

FAO Area 61 및 인접국 수산통계 기반 한반도 주변해역 어획 변동 특성 비교 분석

윤석진* · 서정길¹ · 정옥재¹ · 조창우¹ · 김현우

국립수산물연구원 연근해자원과, ¹(주)지오시스템리서치 부설연구소

Comparative Analysis of Fishing Variation Characteristics in Waters Around the Korean Peninsula Based on FAO Area 61 and National Fisheries Statistics

Seokjin Yoon*, Junggil Seo¹, Ukjae Jung¹, Chang-Woo Cho¹ and Hyun Woo Kim

Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

¹Research and Development Institute, GeoSystem Research Corporation, Gunpo 15807, Republic of Korea

The long-term fishery catch trends around the Korean Peninsula were analyzed by comparing national and FAO catch statistics within FAO Fishing Area 61. Official catch statistics for Korea, China, Japan, Taiwan, and Russia were compared for 2007–2024 using an FAO-based five-country total-catch comparison (Track A); a national statistics-based analysis of total catch, shared species, and catch composition diversity (Track B); and an FAO-versus-national statistics comparison (Track C). Source consistency, trends, and species composition patterns were evaluated. The total catches by Korea, Japan, and Taiwan significantly decreased over the period, but they significantly increased for Russia. China had the largest mean catch. Shared-species catches showed strong national asymmetry: China dominated hairtail and small yellow croaker, and Russia dominated walleye pollock, whereas common squid declined synchronously in the Korean and Japanese statistics. Catch-composition diversity trends diverged according to data source. For example, the China national statistical trend was non-significant, whereas the FAO-based trend significantly declined. These discrepancies reflect differences in aggregation scope and taxonomic resolution, and the FAO's gap-filling of unreported data. These findings support source-specific validation and standardized reporting for shared fishery management.

Keywords: Fishing trends, Korean Peninsula, FAO Area 61, Fisheries statistics, Species composition

서론

수산자원은 전 세계 인구의 식량 안보와 사회경제적 안정을 지탱하는 핵심 자원으로서, 지속 가능한 관리가 요구된다. 특히 북서태평양(FAO 통계 구역 제61구역, FAO Area 61)은 전 세계 해양 어획량의 약 20–25%를 점유하는 세계 최대 어업 생산 해역 중 하나로, 대한민국, 중국, 일본, 러시아, 대만, 북한 등 수산업 주요국의 어업 활동이 집중되는 복합 경쟁 해역이다 (FAO, 2024). 우리나라의 주요 수산자원은 인접국가와 서식장·산란장 등을 공유하는 회유성 어종이 대부분이므로, 북서태평

양 주요국의 어획 변동 특성을 함께 파악하는 것은 한반도 주변 해역 자원의 이해와 관리에 필수적이다. 이때 각국의 어획통계와 FAO 통계는 이러한 광역 변동을 파악하는 핵심 근거 자료가 되며, 자료원 간 특성을 비교·검증하는 것이 신뢰성 있는 해석의 전제가 된다.

21세기 이후 한반도 주변해역의 어획 대상 생물군과 어획구조는 전례 없는 변화에 직면하고 있다. 기후변화로 인한 해수온 상승은 어종의 분포 북상과 계절성 변화를 야기하고 있다 (Cheung et al., 2010). 국립수산물연구원(NIFS, 2026)에 따르면, 우리나라 연근해 표층 수온은 지난 58년간(1968–2025년)

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2287 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: seokjinyoon@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.2026.0387>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 387-401, August 2026

Received 6 June 2026; Revised 10 July 2026; Accepted 16 July 2026

저자 직위: 윤석진(연구사), 서정길(선임), 정옥재(선임), 조창우(상무), 김현우(연구관)

1.6°C 상승하였으며, 이는 전 지구 해양 표층 수온에 비해 약 2배 빠른 상승률이다. 이와 같은 해양 환경의 급격한 변화는 수산 생태계의 구조적 전환을 촉발할 가능성을 내포하고 있어, 과학적 모니터링과 장기 데이터 기반의 통합 분석이 더욱 절실하게 요구되는 상황이다(Cheung et al., 2010; IPCC, 2022).

기후변화의 영향과 함께 인접국 간 경쟁적 조업 압력의 가중 또한 한반도 주변해역 어획 변동 및 자원 상태 변화의 핵심 요인으로 지목된다. 중국은 2000년대 이후 연근해 어선 규모를 급격히 확장하여 FAO Area 61 내 최대 어획 국가의 위상을 유지하고 있으며(Cao et al., 2017; FAO, 2024), 이러한 집중 어획이 공유 어종의 어획량 감소 및 자원 상태 악화를 가속화할 수 있다는 우려가 지속적으로 제기되고 있다. 반면, 대한민국과 일본은 1990년대 후반 이후 총허용어획량(TAC) 제도 도입 및 배타적 경제수역(EEZ) 상호 협정 체결을 통해 어획 규제를 강화하여 왔다. 이처럼 각국의 어획 규제 수준과 정책 시행 시기가 상이하기 때문에, 단일 국가의 통계만으로는 한반도 주변해역 어획 변동의 실체를 온전히 규명하기 어렵다는 근본적 한계가 존재한다.

국내외 선행 연구들은 한반도 주변해역의 어획량 및 수산자원 변동의 원인을 다양한 각도에서 구명하고자 하였다. 국내에서는 공식 어업 통계를 활용하여 특정 어종군의 장기 변동과 기후요인의 연관성을 분석한 연구들이 다수 축적되어 있다(Zhang et al., 2000; Kim et al., 2007; Jung et al., 2014; Lee et al., 2021). 특히 우리나라 주변해역의 어종 분포와 군집 구조는 수온 상승 및 기후 레짐 변화와 밀접하게 연동되어 변화해 온 것으로 보고되었다(Rebstock and Kang, 2003; Jung et al., 2014). 최근에는 기후 지표와의 연동 분석을 통해 어획량 변동 메커니즘을 밝히려는 시도가 확대되고 있다. 국제적으로는 FAO 수산 통계(FishStat)와 세계 어업·양식업 현황(SOFIA) 보고서를 토대로 북서태평양 해역의 어종 다양성 및 조업 압력을 평가한 연구들이 발표되었다(Tian et al., 2006; Liang et al., 2018).

그러나 기존 연구들은 몇 가지 중요한 한계가 있다. 첫째, 인접국 전체를 아우르는 종합 비교 분석이 매우 부족하다. 대부분의 연구는 단일 국가 통계에 의존하거나 FAO 광역 자료만을 활용하였기 때문에 국가 간 어획 패턴의 동조성과 이질성을 구체적으로 비교하기 어려운 구조이다. 둘째, 중국의 경우 FAO 보고 통계가 실제 어획 규모를 과대 추정하거나 어종별 세부 구분이 불분명하다는 문제가 광범위하게 지적되어 왔다(Watson and Pauly, 2001; Pauly and Zeller, 2016; Szuwalski et al., 2017). 전 지구 어획통계의 상당 부분이 국가별 보고 체계의 차이와 미보고·재구성 어획으로 인해 실제 어획량과 괴리를 보인다는 점이 지속적으로 제기되어 왔다(Pauly and Zeller, 2016). 한편 공식 원자료인 중국어업통계연감에 대한 직접 접근은 언어 장벽과 자료 가용성 문제로 인해 국내 연구에서 극히 드물었다. 셋째, 북한은 FAO를 통해 일부 통계가 공개되고 있으나, 비공식·반공식 수치의 높은 비중, 동일 값의 반복적 계상, 비정상적으

로 낮은 변동계수, 어종별 실측 통계 체계의 부재 등으로 신뢰성이 현저히 낮아 분석 대상에서 제외하였다.

이러한 연구 공백을 극복하기 위하여, 본 연구는 FAO Area 61을 통계적 분석 범위로 설정하고 한반도 주변해역과 생태·어업적으로 연결되는 주요 인접국(대한민국, 중국, 일본, 대만, 러시아)의 장기 어획통계를 수집·통합하였다.

본 연구의 목적은 FAO Area 61 인접국의 총어획량 장기 추세를 국가별로 비교하고, 주요 공유 어종의 어획 점유 구조와 국가 간 동조성을 분석하며, FAO 통계와 국가통계의 차이가 종 수준 분석 결과에 미치는 영향을 평가하는 것이다. 아울러 FAO Area 61 어획통계를 국가 간·자료원 간 비교함으로써 한반도 주변해역 수산자원 변동과 인접국의 광역적 배경을 이해하고자 한다.

재료 및 방법

연구 대상 해역

본 연구의 분석 대상 해역은 FAO Area 61으로 한정하였다. 해당 해역은 북위 20° 이북, 동경 100° 이동의 북서태평양으로서 동해, 황해, 동중국해, 오후츠크해를 포함한다. 한반도 주변 해역은 이 중 특히 동해, 황해, 동중국해의 3개 해역으로 정의하였다. 따라서 FAO Area 61 기반 결과, 특히 오후츠크해·태평양 연안·고위도 수역을 포함하는 국가별 총량 결과는 한반도 주변해역의 직접 변화라기보다 광역 통계 범위 내 어획 변동으로 해석하였다.

자료 출처

각국 어획량 통계의 원자료 출처, 수집 기간, 집계 범위는 Table 1에 제시하였다. FAO 자료는 FishStat Global Production 데이터베이스의 어획생산량 통계를 사용하였다(FAO, 2026). 공통 분석 기간을 2007–2024년(n=18)으로 설정한 것은 4개국 국가통계가 모두 확보되는 최초 연도가 2007년이므로(일본 해면 어업생산통계조사 대해구별 자료가 2007년부터 제공됨), 이후 2024년까지 FAO 자료와 국가통계가 공통으로 제공되기 때문이다. 러시아 FAO 자료는 1992년부터 제공되나 국가 간 일관된 비교를 위해 동일한 공통 기간을 적용하였다. 자료원 선정에 앞서 한국·중국·일본·대만의 자체통계와 FAO FishStat 자료 간 일치성을 이 공통 비교 기간에 대해 평균절대백분율오차(MAPE), 피어슨 상관계수(r), 편의(bias)로 평가하였다. 이 비교 결과는 자료원 채택 근거로 활용하였다.

FAO FishStat 어획생산 통계는 각 회원국이 표준 설문서(FINS1)를 통해 제출한 어종별·해역별 어획량을 FAO가 Aquatic Sciences and Fisheries Information System (ASFIS) 분류 체계에 따라 표준화·집계하여 구축한다(Garibaldi, 2012). 이 과정에서 (i) 회원국이 제출하지 않았거나 제출 자료가 불완전한 경우 FAO가 직전 연도 값의 이월 또는 전문가 추정치로 결측을

Table 1. Data sources, coverage, source consistency, and selection criteria for fisheries statistics used in this study (FAO Area 61, common analytical period 2007–2024)

Country	Data source	Period	Coverage	Comparison (2007–2024)	Adopted source / analytical use
Korea	KOSIS Fishery Production Statistics	2006–2025	Coastal and offshore fisheries only (high-seas catch excluded)	MAPE 2.94%, $r=0.9949$, bias -2.8%	National statistics adopted
China	China Fishery Statistical Yearbook (East China Sea + Yellow Sea)	2003–2024 (analysis: 2007–2024)	Yellow Sea (incl. Bohai Sea) and East China Sea (South China Sea excluded)	MAPE 33.32%, $r=0.9408$, bias -33.1%	National statistics adopted (coverage specified)
Japan	Marine Fisheries Production Statistical Survey (national total)	2007–2024	Coastal and offshore fisheries (East China Sea and Sea of Japan/East Sea sub-areas; Korean Peninsula waters only)	MAPE 58.44%, $r=0.9188$, bias -58.6%	National statistics adopted (coverage specified)
Taiwan	FAO FishStat	1950–2024	Entire FAO Area 61 (incl. distant-water)	National=offshore/coastal only (MAPE 48.48%, $r=0.271$)	FAO for Track A; national statistics used for limited Track B analyses
Russia	FAO FishStat	1992–2024	Entire FAO Area 61	National statistics not accessible	FAO adopted for Track A
North Korea	Excluded	—	—	—	Excluded for lack of data reliability (see text)

MAPE, mean absolute percentage error; r , Pearson correlation coefficient; bias=(mean of national statistics-mean of FAO)/mean of FAO $\times$ 100; KOSIS, Korean Statistical Information Service; Marine Fisheries Production Statistical Survey, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (Japan); Fisheries Agency, Ministry of Agriculture, Executive Yuan (Taiwan); FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

보완하고, (ii) 국가별 고유 어종명은 ASFIS 표준 코드로 대응되며 종 수준으로 식별되지 않는 어획물은 상위 분류군의 통합·미상(nei, not elsewhere included) 코드로 재집계되고, (iii) 어획물은 조업 해역을 기준으로 통계 구역에 배분된다(Garibaldi, 2012; Pauly and Zeller, 2016). 따라서 국가통계와 FAO 통계 간 차이는 단일 원인이 아니라 이 집계 절차의 여러 단계에서 발생할 수 있다.

대한민국의 어획량 자료는 국가통계포털(KOSIS) 어업생산 통계(2006–2025)를 활용하였다(KOSIS, 2026). KOSIS 연근해어업생산통계는 연근해 조업을 집계 대상으로 하며 공해 조업 어획량은 포함하지 않는다. 한국은 FAO 자료와의 추세 일치성이 높아 국가통계를 Track B의 주 분석 자료로 사용하고, FAO 자료는 Track A 및 자료원 비교에 활용하였다.

중국의 어획량 자료는 농업농촌부가 매년 발간하는 중국어업통계연감의 동중국해, 황해, 발해만 집계 항목을 활용하였다(2003–2024; MARA, 2025). 동 연감은 유료 발간물로, 중국 현지 계정을 통해 구입·열람하였으며 디지털 다운로드가 제한된 일부 연도는 원문을 화면 캡처한 뒤 수작업으로 디지털화하였다. 이 항목은 황해(발해만 포함)와 동중국해에서 중국 어선이 어획한 수산물을 어종별로 집계하며 남중국해 어획량은 포함하지 않는다. 중국은 국가통계를 Track B의 주 분석 자료로 사용하되, FAO 자료와의 총량 차이는 보고 범위, 계상 방식, 분류 해상도 차이가 복합적으로 작용할 수 있으므로 절대량 비교에서

주의하여 해석하였다.

일본의 어획량 자료는 농림수산성이 실시하는 해면어업생산 통계조사(2007–2024)를 활용하였다(MAFF, 2026). 동 조사는 9개 대해구별 통계를 제공하는데, 본 연구에서는 한반도 주변해역과의 공간 정합을 위해 중국 자료(황해+동중국해)와 마찬가지로 동중국해 및 동해(일본 구분상 동중국해·일본해) 대해구만을 합산한 한반도 주변해역 집계를 사용하였다. 이는 오키나와 및 태평양 연안 수역을 포함하는 전국 합계와 구분되며, 일본 전국 합계는 자료원 비교(Track A) 및 정합성 검증에만 활용하였다. 일본은 이 한반도 주변해역 국가통계를 Track B의 주 분석 자료로 사용하고, FAO 자료는 Track A 및 자료원 비교에 활용하였다.

대만의 경우 행정원 농업부 어업서 통계(근해어업과연안어업 총합, 2006–2024)를 국가통계 기반 보조 분석에 활용하였다(Fisheries Agency, 2026). 다만 동 통계는 원양어업 어획량을 포함하지 않으므로 국가 간 총어획량 비교(Track A)에는 FAO FishStat 자료를 채택하였다(FAO, 2026). 러시아는 자국 공식 통계 접근이 제한되어 FAO FishStat 자료(1992–2024)만을 활용하였으며 Track A에만 포함하였다(FAO, 2026).

국가별 어종 분류 체계의 상이성을 고려하여 FAO ASFIS 어종 코드를 기준 참조 체계로 설정하였다(FAO, 2026). 여기서 FAO ASFIS 어종 코드 기반 집계의 특성상 특정 국가의 어떤 종 점유율이 0%로 산출되는 경우, 이는 해당 종 코드의 부

재를 의미할 뿐 해당 상위 어종군 전체의 부재를 뜻하지 않음에 유의하였다(예: 중국 FAO 통계에서 살오징어 종 코드의 점유율이 0%로 나타나나, 이는 중국 통계의 오징어류 범주 전체의 부재를 의미하지 않는다). 국가 간 어종조성 주성분 분석(principal component analysis, PCA)는 FAO FishStat에서 공통으로 확인되는 ASFIS 참조 어종 39종에 대해 5개국×18개년(2007–2024)의 연도별 상대조성을 관측 단위로 하는 반복측정 행렬($n=90$)을 사용하였고, 계층군집은 국가별 연평균 상대조성 행렬(5×39)을 사용하였다. 이 분석은 군집 대상 국가 수가 제한적인 점을 고려하여 추론적 검정보다는 탐색적 ordination 및 조성 유사성 분류로 해석하였다. 반면 국가통계 기반 공유 어종 분석은 각국 통계에서 직접 식별 가능한 주요 어종을 대상으로 하였고, 국가통계 기반 H' 는 각 자료원의 leaf 분류군을 그대로 사용하여 동일 국가 내 시계열 및 자료원 간 괴리 해석에 한정하였다.

통계 분석 방법

본 연구에서 수행한 통계 분석은 세 가지 분석 축(트랙)과 하나의 공통 어종조성 비교로 구성되며, 각 기법 및 적용 목적은 Table 2에 제시하였다. Track A는 FAO FishStat를 공통 자료원으로 사용하여 5개국의 FAO Area 61 총어획량 장기 추세를 비교한다. Track B는 자체 공식통계가 확보된 국가를 대상으로 총어획량, 주요 공유 어종, 어획통계상 분류군 조성 다양성을 정밀 분석한다. 또한 FAO ASFIS 공통 참조 어종 39종을 이용해 국가 간 어종조성의 동조성과 이질성을 탐색적으로 평가하였다. Track C는 동일 국가·동일 기간에 대한 FAO 통계와 국가 통계의 편이, 추세 일치성, 다양성 지수 괴리를 분석하여 자료원 선택이 결론에 미치는 영향을 검토한다. 분석 가설은 다음과 같이 설정하였다: H1, 국가별 총어획량 장기 추세는 상이하다; H2, FAO 공통 참조 어종의 상대조성은 국가별 동조성과 이질성을 보인다; H3, 주요 공유 어종의 국가별 점유율은 비대칭적

이다; H4, 어획통계상 분류군 조성 다양성은 국가 및 자료원에 따라 서로 다른 추세를 보인다. 분석 소프트웨어는 Python (버전 3.11 이상)을 사용하였다.

자료원 신뢰성 평가를 위하여 각국 자체통계와 FAO FishStat 자료 간의 일치성을 MAPE, 피어슨 상관계수(r), 편의(%)로 정량화하였다. MAPE는 연도별 $|\text{국가통계}-\text{FAO}|/\text{FAO}$ 의 평균에 100을 곱해 산출하였고, 편의는 $[(\text{국가통계 평균}-\text{FAO 평균})/\text{FAO 평균}] \times 100$ 으로 계산하였다. 장기 추세 분석에는 비모수 Mann-Kendall 검정(Mann, 1945; Kendall, 1975)을 적용하고 추세의 크기는 Sen 기울기 추정량(Sen, 1968)으로 산출하였으며 유의수준은 $\alpha=0.05$ 로 설정하였다. 총어획량 추세에는 시계열 자기상관 가능성을 고려하여 Hamed and Rao (1998)의 수정 분산 결과를 병행 제시하였다. 본 연구는 5개국·2개 자료원·다수 어종에 걸쳐 수십 회의 Mann-Kendall 검정을 반복 수행하였으나, 분석의 탐색적 성격을 고려하여 형식적 다중검정 보정(Bonferroni 등)은 적용하지 않았고 P값은 비교 지표로 해석하였다. 다만 $P<0.001$ 수준에서 판정된 결과는 보수적 보정 후에도 결론이 유지되는 강건한 추세인 반면, 유의수준 경계(0.05 부근)의 P값은 보정에 민감할 수 있으므로 확정적 추론보다 패턴 식별의 보조 근거로 한정하였다. 국가 간 어종조성의 유사성은 FAO ASFIS 공통 참조 어종 39종을 대상으로 평가하였다. PCA는 5개국×18개년의 연도별 상대조성을 관측 단위로 하는 반복측정 행렬($n=90$)을 표준화한 뒤 수행하여 표본 수가 변수 수(39)를 충분히 초과하도록 하였으며, 각 국가의 연도별 점과 95% 신뢰 타원으로 시각화하였다. Ward 연결법(Ward, 1963) 기반 계층군집(유클리드 거리)은 국가별 연평균 상대조성 행렬(5×39)로 산출하여 국가 간 조성 유사성을 요약하였다. 어획통계상 분류군 조성 다양성은 Shannon-Wiener 지수($H'=-\sum p_i \ln p_i$)와 Pielou 균등도($J'=H'/\ln S$)로 산출하였다. 여기서 p_i 는 해당 연도 총어획량에서 분류군 i 가 차지하는 비율, S 는 분류군 수를 의미한다(Shannon, 1948; Pielou, 1966). 단, H' 와 J' 는 실제 생물다양성 또는 자원상태 지표가 아니라 어획통계상 조성 변화

Table 2. Statistical methods applied in this study

Method	Purpose	Hypothesis
National-FAO consistency comparison (MAPE, Pearson r , bias)	Quantitatively evaluate the reliability and coverage consistency of national statistics against FAO FishStat to justify source selection	Data validation
Mann-Kendall trend test + Sen's slope estimator	Estimate the direction and magnitude of long-term trends in annual total catch by a nonparametric test; significance level $\alpha=0.05$	H1
Principal component analysis (PCA) + hierarchical clustering (Ward's linkage, Euclidean distance)	Exploratorily classify similarity of catch-composition patterns using the FAO ASFIS common-species relative-composition matrix; identify synchrony and heterogeneity among countries	H2
Shared-species share analysis	Compute national catch shares and time-series shares of major shared species (e.g., hairtail, mackerel, croakers)	H3
Shannon-Wiener diversity index (H')	Quantify changes in catch taxonomic/category composition diversity by country and year; long-term trends assessed by the Mann-Kendall test	H4

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations; MAPE, mean absolute percentage error; r , Pearson correlation coefficient; ASFIS, Aquatic Sciences and Fisheries Information System; H' , Shannon-Wiener diversity index; H1–H4, hypotheses 1 to 4.

의 보조 지표로 해석하였다.

결 과

각국 자체 어업통계와 FAO 어획량 자료의 일치성 비교

수집된 각국 자체 어업통계의 신뢰성과 FAO FishStat 자료와의 정합성을 평가하기 위하여, 공통 기간(2007–2024, $n=18$) 동안의 국가별 연간 총어획량을 양 자료원 간에 체계적으로 비교하였다. 비교 지표로는 MAPE, 피어슨 상관관계수(r), 그리고 자체통계와 FAO 자료 평균 간의 편의(bias, %)를 산출하였다. 이와 함께 각국 통계의 집계 해역 및 어업 범주가 FAO Area 61과 일치하는지 여부를 어종 구성 및 집계 기준을 통해 별도로 검토하였으며, 그 결과를 Table 1에 제시하였다.

우리나라 KOSIS 어업생산통계와 FAO FishStat 간에는 가장 높은 일치도가 확인되었다. 자체통계 연평균은 1,033.6천 톤, FAO 자료는 1,063.0천 톤으로, MAPE 2.94%, 피어슨 $r=0.9949$, 편의 -2.8%를 기록하였다(Table 1). 연도별 차이는 -4.0%(2011)에서 +1.9%(2024) 범위에 머물렀으며, 추세의 방향성과 변동 패턴이 양 자료원에서 일관되게 유지되었다. 자체통계가 FAO 대비 소폭 낮게 나타나는 편이는 KOSIS 연근해어업생산통계가 연근해 조업을 대상으로 하는 반면, FAO 자료에는 공해에서의 어획량이 일부 포함되기 때문으로 판단된다. 실제로 FAO 한국 자료에는 명태(*Gadus chalcogrammus*) 연평균 27.5천 톤이 포함되어 있으나 KOSIS에서의 명태 어획량은 사실상 0에 가까운 실정이다. 이상의 결과를 고려하여 한국은 KOSIS 자체통계를 주 분석 자료로 채택하였다.

중국 어업통계연감(동중국해+황해) 자료와 FAO FishStat 간에는 가장 큰 절대량 차이가 관찰되었다. 자체통계 연평균은 8,256.0천 톤인 반면 FAO 자료 평균은 12,335.6천 톤으로, MAPE 33.32%, 편의 -33.1%에 달하였다(Table 1). 그러나 피어슨 $r=0.9408$ 로 양 자료의 추세 방향은 상당히 유사하며, 특히 2017년을 전후한 급격한 감소 패턴이 두 자료원에서 공통으로 확인된다. 절대량 괴리는 보고 범위, 계상 방식, 통계 반영 시점, 어종 분류 해상도 차이가 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 연감은 어획물을 비교적 세분화된 어종 단위로 집계하는 반면, FAO에 보고된 중국 자료는 상당 부분이 어종 단위로 식별되지 않는 통합·미상 코드로 계상되어 어종조성 및 다양성 분석에서 특히 큰 제약이 가진다. 편의 폭은 2007–2016년 구간 평균 -29.2%에서 2017–2024년 구간 평균 -38.5%로 심화되었는데, 이는 중국의 어획량 감산 정책 시행 이후 연감 수치가 급감한 반면 FAO 자료는 상대적으로 완만하게 반응한 데 기인할 가능성이 있다. 중국은 추세 분석에 국가통계를 활용하되, 절대량과 종 수준 해석에서는 이러한 자료원 차이를 방법론적 한계로 명시하였다.

일본의 경우 한반도 주변해역(동중국해+동해 대해구) 집계를 FAO FishStat(Area 61 전체)과 비교하면 MAPE 58.44%, 편의

-58.6%로 절대량 차이가 컸다(Table 1). 이는 중국과 동일하게, 한반도 주변해역에 한정된 국가통계가 오후츠크해·태평양 연안을 포함하는 FAO Area 61 광역 통계의 부분집계이기 때문이다. 실제로 동일 자료의 전국 합계를 FAO와 비교하면 MAPE 8.62%, 편의 +8.8%로 매우 높은 일치를 보이는데, 이는 양자가 모두 광역 범위라는 스케일 일치에 따른 것으로, 한반도 주변해역 대표성과는 구별된다. 그럼에도 한반도 주변해역 집계와 FAO 자료의 추세 상관관계는 피어슨 $r=0.9188$ 로 높아 변동 패턴은 양 자료원에서 일관되게 유지되었다. 해면어업생산통계조사는 연안어업과 근해어업을 집계 대상으로 하며, 원양어업은 별도의 원양어업생산통계조사로 관리된다. 본 연구에 사용된 9개 대해구별 통계에서 전국 합계(2,786,195톤, 2024년)는 9개 대해구 합계와 완전히 일치하며, 해당 대해구들은 동해, 황해, 동중국해, 오후츠크해 및 태평양 연안 수역으로 구성된다. 본 연구는 이 중 한반도 주변해역에 해당하는 동중국해·동해 대해구만을 합산하여 Track B에 사용함으로써 중국 자료와의 공간 정합성을 확보하였다. 한반도 주변해역 집계와 FAO 광역 통계 간의 절대량 괴리는 집계 해역 범위의 구조적 차이에 따른 것으로, 일본은 한반도 주변해역 국가통계를 Track B 주 분석 자료로 채택하되 절대량의 자료원 차이를 방법론적 한계로 명시하였다.

대만 행정원 농업부 어업서의 근해·연안 어업통계와 FAO FishStat 간에는 MAPE 48.48%, 피어슨 $r=0.271$ 로 가장 낮은 일치도가 확인되었다(Table 1). 자체통계 연평균은 174.4천 톤인 반면 FAO 자료는 360.8천 톤으로 약 2.1배 차이를 보였다. 이는 데이터 오류가 아니라 집계 범위의 구조적 차이에서 비롯된다. 수집된 자체통계 파일은 근해어업과 연안어업만을 대상으로 하며, 쾡치(*Cololabis saira*), 황다랑어(*Thunnus albacares*), 눈다랑어(*Thunnus obesus*) 등 원양어업 어획량이 제외되어 있다. 반면 FAO Area 61 통계에는 이들 원양 어종의 어획량이 포함되어 있어 직접적인 총량 비교가 불가하다. 따라서 국가 간 총어획량 비교에는 FAO FishStat 자료를 기준으로 채택하였다.

러시아는 자국 공식 어업통계에 대한 접근이 제한되어 FAO FishStat 자료를 유일한 분석 자료로 활용하였다. FAO 자료의 경우 1992년부터 2024년까지 데이터가 제공된다.

북한 FAO 자료는 신뢰성이 현저히 낮아 분석 대상에서 제외하였다. 이에 대한 근거는 자료 내부에서 직접 확인된 네 가지 지표에 의한다. 첫째, 전체 기간 데이터의 71.8%(특히 2000년 이후로는 99.4%)가 FAO의 STATUS=I(비공식·반공식 수치)로 분류되어 있어 공식 보고에 기반하지 않음을 나타낸다. 둘째, 2002–2008년 7년간 연간 총어획량이 정확히 200,000톤으로 반복되었는데, 이는 FAO가 북한으로부터 실측 자료를 수령하지 못하고 직전 연도 값을 이월 처리한 결과로 판단된다. 셋째, 변동계수가 2.8%로 동기간 한국(13.9%) 및 일본(14.7%)과 비교하여 비정상적으로 낮다. 실제 어업 생산량은 자원 변동, 기상, 정책 등의 영향으로 연간 편차가 수반되므로, 변동계수

2.8%는 실측치가 아닌 추정값의 반복을 시사한다. 넷째, 2000–2024년 기간 동안 FAO에 보고된 어종 수가 7종에 불과하며, 이 중 가장 큰 비중을 차지하는 항목이 조기강(*Actinopterygii*)이라는 상위 분류군 통합치로 집계되어 있어 어종별 실측 통계 체계가 부재함을 보여준다. 이에 반해 같은 기간 한국은 120종, 일본은 116종의 어종별 어획량이 보고되고 있다.

이상의 결과를 종합하면(Table 1), 한국과 일본은 자체통계와 FAO 자료 간 높은 추세 일치성을 보이므로 자체통계를 주 분석 자료로 채택하는 것이 타당하다. 중국은 절대량 편이가 크지만 추세 방향의 상관성이 높아($r=0.9408$) 집계 해역 불일치를 방법론적 한계로 명시하는 조건 하에 자체통계를 채택하였다. 대만은 자체통계 파일의 집계 범위 제한으로 FAO 자료를 채택하였으며, 러시아는 자국 통계 접근 제약으로 FAO 자료를 활용하였다. 북한은 자료 신뢰도 결여로 분석 대상에서 제외하였다.

FAO Area 61에 보고된 어획량 중 어종 단위(이명법)로 식별되지 않는 통합·미상 코드의 비중은 중국이 74.2%로 한국(41.7%)·일본(32.6%)·대만(34.9%)에 비해 현저히 높았다(Table 3). 특히 중국에서는 단일 통합 코드인 조기강(*Actinopterygii*, ASFIS 코드 MZZ)이 연평균 약 2,514천 톤(FAO 중국 총량의 20.4%)을 차지하였다. 이는 FAO 자료만으로는 중국 어획의 어종조성과 어획통계상 다양성을 분석하는 데 본질적 한계가 있음을 의미한다. 따라서 중국의 FAO-국가통계 총량 괴리는 복합적 자료원 차이로 해석하되, 미상·통합 코드 비중은 특히 중 수준 분석에서 핵심 제한요인으로 보아야 한다.

이상에서 관찰된 자료원 간 차이는 그 성격에 따라 크게 세 유형으로 구분된다. 첫째, 집계 범위의 구조적 차이로, 한국의 소폭 음의 편이(-2.8%)는 KOSIS 연근해 통계가 공해 조업을 제외하는 반면 FAO 자료에는 원양성 어종(예: 명태)이 포함된 데 따른 것이고, 일본의 큰 편이(-58.6%)는 한반도 주변해역 대해 구만을 합산한 부분집계에 기인한다. 둘째, 분류 해상도의 차이로, 앞서 제시한 바와 같이 중국 FAO 자료의 74.2%가 통합·미상 코드로 집계되어 중 수준 분석에서 정보 손실이 발생한다(Table 3). 셋째, FAO의 결측 보완 절차에서 비롯되는 차이로, 북한의 2002–2008년 총어획량이 200,000톤으로 반복 계상된 것은 실측 자료 부재 시 직전 값을 이월한 결과로, 국가의 미보고가 통계에 반영되는 방식을 직접 보여준다. 즉 자료원 간 차이

는 실제 어획량의 과소·과대 보고만으로 단정할 수 없으며, 집계 방법·분류 해상도·결측 보완이 결합된 결과로 해석하는 것이 타당하다.

FAO Area 61 총어획량의 국가별 장기 변동 추세(Track A)

FAO FishStat을 공통 자료원으로 한 5개국의 2007–2024년 연간 총어획량에 대한 Mann-Kendall 검정 결과, 어획량의 장기 추세는 국가별로 뚜렷이 상이하였다. 한국(Sen 기울기 -21.9천 톤/년, $Z=-3.94$, $P<0.001$), 일본(-75.5천 톤/년, $Z=-4.70$, $P<0.001$), 대만(-14.5천 톤/년, $Z=-3.49$, $P<0.001$)은 모두 통계적으로 유의한 감소 추세를 나타냈다. 반면 러시아는 +98.1천 톤/년($Z=4.77$, $P<0.001$)의 유의한 증가 추세를 보여 분석 대상 5개국 중 유일하게 어획량이 지속적으로 확대되었다. 중국은 연평균 12,335.6천 톤으로 최대 어획국의 위상을 유지하였으나, 표준 Mann-Kendall 검정에서 추세의 유의성이 확인되지 않았고(Sen -83.0천 톤/년, $Z=-1.44$, $P=0.150$), 어획 시계열의 자기상관을 보정한 Hamed-Rao 수정 검정에서도 동일하게 비유의하였다($Z=-0.93$, $P=0.354$). 이는 중국 어획량이 2017년 전후 급감하였으나 분석 기간 전체로는 단조적 추세로 수렴하지 않았음을 시사한다. 한국·일본·대만의 감소와 러시아의 증가 추세는 Hamed-Rao 보정 후에도 모두 $P<0.001$ 수준에서 유의성이 유지되어 추세 판정의 강건성이 확인되었다(Table 4, Fig. 1).

국가통계 기반 어획 동향 정밀 비교(Track B)

자체 공식통계가 확보된 4개국의 총어획량 추세는 Track A의 FAO 기반 결과와 대체로 방향성이 일치하였다. 한국(Sen -20.8천 톤/년, $Z=-3.94$, $P<0.001$)과 일본(동중국해·동해 대해 구 합산, -23.2천 톤/년, $Z=-3.71$, $P<0.001$)은 유의한 감소를 보였고, 중국은 황해·동중국해 합산 국가통계상(남중국해 제외) -118.4천 톤/년의 큰 음의 기울기에도 불구하고 추세의 유의성은 확인되지 않았다($Z=-1.74$, $P=0.081$; Hamed-Rao $P=0.210$). 대만 국가통계는 근해·연안 어업에 한정되어(원양 제외) 절대수준이 낮고 추세도 유의하지 않았다($Z=0.83$, $P=0.405$)(Table 5, Fig. 2).

FAO 공통어종 기반 어종조성 비교(H2)

Table 3. Composition of FAO Area 61 catch by taxonomic identification level (mean annual $\pm$ SD, 10^3 t, 2007–2024, $n=18$). Species-identified denotes ASFIS codes expressed in binomial nomenclature (Genus species); unidentified/aggregated denotes higher-taxon or nei codes

Country	FAO total	Species-identified	Unidentified/aggregated	Unidentified share (%)
Korea	1,063.0 $\pm$ 141.1	619.7 $\pm$ 116.2	443.3 $\pm$ 39.7	41.7
Japan	3,255.4 $\pm$ 413.8	2,192.9 $\pm$ 255.7	1,062.5 $\pm$ 170.4	32.6
China	12,335.6 $\pm$ 833.2	3,182.1 $\pm$ 359.2	9,153.5 $\pm$ 575.0	74.2
Taiwan	360.8 $\pm$ 91.1	235.1 $\pm$ 62.6	125.7 $\pm$ 48.5	34.9

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations; ASFIS, Aquatic Sciences and Fisheries Information System; nei, not elsewhere included; t, metric ton. Percentages are ratios of period means; standard deviations are given for tonnage columns only.

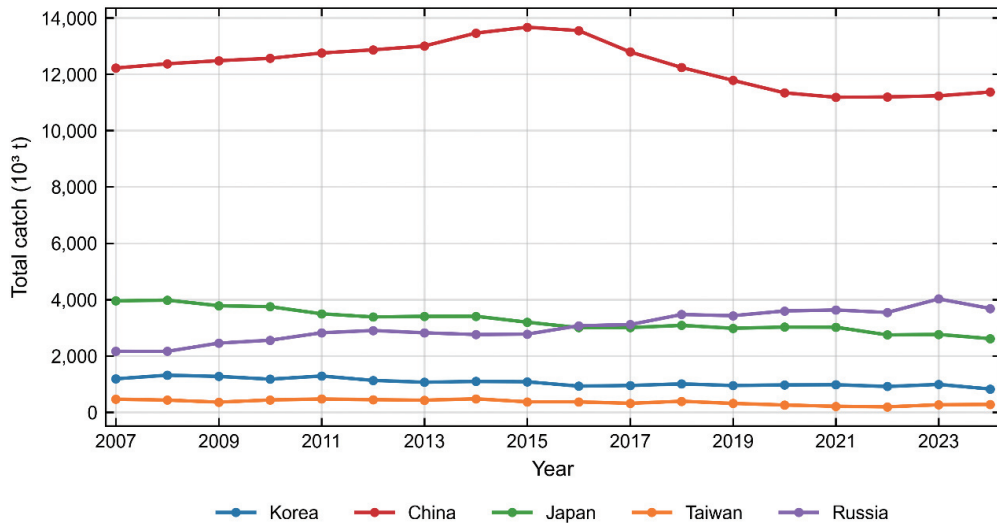


Fig. 1. Annual total catch trends of five countries based on FAO FishStat (2007–2024). FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO ASFIS 공통 참조 어종 39종의 5개국 × 18개년 반복측정 상대조성 행렬($n=90$)에 대한 탐색적 주성분분석 결과, 제1·2주성분이 전체 분산의 57.0%(PC1 34.7%, PC2 22.3%)를 설명하였다. Ward 계층군집(국가별 연평균 상대조성 기반)에서는 한국과 일본이 가장 유사한 조성을 보이고 여기에 중국이 결합되었으며, 대만은 이 한·중·일 군집에 중간 거리에서 결합되었고, 러시아는 명태 중심의 한대성 조성으로 가장 늦게 결합되는 최외곽 군집으로 분리되었다(Fig. 3). PCA loading을 함께 검토한

결과(Table 6), PC1 양(+)의 방향은 민어과·참조기·갈치의 높은 loading으로 나타났으며, 이는 황해·동중국해 저서성 어종의 상대적 비중을 반영할 가능성이 있다. 다만 이들 어종은 중국의 어획 점유율이 매우 높으므로(갈치 93.6%·참조기 91.6%), 해당 loading이 상당 부분 중국의 높은 어획 비중에 기인할 수 있음에 유의하였다. 반면 PC1 음(-)의 방향은 성게류·가자미류·다랑어류 및 임연수어 등 외양·저서·한대성 어종과 관련되어 이러한 조성 대비를 반영했을 가능성이 있다. 한편 대만은 PC1 기준으

Table 4. Mann-Kendall trend test and Sen's slope for total catch of five countries based on FAO FishStat (2007–2024)

Country	Mean annual (10^3 t)	Sen's slope (10^3 t/yr)	MK Z	MK P	HR Z	HR P	Trend
Korea	1,063.0	-21.94	-3.939	0.0001	-3.939	0.0001	Decrease
China	12,335.6	-82.99	-1.439	0.1501	-0.927	0.3540	No significant trend
Japan	3,255.4	-75.53	-4.697	<0.0001	-4.697	<0.0001	Decrease
Taiwan	360.8	-14.49	-3.485	0.0005	-3.485	0.0005	Decrease
Russia	3,054.6	98.07	4.773	<0.0001	6.536	<0.0001	Increase

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations; MK, original test; HR, Hamed-Rao modified test; Z, Mann-Kendall standardized test statistic; P, probability value; t, metric ton.

Table 5. Mann-Kendall trend test and Sen's slope for total catch of four countries based on national official statistics (2007–2024)

Country	Mean annual (10^3 t)	Sen's slope (10^3 t/yr)	MK Z	MK P	HR Z	HR P	Trend
Korea	1,033.6	-20.81	-3.939	0.0001	-3.939	0.0001	Decrease
China	8,256.0	-118.43	-1.742	0.0814	-1.253	0.2104	No significant trend
Japan	1,347.6	-23.19	-3.712	0.0002	-3.712	0.0002	Decrease
Taiwan	174.4	-0.64	-0.833	0.4047	-0.833	0.4047	No significant trend

MK, original test; HR, Hamed-Rao modified test; Z, Mann-Kendall standardized test statistic; P, probability value; t, metric ton. Japan values represent the East China Sea and Sea of Japan/East Sea sub-areas only (Korean Peninsula waters). China values represent Yellow Sea (including Bohai Sea) and East China Sea only.

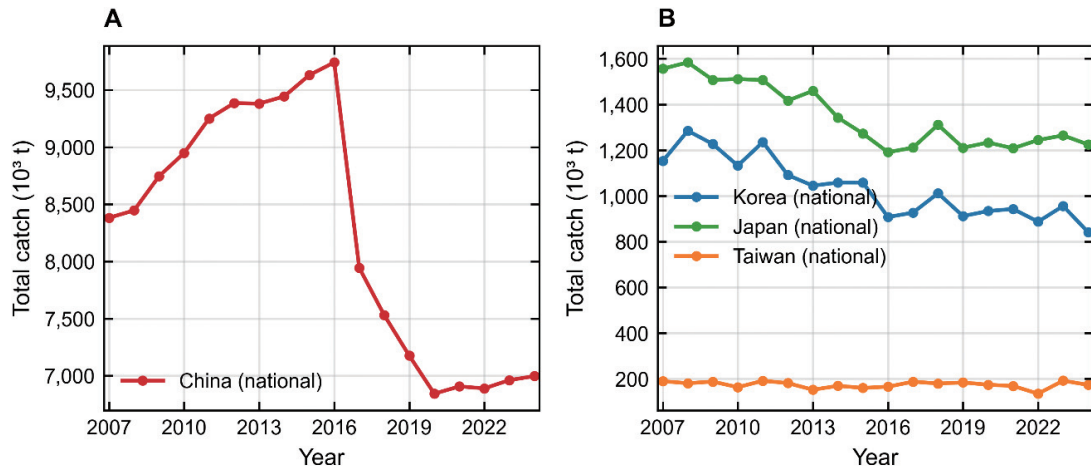


Fig. 2. Annual total catch trends of four countries based on national official statistics (2007–2024). A, China; B, Korea, Japan, and Taiwan.

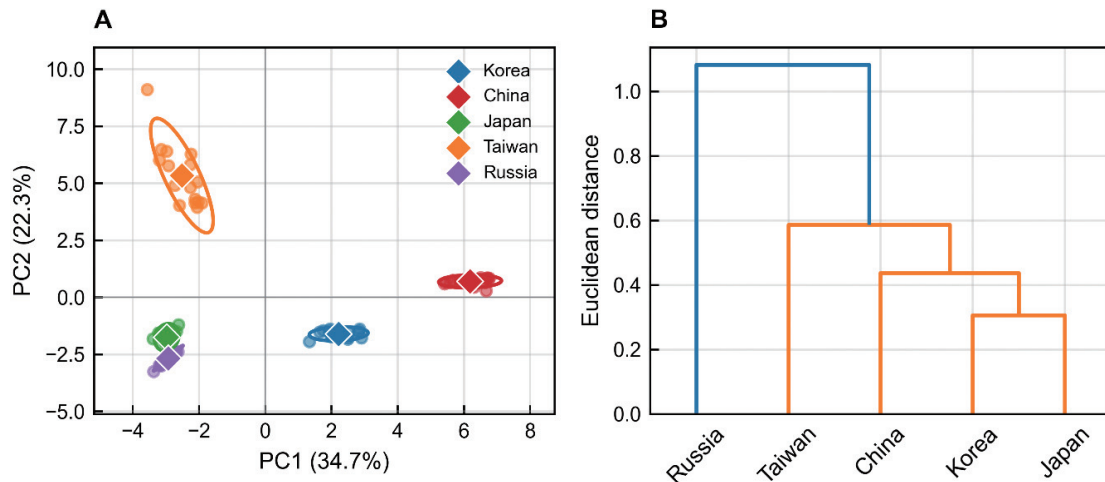


Fig. 3. Exploratory principal component analysis and hierarchical clustering of species composition based on FAO ASFIS common reference taxa. A, principal component analysis of country-year observations ($n=90$) with 95% confidence ellipses and country means (diamonds); B, Ward hierarchical clustering of country mean relative compositions. PCA, principal component analysis; ASFIS, Aquatic Sciences and Fisheries Information System.

로 일본·러시아와 유사한 음(-)의 방향에 위치하였으나, PC2 양(+)의 방향으로 크게 분리되어 다른 국가들과 구별되는 조성 특성을 보였다. PC2 양(+)의 상위 loading은 새치류(녹새치·황새치), 황다랑어, 꽂치, 새우류 등으로 구성되어, 대만의 분리가 원양성·회유성 어종의 상대적 비중과 관련될 가능성을 시사한다. 실제로 대만은 연도별 PCA 점의 PC2 방향 분산이 다른 국가들에 비해 뚜렷하게 커, 어종조성의 시간적 변동성이 가장 높은 것으로 나타났다. 단, 본 조성 분석은 국가통계 전 어종을 직접 매핑한 결과가 아니라 FAO ASFIS 공통 참조 어종 기반의 기술적 비교이므로, 중국 FAO 자료의 미상·통합 코드 비중과 국가별 보고 해상도 차이를 고려하여 해석하였다. 또한 PCA는 5개국×18개년($n=90$) 관측을 사용하여 표본 수를 확보하였으나,

Ward 군집은 대상 국가 수가 5개국으로 제한적이므로 군집 간 거리는 통계적 유의성 판정이 아니라 상대조성 패턴을 요약하는 탐색적 지표로 보았다.

공유 어종별 인접국 어획량 비교(Track A · B)

FAO 기반 5개국의 주요 공유 어종별 국가 점유율(2007–2024 연평균)은 어종에 따라 뚜렷한 비대칭성을 보였다(Table 7, Fig. 4). 이때 살오징어의 중국 FAO 점유율 0.0%는 FAO ASFIS 종코드 기준의 집계 결과이므로, 중국 국가통계의 오징어류 범주 전체가 부재함을 의미하지 않는다. 갈치(*Trichiurus lepturus*)는 중국이 전체의 93.6%를 점유하여 사실상 단일 국가에 집중되었고, 참조기(*Larimichthys polyactis*) 역시 중국 91.6%·한

Table 6. Major positive and negative PCA loadings for the FAO ASFIS common reference taxa

Direction	ASFIS code	Scientific name	PC1 loading	PC2 loading
PC1 (+)	CDX	Sciaenidae	0.266	0.010
PC1 (+)	CTL	Sepiidae, Sepiolidae	0.260	0.036
PC1 (+)	TIS	Latilinae	0.258	0.019
PC1 (+)	LHT	<i>Trichiurus lepturus</i>	0.254	0.075
PC1 (+)	CRY	<i>Larimichthys polyactis</i>	0.254	-0.031
PC1 (-)	URC	<i>Strongylocentrotus</i> spp.	-0.165	-0.203
PC1 (-)	FLX	Pleuronectiformes	-0.159	-0.189
PC1 (-)	ALB	<i>Thunnus alalunga</i>	-0.147	0.085
PC1 (-)	SKJ	<i>Katsuwonus pelamis</i>	-0.144	0.020
PC1 (-)	ATK	<i>Pleurogrammus azonus</i>	-0.143	-0.188
PC2 (+)	BUM	<i>Makaira nigricans</i>	-0.086	0.285
PC2 (+)	YFT	<i>Thunnus albacares</i>	-0.110	0.285
PC2 (+)	SAP	<i>Cololabis saira</i>	-0.109	0.283
PC2 (+)	SWO	<i>Xiphias gladius</i>	-0.109	0.282
PC2 (+)	DCP	Natantia	0.111	0.281
PC2 (-)	URC	<i>Strongylocentrotus</i> spp.	-0.165	-0.203
PC2 (-)	FLX	Pleuronectiformes	-0.159	-0.189
PC2 (-)	ATK	<i>Pleurogrammus azonus</i>	-0.143	-0.188
PC2 (-)	ALK	<i>Gadus chalcogrammus</i>	-0.117	-0.171
PC2 (-)	CLX	Bivalvia	-0.042	-0.150

PCA, principal component analysis; FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations; ASFIS, Aquatic Sciences and Fisheries Information System; PC1, first principal component; PC2, second principal component. Loading values were calculated from the standardized repeated-measures relative-composition matrix (five countries×18 years, n=90) of 39 FAO ASFIS reference taxa. Only the five largest positive or negative loadings for each axis are shown.

국 8.3%로 황해·동중국해 저서성 어종의 통계상 어획 점유율이 중국에 압도적으로 집중되었다. 멸치(*Engraulis japonicus*)

는 중국 63.7%·일본 18.6%·한국 17.7%, 고등어(*Scomber japonicus*)는 중국 41.1%·일본 39.3%·한국 11.0%로 상대적으로 분산된 구조를 나타냈다. 살오징어(*Todarodes pacificus*)는 일본 50.6%·한국 47.7%로 양국이 양분하였으며, 명태(*G. chalcogrammus*)는 러시아 88.7%·일본 9.8%로 한대성 어종 특성을 반영하여 고위도 국가에 집중되었다. 특히 한국의 명태 점유율은 1.5%에 그쳐 한국 어획통계상 명태 어획의 사실상 소멸을 반영하였다. 한편 국가 공식통계 기준 6개 공유 어종의 추세(한·중·일; 대만은 주요 어종만 제공되고 담수어가 분리되지 않아 제외)는 다음과 같다. 살오징어는 한국(연평균 113.0천 톤, Sen -10.9천 톤/년, $P<0.001$)과 일본(43.1천 톤, -4.6천 톤/년, $P<0.001$)에서 동반 급감하여 양국 공통의 어획량 감소가 확인되었다. 갈치는 중국이 733.0천 톤으로 압도적이나 유의하게 감소하였고(-15.1천 톤/년, $P<0.001$), 일본 갈치(2.0천 톤)는 어획 규모가 작아 유의한 추세가 확인되지 않았다($P=0.495$). 참조기는 한국(-1.1천 톤/년, $P=0.008$)과 중국(-7.1천 톤/년, $P=0.001$)에서 모두 감소하였다. 멸치는 한국·일본에서 유의하게 감소한 반면 중국(681.0천 톤)은 추세가 확인되지 않았고($P=0.495$), 고등어는 중국에서만 유의하게 감소하였다(-9.8천 톤/년, $P=0.015$). 특히 한국의 명태는 분석 기간 연평균 0.0천 톤 수준으로 한국 동해 명태 어획의 사실상 소멸을 재확인하였다. 일본 명태(한반도 주변해역 집계 48.3천 톤)는 유의한 추세가 확인되지 않았다($P=0.256$; 중국은 해당 해역 미보고). 다만 각국 통계의 대상 해역 범위가 다소 상이하여(중국은 황해(발해만 포함)·동중국해 한정, 한국 연근해 전국, 일본 동중국해·동해 대해구) 국가 간 절대 어획량의 직접 비교에는 한계가 있으므로, 본 결과는 동일 국가 내 종별 추세 해석에 한정한다. 전(全) 어종 수준의 국가 간 조성 비교는 종명-ASFIS 교차정합을 전제로 하므로 고찰에서 향후 과제로 논의한다.

어획통계상 분류군 조성 다양성의 시계열 변화(Track A · B)

FAO 기반 국가별·연도별 보고 어획량의 분류군 조성으로 산출한 어획통계상 Shannon-Wiener 분류군 조성 다양성 지수(H')는 장기 추세에서 국가 간 상반된 양상을 보였다(Table 8,

Table 7. Mean annual national catch shares of major shared species based on FAO data (2007–2024, n=18)

Species	Scientific name	Total mean annual±SD (10 ³ t)	Korea (%)	China (%)	Japan (%)	Taiwan (%)	Russia (%)
Chub mackerel	<i>Scomber japonicus</i>	1,110.5±138.5	11.0	41.1	39.3	6.1	2.4
Common squid	<i>Todarodes pacificus</i>	236.8±145.7	47.7	0.0	50.6	0.0	1.7
Hairtail	<i>Trichiurus lepturus</i>	1,107.7±112.7	4.8	93.6	0.8	0.9	0.0
Walleye pollock	<i>Gadus chalcogrammus</i>	1,848.6±174.7	1.5	0.0	9.8	0.0	88.7
Japanese anchovy	<i>Engraulis japonicus</i>	1,118.2±200.1	17.7	63.7	18.6	0.0	0.0
Small yellow croaker	<i>Larimichthys polyactis</i>	357.1±59.3	8.3	91.6	0.0	0.0	0.0

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Percentages may not sum to 100 owing to rounding.

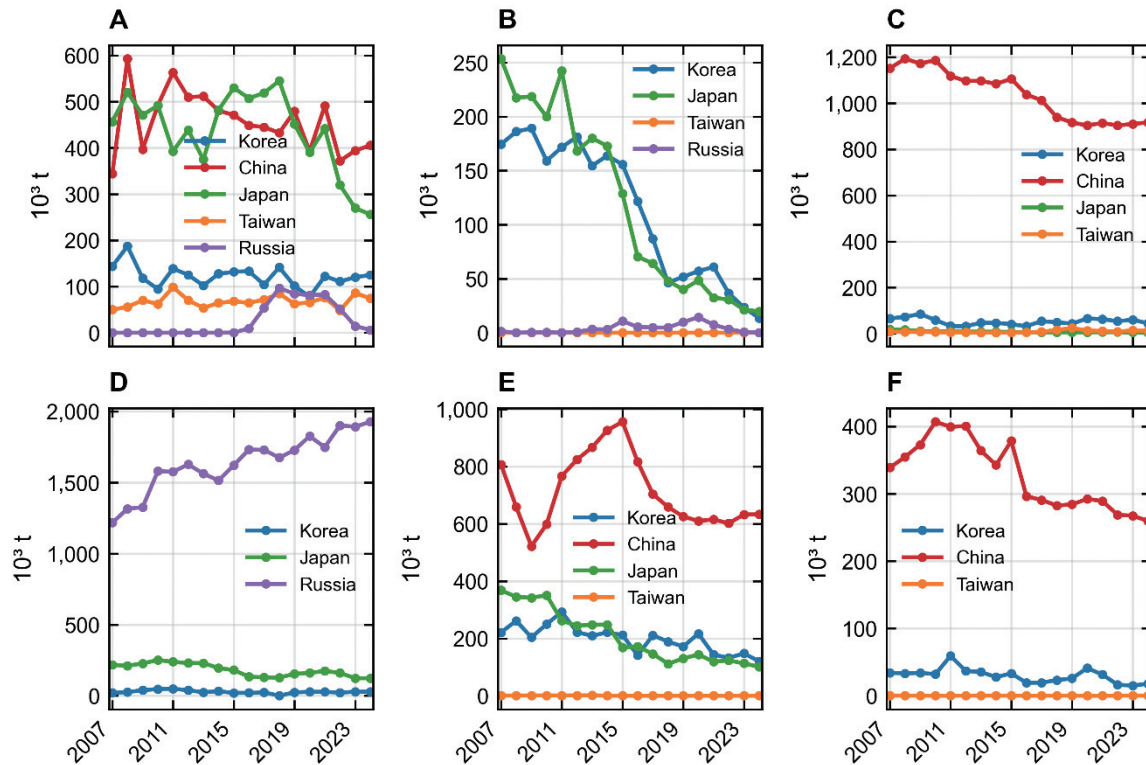


Fig. 4. Annual catch trends of major shared species by country based on FAO data (2007–2024). A, *Scomber japonicus*; B, *Tadarodes pacificus*; C, *Trichiurus lepturus*; D, *Gadus chalcogrammus*; E, *Engraulis japonicus*; F, *Larimichthys polyactis*. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fig. 5). 일본(H' 연평균 3.144)은 유의한 감소($\text{Sen } -0.026/\text{년}$, $P < 0.001$), 중국(3.199)도 유의한 감소($-0.007/\text{년}$, $P = 0.015$)를 보인 반면, 한국(3.247)은 유의한 증가($+0.016/\text{년}$, $P = 0.002$), 러시아(1.838)도 유의한 증가($+0.014/\text{년}$, $P = 0.015$)를 나타냈다. 대만(2.562)은 유의한 추세가 확인되지 않았다($P = 0.226$). 러시아의 H' 는 명태 중심의 단순 조성을 반영하여 절대수준이 가장 낮으나(1.838) 분석 기간에 완만한 증가를 보였는데, 이는 명태 외 어획·보고 어종의 비중이 점진적으로 확대된 데 따른 것으로 보이며, 실제 생물다양성의 증가라기보다 FAO에 보고되는 어종 구성의 변화를 반영할 가능성이 있다. 다만 H' 의 국가 간 절

대수준 비교는 자료원별 어종 분류 해상도 차이에 교란되므로 해석에 유의가 필요하다. 특히 중국은 Pielou 균등도(J' 0.822)가 외견상 가장 높게 나타나는데, 이는 어획통계상 다양성이 실제 생물다양성을 직접 반영한다기보다 소수의 통합·미상 코드로 어획량이 집계된 결과일 수 있다(Track C 참조). 따라서 본 연구에서는 H' · J' 를 생태계 건강성의 직접 지표가 아니라 동일 국가 내 분류군 조성 다양성의 시계열 지표로 해석하였다. 이 지수의 추세 검정 역시 반복 검정 보정을 적용하지 않은 기술적 비교이므로, 국가 간 우열 판단보다 자료원별 조성 변화 방향의 비교에 중점을 두었다. 한편 H' 는 각국 통계의 어종 분류

Table 8. Long-term trends in the reported catch taxonomic/category composition index (H') and evenness (J') by country based on FAO data (2007–2024)

Country	Mean H'	Mean J'	H' Sen (/yr)	H' MK P	Trend
Korea	3.247	0.719	0.0162	0.0015	Increase
China	3.199	0.822	-0.0070	0.0153	Decrease
Japan	3.144	0.725	-0.0263	<0.0001	Decrease
Taiwan	2.562	0.560	-0.0071	0.2255	No significant trend
Russia	1.838	0.438	0.0144	0.0153	Increase

H' , Shannon-Wiener diversity index; J' , Pielou evenness index; MK, Mann-Kendall; P, probability value; FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

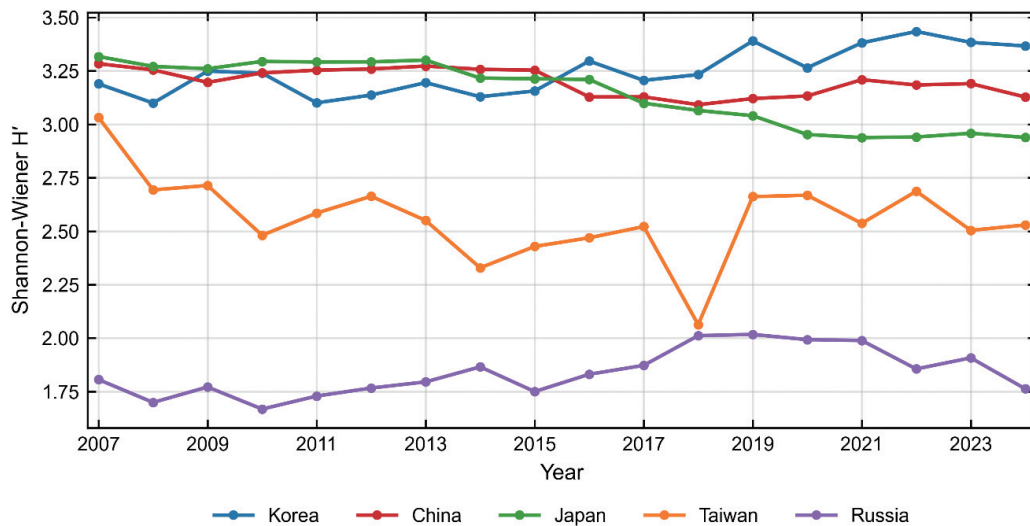


Fig. 5. Changes in the reported catch taxonomic/category composition index (H') by country based on FAO data (2007–2024). FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

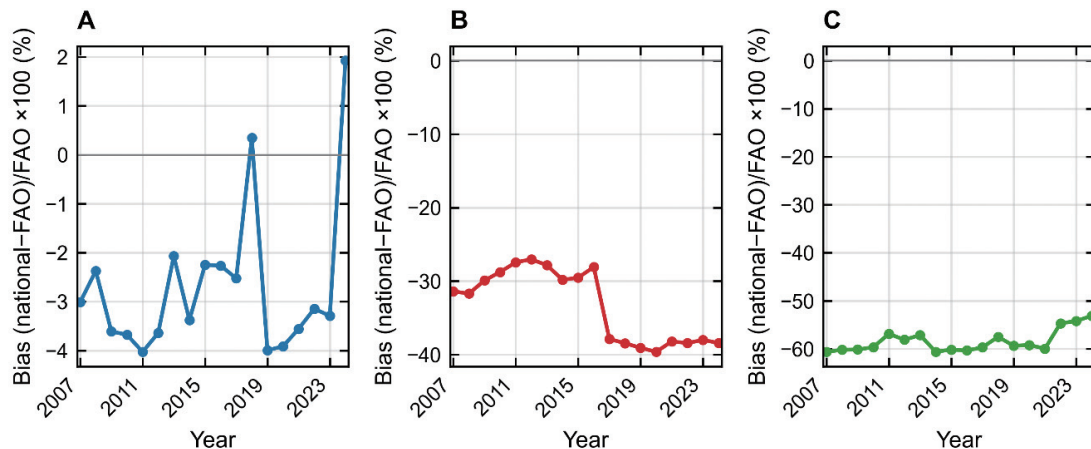


Fig. 6. Annual bias of national-statistics totals relative to FAO totals by country (2007–2024). A, Korea; B, China; C, Japan; FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

체계를 그대로 적용하여 ASFIS 코드 매핑 없이도 산출할 수 있으므로, 국가 공식통계 기반 H' 를 별도로 계산하였다(어종 분류 수: 한국 139개, 일본 71개, 중국 46개). 그 결과 한국(국가통계 H' 평균 3.313, Sen +0.019/년, $P < 0.001$)과 일본(3.064, Sen -0.022/년, $P < 0.001$)은 FAO 기반 결과와 추세 방향(각각 증가·감소)이 일치하였으나, 중국은 국가통계상 유의한 추세가 확인되지 않아(3.210, Sen +0.002/년, $P = 0.081$) FAO 기반의 유의한 감소($P = 0.015$)와 상반되었다. 자료원 간 H' 괴리의 상세 비교는 C-3에 기술하였다.

FAO 통계와 국가통계 간 괴리 분석(Track C)

FAO와 국가통계 간 편이의 시계열 구조(C-1)는 국가별

로 상이한 양상을 보였다. 한국은 분석 기간 전반에 걸쳐 -3.0%(2007–2016)에서 -2.3%(2017–2024)의 작고 안정적인 편의를 유지하였다. 일본은 한반도 주변해역 집계 기준 -59.4%에서 -57.2%로 큰 폭의 편의를 보였으나 그 크기와 방향이 시간적으로 안정적이었으며, 이는 FAO Area 61 광역 통계 대비 한반도 주변해역만을 집계한 데 따른 구조적 부분집계 차이를 반영한다. 반면 중국은 편이가 -29.2%(2007–2016)에서 -38.5%(2017–2024)로 심화되었는데, 이는 보고 범위, 계상 방식, 통계 반영 시점, 감산 정책 반영 양상의 차이가 복합적으로 작용한 결과로 해석된다(Fig. 6). 추세 방향의 일치성(C-2) 측면에서는, 한국과 일본 모두 FAO·국가통계 양 자료원에서 동일하게 유의한 감소 추세로 판정되었고(한국 Sen -21.9 대

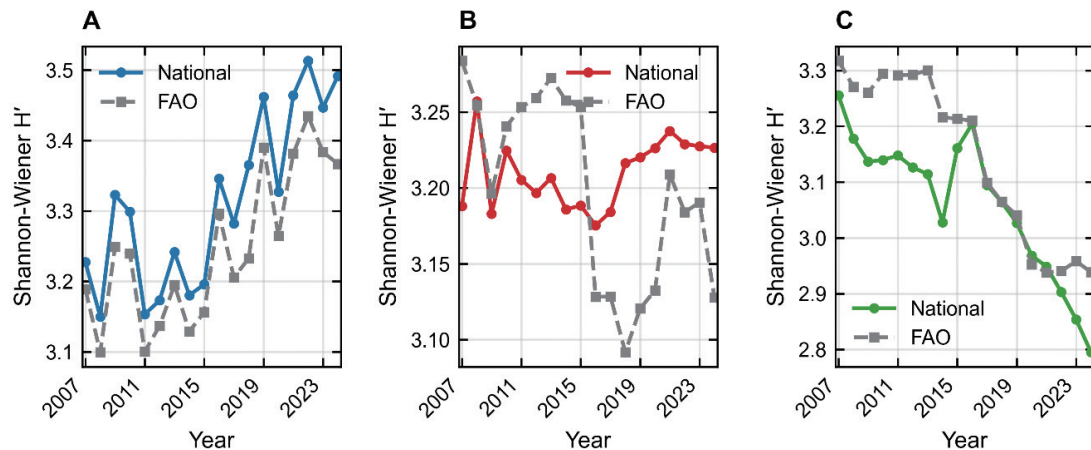


Fig. 7. Comparison of the reported catch taxonomic/category composition index (H') between FAO data and national statistics (2007-2024). A, Korea; B, China; C, Japan. Solid lines with circles, national statistics; dashed grey lines with squares, FAO data. FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

-20.8천 톤/년, 일본 -75.5 대 -23.2천 톤/년), 중국은 양 자료원에서 공통으로 비유리로 판정되어, 절대량의 큰 편이에도 불구하고 총어획량 추세 분석의 결론은 자료원 간에 일관됨이 확인되었다. 다만 이는 총어획량 수준의 결과이며, 어획통계상 분류군 조성 다양성 지수의 괴리(C-3)에서는, 한국과 일본의 경우 국가통계 H' (각각 평균 3.313, 3.064)와 FAO H' (3.247, 3.144)가 수준(차이 절대값 0.08 이하)과 추세 방향(한국 증가, 일본 감소) 모두에서 일치하였다. 그러나 중국은 국가통계 H' 에서 유의한 추세가 확인되지 않은 반면($\text{Sen} +0.002/\text{년}$, $P=0.081$), FAO H' 는 유의하게 감소하였다($P=0.015$). 즉 총어획량 추세(C-2)에서는 자료원 간 결론이 일치하였으나, 어획통계상 분류군 조성 다양성 추세에서는 자료원에 따라 상반된 결론이 도출되었다(Fig. 7). 이는 FAO 자료에 나타난 중국의 어획통계상 분류군 조성 다양성 감소가 실제 생태적 변화라기보다 미식별·통합 코드 구성의 시간적 변화에 영향을 받았을 가능성을 시사한다. 한편 국가통계 전 어종조성의 국가 간 추세 일치성 분석은 종명-ASFIS 교차정합이 선행되어야 하므로 본 연구에서는 다루지 않으며, 그 필요성과 향후 과제는 고찰에서 논의한다.

고찰

장기 어획 변동의 주요 원인

본 연구에서 확인된 어획 추세는 기후변화와 조업 압력이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다. 북서태평양에서는 태평양 순년진동(PDO)의 위상 전환과 이에 동반된 기후 레짐 시프트가 어류 군집 구조와 주요 어종의 어획량에 수십 년 규모의 변동을 유발해 온 것으로 잘 알려져 있다(Mantua et al., 1997; Chavez et al., 2003; Tian et al., 2006). 우리나라 주변해역에서도 1970년대 후반과 1980년대 말의 레짐 시프트가 주요 어

종의 자원 수준과 어획량 변화의 주요 원인으로 지목되었으며(Zhang et al., 2000; Kim et al., 2007), 지속적인 표층 수온 상승은 난류성 어종의 복상과 한류성 어종의 감소를 통해 어종조성을 재편해 온 것으로 보고되었다(Rebstock and Kang, 2003; Jung et al., 2014; Lee et al., 2021). 아울러 어획 추세에는 국가별 어선 규모와 총허용어획량(TAC) 등 어업 관리 정책의 영향도 함께 작용한다. 다만 FAO Area 61은 한반도 주변해역(동해·황해·동중국해)을 포함하는 북서태평양 광역 통계 범위이므로, FAO Area 61 총량 결과는 한반도 주변해역의 직접적 공간 대리변수가 아니라 해당 해역과 생태·어업적으로 연결된 광역 어획 변동을 비교하는 관점에서 해석하였다. Track A 기준으로 한국·일본·대만은 모두 유의한 감소를 보였고(각각 -21.9·-75.5·-14.5천 톤/년), 러시아는 유의한 증가(+98.1천 톤/년)를 보였으나, 이는 상당 부분 호호츠크해의 대규모 명태 자원 변동을 반영하는 것으로 보이며(Ovsyannikov and Ponomarev, 2014), 러시아 결과는 고위도 수역을 포함한 광역 변화로 해석하는 것이 타당하다. 살오징어가 한국과 일본 국가통계에서 동시에 급감한 점(각각 -10.9·-4.6천 톤/년, $P<0.001$)은 단일 국가의 어업 관리만으로 설명하기 어려운 광역 어획량 감소 및 자원 감소 가능성을 시사한다. 특히 살오징어(*T. pacificus*)는 산란장 환경과 수온 변화에 민감하여 기후변화의 영향을 크게 받는 종으로 알려져 있어(Sakurai et al., 2000; Ji et al., 2020), 양국의 동반 감소는 광역적 기후 요인과 연관될 가능성이 있다. 또한 한국의 명태가 분석 기간 연평균 0.0천 톤 수준으로 사실상 자취를 감춘 것은 한국 동해 명태 어획의 소멸을 보여준다. 한편 중국은 절대 어획량이 최대 규모임에도 분석 기간 전체로는 유의한 단조 추세가 확인되지 않았는데($P=0.150$), 이는 중국이 2016년 제 13차 5개년 계획 이후 연근해 어획량의 '제로성장·감축' 목표와 어선 감축·휴어기 강화 등 투입 규제를 강화하면서(Cao et al.,

2017; Kang et al., 2022) 2017년 전후 어획량이 급감하였고, 이 급감이 분석 기간 전반부의 변동과 상쇄되어 단조 추세로 수렴하지 않았기 때문에 판단된다. 이러한 해석은 어획량 시계열 분석에 근거한 것이며, 환경 요인과 조업 압력의 상대적 기여도를 정량적으로 분리하기 위해서는 해양물리·생태 변수를 결합한 후속 분석이 요구된다.

인접국 간 어획 패턴의 동조성과 이질성

FAO ASFIS 공통 참조 어종 39종 기반 탐색적 주성분분석과 Ward 계층군집에서 한국과 일본이 가장 유사한 어종조성을 보이고 여기에 중국이 결합되는 반면, 러시아는 가장 늦게 결합되는 최외곽 군집으로 분리되었다. 이는 한·중·일이 황해·동중국해 및 동해의 온대성 어종을 상당 부분 공유하는 동조성을 가지는 한편, 명태 중심의 한대성 조성을 보이는 러시아(H' 1.838로 최저)는 뚜렷한 이질성을 나타냄을 의미한다. 특히 한국과 일본의 조성 유사성은 두 해역이 쓰시마 난류로 연결된 연속적 생태계를 이룬다는 점과 밀접히 관련되는 것으로 볼 수 있다(Rebstock and Kang, 2003; Tian et al., 2006). 또한 PC2 축에서 별도로 분리되고 연도 간 조성 변동성도 가장 컸던 대만(Table 6)은 원양성·회유성 어종의 상대적 비중 차이를 반영하는 것으로 보이며, 제1주성분이 나타내는 황해·동중국해 저서성 어종과 외양·한대성 어종의 대비와 함께, 국가 간 동조성의 상당 부분이 어획 대상 해역과 표적 어종의 차이에서 비롯되었을 수 있음을 시사한다. 다만 본 PCA와 군집 분석은 국가통계 전 어종을 단일 ASFIS 축으로 정합한 결과가 아니라 FAO 공통 참조 어종 기반의 기술적 비교이며, 표본 국가 수가 제한적이므로 군집의 분리 정도를 통계적 유의성이나 고정된 생태권역 구분으로 해석해서는 안 된다. 공유 어종 수준에서는 갈치(중국 93.6%)와 참조기(중국 91.6%)가 중국에 압도적으로 집중된 반면, 살오징어는 한국과 일본이 양분하고(각각 47.7%·50.6%) 그 추세도 동반 감소하여, 동일 해역을 공유하면서도 국가별 표적 어종과 어업 구조의 차이가 뚜렷함을 시사한다.

공동 수산자원 관리를 위한 정책적 시사점

본 연구의 결과는 한반도 주변해역의 공유 어종 어획 변동이 단일 국가의 관리만으로는 충분히 설명되거나 관리되기 어렵다는 점을 보여준다. 살오징어처럼 한국과 일본에서 동시에 급감한 어종은 광역 환경 변동과 조업 압력의 공동 영향을 받는 우선 모니터링 대상이며, 양국 간 자원상태 평가와 어획정보 공유

가 필요하다. 갈치와 참조기처럼 중국 점유율이 압도적으로 높은 황해·동중국해 저서성 어종은 국가별 통계상 어획 점유율의 비대칭성이 크므로, 어획량 통계의 상호 검증과 조업해역별 정보 공유가 선행되어야 한다. 명태의 경우 한국 동해 어획은 통계상 사실상 소멸한 반면 러시아 어획은 FAO Area 61 고위도 수역에 집중되어 있어, 한반도 주변해역 직접 관리와 북서태평양 광역 자원 변동을 구분한 관리전략이 필요하다. 따라서 향후 다국간 협력 체계는 단일 총량 관리보다 어종별·해역별 우선순위를 설정하고, 공유 어종에 대한 장기 모니터링, 표준화된 통계 보고, 실시간 어획정보 공유 플랫폼 구축을 단계적으로 추진하는 방향이 바람직하다.

FAO 통계와 국가통계 간 괴리의 방법론적 함의

FAO 단독 사용의 방법론적 함의는 분석 수준에 따라 상이하게 나타났다. 총어획량의 장기 추세 관점에서는 FAO 자료와 국가통계가 한국·일본(유의 감소)과 중국(비유의)에서 동일한 결론을 제공하여, 추세의 방향성 분석에 한정할 경우 FAO 자료의 활용 가능성이 확인되었다. 그러나 절대량 수준에서는 중국에서 -33.1%에 달하는 큰 편이가 존재하고 그 편이가 시간에 따라 심화되므로(-29.2%→-38.5%), FAO 자료에 근거한 어획 규모의 직접 비교나 변화율 추정은 주의가 필요하다. 더욱이 FAO Area 61 중국 어획량의 74.2%가 어종 미식별 통합 코드로 보고되어(Table 3), 어종조성·분류군 조성 다양성 등 중 수준 분석은 FAO 자료만으로는 본질적 한계를 가진다. 실제로 국가통계 기반 다양성 괴리 분석(C-3) 결과, 총어획량 추세에서는 자료원 간 결론이 일치하였음에도 중국의 분류군 조성 다양성 추세는 자료원에 따라 상반되어(국가통계 무추세 대 FAO 유의 감소), FAO 단독 분석의 한계가 중 수준에서 더욱 두드러짐을 확인하였다. 다만 중국 총량 괴리의 원인을 미상·통합 코드만으로 단정하기보다는 보고 범위, 계상 방식, 통계 반영 시점, 분류 해상도 차이가 결합된 결과로 해석하는 것이 타당하다. 국가 공식통계 기반의 전 어종 조성 비교는 한·중·일의 이질적 어종 분류 체계를 단일 ASFIS 분류축으로 정합하고 통계별 대상 해역 범위 차이를 보정해야 하므로, 종명-ASFIS 교차정합표 구축을 전제로 한 향후 연구 과제로 남긴다.

연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 북한 어획 통계의 신뢰성 한계로 인해 동 국가를 분석 대상에서 제외하였으며, 이는 한반도 주변해역 조업 압력의

Table 9. Comparison of the reported catch taxonomic/category composition index (H') between FAO data and national statistics (2007–2024)

Country	National mean H'	National Sen (/yr)	National P	FAO mean H'	FAO trend	H' difference (National - FAO)	Direction match
Korea	3.313	0.0192	<0.001	3.247	Increase	0.066	Yes
China	3.210	0.0021	0.081	3.199	Decrease	0.011	No
Japan	3.064	-0.0216	<0.001	3.144	Decrease	-0.081	Yes

H', Shannon-Wiener diversity index; P, probability value; FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

전체 규모를 과소평가할 수 있는 잠재적 한계로 작용한다. 또한 FAO Area 61은 한반도 주변해역을 포함하는 광역 통계구역이므로, 러시아와 같은 고위도 수역의 결과를 한반도 주변해역의 직접 변화로 해석하는 데에는 주의가 필요하다. H'는 어획통계상 분류군 조성 다양성을 나타내는 지표로서 실제 생물다양성 또는 생태계 건강성을 직접 대체하지 못하며, 각국의 어종 분류 체계와 보고 해상도 차이에 영향을 받는다. 아울러 공유 어종 및 다양성 지수에 대한 반복 추세 검정은 탐색적 비교를 목적으로 하였고 형식적 다중검정 보정을 적용하지 않았으므로, 개별 P값은 확정적 인과 추론보다 패턴 식별의 보조 근거로 해석해야 한다. 국가통계 전 어종을 단일 ASFIS 체계로 정합한 국가 간 정밀 조성 비교는 본 연구에서 완성하지 못한 후속 과제로 남는다. 따라서 본 연구의 결과는 어획통계 기반 추세로 해석되어야 하며, 향후 연구에서는 국가별 어종명-ASFIS 교차정합 표의 검증, 주성분 점수의 연대별 시계열 분해를 통한 어종조성 변동의 시간 구조 분석, 위성 원격탐사 및 과학조사 자료의 통합, 해양환경 변수와 조업 압력의 상대 기여도 분리, 잉여생산 모델(surplus production model) 등을 활용한 자원량 추정 연구가 병행될 필요가 있다.

가설별로는, H1은 한국·일본·대만의 감소, 러시아의 증가, 중국의 비유의 추세가 병존하여 지지되었다. H2는 FAO ASFIS 공통 참조 어종 기반의 탐색적 조성 비교에서 한·일 조성 유사성, 대만의 PC2 방향 분리, 러시아의 이질성이 관찰되어, 제한적으로 뒷받침되었다. H3은 갈치·참조기의 중국 집중, 명태의 러시아 집중, 살오징어의 한·일 양분 구조로 지지되었다. H4는 한국·일본에서는 자료원 간 방향성이 일치하였으나 중국에서는 FAO와 국가통계의 H' 추세가 달라 부분적으로 지지되었다.

종합하면, 본 연구는 FAO Area 61이라는 광역 통계 범위와 국가 공식통계를 병행하여 한반도 주변해역과 생태·어업적으로 연결된 인접국 어획 변동을 비교하였다. 총어획량 추세에서는 FAO 자료와 국가통계가 대체로 일관된 결론을 제공하였으나, 어종조성 및 다양성 지수에서는 자료원별 보고 범위와 분류 해상도가 결론에 영향을 미쳤다. 따라서 향후 공유 어종의 자원평가와 국제 공동관리를 위해서는 총량 통계뿐 아니라 어종명-ASFIS 교차정합, 해역별 조업정보, 표준화된 통계 보고 체계 구축이 필요하다.

사 사

이 논문은 2026년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(사업번호: R2026060)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Cao L, Chen Y, Dong S, Hanson A, Huang B, Leadbitter D, Little DC, Pikitch EK, Qiu Y, Sadovy de Mitcheson Y, Sumaila UR, Williams M, Xue G, Ye Y, Zhang W, Zhou Y, Zhuang P and Naylor RL. 2017. Opportunity for marine fisheries reform in China. *Proc Natl Acad Sci USA* 114, 435-442. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616583114>.
- Chavez FP, Ryan J, Lluch-Cota SE and Niquen M. 2003. From anchovies to sardines and back: Multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science* 299, 217-221. <https://doi.org/10.1126/science.1075880>.
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Zeller D and Pauly D. 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Glob Change Biol* 16, 24-35. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2024. The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action. FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2026. Global production by production source: Quantity (1950–2024). FAO, Rome, Italy. Retrieved from https://www.fao.org/fishery/statistics-query/en/global_production/global_production_quantity on Jun 5, 2026.
- Fisheries Agency. 2026. Taiwan Fisheries Yearbook. Ministry of Agriculture, Taipei, Taiwan. Retrieved from https://en.fao.gov.tw/list.php?theme=Taiwan_Fisheries_Yearbook on Jun 5, 2026.
- Garibaldi L. 2012. The FAO global capture production database: A six-decade effort to catch the trend. *Mar Policy* 36, 760-768. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.10.024>.
- Hamed KH and Rao AR. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *J Hydrol* 204, 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2022. Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.
- Ji F, Guo X, Wang Y and Takayama K. 2020. Response of the Japanese flying squid (*Todarodes pacificus*) in the Japan Sea to future climate warming scenarios. *Clim Change* 159, 601-618. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02689-3>.
- Jung S, Pang IC, Lee JH, Choi I and Cha HK. 2014. Latitudinal shifts in the distribution of exploited fishes in Korean waters during the last 30 years: A consequence of climate change. *Rev Fish Biol Fish* 24, 443-462. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9310-1>.
- Kang B, Wang L and Liu M. 2022. Species traits determined different responses to “zero-growth” policy in China’s marine fisheries. *Sci Rep* 12, 20410. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24897-w>.
- Kendall MG. 1975. Rank correlation methods, 4th ed. Charles Griffin, London, U.K.

Cao L, Chen Y, Dong S, Hanson A, Huang B, Leadbitter D, Little DC, Pikitch EK, Qiu Y, Sadovy de Mitcheson Y, Sumaila UR, Williams M, Xue G, Ye Y, Zhang W, Zhou Y, Zhuang

- Kim S, Zhang CI, Kim JY, Oh JH, Kang S and Lee JB. 2007. Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. *Ocean Sci J* 42, 179-192. <https://doi.org/10.1007/BF03020922>.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2026. Fishery Production Survey: production by fishery, species, and fishing method. Statistics Korea, Daejeon, Korea. Retrieved from https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0005&conn_path=I2 on Jun 5, 2026.
- Lee K, Go S and Jung S. 2021. Long-term changes in fish assemblage structure in the Korea Strait from 1986 to 2010 in relation with climate change. *Ocean Sci J* 56, 182-197. <https://doi.org/10.1007/s12601-021-00016-0>.
- Liang C, Xian W and Pauly D. 2018. Impacts of ocean warming on China's fisheries catches: an application of "mean temperature of the catch" concept. *Front Mar Sci* 5, 26. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00026>.
- MAFF (Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries). 2026. Marine Fisheries Production Statistical Survey. MAFF, Tokyo, Japan. Retrieved from https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaimen_gyosei/ on Jun 5, 2026.
- Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259. <https://doi.org/10.2307/1907187>.
- Mantua NJ, Hare SR, Zhang Y, Wallace JM and Francis RC. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull Am Meteorol Soc* 78, 1069-1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICO W>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICO W>2.0.CO;2).
- MARA (Ministry of Agriculture and Rural Affairs). 2025. China fishery statistical yearbook. China Agriculture Press, Beijing, China.
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2026. Briefing book on climate change impacts in the oceans and fisheries sector 2026. NIFS, Busan, Korea. Retrieved from https://www.nifs.go.kr/cmmn/file/climatechange_06_2.pdf on Jun 5, 2026.
- Ovseyannikov EE and Ponomarev SS. 2014. Walleye pollock stock assessment in the sea of Okhotsk in the spring of 2013. *Russ J Mar Biol* 40, 493-501. <https://doi.org/10.1134/S1063074014070062>.
- 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>.
- Pielou EC. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *J Theor Biol* 13, 131-144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0).
- Rebstock GA and Kang YS. 2003. A comparison of three marine ecosystems surrounding the Korean peninsula: Responses to climate change. *Prog Oceanogr* 59, 357-379. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2003.10.002>.
- Sakurai Y, Kiyofuji H, Saitoh S, Goto T and Hiyama Y. 2000. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions. *ICES J Mar Sci* 57, 24-30. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0667>.
- Sen PK. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J Am Stat Assoc* 63, 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>.
- Shannon CE. 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst Tech J* 27, 379-423, 623-656. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.
- Szuwalski CS, Burgess MT, Costello C and Gaines SD. 2017. High fishery catches through trophic cascades in China. *Proc Natl Acad Sci USA* 114, 717-721. <https://doi.org/10.1073/pnas.1612722114>.
- Tian Y, Kidokoro H and Watanabe T. 2006. Long-term changes in the fish community structure from the Tsushima warm current region of the Japan/East Sea with an emphasis on the impacts of fishing and climate regime shift over the last four decades. *Prog Oceanogr* 68, 217-237. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.02.009>.
- Ward JH Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Stat Assoc* 58, 236-244. <https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>.
- Watson R and Pauly D. 2001. Systematic distortions in world fisheries catch trends. *Nature* 414, 534-536. <https://doi.org/10.1038/35107050>.
- Zhang CI, Lee JB, Kim S and Oh JH. 2000. Climatic regime shifts and their impacts on marine ecosystem and fisheries resources in Korean waters. *Prog Oceanogr* 47, 171-190. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(00\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(00)00035-5).