

한·중·일 해역의 살오징어(*Todarodes pacificus*) 자원평가 연구

임성수* · 김도훈** · 홍재범***

요약 : 본 연구는 한국에서 상업적 중요성을 가지며 국민 선호도가 높은 살오징어의 자원상태를 파악해 보고자 하였다. 본 연구에서는 기존 살오징어 자원평가 연구와의 차별성으로 두 가지를 고려하였다. 첫째, 한국에서 살오징어를 어획하는 업종들의 어획 자료를 자원평가 분석에 최대한 활용하였다. 둘째, 살오징어를 공동 어획하는 인접국인 중국과 일본의 어획 자료를 모두 포함하여 자원평가를 실시하였다. 구체적인 분석에 있어서는 어획량 기반 자원평가 모델인 Monte Carlo 방법을 활용한 CMSY(catch-maximum sustainable yield) 모델과 Schaefer 함수를 기반으로 한 Bayesian state-space(BSS) 모델을 이용하여 활용 가능한 자료의 종류와 범위에 따라 ‘한국’ 그리고 ‘한·중·일’로 해역 범위를 구분하여 분석을 실시하였다. 분석 결과, 살오징어 자원량은 감소하는 추세를 보이고 있으며, 현재 최대지속어획량을 달성할 수 있는 자원량 수준보다 낮은 것으로 추정되었다. 살오징어 자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 개별 국가들의 적극적인 자원관리 노력이 필요하며, 특히 한·중·일 공동 자원조사 및 평가 그리고 관리 방안 마련이 필요하다.

주제어 : 살오징어, 자원평가, CMSY, Bayesian state-space

JEL 분류 : C61, Q22

접수일(2022년 8월 19일), 수정일(2022년 11월 18일), 게재확정일(2022년 11월 30일)

* 해양수산부 동해어업관리단 조업감시센터 센터장, 제1저자(e-mail: sslim789@korea.kr)

** 부경대학교 교수, 공동저자(e-mail: delaware310@pknu.ac.kr)

*** 부경대학교 해양수산경영학과 일반연구생, 교신저자(e-mail: jaebeum1011@naver.com)

A Study on Stock Assessment of Japanese Flying Squid (*Todarodes pacificus*) in Korea · China · Japan Waters

Sungsu Lim*, Do-Hoon Kim** and Jae-Beum Hong***

ABSTRACT : The Japanese Flying Squid (*Todarodes pacificus*) is a commercially important species in South Korea and the most popular species among consumers. However commercial catches of Japanese Flying Squid have been declining since 2000. In this study, we conducted a stock assessment to identify stock status. This study differed from previous studies in two aspects: a greater amount of available fishing effort data was used, and data from China, Japan, and Korea were included. A CMSY (catch-maximum sustainable yield) model was used to estimate MSY, biomass and exploitation with Bayesian state-space implementation of the Schaefer (BSS) model for the method of stock assessment, and evaluated the species by dividing into two groups, 'Korea' and 'Korea · China · Japan'. In all cases, Japanese flying squid biomass showed a general decreasing trend. Additionally, the biomass estimated for 2020 was lower than the biomass necessary to achieve the maximum sustainable yield. To manage Japanese Flying Squid effectively, it is necessary to strengthen the resource management strategies of individual countries and prepare a cooperative plan among countries.

Keywords : Japanese Flying Squid, Stock assessment, CMSY, Bayesian state-space

Received: August 19, 2022. Revised: November 18, 2022. Accepted: November 30, 2022.

* Director, Ministry Oceans and Fisheries, Fisheries Monitoring Center, First author (e-mail: sslim789@korea.kr)

** Professor, Marine Business and Economics, College of Fisheries Science, Pukyong National University, Coauthor (e-mail: delaware310@pknu.ac.kr)

*** Ph.D. Student, Marine Business and Economics, College of Fisheries Science, Pukyong National University, Corresponding author (e-mail: jaebeum1011@naver.com)

1. 서론

살오징어(*Todarodes pacificus*)는 두족강(Cephalopoda) 살오징어목(Teuthoidea) 빨강오징어과(Ommastrephidae)에 속하는 종으로 한국을 포함하여 동중국해, 홍콩, 일본, 쿠릴 열도 등에 분포하며 표층으로부터 수심 100m까지의 범위에 서식하는 회유성 어종이다(국립수산과학원, 2022). 최근 국민인식도에 대한 조사 결과, 국민들이 가장 좋아하는 수산물로 살오징어가 선정되었다(한국해양수산개발원, 2022).

살오징어의 연도별 어획량 변화를 살펴보면, 1970년대 이후 지속적으로 증가하였고, 1996년에는 252,618톤으로 최대치를 기록하였다. 하지만 최근 3개년(2018년-2020년) 간의 소폭적인 증가세를 제외하고는 2000년 이후 현재까지 전반적으로 어획량이 감소하는 추세를 보이고 있다(국가통계포털a, 2022). 2020년 기준 한국의 연근해어업 총 어획량은 933,880톤이다. 이 중 살오징어 어획량은 56,989톤(6.1%)으로 연근해어업에서 생산되는 품종 중 멸치, 고등어, 갈치 다음으로 많은 어획량 비중을 차지하고 있다. 반면 살오징어의 생산금액은 연근해어업 전체 43,718억 원 중 11.6%인 5,062억 원으로 가장 많은 비중을 차지하고 있다(국가통계포털a, 2022).

살오징어의 어획량 감소 추세가 지속됨에 따라 살오징어 자원관리 필요성이 제기되었으며, 이에 따른 관리방안이 시행되고 있다. 현재 살오징어 자원의 지속적인 번식과 보호를 위한 조치로 포획금지 체장과 기간이 설정되어 있다. 구체적으로 살오징어의 포획금지 기간은 4월 1일부터 5월 31일까지로, 근해채낚기와 연안복합 및 정치망어업은 4월 1일부터 4월 30일까지로 설정되어 있다. 포획금지 체장은 외투장 15cm 이하로 하되, 살오징어 어획량 중 해당 체장을 20% 미만 포획하는 경우는 제외하고 있다(국가법령정보센터b, 2022). 그리고 어획량 제한 규정으로 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC)제도가 2007년부터 시행되고 있으며, 현재 ‘2021년 7월-2022년 6월’의 기간 동안 6개 업종에 대해 TAC¹⁾가 설정되어 있다(국가법령정보센터a, 2022). 하지만 최근 살오징어 TAC 소진율이 낮게 나타나고 있다. 특히 근해채낚기 및 4개 업종에 대한 TAC 소진율은 최근 3개년(2018년-2020년) 연속 30%대를 기록하고 있다(국가지표체계, 2022).

1) 65,384톤(근해채낚기, 대형선망, 대형트롤, 동해구중형트롤), 13,653톤(쌍끌이대형저인망), 4,797톤(근해자망).

향후 효과적인 살오징어 자원관리를 위해서는 보다 적절한 자원관리 수준을 설정해야 하며, 이를 위해서는 무엇보다 살오징어 자원상태에 대한 평가가 선행될 필요가 있다.

최근 국내에서는 살오징어 자원평가를 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 안동영 외(2021)는 2000년부터 2018년까지의 살오징어 총 어획량 자료와 3개 업종(대형트롤, 근해채낚기, 대형선망)의 단위노력당 어획량(Catch Per Unit Effort, CPUE) 자료를 기반으로 Bayesian state-space 모델을 이용한 자원평가를 실시하였다. 분석 결과, 살오징어 최대지속어획량(Maximum Sustainable Yield, MSY)은 293,421톤 그리고 MSY 를 산출할 수 있는 자원량 수준(B_{MSY})은 575,629톤으로 추정되었다. 살오징어 자원량은 최근 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며, 특히 2017년 이후에는 자원량 수준이 B_{MSY} 수준보다 낮은 것으로 평가되었다. 그리고 김진우 외(2022)는 1999년부터 2020년까지의 살오징어 총 어획량 자료와 근해채낚기어업의 CPUE 자료를 기반으로 Bayesian state-space 모델을 활용한 자원평가를 실시하였다. 분석 결과, 살오징어 MSY 는 약 13만 톤, 환경수용력(Carrying capacity, k)은 약 210만 톤, 그리고 2021년 기준 자원량은 약 80만 톤으로 추정되었다.

이와 같이 최근에 이루어진 살오징어 자원평가 연구는 주로 어획량 및 어획노력량 자료를 기반으로 Bayesian state-space 모델을 활용하였다. 하지만 선행연구들의 경우 분석 자료 중 어획노력량으로 고려한 업종의 대표성과 살오징어 자원평가에 있어서 어종의 특성 중 회유성을 고려하지 않았다는 한계가 있다. 그리고 자원평가에서 대상으로 한 분석 기간이 1999년 이후로 제한되어 보다 장기간의 자료를 활용하지 못한 한계점 또한 존재한다.

구체적으로 최근 5개년 평균 어획량을 기준으로 살펴보면, 안동영 외(2021)에서 고려한 분석 대상인 3개 업종의 어획량은 전체 살오징어 어획량 대비 약 56.2% 수준으로 절반 수준에 불과하다. 또한 김진우 외(2022)에서 고려한 근해채낚기의 어획량은 전체 살오징어 어획량 대비 약 26.7% 수준에 지나지 않는다.

그리고 살오징어의 경우 회유성 어종으로 인근 국가의 어획은 한국의 어획량에 직접적인 영향을 미친다. 실제로 살오징어의 분포 및 회유성을 고려하여 인접국인 일본과 중국의 살오징어 어획량 변동을 살펴보면, 증감 추세가 유사하게 나타나고 있다. 특히 2000년대 이후 살오징어 어획량 감소 추세는 일본과 중국에서도 동일하게 나타나고 있

다(FAO, 2022; Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture, 2003~2020). 이러한 살오징어의 회유성을 고려하여 자원상태를 파악하기 위해서는 한국의 살오징어 어획 관련 자료와 함께 인접국인 일본과 중국의 자료를 함께 고려할 필요가 있다.

현재 살오징어 어획량 자료는 통계청의 국가통계포털에서 1970년부터 최근 시점까지 확보 가능하다. 최근에 이루어진 살오징어 자원평가 선행연구에서 활용한 어획량 자료의 기간을 살펴보면 안동영 외(2021)의 경우 2000년, 김진우 외(2022)는 1999년부터 활용하여 약 20개년 자료를 활용하였다. 하지만 살오징어는 2000년 이전 시점에도 지속적으로 어획이 이루어지고 있었으며, 특히 90년대에 어획량이 크게 증가하는 등의 변화를 보이고 있다(국가통계포털a, 2022). 살오징어 자원량의 변동 및 자원량 수준 등을 보다 정확히 파악하기 위해서는 활용 가능한 전체 범위의 자료를 고려할 필요가 있다.

본 연구에서는 선행연구의 한계점을 극복하기 위해 살오징어를 어획하는 업종들을 최대한 포함하여 살오징어의 자원상태를 평가해 보고자 한다. 선행연구에서 활용된 Bayesian state-space 모델을 활용하고, 살오징어의 회유성을 고려하여 인접국의 어획 자료를 포함하여 살오징어 자원평가를 실시하고자 한다. 현재 살오징어 자원평가를 위한 일본과 중국의 어획량 자료는 확보 가능하다. 하지만 국가별로 살오징어를 어획하는 업종들의 어획노력량 자료는 확보하기 어려운 실정이다. 이에 따라 Monte Carlo 방법을 활용한 어획량 기반 자원평가 모델인 CMSY(catch-maximum sustainable yield) 모델을 활용하고자 한다. CMSY 모델은 자원평가 대상 어종의 CPUE 자료 활용이 제한적인 경우, 즉 어획노력량 자료가 부재해도 어획량 자료를 기반으로 자원평가가 가능한 분석 방법으로 최근 널리 활용되고 있다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; Wang et al., 2020).

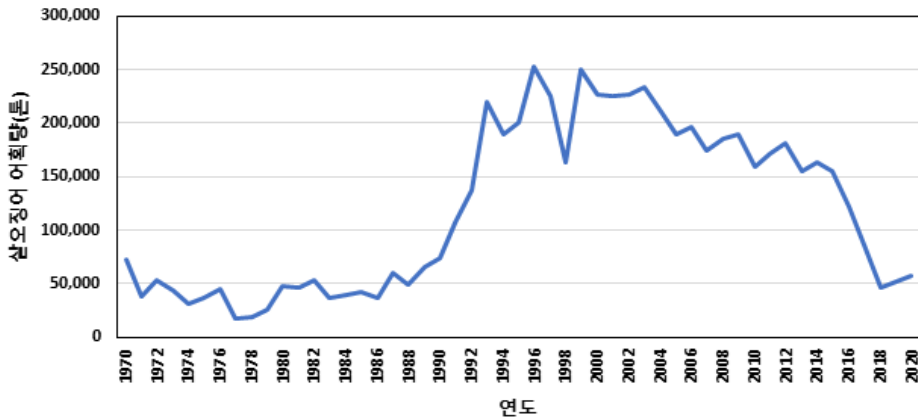
이와 같이 본 연구에서는 활용 가능한 자료의 범위에 따라 Bayesian state-space 모델과 CMSY 모델을 모두 활용하여 살오징어 자원평가를 실시하고, 그 결과를 비교해 보고자 한다. 이를 통해 살오징어의 자원상태를 보다 구체적으로 파악하고, 향후 효과적인 자원관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 분석 방법 및 자료

1. 살오징어 어획 현황

<그림 1>에서 보는 바와 같이 연근해어업을 통한 살오징어 어획량은 1970년 72,142톤을 시작으로 감소하는 추세를 보이며 1977년 18,119톤의 최저치를 기록하였다. 1980년대 이후에는 어획량이 크게 증가하였으며, 1996년에는 252,618톤으로 최대치를 기록하였다. 하지만 2000년대부터 현재까지는 어획량이 감소하는 추세를 보이고 있다. 2018년 이후 최근 3개년 간은 어획량이 소폭 증가하여 2020년 기준 살오징어 어획량은 56,989톤 수준이다(국가통계포털a, 2022).

<그림 1> 한국 연근해어업의 살오징어 어획량(1970년-2020년)



출처: 국가통계포털a(2022).

업종별 최근 5개년(2016년-2020년) 살오징어의 평균 어획량을 살펴보면, <표 1>에서와 같이, 연근해어업 전체 72,759톤 중 대형트롤이 20,243톤(27.8%)으로 가장 많은 것으로 나타났으며, 다음으로 근해채낚기 19,394톤(26.7%), 그리고 동해구중형트롤 11,179톤(15.4%) 등의 순으로 나타났다(국가통계포털a, 2022).

〈표 1〉 최근 5개년 평균 연근해어업 업종별 살오징어 어획량(2016년-2020년)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	평균
대형트롤	45,642	26,596	10,813	11,496	6,669	20,243
근해채낚기	26,788	22,617	14,007	14,996	18,562	19,394
동해구 중형트롤	25,641	14,561	5,744	3,755	6,194	11,179
쌍끌이 대형저인망	11,578	16,997	8,122	9,688	5,290	10,335
정치망	2,416	2,347	1,782	3,487	5,558	3,118
근해자망	261	340	484	2,496	5,136	1,743
외끌이 대형저인망	1,764	373	120	1,540	2,662	1,292
대형선망	3,434	988	1,313	2,51	274	1,252
기타	4,167	2,205	3,889	4,108	6,644	4,203
합계	121,691	87,024	46,274	51,817	56,989	72,759

출처: 국가통계포털a(2022).

살오징어 TAC는 2010년 초반에는 약 19만 톤 수준이었으나, 2018년부터 현재까지는 10만 톤 이하 수준으로 감소하였다. 또한 <표 2>에서 보는 바와 같이, TAC 소진율은 2010년대 이후 감소 추세를 보이고 있다. 특히 2020년 기준 4개 업종에 대한 TAC 소진율은 33% 수준에 불과하다(국가법령정보센터a, 2022; 국가지표체계, 2022).

〈표 2〉 업종별 살오징어 TAC 소진율

구분	TAC 소진율	TAC 적용 기간
4개 업종*	(‘07) 105% → (‘10) 88% → (‘15) 71% → (‘18) 37% → (‘19) 33% → (‘20) 33%	2007년 - 현재
쌍끌이 대형저인망	(‘19) 96% → (‘20) 66%	2019년 - 현재
근해자망	(‘20) 60%	2020년 - 현재

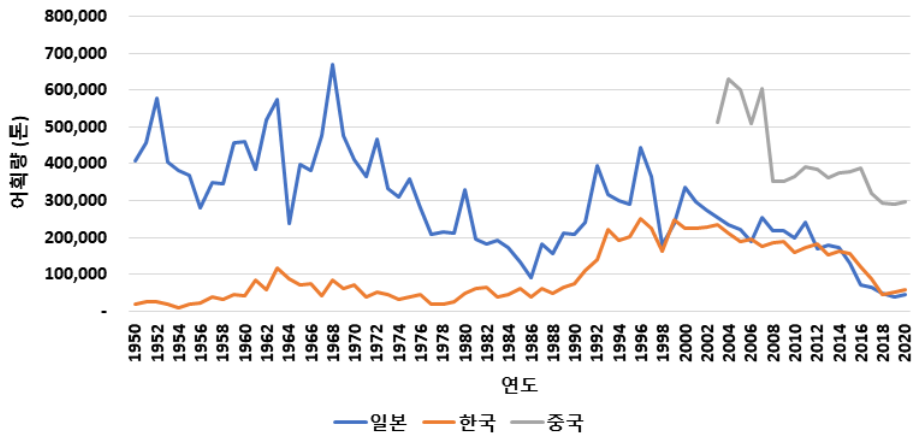
*대형트롤, 근해채낚기, 동해구중형트롤, 대형선망.

출처: 국가지표체계(2022).

인접 국가들의 살오징어 생산 현황을 살펴보면 <그림 2>와 같다. 우선 1950년부터

2020년까지 일본의 살오징어 어획량 변동을 살펴보면, 1950년 약 41만 톤을 시작으로 증가하는 추세를 보이며 1968년에는 약 67만 톤으로 최대치를 기록하였다. 하지만 2000년대 이후 현재까지 살오징어 어획량은 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며, 2020년 기준 46,700톤 수준이다(FAO, 2022). 그리고 통계 자료가 활용 가능한 2003년부터 2020년까지의 중국 살오징어 어획량 변동을 살펴보면, 2004년 약 63만 톤의 최대치를 기록한 이후 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며, 2020년 기준 295,666톤 수준이다(Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture, 2003~2020).

〈그림 2〉 한·중·일 살오징어 어획량 변화(1950년-2020년)



출처: FAO(2022), Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture(2003~2020).

2. 분석 방법²⁾

본 연구에서는 서론에서도 언급한 바와 같이, 살오징어 자원평가를 활용 가능한 자료의 범위에 따라 크게 두 가지로 나누어 분석하고자 한다. 첫째는 국내 살오징어 어획 자료를 기반으로 한 ‘한국’ 살오징어 자원평가 그리고 두 번째는 한국과 동일한 살오징어를 어획하고 있는 인근 국가들의 어획 자료를 포함한 ‘한·중·일’ 살오징어 자원평가를 실시하고자 한다.

2) 모델별 분석 방법에 대한 내용은 Froese et al.(2017)과 홍재범·김도훈(2021)을 참고하였다.

우선 한국 살오징어 자원평가에 있어서 살오징어를 어획하는 다양한 업종들의 상이한 어획강도를 고려한 어획노력량의 표준화가 필요하다. 표준화 방법으로는 Gavaris (1980)의 일반선형모형(General Linear Model, GLM)을 활용하였다(Hazin et al., 2007; 심성현, 2015; 최지훈 외, 2019). GLM 분석을 통해 CPUE에 대해 영향을 미치는 독립변수들의 표준화된 CPUE를 산출하고, 연도 및 업종 등 상이한 어획능력을 고려할 수 있다.

이를 식으로 나타내면 아래 식 (1)과 같다. 여기서 U 는 CPUE를 의미하고, U_P 은 연도, 어구 등 요인변수의 기준이 되는 CPUE를 의미한다. 그리고 m 은 요인변수를 의미하고, n 은 각 요인변수 내의 수준 그리고 P_{mn} 는 요인변수 m 의 n 수준에 대한 상대적인 어업생산능력을 의미한다. 요인변수별 기준 수준인 P_{mn} 은 자료가 n 의 범주에 속하는 경우 1로 설정되고 그렇지 않을 경우 0으로 설정된다. Gavaris가 제시한 CPUE 일반선형모형은 로그정규분포를 따르며 ϵ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 정규분포형태로 가정한다. 이때 식 (1)을 로그형태로 정리하면 식 (2)와 같다(최지훈 외, 2019). 이러한 과정을 통해 본 연구에서는 4개 근해업종들의 어획노력량을 표준화하였다.

$$U = U_P \prod_m \prod_n P_{mn}^{X_{mn}} e^\epsilon \quad (1)$$

$$\ln U = \ln U_P + \sum_{mn} X_{mn} \ln P_{mn} + \epsilon \quad (2)$$

살오징어 자원평가를 위한 방법으로는 CMSY 모델과 Schaefer 함수를 기반으로 한 Bayesian state-space(BSS) 모델을 활용하였다. CMSY 모델과 BSS 모델은 Schaefer(1954, 1957)에서 가정한 것과 동일하게 자원량의 증가는 로지스틱 함수 형태를 가지는 것으로 가정하고 있다. 따라서 t 시점을 기준으로 $t+1$ 시점의 자원량은 식 (3)과 동일하게 나타낼 수 있다. 여기서 B_t 는 t 시점의 자원량, r 은 본원적 성장률, k 는 환경수용력, 그리고 C_t 는 t 시점의 어획량을 의미한다. 이때 자원량이 k 에 비해 1/4 이하의 수준으로 고갈되는 경우에는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다(Froese et al., 2017; Liao et al., 2022).

$$B_{t+1} = B_t + r(1 - B_t/k)B_t - C_t \quad (3)$$

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

어획량 자료를 기반으로 어종에 대한 자원평가를 실시하는 CMSY 모델은 제한된 자료를 기반으로 자원량과 어획사망율, MSY, r, k 등을 추정할 수 있다. 우선 r 과 k 에 대해서는 Monte Carlo 방법을 활용하여 추정된 자원량이 관측된 어획량 자료와 사전 자원량의 범위와 비교하여 양립할 수 있는 경우의 ‘ $r - k$ ’쌍을 추정하게 된다. r 에 대한 사전 정보 및 범위는 Resilience 및 r 값으로 설정할 수 있으며 r 의 범위에 따라 Resilience는 <표 3>에서 보는 바와 같이 4가지로 구분된다(Froese et al., 2017).

<표 3> 본원적 성장률에 대한 사전 정보 및 범위(FishBase)

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

출처: Froese et al.(2017), Froese and Pauly(2022).

k 에 대한 사전 정보 및 범위는 식 (5)과 같이 분석에 활용하는 어획량 자료의 기간 범위 내에서 최대치($\max(C)$)를 기준으로 본원적 성장률의 범위에 따라 결정된다. 만약 사전적인 자원량 수준이 높은 경우에는 환경수용력의 사전적 범위 설정에 식 (6)이 적용된다.

$$k_{low} = \max(C)/r_{high}; k_{high} = 4\max(C)/r_{low} \quad (5)$$

$$k_{low} = 2\max(C)/r_{high}; k_{high} = 12\max(C)/r_{low} \quad (6)$$

그리고 자원량에 대한 사전 정보 및 범위는 <표 4>에서 보는 바와 같이 상대적인 수준인 B/k 에 따라 High(0.5 - 0.9), Medium(0.2 - 0.6), 그리고 Low(0.01 - 0.4) 3가지 단계로 구분하여 설정할 수 있다(Froese et al., 2017). 구체적으로 분석 자료의 시작과 끝, 그

리고 중간 연도에 대해 자원량의 사전 범위를 설정하며(Froese et al., 2017), 본 연구에서는 ‘Default rule’에 따라 분석에 활용하는 어획량 자료 및 자료의 기간 범위에 따라 사전 범위를 설정하였다(Froese et al., 2019).

〈표 4〉 환경수용력 대비 자원량 수준에 따른 자원량의 사전 범위

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

출처: Froese et al.(2017).

‘ $r - k$ ’ 쌍을 추정하는 과정은 먼저 사전 범위 내에서 임의의 ‘ $r - k$ ’ 쌍이 선택되고 사전 자원량의 범위로부터 첫 번째 시점의 자원량이 선택된다. 그리고 식 (1) 혹은 식 (2)을 통해 다음 시점의 자원량이 계산된다. 이러한 계산과정을 통해 예측되는 자원량 수준이 매우 낮거나 혹은 사전 자원량의 범위를 벗어나는 경우에는 해당 ‘ $r - k$ ’ 쌍이 제거된다. 구체적으로 예측된 자원량이 ‘0.01k’보다 작거나, 자원량이 중간연도 혹은 마지막 연도에 해당되는 사전 자원량 범위를 벗어나는 경우의 ‘ $r - k$ ’ 쌍은 제거된다. 만약 조건에 해당되지 않을 경우의 ‘ $r - k$ ’ 쌍 중 가장 가능성이 높은 k 값에 대해서는 아래 식 (7)과 같이 Schaefer 함수의 MSY 수식을 기반으로 한 회귀식을 통해 결정되게 된다(Froese et al., 2017; Liang et al., 2020; Nisar et al., 2021).

$$MSY = \frac{rk}{4} \rightarrow \log(k) = \log(4MSY) + (-1)\log(r) \quad (7)$$

r, k 의 사전 분포는 로그 공간에서 다변량 정규분포를 따르며(Froese et al., 2019) 모든 모수의 사후 추정치는 로그 정규분포를 따르는 것으로 가정하였으며, $p < 0.05$ 에 해당되는 통계적 유의성을 가지는 값을 추정하기 위해 중앙값과 95% 신뢰구간에 따른 하한과 상한의 범위를 제시하였다(Gelman et al., 1995; McAllister et al., 2001; Owen, 2013; Froese et al., 2017).

BSS 모델은 베이지안 추론을 바탕으로 자원평가를 수행하는 것으로 관측된 자료에 포함된 정보와 사전정보를 결합하여 사후분포를 계산하고 이를 근거로 통계적 추론을 수행한다. 따라서 베이지안 추론을 위해서는 분석대상의 자료와 함께 사전정보 설정이 필요하다. 이를 통해 자원평가 함수 및 관측 자료에서 발생하는 오차를 고려한 자원평가가 가능하다(Meyer and Millar 1999; 김달호, 2013; 최민제·김도훈, 2019). 사전분포에 대해서는 <표 5>에서 보는 바와 같이 정보적 사전분포로 r 은 로그정규분포, k 는 역로그정규분포를 가정하였으며 정보적 사전분포를 위한 평균값은 본 연구의 분석 자료를 통해 Froese et al.(2017)의 BSS 모델로 분석한 결과 값을 활용하였다. 그리고 q 와 과정오차(σ^2) 및 관측오차(τ^2)에 대해서는 무정보적 사전분포로 역감마분포를 가정하였다(Punt and Hilborn, 1997; Millar and Meyer, 2000; 최민제, 2020).

<표 5> BSS 모델의 사전분포

구분	분포	평균	표준편차
r	로그정규분포	-0.25	0.51
k	역로그정규분포	-13.70	0.75
q	역감마분포	1	1
σ^2	역감마분포	3.79	0.01
τ^2	역감마분포	1.71	0.01

출처: Millar and Meyer(2000).

BSS 모델을 활용한 살오징어 자원평가 과정에서 사후분포에 대한 계산을 위해 Markov Chain Monte Carlo(MCMC) 방법을 활용하였으며, 구체적으로 다차원의 결합 확률분포에 대한 랜덤표본 생성을 위해 깁스 샘플링(Gibbs sampling)을 활용하였다(Lunn et al., 2000; Kery and Schaub, 2011; 최민제·김도훈, 2019).

각 모델을 활용하여 살오징어 자원평가 결과를 도출하고, 최근 수행된 선행연구들의 결과와 비교하였다. 마지막으로 자원평가 결과를 기반으로 살오징어 자원상태를 정의하기 위해 <표 6>에서 제시된 바와 같이, B_{MSY} 대비 마지막 연도의 자원량 비율에 따라 5단계로 나누어 살펴보았다(Palomares et al., 2018; Liang et al., 2020; 홍재범·김도훈, 2021).

〈표 6〉 상대적인 자원량 수준에 따른 자원상태 정의

Stock status	B / B_{MSY}
Healthy	≥ 1
Slightly overfished	0.8 - 1.0
Overfished	0.5 - 0.8
Grossly overfished	0.2 - 0.5
Collapsed	< 0.2

출처: Palomares et al.(2018); Liang et al.(2020); 홍재범·김도훈(2021).

3. 분석 자료

CMSY 모델을 활용하여 ‘한국’ 살오징어의 자원을 평가하기 위해서는 어획량, Resilience 등의 자료가 필요하므로 본 연구에서는 <표 7>의 자료를 활용하였다. 구체적으로 어획량 자료는 한국 연근해어업에서 어획되는 전체 살오징어 어획량 자료를 활용하였다. 자료의 범위는 현재 국가통계포털의 어업생산동향조사를 통해 확보 가능한 최대 범위인 1970년부터 2020년까지 총 51개년 모두 활용하였다. Resilience 자료는 CMSY 모델과 BSS 모델을 활용하는 데 있어 자원평가 대상 어종의 본원적 성장률을 추정하기 위한 사전 범위를 설정하기 위해 필요한 자료를 의미한다. 살오징어에 대해 SeaLifeBase(<https://www.sealifebase.se>)를 통해 확인한 결과 Prior r 의 중앙값은 1.12 (95% 신뢰구간 범위 : 0.74 - 1.68)로 이에 따른 Resilience는 High로 제시되어 있어 이를 활용하였다(Froese et al., 2017; Froese and Pauly, 2022).

〈표 7〉 CMSY 모델을 활용한 한국 살오징어 자원평가 분석 자료

구분	내용	비고
어획량	연근해어업 전체 살오징어 어획량	1970년 - 2020년
Resilience	High	Prior $r = 1.12(0.74 - 1.68)$

출처: 국가통계포털a(2022); Froese and Pauly(2022); Palomares and Pauly(2022).

그리고 BSS 모델을 활용한 자원평가를 위해서는 CPUE 및 어획량 등의 자료가 필요하므로 본 연구에서는 <표 8>의 자료를 활용하였다. 우선 CPUE 자료의 경우 살오징어 어획량의 대부분을 차지하는 업종들의 어획노력량을 고려하는 것이 타당하다. 2020년 기준, 근해 및 연안어업 등 총 23개 업종이 살오징어를 어획하고 있는 것을 알 수 있다(국가통계포털a, 2022). 본 연구에서 분석 대상 업종은 어획량 및 어획노력량 자료 등의 확보 가능성 그리고 살오징어 TAC 대상 업종 유무를 기준으로 근해채낚기, 대형트롤, 쌍끌이대형저인망, 그리고 대형선망 총 4개로 선정하였다. 현재 통계청에서 확보 가능한 어획노력량 자료는 업종별 어선척수, 톤수, 그리고 마력수로 한정되어 있다. 이 중 어획노력량으로 분석에 활용할 자료들에 대해서는 상관분석 및 회귀분석을 실시하고, 그 결과를 기반으로 결정하였다.

어획노력량 자료에 대한 상관 분석 결과, 어선마력수(0.7342)가 어선톤수(0.6351) 및 어선척수(0.5352)에 비해 어획량과의 관련성이 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 회귀분석 결과에서도 어선마력수(0.52)가 어선톤수(0.38) 및 어선척수(0.26)에 비해 조정된 결정계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 본 연구에서는 어선마력수를 바탕으로 한 CPUE 자료를 활용하였다. 그리고 어획량 자료의 경우 활용 가능한 CPUE 자료와 동일한 기간 범위의 연근해어업 전체 살오징어 어획량 자료를 활용하였다.

<표 8> BSS 모델을 활용한 한국 살오징어 자원평가 분석 자료

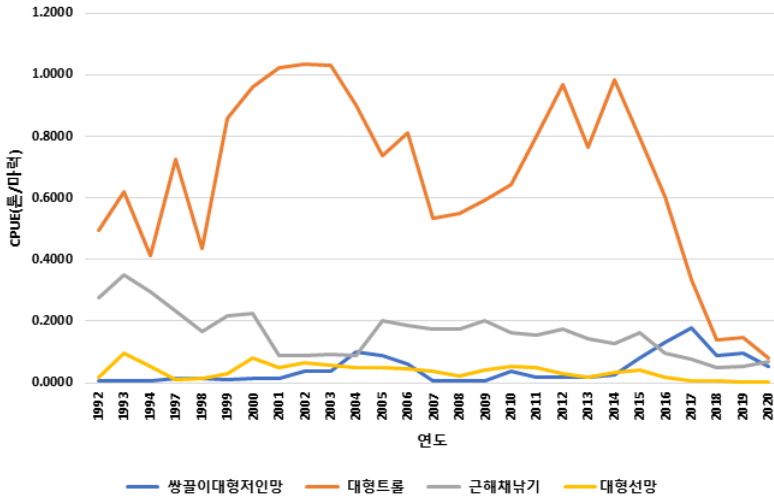
구분	내용	비고
어획량	연근해어업 전체 살오징어 어획량	1992년 - 2020년
CPUE	표준화된 CPUE(어선마력수)	1992년 - 2020년*

*1995년, 1996년의 어획노력량 자료 확보 불가, 인접한 연도의 값을 고려하여 활용.
출처: 국가통계포털a(2022); 국립수산물과학원(2017); 국가통계포털b(2022).

구체적으로 업종별 어선마력당 어획량인 CPUE(톤/마력)의 변화를 살펴보면 다음 <그림 3>과 같다. 업종별로 살펴보면, 쌍끌이 대형저인망의 CPUE는 2018년 이후에 나타난 감소 추세를 제외하고 1992년 이후 현재까지 대체로 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만 대형트롤, 근해채낚기, 대형선망의 경우 1992년 이후 현재까지 감소하는 추세를

보이고 있다. 이렇듯 현재 살오징어를 어획하는 주요 4개 업종의 어획강도와 변동 추세를 상이하게 나타나고 있다(국가통계포털a, 2022; 국가통계포털b, 2022).

<그림 3> 업종별 CPUE(톤/마력) 변화(1992년 - 2020년)



출처: 국가통계포털a(2022); 국립수산물과학원(2017); 국가통계포털b(2022).

다음으로 ‘한·중·일’ 살오징어 자원평가는 중국과 일본의 국가별 살오징어 CPUE 자료에 대한 확보가 불가능하여 어획량 자료 기반 자원평가 방법인 CMSY 모델을 통한 분석만이 가능하다. 따라서 한·중·일 살오징어 자원평가를 위한 분석 자료는 <표 9>에서 보는 바와 같이 어획량과 Resilience 2가지 자료를 활용하였다.

살오징어 어획량 자료는 FAO를 통해 국가 및 어종명을 기준으로 조회한 결과, 1950년부터 2020년까지 확보 가능하여 자원평가를 위한 한국 및 일본의 살오징어 어획량 자료는 총 71개년 자료를 활용하였다. 다만 중국 살오징어 어획량 자료는 FAO에서 조회한 결과 확보가 불가능한 것으로 나타나 연도별 중국 어업연감 자료로 활용하였다. 즉, 중국의 살오징어 어획량은 2003년부터 2020년까지 총 18개년 자료를 활용하였다. 현재 동중국해에서 어획되는 빨강오징어과에 속하는 오징어 종류는 살오징어를 포함하여 총 8종이지만(Zheng et al., 1999), 중국 어업연감에서 세부 종별 어획량은 구분되어 있지 않은 실정이다. 하지만 살오징어는 중국의 주요 두족류 어획 대상으로 특히 동중국해와

항해에서 주로 어획되고 있으며, 해당 해역의 두족류 자원 중 우점종으로 알려져 있다 (Song et al., 1999; Li and Yan, 2004; Du, 2016). 이에 따라 중국 어업연감에서 조사된 오징어 자료를 살오징어 어획량 자료로 분석에 활용하였다.

〈표 9〉 한·중·일 살오징어 자원평가 분석 자료

구분	내용	비고
어획량	한국, 일본 살오징어 어획량	1950년 - 2020년
	중국 살오징어 어획량	2003년 - 2020년
Resilience	High	Prior $r = 1.12(0.74 - 1.68)$

출처: FAO(2022); Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture(2003~2020); Froese and Pauly(2022); Palomares and Pauly(2022)

III. 분석 결과

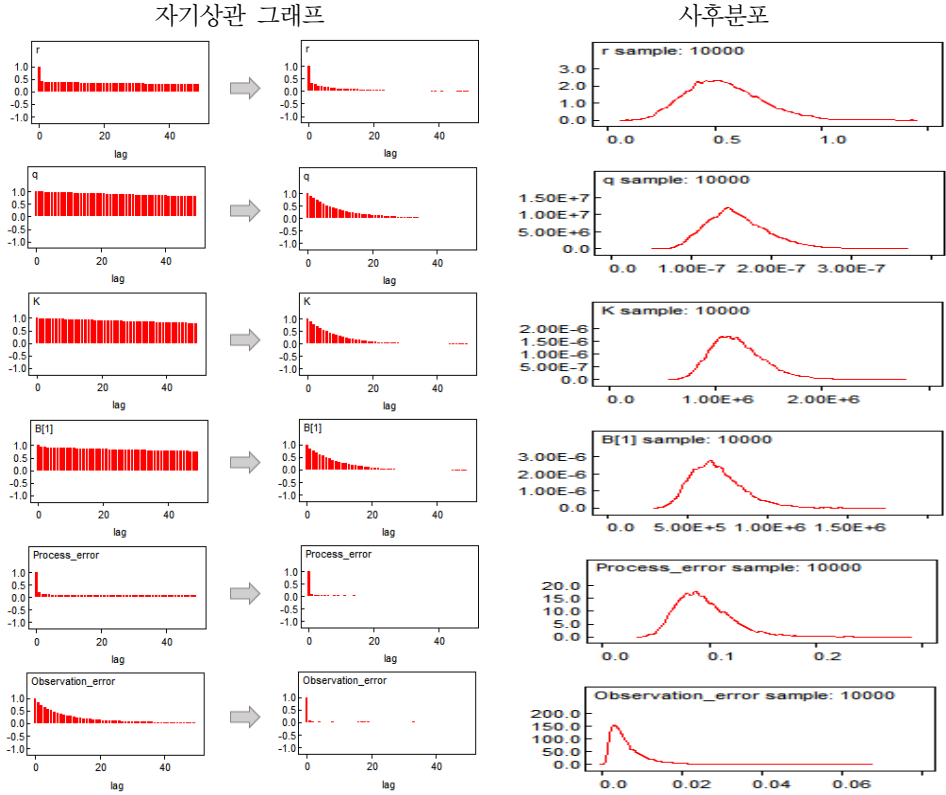
1. 한국 살오징어 자원평가 결과

살오징어 자원평가 분석 결과를 제시하기 전에 우선 BSS 모델의 분석 결과에 대한 수렴 여부 확인 및 검증은 실시하였다. BSS 모델의 추정에서는 30만 개의 표본을 추출하고, 사후분포에 수렴하지 못하는 초기 표본들의 영향을 제거하기 위해 5만 개의 표본을 번인(Burn-in)하였으며 추출된 표본들의 자기상관을 감소시키기 위해 매 25번째 값을 사용하였다. 이를 통해 총 10,000개의 샘플을 추출하였다.

분석 결과, 변수별 사후분포는 <그림 4>에서와 같이 추정되었으며, 최초 30만 개의 표본을 추출한 상태에서 초기 5만 개의 표본 번인 및 매 25번째 값을 추출함에 따라 표본들의 자기상관이 감소하는 것으로 나타났다. 그리고 과정오차와 관측오차의 사후분포는 <그림 4>에서 보는 바와 같다.

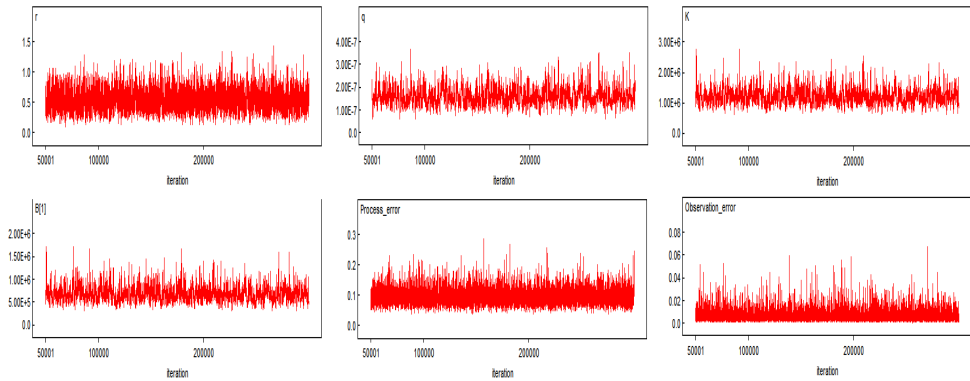
그리고 추출된 표본이 관심모수에 수렴하는지에 대한 여부는 시도표를 통해 확인하였다. 추정변수들의 시도표가 특정한 패턴 혹은 경향성을 보이지 않고 백색잡음의 형태를 가지는 경우 모델이 수렴한다고 판단한다(김달호, 2013; 최민제·김도훈, 2019). 다음 <그림 5>와 같이 BSS 모델을 활용한 한국 살오징어 자원평가 결과 모든 추정변수들이 백색잡음 형태를 보이는 것으로 나타났다.

〈그림 4〉 BSS 모델로 추정한 변수별 자기상관 그래프 및 사후분포



* $B[1]$: 1992년 기준 Biomass.

〈그림 5〉 BSS 모델에 따른 추정변수별 시도표



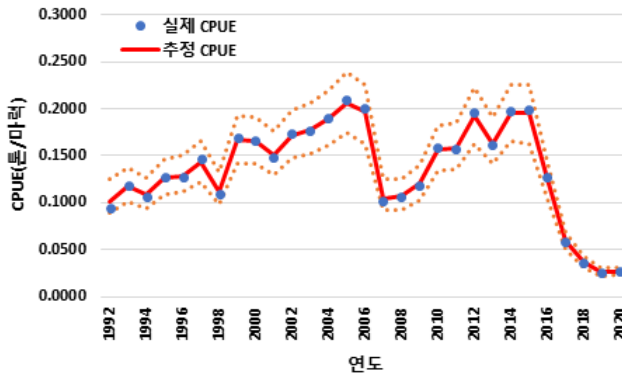
다음으로 추정변수의 관심모수에 대한 수렴 여부에 대한 판단으로 몬테카를로 오차를 통해 확인하였다. 구체적으로 몬테카를로 오차(Monte Carlo error)가 사후표준오차(posterior standard deviation)의 5% 수준 미만일 경우 추정변수가 관심모수에 수렴한다고 판단하며(Spiegelhalter et al., 2003; 최민제, 2020), BSS 모델을 활용한 추정 결과 아래 <표 10>과 같이 모든 변수에 대한 몬테카를로 오차는 사후 표본오차의 5% 미만으로 나타났다.

<표 10> BSS 모델의 사후 표준오차 및 몬테카를로 오차

구분	Standard error (A)	Monte Carlo error (B)	(B/A)
r	0.1765	0.0042	2.4%
q	3.92E-08	1.62E-09	4.1%
k	261,300	10,430	4.0%
B_{1992}	169,900	6,617	3.9%
σ^2	0.02621	0.00036	1.4%
τ^2	5.E-03	6.42E-05	1.2%

마지막으로 BSS 모델의 검증을 위해 모델을 통해 추정한 연도별 CPUE와 실제 CPUE를 비교하였다. 분석 결과, 아래 <그림 6>에서 보는 바와 같이, 추정된 연도별 CPUE는 실제 값과 유사한 것으로 추정되었다.

<그림 6> 실제 CPUE 및 BSS 모델을 통해 추정한 CPUE 비교

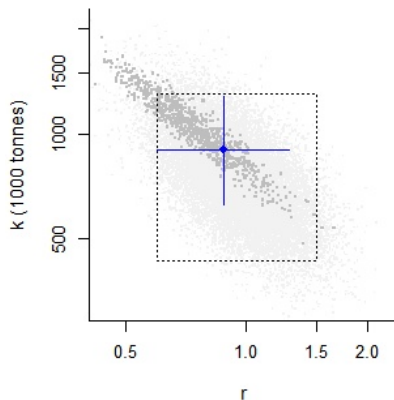


그리고 모델을 통해 추정된 CPUE와 실제 CPUE를 활용하여 오차의 제곱 평균 제곱근(Root Mean Square Error, RMSE), 결정계수(Coefficient of determination, R^2)를 계산하였다. 본 연구에서 활용한 BSS 모델의 분석 자료 및 결과에 의해 계산된 모델 검증 값은 RMSE 0.0024 그리고 R^2 0.9978로 나타났다.

CMSY 및 BSS 모델을 이용한 한국 살오징어 자원평가 결과는 다음 <표 11>과 <표 12>에서 보는 바와 같다. 결과 값에 대해서는 중앙값 기준으로 제시하되 CMSY 모델의 경우 95% 신뢰구간(Confidence Interval), BSS 모델의 경우 95% 신용구간(Credible Interval)을 함께 제시하였다. 두 모델을 통해 추정된 주요 변수인 r , k , MSY 값의 경우 유사한 수준으로 나타났다.

먼저 CMSY 모델의 ' $r - k$ ' 쌍 추정 결과는 아래 <그림 7>과 같으며 구체적으로 r 값의 경우 사전 범위로 설정한 Resilience(High, 0.6 - 1.5)의 범위 이내로 나타났다. 중앙값을 기준으로 살펴보면 k 의 경우 CMSY 모델 분석 결과 908,159톤으로 추정되었다. 그리고 BSS 모델의 r , k 에 대한 추정 결과를 중앙값을 기준으로 살펴보면 r 의 경우 0.53으로 나타났으며 k 는 1,179,000톤으로 나타났다.

<그림 7> 한국 살오징어 ' $r - k$ ' 쌍 추정 결과(CMSY 모델)



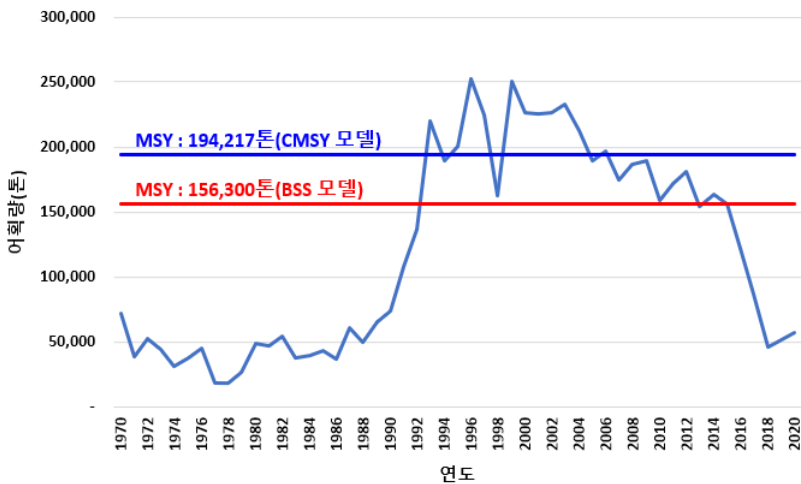
<그림 8>을 통해 MSY에 대한 추정 결과를 살펴보면, CMSY 모델에서 약 19만 톤 그리고 BSS 모델에서 약 16만 톤 수준으로 추정되어 현재 6개 업종에 대해 설정되어 있는 TAC 합계(83,384톤)보다 높은 것으로 나타났다. 또한 최근 어획량과 비교해 보면, 현재

살오징어 어획은 2010년 이후 현재까지 MSY보다 낮은 수준에서 이루어지고 있음을 알 수 있다.

〈표 11〉 모델별 한국 살오징어 자원평가 결과 요약

구분	r	k	MSY
CMSY	0.86 (0.61 - 1.21)	908,159 (653,523 - 1,262,010)	194,217 (168,857 - 222,561)
BSS	0.53 (0.25 - 0.93)	1,179,000 (800,700 - 1,826,000)	156,300 (77,820 - 260,100)

〈그림 8〉 한국 살오징어 어획량 및 모델별 MSY 추정 결과



출처: 국가통계포털a(2022).

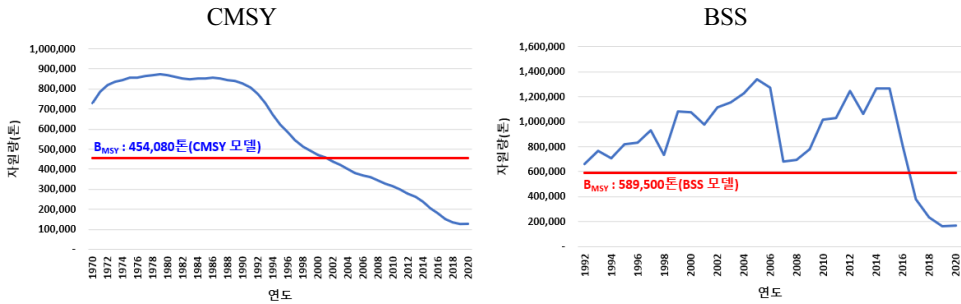
모델별 살오징어 자원량 추정 결과를 살펴보면, 우선 CMSY 모델의 경우 2020년 기준 살오징어 자원량은 약 13만 톤 수준으로 추정되었다. 이는 B_{MSY} 대비 28% 수준으로, 자원상태는 ‘Grossly overfished’로 추정되었다. BSS 모델의 경우 2020년 기준 살오징어 자원량은 약 17만 톤 수준으로 CMSY 모델에 비해 상대적으로 높게 추정되었으나, B_{MSY} 대비 약 29%로 자원상태는 CMSY 모델과 동일하게 ‘Grossly overfished’로 추정되었다.

<표 12> 모델별 한국 살오징어 자원상태 평가

구분	B_{2020}	B_{MSY}	B_{2020} / B_{MSY} (자원상태)
CMSY	126,447 (15,896 - 263,070)	454,080 (326,762 - 631,005)	0.28 (Grossly overfished)
BSS	171,600 (104,400 - 286,300)	589,500 (400,300 - 912,900)	0.29 (Grossly overfished)

다음으로 <그림 9>를 통해 중앙값 기준 모델별로 추정된 1970년 이후 현재까지의 살오징어 자원량 변화를 살펴보았다. 연도별 자원량 변동에 있어서는 모델별 분석 자료의 차이 등에 따라 증감 추세에 일부 다르게 나타났지만, 2010년대 중반 이후부터 최근까지는 두 모델에서 동일하게 살오징어 자원량 수준이 B_{MSY} 의 50% 수준 이하로 감소한 것으로 평가되었다.

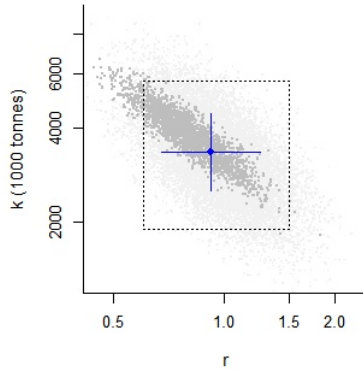
<그림 9> 모델별 한국 살오징어 자원량 변동 추정



2. 한·중·일 살오징어 자원평가 결과

CMSY 모델을 활용한 한·중·일 살오징어 자원평가 결과는 다음 <표 13>, <표 14>와 같으며, 결과 값에 대해서는 중앙값을 기준으로 제시하였다. 먼저 <그림 10>과 같이 추정된 r값에 대해 살펴보면 중앙값이 0.92로 사전적으로 설정한 범위(0.6 - 1.5) 이내로 나타났다.

〈그림 10〉 CMSY 모델을 활용한 한·중·일 살오징어 ‘ $r-k$ ’쌍 추정 결과



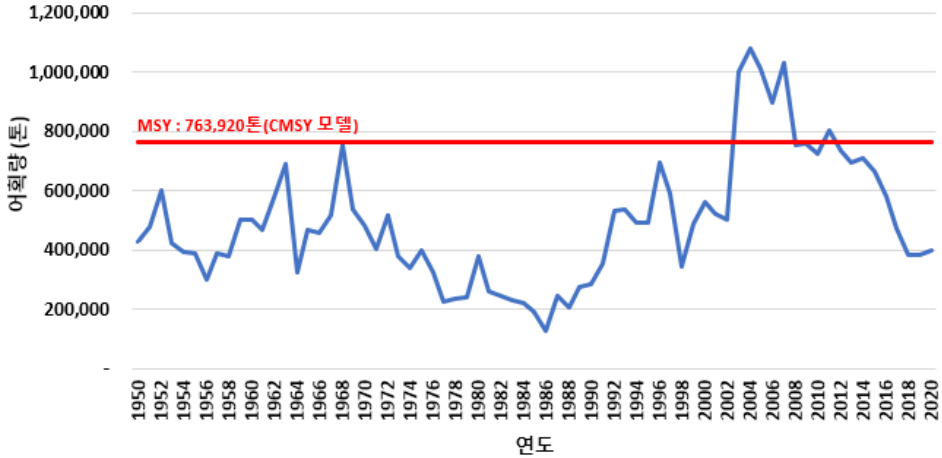
그리고 k 값의 경우 중앙값이 약 335만 톤 그리고 95% 신뢰구간 범위가 약 252만 톤에서 445만 톤으로 추정되었다. MSY 값의 경우 중앙값이 약 76만 톤 그리고 95% 신뢰구간 범위는 약 65만 톤에서 91만 톤 수준으로 추정되었다.

〈표 13〉 CMSY 모델을 활용한 한·중·일 살오징어 자원평가 결과 요약

r	k	MSY
0.92	3,346,995	763,920
(0.67 - 1.25)	(2,517,450 - 4,449,891)	(652,626 - 907,374)

<그림 11>에서 보는 바와 같이 MSY 추정 결과를 한·중·일 살오징어 어획량과 비교해서 살펴보면 중국 어획량 자료의 시작 시점인 2003년 이전에는 살오징어 어획량이 MSY 수준에 비해 낮은 것으로 나타났다. 2003년부터 2011년까지의 기간에는 일부 연도를 제외하고 MSY 보다 높은 수준에서 어획이 이루어졌다. 하지만 2012년 이후 현재까지는 MSY 보다 낮은 수준에서 어획이 이루어지고 있으며 감소 추세를 보이고 있다(FAO, 2022; Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture, 2003~2020). 이와 같이, 최근 살오징어 어획량이 MSY 수준보다 낮다는 점은 한국 살오징어 자원평가 결과와 동일하게 나타났다.

<그림 11> 한·중·일 살오징어 어획량 및 MSY 추정 결과



출처: FAO(2022), Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture(2003~2020).

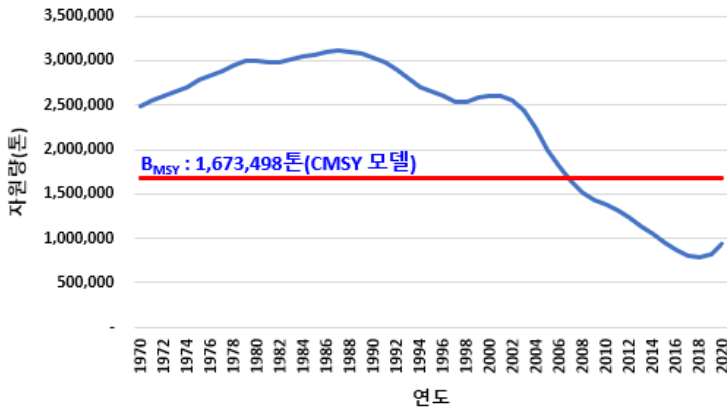
살오징어 자원량 추정 결과, 2020년 기준 자원량은 약 93만 톤으로 추정되었으며, 이는 B_{MSY} 대비 56% 수준으로 자원상태는 ‘Overfished’로 나타났다. 즉, 한국 살오징어 자원평가 결과와 동일하게 현 자원량 수준은 B_{MSY} 이하로 추정되었다.

<표 14> CMSY 모델을 활용한 한·중·일 살오징어 자원상태 평가

B_{2020}	B_{MSY}	B_{2020} / B_{MSY} (자원상태)
932,342 (81,765 - 1,327,303)	1,673,498 (1,258,725 - 2,224,945)	0.56 (Overfished)

<그림 12>에서 보는 바와 같이 추정된 살오징어의 자원량 변동을 살펴보면, 1990년까지는 전반적으로 증가하는 추세를 보였으나 1990년대 이후 현재까지는 크게 감소하는 추세를 보이고 있다. 이는 한국의 살오징어 자원량 변동 결과와도 유사하고, 특히 2000년대 이후 B_{MSY} 이하로 자원량이 감소한 점이 동일하게 나타났다.

〈그림 12〉 CMSY 모델을 활용한 한·중·일 살오징어 자원량 변동 추정



IV. 결론

본 연구에서는 살오징어 자원평가를 위해 한국뿐만 아니라 살오징어를 어획하는 인접국가인 일본과 중국의 어획까지 고려하여 분석을 실시하였다. CMSY 및 BSS 모델을 활용하여 한국의 살오징어 자원상태를 추정된 결과, 살오징어 자원량은 최근 지속적인 감소 추세를 보이고 있으며, 2020년 기준 자원량은 B_{MSY} 에 비해 낮은 수준으로 Grossly overfished(CMSY, BSS)로 평가되었다. 그리고 한·중·일 살오징어 자원상태를 추정된 결과에서도 살오징어 자원량의 감소 추세를 확인할 수 있었으며 2020년 기준 자원량이 B_{MSY} 보다 낮은 것으로 나타나 Overfished(CMSY)로 평가 되었다.

이러한 결과를 선행연구 결과와 비교해 보면, 한국 살오징어 자원량이 현재 감소 추세를 보이는 점에서는 안동영 외(2021) 및 김진우 외(2022)와 동일하게 추정되었다. 하지만 주요 변수에 대한 추정에 있어서는 차이가 있는 것으로 나타났다. 예를 들어, 안동영 외(2021)의 경우 B_{MSY} 를 575,629톤 그리고 김진우 외(2022)에서는 약 105만 톤으로 추정하였다. 본 연구에서는 중앙값을 기준으로 CMSY 모델의 경우 454,080톤 그리고 BSS 모델에서는 589,500톤으로 추정되었다. 이는 각 연구의 BSS 모델 활용에 있어 주요 변수들에 대한 사전 분포의 가정 그리고 분석기간 등에 따른 차이에 기인한다. 향후에도 주요 변수들에 대한 사전 분포의 가정과 분석기간 등에 따른 다양한 분석 결과 도출을 통해

살오징어 자원상태를 진단해 나가야 할 것이다.

현재 한국에서 어획 대상이 될 수 있는 살오징어 자원은 *MSY*를 달성할 수 있는 수준에 비해 크게 낮으며, 특히 최근 TAC 할당량 및 소진율의 경향에서도 알 수 있듯이 자원은 지속적으로 줄어들고 있는 것으로 추정된다. 따라서 살오징어 자원 변동 원인에 대한 보다 집중적인 과학적 조사가 필요하고, 아울러 살오징어 자원을 관리할 수 있는 효과적인 방안 마련이 필요하다. 현재 한국에 있어서는 살오징어 자원관리를 위해 포획금지 체장 및 기간이 설정되어 있으며, TAC제도가 2007년부터 적용되고 있다. 일본에서도 1998년부터 살오징어 자원관리를 위해 TAC 제도를 시행해 오고 있으며, 연간 TAC 할당량은 사회경제적 요소 및 생물학적 허용어획량을 고려하여 결정되고 있다(Sakurai et al., 2013). 중국의 경우에도 2020년 6월 살오징어 자원관리를 위해 공해상의 어획을 전면 금지하기도 하였다(MOA, 2020; Song et al., 2022).

이와 같이, 한·중·일 각 국가에서는 살오징어 자원관리를 위한 노력이 개별적으로 이루어지고 있으나 인접한 해역에서 살오징어를 어획하는 3개국의 공동 자원관리는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 향후 살오징어의 자원을 지속적으로 이용하기 위해서는 한·중·일이 살오징어 자원상태 및 변동 요인 등에 관한 과학적 조사와 연구를 함께 수행하고, 한·중·일 살오징어 자원의 공동 관리를 위한 방안 마련이 필요하다.

본 연구에서는 BSS 모델의 검증, 분석 자료의 확보 및 활용 등에 있어서 한계점이 존재한다. BSS 모델을 활용한 자원평가 결과에서는 모델의 수렴 여부 및 결과의 검증 등에 대한 내용이 함께 제시될 필요가 있다. Auger-Methe et al.(2021)에서는 모델의 결과 검증을 위한 ‘One-step-ahead residuals and their extensions’ 등 잔차 분석(residual analysis) 등에 관련된 방법을 제시하고 있다. 하지만 본 연구에서는 RMSE 및 R^2 값을 계산하여 모델의 수렴 여부에 대한 결과를 제시하였다. 향후에는 자원평가 모델의 결과 검증을 위한 잔차 분석이나 사후예측 검증 등이 병행되어야 할 것이다.

그리고 분석 자료의 확보 및 활용 등에 대한 한계점은 자원평가 분석 자료에 있어 살오징어를 어획하는 모든 업종을 고려하지 못했다는 점과 정확한 중국의 살오징어 어획량 자료를 확보하지 못했다는 점 등이다. 국가통계포털의 어업생산동향조사에 따르면, 최근 5개년(2016년-2020년)간 살오징어 어획 실적이 있는 업종은 총 28개 이다. 살오징어 어획량 중 본 연구에서 분석 자료로 활용한 4개 업종을 제외한 나머지 업종들의 CPUE를

고려하지 못하였다. 하지만 본 연구에서는 최근에 이루어진 살오징어 자원평가 연구들과 달리 하나의 자원평가 모델 결과만이 아닌 다양한 자원평가모형을 활용하고 결과를 비교하였다. 그리고 상대적으로 더 많은 업종들의 CPUE 및 인접국들의 어획까지 고려하여 살오징어의 자원평가를 도모했다는 점에서 의의가 있다.

향후에도 국내 업종들과 인접국들의 어획 자료를 지속적으로 조사·수집하여 살오징어에 대한 자원평가를 도모하고, 특히 국가별 살오징어 조업을 위해 투입하는 어획노력량 자료를 포함한 자원평가를 도모해야 하며 이를 기반으로 효과적인 관리방안을 마련해 나가야 할 것이다.

[References]

- 국가법령정보센터a, 「2021년 7월~2022년 6월 총허용어획량의 설정 및 관리에 관한 시행계획」, Accessed 2022.07.08., <https://www.law.go.kr>
- 국가법령정보센터b, 「수산자원관리법 시행령」, Accessed 2022.07.08., <https://www.law.go.kr>
- 국가지표체계, 『총허용어획량 소진율』, Accessed 2022.07.20., <http://www.index.go.kr>
- 국가통계포털a, 『어업생산동향조사』, 각 연도, Accessed 2022.07.08., <https://kosis.kr>
- 국가통계포털b, 『등록어선통계』, 각 연도, Accessed 2022.07.08., <https://kosis.kr>
- 국립수산과학원, 『생태와 어장』, 부산, 도서출판 예문사, 2017.
- 국립수산과학원, 『수산생명자원정보센터 생물종검색』, Accessed 2022.07.27., <https://www.nifs.go.kr>
- 김달호, 『R과 WinBUGS를 이용한 베이지안 통계학』. 자유아카데미, 2013.
- 김진우·현상윤·윤상철, “자원복원력 개념을 적용한 사전확률분포 및 상태공간 잉여생산 평가모델: 살오징어 (*Todarodes pacificus*) 개체군 자원평가”, 『한국수산과학회지』, 제55권 제2호, 2022, pp. 183~188.
- 심성현, “생물경제모형을 이용한 참조기의 자원평가에 관한 연구-단일어종-다수어업 사례를 중심으로-”, 국내석사학위논문 부경대학교 대학원, 2015.
- 안동영·김규한·강희중·현상윤, “한국 해역의 살오징어 (*Todarodes pacificus*) 개체군 자원평가를 위한 베이지안 상태공간 잉여생산량 모델의 적용”, 『한국수산과학회지』, 제54권

- 제5호, 2021, pp. 769~781.
- 최민제, “참조기 어업관리를 위한 생물경제학적 분석”, 부경대학교 국내석사학위논문, 2020.
- 최민제·김도훈, “효과적인 자원평가모델 선정을 위한 잉여생산량모델의 비교 분석: 동해 생태계의 잠재생산량 분석을 대상으로”, *Ocean & Polar Research*, 제41권 제3호, 2019, pp. 183~191.
- 최지훈·김도훈·최민제·강희중·서영일·이재봉, “베이지안 State-space 모델을 이용한 눈볼대 자원평가 및 관리방안”, *수산해양기술연구* (구 한국어업기술학회지), 제55권 제2호, 2019, pp. 95~104.
- 한국해양수산개발원, 『2022 해양수산 국민인식도 조사 결과』, 2022.
- 홍재범·김도훈, “CMSY 및 BSS 모델을 활용한 한국의 고등어 자원평가 연구”, *수산해양교육연구*, 제33권 제5호, 2021, pp. 1272~1283.
- Auger-Methe, M., K. Newman, D. Cole, F. Empacher, R. Gryba, A. A. King, L. Thomas, “A guide to state-space modeling of ecological time series,” *Ecological Monographs*, Vol. 91, No. 4, 2021.
- Bureau of Fisheries of the Ministry of Agriculture, *China Fishery Statistical Yearbook*, China Agriculture Press, 2003~2020.
- Du, T., *Resources assessment for Cephalopod in offshore water of China and classification of genus level of squids*, Shanghai Ocean University Master’s thesis, 2016.
- Food and Agriculture Organization (FAO), *FishStatJ, a tool for fishery statistics analysis*, Accessed 2022.07.12., <https://www.fao.org>
- Froese, R., D. Pauly. Editors, *FishBase. World Wide Web electronic publication version (02/2022)*, 2022, Accessed 2022.07.21., <http://www.fishbase.org>
- Froese, R., N. Demirel, G. Coro, H. Winker, “A Simple User Guide for CMSY+ and BSM (CMSY_2019_9f. R),” *Oceanrep: Kiel, Germany*, 2019, pp. 1~16.
- Froese, R., N. Demirel, G. Coro, K. M. Kleisner, H. Winker, “Estimating fisheries reference points from catch and resilience,” *Fish and Fisheries*, Vol. 18, No. 3, 2017, pp. 506~526.
- Gavaris, S., “Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data,” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 37, No. 12, 1980, pp. 2272~2275.
- Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern, D. B. Rubin, *Bayesian data analysis*, Chapman and Hall/CRC, 1995.

- Hazin, H. G., F. Hazin, P. Travassos, F. C. Carvalho, K. Erzini, “Standardization of swordfish CPUE series caught by Brazilian longliners in the Atlantic Ocean, by GLM, using the targeting strategy inferred by cluster analysis,” *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, Vol. 60, No. 6, 2007, pp. 2039~2047.
- Kery, M., M. Schaub, *Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective*, Academic Press, 2011.
- Li, J., L. Yan, “Quantity distribution of *Todarodes pacificus* and its relation with environment in the East China Sea,” *Marine Fisheries*, Vol. 26, No. 3, 2004, pp. 193~198.
- Liang, C., W. Xian, D. Pauly, “Assessments of 15 exploited fish stocks in Chinese, South Korean and Japanese waters using the CMSY and BSM methods,” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 7, Article 623, 2020.
- Liao, B., Y. Xu, M. Sun, K. Zhang, Q. Liu, “Performance Comparison of Three Data-Poor Methods with Various Types of Data on Assessing Southern Atlantic Albacore Fishery,” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 9, Article 825461, 2022.
- Lunn, D. J., A. Thomas, N. Best, D. Spiegelhalter, “WinBUGS-a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility,” *Statistics and Computing*, Vol. 10, No. 4, 2000, pp. 325~337.
- McAllister, M. K., E. K. Pikitch, E. A. Babcock, “Using demographic methods to construct Bayesian priors for the intrinsic rate of increase in the Schaefer model and implications for stock rebuilding,” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 58, No. 9, 2001, pp. 1871~1890.
- Meyer, R., R. B. Millar, “Bayesian stock assessment using a state-space implementation of the delay difference model,” *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Vol. 56, No. 1, 1999, pp. 37~52.
- Millar, R. B., R. Meyer, “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)*, Vol. 49, No. 3, 2000, pp. 327~342.
- Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People’s Republic of China (MOA), *Notice of the ministry of agriculture and rural affairs on strengthening the conservation of squid resources on the high seas and promoting the sustainable development for offshore fisheries*, Accessed 2022.07.28., <http://www.moa.gov.cn>

- Nisar, U., R. Ali, Y. Mu, Y. Sun, “Assessing Five Major Exploited Tuna Species in India (Eastern and Western Indian Ocean) Using the Monte Carlo Method (CMSY) and the Bayesian Schaefer Model (BSM),” *Sustainability*, Vol. 13, No. 16, 2021, p. 8868.
- Owen, A. B., *Monte Carlo theory, methods and examples*, Online Stanford University publication, 2013.
- Palomares, M. L. D., D. Pauly. Editors. *SeaLifeBase. World Wide Web electronic publication version (04/2022)*, Accessed 2022.07.21., www.sealifebase.org
- Palomares, M. L., R. Froese, B. Derrick, S. L. Noel, G. Tsui, J. Woroniak, D. Pauly, *A preliminary global assessment of the status of exploited marine fish and invertebrate populations*, A Report Prepared By The Sea Around US For OCEANA(Washington, DC: OCEANA). 2018.
- Punt, A. E., R. A. Y. Hilborn, “Fisheries stock assessment and decision analysis: the Bayesian approach,” *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, Vol. 7, No. 1, 1997, pp. 35~63.
- Sakurai, Y., H. Kidokoro, N. Yamashita, J. Yamamoto, K. Uchikawa, H. Takahara, *Todarodes pacificus, Japanese common squid*, *Advances in Squid Biology Ecology and Fisheries, Part II Oegopsid Squids*. Nova Biomedical, New York, 2013, pp. 249~272.
- Schaefer, M. B., “A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean,” *Inter Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* Vol. 2, 1957, pp. 243~285.
- Schaefer, M. B., “Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries,” *Inter-American Tropical Tuna Commission Bulletin*, Vol. 1, No. 2, 1954, pp. 23~56.
- Song, A. Y., M. Fabinyi, K. Barclay, “China’s approach to global fisheries: power in the governance of anti-illegal, unreported and unregulated fishing,” *Environmental Politics*, 2022, pp. 1~21.
- Song, H. T., T. Ding, K. Yu, J. Shen, X. Wang, B. Ruan, “Species Composition Quantitative Distribution of Cephalopod in the North of East China Sea,” *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, Vol. 18, No. 2, 1999, pp. 99~105.
- Spiegelhalter, D. J., A. Thomas, N. G. Best, D. Lunn, *WinBUGS Version 1.4 User Manual*, Medical Research Council Biostatistics Unit, Cambridge, 2003.
- Wang, Y., C. Liang, Y. Wang, W. Xian, M. L. Palomares, “Stock status assessments for 12 exploited fishery species in the Tsushima Warm current region, Southwest Japan and East

China, Using the CMSY and BSM Methods,” *Frontiers in Marine Science*, Vol. 7, Article 640, 2020.

Zheng, Y., J. Ling, L. Yan, Z. Jinguan, J. Shen, “Cephalopod resources and rational utilization in East China Sea,” *Zhongguo Shui Chan ke xue = Journal of Fishery Sciences of China*, Vol. 6, No. 2, 1999, pp. 52~56.