312	20.2%	115,153,190	7,308,051	6.3%
2020	22,904	8,454	36.9%	101,922,741	7,054,186	6.9%
평균	30,276	3,390	13.9%	134,925,800	3,760,742	3.3%

자료 : 통계청(2022)

마지막으로 쌍끌이대형저인망 어획량에서 갈치가 차지하는 어획 비중을 살펴보면, <표 III-11>에서 정리된 바와 같다. 먼저 어획량 비중의 경우 2016년 7.6%에서 증가하여 2020년 11.5%로 나타났다. 다음으로 쌍끌이대형저인망 전체 생산금액에서 갈치가 차지하는 비중은 2016년 6.8%를 시작으로 2020년 6.7%로 소폭 감소한 수치를 나타내었다. 이에 따라 2016년부터 2020년까지 쌍끌이대형저인망에서 평균적으로 갈치가 차지하는 어획량 비중은 7.9%, 생산금액 비중은 6.1%로 각각 나타났다.

<표 III-11> 쌍끌이대형저인망 갈치 어획 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤, 천 원)

연도	어획량			생산금액		
	전체	갈치	비중	전체	갈치	비중
2016	43,390	3,304	7.6%	132,717,571	9,023,978	6.8%
2017	58,089	4,343	7.5%	166,937,277	12,203,972	7.3%
2018	37,148	3,008	8.1%	145,145,139	9,941,840	6.8%
2019	39,961	1,897	4.7%	160,467,387	4,744,013	3.0%
2020	35,326	4,070	11.5%	142,234,427	9,524,737	6.7%
평균	42,783	3,324	7.9%	149,500,360	9,087,708	6.1%

자료 : 통계청(2022)



3. 관리 현황

갈치에 대한 관리 현황을 파악하기 위해 앞서 우리나라의 어업관리수단을 먼저 살펴보았다. 정부는 <표 III-12>에서와 같이, 규제적 수단 그리고 조장적 수단으로 구분하여 수산자원을 관리하고 있다. 구체적으로 규제적 수단은 양적 규제와 질적 규제로 구분할 수 있다. 양적 규제는 실질적으로 어획량을 관리하는 것을 의미하며, 총허용어획량(TAC), 개별할당량(IQ), 개별양도성할당량(ITQ) 등이 있다. 질적 규제는 어획노력량 관리, 기술적 관리 등이 있으며, 구체적으로 어획노력량 관리에는 면허·허가, 어선톤수·마력수 규제, 어선감척, 휴어제, 총허용노력량(TAE) 규제, 허가정수 등을 포함한다. 그리고 기술적 관리에는 어선 및 어구제한, 어구규모 제한, 그물코 제한, 포획금지구역·수심·기간 그리고 포획금지 체장·체중, 암컷포획금지, 어란 및 치어포획금지, 수산자원보호구역, 해양보호수역(MPA) 등이 있다. 다음으로 조장적 수단에는 어장생태계 보호를 위한 환경관리, 인공어초 사업, 수산종묘방류사업, 바다목장사업, 폐어구수거 등의 자원조성과 관련된 규제수단이 있다(최완현, 2020).

<표 III-12> 어업관리수단 분류

구분	규제적 수단			조장적 수단
	양적규제	질적규제		
		어획노력량 관리	기술적 관리	
종류	TAC IQ ITQ	어선톤수 어선마력수 어선감척 휴어제 총허용노력량 허가정수	어선·어구제한 포획금지구역·수심·기간·체장 암컷포획금지 어란 및 치어포획금지	인공어초 종묘방류 바다목장 조성 폐어구수거 어장환경개선 감시감독

자료 : 법제처(2022)

본 연구의 분석대상 어종인 갈치의 경우 「수산자원관리법」 제6조에 의거하여 포획 금지기간 및 구역, 금지체장, Total Allowable Catch(TAC) 제도 등을 통해 관리되고 있다. 먼저, 포획금지 기간 및 구역은 근해채낚기, 연안복합 어업을 제외한 북위 33도 이북(以北) 해역에 한정하여 7월 1일부터 7월 31일까지의 기간을 설정하여 관리하고 있다. 다만, 해당 구역에서 해당 기간 중 갈치 어획량의 10% 미만으로 포획 및 채취하는 경우는 제외하고 있다.

다음으로 포획금지 체장은 항문장 18센티미터 이하로 설정하여 관리하고 있으며, 갈치 어획량 중 해당 체장의 갈치를 20% 미만으로 포획 및 채취하는 경우는 제외하고 있다(법제처, 2022). 마지막으로 TAC 제도는 특정 개별어종에 대해 연간 잡을 수 있는 어획량을 설정하여 그 한도 내에서만 어획을 허용하여 수산자원을 관리하는 제도를 말한다. TAC 제도는 1999년부터 시작되어 현재까지 시행되고 있으며, 2022년 현재 근해연승(갈치, 참홍어) 및 시범어종(멸치) 등을 포함하여 총 18개 업종, 16개 어종을 대상으로 TAC 제도가 적용되고 있다(한국수산자원공단, 2022).

이러한 TAC 제도의 적용을 받는 어종에 대해서는 「수산자원 회복 및 총허용어획량 대상 수산자원의 판매장소 지정」 고시에 따라 지역별 지정판매장소에서의 매매 혹은 교환이 이루어지도록 하여 해당 내용을 파악할 수 있도록 하고 있다(법제처, 2022; 홍재범, 2022).

갈치의 경우 2022년 7월부터 대상 어종으로 포함되어 관리되고 있으며, 대상업종으로는 근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 그리고 쌍끌이 대형저인망이다. 갈치의 TAC 할당량은 ‘2022년 7월-2023년 6월’ 기준 48,908톤으로 설정되어 있다(한국수산자원공단, 2022).

IV. 분석 자료 및 방법

1. 분석 자료

1) 자원평가

CMSY 및 BSS 모델을 이용하여 우리나라 갈치 자원평가를 하기 위해서는 갈치의 어획량 또는 자원량, 단위노력당어획량(CPUE, Catch Per Unit Effort), 그리고 Resilience 등에 대한 자료가 필요하다.

먼저 어획량은 우리나라 갈치에 대한 연근해 전체 자원량을 파악하기 위해 연근해어업에서 어획되는 갈치 총 어획량 자료를 활용하였다. 어획량 자료의 범위는 통계청 국가통계포털을 통해 확보 가능한 기간인 1970년부터 2020년까지의 총 51개년 자료를 활용하였다.

갈치에 대한 본원적 성장률(r)을 추정하기 위해 사전 정보 및 범위에 대해서는 Fishbase(www.fishbase.org)를 참고하였다. 갈치의 경우 사전적 r 값으로 0.80(95% 신뢰구간 : 0.53 - 1.20)을 사용하였다. 이에 따른 Resilience 값은 Medium으로 확인되어 이를 분석 자료로 활용하였다.

CPUE 자료는 현재 우리나라 갈치의 TAC 대상업종(근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망)의 업종별 어획량에 표준화된 어획노력량(마력수)을 나누어 계산된 CPUE 자료를 활용하였다. 구체적으로 업종별 어획량 및 어획노력량 자료의 범위는 통계청 국가통계포털을 통해 실제로 활용할 수 있는 기간인 1997년부터 2020년까지의 총 24개년 자료를 활용하였다.

본 연구에서는 업종 간 어획능력 변화를 고려하기 위해 Gavaris(1980)의 일반화된 선형모형(Generalized linear model, GLM)을 활용하여 표준화된 마력당 어획량 자료를 사용하였다(김도훈 외 2018; 최민제 외, 2019). GLM을 이용한 어획능력 표준화 결과는 <표 IV-2>에서 보는 바와 같다. 추정

된 업종별 표준화된 CPUE와 어획량 자료를 바탕으로 <표 IV-3>에서와 같이, 각 업종에 대한 표준화된 어획노력량을 추정하였다($E = \frac{C}{qB}$). 최종적으로 다섯 업종의 연도별 갈치 어획량의 합을 업종별 표준화된 어획노력량의 합으로 나눠주어 표준화된 CPUE를 도출하였다.

<표 IV-1> 갈치 자원평가를 위한 분석 자료

구분	내용	비고
어획량	연근해어업 총 갈치 어획량	1970년-2020년(51개년)
Resilience	Medium	본원적 성장률의 사전 범위 : 0.80 (0.53-1.20)
CPUE	(갈치의 TAC 업종별 어획량) ÷ (갈치의 TAC 업종별 어획노력량)	1997년-2020년(24개년)

자료 : Froese et al.(2017); Froese and Pauly(2022); 통계청(2022)

<표 IV-2> 일반화된 선형모형 추정 결과

Variable	Estimate	Std. Error	t-Stat	P-value
(Intercept)	-3.68149	0.32828	-11.214	<2 e -16***
year1998	0.09528	0.42982	0.222	0.825065
year1999	0.20931	0.42982	0.487	0.627431
year2000	0.59707	0.42982	1.389	0.168155
year2001	0.70485	0.42982	1.64	0.104448
year2002	0.36093	0.42982	0.84	0.403238
year2003	0.60521	0.42982	1.408	0.162486
year2004	0.80453	0.42982	1.872	0.064416*
year2005	0.84122	0.42982	1.957	0.053363*
year2006	0.80249	0.42982	1.867	0.065083*
year2007	0.82643	0.42982	1.923	0.057608*
year2008	0.75442	0.42982	1.755	0.082554*
year2009	1.01439	0.42982	2.36	0.020387*
year2010	0.86997	0.42982	2.024	0.045869*
year2011	0.11611	0.42982	0.27	0.787667
year2012	-0.04604	0.42982	-0.107	0.914933
year2013	0.43739	0.42982	1.018	0.31153
year2014	0.34438	0.42982	0.801	0.425069
year2015	0.3409	0.42982	0.793	0.429748
year2016	-0.1011	0.42982	-0.235	0.814573
year2017	0.24141	0.42982	0.562	0.575724
year2018	0.21731	0.42982	0.506	0.614363
year2019	0.10753	0.42982	0.25	0.803005
year2020	0.57369	0.42982	1.335	0.185264
type_LP	-0.36687	0.19619	-1.87	0.064663*
type_LSN	-0.12123	0.19619	-0.618	0.53814
type_LT	0.29648	0.19619	1.511	0.134156
type_PT	0.78684	0.19619	4.011	0.000123***

유의수준: ≤0.001일 경우 ‘***’, ‘**’, ≤0.01일 경우 ‘*’, ≤0.05일 경우 ‘.’, ≤0.1일 경우 ‘.’

<표 IV-3> TAC 업종별 연도별 표준화된 어획노력량

(단위 : 마력)

연도	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
1997	141,828	873,822	166,580	398,287	361,326
1998	142,186	847,955	157,329	440,907	317,035
1999	115,654	315,839	226,223	274,127	314,421
2000	130,932	144,279	337,016	285,029	204,464
2001	173,318	117,731	273,044	279,143	199,367
2002	280,769	95,478	117,549	190,606	309,122
2003	208,169	116,900	185,584	134,695	209,053
2004	149,399	320,207	120,136	71,351	106,726
2005	218,079	134,940	105,381	93,332	111,883
2006	160,364	158,913	174,523	69,354	161,902
2007	207,983	110,039	214,528	131,253	99,279
2008	325,223	178,331	340,954	42,340	58,770
2009	153,038	110,559	577,255	102,994	94,284
2010	176,250	100,187	303,078	76,775	70,769
2011	355,897	131,462	230,720	38,136	69,114
2012	348,907	238,804	169,869	23,893	92,922
2013	211,953	227,549	193,334	32,955	106,233
2014	272,484	194,301	202,311	18,910	155,853
2015	219,617	172,762	411,167	32,872	68,595
2016	288,572	213,292	407,975	23,285	66,081
2017	411,482	218,263	376,893	23,952	61,671
2018	443,852	279,132	229,125	34,156	43,755
2019	408,169	224,652	124,844	140,814	30,796
2020	352,042	189,969	116,330	140,605	41,455

자료 : 통계청(2022)

2) 생물경제학적 분석

우리나라 갈치의 TAC 대상업종 및 Non-Tac 대상업종들에 따른 생물경제적 변화를 살펴보기 위해서는 본 연구에서 추정된 갈치의 자원평가 결과와 업종별 어업경영조사 자료가 필요하다.

구체적으로 갈치 자원량 변화를 추정하기 위해서는 분석의 기준이 되는 t 시점(2020년)의 자원량과 어획량이 필요하며 $t+1$ 시점(2021년)부터 $t+30$ 시점(2050년)까지의 자원량과 어획량을 추정하기 위한 어획능력계수(q) 자료가 필요하다.

본 연구에서는 자원평가를 통해 추정된 중앙값을 기반으로 분석의 정확도를 높이기 위해 추정된 자원량 및 어획능력계수의 값에 실제 어획량 변화를 고려하여 활용하였다. 생물경제학적 분석을 위한 기준이 되는 시점(t)의 자원량은 BSS 모델을 통해 추정된 가장 마지막 연도인 2020년의 자원량 값인 318,084톤을 활용하였다.

어획량 추정에 필요한 q 값은 본 연구의 자원평가에서 추정된 값을 그대로 활용하기에는 다소 한계가 있다. 이는 본 연구에서 추정된 q 값은 갈치의 TAC 대상업종 5가지(근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망)의 어획노력량만을 고려한 분석 결과를 의미하기 때문이다. 본 연구에서는 TAC 설정량에 따른 갈치 전체 자원량의 변화를 파악하고자 하므로, $t+1$ 시점 이후의 갈치 자원량 추정을 위해서는 연근해어업 갈치 총 어획량을 고려하여 q 값에 대한 재계산이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 2021년 기준 연근해어업 갈치 총 어획량 자료(63,056톤)를 기준으로 q 값을 재계산하여 생물경제학적 분석에 활용하였다(홍재범, 2022).

갈치 TAC 대상업종의 어업이익 변화를 살펴보기 위해서는 연도별 갈치의 TAC 업종별 어획량, 갈치 단위가격, 갈치의 TAC 대상업종별 비용 등의 자료가 필요하다.

먼저, 갈치의 TAC 업종별 어획량의 경우 연근해어업 전체 어획량을 의미하므로 각 업종별 어획량 비중을 고려하여야 한다. 이에 따라 본 연구에

서는 TAC 대상업종별 최근 5개년 평균 어획 비중(근해연승 40.1%, 근해안강망 20.7%, 대형선망 17.0%, 대형트롤 11.2%, 쌍끌이대형저인망 11.0%)만큼 각각 어획한 것으로 가정하였다. 이를 통해 t+1 시점 이후 각 연도별 갈치 총 어획량을 추정하고, TAC 업종별 어획량 비중을 곱하여 각 연도별 갈치 어획량을 추정하였다.

다음으로 갈치 단위가격 자료는 수산업협동조합중앙회의 어업경영조사 자료를 참고하였다. 구체적으로 갈치 단위 가격은 최근 5개년(2016년-2020년) 각 TAC 대상업종별 경영체의 갈치 생산금액에 갈치 생산량을 나누어 계산하였다. 최종적으로 생물경제학적 분석에는 연도별 단위가격의 평균값을 활용하였으며, 이에 따른 갈치의 단위가격은 <표 IV-4>에서와 같이, 근해연승 15,510천 원/톤, 근해안강망 7,384천 원/톤, 대형선망 2,258천 원/톤, 대형트롤 1,133천 원/톤, 쌍끌이대형저인망 2,702천 원/톤으로 조사되었다.

<표 IV-4> TAC 대상업종별 경영체당 갈치 단위가격(2016-2020)

(단위 : 톤, 천 원, 천 원/톤)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
2016	25,824	7,364	2,114	645	3,095
2017	17,154	7,213	1,916	1,687	3,098
2018	11,027	6,953	2,274	1,117	2,822
2019	11,518	7,538	2,415	1,483	2,354
2020	12,027	7,850	2,570	733	2,140
평균	15,510	7,384	2,258	1,133	2,702

자료 : 통계청(2022)

갈치의 TAC 대상업종별 어업비용 자료는 통계청의 수산업협동조합중앙회 어업경영조사 자료를 참고하였으며, 갈치 평균 단위가격을 도출하는데 활용한 동일 시점의 경영체별 어업비용의 평균값을 활용하였다. 구체적으로 각 연도별 TAC 대상업종별 경영체당 어업비용에 갈치 원가배부율을 고려하여 최종적으로 TAC 대상업종별 경영체당 갈치 어업비용을 도출하였다. 분석에 있어서는 <표 IV-5>와 같이, 최근 5개년(2016년-2020년) 평균값을 활용하였다.

<표 IV-5> TAC 대상업종별 경영체당 어업비용(2016-2020)

(단위 : 천 원/경영체)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
2016	823,950	796,501	13,588,138	3,472,195	4,255,907
2017	962,697	900,089	12,104,196	3,448,494	4,280,638
2018	890,797	823,718	11,406,308	2,887,045	3,947,262
2019	845,811	777,896	10,858,291	2,812,680	4,019,428
2020	1,007,954	875,058	11,349,460	2,559,733	3,359,486
평균	906,242	834,652	11,861,279	3,036,029	3,972,544

자료 : 통계청(2022)

<표 IV-6> TAC 대상업종별 갈치 원가배부율(2016-2020)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
2016	73.3%	15.2%	4.1%	0.4%	6.8%
2017	83.0%	18.3%	7.4%	1.1%	7.3%
2018	81.3%	23.7%	3.8%	1.7%	6.8%
2019	77.0%	21.8%	3.4%	6.3%	3.0%
2020	85.2%	26.5%	4.5%	7.0%	6.7%
평균	79.9%	21.1%	4.6%	3.3%	6.1%

자료 : 통계청(2022)

<표 IV-7> TAC 대상업종별 경영체당 갈치 어업비용(2016-2020)

(단위 : 천 원/경영체)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
2016	603,591	120,779	557,133	13,770	289,376
2017	799,031	164,506	898,158	37,400	312,936
2018	724,060	194,989	434,120	50,267	270,371
2019	651,308	169,869	368,312	178,503	118,829
2020	858,759	231,959	506,364	178,188	225,264
평균	727,350	176,420	552,818	91,626	243,355

자료 : 통계청(2022)

그리고 본 연구에서는 통계청 국가통계포털을 통해 활용 가능한 TAC 대상업종별 어선척수를 고려하여 분석을 실시하였다. 업종별 어선척수는 근해연승(261척), 근해안강망(205척), 대형선망(111척), 대형트롤(53척), 그리고 쌍끌이대형저인망(74척)으로 조사되었다. 최종적으로 어선척수 및 경영체 수를 고려한 총 갈치의 어업비용은 <표 IV-6>에서 정리된 바와 같다.

<표 IV-8> TAC 대상업종별 총 갈치 어업비용(2016-2020)

(단위 : 천 원)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이 대형저인망
어업비용	189,838,323	36,166,185	10,227,125	4,856,156	9,004,150

2. 분석 방법

1) 자원평가

앞의 선행연구에서 살펴본 바와 같이, 다수의 연구가 대상어종의 어획량과 어획노력량 자료를 기반으로 한 잉여생산량 모델을 활용하여 이루어져 왔다. 하지만 기존 활용된 과정오차 및 관측오차 모델들은 공통적으로 자원평가에서 발생하는 각각의 오차를 동시에 고려하지 못하는 한계점이 존재하였다. 이에 따라 본 연구에서는 두 가지 오차를 동시에 고려할 수 있는 BSS 모델을 갈치 자원평가모델로 선정하였다. 구체적으로 본 연구에서는 갈치의 자원상태를 보다 면밀히 파악하기 위해 Schaefer 모델을 기반으로 한 BSS 모델을 활용하였다.

그리고 최근 분석 자료가 제한적인 상황에서도 자원평가를 실시할 수 있는 모델로 CMSY 모델이 활용되고 있다. CMSY 모델은 Martell and Froese (2013)의 Catch-MSY 모델에서 발전된 것으로, 어획량과 어종의 Resilience를 기반으로 자원량을 추정함으로써 최대 지속가능한 자원량 추정에 중점을 둔 모델이다. 또한 CMSY 모델은 MSY 추정 이외에 본원적 성장률(r), 그리고 최대자원량 수준인 환경수용력(k)을 추정할 수 있다. 특히 본원적 성장률과 환경수용력을 활용하여 Monte Carlo 방법을 통해 실행 가능한 'r-k'쌍의 범위를 추정한다. 여기서 실행 가능한 범위라는 것은 추정된 자원량이 관측된 어획량 자료 및 사전에 추정된 자원량의 범위와 비교하여 양립할 수 있는 경우를 의미한다(Froese et al, 2017; 홍재범 외, 2021).

이러한 CMSY 모델은 제한적인 분석 자료로 자원평가를 실시하기 위해 베이지안(Bayesian) 분석 방법을 적용한 것이다. 따라서 분석 결과의 타당성을 높이기 위해서는 동일한 베이지안 방법을 활용한 BSS 모델 분석 결과와 비교하는 것이 적절하다(Froese et al, 2017; 홍재범 외, 2021). 본 연

구에 있어서도 잉여생산량 모델을 기반으로 한 BSS 모델에 의한 자원평가 결과와 CMSY 모델을 활용한 갈치 자원평가 결과를 추가적으로 실시하여 결과들을 비교해 보았다.

BSS 모델은 베이저안 추론(Bayesian inference)을 통해 발생할 수 있는 오차를 상당수 고려하여 자원량을 추정하는 자원평가 방법이다. 여기서 베이저안 추론은 관측된 자료와 사전정보를 결합하여 사후분포를 계산하고, 사후분포를 토대로 모수를 추정하는 방법이다(Meyer and Millar, 1999; Kim, 2013; 최민제 외, 2019; Hong and Kim). BSS 모델의 장점으로는 정보적 사전 분포와 단기간 자료의 활용을 통한 분석 혹은 누락된 연도가 있는 단편적인 CPUE 자료를 활용한 분석 등이 가능하다. 또한 BSS 모델은 자원평가 결과를 중앙값과 95% 신뢰구간을 기준으로 상한과 하한의 범위를 제시할 수 있다. 따라서 분석 결과에 있어 주요 결과를 제시할 때 상한과 하한의 범위를 함께 나타내어 분석 결과의 정확도를 높이고자 하였다(Froese et al, 2019; 홍재범 외, 2021).

본 연구에 있어서는 보다 신뢰할 수 있는 갈치 자원평가를 위해 최종적으로 도출된 분석 결과에 대해 사전 정보가 사후 분포에 어느 정도 수렴하는지를 나타내는 PPVR(Prior-Posterior Variance Ratio)도 추가적으로 제시해 보았다.

CMSY 및 BSS 모델은 수산자원평가에 있어 주로 활용되고 있는 Schaefer 모델을 기반으로 한다. 그리고 Schaefer 모델에서 자원량의 증가는 로지스틱 함수 형태를 가지는 것으로 가정하고 있다. 이에 따라 다음 해의 자원량은 식 (1)과 같은 형태로 나타 낼 수 있다(Schaefer, 1954; Schaefer 1957; Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; Ren et al., 2020; 홍재범 외, 2021).

$$B_{t+1} = B_t + r(1 - \frac{B_t}{k})B_t - C_t \quad (1)$$

B_t 는 t년도의 자원량을 의미하고, r 은 본원적 성장율, k 는 환경수용력,

그리고 C_t 는 t년도의 어획량을 각각 의미한다. 여기서 B_t 는 t년도의 자원량을 의미하고, r 은 본원적 성장률, k 는 환경수용력, 그리고 C_t 는 t년도의 어획량을 각각 의미한다. 만약, 자원량이 환경수용력에 비해 0.25 수준 이하로 고갈된 경우의 다음해 자원량은 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다 (Froese et al., 2017; Ren et al., 2020; 홍재범, 2022).

$$B_{t+1} = B_t + 4\frac{B_t}{k}r(1 - B_t/k)B_t - C_t \mid \frac{B_t}{k} < 0.25 \quad (2)$$

이미 설명한 바와 같이, CMSY 모델은 어획량과 어종의 Resilience를 기반으로 자원량, 본원적 성장률(r), 환경수용력(k), MSY 등을 추정한다. 따라서 분석을 위해서는 r 및 k 매개변수에 대한 사전정보가 필요하다. 본원적 성장률(r)에 대한 사전 범위는 Fishbase(www.fishbase.org)를 통해 어종별 Resilience 자료를 근거로 설정할 수 있다(Froese et al., 2017; Froese and Pauly 2021). 또한 사전적 범위에 대해서는 r 의 일정 범위에 따라 <표 IV-7>에서와 같이, 4단계로 구분된다.

<표 IV-9> 본원적 성장률에 따른 사전적 범위에 대한 정의(Resilience)

Resilience	Prior r-range
High	0.6 - 1.5
Medium	0.2 - 0.8
Low	0.05 - 0.5
Very low	0.015 - 0.1

자료 : Froese et al.(2017); Froese and Pauly(2022)

다음으로 환경수용력(k)에 대한 사전 범위는 활용되는 어획량 자료를 기반으로 결정된다. 즉, 분석에 활용되는 최대 어획량 'max(c)'와 본원적 성장률(r)값의 관계에 따라 범위가 결정되도록 설계하였다. 이를 식으로 나타내면 다음 식 (3)과 같으며, 만약 사전 범위가 크게 설정된 자원량의 경우

식 (4)가 적용된다(Froese et al., 2017; Wang et al., 2020; Hong and Kim, 2021). 여기서 low와 high가 의미하는 바는 해당 값의 상한과 하한을 나타내며, C는 어획량을 의미한다.

$$\begin{aligned} k_{low} &= \max(C)/r_{high} \\ k_{high} &= 4\max(C)/r_{low} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} k_{low} &= 2\max(C)/r_{high} \\ k_{high} &= 12\max(C)/r_{low} \end{aligned} \quad (4)$$

자원량에 대한 사전적 범위는 자원량과 환경수용력의 비율인 자원량 수준(B/k)에 따라 <표 IV-10>과 같이 3단계로 구분하여 설정할 수 있다. 자원량에 대한 사전 범위 설정에는 분석 자료의 시작과 끝, 그리고 중간 연도에 상대적인 사전 추정치를 설정한다(Froese et al., 2017). 만약 자원량 사전 범위를 3가지 시점으로 직접 지정하지 않았을 경우에는 Default rule(Froese et al., 2016; Froese et al., 2017)에 따라 분석 자료의 기간 및 어획량 자료를 근거로 자원량의 사전범위를 설정한다(Froese et al., 2019; 홍재범, 2022).

<표 IV-10> 환경수용력 대비 자원량 수준에 따른 사전적 범위에 대한 정의

Prior biomass	B/k
Low	0.01 - 0.4
Medium	0.2 - 0.6
High	0.5 - 0.9

자료 : Froese et al. (2017)

위와 같이 사전 범위 설정한 내용을 기반으로, 실행 가능한 r-k쌍을 검출과정을 통해 r 및 k에 대한 이전 범위 내에서 임의의 r-k쌍이 선택된다. 이후 사전적 자원량의 범위로부터 첫 번째 연도의 자원량이 선택되고, 다음 연도의 자원량을 계산하기 위해 식 (1) 혹은 (2)이 사용된다. 이러한 반복적 계산과정에서 <표 IV-11>에서 보는 바와 같이, 예측한 자원량 수준이 매우 작거나, 사전 자원량 범위를 벗어나는 경우에는 'r-k'쌍은 자동적으로 제거되게 된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; 홍재범 외, 2021).

<표 IV-11> 실행 가능한 'r-k' 탐색 조건

내용
1. 예측된 자원량 수준이 0.01k 보다 작은 경우
2. 예측된 자원량이 중간연도에 해당되는 사전 자원량 범위를 벗어나는 경우
3. 예측된 자원량이 마지막 연도에 해당되는 사전 자원량 범위를 벗어나는 경우

자료 : Froese et al. (2017)

하지만 <표 IV-11>에 나타난 3가지 조건에 해당되지 않을 경우에는 해당 'r-k'쌍을 가능한 것으로 간주한다. 가능한 'r-k'쌍을 이변량 플롯(bivariate plot)에 나타내면 삼각형 모양으로 나타나게 되는데 이 중 가장 가능성이 높은 'r-k'쌍은 일반적으로 삼각형의 끝 부분에서 나타나게 된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020). 그리고 이 때 가능성이 가장 높은 k는 다음 식 (5)과 같이 Schaefer 함수의 MSY 수식을 기반으로 한 선형 회귀식을 통해 결정된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; 홍재범, 2022).

$$MSY = \frac{rk}{4} \rightarrow \log(k) = \log(4MSY) + (-1)\log(r) \quad (5)$$

이러한 과정을 통해 발견된 'r-k'쌍을 BSS 모델에서 사전정보로 활용하

여 r 과 k 에 대한 추정을 실시한다. 다음으로 $CPUE$ 는 식 (6)과 같이 어획
 능률계수(q)와 자원량(B)으로 계산할 수 있다. 이러한 식 (6)은 Schaefer
 함수에 따라 식 (7)과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$CPUE_t = qB_t \quad (6)$$

$$CPUE_{t+1} = CPUE_t + r\left(1 - \frac{CPUE_t}{qk}\right)CPUE_t - qC_t \quad (7)$$

어획능률계수에 대한 사전정보는 Schaefer 함수의 균형 어획량 수식인
 식 (8)에서 시작된다. 식 (8)의 Y 는 자원량이 B 인 경우의 어획량을 의미한
 다. 이때 B/k 가 0.5이고 $B = CPUE/q$ 일 경우 $q = 0.5rCPUE/C$ 라고 할
 수 있다. 반면 MSY 수준의 절반 수준으로 사전 자원량이 설정
 ($B/k = 0.25$)되는 경우에는 $q = 0.75rCPUE/C$ 라고 할 수 있다(Froese et
 al., 2017).

$$Y = rB\left(1 - \frac{B}{k}\right) \quad (8)$$

따라서 어획능률계수를 추정하기 위한 사전범위의 하한과 상한은 식 (9)
 와 같이 설정할 수 있다. 이때 최근의 자원량에 대한 사전범위가 Low로
 설정되는 경우 식 (9)에서 승수가 각각 0.25에서 0.5, 0.5에서 1.0으로 변경
 된다. 구체적으로 식 (9)의 r_{pgm} 은 r 의 사전범위에 대한 평균값을 의미한다
 (Froese et al., 2017)

그리고 $CPUE_{mean}$ 은 과거 일정 기간 동안의 $CPUE$ 값의 평균을 의미하며
 C_{mean} 은 동일한 기간의 어획량 평균을 의미한다. $CPUE$ 및 어획량의 평균
 값을 산출하는 기간의 경우 Resilience가 Medium 혹은 High인 경우에는
 5년, Low인 경우에는 10년의 기간으로 설정한다(Froese et al., 2017; Ren
 and Liu, 2020).

$$q_{low} = \frac{0.25r_{pgm} CPUE_{mean}}{C_{mean}},$$

$$q_{high} = \frac{0.5r_{high} CPUE_{mean}}{C_{mean}} \quad (9)$$

본 연구에서는 BSS 모델을 활용하여 자원평가를 실시하기 위해 JAGS 소프트웨어 프로그램을 통해 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 방법으로 매개 변수의 확률분포를 샘플링하였다(Millar and Meyer, 1999; Froese et al., 2017). 여기서 MCMC 방법은 다차원적 적분 계산을 수치적으로 수행하는 것이 불가능할 때 활용하는 방법이며, 본 연구의 주요 변수들(r , k 등)의 사후분포를 추정을 위해서 다차원적 적분 계산이 필요하기 때문에 MCMC 방법을 활용하였다.(Millar and Meyer, 2000; 최민제 외, 2019; 홍재범 외 2021). 다시 말해 MCMC 방법은 다차원적 적분 계산을 통해 적분 계산을 통계적으로 수행하는 방법이다. 하지만 다차원의 결합확률분포에 대해서는 랜덤표본의 생성이 어렵기 때문에 다른 변수들의 조건부확률분포로부터 변수를 하나씩 순차적으로 추출하는 Gibbs 샘플링을 활용한다(Lunn et al., 2000; Kery and Schaub, 2011; 최민제 외, 2019; 홍재범 외, 2021).

BSS 모델을 이용하여 갈치의 자원평가를 수행하는데 있어 세부적인 사항으로는 Froese et al.(2017)과 동일하게 설정하였다. 총 60,000개의 표본을 추출하고, 추출된 표본 중에서 사후분포에 수렴하지 못하는 초기 표본들의 영향을 제거하기 위해서 30,000개 표본을 번인(burn-in) 하였다(Froese et al., 2017; Choi and Kim, 2019; Hong and Kim, 2021). 표본추출 과정에서는 자기상관 문제로 정상분포로의 수렴 속도가 느려지는 문제점이 발생할 수 있기 때문에, 자기상관 문제를 해결하기 위해서 추출된 표본의 매 10번째 값을 사용하였다(Froese et al., 2017; 최민제 외, 2019; 홍재범 외, 2021).

앞서 설명한 바와 같이, 본 연구에서는 CMSY 및 BSS 모델을 이용하여

갈치 자원평가 결과를 도출하였다. 그리고 <표 IV-10>에서 제시된 바와 같이, B_{MSY} 대비 마지막 연도 자원량 비율에 따라 현재의 자원상태를 평가하였다.

<표 IV-12> B_{MSY} 대비 B 수준 기반 자원상태의 정의

Stock status	B/B_{MSY}
Healthy	≥ 1
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); Hong and Kim(2021).

2) 생물경제학적 분석

생물경제학적 분석은 생물학적인 관점에서의 자원평가모델, 어업인 관점에서의 어업활동모델을 동시에 분석하는 것이다. 이를 통해 어업관리수단에 따른 자원량의 동태적 변화와 경영 성과에 대한 동태적 변화를 모두 예측할 수 있다. 즉, 생물경제학적 분석을 통한 각 어업관리수단에 대한 분석으로 정해진 기간 내의 목표 자원량 달성 여부와 어업인 소득효과 등을 고려하여 가장 합리적인 수단을 선택할 수 있다(한국해양수산개발원, 2005).

본 연구에 있어서는 갈치 자원관리를 위한 관리수단을 어획량 제한(TAC)으로 설정하고, 이에 따른 생물적 효과로 갈치 자원량 변화, 경제적 효과로 갈치 어획에 따른 TAC 업종들의 어업이익 변화를 분석하였다.

일반적으로 생물경제학적 분석에 따르면, 어획활동이 이루어지지 않을 경우에 자원 성장량 등의 증가에 따라 자원량은 지속적으로 증가하여 환경 수용력 수준까지 이르게 된다. 하지만 어획활동이 이루어지게 되면 투입되는 어획노력량 수준에 따른 어획량만큼 어업자원량은 감소하게 된다. 즉 식 (10)과 같이, 어획이 이루어진다는 것은 어획노력량(E)이 투입되어 어획능력계수(q)에 따라 계산되는 어획사망계수(F , $F = qE$) 수준이 증가하게 되어 어업인은 어획량(H)을 얻게 되지만, 자원량(X) 측면에서는 식 (11)과 같이 어획량만큼 자원량이 감소하게 되는 것을 의미한다(한국해양수산개발원, 2005; 홍재범, 2022).

$$H = f(q, E, X) \quad (10)$$

$$\Delta X = \frac{dX}{dt} = X - H \quad (11)$$

본 연구에서는 어획량과 어획노력량에 따른 갈치 자원량의 변화를 예측하기 위해 BSS 모델을 활용한 자원평가 결과를 활용하여, 2021년부터 2050년까지 연도별 갈치 어획량에 대해 식(10)을 적용하여 추정하였다. 그

리고 과거 어획량과 자원평가 결과를 바탕으로 두 가지 시나리오를 구성하여 TAC 대상업종 및 Non-TAC 대상업종들의 어획 수준에 따른 향후 갈치의 자원량을 예측해보았다.

구체적으로, 첫 번째 시나리오는 <표 IV-13>에서와 같이, 현재 TAC 수준(48,908톤)에서 +20%, +10%, -10%, -20% 증감하였을 경우이다. 그리고 이 때 Non-TAC 대상업종들의 어획량은 2016년부터 2020년까지의 5개년 평균 어획량을 유지한다는 가정 하에 향후 30년 간 갈치 자원량 변화를 예측하였다.

<표 IV-13> TAC 설정량에 따른 자원량 변화

(단위 : 톤)

구분	TAC 어획량	Non-TAC 업종 어획량 (2016-2020)	총 갈치 어획량
TAC*0.8	39,126	18,781	57,907
TAC*0.9	44,017	18,781	62,798
TAC	48,908	18,781	67,689
TAC*1.1	53,799	18,781	72,580
TAC*1.2	58,690	18,781	77,471

다음 두 번째 시나리오는 <표 IV-14>에서와 같이, TAC 할당량(48,908톤)이 현 수준으로 유지되었을 경우 Non-TAC 대상업종들의 어획량 변화에 따른 향후 갈치의 자원량 변화를 살펴보았다. 구체적으로 2016년부터 2020년까지의 5개년 평균 Non-TAC 대상업종 어획량이 10%, 30%, 50%, 70%, 90% 증가하였을 경우의 시나리오를 설정하여 향후 30년 간 갈치 자원량 변화를 추정하였다.

<표 IV-14> Non-TAC 어획량에 따른 자원량 변화

(단위 : 톤)

구분	TAC 어획량	Non-TAC 업종 어획량 (2016-2020)	총 갈치 어획량
TAC	48,908	18,781	67,689
TAC+NonTAC*1.1	48,908	20,659	69,567
TAC+NonTAC*1.3	48,908	24,415	73,323
TAC+NonTAC*1.5	48,908	28,172	77,080
TAC+NonTAC*1.7	48,908	31,928	80,836
TAC+NonTAC*1.9	48,908	35,684	84,592

어업관리수단을 적용하는 것은, 기술적 통제수단 혹은 어획노력량 관리수단 등에 의해 어획능력계수와 어획노력량 수준을 통제하는 것을 의미한다. 예를 들어 어업관리수단 중 TAC와 같은 어획량 관리수단은 어획량 자체에 대한 통제가 이루어지는 관리수단이다(한국해양수산개발원, 2005).

TAC와 같은 어획량 관리수단의 시행은 어획사망계수의 수준을 낮추게 되어 어업자원에 대한 어획 압력이 감소하게 된다. 이에 따라 어업관리수단을 적용하게 된 시점을 기준으로, 해당 시점의 전·후간 어업이익의 변화는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다. 우선 기존의 어업이익(π)은 식 (12)에서와 같이, 어획량(H)에 시장가격(p)을 곱한 것에 어업비용(C)을 차감하여 산출할 수 있다(한국해양수산개발원, 2005).

$$\pi = H \cdot p - C(E) \quad (12)$$

이때 어업관리수단에 따라 변화하게 되는 어업이익은 어획량 관리수단의 시행에 따른 감소된 어획사망계수 수준(E_c)에 따라 결정되는 통제된 어

획량 수준(\dot{H})에 의해 달라지는 것을 의미한다. 생물경제학적 분석에서는 어업인의 경제적 효과인 소득 효과에 대해 살펴보기 위해 어업관리수단이 적용 되었을 경우와 그렇지 않을 경우에 일정 기간 동안 발생하는 어업이익을 현재가치로 환산하여 비교한다(한국해양수산개발원, 2005).

$$\Delta\pi = [H \cdot p - C(E)] - [\dot{H} \cdot p - C(E_c)] \quad (13)$$

구체적으로 본 연구에서는 분석 기간을 향후 30년으로 설정하고, TAC 수준에 따라 변화하는 갈치 어획량 및 자원량에 따른 TAC 5개 어업의 경영체당 어업이익 변화를 현재시점 기준으로 분석해보았다. TAC 대상 5개 어업의 경영체당 어업이익 변화를 현재 시점 기준으로 살펴보기 위한 방법으로는 순현재가치법(Net present value method)을 활용하였다. 여기서 향후 30년간 어업이익을 현재가치로 환산하기 위한 사회적 이자율은 4.5%로 가정하였다.

순현재가치(Net present value: NPV)는 사업 수행 결과로 발생하는 편익에서 비용을 차감한 순편익의 흐름을 현재가치화해서 이를 합산하는 분석기법을 말한다. 이러한 NPV는 관련 경제에 순후생의 증가가 있는 경우 '0' 보다 크게 나타난다. 일반적으로 NPV가 '0' 보다 큰 경우 해당 사업은 경제성을 갖는 것으로 판단한다. 이를 식으로 나타내면 아래 식 (14)과 같다(김홍식 외, 2016 ; 홍재범, 2022).

$$NPV = \sum_{t=0}^t \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^t \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (14)$$

분석에 있어 TAC 수준에 따른 업종별 갈치 어업수익(total revenue, TR)을 계산하기 위해 TAC 어획량에서 할당된 TAC 5개 업종(근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망)이 최근 5개년(2016년-2020년) 평균 어획 비중만큼 각각 어획한 것으로 가정하였다. 여기에 업

종별 최근 5개년(2016년-2020년) 평균 갈치 가격을 곱해주어 전체 수익(생산금액)을 산정하였다.

$$TR_{ij} = TAC_i \times h_j \times p_j \quad (13)$$

여기서, TR_{ij} 은 어업수익, h_j 는 j 업종의 갈치 어획 비율, 그리고 p_j 는 j 업종의 갈치 가격을 의미한다.

다음으로 갈치 어획의 총비용(total cost, TC)을 산출하기 위해 최근 5개년(2016년-2020년) 업종별 비용 자료 평균치에 최근 5개년(2016년-2020년) 업종별 갈치 원가배부율을 곱해주었다. 여기에 2020년 기준 업종별 어선 척수를 곱해주어 업종별 총 갈치 비용을 산출하였다.

$$TC_j = C_j^* s_j^* v_j \quad (14)$$

여기서, TC_j 는 갈치의 어업비용, C_j 는 j 업종의 총어업비용, s_j 는 j 업종 내 갈치 생산 비중, 그리고 v_j 는 갈치 어획에 실제로 참여하는 j 업종의 어선 척수를 의미한다.

$$P_{ij} = TR_{ij} - TC_j \quad (15)$$

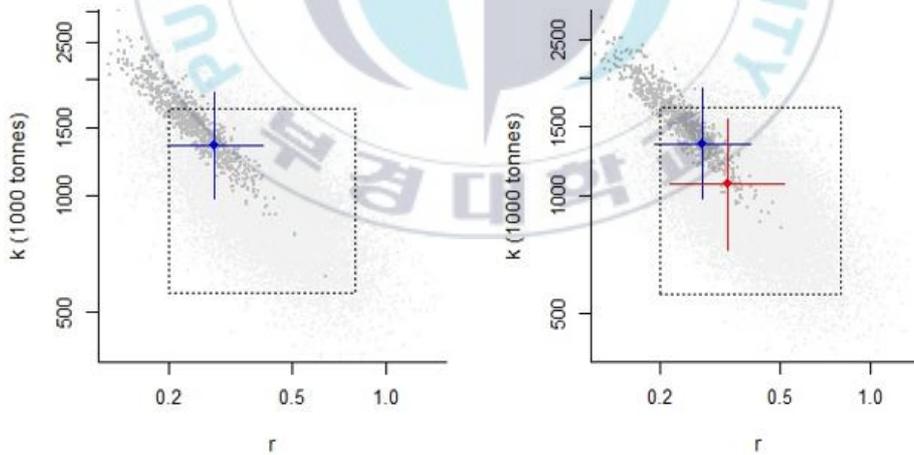
$$PP_{ij} = (TR_{ij} - TC_j)/v_j \quad (16)$$

어업수익과 어업비용을 통해 최종적으로 식 (15)과 같이 TAC 업종별 총 갈치 어업이익을 도출하고, 식 (16)에서 보는 바와 같이 갈치 어획에 실제로 참여하는 어선 척수로 각각 나눠주어 개별어선의 갈치 어업이익을 산출하였다.

V. 분석 결과

1. 갈치 자원평가 분석 결과

CMSY 및 BSS 모델을 활용한 자원평가 과정에서 주요 분석 결과를 살펴보기에 앞서 주요 변수인 최적의 'r-k'쌍 도출 결과를 먼저 살펴보았다. CMSY 조건을 충족하는 실행 가능한 'r-k'쌍은 [그림 V-1]의 왼쪽에서 보는 바와 같이 회색 영역으로 표시되며, 이 중 가장 가능성이 높은 신뢰구간 95%의 'r-k'쌍은 파란색 십자가 형태로 표시된다. 점선으로 표기된 사각형은 시계열 데이터에 의해 도출된 사전범위를 나타낸다. 그리고 CPUE 자료를 추가로 활용한 BSS 추정치는 [그림 V-1]의 오른쪽에서와 같이 빨간색 십자가 형태로 나타났다.



[그림 V-1] 자원평가모델에 의해 도출된 'r-k'쌍 결과(왼: CMSY, 오른: BSS)

갈치 자원평가 결과는 <표 V-1>에 제시된 바와 같다. 먼저 CMSY 모델 결과를 살펴보면, r의 경우 중앙값은 0.27, 95% 신뢰구간 범위는 0.18에서 0.43사이로 나타났다. k의 경우 중앙값은 1,351,828톤으로 나타났으며, 이에 따른 95% 신뢰구간 범위는 729,283톤에서 1,576,200톤으로 나타났다. 마지막으로 MSY의 중앙값은 91,854톤, 95% 신뢰구간 범위는 78,946톤에서 108,588톤으로 추정되었다.

다음으로 BSS 모델 결과를 살펴보면, r의 경우 중앙값은 0.34, 95% 신뢰구간 범위는 0.22에서 0.52사이로 나타났다. 그리고 q의 중앙값은 0.000000126으로 나타났으며, 95% 신뢰구간 범위는 0.000000080에서 0.000000197사이로 추정되었다. k의 경우 중앙값은 1,072,145톤으로 나타났으며, 95% 신뢰구간 범위는 729,283톤에서 1,576,200톤으로 나타났다. 마지막으로 MSY의 중앙값은 89,850톤, 95% 신뢰구간 범위는 71,440톤에서 113,004톤 사이로 분석되었다.

<표 V-1> CMSY 및 BSS 모델을 활용한 갈치 자원평가 분석 결과

구분	r	q	k	MSY
CMSY	0.27 (0.18-0.43)	-	1,351,828 (986,436-1,852,567)	91,854 (78,946-108,588)
BSS	0.34 (0.22-0.52)	0.000000126 (0.00000008- 0.000000197)	1,072,145 (729,283-1,576,200)	89,850 (71,440-113,004)

※ 각 값은 중앙값을 의미하며 괄호 속에 신뢰구간 95% 기준 하한과 상한을 표기하였음

1970년부터 2020년까지의 어획량 자료를 활용한 CMSY 모델 그리고 1997년부터 2020년까지 어선마력수를 추가로 활용한 BSS 모델의 갈치 자원량 추정 결과는 <표 V-2>에서 보는 바와 같다.

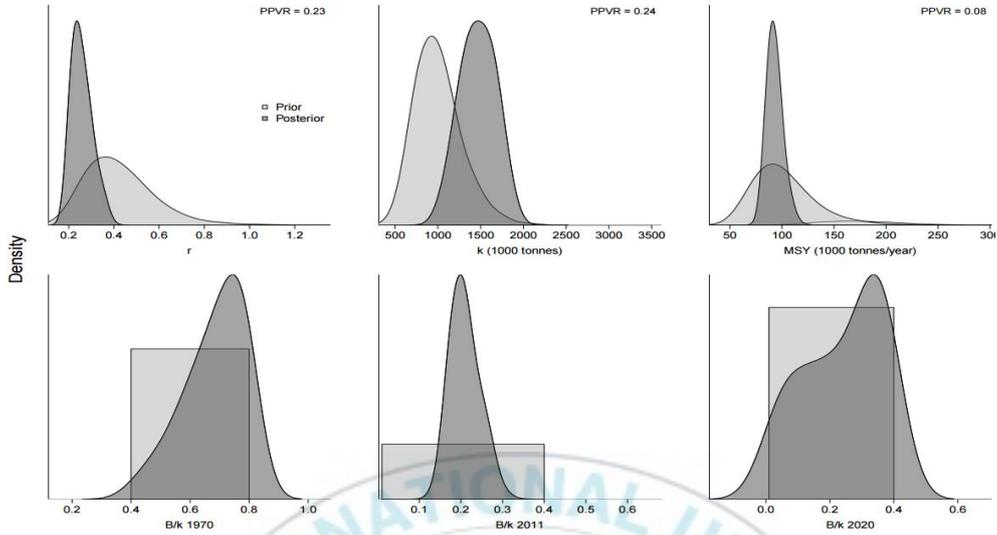
CMSY 모델 분석 결과, 2020년 기준 갈치 자원량은 380,322톤으로 추정되었다. 이는 B_{MSY} 675,914톤 대비 56% 수준으로 현재 갈치의 자원상태가 남획(Overfished)된 수준으로 평가되었다. 다음으로 BSS 모델 분석 결과, 2020년 기준 갈치 자원량은 318,084톤으로 추정되었다. 이는 추정된 B_{MSY} 536,073톤 대비 59% 수준이며 현재 갈치 자원상태는 남획(Overfished)된 수준으로 평가되었다. 최종적으로 정리하면 CMSY와 BSS 모델을 활용한 분석 결과 우리나라 갈치의 자원상태는 ‘Grossly overfished’ 또는 ‘Overfished’로 추정할 수 있다.

<표 V-2> 갈치 자원량 및 B_{MSY} 추정 결과

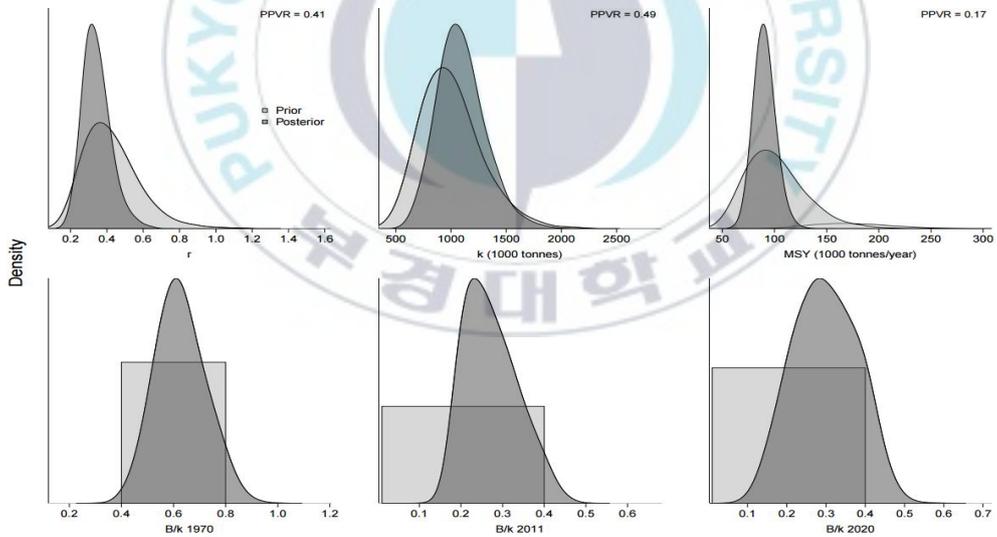
구분	B_{2020}	B_{MSY}	B_{2020}/B_{MSY}
CMSY	380,322 (37,338-535,323)	675,914 (493,218-926,283)	0.56 (0.06-0.79)
BSS	318,084 (159,201-480,578)	536,073 (364,642-788,100)	0.59 (0.30-0.90)

※ 각 값은 중앙값을 의미하며 괄호 속에 신뢰구간 95% 기준 하한과 상한을 표기하였음

[그림 V-2]은 1970년부터 2020년까지 어획량 자료를 활용한 CMSY 모델의 PPVR이다. 그리고 [그림 V-3]은 1997년부터 2020년까지 CPUE 자료를 추가로 활용한 BSS 모델의 PPVR이다. 구체적으로 CMSY 모델을 활용한 r의 PPVR 값은 0.23, k는 0.24, 그리고 MSY는 0.08로 나타났다. 이에 반해, BSS 모델을 활용한 경우 r의 PPVR 값은 0.41, k는 0.49, 그리고 MSY는 0.17로 나타났다.



[그림 V-2] CMSY 모델을 활용한 갈치 자원평가 결과(PPVR)



[그림 V-3] BSS 모델을 활용한 갈치 자원평가 결과(PPVR_{hp})

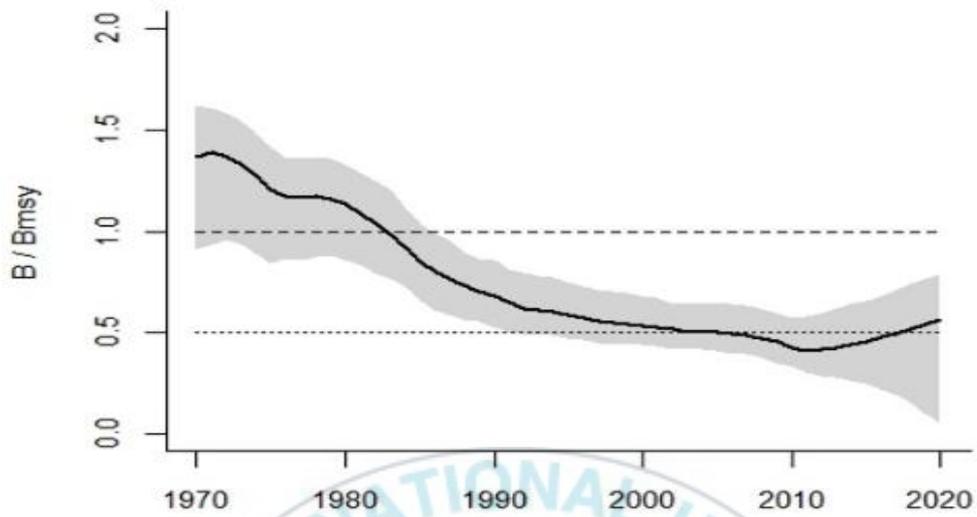
다음으로 갈치 자원량 변동 추세에 대한 분석 결과를 살펴보면, CMSY 및 BSS 모델에 의한 갈치의 자원상태는 자원회복 기준점을 최대지속적생

산량의 자원량 B_{MSY} 수준으로 보았을 때, 공통적으로 B_{MSY} 수준보다 낮은 남획상태로 추정되었다.

구체적으로 CMSY 모델에 의해 추정된 갈치의 자원량은 [그림 V-4]에서 보는 바와 같이 1970년 이후 지속적으로 감소하다가 2010년부터 미미하게 증가하는 추세를 보이는 것으로 나타났다. 구체적으로 1983년 이후 B_{MSY} 수준보다 낮게 나타났으며, 현재까지 자원량 수준은 B_{MSY} 수준보다 낮은 것으로 추정되었다.

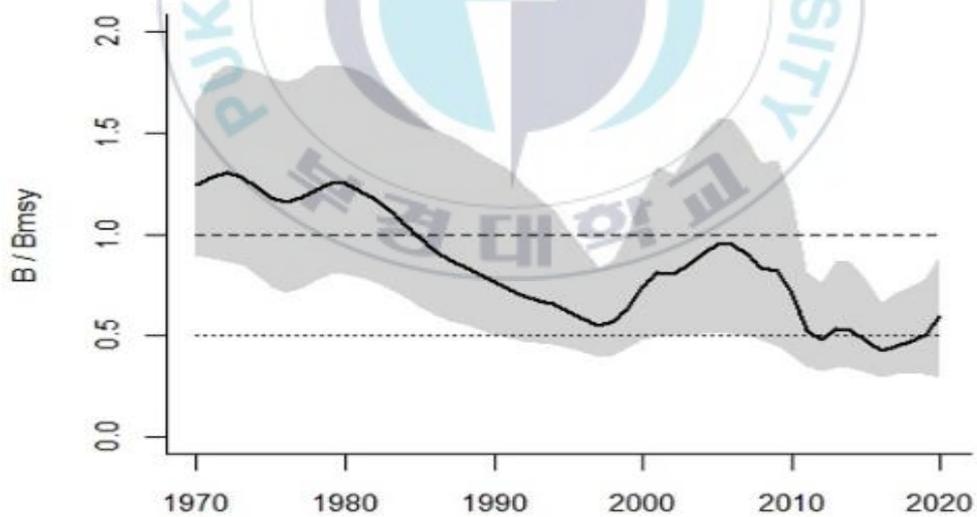
다음으로 BSS 모델에 의해 추정된 갈치의 자원량은 [그림 V-5]에서 보는 바와 같이, 1970년부터 1997년까지 지속적으로 감소하는 경향을 보이다가 1999년부터 다시 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 2007년부터 다시 감소한 것으로 나타났으며, 이후 2016년부터 현재까지는 소폭 상승한 결과를 보이고 있다. 구체적으로 자원량은 1985년부터 B_{MSY} 수준보다 낮은 것으로 추정되었으며, 현재까지도 여전히 낮은 수치를 나타내고 있다.

이와 같이, CMSY 및 BSS 모델을 통한 갈치 자원량 변동 추세는 공통적으로 과거부터 지속적으로 감소한 결과를 보였으며, 최근 소폭 상승한 것으로 분석되었다. 이러한 갈치 자원량의 감소 추세는 최근 수행된 갈치 자원평가의 선행연구인 Ji et al.(2019)과 최완현(2020) 결과와도 동일하다



※ 그래프 상의 회색 범위는 95% 신뢰구간을 의미함

[그림 V-4] CMSY 모델의 갈치 자원량 추정 결과(1970년-2020년)



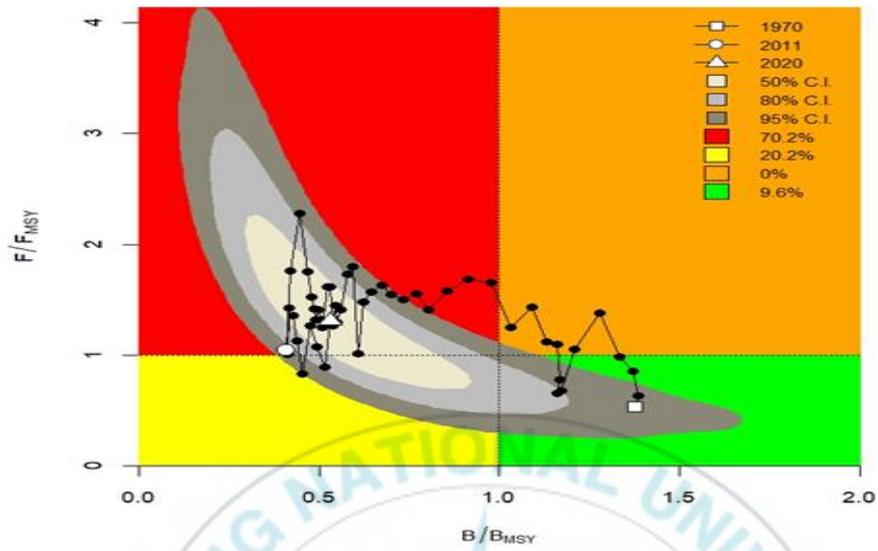
※ 그래프 상의 회색 범위는 95% 신뢰구간을 의미함

[그림 V-5] BSS모델의 갈치 자원량 추정 결과(1970년-2020년)

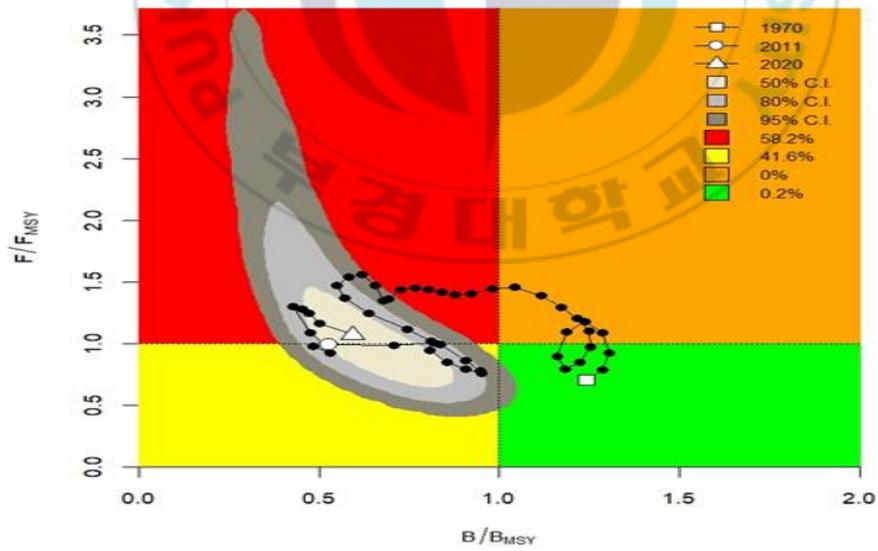
마지막으로 갈치의 자원상태를 보다 정밀하게 파악하기 위해 연도별 자원량 변동과 어획사망률을 함께 고려한 Kobe Plot 추정 결과를 살펴보면, [그림 V-6] 및 [그림 V-7]에서 제시된 바와 같다.

먼저 CMSY 모델을 활용한 Kobe plot 결과를 살펴보면, 1970년 자원량의 수준은 높게 나타났고, 어획강도는 낮게 나타난 비교적 안정적인 초록색 영역에서 시작된 것을 확인할 수 있다. 하지만 2011년에는 자원량이 매우 낮고 어획강도는 높게 나타났으며, 2020년에는 과거에 비해 자원량 수준이 더 낮게 나타났고, 어획강도는 매우 높아진 것으로 나타났다. 구체적으로 CMSY 모델의 경우 적색영역에 있을 확률은 70.2%로 추정되었다.

다음으로 BSS 모델을 활용한 Kobe plot 결과를 살펴보면, 1970년 자원량 수준은 높게 나타났고, 어획강도는 낮은 초록색 영역에서 시작하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 2020년 자원량 수준은 매우 낮게 나타난 반면, 어획강도는 높은 적색영역에 있는 것으로 나타났다. 구체적으로 BSS의 모델의 경우 적색영역에 있을 확률은 58.2%인 것으로 추정되었다.



[그림 V-6] CMSY 모델을 이용한 Kobe plot 분석 결과



[그림 V-7] BSS 모델을 이용한 Kobe plot 분석 결과

2. 갈치 생물경제학적 분석 결과

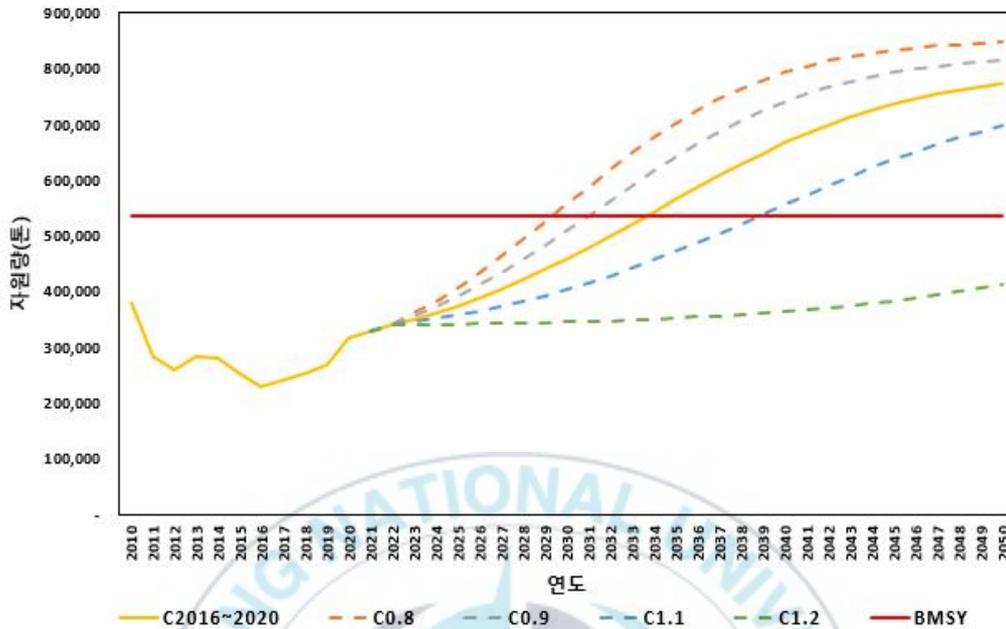
본 연구의 생물경제학적 분석에서는 크게 두 가지 시나리오를 구성하여 갈치에 대한 향후 30년간의 자원량 및 어업이익 변화를 살펴보았다. 첫 번째 시나리오는 Non-TAC 대상업종들의 어획량이 유지되었을 경우 TAC 대상업종들의 TAC 물량 변화에 따른 자원량 및 어업이익 변화, 두 번째 시나리오는 TAC 대상업종들의 TAC 물량이 현 수준으로 유지되었을 경우 Non-TAC 대상업종들의 어획량 변화에 따른 자원량 변화를 살펴보았다.

1) TAC 설정량 변화에 따른 갈치 자원량 및 어업이익 변화

갈치의 Non-TAC 대상업종들의 어획량이 유지될 경우 TAC 대상업종들의 TAC 물량 변화에 따른 갈치의 자원량 변화 예측 결과는 [그림 V-8]에서 보는 바와 같다.

구체적으로 현재의 TAC 수준을 유지할 경우 자원량은 증가할 것으로 나타났다. 자원회복 기준점을 B_{MSY} (536,073톤)으로 살펴볼 경우 2034년부터 자원량이 회복 기준점을 넘어 서서히 증가할 것으로 나타났다. 2021년도 기준 자원량은 327,358톤으로 추정되었으며, 현재의 TAC 수준을 유지할 경우 30년 후 2050년 갈치의 자원량은 773,215톤으로 추정되었다.

현재 수준의 TAC 설정량(C)에서 10% 증가(C1.1), 10% 감소(C0.9), 20% 감소(C0.8)할 경우 시나리오별 분석 결과는 시기만 서로 상이하며, 자원량은 모두 회복될 것으로 추정되었다. 갈치 자원량의 회복기준점을 B_{MSY} 로 설정하면, C0.8톤 설정 하에서 2030년, C0.9톤 설정 하에서 2032년, 그리고 C1.1톤 설정 하에서 2039년에 각각 기준점을 달성할 수 있는 것으로 분석되었다. 반면 현 수준의 TAC 설정량(C)에서 20% 증가(C1.2)할 경우 2021년부터 자원량은 미미한 수준으로 증가할 것으로 나타났으나, 회복기준점인 B_{MSY} 수준에는 미치지 못할 것으로 추정되었다.



[그림 V-8] TAC 설정량에 따른 갈치 자원량 변화

TAC 설정량에 따른 30년 후(t+30) 갈치 자원상태의 변화를 살펴보면 다음 <표 V-3>과 같다. Non-TAC 대상업종 어획량을 2016년부터 2020년까지의 5개년 평균치로 유지한다는 가정하에, TAC 수준에 따른 30년 후 갈치 자원량은 773,215톤으로 나타났다. 구체적으로 현 TAC 수준에서 20% 감소(C_{0.8})할 경우 2050년 자원량은 848,232톤으로 현재 TAC 수준 대비 9.70% 더 증가할 것으로 나타났다. 10% 감소(C_{0.9})할 경우에는 2050년 자원량은 816,214톤으로 나타났으며, 이는 현재 TAC 수준을 유지하였을 때보다 5.56% 증가할 것으로 나타났다. 반면 TAC 수준을 현재보다 10% 증가(C_{1.1})하였을 경우 697,579톤으로 현 수준의 2050년 자원량에 비해 9.78% 감소할 것으로 나타났다. 그리고 20% 감소(C_{0.8})할 경우 413,556톤으로 나타났으며, 이는 현 TAC수준 대비 46.51% 감소할 것으로 나타났다.

<표 V-3> TAC 설정량에 따른 30년 후 갈치 자원량 추정

(단위 : 톤, %)

구분	자원량(B ₂₀₅₀)	현재 TAC 수준 대비 증감율
TAC _{0.8}	848,232	+ 9.70%
TAC _{0.9}	816,214	+ 5.56%
TAC	773,215	-
TAC _{1.1}	697,579	- 9.78%
TAC _{1.2}	413,556	- 46.51%

마지막으로 경제적 효과로서 TAC 5개 업종의 경영체당 어업이익 변화를 순현재가치법(Net present value method)을 통해 현재 시점 기준으로 살펴보았다. 구체적으로 현재 수준의 TAC 업종별 어업이익 기준에서 20% 증가(TAC_{1.2}), 10% 증가(TAC_{1.1}), 10% 감소(TAC_{0.9}), 20% 감소(TAC_{0.8}) 그리고 30% 감소(TAC_{0.7})할 경우에 각 업종별 어업이익(NPV) 변화를 분석해보았다. 분석에 있어 사회적 이자율은 4.5%로 가정하고 향후 30년간 어업이익을 현재가치로 환산하였다.

분석 결과는 다음 <표 V-4>과 같다. 구체적으로 현 TAC 수준에서 30% 감소한 경우를(TAC_{0.7}) 제외한 20% 감소에서 20% 증가할 경우 갈치의 TAC 업종 모두 향후 30년간 경제성은 발생하는 것으로 나타났다. 하지만 갈치 어획에 있어 대형트롤 어업의 경우 현재 수준의 TAC 설정량에서 30% 이상 감소하면 어업이익은 나타나지 않을 것으로 추정되었다.

<표 V-4> 갈치의 TAC 업종별 NPV

(단위 : 천 원)

구분	근해연승	근해안강망	대형선망	대형트롤	쌍끌이대형 저인망
$TAC_{0.7}$	379,709,722	262,407,539	47,796,896	-8,436,510	18,571,849
$TAC_{0.8}$	875,704,722	384,052,466	78,423,381	1,658,472	42,177,485
$TAC_{0.9}$	1,371,699,722	505,697,393	109,049,866	11,753,455	65,783,120
TAC	1,867,694,722	627,342,320	139,676,350	21,848,437	89,388,756
$TAC_{1.1}$	2,363,689,722	748,987,247	170,302,835	31,943,419	112,994,391
$TAC_{1.2}$	2,859,684,722	870,632,174	200,929,319	42,038,401	136,600,027



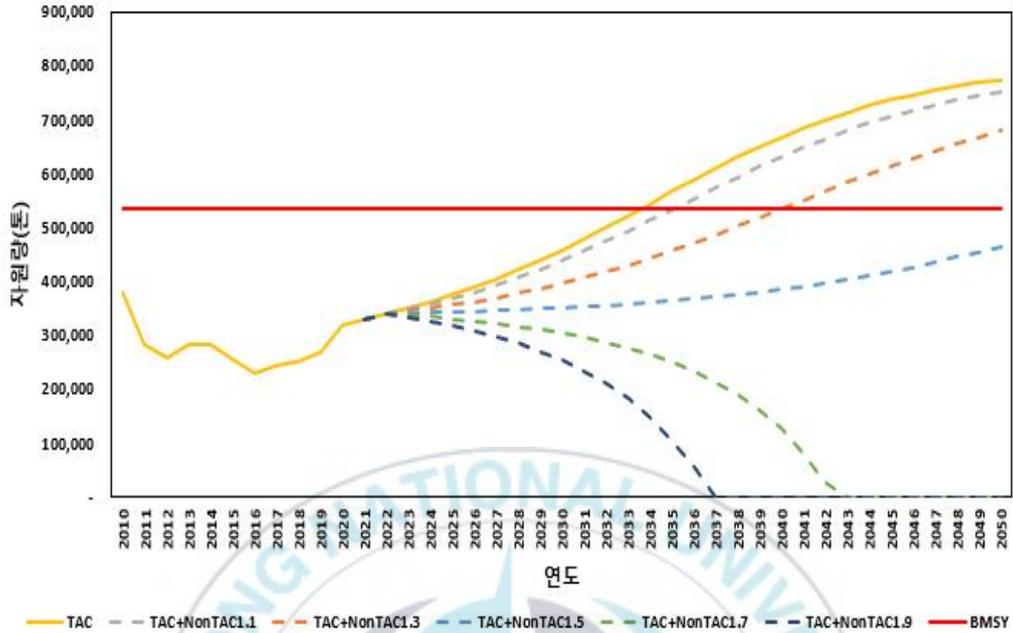
2) Non-TAC 대상업종의 어획량 변화에 따른 갈치 자원량 변화

본 연구에서는 추가적으로 현행 TAC 수준에서 TAC 업종 이외의 Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 향후 30년간의 자원량을 살펴보았다. 구체적으로 현 수준의 TAC 설정량인 48,908톤은 유지한 채, TAC 이외의 Non-TAC 대상업종의 어획량 변동에 따른 시나리오별 분석을 실시하였다.

현재 갈치의 TAC 대상업종 이외의 Non-TAC 대상업종 5개년 평균 어획량(17,780톤)을 10% 증가(TAC+NonTAC_{1.1}), 30% 증가(TAC+NonTAC_{1.3}), 50% 증가(TAC+NonTAC_{1.5}), 70% 증가(TAC+NonTAC_{1.7}), 90% 증가(TAC+NonTAC_{1.9})까지 각각 설정하여 향후 갈치 자원량에 대해 살펴보았다.

분석 결과 다음 [그림 V-9]에서 보는 바와 같이 TAC 업종 이외의 Non-TAC 대상업종 어획량이 현재 수준에서 30%까지 증가하여도 향후 자원량은 회복가능할 것으로 분석되었다. 하지만 TAC 업종 이외의 Non-TAC 대상업종 어획량이 50%이상 증가하는 시점부터는 최대지속적 생산을 위한 B_{MSY} 기준에 미치지 못할 것으로 분석되었다. 그리고 TAC 업종 이외의 Non-TAC 대상업종 어획량이 70% 이상 증가하였을 경우에는 향후 갈치 자원량이 지속적 감소하여 2043년 이후 고갈될 것으로 분석되었다.

다음으로 Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 30년 후(t+30) 갈치 자원상태의 변화를 살펴보면, <표 V-5>에서 제시된 바와 같다. 현재 TAC 수준을 유지하면 30년 후 자원량은 773,215톤으로 나타났다. 하지만 Non-TAC 대상업종 어획량을 10%, 30%, 50% 증가시 30년 후인 2050년 자원량은 각각 750,552톤, 678,694톤, 465,409톤으로 감소한 결과로 나타났다. 이는 현재 수준을 유지한 경우 2050년 자원량 대비 각각 -2.93%, -12.22%, -39.81% 감소한 수치로 나타났으며, 만약 Non-TAC 업종 어획량이 70%, 90% 증가시 30년 후 2050년 자원량은 고갈될 것으로 나타났다.



[그림 V-9] Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 갈치 자원량 변화

<표 V-5> Non-TAC 대상업종 어획량 변화에 따른 30년 후 갈치 자원량 추정
(단위 : 톤, %)

구분	자원량(B ₂₀₅₀)	현재 TAC 수준 대비 증감율
TAC	773,215	-
TAC + NonTAC _{1.1}	750,552	- 2.93%
TAC + NonTAC _{1.3}	678,694	- 12.22%
TAC + NonTAC _{1.5}	465,409	- 39.81%
TAC + NonTAC _{1.7}	0	- 100.0%
TAC + NonTAC _{1.9}	0	- 100.0%

VI. 요약 및 결론

본 연구에서는 지속적으로 어획량이 감소하고 있는 갈치에 대한 자원평가 및 생물경제학적 분석을 통해 보다 현실에 부합하는 최적의 자원관리 기준점을 제시하고자 하였다. 특히, 최근 갈치는 최근 TAC 관리대상 어종으로 선정되면서 자원관리 기준에 대한 변화가 있었다. 하지만 TAC 업종은 다섯 가지 주요 업종만을 포함하였으나, 갈치의 경우 Non-TAC 대상업종 어획량에 대한 비중이 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다. 이에 따라 TAC 대상업종뿐만 아니라 Non-TAC 대상업종들을 고려한 생물경제모델을 구축하여 시나리오별 향후 갈치 자원량과 어업이익의 변화를 분석해보았다.

먼저, 갈치 자원평가에는 1970년부터 2020년까지의 갈치 어획량 자료, 1997년부터 2020년까지의 근해연승, 근해안강망, 대형선망, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망 어획노력량 자료가 활용되었다. 어획노력량 자료는 어선 마력수 자료를 활용하였으며, 서로 다른 업종 간의 어획 능력의 차이를 고려해 주기 위해 일반화된 선형모형을 이용하여 업종간 어획능력을 표준화하였다. 그리고 어획량 자료와 어획노력량 자료, 그리고 Resilience 자료를 바탕으로 CMSY 및 BSS(Bayesian state-space) 모델을 활용하여 갈치에 대한 자원평가를 실시하였다. 그리고 BSS 모델 자원평가 결과를 바탕으로 생물경제학적 분석을 실시하여 향후 자원량 및 어업이익 변화를 살펴보았다.

분석 결과, 2020년 기준 CMSY 및 BSS 모델을 통해 추정된 갈치의 자원량은 각각 380,322톤, 318,084톤으로 나타났다. 이는 B_{MSY} 대비 각각 56%, 59% 수준으로 두 모델 모두 공통적으로 남획(Overfished) 상태로 평가되어 자원회복을 위한 노력이 필요할 것으로 나타났다.

또한 자원평가 결과를 기반으로 갈치의 주요 업종 및 Non-TAC 대상업종 변화에 따른 시나리오별 향후 자원량 변화 및 어업이익 변화를 살펴보았다. 분석 결과, 현 수준의 TAC 설정량(48,908톤) 기준 최대 10%(53,799

톤) 증가하여도 향후 갈치 자원량은 회복될 것으로 분석되었다. 하지만 20%(58,690톤) 이상 증가할 경우 향후 갈치 자원량은 서서히 회복되거나 B_{MSY} 수준에는 미치지 못할 것으로 나타났다. 그리고 TAC 업종 이외의 Non-TAC 대상업종에 따른 자원량 분석 결과, Non-TAC 대상업종 어획량이 현 수준(17,780톤)에서 30%(23,113톤)까지 증가하여도 향후 자원량은 회복가능할 것으로 분석되었다. 하지만 50%(26,669톤) 이상 증가하는 시점부터는 자원회복 기준점을 B_{MSY} 수준으로 볼 때 회복이 불가능할 것으로 나타났다.

그리고 갈치의 TAC 업종별 향후 30년간의 어업이익 변화를 살펴본 결과, 현 수준의 TAC 설정량에서 30% 이상 감소(34,236톤)할 경우 대형트롤 어업에서 경제성을 가지지 못하는 것으로 분석되었다.

이에 따라 현재 자원량 수준에서 우리나라 갈치에 대한 TAC는 최소 34,236톤에서 최대 53,799톤까지 설정할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 Non-TAC 대상업종 어획량은 최근 5개년 평균인 18,781톤에서 최대 26,293톤까지 설정할 수 있는 것으로 분석되었다. 만약 현재 TAC 수준에서 Non-TAC 대상업종 어획량이 약 28,172톤 이상 설정 시 자원회복 기준점인 B_{MSY} 에 미치지 못할 것으로 나타났다.

본 연구에서 추정된 결과는 최근 이루어진 선행연구들과 유사하게 나타났다. 특히 자원을 비효율적으로 이용되고 있는 결과는 박차수(2020), 남종오·조훈석 (2018), Ji et al.(2019), 최완현(2020)의 선행연구에서도 공통적으로 확인할 수 있었다. 그리고 박차수(2000), 최완현(2020)에서도 본 연구와 동일하게 현재 자원량 수준이 B_{MSY} 에 비해 낮은 것으로 나타났다.

하지만 본 연구와 달리 서로 상이한 어획량 자료 및 어획노력량 자료를 활용한 점에서 현 시점의 갈치 자원상태를 직접적으로 비교하기에는 다소 한계가 있다. 따라서 향후 효과적인 갈치 자원상태를 파악하기 위해서는 분석 자료의 종류 및 기간을 고려하고 다양한 요소들을 종합적으로 고려한 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점으로는 먼저 분석 방법에 있어 BSS 모델만을 고려하

였다는 점이다. 구체적으로 BSS 모델은 자원평가를 수행함에 있어 발생하는 과정오차와 관측오차를 모두 고려하는 등 기존에 활용되는 자원평가모델에서 발생하는 한계점을 극복할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 BSS 모델은 주요 변수들에 대한 사전분포 설정과 분석 자료의 종류 및 기간 등이 분석 결과에 상당한 영향을 미치므로 분석을 진행하는 과정에서 세부적인 차이에 따라 분석 결과는 다소 차이가 나타난다. 이에 따라 활용 가능한 자료의 한계에 따른 분석에 필요한 전체 자료를 고려하지 못하였다는 점이 본 연구에서의 한계점으로 판단된다.

또한 갈치는 회유성 어종으로 우리나라뿐만 아니라 인접한 국가인 중국과 일본 등에서도 어획이 이루어지고 있다. 하지만 본 연구에서는 갈치 자원평가에 있어 우리나라 연근해어업 총 어획량 자료만을 활용하였기 때문에 다른 인접국의 어획량 자료를 고려하지 못한 점에서 한계가 있다. 따라서 향후 자원평가에 있어 다양한 자원평가모델과 분석 자료의 종류 및 기간, 그리고 인접한 국가의 어획 영향까지 고려한다면 보다 신뢰할 수 있는 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

[국내 문헌]

국립수산과학원. (2017). 생태와 어장. 부산 : 도서출판 예문사.

국립수산과학원 수산생명자원정보센터. (2022). 생물종정보. 10 May 2022.

김달호. (2013). R과 WinBUGS를 이용한 베이지안 통계학. 경기도 : 자유
아카데미.

김도훈. (2015). 도루묵 수산자원회복계획에서의 TAC 정책 평가. 한국수산
경영학회, 46(1), 029-039

김홍식, 전형주, 김도훈. (2016). 유류피해지역 어장환경 개선사업의 경제적
효과 분석. 수산해양교육연구, 28(6), 1781-1791.

남종오, 조훈석. (2018). 다수어업의 갈치 자원평가 및 최적어획량 추정.
Ocean and Polar Research, 40(4), 237-247.

법제처. (2022). 수산업법 시행령. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산업법 시행령 [별표 1의2] 어업별 어구의 규모·형태·
사용량 및 사용방법. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 연근해어업의 구조개선 및 지원에 관한 법률(약칭 : 연근해
어업구조개선법). <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산자원 회복 및 총허용어획량 대상 수산자원의 판매장소 지정. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산자원 회복 및 총허용어획량 대상 수산자원의 판매장소 지정 [별표] 관리대상 수산자원의 판매장소(제2조 관련). <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.

법제처. (2022). 2021년 7월 ~ 2022년 6월 총허용어획량의 설정 및 관리에 관한 시행계획. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산자원관리법. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산자원관리법 시행령 [별표 1] 수산자원의 포획·채취 금지 기간·구역 및 수심(제6조제1항 관련). <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

법제처. (2022). 수산자원관리법 시행령 [별표 2] 수산자원의 포획·채취금지 체장 또는 체중(제6조제2항 관련), 수산동물의 종류별 체장 계측도. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 21 Sep 2022.

박차수, 이동우, 김장근, 강용주. (2000). 한국 연근해 갈치 *Trichiurus lepturus* Linnaeus 의 자원 평가 및 관리방안. 한국수산자원학회, 3, 29~38.

수산업협동조합중앙회. (2017). 2021년도 어업경영조사보고. 서울 : (주)현대아트컴.

수산업협동조합중앙회. (2018). 2021년도 어업경영조사보고. 서울 : (주)현대

아트컴.

수산업협동조합중앙회. (2019). 2021년도 어업경영조사보고. 서울 : (주)현대 아트컴.

수산업협동조합중앙회. (2020). 2021년도 어업경영조사보고. 서울 : (주)현대 아트컴.

수산업협동조합중앙회. (2021). 2021년도 어업경영조사보고. 서울 : (주)현대 아트컴.

최민제, 김도훈. (2019). 효과적인 자원평가모델 선정을 위한 잉어생산량모델의 비교 분석: 동해 생태계의 잠재생산량 분석을 대상으로. Ocean and Polar Research, 41(3), 183-191.

최민제. (2020). 참조기 어업관리를 위한 생물경제학적 분석. 부경대학교 석사학위 논문.

최완현. (2020). 효과적인 자원관리를 위한 어업관리수단의 생물경제학적 분석. 부경대학교 박사학위 논문.

최지훈, 강희중, 임정현, 김도훈. (2020). 기름가자미 어업관리방안 평가를 위한 생물경제학적 분석 -동해구 외끌이중형저인망어업을 대상으로-. 한국수산해양기술학회, 56(4), 347-360.

최지훈, 서영일, 김도훈. (2021). 붉은대게 자원관리를 위한 어업관리수단별 생물경제적 효과분석. 수산해양기술연구 (구 한국어업기술학회지),

57(2), 173-184.

통계청. (2022). 어업생산동향조사. <http://kosis.kr>. Accessed 10 May 2022; 1 Mar 2022; 17 Sep 2022.

통계청. (2022). 어업경영조사. <http://kosis.kr>. Accessed 18 Jul 2022; 22 Jul 2022; 25 Jul 2022.

통계청. (2022). 등록어선통계. <http://kosis.kr>. Accessed 10 May 2022; 17 May; 17 Sep 2022

한국수산자원공단. (2022). TAC 어종별 소진현황. <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 10 Mar 2022.

한국수산자원공단. (2022). TAC 소개. <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 21 Sep 2022.

해양수산부. (2019). 제2차 연근해어업 구조개선 기본계획.

해양수산부. (2022). 2022년도 해양수산사업 시행지침서.

홍재범, 김도훈. (2021). CMSY 및 BSS 모델을 활용한 한국의 고등어 자원 평가 연구. 수산해양교육연구, 33(5), 1272-1283.

홍재범. (2022). 온실가스 배출량 저감을 고려한 근해어업의 최적 생산 분석. 부경대학교 박사학위 논문.

[국외 문헌]

- Boerema, L. K., and Gulland, J. A. (1973). Stock assessment of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) and management of the fishery. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 30(12), 2226-2235.
- Bolker, B. M. (2008). Ecological models and data in R. In *Ecological Models and Data in R*. Princeton University Press.
- Camp, E. V., Larkin, S. L., Ahrens, R. N., and Lorenzen, K. (2017). Trade-offs between socioeconomic and conservation management objectives in stock enhancement of marine recreational fisheries. *Fisheries research*, 186, 446-459.
- Chaloupka, M., and Balazs, G. (2007). Using Bayesian state-space modelling to assess the recovery and harvest potential of the Hawaiian green sea turtle stock. *Ecological modelling*, 205(1-2), 93-109.
- Choi, J. H., Kim, D. H., Choi, M. J., Kang, H. J., Seo, Y. I., and Lee, J. B. (2019). Stock assessment and management of blackthroat seaperch *Doederleinia seaperch* using Bayesian state-space model. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 55(2), 95-104.
- Clarke, R. P., Yoshimoto, S. S., and Pooley, S. G. (1992). A bioeconomic analysis of the Northwestern Hawaiian Islands lobster fishery.

Marine Resource Economics, 7(3), 115-140.

Dantzig, G. B., and Thapa, M. N. (1997). Linear programming Springer. New York.

Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2022). FishBase. World Wide Web electronic publication version (02/2022). <http://www.fishbase.org>, Accessed 10 May 2022.

Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M., and Winker, H. (2016) Assessments of 48 simulated and 159 real stocks with a Monte Carlo and Bayesian Implementation of a Surplus Production Model. Version of June 23, 2016.

Froese, R., Demirel, N., Coro, G., and Winker, H. (2019). A Simple User Guide for CMSY+ and BSM.

Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M., and Winker, H. (2017). Estimating fisheries reference points from catch and resilience. Fish and Fisheries, 18(3), 506-526.

Haddon, M. (2010). Modelling and quantitative methods in fisheries. CRC press, Florida

Hilborn, R., and Walters, C. J. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. Rev Fish Biol Fish 2(2), 177-178.

- Ju, P., Tian, Y., Chen, M., Yang, S., Liu, Y., Xing, Q., and Sun, P. (2020). Evaluating stock status of 16 commercial fish species in the coastal and offshore waters of taiwan using the CMSY and BSM methods. *Frontiers in Marine Science*, 618.
- Tokunaga, K., Ishimura, G., Iwata, S., Abe, K., Otsuka, K., Kleisner, K., Fujita, R., (2019). Alternative outcomes under different fisheries management policies: A bioeconomic analysis of Japanese fisheries. *Marine Policy*, Volume 108, Article 103646.
- Kéry, M., and Schaub, M. (2011). Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective. Academic Press.
- 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.
- Lunn, D. J., Thomas, A., Best, N., and Spiegelhalter, D. (2000). WinBUGS—a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statistics and computing*, 10(4), 325–337.
- Mamdouh, M, L., (2019). Bioeconomic Analysis on the Egyptian Coastal Fisheries in the Mediterranean. and Red Seas. Pukyong National University.
- Meyer, R., and Millar, R. B. (1999). Bayesian stock assessment using a state-space implementation of the delay difference model. *Canadian*

Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56(1), 37-52.

Millar, R. B., and Meyer, R. (2000). Non-linear state space modelling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis-Hastings within-Gibbs sampling. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 49(3), 327-342.

Mourato, B. L., Winker, H., Carvalho, F., and Ortiz, M. (2018). Stock assessment of Atlantic Blue Marlin (*Makaira nigricans*) using a Bayesian state-space surplus production model JABBA. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 75(5), 1003-1025.

Nguyen, K. Q., Tran, P. D., Nguyen, L. T., To, P. V., and Morris, C. J. (2021). Use of light-emitting diode (LED) lamps in combination with metal halide (MH) lamps reduce fuel consumption in the Vietnamese purse seine fishery. *Aquaculture and Fisheries*, 6(4), 432-440.

Palomares, M. L., Froese, R., Derrick, B., Noël, S. L., Tsui, G., Woroniak, J., and Pauly, D. (2018). 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). 1-64.

Plummer, M. (2003). JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling. In *Proceedings of the 3rd international workshop on distributed statistical computing*, 124(125.10), 1-10.

- Polacheck, T., Hilborn, R., and Punt, A. E. (1993). Fitting surplus production models: comparing methods and measuring uncertainty. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 50(12), 2597-2607.
- Pradhan, N. C., and Leung, P. (2006). Incorporating sea turtle interactions in a multi-objective programming model for Hawaii's longline fishery. *Ecological Economics*, 60(1), 216-227.
- Punt, A. E. (1990). Is $B = K$ an appropriate assumption when applying an observation error production-model estimator to catch-effort data?. *South African Journal of Marine Science*, 9(1), 249-259.
- Ren, Q. Q., and Liu, M. (2020). Assessing northwest Pacific fishery stocks using two new methods: the monte Carlo Catch-MSY (CMSY) and the bayesian schaefer model (BSM). *Frontiers in Marine Science*, 430.
- Rodrigues, A. G. (Ed.). (1990). *Operations Research and Management in Fishing*, Kluwer Academic Publishers.
- Schaefer, M. B. (1954). Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, 1(2): 23-56.
- Schaefer, M. B. (1957). A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 2, 243-285.

- Schnute, J. (1977). Improved estimates from the Schaefer production model: theoretical considerations. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 34(5), 583-603.
- Seijo, J. C., Villanueva-Poot, R., and Charles, A. (2016). Bioeconomics of ocean acidification effects on fisheries targeting calcifier species: a decision theory approach. *Fisheries Research*, 176, 1-14.
- Seo, Y., Park, J., and Choi, Y. (2019). Comparison of Bayesian Methods for Estimating Parameters and Uncertainties of Probability Rainfall Distribution. *Journal of Environmental Science International*, 28(1), 19-35.
- Smith, D. C., Haddon, M., Punt, A. E., Gardner, C., Little, L. R., Mayfield, S., O' Neill, M. F., Saunders, T., Stewart, J., Wise, B., Fulton, E. A., and Conron, S. (2021). Evaluating the potential for an increased and sustainable commercial fisheries production across multiple jurisdictions and diverse fisheries. *Marine Policy*, 124, 104353.
- Uhler, R. S. (1980). Least squares regression estimates of the Schaefer production model: some Monte Carlo simulation results. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(8), 1284-1294.
- Valpine, P. D., and Hilborn, R. (2005). State-space likelihoods for nonlinear fisheries time-series. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 62(9), 1937-1952.

- Wang, Y., Wang, Y., Liang, C., Zhang, H., and Xian, W. (2020). Assessment of 12 fish species in the northwest Pacific using the CMSY and BSM methods. *Frontiers in Marine Science*, 616.
- Willis, C., and Bailey, M. (2020). Tuna trade-offs: Balancing profit and social benefits in one of the world's largest fisheries. *Fish and Fisheries*, 21(4), 740-759.
- Yue, L., Wang, Y., Zhang, H., and Xian, W. (2020). Stock assessment using the LBB method for *Portunus trituberculatus* collected from the Yangtze Estuary in China. *Applied Sciences*, 11(1), 342.
- Ji, Y., Liu, Q., Liao, B., Zhang, Q., Han, Y. (2019). Estimating biological reference points for Largehead hairtail fishery in the Yellow Sea and Bohai Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 38, 20-26.