

# 원양 다랑어연승어업에 이용되는 미끼 자원의 지속가능성 평가: 인도네시아산 풀가라지(*Decapterus macarellus*) 사례

엄지현 · 박희원\* · 김희용 · 박정호 · 이미경 · 임정현 · 이성일<sup>1</sup>

국립수산과학원 원양자원과, <sup>1</sup>국립부경대학교 해양생산시스템관리학부

## Sustainability Assessment of Bait Resources for Korean Distant-Water Tuna Longline Fisheries: A Case Study of Indonesian Mackerel Scad *Decapterus macarellus*

Ji-Hyun Eom, Heewon Park\*, Heeyong Kim, Jeong-Ho Park, Mi-Kyung Lee, Jung-Hyun Lim and Sung-Il Lee<sup>1</sup>

Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

<sup>1</sup>Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

The mackerel scad *Decapterus macarellus* is a commercially important species in Indonesian fisheries and a major baitfish in the Korean tuna longline fishery. The increasing demand for sustainable fisheries has highlighted the need to assess bait resources and target species. However, stock assessment of *D. macarellus* is constrained by data limitations. FAO provides long-term catch data since 1950, but scads are reported only as “scads nei”, obscuring species-specific trends. Although species-level data from the Ministry of Marine Affairs and Fisheries (MMAF) in Indonesia existed from 2019 onward, the short time series limits long-term assessment. To address these limitations, we reconstructed the annual catches of *D. macarellus* from 1950–2018 by applying the proportion of *D. macarellus* within scads nei (2019–2023) to the FAO time series. The reconstructed dataset was analyzed using the catch-maximum sustainable yield (CMSY) method implemented in the CMSY++ packages to generate preliminary productivity and biomass estimates. Based on the CMSY results, the MSY for *D. macarellus* was estimated to be 48,200 tonnes (95% CI: 36,800–61,900 tonnes). This study aimed to establish the groundwork for bait stock assessment using the CMSY method to support MSC certification and ensure the sustainability of Korean distant water fisheries.

**Keywords:** Stock assessment, Baitfish, Mackerel scad, MSC certification, Catch reconstruction

## 서론

우리나라 원양 다랑어연승어업은 1957년 인도양에서의 시험 조업 이후 태평양, 대서양으로 진출하여 세계 3대양으로 조업 어장을 확대하였고(Lee, 2025), 국가의 경제 발전과 외화 획득에 크게 기여해왔다. 최근 연승어업의 조업 규모는 과거에 비해 축소되었으나, 황다랑어, 눈다랑어, 참다랑어 및 날개다랑어 등의 주요 다랑어류를 대상으로 3대양에서 조업은 유지되고 있다(Ha et al., 2025). 다랑어연승어업의 장기적인 안정성과 국제 경쟁력 확보를 위해서는 지속가능한 어업에 대한 국제적 규

범 준수가 필수적이다. 특히 해양관리협의회(Marine Stewardship Council, MSC)의 생태인증(eco-labeling)은 MSC 어업표준에 근거해 지속가능성을 인증 받은 어업에서 생산된 자연산 수산물에 표기되는 인증 마크이자 어업의 지속가능성을 검증하는 대표적인 비국가적 규제(non-state regulation)로 최근 그 중요성이 부각되고 있다(Anderson et al., 2021). MSC 생태인증의 목적 중 하나는 어업활동이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하는 것으로, 이를 위한 해양생물자원의 지속가능성 평가에 조업에서 어획되는 수산자원 뿐만 아니라 어구의 구성 요소로 사용되는 미끼 자원까지 포함된다. 연승어업은 어획 대상종

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2331 Fax: +82. 51. 720. 2337

E-mail address: heewon81@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0782>

Korean J Fish Aquat Sci 58(6), 782-789, December 2025

Received 20 November 2025; Revised 1 December 2025; Accepted 8 December 2025

저자 직위: 엄지현(연구원), 박희원(연구사), 김희용(연구관), 박정호(연구관), 이미경(연구사), 임정현(연구사), 이성일(교수)

에 따라 어장과 수심, 낚시 크기, 미끼의 종류 등을 달리하여 대상 어종을 어획하는 조업방식으로, 다른 어업에 비해 상대적으로 어구 선택성이 뚜렷하다(Ha et al., 2025). 특히 연승어업에서 사용되는 미끼의 종류는 목표 어종을 유인하기 위해 선택되며, 어획 대상종과 직접적으로 연관될 뿐만 아니라(Løkkeborg et al., 2014), 조업의 효율성에도 상당한 영향을 미친다(Sistiaga et al., 2018).

국외에서는 미끼 자원의 공급 체계와 시장 구조(FitzGerald, 2004), 그리고 미끼 손실이 어획효율에 미치는 영향 평가(Ward and Myers, 2007), 미끼의 종류가 다랑어연승어업의 효율성과 선택성에 목표 어종별로 미치는 영향(Campello et al., 2022) 등 어업에 사용되는 미끼 자원의 이용 현황에 대해 다양한 연구가 수행되었다. 국내에서는 미끼의 종류에 따른 어획률 연구(Kim et al., 2008)가 수행되었다. 대부분의 선행연구들은 미끼의 공급체계, 미끼가 어획 대상종에 미치는 영향 등 주로 미끼 자원의 이용과 어업의 효율성 측면을 다루었다. 최근 MSC 생태인증에 대한 관심이 높아지면서 MSC는 생태인증을 위한 어업 표준을 개선하였다. 개선된 어업표준은 어획대상종의 지속성 뿐만 아니라 미끼 자원을 포함한 부수어획종의 지속가능성도 강조하고 있다. 따라서 우리나라 다랑어연승어업이 향후 MSC 생태인증을 유지하기 위해서는 미끼 자원의 지속가능성에 대한 과학적 근거가 필요한 실정이다.

우리나라 다랑어연승어업에서 미끼로 사용되어 온 가라지류(*Decapterus* spp.)는 외부 형태가 매우 유사하여 동정하기 어려운 분류군이다. 따라서 국립수산물과학원에서는 미끼자원의 지속가능성을 평가하기 전에 정확한 종동정을 수행하였다. 지금까지 우리나라 다랑어연승어업에서 주로 사용한 미끼가 가라지류에 속하는 인도네시아산 갈고등어(*Decapterus muroadsi*)로 알려져 왔으나, 최근 국립수산물과학원에서 4개 원양선사로부터 143 개체의 샘플을 제공받아 외부 형태 및 분자유전학적으로 분석한 결과, 측선 직선부의 모비늘이 덮여 있는 비율이 평균 52.8%로서 절반 가량을 차지하고 미토콘드리아 cytochrome c oxidase subunit I 영역은 풀가라지와 일치율이 98.05–99.65%로 나타나 풀가라지(*D. macarellus*) 단일종으로 동정되었다. 따라서 우리나라 다랑어연승어업의 주요 미끼를 인도네시아산 풀가라지로 정의하고 미끼 자원의 지속가능성을 평가하기 위해 자원평가를 수행하였다. 풀가라지는 인도네시아에서 경제적으로 가치 있는 어종 중 하나이며, 국가 수산업에 기여도가 높은 어종이다(Hakim et al., 2025). 풀가라지는 인도네시아의 어업 관리구역(Fishery Management Area) 716에서 대부분 선망어업에 의해 주로 어획되고 있다(Retmoningtyas et al., 2023). 인도네시아는 2019년 이전까지 풀가라지의 어획통계를 단일 종 수준이 아닌 가라지류 전체로 집계하였기 때문에 관련 자료의 활용에는 큰 제약이 있다.

본 연구에서는 Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 및 인도네시아 해양수산부(Ministry of

Marine Affairs and Fisheries, MMAF)의 어획통계자료를 이용하여 인도네시아산 풀가라지에 대한 장기 시계열 어획량을 재구축하고, 어획량 자료를 이용한 CMSY (catch-maximum sustainable yield) 방법(Froese et al., 2023)으로 풀가라지의 자원상태를 평가하였다. 이 결과는 우리나라 다랑어연승어업의 MSC 생태인증 심사에 필요한 기초자료를 제공할 뿐만 아니라, 다른 미끼 자원에 대한 지속가능성 평가를 위한 지침으로도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 재료 및 방법

### 사용 자료

인도네시아산 풀가라지의 장기 어획동향을 파악하기 위해 1950–2023년 FAO의 인도네시아 기타 전갱이류(*Scads nei*) 어획량 자료(FAO, 2025)와 MMAF의 2019–2023년 풀가라지 어획량 자료(MMAF, 2025)를 활용하였다(Fig. 1, Fig. 2). FAO 자료는 풀가라지에 대한 어획량이 아닌 기타 전갱이류에 대한 자료이지만, 풀가라지 자원평가에 가용한 장기 시계열 자료가 부재하므로 대체 자료로 활용하기 위해 사용하였다. 과거(1950–2018년) 풀가라지 어획량을 추정하기 위해, 먼저 최근 5개년(2019–2023년)에 대한 MMAF의 풀가라지 어획량( $Catch_{D, macarellus}$ )과 FAO의 기타 전갱이류( $Catch_{Scad nei}$ ) 자료를 사용하여 다음과 같이 연평균 어획 비율( $R_t$ )을 계산하였다.

$$R_t = \frac{Catch_{D, macarellus}}{Catch_{Scad nei}}$$

이후 이 평균 비율을 1950–2018년 FAO 자료에 적용하여 과거 풀가라지 어획량 자료를 재구축하였다.

### 어획량 보정

FAO 자료 중에서 2015년과 2016년의 어획량은 인도네시아에서 공식적으로 보고된 자료가 아닌 추정치이며(Fig. 1), 이 기간의 어획량이 주변 연도와 비교하여 큰 차이를 보이므로, 단순 선형보간법(simple linear interpolation)을 적용하여 보정하였다. 어업의 특성상 연도별 어획 활동이 일시적으로 중단되거나 변동하는 경우가 드물기 때문에 단순 선형보간법의 적용은 인접 연도의 어획량을 활용하여 결측 연도의 추정치를 선형적으로 보정한 어획량 재구성 연구에서도 널리 사용되고 있다(Pauly and Zeller, 2016; Larson et al., 2023).

추정치인 인접 연도인 2014년과 2017년의 어획량을 보정 기준 연도( $x_1, y_1$ ), ( $x_2, y_2$ )로 설정하고 아래의 식을 통해 2015년과 2016년의 추정치( $x, y$ )를 보정하였다(Franses, 2022).

$$y = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

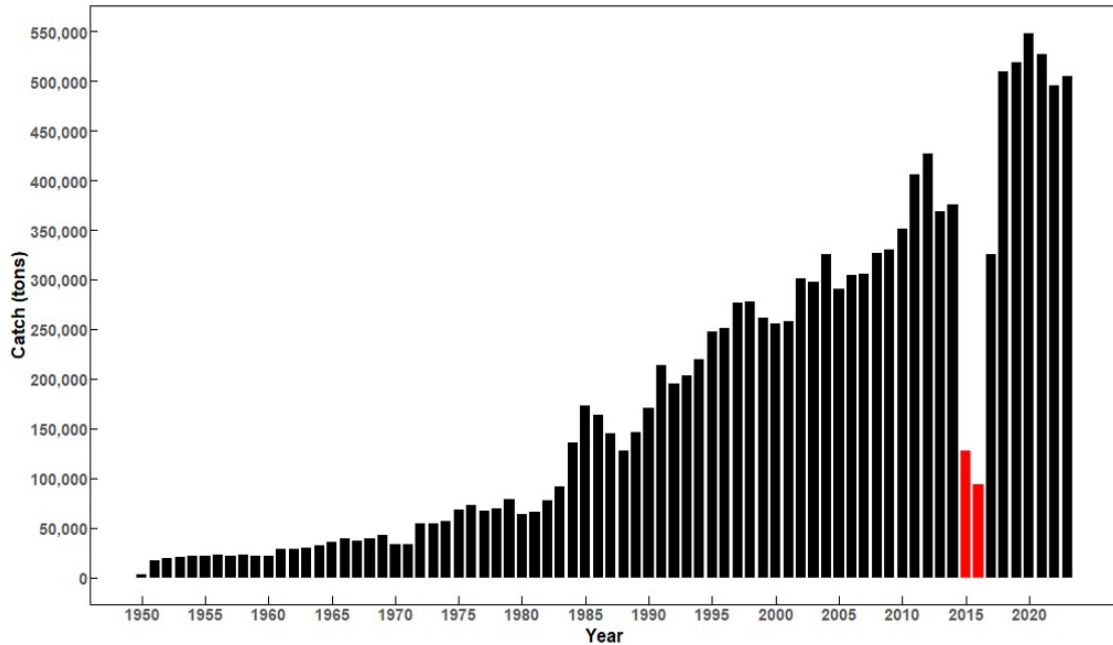


Fig. 1. Annual catch of Indonesian scads nei from FAO statistics, from 1950 to 2023 (Red bars indicate FAO estimated values).

### 어획량 재구축

FAO와 인도네시아 MMFA의 자료를 사용하여 추정·보정된 1950–2023년의 풀가라지 어획량에 대한 불확실성을 정량화하기 위해 부트스트래핑(bootstrapping)을 결합한 몬테카를로 시뮬레이션(monte carlo simulation)을 수행하여 자료를 재구축하였다. 어획량 재구축의 핵심 매개변수는 풀가라지의 연평균 어획 비율( $R_t$ )로, 과거 기간에 대한 이 비율의 불확실성을 추정하기 위해 부트스트래핑 기법을 적용하였다. 5개년 관측값( $n=5$ )의 경험적 분포를 기반으로, 특정 확률분포를 가정하지 않는 비모수적 접근법(non-parametric approach)을 적용하여 분포 가정에 기인할 수 있는 추정 오류를 최소화하고 관측값의 경험적 분산을 반영함으로써 재구축된 어획량의 견고성(robustness)을 높였다.

몬테카를로 시뮬레이션은 총 5,000회 반복하였으며, 각 반복에서는 5개년 관측값을 부트스트래핑하여 전체 기간(1950–2018년)에 적용할 어획 비율( $R_{sim}$ )을 생성하였다. 이후 아래의 식과 같이 해당 연도의 FAO 기타 전갱이류 어획량( $Catch_{Scad\ nei}$ )에  $R_{sim}$ 을 곱하여 풀가라지 어획량( $Catch_{D.macarellus, sim}$ )을 구하였다.

$$Catch_{D.macarellus, sim} = Catch_{Scad\ nei} \times R_{sim}$$

이 과정을 통해 연도별로 총 5,000개의 재구축된 어획량을 생성하고, 그 중앙값을 각 연도의 대표 어획량으로 최종 선택하였다. 이렇게 구축된 1950–2023년의 풀가라지 어획량을 CMSY

방법에 적용하였다.

### 평가모델

자료가 제한적인 풀가라지에 대한 자원평가를 위해 CMSY++ packages의 CMSY 모델(Froese et al., 2023)을 사용하였다. 이 모델은 기존의 CMSY 모델에서 사용되는 몬테카를로 시뮬레이션 기반 접근을 확장한 것으로, JAGS (just another Gibbs sampler)를 활용한 MCMC (Markov chain Monte Carlo) 기법을 통해 베이지안 추정을 수행한다. CMSY 모델은 어획량과 대상 어종의 회복력(resilience) 정보를 기반으로 하는 내적자연증가율( $r$ ), 자원상태( $B/k$ )의 사전분포(prior distributions) 정보를 필요로 하며, 이를 통해 최대지속적 생산량(maximum sustainable yield, MSY)과 상대적 자원상태( $B/B_{MSY}$ )와 어획강도( $F/F_{MSY}$ ) 등을 평가할 수 있다.

CMSY 모델은 Schaefer의 잉여생산량 모델을 기반으로 개체군의 성장률이 로지스틱 곡선을 따른다고 가정하여(Schaefer, 1991) 시간에 따른 자원량의 변화를 아래와 같이 나타낸다.

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

여기서  $t$ 는 연도,  $B_t$ 은  $t$ 연도의 자원량,  $r$ 은 내적자연증가율,  $k$ 는 환경수용량(carrying capacity), 그리고  $C_t$ 은  $t$ 연도의 어획량이다.

내적자연증가율( $r$ )은 대상 어종의 회복력을 기준으로 최대값과 최소값이 사전정보로 설정되는데, 풀가라지의 회복력은

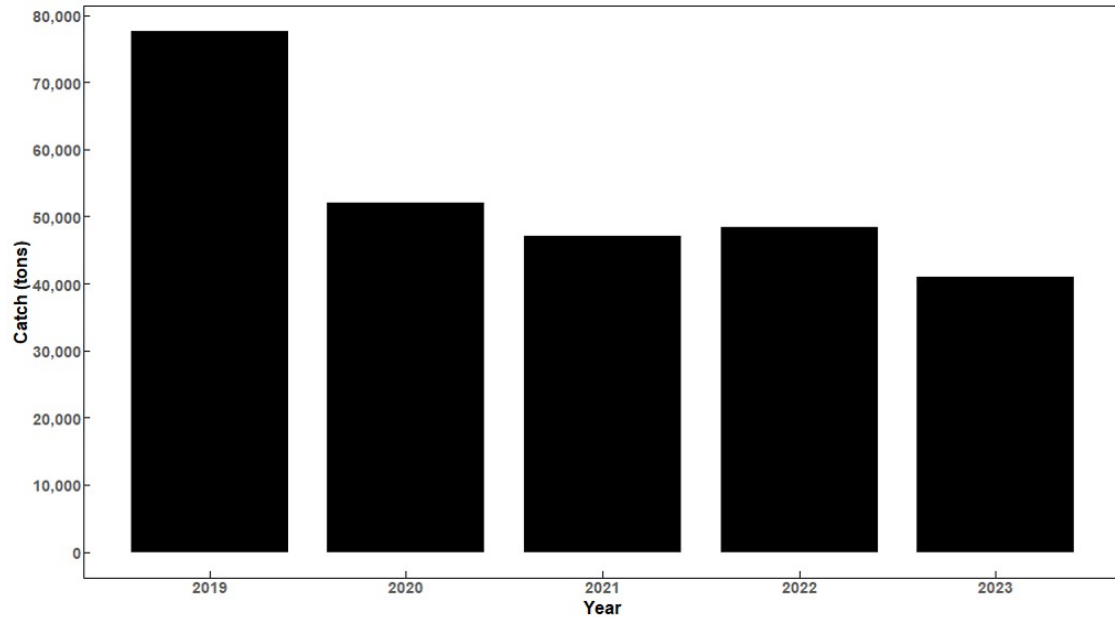


Fig. 2. Annual catch of Indonesian mackerel scad *Decapterus macarellus* from MMAF statistics, from 2019 to 2023.

1.08 (95%; CI, 0.71–1.62)로 높음 수준으로 나타나(Froese and Pauly, 2025), Table 1을 기반으로  $r$ 의 사전범위가 0.6–1.5로 설정되었다. 그러면 환경수용량  $k$ 의 사전범위는 설정된  $r$ 의 값과 최대 어획량[ $\max(C)$ ]에 의해 아래의 식과 같이 계산된다.

$$k_{low} = \frac{\max(C)}{r_{high}}$$

$$k_{high} = \frac{4 \max(C)}{r_{low}}$$

다음으로 초기, 중간, 마지막 연도의 상대적 자원량( $B/k$ )을 설정하였다. Froese et al. (2021)의 기준에 따라 초기 연도(1950년)의  $B/k$  값은, 어획량이 매우 낮고 어업 활동이 시작된 시점으로 판단하여 자원 남획 수준이 ‘very low’인 0.75–1.0을 사용하였고, 중간연도(1984년)와 마지막 연도(2023년)의 값은 자원 상태에 대한 정보가 없어 NA로 설정하여 사전정보를 분석 내에서 결정하도록 하였다. 다만, 중간연도의 시점은 어획의 뚜렷한 변화나 증감이 있는 연도를 선택하는 것이 권장되므로(Fro-

ese et al., 2023), 시계열 자료에서 특정한 변화점을 찾는 pettitt test (Conte et al., 2019)로 중간연도로 설정하였다. 그 결과, 1950년을 기준으로 34번째 연도인 1984년을 기점으로 유의한 변화가 있는 것으로 나타나( $P < 0.001$ ), 이 시점을 중간연도로 설정하였다. Table 2는 각 연도에 대해 설정한  $B/k$  값을 나타낸다.

다랑어연승어업의 미끼 자원인 풀가라지의 자원평가를 위해 CMSY++ packages의 CMSY 모델을 사용한 이유는 자료 사용이 제한적인 환경에서 어획량 자료만으로 자원 변동의 불확실성을 정량화 할 수 있기 때문이다(Eom et al., 2025). 본 연구에서 수행된 모든 자료의 처리와 모델링은 R 통계 소프트웨어(R Core Team, 2025)를 사용하였다.

## 결 과

### 어획량 보정 및 재구축

1950–2023년 FAO의 기타 전갱이류 어획량 자료는 1950년 이후 지속적인 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 2015년과 2016년의 어획량은 추정치로 분류되었는데, 이는 두 연도의 어획량이 다른 연도에 비해 크게 낮아 그 추세를 제대로 반영하지 못하는 문제점이 있었다. 이를 해결하기 위해 단순 선형보간

Table 1. Prior ranges for parameter  $r$  (Froese et al., 2017)

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

Table 2. Scenario of prior information for CMSY analysis

	B/k start	B/k int	B/k end
Year	1950	1984	2023
B/k	0.75–1.0	NA	NA

NA, Not available.

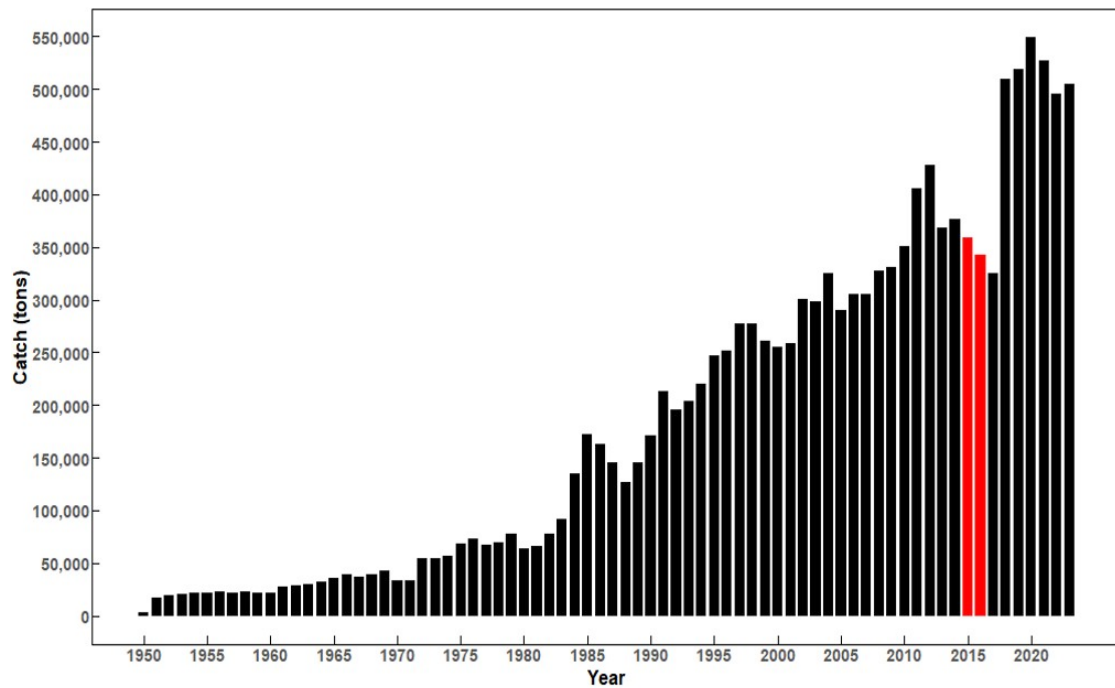


Fig. 3. Annual catch of scads nei from FAO statistics (1950–2023), showing estimated values (red bars) corrected by linear interpolation in 2015–2016.

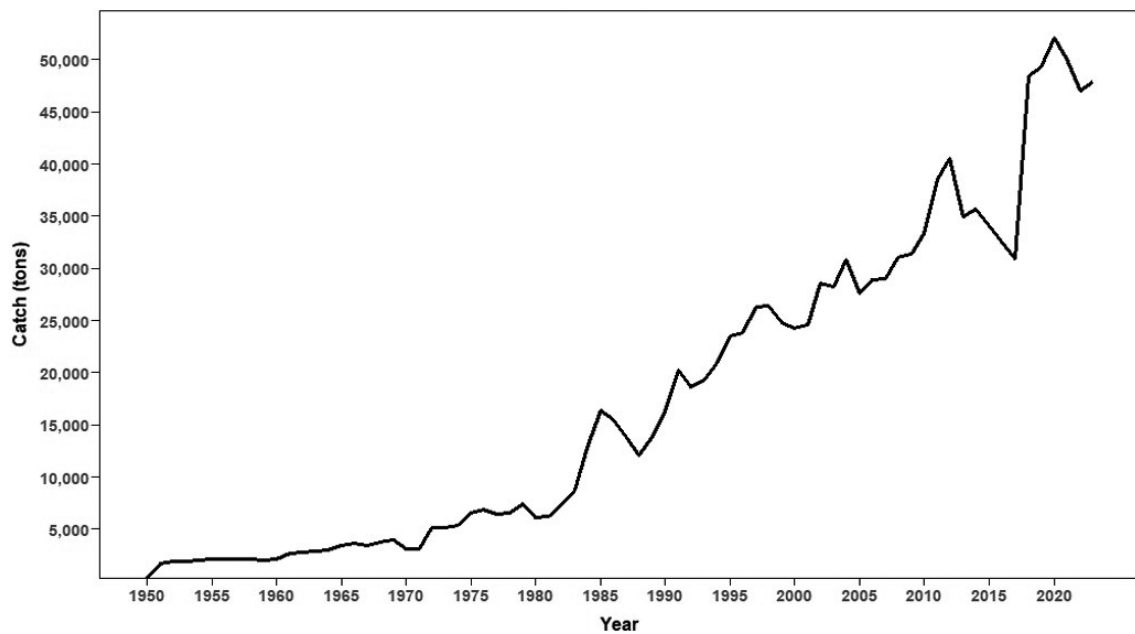


Fig. 4. Reconstructed catch of mackerel scad *Decapterus macarellus* (1950–2023).

법을 사용하여 2015년과 2016년의 어획량은 각각 93,914톤과 127,563톤에서 359,371톤과 342,466톤으로 보정되어(Fig. 3), 해당 기간의 어획 추세를 보다 현실적으로 반영하였다. 자원평

가의 입력자료로 활용하기 위한 풀가라지의 연도별 어획량은 1950–2018년 자료는 재구축된 어획량을 사용하였고, 2019–2023년 자료는 MMAF의 실제 통계자료를 사용하였다. Fig. 4



는 재구성된 최종 연도별 어획량으로, 1950년부터 2010년대 초반까지는 지속적인 증가 추세를 보이다 2013–2016년 다소 감소하였지만, 그 이후 다시 크게 증가한 것으로 나타났다(Fig. 4).

### 자원평가

CMSY 모델에 의한 인도네시아산 풀가라지의 자원평가 결과, 환경수용량( $k$ )는 223,600 (174,800–322,800)톤, 그리고  $MSY$ 는 48,200 (36,800–61,900)톤으로 추정되어(Table 3), 최근 2023년 어획량(47,932톤)은  $MSY$  수준과 유사하였다.  $B_{MSY}$ 는 111,800 (87,400–161,400)톤으로 추정되었고, 현재의 자원 상태( $B/B_{MSY}$ )는 1.01 (0.61–1.39)로 거의  $MSY$  기준점에 있어 자원이 지속가능한 수준에서 유지되고 있는 것으로 나타났다. 그리고  $F_{MSY}$ 는 0.43 (0.29–0.54)으로 나타났고, 현재의 어획강도( $F/F_{MSY}$ )는 1.05 (0.54–2.20)로  $MSY$  기반 어획강도보다 약

간 높은 수준이었다(Fig. 5). 따라서, 풀가라지 자원의 지속적 이용을 위해서는 어획강도에 대한 관리가 필요한 것으로 보인다.

### 고 찰

본 연구에서는 우리나라 다랑어연승어업의 미끼로 사용되는 인도네시아산 풀가라지의 지속가능성을 판단하기 위해 어획량을 사용하여 CMSY 방법으로 자원평가를 수행하였다. 인도네시아산 풀가라지는 연승어업에서 중요한 미끼 자원으로 사용되지만, 주요 목표종에 비해 상업적 가치가 낮아 어획통계자료가 체계적으로 구축되지 않았다. 특히 자원평가에는 대상종의 생물학적 정보와 어획량, 노력량 자료가 필수적이지만, 풀가라지의 어획량은 2019년 이전까지 가라지류 전체에 통합되어 집계되었기 때문에 정확한 통계자료를 확보하는데 한계가 있었다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하고자 인도네시아에서 FAO에 보고한 1950–2023년 가라지류 어획통계자료와 2019–2023년간 MMAF에서 수집한 풀가라지 어획량 자료를 사용하여 장기 시계열 자료를 재구성하였다. 이때 풀가라지가 가라지류에서 차지하는 평균(5개년) 어획비율을 적용하여 FAO 자료를 중 수준으로 계산하였다. 다음으로 풀가라지 어획량 추정치에 대해 비모수적 부트스트래핑을 활용한 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 어획비율 추정치의 불확실성을 정량화하고, 이를 반영하여 어획량 시계열을 재구성함으로써 자료의 견고성을 향상시켰다.

CMSY 방법(Froese et al., 2023)에서는 시간의 흐름에 따라 어획량 추세의 변화가 중요하므로 어획량 추세를 제대로 반영하지 못한다면 전체 자원평가 결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 추정치를 보정함으로써 장기적인 어획량 흐름의 특성을 반영하여 시계열 자료의 신뢰도를 향상시켰다. 일반적으로 미끼 자원과 같이 소규모 연안 어업을 통해 어획되는 어종은 어획 대상종에 비해 어획 보고의 우선순위가 낮고 국가 간 통계의 일관성이 낮기 때문에 결측치나 추정치가 많다. 따라서 본 연구에서 수행한 추정치 보정과 어획량 재구성 방법을 사용한다면 가용한 자료를 활용하여 향후 미끼 자원평가에 활용할 수 있는 기초 어획량 자료를 확보할 수 있다. 그러나 5개년 어획비율이 과거 기간 동안의 기타 전갱이류 어획 구성비를 충분히 대표할 수 있을지와 과거와 현재의 풀가라지 어획패턴의 변화에 대한 논의가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 이러한 자료의 한계점은 대부분의 미끼 자원이 가지고 있는 문제일 것이다. 비록 결과의 불확실성을 포함하고 있지만, 가용한 자료를 활용하여 미끼 자원의 지속적 이용을 위한 과학적 근거를 제시하고자 한 점에서 본 연구의 의의가 있다.

본 연구에서 수행한 자원평가 결과에 따르면, 인도네시아산 풀가라지는 자원수준이  $B_{MSY}$  보다 약간 높은 수준에 있고, 어획강도는  $F_{MSY}$  보다 약간 높은 수준인 것으로 나타나 풀가라지의 지속가능성을 위해서는 어획강도에 대한 관리가 필요한 것으로 보인다. 하지만 앞서 설명한 바와 같이, 풀가라지 자원의 정

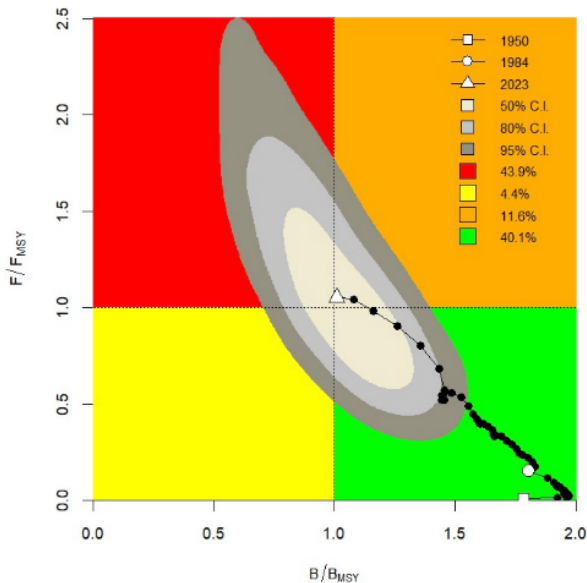


Fig. 5. Stock assessment results for mackerel scad *Decapterus macarellus* presented in a Kobe plot.

Table 3. Summary of stock assessment results for mackerel scad *Decapterus macarellus*

Symbol	Description	Estimate (95% CI)
$r$	Intrinsic rate of increase	0.86 (0.57–1.09)
$k$	Carrying capacity	223,600 ton (174,800–322,800)
$MSY$	Maximum sustainable yield	48,200 ton (36,800–61,900)
$B_{MSY}$	Biomass at $MSY$	111,800 ton (87,400–161,400)
$F_{MSY}$	Fishing mortality at $MSY$	0.43 (0.29–0.54)
$B/B_{MSY}$	Relative biomass	1.01 (0.61–1.39)
$F/F_{MSY}$	Relative fishing mortality	1.05 (0.54–2.20)

확한 자원상태 진단을 위해서는 추후 어획량 자료가 개선되어야 할 것으로 생각된다. 그러나 이 결과는 MSC 생태인증을 위한 어업지침의 최소 기준에 부합하는 미끼 자원의 지속성을 판단할 수 있는 과학적 근거 제시로 활용가능하고, 향후 우리나라 다랑어연승어업의 MSC 생태인증 취득 및 유지에 도움이 될 것으로 사료된다.

본 연구는 인도네시아산 폴라가지 자원의 관리방안을 직접적으로 제시하기 위한 것이 아니라, 연승어업에서 사용되는 미끼 자원의 지속가능성 평가를 위해 앞으로 정확한 어획통계자료 구축이 필수적임을 강조하고자 한다. 특히 수입산 미끼 자원의 경우, 미끼를 사용하는 조업국뿐만 아니라 미끼를 공급하는 수출국과의 자료 공유 및 공동연구가 요구되며 생물학적 자료 수집 등을 통한 자원평가의 신뢰도 향상이 필요하다. 향후 인도네시아와 같은 주요 미끼 수출국과의 협력이 추진된다면, 미끼 자원의 안정적인 수급뿐만 아니라 책임 있는 수산업의 이행을 통해 우리나라 다랑어연승어업의 지속가능성에도 기여할 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 2025년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2025003)로 수행되었습니다.

## References

- Anderson CM, Himes-Cornell A, Pita C, Arton A, Favret M, Averill D, Stohs S and Longo CS. 2021. Social and economic outcomes of fisheries certification: Characterizing pathways of change in canned fish markets. *Front Mar Sci* 8, 791085. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.791085>.
- Campello THP, Comassetto LE, Hazin HGA, dos Santos JCP, Kerstetter D and Hazin FHV. 2022. Comparative analysis of three bait types in deep-set pelagic longline gear in the Equatorial Atlantic Ocean. *Bol Inst Pesca* 48, e678. <https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2022.48.e678>.
- Conte LC, Bayer DM and Bayer FM. 2019. Bootstrap Pettitt test for detecting change points in hydroclimatological data: Case study of Itaipu Hydroelectric Plant, Brazil. *Hydrol Sci J* 64, 1312-1326. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1632461>.
- Eom JH, Lee SI and Yoon SC. 2025. A quantitative approach to prior setting for relative biomass (B/k) in CMSY++: Application to snow crabs (*Chionoecetes opilio*) in Korean waters. *Fishes* 10, 400. <https://doi.org/10.3390/fishes10080400>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2025. Global Fishery and Aquaculture Production Statistics. Retrieved from <http://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/home> on Oct 15, 2025.
- FitzGerald WJ. 2004. Milkfish Aquaculture in the Pacific: Potential for the Tuna Longline Fishery Bait Market. Secretariat of the Pacific Community, Noumea, New Caledonia.
- Franses PH. 2022. Interpolation and correlation. *Appl Econ* 54, 1562-1567. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1980199>.
- Froese R and Pauly D. 2025. FishBase (version 11/2025). Retrieved from <https://www.fishbase.org> on Oct 15, 2025.
- Froese R, Demirel N, Coro G, Kleisner KM and Winker H. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. *Fish Fish* 18, 506-526. <https://doi.org/10.1111/faf.12190>.
- Froese R, Demirel N, Coro G and Winker H. 2021. User Guide for CMSY++. GEOMAR, Kiel, Germany, 17.
- Froese R, Winker H, Coro G, Palomares MLD, Tsikliras AC, Dimarchopoulou D, Touloumis K, Demirel N, Vianna GMS, Scarcella G, Schijns R, Liang C and Pauly D. 2023. New developments in the analysis of catch time series as the basis for fish stock assessments: The CMSY++ method. *Acta Ichthyol Piscat* 53, 173-189. <https://doi.org/10.3897/aiep.53.e105910>.
- Ha YS, Park H and Lee SI. 2025. Changes in operational characteristics of the Korean tuna longline fishery in the Pacific Ocean. *J Korean Soc Fish Sci* 58, 383-390. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0383>.
- Hakim A, Wiryawan B, Purbayanto A, Taurusman AA, Agung F, Simanjuntak CPH, Ningtias P, Prasetya R, Kartawijaya T, Andayani N, Natsir M, Agustina S, Retnoningtyas H, Nabil, Darmawan R, Herdiana Y and Yulianto I. 2025. Spawning and nursery areas of *Decapterus macarellus*: siting pelagic fisheries marine protected area (MPA) in the Sulawesi Sea, Indonesia. *Front Mar Sci* 12, 1606963. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1606963>.
- Kim SS, Moon DY, An DH, Hwang SJ, Kim YS, Bigelow K and Curran D. 2008. Effects of hook and bait types on big-eye tuna catch rates in the tuna longline fishery. *Korean J Ichthyol* 20, 105-111.
- Larson DM, Bungula W, Lee A, Stockdill A, McKean C, Miller F, Davis K, Erickson RA and Hlavacek E. 2023. Reconstructing missing data by comparing interpolation techniques: Applications for long-term water quality data. *Limnol Oceanogr Methods* 21, 435-449. <https://doi.org/10.1002/lom3.10556>.
- Lee SI. 2025. A study on future countermeasures of Korean distant water fisheries by analyzing the historical catch trend. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 61, 49-57. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2025.61.1.049>.
- Løkkeborg S, Siikavuopio SI, Humborstad OB, Utne-Palm AC and Ferter K. 2014. Towards more efficient longline fisheries: Fish feeding behaviour, bait characteristics and development of alternative baits. *Rev Fish Biol Fisheries* 24, 985-1003. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9360-z>.
- MMAF (Ministry of Marine Affairs and Fisheries of Indonesia). 2025. Capture Fisheries Production Summary. Retrieved

- from <https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/prod-ikan/summary> on Oct 24, 2025.
- Pauly D and Zeller D. 2016. Catch reconstructions reveal that global marine fisheries catches are higher than reported and declining. *Nat Commun* 7, 10244. <https://doi.org/10.1038/ncomms10244>.
- R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 4.4.3. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/> on Oct 24, 2025.
- Retnoningtyas H, Agustina S, Natsir M, Ningtias P, Hakim A, Dhani AK, Hartati ID, Pingkan J, Simanjuntak CPH, Wiryawan B, Taurusman AA, Purbayanto A, Palm HW, Prasetya R and Yulianto I. 2023. Reproductive biology of the mackerel scad, *Decapterus macarellus* (Cuvier, 1833), in the Sulawesi Sea, Indonesia. *Reg Stud Mar Sci* 69, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103300>.
- Schaefer MB. 1991. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull Math Biol* 53, 253-279. [https://doi.org/10.1016/S0092-8240\(05\)80049-7](https://doi.org/10.1016/S0092-8240(05)80049-7).
- Sistiaga M, Herrmann B, Rindahl L and Taton I. 2018. Effect of bait type and bait size on catch efficiency in the European hake *Merluccius merluccius* longline fishery. *Mar Coast Fish* 10, 12-23. <https://doi.org/10.1002/mcf2.10007>.
- Ward P and Myers RA. 2007. Bait loss and its potential effects on fishing power in pelagic longline fisheries. *Fish Res* 86, 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2007.05.002>.