

생태계 기반 어업평가의 위험도 추정에 관한 개선연구

박희원* · 장창익¹ · 권유정 · 서영일 · 오택윤

국립수산과학원 자원관리과, ¹부경대학교 해양생산시스템관리학부

A study on the risk scoring and risk index for the ecosystem-based fisheries assessment

Hee Won PARK*, Chang Ik ZHANG¹, You Jung KWON and Young Il SEO and Taeg-Yun OH

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

This study identified problems of the existing ecosystem-based fisheries assessment approach, and suggested new methods for scoring risk and for the estimation of fishery risk index. First, risk scores of zero to two for target and limit reference points for each indicator were replaced by those of zero to three, and the risk scores were calculated from new formulae which were developed in this study. Second, a new method for estimating fishery risk index (FRI) was developed in this study, considering the level of indicators. New method was applied to the Korean large purse seine fishery, large pair trawl fishery and drag net fishery. More precise and detailed risk scores were obtained from the new method, which can explain the risks by the wider range of both risk levels for 'better than target' and 'beyond limit'. The new method for estimating FRI could avoid the basic problem related with duplicated computations of fishery-level indicators, which improved the estimated FRI to be more accurate. Also, a method for estimating variance of FRI using the bootstrap was proposed in this study.

Keywords: Risk score, Fishery risk index, Indicator, Reference points, Ecosystem-based fisheries assessment

서 론
2000년대 초반 국제 수산 기구 및 선진 수산국

에서는 수산자원평가에서 단일종 위주의 평가가 가지는 한계를 파악하고 이를 해결하기 위해

*Corresponding author: heewon81@gmail.com, Tel: 82-51-720-2331, Fax: 82-51-720-2337

많은 연구들을 수행하였다 (Zhang, 2006). 그 중 대상 수산자원이 포함되어있는 해양생태계를 고려한 수산자원평가 기법의 필요성과 이를 기반으로 수산자원을 관리할 수 있는 거시적 해양생태계 기반 관리의 필요성이 대두되었다.

생태계 기반 어업자원평가 및 관리의 접근법과 지표에 관한 연구가 수행된 이후 구체적으로 생태계 기반 어업자원평가 및 관리를 적용할 수 있는 연구가 진행되었다. 대표적으로 호주에서는 생태계 차원에서 어업을 평가할 수 있는 실용적인 방법으로써 어업의 영향에 대한 생태학적 위험도 분석 (ecological risk analysis for effect of fishing, ERAEF) 방법을 개발하여 호주의 어업이 생태계에 미치는 영향을 평가하였고, 이를 어업 관리에 사용하고 있다 (CSIRO, 2005). 또한 국제

기구인 국제해양관리위원회 (MSC)에서는 생태계를 고려하여 어업을 평가하고 인증을 해주는 인증제를 시행하고 있다 (MSC 2006; 2009).

우리나라에서도 생태계 기반 자원관리에 관한 연구가 활발히 수행중에 있다. Zhang et al. (2009)에 의해 처음 소개된 생태계 기반 어업평가 (Ecosystem-based Fisheries Assessment, EBFA)는 생태계 기반 자원관리 시스템에 관한 기본 틀을 제공하였다. 또한 생태계 기반 어업평가를 기반으로 생태계 기반 자원평가를 위한 지표와 기준점 연구 (Zhang et al., 2010)가 수행되어 보다 현실적으로 생태계를 평가할 수 있는 방법을 제공하였다. 최근에는 생태계를 평가하고 예측하여 관리할 수 있는 IFRAME (Integrated Fisheries Risk Assessment Methods for Ecosystem)의 개념

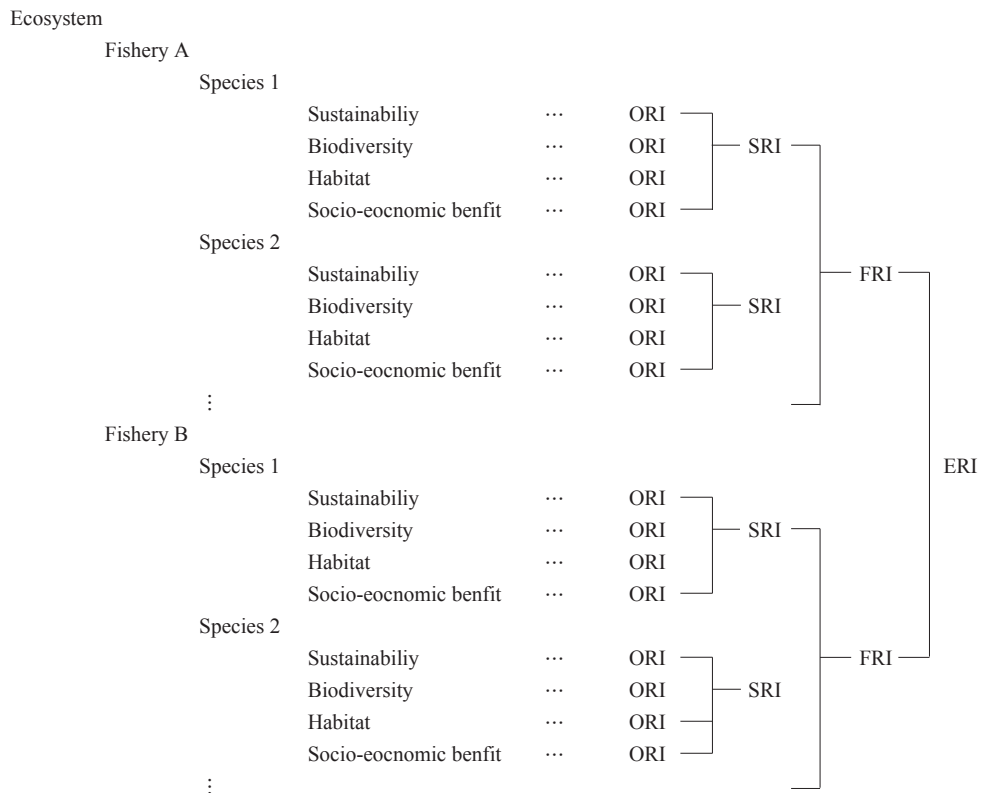


Fig. 1. Nested structure of risk indices used in the ecosystem-based fisheries assessment (ORI: objective risk index, SRI: species risk index, FRI: fishery risk index, ERI: ecosystem risk index) (Zhang et al, 2009).

이 소개되었다 (Zhang et al., 2011). 또한 Seo (2011)는 생태계 기반 자원평가 기법을 활용하여 남해 어장생태계의 위험도를 분석하여 통합적인 자원관리방안을 제시한 바 있다.

Zhang et al. (2009)이 제시한 생태계 기반 어업평가 방법은 각각의 지표에 따른 위험도 (risk score)를 추정하고 이를 바탕으로 생태계 위험지수인 목표위험지수 (Objectives risk index, ORI), 종위험지수 (Species risk index, SRI), 어업위험지수 (Fishery risk index, FRI), 생태계위험지수 (Ecosystem risk index, ERI)를 추정하는 방법을 제시하였다 (Fig. 1). 본 연구에서는 Zhang et al. (2009)에 의한 기존방법의 문제점을 파악하였다. Zhang et al. (2009)이 제시한 기존의 방법은 두 가지 문제점을 나타내었다. 첫째는 위험도 구간의 불명확성으로 기존의 방법에서는 위험도 구간을 두 개의 점 (0, 2점)과 하나의 구간 (0~2)로 표현하여 명확한 위험도 구간을 제시하지 못하였다. 두 번째 문제점은 어업위험지수 추정에 있어서 어업에 의한 지표와 종에 의한 지표가 구분 없이 동일한 가중치를 부여함에 따라 위험지수가 모든 지표에 계속적으로 가중치가 부여되는 문제점이 드러났다.

따라서 본 연구에서는 기존에 개발된 생태계 기반 어업평가의 문제점을 살펴보고 이를 개선하기 위한 새로운 위험도 추정법 및 어업위험지수 추정법을 제시하였다.

재료 및 방법

생태계 기반 어업평가 모델에서의 기존의 위험도 및 위험지수 평가 방법

생태계 기반 어업평가의 위험도 추정에 관한 연구를 수행하기 위해 기존방법을 검토하였다. 생태계 기반 어업평가 시스템은 목표종과 생태계 환경에 대한 정보에 따라 2 단계로 구분하여 1단계 정량적 분석 (quantitative analysis)과 2단계의 준정량적 및 정성적 분석 (semi-quantitative and qualitative analysis)으로 구성되어 있다. 각

단계의 목표별 지표를 특정 생태계, 어업 및 대상종에 적용하고, 각 목표별 지표에 따르는 기준점 (reference points)을 목표기준점 (better than target), 목표기준점과 한계기준점 사이 (between target and limit), 그리고 한계초과기준점 (beyond limit)으로 구분하여 적용한다. 목표기준점의 위험도는 0점으로 한계초과기준점의 위험도는 2점으로 설정하였으며, 목표기준점과 한계기준점 사이는 0~2점 사이의 위험도를 가진다. 목표기준점과 한계기준점 사이의 위험도는 식 (1)과 같이 계산한다.

$$RS_i = RS_{\max} \left(\frac{I_{\text{target}} - I_i}{I_{\text{target}} - I_{\text{limit}}} \right) \quad (1)$$

여기서, RS_i 는 i 종의 위험도, I_{target} 은 목표기준점의 값, I_{limit} 는 한계기준점의 값, I_i 는 각 지표별 기준값, RS_{\max} 는 2로 설정하였다.

기준점을 사용하여 평가할 때 평가점수는 지표의 중요도에 따라 가중치가 적용된다. 각 지표별 점수가 낮을수록, 위험도가 낮거나 혹은 자원 및 생태계 관리가 잘 이루어졌음을 의미하며, 지표별 점수가 높은 지표 즉 위험도가 높은 지표에 대해서는 관리조치와 개선방안을 마련하도록 한다. 위험도의 정도에 따라 저 위험도 구간을 green zone으로 중위험도 구간을 yellow zone으로 고위험도 구간을 red zone로 나타내었다. 기존 생태계 기반 어업평가 방법에서는 green zone을 0~1.16으로 yellow zone을 1.16~1.63으로 red zone을 1.63~2로 각각 설정하였다.

기존 생태계 기반 어업자원평가에서는 각 관리목표에 대한 지표들의 평가결과인 목표위험지수 (ORI)를 사용해서 생물종들의 상태를 파악하는데, 각 종에 대한 각 목표위험지수는 최소 0에서 최대 2의 값을 가진다.

각 목표에 대한 지표들의 평가점수를 평균하여 구하는 목표위험지수는 각 지표의 평가점수 (I_i)를 가중치 (W_i)로 곱해서 더한 값을 각 지표에 대한 가중치의 합으로 나누어서 아래의 식 (2)로

계산한다.

$$ORI = \frac{\sum_{i=1}^n I_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

여기서, I_i 는 지표의 평가점수, W_i 는 지표 i 의 중요도이며, n 은 지표수이다.

종위험지수 (Species risk index, SRI)는 i 종의 각 목표에 대한 목표위험지수에 가중치를 부여하여 나타낸 지수로 아래의 식 (3)으로 계산한다.

$$SRI = \lambda_s ORI_s + \lambda_B ORI_B + \lambda_H ORI_H + \lambda_{SE} ORI_{SE} \quad (3)$$

여기서, $\lambda_s, \lambda_B, \lambda_H, \lambda_{SE}$ 는 관리목표인 지속성 (S), 생물다양성 (B), 서식처 (H), 사회경제적 편익 (SE)에 대한 각각의 가중치, $ORI_s, ORI_B, ORI_H, ORI_{SE}$ 는 각각 종의 각 관리목표별 목표위험지수이다.

생태계 내의 대상어업의 주요자원 생물종들에 대한 어업위험지수 (Fishery risk index, FRI)는 각 종들에 대한 생체량 또는 생체량 지수에 종위험지수를 가중평균 하여 아래의 식 (4)와 같다.

$$FRI = \frac{\sum B_i SRI_i}{\sum B_i} \quad (4)$$

여기서, B_i 는 종의 생체량 또는 생체량 지수, SRI_i 는 i 종의 종위험지수이다.

생태계 내 모든 어업에 대한 생태계위험지수 (Ecosystem risk index, ERI)는 각 어업에 대한 어획량에 어업위험지수를 가중평균 하여 아래의 식 (5)로 계산한다.

$$ERI = \frac{\sum C_i FRI_i}{\sum C_i} \quad (5)$$

여기서, C_i 는 i 어업의 어획량, FRI_i 는 어업의 어업위험지수이다.

새로운 위험도 및 어업위험지수 평가방법 개선
기존 연구에서는 위험도를 2개의 값과 하나의

구간으로 정의하였다. 즉 목표기준점 구간 내의 위험도는 모두 0점으로, 한계기준점 구간 내의 위험도는 모두 2점으로, 목표기준점과 한계기준점 사이의 구간은 목표기준점 (0) 초과에서 한계기준점 (2) 미만 구간으로 정의하였다 (Fig. 2). 기존 연구에서 정의한 위험도 구간은 목표기준점과 한계기준점 사이의 구간만을 명확히 나타낼 뿐 목표기준점 구간 내와 한계기준점 구간 내에 대해서는 명확한 위험도를 정의하지 못하였다. 위험도 구간의 불명확한 표현은 위험도를 추정하는 수식에서도 동일하게 나타났다. 위험도 평가 점수를 목표기준점은 0점으로 한계기준점은 2점으로 나타내어, 목표기준점 구간 내에서 혹은 한계기준점 구간 내에서 위험도를 명확히 정량화 할 수 없었다.

어업위험지수는 대상어업의 주요자원 생물들에 대한 위험지수로, 기존 연구에서는 종위험지수에 자원량 (자원량 지수) 가중치를 주어 계산하였다. 그러나 생태계 기반 관리지표는 어종에 의해 영향을 받는 지표와 어업에 의해 영향을 받는 지표로 구성되어있고, 어업에 의해 영향을 받는 지표는 각 종별 자원량 (자원량 지수)의 영향을 받지 않아야한다. 그러므로 모든 지표에 각 종별 자원량 (자원량 지수) 가중치를 부여하여 계산하는 기존 연구에 의한 방법에는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 생태계 기반 관리 지표를 종에 의해 영향을 받는 지표와 어업에 의해 영향을 받는 지표로 구분하고 종별 자원량 (자원량 지수) 가중치가 종에 의해 영향

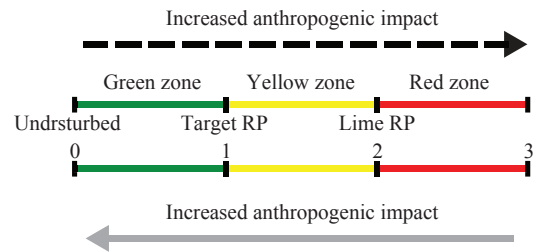


Fig. 2. New reference points and risk scores for the ecosystem-based fisheries assessment approach.

을 받는 지표에만 적용될 수 있도록 추정방법을 개선하였다.

위험지수의 분산 추정

위험지수의 분산을 추정하기 위해서 부스트랩 (Bootstrap)을 사용하였다. 일반적으로 분산은 추정치의 불확실성 또는 신뢰도를 평가할 때 반드시 고려되어야 한다. 어업자원평가의 가장 큰 문제점 중 하나는 불확실성이다 (Fogarty et al., 1992). 이런 불확실성의 원인으로 자연변동, 관측오류, 모델오류, 정책실행 오류를 들 수 있다 (Harwood and Stokes, 2003). 1990년대 들어서 컴퓨터 기술이 발전함에 따라 어업자원관리에서 이런 불확실성과 이에 따르는 위험도를 어떻게 평가하고 처리할 것인가에 대한 방법론이 개발되기 시작하였는데 대표적으로 많이 쓰이고 있는 방법 중에 하나는 무작위 함수에 기초한 부스트랩 (bootstrap)이다 (Jung et al., 2008).

본 연구에서는 각 위험지수의 분산을 추정하기 위해 상용 통계패키지 프로그램 R을 사용하여 부스트랩방법을 적용하였다. 각 위험점수가 가지는 가중치를 고려하여 반복 추출 될 수 있도록 설정하였고, 어업위험지수와 중위험지수에 대한 평균값과 분산을 추정할 수 있도록 코딩하였다.

새로운 평가방법의 적용

기존의 방법과 새로운 방법을 비교하기 위해 한국 남해 어장의 생태계를 분석한 Seo (2011)의 자료를 사용하였다. Seo (2011)의 자료에 따라 대형선망어업, 대형기선저인망 쌍끌이 어업, 기선권현망 3가지 어업에 대한 분석을 수행하였고, 분석에 사용된 대상종은 Table 1과 같다.

결과 및 고찰

새로운 위험도 평가방법

위험도 추정시 기존 문제점을 보완하기 위해 본 연구에서는 위험도 구간을 목표기준점 내, 목표기준점과 한계기준점 사이, 한계기준점 내 3개의 구간으로 위험도 구간을 재설정하였다 (Fig. 2). 위험도 구간의 재설정은 위험도를 명확히 추정하는 방법을 나타내기 위한 개념적인 틀로써, 기존의 개념과 동일하게 적용하였다. 즉 위험도에 따른 green zone, yellow zone, red zone을 구간으로 명확히 설정하였으며, 각각의 구간을 0~1점, 1~2점, 2~3점으로 표현하여 위험도를 추정하는 방법을 개발하였다. 또한 기존의 위험도를 추정하는 식 (1)을 0~3점을 나타낼 수 있도록 식 (6)처럼 수정하였다.

$$RS_i = \frac{I_{target} - I_i}{I_{target} - I_{limit}} + 1 \quad (6)$$

여기서 I_{target} 은 목표기준점의 값, I_{limit} 는 한계기준점의 값, I_i 는 각 지표별 기준값을 나타낸다. 만약 RS_i 가 0보다 작을 경우는 0으로 간주하며, RS_i 가 3보다 클 경우는 3으로 간주한다.

새로운 어업위험지수 추정

어업위험지수 추정방법의 개선을 위해 생태계 기반 위험도 분석에 사용되는 지표를 각각 어종수준 (species level)과 어업수준 (fishery level)로 나누었다 (Table 2).

개선된 어업위험지수 (FRI) 추정 식은 식 (7)과 같다. 어업위험지수 추정에서는 생태계 기반 위험도 분석의 지표 중 어종수준의 지표는 지표별 가중치와 자원량 (자원량 지수) 가중치가 모두 적용될 수 있도록 설정하였고, 어업수준의 지

Table 1. Target fishery and major species in the South Sea of Korean waters

Target fishery	Major species
Large purse seine fishery	Common mackerel, Jack mackerel
Large pair trawl fishery	Hairtail, Small yellow croaker, Yellow goose fish
Drag net fishery	Anchovy

표는 지표별 가중치만 적용 될 수 있도록 설정하였다.

1) When $\lambda_o = \text{constant}$

$$FRI = \sum_{o=S}^E \lambda_o \left(\frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (B_i \cdot w_j \cdot RS_{ij}) / \sum_{i=1}^l B_i + \sum_{k=1}^n W_k \cdot RS_k}{\sum_{j=1}^m w_j + \sum_{k=1}^n W_k} \right)$$

2) When $\lambda_o = \text{varied by species}$ (7)

$$FRI = \sum_{i=1}^l \sum_{o=S}^E \lambda_o \left(\frac{\sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m (B_i \cdot w_j \cdot RS_{ij}) / \sum_{i=1}^l B_i + \sum_{k=1}^n W_k \cdot RS_k}{\sum_{j=1}^m w_j + \sum_{k=1}^n W_k} \right)$$

여기서, O 는 생태계 기반 관리목표 (objectives)로서 지속성, 생물다양성, 서식처, 사회경제적 편익이며 i 는 어종, l 는 어종 수, j 는 종수준의 지표, m 은 종수준의 지표수, k 는 어업수준의 지표,

n 은 어업수준의 지표수이다. B_i 는 i 종의 자원량, W_k 는 각 지표별 대한 가중치, RS_i 는 각 지표의 위험도 (risk score), λ 는 관리목표별 가중치이고, λ_o 의 합은 1이다.

어업위험지수 (FRI)는 어종에 대한 관리 목표별 가중치 (λ_o)가 일정함의 여부에 따라 구분되어 계산된다. λ_o 가 어종별로 변함없이 일정하다면, 어종에 관계없이 관리 목표별 λ_o 로 계산되며, B_i 가 어종에 따라 달라진다. λ_o 가 어종에 대해 일정하지 않을 때에는 어종에 따라 각각의 λ_o 값을 계산하며, B_i 도 역시 어종에 따라 그 값을 다르게 계산한다.

새로운 평가방법의 적용

Seo (2011)의 자료를 사용하여 기존의 방법과 새로운 평가 방법을 남해 어장 생태계의 3가지

Table 2. Objectives, indicators and level of indicators of the ecosystem-based fisheries assessment in the South Sea of Korean waters

Objectives	Indicator	Level of indicator*	
Sustainability	1. Biomass (B)	(S-1)	S
	2. Catch (C)	(S-2)	S
	3. Age at first capture (Tc)	(S-3)	S
	4. Fishing ground (FG)	(S-4)	S
	5. Mean trophic level in catch (TLm)	(S-5)	F
	6. Mature rate (MR)	(S-6)	S
	7. Slope of length spectrum (P)	(S-7)	S
	8. Ratio of Korea catch per total catch (KC)	(S-8)	S
Biodiversity	1. Bycatch rate (BC/C)	(B-1)	F
	2. Discard rate (DC/C)	(B-2)	F
	3. Mean trophic level in system (TLc)	(B-3)	F
	4. Diversity (DI)	(B-4)	F
	5. Pelagic sp./Benthic sp. (P/B)	(B-5)	F
Habitat	1. Critical habitat damage rate (DH/H)	(H-1)	F
	2. Sea sand collection rate (SC)	(H-2)	F
	3. Harmful algal bloom (RT)	(H-3)	F
	4. Pollution rate of spawning and nursery ground (PG/G)	(H-4)	S
	5. Lost fishing gear (F)	(H-5)	F
	6. Discard wastes (DW)	(H-6)	F
Socio-Economic benefit	1. MEY	(E-1)	S
	2. Income per person employed	(E-2)	F
	3. Ratio of profit to sales (RPS)	(E-3)	F
	4. ratio of landing to total supply (RLTS)	(E-4)	S
	5. Employment rate (ER)	(E-5)	F

* S : species level, F : fishery level

어업에 적용하였다. 기존의 평가방법과 새로운 평가방법에 의해 추정된 위험도 지수는 Table 3, 4 및 5와 같다. 새로운 평가방법에서는 기존의 방법에 비해 각 구간 내에서 위험도가 평가되어 목표기준점 혹은 한계기준점 내의 구간에서도 위험도의 수준이 어떠한지 명확히 알 수 있었다 (Fig. 3). 기존의 위험도는 수준에 따라 저위험도 구간인 green zone, 중위험도 구간 yellow zone, 고위험도 구간 red zone으로 구분되었지만 실제로는 저위험도 구간의 경우 green zone이 아닌 0 점이라는 하나의 값을 가지고, 고위험도의 경우 red zone이 아닌 2점이라는 하나의 값을 가졌다 (Fig. 3). 즉 두 개의 값 (0점, 2점)과 하나의 구간으로 평가가 수행되었다. 반면 새로운 평가방법에서는 기존의 저위험도 구간이 green zone으로 0~1점 사이의 구간으로 표현되고, 고위험도 구간인 red zone은 2~3점의 구간으로 명확히 표현

a) Risk scores of indicators for the sustainability of hairtail of the large pair trawl fishery



b) Risk scores of indicators for the habitat quality of hairtail of the large pair trawl fishery

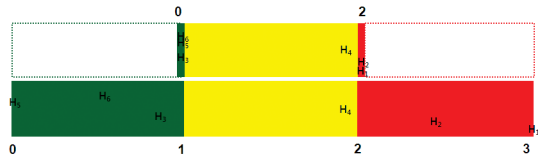


Fig. 3. Risk plots showing risk scores of indicators for the sustainability and habitat quality of hairtail of the large pair trawl fishery in the South Sea of Korea using the ecosystem-based fisheries assessment approach (upper: old method, below: new method).

Table 3. Risk scores estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the large purse seine fishery in the South Sea of Korean waters

Indicator	Level	Weight	Common mackerel		Jack mackerel	
			Old	New	Old	New
S-1	S	3	0.88	1.44	1.40	1.70
S-2	S	2	0.00	0.02	0.00	0.25
S-3	S	1	2.00	3.00	2.00	3.00
S-4	S	1	2.00	2.13	2.00	2.07
S-5	F	1	1.80	1.90	1.80	1.90
S-6	S	1	0.00	0.00	1.71	1.85
S-7	S	1	1.29	1.67	0.00	0.00
S-8	S	1	0.59	1.29	0.00	0.94
B-1	F	2	0.77	1.39	0.77	1.39
B-2	F	2	2.00	3.00	2.00	3.00
B-3	F	1	1.92	2.00	1.92	2.00
B-4	F	1	0.00	0.00	0.00	0.00
B-5	F	1	2.00	3.00	2.00	3.00
H-1	F	2	0.00	0.00	0.00	0.00
H-2	F	1	2.00	2.43	2.00	2.43
H-3	F	1	0.00	0.85	0.00	0.85
H-4	S	1	1.81	1.90	1.81	1.90
H-5	F	1	0.00	0.00	0.00	0.00
H-6	F	1	0.00	0.52	0.00	0.52
E-1	S	1	0.00	0.09	2.00	2.85
E-2	F	1	0.74	1.37	0.74	1.37
E-3	F	1	0.00	0.86	0.00	0.86
E-4	S	1	0.00	0.39	0.00	0.39
E-5	F	1	2.00	3.00	2.00	3.00

되었다 (Fig. 3). 따라서 저위험도 구간인 green zone에서도 평가되어진 지표가 가장 이상적인 0 점에 가까운 저위험도인지 아니면 green zone이기는 하나 가장 높은 값인 1점에 가까운 저위험도인지를 나타낼 수 있게 되었다. 또한 고위험도 구간인 red zone에서도 평가된 지표가 red zone 내에서도 위험도가 낮은 2점에 가까운 고위험도인지 아니면 가장 위험도가 높은 3점에 가까운 고위험도인지를 나타낼 수 있게 되었다. Seo (2011)이 제시한 3개의 어업 중 위험도 구간이 변경되어 평가된 지표의 분포를 가장 잘 보여주는 지표를 Fig. 3에 나타내었다. 대형기선저인망 쌍끌이 어업 갈치의 경우 지속성 유지의 목표에서 기존의 방법에서는 3개의 지표 (어획량, 어획물의 평균영양단계, 체장스펙트럼의 기울기)는 위험도가 가장 낮은 “0”으로 4개의 지표 (자원량, 어획개시연령, 어장분포면적, 성어비율)는

위험도가 가장 높은 “2”로 평가되었다. 그러나 새로운 방법에서는 어획량의 경우 0.67, 어획물의 평균영양단계는 0.92, 체장스펙트럼의 기울기는 0점으로 평가되어 목표기준점 내에서도 각 지표의 위험도가 명확하게 분석되었다. 또한 위험도가 높게 나타난 자원량, 어획개시연령, 어장분포면적, 성어비율 지표는 개선된 분석 방법에서 자원량은 2.14, 어획개시연령은 2.16, 어장분포면적은 2.43, 성어비율은 3으로 평가되어 한계기준점 내에서도 각 지표별 위험도가 명확하게 나타났다 (Fig. 3a). 마찬가지로 대형기선저인망 쌍끌이 어업 갈치의 서식처 유지 목표에서도 위험도 구간의 개선이 지표별 위험도를 명확하게 나타낼 수 있다. 서식처 유지의 3가지 지표인 적조발생량 (H3), 어구유실 (H5), 어업폐기물 (H6)은 기존의 방법에서는 목표기준점으로 “0”점의 위험도로 평가되었다. 그러나 새로운 위험도 구

Table 4. Risk scores estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the large pair trawl fishery in the South Sea of Korean waters

Indicator	Level	Weight	Hairtail		Small yellow croaker		Yellow goose fish	
			Old	New	Old	New	Old	New
S-1	S	2	2.00	2.14	1.27	1.73	1.39	1.76
S-2	S	2	0.00	0.67	0.34	1.17	0.00	0.47
S-3	S	1	2.00	2.16	2.00	2.13	2.00	2.04
S-4	S	1	2.00	2.43	2.00	2.42	2.00	2.12
S-5	F	1	0.00	0.92	0.00	0.92	0.00	0.92
S-6	S	1	2.00	3.00	2.00	2.00	0.14	1.07
S-7	S	1	0.00	0.00	0.00	0.90	-	-
S-8	S	1	1.41	1.72	2.00	2.09	-	-
B-1	F	2	1.78	1.88	1.78	1.88	1.78	1.88
B-2	F	2	1.83	1.75	1.83	1.75	1.83	1.75
B-3	F	1	2.00	2.14	2.00	2.11	2.00	2.14
B-4	F	1	0.00	0.99	0.00	0.99	0.00	0.99
B-5	F	1	2.00	2.39	2.00	2.39	2.00	2.39
H-1	F	2	2.00	3.00	2.00	3.00	2.00	3.00
H-2	F	1	2.00	2.43	2.00	2.43	2.00	2.43
H-3	F	1	0.00	0.84	0.00	0.84	0.00	0.84
H-4	S	1	1.81	1.90	1.81	1.90	1.81	1.90
H-5	F	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H-6	F	1	0.00	0.52	0.00	0.52	0.00	0.52
E-1	S	1	2.00	3.00	2.00	2.51	1.11	1.56
E-2	F	1	1.25	1.47	1.25	1.47	1.25	1.47
E-3	F	1	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
E-4	S	1	0.00	0.00	0.85	1.43	1.89	1.95
E-5	F	1	2.00	3.00	2.00	3.00	2.00	3.00

간에서는 적조발생량은 0.85점으로, 어구유실은 0점으로, 어업폐기물은 0.52점으로 평가되어

Table 5 Risk scores estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the drag net fishery in the South Sea of Korean waters

Indicator	Level	Weight	Anchovy	
			Old	New
S-1	S	2	0.00	0.35
S-2	S	2	0.18	1.09
S-3	S	1	0.00	0.84
S-4	S	1	0.00	0.89
S-5	F	1	2.00	2.03
S-6	S	1	0.00	0.00
S-7	S	1	1.08	1.56
S-8	S	1	0.00	0.92
B-1	F	2	2.00	2.71
B-2	F	2	2.00	0.00
B-3	F	1	1.92	1.96
B-4	F	1	0.00	0.00
B-5	F	1	2.00	3.00
H-1	F	2	0.00	0.00
H-2	F	1	2.00	2.43
H-3	F	1	0.00	0.84
H-4	S	1	1.81	1.90
H-5	F	1	0.00	0.00
H-6	F	1	0.00	0.52
E-1	S	1	0.31	1.15
E-2	F	1	1.68	1.84
E-3	F	1	0.00	1.59
E-4	S	1	0.00	0.12
E-5	F	1	0.22	0.12

green zone 구간내에서 각 지표의 위험도 분포를 나타내었다.

남해 어장 생태계 대형선망어업의 대상종인 고등어와 전갱이에 대해 기존 평가방법과 새로운 평가방법을 적용하여 목표위험지수, 종위험지수를 추정하였다 (Table 6). 이전의 방법에 의해 추정된 고등어의 목표위험지수는 지속성 유지 0.938, 생물다양성 1.089, 서식처보존 0.544, 사회경제적 편익 0.549이었고 종위험지수는 0.861이었고, 전갱이의 목표위험지수는 지속성 유지 1.064, 생물다양성 1.088, 서식처보존 0.544, 사회경제적 편익 0.549이었고 종위험지수는 0.862였다. 새로운 평가 방법에 의해 추정된 고등어의 목표위험지수는 지속성 유지 1.306, 생물다양성 1.832, 서식처보존 0.814, 사회경제적 편익 1.142이었고 종위험지수는 1.286이었고, 전갱이의 목표위험지수는 지속성 유지 1.312, 생물다양성 1.832, 서식처보존 0.814, 사회경제적 편익 1.695이었고 종위험지수는 1.382였다. 대형기선저인망 쌍끌이 어업의 갈치, 참조기, 황아귀의 목표위험지수와 종위험지수는 Table 7과 같고, 기선권현망 멸치의 목표위험지수와 종위험지수는 Table 8과 같다. 각 어업별 대상종의 목표위험지수와 종위험지수의 분산을 부스트랩 방법으로

Table 6. Objective risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the large purse seine fishery in the South Sea of Korean waters

Method	Species	ORI_S	ORI_B	ORI_H	ORI_E	SRI
Old	Common mackerel	0.938	1.089	0.544	0.549	0.816
	Jack mackerel	1.064	1.088	0.544	0.549	0.862
New	Common mackerel	1.306	1.832	0.814	1.142	1.286
	Jack mackerel	1.312	1.832	0.814	1.695	1.382

Table 7. Objective risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the large pair trawl fishery in the South Sea of Korean waters

Method	Species	ORI_S	ORI_B	ORI_H	ORI_E	SRI
Old	Hairtail	1.141	1.317	1.116	1.450	1.228
	Small Yellow Croaker	1.122	1.317	1.116	1.620	1.250
	Yellow goose fish	0.865	1.317	1.116	1.650	1.160
New	Hairtail	1.585	1.613	1.671	1.893	1.664
	Small Yellow Croaker	1.626	1.613	1.671	2.080	1.710
	Yellow goose fish	1.325	1.613	1.671	1.994	1.584

Table 8. Objective risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from old and new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the drag net fishery in the South Sea of Korean waters

Method	Species	ORI_S	ORI_B	ORI_H	ORI_E	SRI
Old	Anchovy	0.344	1.440	0.544	0.442	0.659
New		0.912	1.350	0.813	0.964	0.999

Table 9. Variance of objective risk index (ORI) and species risk index (SRI) of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the South Sea of Korean waters using the bootstrap method

Fishery	Species	Variance by bootstrap method				
		ORI_S	ORI_B	ORI_H	ORI_E	SRI
Large purse seine fishery	Common mackerel	0.073	0.154	0.118	0.209	0.030
	Jack mackerel	0.071	0.161	0.119	0.222	0.030
Large pair trawl fishery	Hairtail	0.071	0.023	0.181	0.252	0.012
	Small yellow croaker	0.023	0.023	0.183	0.075	0.016
	Yellow goose fish	0.041	0.023	0.010	0.058	0.018
Drag net fishery	Anchovy	0.043	0.242	0.120	0.103	0.028

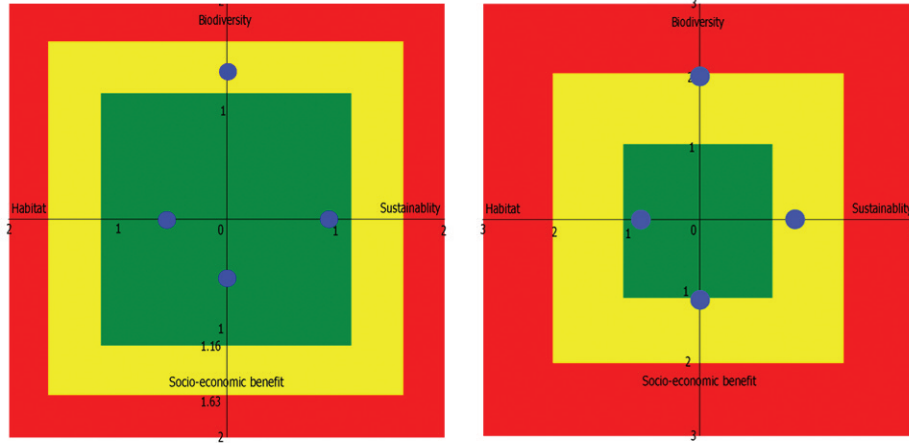
Table 10. Fishery risk index (FRI) estimated from old and new methods and their variances of the ecosystem-based fisheries assessment approach for the South Sea of Korean waters

Fishery	Old method		New method	
	FRI	Variance	FRI	Variance
Large purse seine fishery	1.294	0.023	0.972	0.024
Large pair trawl fishery	1.684	0.013	1.909	0.035
Drag net fishery	0.999	0.008	1.358	0.007

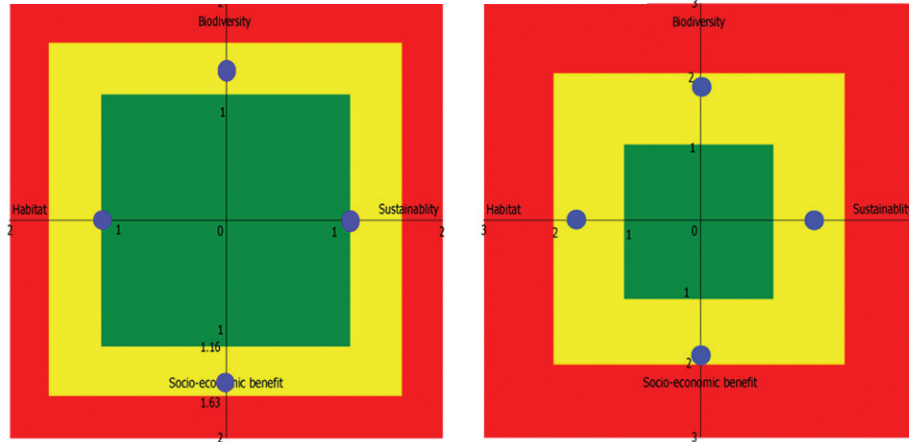
추정하였다 (Table 9). 남해 어장 생태계의 3가지 어업에 대한 대상종의 목표위험지수 분산은 0.010~0.252의 범위내에서 추정되었고, 종위험지수의 분산값은 0.012~0.030값으로 나타났다. 목표위험지수의 위험도를 목표위험지수 다이어그램을 통해 나타내었다 (Fig. 4). 목표위험지수의 경우 3개의 어업에서 유사한 위험구간을 나타내었으나, 대형선망어업의 고등어 지속성 목표위험만 저위험구간인 green zone에서 중위험도 yellow zone로 변경되었다. Fig. 5는 종위험지수의 변동을 나타내었다. 대형선망어업과 대형기선저인망어업의 대상종은 모두 기존의 방법과 새로운 방법에서 동일한 위험도를 나타내었으며, 기선권현망의 멸치의 종위험지수는 기존의 방법에서는 green zone의 한계점에 설정되었으나, 새로운 방법에서는 yellow zone으로 변경되었다.

어업위험지수 (FRI)는 새로 설정된 위험도 수치를 바탕으로 이전의 수식과 새로운 수식에 적용하였다 (Table 10). 이전의 수식에 의해 추정된 FRI는 대형선망어업 1.294, 대형기선저인망 쌍끌이 어업 1.684, 기선권현망 0.999로 나타났으며, 새로운 수식에 의해 추정된 FRI는 대형선망어업 0.972, 대형기선저인망 쌍끌이 어업 1.909, 기선권현망 1.358로 나타났다. 추정된 위험도의 구간과 분포를 비교하기 위해 Fig. 6과 같이 나타내었다. 추정된 어업위험지수를 비교해 보면 대형선망어업의 경우 어업위험지수가 새로운 방법이 이전의 방법에 비해 낮게 추정되었다. 반면 대형기선저인망 쌍끌이 어업과 기선권현망 어업에서는 어업위험지수가 새로운 방법이 이전의 방법에 비해 높게 추정되었다. 대형선망어업의 경우 지속성과 사회경제적 편익에 의한 계

a) Common mackerel for the large purse seine fishery



b) Hairtail for the large pair trawl fishery



c) Anchovy for the drag net fishery

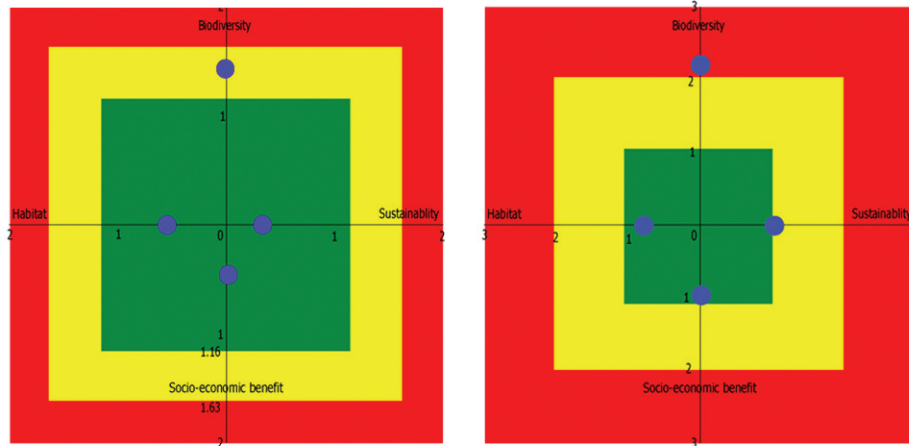


Fig. 4. Risk diagram showing objective risk indices (ORIs) for three species of fisheries in the South Sea of Korea using the ecosystem-based fisheries assessment approach (left: old method, right: new method).



Fig. 5. Risk plots showing species risk indices of three fisheries in the South Sea of Korea using the ecosystem-based fisheries assessment approach. CM denotes common mackerel, JM, jack mackerel, H, hairtail, YGF, yellow goose fish, SYC, small yellow croaker, and A, anchovy (upper: old method, below: new method).

산이 새로운 방법에서 기존의 방법에 비해 낮게 추정되었고, 기선권현망에서는 사회경제적 편익이 새로운 방법에서 기존의 방법에 비해 높게 추정되었기 때문이다. 각 어업위험지수의 분산은 대형선망어업 0.024, 대형기선저인망 쌍끌이 어업 0.035, 기선권현망 0.007로 나타났다.

고 찰

본 연구에서는 생태계 기반 어업평가의 위험도 및 위험지수 추정방법의 문제점을 파악하고 이를 개선하여 새로운 위험도 및 위험지수 추정방법을 제시하였다. 기존의 방법은 위험도 구간에 있어서 목표기준점 구간 내와 한계기준점 구간 내의 위험도를 명확히 나타내지 못하였다. 또한 기존의 위험지수 추정법에서는 위험지수가 계층적 구조로 이루어져 상위단계의 위험지수를 추정할 때마다 계속적으로 가중치가 부여되는 문제점이 있었다. 따라서 본 연구에서는 위험도 구간의 재설정과 지표수준을 고려하여 새로

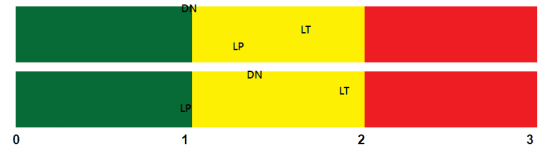


Fig. 6. Risk plots showing fishery risk indices of three fisheries in the South Sea of Korea using the ecosystem-based fisheries assessment approach. LP denotes the large purse seine fishery, LT, the large pair trawl fishery, and DN, the drag net fishery (upper: old method, below: new method).

운 위험지수 평가방법을 제시하였다.

새로운 위험도 추정방법은 위험도 구간을 목표기준점 내, 목표기준점과 한계기준점 사이, 한계기준점 내로 구분하였다. 위험도 구간의 재설정 은 기존의 방법에서 나타내지 못한 목표기준점과 한계기준점 사이의 위험도 값들을 명확히 정의하였다. 즉 현재의 자원 혹은 어업의 상태가 목표기준점 내에서 얼마나 목표기준점과 가까운지 혹은 한계기준점 내에서 한계기준점으로 부터 어느 정도 떨어져 있는지를 정량화하여 나타내었다. 또한 새로 설정한 위험도 구간과 이전의 위험도 구간을 사용하여 각 위험지수를 추정 비교하였다. 이전의 위험도 구간에 의해 추정된 목표 위험지수와 새로운 위험도 구간에 의해 추정된 목표 위험지수를 비교하였을 때, 유사한 위험도 구간을 나타내었다. Fig. 3에서 보여 주는 바와 같이 기존방법은 목표기준점 구간내의 위험도는 모두 0점으로, 한계기준점 구간을 벗어나면 모두 2점으로 계산되었다. 그러나 새로운 방법에서는 새로운 평가방법에서는 기존의 방법에 비해 각 구간 내에서 위험도가 평가되어 목표기준점 혹은 한계기준점 내의 구간에서도 위험도의 수준이 어떠한지 명확히 알 수 있었다 (Fig. 3). 기존의 위험도는 수준에 따라 저위험도 구간인 green zone, 중위험도 구간 yellow zone, 고위험도 구간 red zone으로 구분되었지만 실제로는 저위험도 구간의 경우 green zone이 아닌 0점이라는 하나의 값을 가지고, 고위험도의 경우 red zone이 아닌 2점이라는 하나의 값을 가졌다

(Fig. 3). 즉 두 개의 값 (0점, 2점)과 하나의 구간으로 평가가 수행되었다. 반면 새로운 평가방법에서는 기존의 저위험도 구간이 green zone으로 0~1점 사이의 구간으로 표현되고, 고위험도 구간인 red zone은 2~3점의 구간으로 명확히 표현되었다 (Fig. 3). 따라서 저위험도 구간인 green zone에서도 평가되어진 지표가 가장 이상적인 0점에 가까운 저위험도인지 아니면 green zone이기는 하나 가장 높은 값인 1점에 가까운 저위험도인지를 나타낼 수 있게 되었다. 또한 고위험도 구간인 red zone에서도 평가된 지표가 red zone 내에서도 위험도가 낮은 2점에 가까운 고위험도인지 아니면 가장 위험도가 높은 3점에 가까운 고위험도인지를 나타낼 수 있게 되었다.

또한 본 연구에서는 어업위험지수의 문제점을 파악하고 새로운 추정방법을 제시하였다. 생태계 기반 어업평가 기법은 평가 지표에 의해 위험도가 추정되며, 각 지표는 중요도에 따라 가중치가 주어진다. 가중치가 부여된 각 지표의 위험도를 기반으로 종위험지수, 어업위험지수, 생태계 위험지수를 추정한다. 기존의 방법에서는 어업위험지수를 추정할 때 종위험지수의 지표와 가중치 (자원량 혹은 자원량지수)를 사용하여 추정한다. 그러나 어업위험지수는 어업에 의해 영향을 받는 종 수준의 지표만이 가중치를 부여해야 하나, 기존의 방법에서는 모든 지표에 가중치를 부여하여 어업위험지수를 추정하였다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 지표 수준을 어종수준 (species level)과 어업수준 (fishery level)으로 나누어 위험지수를 계산하였다. 어업위험지수를 계산함에 있어서 지속성, 서식처, 사회경제적 편익은 어종수준과 어업수준의 지표를 모두 포함하고 있으나 생물다양성은 어업수준으로만 이루어져 있다. 따라서 어업위험지수를 계산함에 있어서 어업수준의 지표들은 반복적으로 계산이 수행되지 않았고, 반면 어종수준의 지표들은 자원량 혹은 자원량 지수의 가중치를 고려하여 계산되었다. 추정된 어업위험

지수를 비교해 보면 대형선망의 경우 어업위험지수가 새로운 방법이 이전의 방법에 비해 낮게 추정되었다. 반면 대형기선저인망 쌍끌이 어업과 기선권현망어업에서는 어업위험지수가 새로운 방법이 이전의 방법에 비해 높게 추정되었다. 대형선망어업의 경우 지속성과 사회경제적 편익에 의한 계산이 새로운 방법이 기존의 방법에 비해 낮게 추정되었고, 대형기선저인망 쌍끌이 어업에서는 지속성이 대형선망과 반대로 새로운 방법이 기존의 방법에 비해 높게 추정되었다. 또한 기선권현망에서는 사회경제적 편익에서 새로운 방법이 기존의 방법에 비해 높게 추정되었다.

생태계 기반 위험도 분석방법은 총 24개의 지표에 기반을 두어 각 위험지수를 추정하는 방법이다. 그러므로 작은 자료를 사용하여 위험지수를 추정함에 따라 각 위험지수는 불확실성을 내포하고 있다. 이러한 불확실성을 낮추기 위해 본 연구에서는 부스트랩 방법을 활용하여 각 위험지수의 분산값을 추정하였다. 부스트랩 방법은 자료의 수가 적거나 보통의 경우에 많이 사용되는 방법으로 Kang and Park (1997)의 연구에 따르면 비선형 회귀분석에서는 부스트랩 방법이 다른 통계적 분석방법보다 좀 더 정확한 추정이 이루어졌음을 밝히고 있다 (Kang and Park, 1997). 또한 생태계 기반 어업평가 위험도는 각 지표별로 가중치 설정되어 있으며, 각 위험지수 추정에서도 가중치를 부여한다. 위험도 및 위험지수 추정방법의 특이성에 따라 분산을 추정할 수 있는 방법 중 가장 적합한 방법이 부스트랩이라 판단된다.

본 연구는 기존의 생태계 기반 위험도와 위험지수 추정방법의 문제점을 제시하고 이를 기반으로 새로운 위험도 계산법과 위험지수 추정방법을 제시하였다. 본 연구에서는 기존방법에서 설정한 개념적인 원리는 그대로 따르고 방법적인 개선만을 수행하였다. 기존의 위험도 계산 방법과 새로운 방법 모두 기본적인 개념은 동일하다. 그러나 본 연구에서는 위험도 구간을 재설정하여 각 구간 내에서 위험도가 정량적으로 표현될 수 있도록

록 방법론을 개선하였고, 지표의 수준을 고려하여 어중수준과 어업수준의 지표에 동일한 가중치를 부여하여 어업위험지수를 추정하였다.

결 론

본 연구는 기존의 생태계 기반 어업평가의 위험도 평가 방법을 검토하여 문제점을 파악하고 개선방안을 제시하였다. 본 연구에서 제시된 생태계 기반 어업평가 위험도 평가방법의 문제점은 세 가지로 첫째, 위험도 구간의 부정확성 및 위험도 추정 방법 개선, 둘째, 어업위험지수 추정방법의 부정확성, 셋째 추정된 위험지수의 불확실성이다. 첫 번째 문제인 위험도 구간의 부정확성을 개선하기 위해 본 연구에서는 기존의 방법에서 각 위험도 구간을 명확히 제시하였다. 즉, 위험도가 0~1점 사이는 green zone, 1~2점 사이는 yellow zone, 2~3점 사이는 red zone으로 나타내었다. 위험도 구간의 명확한 규정은 green zone 과 red zone 내의 위험도를 명확히 제시할 수 있는 개선방안을 마련하였다. 또한 기존의 구간별 위험도 추정방법을 모든 구간에서 추정할 수 있는 추정방법으로 개선하였다. 두 번째 문제점인 어업위험지수의 추정방법의 개선을 위해 기존의 생태계 기반 어업평가 위험도를 평가하는 지표 (indicator)를 종 (species level)수준과 어업 (fishery level)수준으로 나누어 지표 수준별로 어업위험도를 추정하였다. 본 연구의 개선방법에 의해 어업위험지수 추정시 가중치가 중복으로 계산되는 문제점이 보완되었다. 마지막으로 위험지수의 불확실성을 보완하기 위해 부스트랩을 활용하여 위험지수의 분산을 추정하였다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산연구시험사업 (RP-2013-FE-095)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial

- Research Organization). 2005. Ecological risk assessment for effects of fishing case study instructions 8, 1–95.
- Fogarty MJ, Rosengerg AA and Sissenwine MP. 1992. Fisheries risk assessment: source of uncertainty. *Envir Sci Tech* 26, 440–447.
- Harwood J and Stokes K. 2003. Coping with uncertainty in ecological advice: lessons from fisheries. *Trend Ecol Evol* 18, 617–622.
- Jung SI Choi IL and Chang DS. 2008. Application of bootstrap and bayesian methods for estimating confidence intervals on biological reference points in fisheries management. *J Kor Fish Soc* 41, 107–112.
- Kang C and Park JT. 1997. A study of bootstrap of non linear model. *J Kor Offi Stat* 2, 143–160.
- MSC (Marine Stewardship Council). 2006. KDSFF final performance indicators and scoring guideposts. *TQCSI–MSC*, 1–37.
- MSC (Marine Stewardship Council). 2009. TAB 15–Agenda item No. 11–FAM v2 (including RBF). 1–127.
- Seo YI. 2011. Ecosystem-based stock assessment and fisheries management in the southern sea of Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, Korea, 1–198.
- Zhang CI. 2006. A study on the ecosystem-based management system for fisheries resources in Korea. *J Kor Soc Tech* 42, 240–258.
- 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.
- 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.
- Zhang CI, Hollowed AB, Lee JB and Kim DH. 2011. An IFRAME approach for assessing impacts of climate change on fisheries. *ICES J Mar Sci* 68, 1318–1328.

2013년 10월 31일 접수

2013년 11월 12일 1차 수정

2013년 11월 13일 2차 수정

2013년 11월 13일 수리