



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

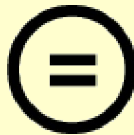
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



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 박 사 학 위 논 문

온실가스 배출량 저감을 고려한
근해어업의 최적 생산 분석
- 대형선망어업을 중심으로 -



2022년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

홍 재 범

경 영 학 박 사 학 위 논 문

온실가스 배출량 저감을 고려한
근해어업의 최적 생산 분석
- 대형선망어업을 중심으로 -

지도교수 김 도 훈

이 논문을 경영학박사 학위논문으로 제출함.

2022년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

해양수산경영학과

홍 재 범

홍재범의 경영학박사 학위논문을 인준함.

2022년 8월 26일



위원장 이 학 박사 이성 일 (인)

위원 경 제 학 박사 장 호 근 (인)

위원 경 영 학 박사 송 세 현 (인)

위원 경 영 학 박사 조 현 주 (인)

위원 경 영 학 박사 김 도 훈 (인)



목 차

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 방법 및 내용	4
II. 선행연구	6
1. 온실가스 배출량 추정	6
2. 수산자원평가	12
3. 생물경제학적 분석	25
III. 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정	29
1. 온실가스 배출 현황	29
2. 분석 방법 및 자료	40
3. 분석 결과	45
IV. 고등어 자원평가	46
1. 생산 현황	46
2. 분석 방법 및 자료	58
3. 분석 결과	70
V. 온실가스 배출량 저감을 고려한 생물경제학적 분석	79
1. 대형선망어업의 경영 현황	79
2. 분석 방법 및 자료	91
3. 분석 결과	102
VI. 결론 및 요약	119
참고 문헌	128

표 차례

<표 II-1> 집어등 종류별 밝기 및 내구연수	7
<표 II-2> 전과정 단계별 온실가스 배출량(선행연구)	9
<표 II-3> 온실가스 배출량 추정 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성 ..	11
<표 II-4> CMSY 및 Bayesian state-space 모델의 추정 결과 비교(선행연구) ..	16
<표 II-5> 수산자원평가 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성	19
<표 II-6> 고등어 자원평가 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성 ..	24
<표 II-7> 생물경제학적 분석 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성 ..	28
<표 III-1> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정	33
<표 III-2> 해양수산 분야 탄소배출 목표	34
<표 III-3> 친환경 에너지절감장비 보급 사업의 지원품목	37
<표 III-4> 수산업 분야 온실가스 관련 연구(국립수산물연구원)	39
<표 III-5> 온실가스 인벤토리 산정시 Tier 2 적용 부문	40
<표 III-6> 온실가스 종류에 따른 배출량 산정식	42
<표 III-7> 온실가스 종류별 지구온난화지수	42
<표 III-8> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 연료소비량	43
<표 III-9> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 배출계수	44
<표 III-10> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 전환계수	44
<표 III-11> 대형선망 온실가스 배출량 추정 결과(2019년 기준)	45
<표 III-12> 대형선망의 어획량 단위당 온실가스 배출량 추정 결과 (2019년 기준)	45
<표 IV-1> 업종별 고등어 생산량(2017년-2021년)	48
<표 IV-2> 대형선망 선령별 어선척수(2020년)	50
<표 IV-3> 대형선망 어획강도(1992년, 2020년)	52
<표 IV-4> 대형선망어업 감척의사 현황(2017년-2018년)	54
<표 IV-5> TAC 대상업종 및 어종(2021년-2022년)	55
<표 IV-6> 본원적 성장률에 따른 사전적 범위에 대한 정의(Resilience) ...	60
<표 IV-7> 환경수용력 대비 자원량 수준에 따른 사전적 범위에 대한 정의 ...	61
<표 IV-8> 실행 가능한 'r-k' 탐색 조건	62

<표 IV-9> B_{MSY} 대비 B 수준 기반 자원상태의 정의	65
<표 IV-10> 고등어 자원평가를 위한 분석 자료	66
<표 IV-11> 고등어 자원평가 시나리오	67
<표 IV-12> 고등어 자원평가 시나리오별 결과	72
<표 IV-13> 고등어 자원량 및 B_{MSY} 추정 결과	74
<표 IV-14> 최근 3개년 평균 고등어 자원량 추정 결과(2018년-2020년) ..	74
<표 IV-15> BSS 모델을 이용한 고등어 자원평가 결과	76
<표 V-1> 대형선망 경영체의 어업비용 세부현황(2016년-2020년)	81
<표 V-2> 대형선망 경영체의 출어비 세부현황(2016년-2020년)	82
<표 V-3> 대형선망 경영체의 임금 및 관리비 세부현황(2016년-2020년) ..	83
<표 V-4> 근해어업 업종별 경영체의 어업이익(2016년-2020년)	84
<표 V-5> 근해어업 업종별 경영체의 자산 및 부채 현황(2020년)	85
<표 V-6> 자산·자본관계 비율 수식	86
<표 V-7> 근해어업 업종별 경영체의 자산·자본관계 비율(2020년)	87
<표 V-8> 손익관계 비율 수식	88
<표 V-9> 활동성관계 비율 수식	88
<표 V-10> 근해어업 업종별 경영체의 손익관계 비율(2020년)	89
<표 V-11> 근해어업 업종별 경영체의 활동성관계 비율(2020년)	90
<표 V-12> t 시점 기준 고등어 자원량	98
<표 V-13> 대형선망어업의 고등어 어획량 비중(2016년-2020년)	100
<표 V-14> 대형선망 고등어 단위 가격	100
<표 V-15> 대형선망 고등어 어업비용	101
<표 V-16> 선단 수 및 온실가스 배출량 변화에 따른 30년 후 고등어 자원량 추정	105
<표 V-17> 온실가스 배출량 저감율에 따른 30년 후 고등어 자원량 추정 ..	106
<표 V-18> 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 대형선망 경영체당 어업이익 변화	108
<표 V-19> 선단 수 및 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 경영체당 어업이익	109
<표 V-20> 저감율 50% 적용 시 어업비용 차이에 따른 경영체당 어업이익	111

그림 차례

[그림 I-1] 연구 체계도	5
[그림 II-1] 근해어업 주요업종별 연간 온실가스 배출량(선행연구)	8
[그림 II-2] Case II 살오징어 자원평가 결과(선행연구)	15
[그림 II-3] 2개 어종에 대한 CMSY 및 BSS 추정 결과 예시(선행연구) ..	17
[그림 II-4] 한국 고등어 자원량 변동 추세(선행연구)	20
[그림 III-1] 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990년-2019년)	30
[그림 III-2] 해양수산분야 온실가스 배출량(1990년-2018년)	31
[그림 III-3] 어선 기술개발 추진 단계	35
[그림 IV-1] 연근해어업 고등어 어획량(1970년-2021년)	46
[그림 IV-2] 연근해어업 고등어 생산금액(1990년-2021년)	47
[그림 IV-3] 대형선망어업 고등어 어획량 비중(1992년-2020년)	48
[그림 IV-4] 대형선망 조업모식도	49
[그림 IV-5] 대형선망 어선척수(1992년-2020년)	50
[그림 IV-6] 대형선망 어선 총 톤수(1992년-2020년)	51
[그림 IV-7] 대형선망 어선 총 마력수(1992년-2020년)	51
[그림 IV-8] 연도별 고등어 TAC 할당량(2012년-2022년)	56
[그림 IV-9] 연도별 고등어 TAC 소진율(1999년-2022년)	56
[그림 IV-10] 대형선망 고등어 CPUE(양망횟수) 변화(2000년-2017년)	68
[그림 IV-11] 대형선망 고등어 CPUE(어선톤수) 변화(1992년-2020년)	69
[그림 IV-12] 대형선망 고등어 CPUE(어선마력수) 변화(1992년-2020년) ..	69
[그림 IV-13] 고등어 자원평가 결과(PPVR)	73
[그림 IV-14] 고등어 자원량 추정 결과(1970년-2020년)	75
[그림 IV-15] 고등어 어획량 및 MSY(1992년-2020년)	77
[그림 IV-16] 고등어 어획사망률 추정 결과(1970년-2020년)	77
[그림 V-1] 대형선망 경영체의 종사자수(1983년-2020년)	79
[그림 V-2] 대형선망 경영체의 출어 및 어로일수(1983년-2020년)	80
[그림 V-3] 대형선망 경영체의 어업수익 및 비용(1983년-2020년)	81
[그림 V-4] 대형선망 경영체의 어업이익(1983년-2020년)	83

[그림 V-5] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화	102
[그림 V-6] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화 (17개 선단 기준)	103
[그림 V-7] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화 (15개 선단 기준)	104
[그림 V-8] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화 (13개 선단 기준)	104
[그림 V-9] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익 변화 ..	112
[그림 V-10] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익 변화 (17개 선단 기준)	113
[그림 V-11] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (15개 선단 기준)	114
[그림 V-12] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (13개 선단 기준)	114
[그림 V-13] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (19개 선단 기준, 저감율 50%)	115
[그림 V-14] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (19개 선단 기준, 저감율 50%, 어업비용 10% 절감)	116
[그림 V-15] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (17개 선단 기준, 저감율 50%)	117
[그림 V-16] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (17개 선단 기준, 저감율 30%)	118
[그림 V-17] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화 (17개 선단 기준, 저감율 10%)	118

An Optimal Production Analysis of Offshore Fisheries Considering Reduction
of Greenhouse Gas (GHG) Emissions in Korea
– Focusing on Large Purse Seine Fishery –

Jae-Beum Hong

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

Abstract

This study aimed to find the optimal production of the Large Purse Seine, one of the most important fisheries in South Korea, considering the reduction of Greenhouse gas (GHG) emission. The contents of the study are divided into three categories: estimation of GHG emission, stock assessment, bioeconomic analysis. The estimation of the GHG emission by catching activity and the stock assessment on the major caught species were conducted. Furthermore, using the analyzed results above, bioeconomic analysis was used to examine the optimal production of the Large Purse Seine.

GHG emissions were estimated based on oil consumption data. Using the total GHG emissions and the total catch of the Large Purse Seine, the unit emission of the GHG per catch was calculated, resulting in approximately 1.24 tons of GHG per ton of catch.

For the stock assessment of chub mackerel (*Scomber japonicus*), Bayesian state-space implementation of the Schaefer model (BSS) was used. As a result, the biomass of chub mackerel is continuously decreasing, which was lower than that of B_{MSY} . Therefore, additional fisheries management would be required as the species biomass decline.

Based on the results above, the changes in the biomass of chub mackerel and profit(NPV) of Large Purse Seine according to the level of GHG emission

reduction for the next 30 years were examined with bioeconomic analysis. As a result of the analysis, it was found that the amount of mackerel resources would be recovered as the level of greenhouse gas emission reduction was increased. However, in the case of fishery profit, it would be lower than the current level due to the GHG reduction emission, making optimal production impossible.

Therefore, it seems that additional measures are needed to achieve the optimal production level with the reduction of greenhouse gas emissions. In this study, vessel buy-back program and replacement of devices for GHG reduction were considered as additional measures. Optimal production would be possible when the vessel buy-back program was considered, but optimal production was impossible when the replacement of devices was considered.

This study suggests that optimal production is impossible even if greenhouse gas emissions are reduced under the current fishery structure. Therefore, in order to reduce greenhouse gas emissions in the future, a vessel buy-back program and replacement of devices need to be implemented together with the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords : Stock assessment, Bayesian state-space model, Large Purse Seine, Chub mackerel, Climate change, GHG(Greenhouse gas), GHG emissions, Bioeconomic, Vessel buy-back program

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

파리협정¹⁾에서는 기후변화에 대한 대응 정책의 장기적 비전 관점에서 각 당사국에게 장기 저탄소 발전전략을 수립하도록 권고하였다. 이에 대한민국 정부는 ‘대한민국 2050 탄소중립 전략’을 수립하였다(대한민국정부, 2020). 2018년 기준 우리나라의 온실가스 총 배출량은 7억 2,760만 톤으로, 이중 해양수산분야 배출량은 국가 전체 배출량 중 0.56%(406.1만 톤)를 차지하고 있다. 온실가스가 현재 수준으로 배출되는 경우 21세기 말 최대 어획 잠재력은 약 20.5%에서 24.1%까지 감소할 것으로 예상되고 있다. 이러한 상황 하에서 해양수산부는 ‘2050 해양수산 탄소 네거티브(Negative)’를 비전으로 하고, 2050년까지 온실가스 배출목표를 탄소중립(Net Zero)에서 한 걸음 더 나아가 마이너스(-) 324만 톤으로 설정하는 등 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’을 수립하였다(해양수산부, 2021a; 해양수산부, 2021b).

로드맵에서 계획한 목표 달성을 위해 해운, 수산·어촌, 해양에너지, 블루카본, 항만 5대 부문을 중심으로 탄소중립을 추진하고 현행 통계에서 분류되지 않는 정책부문까지 정책을 확산하려는 계획을 가지고 있다. 이중 해운 및 수산·어촌 분야에 대한 구체적인 수단을 살펴보면, 해운분야에서는 친환경 관공선 건조, 민간선사 친환경 전환, 친환경선박 기술개발을 온실가스 배출량 저감을 위한 주요 수단으로 계획하고 있다. 그리고 수산·어촌분야에서는 친환경 어선 개발 및 확산, 양식·수산물가공 에너지 효율 향상, 재생에너지 활용을 주요 수단으로 계획하고 있다(해양수산부, 2021a; 해양수산부, 2021b).

이러한 온실가스 배출량 저감을 위한 정책의 수립 및 이행을 위해서는 온실가스 배출원에 대해 정확하게 산정하는 것이 매우 중요하다(환경부, 2022a).

1) 국제사회에서 기후변화의 문제의 심각성을 인식하고 이를 해결하기 위해 선진국에 의무를 부여하는 교토의정서 채택(1997년)에 이어, 2015년에 선진국과 개도국 모두가 참여하는 파리협정을 채택하고 2016년에 협정이 발효되었음. 우리나라의 경우 2016년 11월 3일 파리협정을 비준하였음

국내 수산업 분야의 온실가스에 대한 연구로는 2014년부터 온실가스 배출 저감, 온실가스 배출계수 산정을 위한 현장조사, 배출량 관련 자료 수집 등이 이루어지고 있다(국립수산과학원, 2022).

하지만 수산업 분야 온실가스 배출량 산정 혹은 저감 효과에 대한 연구는 현재 일부 어종 및 업종에 대해 한정되어 있고, 업종별로 온실가스 배출량 정도만을 추정하고 있다. 가장 중요한 정책적 내용인 실질적으로 어업별·업종별로 어느 정도 온실가스 배출량을 저감시킬 수 있을지에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있다.

특히 업종별 온실가스 배출량 저감을 위한 생산 변화에 따른 향후 수산 자원량 변화 그리고 어업이익(소득)의 변화 등을 고려하여 온실가스 배출량 저감 수준을 분석하는 것은 가장 시급한 정책적 과제 중의 하나이다. 따라서 해양수산분야 탄소중립 목표를 달성하기 위해서는 업종별 온실가스 배출량을 추정하고 온실가스 배출량 저감을 위한 생산 변화에 따른 수산자원량 및 어업이익의 변화를 분석한 뒤 온실가스 배출량 저감 수준을 파악하는 연구가 이루어질 필요가 있다.

수산업은 국가 전체 온실가스 배출량에 비해 온실가스를 발생시키는 비율이 상대적으로 낮은 수준이지만, 생산과정에서 소모되는 유류 에너지의 의존도가 상당히 높은 실정이다(한인우 외, 2016). 실제로 2018년 기준 우리나라 해양수산분야 온실가스 총 배출량 중 수산·어촌분야 배출량은 304.2만 톤으로 이는 해양수산분야 전체 대비 약 75%에 해당된다. 이중에서도 특히 어선어업 등의 유류사용에 따른 직접 배출량이 253.8만 톤으로 수산·어촌 분야 배출량의 대부분인 약 83.4%를 차지하고 있다(해양수산부, 2021b).

따라서 효과적인 수산분야 온실가스 배출 관리를 위해서는 유류사용량(면세유)의 대부분을 차지하는 어선어업을 대상으로 온실가스 배출량 저감 수준을 분석해 나가야 한다. 특히 어선어업 중에서도 유류 사용의 절반 이상의 비중(58.6%)을 차지하는 근해어업을 대상으로 한 연구가 우선적으로 이루어질 필요가 있다(수산업협동조합중앙회, 2020; 대통령직속 농어업·농어촌특별위원회, 2020).

최근 해면어업 생산량 변화를 살펴보면, 현재 수산자원의 지속적인 감소 경향을 알 수 있다. 구체적으로 연근해어업 생산량을 살펴보면, 1986년에는 약 173만 톤으로 최대치를 기록한 이후 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 2021년 기준 연근해어업 생산량은 94만 톤으로, 이는 최대치 대비 절반 수준인 약 54.5%에 그치고 있다(통계청, 2022a).

업종별로 살펴보다도 연근해어업 생산량 중 가장 많은 비중을 차지하는 대형선망의 생산량은 1990년대 중반 이후 현재까지 지속적으로 감소하고 있다(통계청, 2022a)²⁾. 특히 국민생선으로 불리며, 대형선망어업의 주요 어획 어종인 고등어 생산량의 경우에도 1990년대 중반 이후 현재까지 지속적으로 감소하고 있다(통계청, 2022a; 국립수산물과학원, 2017).

본 연구에서는 우리나라 근해어업의 온실가스 배출량 저감 수준을 파악하기 위해 근해 업종의 최적 생산 수준을 파악하고자 한다. 구체적으로 근해 업종의 온실가스 배출량 저감을 위한 생산 변화에 따라 향후 수산자원량과 어업이익의 변화를 고려하여 실질적으로 가능한 온실가스 배출량 저감 수준을 분석하고자 한다.

분석 대상으로는 근해 업종 중 유류사용량과 생산량이 가장 많은 대형선망어업을 선정하였다. 대형선망어업의 주요 어획대상종인 고등어에 대한 자원평가 결과를 바탕으로 생물경제모델을 구축하여 온실가스 배출량 저감을 위한 생산 변화에 따른 온실가스 배출량 저감 수준을 추정하고자 한다. 이를 통해 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익의 변화를 분석하여 대형선망어업의 최적 생산 수준을 도출하고자 한다.

2) 최근 3개년(2019년-2021년) 평균 : 연근해어업 총 생산량 928,934톤 대비 대형선망 생산량은 150,797톤(16.2%)

2. 연구의 방법 및 내용

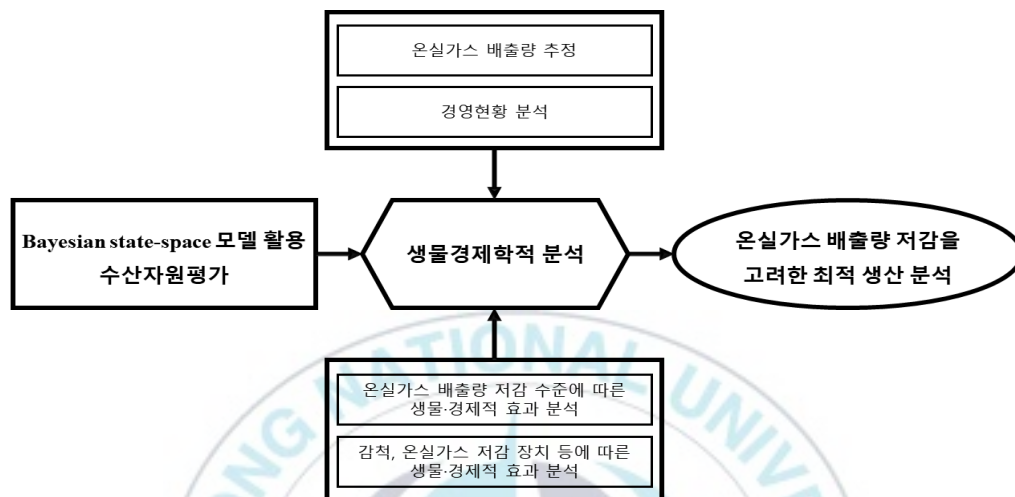
대형선망어업의 온실가스 저감을 고려한 최적 생산 분석을 위해서는 우선 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정이 필요하며, 주요 어획종인 고등어의 자원상태에 대한 파악이 이루어져야 한다. 이를 통해 온실가스 배출량 저감에 필요한 방안을 마련하고, 최종적으로는 온실가스 배출량 저감에 따른 자원량 및 어업이익(소득)의 변화를 분석해야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 총 세 가지 단계에 걸쳐서 연구를 수행하였다. 첫째, 대형선망어업의 유류 사용량 자료를 활용하여 Tier 1 수준의 산정식을 통해 어획활동에 따라 발생하는 온실가스 배출량을 추정하였다. 현재 해양수산분야에서는 온실가스 배출량을 감축하고자 하는 목표를 수립한 바 있다. 이를 위해서는 우선적으로 대형선망어업에서 배출되는 온실가스 배출량 수준에 대한 파악이 필요하다. 이에 따라 온실가스 총 배출량을 추정하고, 어획이 이루어질 때의 단위당 배출량을 산출하여, 온실가스 배출량 저감을 고려한 최적 생산 수준 도출을 위한 기초자료를 마련하였다.

둘째, 고등어에 대한 자원평가를 실시하여 고등어의 자원상태를 진단하고 고등어 자원상태에 따라 추가적으로 필요한 방안에 대한 검토를 실시하였다. 대형선망어업의 경영이 지속되기 위해서는 주요 어획의 대상인 고등어 자원의 지속적인 이용이 가능해야 하므로, 현재 고등어의 자원상태를 파악하고 이에 따라 필요한 수산자원관리 방안을 도출하였다.

셋째, 온실가스 배출량 추정 결과와 수산자원평가 결과, 그리고 어업경영 현황 자료를 기반으로 온실가스 배출량 저감을 고려한 생물경제학적 분석을 통해 향후 30년간의 자원량 및 어업이익의 변화를 살펴보았다. 대형선망의 지속가능한 어업을 위해서는 온실가스 배출량에 대한 저감이 반드시 필요하며 이때 수산자원과 어업이익의 지속가능성이 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 최적 생산에 대한 분석으로 자원회복과 어업이익 두 가지 관점에서 살펴보았다. 추가적으로 해양수산 분야 2050 탄소중립 로드맵에서 제시한 방안인 감척 및 온실가스 저감 장치

등을 고려한 경우의 고등어 자원량 및 대형선망의 어업이익 변화에 대한 분석도 실시하였다.



[그림 1-1] 연구 체계도

본 연구의 내용은 제1장 서론, 제2장 선행연구, 제3장 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정, 제4장 고등어 자원평가, 제5장 온실가스 배출량 저감을 고려한 생물경제학적 분석, 제6장 결론 및 요약으로 구성된다.

제1장에서는 연구의 배경 및 목적 그리고 연구의 방법 및 내용에 대해 서술하였다. 제2장에서는 본 연구에서 활용하는 분석 방법 등에 관련된 선행 연구를 검토하였다. 제3장에서는 전반적인 온실가스 배출량 현황을 살펴보고 본 연구의 대상이 되는 대형선망어업에 의해 배출되는 온실가스 배출량을 추정하였다.

제4장에서는 고등어 자원평가를 위해 고등어 생산 현황을 파악하고, 자원평가 모델에 대한 검토를 통해 본 연구에서 선정한 자원평가 모델을 활용한 고등어 자원평가 결과를 제시하였다. 제5장에서는 대형선망어업의 경영 현황을 파악하고, 제3장과 제4장의 분석 결과를 활용하여 생물경제학적 분석을 통한 최적 생산 수준을 도출하였다. 마지막으로 제6장에서는 본 연구의 분석 결과에 따라 향후 필요한 정책 방향성, 연구의 기대효과 및 한계점 등을 서술하였다.

II. 선행연구

본 연구에서는 온실가스 저감을 고려한 대형선망어업의 최적 생산에 대한 분석을 위해 크게 온실가스 배출량 추정, 수산자원평가, 생물경제학적 분석 세 가지 분석 방법을 활용하였다. 본 장에서는 분석 대상 그리고 분석 방법에 대해 이루어진 선행연구들에 대한 검토와 본 연구의 차별성을 제시하였다.

1. 온실가스 배출량 추정

온실가스 배출량 추정 및 온실가스 배출량 추정 결과를 활용한 분석 등의 선행연구에 대해 살펴보았다. 관련 국외 연구로는 Driscoll and Tyedmers (2010) 및 Nguyen et al. (2021) 등이 있다.

먼저 Driscoll and Tyedmers (2010)은 대서양 청어 어업에 대한 New England의 어업관리방안에 의해 나타나는 잠재적인 영향 분석을 실시하였다. 대서양 청어 자원량에 대한 관리 방안으로는 크게 3개의 지역으로 구분하여 각 지역별 총허용어획량(Total Allowable Catch; TAC) 제도를 적용하고 TAC 대비 95% 수준까지 어획이 이루어질 경우 조업금지 조치를 취하고 있다. 이러한 상황속에서 추가적인 어업관리방안이 연료 사용량 및 온실가스 배출량에 영향을 미치게 될 것으로 보고 TAC 수준 및 어획노력량 수준에 따른 시나리오별 3개 어업(Purse seine, Midwater trawl, Pair trawl)의 영향을 파악하였다. 분석 자료는 어획량, 양륙량, 해상폐기(discard), 연료 사용량을 활용하였다. 2005년 기준 어업별 온실가스 배출량 추정 결과 Purse seine의 경우 1,040 ton/CO₂ eq(이하 톤), Midwater trawl은 3,580톤, Pair trawl은 11,900톤으로 나타났다. 이에 따른 시나리오별 연료 사용량 및 온실가스 배출량의 차이를 추정하였다. 결론적으로 어업관리방안의 결정은 연료 사용량 및 온실가스 배출량에 많은 영향을 미치게 되므로, 정책 설정과정에서 온실가스 배출량에 대한 고려가 반드시 이루어져야 한다는 점을 제시하였다.

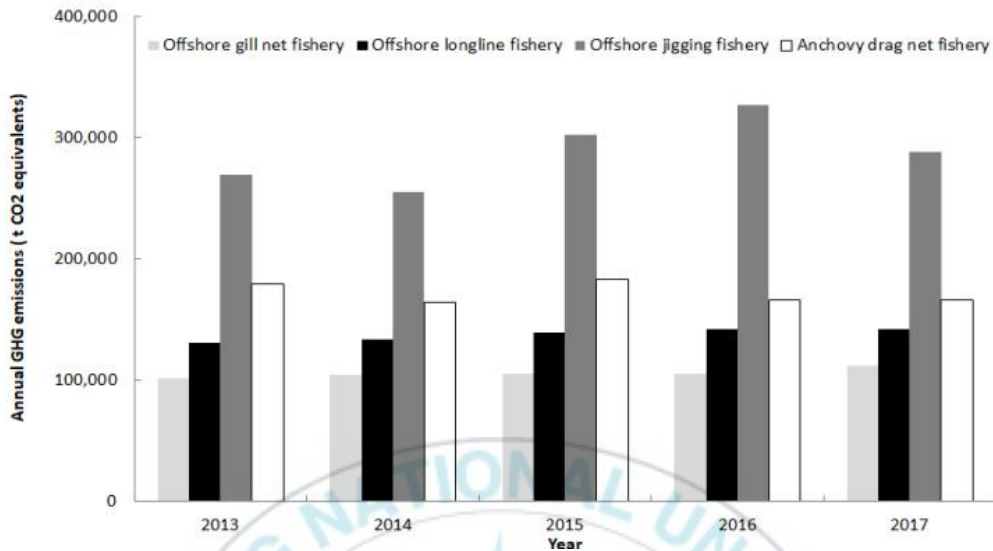
베트남의 관련 연구를 살펴보면, 최근 선망어업에서의 집어등 교체에 따른 연료 소비 감소에 대한 효과를 분석한 Nguyen et al. (2021)이 있다. 해당 연구에서는 베트남의 선망 어업에서 LED 집어등의 교체에 따른 연료 소비량의 감소 효과에 대해 분석하였다. 각 집어등 종류별로 살펴보면 LED 및 MH를 함께 활용하는 경우의 밝기는 10.24Kw이며 이에 대해서는 30,000시간을 활용할 수 있으며 10년 이상 지속적인 이용이 가능한 것으로 나타났다. 이때 집어등 종류별 실제 어획률에 대한 차이는 발생하지 않았지만, LED를 활용하였을 경우 전기 사용량 감소에 따른 연료 사용량이 이전에 비해 37.9% 감소하는 것으로 나타났다.

<표 II-1> 집어등 종류별 밝기 및 내구연수

구분	LED lights combining MH lights	MH
밝기	10.24Kw	28.6Kw
내구연수	30,000시간 (10년 이상 지속)	3,000-5,000시간 (2년마다 교체)
비용	USD 5,599.45	USD 2,343.08

자료 : Nguyen et al. (2021)

배재현 외(2019)는 주요 근해어업의 온실가스 배출량을 정량적으로 분석하기 위해 전과정 평가(Life Cycle Assessment; LCA)를 활용하였다. 분석 대상은 근해자망, 근해연승, 근해채낚기, 기선권현망이며 분석 자료는 2013년부터 2017년까지의 어획량과 어선 세력 그리고 면세유 판매실적을 활용하였다. 분석 결과 업종별 단위 어획량당 온실가스 배출량을 살펴보면 근해채낚기가 가장 높은 것으로 나타났으며 그 다음으로는 근해연승, 근해자망, 기선권현망 순으로 나타났다. 이중 근해자망어업은 5년간 지속적으로 증가하는 것으로 나타났으며 근해연승어업외 타 업종은 2013년에 비해 2017년에 온실가스 배출량이 증가한 것으로 분석되었다. 그리고 업종별 연간 온실가스 총 배출량을 분석한 결과 근해채낚기어업이 가장 많은 온실가스를 배출하는 것으로 나타났으며 그 다음으로는 기선권현망, 근해연승, 근해자망어업 순으로 나타났다.



자료 : 배재현 외(2019)

[그림 II-1] 근해어업 주요업종별 연간 온실가스 배출량(선행연구)

국립수산과학원(2016; 2022)에서는 LCA 방법론을 활용하여 어업의 전과정 단계별 온실가스 배출량을 산정하고 어획량 1kg를 기준으로 온실가스 배출량을 제시하고 있다. LCA는 제품 혹은 시스템의 전 과정에 걸친 투입물과 배출물을 정량화하여 이와 관련된 잠재적인 환경영향을 총체적으로 평가하는 기법을 의미하며 이는 현재 국제적으로 표준화되어 있는 기법이다. 분석 자료로는 5개년(2009년-2013년)간의 연간 생산량, 유류 사용량 등을 활용하였다. 분석 결과 5개년 평균치를 기준으로 끌어구류어업의 경우 어획, 수송, 가공처리로 3단계로 구분했을 때 이 중 어획 과정에서 가장 많은 온실가스 배출량이 발생하며 그 다음으로는 가공처리, 수송 순으로 나타났다. 예를 들어 대형 트롤의 경우 1kg의 갈치 혹은 오징어를 어획하는데 있어서 1.99kg CO₂ eq가 발생한다. 그리고 항구에서 가공처리를 하는 경우 어획물 1kg당 0.20kg CO₂ eq의 온실가스가 배출되며, 항구에서 서울로 수송되는 경우 어획물 1kg당 0.21kg CO₂ eq가 발생하는 것으로 나타났다.

<표 II-2> 전과정 단계별 온실가스 배출량(선행연구)

(단위 : kg CO₂ eq)

구분	어종	1kg 어획	수송		가공처리		
			부산	서울	항구	최종 소비지 (부산)	최종 소비지 (서울)
쌍끌이기저	삼치	3.48	0.0456	0.187	1.13	1.13	1.19
외끌이기저	눈볼대	3.98			0.79	0.79	0.83
	민어				0.85	0.85	0.89
	아귀				0.53	0.53	0.56
대형트롤	갈치	1.99			0.98	0.98	1.07
	오징어				0.20	0.20	0.21

자료 : 국립수산물과학원(2016; 2020)

전용한·남종오(2021a)에서는 탄소중립 2050 추진전략 이행 이전에 근해 어업의 온실가스 감축잠재량을 가상으로 추정하고, 감축잠재량이 근해어업의 경영에 미치는 영향을 검토하였다. 온실가스 배출량 추정에 있어서는 온실가스 종류 및 유종별 배출계수를 활용해서 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O)의 배출량을 추정 하는 Tier 1 수준의 온실가스 배출량 산정방법론을 활용하였다. 분석 자료는 2014년부터 2018년까지의 업종별 유류공급량 자료를 활용하여 온실가스 배출량을 추정하였다. 분석 결과 대형선망의 경우 67,948톤, 쌍끌이대형저인망은 55,741톤 등 선단 조업을 실시하는 업종에서의 온실가스 감축잠재량이 큰 것으로 나타났다. 결론적으로 현재 근해어업의 어획노력량이 과잉 투입되고 있으므로, 감척사업 규모의 확대와 전기복합어선 개발 및 보급을 위한 논의를 시작해야 한다는 점을 제시하였다.

온실가스 배출량 추정 관련 선행연구를 검토한 결과, 분석 자료의 시점에 따른 전과정 평가 및 Tier 1 산정식으로 온실가스 배출량을 추정하였다. 그리고 어획과정에서 가장 많은 온실가스가 배출된다는 점에서는 공통적인 의견을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 어획과정에 대해 집중하여 어획활동에 따른 온실가스 배출량을 추정하고자 한다.

반면, 선행연구에서는 향후 실제 특정 시점 및 기간을 고려하여 온실가스 배출량에 따른 수산자원 및 어업이익의 영향에 대해서는 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 분석 대상인 대형선망어업에서 발생하는 온실가스 배출량을 추정하고 이를 기반으로, 온실가스 배출량 저감을 고려한 대형선망어업의 어업이익 변화 및 고등어 자원량 변화를 통해 현실적으로 가능한 온실가스 배출량 저감 수준을 알아보고, 추가적인 방안으로 감척 등을 적용했을 때 나타나는 변화에 대해서도 분석하고자 한다.



<표 II-3> 온실가스 배출량 추정 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성

구분	주요 내용	본 연구의 차별성
Driscoll and Tyedmers (2010)	- 청어를 조업하는 3개 업종에 대한 온실가스 배출량 추정 - 어업관리방안별 온실가스 배출량 변화 예측	- 2019년 기준 유류사용량 활용, 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정
Nguyen et al. (2021)	- 선망어업의 집어등 교체에 따른 연료 소비 감소 효과 분석	- 온실가스 배출량 비중이 가장 높은 어획단계에 집중한 온실가스 배출량 추정 - 온실가스 종류별 (CO₂, N₂O, CH₄) 배출량 추정
배재현 외 (2019)	- 근해어업 업종별 온실가스 배출량 추정	- 온실가스 배출량 추정 선행연구와의 결과 비교 - 온실가스 배출량 저감을 위한 추가적인 방안 고려
국립수산물과학원 (2016; 2022)	- 2009년-2013년 유류사용량 등 자료 활용 - 업종별 어업 단계*별 온실가스 배출량 추정 * 어획, 수송, 가공처리	(어획량 제한, 감척, 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체 등 고려) - 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익 변화 분석
전용한·남종오 (2021a)	- 2014-2018년 유류 자료 활용 - 최적 어획노력량 기준 감척 감재량 추정 - 온실가스 배출규제에 따른 영향(경영) 분석	- 온실가스 배출량 저감을 고려한 최적 생산 수준 도출

2. 수산자원평가

1) 이론적 배경

어종의 수산자원평가를 위해 어획량 및 어획노력량의 시계열 자료를 활용하는 방법으로 잉여생산량 모델이 있다. 잉여생산량 모델은 연도별 어획량 및 어획노력량과 같은 최소한의 자료로 최대지속적생산량(Maximum Sustainable Yield; MSY) 및 적정 어획을 등을 추정할 수 있다는 장점이 있다(장창익 외, 1992). 따라서 상대적으로 자료의 종류가 부족한 경우에도 자원평가가 가능하므로 다양한 어종에 대한 자원평가 모델로 활용되고 있다(Clarke et al., 1992; Polacheck et al., 1993; 최민제, 2020).

잉여생산량 모델은 시계열 변수의 적용 여부를 기준으로 정태적 그리고 동태적 분석방법으로 구분된다. 정태적 분석방법은 자원 상태가 안정된 평형상태를 가정하는 것으로 단위노력당 어획량(Catch Per Unit Effort; CPUE)와 어획노력량간의 비례관계가 정확하게 성립되지 않는 등(장창익 외, 1992) 자원평가의 결과가 다소 부정확하며 고갈되고 있는 수산자원에 대한 지속적 어획량을 과대평가하는 문제가 발생하는 등의 지적을 받고 있다(Boerema and Gulland 1973; Bolker 2008; Haddon 2010; 최민제·김도훈 2019). 반면 동태적 분석방법은 관측된 자료를 모델에 근사시키는 방법에 따라 과정오차 모델(Process-error model), 관측오차 모델(Observation-error model)과 Bayesian state-space 모델이 있다(Schnute 1977; Punt 1990; Polacheck et al. 1993; Millar and Meyer 2000; Valpine and Hilborn 2005; 최민제·김도훈 2019).

과정오차 모델의 경우 수산자원평가를 위해 장창익 외(1992), 조훈석·남종오(2020) 등 국내 자원평가에서 널리 활용되고 있다. 과정오차 모델의 한계로는 대표본일 때도 추정결과에서 편의성을 갖는 것으로 나타나는 등 부정확한 자원평가 결과가 도출될 수 있는 것으로 나타났다. 이러한 과정오차 모델의 문제점을 해결하기 위해 개발된 모델로는 관측오차 모델이 있다. 관측오차 모델을 활용한 추정결과를 살펴보면, 과정오차 모델에서 추정한 결과에 비해

관측오차 모델의 추정결과가 상대적으로 현실에 부합하는 것으로 나타났다(Uhler 1980; Hilborn and Waters 1992; Polacheck 1993; 최민제·김도훈 2019). 그럼에도 불구하고 각각의 과정오차 모델과 관측오차 모델의 경우 자원평가 함수에서 발생하는 과정오차와 관측자료상에서 발생하는 관측오차 모두를 고려하지 못한다는 한계점이 있다(Bolker, 2008 Haddon, 2010; 최민제, 2020).

최근 과정오차와 관측오차를 동시에 고려할 수 있는 모델로 Bayesian state-space 모델이 제시되고 있다. Bayesian state-space 모델의 경우 자원평가에서 나타나는 과정오차와 관측오차를 베이지안 추론으로 모두 고려하여 자원평가결과를 추정할 수 있다(조훈석·남종오, 2020). 이러한 Bayesian state-space 모델은 국외에서는 Hawaiian green sea turtle, Atlantic blue marlin를 대상으로, 국내에서는 고등어, 살오징어 등 다수의 어종을 대상으로 한 수산자원평가 모델로 활용되고 있다(Chaloupka and Balazs, 2007; Mourato et al., 2018; 안동영 외, 2021).

2) 수산자원평가 모델

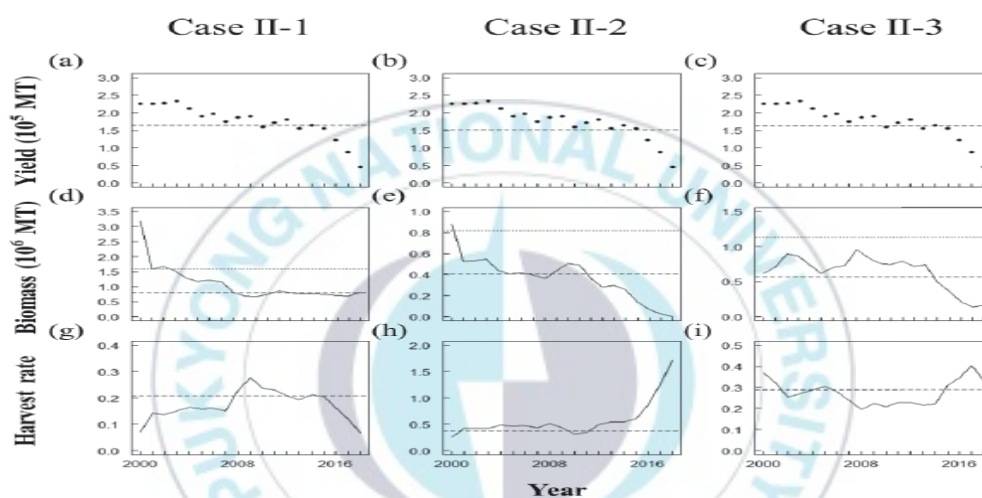
조훈석·남종오(2020)는 삼치 자원평가를 위해 CY&P 모형을 활용하였으며 동태적 최적화 분석에 있어서 과정오차 모델을 고려하였다. 분석 자료로 삼치 어획량의 대부분을 차지하는 3개 업종(쌍끌이대형저인망, 대형선망, 대형트롤) 어획량 합계와 3개 업종의 어선마력수를 표준화하여 활용하였다. 분석 결과 최근 3개년(2016년-2018)년 평균 어획량은 현재 MSY 수준(26,396톤)과 유사한 것으로 나타났으며, 현재 MSY 수준에 비해 어획노력량이 과다 투입되고 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 삼치의 경우 현재 과잉어획 상태에 놓여있으며 어업경영에 있어서도 비효율성이 나타나는 것으로 분석하였다. 따라서 향후 어선감척사업의 적극적인 실시와 잔존어업인들에 대한 경영개선 도모의 필요성을 제시하였다. 연구의 한계점으로는 동태적 최적화 분석에 있어서 과정오차 모델만을 고려하였기 때문에 향후 과정오차 및 관측오차를 모두 고려하는 분석의 필요성을 제시하였다.

Chaloupka and Balazs (2007)는 Hawaiian green sea turtle을 대상으로 Bayesian state-space 모델을 활용하여 자원평가를 실시하였다. 분석 자료는 1944년부터 1973년까지의 양륙량 자료와 1973년부터 2004년까지의 상대적인 Abundance 자료를 활용하였다. 분석 결과 현재 Hawaiian green sea turtle의 자원량은 환경수용력 대비 83% 정도 수준으로 향후 자원량의 회복 잠재력은 약 3.4%로 추정되었다. 따라서 과거 1970년대에는 자원량 수준이 환경수용력 대비 약 20%로 추정하여 자원 상태가 고갈된 것으로 평가되었지만, 현재 자원량은 회복되고 있는 것으로 나타났다.

Mourato et al. (2018)은 Atlantic blue marlin을 대상으로 자원평가를 실시하기 위해 Bayesian state-space 모델을 활용하였다. 분석 자료는 1959년부터 2016년까지의 어획량 및 표준화된 CPUE 자료를 활용하였다. CPUE 자료의 경우 LongLine(LL), Recreational(Rec), Gillnet(Gill) 3개 업종을 고려하였으며, 국가별로 살펴보면 일본(LL), 미국(LL & Rec), 베네수엘라(LL, Rec & Gil), 대만(LL, 3-time block), 브라질(LL & Rec), 가나(Gil) 총 12개를 고려하였다. 분석은 국가 및 업종별 자료를 제외함에 따라 3가지 시나리오로 나누어 분석하였다. 분석 결과 각 시나리오 모두 자원량이 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 2016년 기준 자원량은 95%의 확률로 B_{MSY} 수준에 비해 낮은 것으로 나타났다.

안동영 외(2021)에서는 한국 해역에서 어획되는 살오징어의 자원량을 파악하기 위해 Bayesian state-space 모델을 활용하여 자원평가를 실시하였다. 구체적으로 복수어업 및 단일어업을 고려한 자원평가 결과를 비교 분석하여 복수어업을 고려한 자원평가의 필요성을 증명하고자 하였다. 분석 자료의 기간 범위는 2000년부터 2018년까지로 어획량은 연근해어업 총 어획량을 활용하였다. 그리고 CPUE 자료는 TAC 대상 어업인 대형트롤, 근해채낚기, 대형선망어업을 고려하였다. 자원평가를 위한 사전분포 설정에 있어서는 본원적 성장률과 최대 환경수용력에 대해 정보적 사전분포로 Froese et al. (2017)의 방법을 적용하여 FishBase의 자원회복력(Resilience) 정보를 활용하였다. 먼저 복수어업을 고려한 자원평가(Case I) 결과 MSY는 293,421톤, B_{MSY} 는 575,629톤

으로 추정되었다. 구체적으로 자원량은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다으며, 2017년 기준 자원량은 443,911톤으로 현재 B_{MSY} 보다 낮은 것으로 추정되었다. 하지만 단일어업을 고려한 Case II 분석 결과, 각 경우(1, 2, 3)에 따른 자원량 및 관리 기준점의 차이가 나타났다. 따라서 단일어업만을 고려한 자원평가에서는 명확한 관리 기준점을 도출하기 어려웠으며, 복수어업의 고려한 자원평가 결과의 필요성을 제시하였다.



※ Case II-1 : 근해채낚기 CPUE 활용, Case II-2 : 대형선망 CPUE 활용,
Case II-3 : 대형트롤 CPUE 활용

자료 : 안동영 외(2021)

[그림 II-2] Case II 살오징어 자원평가 결과(선행연구)

이러한 Bayesian state-space 모델 이외에 제시되고 있는 수산자원평가를 위한 방법으로 어획량 기반 자원평가 모델, 체장 자료 기반 모델 등이 있다. 먼저 어획량 기반 자원평가 모델을 활용한 대표적인 연구로는 Froese et al. (2017)이 있다. Froese et al. (2017)은 자료가 부족한 경우에서의 어업관리를 위한 기준점을 추정하기 위한 방법으로 어획량 기반 자원평가 모델의 활용 가능성에 대해 제시하였다. 구체적으로 태평양, 북대서양, 남대서양, 지중해, 흑해에서 어획되는 159개 어종을 대상으로 어획량 기반 자원평가 모델인 CMSY 모델의

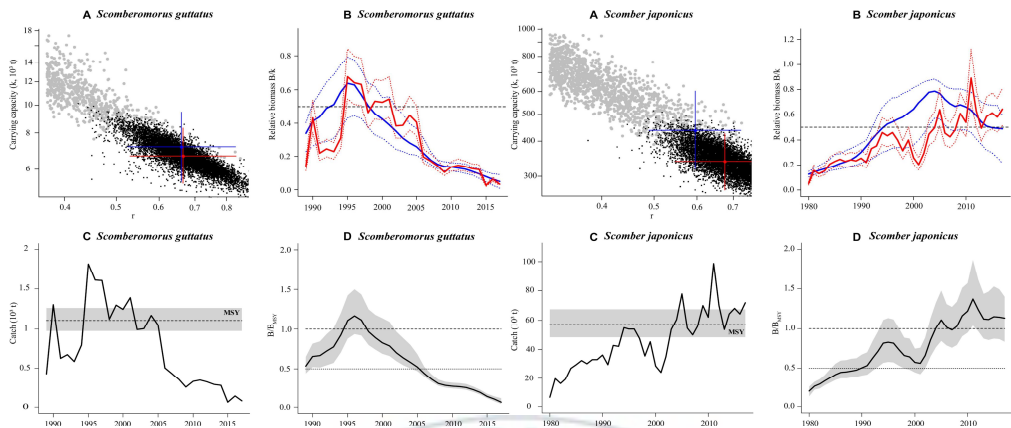
활용가능성을 제시하였다. 그리고 이러한 CMSY 모델의 분석 결과를 비교 및 검토하기 위해 Schaefer 잉여생산량 모델을 활용하는 Bayesian state-space 모델(이하 BSS 모델)을 활용하였다. CMSY 및 BSS모델의 분석 결과를 비교한 결과 어종에 대한 자원평가 결과는 대부분 유사하게 나타났으며, 이를 통해 활용 가능한 자료가 제한적인 경우에서의 CMSY 모델을 활용한 자원평가의 가능성을 제시하였다.

<표 II-4> CMSY 및 Bayesian state-space 모델의 추정 결과 비교(선행연구)

구분	Bayesian state-space 추정 결과에 포함되는 개수 / %	포함되지 않는 개수 / %
r_CMSY	101개 / 78.9%	14개 / 10.9%
k_CMSY	101개 / 78.9%	20개 / 15.6%
MSY_CMSY	97개 / 75.8%	6개 / 4.7%
lastB_CMSY	91개 / 71.1%	13개 / 10.2%

※ 총 128개 분석 결과 기준, MSY : Maximum Sustainable Yield
자료 : Froese et al. (2017)

그리고 Ju et al. (2020)에서는 대만 연안 및 원양 어종에 대한 자원평가를 통해 현재 이루어지고 있는 어획강도를 파악하고자 하였다. 분석 대상으로는 대만에서 어획되는 16개 어종을 대상으로 하였으며, 분석 방법은 Froese et al. (2017)을 참고하여 CMSY 및 BSS 모델을 활용하였다. 그리고 최종적으로 Palomares et al. (2018)을 참고하여 최대지속적생산량(Maximum Sustainable Yield, MSY) 수준을 달성할 수 있는 자원량 수준인 B_{MSY} 대비 자원량의 비율에 따라 자원상태를 진단하였다. 분석 결과 각각의 어종에 대한 CMSY 및 BSS 모델의 자원량 변동 추세는 유사하게 나타났다. 이를 통해 분석 결과에 대한 신뢰를 가질 수 있었다. 최종 분석 결과 1개 어종을 제외하고 모두 남획된 것으로 나타났으며 특히 10개 어종의 경우 B/B_{MSY} 가 0.2 이하인 것으로 나타나 어업관리를 위한 조치가 현재 불충분하다고 제시하였다. 그리고 이러한 자원량 감소 원인에 대해서는 최근 40년간의 선박 수의 3.14배 증가, 엔진 동력의 35.2배 증가에 의한 가능성을 제시하였다.



자료 : Ju et al. (2020)

[그림 11-3] 2개 어종에 대한 CMSY 및 BSS 추정 결과 예시(선행연구)

Yue et al. (2020)은 양쯔강 하구에 분포하는 종인 *Portunus trituberculatus*의 체장 자료를 기반으로 하는 자원평가 방법인 Length-based Bayesian biomass estimator (LBB)를 통해 분석을 수행하였다. 분석 자료 확보는 실제 조업 활동을 통한 분석 대상의 어획으로 확보하였다. 그리고 해당 어획물의 체장을 측정하여 분석에 활용하였다. 분석 결과 현재 분석 대상 종의 경우 남획이 이루어져 있으며, 구체적으로 B/B_0^3 가 0.18로 B_0 대비 약 82%의 자원량이 감소한 것으로 나타났다. 따라서 향후 해당 종에 대한 자원관리 방안으로 합리적인 수준에서의 어획량 제한이 필요하다고 제시하였다.

수산자원평가 선행연구를 검토한 결과, 분석 방법과 자료 그리고 결과 제시 3가지 부분에서 본 연구의 차별성을 확보하였다. 현재까지 수산자원 평가를 위해 활용된 모델을 살펴보면 과정보다 모델 중 CY&P 모델, 어획량 자료를 기반으로 하는 CMSY 모델, 베이지안 추론을 활용한 Bayesian state-space 모델, 체장 자료를 기반으로 한 자원평가가 이루어졌다.

과정보다 모델의 경우 관측자료에서 발생하는 불확실성인 관측오차를 동시에 고려하지 못한다는 단점이 존재한다. 그리고 비교적 최근에 제시된

3) B_0 : Unexploited Biomass

어획량 기반 자원평가 모델의 경우 활용 가능한 자료가 제한적인 경우에 어획량 자료만을 활용하며 자원량 및 Abundance 등에 대해 별도로 고려하지 않으므로 부정확하고 편향된 추정결과가 나타날 수 있다(Smith et al. 2021). 체장 자료를 기반으로 한 LBB 모델을 활용하여 자원평가를 수행하기 위해서는 분석 대상인 고등어에 대한 체장 자료가 필요하지만 현재 해당 자료를 확보하는 것은 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 자원평가 모델에서 발생하는 과정오차 및 관측오차를 동시에 고려할 수 있으며, 어획량 자료 및 CPUE 자료를 활용하여 자원평가 분석을 수행할 수 있는 Bayesian state-space 모델을 활용하고자 한다.

그리고 선행연구 검토 결과, 분석 자료에 있어서 자원평가 시 분석 대상 어종의 어획량 비중이 높은 업종들의 어획량만을 고려하여 자원평가가 이루어지는 경우가 있다. 하지만 어종의 전체 자원량을 파악하기 위해서는 총 어획량을 고려하는 것이 보다 정확할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 분석 대상 어종에 대한 자원평가를 위해 해당 어종의 총 어획량 자료를 활용하고자 한다.

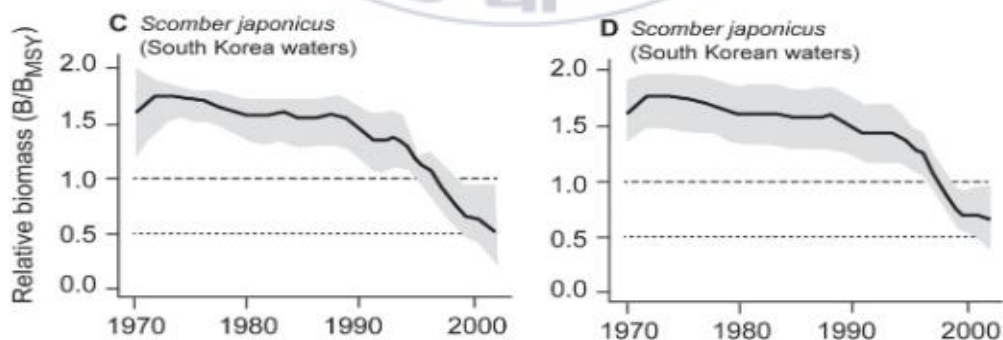
마지막으로 선행연구에서는 분석 결과를 제시하는데 있어서, 대부분 해당 연구의 결과만을 제시하여 동일한 분석 대상에 대해 이루어진 선행연구 결과와의 비교는 별도로 실시하지 않았다. 또한 분석 자료의 종류 및 분석 자료의 기간 범위에 따른 분석 결과 차이에 대해서는 별도로 검토하지 않았다. 본 연구에서는 보다 신뢰할 수 있는 자원평가 결과를 제시하기 위해 분석 자료별 자원평가 결과를 도출하고 선행연구와의 비교 및 검토 과정을 거친 후에 종합적인 자원평가 결과 및 결론을 제시하고자 한다.

<표 II-5> 수산자원평가 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성

구분	주요 내용	본 연구의 차별성
조훈석· 남종오 (2020)	- 1994년-2018년 업종별 어획량 및 표준화된 CPUE 자료 활용 - CYP 모형, 과정보차 고려	- BSS 모형 활용을 통한 과정보차 및 관측오차 고려
Chaloupka and Balazs (2007)	- 1944년-2004년 어획량 및 Abundance 자료 활용 - Bayesian state-space 모형 활용	- 자원평가 시 분석 대상 어종의 총 어획량 자료 활용
Mourato et al. (2018)	- 1959년-2016년 어획량 및 표준화된 CPUE 자료 활용 - 분석 시나리오별 결과 제시	- 활용 가능한 최대 범위의 어획량(1970년-2020년) 자료 및 CPUE 자료를 활용한 자원평가 분석
안동영 외 (2021)	- 2000년-2018년 총 어획량 및 업종별 CPUE 자료 활용 - Bayesian state-space 모형 활용 - 분석 기간 연도별 자원량 추정 - 분석 자료별 결과 비교 분석	- 분석 자료 중 어획노력량의 종류 및 자료 기간 범위에 따른 자원평가 시나리오별 분석 실시
Froese et al. (2017)	- 자료가 부족한 경우에서의 어업관리를 위한 기준점 추정 - CMSY 및 BSS 모형 활용	- 자원평가 시나리오별 분석 결과 비교 및 검토
Ju et al. (2020)	- 16개 어종 자원상태 평가, 어업관리의 필요성 제시 - 어종별 활용 가능한 자료 수준에 따른 CMSY 및 BSS 모형적용	- 기존 선행연구와의 결과 비교, 종합적인 자원상태 결론 도출 - B_{MSY} 대비 자원량 비율을 활용한 자원상태 평가
Yue et al. (2021)	- 실제 조업활동을 통한 체장 자료 확보 및 활용 - LBB 모형 활용	- 관리방안 적용에 따른 향후 자원상태 변화 예측

3) 고등어 자원평가

다음으로는 우리나라 고등어를 대상으로 한 국내·외 자원평가 선행연구를 살펴보았다. 먼저 우리나라 고등어를 대상으로 한 자원평가 국외 선행연구로는 Liang et al. (2020)이 있다. Liang et al. (2020)에서는 중국, 한국, 일본 해역에서 어획되는 어종에 대해 CMSY 및 BSS 모델을 활용하여 자원평가를 실시하였다. 분석 대상은 우리나라의 고등어를 포함하여 총 15개 어종으로, CPUE 자료에 대한 확보가 가능할 경우에는 BSS 모델, 그렇지 않은 경우에는 CMSY 모델을 통한 자원평가를 수행하였다. CPUE 자료 유무에 따른 자원평가 모델별 분석 결과를 비교한 결과, CPUE 자료를 활용하는 경우 신뢰구간의 범위가 축소되는 것으로 나타났다. 한국의 고등어에 대해서는 1970년부터 2002년까지의 어획량 자료와 1995년부터 2002년까지의 CPUE 자료를 활용하여 BSS 모델로 최종 분석 결과를 도출하였다. 분석 결과 한국의 고등어 자원량은 지속적으로 감소하고 있으며, 분석 마지막 연도인 2002년 자원량을 기준으로 자원상태는 'Overfished'로 진단하였다. 해당 연구에서는 자료가 제한적인 상황에서는 CMSY 방법이 자원평가를 위해 적절하다고 제시하였으며, CMSY 및 BSS 모델을 활용하는데 있어서 신뢰 가능하며 최대 활용 가능한 시계열 범위의 어획량 자료를 활용하는 것에 대한 필요성을 제시하였다.



※ 좌(CMSY 모델), 우(BSS 모델)

자료 : Liang et al. (2020)

[그림 11-4] 한국 고등어 자원량 변동 추세(선행연구)

국내에서 이루어진 고등어 자원평가 선행연구로는 박윤선·권오상(2019), 정유리(2019), 홍재범·김도훈(2021), 김진우 외(2020), 이승준(2021)이 있다.

박윤선·권오상(2019)은 제한된 자료를 통해 통계정보를 최대한 추출하는 방법 중 하나인 최대 엔트로피 기법(Maximum Entropy Approach; MEA)을 활용하여 고등어 자원평가를 실시하여 고등어 자원량과 성장함수를 추정하였다. 분석 자료로는 1977년부터 2015년까지의 대형선망 고등어 어획량과 CPUE 자료로 대형선망어업의 고등어 어획을 위한 양망횟수를 활용하였다. MEA를 활용한 고등어 자원평가에 있어서 생산함수 식에 주요 변수들에 대해 임의로 값의 범위를 설정하였다. 구체적으로 주요 변수에 대한 모수를 직접적으로 추정하는 것이 아닌 모수의 범위를 임의로 삼등분하여 설정하였다. 분석 결과 MSY 수준은 148,624톤으로 나타났으며, 2015년 기준 고등어 자원량은 B_{MSY} 수준인 547,417톤의 약 67.2% 수준인 368,065톤으로 나타났다. 이를 통해 향후 보다 강화된 어획량 관리제도가 필요하다는 점을 결론으로 제시하였다.

정유리(2019)은 고등어 자원평가를 위해 Bayesian state-space 모델을 활용하였다. 분석 자료로는 1976년부터 2017년까지의 연근해어업 고등어 총 어획량과 CPUE 자료로 대형선망어업의 양망횟수를 활용하였다. 분석 과정에서는 Bayesian state-space 모델의 사전정보를 설정하는데 있어서 임의로 설정한 값을 활용하였다. 분석 결과 MSY는 174,298톤으로 나타났으며, 고등어 자원량은 최근 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으나, B_{MSY} 수준(1,071,152톤)에 비해서는 높은 것으로 나타났다.

홍재범·김도훈(2021)에서는 최근에 이루어진 고등어 자원평가 연구 중 MEA를 활용한 박윤선·권오상(2019)과 Bayesian state-space를 활용한 정유리(2019)에서의 한계를 확인하고, 이를 보완하기 위한 연구를 수행하였다. MEA 및 Bayesian state-space 모델을 활용한 선행연구에서는 주요 변수들의 모수를 추정하는 과정에서 임의로 사전적인 정보를 설정하는 등의 한계점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 비교적 타당하고 근거 있는 사전 정보를 활용하여 어획량 기반 자원평가 모델인 Monte Carlo method(CMSY 모델) 및

Schaefer 함수를 기반으로 한 Bayesian state-space 모델(BSS 모델)을 통한 고등어 자원평가를 실시하였다. 분석 자료로 어획량은 1970년부터 2020년까지의 고등어 총 어획량 자료를 활용하였고, CPUE 자료는 선행연구를 참고하여 대형선망어업의 양망횟수로 계산된 자료를 활용하였다. CMSY 및 BSS 분석 결과 MSY는 각 142,038톤, 153,440톤으로 나타났다. 그리고 고등어 자원량은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으며, 특히 자원량이 B_{MSY} 수준(CMSY 864,841톤, BSS 729,751톤)에 비해 낮은 것으로 나타났다. 해당 연구에서는 연구의 결과를 최근에 이루어진 고등어 자원평가 선행연구의 결과들과 비교하여 대부분 일치하는 것으로 확인하였으며, 각 결과의 공통점 및 차이점에 대해 제시하였다.

김진우 외(2020)는 고등어 자원평가를 위해 확률론적 연령구조모델인 SCAA(Stochastic Catch At Age) 모델을 활용하였으며, 이를 통해 현재의 어업강도 및 미래의 산란자원량을 예측하여 어업강도의 적절성을 평가하였다. 분석 자료로는 2000년부터 2019년까지의 연근해어업 고등어 총 어획량과 대형선망어업에서 수집된 고등어의 체장자료 및 대형선망어업의 양망횟수를 고려한 CPUE 자료를 활용하였다. 분석 결과 고등어 산란 자원량은 증가하는 추세로 나타났으며 이에 따라 과거 20년 동안의 고등어 자원관리가 성공적으로 이루어졌다는 점을 제시하였다.

이승준(2021)에서는 연령 및 체장 자료 기반 연령구조 모델 중 하나인 Stock Synthesis(SS)를 활용하여 고등어 자원평가를 수행하였다. 이러한 연령 구조 모델은 필수적으로 연령 자료가 요구되지만, 만약 연령 자료의 활용이 제한적인 경우에는 체장 기반 모델을 적용할 수 있다. 분석 자료로는 1975년부터 2019년까지의 고등어 총 어획량 자료와 대형선망 양망횟수를 활용한 CPUE 자료, 그리고 2000년부터 2019년까지의 체장-빈도 자료를 확보하여 활용하였다. 분석에 활용하는 자료에 따라 Case 1(1975년-2019년), Case 2(2000년-2019년)로 나누어 분석을 실시하였으며, 분석 결과 고등어에 대한 자원 관리는 현재 효과적으로 이루어지고 있으며, 자원량의 경우 점차 증가하는 추세를 보이고 있다고 제시하였다.

고등어에 대한 수산자원평가 선행연구를 검토한 결과 분석 방법 및 분석 자료, 분석 결과를 제시하는데 있어서 연구의 차별성을 확보하였다.

분석 방법에 있어서는 모델을 활용하여 주요 모수를 추정하기 위한 사전 정보를 설정하는 과정에서 나타나는 불확실성의 한계를 해결하고자 한다. 구체적으로 박윤선·권오상(2019) 및 정유리(2019)에서는 주요 변수를 추정하는 과정에서 필요한 사전 정보에 대해 명확한 근거 없이 임의로 설정했다는 공통점이 있다. 하지만 BSS 모델을 통해 주요 변수를 추정하는 과정에서 사전분포를 설정하는 것은 가장 중요한 부분 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 주요 변수들을 추정하기 위한 사전 정보를 보다 타당하고 근거 있는 사전정보를 확보하여 활용하고자 한다.

다수의 선행연구에서 분석 자료 중 어획노력량 자료를 대형선망어업의 양망횟수로 활용하였다. 그리고 자원량 변동에 대한 추정 결과는 분석 모델과 분석 자료의 종류 및 기간 범위에 따라 다소간의 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 특히 어획량과 어획노력량 자료만을 활용한 분석 결과에서는 대부분 최근 고등어 자원량이 감소하는 추세로 나타났으나, 연령 및 체장 자료를 활용한 연구에 있어서는 고등어 자원량이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 선행연구에서 활용한 어획노력량 자료에 대해 전반적으로 검토하고 자료의 기간 범위에 따른 자원평가 결과 차이를 세부적으로 분석하여 가장 합리적인 분석 자료를 선정하고자 한다. 구체적으로 선행연구에서 제시되어있는 CPUE 자료와 통계청을 통해 현재 확보 가능한 다른 어획노력량 자료를 적용한 경우에 따라 고등어 자원평가를 실시하고, 선행 연구 및 각각의 자원평가 결과와의 비교 및 검토를 통해 본 연구에서의 고등어 자원상태 파악을 위한 자원평가 분석 자료를 선택하고자 한다.

그리고 분석 방법 중 사전 정보를 기반으로 한 사후 분포를 도출하는 Bayesian state-space 모델의 경우 사전 정보가 사후 분포에 어느 정도 수렴하였는지에 대한 결과 제시가 반드시 필요하지만 일부 연구에서는 이에 대해 제시하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 자원평가 분석 결과를 제시하고 사전 정보가 사후 결과로 개선된 정도에 대한 내용을 제시하고자 한다.

<표 II-6> 고등어 자원평가 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성

구분	주요 내용	본 연구의 차별성
Liang et al. (2020)	- Bayesian state-space 모델을 활용한 고등어 자원평가 - 어획량(1970년-2002년), CPUE(1995년-2002년) 활용 - 분석 기간 중 마지막 연도 기준 자원상태 평가	- 활용 가능한 최대 범위의 어획량(1970년-2020년) 자료 및 CPUE 자료를 활용한 고등어 자원평가 - CPUE 자료의 종류 및 기간 범위에 따른 자원평가 결과 비교
박윤선·권오상 (2019)	- MEA 모델을 활용 - 양망횟수 CPUE 자료 활용 - 주요 모수에 대해 임의로 설정한 사전 정보 활용	- 기존 선행연구와의 결과 비교 분석을 통한 종합적인 자원상태 평가
정유리 (2019)	- Bayesian state-space 모델을 활용한 고등어 자원평가 - 주요 모수에 대해 임의로 설정한 사전 정보 활용	- 자원평가 결과에 대한 중앙값 및 95% 신뢰구간 범위 제시
홍재범·김도훈 (2021)	- CMSY 및 BSS 모델 활용 - 선행연구를 통한 CPUE 자료(양망횟수) 확보 및 활용 - 분석 기간 동안의 자원량 및 어획사망률 추정	- 주요 변수들에 대한 사전정보 설정 시 타당한 근거 확보 - 사전 정보에 따른 사후 결과의 개선 정도 제시
김진우 외 (2020)	- 고등어 체장자료, 양망횟수 자료 활용 - 산란 자원량 추정	- 분석 기간 이후 미래 시점에 대한 어업관리수단 등에 따른 고등어 자원량 변화 추정
이승준 (2021)	- 고등어 체장 조성 자료 활용 - 1975년-2019년간의 양망횟수 자료 활용	- 고등어 자원량, 온실가스 배출량, 어업이익을 고려한 최적 생산 수준 도출

3. 생물경제학적 분석

마지막으로, 어업관리수단 등의 변화에 따른 미래 자원량과 경영체의 경영 성과 변화에 대한 분석 방법인 생물경제학적 분석에 관련된 국내·외 선행 연구에 대해 검토하였다. 국외 연구로는 Seijo et al. (2016), Camp et al. (2017), Willis and Bailey (2020)이 있다.

먼저, Seijo et al. (2016)에서는 해양산성화에 따른 석회화된 어종에 대한 효과를 추정하기 위해 생물경제학적 분석을 활용하였다. 구체적으로 생물경제학적 분석을 통해 산성화에 따른 자원의 성장과 사망률의 영향으로 발생하는 자원량 변화를 살펴보고, 이에 따른 어획량과 어업이익의 영향을 살펴보았다. 분석은 수명 주기를 기준으로 나누어 살펴보았으며, 해양산성화는 초기 자연 사망률이 높을수록 부정적인 영향이 더 많이 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 해양산성화에 따른 영향을 줄이기 위해서는 어업 사망률의 감소가 필요하다고 제시하였다. 그리고 생물경제학적 분석을 통해 해양산성화에 대한 예방 조치로 어업이익의 순현재가치(Net Present Value; NPV)가 극대화 되는 어업 사망률 수준을 도출하였다. 즉 어업 사망률을 감소시키게 될 경우 해양산성화에 따른 자원량 및 어업이익의 감소 효과를 완화 시킬 수 있는 것으로 나타났다. 최종적으로 석회화의 영향을 받는 어종에 대한 어업관리 방안을 설정할 때는 반드시 해양산성화에 따른 생물경제학적 분석 결과를 고려할 필요성이 있다는 점을 제시하였다.

Camp et al. (2017)에서는 수산자원의 보전과 사회경제적 혜택간의 균형(trade-off)을 파악하기 위한 생물경제학적 분석을 실시하였다. 구체적으로 향후 남획에 대한 우려가 제기되고 있는 Florida의 red drum 유어낚시(Recreation fishery)를 분석대상으로 하고, 유어낚시 인구의 만족도를 사회경제적 혜택으로 보고 자원보존과의 균형 수준을 분석하고자 하였다. 분석을 통해 자원보존 목표를 산란 자원량의 비율로 하고, 사회경제적 목표는 사회경제적 가치로 하여 두 가지 목표가 동시에 이루어질 수 있는 지점을 파악하였다. 분석 결과 사회경제적 목표 달성을 최대화 할 수 있는 것은 자원량이

크게 감소한 경우에만 달성되는 것으로 나타났다. 그리고 부화에 따른 자원 가입량이 유어를 통한 어획량과 동일한 경우에 균형 지점은 완화되는 것으로 나타났다. 이를 통해 유어낚시 대상이 되는 자원량의 증가를 위한 관리방안을 평가하는데 있어서 기회비용적인 측면에 대한 고려의 필요성을 제시하였다.

Willis and Bailey (2020)에서는 참치 어업의 이익 극대화, 보조금 최소화 혹은 식량 공급의 극대화라는 3가지 시나리오에 대해 대규모 및 소규모 어업 간의 최적 어획노력량의 분배를 결정하기 위한 균형 분석을 실시하였다. 분석방법으로 생물경제학적 게임 모델(Bioeconomic game-theoretic model)을 활용하였다. 분석 결과 참치 어업의 이익 극대화와 보조금 최소화의 경우에는 각 어획노력량의 분배는 반대로 나타났다. 반면 식량 공급을 극대화하는 시나리오에서는 보다 균형적인 어획노력량의 분배가 이루어지는 것으로 나타났다. 어업이익이 극대화 되는 경우의 보조금은 약 1.4억 달러로 나타났으며, 보조금을 최소화 하는 경우의 보조금은 0.2억 달러로 나타났다. 반면 식량 공급이라는 사회적 목표를 고려하는 경우에 여러 목표를 가장 잘 충족시킬 수 있는 것으로 나타났다.

다음으로 최근 국내에서 이루어진 생물경제학적 분석은 최민제(2020), 최지훈 외(2021)이 있다. 먼저, 최민제(2020)는 국내 참조기의 적정 어업관리 기준점을 제시하기 위해, 생물경제학적 분석을 수행하였다. 구체적으로 참조기 생물경제학적 분석을 통해 TAC 설정 시나리오에 따른 자원량 변화와 업종별(근해자망, 근해안강망) 경영성과를 분석하고 이를 바탕으로 참조기 어업관리를 위한 TAC 수준을 제시하였다. TAC 수준은 최근 참조기 평균 어획량을 기준으로 10% 증가($C_{1.1}$), 20% 증가($C_{1.2}$) 등 6가지로 설정하였다. 분석 결과, 자원량의 관점에서는 TAC를 최근 평균 어획량 대비 최대 10% 증가한 수준까지 설정 가능한 것으로 분석되었다. 경영성과의 관점에서는 TAC 수준을 평균 어획량 대비 30% 감소한 수준으로 설정할 경우 업종별 참조기 어업 이익이 '0' 이하로 나타나기 때문에 어업이익이 '0'이 되는 수준 이상으로 TAC를 설정해야 참조기를 어획하는 업종들에 대한 수익성이 보장될 것으로 나타났다.

최지훈 외(2021)는 붉은대게를 분석 대상으로 하여, 자원평가를 실시하고 어업관리수단들에 대한 생물경제적 효과를 분석하여 최적의 어업관리수단을 선정하고자 하였다. 효과분석을 위해 TAC와 어획노력량 수준에 따라 변화하는 자원량과 어업이익의 변화를 분석하였다. 분석 결과 TAC 수준을 24,000톤 이상으로 설정할 경우 자원량이 감소하는 것으로 나타났으며, 어획노력량을 감소하는 경우에 자원량이 증가하는 것으로 나타났다. TAC 수준에 따른 경제적 효과를 분석한 결과, 24,000톤 이상으로 설정할 경우 근해통발 어업의 어업이익은 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 어획노력량을 감소함에 따라 향후 어업이익은 증가할 것으로 예측하였다. 결론적으로 현재의 TAC 수준이 유지될 경우 향후 붉은대게 자원량의 감소가 예측되므로, TAC 설정에 대한 재검토 필요성을 제시하였다. 그리고 어획노력량 감소에 따른 자원량 및 어업이익 증가를 고려하여 향후 어획노력량(조업일수 등) 저감을 위한 방안의 필요성 또한 제시하였다.

생물경제학적 분석 관련 선행연구에 대한 검토 결과 공통적으로 서로 상반되는 목적간의 균형 수준을 찾고자 하였으며, 특히 수산자원평가와 연계한 생물경제학적 분석의 경우에는 향후 10년간의 자원량과 어업이익의 관점에서 최적 수준을 도출하였다.

본 연구에서는 고등어 자원량과 대형선망의 어업이익의 관점에서 최적 생산 수준을 도출하는데 있어서 추가적으로 온실가스 배출량 저감의 측면을 고려하였다. 분석 기간은 기준 시점으로부터 향후 30개년으로 설정하였다. 또한 생물경제학적 분석에 추가적으로 감척 사업 및 온실가스 배출량 저감 장치 등의 효과를 고려하여 현재의 자원량 및 어업이익 수준을 기준으로 최적 생산 수준을 도출하였다.

<표 II-7> 생물경제학적 분석 선행연구 내용 요약 및 본 연구의 차별성

구분	주요내용	본 연구의 차별성
Seijo et al. (2016)	- 해양산성화 영향에 따른 자원량 및 어업이익 변화 예측	- 온실가스 배출량 저감 수준을 고려한 생물경제학적 분석 - 향후 30년간의 자원량 및 어업이익 변화 분석($t - t+30$) - 감척 사업, 온실가스 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체 등을 추가적으로 고려한 최적 생산 수준 도출 - 온실가스 배출량 저감 수준 및 추가적인 저감 방안별 비교 분석으로 종합적인 결론 제시
Camp et al. (2017)	- 자원보존 및 사회경제적 가치간의 균형 지점 도출	
Willis and Bailey (2020)	- 어업이익과 사회적 이익간의 균형 분석 - 어업이익, 보조금, 식량 공급 관점에서의 균형 도출	
최민제 (2020)	- TAC 설정 시나리오별 참조기 자원량 변화 예측 - TAC 설정 시나리오별 업종별 어업이익 변화 예측	
최지훈 외 (2021)	- TAC, 어획노력량 수준에 따른 생물경제적 변화 예측	

Ⅲ. 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정

1. 온실가스 배출 현황

1) 온실가스 배출량

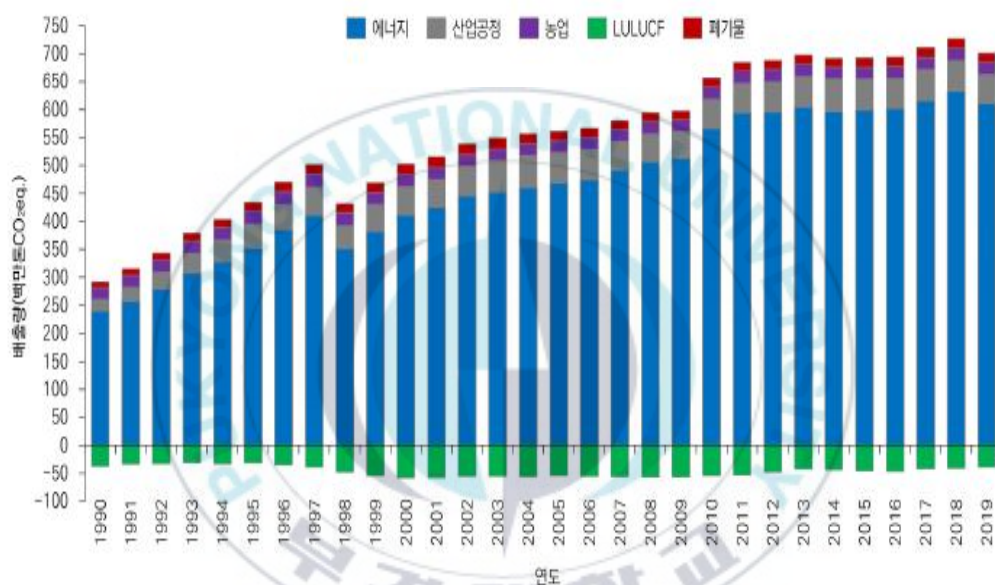
IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서 2018년에 발표한 ‘지구온난화 1.5℃ 특별보고서’에 따르면 인간 활동에 의해 지구의 평균온도는 2017년 기준 1850년-1900년 대비 약 1℃(0.8℃-1.2℃) 상승하였다. 이러한 지구온난화가 지속될 경우 2030년에서 2052년 사이 파리협정의 목표인 1.5℃에 도달할 가능성이 높다고 밝혔다. 이러한 지구온난화에 따른 이상기후 현상의 발생은 여러 사례를 통해 알 수 있다. 최근 많은 지역에서 여름철 40℃ 이상의 이상 고온 현상이 관측되고 있으며, 미국과 캐나다에서는 2018년 100년 만의 한파와 폭설이 발생하는 등 이상기후 현상이 발생하고 있다. ‘지구온난화 1.5℃ 특별보고서’에서는 2100년까지 지구 평균온도 상승폭을 1.5℃ 이내로 제한하기 위해 사회의 모든 부문의 변화 필요성을 제시하였다. 구체적으로 2018년 이후 전 지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축해야 하고, 2050년에는 탄소 중립을 달성해야 한다는 경로를 제시하였다(대한민국 정부, 2020).

우리나라의 2019년 기준 온실가스 총배출량⁴⁾은 701.4백만 톤으로, 1990년 이후 전반적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 구체적으로 1990년 기준 총배출량은 292.1백만 톤으로 이에 비해 2019년 총배출량은 140.1% 증가하였다. 순배출량⁵⁾을 기준으로 살펴보더라도 1990년 기준 254.4백만 톤에 비해 2019년에는 661.8백만 톤으로 약 160.1% 증가하였다. 1990년대는 경제성장에 따라 온실가스 총배출량이 크게 증가하였다. 구체적으로 1990년부터 1999년

4) 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(Land Use, Land Use Change and Forestry; LULUCF) 분야를 제외한 에너지, 산업공정, 농업, 폐기물 분야 배출량의 합계

5) LULUCF 분야의 배출원 및 흡수원을 모두 포함한 전 분야 배출량의 합계

까지 국가 온실가스 총배출량은 연평균 5.4% 증가하였으며, 실질 국내 총생산 (Real Gross Domestic Product; GDP)은 연평균 6.9% 증가하였다. 1998년에는 외환위기에 따라 GDP 및 온실가스 배출량이 감소하였으며, 이후 2000년대에 접어들면서 경기 회복에 따라 온실가스 배출량은 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만 1990년대와 비교하면 온실가스 배출량 증가율은 점차 둔화되는 경향을 보이고 있다(환경부, 2022a).

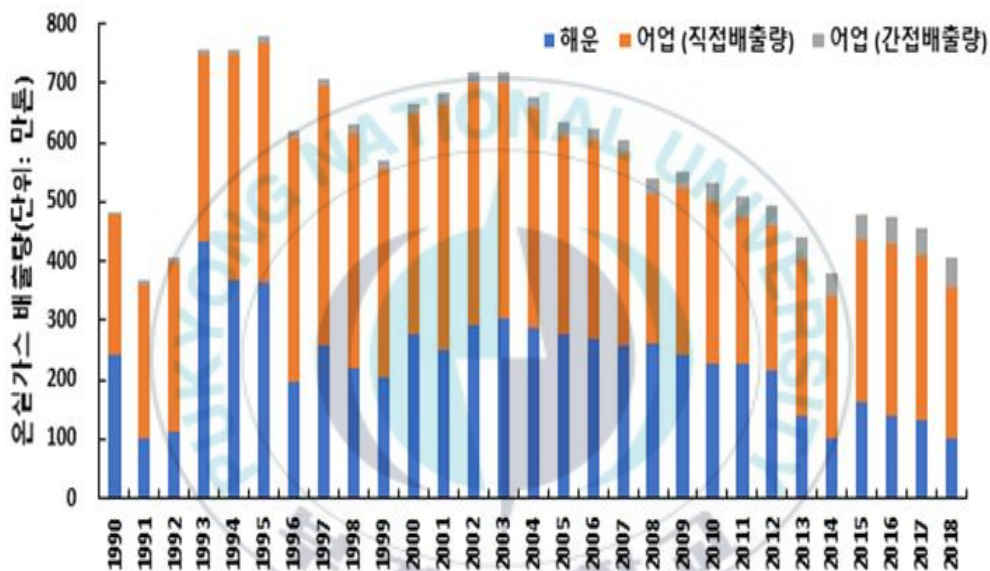


자료 : 환경부(2022a)

[그림 III-1] 분야별 온실가스 배출량 및 흡수량(1990년-2019년)

2018년 기준 해양수산분야의 온실가스 총 배출량은 406.1만 톤 수준으로 국가 온실가스 총 배출량 7억 2,760만 톤의 약 0.56%에 해당된다. 이러한 해양수산분야의 온실가스 배출량 변동 추세를 살펴보면, 1990년 기준 온실가스 배출량은 481.8만 톤으로 증가하는 추세를 보이며 1995년 기준 779.0만 톤으로 나타났으나 이후 현재까지는 완만한 하락 추세를 보이고 있다. 2018년 해양수산분야 온실가스 총 배출량 중 수산·어촌분야는 304.2만 톤이다. 수산·어촌분야의 온실가스 배출량은 유류사용에 따른 직접 배출량과 전력사용에

따른 간접배출량의 합계를 의미한다. 구체적으로 직접배출량은 1997년 435.9만 톤을 기록하였으나 이후 어선 세력 및 조업활동의 감소 등에 따라 완만한 하락세를 유지하고 있으며 2018년을 기준으로 253.8만 톤을 기록하였다. 그리고 간접배출량의 경우 1990년 4.3만 톤에서 양식장 등의 전기 사용 증가에 따라 지속적으로 배출량이 증가하여 2018년을 기준으로 50.4만 톤을 기록하였다(해양수산부, 2021b).



자료 : 해양수산부(2021b)

[그림 III-2] 해양수산분야 온실가스 배출량(1990년-2018년)

이에 따라 현재 수산분야에서는 어선어업이 온실가스 배출량에 가장 많은 영향을 미치고 있는 것으로 보인다. 최근의 온실가스 배출량 예측에 관한 연구를 살펴보면 어선어업 중에서도 대형선망어업에 의한 온실가스 배출량이 가장 많은 것으로 나타났다(국립수산과학원, 2018; 대통령직속 농어업·농어촌 특별위원회, 2021).

본 연구의 대상이 되는 대형선망어업에 의해 발생하는 온실가스 배출량 현황을 구체적으로 파악하기 위해 대형선망어업의 온실가스 배출량을 추정한

선행연구를 살펴보았다. 우리나라 대형선망어업을 대상으로 온실가스 배출량을 추정 한 관련 연구는 신동원 외(2016), 최종두(2017), 전용한·남종오(2021b) 등 최근까지 지속적으로 이루어지고 있다. 각 연구에서는 대부분 활용 자료의 시점에 따른 대형선망어업의 온실가스 총 배출량을 제시하였으며, 해당 연도의 어획량을 고려하여 어획량 당 온실가스 배출량을 계산하였다.

신동원 외(2016)에서도 LCA 방법을 통해 대형선망어업의 온실가스 배출량을 추정하였다. 분석 자료는 2009년부터 2013년까지의 어획량 자료와 면세유 판매실적을 활용하였다. 분석 결과 어획량 당 온실가스 배출량은 1.25kg에서 1.73kg으로 추정되었으며 2011년을 제외하고 5개년 기간 동안 단위 어획량당 온실가스 배출량은 증가하고 있는 것으로 나타났다. 연구의 결론으로는 대형선망어업에서의 온실가스 배출량의 주된 발생원인은 어획과정에 따른 유류 소모량에 있으므로 유류 사용 절감 및 생산효율을 증대시키는 방안에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 제시하였다.

최종두(2017)는 대형선망어업의 고등어자원을 대상으로 적정 어획량 및 노력량 그리고 탄소배출량을 비교 분석하여 기후변화에 따른 과급효과를 도출하였다. 구체적인 분석 방법으로는 최적 생산 수준을 최대경제적생산(Maximum Economic Yield; MEY), 최대지속적생산(MSY), 자유입어(Open Access; OA)로 설정하여 각 지점으로 하고, 각 지점별 발생하는 CO₂ 배출량을 추정하였다. 분석 자료는 2005년부터 2008년까지의 수산업협동조합의 내부자료를 활용하였다. 분석 결과 CO₂ 배출량은 연도별 어획량 1kg당 0.91-1.76 CO₂/kg(이하 kg)으로 나타났으며, 4개년 평균 1.41kg으로 나타났다.

전용한·남종오(2021b)은 분석 과정에서 연근해어업의 온실가스 배출량에 대해서는 Tier 1 수준으로 추정하였으며 분석 자료는 2018년 유류공급량 자료를 활용하였다. 해당 연구에서는 대형선망어업의 총 온실가스 배출량을 195,886톤으로 추정하였다.

개별 선행연구의 추정 결과를 종합적으로 고려하면 대형선망어업의 경우 1톤의 어획량을 생산하기 위해서는 평균적으로 어획량 보다 많은 수준의 온실가스 배출량이 발생하는 것으로 보인다. 이를 통해 해양수산분야 2050

탄소중립 로드맵 등에 따른 온실가스 배출량을 목표 수준까지 저감하기 위해서는 어획량에 대한 추가적인 제한이 필요할 것으로 보이며, 어획량 축소에 따른 온실가스 배출량 감축은 경영체의 어업이익에 영향을 미칠 것으로 예상된다.

<표 III-1> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정

구분	내용	비고
신동원 외(2016)	1.25kg-1.73kg	2009년-2013년 어획량 당 온실가스 배출량
최종두(2017)	1.41kg	2005년-2008년 어획량 당 CO ₂ 배출량 평균
전용한·남종오(2021)	195,886톤	2018년 유류공급량 자료 활용, 온실가스 총 배출량

2) 온실가스 배출량 저감 노력

온실가스 배출량을 저감하고 기후변화의 부정적인 영향을 극복하기 위한 정책의 일환으로 2020년 우리나라 정부는 2050 탄소중립을 선언하고 이에 따른 후속조치로 2050 장기저탄소발전전략을 발표하였다. 해당 내용에는 우리나라의 온실가스 배출구조, 온실가스 감축 기술 현황 등 현재 이루어지고 있는 온실가스 감축 정책의 전반에 대한 평가가 이루어졌으며 장기적인 비전과 부문별 전략을 도출하였다(대한민국 정부, 2020).

그리고 2020년에는 15개 부처가 참여하는 범정부협의체에서 사회적 논의를 통해 다양한 계층의 의견을 종합하여 ‘지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략’을 마련하였다. 2050 대한민국 비전은 기후변화 대응을 위한 국제사회 노력에 적극 동조, 지속가능한 선순환 탄소중립 사회 기반 마련, 국민 모두의 공동노력 추진 3가지를 기본 원칙으로 설정하였다. 이에 따른 기본 5대 방향으로 국가 전반의 녹색 전환을 위한 정책, 사회, 기술 혁신 방향을 제시하였다(대한민국 정부, 2020).

수산분야의 경우 이러한 온실가스가 현재 수준으로 배출될 경우 21세기 말의 최대 어획 잠재력은 20.5%에서 24.1%가량 감소할 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 최근 해양수산부에서는 국가 2050 탄소중립 시나리오의 이행을 위한 해양수산분야의 정책 추진 방향으로 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’을 수립하였다. 구체적인 해양수산업의 탄소배출 감축 목표는 아래 <표 III-2>와 같이 마이너스(-) 324만 톤으로 설정하였다. 이중 2050년 기준 수산·어촌 분야의 배출목표는 11.5만 톤으로, 이는 2018년 배출량 대비 약 96.2%를 감축한 수치를 의미한다. 수산·어촌분야의 배출목표를 달성하기 위한 감축 방안으로는 어선어업의 효율화, 양식장·수산물가공공장 에너지절감 장비보급, 재생에너지 활용 확대 등이 제시되고 있다(해양수산부, 2021b).

<표 III-2> 해양수산 분야 탄소배출 목표

(단위 : 만 톤)

구분	온실가스 배출량		감축률
	2018년	2050년 목표	
수산·어촌	304.2	11.5	- 96.2%
해운	101.9	30.7	- 69.9%
해양에너지	-	- 229.7	(순감)
블루카본	-	- 136.2	(순감)
합계	406.1	- 323.7	

자료 : 해양수산부(2021b)

본 연구의 대상인 대형선망어업에 관련된 어선어업분야에 관련된 주요 내용을 살펴보면, 해양수산부는 노후어선을 신조선으로 대체하고, 기관 교체를 통한 연료 효율을 높이는 방안과 온실가스 배출량이 많은 어선에 대한 감축을 실시하는 등의 방안을 현재 계획하고 있다. 그리고 저탄소·무탄소(LNG, 전기, 하이브리드) 어선과 같은 친환경어선 기술개발과 보급을 통한 액화천연가스 및 전기 등의 연료 활용을 고려하고 있다(해양수산부, 2021b).



자료 : 해양수산부(2021b)

[그림 III-3] 어선 기술개발 추진 단계

다음으로 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에서 제시된 방안과 관련된 현재 시행되고 있는 관련 정책 사업들에 대해 추가적으로 검토하였다. 구체적으로 어선어업의 온실가스 배출량 저감과 연관 지을 수 있는 관련 세부사업 계획을 살펴보았다. 관련된 사업으로는 어업·어촌분야의 지속가능한 어업 생산체계구축, 근해어선감척, 친환경 에너지절감장비 보급, 어선청년임대 등이 있다(해양수산부, 2022d).

먼저 지속가능한 어업생산체계구축에 대한 내용을 살펴보면 사업의 대상을 어선어업으로 하고 품목별 생산자단체 육성을 통한 어업경쟁력의 강화, 자율적 자원관리 및 분쟁조정으로 지속가능한 어업생산체계 구축을 목적으로 하고 있다. 2022년 목표로는 자조단체육성 1개소를 목표로 하고 있으며 이에 따른 재정투입의 경우 2022년 기준 국비 693백만 원, 자부담 543백만 원으로 총 1,236백만 원을 투입하는 것으로 계획되어 있다. 해당 사업을 통해 지원되는 자금의 사용용도를 살펴보면 현재 조직화 및 자조금 지원으로 크게 두 가지로 분류된다. 조직화 지원에 있어서는 수산자원·마케팅·유통·가공 등 현황에 대한 분석의 역할을 수행하는 전문가들로 자문단을 구성하여 분야별 기술 지원과 자금배정 평가를 실시하도록 한다. 자조금 지원부분에 있어서는 수산물의 소비촉진 자율적인 수급 안정, 수산물의 품질 및 생산성 향상 등을 위한 조사·연구를 위한 용도로 자금이 사용된다(해양수산부, 2022d).

지속가능한 어업생산체계구축 사업을 추진하는데 있어서 어선어업인에 대한 행정·기술 지원을 통한 규모화와 조직화의 촉진은 가능할 것으로 보이지만, 지속가능성을 고려하여 최근에 수립된 온실가스 배출량 저감 목표를 달성하기 위해서는 지원자금의 사용 및 컨설팅의 내용에 온실가스 배출량 저감 방안이 반드시 포함되어야 할 필요가 있다고 판단된다.

근해어선감척사업의 경우 어업자원에 적합한 수준으로 근해어선 척수를 감축하여 지속가능한 수산물 생산을 통해 어업의 경쟁력 강화와 어업인의 소득증대를 사업 목적으로 하고 있다. 해당 사업의 성과지표로는 현재 척당 생산금액의 증가율로 하고 있으며 2022년 기준 국비 100%로 105,850백만 원이 투입되는 것으로 계획되어 있다. 2023년 이후에는 매년 기획재정부와의 협의를 통해 예산 규모가 결정된다(해양수산부, 2022d).

하지만 최근의 연구를 살펴보면 약 1천억 원의 예산 규모로는 어업 경쟁력을 확보한다는 관점에서 최대 31년이 소요될 것으로 나타났다(대통령직속 농어업·농어촌특별위원회, 2020). 그리고 현재 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에서는 신규 온실가스 배출량 저감 장치 혹은 저탄소 선박으로의 교체와 같은 기술적인 측면뿐만 아니라, 온실가스 배출량 저감을 위한 방안으로 기존에 이루어지고 있는 감척 사업도 제시하고 있다.

따라서 감척 사업을 시행하는데 있어서 향후 온실가스 배출량 저감을 추가적인 필요성 및 목적으로 고려할 필요가 있으며, 어업경쟁력 확보를 위해서라도 추가적인 예산 확보를 통한 감척 사업의 진행이 필요할 것으로 보인다.

친환경 에너지절감장비 보급사업의 경우 어업경영 개선과 해양사고 예방 및 안정적인 조업기반을 조성하기 위해 어선 기관·장비·설비 대체를 위한 지원이 이루어지고 있다. 현재 해당 사업의 성과목표는 2030년까지 어선어업분야의 CO₂배출량 20,000톤 저감을 목적으로 하고 있다. 연도별 재정투입 계획을 살펴보면 2022년 기준 국고 4,643백만 원, 지방비 4,643백만 원, 자부담 6,190백만 원으로 총 15,476백만 원이 계획되어 있다. 해당 사업의 경우 친환경 에너지 절감형 LED 등을 포함하여 어선의 기관·장비·설비의 대체 혹은 설치를

희망하는 어업인에 대해 보조 지원되는 것으로 구체적인 아래 <표 III-3>와 같다. 실제로 최근 베트남 선망어업을 대상으로 한 선행연구에서는 LED 집어등의 교체에 따라 어획량의 차이는 발생하지 않지만 전기 사용량이 감소하게 되어 이에 따른 연료 사용량이 약 37.9% 감소한다는 결과가 제시된 바 있다(Nguyen et al., 2021). 이러한 측면에서 본 연구에서는 어선감척사업과 온실가스 배출량 저감 장치 등의 효과에 대해 분석하여 각 정책 사업의 효과 및 방향성에 대해 추가적으로 제시하고자 한다.

<표 III-3> 친환경 에너지절감장비 보급 사업의 지원품목

구분	내용
①	친환경 에너지 절감형 LED
②	유류비 절감을 위한 유류절감장치 등 친환경 장비 및 설비
③	저효율 기관, 사용연수가 오래된 낚은 기관 및 질소산화물 등 배출기준을 초과하는 기관
④	어선의 안전 및 복지 등을 위한 장비·설비 등

자료 : 해양수산부(2021d)

마지막으로 어선청년임대사업의 경우 어선어업을 희망하는 청년의 초기 정착 비용의 부담을 완화하기 위해 기존의 어선을 청년에게 임대하여 신규 어업인의 유입을 촉진하는 것을 목적으로 하고 있다. 사업의 목표치는 2022년 기준 총 10명의 청년어업인이 참여하는 것으로 하고 있으며, 이에 따른 2022년 재정 투입 계획은 450백만 원으로 계획되어 있다. 지원자금의 사용용도로는 기존 어업인의 어선을 청년 어업희망인이 임차함에 따라 발생하는 어선 임대료의 50%(월 최대 250만 원 한도)와 어구구입비 및 어선보험료 등에 대한 지원으로 활용된다. 그리고 청년 어업희망자를 대상으로 한 교육과 우수어업인 멘토링 및 컨설팅 등에 관련된 비용으로 활용된다(해양수산부, 2022d).

이렇듯 어선청년임대사업의 주요 내용은 기존에 활용되고 있는 어선을 신규 어업인이 이용할 수 있게 하는 것이다. 하지만 이러한 사업은 정부의

수산자원관리 및 온실가스 배출량 저감 측면에서 시행하는 어선 감척사업과는 다소 상반된 성격을 가지고 있는 것으로 보인다. 따라서 어선청년임대사업의 경우 향후 수산자원관리 및 온실가스 배출량 저감을 위해 고려해야할 사항은 무엇인지에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 보인다.

현재 수산분야에 이루어지고 있는 온실가스 배출량 저감을 위한 정책 사업을 연구 대상의 범위와 규모의 측면에서 살펴보면 상대적으로 해운분야에 비해 다소 부족한 실정인 것으로 보인다. 예를 들어, ‘2022년도 에너지 절감형 친환경 어선 개발 연구사업 신규과제 선정계획 공고’에 따르면, 7톤급 이상의 700마력급 LPG 연료를 활용한 어장·양식장 관리선을 대상으로 120억 원 규모의 친환경 어선개발 연구가 이루어질 것으로 보인다. 반면 ‘2022년도 중소선박 보급형 온실가스 등 저감장치 개발 신규과제 선정계획 공고’에 대해서는 20톤급, 500kw 이하의 중소형 선박을 대상으로 장착형 건식 온실가스 및 미세먼지 저감장치 기술개발을 위해 202억원 규모의 연구가 이루어질 것으로 보인다(해양수산부, 2022b; 해양수산부, 2022c).

이렇듯 해운 및 수산분야의 온실가스 배출량 저감을 위한 친환경 관련 사업의 규모와 대상 범위를 비교해보더라도 향후 온실가스 배출량 저감 목표를 달성하기에는 다소 부족한 실정인 것을 알 수 있다. 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵을 통한 온실가스 배출량 및 향후 목표배출량 달성을 위한 목표를 고려하면, 수산·어촌분야 중에서도 특히 온실가스 배출량의 많은 비중을 차지하고 있는 어선어업분야에 대한 온실가스 배출량 저감 노력이 집중적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

이러한 관련 정책 사업 외에 수산업 분야에서 이루어지고 있는 온실가스 관련 연구 동향을 살펴보면, 2014년부터 국립수산물과학원에서는 온실가스 배출 저감, 온실가스 배출계수 산정을 위한 현장조사, 배출량 관련 자료 수집 등의 분야에 대해 연구가 이루어지고 있다. 구체적으로 온실가스 배출 저감 장치 산업화에 대한 연구, 주요 수산물에 대한 탄소표시제 구축, 수산업 분야 온실가스 종합정보 제공 및 홍보 사업 등이 이루어지고 있으며 세부적인 내용은 아래 <표 III-4>와 같다(국립수산물과학원, 2022).

<표 III-4> 수산업 분야 온실가스 관련 연구(국립수산물연구원)

구분	내용
온실가스 배출 저감 측면	- 연근해 어선 온실가스 배출 저감장치 산업화 연구 - 고효율 어업기기의 보완 및 시제품 제작에 따른 성능 검증
온실가스 배출계수 산정을 위한 업종별 현장조사	- 대게자망, 고등어대형선망, 오징어채낚기, 갈치채낚기, 붉은대게통발, 갈치연승 등 참조기자망, 꽃게자망, 낙지통발
주요 수산물 탄소표시제 구축	- 수산물 탄소 배출량 산정을 위한 데이터베이스 구축 (고등어, 대게, 오징어, 전갱이, 뽕장어, 넙치, 미역)
수산업 분야 온실가스 종합정보 제공 및 홍보 사업	- 수산분야 온실가스 종합정보 웹사이트 개설 - 온실가스 감축사업 홍보 및 국민참여 이벤트

자료 : 국립수산물연구원(2022)

이 외에도 국내에서는 해양·수산분야의 기후변화 대응을 위한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 수산 분야에서는 온실가스 저감을 위한 방안으로 어선의 LED 집어등 보급 확대를 통한 연료 사용량 감소, 바다숲 조성 확대를 통한 온실가스 흡수원 확충 등의 노력이 진행되고 있다. LED 기법을 활용한 어선 어업 분야에 대한 온실가스 배출량 저감에 대해서는 갈치, 오징어 등 집어등을 활용하는 어업이 발달한 일본과 함께 상당한 수준의 기술을 보유하고 있다. LED 집어등의 경우 기존의 일반 집어등에 비해 최고 60%까지 에너지 절감 효과가 있으나 내구성과 안정성 등에서의 일부 미흡한 문제가 제기되기도 하였다(한국해양수산개발원, 2016).

하지만 이러한 온실가스 배출량 산정 혹은 저감 효과에 대한 연구는 현재 일부 어종 및 업종에 대해 한정되어 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 해양수산물탄소중립 목표를 달성하기 위한 노력으로 대형선망어업을 대상으로 온실가스 배출량 추정을 통해 온실가스 배출량 저감 방안과 저감에 따른 영향 분석을 위한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 분석 방법 및 자료

1) 분석 방법

온실가스 배출량과 흡수량을 계산하는 등 정량화하는 것을 국가 온실가스 인벤토리 산정이라고 한다. 이러한 인벤토리 산정방법론은 활동자료, 배출·흡수계수, 매개변수 적용 방법의 구체성을 기준으로 하여 산정등급을 Tier 1, Tier 2 그리고 Tier 3으로 구분하고 있다(환경부, 2022a).

Tier 1은 기본 산화계수 및 발열량 등 IPCC 기본 배출계수와 활동자료를 통해 배출량을 산정하는 기본방법론을 의미한다. 그리고 Tier 2의 경우 Tier 1보다 더 높은 정확도를 갖는 활동자료, 국가 고유 배출계수 및 발열량 등 일정 부분에 대한 시험과 분석을 통해 개발한 매개변수 값을 활용하는 배출량 산정방법론을 의미한다(법제처, 2022a). 구체적으로 Tier 2의 경우 현재 에너지, 산업공정, 농업, LULUCF, 폐기물 부문에서 <표 III-5>와 같이 일부 부문에 대해서만 현재 적용되고 있다(환경부, 2022a).

<표 III-5> 온실가스 인벤토리 산정시 Tier 2 적용 부문

구분	부문
에너지	1A 연료연소 CO ₂
	1B 탈루 부문 CH ₄
산업공정	2A1 시멘트 생산 부문 CO ₂
	2F7 반도체 및 액정표시장치 제조 부문 PFCs, HFCs, SF ₆
농업	4C 벼재배 부문 CH ₄
	4D 농경지토양 부문 N ₂ O
LULUCF	5A 산림지 부문 CO ₂
폐기물	6A 폐기물매립 부문 CH ₄
	6B 하·폐수처리 부문 CH ₄
	6C 폐기물소각 부문 N ₂ O

자료 : 환경부(2022a)

마지막으로 Tier 3의 경우에는 Tier 1, 2보다 더 높은 정확도를 가지는 활동자료, 사업자가 상당부분에 대한 시험 및 분석을 통해 개발하거나 공급자로부터 제공받은 사업장과 배출시설 및 감축기술 단위의 배출계수 등의 매개변수 값을 활용하는 배출량 산정방법론을 말한다(법제처, 2022a).

현재 대부분의 분야에 대해서는 Tier 1 수준을 활용하여 산정하고, 보다 자세한 활동자료나 국가고유 배출계수가 개발된 일부 분야에 대해서는 Tier 2 수준으로 산정하고 있다(환경부, 2022a).

Tier 1 수준의 온실가스 배출량 산정방법론은 유종별 연료 소비량, 온실가스 종류·유종별 배출계수를 활용하여 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 3가지 온실가스 배출량 추정이 가능하다. 이러한 Tier 1 수준의 온실가스 배출량 산정방법론의 경우 연근해어업 개별업종에 폭넓게 적용할 수 있다(Park et al., 2015; 전용한·남종오, 2021a; 전용한·남종오, 2021b).

이렇듯 최근 연근해어업에는 Tier 1 수준의 산정방법론을 통한 온실가스 배출량 추정이 이루어지고 있으며, 특히 본 연구의 분석 대상이 되는 대형 선망어업의 경우 Tier 2 적용 부문에 해당되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 Tier 1 수준을 적용한 대형선망어업의 온실가스 배출량을 추정해 보고자 한다.

세부적인 배출량 산정식은 온실가스 종류별 Tier 1 수준의 산정방법론을 적용하였다. 구체적으로 이산화탄소의 경우 EG-TIPS 에너지온실가스 종합 정보 플랫폼의 산정식을 참고하였으며, 아산화질소 및 메탄의 경우 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서를 참고하여 적용하였다.

구체적인 온실가스 종류별 배출량 산정식은 아래 <표 III-6>와 같다. 먼저 이산화탄소 배출량 산정식을 살펴보면 경유 혹은 휘발유 등 유류공급량(Fuel Supply; FS)에 해당 유류의 순발열량(Net Calorific Value; NCV)을 곱하여 연료발열량을 계산할 수 있다. 계산된 연료발열량에는 해당되는 유종의 탄소배출계수(Carbon Emission Factor; CEF)를 곱하여 탄소배출량을 산출하며 마지막으로 탄소배출량을 이산화탄소 배출량으로 환산하기 위해 '44/12'를 곱하여 계산한다. 이를 통해 도출한 이산화탄소 배출량을 톤 단위로 환산하기 위해 상수 '10⁻⁶'을 곱하여 톤 단위의 이산화탄소 배출량을 추정할 수

있다(EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼, 2022).

다음으로 아산화질소 및 메탄 배출량 산정식을 살펴보면 우선 해당되는 유종의 유류공급량에 열량 단위를 환산하는 계수인 ‘41.868’을 곱하고 여기에 전환계수(Conversion Factor; CF)를 곱하여 순발열량으로 전환한다. 그리고 각 온실가스 종류에 따른 배출계수(Emission Factor; EF)를 곱하여 배출량을 산정할 수 있다. 여기에 마지막으로 각 온실가스 배출량을 톤 단위로 환산해 주기 위해 상수 ‘10⁻³’을 곱하여 계산한다(전용한·남종오, 2021b; 환경부 2022a).

<표 III-6> 온실가스 종류에 따른 배출량 산정식

구분	내용	자료
이산화탄소 (CO ₂)	$FS \times NCV \times CEF \times 10^{-6} \times (44/12)$	EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼
메탄 (CH ₄)	$FS \times 41.868 \times CF \times EF(CH_4) \times 10^{-3}$	2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서
아산화질소 (N ₂ O)	$FS \times 41.868 \times CF \times EF(N_2O) \times 10^{-3}$	

이러한 산정식을 통해 추정된 총 온실가스 배출량을 제시하기 위해 지구 온난화지수를 활용하여 온실가스 종류별 배출량을 하나의 단위로 통일하였다. 즉, 지구온난화지수를 활용하여 온실가스 종류별 배출량을 최종적으로 이산화탄소 단위로 통일하여 제시하였다.

<표 III-7> 온실가스 종류별 지구온난화지수

구분	지구온난화지수
이산화탄소(CO ₂)	1
메탄(CH ₄)	21
아산화질소(N ₂ O)	310

자료 : IPCC(1995); 환경부(2022a)

최종적으로 도출한 대형선망어업의 온실가스 배출 추정량을 향후 온실가스 저감을 고려한 대형선망어업의 최적 생산 수준 분석을 위한 기초자료로 활용하기 위해 추가적으로 어획량 단위당 온실가스 배출량을 추정하였다. 구체적으로 본 연구에서 추정한 온실가스 배출량을 동일한 시점의 대형선망어업 총 어획량으로 나누어 어획량 단위당 온실가스 배출량을 계산하였다.

2) 분석 자료

대형선망어업에서 발생하는 온실가스 배출량을 추정하기 위해서는 유종별 연료소비량과 유종별 온실가스 종류별 배출계수 자료, 그리고 유종별 전환계수 자료가 필요하다.

연료소비량의 경우, 수산업협동조합중앙회의 2019년 기준 면세유 공급량 자료를 확보하여 활용하였다. 대형선망의 면세유 공급량 자료를 살펴보면, 대형선망에서 활용하는 유종은 경유로 2019년 기준 총 68.8백만 리터로 나타났다.

<표 III-8> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 연료소비량

구분	내용	참고
유종별 연료소비량	대형선망 면세유 공급량 (경유 68,800,200L)	2019년 기준 (수산업협동조합중앙회)

자료 : 수산업협동조합중앙회(2020)

온실가스 종류별 배출계수 자료의 경우 2021년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(환경부, 2022a) 및 EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼을 통해 확보하였다. 그리고 유종별 전환계수에 대한 자료는 2021년 국가 온실가스 인벤토리 보고서(환경부, 2022a)를 통해 확보하였다.

대형선망어업의 경우 경유를 활용하므로 배출계수는 이산화탄소의 경우 20.111MJ/L이다. 그리고 메탄과 아산화질소의 배출계수는 환경부(2022a)에 따르면 ‘농림/임업/어업’분야에서 석유를 연료로 활용할 때 배출계수는 각 5kg/TJ, 0.6kg/TJ인 것을 확인할 수 있다(환경부, 2022a; EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼, 2022).

<표 III-9> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 배출계수

구분	내용	자료
이산화탄소(CO ₂)	경유 20.111MJ/L	국가탄소배출계수(2017년) 기준 (EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼, 2022)
메탄(CH ₄)	5kg/TJ	2021년 국가온실가스 인벤토리 보고서 (환경부, 2022a)
아산화질소(N ₂ O)	0.6kg/TJ	

그리고 환경부(2022a)에 따르면 경유를 활용하는 경우 전환계수는 0.931MJ/MJ인 것을 확인할 수 있다(에너지경제연구원, 2019; 환경부, 2022a).

<표 III-10> 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 전환계수

구분	내용	자료
경유	0.931MJ/MJ	2021년 국가온실가스 인벤토리 보고서(환경부, 2022a)

마지막으로 어획량 단위당 온실가스 배출량을 산출하기 위해서는, 대형선망어업의 온실가스 총 배출량을 추정할 값과 해당 연도의 대형선망어업 총 생산량 자료가 필요하다.

본 연구에서 대형선망어업의 온실가스 배출량 추정을 위한 자료의 시점은 2019년 이므로, 2019년 기준 대형선망어업의 총 어획량인 145,066톤(통계청, 2022a)을 활용하여 어획량 단위당 온실가스 배출량을 도출하고 이를 고려하였다.

3. 분석 결과

2019년 기준 대형선망어업 면세유 공급량 자료를 기준으로 Tier1 수준의 온실가스 배출량 산정방법론을 적용하여 대형선망어업의 온실가스 배출량을 추정한 결과는 다음과 같다. 아래 <표 III-11>에서 제시하는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소 배출량은 모두 지구온난화 지수를 활용하여 이산화탄소 단위로 통일한 수치를 의미한다. 따라서 2019년 기준 대형선망어업은 약 179,287톤의 온실가스를 배출한 것으로 추정되었다.

<표 III-11> 대형선망 온실가스 배출량 추정 결과(2019년 기준)

(단위 : 톤)

CO ₂	CH ₄	N ₂ O	합계
178,582	254	450	179,287

추가적으로 대형선망어업의 어획량 단위당 온실가스 배출량을 추정하기 위해, 대형선망어업의 총 생산량을 고려하였다. 2019년 기준 대형선망어업의 총 생산량은 145,066톤이므로 이를 본 연구에서 추정한 온실가스 배출량 추정 결과와 함께 고려하면, 평균적으로 어획량 1톤당 약 1.24톤의 온실가스 배출량이 발생한다고 할 수 있다.

<표 III-12> 대형선망의 어획량 단위당 온실가스 배출량 추정 결과(2019년 기준)

(단위 : 톤)

온실가스 배출량(A)	어획량(B)	(A/B)
179,287	145,066	1.24

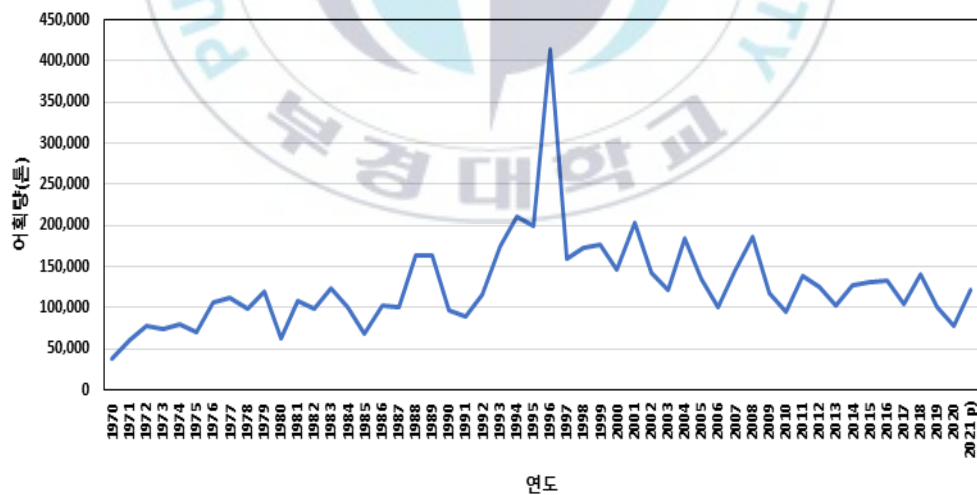
이러한 분석 결과는 선행연구와 세부적으로 분석에 활용한 자료의 시점과 방법의 차이는 존재하지만, 본 연구에서 도출된 총 온실가스 배출량 및 어획량 단위당 온실가스 배출량은 선행연구와 비슷한 수준인 것으로 보인다.

IV. 고등어 자원평가

1. 생산 현황

1) 고등어 생산량 및 생산금액

연근해어업 고등어 총 어획량은 1970년 38,256톤을 시작으로 지속적으로 증가하는 추세를 보이며, 1996년에는 415,003톤으로 최대 어획량을 기록하였다. 하지만 이후 2000년대에 들어서면서 고등어 어획량은 최근까지 지속적으로 감소하는 추세를 보이고 있다. 구체적으로 살펴보면 고등어 어획량은 2000년 기준 145,908톤, 2001년에 203,717톤으로 증가하였으나 이후 2010년에는 10만 톤 이하인 94,331톤을 기록하였다. 2010년부터 2018년까지는 일부 증가하는 추세를 보이며 2018년 기준 141,530톤을 기록하였으나 이후 소폭 감소하여 2021년을 기준으로 121,770톤⁶⁾으로 나타났다(통계청, 2022a).



자료 : 통계청(2022a)

[그림 IV-1] 연근해어업 고등어 어획량(1970년-2021년)

6) 통계청의 국가통계포털 상에서 2021년 기준 값은 현재 잠정치(2021p)로 확인 가능함

고등어 생산금액은 1990년 기준 54,715,384천 원을 시작으로 2011년까지 전반적으로 증가하는 추세로 나타났으며 이에 따른 2011년 생산금액은 287,794,231천 원으로 최대 생산금액을 기록하였다. 하지만 2012년 이후 2019년까지 대체로 감소하는 추세를 보이고 있으며, 2020년에는 전년도 대비 증가하여 163,792,639천 원으로 나타났으며 2021년의 경우 194,065,948천 원으로 나타났다.



자료 : 통계청(2022a)

[그림 IV-2] 연근해어업 고등어 생산금액(1990년-2021년)

그리고 고등어 생산현황에 대해 보다 자세히 파악하기 위해 연근해어업 업종별 고등어 어획량을 살펴보았다. 고등어의 경우 대형선망어업에서 어획하는 비중이 전체 고등어 어획량의 절반 이상을 차지하는 것으로 나타났다. 구체적으로 살펴보면, 최근 5개년(2017년-2021년) 평균 생산량을 기준으로 대형선망어업의 생산량 비중은 고등어의 경우 87.2%로 나타났다(통계청, 2022a).

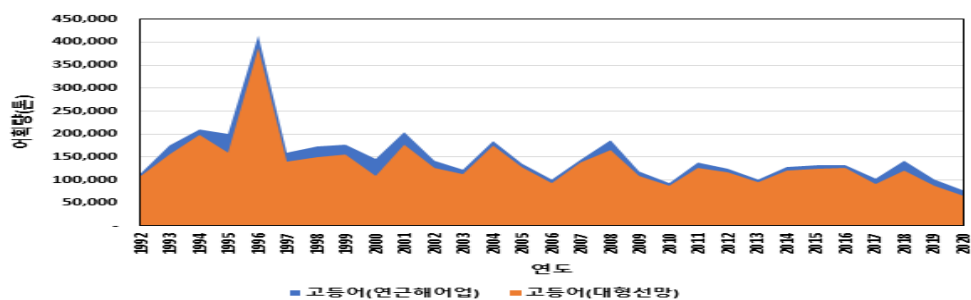
<표 IV-1> 업종별 고등어 생산량(2017년-2021년)

(단위 : 톤, %)

구분	2017년	2018년	2019년	2020년	2021년	평균	비율
대형선망	91,546	120,067	87,991	66,444	110,035	95,217	87.2%
정치망	2,962	12,403	6,300	1,689	1,484	4,968	4.6%
소형선망	1,257	2,304	1,318	2,057	4,088	2,205	2.0%
쌍끌이 대형저인망	2,390	577	379	1,741	2,078	1,433	1.3%
근해자망	714	849	1,179	2,644	1,678	1,413	1.3%
기타*	5,001	5,330	3,954	3,028	2,407	3,944	3.6%
합계	103,870	141,530	101,121	77,603	121,770	109,179	100.0%

* 서남해구쌍끌이중형저인망, 대형트롤, 기타구획, 연안복합 등
자료 : 통계청(2022a)

구체적으로 1992년부터 2020년까지 대형선망어업의 고등어 어획량이 연근해어업 전체 고등어 어획량에 차지하는 비중을 살펴보면, 대형선망어업이 고등어 생산량에서 차지하는 평균 비중은 90.2%로 대형선망의 생산량이 전체 고등어 생산량의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 특히 2007년에는 전체 고등어 생산량 143,776톤 대비 대형선망어업의 고등어 어획량이 96.0% (138,086톤)로 어획량 비중 최대치를 기록하였다. 반면, 2000년의 경우 고등어 전체 생산량 145,908톤 대비 대형선망어업의 고등어 생산량의 비중은 74.7% (109,025톤)로 최저치를 기록하였다(통계청, 2022a).



자료 : 통계청(2022a); 국립수산물과학원(2017)

[그림 IV-3] 대형선망어업 고등어 어획량 비중(1992년-2020년)

2) 대형선망 어선세력

다음은 고등어 생산현황을 세부적으로 파악하기 위해 고등어 어획량의 대부분을 차지하는 대형선망어업의 어선세력에 대해 살펴보았다.

대형선망어업은 총톤수 50톤 이상인 1척의 동력어선으로 선망을 사용하여 수산동물을 포획하는 어업으로, 어업허가를 받은 본선, 등선, 운반선으로 구성된 선단을 이루어 가목에 적합한 어구 1통을 이용하여 수산동물을 포위하여 잡는 것을 의미한다(법제처, 2022b). 대형선망어업은 본선 1척, 등선 2척, 운반선 3척이 하나의 선단으로 선단조업을 행하고 있다(김대영, 2019).



자료 : 법제처(2022c)

[그림 IV-4] 대형선망 조업모식도

대형선망의 어선세력을 파악하기 위해 먼저 선질을 살펴보면, 2020년 기준 어선척수 총 111척 모두 강선으로 동일한 선질로 구성되어 있다. 그리고 선령별 비중을 살펴보면, 26년 이상인 어선이 총 103척으로 전체 어선척수의 92.8%를 차지하고 있다(통계청, 2022c). 이를 통해 현재 대형선망어업의 어선세력은 매우 노후화되어 있는 실정이라고 할 수 있다.

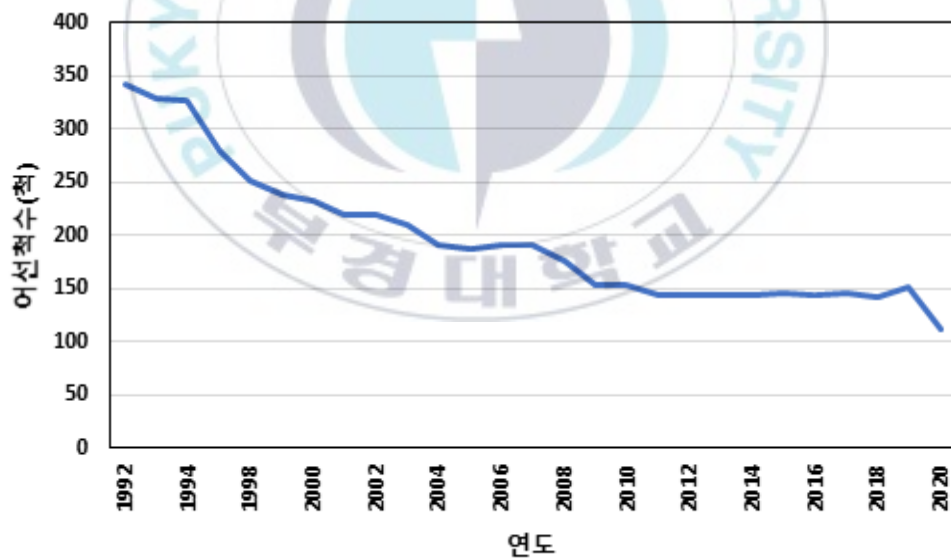
<표 IV-2> 대형선망 선령별 어선척수(2020년)

(단위 : 척, %)

구분	6년 미만	6-10년 이하	11-15년 이하	16-20년 이하	21-25년 이하	26년 이상	합계
어선척수	3	1	0	1	3	103	111
비율	2.7%	0.9%	0.0%	0.9%	2.7%	92.8%	100.0%

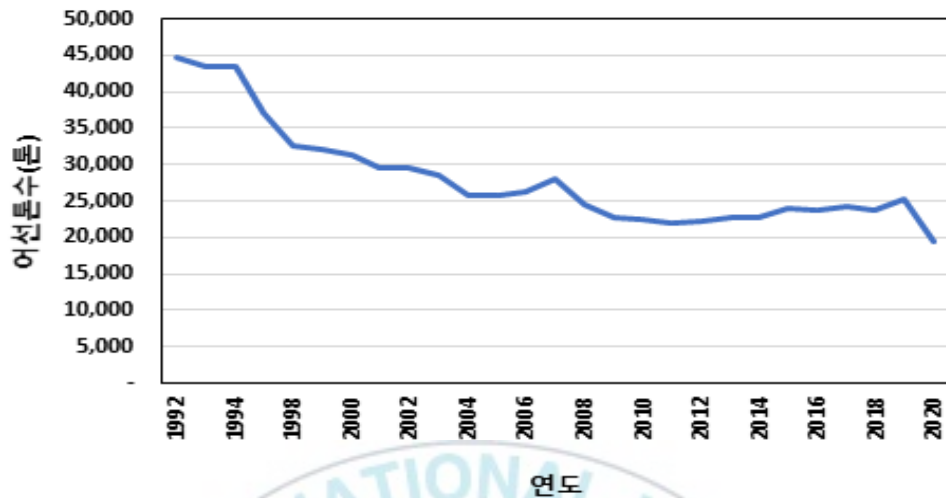
자료 : 통계청(2022c)

어선척수에 대해 구체적으로 살펴보면, 대형선망 어선척수는 1992년 342척을 시작으로, 어선감척 사업 등의 이유로 지속적으로 감소하고 있으며 2020년 기준 111척을 기록하였다. 이에 따라 전체 어선톤수 및 어선마력수 또한 지속적으로 감소하는 추세로 나타났으며, 2020년 기준 어선톤수는 19,509톤, 어선마력수는 160,220마력으로 나타났다(통계청, 2022c).



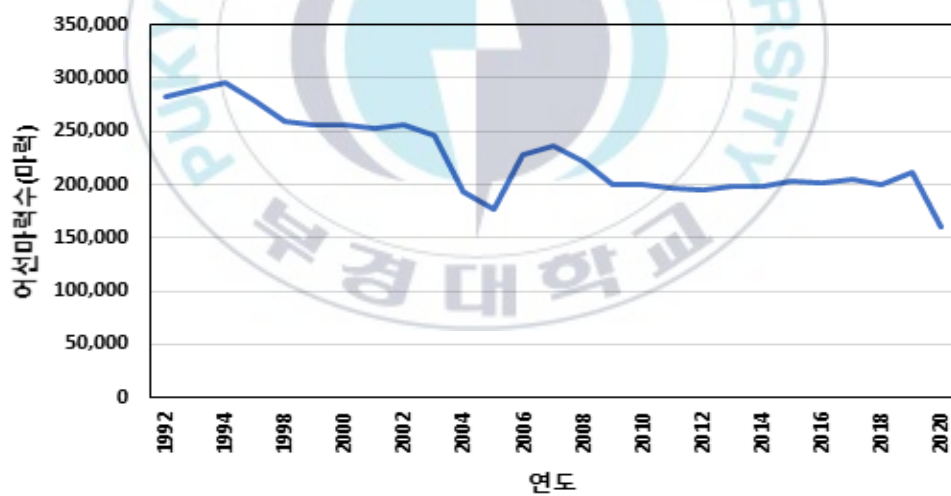
자료 : 통계청(2022c)

[그림 IV-5] 대형선망 어선척수(1992년-2020년)



자료 : 통계청(2022c)

[그림 IV-6] 대형선망 어선 총 톤수(1992년-2020년)



자료 : 통계청(2022c)

[그림 IV-7] 대형선망 어선 총 마력수(1992년-2020년)

추가적으로 대형선망어업의 어획강도를 파악하기 위해 해당 어선톤수 및 어선마력수를 살펴보았다. 해당 어선톤수의 경우 1992년 131톤/척을 시작으로

지속적으로 증가하여 2020년 기준 176톤/척으로 나타났으며, 1992년 대비 약 34.6% 증가하였다. 척당 어선마력수의 경우 1992년 827마력/척을 시작으로 지속적으로 증가하여 2020년 기준 1,443마력/척으로, 1992년 대비 약 74.5% 증가하였다(통계청, 2022c).

<표 IV-3> 대형선망 어획강도(1992년, 2020년)

(단위 : 척, 톤, 마력, 톤/척, 마력/척)

연도	어선척수 (A)	어선톤수 (B)	어선마력수 (C)	척당 톤수 (B/A)	척당 마력수 (C/A)
1992년	342	44,652	282,924	131	827
2020년	111	19,509	160,220	176	1,443

자료 : 통계청(2022c)

현재 정부에서는 수산자원관리를 위한 사업 중 하나로 어획강도를 조절하는 어선감척사업을 진행하고 있다. 이러한 어선감척사업은 어업자원에 적합한 수준으로 어선을 감축하여 지속가능한 수산물 생산을 도모하여 어업의 경쟁력을 강화하고 어업인의 소득증대를 목적으로 한다(해양수산부, 2020).

어선감척사업은 우선 감척을 희망하는 어업인의 신청을 받아 자율감척을 진행하고, 감척 신청자가 없거나 감척 시행계획 목표에 미달하는 경우에는 「연근해어업의 구조개선 및 지원에 관한 법률」 제11조(어선·어구 감척 대상자 선정)에 따라 직권으로 감척대상자를 선정할 수 있다(법제처, 2022d). 해양수산부는 연근해어업의 경쟁력 제고와 수산자원 회복을 위해 2019년 제2차 연근해어업 구조개선 기본계획을 수립하였다.

구체적으로 기본계획에서는 2023년까지 근해어선 300척, 연안어선 1,000척을 감척하기로 하였다. 2022년의 경우, 어업 경영 여건 악화로 영향을 받는 업종 및 어업인 간의 갈등이 심한 업종 등을 고려하여 대형선망 등 총 13개 업종에 대한 감척을 실시할 계획이다. 특히 대형선망의 경우 총 5개 선단(15척)을 감척 대상으로 선정하였다. 감척 대상자로 선정된 어업인에게는 폐업지원금과 어선·어구 잔존가액, 그리고 어선원 생활안정자금이 포함된 감척지원금이 지원된다(해양수산부, 2022a).

이러한 감척사업에 대해서는 매년 한국수산자원공단에서 어선감척 목표량 분석과 감척의사 및 만족도에 대한 실태조사가 이루어지고 있다. 2019년 기준 어선감척 목표량에 대한 분석 결과를 살펴보면 대형선망어업을 비롯한 모든 업종에서 현재 감척 필요 어획노력량이 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 감척의사 및 만족도에 대한 실태조사 결과를 대형선망어업을 중심으로 살펴보면 먼저 감척희망률은 2017년 18.2%, 2018년 27.3%로 경영악화로 인한 업계 전반의 위기의식 등에 따라 감척을 희망하고 있는 것으로 나타났다(한국수산자원공단, 2019; 2020; 2021).

감척희망 사유 중 제1사유로는 2017년 및 2018년에는 공통적으로 ‘자원량 변동으로 인한 어획량 감소’으로 나타났다. 2017년의 경우 제2사유로 ‘수입 자유화(FTA 등)에 따른 불안감 증대’, 제3사유로 ‘선원 채용의 어려움으로 인한 인력 부족’으로 조사되었다. 2018년에는 제2사유로 ‘비용 증가 등으로 인한 수익성 악화’, 제3사유로는 ‘어업의 미래전망 불투명’으로 조사되었다. 마지막으로 5점 척도로 조사된 감척사업에 대한 만족도⁷⁾를 살펴보면 감척사업의 지원조건에 대한 불만족 사유에 따라 만족도는 다소 낮은 것으로 나타났다(한국수산자원공단, 2019; 2020; 2021).

감척사업의 지원조건에 대해서는 향후 어업인들의 감척사업 참여 확대를 위한 폐업지원금 규모 및 과세 부문과 같이 지원조건에 대한 개선의 필요성이 제시된 바가 있다(대통령직속 농어업·농어촌 특별위원회, 2020). 하지만 최근 2022년에 들어서면서 폐업지원금의 경우 어업인의 자발적인 참여를 위해 기존에 비해 상향되었다(해양수산부 2022a). 따라서 향후 감척사업에 대한 만족도 및 희망율에 대한 조사가 수행될 경우 기존에 비해 더 높은 응답이 이루어질 가능성이 있을 것으로 보인다.

7) 5점 척도, 5점 매우만족, 4점 만족, 3점 보통, 2점 불만, 1점 매우불만

<표 IV-4> 대형선망어업 감척의사 현황(2017년-2018년)

(단위 : 개, %, 점)

구분	2017년	2018년
표본 수	11	11
감척희망률	18.2%	27.3%
감척사업 만족도	1.3	1.9

자료 : 한국수산자원공단(2019; 2020)

3) 자원관리

고등어 생산 현황에 대해 파악하기 위해 현재 고등어 자원관리를 위해 이루어지고 있는 정부의 관리 수단들에 대해 살펴보았다. 구체적으로 고등어 어획량에 대한 규제인 TAC, 포획채취금지에 대해 살펴보았다.

TAC 제도는 개별어종에 대해 연간 잡을 수 있는 어획량을 설정하여 그 한도 내에서만 어획을 허용하여 수산자원을 관리하는 제도를 말한다. 이러한 TAC 제도는 1999년을 시작으로 현재까지 시행되고 있으며, 2022년 현재 대형선망(고등어, 전갱이) 및 시범사업 어종(갈치, 참조기, 삼치) 등을 포함하여 총 17개 업종, 15개 어종을 대상으로 TAC 제도가 적용되고 있다(한국수산자원공단, 2022).

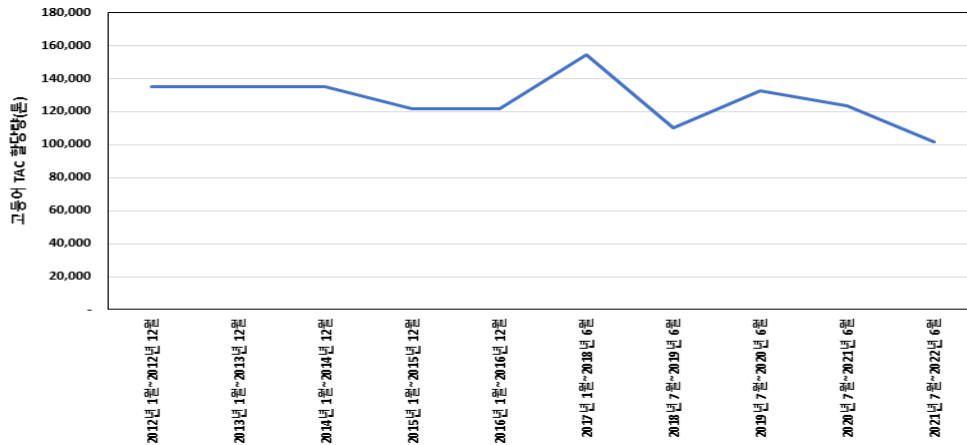
이러한 TAC 제도의 적용을 받는 어종에 대해서는 「수산자원 회복 및 총허용어획량 대상 수산자원의 판매장소 지정」 고시에 따라 지역별 지정 판매장소에서의 매매 혹은 교환이 이루어지도록 하여 해당 내용을 파악할 수 있도록 하고 있다(법제처, 2022e).

<표 IV-5> TAC 대상업종 및 어종(2021년-2022년)

업종	어종
대형선망	고등어, 전갱이
근해통발	붉은대게
마을어업	제주소라
잠수기	개조개, 키조개, 바지락
근해자망, 근해통발	대게
근해자망, 연안자망, 연안통발	꽃게
근해채낚기, 동해구중형트롤, 대형트롤, 대형선망, 쌍끌이대형저인망, 근해자망	오징어
동해구중형트롤, 동해구외끌이중형저인망	도루묵
근해연승, 연안복합	참홍어
근해연승, 대형선망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 대형트롤	갈치
근해자망, 근해안강망, 쌍끌이대형저인망, 외끌이대형저인망	참조기
대형선망, 쌍끌이대형저인망, 서남해구쌍끌이중형저인망	삼치

자료 : 한국수산자원공단(2022)

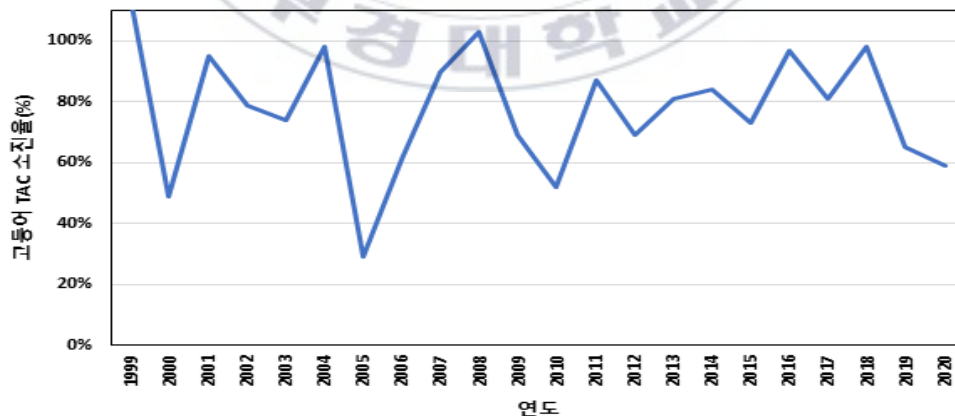
고등어의 경우 현재 대형선망의 어획량에 대해 TAC 제도가 설정되어 있다. 고등어 TAC에 대해 구체적으로 살펴보기 위해 TAC 할당량 및 소진율을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 고등어 할당량의 경우 최근 대체로 감소하는 추세로 나타났으며 이에 따른 ‘2021년 7월-2022년 6월’ 기준 할당량은 101,715톤으로 설정되어 있다(법제처, 2022g).



자료 : 법제처(2022g)

[그림 IV-8] 연도별 고등어 TAC 할당량(2012년-2022년)

다음으로 고등어 TAC 소진율을 살펴보면 제도가 처음 시행된 1999년의 경우 소진율이 115%로 가장 높게 나타났으나, 2008년 이후 최근까지는 대체로 감소하고 있으며 2020년 기준 59%로 나타났다(통계청, 2022e). 따라서 현재 고등어 자원관리를 위한 TAC 수준은 어획량에 비해 높은 수준인 것으로 보인다.



자료 : 통계청(2022e)

[그림 IV-9] 연도별 고등어 TAC 소진율(1999년-2022년)

다음으로 고등어에 대해 설정되어 있는 포획·채취 금지 규정에 대해 살펴 보았다. 「수산자원관리법」 제14조(포획·채취금지)에 따르면, 해양수산부장관은 수산자원의 번식·보호를 위해 필요하다고 인정되는 경우 수산자원의 포획·채취 금지 기간, 구역, 수심, 체장, 체중 등을 정할 수 있다는 내용이 명시되어 있다(법제처, 2022h).

고등어의 포획금지기간은 현재 4월 1일부터 6월 30일까지의 기간 중 1개월의 범위를 설정하도록 하고, 해당 기간 중 고등어 어획량의 10% 미만으로 포획·채취하는 경우는 제외하고 있다. 포획금지체장은 현재 21센티미터 이하로 설정되어 있으나, 고등어 어획량 중 해당 체장의 고등어를 20% 미만으로 포획·채취하는 경우는 제외하고 있다(법제처, 2022i; 법제처, 2022j).



2. 분석 방법 및 자료

1) 분석 방법

제2장에서 최근 고등어를 포함한 다양한 어종에 대해 이루어진 자원평가 선행연구를 살펴보았다. 선행연구에 대한 검토 결과 어종의 어획량과 어획 노력량 자료를 기반으로 한 잉여생산량 모델을 활용한 다수의 연구가 이루어진 것을 알 수 있다.

자원평가 모델에 대한 검토 결과 과정오차 및 관측오차 모델은 공통적으로 자원평가에서 발생하는 각각의 오차를 동시에 고려하지 못하므로, 본 연구에서는 두 가지 오차를 동시에 고려할 수 있는 모델인 Bayesian state-space 모델을 고등어 자원평가 모델로 선정하였다. 구체적으로 Bayesian state-space 모델 중, Schaefer 모델을 기반으로 한 BSS 모델을 활용하여 대형선망어업의 주요 생산 어종인 고등어의 자원상태를 파악하였다.

BSS 모델은 최근 북서태평양에서 어획되는 멸치, 가자미류, 전갱이 등 12개 어종, 한·중·일에서 어획되는 꽂치, 대구, 고등어 등 15개 어종, 대만에서 어획되는 갯장어, 삼치 등 16개 어종에 대한 자원평가 모델로 활용되었다 (Wang et al. 2020; Liang et al. 2020; Ju et al. 2020). 이렇듯 BSS 모델은 자원평가를 위해 최근까지 다양한 어종을 대상으로 많이 활용되고 있으므로, 국내 고등어 자원평가를 위해 적용해 볼 필요성이 있다고 판단하였다.

BSS 모델의 장점 중 하나는 자원평가 결과를 중앙값뿐만 아니라 95% 신뢰구간을 기준으로 하한과 상한의 범위를 제시할 수 있다는 점이다. 따라서 분석 결과를 통한 주요 모수에 대한 제시를 특정 수치인 중앙값으로만 제시하는 것이 아니라 하한과 상한의 범위를 함께 제시하여 분석 결과의 정확도를 높이하고자 한다.

그리고 본 연구에서는 BSS 모델을 통한 보다 신뢰할 수 있는 고등어 자원평가 결과를 제시하기 위한 방법으로 분석 자료의 종류 및 기간범위에 따른 차이를 살펴보고, 사전 정보가 사후 분포에 수렴하는지에 대한 결과를

추가적으로 제시하고자 한다. 선행연구 검토 결과 분석 자료 중 CPUE 자료의 경우 대부분 대형선망 어업의 양망횟수를 활용한 연구가 다수를 이루었다. 본 연구에서는 분석을 위한 CPUE 자료를 선정하기 위해 대형선망어업의 어선톤수, 어선마력수, 양망횟수 세 가지 경우에 대해 각각 분석을 실시하고 그 결과를 비교 검토하였다.

Froese et al. (2017)에서는 어획량 시계열 자료의 변동이 자원평가 결과에 미치는 영향을 줄이기 위해 3년 이동 평균으로 어획량 자료를 활용하는 경우가 있다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 어획량 시계열 자료를 3년 이동 평균한 경우와 그렇지 않은 경우의 자원평가 결과를 비교하여 최종적으로 분석 결과를 제시하고자 한다. 그리고 최종 선정된 분석 결과에 대해서는 사전 정보의 범위가 분석 과정을 거치게 되면서 사후 결과로 어느 정도 개선되었는지를 나타내는 PPVR(Prior-Posterior Variance Ratio)을 제시 (Froese et al., 2019)하였다.

본 연구의 자원평가 대상 어종은 고등어로, 고등어 자원평가를 위한 BSS 모델의 활용하는 과정에서의 세부적인 사항은 Froese et al. (2017)을 참고하였다. BSS 모델은 어획량 기반 자원평가 모델인 CMSY 모델의 결과를 기반으로 분석을 실시한다.

BSS 모델과 CMSY 모델에서는 자원평가를 위해 일반적으로 활용하는 Schaefer 모델에서 가정한 바와 같이, 자원량의 증가는 로지스틱 함수 형태로 가정하였다. 이에 따른 다음 해의 자원량은 아래 식 (1)으로 나타낼 수 있다(Schaefer, 1954; Schaefer 1957; Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; Ren et al., 2020).

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

여기서 B_t 는 t년도의 자원량을 의미하고, r 은 본원적 성장율, 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)가 적용된다 (Froese et al., 2017; Ren et al., 2020).

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

구체적으로 CMSY 모델은 특정 어종의 어획량 자료와 Resilience를 기반으로 해당 어종의 자원량, 본원적 성장률, 환경수용력, MSY 등을 추정하는 것을 말한다. 본원적성장률과 환경수용력에 대해서는 Monte Carlo 방법을 활용하여 실행 가능한(viable) ‘r-k’쌍의 범위를 추정한다. 실행 가능한 범위라는 것은 분석 결과로 계산된 자원량의 값이 관측된 어획량 자료와 사전에 추정한 자원량의 범위와 비교하여 양립하는 것을 말한다(Froese et al., 2017).

본원적 성장률인 r에 대한 사전 범위는, r의 일정 범위에 따라 4단계로 구분하는 어종별 Resilience로 설정할 수 있다. Resilience는 r 값의 범위에 따라 High, Medium, Low, Very low 4단계로 구분된다(Froese et al., 2017; Froese and Pauly 2022; 홍채범·김도훈, 2021).

<표 IV-6> 본원적 성장률에 따른 사전적 범위에 대한 정의(Resilience)

Resilience	본원적 성장률의 사전적 범위
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)

환경수용력을 뜻하는 k에 대한 사전범위는 어획량 자료를 기반으로 결정되도록 한다. 즉, 환경수용력에 대한 사전범위는 분석에 활용하는 어획량 자료 중에서 최대 어획량을 의미하는 ‘max(C)’와 본원적 성장률에 따라

범위가 결정되도록 하였다. 이를 식으로 나타내면 아래 식 (3)과 같으며, 만약 사전 자원량의 범위가 높은 것으로 나타날 경우 식 (4)가 적용된다(Froese et al., 2017; Wang et al., 2020). 여기서 low, high가 의미하는 것은 자원 평가를 통해 추정하는 주요 모수에 대한 사전범위를 설정하는데 있어서 하한과 상한을 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 사전범위는 환경수용력과 자원량의 비율인 자원량 수준(B/k)에 따라 3가지 단계로 구분하여 아래 <표 IV-7>와 같이 설정할 수 있다. 자원량에 대한 사전 범위는 분석 자료의 시작과 끝, 그리고 중간 연도에 대해 설정한다(Froese et al., 2017).

각각 3가지 시점의 자원량 사전 범위를 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).

<표 IV-7> 환경수용력 대비 자원량 수준에 따른 사전적 범위에 대한 정의

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

자료 : Froese et al. (2017)

이러한 내용을 기반으로, 가능한 ‘r-k’ 쌍을 추정하는 과정을 구체적으로 살펴보면, 우선 사전 범위 내에서 임의의 ‘r-k’ 쌍이 우선적으로 선택된다.

이때 사전 자원량의 범위로부터 분석 기간의 첫 번째 연도에 해당되는 자원량이 선택되고, 그 다음 연도의 자원량을 계산하기 위해 식 (1) 혹은 식 (2)을 사용한다. 이러한 계산과정에서 아래 <표 IV-8>에 제시되어 있는 3가지 조건 중 하나라도 해당되는 경우 해당 'r-k'쌍은 제외 된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020). <표 IV-8>에서 말하는 중간연도는 예를 들어, 분석기간을 1970년부터 2020년까지로 하여 총 51개년 자료를 분석에 활용하는 경우 26번째에 해당되는 1995년을 의미한다.

<표 IV-8> 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 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 되며, 이 중 가장 가능성이 높은 'r-k'쌍은 일반적으로 삼각형의 끝 부근에서 발생한다. 그리고 이때 가장 가능성이 높은 k는 식 (5)와 같이 Schaefer 함수의 MSY 수식을 기반으로 한 선형 회귀식을 통해 결정된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020).

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

이러한 과정을 통해 발견된 'r-k'쌍을 BSS 모델에서 사전정보로 활용하여 r과 k에 대한 추정을 실시한다. 다음으로 CPUE는 식 (6)과 같이 어획능률 계수(q)와 자원량(B)으로 계산할 수 있다. 이러한 식 (6)은 Schaefer 함수에 따라 식 (7)과 같이 다시 표현할 수 있다.

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

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

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

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

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 변경된다. 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 CPUE값의 평균을 의미하며 C_{mean} 은 동일한 기간의 어획량 평균을 의미한다. CPUE 및 어획량의 평균값을 산출하는 기간의 경우 Resilience가 Medium 혹은 High인 경우에는 5년, Low인 경우에는 10년의 기간으로 설정한다(Froese et al., 2017; Ren and Liu, 2020).

$$\begin{aligned} q_{low} &= \frac{0.25r_{pgm} CPUE_{mean}}{C_{mean}}, \\ q_{high} &= \frac{0.5r_{high} CPUE_{mean}}{C_{mean}} \end{aligned} \quad (9)$$

이러한 BSS 모델은 베이지안 추론을 바탕으로 자원평가를 수행하는 것을 뜻한다. 여기서 베이지안 추론이란 관측된 자료와 모수 모두에 확률모형을 사용하고 관측 자료에 포함된 정보 및 사전정보를 결합한 사후분포 계산을 근거로 통계적 추론을 수행하는 방법을 의미한다(Meyer and Millar, 1999; 김달호, 2013; 최민제·김도훈, 2019; 홍재범·김도훈, 2021).

여기서 사후분포의 추정의 대상은 r , k 등 여러 가지 값이 해당되므로, 사후분포 추정 과정에는 다차원적 적분 계산이 필요하다. 하지만 다차원적 적분 계산을 수치적으로 수행하는 것은 거의 불가능하기 때문에, 이를 통계적으로 수행하는 Markov Chain Monte Carlo (MCMC) 방법을 활용한다(Millar and Meyer 2000; 최민제·김도훈, 2019; 홍재범·김도훈, 2021).

이때, 다차원의 결합확률분포에서의 랜덤표본 생성은 어렵기 때문에, 다른 변수들의 조건부확률분포로부터 변수를 하나씩 순차적으로 추출하는 방법인 Gibbs 샘플링을 활용한다(Meyer and Millar 1999; Lunn et al, 2000; Kéry and Schaub, 2011; Froese et al 2017; 최민제·김도훈 2019; 홍재범·김도훈, 2021).

본 연구에서는 BSS 모델을 통한 자원평가 분석을 수행하기 위해 MCMC 방법으로 매개 변수의 확률 분포를 샘플링 하는 프로그램인 JAGS 프로그램(Plummer, 2003)을 활용하였다(Millar and Meyer, 2000; Froese et al. 2017; 홍재범·김도훈 2021).

BSS 모델의 분석 결과에 대해서는 총 60,000개의 표본을 추출하고, 추출된 표본 중에서 사후분포에 수렴하지 못하는 초기 표본들의 영향을 제거하기 위해서 30,000개의 표본을 번인(burn-in) 하였다(Froese et al., 2017; 최민제·김도훈, 2019). 표본추출 과정에는 표본 간의 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·김도훈, 2019; Seo et al., 2019; 홍재범·김도훈, 2021).

BSS 모델을 활용한 자원평가 결과를 바탕으로 고등어의 자원상태를 파악하기 위해 아래 <표 IV-9>와 같이 분석 대상 어종의 B_{MSY} 대비 마지막 연도의 자원량의 비율에 따라 평가하였다.

분석 결과로 고등어 자원량을 수치로 제시하는 방법으로는 자원량 추정에 대한 불확실성을 고려하여 마지막 연도 기준 추정된 고등어 자원량을 중앙값 및 95% 신뢰구간 범위로 제시하였다. 또한 마지막 연도를 기준으로 최근 3개년 평균 자원량을 함께 제시하여 최근 시점의 고등어 자원량을 파악하고자 하였다.

<표 IV-9> B_{MSY} 대비 B 수준 기반 자원상태의 정의

자원상태	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); 홍재범·김도훈(2021)

2) 분석 자료

대형선망어업의 주요 생산 대상 어종인 고등어에 대한 자원평가 분석을 위해 BSS 모델을 활용하였다. BSS 모델을 이용한 고등어 자원평가 분석에는 어종별 어획량, Resilience 자료 그리고 CPUE 자료가 요구된다.

먼저 어획량 자료의 경우, 대형선망어업이 주로 어획하는 고등어에 대한 우리나라 연근해 전체 자원량을 파악하기 위해, 연근해어업에서 어획되는 고등어 총 어획량 자료를 활용하였다.

두 번째로, Resilience 자료는 BSS 모델을 활용하여 분석 대상 어종에 대한 본원적 성장률(r)을 추정하기 위한 사전적 범위 설정에 필요한 자료를 의미한다. 이러한 사전 정보 및 범위에 대해서는 FishBase(www.fishbase.org)를 통해 확보 가능하다. FishBase에서 확인할 수 있는 사전적 r 값은 고등어의 경우 0.48(95% 신뢰구간 : 0.32 - 0.73)로 확인되었다. 이에 따른 고등어 Resilience

값은 Medium으로 확인되어 있었으며, 이를 분석 자료로 활용하였다.

마지막으로 고등어 자원평가를 위한 CPUE 자료는 대형선망어업의 어획량 및 어획노력량을 고려한 CPUE 자료를 활용하였다.

<표 IV-10> 고등어 자원평가를 위한 분석 자료

구분	내용	비고
어획량	연근해어업 전체 고등어 어획량	분석 자료 기간 시나리오별
Resilience	Medium	본원적 성장률의 사전 범위 : 0.48 (0.32-0.73)
CPUE	대형선망 고등어 어획량 ÷ 대형선망 어획노력량	분석 자료 기간 및 종류 시나리오별

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

본 연구에서는 보다 신뢰할 수 있는 고등어 자원평가 결과를 제시하기 위해 분석 자료의 종류 및 기간 범위에 따른 결과 차이를 비교하였다. 이를 위해 분석 자료의 경우 CPUE 자료는 양망횟수, 어선톤수, 어선마력수 세 가지를 활용하였다. 분석 자료의 기간 범위는 가장 최근의 고등어 선행연구 결과와 비교하기 위해 자료의 시작 범위를 1970년, 2000년으로 구분하였다. 그리고 분석 자료의 종료 범위는 2019년, 2020년으로 설정하였다.

구체적으로 김진우 외(2020) 및 이승준(2021)의 Case 2에서는 2000년부터 2019년까지의 대형선망어업 양망횟수를 활용한 자원평가를 실시하였다. 해당 자원평가 결과와의 비교를 위해 양망횟수 자료를 정유리(2019)에서 확보하여 분석을 실시하였다.

정유리(2019)에서 확인할 수 있는 양망횟수 CPUE 자료는 2017년까지 이지만 현재 상황에서 추가적인 기간에 대한 자료 확보가 불가하여 해당 자료를 활용하였다. 그리고 현재 통계청을 통해 2020년 어획량 자료의 확보가 가능하므로 2020년 어획량의 유무에 따른 자원평가 결과와의 비교도 실시하였다. 또한 동일 기간에 대해 현재 확보 가능한 어획노력량 자료인 어선톤수와 어선마력수를 활용한 경우의 자원평가 결과와의 비교를 실시하였다.

<표 IV-11> 고등어 자원평가 시나리오

구분	어획량	어획노력량	비고
양망횃수 (haul_19)	2000년-2019년	양망횃수 (2000년-2017년)	정유리(2019) 참고
톤수 (ton_19)	2000년-2019년	어선통수 (2000년-2019년)	
마력수 (hp_19)	2000년-2019년	어선타력수 (2000년-2019년)	
양망횃수 (haul_20)	2000년-2020년	양망횃수 (2000년-2017년)	정유리(2019) 참고
톤수 (ton_20)	2000년-2020년	어선통수 (2000년-2020년)	
마력수 (hp_20)	2000년-2020년	어선타력수 (2000년-2020년)	
톤수 (ton_m20)	2000년-2020년	어선통수 (2000년-2020년)	3년 이동 평균
마력수 (hp_m20)	2000년-2020년	어선타력수 (2000년-2020년)	3년 이동 평균
톤수 (ton_m70)	1970년-2020년	어선통수 (1992년-2020년)	3년 이동 평균
마력수 (hp_m70)	1970년-2020년	어선타력수 (1992년-2020년)	3년 이동 평균
톤수 (ton_70)	1970년-2020년	어선통수 (1992년-2020년)	
마력수 (hp_70)	1970년-2020년	어선타력수 (1992년-2020년)	

※ 1995년, 1996년에 해당되는 CPUE는 어선타력수 및 어선통수 자료의 확보가 불가능하여 제외하였음

자료 : 통계청(2022a; 2022c), 정유리(2019)

Froese et al. (2017)에서는 어획량 변동에 따른 자원평가 결과의 영향을 줄이기 위해 분석 자료를 3년 이동 평균하여 활용하였다. 이러한 점을 참고하여 본 연구에서는 3년 이동 평균한 자료의 적용 유무에 따른 분석 결과의 차이에 대해서도 비교를 실시하였다. 이때 양망횟수 자료의 경우 3년 이동 평균을 적용하기에는 확보한 자료의 기간 범위에 한계가 있으므로 어선톤수 및 어선마력수에 대해서만 분석을 실시하였다.

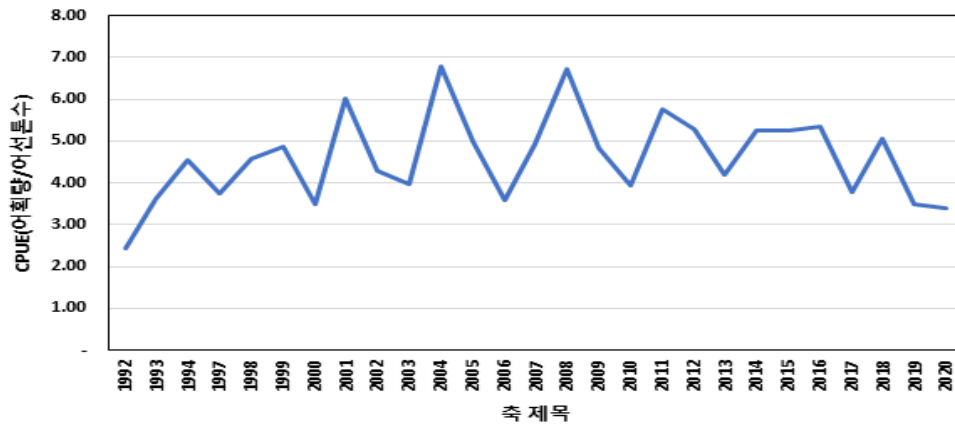
먼저 정유리(2019)의 양망횟수를 고려한 CPUE 자료를 살펴보면 연도별 증감을 반복하고 있으나 2017년을 제외하고, 대체로 2000년 이후 증가하는 추세를 보이고 있다. 이에 따른 2017년 CPUE(양망횟수)는 16.5로 나타났다.



자료 : 정유리(2019)

[그림 IV-10] 대형선망 고등어 CPUE(양망횟수) 변화(2000년-2017년)

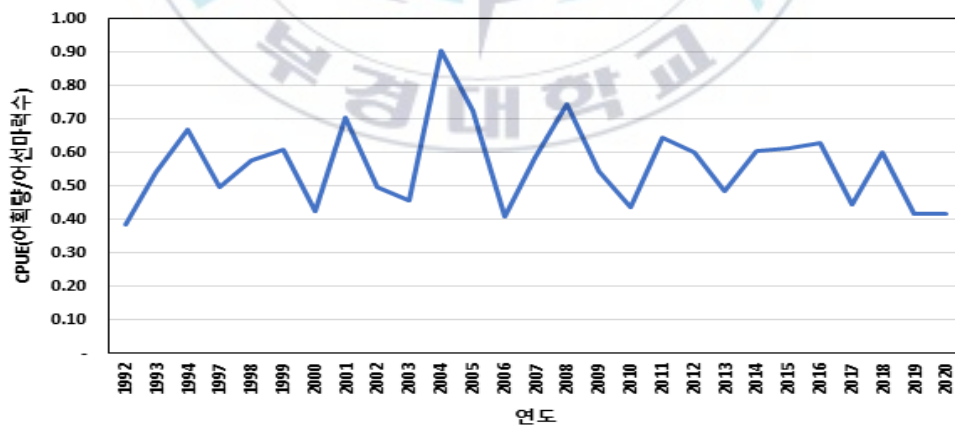
그리고 CPUE(어선톤수)의 변화를 살펴보면 1992년 이후 연도별 증감을 반복하는 것으로 나타나며 대체로 증가하는 추세를 보이고 있으나 2010년대에 접어들면서 최근까지 감소하는 추세를 보이고 있다. 이에 따른 2020년 기준 CPUE는 3.41로 나타났다.



자료 : 통계청(2022a; 2022c)

[그림 IV-11] 대형선망 고등어 CPUE(어선톤수) 변화(1992년-2020년)

마지막으로 CPUE(어선마력수) 변화를 살펴보면 1992년 이후 연도별 증감을 반복하는 것으로 나타나면서 2004년까지는 대체로 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만 2005년 이후 현재까지는 전반적으로 감소하는 추세로 나타나며 2020년 기준 CPUE는 0.41로 나타났다.



자료 : 통계청(2022a; 2022c)

[그림 IV-12] 대형선망 고등어 CPUE(어선마력수) 변화(1992년-2020년)

3. 분석 결과

본 연구에서는 보다 신뢰할 수 있는 고등어 자원평가를 실시하기 위해 분석 자료 중 CPUE 자료의 종류 및 기간 범위에 따른 자원평가 결과를 비교 및 분석하였다. 각 자원평가 시나리오에 따른 결과의 요약은 아래 <표 IV-12>와 같다. 각 자원평가 시나리오별 결과는 비교의 용이성을 위해 중앙값을 기준으로 제시하였으며, 이를 기준으로 비교 및 검토하였다.

각 분석 결과를 비교하여 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다. 우선 고등어 자원평가에 있어서 2020년 어획량 자료의 유무가 자원량 추정 결과에 많은 영향이 있다는 것이다. 구체적으로 2020년 어획량 자료를 추가한 분석 결과를 보면 2019년까지 분석한 결과에 비해 공통적으로 자원량 수준이 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 양망횟수를 활용한 분석 결과에 있어서도 2020년까지의 어획량 자료를 활용한 경우 자원량은 B_{MSY} 수준에 비해 낮은 것으로 나타났다.

선행연구 중 김진우 외(2020) 및 이승준(2021)에서는 공통적으로 고등어 자원량은 증가하고 있으며 현재 자원관리가 잘 이루어지는 것이라고 연구 결과를 제시하였다. 하지만 해당 연구들은 어획량 자료를 2000년부터 2019년까지를 고려하였다. 실제 연근해어업 고등어 총 어획량을 살펴보면 2018년 141,530톤, 2019년 101,121톤, 2020년 77,603톤으로 최근 3개년간 지속적으로 감소한 것을 알 수 있다. 이러한 최근 고등어 어획량의 감소 추세를 통해서도 2020년 고등어 자원량이 B_{MSY} 에 비해 낮다는 결과를 뒷받침할 수 있다.

그리고 양망횟수 자료를 활용하고, 어획량 자료를 2019년까지 고려한 자원평가 결과를 제외하고는 모든 경우에서 현재 고등어 자원량은 B_{MSY} 수준에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 우리나라 고등어를 대상으로 수행한 국외 선행연구인 Liang et al. (2020)과 국내 선행연구 중 양망횟수 자료와 MEA 모델을 활용한 박윤선·권오상(2019)에서 제시한 결과와 동일하다. 또한 정유리(2019)에서 제시되어 있는 양망횟수 CPUE(1976년 - 2017년)을 고려하여 BSS 모델을 통해 고등어 자원량을 추정한 홍재범·김도훈(2021)에서도 고등어 자원량은 B_{MSY} 에 비해 낮은 것으로 나타났다.

이러한 점에서 종합적으로 고려해봤을 때, 현재 활용 가능한 어획량 및 어획노력량 자료를 기반으로 추정된 고등어의 자원량은 B_{MSY} 수준 이하라고 할 수 있다.

그리고 어획량의 영향을 고려한 3년 이동 평균을 활용한 분석 결과와 그렇지 않은 경우에 대한 분석결과는 큰 차이가 나타나지 않았으며, 고등어 자원상태에 대해서는 동일한 결과를 보이고 있다. 따라서 고등어 어획량 시계열 자료 중 이상치 등의 자원평가 결과에 대한 영향은 크게 없는 것으로 보인다. 또한, 어획노력량의 측면에서 보았을 때 어선톤수와 어선마력수를 활용한 경우에도 분석 결과의 차이는 크게 나타나지 않으며 유사한 수치로 나타났다.

이러한 자원평가 시나리오별 결과 비교를 기반으로 본 연구에서는 최종적인 자원평가 결과를 선택하기 위해 상관분석 및 회귀분석을 통해 살펴보았다. 구체적으로 2000년부터 2016년까지의 고등어 어획량 자료와 대형선망어업의 어획노력량인 양망횟수, 어선톤수 및 어선마력수 자료간의 상관분석 및 회귀 분석을 실시하였다.

분석 결과 양망횟수 자료의 경우가 가장 상관계수(0.5668)가 높으며, 회귀 분석 결과가 통계적으로 유의한 결과($p < 0.05$)로 나타났다. 하지만 양망횟수 자료의 경우 현재 확보 가능한 최근 시점의 시계열 범위가 제한적이기 때문에 최종적인 자원평가 결과를 도출하기 위한 자료로 선택하기에는 다소 한계가 있다고 판단된다.

어선톤수와 어선마력수 자료에 대한 분석 결과를 살펴보면 어선톤수 자료를 활용하는 경우(0.4224)가 어선마력수 자료를 활용하는 경우(0.2891)에 비해 어획량 자료에 대한 상관계수가 높은 것으로 나타났다. 또한, 회귀분석 결과의 통계적 유의성을 보더라도 어선톤수의 경우 통계적으로 유의한 것($p < 0.1$)으로 나타났으나, 어선마력수는 유의하지 않은 것으로 나타났다.

따라서 최종적으로 본 연구의 고등어 자원평가를 위한 어획노력량 자료는 어선톤수를 활용하는 것으로 결정하였다. 그리고 어획량 범위에 있어서는 활용 가능한 어획량 전체 자료를 활용하는 것이 중요하므로(Liang et al. 2020) 1970년부터 2020년까지의 어획량 자료를 활용하는 것으로 결정하였다.

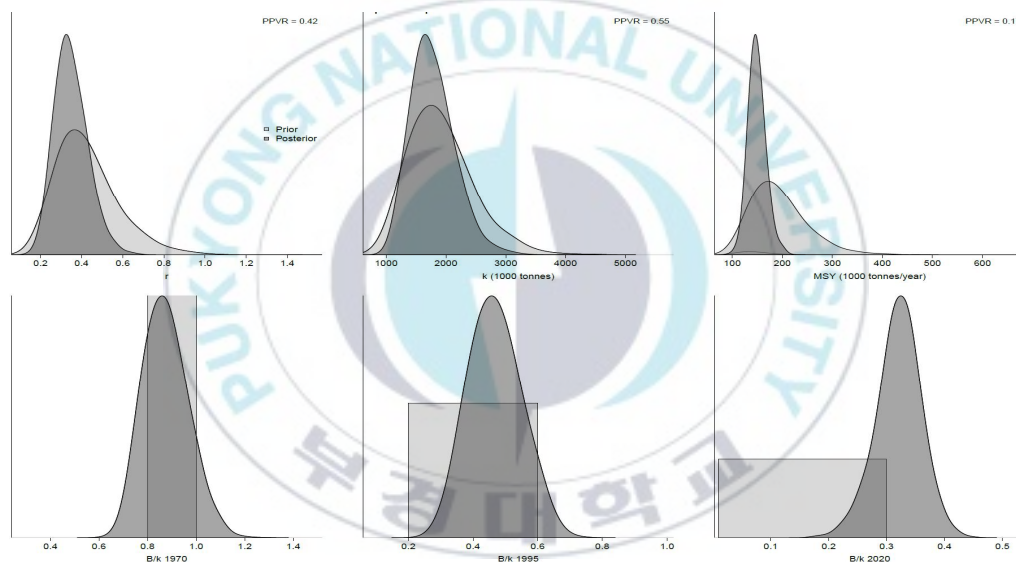
<표 IV-12> 고등어 자원평가 시나리오별 결과

구분	r	q	k	MSY	B*	B _{MSY}	B/B _{MSY}
양망횟수 (haul_19)	0.63	0.0000371	969,009	152,732	591,318	484,505	1.22
톤수 (ton_19)	0.48	0.0000095	1,157,372	139,449	471,905	578,686	0.82
마력수 (hp_19)	0.47	0.0000011	1,169,065	138,428	456,493	584,532	0.78
양망횟수 (haul_20)	0.46	0.0000402	1,265,824	146,537	501,946	632,912	0.79
톤수 (ton_20)	0.44	0.0000102	1,264,833	137,770	397,096	632,417	0.63
마력수 (hp_20)	0.45	0.0000012	1,227,484	137,845	390,672	613,742	0.64
톤수 (ton_m20)	0.46	0.0000101	1,176,144	135,550	440,767	588,072	0.75
마력수 (hp_m20)	0.46	0.0000012	1,184,744	136,021	420,501	592,372	0.71
톤수 (ton_m70)	0.36	0.0000060	1,626,633	145,559	703,675	813,316	0.87
마력수 (hp_m70)	0.35	0.0000008	1,648,897	143,274	682,033	824,449	0.83
톤수 (ton_70)	0.34	0.0000060	1,743,859	148,166	562,367	871,930	0.64
마력수 (hp_70)	0.32	0.0000007	1,789,371	143,163	574,417	894,685	0.64

* 분석 기간의 마지막 연도에 해당되는 자원량을 의미함

즉, 본 연구에서 최종적으로 제시하고자 하는 고등어 자원평가 결과는 1970년부터 2020년까지의 연근해어업 총 고등어 어획량 자료를 활용하며 CPUE 자료는 1992년부터 2020년까지의 대형선망 어선톤수를 고려한 자료를 활용한 것을 의미한다.

1970년부터 2020년까지의 어획량 자료와 1992년부터 2020년까지의 어선톤수를 활용한 CPUE 자료를 활용한 BSS 모델의 고등어 자원평가 결과를 제시하기에 앞서 분석 과정에서 설정한 사전 정보가 사후 결과로 개선되었는지에 대해 PPVR을 살펴보면 아래 [그림 IV-13]과 같다.



[그림 IV-13] 고등어 자원평가 결과(PPVR)

1970년부터 2020년까지의 어획량 자료와 1992년부터 2020년까지의 어선톤수를 활용한 CPUE 자료를 활용한 BSS 모델의 고등어 자원평가 결과는 다음과 같다. 먼저, 중앙값을 기준으로 살펴보면 2020년 기준 고등어 자원량은 562,367톤으로 추정되었으며, 이는 B_{MSY} 수준인 871,930톤 대비 약 0.64 수준으로 나타났다. 이를 통해 고등어 자원상태를 평가 하면 B_{MSY} 대비 B 수준이 0.5에서 0.8 사이이므로, 현재 우리나라 고등어 자원상태는 남획된 수준(Overfished)로 평가할 수 있다.

구체적으로 자원량 수준에 대해 95% 신뢰구간 범위로 살펴보면 2020년 기준 고등어 자원량은 하한 412,399톤에서 상한 686,629톤으로 추정되었다. 그리고 B_{MSY} 의 경우 584,285톤에서 1,301,182톤으로 추정되며 이에 따른 B_{MSY} 대비 B 수준은 0.47에서 0.79의 범위로 추정할 수 있다. 따라서 현재 우리나라 고등어 자원상태는 ‘Grossly overfished’ 혹은 ‘Overfished’로 평가할 수 있다.

<표 IV-13> 고등어 자원량 및 B_{MSY} 추정 결과

구분	B_{2020}	B_{MSY}	B_{2020}/B_{MSY}
BSS	562,367 (412,399 - 686,629)	871,930 (584,285 - 1,301,182)	0.64 (0.47 - 0.79)

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

그리고 최근 3개년(2018년-2020년)간의 고등어 자원량 추정 결과를 중앙값을 기준으로 구체적으로 살펴보면 2018년의 경우 697,388톤, 2019년의 경우 614,371톤, 2020년 기준 562,367톤으로 지속적으로 감소한 것을 알 수 있다. 이에 따른 최근 3개년 평균 고등어 자원량은 624,709톤으로 나타났으며, 이는 B_{MSY} 대비 0.72 수준으로 나타났다.

<표 IV-14> 최근 3개년 평균 고등어 자원량 추정 결과(2018년-2020년)

(단위 : 톤)

구분	2018년	2019년	2020년	평균
고등어 자원량	697,388	614,371	562,367	624,709

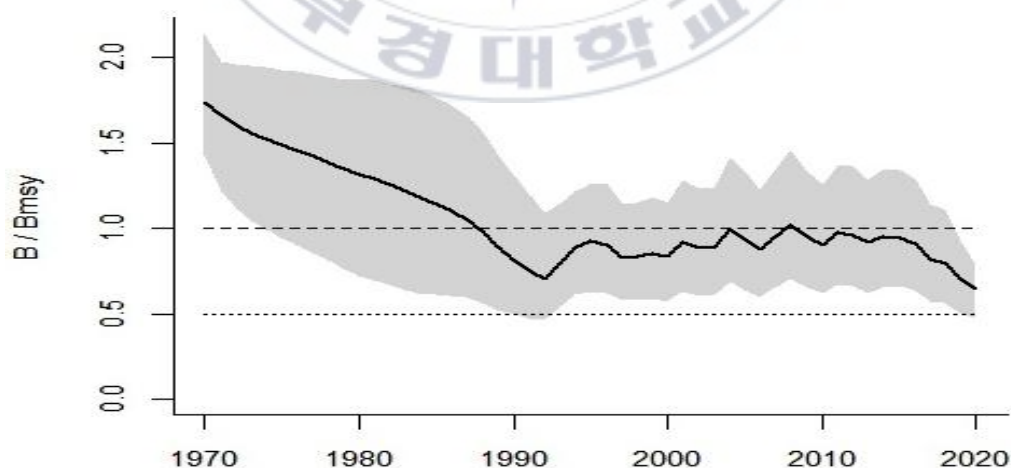
본 연구에서 추정한 고등어 자원상태 분석 결과는 현재 고등어 자원량이 B_{MSY} 수준 이하라는 점에서 박윤선·권오상(2019), Liang et al. (2020) 홍재범·김도훈(2021)에서도 공통적으로 나타났다.

구체적으로 B_{MSY} 대비 추정된 분석 기간 마지막 연도(B_{2020})의 자원량의

비율로 살펴보면, 박윤선·권오상(2019)에서 MEA 모델을 통해 추정한 B_{MSY} 는 547,417톤, 분석 기간 마지막 시점인 2015년 기준 자원량은 368,065톤으로 B/B_{MSY} 는 0.67로 나타났다. 그리고 Liang et al. (2020)의 BSS 모델을 통해 추정한 2002년 기준 B/B_{MSY} 는 0.64, 홍재범·김도훈(2021)의 BSS 모델을 활용하여 추정한 2020년 기준 B/B_{MSY} 는 0.61로 나타났다. 마지막으로 본 연구에서 BSS 모델을 통해 추정한 2020년 기준 B/B_{MSY} 는 0.64로 선행연구의 결과와 유사하게 나타났다.

고등어 자원량 변동 추세에 대한 분석 결과를 살펴보면 2010년대 이후 최근까지 고등어 자원량은 감소하는 추세로 나타났다. 구체적으로 고등어 자원량은 1988년에 최초로 B_{MSY} 수준 보다 낮게 나타났으며, 이후 소폭의 증가를 제외하고 현재까지는 자원량이 B_{MSY} 에 비해 낮은 수준에서 대체로 감소하는 추세를 보이고 있다.

이러한 고등어 자원량의 감소 추세는 최근에 수행된 고등어 자원평가 선행연구인 정유리(2019), Liang et al. (2020) 홍재범·김도훈(2021)에서도 동일하게 나타났다. 이를 통해 향후 지속가능한 고등어 자원을 이용하기 위해서는 고등어 자원 회복을 위한 노력이 추가적으로 필요할 것으로 판단된다.



※ 그래프 상의 회색 범위는 95% 신뢰구간을 의미함

[그림 IV-14] 고등어 자원량 추정 결과(1970년-2020년)

그리고 고등어 자원평가를 통한 주요 결과에 대해 살펴보면 다음과 같다. 먼저, r 의 경우 중앙값은 0.34, 95% 신뢰구간 범위는 0.22에서 0.54사이로 나타났으며 이는 Resilience 자료를 통해 사전 범위로 설정한 '0.2 - 0.8' 범위 내에 속하는 것을 알 수 있다. 그리고 q 의 중앙값은 0.00000596으로 95% 신뢰구간 범위는 0.00000403에서 0.00000881로 나타났다.

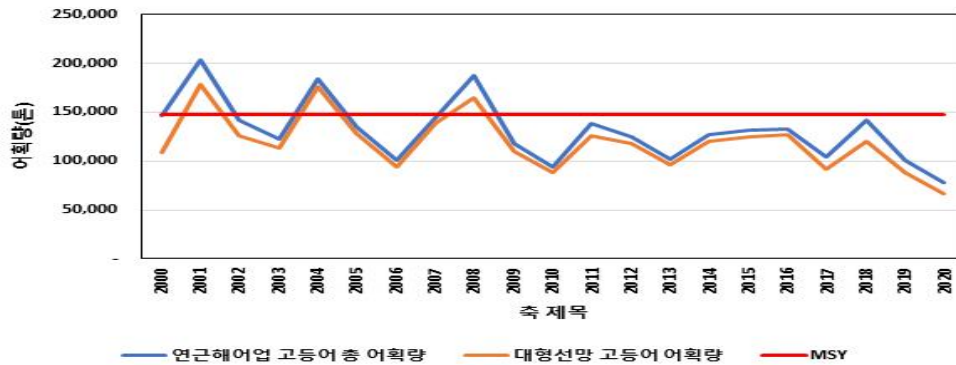
k 의 경우 중앙값이 1,743,859톤으로 나타났으며 이에 따른 95% 신뢰구간 범위는 1,168,570톤에서 2,602,364톤으로 나타났다. 마지막으로 MSY의 중앙값은 148,166톤으로 95% 신뢰구간 범위는 117,104톤에서 187,467톤으로 나타났다.

<표 IV-15> BSS 모델을 이용한 고등어 자원평가 결과

구분	r	q	k	MSY
BSS	0.34	0.00000596	1,743,859	148,166
	(0.22-0.54)	(0.00000596 - 0.00000881)	(1,168,570 - 2,602,364)	(117,104 - 187,467)

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

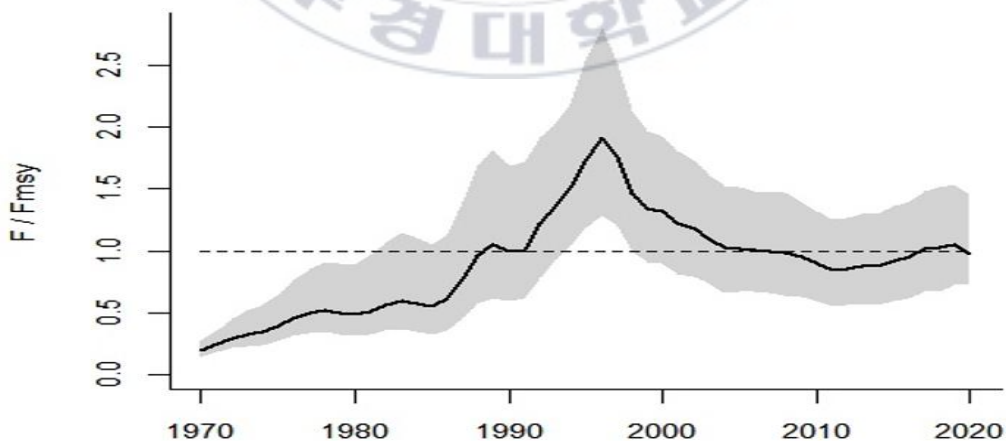
그리고 본 연구의 분석 결과로 추정된 MSY 값을 통해 현재의 고등어 어획량 및 TAC 할당량의 적정 수준에 대해 검토해 보았다. 먼저, MSY 중앙값인 148,166톤을 연근해어업 및 대형선망어업 고등어 어획량과 비교해 보면, 최근 연근해어업 5개년 평균 어획량(111,465톤) 및 2020년 어획량(77,603톤)은 MSY에 비해 낮은 것으로 나타났다. 그리고 가장 최근 기간인 '2021년 7월-2022년 6월'에 해당되는 고등어 TAC 할당량은 101,715톤으로 이는 MSY 수준에 비해 낮은 것으로 나타났다. 따라서 수산자원관리의 측면에서 고등어 TAC 할당량 및 고등어 어획량 수준은 현재 적정한 것으로 보이며, 자원회복 수준을 높이기 위한 추가적인 어획량 제한이 가능할 것으로 판단된다.



자료 : 통계청(2022a)

[그림 IV-15] 고등어 어획량 및 MSY(1992년-2020년)

마지막으로 고등어 어획사망률의 변동 추세에 대한 분석 결과를 살펴보면, 1990년대를 기점으로 어획사망률은 F_{MSY} 수준을 초과하여 증가하는 추세로 나타났다. 고등어 어획량이 최대치를 기록했던 1990년대 중반을 기점으로 현재까지는 감소하는 추세를 보이고 있으나 여전히 F_{MSY} 수준에 비해 어획사망률은 높은 수준이다. 따라서 향후 고등어 자원관리를 위한 수단에 있어서 특히 어획사망률을 줄일 수 있도록 감척 등을 통한 어획강도에 대한 제한이 필요할 것으로 판단된다.



※ 그래프 상의 회색 범위는 95% 신뢰구간을 의미함

[그림 IV-16] 고등어 어획사망률 추정 결과(1970년-2020년)

본 연구에서 수행한 BSS 모델을 활용한 고등어 자원평가 시나리오별 결과와 선행연구 결과를 비교하여 얻을 수 있는 시사점은 다음과 같다.

우선, 분석에 활용한 방법과 자료의 종류 및 기간 범위 그리고 사전적 정보를 설정하는 방법 등의 차이에 따라 상이한 결과가 나타난다는 점이다. 그럼에도 불구하고 본 연구 및 최근에 수행된 고등어 자원평가 선행연구의 결과는 상당 부분에서 공통점이 나타났으며, 이를 통해 종합적으로 고등어의 자원상태를 고려하면 현재 고등어 자원량은 B_{MSY} 에 비해 낮은 수준에서 감소하고 있는 것으로 보이며, 이에 따른 현재의 자원관리 수단의 강화 및 추가적인 자원관리 방안을 통한 자원회복이 반드시 필요할 것으로 보인다.



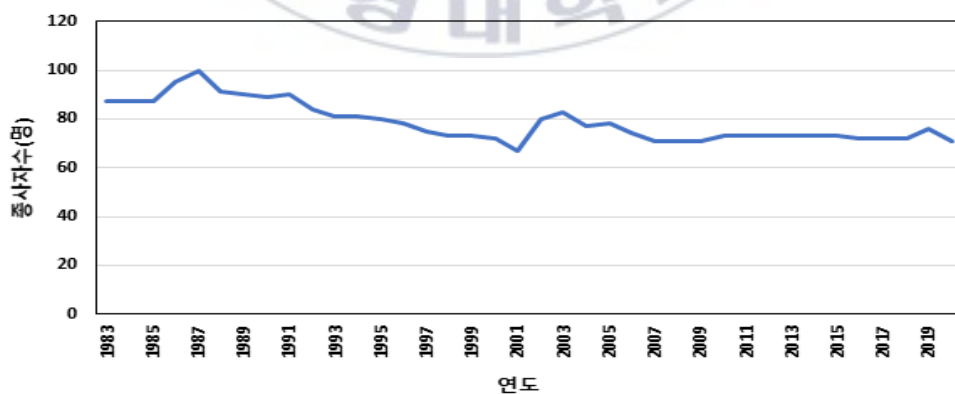
V. 온실가스 배출량 저감을 고려한 생물경제학적 분석

1. 대형선망어업의 경영 현황

대형선망어업의 경영 현황을 파악하기 위해, 경영체 단위의 어업별 현황을 파악할 수 있는 수산업협동조합중앙회의 어업경영조사결과를 살펴보았다.

1) 조업활동

대형선망어업의 조업활동 현황을 파악하기 위해 구체적으로 경영체당 종사자수, 출어횟수, 출어 및 어로일수에 대해 살펴보았다. 종사자수는 1983년 87명을 시작으로 증가하는 추세를 보이며 1987년 기준 100명으로 최대 종사자 수를 기록하였다. 하지만 이후 대체로 감소하는 추세를 보이며 2001년에는 67명으로 최저 종사자수를 기록하였다. 2002년 이후 소폭 증가하였으나, 이후 큰 변화 없이 현재까지 유지되고 있는 것으로 보인다. 이에 따른 2020년 기준 대형선망어업 경영체당 종사자 수는 평균 71명으로 나타났다 (통계청, 2022b).



자료 : 통계청(2022b)

[그림 V-1] 대형선망 경영체의 종사자수(1983년-2020년)

출어 및 어로일수의 경우 2000년대 이후 대체로 감소하는 추세로 나타나고 있으며, 2020년 기준 출어 및 어로일수는 각각 210일로 나타났다. 출어일수의 경우 출어 후 어장까지의 항해일수, 탐어, 집어 및 어로일수 등을 합한 귀항일까지의 일수를 의미한다. 그리고 어로일수의 경우 실제 어망, 어구를 해중에 투입하여 어로작업을 수행한 일수를 의미한다(통계청, 2022b).

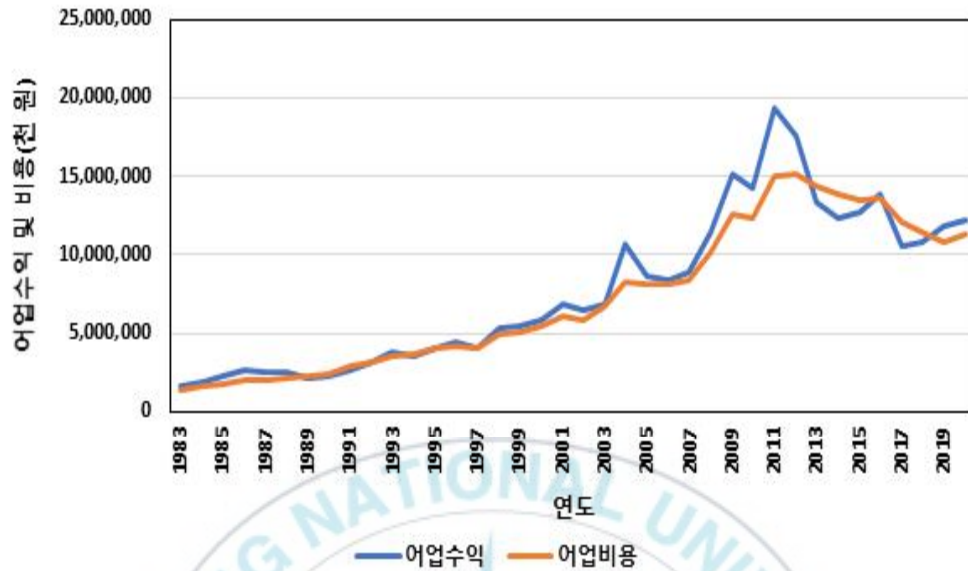


자료 : 통계청(2022b)

[그림 V-2] 대형선망 경영체의 출어 및 어로일수(1983년-2020년)

2) 수지상황

대형선망어업의 수지상황을 파악하기 위해 연도별 경영체당 어업수익 및 어업비용의 변화를 살펴보았다. 어업수익의 경우 1983년 1,659,597천 원을 시작으로 지속적으로 증가하는 추세로 나타났으며, 2011년 최대 어업수익인 19,346,472천 원을 기록하였다. 하지만 이후 큰 폭의 감소가 나타났으며, 2017년 이후로는 소폭 증가하는 추세로 나타났다. 어업비용의 경우 1983년 기준 1,402,798천 원을 시작으로 어업수익의 증가추세와 동일하게 꾸준히 증가하는 추세로 나타났으며, 2012년 최대 어업비용인 15,136,896천 원을 기록하였다. 하지만 2013년 이후 현재까지는 대체로 감소하는 추세로 나타났다(통계청, 2022b).



자료 : 통계청(2022b)

[그림 V-3] 대형선망 경영체의 어업수익 및 비용(1983년-2020년)

구체적으로 대형선망 경영체의 어업비용을 항목별로 살펴보면, 최근 5개년 평균 비용을 기준으로 크게 출어비(47.1%), 임금 및 관리비(49.0%), 감가상각비(3.9%)로 구성되어 있다.

<표 V-1> 대형선망 경영체의 어업비용 세부현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

구분	출어비	임금 및 관리비	감가상각비	어업비용
2016년	5,627,418	7,219,932	740,788	13,588,138
2017년	5,217,467	6,470,080	416,649	12,104,196
2018년	6,174,312	5,231,997	-	11,406,308
2019년	5,269,868	4,963,103	625,320	10,858,291
2020년	5,623,878	5,213,543	512,038	11,349,460
평균	5,582,589	5,819,731	458,959	11,861,279
비율	47.1%	49.0%	3.9%	100.0%

자료 : 통계청(2022b)

출여비를 세부 항목별로 나누어 살펴보면 총 8개의 세부 항목으로 구성되어 있다. 최근 5개년(2016년-2020년) 평균 비용을 기준으로 연료비(38.6%)가 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 그 다음으로는 수리비, 어구비, 저장대, 용기대 등의 순으로 나타났다.

<표 V-2> 대형선망 경영체의 출여비 세부현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	평균	비율
연료비	2,417,617	1,992,327	2,431,984	1,861,761	2,083,489	2,157,436	38.6%
수리비	1,124,842	1,179,880	1,493,346	1,180,925	1,031,779	1,202,154	21.5%
어구비	316,878	503,230	735,986	618,547	605,528	556,034	10.0%
저장대	463,334	435,846	436,988	596,762	659,683	518,523	9.3%
용기대	328,120	306,133	262,047	402,381	559,865	371,709	6.7%
소모품비	417,672	302,879	358,551	230,558	275,303	316,993	5.7%
후생비	365,018	324,721	255,607	202,097	246,559	278,800	5.0%
주부식비	193,937	172,452	199,803	176,837	161,672	180,940	3.2%
합계	5,627,418	5,217,467	6,174,312	5,269,868	5,623,878	5,582,589	100.0%

자료 : 통계청(2022b)

임금 및 관리비의 경우 총 6개의 세부 항목으로 구성되어 있으며, 최근 5개년 평균 비용을 기준으로 살펴보면 선원임금(57.1%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 그 다음으로는 사무비, 판매비, 공제 및 보험료 등의 순으로 나타났다.

<표 V-3> 대형선망 경영체의 임금 및 관리비 세부현황(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	평균	비율
선원임금	4,026,920	3,546,330	2,902,545	2,766,906	3,370,771	3,322,694	57.1%
사무비	1,323,152	1,403,429	802,043	648,125	276,627	890,675	15.3%
판매비	797,610	609,276	996,940	967,405	991,741	872,594	15.0%
공제 및 보험료	554,773	497,084	407,747	547,030	535,642	508,455	8.8%
기타 관리비	474,000	359,263	50,856	17,338	14,416	183,175	3.1%
조세공과	43,477	54,699	71,866	16,299	24,345	42,137	0.7%
합계	7,219,932	6,470,080	5,231,997	4,963,103	5,213,543	5,819,731	100.0%

자료 : 통계청(2022b)

대형선망의 어업이익은 1983년 이후 꾸준히 증가하는 추세를 보이며, 2011년 최대치인 4,285,900천 원을 기록하였으나 이후 큰 폭으로 감소하여 마이너스(-) 어업이익을 기록하였다(통계청, 2022b).



자료 : 통계청(2022b)

[그림 V-4] 대형선망 경영체의 어업이익(1983년-2020년)

대형선망의 어업이익은 2017년 이후 최근까지는 소폭 증가하는 추세를 보이고 있으며, 2020년 기준 어업이익은 925,820천 원을 기록하였다(통계청, 2022b).

근해어업 업종별 최근 5개년 평균 어업이익을 기준으로 살펴보면, 2017년 및 2018년의 어업이익 적자의 영향으로 인해 대형선망의 평균 어업이익은 8,161천 원으로 총 14개 근해어업 중 가장 낮은 것으로 나타났다.

<표 V-4> 근해어업 업종별 경영체의 어업이익(2016년-2020년)

(단위 : 천 원, %)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	평균
대형트롤	224,887	1,128,614	1,257,609	626,910	448,278	737,260
쌍끌이 대형저인망	46,403	950,520	1,066,796	358,970	502,429	585,024
동해구 중형트롤	705,118	705,698	720,301	291,046	246,698	533,772
기선권현망	34,347	685,284	1,000,593	219,033	704,114	528,674
서남해구 외끌이 중형저인망	446,209	590,938	466,740	396,521	568,304	493,742
근해자망	328,463	413,000	544,133	455,596	642,806	476,800
근해연승	306,274	513,214	382,869	283,707	577,470	412,707
근해안강망	229,893	277,160	380,742	284,341	367,537	307,935
근해통발	83,792	393,248	325,852	336,770	289,615	285,855
외끌이 대형저인망	122,384	-37,165	26,000	272,142	176,986	112,069
동해구 외끌이 중형저인망	90,790	106,017	92,315	109,402	129,280	105,561
잠수기	49,920	59,369	48,856	49,689	60,415	53,650
근해채낚기	47,962	27,735	55,325	23,069	80,098	46,838
대형선망	273,896	-1,599,443	-557,809	998,340	925,820	8,161

자료 : 통계청(2022b)

3) 자산 및 부채상황

2020년 기준 대형선망어업 경영체의 총 자산은 14,314,081천 원으로, 근해어업 중 가장 큰 자산 규모를 보유하고 있다(통계청, 2022b).

<표 V-5> 근해어업 업종별 경영체의 자산 및 부채 현황(2020년)

(단위 : 천 원)

구분	부채 (A)	자기자본 (B)	자산 (A+B)
대형선망	8,352,413	5,961,668	14,314,081
쌍끌이대형저인망	213,667	2,762,900	2,976,567
동해구중형트롤	695,604	2,208,425	2,904,029
기선권현망	1,557,622	989,115	2,546,736
서남해구외끌이 중형저인망	238,250	2,205,876	2,444,126
근해연승	466,090	1,309,649	1,775,739
대형트롤	477,000	1,285,000	1,762,000
근해안강망	655,152	1,105,878	1,761,030
근해통발	551,619	958,935	1,510,555
동해구외끌이중형저인망	315,300	1,172,960	1,488,260
근해자망	525,932	783,656	1,309,588
근해채낚기	346,921	722,849	1,069,769
잠수기	83,367	577,109	660,476
외끌이대형저인망	66,500	437,100	503,600

자료 : 통계청(2022b)

이러한 대형선망어업의 경영 현황을 보다 자세히 살펴보기 위해 자산·자본 관계, 손익관계, 활동성관계 비율을 살펴보았다.

자산·자본관계비율은 일정한 시점에 있어서 경영체의 재무상태를 표시하고 있는 대차대조표 각 항목의 관계비율을 의미하는 것으로, 유동성비율과 안정성

비율로 구분된다. 먼저 유동성 비율에 대해 살펴보면, 이는 단기채무에 대한 지급능력을 뜻하는 것으로 자기자본비율 등으로 이를 파악할 수 있다. 자기자본비율은 총자본 대비 자기자본의 비율을 의미하는 것으로, 일반적으로 표준비율을 50% 이상으로 보고 있으며 비율이 높을수록 기업의 안정성이 높은 것을 의미한다. 안전성비율은 단기적인 채무능력과 함께 장기적인 경기 변동 혹은 시장여건 변화 등의 외적인 경제여건 변화에 대응할 수 있는 능력의 유무를 나타내는 비율을 의미한다. 이러한 안전성비율은 고정비율, 부채비율 등을 통해 살펴볼 수 있다(수산업협동조합중앙회, 2021).

안정성 비율 중 하나인 고정비율은 고정자산은 자기자본으로 충당하고 가능한 재고자산 투자에 필요한 운전자본도 자기자본으로 조달하자는 취지에서 일반적으로 100%이하를 양호한 재정 상태라고 보고, 조달된 자본을 효율적으로 운영할 수 있는가에 관련한 비율을 의미한다. 다음으로 부채비율은 타인자본과 자기자본과의 관계를 나타내는 비율로, 일반적으로 100% 이하를 적정비율로 보고 있다(수산업협동조합중앙회, 2021).

<표 V-6> 자산·자본관계 비율 수식

구분	수식
자기자본비율	자기자본 ÷ 총자본 × 100
고정비율	고정자산 ÷ 자기자본 × 100
부채비율	부채 ÷ 자기자본 × 100

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

2020년 기준 근해어업 업종별 자기자본비율을 살펴보면, 주요근해어업평균⁸⁾은 66.0%로 나타났으며, 대형선망의 경우 41.6%로 표준비율이라 할 수 있는 50% 보다 낮은 것으로 나타났다.

다음으로 안정성 비율을 살펴보면, 먼저 고정비율의 경우 대형선망은 155.3%로 재정상태 수준인 100%를 상회하는 것뿐만 아니라 주요근해어업

8) 2020년말 조사대상 어업별 허가건수를 기준으로 가중평균한 1경영체당(1척 또는 선단조업은 1개의 선단) 평균치를 의미함(수산업협동조합중앙회, 2021)

평균(135.7%) 보다도 높은 것으로 나타났다. 그리고 부채비율의 경우, 주요 근해어업평균은 51.5%로 적절한 수준인 것으로 나타났으나, 대형선망어업의 경우 140.1%로 부채비율이 적정수준을 상회하며 근해어업 중 기선권현망을 제외하고 가장 높은 것으로 나타났다.

대형선망어업 경영체의 이러한 자산·자본관계 비율을 통해 현재, 대형선망어업의 재무상태는 유동성과 안정성이 낮은 상황인 것을 알 수 있으며, 특히 주요근해어업평균 수준에도 미치지 못하는 것으로 확인되었다.

<표 V-7> 근해어업 업종별 경영체의 자산·자본관계 비율(2020년)

구분	유동성 비율	안정성 비율	
	자기자본비율	고정비율	부채비율
주요근해어업평균	66.0%	135.7%	51.5%
기선권현망	38.8%	250.3%	157.5%
대형선망	41.6%	155.3%	140.1%
근해자망	59.8%	150.5%	67.1%
근해안강망	62.8%	153.3%	59.2%
근해통발	63.5%	141.6%	57.5%
근해채낚기	67.6%	139.9%	48.0%
대형트롤	72.9%	133.8%	37.1%
근해연승	73.8%	120.1%	35.6%
동해구중형트롤	76.0%	94.0%	31.5%
동해구외끝이중형저인망	78.8%	114.3%	26.9%
외끝이대형저인망	86.8%	110.4%	15.2%
잠수기	87.4%	102.9%	14.4%
서남해구외끝이중형저인망	90.3%	99.6%	10.8%
쌍끝이대형저인망	92.8%	104.5%	7.7%

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

손익관계 비율은 수익성분석을 위한 지표로 총자본어업이익율, 매출액어업이익율 등으로 구성되어 있다. 총자본어업이익율은 어업이익과 총자본과의 관계를 나타내는 것으로, 경영체의 수익성을 총괄적으로 판단하는 지표를 의미하며 높을수록 수익성이 양호하다는 것을 뜻한다. 매출액어업이익율은 경영활동의 성과를 파악하기 위한 어업이익과 매출액과의 관계를 의미하고, 높을수록 경영활동이 합리적이라는 것을 뜻한다(수산업협동조합중앙회, 2021).

<표 V-8> 손익관계 비율 수식

구분	수식
총자본어업이익율	$\text{어업이익} \div \text{총자본} \times 100$
매출액어업이익율	$\text{어업이익} \div \text{매출액} \times 100$

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

활동성관계 비율은 자산과 자본의 회전을 분석하는 것으로, 기업에 투입된 자본이 얼마나 활발하게 운용되었는지에 대해 나타내는 비율로 회전이 높을수록 자본의 이용도가 높았다는 것을 의미한다. 이러한 활동성관계 비율은 총자본회전을, 고정자산회전을 등을 통해 파악할 수 있다. 총자본회전은 총자본이 1년 동안 몇 번 회전했는가를 나타내는 것으로, 경영체가 사용한 자본의 운용 능력을 의미한다(수산업협동조합중앙회, 2021).

<표 V-9> 활동성관계 비율 수식

구분	수식
총자본회전율	$\text{매출액} \div \text{총자본} \times 100$

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

2020년 기준 주요근해어업평균 손익관계비율을 살펴보면, 총자본어업이익율의 경우 25.3%, 매출액어업이익율은 29.4%로 나타났다. 하지만 대형선망의 경우, 총자본어업이익율은 6.5%, 매출액어업이익율은 7.5%로 주요근해어업평균에 미치지 못하고, 특히 개별 업종 중에서 가장 낮은 것으로 나타났다. 이를 통해 현재 대형선망의 수익성이 현재 매우 낮은 상태인 것을 알 수 있다.

<표 V-10> 근해어업 업종별 경영체의 손익관계 비율(2020년)

구분	총자본어업이익율	매출액어업이익율
주요근해어업평균	25.3%	29.4%
근해자망	49.1%	41.5%
외끌이대형저인망	35.1%	20.4%
근해연승	32.5%	36.4%
기선권현망	27.6%	19.9%
대형트롤	25.4%	14.9%
서남해구외끌이중형저인망	23.3%	39.9%
근해안강망	20.9%	29.6%
근해통발	19.2%	28.8%
쌍끌이대형저인망	16.9%	13.0%
잠수기	9.1%	22.6%
동해구외끌이중형저인망	8.7%	17.0%
동해구중형트롤	8.5%	14.2%
근해채낚기	7.5%	15.7%
대형선망	6.5%	7.5%

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

2020년 기준 주요근해어업평균 활동성관계 비율을 살펴보면, 총자본회전율의 경우 0.9회로 나타났다. 그리고 대형선망의 경우에서도 총자본회전율은 0.9회로 주요근해어업평균과 동일한 수준인 것으로 나타났다. 하지만 이는 총 자본을 1회 투입한 것에 비해 회전, 즉 활발하게 운용되지 않았다는 것을 의미한다.

<표 V-11> 근해어업 업종별 경영체의 활동성관계 비율(2020년)

(단위 : 회)

구분	총자본회전율
주요근해어업평균	0.9
외끌이대형저인망	1.7
대형트롤	1.7
기선권현망	1.4
쌍끌이대형저인망	1.3
근해자망	1.2
대형선망	0.9
근해연승	0.9
근해안강망	0.7
근해통발	0.7
동해구중형트롤	0.6
서남해구외끌이중형저인망	0.6
동해구외끌이중형저인망	0.5
근해채낚기	0.5
잠수기	0.4

자료 : 수산업협동조합중앙회(2021)

2020년 기준 자산·자본관계, 손익관계, 활동성관계 비율을 통해 대형선망 어업의 경영 현황을 분석한 결과, 주요근해어업평균에 비해 경영 현황이 악화되어 있는 실정인 것으로 나타났다. 구체적으로 대형선망어업은 현재 높은 부채비율 등에 따라 자본의 유동성과 안정성이 낮은 상황속에서 수익성도 낮게 나타나, 자본의 운용이 활발하게 이루어지지 않는 실정이라고 할 수 있다.

2. 분석 방법 및 자료

1) 분석 방법

해양수산분야 탄소중립 목표 달성을 위해서는 우선적으로 온실가스 배출량 저감이 이루어지게 되는 경우에 예상되는 자원량 및 어업이익에 미치는 영향에 대한 분석이 이루어질 필요가 있다. 그리고 최근 해양 및 수산자원의 지속가능한 이용을 위해 제시되고 있는 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals; SDGs) 달성을 위해서라도 향후 수산자원의 회복과 경제적 이익의 지속가능성을 위한 분석이 반드시 필요할 것으로 보인다.

구체적으로 SDGs는 2015년 UN총회에서 2030년까지 달성하기로 결의한 의제를 의미하며 세부적으로 총 17가지가 있다. 이중 수산자원과 관련된 목표는 14번 목표로 ‘지속가능발전을 위하여 대양, 바다, 해양자원의 보전과 지속가능한 이용⁹⁾’이 그 내용이다. SDGs의 14번 목표 내용을 구체적으로 살펴보면 향후 발생할 것으로 예상되는 해양 오염에 대한 예방과 감소, MSY 수준까지의 수산자원의 회복, 자원에 대한 지속가능한 이용으로 개발도상국의 경제적 이익의 증대 등의 내용이 포함되어 있다(환경부, 2022b).

따라서 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감에 따라 나타나는 변화를 고등어 자원 및 대형선망어업의 이익의 측면에서 살펴보고 이를 통해 최적 생산 수준을 도출하고자 한다. 구체적으로 본 연구에서는 고등어 자원회복과 대형선망어업 경영체의 이익 증대가 나타나는 것을 최적 생산 수준으로 보고, 생물경제학적 분석을 통해 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량과 대형선망 경영체의 어업이익 변화를 살펴보았다.

생물경제학적 분석은 생물학적인 관점에서의 자원평가 모델, 어업인 관점에서의 어업활동 모델을 동시에 분석하는 것이다. 이를 통해 어업관리수단에 따른 자원량의 동태적 변화와 경제성과에 대한 동태적 변화 모두를 예측할

9) Goal 14. Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development

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).

이러한 점에서 본 연구는 온실가스 배출량 저감 및 고등어 자원관리를 위한 관리수단을 어획량 제한으로 설정하였다. 그리고 생물경제학적 분석을 통해 어획량 제한을 통해 나타나는 생물적 효과로 고등어 자원량의 변화, 경제적 효과로는 고등어 어획에 따른 대형선망어업의 이익 변화를 살펴보았다.

항해, 투망, 양망 등의 어획 활동에 직접적으로 활용되는 유류사용량에 따라 온실가스가 발생하므로, 본 연구에서는 추가적으로 어획량을 제한하게 될 경우 어획 활동이 축소됨에 따라 유류사용량이 감소하고 이에 따른 온실가스 배출량 저감 효과가 나타나는 것으로 가정하였다.

이를 바탕으로 온실가스 배출량 저감 수준을 현재 수준 대비 5%에서 30%까지 5% 단위로 저감하는 것으로 설정하여, 각 경우별 나타나는 자원량 및 어업이익의 변화를 살펴보았다.

이를 통해 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 및 최적 생산 수준에 대해 파악하고자 한다. 분석 기간은 현재 시점(t)을 기준으로 향후 30년 ($t+1 - t+30$)으로 설정하였다. 그리고 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에서 제시되어 있는 방안인 감척과 탄소 저감 장치 혹은 저탄소·무탄소 어선 교체 등에 따른 저감 효과를 고려한 분석도 추가적으로 실시하였다.

구체적으로 본 연구에서 설정한 감척 시나리오는 현재 선단 수인 19개를 기준으로, 2개의 선단이 감척되는 것을 단위로 하여 선단 수가 17개, 15개, 13개인 경우로 설정하여 분석을 실시하였다. 그리고 탄소 저감 장치 및 저탄소·무탄소 어선 교체 등에 따른 온실가스 배출량 저감율을 가정하여 분석을 실시하였다.

(1) 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화

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 어획능률 계수(q)에 따라 계산되는 어획사망계수(F , $F = qE$) 수준이 증가하게 되어 어업인은 어획량(H)을 얻게 되지만, 자원량(X) 측면에서는 식 (11)와 같이 어획량만큼 자원량이 감소하게 되는 것을 의미한다(한국해양수산개발원, 2005).

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

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

본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량의 변화를 예측하기 위해 BSS 모델을 활용한 자원평가 결과를 활용하여, 연도별 고등어 어획량에 대해 식 (10)을 적용하여 추정하였다. 이에 따른 고등어 자원량의 변화는 식 (1)을 통해 추정하였다.

구체적으로 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량의 변화를 예측하기 위해 ‘현 수준 유지’의 경우 식 (1)을 활용하여 각 연도별 자원량을 추정하고, 온실가스 배출량 제한에 따른 저감 수준별 어획량은 ‘현 수준 유지’의 경우에 추정된 어획량에 해당 저감 수준을 곱하여 계산하였다.

예를 들어, 온실가스 배출량을 $n\%$ 저감할 경우 ‘현 수준 유지’의 어획량에 ‘ $(100\%-n\%)$ ’를 곱하여 계산하였다. 이를 통해 각 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량 변화를 살펴보았다.

그리고 선단 수에 따른 감척 시나리오를 설정하여 향후 30년 간 시나리오별 고등어 자원량 변화를 추정하였다. 이때 연도별 고등어 어획량을 추정하는데 있어서는 식 (10)의 ‘ E ’에 대해서는 감척 수준을 고려하여 계산하였다. 구체적

으로 본 연구의 자원평가에서 활용한 어선톤수를 경영체당 어선톤수를 환산하고, 이를 감척 시나리오별로 적용하였다.

마지막으로, 탄소 저감 장치 및 저탄소·무탄소 어선으로의 교체 등 향후 온실가스 배출량 저감을 위해 고려되고 있는 방안의 효과를 예측하기 위해, 본 연구에서는 현재 수준 대비 온실가스 배출량의 저감율을 고려한 자원량 변화에 대해서도 분석하였다. 저감율은 50%, 30%, 10%로 가정하였다.

예를 들어 저감율을 50%로 설정한 경우, 기존에 온실가스 배출량을 5% 저감하기 위해서는 기존에는 5%의 어획량을 제한해야 하지만 저감율에 따라 2.5%의 어획량 제한만으로 목표치를 달성할 수 있음을 의미한다.

(2) 온실가스 배출량 저감에 따른 대형선망 경영성과 변화

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)와 같이 나타난다. 우선 기존의 어업이익(π)은 식 (12)과 같이 어획량(H)에 시장가격(p)을 곱한 것에 어업비용(C)을 제하여 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 어획량 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 비교를 실시한다(한국해양수산개발원, 2005).

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

이러한 측면에서 본 연구에서는 분석기간을 향후 30년으로 설정하고, 온실가스 배출량 저감 수준에 따라 변화하는 고등어 어획량 및 자원량에 따른 대형선망어업의 경영체당 어업이익 변화를 현재시점을 기준으로 살펴보았다. 구체적으로 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 수준별 향후 30년간 발생하는 대형선망어업의 고등어 어업이익을 현재시점(t)으로 환산하였다. 그리고 ‘현 수준 유지’ 경우의 어업이익을 기준으로 각 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 증감율을 통해 어업이익에 대한 비교를 실시하였다.

온실가스 배출량 저감 수준에 따른 향후 30년간의 대형선망어업의 경영체당 어업이익 변화를 현재 시점을 기준으로 살펴보기 위한 방법으로는 경제성 분석을 활용하였다. 향후 30년간의 어업이익을 현재가치로 환산하기 위한 방법으로는 순현재가치법(Net present value method)을 활용하였으며, 향후 30년간의 어업이익을 현재가치로 환산하기 위한 사회적 할인율은 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).

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

식 (10)을 활용하여 온실가스 배출량 저감을 고려한 향후 30년간 대형선망어업의 이익 변화를 현재가치화 하여 살펴보았으며, 감축 시나리오 및 온실가스 배출량 저감을 위해 고려되고 있는 방안이 적용됨에 따른 변화에 대해서도 분석하였다.

온실가스 배출량 저감 수준에 따른 대형선망어업의 고등어 어업수익(TR)은 해당 연도 어획량¹⁰⁾ 값에 최근 5개년(2016년-2020년) 중 적자 연도를 제외하고 나머지 3개년 평균 고등어 단가를 곱하여 계산하였다. 그리고 고등어 어획에 따른 어업비용(TC)은 흑자가 발생한 3개년 평균 고등어 경영체당 어업비용에 현재의 경영체 수인 19개를 곱하여 대형선망어업의 총 고등어 어업비용을 계산하였다.

어업수익과 어업비용을 통해 최종적으로는 대형선망어업의 총 고등어 어업이익을 도출하고, 이를 경영체 수로 나누어 대형선망어업의 경영체당 어업이익을 도출하였다. 감축 시나리오 상에서는 경영체 수의 변화를 고려하여 동일한 방법으로 총 어업비용을 산정하고 이에 따른 어업이익을 도출하였다.

온실가스 배출량 저감을 위한 방안을 적용한 경우에 대해서도 동일한 방법을 통해 어업이익을 산정하였다.

장치의 교체 혹은 어선의 신조를 위해서는 추가적인 비용이 소요되며, 이에 따른 효과로는 기존에 비해 연료 소비량이 줄게 되므로 연료 소비에 따른 비용 절감을 기대할 수 있다.

하지만 본 연구에서는 현재 온실가스 배출량 저감을 위한 방안에 대한 구체적인 비용, 내구연수 등에 대한 정보를 파악하기에는 어려운 실정이므로 추가로 요구되는 비용 수준과 연료 소비 절감에 따른 비용 절감 수준이 동일하다고 가정하고, 별도의 어업비용은 고려하지 않았다.

최종적으로는 경우별 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 현재 수준 대비 어업이익의 증가율을 살펴봄으로써 경제적 관점에서의 대형선망어업의 최적 생산 수준을 도출하였다.

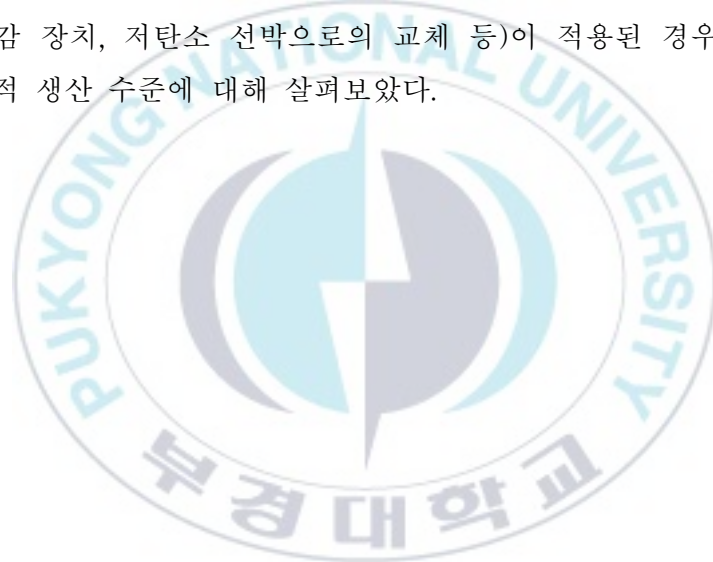
10) 본 연구에서는 고등어 자원평가에 연근해어업 고등어 총 어획량을 활용하였음. 따라서 대형선망어업의 경영체당 어업이익 도출을 위한 어획량 추정에는 추정된 총 어획량에 대형선망어업의 최근 5개년(2016년-2020년) 고등어 어획량 비중을 곱하여 활용하였음

(3) 온실가스 배출량 저감을 고려한 대형선망의 최적 생산 분석

(1), (2)의 분석 결과를 기반으로, 고등어 자원량 및 대형선망어업의 어업 이익의 관점을 동시에 고려하여 온실가스 배출량 저감을 고려한 최적 생산 수준을 도출하였다.

구체적으로 30년 후($t+30$) 고등어 자원량 수준과 향후 30년간의 경영체당 어업이익을 현재가치로 환산한 NPV 값을 현재의 수준이 유지되는 경우를 기준으로 비교하여 최적 생산 수준을 결정하였다.

추가적으로 감척이 시행된 경우, 온실가스 배출량 저감 방안(온실가스 배출량 저감 장치, 저탄소 선박으로의 교체 등)이 적용된 경우 등 각각의 경우별 최적 생산 수준에 대해 살펴보았다.



2) 분석 자료

온실가스 배출량 저감에 따른 생물경제적 변화를 고등어 자원량 변화와 대형 선망어업의 어업이익의 관점에서 살펴보았다. 이를 위해서는 크게 본 연구에서 수행한 고등어 자원평가 결과와 어업경영조사 자료 2가지가 필요하다.

구체적으로 고등어 자원량 변화를 살펴보기 위해서는 분석의 기준이 되는 t 시점의 자원량과 어획량이 필요하며 $t+1$ 시점부터 $t+30$ 시점까지의 자원량과 어획량을 추정하기 위한 어획능력계수(q)가 필요하다.

이러한 자료의 경우 본 연구에서 수행한 자원평가 분석을 통해 추정한 중앙값을 기반으로, 분석의 정확도를 높이기 위해 본 연구에서 추정한 자원량 및 어획능력계수의 중앙값에 최근의 경향 및 실제 어획량 변화를 고려하여 활용하였다.

생물경제학적 분석을 위한 기준이 되는 시점(t)의 자원량은 자원평가에 활용한 자료의 이상치 및 불확실성을 제거¹¹⁾하기 위해 BSS 모델을 통해 추정한 가장 마지막 연도의 자원량이 아니라 최근 3개년 자원량의 평균값을 활용하였다. 즉, t 시점의 자원량은 2020년 기준 자원량이 아니라 2018년부터 2020년까지의 추정된 자원량의 평균값을 활용하였다. 따라서 본 연구의 온실가스 배출량 저감을 고려한 생물경제학적 분석을 위한 기준 시점의 고등어 자원량은 624,709톤이다.

<표 V-12> t 시점 기준 고등어 자원량

(단위 : 톤)

구분	2018년	2019년	2020년	t 시점 (3개년 평균)
고등어 자원량	697,388	614,371	562,367	624,709

11) 자원평가 분석 자료인 어획량 이상치의 영향을 제거하기 위한. 분석 자료의 기간(1970년-2020년) 중 1996년의 연근해어업 고등어 총 어획량은 약 41만 톤으로 분석 기간 내 다른 연도 어획량과 확연한 차이가 나는 큰 값이므로 이러한 이상치의 영향을 고려하였음

그리고 $t+1$ 시점의 자원량을 추정하기 위한 t 시점의 어획량은 최근 2019년 및 2020년 어획량이 이전의 어획량 수준에 비해 매우 낮게 나타났기 때문에 t 시점의 어획량은 3개년(2016년-2018년) 평균 어획량으로 가정하였다.

어획량 추정에 활용하기 위해 필요한 'q'값은 본 연구에서 수행한 자원 평가로 추정된 값을 그대로 활용하기에는 다소 한계가 있다. 구체적으로 본 연구에서 추정된 'q'는 대형선망어업의 어획노력량만을 고려한 분석 결과를 의미한다.

하지만 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 전체 자원량의 변화를 파악하고자 하므로, $t+1$ 시점 이후의 고등어 자원량 추정을 위해서는 연근해어업 고등어 총 어획량을 고려하여 'q'에 대한 재계산이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 2021년 기준 연근해어업 고등어 총 어획량 자료(121,770톤)를 기준으로 'q'값을 재계산하여 생물경제학적 분석에 활용하였다.

대형선망 어업이익의 변화를 살펴보기 위해서는 연도별 대형선망어업의 어획량 자료, 고등어 단위 가격, 대형선망어업의 비용자료가 필요하다. 먼저 본 연구의 자원평가 결과를 기반으로 추정된 고등어 어획량의 경우 연근해어업 전체 어획량을 의미하므로, 연도별 대형선망어업의 어획량을 추정하기 위해서는 대형선망어업의 어획량 비중을 고려해야한다.

따라서 연도별 대형선망어업의 고등어 어획량을 추정하기 위해서는 각 연도별 추정된 연근해어업의 총 어획량에 대형선망어업의 어획량 비중을 고려하여 계산해야한다.

그러므로 본 연구에서는 연근해어업 총 고등어 어획량 대비 대형선망어업의 고등어 어획량 비중을 고려하였다. 구체적으로 최근 5개년(2016년 - 2020년)을 기준으로 연근해어업 총 고등어 어획량 대비 대형선망어업 고등어 어획량 비중의 평균값을 분석에 활용하였다. 즉, 분석에 활용한 최근 5개년 평균 대형선망어업의 고등어 어획량 비중은 88.2%이다.

이를 통해 $t+1$ 시점 이후 연도별 고등어 총 어획량을 추정하고, 대형선망어업의 어획량 비중을 곱하여 연도별 대형선망어업의 고등어 어획량을 추정하였다.

<표 V-13> 대형선망어업의 고등어 어획량 비중(2016년-2020년)

(단위 : 톤)

구분	연근해어업 고등어 어획량	대형선망어업 고등어 어획량	비중
2016년	133,200	127,089	95.4%
2017년	103,870	91,546	88.1%
2018년	141,530	120,067	84.8%
2019년	101,121	87,991	87.0%
2020년	77,603	66,444	85.6%

자료 : 통계청(2022a)

그리고 고등어 단위 가격 자료는 수산업협동조합중앙회의 어업경영조사 자료를 참고하여 고등어 생산금액과 생산량을 활용하였다. 구체적으로 고등어 단위 가격은 최근 5개년(2016년-2020년) 중 적자 연도를 제외하고 나머지 3개년의 대형선망어업 경영체의 고등어 생산금액에 고등어 생산량을 나누어 계산하였다. 최종적으로는 연도별 단위 가격의 평균값을 생물경제학적 분석에 활용하였으며, 이에 따른 고등어의 단위 가격은 1,616천 원/톤이다.

<표 V-14> 대형선망 고등어 단위 가격

(단위 : 톤, 천 원, 천 원/톤)

구분	2016년	2019년	2020년
생산량 (A)	5,476	5,050	3,920
생산금액 (B)	7,985,561	6,802,661	8,005,553
단위 가격 (B/A)	1,458	1,347	2,042

자료 : 통계청(2022b)

마지막으로 대형선망어업의 어업비용 자료의 경우에도 수산업협동조합 중앙회의 어업경영조사 자료를 참고하였으며, 고등어 평균 단위 가격을 도출하는데 활용한 동일한 시점의 경영체별 어업비용의 평균값을 활용하였다.

구체적으로 연도별 경영체당 어업비용에 고등어 원가배부율¹²⁾을 고려하여 대형선망어업의 고등어 어획에 따른 어업비용을 도출하고, 3개년 평균값(7,153,137천 원)을 도출하였다. 그리고 이에 대해 현재의 경영체 수인 19개를 곱하여 대형선망어업의 전체 고등어 어업비용을 산출하였다. 이에 따라 최종적으로 생물경제학적 분석에 활용하는 최근 3개년 대형선망어업의 전체 고등어 어업비용은 135,909,594천 원이다.

<표 V-15> 대형선망 고등어 어업비용

(단위 : 천 원)

구분	2016년	2019년	2020년
어업비용 (A)	13,588,138	12,104,196	11,406,308
고등어 원가배부율 (B)	57.6%	57.4%	65.2%
고등어 어업비용 (A×B)	7,827,777	6,681,775	5,961,879

자료 : 통계청(2022b)

추가적으로 본 연구에서는 생물경제학적 분석을 수행하는데 있어서 감척 시나리오를 고려하였다. 이에 따른 감척시나리오별 어업비용은 3개년 평균 대형선망 고등어 어업비용에 감척시나리오별 잔존 대형선망어업 경영체 수를 곱하여 활용하였다.

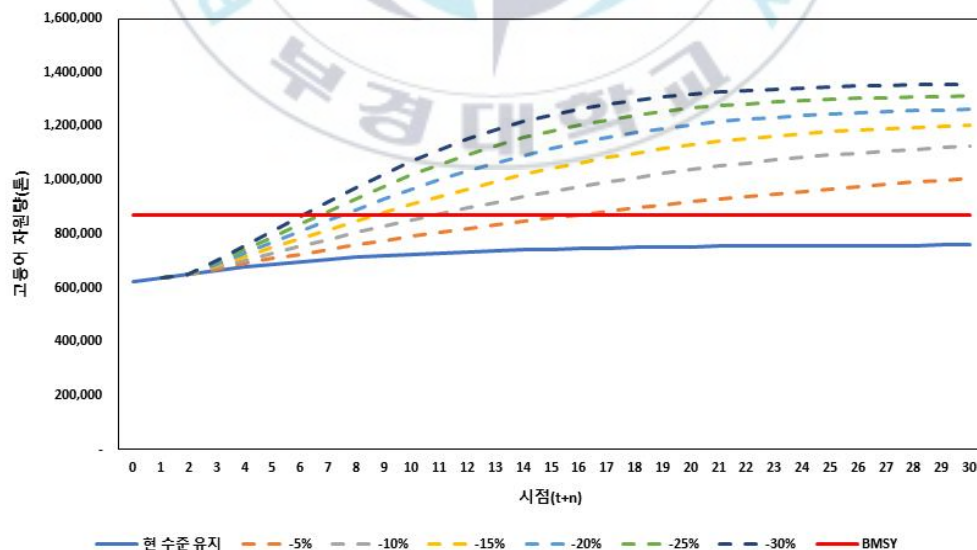
12) 대형선망 고등어 생산금액 ÷ 대형선망 총 생산금액

3. 분석 결과

1) 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화

BSS 모델의 분석 결과를 활용한 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량 변화 예측 결과를 살펴보면, 아래 [그림 V-5]과 같다.

현재의 온실가스 배출량 수준을 유지할 경우에도 자원량은 소폭 증가하는 것으로 나타났으나, 자원회복의 기준을 B_{MSY} (871,930톤)로 살펴 볼 경우 자원회복의 효과는 없는 것으로 나타났다. 구체적으로 $t+1$ 시점 기준 자원량은 634,764톤으로 추정되었으며 현재의 온실가스 배출량 수준을 유지할 경우, 30년 후($t+30$)의 자원량은 758,053톤으로 t 시점 대비 약 21.3%의 증가가 이루어지는 것으로 나타났다. 반면 온실가스 배출량을 5% 이상 저감하는 경우 고등어 자원량은 향후 B_{MSY} 수준을 넘어서는 것으로 나타났다. 예를 들어 온실가스 배출량의 10%를 저감하는 것으로 설정하면, 자원량이 지속적으로 증가하여 30년 후에는 t 시점 대비 80.2% 증가한 1,125,880톤으로 추정되었다.

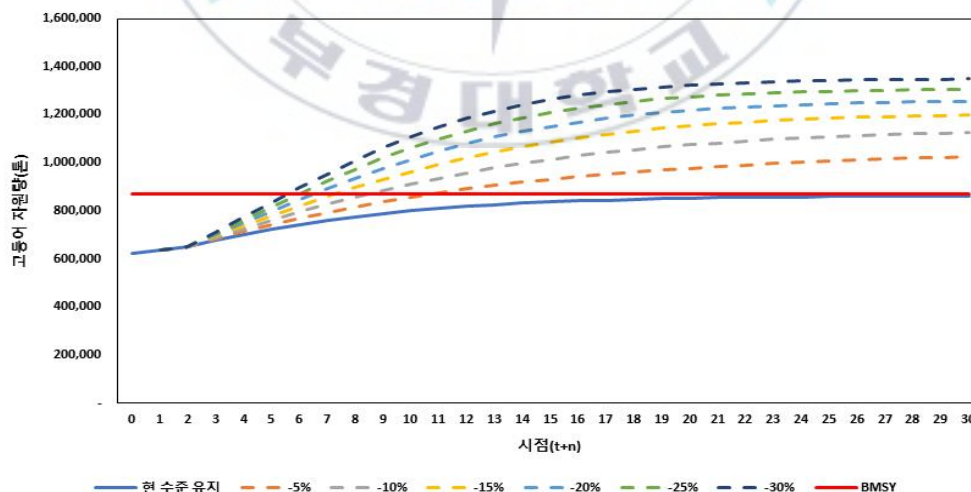


[그림 V-5] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화

그리고 B_{MSY} 기준으로 고등어 자원량 회복 효과를 살펴보면, 온실가스 배출량 저감 수준이 높아질수록 고등어 자원량의 회복 속도는 개선되는 것으로 나타났다. 구체적으로 각 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량 회복 효과를 알아보기 위해, 자원량이 B_{MSY} 를 넘어서는 시점을 살펴보았다. 현재 수준 대비 온실가스 배출량을 5% 저감하는 경우에는 17년 후($t+17$), 10% 저감하는 경우에는 11년 후($t+11$), 15% 저감하는 경우에는 9년 후($t+9$), 20% 저감하는 경우에는 8년 후($t+8$), 25% 저감 혹은 30% 저감하는 경우에는 7년 후($t+7$)에 고등어 자원량이 B_{MSY} 수준을 넘어서는 것으로 나타났다.

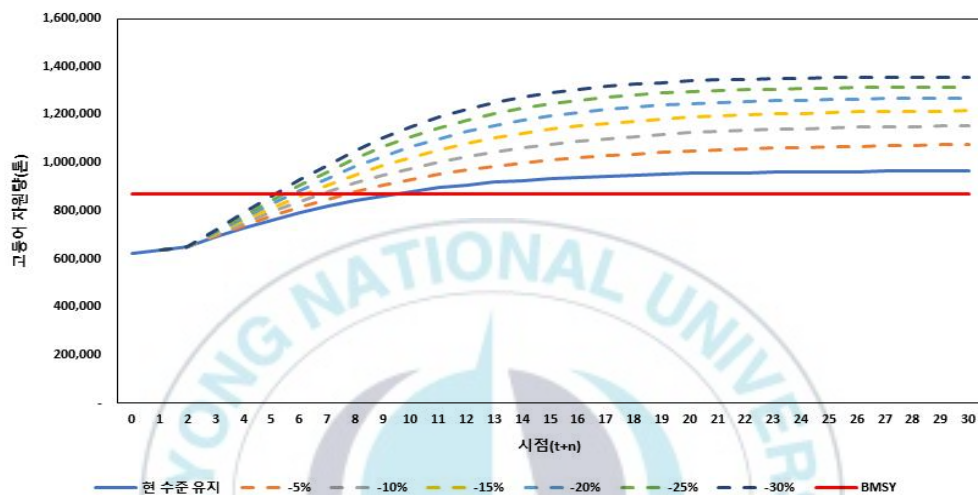
다음으로, 감축 시나리오(경영체 수 17개, 15개, 13개)에 따른 고등어 자원량 변화를 살펴보았다. 먼저, 2개 경영체에 대한 감축이 이루어졌다고 가정하였을 경우(17개 선단 기준)에는, 현재의 경영체 수가 유지되는 경우에 비해 전반적으로 자원량의 회복수준이 높아진 것을 알 수 있다.

예를 들어 온실가스 배출량을 10% 저감한 경우 19개 선단이 조업할 경우에는 11년 후($t+11$)에 고등어 자원량이 B_{MSY} 를 넘어서는 것으로 나타났으나, 17개 선단이 조업하는 경우에는 동일한 배출량 저감 수준에서 9년 후($t+9$)를 기점으로 고등어 자원량이 B_{MSY} 를 넘어서는 것으로 나타났다.

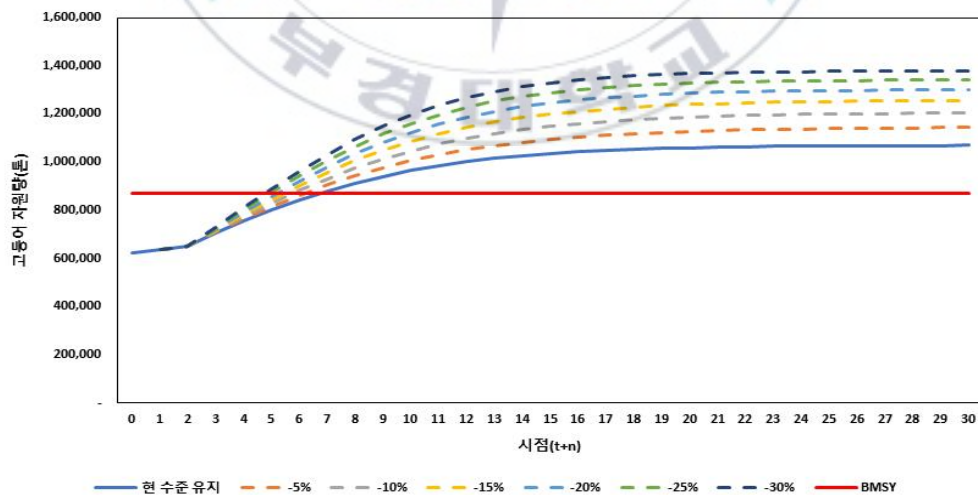


[그림 V-6] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화
(17개 선단 기준)

그리고 4개 경영체에 대한 감척(15개 선단 기준), 6개 경영체에 대한 감척(13개 선단 기준)이 이루어진 경우의 분석 결과를 통해 감척이 이루어짐에 따라서 현재의 경영체 수를 유지하는 것에 비해 고등어 자원량의 회복 속도가 더욱 개선되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 V-7] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화
(15개 선단 기준)



[그림 V-8] 온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화
(13개 선단 기준)

감척 시나리오에 따른 30년 후(t+30) 고등어 자원상태의 변화를 살펴보면 아래 <표 V-16>와 같다. 온실가스 배출량을 현재 수준으로 유지한다고 가정했을 때, 19개 선단이 지속적으로 어업을 이어나갈 경우에는 30년 후 고등어 자원량은 758,053톤이다.

하지만 향후 감척이 시행되는 상황에서 온실가스 배출량의 제한을 통한 온실가스 배출량 저감이 이루어지는 경우, 모든 경우에서 30년 후에는 고등어 자원량이 B_{MSY} 수준을 넘어서는 것으로 나타났다. 구체적으로 경영체 수가 19개인 경우 온실가스 배출량을 25% 저감할 경우 30년 후 고등어 자원량은 1,312,619톤으로 현 수준을 유지하는 경우에 비해 약 73.2% 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 경영체 수가 13개인 경우에 온실가스 배출량을 25% 저감하는 경우에는 30년 후의 고등어 자원량이 1,340,523톤으로 현 수준을 유지하는 경우에 비해 약 76.8% 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 대형선망어업에 대한 감척은 향후 온실가스 배출량 저감뿐만 아니라 고등어 자원회복의 측면에서도 긍정적인 효과로 작용될 것으로 보인다.

<표 V-16> 선단 수 및 온실가스 배출량 변화에 따른 30년 후 고등어 자원량 추정
(단위 : 톤, %)

선단 수	온실가스 배출량(현 수준 대비)					
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
19개	1,006,054 (+ 32.7%)	1,125,880 (+ 48.5%)	1,204,004 (+ 58.8%)	1,263,406 (+ 66.7%)	1,312,619 (+ 73.2%)	1,355,516 (+ 78.8%)
17개	1,026,512 (+ 35.4%)	1,126,415 (+ 48.6%)	1,198,577 (+ 58.1%)	1,256,242 (+ 65.7%)	1,305,221 (+ 72.2%)	1,348,461 (+ 77.9%)
15개	1,075,107 (+ 41.8%)	1,153,984 (+ 52.2%)	1,216,387 (+ 60.5%)	1,268,851 (+ 67.4%)	1,314,745 (+ 73.4%)	1,355,987 (+ 78.9%)
13개	1,143,403 (+ 50.8%)	1,203,550 (+ 58.8%)	1,254,770 (+ 65.5%)	1,299,869 (+ 71.5%)	1,340,523 (+ 76.8%)	1,377,802 (+ 81.8%)

※ 현재 수준 유지 시 고등어 자원량(t+30) : 758,053톤

감척과 온실가스 배출량 저감이 이루어짐에 따라서 고등어 자원 회복 속도는 더 개선되므로 향후 고등어 자원량 회복 목표를 B_{MSY} 수준으로 설정할 경우 자원관리의 측면과 온실가스 배출량 저감의 측면에서 어획량 제한은 반드시 필요하며 이에 대한 효과를 증대하기 위해서는 감척이 필요할 것으로 보인다.

다음으로는 온실가스 배출량 저감을 위한 추가 수단으로, 탄소 저감 장치 및 저탄소 어선으로의 교체 시 나타나는 효과에 대해 분석하였다. 분석은 저감 장치 및 저탄소 어선으로의 교체 등에 따른 온실가스 배출량의 저감율에 따라 실시하였으며, 현재의 경영체 수(19개 선단)를 기준으로 저감율의 수준은 현재 수준 대비 50%, 70%, 90%로 살펴보았다.

저감율 및 현재 대비 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량의 변화를 30년 후 시점을 기준으로 살펴보면 아래 <표 V-17>와 같다. 온실가스 배출량 저감율의 적용에 따라 어획량 단위당 온실가스 배출량 수준은 감소하게 될 것이므로, 대형선망어업의 경우 이전에 비해 더 많은 어획량의 달성이 가능하게 된다. 하지만 고등어 자원량의 관점에서 보았을 때 어획량의 증대는 자원량의 감소로 이어지게 되므로, 온실가스 배출량 저감율의 수준이 높아질수록 고등어 자원량은 현 수준에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

<표 V-17> 온실가스 배출량 저감율에 따른 30년 후 고등어 자원량 추정
(단위 : 톤)

저감율	온실가스 배출량(현 수준 대비)					
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
현 수준 유지	1,006,054	1,125,880	1,204,004	1,263,406	1,312,619	1,355,516
50%	910,259	1,006,054	1,073,856	1,125,880	1,168,164	1,204,004
70%	858,777	932,637	989,706	1,035,645	1,073,856	1,106,494
90%	795,533	828,883	858,777	885,758	910,259	932,637

※ 고등어 B_{MSY} : 871,930톤

그리고 고등어 자원회복의 기준을 B_{MSY} 로 살펴보면, 일부 경우를 제외하고 전반적으로 온실가스 배출량 저감을 시행하고 30년 뒤의 시점을 기준으로 고등어 자원량은 회복될 것으로 예측할 수 있다. 따라서 저감율이 70%인 경우에는 온실가스 배출량 저감 수준을 10% 이상, 저감율이 90% 경우에는 20% 이상으로 온실가스 저감 수준을 설정해야 고등어 자원회복 효과가 나타날 것으로 보인다.

2) 온실가스 배출량 저감에 따른 대형선망 경영성과 변화

온실가스 배출량 저감 수준에 따른 대형선망 경영체당 경영성과 변화를 알아보기 위해, 온실가스 배출량 저감을 실시하고 향후 30년간 나타나는 어업이익 변화를 현재가치로 환산하여 각 경우별로 비교하였다.

분석 결과 현재의 온실가스 배출량 수준을 유지할 경우, 향후 30년간의 경영체당 어업이익(NPV)은 50,482,687천 원으로 나타났다. 그리고 온실가스 배출량을 5% 저감하는 경우의 어업이익은 43,003,850천 원, 10% 저감 시 35,525,013천 원 등으로 온실가스 배출량을 저감함에 따른 어업이익은 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

앞서 살펴본바와 같이 온실가스 배출량 저감 수준을 증대시킴에 따라 고등어 자원은 회복되는 것으로 나타났으나, 어업이익의 측면에서 살펴보면 대형선망 어업이익의 감소가 이루어져 지속적인 어업경영에 부정적인 영향이 있을 것으로 보인다.

따라서 현재의 어업 및 비용 구조에서 온실가스 배출량을 저감하는데 있어서는 어업이익의 감소가 발생할 것으로 예상되므로 대형선망 경영체의 최적 생산 수준 달성이 불가능한 것으로 나타났다.

따라서 감척 및 탄소 저감 장치 혹은 저탄소 선박으로의 교체 등과 같은 방안의 적용이 반드시 필요할 것으로 보인다.

<표 V-18> 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 대형선망 경영체당
어업이익 변화

(단위 : 천 원)

온실가스 배출량	NPV	
	어업이익	현 수준 대비 증감율
현 수준 유지	50,482,687	-
-5.0%	43,003,850	- 14.8%
-10.0%	35,525,013	- 29.6%
-15.0%	28,046,176	- 44.4%
-20.0%	20,567,339	- 59.3%
-25.0%	13,088,502	- 74.1%
-30.0%	5,609,665	- 88.9%

다음으로, 감척 시나리오에 따른 온실가스 배출량 저감 수준별 향후 30년간의 대형선망 경영체당 어업이익 변화를 살펴보았다. 그리고 감척 및 온실가스 배출량 저감 수준별 어업이익의 변화를 현재 수준이 유지되는 경우의 어업이익¹³⁾과 비교하였다.

향후 2개 선단에 대한 감척이 이루어지고(17개 선단 기준), 온실가스 배출량을 5% 저감할 경우의 어업이익은 58,849,312천 원으로, 현재 수준에 비해 어업이익이 약 16.6% 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 온실가스 배출량 저감 수준을 15% 이상으로 설정하는 경우에는 현재 수준에 비해 어업이익은 낮아지는 것으로 나타났다. 따라서 2개 선단에 대한 감척이 이루어지는 경우 최적 생산 수준은 온실가스 배출량을 최대 10% 저감하는 수준까지 가능하다.

그리고 4개 선단의 감척이 이루어지는 경우(15개 선단 기준), 온실가스 배출량을 5% 저감하게 되면 어업이익은 75,706,767천 원으로 현재 수준에 비해 어업이익이 약 50.0% 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 온실가스 배출량 수준을 20% 이상 저감하는 경우에는 현재 수준에 비해 어업이익이 약 3.3%

13) 현재의 경영체 수(19개) 및 온실가스 배출량 수준이 유지되는 경우 : 50,482,687천 원

감소하는 것으로 나타났다. 따라서 4개 선단의 감척이 이루어지는 경우에서의 최적 생산 수준은 온실가스 배출량을 15% 저감하는 수준까지 가능한 것으로 나타났다.

마지막으로 6개의 선단에 대한 감척이 이루어지는 경우(13개 선단 기준), 온실가스 배출량 저감 수준별 어업이익은 모두 현재의 수준에 비해 높아지는 것으로 나타났다.

이렇듯 감척이 이루어짐에 따른 대형선망 경영체, 즉 선단 단위의 어업 이익은 일부 경우를 제외하고 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 온실가스 배출량 저감을 위해서는 어업이익의 측면에서 살펴보더라도 감척은 긍정적인 효과로 작용될 것으로 보인다.

<표 V-19> 선단 수 및 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 경영체당 어업이익
(단위 : 천 원)

선단 수	온실가스 배출량(현 수준 대비)					
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
17개	58,849,312 (+ 16.6%)	50,644,383 (+ 0.3%)	42,439,454 (- 15.9%)	34,234,525 (- 32.2%)	26,029,597 (- 48.4%)	17,824,668 (- 64.7%)
15개	75,706,767 (+ 50.0%)	66,751,251 (+ 32.2%)	57,795,736 (+ 14.5%)	48,840,220 (- 3.3%)	39,884,705 (- 21.0%)	30,929,189 (- 38.7%)
13개	93,760,953 (+ 85.7%)	84,033,911 (+ 66.5%)	74,306,868 (+ 47.2%)	64,579,825 (+ 27.9%)	54,852,783 (+ 8.7%)	45,125,740 (- 10.6%)

※ 현재 수준 유지시 어업이익 : 50,482,687천 원

추가적으로 탄소 저감 장치 혹은 저탄소 어선으로의 교체 후 온실가스 배출량 저감 수준별 어업이익의 변화에 대해서도 분석하였다. 분석 결과 저감율이 높아짐에 따라 기존에 온실가스 배출량 저감을 위해 제한하는 어획량 보다 더 많은 어획을 할 수 있지만, 여전히 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 어업이익은 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 향후 온실가스 배출량

저감을 위해서는 어업이익의 관점에서 보았을 때, 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체만으로는 개별 경영체가 현재의 어업이익 수준을 달성하기에는 한계가 있는 것으로 나타났다.

반면, 향후 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따라 연간 어업비용이 절감되게 된다면 현재 수준을 유지하는 것에 비해 어업이익이 높아질 가능성이 있다. 예를 들어 Nguyen et al. (2021)에 따르면 베트남의 선망어업에서 집어등 교체(MH → LED)로 기존에 비해 전기 사용량이 줄어들어 연료 사용량이 약 37.9% 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 연료 사용량의 감소는 유류비 절감으로 이어지게 될 것이다.

이러한 점에서 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따라 유류사용량이 감소하여 연간 어업비용이 일정 수준 감소하는 것으로 가정하였다. 현재 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따른 소요 비용 혹은 유류사용량 절감 등 경제적 효과에 대한 연구는 이루어지지 않았으므로 최근에 이루어진 관련 선행연구와 대형선망어업의 비용 구조를 고려하여 어업비용 감소 수준을 가정하였다.

최근 대형선망어업 경영체의 어업비용을 살펴보면 연료비가 약 30%대 수준을 차지하고 있으므로 Nguyen et al. (2021)의 연료 사용량 절감 효과를 함께 고려하여, 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따라 연간 어업비용이 10% 감소하는 것으로 가정하였다.

온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체 효과로 온실가스 배출량 저감율이 50%인 경우에 연간 어업비용이 10% 감소하는 것으로 가정한 분석 결과 아래 <표 V-20>와 같이 온실가스 배출량 저감 수준을 최대 15%까지 설정하여도 어업이익은 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 증가하는 것으로 나타났다.

이를 통해 향후 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체를 통한 연료비 절감 등에 따른 연간 어업비용의 감소가 가능하다면, 최적 생산 수준은 어업이익의 관점에서 최대 15%까지 설정이 가능할 것으로 보인다.

<표 V-20> 저감율 50% 적용 시 어업비용 차이에 따른 경영체당 어업이익
(단위 : 천 원)

구분	온실가스 배출량(현 수준 대비)					
	-5%	-10%	-15%	-20%	-25%	-30%
어업비용 유지	46,743,268 (- 7.4%)	43,003,850 (- 14.8%)	39,264,431 (- 22.2%)	35,525,013 (- 29.6%)	31,785,594 (- 37.0%)	28,046,176 (- 44.4%)
어업비용 10% 절감	58,394,933 (+ 15.7%)	54,655,514 (+ 8.3%)	50,916,096 (+ 0.9%)	47,176,677 (- 6.5%)	43,437,259 (- 14.0%)	39,697,840 (- 21.4%)

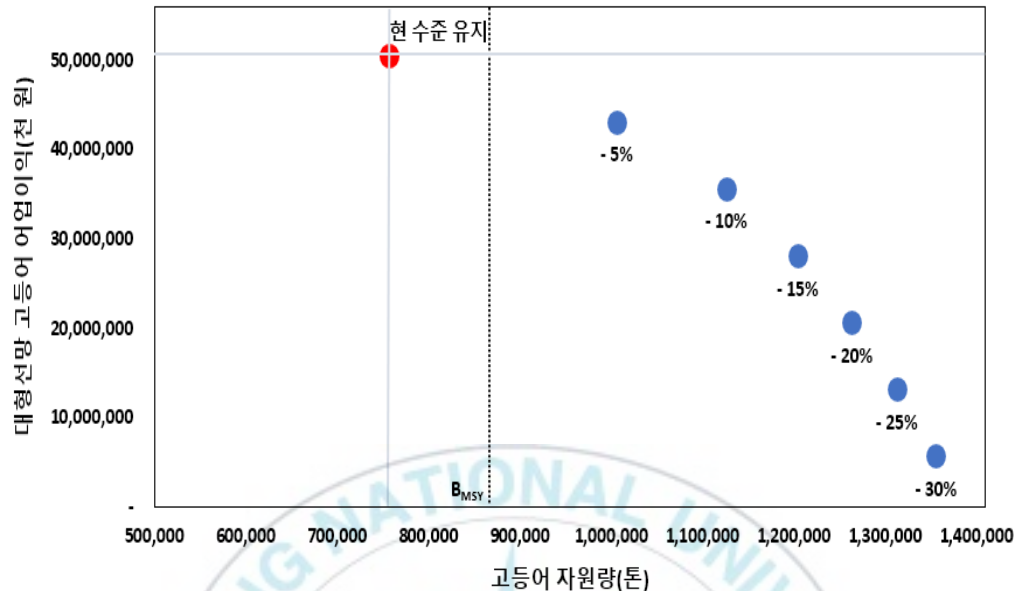
※ 현재 수준 유지 시 어업이익 : 50,482,687천 원

3) 온실가스 배출량 저감을 고려한 대형선망의 최적 생산 분석

온실가스 배출량 저감에 따른 고등어 자원량 변화와 대형선망의 고등어 어업이익의 변화를 생물경제학적 분석을 통해 살펴보았다. 본 연구에서는 고등어 자원량 및 대형선망의 어업이익 두 가지를 동시에 고려하여 향후 대형선망 어업의 최적 생산 수준을 살펴보았다.

현재의 대형선망 어업 구조(경영체 수 19개)에서 개별 경영체가 온실가스 배출량 수준을 유지할 경우 30년 후 시점의 기준 고등어 자원량은 758,053톤, 향후 30년간의 경영체당 어업이익은 50,482,687천 원이다. 여기서 온실가스 배출량을 저감할 경우 고등어 자원량은 어획량 감소에 따른 영향으로 B_{MSY} 수준 이상으로 증가하는 것으로 나타났다. 하지만 어업이익의 경우 온실가스 배출량을 저감할 경우, 어획량 감소에 따라 어업이익이 현재 수준에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 현재의 대형선망 어업 구조에서 온실가스 배출량을 저감하는 것은 최적 생산 달성에 한계가 있으며, 이에 따른 어업이익의 감소가 예상된다.

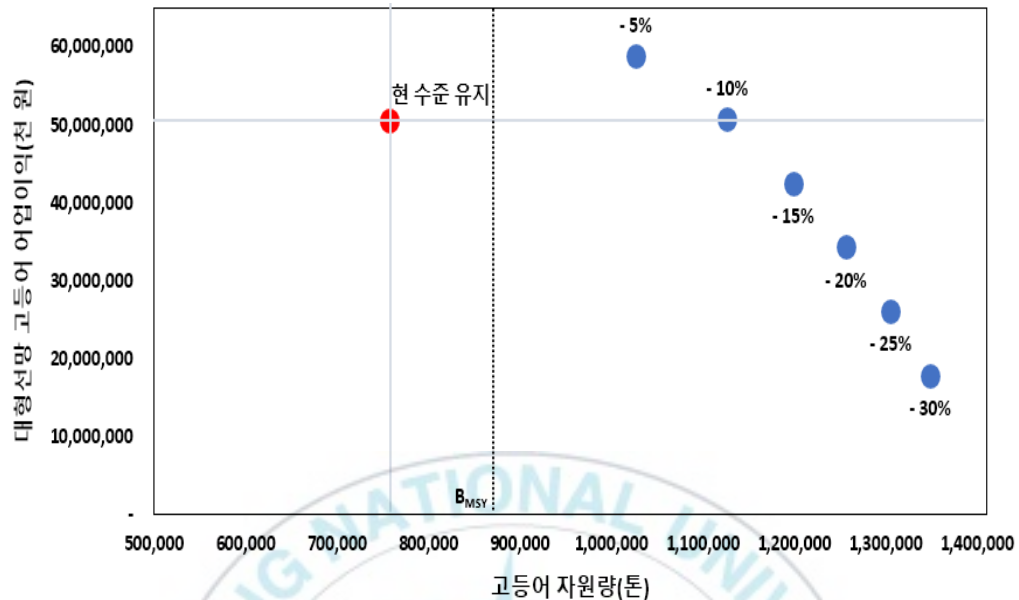


[그림 V-9] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익 변화

따라서 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감을 위해 추가적인 방안의 적용이 필요하다고 판단하였다. 추가적인 방안으로는 감척과 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체의 경우를 고려하였다.

먼저, 감척시나리오별 결과를 살펴보면, 2개 선단에 대한 감척이 이루어진 경우(17개 선단 기준) 온실가스 배출량을 저감함에 따라서 고등어 자원량은 B_{MSY} 수준 이상으로 증가하였다. 하지만 어업이익의 경우 온실가스 배출량을 15% 이상 저감할 경우 19개 선단이 현재의 온실가스 배출량 수준을 유지하는 경우에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

따라서 2개 선단에 대한 감척이 이루어질 경우에는 온실가스 배출량을 10%까지 저감하여도 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 높은 고등어 자원량과 어업이익을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 그러므로 2개 선단에 대한 감척이 이루어지는 경우 대형선망어업의 최적 생산 수준은 온실가스 배출량을 최대 10% 저감하는 수준까지 설정 가능한 것으로 나타났다.

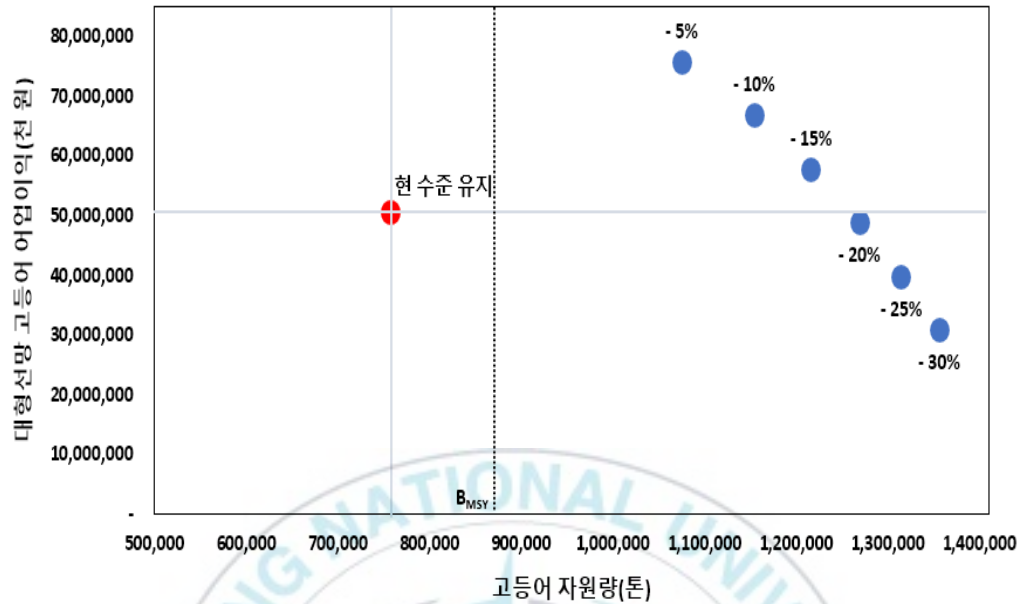


[그림 V-10] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익 변화
(17개 선단 기준)

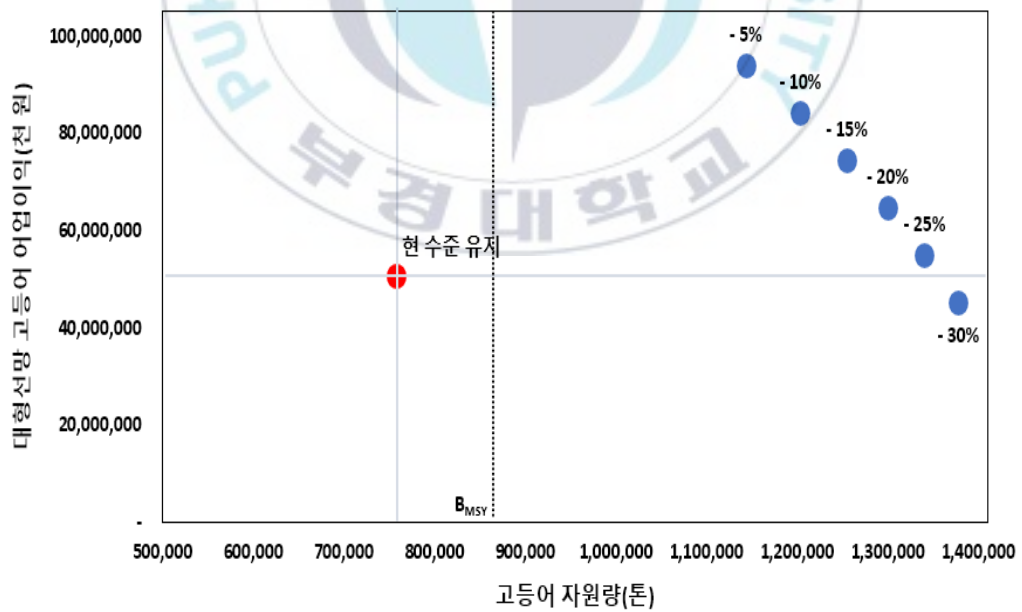
다음으로 4개, 6개 선단에 대해 감척이 이루어진 경우의 분석 결과를 살펴 보았다. 이를 통해 감척이 진행된 이후 온실가스 배출량에 대한 저감이 이루어 지게 되는 경우 고등어 자원량은 추가적인 증가가 나타났다.

그리고 어업이익의 경우 4개의 선단에 대해 감척이 이루어진 경우 최대 15%까지 온실가스 배출량을 저감하여도 현재 수준에 비해 자원량 및 어업 이익이 높은 것으로 나타났다. 6개 선단에 대해 감척이 이루어진 경우에는 최대 25%까지 온실가스 배출량을 저감하여도 현재 수준에 비해 어업이익이 높게 나타났다.

이러한 점에서 대형선망어업의 최적 생산 수준은 감척이 이루어짐에 따라 온실가스 배출량 저감 수준에 대한 선택의 폭이 넓어지며, 온실가스 배출량 저감을 고려하더라도 최적 생산 수준 달성이 가능한 것으로 나타났다.



[그림 V-11] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(15개 선단 기준)

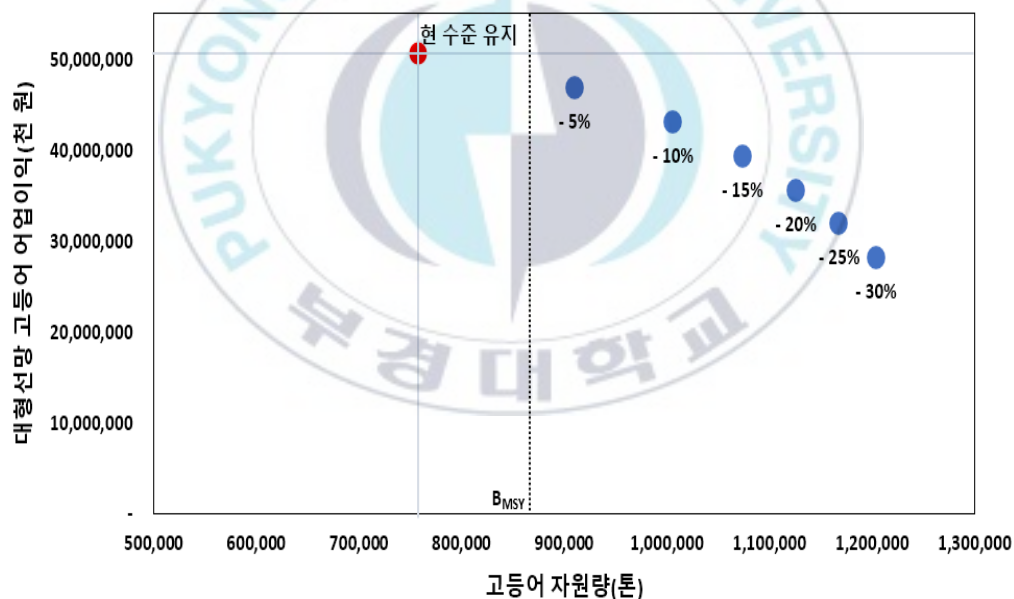


[그림 V-12] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(13개 선단 기준)

다음으로 추가적인 방안으로 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따른 온실가스 배출량 저감 기술의 효과에 따른 고등어 자원량 및 대형 선망 경영체당 어업이익의 변화를 살펴보았다.

현재의 경영체 수가 유지되는 상황에서, 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따른 어획량 당 온실가스 배출량 저감율이 50%인 경우에 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 30년 후 시점 기준 고등어 자원량은 모든 경우에서 B_{MSY} 수준 이상으로 증가하는 것으로 나타났다.

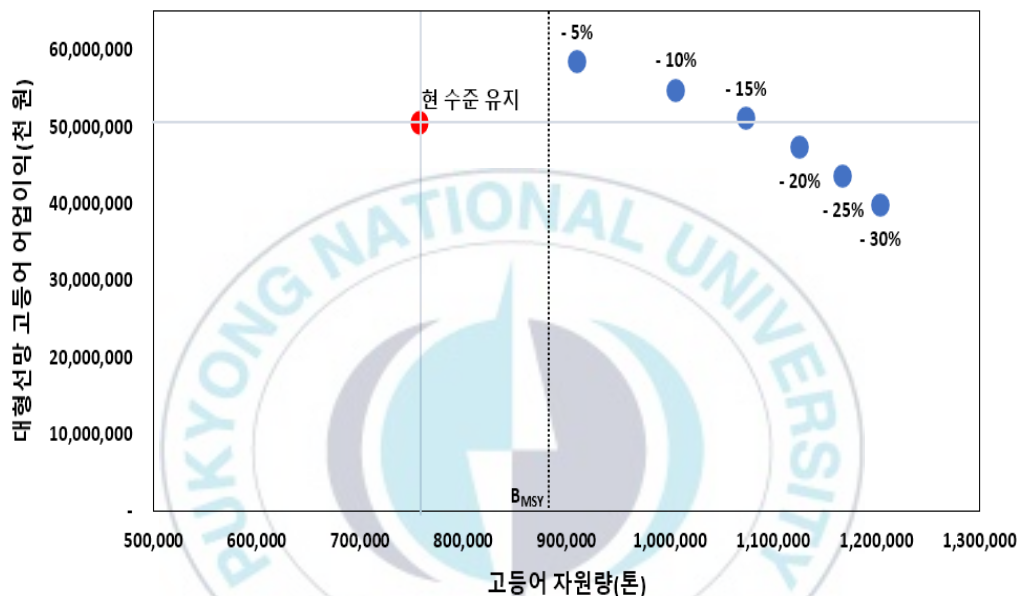
하지만 어업이익의 경우 모든 경우에서 현재 온실가스 배출량 수준을 유지하는 것에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이러한 점에서 향후 온실가스 배출량 저감을 위한 추가적인 방안으로 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체만으로는 최적 생산 수준 달성이 불가능할 것으로 보인다.



[그림 V-13] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(19개 선단 기준, 저감율 50%)

저감율이 50%인 경우에 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체에 따른 효과 중 하나로 연간 어업비용의 절감이 약 10% 수준으로 이루어진다면 최적 생산 수준의 달성이 가능할 것으로 보인다.

구체적으로 아래 [그림 V-14]을 살펴보면, 고등어 자원량의 경우 온실가스 배출량 저감 수준에 따라 B_{MSY} 수준 이상 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 어업이익의 경우 연간 어업비용의 절감에 따라 이익 수준이 증대되어, 최대 15%까지 온실가스 배출량을 저감하더라도 현재 수준에 비해 높은 어업이익을 달성할 수 있을 것으로 나타났다.



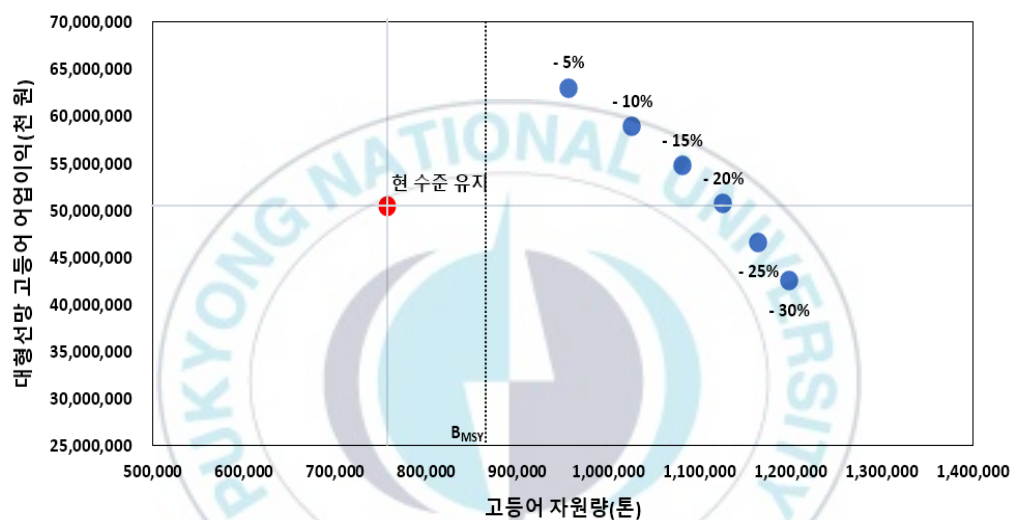
[그림 V-14] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(19개 선단 기준, 저감율 50%, 어업비용 10% 절감)

이러한 점에서 온실가스 배출량 저감 장치 등을 활용할 때 연간 어업비용의 절감이 이루어지지 않는다면, 현재의 어업 구조에서 어업이익의 증대 및 최적 생산 수준 달성은 한계가 있다. 따라서 최적 생산 수준을 달성하기 위해서는 저탄소 선박으로의 교체 혹은 탄소 저감 장치에 따른 효과로 유류 사용량 저감 등으로 나타나는 연간 어업비용에 대한 절감이 반드시 이루어질 필요가 있을 것으로 보인다.

그러므로 만약 어업비용 절감 효과가 없는 경우, 현재의 어업 구조에서는 효과적인 온실가스 배출량 저감을 위해 탄소 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체와 감척이 함께 이루어져야 할 것으로 보인다.

이를 살펴보기 위해 2개의 선단에 대한 감척이 이루어진 상황(17개 선단)에서 온실가스 배출량 저감 장치 등 통한 저감율을 적용한 향후 30년간의 고등어 자원량 및 어업이익 변화를 살펴보았다.

먼저 2개 선단에 대한 감척이 이루어진 후 저감율 50%가 적용되는 경우, 현재 수준이 유지되는 경우에 비해 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 고등어 자원량과 어업이익 수준 모두 증가하는 것으로 나타났다.

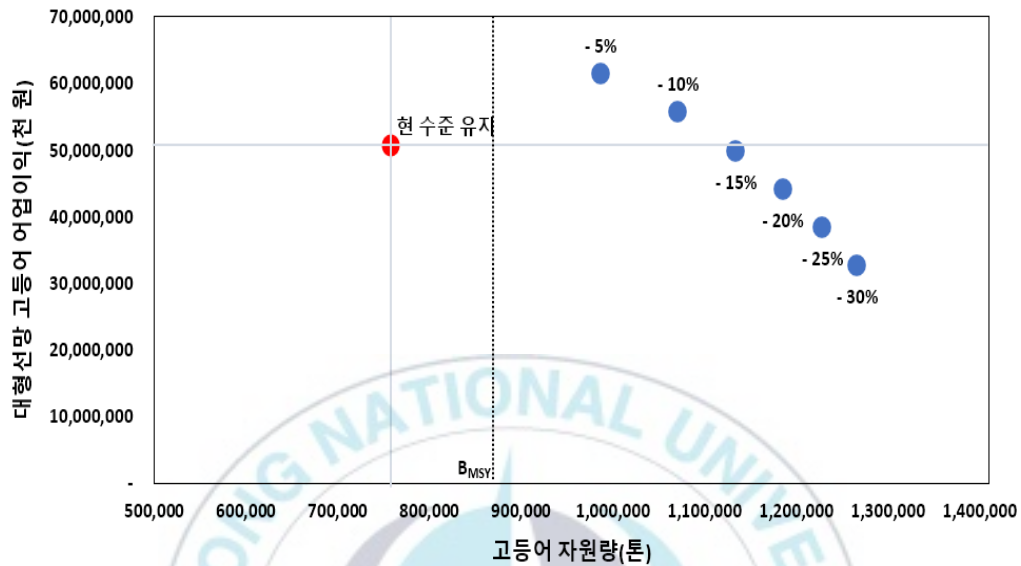


[그림 V-15] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(17개 선단 기준, 저감율 50%)

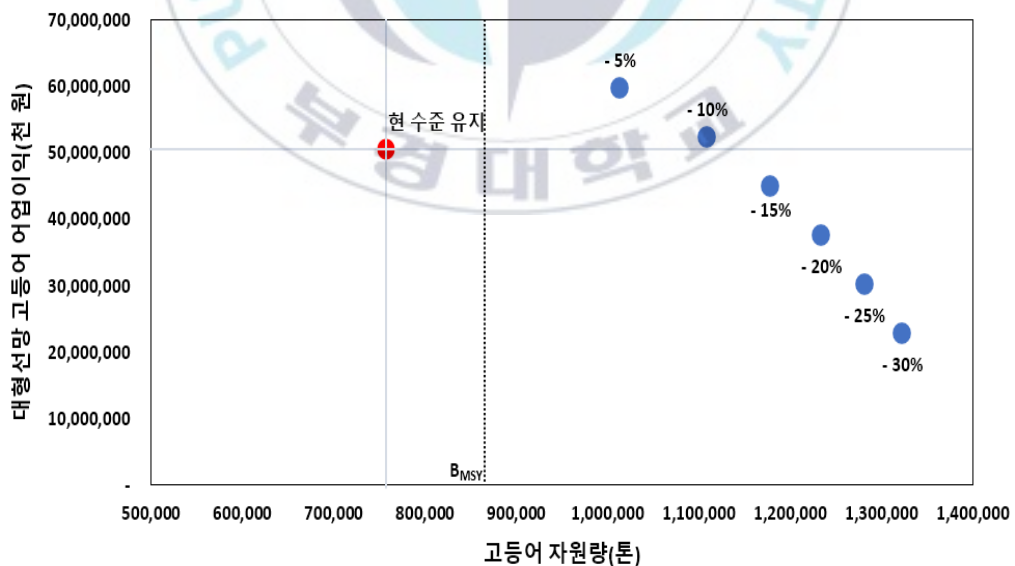
특히 어업이익의 경우에는 온실가스 배출량을 25% 이상 저감하는 경우를 제외하고는 모든 경우에서 현재 수준에 비해 어업이익이 높은 것으로 나타났다. 따라서 감척과 저감 장치 등의 효과가 동시에 적용될 경우의 최적 생산 수준은 온실가스 배출량 저감 수준을 최대 20% 수준까지 설정할 수 있는 것으로 나타났다.

그리고 2개 선단을 감척한 경우에는 저감율 수준이 30%, 10%로 낮아지더라도 최적 생산 수준의 달성이 가능한 것으로 나타났다. 구체적으로 저감율 수준이 30% 혹은 10%인 경우에는 자원량과 어업이익의 관점에서 최적 생산 수준은

온실가스 배출량을 최대 10%까지 저감하여도 달성 가능한 것으로 나타났다.



[그림 V-16] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(17개 선단 기준, 저감율 30%)



[그림 V-17] 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 어업이익 및 자원량 변화(17개 선단 기준, 저감율 10%)

VI. 결론 및 요약

본 장에서는 본 연구의 내용을 요약하고 각 분석 결과를 기반으로 한 결론으로 향후 필요한 정책의 방향성을 제시하였다. 그리고 본 연구를 통한 기대효과와 연구의 한계점에 대해 서술하였다.

본 연구는 온실가스 배출량 저감 수준을 파악하기 위해 근해어업 중 유류 사용량 및 생산량의 가장 많은 비중을 차지하는 대형선망어업을 대상으로 최적 생산 수준을 분석하였다. 최적 생산 수준을 분석하기 위해 온실가스 배출량 추정 결과와 주요 어획 종인 고등어에 대한 자원평가 결과를 기반으로 생물경제모델을 구축하였고, 이를 통해 온실가스 배출량 저감 수준에 따라 변화하는 자원량과 어업이익의 변화를 분석하였다.

구체적으로 유류사용량 자료 등을 활용하여 대형선망어업의 어획 활동에 따라 발생하는 온실가스 배출량을 추정하였다. 그리고 보다 신뢰할 수 있는 고등어 자원평가 결과를 제시하기 위해 분석 자료의 종류에 따른 결과를 비교하였으며, 최종적으로 선정한 자원평가 결과를 선행연구와 비교하였다.

마지막으로 온실가스 배출량 추정 결과 및 고등어 자원평가 결과와 경영 현황 자료를 기반으로 생물경제모델을 구축하였으며, 최종적으로 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 최적 생산 수준을 도출하였다. 최적 생산 수준을 도출하는데 있어서 분석기간은 t 시점을 기준으로 향후 30년($t+30$)까지 설정하였다.

최적 생산 수준은 현재의 온실가스 배출량 수준을 유지하는 경우에 비해 고등어 자원량 및 어업이익이 증가하는 경우를 의미한다. 이러한 최적 생산 수준을 파악하기 위해 온실가스 배출량 저감을 위한 생산량 제한에 따라 나타나는 향후 30년간의 고등어 자원량과 어업이익의 변화를 살펴보았다.

생물경제학적 분석 결과 현재의 어업 구조에서는 온실가스 배출량 저감에 따른 최적 생산이 불가능한 것을 확인하였다. 따라서 추가적인 방안으로 해양수산 2050 탄소중립 로드맵에서 계획하고 있는 감척 등을 시행함에 따라 나타나는 생물경제적 효과에 대한 분석을 실시하였다.

1) 고등어 자원량 및 어업이익 증대를 위한 자원관리방안의 강화

BSS 모델을 활용한 고등어 자원평가 결과는 최근의 선행연구 결과와 비교·검토한 결과 대부분 유사한 것으로 나타났다.

구체적으로 분석 결과에 따르면 고등어 자원량은 최근 지속적으로 감소하고 있는 것으로 나타났으며, 특히 B_{MSY} 보다 낮은 수준에서 자원량이 감소하는 추세로 나타났다. 이에 따른 최근 3개년 평균 고등어 자원량은 B_{MSY} 대비 약 0.72 수준으로 나타났다. 이를 기준으로 고등어 자원상태를 평가하면, 현재 우리나라 고등어 자원량은 남획(Overfished)된 상태라고 할 수 있다.

이러한 자원평가 결과를 최근에 수행한 고등어 자원평가 결과와 비교해보면, 자원량 감소 추세는 정유리(2019), Liang et al. (2020), 홍재범·김도훈(2021)에서도 공통적으로 확인할 수 있었다. 그리고 B_{MSY} 대비 자원량 수준에 대해서는 박운선·권오상(2019), Liang et al. (2020) 및 홍재범·김도훈(2021)에서도 본 연구와 동일하게 최근의 자원량 수준이 B_{MSY} 에 비해 낮은 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시한 고등어 자원량 변동 추세를 살펴보면 1990년대 중반 이후 2010년대 초반까지는 고등어 자원량이 소폭 증가하는 추세를 보이고 있다. TAC 제도가 1999년부터 시행된 것을 감안하면 수산자원관리방안의 효과가 일부 나타난 것으로 해석할 수 있다. 하지만 최근 TAC 소진율은 감소하는 것으로 나타났으며, 고등어 자원량 또한 감소하는 추세로 나타났기 때문에 이러한 측면에서 향후 수산자원관리방안의 추가 적용 및 강화가 필요할 것으로 보인다.

TAC 소진율뿐만 아니라 최근 고등어 TAC 할당량도 감소하고 있으며, 이를 본 연구에서 제시하는 자원평가 결과와 함께 고려해 보았을 때, 현재 고등어 자원량은 B_{MSY} 보다 낮은 수준이므로 MSY 및 특히 TAC 할당량 수준만큼의 어획도 불가능한 것으로 보인다. 그러므로 향후 고등어 어획량 증대를 위해서는 추가적인 어획량 제한 등의 자원관리 방안을 통한 자원회복을 목표로 하는 것이 시급한 것으로 판단된다.

구체적으로 ‘2021년 7월-2022년 6월’ 기준으로 설정된 고등어 TAC 할당량은 101,715톤으로 본 연구에서 추정된 MSY(148,166톤)에 비해 낮은 것으로 나타났다. 이와 더불어 최근 고등어 TAC 소진율이 2019년에는 65%, 2020년 기준 59%로 낮게 나타나는 것을 통해 현재 우리나라 고등어 자원회복의 필요성을 확인하였다.

그리고 본 연구에서 제시한 생물경제학적 분석 결과로 온실가스 배출량 저감을 위한 어획량 제한을 통해 변화하는 고등어 자원량은 향후 증가하는 것으로 나타났으므로, 수산자원관리 및 온실가스 배출량 저감의 측면에서도 추가적인 어획량 제한은 반드시 필요할 것으로 보인다.

어획량 제한이 이루어지게 될 경우 고등어 자원량은 향후 회복되는 것으로 나타났으며, 어업이익의 측면에서 살펴보다라도 일정 수준에서는 현재 수준에 비해 높은 이익 수준을 달성할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 향후 추가적인 어획량 제한의 가능성을 확인할 수 있었으며, 추가적인 어획량 제한 방법으로는 우선적으로 TAC 할당량 수준을 이전에 비해 점진적으로 줄여나가는 방안에 대해서 고려해볼 필요가 있다.

어획사망률에 대한 자원평가 결과를 살펴보면 대체로 2010년 이후 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 측면에서 고등어 자원회복을 위해 어획량 제한 외의 방법으로 감척사업의 규모 확대 등을 통한 어획강도의 축소가 반드시 필요할 것으로 보인다.

어획강도 축소를 위한 방안 중 하나인 감척사업은 본 연구의 분석 결과를 통해 온실가스 배출량 저감과 고등어 자원회복 및 어업이익 증가의 관점에서 긍정적인 영향이 있을 것으로 나타났다. 구체적으로 추가적인 감척이 이루어진다면 고등어 자원의 회복속도가 더욱 개선되는 것으로 나타났으며, 대형선망의 어업이익의 증대가 가능한 것으로 나타났다.

감척사업은 현재 시행되고 있는 사업이자 최근의 실태조사 결과를 통해 현실적으로 충분히 확대 시행이 가능할 것이라 판단된다. 특히 최근 2022년에 들어서면서 감척사업의 참여율을 높이기 위해 자율감척 어업인에게 지원되는 폐업지원금이 기존에 비해 상향 되었으므로, 기존에 존재했던 지원조건에

대한 불만족이 해소되어 감척사업에 대한 어업인의 자발적인 참여가 늘어날 것으로 기대해 볼 수 있다.

그리고 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에 따르면 노후어선에 대한 교체 및 감척의 계획이 있다. 특히 대형선망의 경우 대다수 어선의 선령이 26년 이상으로 대형선망 어선은 매우 노후화 되어 있는 실정이다. 따라서 대형선망어업의 경우 감척과 더불어 잔존어선에 대한 신조선 대체 등의 방안이 우선적으로 이루어질 필요가 있다.

따라서 본 연구에서 제시하는 추가적인 감척의 필요성은 합리적이라고 할 수 있다. 하지만 현재 근해어선에 대한 감척사업의 경우 현재 약 1천억 원의 규모로 사업이 집행되고 있어 감척 사업의 확대 시행에는 다소 한계가 있을 것으로 보인다.

감척에 관련된 최근의 연구 결과와 본 연구의 결과를 통해, 현재의 사업 규모로는 어업 경쟁력 및 자원량 회복의 관점에서 감척사업의 효과가 나타나기에는 많은 시간이 소요될 것으로 보인다. 구체적으로 현재의 감척사업 예산 규모가 유지될 경우 어업경쟁력과 자원회복 및 어업이익 증대 효과를 기대하기에는 한계가 있다. 따라서 향후 추가적인 예산 확보를 통해 감척사업의 규모를 증대시켜 단기간에 걸쳐서 현재보다 더 큰 규모의 어선감척이 이루어져야할 필요가 있다.

2) 온실가스 배출량 저감 목표 달성을 위한 정책의 재정비 필요

생물경제학적 분석을 통해 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 향후 30년간의 어업이익 변화를 현재가치로 환산하여 비교 분석한 결과, 현재의 어업 구조에서는 온실가스 배출량을 저감함에 따라 어업이익은 현재 수준을 유지하는 경우에 비해 감소하는 것으로 나타났다.

구체적으로 온실가스 배출량을 저감하기 위해서는 어획량에 대한 추가적인 제한이 필요하며 이에 따라 현재 수준에 비해 어획량은 감소하게 되므로, 어업이익의 측면에서 현재의 경영체 수 및 어획량 당 온실가스 배출량 수준이

유지될 경우에는 최적 생산 수준 달성이 불가능하다.

따라서 최적 생산 수준을 유지하는 상황에서 온실가스 배출량을 줄이기 위해서는 별도의 방안이 동반되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에서 제시하고 있는 감축과 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체가 이루어지는 경우를 가정하여 온실가스 배출량 저감에 따른 생물경제적 영향에 대한 추가적인 분석을 실시하였다.

감축을 고려한 분석 결과, 감축이 이루어짐에 따라서 현재의 경영체 수가 유지되는 경우에 비해 고등어 자원회복 속도가 크게 개선되는 것을 알 수 있었다. 그리고 어업이익의 관점에서 살펴보더라도 감축이 이루어진 경우에 온실가스 배출량을 저감하더라도 현재 수준에 비해 높은 어업이익의 달성이 가능한 것으로 나타났다.

다음으로 탄소 저감 장치 및 저탄소 어선으로의 교체에 따른 온실가스 배출량 저감 효과인 저감율을 가정한 분석을 실시하였다. 저감율에 따른 분석 결과를 통해 얻을 수 있는 시사점으로는 장치 교체 등에 따른 어업비용의 절감효과가 발생하지 않는 경우에는 최적 생산이 불가능한 것으로 나타났다.

그러므로 자원량과 어업이익의 관점에서 최적 생산 수준을 달성하기 위해서는 감축과 탄소 저감 장치 등의 교체 방안이 개별적으로 이루어지는 것이 아니라 동시에 적용되어야 할 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 온실가스 배출량 저감을 위한 추가적인 기술개발 과정에서는 기존의 어업비용구조에 비해 유류비 절감 등의 추가적인 비용 절감 효과가 발생하는지에 대한 유무를 반드시 고려해야할 필요가 있을 것으로 판단된다.

이러한 방안들은 본 연구의 대상이 되는 대형선망어업을 비롯하여 어선 어업 분야에 대해 전반적으로 적용 될 필요가 있다. 해양수산분야의 탄소중립을 이루기 위해서는 수산·어촌 분야의 온실가스 배출량 중 약 83.4%로 가장 많은 비중을 차지하는 어선어업 분야에서 상대적으로 가장 많은 온실가스 배출량의 저감이 이루어져야 한다. 하지만 현재의 상황에서 저감 목표를 달성하기에는 많은 한계가 있을 것으로 보인다.

현재 ‘해양수산분야 2050 온실가스 배출목표’의 경우 어선어업이 포함된

수산·어촌분야에 있어서 2050년 기준 저감 목표를 2018년 대비 96.2%를 저감하는 것으로 설정하였다. 하지만 본 연구에서는 온실가스 배출량 저감에 따른 생물경제적 변화로 자원량과 어업이익의 관점에서 살펴보면 감척 등 추가적인 방안이 적용되는 경우에 최적 생산 수준을 유지할 수 있는 저감량은 현재 수준 대비 최대 25%인 것으로 나타났다.

이렇듯 목표치 달성을 위한 온실가스 배출량 감소율만을 고려하면 본 연구에서 제시하는 현실적인 저감 수준과는 많은 차이가 있다. 따라서 어선 어업 분야에 있어서 향후 온실가스 배출량 저감 목표를 달성하기 위해서는 현실적으로 저감할 수 있는 수준을 고려하여 목표치에 대한 일부 수정이 이루어지거나, 대규모 감척 혹은 저탄소 선박으로의 전면 교체가 이루어져야 할 것으로 보인다. 즉 탄소중립을 위해서는 구체적인 온실가스 배출량 저감 정책 목표 및 내용에 대한 추가적인 검토가 필요하며 이를 위한 연구가 우선적으로 진행되어야 할 것이다.

한편 지속가능발전목표의 경우 현재 해양자원의 보전과 지속가능한 이용을 위해 남획, 해양오염 및 해양산성화를 줄이기 위한 규제 마련의 필요성을 제시하고 있다. 이에 따른 우리나라의 대응으로 현재 한국형 지속가능발전 목표(K-SDGs)가 수립되었다. 구체적인 내용을 살펴보면, 육상과 해상의 오염물질에 대한 관리체계 확립, 해양산성화 영향 최소화, TAC 할당 비율 확대를 통한 수산자원의 지속가능성 등이 제시되고 있다.

하지만 SDGs, K-SDGs에서는 수산분야에 대한 온실가스 배출량 저감을 위한 노력이나 저감에 따른 영향을 별도로 고려하지 않고 있다. 수산업 중에서도 특히 어선어업의 경우 어획활동을 위해 유류를 사용함에 따라 온실가스가 발생하고 있다. 따라서 지속가능한 수산업을 위한 목표 수립에는 반드시 배출량 저감에 따른 영향을 고려한 적정 온실가스 배출량 수준에 대한 내용이 포함되어야 할 것으로 보인다.

따라서 현재 어업분야에서 해결해야하는 수산자원관리, 온실가스 배출량 저감을 위해서는 관련 정책의 연관성을 고려해야하며 현실적으로 가능한 목표를 설정해야 효율적인 사업의 시행을 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 연구의 기대효과

본 연구의 결과는 탄소중립 및 지속가능발전목표 달성을 위한 계획 수립 등의 단계에서 활용할 수 있는 기초자료가 될 수 있을 것으로 기대된다.

현재 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에 따른 목표 달성을 위해 감척과 온실가스 저감 장치 혹은 저탄소 선박으로의 교체 등의 방안이 정책 방향으로 계획되어 있다. 이러한 점에서 본 연구는 현재 고려되고 있는 정책 방향성에 대한 효과를 사전에 분석했다는 점에서 의의가 있다.

구체적으로 분석 결과를 통해 적정 온실가스 배출량 저감 수준을 파악하고 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 영향을 생물경제학적 측면에서 살펴 보았다. 따라서 향후 감척 사업과 온실가스 배출량 저감 기술 개발 사업 등의 계획을 수립하는 과정에서 세부적인 기간 및 내용 등을 설정하기 위한 기초 자료로 활용될 가능성이 있을 것으로 기대된다.

또한 향후 수산분야의 탄소중립 목표 달성을 위해서는 개별 업종들에 대한 구체적인 탄소중립 계획 수립이 필요할 것이다. 이때 근해어업 중에서도 특히 대형선망어업에 대한 탄소중립 계획을 수립하는 과정에서 주요 어획 대상종의 자원량 및 경영체의 이익에 미치는 영향 등 고려해야 할 사항에서 본 연구의 내용을 참고할 수 있을 것으로 생각된다.

그리고 수산자원의 이용에 대한 지속가능성 측면에서 보더라도 현재의 수산자원관리 수단들은 온실가스의 영향과 어업이익에 대해서 별도로 고려하지 않고 있다. 하지만 수산업의 지속가능성을 위해서는 수산자원뿐만 아니라 수산자원을 대상으로 하는 생산 활동에서 발생하는 온실가스 및 어업이익을 함께 고려하여 자원관리 수단을 설정해야 할 필요가 있을 것으로 보인다. 이러한 측면에서 본 연구에서는 어획활동과 온실가스 배출량간의 관계를 파악하고, 온실가스 배출량 저감 수준에 따른 자원량 및 어업이익의 변화를 분석하여 최적 생산 수준을 살펴보았기 때문에 지속가능한 수산업을 위해 필요한 기초자료로의 활용가능성이 기대된다.

4) 연구의 한계점

본 연구는 분석 방법과 자료 부분에서 한계점을 가진다. 먼저 분석 방법에서의 한계점으로는 자원평가 모델에 있어서 BSS 모델을 활용하였다는 점이다. BSS 모델은 자원평가에서 발생하는 오차들을 동시에 고려하는 등 기준에 활용되는 자원평가 모델에서 발생하는 한계점을 극복할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 최근 다수의 자원평가 연구에서 활용되고 있는 모델이다.

BSS 모델은 주요 변수들에 대한 사전분포 설정 및 분석 자료의 종류 및 기간 등이 분석 결과에 많은 영향을 미치므로 분석을 수행하는 세부적인 과정에서의 차이에 따라 분석 결과는 달라진다. 본 연구의 자원평가 결과의 경우 최근 2020년까지의 어획량 감소 추세를 모두 포함한 분석 결과로 자원량이 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 관련 선행연구 결과를 살펴보면 자료를 활용한 기간에 따라 자원량 수준 및 증감의 추세의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

따라서 자원평가 결과를 해석하는데 있어서 다소 주의가 요구된다. 향후 실질적인 고등어 자원상태를 파악하기 위해서는 다양한 모델과 분석 자료의 종류 및 기간을 고려하고, 현재 시점 이후 나타나는 어획량 변화를 고려하여 지속적인 연구를 수행하는 등 다양한 요소들을 종합적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

이렇듯 고등어 자원평가에 대해서는 많은 불확실성과 모델의 한계가 존재한다. 그럼에도 불구하고 본 연구와 최근에 이루어진 고등어 자원평가 선행 연구에서는 동일하게 고등어 자원량의 감소 추세 및 낮은 고등어 자원량 수준을 제시하며 추가적인 수산자원관리방안의 필요성을 제시하고 있다. 따라서 전반적인 연구 결과가 모두 동일하게 자원회복이 이루어진 것으로 제시되기 이전에는 예방적 접근으로 고등어 자원관리를 위한 더 많은 노력이 이루어질 필요가 있을 것으로 보인다.

분석 자료에서 가지는 한계점으로는 먼저 자원평가 분석에 있어서 자료 확보의 한계에 따라 필요한 전체 자료를 고려하지 못하였다는 점이 있다.

고등어는 회유성 어종으로 우리나라와 인접한 중국 및 일본 등에서도 어획이 이루어지고 있다. 하지만 본 연구에서는 고등어 자원평가를 위해 우리나라 연근해어업 총 생산량 자료만을 활용하여 인접국에서의 어획량 자료를 고려하지 못했다는 점에서 한계가 있다. 따라서 향후 보다 정확한 고등어 자원평가를 위해서는 인접국의 고등어 생산량 및 어획노력량 자료 등을 모두 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 그리고 이러한 연구를 기반으로 인접국과의 효과적인 자원관리 정책을 함께 수립해야 할 필요성이 있다.

본 연구에서 제시하였듯이 어획량과의 상관관계가 가장 높은 어획노력량은 대형선망어업의 양망횟수로 나타났다. 하지만 현재 양망횟수 자료 확보는 불가능한 실정이다. 그러므로 향후 고등어 어획의 실질적인 어획노력량이라 할 수 있는 대형선망어업의 양망횟수에 대한 자료 확보가 이루어질 필요가 있다고 판단된다. 구체적으로 양망횟수에 대한 정확한 통계를 마련하고 양망횟수 자료에 대한 최대 기간 범위를 활용한 자원평가 분석이 수행되어야 할 필요가 있다.

그리고 생물경제학적 분석에서는 실제 발생하는 추가적인 비용 자료를 활용하지 못하였다는 한계점이 있다. 구체적으로 생물경제학적 분석에서 3개년 평균 어업비용만을 고려하여, 향후 어업비용의 변화를 고려하지 못하였다. 특히 온실가스 배출량 저감 장치 및 저탄소 선박으로의 교체시의 비용 변화에 대한 관련 실제 자료 확보가 제한적임에 따라서 어업비용의 변화를 구체적으로 고려하지 못하였다.

그러므로 향후 저감 장치 및 저탄소 선박으로 교체 등의 사업이 진행됨에 따라 실질적으로 발생하는 어업비용의 변화 등에 대한 추가 자료 확보가 가능할 경우 이를 고려한 연구가 필요할 것으로 보인다. 구체적으로 온실가스 배출량 저감을 위한 기술의 효과와 어업비용 절감 효과에 대한 실제 자료를 고려하여 최적 생산 수준에 대한 연구가 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

참고 문헌

[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.
- Driscoll, J., and Tyedmers, P. (2010). Fuel use and greenhouse gas emission implications of fisheries management: the case of the New England Atlantic herring fishery. *Marine Policy*, 34(3), 353-359.
- Froese, R. and D. Pauly. Editors. (2022). FishBase. World Wide Web electronic publication version (02/2022). <http://www.fishbase.org>, Accessed 17 Jan 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.

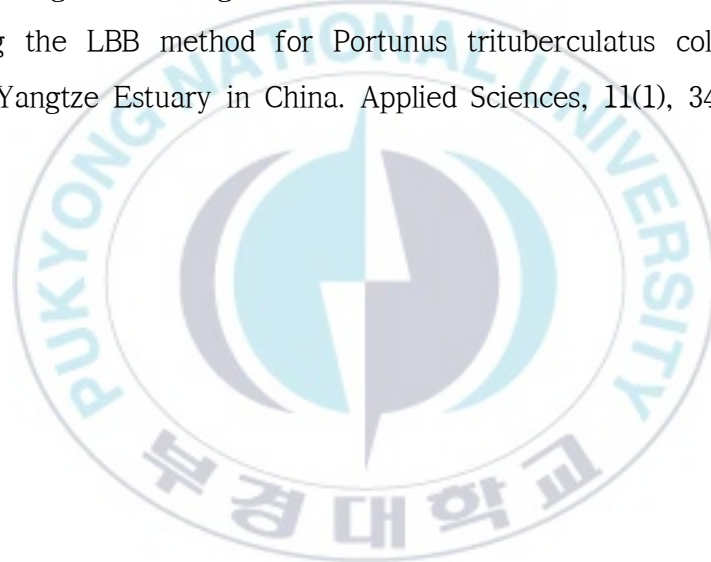
- Haddon, M. (2010). Modelling and quantitative methods in fisheries. CRC press, Florida
- Hilborn, R., and Walters, C. J. (1992). Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty. *Rev Fish Biol Fish* 2(2), 177-178.
- IPCC. (1995). IPCC Second Assessment Climate Change 1995.
- 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.
- 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.
- 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.
- Park, J. A., Gardner, C., Chang, M. I., Kim, D. H., and Jang, Y. S. (2015). Fuel use and greenhouse gas emissions from offshore fisheries of the Republic of Korea. *PloS one*, 10(8), e0133778.
- 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.



[국내 문헌]

- 국립수산물과학원. (2016). 연근해어선 온실가스 배출 저감장치 산업화 사업.
- 국립수산물과학원. (2017). 생태와 어장. 부산 : 도서출판 예문사.
- 국립수산물과학원. (2018). 2030 온실가스 감축로드맵 수산부문 대응 방안.
- 국립수산물과학원. (2022). 연근해어업 온실가스 정보. <https://www.nifs.go.kr/>, Accessed 26 May 2022.
- 김달호. (2013). R과 WinBUGS를 이용한 베이지안 통계학. 경기도 : 자유아카데미.
- 김대영. (2019). 대형선망어업의 축소 동향과 경영대응 방향. 水産經營論集, 50(4), 29-44.
- 김진우, 현상윤 · 이재봉. (2020). 확률론적 연령구조모델을 이용한 한국 고등어 (*Scomber japonicus*) 어획 강도. 한국수산물과학회지, 53(6), 942-953.
- 김홍식, 전형주 · 김도훈. (2016). 유류피해지역 어장환경 개선사업의 경제적 효과 분석. 수산해양교육연구, 28(6), 1781-1791.
- 대한민국정부. (2020). 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국2050 탄소중립 전략.
- 대통령직속 농어업 · 농어촌 특별위원회. (2020). 지속가능한 연근해어업 혁신 방안. 부산 : 영 하우스.

- 대통령직속 농어업·농어촌 특별위원회. (2021). 2021 지속가능한 수산업 어촌을 위한 전국동시 원탁 회의.
- 박광서, 최석우·김태한. (2019). 「국민 80%, 해양이 국가발전에 기여」KMI 2019 해양수산 국민인식조사. KMI동향분석, 113, 18.
- 박윤선·권오상. (2019). 최대 엔트로피 기법을 이용한 한국 연근해 고등어 최적 관리에 관한 연구. 자원·환경경제연구, 28(2), 277-306.
- 배재현, 양용수, 김현영, 황보규, 이춘우, 박수봉·이지훈. (2019). 주요 근해 어업의 온실가스 배출량 정량적 분석. 수산해양기술연구, 55(1), 50-61.
- 법제처. (2022a). 온실가스 배출권거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 [별표 5] 배출활동별, 시설규모별 산정등급(Tier) 최소적용기준. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Jun 2022.
- 법제처. (2022b). 수산업법 시행령. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 10 Mar 2022.
- 법제처. (2022c). 수산업법 시행령 [별표 1의2] 어업별 어구의 규모·형태·사용량 및 사용방법. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 10 Mar 2022.
- 법제처. (2022d). 연근해어업의 구조개선 및 지원에 관한 법률(약칭 : 연근해 어업구조개선법). <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.
- 법제처. (2022e). 수산자원 회복 및 총허용어획량 대상 수산자원의 판매장소 지정. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.

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

법제처. (2022g). 2021년 7월 ~ 2022년 6월 총허용어획량의 설정 및 관리에 관한 시행계획. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.

법제처. (2022h). 수산자원관리법. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 10 Mar 2022.

법제처. (2022i). 수산자원관리법 시행령 [별표 1] 수산자원의 포획·채취 금지 기간·구역 및 수심(제6조제1항 관련). <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.

법제처. (2022j). 수산자원관리법 시행령 [별표 2] 수산자원의 포획·채취금지 체장 또는 체중(제6조제2항 관련), 수산동물의 종류별 체장 계측도. <https://www.law.go.kr/>, Accessed 17 Mar 2022.

수산업협동조합중앙회. (2020). 내부자료.

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

신동원, 장웅비·이지훈. (2016). 근해 대형선망어업의 온실가스 배출량 정량적 분석. 어업기술연구소보고, 9(1), 50-59.

에너지경제연구원. (2019). 에너지통계연보

- 안동영, 김규한, 강희중 · 현상윤. (2021). 한국 해역의 살오징어 (*Todarodes pacificus*) 개체군 자원평가를 위한 베이지안 상태공간 잉여생산량 모델의 적용. 한국수산과학회지, 54(5), 769-781.
- 이승준. (2021). 한국 고등어(*Scomber japonicus*) 자원평가를 위한 Stock Synthesis 소프트웨어의 체장 기반 모델 적용. 부경대학교 석사학위 논문.
- 장창익, 김수암 · 윤성봉. (1992). 한국 근해 참조기의 자원평가 및 관리방안. 한국수산과학회지, 25(4), 282-290.
- 전용한 · 남종오. (2021a). [탄소중립 2050] 추진전략 이행에 따른 근해어업의 온실가스 감축잠재량 추정. 수산해양교육연구, 33(3), 620-633.
- 전용한 · 남종오. (2021b). 온실가스를 고려한 연근해어업의 생산효율성 분석. 자원 · 환경경제연구, 30(1), 79-105.
- 정유리. (2019). A Bayesian state-space production model for Korean chub mackerel (*Scomber japonicus*) stock. 부경대학교 석사학위논문.
- 조훈석 · 남종오. (2020). 삼치어종의 동태적 최적어업관리. 자원환경경제연구, 29(3), 363-388.
- 최민제 · 김도훈. (2019). 효과적인 자원평가모델 선정을 위한 잉여생산량모델의 비교 분석: 동해 생태계의 잠재생산량 분석을 대상으로. Ocean and Polar Research, 41(3), 183-191.

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

최종두. (2017). 기후변화가 대형선망 고등어 어업의 최적탄소배출량에 미치는 영향분석. Ocean & Polar Research, 39(3).

최지훈, 서영일 · 김도훈. (2021). 붉은대게 자원관리를 위한 어업관리수단별 생물경제적 효과분석. 수산해양기술연구 (구 한국어업기술학회지), 57(2), 173-184.

통계청. (2022a). 어업생산동향조사. <http://kosis.kr>. Accessed 17 Jan 2022; 1 Mar 2022; 14 May 2022.

통계청. (2022b). 어업경영조사. <http://kosis.kr>. Accessed 17 Jan 2022; 11 Mar 2022.

통계청. (2022c). 등록어선통계. <http://kosis.kr>. Accessed 17 Jan 2022; 10 Mar 2022; 2 May 2022.

통계청. (2022e). 어종별 총허용어획량소진율 <http://www.index.go.kr>. Accessed 1 Mar 2022.

한국수산자원공단. (2019). 2018년 근해어업실태조사.

한국수산자원공단. (2020). 2019년 근해어업실태조사.

한국수산자원공단. (2021). 2020년 근해어업실태조사.

한국수산자원공단. (2022). 사업소개. <https://www.fira.or.kr/>. Accessed 17 Mar 2022.

한국해양수산개발원. (2005). 어업관리수단 효과분석을 위한 생물경제모델 활용에 관한 연구.

한국해양수산개발원. (2016). 신기후변화체제(Post-2020) 대두에 따른 해양수산 분야 저감부문 이슈와 대응방향.

한인우, 김관대, 김용수 · 이경훈. (2016). 연근해어업 온실가스 배출량에 관한 기초 연구. 어업기술연구소보고, 9(1), 64-68.

해양수산부. (2019). 제2차 연근해어업 구조개선 기본계획.

해양수산부. (2020). 2021년 연근해어선감척 사업지침.

해양수산부. (2021a). 해양수산, 탄소중립을 넘어 탄소네거티브로 - 2050년 온실가스 배출 -324만톤을 목표로 「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」 수립 -.

해양수산부. (2021b). 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵.

해양수산부. (2022a). 근해어선 자율감척 신청하세요 - 2.9(수)~23(수), 기선 권현망 등 13개 업종을 대상으로 접수 -.

해양수산부. (2022b). 2022년도 에너지 절감형 친환경 어선 개발 연구사업 신규과제 선정계획 공고.

해양수산부. (2022c). 2022년도 중소선박 보급형 온실가스 등 저감장치 신규 과제 선정계획 공고.

해양수산부. (2022d). 2022년도 해양수산사업 시행지침서.

해양수산부. (2022e). 2022년 근해어선 감척 시행계획 공고.

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

환경부. (2022a). 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 충북 : 온실가스종합정보센터

환경부. (2022b). 지속가능발전포털. <http://ncsd.go.kr/>. Accessed 15 Jun 2022.

EG-TIPS 에너지온실가스 종합정보 플랫폼. (2022). 온실가스계산기.
<https://tips.energy.or.kr>. Accessed 14 Dec 2021.

