ISSN 1225-827X (Print)
ISSN 2287-4623 (Online)
J. Kor. Soc. Fish. Tech., 49 (4), 459 – 468, 2013
http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.459

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr

정량적 분석에 의한 전남바다목장의 생태계 기반 어업평가

박희원 · 최광호* · 장창익[1] · 서영일 · 김희용[2]
국립수산과학원 자원관리과, [1]부경대학교 해양생산시스템관리학부,
[2]국립수산과학원 남서해수산연구소 자원환경과

A study on the ecosystem-based fisheries assessment by quality analysis in Jeonnam marine ranching ecosystem

Hee Won PARK, Kwang Ho CHOI*, Chang IK ZHANG, Young Il SEO and Heeyong KIM

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

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

[2]*Fisheries Resources and Environmental Division, Southwestern Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823 Korea*

In the application of the ecosystem-based fisheries assessment Jeonnam marine ranching ecosystem, two fisheries, funnel fishery and trap fishery, were selected as target fisheries. Black seabream, *Acanthopagru schlegelii*, rock bream, *Sebastes inermis*, gray mullet, *Mugil cephalus*, were selected as target species for the funnel fishery, and conger eel, *Conger myriaster*, was target species for the trap fishery. For assessing indicators of four management objectives, that is the maintenance of sustainability, biodiversity, habitat quality and socio-economic benefits, indicators were selected considering the availability of data, which were 5 indicators for sustainability, 3 indicators for biodiversity, 4 indicators for habitat, 2 indicators for socio-economic benefit. The Objective risk indices for sustainability and biodiversity of two fisheries were estimated at yellow zone, medium risk level. The objective risk indices for habitat and socio-economic benefit were estimated at green zone, safe level. The species risk indices (SRI) were estimated at yellow zone. The fishery risk indices (FRIs) were estimated at 1.143 and 1.400 for funnel net fishery and trap fishery, respectively. Finally the ecosystem risk index estimated at 1.184.

Keywords: Jeonnam marine ranching, Ecosystem-based fisheries assessment, Risk index

*Corresponding author: ch2280@korea.kr, Tel: 82-51-720-2280, Fax: 82-51-720-2337

서 론

우리나라의 최근 20년간 어획량 변동을 살펴보면 1990년대에 비해 2000년대 연근해 어업 총 생산량은 감소하였으며, 1996년 최고 어획량을 나타낸 이후 계속적으로 감소하는 추세를 나타내고 있다. 이러한 연근해 수산자원의 감소로 인해 연안해역의 수산자원 조성을 위해 인공어초 시설, 수산종묘 방류사업 등을 실시하였지만, 그 효과는 미비하였다. 따라서 1998년부터 인공어초 시설 및 종묘방류 사업을 종합하여 어업인 소득 향상 및 어촌 사회 기반을 조성할 목적으로 보다 환경 친화적이고 생태 보존적인 바다목장 사업이 추진 중에 있다 (NFRDI, 2010). 바다목장의 개념은 "자연생태계의 조성을 포함하여 자원의 방류로부터 어획에 이르기까지 인위적으로 통제하고 관리하는 어업생산시스템"이다 (NFRDI, 2001). 바다목장은 일정한 권역을 설정하여 대상해역의 특성과 어류를 비롯한 유용 생물자원의 생태 · 습성에 적합한 인공어초, 바다숲 (해조장)을 설치하여 어장을 조성하고 어린 고기를 음향자극 등으로 학습시킨 후 방류하여 목장 내에서 성육시키면서 최소 성숙체장 이상이 되면 필요한 시기에 적정량만 어획하는 울타리 없는 목장으로서 새로운 어업방식으로 인식되었다 (NFRDI, 2001).

전남바다목장은 2001년부터 2010년까지 10여년에 걸쳐 연구가 진행되었으며, 기초 생산력 및 부유 생태계에 관한 연구, 어류자원조사 연구, 인공어초 및 해조장 설정에 관한 어장조성 등 생태계 전반적인 분야에 걸쳐 연구가 수행되었다. 그러나 최근까지 바다목장 연구에서는 바다목장 조성에 따른 생태계 구조 변동이나 생태계 역할 변동에 관한 연구가 진행되었지만, 바다목장 조성에 따른 생태계의 변화를 평가하는 연구는 수행되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 생태계 기반 어업평가 기법 중 정량적 분석을 수행하여 전남바다목장 조성 이후 생태계의 위험도를 평가하였다.

자료 및 방법

대상생태계, 대상어업, 분석 대상종 설정

정량적 분석을 위해 본 연구에서는 전남바다목장 대상해역 (110 km^2)을 대상생태계로 설정하였고 (Fig. 1), 과학적 조사가 수행된 각망어업과 통발어업을 대상어업으로 설정하였다. 각망어업의 분석 대상종은 전남바다목장의 주요 대상종인 감성돔과 볼락 그리고 어획비율이 높은 숭어이고, 통발어업의 분석 대상종은 붕장어이다 (Table 1).

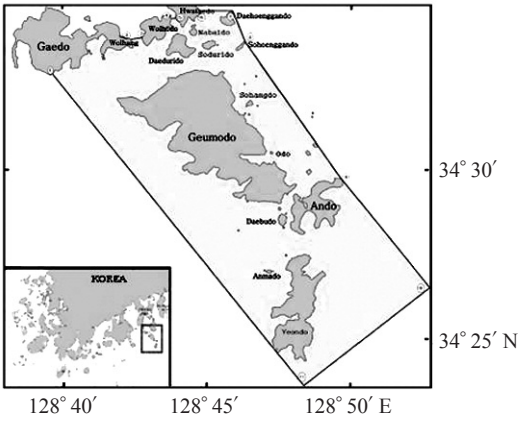


Fig. 1. A map showing the Jeonnam marine ranching ecosystem of Korea (NFRDI, 2009).

Table 1. Target fisheries and target species in this study

Target fishery	Target species
Funnel net	Black seabream (*Acanthopagru schlegelii*) Rock bream (*Sebastes inermis*) Gray Mullet (*Mugil cephalus*)
Trap	Conger eel (*Conger myriaster*)

생태계 기반 목표, 지표 기준점

전남바다목장 정량적 분석을 수행하기 위해 사용된 생태계 기반 목표, 지표 기준점을 Table 2와 같다. 지속성 유지 목표를 평가하기 위해, 자원량, 어획사망계수, 어획개시체장, 성숙어의 비율, 어획물내 방류산 자연산 비율을 분석하였고, 생물다양성 유지 목표를 평가하기 위해 혼획율,

Table 2. Objectives, indicators and level of indicators of the ecosystem-based fisheries assessment approach in Jeonnam marine ranching ecosystem

Objectives	Indicators	Indicator status			Level of	Remarks of indicators
		Better than target	Between target and limit	Beyond limit		
Sustainabiliy	Biomass(B)	$B_{MSY} \leq B$	$1/2(B_{MSY}) \leq B < B_{MSY}$	$B < 1/2(B_{MSY})$	S	S1
	or CPUE	$CPUE_{MSY} \leq CPUE$	$1/2(CPUE_{MSY}) \leq CPUE < CPUE_{MSY}$	$CPUE < 1/2(CPUE_{MSY})$	S	S2
	Fishing mortality(F) or Fishing effort	$F \leq F_{MSY}$	$F_{MSY} < F \leq 2F_{MSY}$	$2F_{MSY} < F$	S	S3
	Age(or length) at first capture(t or L)	$(t_{target} \leq t)$or$(L_{target} \leq L)$	$(0.9t_{target} \leq t < t_{target})or(0.9L_{target} \leq L < L_{target})$	$(t < 0.9t_{target})$or$(L < 0.9L_{target})$	S	S4
	Rate of mature fish(MR)	$MR_{40\%} \leq MR$	$MR_{20\%} \leq MR < MR_{40\%}$	$MR < MR_{20\%}$	S	S5
	Ratio of(released stock abundance) /(wild stock abundance) in catch($R_{r/w}$)	$R_{r/w} \leq 0.5$	$0.5 < R_{r/w} \leq 1.0$	$1.0 < R_{r/w}$	F	B1
Biodiversity	Bycatch rate(BC/C)	$(BC/C) \leq (BC/C)_{target}$	$(BC/C)_{target} < (BC/C) \leq (BC/C)_{limit}$	$(BC/C) > (BC/C)_{limit}$	F	B2
	Discards rate(D/C)	$(D/C) \leq (D/C)_{target}$	$(D/C)_{target} < (D/C) \leq (D/C)_{limit}$	$(D/C) > (D/C)_{limit}$	F	B3
	Diversity index(DI)	$(DI) \geq DI_{target}$	$DItarget > (DI) \geq DI_{limit}$	$(DI) < DI_{limit}$	F	H1
Habitat	Critical habitat damage rate(DH/H)	$(DH/H) \leq (DH/H)_{target}$	$(DH/H)_{target} < (DH/H) \leq (DH/H)_{limit}$	$(DH/H) > (DH/H)_{limit}$	S	H2
	Pollution rate of spawning and nursery ground(PG/G)	$(PG/G) \leq (PG/G)_{target}$	$(PG/G)_{target} < (PG/G) \leq (PG/G)_{limit}$	$(PG/G) > (PG/G)_{limit}$	F	H3
	Lost fishing gear(frequency, FR)	$FR \leq FRtarget$	$FR_{target} < FR \leq FR_{limit}$	$FR > FR_{limit}$	F	H4
	Discard wastes(DW)	$DW \leq DW_{target}$	$DW_{target} < DW \leq DW_{limit}$	$DW > DW_{limit}$	F	E1
Socio-economic benefit	Income per person employed (IPPE)	$IPPE \geq UIPPE$	$LIPPE \leq IPPE < UIPPE$	$IPPE < LIPPE$	F	E2
	Ratio of expenditure to revenue	$REE \geq UREE$	$LREE \leq REE < UREE$	$REE < LREE$		

S: species level, F: fishery level

폐기율, 종다양도를 분석하였다. 또한 서식처 보존 목표를 평가하기 위해 서식처 훼손율, 산란 보육장 오염도, 어구유실, 어업폐기물을 분석하였고, 마지막으로 사회경제적 편익 목표를 평가하기 위해 소득과 수지비율을 분석하였다.

전남바다목장 각망어업에서 어획되는 감성돔, 볼락의 자원량은 전남바다목장 사업보고서의 자료를 인용하였으며 (NFRDI, 2011), 목표기준점과 한계기준점인 B40%와 B20%는 각 연도별 생물학적 특성치 자료와 Beverton and Holt (1957)의 산란자원량 모델을 사용하여 추정하였다. 숭어의 자원량은 전남바다목장 사업보고서의 자료를 인용하여 본 연구에서 직접 추정하였다. 통발어업에서 어획되는 붕장어의 CPUE는 전남바다목장 해역의 어획량 자료와 통발어선 척수를 사용하여 추정하였다 (NFRDI, 2011).

각망어업에 의해 어획되는 감성돔, 볼락, 숭어의 어획사망계수와 적정어획사망계수 (F40%)는 전남바다목장 사업보고서의 자료를 인용하였다 (NFRDI, 2011).

위험도 및 위험지수추정

전남바다목장의 지표별 위험도를 추정하기 위해 식 (1)을 사용하였다.

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

여기서 I_{target}은 목표기준점의 값, I_{limit}는 한계기준점의 값, I_i는 각 지표별 기준값이다. 만약 RS_i가 0보다 작을 경우는 0으로 간주하며, RS_i가 3보다 클 경우는 3으로 간주한다.

목표위험지수는 지표별 위험도를 기반으로 식 (2)와 같이 추정하였다.

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

여기서, I_i는 지표 i의 평가점수, W_i는 지표 i의 중요도이며, n은 지표수이다.

종위험지수는 목표위험지수와 각 생태계 목표별 가중치를 사용하여 식 (3)과 같이 추정하였다.

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

여기서, λ_s, λ_B, λ_H, λ_{SE}는 관리목표인 지속성, 생물다양성, 서식처, 사회경제적 편익에 대한 각각의

가중치, ORI_S, ORI_B, ORI_H, ORI_{SE}는 각각 i종의 각 관리목표별 목표위험지수이다. 본 연구에서는 바다목장의 특성을 고려하여 지속성 0.35, 생물다양성 0.25, 서식처 0.25, 사회경제적 편익 0.15로 설정하였다.

어업위험지수 (FRI) 추정 식은 식 (4)와 같다.

$$FRI=\sum_{i=1}^{I}\sum_{O=S}^{E}\lambda_O\left(\frac{\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{m}(B_i\cdot w_j\cdot RS_{i,j})/\sum_{i=1}^{I}B_i+\sum_{k=1}^{n}W_k\cdot RS_k}{\sum_{j=1}^{m}w_j+\sum_{k=1}^{n}W_k}\right) \quad (4)$$

여기서, O는 생태계 기반 관리목표 (objectives)로서 지속성, 생물다양성, 서식처, 사회경제적 편익이며 i는 어종, I는 어종 수, j는 종수준의 지표, m은 종수준의 지표수, k는 어업수준의 지표, n은 어업수준의 지표수이다. B_i는 i종의 자원량, W_i는 각 지표별 대한 가중치, RS_i는 각 지표의 위험도 (risk score), λ는 관리목표별 가중치이고, 의 합은 1이다.

생태계 내 모든 어업에 대한 생태계위험지수 (ERI)는 각 어업에 대한 어획량에 어업위험지수를 가중 평균하여 식 (5)로 추정하였다.

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

여기서, C_i는 i어업의 어획량, FRI_i는 i어업의 어업위험지수이다.

결 과

지속성 유지 목표별 지표의 위험도평가

전남바다목장 각망어업에 의해 어획되는 감성돔, 볼락, 숭어의 생태계 기반 지표별 추정치와 목표기준점 추정치, 한계기준점 추정치는 Table 3과 같고, 통발어업에 의해 어획되는 붕장어의 생태계 기반 지표별 추정치와 목표기준점, 한계기준점 추정치는 Table 4와 같다.

전남바다목장 감성돔의 자원량은 675mt (NFRDI, 2011)이었고, 감성돔의 목표기준점 ($B_{40\%}$)은 1,184mt이고, 한계기준점 ($B_{20\%}$)은 592mt이었다. 볼락의 자원량은 234mt로 추정되었고 (NFRDI, 2011) 이때 목표기준점 ($B_{40\%}$)은 107mt 한계 기준점 ($B_{20\%}$)은 53mt이었다. 숭어의 자원량은 19.5mt로 추정되었고, 이때 목표기준점 ($B_{40\%}$)은 17mt, 한계기준점 ($B_{20\%}$)은 9mt이었다.

Table 3. Data of funnel net fishery in Jeonnam marine ranching ecosystem

Objectives	Remarks of indicators	Black seabream			Rock bream			Gray mullet		
		current	Target	Limit	current	Target	Limit	current	Target	Limit
Sustainability	S1	675	1,184	592	234	106.64	53.3	19.5	17	9
	S2	0.751	0.248	0.496	0.397	0.216	0.432	0.962	0.225	0.450
	S3	14.1	33.4	16.70	9.2	18.4	9.2	18.3	28	14.00
	S4	0.54	0.4	0.20	0.12	0.4	0	0.96	0.4	0
	S5	0.18	0.11	0.23	0.18	0.11	0.23	0.18	0.11	0.23
Biodiversity	B1	0.420	0.270	0.530	0.42	0.27	0.530	0.42	0.27	0.530
	B2	0.009	0.002	0.004	0.009	0.002	0.004	0.009	0.002	0.004
	B3	2.95	1.64	1.750	2.95	1.64	1.750	2.95	1.64	1.750
Habitat	H1	12	20	40	12	20	40	12	20	40
	H2	40.8	25.15	50.3	40.8	25.15	50.3	40.8	25.15	50.3
	H3	0.03	0.115	0.23	0.03	0.115	0.23	0.03	0.115	0.23
	H4	189	152.05	304	189	152.05	304	189	152.05	304
Socio-economic benefit	E1	3,264,504	1,326,609	1,193,948	3,264,504	1,326,609	1,193,948	3,264,504	1,326,609	1,193,948
	E2	0.601	0.616	0.554	0.601	0.616	0.554	0.601	0.616	0.554

Table 4. Data of trap fishery in Jeonnam marine ranching ecosystem

Objectives	Remarks of indicators	Conger eel		
		Current	Target	Limit
Sustainability	S1	167.7	197	98
	S2	300	336	302.400
	S3	9.5	56	28.00
	S4	0.00	40	20.00
	S5	0.18	0.11	0.23
Biodiversity	B1	0.275	0.19	0.37
	B2	0.192	0.116	0.232
	B3	3.04	2.57	2.610
Habitat	H1	0	20	40
	H2	40.8	25.15	50.3
	H3	0.16	0.115	0.23
	H4	189	152.05	304
Socio-economic benefit	E1	382,444,000	1,326,609	1,193,948
	E2	0.601	0.616	0.554

추정된 붕장어의 CPUE는 167.7kg/척이었고, 이때 목표기준점은 197kg/척, 한계기준점은 98kg/척이었다.

감성돔의 현재 어획사망계수는 0.751이었고, 이때 목표기준점 ($F_{40\%}$)은 0.248, 한계기준점 ($F_{20\%}$)은 0.496이었다. 볼락의 현재 어획사망계수는 0.397이었고, 이때 목표기준점 ($F_{40\%}$)은 0.216, 한계기준점 ($F_{20\%}$)은 0.432이었다. 숭어의 현재 어획사망계수는 0.962이었고, 이때 목표기준점 ($F_{40\%}$)은 0.225, 한계기준점 ($F_{20\%}$)은 0.450이었다.

통발어업에 의해 어획되는 붕장어의 어획사망계수를 추정할 수 있는 자료가 부족하여 통발어업의 어획노력량 자료를 사용하였다. 전남바다목장 해역의 통발어업 어선척수는 315척이고 (NFRDI, 2010), 목표기준점은 2008년부터 2010년의 여수해역의 통발어업 평균 어선척수를 사용하였다. 따라서 통발어업 어획노력량의 목표기준점은 336척, 한계기준점은 302척이었다.

감성돔, 볼락, 숭어의 어획개시체장은 전남바다목장 사업보고서 (NFRDI, 2011) 자료를 활용하였다. 어획개시체장은 국립수산과학원 남서해 수산연구소에서 수행한 과학조사 자료를 기반으로 가장 작은 체장을 어획개시체장으로 가정하여 분석하였고, 목표기준점은 50% 성숙체장, 한계기준점은 25% 성숙체장으로 설정하였다. 감성돔의 어획개시체장은 14.1cm이었고, 이때 목표기준점은 33.4cm, 한계기준점은 16.7cm이었다. 볼락의 어획개시체장은 9.2cm이었고, 이때 목표기준점은 18.4cm, 한계기준점은 9.2cm이었다. 숭어의 어획개시체장은 18.3cm이었고, 이때 목표기준점은 28.0cm, 한계기준점은 14.0cm이었다.

통발어업의 붕장어 어획개시체장 지표의 위험도도 각망어업과 동일하게 어획개시체장자료를 사용하여 추정한 붕장어의 어획개시체장은 9.5cm이었고, 목표기준점은 56cm, 한계기준점은 28cm이었다.

각망어업에 의해 어획되는 감성돔, 볼락, 숭어와 통발어업에 의해 어획되는 붕장어의 성숙어 비율은 국립수산과학원의 조사자료 (2008～2010)와 생물학적 특성치를 이용하여 추정한 결과 감성돔의 성숙어 비율은 0.54, 볼락의 성숙어 비율은 0.12, 숭어는 0.96이었다.

국립수산과학원 남서해수산연구소의 조사 자료에 따르면 어획된 붕장어의 체장 범위는 9.5～23.5cm로 모두 미성어로 나타났다. 따라서 본 연구에서 붕장어의 성숙어 비율은 0이었다.

어획물 내 방류산 자연산 비율은 전남바다목장 보고서에서 제시한 방류산 자연산의 비율(NFRDI, 2011)과 여수 군내리 수협을 통해 위판된 어획물내의 방류산 자연산 비율을 통해 추정되었다. 여수 군내리 수협을 통한 위판 어획물의 방류산 자연산 비율은 0.18로 추정되었고, 한계기준점은 2008～2010년의 어획물 내 방류산 자연산 비율을 활용하였으며, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준으로 설정하였다. 이때 목표기준점은 0.11 한계기준점은 0.23으로 추정되었다.

생물다양성 목표의 지표별 위험도평가

각망어업의 혼획율을 추정하기 위해서 2007년부터 2010년까지 바다목장 내의 각망어업의 어획량 자료 (NFRDI, 2008, 2010, 2011)를 사용하였다. 각망어업은 여러 가지 어종이 함께 어획되고, 이를 다양한 방법으로 이용하기 때문에 혼획과 폐기에 대한 정의가 어려웠다 (Shin et al., 2010). 그러므로 본 연구에서는 각망어업에 의해 어획된 연도별 어획량 자료를 활용하여 분석대상종인 감성돔, 볼락, 숭어를 제외하고 어획비율이 높은 4종을 혼획종으로 정의하고, 이 종들에 대한 어획비율을 각망어업의 혼획율로 가정하였다. 추정된 각망어업의 혼획율은 0.420이고, 한계기준점은 2008년～2010년의 평균 혼획율을 사용하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반으로 설정하였다. 따라서 각망어업의 목표기준점은 0.270, 한계기준점은 0.530으로 추정되었다. 통발어업도 각망어업과 동일한 가정을 두고 혼획율을 추정하였다. 통발어업의 혼획율은 0.275로 추정되었고, 목표기준점은 0.186, 한계기준점은 0.373으로 추정되었다.

각망어업에서 어획되는 대부분의 종을 이용한다는 청취조사 결과와 Shin et al. (2010)의 연구 결과를 기반으로 전남바다목장 각망어업의 폐기종은 귀오징어, 망상어, 열동가리돔, 주둥치로 설정하였다. 각망어업의 폐기율은 0.009로 추정되었다. 각망어업의 폐기율의 한계기준점은 폐기종으로 설정된 5종의 연도별 어획비율로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준으로 설정하였다. 따라서 목표기준점은 0.002, 한계기준점은 0.004로 추정되었다.

통발어업은 어획물 내 불가사리의 비율을 폐기율로 가정하였고, 따라서 통발어업의 폐기율은 0.192로 추정되었다. 통발어업의 폐기율은 FAO (2005)에서 제시한 기준을 사용하였다. FAO (2005)에 따르면 통발어업의 폐기율은 0.232로 추정되었으며, 본 연구에서는 이 값을 한계기준점으로 설정하고 목표기준점은 한계기준점의 절반수준으로 설정하였다.

전남바다목장 각망어업과 통발어업 어획물의 종다양성 지수는 2008～2010년 전남바다목장 어획량 자료를 사용하였고, 시작년도는 2008년으로 마지막년도는 2010년으로 설정하여 계산하였다. 각망어업의 종다양도 지수는 2.95로 추정되었으며, 목표기준점은 1.64, 한계기준점은 1.75로 추정되었다. 통발어업의 종다양도 지수는 3.04로 추정되었으며, 목표기준점은 2.57 한계기준점은 2.61로 추정되었다.

서식처 보존 목표의 지표별 위험도평가

서식처 보존 목표 지표의 위험도를 분석하기 위해 각망어구와 통발어구의 특성을 살펴보았다. 각망은 4각형의 헛통 양측에 비탈그물을 달고 그 끝에 각기 자루그물을 설치하여 길그물에 의해 유도된 어군이 자루그물로 잘 들어 갈 수 있도록 한 어구이다. 각망어구는 부설시 힘줄의 고정은 닻이나 멍 또는 말목을 사용하며, 수심 15m 이내의 암초주변 펄 또는 사니질에 설치한다 (NFRDI, 2002). 따라서 서식처 저서 바닥에 미치는 영향이 어구가 부설되는 면적과 비례한다고 가정하였다.

통발은 대나무 또는 플라스틱으로 된 기다란 원통에 한쪽은 막고 다른 한쪽은 깔때기 모양의 입구를 만든 통발 안에 미끼를 넣어 대상 생물을 통발 속으로 유인하여 잡는 어구이다 (NFRDI,

2002). 따라서 서식처에 미치는 영향이 작은 어구라 판단하였다.

서식처 보존 목표는 대상어업이 산란 · 보육장에 미치는 오염을 의미하며, 대표적으로 유류유출 사고 등에 의한 오염을 의미한다. 따라서 각망어업과 통발어업의 어업에 따른 유류유출과 어구에 의한 오염도를 확인하였다. 전남바다목장 해역 내 사고에 의한 해양오염 발생량은 확인 할 수 없어 여수시 자료를 활용하였다. 2010년 여수시의 사고에 의한 해양오염 발생량은 40.8 (*kl*)이고, 한계기준점은 2010년 남해안 평균 사고에 의한 해양오염 발생량으로 설정하고 목표기준점은 한계기준점의 절반수준으로 설정하였다.

서식처 보존 목표의 지표의 위험도를 분석하기 위해 각망어구와 통발어구의 어구 유실정도를 파악하였다. 국립수산과학원 동 · 서 · 남해의 어구유실 실태 조사 결과에 의하면 우리나라의 어업별 연간 총 어구 유실량은 90,948mt이고 연안 안강망은 601mt (0.66%), 연안통발은 14,668mt (16.12%)이다. 본 연구에서는 각망의 어구 유실을 연안 안강망과 유사하다 가정하였다. 어구유실의 한계기준점은 연안어업의 평균 어구 유실비율로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준으로 설정하였다. 연안통발은 연간 어구 사용량의 50%가 유실된다 (MIFAFF, 2012). 이 기준을 바탕으로 전남바다목장 통발어업의 어구유실비율은 0.160추정되었고, 목표기준점은 0.230으로 우리나라 연근해 연간 연안통발의 총 어구 유실비율을 사용하였고, 이 값을 한계기준점으로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준인 0.115로 설정하였다.

전남바다목장 어업폐기물은 인근 해역인 국동항의 어업폐기물량 자료를 활용하였다. 따라서 전남바다목장의 어업폐기물량은 189mt이다.

사회경제적 편익의 지표별 위험도 평가

사회경제적 편익 목표의 지표의 위험도를 분석하기 위해 우리나라 도시 가구의 월평균 소득 자료 (KOSIS, 2010)와 각망어업에 종사하는 가구당 소득을 확인하였다. 전남바다목장 소득의 목표기준점은 1,326천원, 한계기준점은 1,193천원으로 설정하였고, 전남바다목장 각망어업에 의한 소득은 3,264천원이었다. 통발어업에 종사하는 가구당 소득의 목표기준점은 3,824천원으로 한계기준점은 각망어업과 동일하게 설정하였다.

사회경제적 편익 목표의 지표의 위험도를 분석하기 위해 전남바다목장 대상어촌계의 소득과 지출자료를 활용하여 수지비율을 추정하였다 (KOSIS, 2010). 전남바다목장의 수지비율의 목표기준점은 0.616으로 2008~2010년 수지비율의 평균값으로 설정하였고, 한계기준점은 목표기준점의 90%값으로 0.554로 설정하였다.

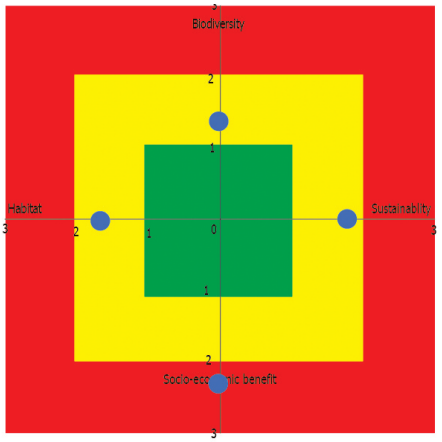
생태계 기반 목표위험지수 (ORI) 및 종위험지수 (SRI)

전남바다목장 각망어업의 대상종인 감성돔, 볼락, 숭어와 통발어업의 붕장어에 대해 목표위험지수, 종위험지수를 추정하였다 (Table 5). 개선된 평가 방법에 의해 추정된 감성돔의 목표위험지수는 지속성 유지 1.751, 생물다양성 1.631,

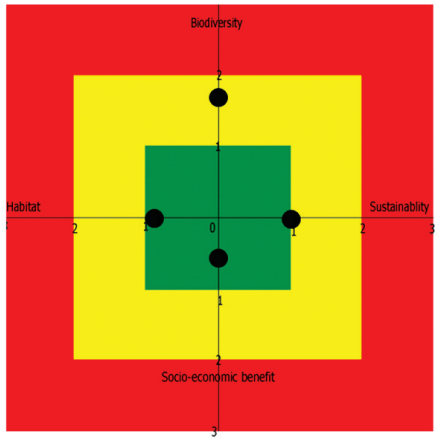
Table 5. Objective risk index (ORI) and species risk index (SRI) of the Jeonnam marine ranching ecosystem by ecosystem-based fisheries assessment approach

Fishery	Species	ORI_S	Var. (ORI_S)	ORI_B	Var. (ORI_B)	ORI_H	Var. (ORI_H)	ORI_E	Var. (ORI_E)	SRI	Var. (SRI)
Funnel net	Black seabream	1.751	0.062	1.631	0.042	0.933	0.009	0.619	0.194	1.337	0.020
	Rock bream	1.009	0.053	1.631	0.042	0.933	0.009	0.619	0.194	1.040	0.018
	Gray mullet	1.229	0.080	1.631	0.042	0.933	0.009	0.619	0.194	1.128	0.022
Trap	Conger eel	1.771	0.032	1.852	0.089	0.989	0.135	0.619	0.192	1.400	0.022

a) Black sea bream



b) Rock bream



c) gray mullet

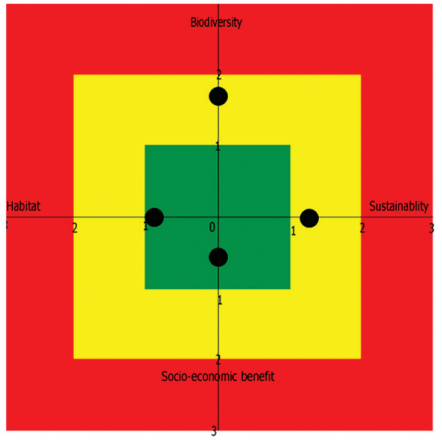


Fig. 2. Risk diagram showing objective risk indices (ORI) in the funnel net fishery Jeonnam marine ranching ecosystem using the ecosystem-based fisheries assessment approach.

서식처보존 0.933, 사회경제적 편익 0.619이고 종위험지수는 1.337로 추정되었다. 볼락의 목표위험지수는 지속성 유지 1.009, 생물다양성 1.631, 서식처보존 0.933, 사회경제적 편익 0.619이고 종위험지수는 1.040로 추정되었다. 숭어의 목표위험지수는 지속성 유지 1.229, 생물다양성 1.631, 서식처보존 0.933, 사회경제적 편익 0.619이고 종위험지수는 1.128로 추정되었다 (Fig. 2). 각망어업에 의한 3종의 목표위험지수 추정결과 지속성 유지 목표는 3종 모두 중위험도로 추정되었고, 생물다양성은 고위험도, 서식처 보존과 사회경제적 편익은 저위험도로 추정되었다. 생물다양성의 경우 각망어업의 어획물 특성에 의해 3가지 지표 모두 높은 위험도를 나타내었다. 각망어업의 목표위험지수는 지속성을 제외한 나머지 3가지 위험지수가 3종에 대해서 동일하게 추정되었다. 이는 생물다양성 유지와 사회경제적 편익 목표의 지표 수준이 모두 어업수준이기 때문이다. 서식처 보존의 경우 산란 · 보육장의 오염도 지표가 어종수준의 지표이고 나머지 지표는 어업수준의 지표이다. 그러나 전남바다목장 각망어업에서는 산란 · 보육장의 오염도가 모두 동일한 위험도를 가지므로 서식처 보존 목

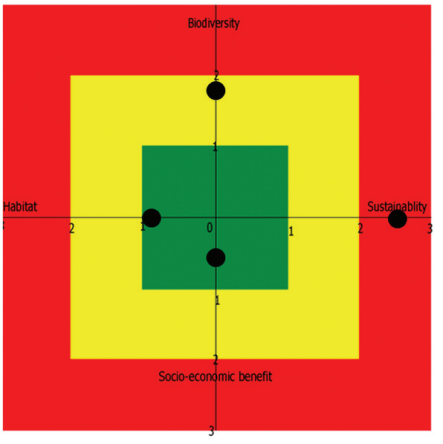


Fig. 3. Risk diagram showing objective risk indices (ORI) of the trap fishery in Jeonnam marine ranching ecosystem using the ecosystem-based fisheries assessment approach.

표위험지수도 동일한 위험도로 추정되었다.

통발어업의 붕장어에 대한 목표위험지수는 지속성 유지 1.711, 생물다양성 1.852, 서식처 보존 0.989, 사회경제적 편익 0.619이고 종위험지수는 1.400로 추정되었다 (Fig. 3). 붕장어의 지속성 유지 목표위험지수와 생물다양성 위험지수는 중위험도로 추정되었고, 서식처보존과 사회경제적 편익은 저위험도로 추정되었다.

어업위험지수 (FRI) 및 생태계위험지수 (ERI)

각망어업의 감성돔, 볼락, 숭어의 자원량을 고려하여 어업위험지수를 추정하였다. 감성돔의 자원량은 675mt, 볼락의 자원량은 234mt, 숭어의 자원량은 19.5mt이었다. 자원량 가중치를 고려한 전남바다목장 각망어업의 어업위험지수 (FRI)는 1.143으로 추정되었고, 위험구간은 중위험도로 추정되었다 (Table 6). 통발어업의 어업위험지수는 1.400로 추정되었고, 위험도 구간은 중위험도로 추정되었다. 통발어업의 어업위험지수는 붕장어 종위험지수와 동일한 값으로, 어업위험지수 추정에서 붕장어만을 고려하였기 때문에 종위험지수와 어업위험지수가 동일하게 추정되었다.

전남바다목장의 각망어업과 통발어업의 어업위험지수를 기반으로 어획량 가중치를 두어 생태계위험지수 (ERI)를 추정하였다. 전남바다목장 각망어업의 어획량 가중치는 1,348,994kg이고, 통발어업의 어획량 가중치는 254,429kg이다. 그러므로 전남바다목장 해역의 생태계 위험지수는 1.184로 추정되었으며, 위험구간은 중위험도로 추정되었다.

Table 6. Fishery risk index (FRI) and ecosystem risk index (ERI) of the Jeonnam marine ranching ecosystem by new methods of the ecosystem-based fisheries assessment approach

Fishery / Risk index	Funnel net fishery	Trap
FRI	1.143	1.400
ERI	1.184	

고 찰

본 연구에서는 Zhang et al. (2010)이 제시한 바다목장에 적합한 지표 및 기준점 중 전남바다목장 생태계에 적합한 지표로 재설정하고, 현실적으로 자료 수집의 용이성을 고려하여 지표를 재정립하였다. 본 연구에서 제시한 각 관리 목표별 지표는 지속성 유지 목표 5개, 생물다양성 목표 3개, 서식처 보존 4개, 사회경제적 편익 2개이다. 지속성 유지 목표에서는 자료 수집의 용이성을 고려하여 어획물 내 평균영양단계 지표와 체장 스펙트럼 지표를 삭제하였다. 생물다양성 목표에서는 개념의 중복성을 피하기 위해 군집 내 평균영양단계와 어획물 내 부어 저어 자원의 비율 지표를 삭제하였고, 사회경제적 편익 목표에서는 소규모 생태계에 적합하지 않은 식량 자급율, 고용율을 삭제하였고, CPUE와 개념적으로 중복되는 최대 경제적 생산량 지표를 삭제하였다. 실제 위험도 분석 결과 전남바다목장과 같은 소규모 생태계에서는 고용의 비율이 연간 급변하지 않으므로 이를 통한 생태계 위험도 확인은 의미가 없었다.

전남바다목장의 각망어업의 정량적 분석결과 대상종인 감성돔, 볼락, 숭어의 지속성 유지, 생물다양성 유지는 중 위험도로, 서식처와 사회경제적 편익은 저 위험도로 평가되었다. 특히 감성돔의 경우 지속성 유지목표에서 적정어획사망수준과 어획개시체장, 성숙어의 비율에서 비교적 높은 위험도를 나타내어 지속성 유지 목표위험지수가 1.751로 높게 추정되었다. 이는 현재 전남바다목장 해역 내에서 감성돔의 어획수준이 높음을 의미하며, 계속적인 관리가 수행되지 않을 경우 지속성의 위험도가 높아 질수 있음을 의미한다. 따라서 어획수준을 낮출 수 있는 관리방안이 필요하다고 판단되어진다. 전남바다목장 대상종인 볼락과 주요 우점종인 숭어의 경우 지속성 유지의 목표위험지수가 중 위험도로 평가되었지만, 저 위험도에 가까운 값으로 평가되어 감성돔에 비해 상대적으로 대상종의 위험도가 낮게 평가되었다. 지속성 유지의 어획물내 방류산 자연산

어류 비율은 어종수준의 지표로서 각 어종별로 평가를 수행해야 하나 현실적으로 위판되고 있는 어종의 방류산과 자연산의 분리가 명확히 이루어지지 않아 자료수집에 한계가 있었다. 따라서 남해수산연구소에서 조사한 위판장 조사자료와 군내리 수협을 통해 수집한 자료를 사용하였다.

전남바다목장은 명확한 자원관리 계획을 설정하여 대상해역의 대상종의 지속성 유지와 어민들의 경제적 이윤 추구를 목적으로 서식처 조성 및 종묘 방류를 통한 자원량 증대 등의 사업을 추진해 왔다. 이러한 지역적 특수성을 고려할 때 대상종의 자원평가만을 통해 현재 자원상태를 판단하는 것 보다는 대상생태계 내에서 수행되고 있는 어업을 기반으로 평가를 수행하여 전반적인 생태계의 변화를 살펴 볼 수 있는 어업평가 방법이 더 적합하다고 판단되어진다. 따라서 본 연구의 결과는 향후 전남바다목장과 같은 바다목장지역의 관리 방안을 제시하는 근거로 활용되어질 수 있다 판단된다.

결 론

본 연구에서는 전남바다목장 생태계 내 각망어업과 통발어업을 대상으로 정량적 생태계 기반 어업평가를 수행하였다. 본 연구에서 분석된 대상종은 각망어업의 감성돔, 볼락, 숭어, 통발어업의 붕장어이다. 생태계 기반 정량적 어업평가를 수행하기위해 지속성 유지, 생물다양성 유지, 서식처 보존, 사회경제적 편익 4가지 생태계 기반 목표를 설정하고 각각의 목표를 평가하기 위해 지속성유지 5개 지표, 생물다양성 유지 3개 지표, 서식처보호 4개 지표, 사회경제적 편익 2개 지표를 사용하여 평가하였다. 본 연구에서는 각 어업별 종별 목표위험지수, 종위험지수, 어업위험지수를 추정하였다. 추정된 전남바다목장 각망어업의 어업위험지수는 1.143이고, 통발어업의 위험지수는 1.400으로 평가되었다. 추정된 어업위험지수를 통해 추정된 전남바다목장 생태계위험지수는 1.184이다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 수산연구시험사업(RP-2013-FE-094)의 지원에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

Beverton RJH and Holt SJ. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery investigations, Series Ⅱ, Marine Fisheries, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19, 1－533.

FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Discards in the world's marine fisheries. FAO Fish Tech Paper 470, 1－131

KOSIS. 2010. 2010. DT_1E4B139. http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F. Accessed 17 Dec 2012.

NFRDI. 2001. Studies on the marine ranching program in Jeonnam archipelago in Korea. NFRDI, 1－813.

NFRDI. 2002. Fishing gear of Korea. NFRDI, 1－579.

NFRDI. 2008. Studies on the development of Jeonnam archipelago marine ranching program 2007 in Korea. NFRDI, 1－521.

NFRDI. 2010. Studies on the development of Jeonnam archipelago marine ranching program 2009 in Korea. NFRDI, 1－491.

NFRDI. 2011. Studies on the development of Jeonnam archipelago marine ranching program 2010 in Korea (in press).

MIFAFF. 2012. A study on the survey of discard wastes in the coastal water in Korea. MIFAFF, 1－302.

Shin HH, Jeong SB, Oh TY, Shin IK, Cho YB and Kim HS. 2010. Investigation of bycatch and discards of funnel net in the coastal waters of Yeosu, J Kor Soc Fish Tech 46, 324－334.

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.

2013년 11월 8일 접수
2013년 11월 14일 1차 수정
2013년 11월 17일 수리