

IUU어업을 고려한 생태계기반 자원평가

권유정 · 이성일^{1*} · 장창익¹

국립수산과학원 원양자원과 연구사, ¹국립부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

A revised ecosystem-based fishery risk assessment incorporating IUU fishing

Youjung KWON, Sung Il LEE^{1*} and Chang Ik ZHANG¹

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

¹Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Considering the negative impact of IUU fishing on fishery resources and fishery management, a revised approach for estimating risks of the ecosystem-based fisheries assessment (EBFA) of Zhang et al. (2011) was developed that incorporates three components of the IUU (illegal, unreported and unregulated) fishing as penalties. In this study, we introduced ways to develop indicators of IUU fishing suitable for the Korean fishery and apply them to ecosystem-based resource assessment. The indicator for the illegal fishing component was set as the fishing without licenses or permits, and that for the unreported fishing component was set as unreported fishing activities. Indicators for the unregulated fishing component were set as fishing operated by illegal fishing gear, illegal fish capture, fishing operations in prohibited fishing area, and fishing with restrict permits. IUU fishing significantly impacts the stock of target species. Therefore, in this study, the influence of IUU fishing is included in the Species Risk Index (SRI) at the species level, and weights are assigned based on the ratio of the stock, as $SRI = \left\{ \sum_j \lambda_j ORI / \sum_j \lambda_j \right\} + P_j(B, / B)$. The revised ecosystem-based fisheries assessment method, which considers the impact of IUU fishing, was applied to major fisheries on the south coast of Korea. It is necessary to reduce the non-reporting rate through the expansion of the TAC system and improve the accuracy of statistical compilation. To this end, the electronic fishing reporting system, which is being implemented on all vessels in Korean distant water fishing vessels, should be introduced to the coastal and offshore fisheries as well.

Keywords: Ecosystem-based Fishery Assessment (EBFA), IUU fishing, Risk, Penalty

서론

생태계기반 자원관리는 건강한 해양생태계를 유지하면서 인간이 이용할 수 있는 자원은 최대지속적으로 이

용하려는 목표를 가지고 있다(Seo, 2011). 1970년대 이전까지 개체군 수준의 단일 계군에 대한 자원평가 및 관리가 수행되었다면, 1970~80년대에는 서식지 파괴,

Received 18 July 2024; Revised 21 August 2024; Accepted 26 August 2024

*Corresponding author: silee@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5890, Fax: +82-51-629-5886

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

기후 변화 등이 생태계에 미치는 영향에 대한 인식이 높아지면서 생태계 내 피·포식관계를 고려한 다종생물 자원에 대한 연구가 시작되었다(Pope, 1979; Paine, 1969). 1990년대부터는 생태계기반 관리의 개념이 도입되면서 생태계의 복잡성과 생물 간의 상호작용을 고려해야 한다는 점을 강조하면서, 종합적인 관리 전략의 필요성을 제시하는 연구들이 진행되었으며, 생태계 구조 역학 모델인 Ecopath with Ecosim이 개발되었다(Larkin, 1996; Holling, 1993; Christensen et al., 1996; Grumbine, 1994; Costanza et al., 1997; Walters et al., 1997). 최근에는 다랑어 자원평가에서 수온, 염분 등 환경인자와 피·포식관계 및 계군의 시공간적 요소를 고려한 생태계 공간 및 개체군 역학 모델(Spatial Ecosystem and Population Dynamics Model, Seapodym Model)이 적용되고 있다(Lehodey et al., 2010).

국내에서는 Zhang (2002)에 의해 생태계기반 개념 및 국내 적용 가능성에 대한 연구가 처음으로 진행되었다. 우리나라의 수산자원관리를 위한 정량 및 정성적인 생태계기반 어업평가(Ecosystem-based Fisheries Assessment, EBFA) 방법이 개발되었으며(Zhang et al., 2009), 이어서 통합생태계기반 위험도 분석법인(Integrated Fisheries Risk Assessment Methods for Ecosystem, IFRAME)(Zhang et al., 2011)으로 확장되었다. 이후 지속적인 생태계기반 자원평가 방법들이 연구되고 있다(Zhang et al., 2009; Seo, 2011; Park et al., 2013; Yoon, 2014; Kang, 2018; Kim, 2020).

1980년대 후반에서 1990년대 초반까지 전 세계적으로 어업자원의 과도어획 및 남획 문제가 대두되면서 UN 식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)에서는 불법, 비보고 및 비규제어업(Illegal, Unreported and Unregulated fishing, IUU fishing)에 대한 국제행동강령(International Plan of Action-IUU fishing, IPOA-IUU)에 대한 논의가 시작되었다. 2001년에 FAO의 IUU어업에 대한 국제행동강령이 채택되면서, 이후 여러 국가 및 지역수산관리기구(Regional Fisheries Management Organizations, RFMOs)에서 IUU어업 대응을 위한 다양한 법적, 제도적 조치를 강화하였다(FAO, 2001). 법적, 제도적 조치와 더불어 자원관리에 IUU어업의 영향을 고려한 연구도 시작되었으나, 아직 초기 단계이다(Agnew and Barnes, 2004;

Pitcher et al., 2002).

최근 국제적으로 IUU어업이 자원에 미치는 영향을 고려하기 시작하면서, 본 연구에서는 자원관리에 악영향을 미치는 IUU어업의 영향을 고려한 생태계기반 자원평가방법을 연구하였다. 기존의 전통적인 개체군 수준의 자원평가와 더불어 생물다양성, 서식처 및 사회경제적 정보뿐만 아니라, 우리나라 어업에 적합한 IUU어업의 지표를 개발하여 IUU어업이 수산자원에 미치는 영향을 분석하는 변형된 생태계기반 자원평가 방법이다. IUU어업의 영향이 고려된 생태계기반 자원평가 방법을 우리나라 남해안의 주요 어업에 적용하여 자원상태에 영향을 미치는 요소를 분석하고, 이를 통해 효과적인 자원관리의 수행 방안을 모색해 보았다.

재료 및 방법

IUU어업의 별점 추정 방법

IUU어업의 영향을 고려하기 위해 어업관리단의 불법어업 단속 건수 자료를 사용하여 우리나라에 적합한 IUU어업에 대한 위험도 지표를 개발하였고, IUU어업에 대한 각 지표의 위험도 점수(Risk score, RS)는 기존 EBFA의 RS와 동일하게 계산한다(Park et al., 2013). IUU어업의 항목인 불법, 비보고 및 비규제에 맞춰 우리나라 어업에서 주로 발생하는 IUU어업의 종류를 구분하여 지표로 설정하였다.

Park et al. (2013)에서 제시된 생태계기반 위험도 자원평가(EBFA)는 4가지 목표인 지속가능성(Sustainability), 생물다양성(Biodiversity), 서식처의 질(Habitat quality), 사회경제적 편익(Socio-economic benefit)에 대해 목표별 지표를 이용하여 관리기준점으로 대상 생태계, 어업 및 종들의 위험도를 추정하였다. 기존 EBFA의 종위험도(Species Risk Index, SRI)는 식(1)과 같이 목표위험지수(Objective Risk Index, ORI)에 각 목표별 가중치를 두어 계산되었으나, 본 연구에서는 IUU어업의 영향을 아래 식 (2)를 포함하여 자원량의 비로 가중치를 부여하였다.

$$SRI = \frac{\sum_j \lambda_j ORI}{\sum_j \lambda_j} \quad (1)$$

$$SRI = \frac{\sum_j \lambda_j ORI}{\sum_j \lambda_j} + P_j(B_i/B) \quad (\text{단, } 0 \leq SRI < 3) \quad (2)$$

여기서, SIR는 종위험도지수, ORI는 목표위험도지수, j 는 목표(지속가능성, 생물다양성, 서식처의 질 및 사회경제적 편익), λ_j 는 목표 j 의 가중치, f 는 어업, i 는 대상종, P_f 는 f 어업에서 IUU어업 벌점(Penalty), B_i 는 i 종의 자원량, B 은 어업 f 에서 어획되는 종의 전체 자원량이다. IUU어업은 어획 보고를 하지 않아 어획 할당량을 초과한 경우, 금어기, 금어구 및 금지체장 등과 같은 규제를 미준수한 경우 등으로 크게 구분할 수 있으며, 이러한 행위는 대상종의 자원량에 크게 영향을 미치므로, 본 연구에서도 종단위의 위험도인 SRI에서 IUU어업의 벌점을 고려하여 계산하였다.

SRI에서 IUU어업의 영향을 고려하기 위해 벌점의 개념을 도입하였다. IUU어업은 생물의 어획사망(F) 및 자연사망(M) 등 전 사망(Z)에 영향을 미치기 때문에, IUU어업의 증가는 어업의 위험도를 지수함수적으로 증가시킨다고 가정하여(Ma, 2020; Lee and Jung, 2014; Widjaja et al., 2019), IUU어업의 벌점(P)은 식(3)과 같이 계산한다.

$$P = e^{(ZRS_{IUU})} - 1 \quad (3)$$

여기서 P 는 해당 IUU어업의 벌점, Z 는 대상 어종의 순간전사망계수, RS_{IUU} 는 해당 IUU어업의 위험도 점수이며, 본 연구에서는 남해해역에 적용 시 각 지표당 가중치는 모두 동일하게 두어 계산하였다. 그러나 향후 적용 시, IUU어업의 위험성 크기, 대상종 또는 어업 등이 IUU어업에 미치는 영향, 자료의 수준에 따라 가중치를 달리 둘 수 있다.

IUU어업을 고려한 생태계기반 자원평가 적용방법

대상 생태계, 어업 및 종 설정

생태계기반 자원평가를 위한 대상 생태계, 어업 및 종은 일반해면어업 생산량 자료(KOSIS, 2021)를 사용하여 Kwon et al. (2020)의 절차에 따라 아래와 같이 선정하였다.

① 대상생태계: 행정구역을 기준으로 동해, 서해, 남해로 구분하여 최근 10년간 가장 생산성이 높은 생태계를 선택;

② 대상어업: 어업별 어획비율이 높은 순서대로 선정하였으며, 대상어업의 총어획량이 대상생태계의 총어획

량의 70% 이상 되도록 어업을 선택;

③ 대상종: 어종별 어획비율이 높은 순서대로 선정하였으며 대상어종의 총어획량이 대상어업의 총어획량의 70% 이상 되도록 어종을 선택

지표별 기준점 및 자료

생태계기반 위험도 자원평가를 위한 지속가능성, 생물다양성, 서식처의 질, 사회경제적 편익에 대한 목표별 지표는 기존 EBFA의 연구 등을 참고하였다(Zhang et al., 2009; 2010; Seo, 2011; Kim, 2020).

지표별 기준점

지속가능성의 목표에 대해 자원량, 어획사망률, 어획개시체장, 성어비율 등에 대한 5개의 지표가 고려되었으며, 생물다양성에는 혼획률, 폐기물 등 3개의 지표, 서식처의 질에 대한 목표에는 서식처 훼손률, 어구유실률, 등 4개의 지표, 사회경제적 편익의 목표에는 고용증가율을 포함한 5개의 지표가 고려되었다. 지속가능성, 생물다양성, 서식처의 질 및 사회경제적 편익에 대한 4가지 목표 및 IUU어업에 대한 지표별 목표기준점(TRPs) 및 한계기준점(LRPs)을 추정하는 방법은 Table A1에 상세히 설명하였다.

예를 들어 지속가능성 목표에 대한 자원량 지표의 목표 기준점은 B_{MSY} 이며, 한계기준점은 $0.5B_{MSY}$ 로 설정하였다. 본 연구에서는 자료의 신뢰성 및 정확도 등을 고려하여 지표별 기준점에 중요도를 부여하였다. 즉, 관련 기준점을 본 연구에서 직접 추정하였으면 중요도를 높게 부여하고, 기존의 연구 결과나 관련 자료를 활용하였으면 중요도를 낮게 부여하였다. 여기서 관련 자료로 통계청(KOSIS, 2022) 및 해양경찰청(KCG, 2022) 등의 자료를 활용하였고, IUU어업은 어업관리단의 불법어업 단속 건수(WSFMS, 2022)를 사용하였다(Table 1).

지표별 자료

지표별 자료 또한 본 연구에서 직접 추정하거나 기존의 선행연구 결과나 통계청(KOSIS), 관세청(KCS, 2022) 및 어업관리단 등의 자료를 사용하였으며, 사용된 자료는 Table A2에 상세히 제시되어 있다. 그리고 지표별 기준점과 마찬가지로 자료의 중요성에 따라 가중치를 부여하였다.

Table 1. Data for the estimation of target and limit reference points (TRPs and LRP) by indicator of the IUU fishing for the ecosystem-based fishery assessment in the south sea of Korea

Objective	Attribute	Indicator	TRP	LRP	Methods
IUU fishing	Illegal	I1. No license or permission (NL)	0	\overline{NL}	① Number of IUU fishing in the last 10 years (FMS) ② Literature
	Unreported	I2. Unreported(\overline{UR})	0	\overline{UR}	
	Unregulated	I3. Illegal fishing gear (IFG)	0	\overline{IFG}	
		I4. Illegal capture (IC)	0	\overline{IC}	
		I5. Prohibited fishing area (PFA)	0	\overline{PFA}	
		I6. Permission restriction (PR)	0	\overline{PR}	

결 과

대상 생태계, 어업 및 종 설정

대상생태계

우리나라 일반해면어업 총어획량은 1990년대 중반까지 약 150만톤 수준을 보였으나, 이후 지속적으로 감소하여 최근에는 100만톤 정도의 수준을 보이고 있다 (KOSIS, 2022). 최근 10년간(2012~2021년) 해역별 어획량은 남해가 70%, 동해와 서해가 각각 15% 정도의 어획비율을 보였으므로, 총어획량의 70% 이상 가장 높은 어획비율을 보인 남해를 대상생태계로 정의하였다. 대상생태계의 면적은 Kim (2020)의 연구를 참고하여 167,461 km²으로 정의하였다(Fig. 1).

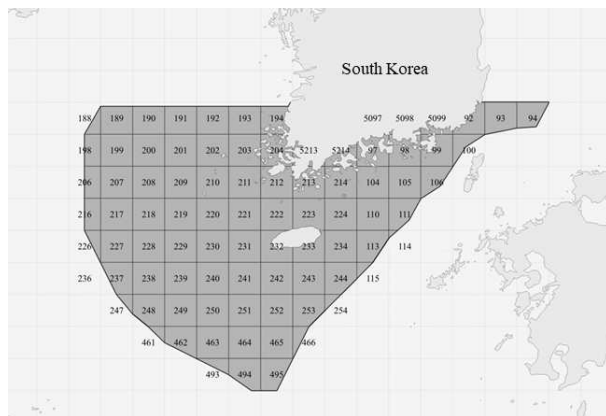


Fig. 1. Target ecosystem in this study (modified from Kim, 2020).

대상어업

최근 20년간 남해에서 55개 업종의 어업 활동이 이루어졌고, 남해에서 총어획량의 70% 이상을 어획하는 어업은 총 7개 어업으로, 대형선망어업이 25%로 어획비율이 가장 높았으며, 다음으로 기선권현망, 대형트롤, 쌍끌

이대형기선저인망, 근해자망, 근해안강망, 근해연승의 순이었다(Table 2). 따라서 이들 7개 업종을 대상어업으로 정의하였다.

대상종

대상종은 대상어업들에 대한 최근 5개년(2016~2021년)간의 어종별 어획비율을 고려하여 선정하였다.

대형선망어업은 고등어가 약 60% 정도를 차지하여 가장 높았고, 그 다음으로 망치고등어, 전갱이의 순서였다. 여기서 망치고등어는 고등어와의 종 식별의 어려움 등으로 2008년부터 어획통계가 집계되고 있는데, 현재 집계되는 망치고등어 어획량의 신뢰성이 높지 않은 것으로 판단되어 본 연구에서는 대형선망어업의 대상종은 고등어와 전갱이로 한정하였다.

기선권현망어업은 멸치가 거의 100% 어획되기 때문에, 이 어업의 대상종은 멸치로 정의하였다.

대형트롤어업은 살오징어가 총어획량의 79%를 차지하였고, 갈치가 5%이었다. 대형트롤에서 어획되는 갈치는 2020년부터 TAC 시범종으로 지정되었으므로, 이 어업에 대한 대상종은 살오징어와 갈치로 지정하였다.

쌍끌이대형기선저인망어업에서는 삼치가 43%, 살오징어가 24%, 갈치가 8%의 어획비율을 보여, 이 어종들을 대상종으로 선정하였다.

근해자망어업은 참조기가 42%, 젓새우류가 13% 순이었으나, 젓새우류는 젓새우(*Acetes japonicus*)와 중국젓새우(*A. chinensis*)가 혼재되어 어획통계에 집계되므로, 참조기를 대상종으로 정의하였다.

근해안강망어업에서는 갈치가 26%, 참조기 19% 순이었으므로 이 종들을 대상종으로 정의하였다.

근해연승어업은 갈치가 78%로 대부분 어획되었으므로, 갈치를 대상종으로 정의하였다.

Table 2. Target ecosystem, fisheries and species for the ecosystem-based fishery assessment in the south sea of Korea

Ecosystem	Fishery	Species
South Sea	Large purse seine	Common mackerel, Jack mackerel,
	Anchovy drag net	Anchovy
	Large Trawl	Common squid, Hairtail
	Large bottom pair trawl	Spanish mackerel, Common squid, Hairtail, Yellow goosfish
	Offshore gillnet	Small yellow croaker
	Offshore stow net on anchor	Hairtail, Small yellow croaker
	Offshore longline	Hairtail

따라서, 본 연구에서 대상생태계는 남해해역(167,461 km²)으로 정의되었으며, 대상어업은 대형선망, 기선권현망, 대형트롤, 쌍끌이대형기선저인망, 근해자망, 근해안강망, 근해연승 및 정치망어업으로 정의되었다. 그리고 대상어종은 갈치(Hairetail, *Trichiurus lepturus*), 고등어(Common mackerel, *Scomber japonicus*), 멸치(Anchovy, *Engraulis japonica*), 살오징어(Common squid, *Todarodes pacificus*), 삼치(Spanish mackerel, *Scomberomorus niphonius*), 전갱이(Jack mackerel, *Trachurus japonicus*), 참조기(Small yellow croaker, *Larimichthys polyactis*), 황아귀(Yellow goosfish, *Lophius litulon*)로 정의되었다(Table 2).

생태계기반 자원평가

위험도 점수(Risk Score, RS)

① 대형선망

대형선망어업의 대상종인 고등어의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2a). 성어비율, 서식처훼손율, 어구유실률, 고용증가율은 1보다 낮았으나, 어획개시체장은 2.0, 혼획률, 판매이윤비는 2보다 크게 평가되어 위험도가 높았다. 전갱이도 고등어와 유사한 결과를 보였으나, 성어비율은 2보다 높게 평가되어 위험도가 높았다(Fig. 2b). 대형선망어업의 특성상 서식처에 큰 영향을 미치지 않기 때문에, 서식처의 질에 대한 위험도는 상대적으로 낮았으나, 생물다양성의 혼획율이나 사회경제적 혜택에 대한 지표들의 위험도가 다소 높았다. 현재 고등어는 금지체장이 설정되어 있어 성어비율은 0.6으로 낮게 평가되었으나, 전갱이는 금지체장이 없어 성어비율이 2.4로 높은 위험도를 보였다.

② 기선권현망

기선권현망어업의 대상종인 멸치의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2c). 어획량, 성어비

율, 서식처훼손율 등의 지표는 1보다 낮았으나, 어획개시체장 및 판매이윤비는 2보다 높게 평가되어 위험도가 높았다. 기선권현망의 특성상 대상종인 멸치 이외에도 다른 소형어들이 부수어획될 위험이 높으나, 제도상 기선권현망은 멸치 외 다른 어종은 포획하지 못하므로 전량 폐기되고 있다(Park, 2019). 따라서 기선권현망어업의 혼획율 및 폐기율의 위험도는 3.0으로 가정하였다.

③ 대형트롤

대형트롤어업의 대상종인 살오징어의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2d). 어획량, 성어비율, 어구유실율, 판매이윤비 등은 1보다 낮게 평가되었으나, 자원량, 혼획률, 서식처 훼손율 등은 2보다 높게 평가되었다.

그리고 갈치는 성어비율, 판매이윤비 등은 1보다 낮게 평가되었으나, 혼획률, 서식처훼손율 등은 2보다 높게 평가되었다(Fig. 2e). 트롤어업의 특성상 혼획의 비율이 높아 혼획률 및 폐기률의 위험도가 다른어업보다 상대적으로 높게 평가되었으며, 또한 서식처 훼손율도 높게 평가되었다. 갈치는 2020년도에 대형트롤어업의 TAC 시범대상종으로 지정되었으나, 자원량 및 어획량 모두 위험도가 다소 높게 평가되었다. 살오징어와 갈치는 금지체장이 설정되어 있어 성어비율은 매우 낮은 위험도를 보였다.

④ 쌍끌이대형기선저인망

쌍끌이대형기선저인망어업의 대상종인 살오징어의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2f). 어획량, 성어비율, 어구유실율, 고용증가율에서 1보다 낮게 평가되었으며, 자원량, 서식처훼손율 등에서는 2보다 높게 평가되었다. 갈치는 어구유실율과 고용증가율에 대한 지표만 1보다 낮게 평가되었고, 서식처훼손율은 2보다 높게 평가되었다(Fig. 2g). 삼치는 어획량, 고용증

가을 등에서 1보다 낮게 평가되었으나, 서식처 훼손을 등에서는 2보다 높게 평가되었다(Fig. 2h). 황아귀는 다른 어종과 마찬가지로 어구유실율 및 어업폐기물에서 1보다 낮게 평가되었으나, 어획개시체장에서는 2보다 높게 평가되었다(Fig. 2i). 쌍끌이대형기선저인망의 조업방식은 대형트롤어업과 유사하므로 혼획의 비율이 높고 서식처 훼손에 대한 위험도가 높게 평가되었다. 그러나 어구유실율과 어업폐기물의 위험도는 높지 않았다. 삼치는 2021년도에 TAC 시범대상종으로 지정되었지만, 금지체장이 설정되어 있지 않아 자원량, 어획개시체장 및 성어비율의 위험도가 높게 평가되었다.

⑤ 근해자망

근해자망어업의 대상종인 참조기의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2j). 어획개시체장,

성어비율, 판매이윤비 등은 1보다 낮은 위험도로 보였고, 자원량, 유류오염 등은 위험도가 상대적으로 다소 높게 평가되었다. 자망어업의 특성상 혼획이 높기 때문에 혼획률 등에 대한 지표의 위험도는 다른 지표에 비해 상대적으로 높았으나, 서식처에 대한 훼손은 트롤 등과 같은 어업에 비해 상대적으로 낮은 위험도를 나타냈다.

⑥ 근해안강망

근해안강망어업의 대상종인 참조기의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2k). 성어비율, 서식처훼손율, 고용증가율 등은 1보다 낮게 평가되었고, 자원량 및 유류오염도 등은 위험도가 상대적으로 높게 평가되었다. 갈치의 위험도는 0.0에서 2.4까지의 범위를 보였다(Fig. 2l). 성어비율, 어구유실율 등이 1보다 낮게 평가되었으나, 어획개시체장, 어업폐기물 등은 2보다 높

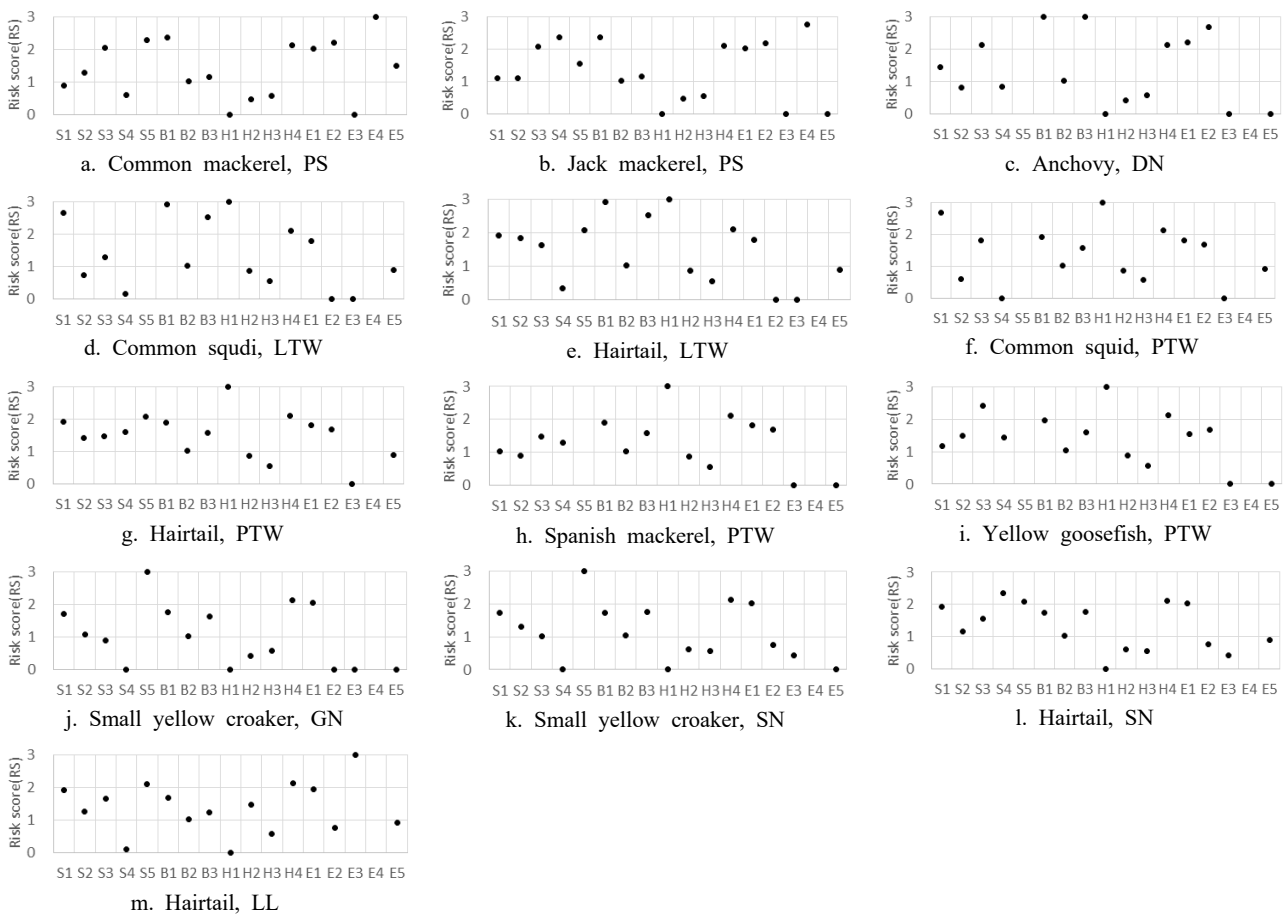


Fig. 2. The risk score by target species and target fishery in the target ecosystem for the ecosystem-based fishery assessment in the south sea of Korea. PS: Large purse seine, PTW: Large bottom pair trawl, DN: Anchovy drag net, LTW: Large trawl, GN: Offshore gillnet, SN: Offshore stow net on anchor and LL: Offshore longline.

게 평가되었다. 안강망어업의 특성상 혼획 비율이 높아 혼획률 및 폐기율의 위험도가 다소 높게 평가되었으며, 상대적으로 평균임금이 낮아 평균임금에 대한 위험도도 다소 높게 평가되었다.

⑦ 근해연승

근해연승어업의 대상종인 갈치의 위험도 점수는 0.0에서 3.0까지로 평가되었다(Fig. 2m). 성어비율, 서식처 훼손율, 판매이윤비는 1보다 낮게 평가되었으나, 고용증가율은 2보다 높게 평가되었다. 연승어업 조업의 특성상 낚시 탈락률이 높으므로, 어구유실율이 다른 어업에 비해 높게 평가되었다.

목표위험도지수

① 대형선망

대형선망어업의 고등어의 목표위험도지수(ORI)는

0.8에서 1.7까지 범위로 평가되었다(Fig. 3a). 전갱이의 ORI도 고등어와 유사하게 0.8에서 1.6까지의 범위로 평가되었다(Fig. 3b). 생물다양성, 서식처의 질, 사회경제적 혜택에 대한 목표는 어업 및 생태계에 대한 평가이므로 같은 어업에서는 이들 목표의 평가 점수는 동일하다. 지속가능성 목표에서 고등어는 1.4 그리고 전갱이는 1.6으로 평가되었다. 두 어종 모두 어획개시체장에서 위험도가 다소 높게 평가되었으며, 사회경제적 혜택에서 식량자급률은 고등어는 1.7, 전갱이는 1.4로 두 어종 간에 차이가 있었다.

② 기선권현망

기선권현망어업의 멸치의 목표위험도지수는 0.7에서 2.6의 범위로 평가되었다(Fig. 3c). 기선권현망어업은 어구의 조업특성상 서식처에 큰 영향을 끼치지 않기 때문에 위험도가 가장 낮게 평가되었으나, 소형어를 목표로

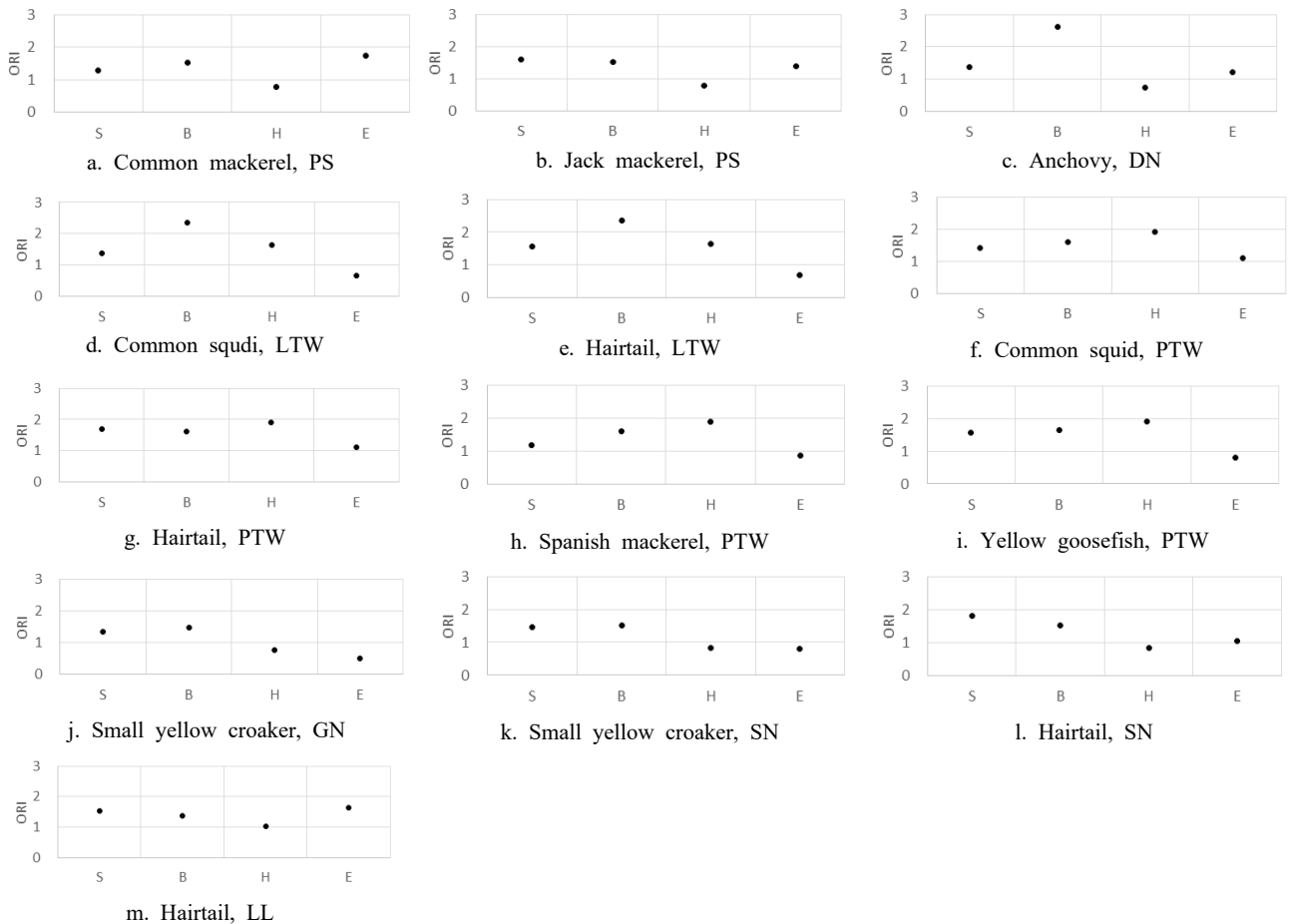


Fig. 3. The objective risk index (ORI) by target species and target fishery for the ecosystem-based fishery assessment in the south sea of Korea. PS: Large purse seine, PTW: Large bottom pair trawl, DN: Anchovy drag net, LTW: Large trawl, GN: Offshore gillnet, SN: Offshore stow net on anchor and LL: Offshore longline.

하기 때문에 혼획률 및 폐기율이 높아 생물다양성의 위협도는 2 이상 높게 평가되었다.

③ 대형트롤

대형트롤어업의 살오징어와 갈치의 목표위험도지수는 0.7에서 2.4의 범위로 평가되었다(Figs. 3d, 3e). 대형트롤어업의 특성상 생물다양성 및 서식처의 질에 대한 ORI가 각각 2.3, 1.6으로 높게 평가되었다. 끌어구류는 조업 시 서식처에 영향을 많이 미치기 때문에 서식처 훼손율의 위협도는 높았으나, 어구유실율 및 어업폐기물의 위협도는 1 이하로 평가되었다. 판매이윤비 등이 높아 사회경제적 혜택의 OIR는 0.7로 낮게 평가되었다. 살오징어의 자원상태가 좋지 않아 지속가능성의 ORI는 1.4로 평가되었으며, 갈치는 자원상태, 어획량, 어획개시체장에 대한 지표의 위협도가 높아 1.6으로 평가되었다.

④ 쌍끌이대형기선저인망

쌍끌이대형기선저인망어업의 살오징어와 갈치의 목표위험도지수는 1.1에서 1.9의 범위로 평가되었고(Figs. 3f and 3g), 삼치와 황아귀의 OIR는 0.9에서 1.9의 범위로 평가되었다(Figs. 3h and 3i). 쌍끌이대형기선저인망어업의 특성상 생물다양성 및 서식처의 질에 대한 ORI는 위협도가 각각 1.6, 1.9로 높게 평가되었으나, 고용증가율이 높아 사회경제적 혜택의 ORI는 위협도가 상대적으로 낮았다. 특히, 삼치와 황아귀의 경우 식품자급률 지표에 대한 위협도가 낮아 사회경제적 혜택에 대한 OIR는 갈치와 오징어보다 낮게 평가되었다. 쌍끌이대형기선저인망의 대상종 모두 어획개시체장의 위협도가 높아 지속가능성에 대한 ORI는 살오징어 1.4, 갈치 1.7, 삼치가 1.2, 황아귀는 1.7로 평가되었다.

⑤ 근해자망

근해자망어업 참조기의 목표위험도지수는 0.5에서 1.5의 범위로 평가되었다(Fig. 3j). 근해자망의 참조기의 자원상태 및 어획물 평균체장에 대한 위협도가 높아 지속성에 대한 ORI가 1.4로 높게 평가되었으며, 자망의 어업특성상 혼획 및 폐기율이 높아 생물다양성에 대한 ORI도 1.5로 위협도가 높게 평가되었다. 하지만 서식처의 질 및 사회경제적 혜택은 모두 1 이하로 위협도가 낮았다.

⑥ 근해안강망

근해안강망어업의 목표위험도지수는 0.8에서 1.8의 범위로 평가되었다(Figs. 3k, 3l). 근해안강망어업은 혼획비율이 높아 생물다양성의 ORI 위협도가 1.5로 높

게 평가되었으나, 서식처의 질, 사회경제적 혜택에 대한 ORI는 1로 낮게 평가되었다. 참조기는 자원상태가 좋지 않고, 어획량이 높아 지속가능성의 ORI가 1.7로 위협도가 높았으며, 갈치 또한 자원상태가 좋지 않아 지속가능성의 ORI가 1.8로 평가되었다.

⑦ 근해연승

근해연승어업의 목표위험도지수는 1.0에서 1.6의 범위로 평가되었다(Fig. 3m). 근해연승어업은 혼획비율이 높으며, 임금 및 고용증가율이 낮아 생물다양성 및 사회경제적 혜택에 대한 ORI가 1.4, 1.6으로 위협도가 다소 높게 평가되었으나, 서식처의 질에서는 위협도가 1.0으로 상대적으로 낮았다. 갈치의 자원상태가 좋지 않고, 어획량이 높으며, 어획개시체장이 낮아 지속가능성에 대한 ORI는 1.5로 다소 높은 값을 보였다.

종위험도지수

대형선망어업의 대상종인 고등어와 전갱이의 종위험도지수(SRI)는 각각 1.32, 1.35로 평가되었다(Fig. 4a). 어업의 특성상 서식처에 큰 영향을 미치지 않기 때문에 서식처의 위협도는 상대적으로 낮으나, 혼획비율이 다소 높고, 평균임금 때문에 생물다양성 및 사회경제적 혜택의 ORI의 위협도가 다소 높았다. 고등어와 달리 전갱이는 금지체장이 설정되지 않아 성어비율 및 어획개시체장의 위협도가 높아 고등어보다 SRI의 위협도가 높게 평가되었다. 대형선망어업은 불법어업에 단속된 건수가 없었기 때문에 IUU어업에 대한 벌점(P_{IUU})은 없었다.

기선권현망어업의 멸치의 SRI는 1.58로 평가되었는데(Fig. 4a), 멸치의 자원상태에 대한 ORI는 위협도가 낮았지만, 어획물의 체장이 작고, 혼획 및 폐기율이 높으며, 판매이윤비가 낮기 때문이다. 기선권현망어업은 불법어업으로 단속된 건수는 없었으므로, P_{IUU} 는 0이었다.

대형트롤어업의 살오징어와 갈치의 SRI는 각각 1.70과 1.60으로 평가되었다(Fig. 4a). 대형트롤어업의 특성상 혼획 및 서식처에 대한 위협도가 높았고, 대상종에 대한 자원상태도 좋지 않았다. 그러나 판매이윤 및 고용증가율이 높아 사회경제적 혜택에 대한 ORI는 0.5로 평가되면서 대형트롤어업의 대상종에 대한 SRI는 1.5 이상으로 위협도가 높게 평가되었다. 또한, 대형트롤은 포획위반 및 어장위반으로 불법어업에 단속된 건수가 있었으므로, P_{IUU} 는 살오징어와 갈치에 각각 0.01, 0.07의

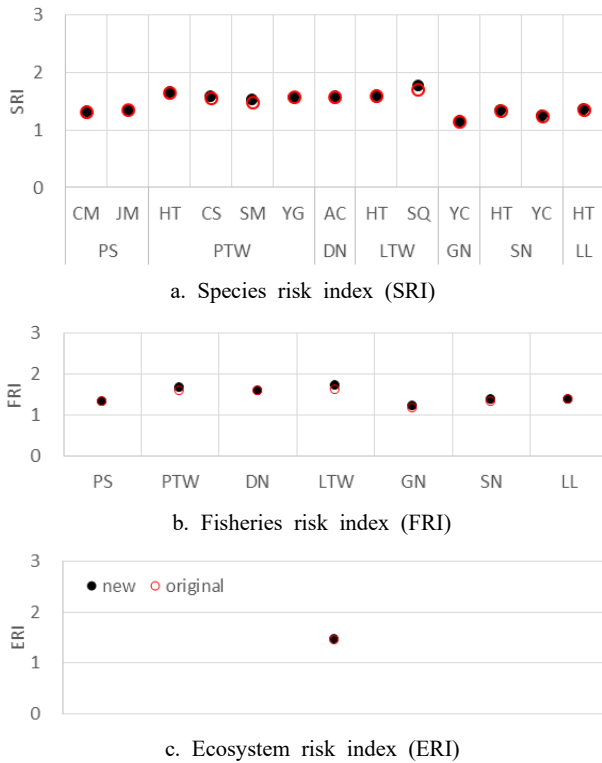


Fig. 4. The a) species risk index (SRI), b) fisheries risk index (FRI) and c) ecosystem risk index (ERI) for the ecosystem-based fishery assessment in the south sea of Korea. CM: Common mackerel, JM: Jack mackerel, AN: Anchovy, CS: Common squid, HT: Hairtail, SM: Spanish mackerel, YG: Yellow goosefish and YC: Small yellow croaker. PS: Large purse seine, PTW: Large bottom pair trawl, DN: Anchovy drag net, LTW: Large trawl, GN: Offshore gillnet, SN: Offshore stow net on anchor and LL: Offshore longline.

P_{IUV} 가 주어졌다. 따라서 P_{IUV} 가 추가된 살오징어와 갈치의 새로운 SRI는 각각 1.71, 1.77이었다.

쌍끌이대형기선저인망어업의 갈치, 살오징어, 삼치 및 황아귀의 SRI는 각각 1.65, 1.58, 1.48, 1.62로 평가되었다(Fig. 4a). 쌍끌이대형기선저인망어업은 대형트롤어업과 같은 끌어구류이기 때문에 서식처에 좋지 않은 영향을 미치며, 혼획비율도 다른 어업에 비해 상대적으로 높아 대상종의 SRI도 다른 어업에 비해 위험도가 다소 높게 평가되었다. 대형트롤어업의 갈치에 비해 쌍끌이대형기선저인망어업의 갈치의 SRI가 다소 낮았는데, 그 이유는 쌍끌이대형기선저인망어업의 어획량과 어획개시체장에 대한 위험도가 대형트롤어업보다 낮았기 때

문이다. 쌍끌이대형기선저인망어업은 대형트롤과 마찬가지로 포획위반 및 어장위반에 대한 불법어업 단속 건수가 있어 P_{IUV} 가 추가된 갈치, 살오징어, 삼치 및 황아귀의 새로운 SRI는 각각 1.66, 1.60, 1.53, 1.62이었다.

근해자망어업 참조기의 SRI는 1.15로 평가되었다(Fig. 4a). 근해자망어업은 혼획비율이 높아 생물다양성의 위험도가 높았으나, 서식처에 대한 영향은 적고 이윤비, 고용증가율이 높아 관련 ORI가 낮게 평가되었다. 근해자망은 그물코 크기에 대한 어구사용 위반, 포획금지종 포획위반에 대한 6건의 단속 건수가 있었기 때문에 P_{IUV} 가 적용된 새로운 SRI는 1.17로 평가되었다.

근해안강망어업의 갈치와 참조기의 SRI는 각각 1.33, 1.25로 평가되었다(Fig. 4a). 근해안강망은 혼획비율이 높아 생물다양성의 ORI가 높았으나, 서식처 및 사회경제적 혜택에 대한 ORI는 1 미만으로 평가되었다. 안강망어업의 참조기 SRI는 어획량 및 어획개시체장 때문에 근해자망어업의 참조기보다 SRI가 더 높게 평가되었다. 근해안강망어업은 포획위반에 불법어업 2건의 단속된 건수가 있었으므로, P_{IUV} 가 고려된 갈치와 참조기의 새로운 SRI는 1.34, 1.26으로 평가되었다.

근해연승어업의 갈치 SRI는 1.36으로 평가되었다(Fig. 4a). 갈치의 SRI는 끌어구류인 대형트롤 및 쌍끌이대형기선저인망어업에서 위험도가 가장 높게 평가되었으며, 안강망 및 연승어업에서는 위험도가 1.34와 1.36로 평가되었다. 근해연승어업의 갈치는 근해안강망어업과 비교했을 때 생물다양성 및 서식처에 대한 ORI는 위험도가 유사하였으나, 고용증가율에 대한 위험도가 높아 사회경제적 혜택의 ORI가 높게 평가되어 근해연승어업의 갈치 SRI가 자망과 안강망보다 위험도가 높았다. 근해연승어업은 불법어업으로 단속된 건수는 없었다.

어업위험도지수

대상생태계 내 7개의 어업에 대한 어업위험도지수(FRI)는 1.17에서 1.61 사이로 평가되었다(Fig. 4b). FRI가 1 미만인 어업은 없었으며, 대형선망, 근해자망, 근해안강망, 근해연승이 1.5 미만의 FRI로 상대적으로 낮았으며, 쌍끌이대형기선저인망어업, 기선권현망어업, 대형트롤어업은 1.6의 수준으로 평가되었는데, 이들 어업은 끌어구류의 특성상 혼획비율이 높고, 서식처에 악영향이 상대적으로 크기 때문에 위험도가 높게 평가되었

다. 그리고 기선권현망은 혼획에 대한 위험도가 높았기 때문이었다. 불법어업에 대한 별점(P_{IUV})을 고려했을 때, FRI는 1.22에서 1.71의 범위로 추정되었다. 대형선망어업, 기선권현망어업, 근해연승어업은 불법어업으로 단속된 건수가 없었기 때문에 기존의 FRI 추정치와 동일했으나, 쌍끌이대형기선저인망, 대형트롤, 근해자망, 근해안강망어업은 각각 불법어업 단속 건수로 별점이 부여되어 1.67, 1.71, 1.22, 1.36으로 더 높게 추정되었다.

생태계위험도지수

대상생태계의 생태계위험도지수(ERI)는 1.43으로 추정되었다(Fig. 4c). 불법어업에 대한 P_{IUV} 를 고려한 새로운 ERI는 1.45로 평가되었으며, 생태계위험도지수의 목표기준점(ERI_{thr})인 1보다 높은 위험도로 평가되었다.

고 찰

남해해역 7개 대상어업, 8개 대상종에 대한 생태계기반 자원평가 결과, 생태계위험도지수(ERI)는 1.49로 위험도가 목표기준점보다 높았다. 대형선망어업의 조업 특성상 서식처에 대한 영향은 크지 않아 위험도가 안정적이었으나, 조업척수 및 조업일수가 많아 어업폐기물의 위험도가 다소 높았다. 사회경제적 혜택에서 임금 및 이윤에서는 위험도가 높았으나, 고용증가율은 위험도가 매우 낮았다. 혼획비율이 높아 혼획률의 위험도가 높았으나, 폐기율의 위험도는 중간 정도의 위험도를 보였다. 전갱이는 어획개시체장과 성어비율이 2 이상의 매우 높은 위험도를 보였으므로, 전갱이는 어획물 크기(체장)에 대한 관리가 필요할 것으로 보인다. 고등어와 전갱이의 SRI는 모두 1.35로 Kim (2020)이 2018년도 기준 대형선망어업 고등어와 전갱이의 SRI를 각각 1.35, 1.29로 평가한 것과 비교하였을 때, 고등어는 위험도가 크게 변하지 않았으나, 전갱이의 위험도는 다소 증가하였다.

기선권현망어업은 멸치만을 대상으로 조업하므로, 혼획비율이 낮고 서식처에 대한 영향력도 낮았다. 그러나 혼획 및 폐기율이 높아 생물다양성의 위험도는 2.6으로 상대적으로 높게 평가되었다. 사회경제적 혜택에서도 임금 및 이윤의 위험도가 높았다. 멸치의 자원상태, 어획량 및 성어비율은 안정적인 경향을 보이고 있으나, 어획개시체장의 위험도는 2 이상 높았다. 자원량도 현재 수준에서 조금만 감소할 경우 위험도가 높아 질 것으로

예상되므로, 향후 적절한 자원관리가 필요할 것이다. Kim (2020)에서 평가된 기선권현망어업의 멸치 SRI는 1.26으로 본 연구에서 평가된 1.58보다는 낮게 평가되었다. Kim (2020)에서는 혼획율의 위험도가 0으로 평가되었으나, 본 연구에서는 3으로 평가된 것이 가장 큰 차이점이라 할 수 있다.

대형트롤어업은 조업 특성상 서식처에 미치는 악영향이 높고, 혼획비율이 높기 때문에 서식처의 질, 생물다양성의 위험도가 높았다. 그러나 이윤, 고용률 등은 매우 안정적이었다. 대형트롤어업에서 어획되는 살오징어는 어획량 및 성어비율이 다소 안정적이었으나, 살오징어의 자원상태가 좋지 않아 위험도가 2 이상 높게 평가되었다. 살오징어는 금지체장이 설정되어 있어 대형트롤어업에 어획되는 살오징어의 성어비율은 안정적이었으나, 어획개시체장이 다소 낮아 관리가 필요한 것으로 생각된다. 갈치는 대형트롤어업에서 어획되는 성어비율만 안정적이었으며 지속가능성의 다른 지표들의 위험도는 높게 평가되었다. 대형트롤어업에서 어획되는 갈치의 어획량 및 어획개시체장에 대한 관리가 필요한 것으로 평가되었다.

쌍끌이대형기선저인망어업도 대형트롤어업과 마찬가지로 끌어구류이기 때문에 서식처에 대한 악영향이 높고, 혼획비율이 높아 서식처의 질과 생물다양성에 대한 위험도가 높았다. 쌍끌이대형기선저인망어업에서 어획되는 살오징어와 삼치의 어획강도는 1 이하로 크게 높지 않았으나, 갈치는 다소 높은 위험도를 보여 쌍끌이대형기선저인망어업에서 어획되는 갈치의 어획량 관리가 필요한 것으로 평가되었다. 또한 갈치의 성어비율 및 어획개시체장에 대한 위험도도 다소 높았으므로 어획물 크기(체장)에 대한 관리도 필요한 것으로 사료된다. 살오징어와 갈치의 자원상태가 좋지 않아 위험도가 2 또는 그 이상인 것으로 평가되어 자원관리가 반드시 필요한 종으로 평가되었다. 본 연구에서 살오징어, 갈치, 삼치의 위험도는 각각 1.59, 1.66, 1.53로 평가되어 Kim (2020)보다 이 종들의 위험도는 더 높아진 것으로 추정되었다. 이는 IUU어업의 별점(P_{IUV})의 영향이 고려된 것과 동시에 Kim (2020)이 분석을 한 2018년도보다 이 종들에 대한 지속가능성에 대한 위험도가 더 높아졌기 때문이다.

근해자망어업은 조업척수 및 조업일수가 높아 어업폐기물에 대한 위험도가 매우 높게 평가되었으며, 조업의 특성상 혼획과 폐기율의 위험도가 높았다. 임금의 경우

도 다소 높은 위험도를 보였다.

근해안강망어업은 서식처에 대한 위험도는 안정적인 상태로 평가되었으나 혼획 및 폐기에 대한 위험도는 높았다.

근해연승어업은 대부분의 목표에서 위험도가 다소 높게 평가되었으며, 특히 자원상태, 혼획, 어업폐기물, 고용증가율에 대해서는 관리가 필요한 것으로 평가되었다.

개체군 수준에서의 자원평가 자료 및 방법을 포함하여 생물다양성, 서식처 및 사회경제적 정보까지 포함된 생태계기반 자원평가(EBFA)와 더불어 자원관리 및 자원상태에 큰 영향을 주는 IUU어업을 고려한 개선된 EBFA를 수행한 결과, 대상생태계의 위험도지수(ERI)는 1.45로 평가되었다. 현재 대상생태계 내 자원관리를 위한 조치가 적절한지를 파악하기 위해 목표기준점($ERI_{tar} = 1$)과 비교했을 때, 현재 대상생태계의 ERI는 ERI_{tar} 보다 높으므로 새로운 자원관리방안의 채택이 필요한 것으로 평가되었다.

IUU어업은 자원감소 및 자원관리에 악영향을 미치기 때문에 전 세계적으로 매우 심각한 위법행위로 간주하고 있으며, 지역수산물관리기구에서는 선박감시제도, 항만국검색제도 등 다양한 방법으로 IUU어업 근절을 위한 보존 관리조치들을 채택하고 이행하고 있다(Son, 2011). 본 연구에서는 기존의 EBFA 결과에 IUU어업을 별점으로 추가하여 IUU어업이 수산자원에 미치는 위험성을 강조하였다. 그러나 IUU어업에 사용된 자료는 어업관리단에서 수집되는 항목별 단속 건수이고, 어업에 대한 항목별 건수만 제공되기 때문에 보다 정확한 평가를 위해서는 종별 단속 건수 등에 대한 정보도 추가되어야 할 것으로 보인다. 또한, TAC제도 등의 확대를 통해 비보고 비율을 감소시켜 어획통계의 정확성을 높일 필요가 있다. 이를 위해서는 우리나라 원양어업 전 조업선에서 시행 중인 전자조업보고시스템이 우리나라 연근해 어업에도 도입되고 정착되어야 할 것으로 보인다.

결론

IUU어업이 어업자원과 어업관리에 미치는 부정적인 영향을 고려하여 Zhang et al. (2011)의 생태계 기반 어업 평가(EBFA) 위험도를 추정하는 방법을 수정하여 불법, 비보고, 비규제 어업(IUU fishing)의 세 가지 요소를 별점(penalty)로 포함시켰다.

본 연구에서는 우리나라 어업에 적합한 IUU어업 지

표를 개발하고 이를 생태계기반 자원평가에 적용하는 방법을 소개하였다. 불법어업의 지표는 무면허나 무허가 어업으로 설정하였고, 비보고어업의 지표는 조업활동을 보고하지 않는 것으로 설정하였다. 비규제어업의 지표는 불법 어구를 사용하는 어업, 불법 어획, 금지된 어업 구역 또는 제한된 해역에서의 어업 활동으로 설정하였다. IUU어업은 대상종의 자원량에 큰 영향을 미치므로 본 연구에서도 IUU 어업의 영향을 중 단위 위험도(Species Risk Index, SRI)에 포함시켜 자원량의 비율에 따라 가중치를 부여하였다($SRI = \left\{ \sum_j \lambda_j ORI / \sum_j \lambda_j \right\} + P_f (B_i / B)$). IUU어업의 영향을 고려한 수정된 생태계 기반 어업 평가 방법을 한국 남해 주요 어업에 적용하였다. TAC 제도 확장을 통해 비보고어업을 줄이고 통계 수집의 정확성을 높이는 것이 필요하다. 이를 위해 우리나라 원양어선 전 선박에 도입되고 있는 전자 어획 보고 시스템을 연안 및 근해 어업에도 도입해야 할 것이다.

사사

이 논문은 2024년도 국립수산과학원 수산과학연구소 연구(R2024003)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

- Agnew DJ and Barnes CT. 2004. Economic aspects and drivers of IUU fishing: Building a framework. 25-28.
- Christensen NL, Bartuska AM, Brown JH, Carpenter S, D'Antonio C, Francis, Franklin JF, MacMahon JA, Noss RF, Parsons DJ, Peterson CH, Turner MG and Woodmansee RG. 1996. The report of the ecological society of America committee on the scientific basis for ecosystem management. *Ecological Applications* 6, 665-691. <https://doi.org/10.2307/2269460>.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P and van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(6630), 253-260.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2001. The international plan of action to prevent, deter and eliminate illegal, unreported and unregulated fishing. 1-24.

- Grumbine RE. 1994. What is ecosystem management?. *Conservation Biology* 8, 27-38.
- Holling CS. 1993. Investing in research for sustainability. *Ecological Applications* 3, 552-555.
- Kang HJ. 2018. A study on the ecosystem-based spatio-temporal assessment and forecasting, Ph.D. Dissertation, Pukyong National University. 1-128.
- Kim H. 2020. A study on the spatio-temporal IFRAME approach for fisheries assessment and forecasting. Ph.D. Dissertation, Pukyong National University. 1-133.
- KCG (Korea COast Guard). 2022. Retrieved from <https://www.kcg.go.kr> on Nov 14.
- KCS (Korea Customs Service). 2022. Retrieved from <https://www.customs.go.kr> on Aug 20.
- KOSIS (Korean Statistical Informaton Service). 2022. Retrieved from <https://kosis.kr> on Apr 3.
- Kwon Y, Lim JH, Lee MK and Lee SI. 2020. Evaluation of Korean distant water tuna fisheries in the Western and Central Pacific Ocean using ecosystem-based fishery risk assessment. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 56, 299-315. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2020.56.4.299>.
- Larkin PA. 1996. Concepts and issues in marine ecosystem management. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 6, 139-164.
- Lee KN and Jung JH. 2014. Estimating the fisheries losses due to Chinese's illegal fishing in the Korean EEZ. *J Fish Bus Adm* 45, 73-83. <https://doi.org/10.12939/FBA.2014.45.2.073>.
- Lehodey P, Murtugudde R and Senina I. 2010. Bridging the gap from ocean models to population dynamics of large marine predators: A model of mid-trophic functional groups. *Progress in Oceanography* 84, 69-84. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2009.09.008>.
- Ma X. 2020. An economic and legal analysis of trade measures against illegal, unreported and unregulated fishing. *Marine Policy* 117, 103980. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103980>.
- Paine RT. 1969. A note on trophic complexity and community stability. *American Naturalist* 103(929), 91-93.
- Park HW, Choi KH, Zhang CI, Seo YI and Kim H. 2013. A study on the ecosystem-based fisheries assessment by quality analysis in Jeonnam marine ranching ecosystem. *J Kor Soc Fish Tech* 49, 459-468. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.459>.
- Pitcher TJ, Watson R, Forrest R, Valtysson H and Guénette S. 2002. Estimating illegal and unreported catches from marine ecosystems: A basis for change. *Fish and Fisheries* 3, 317-339. <https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2002.00093.x>.
- Pope JG. 1979. A modified cohort analysis in which constant natural mortality is replaced by estimates of predation levels. *ICES C.M.* 1979/H 16, 1-8.
- Seo YI 2011. Ecosystem-based stock assessment and fisheries management in the southern sea of Korea, Ph.D. Dissertation, Pukyong National University. 1-168.
- Son JH. 2011. A study on the conservation and management of marine living resources and countermeasure against IUU fishing. Ph.D. Dissertation, Pukyong National University. 1-180.
- Walters C, Christensen V and Pauly D. 1997. Structuring dynamics models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessment. *Review in Fish Biology and Fisheries*, 7, 139-172. <https://doi.org/10.1023/A:1018479526149>.
- WSFMS (West Sea Fisheries Management Service). 2022. Retrieved from <https://westship.mof.go.kr> on Sep 8.
- Widjaja S, Long T and Wirajuda H. 2019. Illegal, unreported and unregulated fishing and associated drivers. Report of the Commissioned? by high level panel for a sustainable ocean economy, 1-60.
- Yoon SC 2014. Characteristics of Korean coastal fisheries and ecosystem-based resource assessment. Ph.D. Dissertation, Pukyong National University, Korea. 1-227.
- Zhang CI. 2002. Prospect of ecosystem-based fisheries managment. *J Kor Soc Fish Res* 5, 73-90.
- Zhang CI, Hollowed AB, Lee JB and Kim DH. 2011. An IFRAME approach for assessing mpacts of climate change on fisheries. *ICES J Mar Sci* 68, 1318-1328. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr073>.
- Zhang CI, Park HW, Lim JH, Kwon HC and Kim DH. 2010. A study on indicators and reference points for the ecosystem-based resource assessment. *J Kor Soc Fish Tech* 46, 32-49. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2010.46.1.032>.
- Zhang CI, Kim S, Gunderson D, Marasco R, Lee JB, Park HW and Lee JH. 2009. An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries. *Fish Res* 100, 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.12.002>.

Appendix. Target and limit reference points by objective, attribute and indicator for ecosystem-based stock assessment and list of data sources used

Table A1. The data to estimate target and limit reference points (TRPs and LRPs) by indicator

Objective	Attribute	Indicator	TRP	LRP	Methods	This study
Sustainability	Biomass	S1. Biomass (B)	B_{MSY}	$0.5B_{MSY}$	① estimation directly, ② literatures	① and ② MOF, 2021a, 2021b
	Fishing intensity	S2. Catch (C) or fishing mortality (F)	ABC or F_{MSY}	$2ABC$ or $2F_{MSY}$		
	Size at first capture	S3. Size at first capture (L_c)	L_{target}	$0.5L_{target}$	① estimation directly, ② literatures, ③ prohibited length by the law	② literatures
	Reproductive potential	S4. Mature fish rate (MR)	MR_{target}	MR_{lim}		
	Community structure	S5. Mean total length in catch (MTL)	$95\%MTL_{F=0}$	$90\%MTL_{F=0}$	① estimation directly, ② literatures	①
Biodiversity	Total bycatch	B1. Bycatch rate (BCR)	$0.5\overline{BCR}$	\overline{BCR}	① direct researches by researchers or observers ② average catch in recent 5-year except major species (KOSIS) ③ literatures	②
	Diversity	B2. Diversity (DI)	\overline{DI}	$0.5\overline{DI}$	① Shannon and Wiener, 1963 ② literatures	①
Biodiversity	Total discards	B3. Discards rate (DCR)	$0.5\overline{DCR}$	\overline{DCR}	① direct researches by researchers or observers ② in the recent 5-year, average of catches by species on less than 1% of the total catch (KOSIS) ③ literatures	②
Habitat quality	Habitat damage	H1. Critical habitat damage rate (DH)	DH_{target}	DH_{lim}	① DH_{target} : 0.2, DH_{lim} : 0.4	①
		H2. Lost fishing gear rate (FR)	FR_{target}	$2FR_{target}$	① estimation directly, ② literatures, ③ fishing characteristics or fishing efforts	②
		H3. Oil pollution (OP)	\overline{OP}	$0.5\overline{OP}$	① no. of oil pollution accidents caused by fishing vessel in recent 10-year (Korea Coast Guard), ② literatures	①
	Discarded wastes	H4. Discarded wastes (DW)	$0.5\overline{DW}_{lim}$	\overline{DW}_{lim}	① estimation directly, ② literatures, ③ fishing characteristics or fishing efforts	③ fishing effort efforts
Socio-economic benefit	Income	E1. Income per person employed (IPPE)	UIPPE*	LIPPE*	① income(KOSIS), ② literatures	①
	Profitability	E2. Ration of profit to sales (RPS)	URPS**	0%	① average ration of profit to sales by fishery (KOSIS) ② literatures	①
	Employment	E3. Employment rate (ER)	UER***	0.5UER	① yearly average employment increase rate (KOSIS) ② literatures	①
	Productivity	E4. Maximum economic yield (MEY)	$ L - MEY \leq 0.1MEY$	$ L - MEY > 0.2MEY$	① estimation directly, ② literatures	②
	Market	E5. Ratio of landing to total supply (RLS)	RLS_{target}	RLS_{limit}	① RLS_{target} : 0.75, RLS_{limit} : 0.5	①

*UIPPE: monthly average income of urban working person, LIPPE: monthly minimum coast of living

**URPS: yearly average sales profit for whole fisheries

***UER: yearly average employment increase rate.

Table A2. Data to estimate indicators

Objective	Indicator	Data	This study
Sustainability	S1. B	① estimated biomass by direct research or analysis, ② literatures	①
	S2. C or F	① catch or effort (KOSIS), ② literatures	①
	S3. L _c	① estimated biological parameters, ② minimum length by direct research, ③ literatures	②
	S4. MR	① rate of mature fish on caught length by direct research, ② literatures	①
	S5. MTL	① estimated biological parameters, ② average length by direct research, ③ literatures	①
Biodiversity	B1. BCR	① direct researches by researchers or observers ② catch amount except major species (KOSIS), ③ literatures	②
	B2. DI	① catch by species in target ecosystem, ② literatures	①
	B3. DCR	B1. same as BCR method	②
Habitat quality	H1. DH	① estimation directly, ② literatures,	②
	H2. FR	③ fishing characteristics or fishing efforts	②
	H3. OP	① no. of oil pollution accidents caused by fishing vessel(KCG), ② literatures, ③ fishing characteristics or fishing efforts	①
	H4. DW	① estimation directly, ② literatures, ③ fishing characteristics or fishing efforts	③
Socio-economic benefit	E1. IPPE	① monthly average income by person by fishery (KOSIS), ② literatures, ③ assume proportional to catch	①
	E2.. RPS	① ① average ration of profit to sales by fishery (KOSIS) ② literatures, ③ assume inversely proportional to fishing effort	①
	E3. ER	① no. of employment person (KOSIS), ② literatures, ③ assume proportional to fishing effort	①
	E4. MEY	① estimation directly, ② literatures	②
	E5. RLS	① catch by species (KOSIS) and import by species (KCS), ② literatures	①
IUU fishing	I1. NL	① no. of IUU fishing in the last 10 years (FMS), ② literatures	①
	I2. UR		
	I3. IFG		
	I4. IC		
	I5. PFA		
	I6. PR		