



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이학박사 학위논문

한국 남해안 잠수기어업의 생태계 기반 자원평가 및 관리방안



2018년 8월

부경대학교 대학원

수산해양학연합동과정

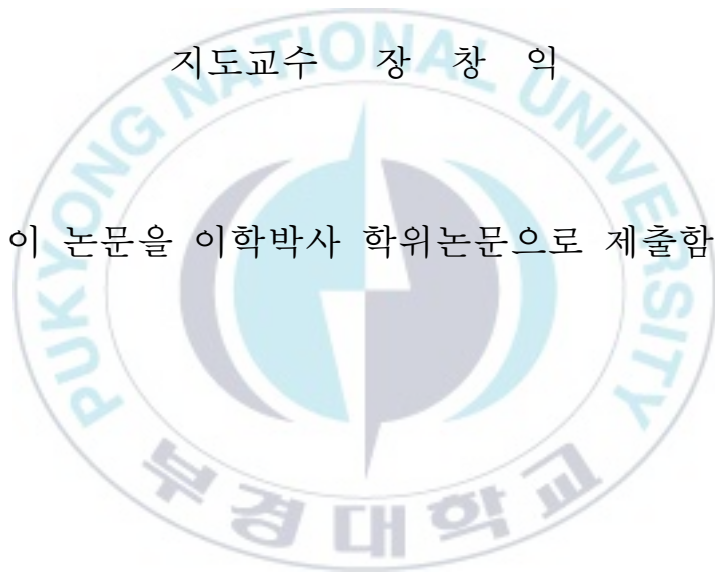
이 선 길

이학박사 학위논문

한국 남해안 잠수기어업의 생태계 기반 자원평가 및 관리방안

지도교수 장 창 익

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함.



2018년 8월

부경대학교 대학원

수산해양학연합동과정

이 선 길

이선길의 이학박사 학위논문을 인준함

2018년 8월 1일



주 심 공 학 박 사 박 환 준 인

위 원 이 학 박 사 서 영 일 인

위 원 이 학 박 사 윤 상 철 인

위 원 이 학 박 사 박 희 원 인

위 원 이 학 박 사 장 창 익 인

목 차

Table of contents	i
List of figures	vi
List of tables	vii
Abstract	x
I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 남해안 잠수기어업 현황	5
2.1 어장환경	5
2.2. 잠수기어업 현황	6
2.2.1. 잠수기어업	6
2.2.2. 자원평가	13
2.2.3. 자원관리	16
II. 생태계 기반 잠수기 어업자원평가	18
1. 서론	18
2. 자료 및 방법	21

2.1 생태계 기반 자원평가 방법	21
2.1.1. 평가순서	21
2.1.2. 평가대상 해역 · 어업 · 어종 선정	21
2.1.3. 생태계 기반 자원평가 모델	23
2.1.4. 지표별 기준점 설정	26
2.1.5. 모델의 검정	33
2.1.6. 위험도 지수 추정	36
2.2. 자료	37
2.2.1. Tier 1 정량적 평가를 위한 자료	37
2.2.2. Tier 2 정성적 평가를 위한 자료	38
3. 결과	39
3.1. 지표별 위험도 평가	39
3.1.1. 정량적 분석 모델에 의한 평가	39
3.1.2. 정성적 분석 모델에 의한 평가	45
3.1.3. 정량적 평가와 정성적 평가 비교	52
3.1.4. 모델의 검정	57
3.1.5. Tier 2 정성적 평가	60
3.2. 목표, 어종, 어업위험도 지수	67

4. 고찰	68
4.1. 지속성 유지	69
4.2. 생물다양성 유지	70
4.3. 서식처 보존	71
4.4. 사회경제적 혜택	72
4.5. Wilcoxon test를 이용한 tier 1과 tier 2 모델의 검정	72
 Ⅲ. 생태계 기반 자원평가 및 관리 방안	74
1. 서론	74
2. 자료 및 방법	76
2.1. 자료	76
2.2. 방법	77
3. 결과	78
3.1. 생태계 기반 자원평가의 문제점	78
3.1.1. 자료 현황	78
3.1.2. 지표 및 기준점	85
3.2. 생태계 기반 평가 및 관리를 위한 연구 현황	92
3.2.1. 지속성 유지의 지표	92

3.2.2. 생물다양성 유지의 지표	92
3.2.3. 서식처 보존 유지의 지표	93
3.2.4. 사회경제적 혜택의 지표	93
3.2.5. 자원관리 연구 현황	93
3.3. 생태계 기반 평가 및 관리를 위한 교육 현황	95
3.3.1. 조사 분야	95
3.3.2. 분석·평가 분야	95
3.3.3. 관리 분야	98
4. 고찰	102
4.1. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 자료 개선방안	102
4.1.1. 지속성 유지 지표별 자료	102
4.1.2. 생물다양성 유지 지표별 자료	104
4.1.3. 서식처 보존 지표별 자료 수집	105
4.1.4. 사회경제적 혜택 지표별 자료	106
4.2. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 연구 개선방안	106
4.2.1. 지속성 유지 기준점	106
4.2.2. 생물다양성 유지 기준점	107
4.2.3. 서식처 보존 기준점	108

4.2.4. 사회경제적 혜택 기준점	108
4.3. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 교육 개선방안	109
4.3.1. 조사 분야 교육	109
4.3.2. 분석·평가 교육	109
4.3.3. 관리 분야 교육	110
4.4. 생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템	110
4.4.1. 현행 자원관리 현황 및 문제점	110
4.4.2. 생태계 기반 자원관리를 위한 전략 및 전술	116
4.4.3. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 시스템 구축	119
IV. 종합 고찰	122
VI. 요약	126
참고문헌	129
감사의 글	134
Appendix	136

List of figures

Fig. 1. A map showing the target ecosystem in this study	11
Fig. 2. Variations in catch of major species by diving fishery in the south sea of Korea, 2000~2016	18
Fig. 3. Flowchart for the ecosystem-based fisheries assessment and management system by risk analysis	26
Fig. 4. Flowchart for testing on comparison of risk score (RS) estimated from tier 1 and tier 2 ecosystem-based fisheries assessment approaches in this study	39
Fig. 5. Flowchart of ecosystem-based fisheries assessment and management. The blue line is a flow chart when sufficient data is available and the black line is flow chart when there is not enough data with feedback. The dotted red line refers to education in each area	128

List of tables

Table 1. The permission numbers of diving fishery by an administrative district in Korea	13
Table 2. The variation of fishing vessel numbers of diving fishery by administrative in Korea, 2000~2016	14
Table 3. The variation of catch and amount of diving fishery by administrative district in Korea, 2000~2016	16
Table 4. Average catch by species of diving fishery in the south sea of Korea, 2000~2016	17
Table 5. Objectives and indicators for the tier 1 ecosystem-based fisheries assessment in this study	29
Table 6. Risk scores (RS) of tier 1 ecosystem-based fisheries assessment approach for the diving fishery in the south sea of Korea, 2016 ..	44
Table 7. Risk scores (RS) of tier 1 ecosystem-based fisheries assessment approach for the diving fishery in the south sea of Korea, 2016 ·	51
Table 8. Comparison of risk scores (RS), objectives risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of purplish Washington clam caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016	58
Table 9. Comparison of risk scores (RS), objectives risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of	

pen shell caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016	59
Table 10. Comparison of risk scores (RS), objectives risk index (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of short necked clam caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016	61
Table 11. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of purplish Washington clam caught by diving fishery in the south sea of Korea	62
Table 12. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of pen shell caught by diving fishery in the south sea of Korea	63
Table 13. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of short necked clam caught by diving fishery in the south sea of Korea	65
Table 14. Risk scores (RS), objectives risk index (ORI), species risk index (SRI) and fishery risk index (FRI) for tier 1 and tier 2 ecosystem-based fisheries assessment of diving fishery in the south sea of Korea, 2016	66
Table 15. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of sustainability	86
Table 16. Data status and contents, collection agency, problems and	

improvement measures by indicator of biodiversity	89
Table 17. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of habitat	91
Table 18. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of socio-economic benefit	93
Table 19. The status, problems, research and improvement of reference point by indicators of sustainability	91
Table 20. The status, problems, research and improvement of reference point by indicators of biodiversity	95
Table 21. The status, problems, research and improvement of reference point by indicators of habitat	97
Table 22. The status, problems, research and improvement of reference point by indicators of socio-economic benefit	98
Table 23. Educational subjects and education studies by area of research	91
Table 24. Educational subjects and education studies by area of analysis and assessment	107
Table 25. Educational subjects and education studies by area of management	107

Ecosystem-based stock assessment and fisheries management of diving fishery in the south sea of Korea

Sun Kil LEE

*URIP of Fisheries and Oceanography, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Risk analyses of the diving fishery in the south sea of Korea was performed using the EBFA approach, setting indicators and their reference points for four management objectives to estimate risk scores for each indicator. Management objectives employed in this study were maintenances of sustainability, biodiversity and habitat quality, and socio-economic benefits. From the estimated risk scores, the objective risk index (ORI), the species risk index (SRI), and the fishery risk index (FRI) of the diving fishery were estimated.

Both Tier 1 and Tier 2 methods of the EBFA approach were used to

assess a total of 14 indicators, depending on the level of information. The SRI of purplish Washington clam was estimated at 1.7, that of pen shell, 1.8, and that of short necked clam, 1.8 in the diving fishery. The Wilcoxon test confirmed that results from Tier 1 and Tier 2 were not significantly different at the significance level of 0.05. Therefore, estimated SRIs from both Tier 1 and Tier 2 methods could be combined to estimate FRI for the fishery. The SRIs of sea squirt and sea cucumber were 2.0 and 2.2, respectively, which were estimated from the Tier 2 method. The FRI of the diving fishery in the south sea of Korea was estimated at 1.8, which was high to be in the red zone. Strategies and tactics for rationally managing the fishery and the species were suggested in this study.

To improve the ecosystem-based resource assessment, some vital factors such as, adequacy of data and transparency of the data collection system, suitability of indicators and their reference points, were analyzed. It was found that scientific research for suitable indicators and their reference points for the assessment were required, and essential training and education in relevant areas were required for the improvement of the ecosystem-based resource assessment and management. To address these problems, establishment of an ecosystem-based resource assessment and management system is urgently needed.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

세계 해양의 어업자원은 상당부분이 최대지속적 생산량을 넘는 수준에서 개발 이용되고 있는 상황이며, 해양에서 어획되는 대부분의 어획물은 점진적으로 낮은 영양단계에 위치한 종의 상대적 비율이 증가되고 있다 (Pauly et al., 1998). 또한 수산자원은 심각한 남획, 해양환경오염, 간척매립 등으로 인한 연안어장의 축소와 어장생태계의 질적 저하로 인해 점차 감소하고 있는 현실이다. 이에 전 지구적으로 해양생태계를 고려한 수산자원의 평가 및 관리 기법의 필요성이 대두되고 있는 상황이다. 수산자원을 회복시키고 지속적으로 이용하기 위해서는 효율적인 생태계 차원에서의 자원관리시스템이 요구되고 있으나 아직까지는 단일 어종만을 고려한 개체군 수준에서의 자원관리 방법이 사용되고 있다 (Zhang et al., 2010).

우리나라 일반해면어업의 어획물의 영양단계 및 생산량도 세계 추세와 비슷하게 감소하고 있다 (Lee et al., 2007). 1980년대 중반 172만 톤을 생산하여 최고치를 기록하였으나 이후 지속적으로 감소하여 2016년 약 91만 톤으로 우리나라 연근해어업 어획량 역사상 44년 만에 100만 톤 수준이 붕괴되었고, 2017년 약 93만 톤으로 100만 톤을 회복하지 못하고 있다.

우리나라 연근해어업의 환경은 1994년 11월 16일 유엔해양법협약의 발효에 따라 국제적으로 국가 관할권 해역의 법제화로 인해 200해리 배타적 경제수역 (EEZ)의 시행으로 조업 가능한 어장이 축소되었고, 이에 국내에서도 수산물생산의 관리체제와 구조를 총허용어획량 (TAC)제도로 개편하

였다.

우리나라 TAC 제도는 수산업법 개정 (1995.12) 및 수산자원보호령 개정 (1996.12) 등의 법적 근거를 마련하여 1998년에 총허용어획량에 관한 규칙 제정 및 TAC 기본운영계획을 수립하였다. 1999년 대형선망어업의 고등어, 전갱이, 정어리와 근해통발어업의 붉은대게 등 2개 업종 4개 어종으로 TAC 제도를 시행하였다. 이 제도는 해마다 해양수산부장관이 대상어종에 대해 어획할 수 있는 양, 즉 총허용어획량을 설정하면 각 어업 및 어선에 분배되어 할당된 양 만큼만 어획하는 제도이다. 현재 우리나라는 14개 업종 11개 어종에 대해 TAC 제도를 시행하고 있다. 대형선망어업의 고등어와 전갱이, 근해통발어업의 붉은대게, 마을어업의 제주소라, 잠수기어업의 개조개와 키조개, 근해자망 및 근해통발어업의 대게, 근해자망·연안자망·연안통발어업의 꽃게, 근해채낚기·동해구중형트롤·대형트롤·대형선망·쌍끌이대형저인망어업의 오징어, 동해구중형트롤·동해구외끌이중형저인망어업의 도루묵, 근해연승·연안복합어업의 참홍어가 이에 해당된다.

해양수산부는 자원이 급격하게 감소하거나 감소한 어종에 대해 자원학적인 측면과 경제학적인 측면을 고려하여 자원회복이 시급한 어종을 선정하여 2006년부터 자원회복사업을 시작하였다. 이 사업은 국립수산물과학원에서 대상어종에 대한 과학적인 조사와 자원평가를 통해 적정어획량과 적정어획강도를 수행한다. 또한 이를 바탕으로 목표 자원량과 회복기간을 설정하여 사업을 추진한다. 특히 자원관리가 시급한 어종에 한해서는 산란기를 중심으로 금어기를 설정하고, 어린 개체의 무분별한 어획을 근절하기 위해 금지체장을 설정하는 등 포획채취 금지사업도 추진하고 있다.

2000년대를 접어들면서 국제 수산 기구 및 수산분야 선진국에서는 수산자원평가에서 단일어종 위주의 평가가 가지는 한계를 인식하고 이를 해결하기 위해 대상 수산자원이 포함된 해양생태계를 고려한 수산자원평가 기

법의 필요성과 수산자원을 관리할 수 있는 거시적이고 통합적인 방안을 연구하기 시작하였다 (Zhang, 2006).

생태계 기반 자원관리는 생태계가 장기간 건강하고 완벽한 기능을 지속적으로 유지하면서 인간과 공존할 수 있도록 인간의 활동을 생태학적·사회경제학적·제도적, 그리고 기술적인 측면을 모두 고려해서 관리하는 전략적인 방법이다 (Zhang, 2006). 즉, 생태계 내 서식처 환경을 보존하고, 생태계를 구성하는 생물들의 유전적 다양성을 보존하면서 인류가 수산자원을 지속적으로 이용하기 위해 생태계에서 얻을 수 있는 최대한의 정보를 바탕으로 과학적으로 자원을 관리하는 것을 뜻한다.

2002년 요하네스버그 회의에서 해양생태계를 건강하게 유지하기 위해서는 어획물 생산의 감소를 위한 노력이 지속적으로 추진되어야 한다고 결의하였고, 수산업의 지속적인 발전을 위해서는 생태계 건강성을 유지하기 위한 과학적인 생태계 관리와 인간사회의 혜택을 위한 어업관리가 결합되어야 한다는 내용이 결의되었다 (FAO, 2003).

Gislason *et al.* (2000)은 생태계 기반 자원관리를 위한 목표설정과 관련한 연구를 수행하였고, 이후 어업관리에 적절한 지표 선택에 관한 연구 (Jake *et al.*, 2005)와 지표 접근법을 사용한 생태계 영향평가에 관한 연구 (Livingston *et al.*, 2005)가 진행되었다. 그 밖에도 생태계 기반 자원평가를 위해 ICES (2005)와 FAO (2007)에서도 다양한 생태계 관리지표들을 개발하여 제시하였으나 이들을 평가할 기준점을 제시하지는 못했다.

생태계 기반 어업자원평가 및 관리의 접근법과 지표에 관한 연구가 수행된 이후 구체적으로 적용하는 연구가 시작되었다. 대표적인 예로 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 어업관리에 직접 적용하였다 (CSIRO, 2005).

이러한 국제적 흐름에 맞춰 국내에서도 생태계 기반 자원평가 및 관리에 대한 관심이 높아졌다. 미국의 국립해양수산업청 (NMFS)에서 정의한 8가지 생태계 원칙에 근거하여 어업관리에 생태계 개념을 적용하여 평가하는 연구가 진행되었고, 생태계를 구성하고 있는 생물 상호간의 관계를 영양역학적으로 해석하는 EWE (Ecopath with ecosim) 모델을 적용하여 생태계의 구조와 역할을 추정하는 연구가 진행되었다 (Zhang, 2002; Zhang et al., 2003).

최근에는 Zhang et al. (2009, 2010)의 연구에서 과학적인 기초자료에 근거한 위험도 지수 (Risk index; RI)의 추정 방법을 도입하여 더욱 발전된 생태계 기반 자원평가 기법이 개발되었으며, 분석이 비교적 간단하면서도 현실에 근접한 목표기준점과 한계기준점을 제시하여 실용적인 어업평가 방법으로 발전시켰다. 우리나라 남해 어장의 생태계 기반 자원평가 적용 (Seo, 2011), 기후변화에 대한 생태계 기반 예측 (Lee, 2012), 생태계 기반 위험도 분석방법의 개선 (Park, 2013), 서해 어업자원에 생태계 기반 자원평가 적용 (Lee, 2014), 우리나라 연안어업에 생태계 기반 자원평가 적용 (Yoon, 2014) 등의 연구가 계속 이어지고 있다.

본 연구는 잠수기어업의 어선세력이 가장 많은 남해안 잠수기어업을 대상으로 위험도 분석에 의한 생태계 기반 자원평가를 수행하고, 현재 잠수기어업의 자원관리 방법과 현황 분석을 통해 문제점을 파악하여 통합적인 자원관리를 위한 생태계 기반 자원관리 시스템을 구축하는 데에 있다. 또한 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위해 각 목표별 지표들에 대해 자료의 질적 수준, 기준점의 적절성, 자료 수집 및 기준점 정립 등과 이에 대한 대학, 정부, 지자체, 연구소 등 각 분야별로 담당해야 할 과제와 여기에 필요한 교육 방안에 대해 제시하고자 한다.

2. 남해안 잠수기어업 현황

2.1. 어장환경

우리나라 남해는 대부분 수심이 100m 이내의 대륙붕이다. 남해의 많은 섬들과 서해 및 남해의 강한 조류는 천해의 해수를 끊임없이 혼합시키는 원인이 된다. 저층은 연안으로부터 외해를 향하여 암석, 자갈, 모래 및 개펄 (tidal mud)로 덮이어 무수한 종의 저서생물의 호적한 서식장을 형성한다. 쿠로시오 (Kuroshio)가 동중국해의 대륙사면을 벗어나는 아마미오시마 부근에서 분지되어 우리나라 남해를 향하여 북상하는 대한난류 (Korea Warm Current)와 대마난류 (Tsushima Warm Current)는 기상 및 조류의 영향뿐 아니라 동중국해 육봉수와 남해연안수의 영향을 받아 대한해협을 지나 동해로 유입된다 (NFRDI, 2009).

수산자원의 관리단위를 설정할 때, 과학적인 분석에 의한 생태계 경계를 기초로 하여야 한다. 해양생태계 경계는 일반적으로 개방되어 있으나 수심 분포와 같은 해양학적 특성들은 해양생태계를 정의할 수 있도록 생물학적 불연속성이나 속성들의 변화를 나타내곤 한다 (Zhang, 2002).

생태계 기반 수산자원관리를 위해서는 생태계의 경계설정이 필수적이며, 생태계 기반 수산자원관리의 목적에 맞게 결정할 수 있다 (FAO, 2003). 해양은 육상과는 달리 해저면은 눈에 보이지 않고, 이용대상이 되는 자원의 경우도 시간에 따라 위치가 변화될 수 있으며, 근접한 생태계간의 물질적인 정보가 교류되고 있어 육지와 비교하여 경계기준점을 설정하기가 쉽지 않다.

해양 생태계를 구분하는 방법으로는 배타적 경제수역과 같은 인위적인 요인, 해류의 흐름과 전선(수괴)의 분포 등과 같은 해양학적 요인, 그리고

서식하는 수산생물들의 분포와 같은 생태학적 요인에 의해 구분할 수 있으며, 자원관리를 위해서는 사회경제적인 요인도 포함되어야 한다 (Seo, 2011).

본 연구에서는 남해 어장 생태계를 해양학적으로 남해의 특성을 포함하고, 서해 및 동해와의 경계는 행정구역을 기준으로 설정하였다. 남해 어장 생태계는 경상남도, 전라남도, 부산광역시, 울산광역시의 행정구역을 모두 포함되도록 설정하였다. 남해 생태계 내 잠수기어업의 어장 면적은 660km²로 추정되었고, 실제 조업이 가능한 수심 40m 이내의 지역을 평가 대상 생태계로 설정하였다 (Fig. 1).

2.2. 잠수기어업 현황

2.2.1. 잠수기어업

수산업법 시행령 제24조(근해어업의 종류)에 의하면, 잠수기어업이란 동력어선에 잠수기를 설치하여 패류 등의 정착성 수산동·식물을 포획·채취하는 어업으로 정의하고 있다.

잠수기어업은 잠수부가 잠수를 해야 하기 때문에 먼 바다가 아닌 가까운 연안에서 조업이 이루어지고 있지만 연안어업이 아닌 근해어업으로 분류되어 관리되고 있다. 근해어업 (offshore fishery)은 수산업법 제43조 4항에서 어업별 어선의 명칭, 어선의 톤수와 기관의 마력, 어업허가의 유예, 허가의 제한 사유, 양륙항의 지정, 조업해역의 구분, 사용하는 어구의 종류와 규모 등을 정의하고 있다.

잠수기어업은 마을어업의 어업권자가 법 제27조 제3항에 따라 시장·군수·자치구의 구청장의 승인을 받지 아니한 경우에는 해당 마을어업의 어장에서는 조업하여서는 안 된다. 또한 해가 진 뒤에도 조업을 할 수 없다. 잠수기어업은 잠수부와 연결하는 호스의 길이는 1인당 150미터 미만으로

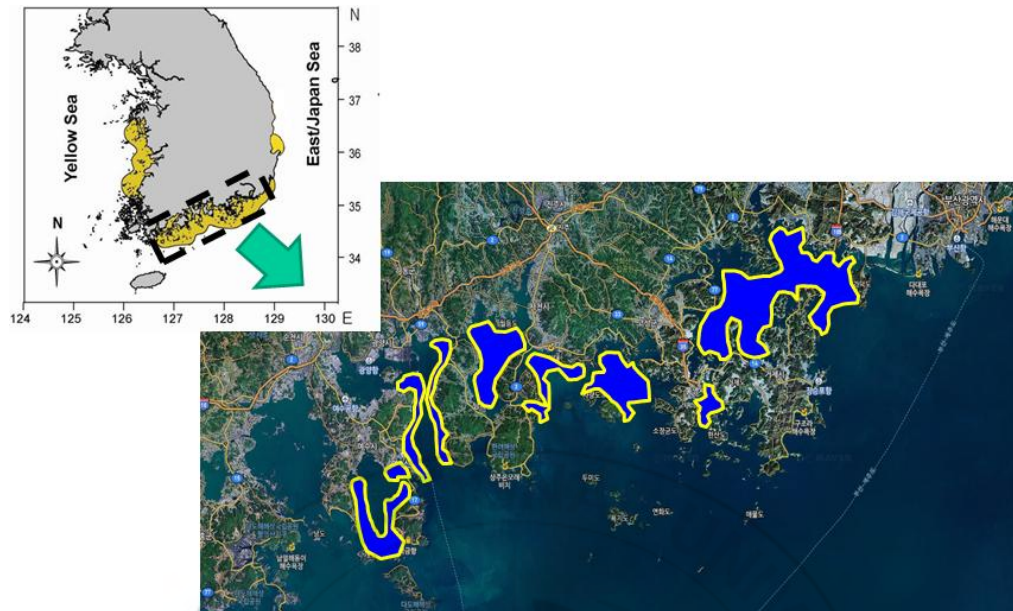


Fig. 1. A map showing the target ecosystem for this study. The blue area was the main fishing ground for diving fishery and the estimated area was about 660 km².

제한하고 있고, 선박 길이의 2분의 1에 해당하는 선수부의 좌·우현의 외판은 노란색으로 표시해야 하는 규정을 두고 있다.

잠수기어업은 분사기를 사용해서는 안 된다. 다만 시·도지사가 해당 관할 수역의 어업 여건 등을 고려하여 분사기를 사용할 수 있는 수역의 범위, 분사기를 사용하여 포획할 수 있는 매물성 수산동물 (개조개·키조개·왕우럭·코끼리조개·바지락 (수산자원관리법 제36조에 따라 시·도지사가 총허용어획량을 설정하여 관리하는 경우만 해당한다) 및 개불로 한정한다)의 종류, 분사기의 마력 (8마력 이하로 한정 한다) 및 노즐 규격을 정해 적합하게 분사기를 사용해야만 한다.

잠수기어업의 허가정수는 수산업법 시행령 제40조에 따라 총 175건으로 강원도 6건 (3%), 경상북도 9건 (5%), 부산광역시·울산광역시·경상남도 93건 (53%), 전라남도 39건 (22%), 인천광역시·경기도·충청남도·전라북도 28건 (16%)이다 (Table 1). 부산광역시·울산광역시·경상남도와 전라남도를 합친 남해안 잠수기어업의 허가정수는 132건으로 전체 허가정수의 75%를 차지하고 있다. 통계청 자료에 따르면 2000년 잠수기어선 척수는 196척으로 허가정수 175건보다 21척이 많아 12% 초과한 것으로 나타났고, 2016년에는 총 229척으로 허가정수 대비 54척 초과 (31%)하여 증가한 것으로 나타났다 (Table 2).

2000~2016년 동안 우리나라 전체 잠수기어업의 평균 어획량은 10,630톤 이었고, 2000년 13,528톤을 생산하여 최고치를 기록하였으나 이후 지속적으로 감소하여 2016년 8,785톤을 생산하여 약 35% 감소한 것으로 나타났다. 같은 기간 동안 평균 생산금액은 473억 원이었고, 2004년 538억 원이었으나 2016년 377억 원으로 약 30% 감소하였다 (Table 3).

시도별 평균 어획량은 경상남도가 3,792톤 (36%)으로 가장 많았고, 다음으로 충청남도 2,975톤 (28%), 전라남도 1,876톤 (18%) 순이었다. 2000~2016

Table 1. The permission numbers of diving fishery by an administrative district in Korea

Total permission No.	Region	Permission No.	ratio (%)
175	Gangwon-do	6	3
	Gyeongsangbuk-do	9	5
	Busan metropolitan city, Ulsan metropolitan city, Gyeongsangnam-do	93	53
	Jeollanam-do	39	22
	Gyeonggi-do, Chungcheongnam-do, Jeollabuk-do	28	16

Table 2. The variation of fishing vessel numbers of diving fishery by administrative district in Korea, 2000~2016

	Gangwon -do	Gyeonggi -do	Gyeongs angnam- do	Gyeongs angbuk- do	Busan metropolita n city	Incheon metropolita n city	Jeollana m-do	Jeollabuk -do	Jeju-do	Chungch eongnam -do	Total
2000	8	0	115	12	0	0	38	0	0	23	196
2001	8	0	118	13	0	0	44	0	0	25	208
2002	8	0	116	13	1	1	48	0	0	26	213
2003	8	0	109	13	1	1	50	0	0	26	208
2004	5	0	121	11	0	0	45	0	0	8	190
2005	5	0	119	9	0	0	46	0	0	9	188
2006	7	4	124	11	5	11	52	8	0	14	236
2007	7	2	127	13	5	6	49	1	1	26	237
2008	7	1	129	11	5	3	54	0	1	27	238
2009	7	1	130	5	5	0	54	0	1	30	236
2010	5	0	130	10	0	0	54	0	0	29	228
2011	7	0	130	11	0	0	51	0	0	35	234
2012	7	0	130	9	0	0	54	0	0	36	236
2013	7	0	129	11	0	0	53	0	0	35	235
2014	5	0	133	9	0	0	57	0	0	35	239
2015	6	0	126	11	0	0	50	0	0	32	225
2016	6	0	128	11	0	0	50	0	0	33	229
Mean	7	0	124	11	1	1	50	1	0	26	222

Table 3. The variation of catch and amount of diving fishery by administrative district in Korea, 2000~2016

Year	Gangwon-do	Gyeongsangnam-do	Gyeongsangbuk-do	Busan metropolitan city	Incheon metropolitan city	Jellanam-do	Jeollabuk-do	Chungcheongnam-do	Total	Amount (hundred million)
2000	747	5,349	272	304	149	4,171	0	2,536	13,528	471
2001	536	5,106	207	1,039	95	3,482	0	1,539	12,004	497
2002	400	4,836	170	1,057	125	2,467	0	2,391	11,446	503
2003	873	4,381	157	1,050	105	1,806	1,328	1,700	11,400	535
2004	720	4,272	119	1,177	103	2,197	835	1,920	11,343	538
2005	1,149	4,191	211	1,124	57	1,736	1,277	2,708	12,453	495
2006	814	3,042	142	952	75	2,205	662	3,395	11,287	468
2007	1,039	2,826	102	698	75	1,332	2,918	2,860	11,850	470
2008	409	3,065	343	1,057	13	1,803	0	3,765	10,455	443
2009	682	2,764	570	771	0	1,299	0	4,647	10,733	513
2010	468	2,839	181	771	63	1,247	0	4,285	9,854	481
2011	6	3,836	246	776	57	1,007	0	3,892	9,820	498
2012	0	3,462	208	759	0	1,239	0	3,325	8,993	458
2013	1	3,868	3	665	0	1,349	29	2,767	8,682	412
2014	3	3,391	0	757	0	1,431	1	3,460	9,043	440
2015	99	3,720	0	1,003	0	1,455	1	2,748	9,026	444
2016	214	3,519	10	736	0	1,674	0	2,632	8,785	377
Mean	480	3,792	173	864	76	1,876	881	2,975	11,117	473
ratio(%)	4.5	35.7	1.6	8.1	0.7	17.6	8.3	30.0	100.0	

년 남해안 잠수기어업의 어획량이 우리나라 전체 잠수기어업의 어획량의 61.4%의 비율을 차지하였다. 잠수기어업의 주요 어종별 평균어획량은 개조개 2,418톤 (41.4%), 키조개 1,207톤 (20.6%), 우렁쉥이 611톤 (10.5%), 바지락 577톤 (9.9%), 해삼 407톤 (7.0%)등의 순으로 5개 어종의 어획량 합은 전체 어획량의 약 90%를 차지하였다 (Table 4).

개조개는 2000년 6,361톤을 생산하였으나 2016년 1,597톤으로 75% 감소하였다. 키조개는 2000년 3,254톤을 생산하였으나 2016년 1,322톤을 어획하여 60% 감소한 것으로 나타났다. 개조개와 키조개의 어획량이 줄어들자 상대적으로 바지락의 어획량이 증가하기 시작하였고, 2016년 1,867톤으로 어획량이 가장 많았다 (Fig. 2).

2.2.2. 자원평가

현재 우리나라의 수산자원평가는 한국형 생물학적허용어획량 (ABC)추정 시스템을 이용하고 있으며, 평가에 요구되는 정보수준에 따라 1단계부터 5단계까지 구분하고 있다. 1단계는 가장 높은 정보수준을 요하는 단계로 연도별 자원량 (B)과 어획사망계수 (F), B_{MSY} , F_{MSY} , $F_{x\%}$, M, 환경인자 등이 필요하고, 2단계는 연령별 자원량, $B_{x\%}$, $F_{x\%}$, M, 환경인자, 3단계는 연령별 자원량, $F_{0.1}$, M, 환경인자, 4단계는 연도별 어획량과 노력량 또는 CPUE 자료, 그리고 5단계는 정보수준이 가장 낮은 어획량 자료만을 이용하여 생물학적 허용어획량을 추정한다.

남해안 잠수기어업의 어획물 중 주요 어종인 개조개와 키조개는 TAC 어종이다. 개조개의 경우, 높은 정보수준을 요구하는 2단계에서 자원평가가 이뤄지고 있고, 키조개는 자원평가에 필요한 자료 및 생물학적 특성치에 대한 연구가 미흡하여 어획량 자료만을 이용하는 5단계에서 자원평가가 이뤄지고 있다.

Table 4. Average catch by species of diving fishery in the south sea of Korea, 2000~2016

Rank	Species	Average catch (mt)	Proportion (%)
1	PWC	2,148	41.4
2	PS	1,207	20.6
3	SS	611	10.5
4	SNC	577	9.9
5	SC	407	7.0
	Sub total	4,950	89.4
	Others	896	10.6
	Total	5,846	100.0

PWC : Purplish Washington clam, PS : Pen shell, SS : Sea squirt, SNC : Short necked clam, SC : Sea cucumber

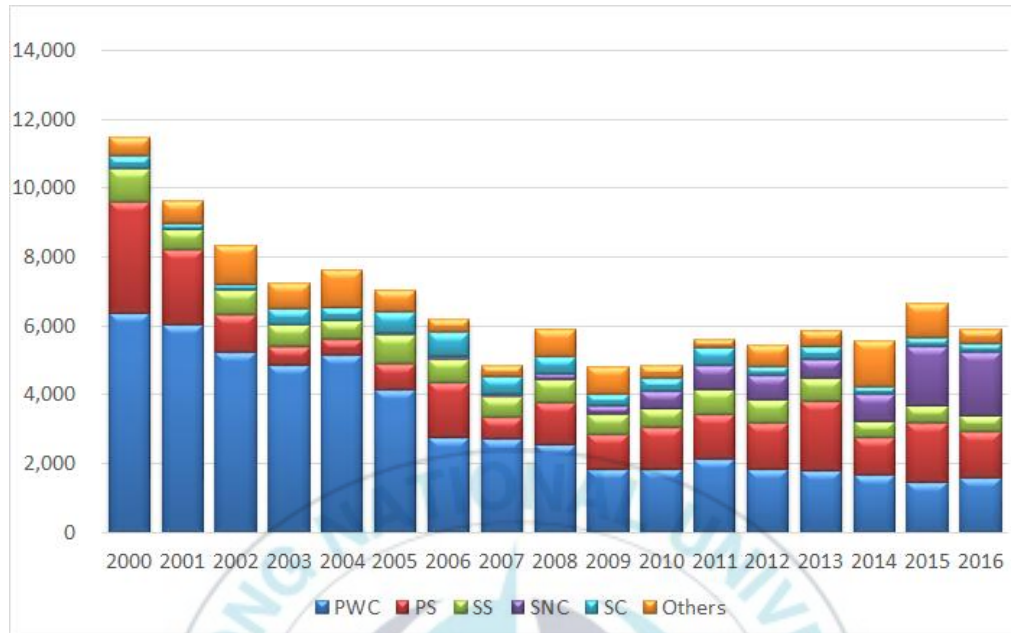


Fig. 2. Variations in catch of major species by diving fishery in the south sea of Korea, 2000~2016. PWC, PS, SS, SNC and SC denote purplish Washington calm, pen shell, sea squirt, short necked calm and sea cucumber, respectively.

개조개는 우리나라에 TAC 제도가 시작된 1999년 이후 2001년도부터 시행되었다. 개조개는 한국수산자원관리공단에 소속된 수산자원조사원(구, 읍서버)이 수협 위판장에서 조사 및 수집하는 어획량 자료, 체장 자료, 어획노력량 (실제 어업에 참여한 어선척수, 조업일수) 자료와 Kim et al. (2003)이 연구한 생태학적 파라미터인 L_{∞} (생물학적 최대체장), K (성장계수), t_0 (체장이 0일 때의 이론적인 연령) 등을 이용하여 자원평가가 이뤄지고 있다.

키조개 역시 2001년도에 TAC 대상어종에 포함되어 시행되었으나 주요 생산지였던 서해 해역만 해당되었다. 서해안 키조개는 현재 2단계에서 자원평가가 수행되고 있다. 남해안 키조개는 2013년도에 TAC 대상어종에 포함되었으나 생물·생태학적인 정보 및 연구가 부족하여 어획량 자료만을 이용하는 5단계에서 평가되고 있다.

2.2.3. 자원관리

우리나라의 수산자원관리는 수산자원조사 및 자원평가를 토대로 어획량, 어획노력량 규제, 자율관리어업, 조업구역 규제 등 어업관리와 어장관리, 어장조성, 바다목장, 수산자원회복사업 등 자원관리로 나누어져 있다. 규제 수단으로는 허가정수, 톤수·마력수 규제, 어선감척, TAC, 어선·어구제한, 포획금지 구역, 포획금지 체장·기간 설정, 수산자원 보호수면 및 관리수면 지정, 불법어업 단속, 자율관리공동체 지원, 어장환경 개선사업, 불법 및 침적어구 제거, 인공어초 및 해중림 조성, 종묘방류 및 바다목장, 자원회복 사업 등의 세부적인 정책사업을 시행하고 있다 (Seo, 2011).

남해안 잠수기어업의 개조개와 키조개는 TAC 대상어종으로 어획량 규제로 관리되고 있다. TAC 대상어종들은 해양수산부장관에 의해 관리되고 있는데 2011년 마을어업의 제주소라가 제주도 (현, 제주특별자치도)로 이관되어 도지사 권한으로 관리되고 있다. 2012년 근해연승어업, 연안복합에서

어획되는 참홍어가 인천 및 전남도로 각각 이관되었고, 2013년에는 개조개가 경남도와 전남도로 각각 이관되어 관리되고 있다.

또한 개조개의 경우, 2001년부터 현재까지 TAC 제도에 의해 어획량을 관리하였으나 자원량 및 어획량이 지속적으로 감소하여 2006년부터 자원회복사업의 대상종에 포함시켜 관리하고 있으나 자원수준은 낮은 상태이다. 개조개 자원회복사업은 국립수산물과학원에서 개조개의 생물학적 특성이나 자원평가 등 과학적인 연구 결과에 근거하여 회복 권고안을 제안하면 각 분야별 전문가 15명 내외로 구성된 과학위원회에서 연구결과의 적합성·타당성을 검토하고, 회복 권고안을 조율 및 검토를 해서 최종 권고안이 마련된다. 과학위원회에서 마련한 권고안은 다시 지자체 및 어업인 대표들로 구성된 수산자원관리위원회에 상정되나 대부분의 권고안들이 받아들여지지 않고 부결된다. 2006년부터 시작된 개조개 자원회복사업에서 제안된 10여개 이상의 권고안 중 채택된 것은 1~2개뿐이다. 가장 많이 제안된 포획금지체장 또는 포획금지기간 설정에 대한 안건은 수산자원관리위원회에서 채택하지 않아 지금까지 관련 규정이 없는 상태다.

II. 생태계 기반 잠수기 어업자원평가

1. 서론

해양생태계는 시간적으로나 공간적으로나 매우 다양한 스케일로 변화하는 특성을 가지고 있다. 또한 해양생태계는 구성하는 생물체 간의 상호작용 및 이들 생물체와 물리화학적 환경요소들 간의 작용을 기능으로 한다 (Zhang, 2006). 수산자원은 해양생태계 안에서 하나의 구성원이기 때문에 어업에 의한 자원의 이용이 생태계에 영향을 미치는 것은 당연하다.

전통적인 어업관리는 주어진 생태계로부터 생물학적 한계를 고려하여 수산자원을 매년 어떤 방법으로 얼마만큼 어획해야 하는지 결정하는 것이다. 그러나 생태계를 고려하는 관리는 수산자원을 어획함으로써 향후 생태계에 미칠 수 있는 영향과 이에 따른 생산량의 변화를 예측하는데 목적을 두고 있다.

1980년 국제보전연맹 (ESSCD) 회의에서 지속가능발전 (Environmentally Sound and Sustainable Development)이라는 용어가 처음 등장하였다. 1992년 환경과 개발에 관한 UN회의 (United Nations Conference on Environment and Development)에서 지속가능발전을 실천할 구체적인 노력의 하나로 리우선언문과 Agenda 21을 수립하였다 (Kang and Zhang, 2017).

세계 160여 개국 정상들은 2015년 9월에 2030 지속가능발전목표 (Sustainable Development Goals, SDGs)를 채택하였다. 유엔 회원국을 중심으로 국제사회가 합의한 SDGs는 전 지구적인 개발의제로서 국가 간 합의에 의해 만들어졌으며, 장기적으로 이행해야 할 평가 메커니즘을 가지고 있다. SDGs는 사회균형발전, 경제성장, 환경보호의 3대 분야를 포괄하는

17개 목표와 169개 세부목표를 가지고 있다. SDGs의 17개 목표 중에서 제 14 목표는 해양과 수산자원 보존 및 지속가능한 이용이다. 제 14 목표는 7개의 세부목표로 1) 2025년까지 해양오염 예방 및 감소, 2) 2020년까지 해양생태계 지속가능한 관리 및 보호, 3) 해양산성화의 영향 최소화, 4) 2020년까지 효율적 어획규제, 남획 및 IUU어업 (Illegal unreported and unregulated fishing), 파괴적 어업방지, 과학기반 관리 이행, 5) 2020년까지 연안·해양 10%의 보호구역 설정, 6) 2020년까지 과잉어획능력 및 남획 유발어업, IUU 어업의 보조금 금지, 7) 2030년까지 해양자원의 지속가능한 이용을 통한 도서국가 및 최빈국 혜택증대이다 (Kang and Zhang, 2017).

생태계 기반 자원관리 또한 생태계를 건강하게 유지시키면서 인간이 이용할 수 있는 수산자원을 지속적으로 이용하는 것이다. 즉, 구성 생물종의 유전적 다양성을 보존하면서 서식처 환경도 훼손하지 않고, 수산자원을 최대한 지속적으로 어획하기 위하여 생태계에 대한 과학적 지식을 바탕으로 자원을 보존하고 관리하는 것이다 (Zhang, 2006).

생태계 기반 자원관리를 위해서는 먼저 생태계 기반 자원평가가 이뤄져야 한다. 생태계 기반 자원평가에 앞서 선행되어야 할 과제는 생태계 기반 관리 목표와 목표별 지표를 설정하는 것이다. Gislason et al. (2000)은 생태계 기반 관리목표와 각 목표에 대한 지표 및 기준점을 제시하였고, 어업관리에 대한 지표 개발 및 선택에 관한 연구 (Jake et al., 2005), 지표 접근법을 사용한 생태계 영향 평가에 관한 연구 (Livingston et al., 2005) 등이 있다. 호주에서 생태학적 위험도분석 (Ecosystem risk analysis, ERA) 평가방법을 개발하여 어업이 생태계에 미치는 영향을 평가하였으며, 이를 바탕으로 어업의 지속성을 평가하여 어업관리와 자원관리에 이용하고 있다 (CSIRO, 2005). 우리나라에서는 Zhang (2006)에 의해 생태계 차원에서의 수산자원관리 방안 연구가 처음으로 시작되었고, 이후 위험도지수와 사회경

제적 개념을 추가한 생태계 기반 자원평가 연구 (Zhang et al., 2009; 2010)가 진행되었다.

Zhang et al. (2010)은 생태계 기반 자원평가를 위한 지표와 기준점 연구를 통해 생태계의 관리목표를 지속성, 생물다양성, 서식처, 사회경제적 혜택의 4가지로 설정하였다. 각 목표에 대한 위험도를 분석하기 위해 개발된 지표와 기준점의 현실성을 높였으며, 각 지표들 사이에서 중복성을 가지지 않으면서 일반적으로 표현 가능한 기준점을 사용하였다. 또한 분석방법과 자료의 수집에 있어 보다 구하기 쉽고 간편한 분석방법을 개발하였으며, 생태계 기반 수산자원평가에 대해 포괄적으로 검토하고, 수산자원에 대한 지속성 유지 및 관련 정책들과 긴밀한 관련이 있는 사회경제적 혜택에 관한 지표를 설정하여 평가결과의 실용성을 높였다. Kim and Kim (2011)은 TLS (Traffic light system) 기법 적용을 중심으로 생태계 기반 어업관리 방안을 위한 사회경제적 평가지표를 개발하였다. 우리나라 남해 어장의 생태계 기반 자원평가 적용 (Seo, 2011), 기후변화에 대한 생태계 기반 예측 (Lee, 2012), 생태계 기반 위험도 분석방법의 개선 (Park, 2013), 서해 어업 자원에 생태계 기반 자원평가 적용 (Lee, 2014), 우리나라 연안어업에 생태계 기반 자원평가 적용 (Yoon, 2014) 등의 연구가 계속 진행되고 있다.

본 연구는 위험도 분석에 의한 생태계 기반 자원평가 기법을 남해안 잠수기어업에 적용하고, 현재 잠수기어업의 자원관리 방법과 현재 상황을 분석하여 문제점을 파악하여 남해안 잠수기어업의 통합적인 자원관리를 위한 생태계 기반 자원관리 시스템을 구축하는 데에 있다.

2. 자료 및 방법

2.1. 생태계 기반 자원평가 방법

2.1.1. 평가 순서

본 연구에서 사용되는 생태계 기반 자원평가 모델은 Zhang et al. (2009)과 Zhang et al. (2010)에서 제시된 생태계 기반 자원평가 (Ecosystem-based Fisheries Assessment, EBFA) 모델로써 생태계를 관리하기 위한 관리지표와 평가의 기준점을 제시한 모델이다. 이 모델에서는 정량적 분석 모델 (tier 1, quantitative analysis model)과 정성적 (준정량적)분석 모델 (tier 2, qualitative or semi-quantitative analysis model)을 제시하고 있는데, 가용한 자료의 양과 수준에 따라 정량적 분석 모델 혹은 정성적 분석 모델을 선택하여 평가할 수 있다.

생태계 기반 자원평가를 하기 위해서는 우선 평가대상 생태계를 선정하고, 선정된 생태계를 대표할 수 있는 대상어업을 선정해야 한다. 대상어업이 정해지면 그 어업을 대표할 수 있는 대상어종을 선정하여야 하며, 관리 목표, 지표 및 기준점을 설정한다. 평가 대상 생태계의 정보 수준에 따라 평가 수준을 결정하고, 대상어종의 위험도 분석을 수행하고, 이를 기반으로 대상어업의 위험도와 대상생태계의 위험도를 추정한다. 그러나 본 연구에서는 남해안에서 조업하는 잠수기어업만을 대상어업으로 선정하여 생태계 위험도지수는 따로 추정하지 않았다 (Fig. 3).

2.1.2. 평가대상 해역 · 어업 · 어종 선정

본 연구에서 평가대상 해역, 대상어업 및 대상어종을 선정한 기준은 다음과 같다. 평가대상 해역은 그 어업을 대표하는 해역이어야 하고, 평가 대

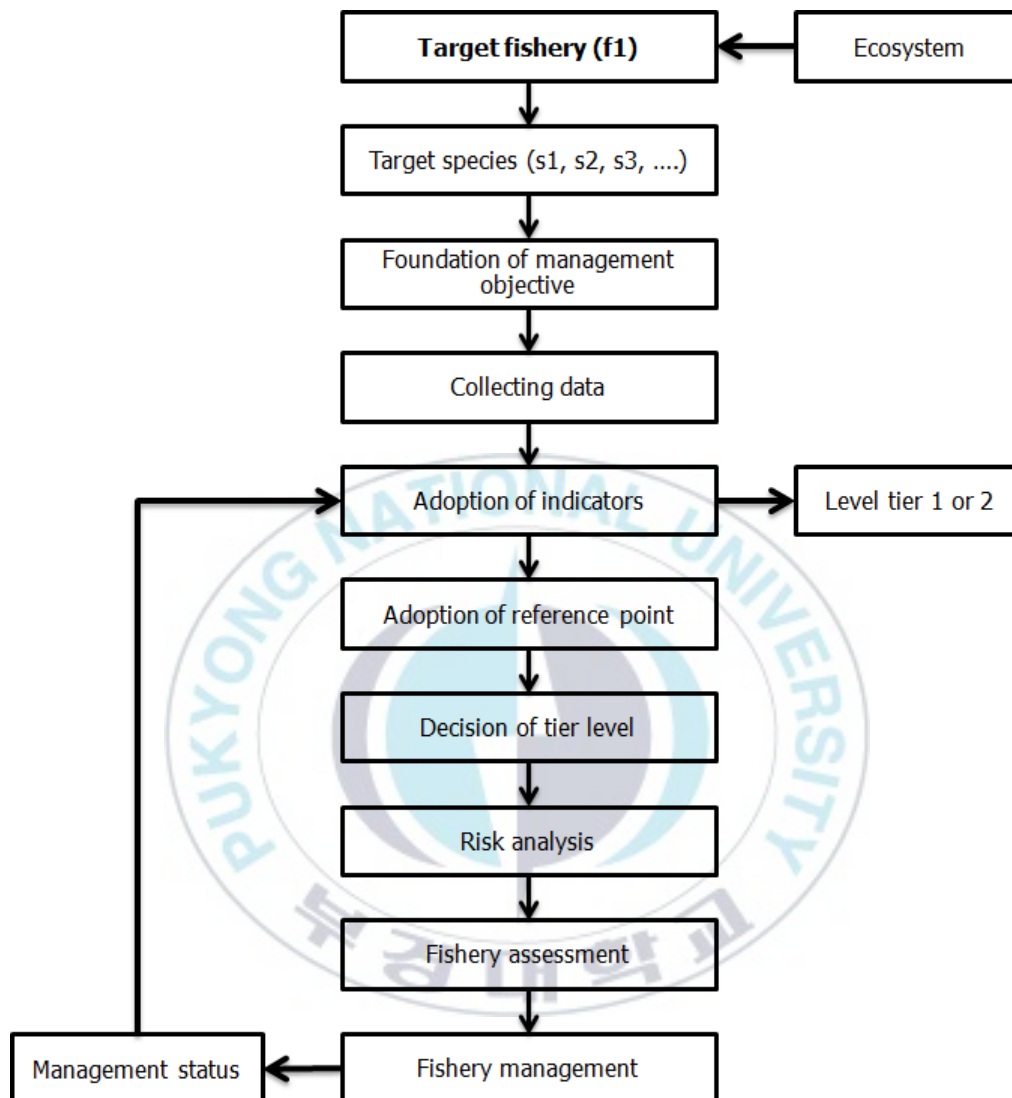


Fig. 3. Flowchart for the ecosystem-based fisheries assessment and management system by risk analysis (After Seo, 2011).

상 어업은 동·서·남해 전체 어선세력의 70% 이상을 차지해야 하고, 평가 대상어종은 해당 어업에서 어획량의 합이 전체 어획량의 70%를 넘도록 설정하였다.

생태계 기반 자원평가를 위한 대상해역과 대상어업은 남해 해역과 잠수기 어업을 선정하였다. 남해 잠수기 어업의 주요 종을 파악하기 위해 통계청자료를 활용하였으며, 분석기간은 최근 5년 (2012~2016년)으로 설정하였다. 남해안 잠수기어업의 평가 대상어종은 최근 5년간 어획량을 기준으로 개조개, 키조개, 우렁챙이, 바지락, 해삼 등 5개 어종으로 선정하였다.

2.1.3. 생태계 기반 자원평가 모델

본 연구의 생태계 기반 자원평가 대상이 되는 남해안 잠수기어업에서 연구결과가 많고 비교적 연구가 많이 된 개조개, 키조개, 바지락은 정량적 분석 모델을 선택하여 자원평가를 실시하였고, 상대적으로 충분한 연구결과가 없어 자료가 부족한 우렁챙이, 해삼은 정성적 분석 모델을 선택하여 자원평가를 실시하였다.

정량적·정성적 분석 모델 (tier 1 and tier 2)의 지표별 기준점은 Zhang et al. (2010), Seo (2011), Yoon (2014) 등이 제시한 내용을 남해안 잠수기 어업에 적용하였다. 지속성 (Sustainability) 유지 목표에서는 자원량, 어획강도, 어획개시체장, 잠재재생산 등 4가지 특성 하에 고려된 지표는 자원량 (단위노력당 어획량), 어획사망계수 (어획노력량), 어획개시연령 (어획개시체장), 성어 비율 등 5개였고, 생물다양성 (Biodiversity) 유지 목표에서는 총 혼획율, 총 폐기량, 다양성 등 특성 하에 혼획률, 폐기량, 종다양도 지수 등 3개의 지표를 고려하였다. 서식처 (Habitat) 보존 목표에서는 서식처 훼손, 쓰레기 폐기량 등 2개 특성 하에 고려된 지표는 서식처 훼손율, 산란장과 성육장 내 오염율, 쓰레기 폐기량 등 3개의 지표를 고려하였다. 마지

막으로 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit) 목표에서는 수입, 수익성, 고용 등 3개 특성 하에 어업인 당 소득, 비용 당 이윤비, 고용율 지표 등 3개의 지표를 고려하였다. 즉, 지속성 유지, 생물다양성 유지, 서식처 보존 및 사회경제적 혜택 등 4개 목표 하에 총 14개 지표 (Table 5)와 지표에 따른 기준점을 고려하였다. 대부분의 기준점은 우리나라 연안어업에 대해 생태계 기반 자원평가 연구 (Yoon, 2014)에서 사용한 기준점을 적용하였다.

본 연구에서 사용한 14개 지표는 그동안 우리나라에서 생태계 기반 자원평가에 관한 연구 (Zhang et al., 2010; Seo, 2011; Lee, 2014; Yoon, 2014) 등에서 제시했던 각 지표별 중요도 중에서 매우 중요, 중요 수준의 지표는 모두 선택하여 포함시켰고, 나머지 선택 지표는 자료의 충분성과 수준에 따라 선택하여 사용하였다.

위험도를 평가할 때 Table 5에 제시된 바와 같이 지속성 유지 목표의 지표는 어획사망계수 (어획노력량)를 제외한 모든 지표가 중 수준의 지표여서 각 종마다 해당종의 특성에 따라 위험도를 각각 평가하였고, 생물다양성 유지, 사회경제적 혜택 목표의 각 지표는 모두 어업 수준의 지표여서 동일한 어업의 평가 대상중에 대해서는 동일한 위험도로 평가하였다. 서식처 보존 목표의 지표 중 서식처 훼손율의 경우, 잠수기어업의 특성을 고려하였는데 분사기를 사용하여 채취하는 개조개와 맨손으로 직접 채취하는 키조개, 그리고 호미를 사용하여 채취하는 바지락으로 구분하여 평가하였다.

Table 5. Objectives and indicators for the tier 1 ecosystem-based fisheries assessment in this study

Objectives	Attributes	No.	Indicator	Weighted value	
Sustainability	Biomass	S-1	Biomass (B) or Catch per unit effort (CPUE)	***	s
	Fishing intensity	S-2	Fishing mortality (F) or fishing effort (E)	**	f
	Size at first capture	S-3	Age (length) at first capture (t_c or L_{opt})	***	s
	Reproductive potential	S-4	Rate of mature fish (MR)	**	s
Biodiversity	Total bycatch	B-1	Bycatch rate (BC/C)	**	f
	Total discards	B-2	Discards rate (D/C)	**	f
	Diversity	B-3	Diversity index (DI)	**	f
Habitat	Habitat damage	H-1	Critical habitat damage (DH/H)	**	f
		H-2	Pollution rate of spawning and nursery ground (PG/G)	**	f
	Discarded wastes	H-3	Discarded wastes	*	f
Socio-economic benefit	Income	E-1	Income per fisherman (IPF)	**	f
	Profitability	E-2	Ratio of profit to cost (RPC)	*	f
	Employment	E-3	Employment rate (ER)	*	f

2.1.4. 지표별 기준점 설정

Tier 1의 목표별 기준점 설정

가. 지속성 (Sustainability)

(1) 자원량 또는 CPUE

자원량 지표의 목표 및 한계기준점은 식 (1) 및 (2)와 같이 설정하였으며, 목표 및 한계기준점인 $B_{x\%}$ 추정을 위해서는 식 (3)을 사용하였다 (Zhang et al., 2010).

$$\text{Target} : B_{\text{MSY}} = B_{40\%} \text{-----} (1)$$

$$\text{Limit} : \frac{1}{2} B_{\text{MSY}} = B_{20\%} \text{-----} (2)$$

$$B_{x\%} = B_{\text{current}} \times \frac{(SB/R)_{F_{x\%}}}{(SB/R)_{F_{\text{current}}}} \text{-----} (3)$$

여기서 B_{MSY} 는 최대지속적생산량 (MSY)시의 자원량 (B)이며, B_{current} 는 현재의 자원량, SB는 산란자원량 (Spawning biomass, SB), R은 가입량 (Recruitment, R), F_{current} 는 현재의 어획사망계수이다. 현재의 어획사망계수 일때의 가입당산란자원량 (SB/R)과 $F_{x\%}$ ($F_{20\%}$ 또는 $F_{40\%}$)일때의 산란자원량의 비를 현재의 자원량에 곱하여 $B_{x\%}$ 를 추정하였다.

목표기준점 B_{MSY} 를 추정하기 위해 $B_{40\%}$ 를, 한계기준점 $1/2B_{\text{MSY}}$ 를 추정하기 위해 $B_{20\%}$ 를 사용하였다. 자원량의 자료를 사용할 수 없을 경우 단위노력당 어획량 (CPUE) 지표를 사용하여 자원량을 평가하였다. CPUE의 경우 목표기준점은 CPUE_{MSY} 를, 한계기준점은 $1/2\text{CPUE}_{\text{MSY}}$ 로 설정하였다.

(2) 어획사망계수 또는 어획량

잠수기어업의 MSY를 추정하기 위해 잉여생산량 모델 중 Schaefer (1954) 모델을 이용하여 추정하였다. 어종별 MSY를 추정하여 평가에 이용하였다. 어획량 지표의 목표기준점은 MSY를 기준으로 설정하였고, 한계기준점은 2MSY 수준으로 설정하였다.

(3) 적정어획개시연령 또는 체장

적정어획개시연령 지표의 목표기준점은 t_c (or L_{opt}), 한계기준점은 t_c (or L_{opt})의 90% 수준으로 설정하였다. 적정어획개시체장은 어종별 측정한 체장 자료를 연령과 성장식으로부터 연령별 개체수를 추정하여 연령별 개체수 비율을 이용하여 추정하였다.

(4) 성어 비율 (Rate of mature fish, MR)

성어 자원들이 재생산에 참여할 수 있는 가능성을 나타내는 성어비율은 (4)와 같이 계산하였다 (Zhang et al., 2010).

$$MR_v = \frac{\sum_{t=t_c}^{t_\lambda} m_t \cdot N_t \cdot W_t}{\sum_{t=t_c}^{t_\lambda} N_t \cdot W_t} \quad (4)$$

여기서, $N_t = N_0 e^{-Mt}$, $W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3$, $m_t = \frac{1}{1 + e^{a-bt}}$ 이다. 성어비율을 추정하는 기준년도는 처녀자원상태를 기준으로 설정하여, 목표기준점은 성어비율을 40%, 한계기준점은 20%로 설정하였다.

나. 생물다양성 (Biodiversity)

(1) 혼획율 (Bycatch, BC/C)

혼획율 지표의 목표 및 한계기준점 설정시 먼저 혼획의 기준을 설정하여 혼획종을 선정하였다. 혼획의 기준은 우리나라와 같이 어획시기에 따라 주 어획대상어종이 변하는 다종어업의 형태에서는 그 기준을 정의하기가 매우 어렵다. 본 연구에서 혼획의 기준은 어업별 어획량 중에서 목표어종을 제외한 나머지 어종을 혼획종으로 정의하였다. 혼획율 지표의 목표 및 한계기준점은 분석기간 중 기준년도를 기준으로 5개년의 평균 혼획율을 한계기준점으로 설정하고 한계 기준점의 절반 수준을 목표 기준점으로 설정하였다.

(2) 폐기율 (Discard rate, D/C)

폐기율 지표의 목표 및 한계기준점은 Seo (2011)가 제시한 방법을 적용하였는데, 폐기율의 기준을 어획통계상 기타 어획물로 분류되는 어획물 중 1%를 폐기량으로 간주하였으며, 한계기준점을 분석기간 중 기준년도를 기준으로 5년간의 평균값으로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준으로 설정하였다.

(3) 종다양성 지수 (Diversity index, DI)

종다양성 지수의 경우 Shannon and Wiener (1963)의 종다양도 지수를 아래의 식 (5)을 이용하여 추정하였다.

$$DI = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i \text{-----} (5)$$

여기서 N은 어류 총 개체수, P_i 는 i 번째 종의 점유율이다. 종다양도 지수의 목표기준점은 평가기간 안의 최대값과 최소값을 고려하여 식 (6)과 같

이 설정하였고, 한계기준점의 경우 식 (7)와 같이 설정하였다.

$$DI_{\text{target}} : DI_{\text{first year}} - 0.1 \times (DI_{\text{max(study period)}} - DI_{\text{min(study period)}}) \text{-----} (6)$$

$$DI_{\text{limit}} : DI_{\text{first year}} - 0.2 \times (DI_{\text{max(study period)}} - DI_{\text{min(study period)}}) \text{-----} (7)$$

여기서 DI_{max} (study period)는 마지막 년도의 종다양성 지수이며, DI_{min} (study period)는 시작년도의 종 다양성 지수이다.

다. 서식처 (Habitat)

(1) 서식처 훼손율 (Critical habitat damage rate, DH/H)

서식처 훼손율 추정은 Yoon (2014)과 Lee (2014)의 논문에서 제시한 기준을 적용하여 평가하였다.

(2) 산란장 및 성육장의 오염도 (Pollution rate of spawning and nursery ground, PG/G)

산란장과 성육장 내 오염율은 국립수산물과학원에서 매년 우리나라 전 연안에 대해 격월로 연 6회 조사하여 발간하는 한국연안 어장환경 조사연구의 수질등급 (WQI) 자료를 사용하였다. 목표기준점은 수질등급 5등급 중에서 I등급으로 설정하였고, 한계기준점은 보통수준인 III등급을 설정하여 평가하였다 (국립수산물과학원, 2012~2016).

(3) 해양폐기물 (Discard waste, DW)

해양폐기물 지표는 해당생태계에 산재해 있는 해양폐기물의 양을 통해 평가하였다. 한계기준점은 남해 전체 폐기물의 평균값으로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준으로 설정하였다. 해양폐기물 자료는

해양수산부에서 제공하는 해양쓰레기통합시스템 (www.malic.or.kr)의 연도별 지역별 해양폐기물 수거량 자료를 사용하였다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

(1) 평균 임금 (Income per person employed, IPPE)

평균 임금의 경우 흔히 어업임금을 도시가구월평균소득 (Urban income per person employed, UIPPE)과 비교하여 평가하는 것이 일반적이므로 목표 기준점은 도시가구월평균소득 (UIPPE)으로 하였다. 한계기준점은 최저생계비소득 (Lowest income per person employed, LIPPE)을 기준으로 설정하였다.

(2) 수지비율 (Ratio of cost to sales, RCS)

수지비율은 잠수기어업의 매출액 대비 비용의 비율을 산정하는 것으로 목표기준점은 잠수기어업의 매출액 대비 비용의 평균값 (URCS)을 설정하였고, 한계기준점은 평가 기간의 최소값으로 설정하였다.

(3) 고용률 (Employment rate, ER)

고용율의 목표기준점은 우리나라 전체 산업의 연평균 고용증가율로 설정하였고, 한계기준점은 연평균 고용증가율의 절반수준으로 설정하였다.

Tier 2의 목표별 위험도 평가

Tier 2의 방법을 이용한 생태계 기반 자원평가는 Yoon (2014)과 Lee (2014)가 제시한 7단계 등급에 해당하는 비율 값과 비교하여 지표별 위험도를 평가하였다.

가. 지속성 (Sustainability)

(1) 자원량 (단위노력당 어획량, CPUE)

단위노력당 어획량 (CPUE) 지표를 사용하여 자원량 지수를 평가하였다. 평가 대상 기간 동안 평균 CPUE에 대한 평가 연도 CPUE와 비율을 이용하여 위험도를 평가하였다.

(2) 어획사망계수 (어획노력량)

어획노력량은 평가 대상 기간 동안의 평균 어획노력량 (어선척수)에 대한 평가 연도의 어획노력량의 비율을 이용하여 위험도를 평가하였다.

(3) 적정어획체장 (L_{opt})

어종별 50% 군성숙체장 ($L_{50\%}$)을 적정어획체장으로 간주하여 분석하였고, 어획개시체장은 어획물의 어종별 체장 자료 중에서 가장 작은 체장으로부터 누적 10%에 해당되는 체장을 어획개시체장으로 간주하여 위험도를 평가하였다.

(4) 성어 비율 (Rate of mature fish, MR)

평가 대상종의 50% 군성숙체장에 대해 어종별 체장자료를 이용하여 성어비율을 추정하였고, 어종별 산란기간과 산란기간에 어획한 어획물의 비율을 이용하여 위험도를 평가하였다.

나. 생물다양성 (Biodiversity)

(1) 혼획률 (Bycatch, BC/C)

혼획의 기준은 tier 1에서와 동일하게 정의하여 사용하였다. 다만 tier 2

에서는 개조개, 키조개, 바지락, 우렁쉥이, 해삼의 어획량을 제외한 나머지 어획량을 혼획량으로 간주하였다. 2012~2016년 간 평균 혼획율을 추정 한 후 7단계 등급에 해당하는 위험도를 선택하였다.

(2) 폐기율 (Discard rate, D/C)

폐기율은 FAO (2005)에서 제시한 잠수기어업의 폐기율 0~1% 값과 설문 조사의 자료를 이용하여 위험도를 평가하였다.

(3) 종다양성 지수 (Diversity index, DI)

종다양성 지수는 평가 대상 기간의 평균 어종수에 대한 평가 연도의 어 종수의 비율과 설문조사의 자료를 이용하여 위험도를 평가하였다.

다. 서식처 (Habitat)

(1) 서식처 훼손율 (Critical habitat damage rate, DH/H)

서식처 훼손율은 Yoon (2014)과 Lee (2014)의 논문에서의 기준을 이용 하였다. 잠수기어업의 분사기 어구의 특성이 서식처에 영향을 미치는 어구 별 특성과 비교하여 해당하는 위험도를 선택하였다.

(2) 산란장 및 성육장의 오염도 (Pollution rate of spawning and nursery ground, PG/G)

산란장 및 성육장의 오염도는 남해 생태계 내 해양쓰레기의 수거량과도 높은 수준의 관계가 있다. 또한 잠수기어업에 의한 산란장과 성육장의 오염도 정보의 유무에 따라 위험도를 평가하였다.

(3) 해양폐기물 (Discard waste, DW)

잠수기어업에 의해 바다에 버려지는 해양쓰레기 또는 폐기량에 대한 정보가 없어 경남 및 전남 잠수기어업에 종사하는 어업인을 대상으로 한 설문조사 결과를 이용하여 위험도를 평가하였다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

(1) 평균 임금 (Income per person employed, IPPE)

잠수기어업의 평균 임금은 어업임금을 도시가구월평균소득 (Urban income per person employed, UIPPE)과의 비율에 따라 위험도를 평가하였다.

(2) 수지비율 (Ratio of cost to sales, RCS)

잠수기어업의 연도별 위판액 자료와 잠수기어업인을 대상으로 한 설문조사의 비용 관련 자료를 이용하여 위험도를 평가하였다.

(3) 고용률 (Employment rate, ER)

고용율은 평가 대상 기간 동안 잠수기어업의 조업고용지수 (조업인원수 × 실제 조업일수)의 비율을 이용하여 위험도를 평가하였다.

2.1.5. 모델의 검정

생태계 기반 자원평가에서 정성적 분석 모델 (tier 2)은 이용 가능한 정보의 수준이 낮을 때 사용되는 방법으로 분석 결과에 대한 타당성이 입증되어야 한다 (Park, 2013). 이를 입증하기 위해서는 동일한 어종에 대해 정량적 분석 모델 (tier 1)에 의한 각 지표별 위험도와 정성적 분석 모델 (tier 2)에 의한 각 지표별 위험도를 비교하여 두 모델에 의해 추정된 위험도의 동일성 여부를 검토하였다.

본 연구에서는 잠수기어업의 주요 대상종인 개조개, 키조개, 바지락에 대해 각각 정량적 분석 모델과 정성적 분석 모델을 적용하여 각 지표별 위험도 (RS)를 추정하고, 그 결과를 서로 비교하여 위험도의 타당성을 검토하였다.

정량적 분석 모델의 지표별 기준점은 정성적 분석 모델과 동일하게 지속성 유지, 생물다양성 유지, 서식처 보존 및 사회경제적 혜택 등 4개의 목표 하에 14개 지표를 사용하였고, 각 지표별 위험도 추정을 위한 기준점과 추정방법은 Yoon (2014)을 참고하였다.

정량적 분석 모델에 의해 추정된 위험도와 정성적 분석 모델에 의해 추정된 위험도에 대해 비모수검정법인 Wilcoxon test (윌콕슨순위합검정)를 통해 각각의 모델에 의해 추정된 위험도의 동질성을 통계적으로 검정하고, 통계적 검정결과 위험도 추정치가 다르다 (귀무가설 (H_0) 기각)는 결론이 내려지면 위험도가 다르게 추정된 원인을 분석하고, 해당 지표의 위험도를 검토하고 수정하여 다시 통계검정을 다시 수행하였다 (Fig. 4).

Wilcoxon test의 통계검증 절차는 먼저 귀무가설은 정량적 분석결과에 의한 위험도와 정성적 분석 결과에 의한 위험도는 같다고 설정하고, 정량적 분석 모델에 의한 지표위험도 (RS)와 정성적 분석 지표위험도 (RS)의 차이를 구하고, 차이값에 대한 순위를 매겼다. 순위에 따라, 차이가 양이 되는 T_+ 의 합계와 차이가 음이 되는 T_- 의 합계를 추정한 다음, T_+ 값과 T_- 값 중 더 작은값을 해당 샘플수에 대한 통계치와 비교하여 T_+ 값과 T_- 값 중 더 작은값이 해당 표본개수의 통계치보다 크면 귀무가설을 채택하고, 반대의 경우는 귀무가설을 기각하게 된다 (Zar, 1999). 본 연구에서는 정량적 분석 모델과 정성적 분석 모델에 의해 추정된 지표별 위험도를 어종별, 목표별로 나누어 추정된 각 모델별 지표값의 동질성을 통계적으로 검정하였다.

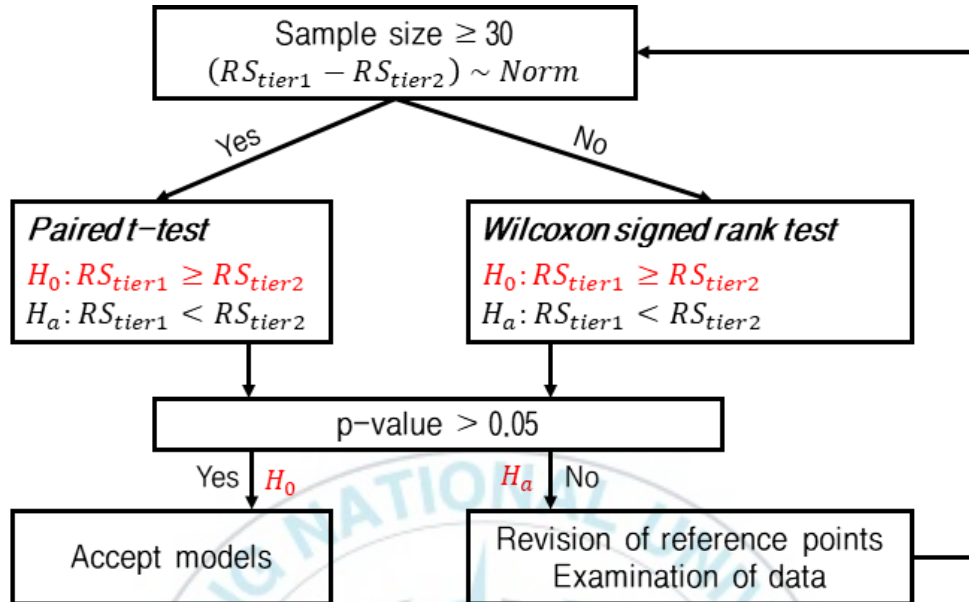


Fig. 4. Flowchart for testing on comparison of risk score (RS) estimated from tier 1 and tier 2 ecosystem based fisheries assessment approaches in this study.

2.1.6. 위험도 지수 추정

목표 위험도 지수 (ORI, Objective Risk Index)는 지표별 위험도 지수와 지표별 가중치를 가중평균하여 식 (8)과 같이 추정하였고, 종위험도지수 (SRI, Species Risk Index)는 식 (9)를 사용하여 추정하였고, 어업위험도지수 (FRI, Fisheries Risk Index)는 식 (10)을 사용하여 추정하였다 (Zhang et al., 2010).

$$ORI = \frac{\sum_{i=1}^n RS_i \cdot W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \text{-----} (8)$$

여기서, RS_i 는 지표 i 의 위험도, W_i 는 지표 i 의 가중치이며 n 은 지표 개수이다.

$$SRI = \lambda_S ORI_S + \lambda_B ORI_B + \lambda_H ORI_H + \lambda_{SE} ORI_{SE} \text{-----} (9)$$

여기서, λ 는 목표별 가중치, ORI는 목표위험도 지수이다. 본 연구에서 목표별 가중치는 목표별 지표의 중요도의 비율만큼 가중치를 고려하여 (Table 5) $\lambda_S=0.40$, $\lambda_B=0.24$, $\lambda_H=0.20$, $\lambda_E=0.16$ 로 가중치를 부여하였다.

$$FRI = \frac{\sum CPUE_i \cdot SRI_i}{\sum CPUE_i} \text{-----} (10)$$

여기서, $CPUE_i$ 는 평가대상종의 CPUE, SRI_i 는 평가 대상종의 종위험도 지수이다.

2.2 자료

2.2.1. Tier 1 정량적 평가를 위한 자료

가. 지속성 (Sustainability)

남해 잠수기어업의 어획량 자료는 통계청에서 집계한 수산통계 자료 (KOSIS, 2012~2016)와 수산자원조사원이 현장에서 수집한 자료를 이용하였다. 잠수기어업의 CPUE 추정을 위해 어선척수 자료는 해양수산부에서 제공하는 허가척수 통계자료를 사용하였다 (MOF, 2012~2016).

나. 생물다양성 (Biodiversity)

잠수기어업의 혼획율, 종다양도 지수 추정을 위한 자료는 통계청 자료의 연도별 어종별 어획량 자료를 이용하였고, 폐기량은 잠수기어업의 어업인 설문조사 자료를 사용하였다.

다. 서식처 (Habitat)

서식처 훼손율, 산란장과 성육장 내 오염율, 쓰레기 폐기량 자료는 잠수기어업의 어업인으로부터 설문조사한 자료를 이용하였다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

사회경제적 혜택 목표의 각 지표인 어업인 당 소득 지표를 평가하기 위한 자료는 도시가구 4인기준 월평균소득 (KOSIS, 2016) 자료와 수협 수산경제연구원에서 매년 발간하는 보고서에서 제공하는 잠수기어업인 평균 소득 자료를 사용하였다. 비용 당 이윤비 자료는 수협 산하 연구소인 수협수산경제연구원에서 매년 발간하는 어업경영조사 보고서의 자산, 부채, 손익상황 자료와 어업인 설문조사로부터 수집한 비용자료를 사용하였다. 고

용을 자료는 해당 잠수기어업의 연도별 허가척수자료와 설문조사로부터 파악한 해당어업의 조업인원수 자료 등을 사용하여 분석하였다.

2.2.2. Tier 2 정성적 평가를 위한 자료

생태계 기반 자원평가를 위해서는 각 지표별로 많은 자료가 필요한데, 현재 이를 위한 자료 수집체계가 갖춰져 있지 않아, 기존에 수집된 정보만으로는 평가에 사용할 자료가 없는 경우가 많았다. 따라서, 정보 수집을 위해 설문지를 작성하였고, 경남 및 전남 잠수기어업의 어업인들을 직접 대면하여 각 항목들에 대한 내용을 질문하고, 이를 설문지에 기록하는 방식으로 조사를 진행하였으며, 대면 조사가 불가능한 경우에는 해당 어업인에게 전화로 설문지 상의 해당 항목에 대한 내용을 기록하는 청취조사를 실시하였다 (Appendix 1). 청취조사 대상어업 표본의 신뢰성을 높이기 위하여 각 지역별 잠수기어업 자율관리공동체 협회장을 통해 어업인들에게 조사의 목적을 설명하고 설문지의 해당 정보를 수집하였다. 설문조사에 참여한 남해안 잠수기어업 어업인 수는 경남 31명, 전남 32명으로 총 63명이었다.

3. 결과

3.1. 지표별 위험도 평가

3.1.1. 정량적 분석 모델 (Tier 1)에 의한 평가

정량적 분석 모델 (tier 1)에 의해 추정된 남해안 잠수기어업의 개조개, 키조개, 바지락의 지표별 위험도는 Table 6과 같다.

가. 지속성 (Sustainability)

(1) 자원량 또는 CPUE

2012~2016년 동안 남해안 잠수기어업에서 어획되는 개조개개의 경우 연도별 자원량과 가입당 산란자원량을 추정하였다. 개조개 자원량에 대한 목표기준점인 $B_{40\%}$ 는 5,486톤이었고, 한계기준점 $B_{20\%}$ 는 2,743톤으로 추정되어 위험도는 1.2로 평가되었다.

키조개와 바지락은 어획량과 노력량 (허가척수)으로부터 CPUE를 추정하였고, Schaefer (1954) 모델을 이용하여 어종별 MSY와 MSY 시 어획노력량 (f_{MSY})를 각각 추정하였다. 키조개의 $CPUE_{MSY}$ 12.9톤/척을 목표기준점으로 설정하고, $1/2CPUE_{MSY}$ 인 6.4톤/척을 한계기준점으로 설정하였으며, 2016년 CPUE는 7.4톤/척으로 위험도는 2.4로 평가되었다.

바지락의 $CPUE_{MSY}$ 17.5톤/척을 목표기준점으로 설정하고, $1/2CPUE_{MSY}$ 인 8.8톤/척을 한계기준점으로 설정하였으며, 2016년 CPUE는 10.5톤/척으로 위험도는 2.6으로 평가되었다.

(2) 어획사망계수 또는 어획노력량

Schaefer (1954) 모델로 추정된 잠수기어업 개조개의 MSY 시의 어획노

Table 6. Risk scores (RS) of tier 1 ecosystem-based fisheries assessment approach for the diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	RS of tier 1 EBFA		
		PWS	PS	SNC
Sustainability	B (CPUE)	1.2	2.4	2.6
	F (E)	1.8	1.6	1.8
	tc (L_{opt})	0.8	3.0	2.6
	MR	0.0	0.1	0.0
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5	1.5
	D/C	1.1	1.1	1.1
	DI	1.8	1.8	1.8
Habitat	DH/H	3.0	0.0	0.0
	PG/G	1.9	1.9	1.9
	DW	2.4	2.4	2.4
Socio-economic benefit	IPF	2.1	2.1	2.1
	RPC	1.8	1.8	1.8
	ER	3.0	3.0	3.0

PWC : Purpulish Washington clam, PS : Pen shell, SNC : Short necked clam

력량(f_{MSY}) 89척을 목표기준점으로 설정하였고, $2f_{MSY}$ 인 178척을 한계기준점으로 설정한 결과 2016년 잠수기어업 조업척수는 178척으로 위험도는 1.8로 평가되었다. 키조개의 MSY 시 어획노력량(f_{MSY}) 109척을 목표기준점으로 설정하였고, $2f_{MSY}$ 인 218척을 한계기준점으로 설정한 결과 2016년 잠수기어업 조업척수는 178척으로 위험도는 1.6으로 평가되었다. 바지락의 MSY 시 어획노력량(f_{MSY}) 97척을 목표기준점으로 설정하였고, $2f_{MSY}$ 인 194척을 한계기준점으로 설정한 결과 위험도는 1.8로 평가되었다.

(3) 어획개시연령 (어획개시체장)

개조개 어획개시체장 지표의 목표기준점은 개조개의 50% 군성숙각장 ($SL_{50\%}$)인 71.9mm (Kim et al., 2010)로 설정하였고, 한계기준점은 $0.9SL_{50\%}$ 인 64.7mm로 설정하였으며, 2016년 잠수기어업의 개조개 어획개시연령을 체장으로 환산한 어획개시체장은 73.2mm로 위험도는 0.8로 평가되었다. 키조개의 목표기준점은 50% 군성숙각장 23.6cm (NFRDI, 2015)로 설정하였고, 한계기준점은 $0.9SL_{50\%}$ 인 21.2cm로 설정하였으며, 2016년 키조개의 어획개시체장은 18.9cm로 위험도는 3.0으로 평가되었다. 바지락의 목표기준점은 50% 군성숙체장인 17.8mm (Choi et al., 2005)로 설정하였고, 한계기준점은 $0.9SL_{50\%}$ 인 16.1mm로 설정하였으며, 바지락의 어획개시체장은 15.0mm로 위험도는 2.6으로 평가되었다.

(4) 성어 비율

남해안 잠수기어업의 개조개의 성어 비율은 2016년 체장, 체중 자료와 Kim et al. (2003)의 생태학적 특성치를 이용하여 분석하였다. 목표기준점은 성어 비율의 40%로 설정하였고, 한계기준점은 성어 비율의 절반 수준인 20%로 설정하였다. 2016년 개조개의 $MR_{40\%}$ 는 0.345, $MR_{20\%}$ 는 0.172로 추정

되었으며, 2016년 개조개의 성어 비율은 90%로 위험도는 0.0으로 평가되었다. 키조개의 목표기준점과 한계기준점은 개조개와 동일하게 설정하였고, $MR_{40\%}$ 는 0.329, $MR_{20\%}$ 는 0.165, 2016년 키조개의 50% 군성숙각장 23.6cm 이상의 성어 비율은 48%로 위험도는 0.1로 평가되었다. 바지락의 목표기준점과 한계기준점은 개조개 및 키조개와 동일하게 설정하였고, $MR_{40\%}$ 는 0.332, $MR_{20\%}$ 는 0.166바지락의 성어 비율은 91%로 위험도는 0.0으로 평가되었다.

나. 생물다양성 (Biodiversity)

(1) 혼획률

혼획율 지표는 잠수기어업의 어종별 어획량에서 평가 대상종인 개조개, 키조개, 바지락을 제외하고 2012~2016년 간 어종별 어획량의 합을 혼획률로 정의하여 평가하였다.

개조개, 키조개, 바지락의 혼획률을 추정하기 위해서 2012~2016년까지의 남해안 잠수기어업의 연도별 어종별 어획량 자료를 활용하여 분석 대상종인 개조개, 키조개, 바지락을 제외한 나머지 어종들의 어획량의 합을 잠수기어업의 혼획률로 간주하였다. 2012년부터 2016년까지의 잠수기어업의 평균 혼획율 26.1%를 한계기준점으로 설정하였고, 평균 혼획률의 절반인 13.0%를 목표기준점으로 설정하였으며, 2016년 혼획률 19.2%로부터 위험도는 1.5로 평가되었다.

(2) 폐기량

우리나라의 경우 어업별 폐기량의 기준이 없어 FAO (2005)에서 제시한 잠수기어업의 폐기율 0~1%를 한계기준점으로 설정하였고, 목표기준점은 한계기준점의 절반으로 설정하여 사용하고 있다. 본 연구에서는 Seo (2011)가 제시한 방법을 적용하여 이용하였다. 기타어획물의 1%를 폐기량으로 가정

하였고, 2016년 폐기량 비율은 기타어획물 58톤의 1%에 해당하는 0.58톤이었다. 2012~2016년 간 평균 폐기율 1.1톤을 한계기준점으로 설정하였으며, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준인 0.5톤을 설정한 결과 위험도는 1.1로 평가되었다.

(3) 종다양도 지수

남해안 잠수기어업의 종다양도 지수는 Zhang et al. (2010)이 제시한 방법에 따라 2012~2016년의 어종별 어획량 자료를 사용하여 연도별 종다양도지수를 추정한 결과 각각 1.8, 1.7, 2.0, 1.7, 1.7이었다. 목표기준점은 1.2로 추정되었고, 한계기준점은 1.8로 추정되었으며, 2016년 종다양도 지수 1.7로부터 위험도는 1.8로 평가되었다.

다. 서식처 (Habitat)

(1) 서식처 훼손율

잠수기어업의 서식처 훼손율 지표의 기준점은 Zhang et al. (2010)과 Yoon (2014)에서 제시된 방법을 사용하였다. 잠수기어업의 어구 특성상 서식처에 영향이 모든 부분에 있는 어구(저층트롤, 형망, 분사식어구 등)에 해당되어 위험도는 3.0으로 평가되었다. 그러나 잠수기어업의 대상 어종별로 포획하는 방법이 서로 다르다. 개조개는 분사기를 사용하여 채취하기에 분사기가 서식처에 영향을 미치기 때문에 위험도는 3.0으로 평가되었고, 키조개의 경우 분사기를 사용하지 않고 맨손으로 채취하기에 위험도는 0.0, 바지락 역시 분사기를 사용하지 않고 호미를 이용하여 채취하기에 서식처 훼손율이 극히 적다고 판단하여 위험도는 0.0으로 평가되었다.

(2) 산란장과 성육장 내 오염물

산란장과 성육장 내 오염물을 평가하기 위해 잠수기어업의 대상생물이 서식하는 저서 또는 저층의 어장환경 자료가 필요하다. 국립수산물과학원은 매년 우리나라 전 연안을 대상으로 표층과 저층의 해수를 채취하여 용존산소, 포화도, 용존무기영양염 (DIN, DIP), 클로로필-a, 투명도 등 다양한 항목을 종합 분석하여 해역별 수질등급 (WQI)을 보고한다. 목표기준점은 수질등급 1등급의 평균 점수인 17점을 설정하였고, 한계기준점은 목표기준점의 2배인 34점을 설정하였다. 2016년 남해안 71개 정점의 평균 수질등급 점수는 31.5로 추정되어 위험도는 1.9로 평가되었다.

(3) 쓰레기 폐기량

잠수기어업이 이뤄지는 남해안 생태계의 정확한 평가를 위해 우리나라 해양쓰레기통합정보시스템 (www.malic.or.kr)에서 제공하는 연도별 지역별 해양쓰레기 수거량 자료를 활용하였다. 2012~2016년 동안 경남과 전남 연안에서 수거한 평균 해양쓰레기 657톤을 한계기준점으로 설정하고, 한계기준점의 절반 수준을 목표기준점으로 설정한 결과, 2016년 수거한 해양쓰레기 802톤을 평가한 결과 위험도는 2.4로 추정되었다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

(1) 어업인 당 소득 (IPPE, Income per person employed)

남해안 잠수기어업의 어업인 당 소득 지표를 평가하기 위하여 우리나라 도시 가구의 월평균 소득 자료 (KOSIS, 2016)로부터 도시가구의 월평균소득은 560만원으로 조사되어 이를 목표기준점으로 설정하였고, 한계기준점은 2016년 도시가구 월평균소득의 50%인 280만원으로 설정하였다. 수협 수산경제연구원에서 매년 발간하는 우리나라 어업별 어업경영 보고서에서 잠

수기어업의 경영자료를 이용한 결과 1인당 평균 월소득 247만원으로부터 위험도는 2.1로 평가되었다.

(2) 판매이윤비 (RPS, Ratio of profit to sale)

잠수기어업 경영상태의 위험도를 평가하기 위해 Kim and Kim (2011)에 따라 수지비율을 이용하여 분석하였다. 수협수산경제연구원에서 보고하는 어업경영보고서의 2012~2016년 간 잠수기어업의 총비용자료와 이윤 (어업 순혜택) 자료를 수집하였다. 2012~2016년 간 잠수기어업의 비용 당 이윤비의 평균값인 0.4를 목표기준점으로 설정하였고, 한계기준점은 같은 기간 동안 최소값인 0.3으로 설정하였으며, 2016년 수지비율인 0.3으로부터 위험도는 1.8로 평가되었다.

(3) 고용률

잠수기어업의 고용율은 연도별 척수와 평균 승선인원 3~4명으로부터 고용율을 추정하였다. 2012~2016년 간 고용 증가율은 각각 1.7, -1.1%, 4.4%, -7.4%, 1.1%로 추정되었다. 우리나라 고용 증가율은 2012~2016년 간 연령별 경제활동 인구 총괄 자료 (KOSIS, 2016)를 이용하여 산출한 고용 증가율은 0.5%, 0.4%, 1.2%, 0%, 0.2%였다. 목표기준점은 2012~2016년 간 우리나라 평균 고용증가율인 0.4%로 설정하였고, 한계기준점은 목표기준점의 절반인 0.2%로 설정하였으며, 2016년 잠수기어업의 평균 고용율인 -2.5%로부터 위험도는 3.0으로 평가되었다.

3.1.2. 정성적 분석 모델 (Tier 2)에 의한 평가

잠수기어업에서 어획되는 개조개, 키조개, 바지락의 정성적 분석 모델 (tier 2)에 의해 추정된 지표별 위험도는 Table 7과 같다.

Table 7. Risk scores (RS) of tier 2 ecosystem-based fisheries assessment approach for the diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	RS of tier 2 EBFA		
		PWC	PS	SNC
Sustainability	B (CPUE)	1.5	2.5	1.0
	F (E)	3.0	3.0	3.0
	tc (L_{opt})	3.0	3.0	3.0
	MR	1.5	0.5	1.5
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5	1.5
	D/C	1.5	1.5	1.5
	DI	2.0	2.0	2.0
Habitat	DH/H	3.0	0.0	0.0
	PG/G	3.0	3.0	3.0
	DW	3.0	3.0	3.0
Socio-economic benefit	IPF	2.5	2.5	2.5
	RPC	2.5	2.5	2.5
	ER	2.5	2.5	2.5

PWC : Purpulish Washington clam, PS : Pen shell, SNC : Short necked clam

가. 지속성 (Sustainability)

(1) 자원량 (단위노력당 어획량)

2012년부터 2016년까지 잠수기어업에서 어획된 개조개의 평균 CPUE는 9.2톤/척이었고, 2016년 CPUE는 9.0톤/척으로 평균 CPUE에 비해 2.13% 감소하여 단위노력당 어획량 지표의 기준점인 CPUE 자료가 있으나, 현재 CPUE가 x년 간 평균 CPUE에 비해 약간 감소함에 따라 위험도는 1.5으로 평가되었다.

2012년부터 2016년까지 잠수기어업에서 어획된 키조개의 평균 CPUE는 8.3톤/척이었고, 2016년 CPUE는 7.4톤/척으로 평균 CPUE에 비해 10.0% 감소하였다. Table 6에 제시된 단위노력당 어획량 지표의 기준점인 CPUE 자료가 있으나, 현재 CPUE가 x년 간 평균 CPUE보다 약간 작아짐에 따라 위험도는 2.5으로 평가되었다.

2012년부터 2016년까지 잠수기어업에서 어획된 바지락의 평균 CPUE는 6.3톤/척이었고, 2016년 CPUE는 10.5톤/척으로 평균 CPUE에 비해 66.1% 증가하여 단위노력당 어획량 지표의 기준점인 CPUE 자료가 있으나, 현재 CPUE가 x년 간 평균 CPUE보다 약간 크게 증가하여 위험도는 1.0으로 평가되었다.

(2) 어획노력량

2012년부터 2016년까지 남해안 잠수기어업의 어획노력량인 평균 조업척수 (노력량, Effort)는 182척이었고, 2016년 조업척수는 178척으로 2.2% 감소한 것으로 나타났으나, 잠수기어업의 남해안 허가척수 (허가정수)는 132척이지만 2016년 잠수기어선 수는 178척으로 35% 증가하였으나 현재 허가정수를 초과한 상태이다. 따라서 어획노력량의 질적 수준을 고려할 때 허가정수를 초과하였기에 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(3) 어획개시연령 (어획개시체장)

남해안 잠수기어업에서 어획된 개조개의 어획개시체장은 73.2mm였고, 개조개의 50% 군성숙체장 73.6mm보다 27% 감소한 수준이었다. 개조개의 경우, 포획금지 체장이 설정되어 있지 않아 위험도는 3.0으로 평가되었다.

2016년 키조개의 어획개시체장은 18.9cm였고, 키조개의 50% 군성숙체장은 23.6cm였으며, 어획개시체장은 50% 군성숙체장에 비해 20% 작은 수준으로 나타났다. 하지만 키조개 역시 개조개와 마찬가지로 포획금지 체장이 설정되어 있지 않아 위험도는 3.0으로 평가되었다.

2016년 바지락의 어획개시체장은 10.5mm였고, 바지락의 50% 군성숙체장은 17.8mm으로 어획개시체장은 50% 군성숙체장에 비해 41% 작은 수준이었다. 바지락 또한 현재 포획금지 체장이 설정되어 있지 않아 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(4) 성어 비율

남해안에 서식하는 개조개의 산란기는 5~11월이고, 2012~2016년 동안 남해 잠수기어업에서 어획된 개조개의 월별 평균 어획량에서 개조개 산란기에 해당하는 5~11월의 평균 어획비율은 52%로 추정되어 위험도 평가 기준 범위 (Range)에서 40~60% 범위에 해당되고 이는 양 (abundance) 항목의 상당부분 또는 보통 항목에 해당되었으므로, 성어 비율의 기준점인 산란기에 어획이 상당부분 이루어짐으로 판단되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

키조개의 산란기는 6~7월이고, 2012~2016년 간 남해안 잠수기어업에서 어획된 키조개의 월별 평균 어획량에서 키조개의 산란기에 해당하는 6~7월 간 어획비율의 합계는 8%로 추정되어 위험도 평가 기준 범위

(Range)에서 5~20% 범위에 해당되고 양 (abundance) 항목의 일부분 항목에 해당되었으므로, 성어 비율의 기준점인 산란기에 어획이 일부분 이루어짐으로 판단되어 위험도는 0.5로 평가되었다.

바지락의 산란기는 5~6월이고, 2012~2016년 간 남해안 잠수기어업에서 어획된 바지락의 월별 평균 어획량에서 바지락의 산란기에 해당하는 5~6월 간 평균 어획비율은 59%로 추정되어 위험도 평가 기준 범위 (Range)에서 20~40% 범위에 해당되고 양 (abundance) 항목의 상당 부분 (considerable or average) 항목에 해당되었으므로, 성어 비율의 기준점인 산란기에 어획이 상당부분 이루어짐으로 판단되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

나. 생물다양성 (Biodiversity)

(1) 혼획률

남해안 잠수기어업의 어종별 어획량에서 각 평가 대상종을 제외한 2016년 어획량의 합을 혼획률로 정의하여 분석하였다. 동 지표의 평가에 있어서 혼획 비율에 대한 비율범위의 적용을 위험도 0은 혼획율 5% 미만, 위험도 0.5는 5~10%, 위험도 1.0은 10~20%, 위험도 1.5는 20~30%, 위험도 2.0은 30~40%, 위험도 2.5는 40~50%, 위험도 3.0은 50% 이상으로 정의하여 위험도를 평가하였다.

2016년 남해안 잠수기어업의 어종별 어획량 자료에서 평가 대상종인 개조개, 키조개, 바지락을 제외한 나머지 비목표종의 어획비율은 26.1%로 Table 9에서 제시된 혼획률 지표의 기준점에서 비목표종의 어획물이 보통 수준에 해당되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

(2) 폐기량

남해안 잠수기어업의 어업인 대상으로 진행한 설문조사 결과, 조업 동안 폐기량 수준은 대부분 5~20%로 나타났다. FAO (2005)에 따르면 잠수기어업의 폐기량은 0~1%로 정의하고 있다. 잠수기어업의 폐기량은 지표의 기준점이 어획물의 폐기량이 보통수준으로 판단되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

(3) 종다양도 지수

종다양도 지수 지표의 위험도를 평가하기 위해 통계청 자료로부터 남해안 잠수기어업의 2012~2016년 간 연도별 어획된 어종의 수를 계산하였다. 어종수를 계산함에 있어서 기타게류, 기타돔류, 기타어류와 같이 기타항목에 해당하는 어종은 제외하고 어종명이 정확히 기재된 어종만 고려하여 분석에 이용하였다.

남해안 잠수기어업의 연도별 평균 어종의 수는 17종이었고, 2016년 어획된 어종 수는 16종으로 6% 감소한 것으로 추정되었다. 따라서, 종다양도 지수의 기준점에서 어획물의 충분한 종조성 시계열 자료가 있고 출현종수의 변동이 약간 감소한 것으로 나타났으나 설문조사 결과, 어종수가 감소했다고 응답한 비율이 54%로 나타나 출현 종수가 어느 정도 감소한 것으로 판단되어 위험도는 2.0으로 평가되었다.

다. 서식처 (Habitat)

(1) 서식처 훼손율

남해안 잠수기어업에서 사용하는 어구는 분사기로 서식처에 영향이 모든 부분에 있는 어구 (저층트롤, 형망, 분사식 어구 등)에 해당되어 위험도는 3.0으로 평가되었다. 그러나 모든 어종에 분사기를 사용하지 않기 때문에 분사기를 사용하는 개조개의 위험도는 3.0으로 평가되었지만 나머지 어

좋은 분사기를 사용하지 않아 위험도는 0.0으로 평가되었다.

(2) 산란장과 성육장 내 오염률

남해안 잠수기어업의 경우 어업인 설문조사 결과, 잠수기 조업 구역 내에서 쓰레기를 버리는 행위가 없고, 최근 5년 간 유류유출 사고가 없다고 응답하였으나 현재 잠수기어업에 의해 오염되는가를 판단할 수 있는 관련 정보가 없어 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(3) 쓰레기 폐기량

남해안 잠수기어업의 어업인 설문조사 결과, 조업 중 해상에 투기되는 쓰레기는 거의 없고, 약간의 쓰레기가 발생하더라도 모두 모아서 육상으로 나온 뒤 육상에서 버린다고 응답하였다. 그러나 분석기간 동안 해양쓰레기 통합정보시스템에서 지역별 해양쓰레기 수거량 중 최저치였던 186톤에 비해 2016년 수거된 해양쓰레기는 802톤으로 330% 증가한 것으로 분석되어 폐기된 쓰레기가 극히 많다고 판단되어 위험도는 3.0으로 평가되었다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

(1) 어업인 당 소득

어업인 당 소득 (Income per fisherman, IPE) 지표의 위험도를 평가하기 위해 Kim and Kim (2011)에서 제시된 방법에 따라 도시가구 월평균소득자료 (KOSIS, 2016)와 잠수기어업인 설문조사 결과로부터 어업의 연간 소득 자료를 수집하였다.

2016년 도시가구 4인 가구 기준의 월 소득자료 (560만원)로부터 연간 연간소득은 약 6,720만원으로 조사되었고, 설문조사를 통해 파악된 잠수기어업 어업인의 연간 평균소득은 2,808만원 (월 234만원)으로 조사되어 잠수

기어업인의 소득이 도시 가구 평균소득에 비해 42% 수준에 불과하였다. 따라서 최근 x년 간의 소득은 최저생계비보다 작으며, 소득수준이 유지되거나 약간 감소하고 있음에 해당되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

(2) 수지비율

비용 당 이윤비 (Ratio of profit to cost, RPC) 지표의 위험도를 평가하기 위해 2012~2016년 동안 잠수기어업의 위판금액 자료와 설문조사 결과로부터 비용자료를 수집하였다.

2012~2016년까지의 남해안 잠수기어업의 평균 위판금액과 2016년 잠수기어업 위판금액 자료를 비교한 결과 2016년 위판금액이 평균에 비해 11% 감소한 나타났고, 청취조사 결과 어업에 소요되는 비용은 평균 20% 증가된 것으로 분석되었다. 따라서 기준점인 대상 어업의 이윤 (생산고-비용)이 작음으로 판단되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

(3) 고용률

고용률 (Employment rate, ER) 지표의 위험도를 평가하기 위해 잠수기어업의 조업척수 자료와 어업인 설문조사로부터 실제 조업한 일 수 자료를 분석하였다. 2012~2016년간 남해안 잠수기어업의 고용지수인 조업인원수 × 실조업일수는 2012년 279일, 2013년 258일, 2014년 180일, 2015년 207일, 2016년 153일로 분석기간 동안 최고치였던 2012년 279일보다 2016년 153일이 약 45% 감소한 것으로 분석되어 잠수기어업의 고용지수가 작아졌다고 판단되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

3.1.3. 정량적 평가와 정성적 평가 비교

남해안 잠수기어업에서 어획되는 개조개의 정량적 분석 모델 (tier 1)에

의한 위험도와 정성적 분석 모델 (tier 2)에 의한 위험도를 비교한 결과, 정량적 분석 모델과 정성적 분석 모델의 위험도가 동일한 지표는 생물다양성 목표의 지표 중 혼획률 (BC/C), 서식처 목표의 지표 중 서식처 훼손율 (DH/H)였고, 정량적 분석 모델에 의한 위험도가 더 큰 지표는 사회경제적 혜택의 지표 중 고용율 (ER)이었으며, 나머지 10개 지표는 정성적 모델에 의한 위험도가 더 컸다 (Table. 8).

키조개의 경우, 정량적 분석 모델과 정성적 분석 모델의 위험도가 동일한 지표는 지속성 지표 중 어획개시연령 (tc), 생물다양성 목표의 지표 중 혼획률 (BC/C), 서식처 목표의 지표 중 서식처 훼손율 (DH/H)였고, 정량적 분석 모델에 의한 위험도가 더 큰 지표는 사회경제적 혜택의 지표 중 고용율 (ER)이었으며, 나머지 9개 지표는 정성적 모델에 의한 위험도가 더 컸다 (Table. 9).

바지락의 경우, 정량적 분석 모델과 정성적 분석 모델의 위험도가 동일한 지표는 생물다양성 목표의 지표 중 혼획률 (BC/C), 서식처 목표의 지표 중 서식처 훼손율 (DH/H)였고, 정량적 분석 모델에 의한 위험도가 더 큰 지표는 지속성 지표 중 자원량 (B or CPUE), 사회경제적 혜택의 지표 중 고용률 (ER)이었으며, 나머지 9개 지표는 정성적 모델에 의한 위험도가 더 컸다 (Table. 10).

Table 8. Comparison of risk scores (RS), objectives risk scores (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of purpulish Washington clam caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	Purpulish Washington clam	
		tier 1 RS	tier 2 RS
Sustainability	B (CPUE)	1.2	1.5
	F (E)	1.8	3.0
	tc (L_{opt})	0.8	3.0
	MR	0.0	1.5
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5
	D/C	1.1	1.5
	DI	1.8	2.0
Habitat	DH/H	3.0	3.0
	PG/G	1.9	3.0
	DW	2.4	3.0
Socio-economic benefit	IPF	2.1	2.5
	RPC	1.8	2.5
	ER	3.0	2.5
ORI_S		1.1	2.4
ORI_B		1.5	1.7
ORI_H		2.5	3.0
ORI_E		2.3	2.5
SRI		1.7	2.4

Table 9. Comparison of risk scores (RS), objectives risk scores (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of pen shell caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	Pen shell	
		tier 1 RS	tier 2 RS
Sustainability	B (CPUE)	2.4	2.5
	F (E)	1.6	3.0
	tc (L_{opt})	3.0	3.0
	MR	0.1	0.5
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5
	D/C	1.1	1.5
	DI	1.8	2.0
Habitat	DH/H	0.0	0.0
	PG/G	1.9	3.0
	DW	2.4	3.0
Socio-economic benefit	IPF	2.1	2.5
	RPC	1.8	2.5
	ER	3.0	2.5
ORI_S		2.1	2.6
ORI_B		1.5	1.7
ORI_H		1.0	1.5
ORI_E		2.3	2.5
SRI		1.8	2.1

Table 10. Comparison of risk scores (RS), objectives risk scores (ORI) and species risk index (SRI) estimated from tier 1 and tier 2 of the short necked clam caught by diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	Short necked clam	
		tier 1 RS	tier 2 RS
Sustainability	B (CPUE)	2.6	1.0
	F (E)	1.8	3.0
	tc (L_{opt})	2.6	3.0
	MR	0.0	1.5
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5
	D/C	1.1	1.5
	DI	1.8	2.0
Habitat	DH/H	0.0	0.0
	PG/G	1.9	3.0
	DW	2.4	3.0
Socio-economic benefit	IPF	2.1	2.5
	RPC	1.8	2.5
	ER	3.0	2.5
ORI_S		2.1	2.3
ORI_B		1.5	1.7
ORI_H		1.0	1.5
ORI_E		2.3	2.5
SRI		1.8	2.0

3.1.4. 모델의 검정

모델의 검정을 위해 정량적 분석 모델에 의해 추정된 위험도와 정성적 분석 모델에 의해 추정된 위험도에 대해 비모수검정법인 Wilcoxon test를 통해 각각의 모델에 의해 추정된 지표별 위험도의 동질성을 어종별로, 목표별로 나누어 통계적으로 검정하였다.

어종별 검정결과를 살펴보면, 개조개에 대한 Wilcoxon test 결과, tier 2 - tier 1을 계산하여 음의순위 (tier 2 - tier 1 = 음수), 양의순위 (tier 2 - tier 1 = 양수), 동률 (tier 2 - tier 1 = 0)은 1개, 10개, 2개의 지표로 나타났다. 귀무가설은 ' H_0 : 정량적 분석 결과에 의한 위험도와 정성적 분석 결과에 의한 위험도가 같다' 이다. 근사유의 확률이 0.052로 나타나 유의확률 $\alpha=0.05$ 로 하였을 때 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 개조개는 정량적 분석 모델에 의한 위험도와 정성적 분석 모델에 의한 위험도는 같다는 결론을 내릴 수 있다 (Table 11).

키조개에 대한 Wilcoxon test 결과, tier 2 - tier 1을 계산하여 음의순위 (tier 2 - tier 1 = 음수), 양의순위 (tier 2 - tier 1 = 양수), 동률 (tier 2 - tier 1 = 0)은 1개, 9개, 3개의 지표로 나타났다. 귀무가설은 ' H_0 : 정량적 분석 결과에 의한 위험도와 정성적 분석 결과에 의한 위험도가 같다' 이다. 근사유의 확률이 0.137로 나타나 유의확률 $\alpha=0.05$ 로 하였을 때 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 키조개도 정량적 분석 모델에 의한 위험도와 정성적 분석 모델에 의한 위험도는 같다는 결론을 내릴 수 있다 (Table 12).

바지락에 대한 Wilcoxon test 결과, tier 2 - tier 1을 계산하여 음의순위 (tier 2 - tier 1 = 음수), 양의순위 (tier 2 - tier 1 = 양수), 동률 (tier 2 -

Table 11. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of Purplish Washington clam caught by diving fishery in the south sea of Korea

1. Statistics

	N	Mean	SD	Min	Max
tier 1	13	1.6771	0.8911	0.0	3.0
tier 2	13	1.9213	0.8131	0.5	3.0

2. Wilcoxon test

		N	Mean rank	Sum of rank
tier 2 - tier 1	Negative ranks	1 ^a	5.76	45.69
	Positive ranks	10 ^b	4.16	8.45
	Ties	2 ^c		
	Total	13		

a. tier 1 < tier 2

b. tier 1 > tier 2

c. tier 1 = tier 2

3. Test statistics

	tier 1 - tier 2
Z	-1.961 ^a
Asymp. sig. (2-tailed)	0.054

a. Based on negative ranks

b. Wilcoxon signed ranks test

Table 12. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of pen shell caught by diving fishery in the south sea of Korea

1. Statistics

	N	Mean	SD	Min	Max
tier 1	13	1.6607	0.9915	0.0	3.0
tier 2	13	1.8589	1.0780	0.0	3.0

2. Wilcoxon test

		N	Mean rank	Sum of rank
tier 2 - tier 1	Negative ranks	1 ^a	4.22	13.09
	Positive ranks	9 ^b	6.07	42.24
	Ties	3 ^c		
	Total	13		

a. tier 1 < tier 2

b. tier 1 > tier 2

c. tier 1 = tier 2

3. Test statistics

	tier 2 - tier 1
Z	-1.501 ^a
Asymp. sig. (2-tailed)	0.124

a. Based on negative ranks

b. Wilcoxon signed ranks test

tier 1 = 0)은 2개, 9개, 2개의 지표로 나타났다. 귀무가설은 ‘ H_0 : 정량적 분석 결과에 의한 위험도와 정성적 분석 결과에 의한 위험도가 같다’이다. 근사유의 확률이 0.168로 나타나 유의확률 $\alpha=0.05$ 로 하였을 때 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각할 수 없다. 따라서 바지락 또한 정량적 분석 모델에 의한 위험도와 정성적 분석 모델에 의한 위험도는 같다는 결론을 내릴 수 있다 (Table 13).

3.3. Tier 2 정성적 평가

Tier 2 (정성적 또는 준정량적 평가)

가. 지속성 (Sustainability)

(1) 자원량 (단위노력당 어획량)

2012년부터 2016년까지 잠수기어업에서 어획된 우렁챙이의 평균 CPUE는 2.5톤/척이었고, 2016년 CPUE는 2.6톤/척으로 평균 CPUE에 비해 4.9% 증가하여 Table 8에 제시된 단위노력당 어획량 지표의 기준점인 CPUE 자료가 있으나, 현재 CPUE가 x년 간 평균 CPUE에 비해 약간 증가함에 따라 위험도는 1.0으로 평가되었다 (Table 14).

2012년부터 2016년까지 잠수기어업에서 어획된 해삼의 평균 CPUE는 1.5톤/척이었고, 2016년 CPUE는 1.3톤/척으로 평균 CPUE에 비해 9.7% 감소하였다. 단위노력당 어획량 지표의 기준점인 CPUE 자료가 있으나, 현재 CPUE가 x년 간 평균 CPUE보다 작아짐에 따라 위험도는 2.5로 평가되었다.

(2) 어획사망계수 (어획노력량)

2012년부터 2016년까지 남해안 잠수기어업의 평균 조업척수 (노력량, Effort)는 182척이었고, 2016년 조업척수는 178척으로 2.2% 감소한 것으로

Table 13. Result on Wilcoxon test for comparison of risk scores (RS) estimated from tier 1 and tier 2 of short necked clam caught by diving fishery in the south sea of Korea

1. Statistics

	N	Mean	SD	Min	Max
tier 1	13	1.4621	1.0380	0.0	3.0
tier 2	13	1.8067	0.9681	0.0	3.0

2. Wilcoxon test

		N	Mean rank	Sum of rank
tier 2 - tier 1	Negative ranks	2 ^a	5.77	17.55
	Positive ranks	9 ^b	6.08	48.57
	Ties	2 ^c		
	Total	13		

a. tier 1 < tier 2

b. tier 1 > tier 2

c. tier 1 = tier 2

3. Test statistics

	tier 2 - tier 1
Z	-1.397 ^a
Asymp. sig. (2-tailed)	0.172

a. Based on negative ranks

b. Wilcoxon signed ranks test

Table 14. Risk scores (RS), objectives risk scores (ORI), species risk index (SRI) and fishery risk index (FRI) for tier 1 and 2 EBFA of diving fishery in the south sea of Korea, 2016

Objectives	Indicator	Diving fishery				
		PWC	PS	SNC	SS	SC
Sustainability	B (CPUE)	1.2	2.4	2.6	1.0	2.5
	F (E)	1.8	1.6	1.8	3.0	3.0
	tc (L_{opt})	0.8	3.0	2.6	3.0	3.0
	MR	0.0	0.1	0.0	1.5	1.0
Biodiversity	BC/C	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0
	D/C	1.1	1.1	1.1	1.5	1.5
	DI	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0
Habitat	DH/H	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	PG/G	1.9	1.9	1.9	3.0	3.0
	DW	2.4	2.4	2.4	3.0	3.0
Socio-economic benefit	IPF	2.1	2.1	2.1	2.5	2.5
	RPC	1.8	1.8	1.8	2.5	2.5
	ER	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5
ORI_S		1.1	2.1	2.1	2.3	2.7
ORI_B		1.5	1.5	1.5	1.8	1.8
ORI_H		2.5	1.0	1.0	1.5	1.5
ORI_E		2.3	2.3	2.3	2.5	2.5
SRI		1.7	1.8	1.8	2.0	2.2
FRI		1.8				

나타났으나, 잠수기어업의 남해안 허가척수 (허가정수)는 132척이지만 2016년 잠수기어선 수는 178척으로 현재 허가정수를 초과한 상태이다. 따라서 어획노력량의 질적 수준을 고려할 때 허가정수를 초과하였기에 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(3) 어획개시연령 (어획개시체장)

우렁챙이, 해삼의 경우, 연도별 체장 또는 체중 자료가 거의 없고, 관련된 연구 정보도 거의 없는 상태이다. 또한 자원회복 또는 산란에 참여하는 어미 자원을 보호하기 위한 금지체장 또는 금지체중 등 관련 규정이 없어 3개 어종의 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(4) 성어 비율

남해안에 서식하는 우렁챙이의 산란기는 11~다음 해 3월이고, 2012~2016년 동안 남해 잠수기어업에서 어획된 우렁챙이의 월별 평균 어획량에서 산란기에 해당하는 11~3월의 평균 어획비율은 49%로 추정되어 위험도 평가 기준 범위 (Range)에서 40~60% 범위에 해당되고 이는 양 (abundance) 항목의 상당부분 또는 보통 항목에 해당되었으므로, 성어 비율의 기준점인 산란기에 어획이 상당부분 이루어짐으로 판단되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

해삼의 산란기는 5~7월이고, 2012~2016년 동안 남해안 잠수기어업에서 어획된 해삼의 월별 평균 어획량에서 해삼의 산란기에 해당하는 5~7월 간 어획비율의 합계는 21%로 추정되어 위험도 평가 기준 범위 (Range)에서 20~40% 범위에 해당되고 이는 양 (abundance) 항목의 어느 정도에 해당되었으므로, 성어 비율의 기준점인 산란기에 어획이 일부분 이루어짐으로 판단되어 위험도는 1.0으로 평가되었다.

나. 생물다양성 (Biodiversity)

(1) 혼획률

남해안 잠수기어업의 어종별 어획량에서 각 평가 대상종을 제외한 2016년 어획량의 합을 혼획률로 정의하여 분석하였다. 동 지표의 평가에 있어서 혼획 비율에 대한 비율범위의 적용을 위험도 0은 혼획률 5% 미만, 위험도 0.5는 5~10%, 위험도 1.0은 10~20%, 위험도 1.5는 20~30%, 위험도 2.0은 30~40%, 위험도 2.5는 40~50%, 위험도 3.0은 50% 이상으로 정의하여 위험도를 평가하였다.

2016년 남해안 잠수기어업의 어종별 어획량 자료에서 평가 대상종인 개조개, 키조개, 바지락, 우렁챙이, 해삼을 제외한 나머지 비목표종의 어획비율은 24.7%로 혼획률 지표의 기준점에서 비목표종의 어획물이 약간 많음에 해당되어 위험도는 2.0으로 평가되었다.

(2) 폐기량

남해안 잠수기어업의 어업인 대상으로 진행한 설문조사 결과, 조업 동안 폐기량 수준은 대부분 5~20%로 나타났다. FAO (2005)에 따르면 잠수기어업의 폐기량은 0~1%로 정의하고 있다. 잠수기어업의 폐기량은 폐기량 지표의 기준점이 어획물의 폐기량이 보통수준으로 판단되어 위험도는 1.5로 평가되었다.

(3) 종다양도 지수

종다양도 지수 지표의 위험도를 평가하기 위해 통계청 자료로부터 남해안 잠수기어업의 2012~2016년 간 연도별 어획된 어종의 수를 계산하였다. 어종수를 계산함에 있어서 기타게류, 기타돔류, 기타어류와 같이 기타항목

에 해당하는 어종은 제외하고 어종명이 정확히 기재된 어종만 고려하여 분석에 이용하였다.

남해안 잠수기어업의 연도별 평균 어종의 수는 17종이었고, 2016년 어획된 어종 수는 16종으로 6% 감소한 것으로 추정되었다. 따라서, Table 9에서 제시된 종다양도 지수의 기준점에서 어획물의 충분한 종조성 시계열 자료가 있고 출현종수의 변동이 약간 감소한 것으로 나타났으나 설문조사 결과, 어종수가 감소했다고 응답한 비율이 54%로 나타나 출현 종수가 어느 정도 감소한 것으로 판단되어 위험도는 2.0으로 평가되었다.

다. 서식처 (Habitat)

(1) 서식처 훼손율

남해안 잠수기어업에서 사용하는 어구는 분사기로 서식처에 영향이 모든 부분에 있는 어구 (저층트롤, 형망, 분사식 어구 등)에 해당되나 어종별 포획·채취 방법이 다르다. 우렁챙이, 해삼의 경우 분사기를 사용하지 않고 맨손 또는 호미를 사용해서 어획하기에 서식처 훼손이 극히 드물다고 판단되어 서식처 훼손율의 위험도는 0.0으로 평가하였다.

(2) 산란장과 성육장 내 오염률

남해안 잠수기어업의 경우 어업인 설문조사 결과, 잠수기 조업 구역 내에서 쓰레기를 버리는 행위가 없고, 최근 5년 간 유류유출 사고가 없다고 응답하였으나 현재 잠수기어업에 의한 오염정보가 없어 위험도는 3.0으로 평가되었다.

(3) 쓰레기 폐기량

남해안 잠수기어업의 어업인 설문조사 결과, 조업 중 해상에 투기되는

쓰레기는 거의 없고, 약간의 쓰레기가 발생하더라도 모두 모아서 육상으로 나온 뒤 육상에서 버린다고 응답하였다. 그러나 분석기간 동안 해양쓰레기 통합정보시스템에서 지역별 해양쓰레기 수거량 중 최저치였던 186톤에 비해 2016년 수거된 해양쓰레기는 802톤으로 330% 증가한 것으로 분석되어 폐기된 쓰레기가 극히 많다고 판단되어 위험도는 3.0으로 평가되었다.

라. 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)

(1) 어업인 당 소득

어업인 당 소득 (Income per fisherman, IPE) 지표의 위험도를 평가하기 위해 Kim and Kim (2011)에서 제시된 방법에 따라 도시가구 월평균소득자료 (KOSIS, 2016)와 잠수기어업인 설문조사 결과로부터 어업의 연간 소득 자료를 수집하였다.

2016년 도시가구 4인 가구 기준의 월 소득자료 (560만원)로부터 연간 연간소득은 약 6,720만원으로 조사되었고, 설문조사를 통해 파악된 잠수기어업 어업인의 연간 평균소득은 2,808만원 (월 234만원)으로 조사되어 잠수기어업인의 소득이 도시 가구 평균소득에 비해 42% 수준에 불과하였다. 따라서 Table 11에 제시된 최근 x년 간의 소득은 최저생계비보다 작으며, 소득수준이 유지되거나 약간 감소하고 있음에 해당되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

(2) 수지비율

비용 당 이윤비 (Ratio of profit to cost, RPC) 지표의 위험도를 평가하기 위해 2012~2016년 동안 잠수기어업의 위판금액 자료와 설문조사 결과로부터 비용자료를 수집하였다.

2012~2016년까지의 남해안 잠수기어업의 평균 위판금액과 2016년 잠수

기어업 위판금액 자료를 비교한 결과 2016년 위판금액이 평균에 비해 11% 감소한 나타났고, 청취조사 결과 어업에 소요되는 비용은 평균 20% 증가된 것으로 분석되었다. 따라서 대상 어업의 이윤 (생산고-비용)이 작음으로 판단되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

(3) 고용률

고용률 (Employment rate, ER) 지표의 위험도를 평가하기 위해 잠수기 어업의 조업척수 자료와 어업인 설문조사로부터 실제 조업한 일 수 자료를 분석하였다. 2012~2016년간 남해안 잠수기어업의 고용지수인 조업인원수 × 실조업일수는 2012년 279일, 2013년 258일, 2014년 180일, 2015년 207일, 2016년 153일로 분석기간 동안 최고치였던 2012년 279일보다 2016년 153일이 약 45% 감소한 것으로 분석되어 잠수기어업의 고용지수가 작아졌다고 판단되어 위험도는 2.5로 평가되었다.

정성적 분석 모델에 의해 추정된 우렁챙이의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.3, 생물다양성 유지 1.8, 서식처 보존 1.5, 사회경제적 혜택 2.5로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 식(9)를 이용하여 우렁챙이의 종위험도지수는 2.0으로 추정되었다. 해삼의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.7, 생물다양성 유지 1.8, 서식처 보존 1.5, 사회경제적 혜택 2.5로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 해삼의 종위험도지수는 2.2로 추정되었다.

3.2. 목표 (ORD), 어종 (SRD), 어업위험도 지수 (FRD)

정량적 분석 모델에 의해 추정된 개조개의 목표위험도지수는 지속성 유지 1.1, 생물다양성 유지 1.5, 서식처 보존 2.5, 사회경제적 혜택 2.3으로 추

정되었다. 목표위험도지수로부터 식(9)를 이용하여 개조개의 종위험도지수는 1.7로 추정되었다. 키조개의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.1, 생물다양성 유지 1.5, 서식처 보존 1.0, 사회경제적 혜택 2.3으로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 키조개의 종위험도지수는 1.8로 추정되었다. 바지락의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.1, 생물다양성 유지 1.5, 서식처 보존 1.0, 사회경제적 혜택 2.3으로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 바지락의 종위험도지수는 1.8로 추정되었다.

정성적 분석 모델에 의해 추정된 우렁쟁이의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.3, 생물다양성 유지 1.8, 서식처 보존 1.5, 사회경제적 혜택 2.5로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 식(9)를 이용하여 개조개의 종위험도지수는 2.0으로 추정되었다. 해삼의 목표위험도지수는 지속성 유지 2.7, 생물다양성 유지 1.8, 서식처 보존 1.5, 사회경제적 혜택 2.5로 추정되었다. 목표위험도지수로부터 키조개의 종위험도지수는 2.2로 추정되었다. 종위험도지수와 어종별 자원량지수인 CPUE를 식 (10)을 이용하여 추정된 잠수기어업 위험도지수는 1.8로 나타났다.

4. 고찰

본 연구에서는 남해안 잠수기어업의 주요 어획 대상종인 개조개, 키조개, 바지락에 대해 목표위험도, 종위험도, 그리고 어업위험도 분석방법을 통해 생태계 기반 자원평가를 수행하였다. 우리나라에서 생태계 기반 자원평가는 Zhang (2006)에 의해 생태계 차원에서의 수산자원관리 방안 연구로 처음 소개되었고, 이후 생태계 기반 자원평가를 위한 지표와 기준점 연구 (Zhang et al., 2010)가 진행되어 많은 연구자에 의해 동·서·남해 생태계

에 적용되어 연구가 진행되었으며, 연구 자료가 충분치 않은 연안어업에 대한 연구도 진행되었다.

남해안 잠수기어업에 대한 연구는 거의 없는 상태며, TAC 및 수산자원 회복사업의 대상종인 개조개에 대한 연구는 비교적 많이 있었다. 이에 반해 남해안 키조개와 바지락에 대한 연구는 비교적 적어 많은 정보를 얻을 수 없었다.

본 연구는 Zhang et al. (2010)에서 제시한 것처럼 생태계 기반 자원평가 목표를 지속성 (Sustainability), 생물다양성 (Biodiversity), 서식처 (Habitat), 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit) 등 4개로 설정하여 분석하였다. 각 목표별 지표들은 Zhang et al. (2000), Seo (2011), Park (2013), Yoon (2014), Lee (2014) 등에 의해 대상어업과 대상어종에 따라 계속해서 개발 및 수정되고 있으며 지금도 진행 중이다. 목표별 지표들은 개조개, 키조개, 바지락에 대한 연구결과 및 자료의 유·무에 따라 선택하였고, 지표의 선택에 있어 지표별 중요도를 고려하여 목표별 필수 지표는 모두 포함시켜 분석의 타당성과 적정성을 확보하여 생태계 기반 자원평가를 수행하였다.

4.1. 지속성 유지

지속성 유지의 목표 하에 자원량 (또는 CPUE), 어획사망계수 (또는 어획노력량), 어획개시연령 (또는 적정어획체장), 성어비율 등 4개의 지표를 사용하였다. 개조개는 연도별 자원량과 $x\%$ 의 가입당산란자원량 등을 추정할 수 있어 $B_{40\%}$ 와 현재 자원량 간 관계에서 위험도를 평가할 수 있었으나 키조개와 바지락의 자원량은 자료부족으로 추정할 수 없어 자원량 지수인 CPUE를 이용하여 위험도를 평가하였다. 어종별 적정어획개시연령 (t_c)은 성장파라미터와 체장자료로부터 적정어획개시체장을 추정하였고, 어획개시

체장은 어획물의 최소체장을 사용하기 보다는 최소체장 누적비율이 10%에 해당하는 체장을 어획개시체장으로 간주하여 평가에 이용하였다. 어획물 중에서 가장 작은 체장을 이용하게 되면 모든 어종의 위험도가 3이상으로 평가되는 오류가 발생하기 때문이다. 어종별 성어비율을 추정하기 위해서는 많은 자료를 요구하는데 성장파라미터 (L_{∞} , K , t_0), 자연사망계수 (M), 50% 군성숙체장 ($L_{50\%}$), 성숙연령 등의 자료가 필요하다. 하나의 지표 값을 계산할 때 이처럼 많은 자료가 필요하다면 생태계 기반 자원평가를 하는데 있어 오히려 걸림돌이 될 수도 있다. 보다 간단한 방법으로 지표의 특성을 반영할 수 있다면 가장 좋은 방법이 될 것이다. 따라서 연도별 체장자료에 대해 생물학적 최소성숙체장 ($L_{50\%}$)을 이용하여 성어 및 미성어 비율을 추정할 수 있다. 어종별로 차이는 있겠지만 어획물 중 성어비율이 80%가 된다면 미성어를 보호하는 효과는 있다고 할 수 있을 것이다. 그렇다면 목표 기준점을 성어비율 80%로 설정하고 한계기준점은 목표기준점의 0.9배에 해당하는 72%로 설정한다면 보다 쉽게 성어비율의 위험도를 평가할 수 있을 것이다.

4.2. 생물다양성 유지

생물다양성 유지에 대한 목표 하에 혼획률, 폐기율, 종다양도 지수 등 3개의 지표를 사용하였다. 혼획률 지표의 경우, 지금까지 연구된 문헌을 참고해 볼 때 혼획률의 정의가 분명치 않았다. Zhang et al. (2010)은 어획물의 상위 5개 어종을 제외한 나머지 어획량을 혼획률로 정의하였다. 본 연구에서도 상위 5개 어종 (개조개, 키조개, 우렁챙이, 바지락, 해삼)을 제외한 나머지 어획물의 합을 혼획량으로 간주하여 계산하였다. 어획물의 순위로 구분하여 혼획률을 계산하는 것보다 어획물의 어종별 어획비율이 5% 이하인 어종은 모두 혼획률로 간주하는 것이 더 타당할 것이다. 잠수기어

업의 경우 다행히 6번째 어종부터 5% 이하로 나타나 상위 5개 어종을 제외한 나머지를 혼획률로 간주하는 것과 일치하였다. 폐기량의 정의는 어획물이 죽었거나 살았거나 관계없이 바다에 버리거나 다시 살려 보내는 양이다. 본 연구에서는 Seo (2011)가 제시한 방법인 기타생물 어획량의 1%에 해당하는 값을 폐기량으로 간주하여 평가에 이용하였다. 생물다양성에 있어서 부수어획과 폐기량 지표는 우리나라 어업현실과 자원관리 측면에서 중요도가 높으므로 어떤 기준점을 설정하는가에 따라 생태계 관리 목표에 대한 해석이 달라지므로 신중하게 검토해야 할 필요가 있다. 종다양도 지수를 계산하는 식에 있어 분석 대상기간의 첫 시점과 마지막 시점의 값을 이용해서 목표기준점과 한계기준점을 설정하는데 첫 시점의 다양도지수 값 대신 분석 기간의 다양도지수 평균값을 이용하는 것이 더 타당할 것으로 판단된다. 왜냐하면 평균값은 분석 대상기간을 모두 포함해서 대변해 주기 때문이다.

4.3. 서식처 보존

서식처 보존 목표 하에 분석된 지표는 서식처 훼손율, 산란장·보육장 내 오염률, 해양쓰레기 폐기량 등 3개였다. 일반적으로 서식처 훼손율은 어업에 의해 그 영향을 나타낼 수 있겠으나 잠수기어업은 어구인 분사기를 사람이 직접 가지고 사용하기 때문에 어종에 따라 서식처 훼손율을 구분하여 평가에 적용하였다. 잠수기어업의 분사기는 서식처 훼손에 모든 영향을 미치는 어구임에는 분명하다. 하지만 개조개를 어획할 때 분사기를 사용하기에 서식처 훼손율이 매우 크고, 키조개는 맨손으로 바지락은 호미를 이용하기에 서식처 훼손율이 거의 없다고 간주하여 평가에 적용하였다. 산란장·보육장 내 오염률은 일반적으로 유류유출 사고나 부유물질의 농도로 위험도 평가가 되었으나 잠수기어업의 대상종들은 대부분 저서생물이거나

해저에 잠입해서 서식하는 생물이기에 유류유출 사고나 부유물질의 농도에 거의 영향을 받지 않는다. 저층의 해수 채집과 저질을 채취하여 오염도를 분석하는 수질등급지수 (WQI)를 이용하여 평가하였다. 국립수산과학원은 매년 2개월에 한 번씩 우리나라 전 연안 57곳 260여개의 정점에서 조사하고 분석하여 그 결과를 공개하고 있다. 우리나라 어업별 버려지는 해양쓰레기 폐기량에 대한 정보는 없는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 승선조사원제도를 빨리 도입하여 시행한다면 해양쓰레기 폐기량 뿐만 아니라 어종별 채장조성, 어획물의 폐기량, 부수어획물, 어획노력량 (시간, 조업일수 등)의 자료를 확보할 수 있다. 해양쓰레기 폐기량 지표의 평가를 위해 정부에서 운영 중인 해양쓰레기통합정보시스템 (www.malic.or.kr)에서 제공하는 자료를 이용하였다. 5년 간 해양쓰레기 양의 평균을 한계기준점으로 설정하고, 목표기준점은 한계기준점의 절반 수준을 설정하여 위험도를 평가하였다.

4.4. 사회경제적 혜택

사회경제적 혜택 목표 하에 사용된 지표는 어업인당 소득, 판매이윤당 비용, 고용률 등 3개였다. 고용률 지표를 평가하기 위해 통계청에서 제공하는 우리나라 고용 증가율 자료의 평균 고용률을 목표기준점으로 설정하였고, 한계기준점은 목표기준점의 절반 수준으로 설정하였다. 잠수기어선 1척에 고용되는 인원은 최대 4명이었으나 장비의 발달과 인력절감 등의 이유로 3명 또는 2명이다. 따라서 잠수기어업의 고용률을 산정하기 위해 어선 척수 곱하기 인원수를 계산하여 고용률을 산정하여 평가하였다.

4.5. Wilcoxon test를 이용한 tier 1과 tier 2 모델 검정

남해안 잠수기어업의 자원평가를 위해 정량적 평가 (tier 1)에는 개조개,

키조개, 바지락 등 3개 어종을 평가하였고, 정성적 평가 (tier 2)는 우렁챙이와 해삼을 추가하여 총 5개 어종에 대해 평가하였다. 정량적 평가와 정성적 평가 결과의 동일성 여부를 파악하기 위해 Wilcoxon ranked test를 수행하였다. 개조개의 tier 1에 의한 종위험도 지수는 1.7, 키조개 1.9, 바지락 1.9로 평가되어 어업위험도 지수는 1.8로 경고 수준으로 평가되었고, tier 2에 의한 종위험도 지수는 개조개 2.0, 키조개 2.0, 바지락 1.9로 평가되었고 어업위험도 지수는 2.0으로 평가되어 역시 경고 수준으로 나타났다. Wilcoxon test로 두 평가 결과의 동일성을 검증한 결과 유의수준 0.05 이상으로 나타나 tier 1의 결과와 tier 2의 결과는 다르지 않다는 결론을 도출할 수 있었다. 이를 근거로 우렁챙이와 해삼을 포함한 5개 어종에 대한 정성적 평가를 수행한 결과, 종위험도 지수는 개조개 2.0, 키조개 2.0, 바지락 1.9, 우렁챙이 2.0, 해삼 2.1로 평가되었고, 어업위험도 지수는 2.0으로 평가되었다.

개조개와 키조개는 TAC 대상종이고, 개조개는 수산자원회복사업의 대상종이기도 하다. 개조개의 목표위험도 지수로 볼 때, 서식처 보존과 사회경제적 혜택에 있어 위험도가 2.6, 2.3으로 높은 수준이었다. 따라서 남해안 잠수기어업의 위험도를 개선하기 위해서는 서식처 및 사회경제적 혜택 개선을 위한 노력이 절실하다. 평가 대상기간에 따라 위험도 값이 다르게 나타날 수 있다. 개조개의 경우 TAC가 시행된 2001년에 비해 현재의 자원량과 어획량은 50% 이상이 감소한 상태다. 분석기간을 더 길게 적용한다면 지속성의 위험도는 매우 나쁜 수준일 것으로 판단된다.

Ⅲ. 생태계 기반 자원평가 및 관리 방안

1. 서론

우리나라 연근해어업은 자원량에 비해 과도한 어획으로 인해 대부분의 대상어업 자원이 1990년대 172만 톤이라는 최고치를 기록한 후 1990년대 후반부터 지속적으로 감소 경향을 보이다가 2015년 106만 톤을 지키다가 2016년 91만 톤으로 44년 만에 우리나라 연근해어업 역사상 100만 톤이 무너졌다. 2017년 93만 톤을 기록하였으나 여전히 100만 톤 아래에 머물고 있다. 이러한 감소의 주요 원인으로는 어로기술의 발달과 함께 무분별한 남획과 EEZ (배타적경제수역) 선포 및 체제로 인한 어장축소, 대규모 간척 매립사업, 연안오염의 증가로 수산생물의 서식처 환경의 질적 저하 등으로 어획가능한 자원량이 감소되었기 때문이다.

우리나라의 연근해어업은 수산자원의 감소, 어업에 대한 과잉투자, 어업 노동력의 질적 수준 저하, 수산물시장의 개방, 수익성의 악화 등 어려운 문제들에 직면하고 있다. 또한 중국 어선들의 한국 EEZ로 침범하여 우리나라 어족자원을 싹쓸이 하는 등 연근해어업을 위협하고 있다. 최근 기후변화에 따른 이상기후, 즉 한반도 주변의 수온상승으로 인해 고등어의 주요 어장이 북상할 것으로 전망되어 기존 어장을 상실할 위험에 처해있다 (Kang and Zhang, 2017).

전통적인 단일어종 관리에서 여러 종을 어획하는 복수어종 관리가 도입되어 생태계 내에서의 해당 어종들 간의 상호 관계를 어느 정도 어업관리에 반영하고 있으나, 기존의 어업관리 방식은 어류의 자원량 변동에 영향을 미치는 많은 요소들 중에서 몇 가지만을 고려한다는데 그 한계가 있다.

생태계를 기반으로 하는 어업관리는 이러한 한계를 극복하기 위해 만들어졌는데 기존의 생태계 관리와는 구별된다.

생태계관리 개념은 1972년 인류 환경에 관한 스톡홀름 회의 (Stockholm Conference on the Human Environment)에서 국제적인 지지를 받은 이래 1992년 유엔환경개발회의 (the UN Conference on Environment and Development), 생물다양성 협약 (Convention on Biological Diversity)에서 점차 그 중요성을 인정받아 왔다. 생태계관리의 핵심은 사회에서 필요로 하는 가치를 지속적인 수준으로 생산해 낼 수 있도록 생태계를 유지시키는 데 있다. 생태계관리의 목표는 첫째, 모든 토착 생물들이 고유의 서식처에서 생존에 필요한 만큼의 개체수를 유지하고, 둘째, 보호수역 지정을 통해 모든 토착 생태계 형태를 보존하고, 셋째, 진화 과정을 유지하며, 넷째, 생태계와 생물의 진화 가능성을 염두에 두고 충분한 기간을 정하여 관리하며, 마지막으로 동시에 인간의 자연자원 이용을 배려하는 것이다.

2016년 유엔 회원국을 중심으로 국제사회가 합의한 UN's SDGs는 전 지구적인 개발의제이다. 전 지구적 차원의 미래사회를 위해서는 개인·사회·국가·세계가 일관성 있게 사회발전, 경제성장, 환경보전을 위해 노력을 기울여야 한다. SDG 세부목표를 달성하기 위해서는 교육뿐만 아니라 연구도 병행해서 추진되어야 시너지 효과를 얻을 수 있다. 생태계 기반 자원관리 (Ecosystem-based fisheries management, EBFM) 개념에 부합되는 수산교육연구가 추가되어야 할 것이다 (Kang and Zhang, 2017).

생태계 기반 관리는 21세기 해양수산분야의 새로운 패러다임으로서 지구상의 모든 국가들이 활발히 추진하고 있는 방법이다 (UN, 2012). 생태계 기반 관리의 목표는 생태계 내 종의 지속성과 생물다양성을 유지하면서 서식처를 훼손하지 않고, 경제적인 손실 없이 적정량의 수산자원을 지속적으로 이용하는 것이다.

III장에서는 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위해 잠수기어업의 주 대상종인 개조개를 중심으로 각 지표별 평가에 이용된 자료와 기준점의 문제점을 살펴보고 이에 대한 개선방안, 그리고 분야별로 필요한 교육 방안들을 살펴보고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 자료

2.1.1. 지속성 유지

분석에 사동된 어획량 자료는 1990~2016년 간 자료는 해양수산부 통계연보 및 어업통계시스템의 자료를 이용하였고, 남해안 잠수기어업의 어획량을 구분하기 위해 부산, 경남, 전남의 자료를 이용하였다. 단위노력당 어획량 (CPUE) 역시 해양수산부 통계연보 및 수산정보포털 (<http://fips.go.kr>)의 어획량 및 잠수기어선 척수를 이용하였다.

개조개의 자원량은 생물학적 특성치 (Kim et al., 2003; Zhang et al., 2004; Lee and Kim, 2017; Zhang and Megrey, 2006; Kim et al., 2010; Lee et al., 2013) 자료, 연도별 각장측정 자료 및 어획량 자료 등을 이용하여 직접 추정하였다. 바지락 자료는 Yoon et al. (2011), Park and Kim (2009), Kim and Zhang (1999), Choi et al. (2005), Lim (2016)을 그리고 키조개는 Ryu et al. (2001), Hong et al. (2002), Lee et al. (2006), Jeong and Nam (2016) 등의 문헌자료를 이용하였다.

2.1.2. 생물다양성 유지

생물다양성 지표인 혼획률, 폐기량, 종다양도 지수를 평가하기 위해 해

양수산부 수산정보포털의 어획량자료를 이용하였다. 정량적인 자료 수집이 어려울 경우에는 잠수기어업인을 대상으로 한 설문조사 결과를 이용하였다.

2.1.3. 서식처 보존

서식처 보존 목표를 평가하기 위해 사용된 지표는 서식처 훼손율, 산란장·보육장 내 오염률, 해양쓰레기 등 3개였으나 남해안 잠수기어업에 대한 훼손된 어장 면적, 산란장·보육장 내 오염률에 대한 정량적인 자료는 없었다. 해양쓰레기는 해양수산부에서 운영하고 있는 해양쓰레기통합운영시스템 (www.malic.or.kr)의 2012~2016년 간 자료를 이용하였다.

2.1.4. 사회경제적 혜택

사회경제적 혜택의 지표를 평가하기 위해 평균임금은 도시근로자 가구당 월평균 소득자료 (KOSIS, 2012~2016)를 이용하였고, 기준중위소득 (구, 최저생계비)은 보건복지부 통계자료 (KOSIS, 2012~2016)를 이용하였다. 잠수기어업의 비용, 이윤, 매출액, 영업이익, 총비용 등은 수협 수산경제연구원에서 제공하는 자료 (FEI, 2012~2016)를 이용하였다. 고용율 증가율은 연령별 경제활동인구 총괄표 (KOSIS, 2012~2016)를 참고하였다.

2.2. 방법

생태계 기반 자원평가를 위해 4개의 목표, 즉 지속성 유지, 생물다양성 유지, 서식처 보존, 그리고 사회경제적 혜택에 대한 각 지표를 평가하기 위한 자료에 대해 크게 두 가지로 구분하여 정리하였다.

첫 번째는 지표별 자료 현황과 내용, 현재 자료를 수집하는 기관, 문제점 및 개선방안 등의 자료 관점에서 정리를 하였고, 두 번째는 지표별 기

준점의 적절성 또는 문제점과 기준점 개발 및 보완을 위한 연구 분야, 그리고 개선방안 등을 고려하여 표로 구분하였다.

3. 결과

3.1. 생태계 기반 자원평가의 문제점

3.1.1. 자료 현황

1) 지속성 유지

지속성 목표에 사용된 지표는 총 5개였다 (Table 15). 자원량 지표를 평가하기 위해서는 많은 자료가 필요하다. 개조개의 자원량을 추정하기 위해 어획량 및 체장자료는 수협, 통계청, 한국수산자원관리공단 (FIRA)에서 수집하고 있으며, 자료는 2000~2016년까지 충분하였으나 지역별 잠수기수협에서 조사하는 수산자원조사원의 측정 및 수집 자료와 수협, 통계청에서 제공하는 통계자료 수치가 일치하지 않았다. 이러한 이유는 지역별 수협에서 개조개를 측정하는 단위가 서로 다를뿐더러 전산시스템에 입력하는 단위가 달랐다. 어떤 지역에서는 마리로 위판하여 판매되었고, 또 어떤 지역에서는 플라스틱 상자 (보통 20kg)에 담아서 위판하며, 또 다른 지역에서는 1망 (대략 20~30kg) 단위로 거래되고 있었다.

수산자원조사원들이 매월 측정한 개조개의 체장자료는 연령과 성장 관계식을 통해 연령별 어획량으로 추정되어 연령별 자원량을 추정할 때 이용된다. 그러나 개조개 체장조사 때 소형개조개의 체장자료는 누락되고 있다. 조업 중 어획된 소형 개조개는 다시 방류되는 것이 아니라 바지락 등의 소형 패류에 섞여 판매되고 있었다. 또한 어획된 개조개를 위판 할 때에는 상품성이 있는 큰 개체만 선별해서 위판하기 때문에 저연령, 즉 소형 개조

Table 15. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of sustainability

No.	Indicator	Data status and contents	(present) Data collection agency	Problems	Improvement measures
1	Biomass	Catch : 2000–2016	Suhyup, KOSIS, FIRA	Mismatch of catch statistics : FIRA vs. Suhyup	Measures for the unification of fishing statistics through joint surveys by the association, Suhyup, KOSIS, and FIRA
		Catch at age : 2000–2016 ※ Annual length data	NIFS	Lack of reality of length data (missing small PWC)	Reflecting on the field data of fisheries through periodic survey (introduction of the ship observer system)
				Age/Parameters (2003) (Catch PWC larger than maximum length)	Estimation of Age & Growth Parameters
2	CPUE	Catch : 2000–2016	Suhyup, KOSIS, FIRA	Mismatch of catch statistics : FIRA vs. Suhyup	Measures for the unification of fishing statistics through joint surveys by the association, Suhyup, KOSIS, and FIRA
		Effort : 2000–2016	KOSIS, Local government	Real number of fishing vessel not included	Establishment of a system reflecting actual fishing vessel data investigated by FIRA
3	F or C	Catch : 2000–2016	Suhyup, KOSIS, FIRA	Mismatch of catch statistics : FIRA vs. Suhyup	Measures for the unification of fishing statistics through joint surveys by the association, Suhyup, KOSIS, and FIRA
		Effort : 2000–2016	KOSIS, Local government	Real number of fishing vessel not included	Establishment of a system reflecting actual fishing vessel data investigated by FIRA
4	t_c or L_{opt}	Annual length data : 2000–2016	FIRA	Lack of reality of length data (missing small PWC)	Reflecting on the field data of fisheries through periodic survey (introduction of the ship observer system)

Table 15. Continued

No.	Indicator	Data status and contents	(present) Data collection agency	Problems	Improvement measures
5	MR	Catch : 2000-2016	FIRA	Missing small PWC data when investigating length field data	Reflecting on the field data of fisheries through periodic survey (introduction of the ship observer system)
		Length at 50% group maturity (2004)	NIFS	Old data of length at 50% group maturity	(Univ.) A study on dissemination and length at 50% group maturity

NIFS : National Institute of Fisheries Science

FIRA : Korea Fisheries Resources Agency

F (Fishing mortality), C (Catch), tc or Lopt (Age or Length at first capture), H (Habitat size), FG (Fishing ground size),

TLm (Mean trophic level in catch), MR (Rate of mature fish), S (Slope of length or weight spectra),

Rr/w (Ratio of release stock abundance/wild stock abundance in catch)

개 자체가 없어 어획비율을 알 수가 없었다.

개조개 체장자료를 연령과 성장식을 통해 연령별 어획량 및 어획조성비를 추정할 수 있는데, 여기에 사용되는 연령과 성장에 대한 파라미터(특성치) 값들이 너무 오래된 연구결과라는 것이 문제였다. 본 연구에 사용된 개조개의 성장 파라미터는 Kim et al. (2003)이 연구한 결과였다. 예를 들면, Kim et al. (2003)이 추정한 이론적 최대체장 (L_{∞})은 125.6mm였으나 조업현장에서 어획된 개조개의 크기가 125.6mm보다 커서 연령을 추정할 수 없어 데이터에서 제외시킬 수밖에 없었다.

CPUE (단위노력당 어획량)를 계산하기 위해서는 어획량과 노력량 자료가 필요하다. 어획량 자료의 문제점은 앞에서 언급했듯이 자료의 불일치성이 있고, 노력량 자료는 지자체 및 통계청에서 자료를 제공하고 있다. 정확한 CPUE를 계산하기 위해서는 정확한 노력량 자료가 필요하나 지자체 및 통계청에서 제공하는 자료는 실제 조업척수 등의 노력량이 아니라 허가정수로 일괄 처리하기 때문에 정확한 CPUE가 아니었다.

어획개시 연령 또는 적정어획체장을 추정하기 위한 연도별 체장자료가 필요한데 여기에서도 소형 개조개의 누락으로 자료에 문제점이 있었다.

개조개의 재생산성을 평가하기 위한 지표인 성어비율 (MR)을 추정하기 위해서는 50% 군성숙체장 값, 체장 및 체중자료, 성장파라미터 값인 L_{∞} , K , t_0 , 체장-체중 관계식의 상수값 a , b 가 필요하다. 개조개의 50% 군성숙체장은 73.6mm와 성장파라미터 값들이 오래된 연구 결과 (Kim et al., 2003)인 것이 문제점으로 나타났다.

2) 생물다양성 유지

생물다양성 유지 목표의 지표 5개 중에서 사용된 지표는 3개였다 (Table 16). 어획물 중 혼획률에 대한 지표의 자료는 수협에서 수집 및 집계

Table 16. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of biodiversity

No.	Indicator	Data status and contents	(present) Data collection agency	Problems	Improvement measures
1	BC/C	Annual catch by species : 2000-2016	Suhyup	Unable to classify in detail, such as similar species, as either ** or other**	Implementation of education on classification and identification of fish species for the employees in charge of the association (University, NIFS creates class for class in regular intervals)
2	D/C	Annual or monthly waste data	None	No data and information on vessel disposal of diving fishery	Strengthening the field survey by introducing observer system on board (length, waste, working hours, etc.)
3	DI	Annual number by species : 2000-2016	Suhyup	Unable to classify in detail, such as similar species, as either ** or other** (The number of fish species is similar each year)	Implementation of education on classification and identification of fish species for the employees in charge of the association (University, NIFS creates class for class in regular intervals)

BC/C (Bycatch rate), D/C (Discard rate), DI (Diversity index),

계하고 있으나 유사어종을 구분하지 못해 하나의 그룹으로 묶어 OO류로 분류한다든지 아니면 기타어류로 분류하고 있다.

잠수기어업에서 어획되는 어종에 대한 월별 또는 연도별 폐기량 자료는 수집할 수가 없었다. 왜냐하면 이와 관련된 자료를 수집하는 기관이 없어 조업현장에서 어획물 중 얼마나 폐기되고 있는지 정확히 알 수가 없기 때문이다.

종다양성 지수를 추정하기 위해서는 어획물의 정확한 어종분류가 이뤄져야 하지만 위판현장인 수협에서 담당 직원이 구분이 힘든 어종에 대해서는 OO류로 구분을 한다든지, 소량일 경우이거나 또는 다른 이유로 인해 기타로 분류하고 있다. 따라서 해마다 어종 수가 비슷하게 집계되고 있어 현실적인 종다양성 지수 값을 추정할 수가 없는 상태다.

3) 서식처 보존

서식처 보존 목표의 지표 6개 중에서 사용된 지표는 3개였다 (Table 17). 잠수기어업이 주로 조업을 하고 있는 남해안 전체 어장면적 중에서 훼손된 어장의 면적 비율에 대한 자료수집은 매우 어려웠다. 또한 이러한 자료를 수집하기 위해서 조사하는 기관이나 자료를 수집하는 기관은 현재 없다.

산란장 및 보육장 내 오염율을 과학적으로 추정한다는 것은 현실적으로 불가능하다.

잠수기어선에서 해양폐기물을 얼마나 버리는 지 그 양을 파악하기는 쉽지가 않다. 이 또한 이러한 자료를 조사하거나 수집하는 기관은 현재 없다.

4) 사회경제적 혜택

사회경제적 혜택 목표의 지표 5개 중에서 자료 수집이 가능한 것은 3개

Table 17. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of habitat

No.	Indicator	Data status and contents	(present) Data collection agency	Problems	Improvement measures
1	DH/H	Damaged fishery area	None	No investigation agencies and relevant data	Conduct habitat and fishing environment surveys at NIFS, universities, and Suhyup
2	PG/G	Ratio of pollution in nursery and spawning ground	None	No investigation agencies and relevant data	Leverage NIFS report substitution (Survey on the fishing environment of the entire coast of Korea)
3	DW	Discarded waste	None	No investigation agencies and relevant data	A periodic survey for discarded waste on the ship (introduction of the board observer system) Utilization of integrated marine waste information system data (Marine waste collection by region per year)

DH/H (Critical habitat damage rate), PG/G (Pollution rate of spawning and nursery ground), LG (Lost fishing gear),
DW (Discarded wastes)

지표였다 (Table 18). 개인당 소득 지표인 IPPE, 잠수기어업의 경영상태를 알 수 있는 비용 당 이윤비 (RPC)는 수협 산하 수산경제연구원, 한국해양수산개발원 (KMI)에서 매년 통계보고서를 발간해서 각 지표의 위험도를 분석하기에 용이하였다. 하지만 고용율 (ER) 지표에서 이용되는 어선척수 자료는 통계청에서 제공하는 허가정수 자료를 사용하였는데 실제 수산자원조사원이 조사한 실조업 어선척수와는 차이가 나타났다.

3.1.2. 지표 및 기준점

1) 지속성 유지

자원량 지표의 기준점인 B_{MSY} 또는 $B_{40\%}$ 는 기준점으로서 적정하다고 판단되었다. 하지만 기준점을 계산하기 위해서는 많은 정보가 필요하다는 단점이 있다. 또한 목표기준점을 $B_{40\%}$ 로 고정할 것이 아니라 대상어종과 수명에 따라 목표기준점을 달리해야 한다는 문제점이 나타났다 (Table 19).

CPUE 지표나 어획사망계수 (F) 지표 추정 시 기준점은 적정하나 기준점을 추정하는 방법에 있어 최대지속적생산량 (MSY)을 추정할 때 평형상태를 가정하고 추정하기에 비현실적이라는 단점이 있었다.

성어 비율 (MR)의 기준점은 $MR_{40\%}$ 로 이 값을 추정하기 위해서는 많은 정보가 필요하다. 생태학적 파라미터 (L_{∞} , K, t_0) 및 체장-체중 관계식에서 상수 a, b 값을 이용하여 $MR_{40\%}$ 를 추정함으로 계산이 복잡하다는 단점이 있었다.

2) 생물다양성 유지

생물다양성 유지 목표에 사용된 지표는 혼획률, 폐기량, 다양도지수로 3개였다 (Table 20). 혼획률 지표의 기준점은 적정하였으나 문제는 혼획률의 정확한 정의가 없다는 것이다. 따라서 연구자에 따라 혼획률의 정의 및 그

Table 18. Data status and contents, collection agency, problems and improvement measures by indicator of Socio-economic benefit

No.	Indicator	Data status and contents	(present) Data collection agency	Problems	Improvement measures
12	IPPE	Urban household income (2000-2016)	Statistics Korea, MOHW	None	None
		Personal income (2002-2015)	Suhyup	None	None
13	RPS or RCS	Sales of diving fishery (2002-2015)	Suhyup	None	None
		Operating profit (2002-2015)	Suhyup	None	None
		Total cost (2002-2015)	Suhyup	None	None
14	ER	No. of fishing vessel (2000-2016)	Local government	Real number of fishing vessel not included (Apply collectively by licensed fishing vessels)	Establishment of a system reflecting actual fishing vessel data investigated by FIRA
		No. of people (2000-2016)	Suhyup, Statistics Korea	None	None

RPS (Ratio of profit to sale), RCS (Ratio of cost to sale), RLTS (Ratio of landing to total supply), ER (Employment rate)

Table 19. Status of reference point, problems, research and improvement by indicator of sustainability

No.	Indicator	Reference point	Problem	Research area	Improvement measures
1	Biomass	B_{MSY} or $B_{40\%}$	None	Biology, Biostatics Fish taxonomy Fisheries resources dynamics Fisheries resource ecology Computer science	Flexible reference point application depending on fish type (ex) - Short-life fish species : $B_{30\%} \sim B_{40\%}$ - Long-life fish species : apply above $B_{40\%}$
2	CPUE	$CPUE_{MSY}$	None	Fish taxonomy Biostatics Fisheries resource ecology	Non-equilibrium model applied for MSY estimation
3	F or C	F_{MSY} or MSY	None	Fish taxonomy Biostatics Fisheries resource ecology	Non-equilibrium model applied for MSY estimation
4	t_c or L_{opt}	$t_c (L_{opt})$ or $L_{50\%}$	None	Biostatics Fisheries resource ecology Bio-histology	
5	MR	$MR_{40\%}$	Difficult to estimate and requires many parameters	Bio-histology, Biology Biostatics	Target reference point : adult ratio 80% Limit reference point : adult ratio 60%

Table 20. Status of reference point, problems, research and improvement by indicator of biodiversity

No.	Indicator	Reference point	Problem	Research area	Improvement measures
1	BC/C	$(BC/C)_{\text{target}}$	No definition of mixing rate	Statistics Fish taxonomy Biology	Establishment of the mixing rate reference point by fishing
2	D/C	$(D/C)_{\text{target}}$	Apply as international standards (FAO, 2005)	Statistics Fisheries resource dynamics Fisheries resource ecology Environmental science Environmental hypochlorology	Establish a reference point after direct investigation Survey parallel
3	DI	$(DI)_{\text{target}}$	The entire period can not be reflected because only the starting and last years are used	Fish taxonomy Biology Statistics	Use DI_{mean} instead of DI_{first} to reflect the entire survey period

추정 방법이 다르다는 단점이 있다.

폐기물 지표의 기준점은 국내 기준점이 없어 외국 문헌에서 제시하는 어업별 폐기율을 기준으로 적용하고 있다. FAO (2005)에서 제시한 잠수기어업의 폐기율은 0~1%였다.

종다양도지수 지표의 기준점의 문제점은 평가 대상기간의 시작 연도와 마지막 연도의 값만 이용해서 평가하기 때문에 전체 기간의 자료가 반영이 안되는 문제점이 나타났다.

3) 서식처 보존

서식처 보존 목표에 사용된 지표는 서식처 훼손율, 산란장·성육장 내 오염률, 해양폐기물로 3개였다 (Table 21). 서식처 훼손율의 기준점은 국내 기준점이 없어 MSC (2009)에서 제시한 기준점을 적용하였다. 잠수기어업은 분사기를 사용하여 저서생물 및 잠입생물을 채취하는데 대상어종에 따라 분사기, 맨손, 호미 등을 구분하여 어획하고 있어 잠수기어업 전체에 대한 서식처 훼손율을 적용하는 것은 타당하지 않았다.

산란장·성육장 내 오염률의 기준점은 부유물질의 농도에 따라 오염률을 산정하고 있는데 잠수기어업의 주요 대상생물들은 대부분이 저서 및 잠입생물이기에 부유물질의 농도에 큰 영향을 받지 않기에 이 기준점은 적합하지 않았다.

해양폐기물 지표의 기준점은 적정하였다.

4) 사회경제적 혜택

사회경제적 혜택 목표에 사용한 지표는 고용인원당 수입, 판매이윤비, 고용률로 3개였다 (Table 22). 사회경제적 혜택의 각 지표의 기준점은 적정하였다.

Table 21. Status of reference point, problems, research and improvement by indicator of habitat

No.	Indicat or	Reference point	Problem	Research area	Improvement measures
1	DH/H	(DH/H) _{target} : 20%, Consideration of phrase characteristics	Apply as international standards (MSC, 2009)	Fishing gear science Oceanography Environmental science Marine geology Ethics	For diving fishery, the damage rate is applied according to the target species – PWC : Using fishing injector gear – Others : No use fishing injector gear
2	PG/G	(PG/G) _{target} Target reference point : 1/2 {Standards for drift matter pollution (10mg/ℓ)}	No application for benthod or infauna	Oceanography Marine hypochlorology Environmental science Water quality analysis	Estimation of ecological pollutants using WQI TRP : Level I (very good) LRP : Level III (normal)
3	FR	FR _{target}	FAO(2009) : No criteria for diving fishery	Fishing gear science Environmental science Ethics	TRP : 0%, LRP : 10%
4	DW	DW _{target}		Oceanography Environmental science Statistics Ethics	TRP : 1/2(LRP) LRP : Average amount of discarded waste ※ www.malic.or.kr

Table 22. Status of reference point, problems, research and improvement by indicator of socio-economic benefit

No.	Indicat or	Reference point	Problem	Research area	Improvement measures
1	IPPE	UIPPE	None	Economics, Business administration Sociology Welfare studies Statistics	None
2	RPS	URPS	None	Economics, Business administration Sociology Statistics	None
3	RLTS	URLTS	None	Statistics Economics, Business administration	None
4	ER	1/2 UER	None	Economics, Business administration Sociology Welfare studies Statistics	None

3.2. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 연구 현황

3.2.1. 지속성 유지의 지표

개조개의 자원량을 추정하기 위해 연도별 어획량 자료, 연도별 체장 및 체중 측정 자료, 연령-성장 파라미터, 자연사망계수 (M), 어획사망계수 (F), 연령별 선택비 등이 필요하다. 대부분의 자료는 통계청 또는 해양수산부에서 공식적으로 제공하는 자료를 이용하면 된다. 연령과 성장, 생물학적 최소성숙체장 등에 관한 연구는 Kim et al. (2003)과 Zhang et al. (2004)이었다.

개조개는 현재 TAC 대상어종이면서 자원회복 대상어종이다. 하지만 연령과 성장 파라미터와 생물학적 최소성숙체장 등에 대한 연구는 15년 전에 이뤄진 후 지금까지 후속 연구가 진행되지 않았다.

3.2.2. 생물다양성 유지의 지표

생물다양성 유지 목표를 평가하기 위해 사용된 지표는 혼획률, 폐기율, 종다양도 지수이나 잠수기어업뿐만 아니라 각 어업별 혼획률과 폐기율에 대한 연구는 거의 없었다.

우리나라 연근해어업의 혼획률과 폐기율을 조사하거나 자료를 수집하는 수산관련 대학 또는 연구기관은 현재 없는 상태다. 또한 종다양도 지수 지표를 추정하기 위해서는 위판되는 수협이나 공식적인 통계자료를 발표하는 통계청에서 과학적이고 정확한 어종을 분류해야 하지만 비슷하게 생긴 어종들은 **류로 구분한다거나 기타로 구분하고 있는 문제점과 이러한 자료로 종다양도 지수 값을 추정해 보면 매년 비슷한 값이 산정되기 때문에 짧은 기간 동안 비교할 때는 크게 변별력이 없다는 문제점이 있다.

3.2.3. 서식처 보존의 지표

잠수기어업의 대상해역에 대한 서식처 보존을 평가하기 위해 사용된 지표는 서식처 훼손율, 산란장·보육장 내 오염률, 그리고 해양폐기물이었다. 이중에서 서식처 훼손율과 산란장·보육장 내 오염률에 대한 연구는 없었다. 해양폐기물이 생태계에 미치는 영향에 대한 연구도 없었으나 해양수산부에서 해양폐기물을 해마다 수거사업을 시행하고 있어 지역별 수거량의 자료는 있다.

서식처 훼손율에 대한 국내 연구가 없어 이 지표에 대한 기준점은 외국 기준점 (MSC, 2009)을 국내에 적용시켜 사용하고 있다. 서식처 훼손율을 연구하는 대학이나 연구 기관은 없는 상태다. 산란장·보육장 내 오염률을 연구하는 곳 역시 없다. 해양폐기물의 자료는 다행히 있어 이 지표의 위험도는 추정할 수 있었으나 자료를 쉽게 찾을 수는 없었다.

3.2.4. 사회경제적 혜택의 지표

사회경제적 혜택을 평가하기 위해 사용된 지표는 평균 임금, 판매 이윤비, 고용증가율이었다. 각 지표에 대한 연구는 경제, 경영 관련 대학이나 수협, 수산경제연구원, 그리고 한국해양수산개발원 (KMDI)에서 연구하고 분석하여 매년 보고서를 발간하고 있다. 사회경제적 혜택의 지표별 연구의 문제점은 없었다.

3.2.5. 자원관리 연구 현황

국내 유일한 수산·해양 분야의 전문기관인 국립수산물과학원에서는 연근해에서 어획되는 주요 45개 어종에 대해 어종별 정보수준을 바탕으로 자원상태를 평가 및 진단하고 있다. 한국형 생물학적허용어획량 평가 시스템에 따라 가장 높은 수준의 정보를 이용해서 평가하는 1단계부터 정보 수준이

낮거나 없는 경우에는 어획량 자료만으로 평가하는 5단계로 평가하고 있다. 현재 1단계로 평가되고 있는 어종은 없으며, 본 연구의 대상어종인 개조개는 2단계로 평가되고 있고, 키조개는 생태정보가 없어 어획량을 이용하는 5단계로 평가되고 있다.

우리나라의 현재 수산자원관리는 수산자원조사 및 자원평가를 토대로 어획량 규제, 어획노력량 규제, 자율관리어업, 조업구역 규제 등 어업관리와 어장관리, 어장조성, 바다목장, 수산자원회복사업 등 자원관리로 나누어져 있다. 각각의 규제 수단으로는 허가정수, 톤수·마력수 규제, 어선감척, TAC, 어선·어구 제한, 포획금지 구역, 포획금지 체장·기간 설정, 수산자원 보호수면 및 관리수면 지정, 불법어업 단속, 자율관리공동체 지원, 어장환경 개선사업, 불법 및 침적어구 제거, 인공어초 및 해중림 조성, 종묘방류 및 바다목장, 자원회복 사업 등의 다양한 자원관리 정책사업을 시행하고 있다.

우리나라 연근해 주요 45개 어종 중에서 2단계로 평가되는 어종은 5개 어종이었고, 3단계로 평가되는 어종은 2개 어종으로 7개 어종을 제외한 38개 어종은 자원량도 추정하지 못한 채 낮은 수준의 자원평가만 이뤄지고 있다. 이처럼 아직까지는 단일어종 수준의 자원평가만 수행되고 있어 동일생태계 안에서 종족을 유지하려는 지속성, 서로 먹고 먹히는 피·포식 관계라든지 아니면 같은 먹이를 두고 경쟁하는 관계인 생물다양성, 각각의 어종들이 서식하는 서식처, 그리고 인간들이 어획을 하는 목적인 사회경제적인 요인들에 대한 분석은 모두 빠져있는 실정이다.

최근 일반해면어업인 연근해어업의 어획량이 본격적인 연근해어업이 시작된 이후 40여년 만에 100만 톤 수준 아래로 떨어졌다. 45개 어종에 대한 자원평가, 어획노력량 규제, TAC 제도, 기술적 규제, 조업구역 규제, 어장환경 관리, 어장조성, 방류사업, 바다목장사업 등 다양한 사업과 관리정책

을 추진함에도 불구하고 자원량과 어획량이 감소하고 있다. 여러 가지의 원인이 있겠지만 자원관리 측면에서 볼 때, 각각의 정책사업이나 관리정책이 서로 연계성이 없이 개별적으로 진행되고 있다.

3.3. 생태계 기반 평가 및 관리를 위한 교육 현황

3.3.1. 조사 분야

생태계 기반 평가 및 관리를 위한 조사 분야는 생물분야 (지속성, 생물 다양성), 환경분야 (서식처), 경제·경영분야 (사회경제적 혜택)으로 구분하여 살펴보았다. 생물분야를 조사할 수 있는 기관은 대학교 (대학원), 연구소 (정부, 지자체), 수협, 통계청, 한국수산자원관리공단 등이 있고, 각 지표를 평가할 수 있는 자료를 조사 또는 수집하고 있다. 수산생물의 서식처인 환경분야를 조사할 수 있는 기관은 대학교 (대학원), 연구소 (정부, 지자체), 해양과학기술원, 해양환경공단 등이 있다. 경제·경영분야를 조사할 수 있는 기관은 대학교 (대학원), 연구소 (정부, 지자체), 수협, 통계청, 한국해양수산개발원, 복지부 등이 있다 (Table 23).

조사 분야에 대한 교육은 수산계 고등학교 또는 수산·해양 관련 대학 등의 교육기관에서 각각의 학문분야에 대한 교육을 수행하고 있으나 생태계 기반 자원평가 및 관리를 목표로 하는 교육과정이나 교육기관은 현재 없다.

3.3.2. 분석·평가 분야

분석·평가 분야의 교육 현황 역시 생물, 환경, 경제·경영 등 3개 분야로 구분하여 살펴보았다. 생물분야를 분석·평가할 수 있는 기관은 대학교

Table 23. Education subjects and studies by survey

Item	Detailed area (Characteristics)	Training target	Area of education and learning
Survey	Biology (Sustainability, Biodiversity)	University	Statistics, Biology, Fish taxonomy, Fisheries resources dynamics, Meteorology, Environmental science, Organization studies, Genetics
		Research institute of local government	Statistics, Biology, Fish taxonomy, Fisheries resources dynamics, Meteorology, Environmental science, Organization studies, Genetics
		NIFS	Statistics, Biology, Fish taxonomy, Fisheries resources dynamics, Meteorology, Environmental science, Organization studies, Genetics
		Statistics Korea	Statistics, Computer science
		Suhyup	Statistics, Fish taxonomy, Ethics
		FIRA	Biology, Fish taxonomy, Statistics
	Environment (Habitat)	University	Oceanography, Marine geology, Fishing gear engineering science, Environmental science, Statistics, Water quality analytics, Organic chemistry
		Research institute of local government	Oceanography, Marine geology, Fishing gear engineering science, Environmental science, Statistics, Water quality analytics, Organic chemistry
		NIFS	Oceanography, Marine geology, Fishing gear engineering science, Environmental science, Statistics, Water quality analytics, Organic chemistry
		KIOST	Oceanography, Marine geology, Fishing gear engineering science, Environmental science, Statistics
		KOEM	Oceanography, Marine geology, Fishing gear engineering science, Environmental science, Statistics

Table 23. Continued

Item	Detailed area (Characteristics)	Training target	Area of education and learning
Survey	Economy, Management (Socio-economic benefit)	University	Economics, Business administration, Resource economics, Sociology, Welfare studies, Statistics
		Research institute of local government	Economics, Business administration, Resource economics, Sociology, Welfare studies, Statistics
		NIFS	Economics, Business administration, Resource economics, Sociology, Welfare studies, Statistics
		Suhyup	Economics, Business administration, Statistics
		Statistics Korea	Economics, Business administration, Statistics
		KMI	Economics, Business administration, Statistics
		MOHW	Economics, Business administration, Statistics

NIFS : National institute of fisheries and science

FIRA : Korea fisheries resources agency

KIOST : Korea institute of ocean science and technology

KOEM : Korea marine environment management corporation

KMI : Korea maritime institute

MOHW : Ministry of health and welfare

(대학원), 연구소 (정부, 지자체) 등이 있다. 서식처가 연구대상인 환경분야는 대학교 (대학원), 연구소 (정부, 지자체), 한국해양과학기술원, 해양환경공단에서 분석·평가를 하고 있다. 경제·경영분야는 대학교 (대학원), 연구소 (국립수산과학원), 수협 (수산경제연구원), 한국해양수산개발원 등에서 업무를 수행하고 있다 (Table 24).

조사 분야와 마찬가지로 생태계 기반 자원평가 및 관리를 목적으로 수집된 자료를 어떻게 분석하고 평가를 하는지에 대한 전문적인 교육과정이나 교육기관은 현재 없다.

3.3.3. 관리 분야

관리 분야는 앞에서 설명한 조사 및 분석·평가 분야와 달리 정책수립·시행 분야와 불법어업 단속·관리 감독 분야로 구분하였다. 현재 우리나라 수산업의 정책수립·시행을 할 수 있는 기관은 정부, 지자체, 국립수산과학원 등이 있다. 불법어업을 단속하고 관리·감독할 수 있는 기관은 정부, 지자체, 어업관리단 그리고 스스로 협회나 단체를 구성하여 동일한 업무를 수행할 수 있는 어업인들이 있다 (Table 25).

우리나라 수산·해양에 대한 정책을 수립하거나 시행하고, 불법을 단속할 수 있는 공무원과 스스로 불법어업을 근절할 수 있는 어업인 역시 생태계 기반 자원평가 및 관리라는 개념과 교육이 없다는 것이 가장 큰 문제였다.

Table 24. Education subjects and studies by analysis and assessment

Item	Detailed area (Characteristics)	Training target	Area of education and learning
Analysis, assessment	Biology (Sustainability, Biodiversity)	University (Graduate school)	Statistics, Fisheries resources dynamics, Organization studies, Genetics
		Institute of local government	Statistics, Fisheries resources dynamics, Organization studies, Genetics
		NIFS	Statistics, Fisheries resources dynamics, Organization studies, Genetics
		FIRA	Statistics, Fisheries resources dynamics
	Environment (Habitat)	University (Graduate school)	Oceanography, Environmental science, Marine geology, Water quality analysis, Organic chemistry, Fishing gear engineering science, Statistics
		Institute of local government	Oceanography, Environmental science, Marine geology, Water quality analysis, Organic chemistry, Fishing gear engineering science, Statistics
		NIFS	Oceanography, Environmental science, Marine geology, Water quality analysis, Organic chemistry, Fishing gear engineering science, Statistics
		KIOST	Oceanography, Environmental science, Marine geology, Water quality analysis, Organic chemistry, Fishing gear engineering science, Statistics
		KOEM	Oceanography, Environmental science, Marine geology, Water quality analysis, Organic chemistry, Fishing gear engineering science, Statistics

FEI : Fisheries economic institute

Table 24. Continued

Item	Detailed area (Characteristics)	Training target	Area of education and learning
Analysis, assessment	Economy, Management (Socio-economic benefit)	University (Graduate school)	Economics, Business administration, Social science, Social welfare, Statistics
		NIFS	Economics, Business administration, Social science, Social welfare, Statistics
		Suhyup (FEI)	Economics, Business administration, Social science, Social welfare, Statistics
		KMI	Economics, Business administration, Social science, Social welfare, Statistics

FEI : Fisheries economic institute

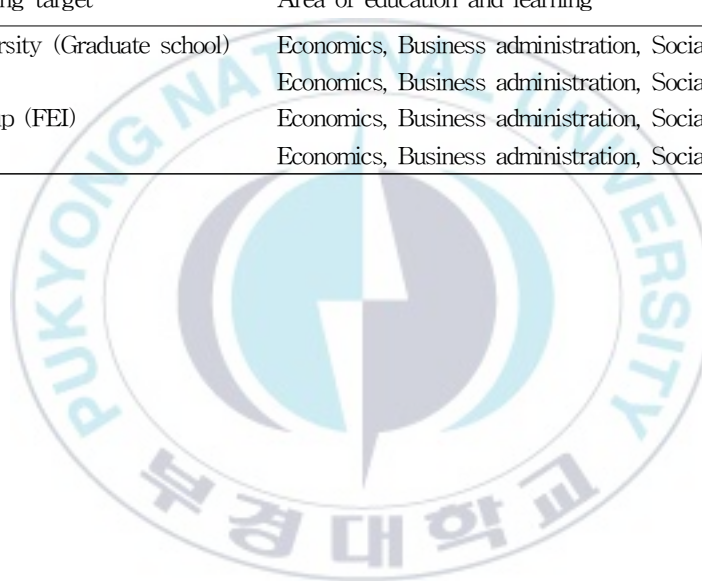


Table 25. Education subjects and studies by management

Item	Detailed area (Characteristics)	Training target	Area of education and learning
Management	Policy establishment and implementation	NIFS	Social science, Resource economics, Fisheries resources dynamics, Statistics, Ethics
		Public officer of government and local government	Public administration, Social science, Resource economics, Fisheries resources dynamics, Statistics, Ethics
	Illegal fishing	Public officer of government and local government	Public administration, Economics, Business administration, Fisheries resources dynamics
		Fisherman	Ethics, Economics, Business administration, Fisheries resources dynamics

4. 고찰

4.1. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 자료 개선방안

4.1.1. 지속성 유지 지표별 자료

지속성 목표에 대한 9개 지표 중 본 연구에서 사용된 지표는 총 5개였다 (Table 21). 자원량 지표는 많은 연구결과 및 자료가 필요하다. 개조개에 대한 어획량 및 체장자료는 수협, 통계청, 한국수산자원관리공단(FIRA)에서 수집하고 있으며, 자료는 2000~2016년까지 충분하였으나 지역별 잠수기수협에서 조사하는 수산자원조사원의 측정자료와 수협, 통계청에서 수집 및 공개하는 통계자료가 일치하지 않는다. 이러한 이유는 같은 개조개이지만 지역별 수협에서 측정하는 단위가 서로 달라 벌어지는 현상이다. 어떤 지역에서는 마리수로 위판하고, 또 어떤 지역에서는 플라스틱 상자 (일반적으로 20kg)에 담아서 위판하며, 또 다른 지역에서는 1망 (대략 20~30kg) 으로 위판하기도 한다. 위판 단위가 서로 다를지라도 정확히 중량을 측정하여 통계자료를 통일 시키면 되지만 현장에서 조사하는 조사원의 자료가 비교적 정확함에도 불구하고 오랜 관행으로 자료를 집계하는 수협의 시스템으로 어획통계량이 서로 차이가 난다. 이러한 문제점은 FIRA, 수협, 통계청 담당자들이 현장에서 공동실사 조사를 통해 한 번만 확인하고 문제점을 인식한다면 바로 해결될 수 있는 아주 간단한 문제이다. 지역별 수산자원조사원들이 매년 매월 측정한 개조개의 체장자료를 연령과 성장식을 통해 연령별 어획량 자료를 추정하여 자원량 추정 시 이용한다. 하지만 개조개 체장조사 때 소형개조개의 체장자료는 고스란히 누락되는 현상이 발생한다. 조업 중 어획된 소형개조개는 다시 방류되는 것이 아니라 바지락 등의 소형 패류에 섞여 판매되고 있는 실정이다. 또한 어획된 개조

개를 위판할 때에는 상품성이 있는 큰 개체만 골라서 위판하기 때문에 저 연령의 개조개 어획비율은 알 수가 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 현재 육상에서만 조사원이 조사하는 시스템에서 직접 승선하여 조사할 수 있는 승선조사 제도를 도입해야 할 것이다. 이러한 승선조사원 제도가 도입되면 소형개조개의 어획량뿐만 아니라 생물다양성 목표의 지표 중 하나인 폐기량 등을 조사할 수 있어 많은 문제점을 해결할 수 있다고 판단된다. 개조개 체장자료를 연령과 성장식을 통해 연령별 어획량 및 어획조성 비를 추정할 수 있는데, 여기에 사용되는 연령과 성장에 대한 파라미터(특성치) 값들이 너무 오래된 연구결과라는 것이 문제다. 본 연구에 사용된 개조개의 성장 파라미터는 Kim et al. (2003)이 연구한 결과이다. 예를 들면, Kim et al. (2003)이 추정한 이론적 최대체장 (L_{∞})은 125.6mm였으나 조업현장에서 어획된 개조개의 크기는 125.6mm보다 커서 연령을 추정할 수 없게 된다는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 관련 대학, 연구소(정부, 지자체) 등에서 최대한 빨리 개조개의 연령과 성장에 관한 연구를 추진해야 할 것이다.

CPUE (단위노력당 어획량)를 계산하기 위해서는 어획량과 노력량 자료가 필요하다. 어획량 자료의 문제점 및 개선방안은 위에서 제시하였기에 생략하고, 노력량 자료는 지자체 및 통계청에서 자료를 수집하여 통계자료로 제공하고 있다. 정확한 CPUE를 계산하기 위해서는 정확한 노력량 자료가 필요하나 지자체 및 통계청은 실제 조업척수 등의 노력량이 아니라 허가정수로 일괄 처리하기 때문에 정확하지가 않다. 수산자원조사원은 개조개의 생물학적 측정뿐만 아니라 매일 위판하는 어선명과 어획량을 조사하기 때문에 노력량을 정확히 알 수가 있다. 이에 통계청 및 지자체는 허가정수로 노력량을 제시할 것이 아니라 수산자원조사원이 매일 조사하는 노력량 자료를 함께 공유하여 통계자료로 제공한다면 보다 정확한 CPUE를

추정할 수 있을 것이다.

개조개의 재생산성을 평가하기 위한 지표인 성어비율 (MR)을 추정하기 위해서는 50% 군성숙체장 값이 필요하다. 개조개의 50% 군성숙체장은 73.6mm이나 이 연구결과 (Kim et al., 2004) 역시 오래된 값이다. 따라서 개조개의 정확한 성어비율을 추정하기 위해서는 대학 또는 연구소 (정부, 지자체)에서 조직학적 연구를 통해 현재 개조개의 산란기나 50% 군성숙체장을 위한 연구를 빨리 진행해야 할 것이다.

4.1.2. 생물다양성 유지 지표별 자료

생물다양성 유지 목표의 지표 5개 중에서 사용된 지표는 3개였다 (Table 22). 어획물 중 혼획물에 대한 지표의 자료는 수협에서 수집 및 집계하고 있으나 유사어종을 구분하지 못해 하나의 그룹으로 묶어 OO류로 분류한다든지 아니면 기타어류로 분류하고 있는 실정이다. 이에 각 수협별 담당직원들을 대상으로 주기적인 어종분류 및 판별교육을 시행해서 이 문제를 해결해야 할 것이다. 잠수기어업의 월별 또는 연도별 폐기량 자료는 확보할 수가 없었다. 왜냐하면 이와 관련된 자료를 수집하는 기관이 없어 잠수기어선 조업현장에서 어획물 중 얼마나 폐기되고 있는지 정확히 알 수가 없기 때문이다. 앞서 소형개조개의 비율 및 체장 자료를 확보하기 위해서 승선조사원 제도를 도입해야 한다고 한 것처럼 이 문제도 승선조사원 제도를 도입한다면 충분히 해결할 수 있을 것이라 생각된다. 마찬가지로 다양성지수 역시 어획물의 정확한 어종분류가 이뤄지지 않아 해마다 비슷한 어종 수가 집계되고 있다. 이 또한 수협 담당직원을 대상으로 지속적인 어종분류 및 판별교육을 통해서 해결되리라고 판단된다.

4.1.3. 서식처 보존 지표별 자료

서식처 보존 목표의 지표 6개 중에서 사용된 지표는 3개였다 (Table 23). 훼손된 어장의 면적 비율을 산정하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한 이러한 자료를 수집하는 기관 역시 없다. 이 문제를 해결하기 위해서는 잠수기조합, 국립수산물과학원, 대학, KIOST, KOEM 등에서 직접 잠수조사를 수행하는 것이다. 하지만 이를 위해서는 많은 인력, 시간, 예산 등이 소요될 것이다. 그리고 분사기를 사용해 채취하는 개조개의 서식면적을 추정할 수 있다면 훼손된 어장 비율 역시 대략적으로 추정 가능할 것이다. 잠수기 어업인을 대상으로 설문조사를 병행하는 것도 좋은 방법이라 여겨진다. 산란장 및 보육장 내 오염율을 추정하는 것은 현실적으로 불가능하다고 생각된다. 이에 국립수산물과학원에서 매년 우리나라 전 연안에 대해 표층 및 저층의 수질 및 저질 등을 분석하여 보고하고 있는데, 이 보고서의 수질등급지수 (WQI)를 이용하는 것도 한 방법일 것이다.

잠수기어선에서 해양폐기물을 얼마나 버리는 지 그 양을 알기는 쉽지가 않다. 설문조사를 수행하더라도 거의 대부분이 쓰레기를 해상에 투기하지 않고 육지로 가져 와서 버린다고 답한다. 하지만 정확하고 정량적인 자료를 수집하기 위해서는 승선조사원 제도를 도입해서 직접 조사를 수행하는 것이 제일 좋을 것이다. 잠수기어업에서 해양쓰레기를 버리지 않는다고 해도 이 부분은 하나의 어업 측면에서 고려할 것이 아니라 생태계 전체를 고려해야 할 것으로 판단된다. 따라서 직접 해양쓰레기 배출량 자료를 확보하기 힘든다면, 정부에서 운영 중인 해양쓰레기통합정보시스템의 자료를 이용하는 것도 좋은 방안이라 생각된다. 이 사이트에서 제공되는 자료는 지역별 해양에서 수거된 쓰레기양을 지역별로 정량적으로 알 수 있기 때문에 해당되는 지표를 추정할 수가 있다.

4.1.4. 사회경제적 혜택 지표별 자료

사회경제적 혜택 목표의 지표 5개 중에서 3개에 대해 분석이 가능하였다 (Table 24). 개인당 소득 지표인 IPPE, 잠수기어업의 경영 상태를 알 수 있는 비용 당 이윤비 (RPC)는 잠수기수협, 수협 산하 수산경제연구원, 한국 해양수산개발원 (KMI)에서 매년 보고서를 발간하고 있어 자료를 충분히 제공해 주고 있다. 하지만 고용율 (ER) 지표에서 이용되는 어선척수 자료는 통계청에서 제공하는 허가정수가 아닌 수산자원조사원이 조사 및 수집하는 실제 조업척수, 조업일수 등의 자료를 반영하고 이용하는 것이 현실성을 반영하고 정확한 평가를 얻을 수 있다고 생각된다.

4.2. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 연구 개선방안

4.2.1. 지속성 유지 기준점

자원량 지표의 기준점인 B_{MSY} 또는 $B_{40\%}$ 는 기준점으로서 적정하다고 판단된다. 하지만 기준점을 계산하기 위해서는 많은 정보가 필요하다는 것이 단점이다. 또한 목표기준점을 로 고정할 것이 아니라 수명의 길고 짧음에 따라 목표기준점을 달리해야 할 것으로 생각된다. 개조개처럼 수명이 비교적 긴 어종에 대해서는 $B_{40\%}$ 로 하면 자원상태가 나빠질 수도 있어 $B_{40\%}$ 이상을 적용하는 것도 검토해 볼 필요가 있다고 판단된다. CPUE 지표나 어획사망계수 (F) 지표 추정 시 이용되는 MSY를 추정할 때는 평형생산량 모델보다는 비평형생산량 모델을 이용하는 것이 보다 현실성을 반영한다고 판단된다. 성어 비율 (MR)의 기준점은 $MR_{40\%}$ 로 이 또한 추정하기 위해서는 많은 정보가 필요하다. 생태학적 파라미터 (L_{∞} , K, t_0) 및 체장-체중 관계식에서 a, b 계수 값을 이용하여 $MR_{40\%}$ 를 추정하므로 계산이 복잡해진다. 이

에 성어비율의 목표기준점을 80%로 설정하고, 한계기준점은 $0.9 \times$ 목표기준점으로 설정한 후 생물학적최소성숙체장인 50% 군성숙체장과 연도별 체장 자료를 이용하여 어획물의 성어비율을 추정한 후 적용하면 쉽게 지표 값을 추정할 수 있게 된다. 다만, 목표기준점을 설정하는데 있어서는 전문가들의 의견수렴과 검정작업이 필요할 것이다.

4.2.2. 생물다양성 유지 기준점

생물다양성 유지 목표에 사용된 지표는 혼획률, 폐기량, 다양도지수로 3개였다 (Table 26). 혼획률 지표의 기준점은 해당 어업의 어민들의 설문조사를 통해 대상종을 선정하고, 그 외 어종을 혼획종으로 간주한다고 했다 (Zhang et al., 2010). 이처럼 혼획률 지표의 기준점에 대한 문제는 혼획에 대한 정확한 정의가 없다는 점과 상위 5개 어종을 제외한 어종은 혼획어종으로 간주하여 평가되어 왔다. 어획물의 어종별 어획비율이 비슷할 경우 상위 5개 어종 순으로 설정한다면 6번째, 7번째 어종 역시 주요 대상종이 될 수 있음을 감안해 볼 수 있다. 이에 혼획률의 정의를 어획물 중 어종별 어획량 비율에서 5% 미만의 어종은 혼획어종으로 간주하면 어업별 혼획률을 보다 쉽게 추정할 수 있을 것이다. 폐기율 지표의 기준점은 국내 기준점이 없어 FAO (2005)에서 제시하는 어업별 폐기율을 적용하고 있다. FAO에서 제시한 잠수기어업의 폐기율은 0~1%이다. 이에 대한 개선방안은 승선조사원제도를 도입해 직접 조사하여 잠수기어업의 폐기율 기준점을 설정하는 것이다. 종다양도지수 지표의 문제점은 평가 대상기간의 시작 연도와 마지막 연도의 값만 이용해서 평가하기 때문에 전체 기간의 내용은 반영이 안된다는 것이다. 이에 목표기준점 및 한계기준점의 계산식에서 Dfirst 대신 DImean 값을 사용하는 것이 더 타당성이 있다고 생각된다.

4.2.3. 서식처 보존 기준점

서식처 보존 목표에 사용된 지표는 서식처 훼손율, 산란장·성육장 내 오염률, 해양폐기물로 3개였다. 서식처 훼손율의 기준점은 국내 기준점이 없어 MSC (2009)에서 제시하는 기준점을 적용하면서 어구의 특성을 고려한다. 잠수기어업은 분사기를 사용하여 저서생물 및 잠입생물을 채취하는데 대상어종에 따라 분사기, 맨손, 호미 등을 구분하여 어획하고 있어 잠수기어업 전체에 대한 서식처 훼손율을 적용하는 것은 타당하지 않다. 따라서 분사기를 사용하여 어획하는 개조개는 서식처 훼손율이 클 것이며, 맨손 또는 호미를 이용해서 어획하는 키조개와 바지락은 서식처 훼손율이 적을 것으로 판단된다. 산란장·성육장 내 오염률의 기준점은 부유물질의 농도에 따라 오염률을 산정하는데 잠수기어업의 주요 대상생물들은 대부분 저서 및 잠입생물이기에 기준점이 적합하지 않다. 국립수산과학원은 매년 전국 연안 57곳 260여 개 정점에서 표층·저층의 해수 및 퇴적물을 연 6회, 2회씩 조사하여 약 32개의 항목에 대해 분석하여 수질등급을 평가하여 보고 한다 (<http://nifs.go.kr/femo>). 따라서 저층, 저질 등 서식처의 오염도를 추정하는 수질평가지수 (WQI, Water quality index)를 이용하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 해양폐기물 지표의 기준점은 적정한 것으로 판단된다.

4.2.4. 사회경제적 혜택 기준점

사회경제적 혜택 목표에 사용한 지표는 고용인원당 수입, 판매이윤비, 고용률로 3개였다. 사회경제적 혜택의 각 지표의 기준점은 적정한 것으로 판단된다.

4.3. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 교육 개선방안

국제적 요구에 따라 수산자원과 생태계에 대한 객관적이고 과학적인 평가 시스템 기반의 생태계 기반 자원평가 및 관리방법을 조속히 도입하기 위해서는 각 분야별 교육이 선행되어야 할 것이다. 생태계 기반 자원관리를 위한 교육 분야는 크게 조사, 분석·평가, 관리 등 3개 분야로 구분하였다.

4.3.1. 조사 분야 교육

조사 분야의 세부분야로 생물분야 (지속성, 생물다양성), 환경분야 (서식처), 경제·경영분야 (사회경제적 혜택)로 구분하였다. 먼저, 생물분야의 지속성 및 생물다양성 조사를 할 수 있는 기관은 대학, 연구소(정부, 지자체), 통계청, 수협, 한국수산자원관리공단으로 필요한 학문분야는 통계학, 생물학, 어류분류학, 수산자원역학, 자원생태학, 기상학, 환경과학, 조직학, 유전학, 윤리학 등의 교육이 필요하다. 환경분야의 서식처를 조사할 수 있는 기관은 대학, 연구소(정부, 지자체), 해양과학기술원, 해양환경공단 등으로 교육이 필요한 학문분야는 해양학, 해양지질학, 어구공학, 환경과학, 통계학, 수질분석학, 유기화학 등이다. 경제·경영분야를 조사가 가능한 기관은 대학, 연구소(정부, 지자체), 수협, 통계청, 한국해양수산개발원, 복지부 등이며 필요한 학문분야는 경제학, 경영학, 자원경제학, 사회학, 복지학, 통계학 등이다.

4.3.2. 분석·평가 분야 교육

분석·평가분야의 세부분야 역시 생물분야, 환경분야, 경제·경영분야로 구분하였다. 생물분야의 지속성 및 생물다양성 분야를 분석·평가가 가능

한 기관은 대학(원), 연구소(정부, 지자체), 한국수산자원관리공단 등으로 필요한 학문분야는 통계학, 수산자원역학, 조직학, 유전학 등의 교육이 필요하다. 환경분야인 서식처를 평가할 수 있는 기관은 대학(원), 연구소(정부, 지자체), 한국해양과학기술원, 해양환경공단이 해당되며 해양학, 환경과학, 해양지질학, 수질분석학, 유기화학, 어구공학, 통계학 등의 교육이 필요하다. 사회경제적 혜택 분야를 평가할 수 있는 기관은 대학(원), 국립수산과학원, 수협(수산경제연구원), 한국해양수산개발원으로 경제학, 경영학, 사회과학, 통계학 등의 교육이 필요하다.

4.3.3. 관리 분야 교육

관리 분야는 조사 및 분석·평가분야와 달리 정책수립·시행과 불법어업으로 구분하였다. 정책수립·시행을 담당하는 공무원(정부, 지자체)과 국립수산과학원으로 행정학, 사회과학, 자원경제학, 수산자원역학, 통계학, 윤리학 등의 교육이 필요하다. 불법어업을 관리하며 근절시킬 수 있는 대상은 담당 공무원(정부, 지자체)과 어업인이며, 윤리학, 경제학, 경영학, 수산자원역학, 행정학 등의 교육이 필요하다.

4.4. 생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템

4.4.1. 현행 자원관리 현황 및 문제점

생태계를 기반으로 하는 어업자원관리는 국제기구나 주요 수산선진국에서 이미 도입하여 시행중에 있다. 먼저 우리나라의 어업자원관리 수단에 대한 정확하고 현실적인 인식이 필요하다. 왜냐하면 문제점 인식을 바탕으로 우리나라 현실에 맞는 생태계를 기반으로 하는 수산자원관리 방안이 도

출될 수 있기 때문이다. 더욱이 생태계를 기반으로 하는 수산자원관리는 현재의 관리 수단을 대체하는 것이 아니라 중장기적으로 생태계를 고려하는 개념을 중심으로 현재의 수단들을 수정하고 보완하는 것이기 때문이다.

우리나라의 어업관리는 전통적으로 어선어업의 허가제를 바탕으로 진입 규제와 어구제한, 금어기, 망목규제와 같은 기술적인 통제수단을 사용하다가 1999년부터 어획량을 통제하는 총허용어획량 (Total Allowable Catch, TAC) 제도를 도입하여 함께 사용하고 있다. 게다가 자원조성사업의 하나로 인공어초사업, 종묘방류사업 등도 한국수산자원관리공단 또는 각 지자체에서 활발히 추진하고 있다. 어업자원관리수단을 성격에 따라 분류하면 크게 규제적인 수단인 자원관리와 자원조성으로 구분할 수 있다. 자원관리에는 어획노력량 규제, 어획량 규제, 기술적 규제, 조업구역 규제를 포함하고 있으며, 자원조성에는 환경관리, 어장조성, 종묘방류사업, 바다목장 및 바다숲조성 사업 등이 있다.

가) 어획노력량 규제

어획노력량 규제를 위해 허가정수, 선복량 제한, 어구사용량 설정, 어구실명제, 어선 감척 등과 같은 수단들이 사용되고 있다. 허가정수는 업종·지역 간 어업분쟁 조정 및 어업의 균형발전을 위해 어획능력 확대를 사전에 제한하는 목적으로 근해어업과 연안어업에 업종별로 정수를 설정하고 있다. 그러나 기존의 허가정수는 자원상태에 대한 고려 없이 설정되었고, 그 자체만으로는 시행효과를 거두기 어렵기 때문에 산출량 규제 방식과 같은 다른 규제 수단과 병행해야 할 필요가 있다.

대부분의 어업인들은 어구를 사용함에 있어 수산자원의 관리나 장기적인 수익보장 측면 등을 고려하지 않고 임의로 과다하게 어구를 사용하고 있는 실정이다. 최근 자원의 감소 및 어장 축소 등으로 인해 조업경쟁이

심화됨으로써 과다하게 어구를 사용하여 어업경비의 증가는 물론 자원남획 및 어장오염 등을 막을 수 있는 수단 또한 미약하다. 따라서 이에 대한 개선으로 어구사용량제한의 실효성 확보를 위해서는 어구 실명제의 병행이 필수적이라 할 수 있다.

어획노력량 규제 수단 중 가장 대표적인 것이 어선감척이다. 어선감척은 어획능력 감소를 통한 자원회복 및 어업인 소득증대를 도모하기 위한 수단으로 시행되고 있다. 그러나 과학적인 자료의 근거 없이 어선감척 계획이 수립되고 있어 정책설정에 있어서 특정어종 및 어업을 중심으로 한 구체적인 정책 목표를 제시하기 보다는 어선어업이 안고 있는 국내외적인 문제를 어선감척을 통해 해결하려는 측면이 있다. 따라서 감척 그 자체만으로는 실효성을 가지기 어려우므로 기술적 규제와 병행해야 하고, 더욱이 감척사업의 목표를 자원관리에 중점을 두어 단순화시킬 필요가 있다. 또한 감척의 목표는 특정어업, 특정지역에 대한 구체적인 물량으로 제시하고, 목표량은 어선척수 뿐만 아니라 어선톤수, 마력수도 포함해야 할 것이다. 특히, 감척 후에는 재진입을 못하도록 규제할 수 있는 기준마련이 있어야 할 것이다.

나) TAC 제도

어획량규제 중 TAC는 산출량규제에 있어 가장 대표적인 관리 수단이다. 우리나라의 경우 배타적 경제수역이 선포되면서 총허용어획량 (TAC)에 의한 어업관리 제도를 채택하여 2018년 현재 13개 어업에 11개 어종을 대상으로 실시하고 있다. 수산자원조사원의 증원으로 자료 수집 체계 정착과 자원전용 조사선의 확보, 자원평가 및 조사를 위한 인력 확보, TAC 결정 시스템 보완 등 다양한 측면에서 계속해서 발전하고 있다.

과학적인 방법에 의해서 대상어종의 자원량을 추정하고 다양한 자원평

가 방법에 의해서 최대지속적 생산량 (MSY)과 생물학적 허용어획량 (ABC)을 산출한다. ABC는 5단계의 Tier 시스템에 의해서 결정되는데 자원량과 어획사망계수, MSY 시 자원량, MSY 시 어획사망계수, 순간자연사망계수 등의 자료를 사용하여 수행되는 1단계 (Tier 1)부터 어획량 자료만을 사용하여 수행되는 5단계 (Tier 5)까지의 방법을 통해 추정한다. 그 후 사회적 여건을 고려하여 TAC를 결정한다 ($TAC \leq ABC$).

최근에는 생태계 기반 자원평가에 의한 위험도에 따라 ABC를 적용하기 위해 시스템을 점점 중이며, 기존 TAC 시행시기였던 1월~12월을 7월~다음해 6월로 변경하여 각 어업들의 주조업시기를 보다 원활하게 보장하려고 하고 있다.

다) 기술적 규제

어선·어구 제한 및 금지, 금어구, 금어기 등과 같은 기술적 제한은 어획능력과 자원에 대한 부정적인 영향을 감소시킬 수 있으며, 치어보호에도 효과적이다. 또한 이러한 수단은 어업별 상황을 고려하여 조업활동을 규제할 수 있다.

수산자원관리법 및 시행령에 의해 이중이상의 자망에 대해서는 동·서해안 두 지역을 제외하고는 사용을 금지하고 있으며, 20개 어업에 대한 망목의 크기를 제한하고 있다. 산란어 및 미성어를 보호하기 위해 20개 어구에 대해서 산란기 동안에는 산란장에서 어구사용을 금지하고 있으며, 33종에 대해서는 산란기간에는 어업인 금지된다. 12개의 근해어업 어선에 대해서는 연안에서의 조업을 금지하고 있다. 또한 21개 근해어업과 12개의 연안어업에 대해 어구의 형태, 규모, 사용량 및 사용방법을 규정하고 있다.

라) 조업구역 규제

조업구역을 규제하는 수단으로는 특정어업금지구역, 보호수면, 육성수면, 수산자원관리수면 등이 있으며, 이러한 방법을 통해 자원보호를 추진하고 있다. 그러나 조업구역규제는 금지구역에서의 어업인의 이해관계가 얽혀 어업인 간의 분쟁이 발생하기도 한다.

보호수면은 수면의 이용규제를 통한 수산동물의 산란 및 수산동물의 종묘발생이나 치어의 성장보호를 위해 절대보존지역으로 시도지사의 신청에 의해 해양수산부 장관이 지정한다. 현재 우리나라의 보호수면은 총 10건, 약 4,712ha가 지정되어 운영되고 있다.

수산자원보호구역으로는 해수면과 내수면으로 구분하여 지정하였는데, 해수면은 22개 시/군의 82개 읍면을 대상으로 2,863km² 지정되어 운영되고 있고, 내수면은 24개 시/군의 83개 읍면을 대상으로 309km² 운영되고 있다.

수산자원관리수면은 인공어초 또는 바다목장 시설물을 설치했거나 설치할 예정인 수면에 지정하여 운영하고 있다. 현재 수산자원관리수면은 전남, 경남, 부산, 울산 등지에 83개소 12,078ha가 지정되어 운영되고 있다.

마) 어장환경관리

자원조성 분야 중 환경관리 수단에는 어장정화, 저질개선, 해적생물 구제, 배출수 규제 및 친환경 어구개발이 포함된다. 어장정화, 저질개선, 해적생물 구제 및 배출수 규제는 어장관리법에 의거하여 실시되며, 연안오염 방지 및 연안생태계 개선을 목적으로 하고 있다.

바) 어장조성

해중림 조성사업은 수중 동식물의 인위적인 서식환경을 제공하여 생태계복원, 자원증대 및 어업인의 소득을 증대시키는 기능을 가지고 있다.

인공어초사업은 소규모인 경우가 많고, 출현어종, 생태, 시설형태, 어초

종류, 어법 등 종합적인 조사가 장기간에 걸쳐 이루어져야 하나 단기적인 조사로 적지를 판정하고 있다. 인공어초 적지조사 시 인공어초 시설 이전의 자원상태 및 환경에 대한 충분한 분석이 수행되지 못한 상황에서 어초 시설이 이뤄져 인공어초사업의 효과에 대한 분석이 어려운 실정이다.

사) 방류사업

종묘방류 사업은 기르는어업육성법 9조에 근거하여 자원을 첨가하여 어업소득을 증대시키는 것이 목적이다. 그러나 환경수용력, 자원상태 및 자원 집단에 미치는 영향 파악 및 효과조사 등 체계적인 계획이 없이 진행되는 단점이 있다. 따라서 지역에서 생산된 건강하고 유전적 다양성이 높은 친어를 확보하고 각 지역의 환경수용력을 고려하여 과학적인 방법에 따라 방류가 이뤄져야 할 것이다.

아) 바다목장사업

바다목장사업은 먼저 생태계 모델링 연구를 통해 생태계의 구조와 에너지 흐름을 파악하고, 생태계 구조의 분석을 통해 필요한 시설물을 바다목장에 설치하며, 이용대상의 자원생물 치어 및 자어를 적정량 인공방류하여 자원을 조성하는 사업이다. 이러한 조성효과를 생태계 역학 시뮬레이션에 의해 생태계의 변동을 예측하고, 이용대상 수산자원들의 TAC를 설정해서 자원을 관리하는 방식으로 생태계 기반 관리개념에 의한 것이다. 한 예로 통영바다목장은 생태계 기반 관리방식을 고려하여 진행되었으나 이후 지자체 소규모의 바다목장사업은 관련 연구나 예측 없이 진행되는 경우가 많았다.

4.4.2. 생태계 기반 자원관리를 위한 전략 및 전술

남해안 잠수기어업의 개조개에 대한 생태계 기반 자원평가 결과를 살펴보면, 목표위험도 지수가 모두 1 이상으로 경고 수준을 보여주고 있다. 서식처의 위험도 지수는 2.5로 가장 높아 위험 수준에 해당되었고, 사회경제적 혜택의 위험도 지수 역시 2.3으로 위험 수준이었다. 생물다양성과 지속성의 위험도 지수는 1.1, 1.5로 나타나 경고 수준이었다 (Table. 26).

서식처 목표의 지표 중에서 서식처 훼손율의 위험도가 3.0으로 가장 높았다. 서식처 훼손율 감소 및 훼손금지의 전략에 따라 현재 서식처 훼손율 영향이 큰 분사기 대신 친환경 어구 개발 및 불법어업 근절 (분사기 노즐 규격 위반), 준법정신을 강화할 수 있는 교육, 해양쓰레기 투기 금지, 지속적인 해양쓰레기 수거사업 등의 전략을 수립할 수 있다. 해양쓰레기의 위험도는 2.4로 위험 수준으로 비양심적인 행동을 교정할 수 있는 윤리학 수강 등의 교육, 해양쓰레기 투기 금지, 해양쓰레기 수거사업 지속 등의 전략이 필요하다. 산란장·보육장 내 오염률 지표의 위험도는 1.9로 경고 수준으로 나타났지만 주의 수준이나 마찬가지다. 산란장·보육장 내 오염률 감소라는 전략을 위해 해양쓰레기 투기 금지, 서식처에 훼손을 줄 수 있는 불법어구 사용금지, 지속적인 해양쓰레기 수거사업 등 전술을 수립할 수 있다.

사회경제적 혜택 목표의 지표 중에서 고용률 위험도가 3.0으로 높았고, 고용률 증가라는 전략에 따른 전술로는 잠수기어업의 경제성 분석에 의한 적정조업일수 추정을 통해 조업을 하는 것과 적정어획량 만큼 어획을 하며 고가 어종을 선택하여 생산량을 증가시키는 것이다. 어업인당 소득 증가를 위해 적정조업일수에 따른 조업, 적정어획량 생산, 고가 어종을 선택하여 생산, 비목표어종 및 소형개체 포획 시 방류 등의 전략을 수립하는 것이다. 판매이윤당 비용의 위험도는 1.8로 경고 수준이었다. 지속적인 생산량 유지

Table 26. Management strategies and tactics based on risk scores by target with the focus of purplish Washington clam

Objectives	ORI	Strategies	Indicator	Risk score	Tactics
Sustainability	1.1	Increasing biomass	B	1.2	Management of catch by TAC,
		Decreasing fishing effort	F	1.8	Thoroughness of catch report
		Prohibition capture size	t_c or L_{opt}	0.8	Reducing fishing vessels
		Prohibition capture period	MR	0.0	Legislation of prohibition capture size
Biodiversity	1.5	Decreasing bycatch	BC/C	1.5	Legislation of prohibition capture period
		Decreasing discarded rate	D/C	1.1	Releasing at bycatch or small size
		Training for person in charge of species classification	DI	1.8	Monitoring discard by an observer on board
					Education for fish classification by establishment of a new curriculum
Habitat	2.5	Preventing habitat damage	DH/H	3.0	Development fishing gear, or crack down of illegal fishing gear
		Decreasing pollution of spawning and nursery ground	PG/G	1.9	Environmental improvement of fishing ground
		Restricting discarded wasted	DW	2.4	Prohibition of discarded waste
		Increasing the revenues	IPE	2.1	Production of optimum catch
Socio-economic benefit	2.3	Maintaining variable production	RPC	1.8	Increasing of expensive fish catch
		Supporting employment	ER	3.0	Fishing on optimum fishing days

라는 전략에 따른 전술로는 고가어종을 선택하여 어획하는 것, 어가를 유지할 수 있는 적정어획량 생산, 과잉노력량 투입을 막을 수 있는 적정조업 일수 등이 있다.

생물다양성 목표의 지표 중에서 다양도지수 위험도는 1.8로 경고 수준이었다. 다양도지수 위험도를 낮추기 위해 어획물의 품종별 분류가 가능할 수 있도록 수협 담당자의 종분류 및 판별능력을 증가시키는 전략이 필요하다. 이에 어종분류 교육과정을 신설 및 담당자가 교육수료를 할 수 있도록 하는 전술을 수립할 수 있다. 혼획률의 위험도 역시 1.5로 평가돼 경고 수준이었다. 혼획률의 저감을 위해 부수어획량을 감소시켜야 하는데 이 전략에 따른 전술로는 비목표어종 및 소형개체가 잡혔을 때 방류시키는 것과 친환경 어구 및 방법을 통해 혼획률을 감소시키는 방안이 있다.

지속성 목표의 지표 중에서 어획노력량의 위험도가 1.8로 경고 수준이었다. 어획강도 감축이라는 전략에 따라 어선감축사업의 전술을 수립하는 것이다. 현재 남해안 잠수기어업의 어선은 178척으로 허가정수인 132척으로 감축한다면 어획강도는 안전 수준으로 개선될 것이다. 자원량 지표의 위험도는 1.2로 경고 수준으로 나타났으나 실제 개조개 TAC가 시행됐던 2000년부터 현재까지의 자원량 변동을 고려한다면 현재 위험도는 매우 심각한 수준일 것이다. 개조개 자원량을 증가시키기 위해서는 할당된 양만큼만 어획하고 철저히 보고해야 하며, 어린개체를 보호할 수 있는 포획금지체장 설정, 산란에 참여하는 어미개조개 보호를 위한 금어기 설정, 소형개체가 포획되면 방류, 경제성 분석 등이 자원량을 증가시킬 수 있는 전략이 될 수 있다.

4.4.3. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위한 시스템 구축

세계 각국은 자국의 어업환경과 생태계 환경을 고려하기 시작함에 따라 단일어종 관리의 한계성을 극복하기 위해서는 효율적인 통합관리가 필요하다는 인식을 하면서 생태계를 기반으로 하는 어업관리의 원칙을 채택하기 시작하였다. 그러나 대부분의 국가들은 직접적으로 생태계를 기반으로 하는 어업관리를 도입하여 시행하지 않고, 주로 간접적인 방법으로 관련 이론들을 채택하여 시행하기 시작하였고, 최근에는 수산선진국뿐만 아니라 많은 나라들이 생태계 기반 자원평가 및 자원관리 제도를 도입하여 시행하려 하고 있다.

생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템은 평가대상 생태계, 어업, 어종, 인간의 어로활동, 사회경제적 여건 등을 고려해야 한다. 생태계 기반 자원평가 및 관리 흐름도는 Fig. 5.에서 보는 바와 같이 먼저 평가하고자 하는 생태계 또는 어업의 목표를 설정하고 목표에 따른 지표를 선정한다. 각 지표별 필요한 자료를 충분히 수집되면 기준점 (목표기준점, 한계기준점)을 설정하나 자료가 충분하지 않다면 항목별로 분류하여 충분한 조사를 수행해야 한다. 각 지표별 기준점이 설정되면 생태계 기반 자원평가를 수행할 수 있으나 기준점이 없거나 적정하지 않으면 새로 개발해서 정립해야 한다. 생태계 기반 자원평가가 이뤄지더라도 예측 (IFRAME)등의 피드백 시스템을 통해 충분한 평가가 이루어질 때 정책수립 및 관리방안을 시행해야 한다. 본 연구에서는 IFRAME에 대한 자세한 내용을 기술하지는 않지만 Hollowed et al. (2013)은 기후변화에 따른 생태계 평가모델 비교 분석 연구에서 IFRAME이 가장 적합한 모델로 분석되었다고 하였으며, 2014년 동아시아정상회의에서 IFRAME을 공식적인 관리시스템으로 채택하기도 하였다.

생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템이 구축되어 있더라도 시스템이 원활하게 운영되고 지속적으로 발전하기 위해서는 각 분야별 교육이 필요

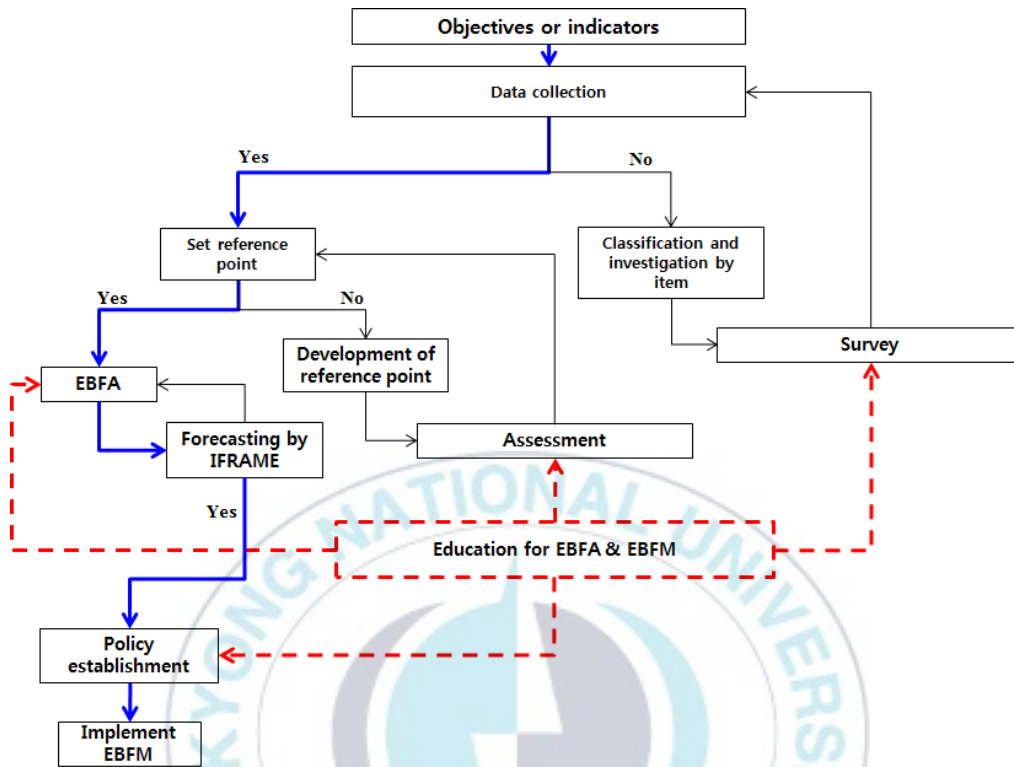


Fig. 5. Flowchart of ecosystem-based fisheries assessment and management. The blue line is a flow chart when sufficient data is available and the black line is flow chart when there is not enough data with feedback. The dotted red line refers to education in each area.

하다. 우리나라는 생태계 기반 자원평가 및 관리 연구에서 세계 수산선진국 보다 늦게 출발했지만 생태계 기반 자원평가 수준과 관리 시스템은 세계 최고 수준이다. 하지만 여전히 단일어종에 대한 평가와 관리가 정책의 대부분을 차지하고 있을 뿐 이 시스템을 수산자원 관리정책에 도입을 못하고 있다. 왜냐하면 정책을 수립하고 시행하는 행정담당자들이 이 시스템을 모르고 있기 때문이다. 그래서 각 분야별로 생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템에 대한 교육이 필요한 것이다. 자료를 수집하거나 조사하는 연구자나 지표별 기준점을 개선 또는 개발하는 대학이나 정책을 수립하고 시행하는 담당자나 현장에서 직접 어업에 종사하는 어업인들 모두에게 교육이 필요한 것이다. Kang and Zhang (2017)은 수산교육에도 새로운 패러다임의 전환이 필요하며, 수산교육은 생태계 기반 자원관리 개념에 부합하도록 전통적인 수산교육의 틀을 깨트리고 해양학, 경제학, 사회학, 통계학, 윤리학 등 관련 학문과 융합교육을 지향하는 변화가 필요가 있다고 강조하였다.

V. 종합 고찰

본 연구는 잠수기어업의 어선세력 70% 이상이 조업하고 있는 남해안 잠수기어업을 대상으로 생태계 기반 어업평가 (EBFA)를 수행하였다. 남해안 잠수기어업의 주요 어획대상 어종인 개조개, 키조개, 바지락에 대해서는 정량적 분석 방법으로 평가를 수행하였고, 우렁챙이와 해삼에 대해서는 정성적 분석 방법으로 평가하였다.

남해안 잠수기어업의 위험도지수는 1.8로 안전, 경고, 위험 수준 중에서 위험수준의 초입단계로 평가되었다. 주요 어획대상 어종인 개조개, 키조개, 바지락 자원의 지속성 위험도지수는 위험한 수준으로 평가되었는데 한정된 조업어장에서 적정어획노력량 이상의 노력량이 장기간 지속된 것이 가장 큰 원인으로 판단된다. 최근 개조개 자원이 감소하자 키조개와 바지락을 대상으로 집중 어획이 이뤄져 이에 대한 관리도 시급하다. 잠수기어업이 타 업종 또는 마을어업 간의 갈등을 일으키는 것이 사용어구인 분사기이다. 분사기 때문에 소형 조개나 치패 등이 폐사한다는 주장이 있는 반면 오히려 분사기로 인해 해저 바닥을 경운하는 효과가 있다는 주장도 있다. 체계적이고 과학적인 조사를 통해 분사기 사용의 문제점을 해결해야 업종 간의 갈등뿐만 아니라 대상어종의 서식처 보존 문제도 해결될 것이다. 남해안 잠수기어업의 경영상태는 대부분 지표에서 위험 수준으로 나타났다. 선원의 임금이나 고용부분에 있어서 위험도가 높게 평가되어 지속적인 개선 대책을 마련해야 할 것이다.

남해안 잠수기어업의 주요 어획대상 어종 중 개조개는 TAC 및 수산자원회복사업 대상어종이고, 키조개는 TAC 대상어종으로 관리되고 있지만 자원량과 어획량은 지속적으로 감소하고 있는 실정이다. 이러한 이유는 무

분별한 남획, 조업어장 축소, 어장환경 훼손, 해양환경 악화 등 여러 가지가 있겠지만 수산자원관리 정책을 수립하고 관리하는 시스템이 제대로 작동하지 않기 때문이다. 수산자원을 회복시키기 위해 정부에서는 각 부서별 다양한 정책사업을 시행하고 있지만 사업 간 연계성이 없이 그 사업만 수행하고 있으며, 심지어 같은 부서에서 여러 정책사업을 수행하지만 그 연결고리를 찾을 수 없는 것이 대부분이다. 그렇기 때문에 사업 간 연계성을 찾고 부서 간 업무를 효율적으로 하여 최대의 시너지 효과를 얻기 위해서는 생태계 기반 자원평가 및 관리 시스템처럼 통합 관리 시스템이 필요하다.

이처럼 생태계 기반 자원평가는 각 목표에 대한 지표의 위험도 평가를 통해 어종 또는 어업의 위험요인을 과학적으로 파악할 수 있고, 그에 따른 관리정책과 전략을 수립할 수 있다. 또한 관리정책 또는 전략을 통해 자원 관리가 잘 이뤄지고 있는지 비교 및 확인이 가능하며, 정량적 또는 정성적 평가를 통해 초록색, 노란색, 빨간색으로 표시하여 시각적으로 쉽게 이해할 수 있는 장점이 있다.

반면 생태계 기반 자원평가를 위해서는 과학적인 자료 수집, 조사 및 분석에 많은 시간과 노력이 필요하다. 또한 자료가 있어도 정보공유가 쉽지 않아 필요한 자료를 찾기가 힘든 실정이다. 생태계 기반 자원평가에 필요한 자료를 누구나 찾기 쉽게 인터넷 서버나 클라우드 시스템 등을 구축하여 이용하는 것도 좋은 방안이라 생각된다. 2017년 국립수산물과학원 산하 수산자원연구센터가 신설됐다. 수산자원연구센터의 주요 업무는 근해어업 자원조사 (EEZ), 수산자원 생물생태 연구 및 관련 연구자료의 표준화와 빅데이터를 생성하기 위해 자료의 데이터베이스화 하는 것이다. 즉, 우리나라 동·서·남해 해역의 75개 정점에 대해 연 2회 수산자원 정밀조사를 수행하고, 연근해 주요 어종의 산란장 지도를 작성하기 위해 연 4회 난자치어

조사를 실시한다. 하지만 수산자원연구센터에서 생성되는 자료가 아직까지는 생태계 기반 자원평가에 이용되고 있지 않다. 가령, 근해어업자원조사 시 어종별 위내용물 분석, 연령형질 추출에 연령과 성장 연구, 생식소의 조직학적 연구를 통해 산란기와 생물학적최소성숙체장 추정, 체장 조성, 어종별 난의 단위밀도, 해역별 또는 해구별, 어종별 자원량 등의 자료가 생성됨에도 불구하고 생태계 기반 자원평가에 이용되고 있지 않아 앞으로 개선할 필요가 있다.

본 연구에서는 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위해 기본적으로 필요한 자료, 기준점, 그리고 각 분야별 교육현황에 대해 살펴보았다. 남해안 잠수기어업의 위험도를 평가하는데 있어서 어업현장에서 실제 조사한 자료와 수협, 통계청에서 제공하는 자료가 일치하지 않았다. 이러한 이유는 TAC 대상어종의 어획량, 생물학적 조사 등을 직접 조사하는 수산자원조사원의 자료를 수협과 통계청에서 활용하지 않기 때문이다. 수산자원조사원을 관리·감독하는 한국수산자원관리공단과 수협, 통계청 간의 현장조사 및 협의를 통해 충분히 해결할 수 있다고 판단된다.

정확한 자원평가를 위해서는 평가대상 어종별 생물·생태학적 연구가 주기적으로 시행되어야 한다. 남해안 잠수기어업의 주요 어획대상 어종인 개조개의 경우, 생태학적 파라미터 값들이 2003년에 연구된 결과여서 현재의 데이터를 분석할 수 없는 경우도 발생하였다. 또한 남해안 키조개에 대해서는 기초적인 연구조차 수행되지 않아 서해안 키조개의 특성치를 사용하였다. 이처럼 자원평가에 필요한 파라미터 값들은 주기적인 연구를 통해 업데이트를 해야 한다.

지표별 기준점은 대체로 적정하였으나 국내 기준점이 없어 외국 문헌이나 연구결과를 그대로 인용하는 경우도 있었다. 그리고 복잡한 과정과 계산을 통해 기준점을 계산하는 경우도 있었다. 가령 $MR_{40\%}$ 는 많은 자료가

필요하다. 단순히 성어 비율을 나타내는 것이라면 어획물중 성어 비율이 x% 이상이 좋은 지 설정하면 비교적 쉽게 위험도를 추정할 수 있을 것이다. 물론 x%를 설정하기 위해서는 관련 연구자들의 토론과 협의가 필요할 것이다.

해양수산물 관련 연구를 수행하는 기관은 국립수산물과학원, 각 지자체 소속 연구소, 대학, 한국수산물자원관리공단 (FIRA), 한국해양과학기술원 (KIOST), 해양환경공단 (KOEM), 한국해양수산개발원 (KMI) 등이 있지만 각 기관의 설립 목적에 따라 연구 및 조사를 수행하고 있다. 생태계 기반 자원평가 및 관리를 위해서는 이러한 연구기관에 평가 및 관리에 필요한 연구항목을 설정해 주고 조사하는 방법과 분석하는 방법을 알려주는 교육이 필요하다. Kang and Zhang (2017)은 생태계 기반 자원평가를 하고 관리를 하기 위해서는 수산교육 분야에 있어서 새로운 패러다임이 필요하다고 강조하였다. 즉, 기존 교육의 틀을 깨트리고 학문 간 융합교육이 가능한 시스템을 구축해야 할 것이다.

생태계 기반 자원관리 시스템을 구축하기 위해서는 기존의 자원관리 정책들을 잘 이용해야 한다. 각각의 정책사업을 서로 연계하여 자원회복을 위한 최대한 시너지 효과를 창출해 내야 할 것이다. 그러기 위해서는 정책을 수립하고 시행하는 행정담당자들의 교육이 절실하며, 통합 관리시스템을 적절히 운영할 수 있는 컨트롤 타워가 필요하다.

최근 4차 산업혁명의 기술은 사회 전 분야에 영향을 미치고 있다. 특히 인공지능은 그동안 우리가 상상하지 못했던 결과들을 빠른 시간 안에 해결할 수 있는 능력을 가지고 있다. 생태계 기반 자원관리 시스템을 더욱 발전시키기 위해서는 4차 산업혁명 기술을 최대한 빨리 접목시켜 나가야 할 것이다.

VI. 요약

본 연구는 남해안 잠수기어업의 위험도 분석을 이용하여 생태계 기반 어업평가 (EBFA)를 통해 잠수기어업을 진단 및 평가하고 이에 대한 관리 방안을 제시하였다. 또한 조사 분야, 연구 분야, 그리고 교육 분야를 진단하여 생태계 기반 관리시스템 구축에 대한 교육방안을 제시하였다.

남해안 잠수기어업의 위험도 분석에 의한 자원평가는 관리목표를 설정하여 수행하였고, 각 목표별 지표와 기준점을 설정하여 지표에 대한 위험도 점수 (Risk score)를 추정하였다. 추정된 목표별 위험도 점수를 통해 목표위험도지수 (ORI), 종위험도지수 (SRI), 어업위험도지수 (FRI)를 추정하였다. 관리 목표는 지속성 유지 (Sustainability), 생물다양성 유지 (Biodiversity), 서식처 보호 (Habitat), 사회경제적 혜택 (Socio-economic benefit)으로 설정하였다.

4개의 목표별 지표는 정보수준에 따라 Tier 1과 Tier 2에서 똑같이 14개의 지표를 사용하여 분석하였다. 남해안 잠수기어업의 개조개는 종위험도지수가 1.7로 나타났고, 키조개의 종위험도지수는 1.8, 바지락의 종위험도지수는 1.8로 추정되었다. Wilcoxon test를 통해 Tier 1과 Tier 2 결과의 동일성을 검증한 결과 유의수준 0.05 이상으로 나타나 두 결과가 다르지 않다는 결론을 도출하였다. 우렁챙이의 종위험도지수는 2.0으로 나타났고, 해삼의 종위험도지수는 2.2로 분석되어 남해안 잠수기 어업위험도지수는 1.8로 평가되었다.

생태계 기반 자원관리 시스템을 구축하기 위해 남해안 잠수기어업의 자료의 충분성, 기준점의 적합성, 현재의 자원관리 현황, 그리고 각 분야별 교육 현황을 살펴보았다. 남해안 잠수기어업의 생태계 기반 자원평가에 필

요한 자료가 많이 부족하였다. 지속성 유지에 있어 어종별 자원생태학적 연구결과가 미흡하거나 파라미터 값이 오래되어 현재 데이터를 적용할 수 없는 문제점이 나타났다. 생물다양성 유지에서는 과학적인 어종 분류가 미흡하여 **류 또는 기타어류로 구분되고 있었다. 서식처 보존의 경우 조업 어장 중에서 훼손된 어장면적이나 산란장·보육장 내 오염률을 조사하는 기관이 없어 자료가 거의 없었다. 사회경제적 혜택에서는 잠수기어업의 실 조업척수를 조사하는 자료가 있으나 우리나라 통계청 통계에는 반영되지 않고 허가정수로 공개되어 정확한 고용률 추정에 있어 문제가 있었다.

생태계 기반 자원평가 시 지금까지 개발된 29개 지표 중에서 14개 지표를 사용하였는데 잠수기어업에 적용할 수 없는 지표도 있었으나 충분한 자료가 없었기 때문이다. 지표를 평가할 때 국내 기준점이 없는 경우에는 외국 문헌이나 연구결과를 인용하는 문제점도 도출되었다.

우리나라의 수산자원관리는 어업을 대상으로 하는 어업관리와 수산자원을 대상으로 하는 자원관리로 구분하고 있다. 허가정수·톤수·마력수 규제, 어선감척, TAC 제도, 어구·어선 제한, 포획금지 어장·기간 설정, 수산자원 보호수면·관리수면 지정, 불법어업 단속, 자율관리공동체, 어장환경 개선사업, 불법어구 제거, 인공어초·해중림 조성, 종묘 방류·바다목장 사업, 자원회복사업 등 다양한 정책사업을 추진하고 있으나 각 사업 간 연계성이 부족하고, 심지어 같은 부서에서 여러 사업을 추진함에도 불구하고 사업만 시행할 뿐 연계성이 없어 수산자원회복의 효과가 미비한 실정이다.

생태계 기반 자원평가 및 관리를 잘하기 위해서는 분야별 교육이 반드시 필요하다. 조사 분야에 대한 교육은 수산계 고등학교 또는 수산·해양 관련 대학 등의 교육기관에서 각각의 학문분야의 교육을 수행하고 있으나 생태계 기반 자원평가 및 관리를 목표로 하는 교육 또는 교육과정은 없다. 수집된 자료를 분석하고 평가하는 분야 역시 전문적인 교육과정이 없다.

우리나라 수산해양에 대한 정책을 수립하고 시행, 그리고 불법어업을 단속할 수 있는 공무원과 불법어업을 근절할 수 있는 어업인에 대한 교육 또한 없다는 것이 문제점으로 나타났다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 생태계 기반 관리시스템 구축이 시급하며, 이를 운영하기 위해서는 각 분야별 교육이 선행되어야 한다. 또한 이 시스템을 실제 수산자원관리 정책에 도입 및 활용하기 위해서는 컨트롤 타워 역할을 할 수 있는 기관 또는 기구가 반드시 필요하다.



참고문헌

- Christensen, V. and D. Pauly. 1992. ECOPATH II a software for balancing steady ecosystem models and calculating network characteristics. *Ecol. Modelling*, 61: 169-185.
- Choi, K. H., G. M. Park and E. Y. chung. 2005. Ovarian maturation in female *Ruditapes philippinarum* on the west coast of Korea. *Dev. Reprod.* 9(2), 123-134.
- CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). 2005. Ecological Risk Assessment for Effects of Fishing, Case Study Instructions v8. 95 pp.
- FAO. 2003. Fisheries management: 2. The ecosystem approach to fisheries. *FAO Tech. Guidelines for Responsible Fisheries*, 4, Suppl. 2, 112 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Discards in the world's marine fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*, 470, 131 pp.
- FAO. 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. *FAO Fisheries Technical Paper*, 477, 108 pp.
- FEI (Fisheries Economic Institute). 2012~2016. Statistic data base, www.fei.suhyup.co.kr.
- Gislason, H., M. Sinclair and K. Sainsbury. 2000. Symposium overview: incorporating ecosystem objectives within fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 468-475.
- Hong, S. H., J. B. Lee, Y. J. Im, H. J. Hwang, I. J. Yeon, Y. C. Park, T. S. Ko, C. W. Ma and K. Y. Park. 2002. Population ecology of pen shell, *Atrina pectinata*, in the western waters of Korea. *J. Korean*

- Soc. Fish. Res., 5, 12-23.
- ICES. 2005. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management. ICES Marine Science Symposia, 222, 613 pp.
- Jeong, M. J. and J. O. Nam. 2016. Effectiveness analysis on comb pen shell based on TAC system. J. Fish. Bus. Adm., 47(3), 15-33.
- Kim, H. J. and C. I. Zhang. 1999. A population ecological study of short-necked clam, *Ruditapes philippinarum* in the adjacent waters of Jinhae. J. Korean. Soc. Fish. Res., 2, 32-43.
- Kim, Y. S., Y. H. Kim, J. B. Kim, D. S. Chang, D. W. Lee and H. J. Kang. 2010. Reproductive biology of the Purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* in the East China Sea. Korean J. Malacol. 26(4), 261-265.
- Kitchell, J. F., D. J. Stewart and D. Weininger. 1977. Applications of a bioenergetics model to perch (*Perca flavescens*) and walleye (*Stizostedion vitreum*). J. Fish. Res. Board Can. 34: 1992-1935.
- KOSIS. 2012~2016. <http://kosis.kr>.
- Livingston, P.A., K. Aydin, J. Boldt, J. Ianelli and J. Jurado-Molina. 2005. A framework for ecosystem impacts assessment using and indicator approach. ICES Journal of Marine Science. 62 : 592-597.
- Lee, S. J., K. S. Min, B. G. Kim, C. M. An, S. M. Ju and J. S. Lee. 2006. Gonad development and gametogenic cycle of the pen shell, *Atrina pectinata*. 2006. J. Kor. Fish. Soc., 39(5), 398-403.
- Lee, S. K., J. B. Lee, C. I. Zhang and D. W. Lee. 2007. Fish reproduction potential indices in the coastal and offshore ecosystem in Korea, J. Kor. Fish. Soc. 40(1): 24-30.
- Lee, S. K., D. S. Chang, J. B. Kim and M. A. Park. 2013. Reproduction study of purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* in Jinhae bay, Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 49(4), 449-458.

- Lee, M. W. 2014. Ecosystem-based stock assessment and fisheries management in the west coast of Korea. Doctoral dissertation. Pukyong National University. 130pp.
- Lee, M. H. and Kim, Y. H. 2017. Age determination method of *Saxidomus purpuratus*. Korean J. Malaco. 33(2), 115-118.
- Lim, H. S. 2016. Growth of the manila clam *Ruditapes philippinarum* cultured in Gomso tidal flat, Korea. Korean J. Malacol., 32(3), 189-195.
- MSC (Marine Stewardship Council). 2009. TAB 15 - Agenda item No. 11 - FAM v2 (including RBF).
- Polovina, J. J. 1984. Model of a coral reef ecosystem. I. The ECOPATH model and its application to French Shoals. Coral Reefs, 3(1): 1-11.
- Park, J. S. and S. Y. Kim. 2009. Growth status of *Ruditapes philippinarum* in Komso bay. Jour. Fish. Mar. Sci. Edu., 21(2), 230-236.
- Park, H. W. 2013. A study on the risk scoring and risk index for the ecosystem-based fisheries assessment. Doctoral dissertation. Pukyong National University. 198pp.
- Ryu, D. K., S. H. Baik, K. H. Park and E. Y. Chung. 2001. Age and growth of the pen shell, *Atrina (Saxatrina) pectinata japonica*, on the west coast of Korea. Korean Journal of Malacology. 17(2), 71-78.
- Schafer, K. B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull., 1:25-56.
- Shannon, C.E., W. Wiener. 1963. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, 125 pp.
- Seo, Y. I. 2011. Ecosystem-based stock assessment and fisheries management in the southern sea of Korea. Doctoral dissertation.

- Pukyong National University. 168pp.
- Sparr, P. 1991. Introduction to multispecies virtual population analysis. ICES Mar. Sci. Symposium, 193: 12-21.
- United Nations. 2012. The future we want. Report of the United nations conference on sustainable development. Rio de Janeiro, Brazil. 20~22 June 2012. New York, 12opp.
- Walters, C., V. Christensen and D. Pauly. 1997. Structuring dynamics models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessment. Review in Fish Biology and Fisheries, 7: 139-172.
- Yoon, H. S., Y. K. An, S. T. Kim and S. D. Choi. 2011. Age and growth of the short necked *Ruditapes philippinarum* on the south coast of Korea. Korean J. Malacol. 27(1), 1-7.
- Yoon, S. C. 2014. Characteristics of Korean coastal fisheries and ecosystem-based resource assessment. Doctoral dissertation. Pukyong National University. 226pp.
- Zar, J. H. 1999. Biostatistical analysis -Fourth edition-. Prentice Hall International, INC. 165-169.
- Zhang, C. I. 2002. Prospect of ecosystem-based fisheries resource management. J. Kor. Soc. Fish. Res., 5: 73-90.
- Zhang, C. I., S. I. Lee, and J. M. Kim. 2003. Ecosystem-based management of fisheries resources in marine ranching areas. J. Kor. Soc. Fish. Res., 6: 71-83.
- Zhang, C. I., S. C. Yoon, S. K. Lee and J. W. Choi. 2004. A population ecological study of Purplish Washington clam *saxidomus purpuratus* in adjacent waters of Geoje island. J. Korean. Soc. Fish. Res., 6(2), 126-139.
- Zhang, C. I. 2006. A study on the ecosystem-based management system for fisheries resources in Korea. J. Kor. Soc. Fish. Tech., 42(4),

240-258.

- Zhang, C. I. and B. A. Megrey. 2006. A revised Alverson and Carney model for estimating the instantaneous rate of natural mortality. Trans. Amer. Fish. Soc., 135(3), 620-633.
- Zhang, C. I., S. Kim, D. Gunderson, R. Marasco, J. B. Lee, H. W. Park and J. H. Lee. 2009. An ecosystem-based fisheries assessment approach for Korean fisheries. Fisheries Research, 100, 26-41.
- Zhang, C. I., H. W. Park, J. H. Lim, H. C. Kwon and D. H. Kim. 2010. A study on indicators and reference points for the ecosystem-based resource assessment. J. Kor. Soc. Tech., 46: 32-49.
- 국립수산과학원. 2009. 해양기후와 어류개체군의 변동, 236pp.
- 해양쓰레기통합정보시스템 <http://www.malic.or.kr>
- 해양수산정보포털 <http://www.fips.go.kr>
- 국립수산과학원. 2012~2016. 한국연안 어장환경 조사연보. 363pp.

감사의 글

오늘이 있기까지 학문의 길을 지도해 주시고, 부족한 제자를 끝까지 이끌어 주신 장창익 교수님께 진심으로 깊은 감사와 존경의 마음을 올립니다. 직장생활을 하면서 박사논문을 쓰는 것이 보통일이 아니라며 늘 용기를 북돋아 주신 박환준 박사님과 진심어린 조언과 논문심사를 해 주신 서영일 박사님, 윤상철 박사님, 박희원 박사님께도 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

논문이 잘 마무리 될 수 있도록 배려해 주신 국립수산물과학원 연구협력과 모든 분들에게 감사의 마음을 전합니다. 항상 합리적으로 생각하라며 늘 재치와 위트로 격려해 주신 김지희 연구기획부장님, 항상 동생처럼 생각하며 살갑게 챙겨주신 손광태 과장님께 감사의 마음을 전합니다.

입사 전 인턴연구원 시절부터 연구자의 본을 보여 주신 이동우 기반연구부장님, 연근해자원과 차형기 과장님, 원양자원과 안두해 과장님, 항상 환한 미소로 격려해 주신 김영혜 연구관님, 이재봉 연구관님, 강수경 연구관님, 그리고 수산자원분야 선후배님들께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

늘 선배를 먼저 챙겨주고 많은 도움을 준 부경대학교 임정현 박사와 이번에 함께 박사논문을 준비한 강희중 연구사에게도 감사의 마음을 전합니다.

항상 아들처럼 사랑해 주시고 새벽마다 기도해 주신 김영식 목사님과 손한나 사모님께 진심으로 감사를 드리며, 늘 중보기도로 위로와 격려해 주신 남천성결교회 이인한 목사님과 성도님들께도 진심어린 감사의 마음을 전해드립니다.

고등학교 때 만나 친구의 우정이 무엇인지를 느끼게 해준 서울 서부지

방검찰청 류지열 부장검사와 본인 학위처럼 늘 챙겨준 창원대학교 차병철 교수에게도 감사의 마음을 전합니다.

우리 사위가 최고라며 늘 아껴주시고 사랑을 베풀어 주신 장인어른과 장모님, 멀리 스페인에서 기도와 격려로 힘을 준 형님 윤중호 목사님과 처형, 마찬가지로 포항에서 기도해 준 처남 우성현 목사, 처수, 그리고 조카 희은, 예원, 명원에게도 좋은 소식을 전하며 함께 나누고 싶습니다.

조카들을 모두 공부시켜 주시고 박사학위 소식을 누구보다 기뻐해 줄 사랑하는 큰고모, 뉴욕에 계시는 작은고모에게도 깊은 감사의 마음을 전합니다. 어릴 때부터 아들처럼 예뻐해 주시고 조카의 학위 수여에 정말 기뻐해줄 작은 이모님과 이모부, 사촌 여동생 지영이에게도 기쁜 소식을 전합니다.

무뚝뚝하나 잔정이 많은 사랑하는 형과 형수, 조카 하랑이에게도 감사의 마음과 기쁜 소식을 함께하고 싶습니다. 지금까지 부족한 아들을 위해 새벽마다 늘 기도해 주시고, 항상 용기와 격려로 든든한 지원군이 되어 주신 어머니와 표현은 안하셔도 누구보다 더 기뻐해 주실 아버지께 머리 숙여 감사의 마음을 올려드립니다. 기도하면서 내조해 준 세상에서 가장 사랑하고 고마운 아내 경림과 아들 하준이에게 이 논문이 작은 선물이 되었으면 합니다.

마지막으로 지금의 제가 있기까지 항상 선한 것으로 채워주시고 인도해 주신 나의 주 나의 하나님께 모든 영광을 올려드립니다.

Appendix 1. A survey for ecosystem-based fisheries assessment of diving fishery

잠수기어업 생태계 기반 자원평가를 위한 설문조사

지역	경남/전남	성명		휴대폰		선명	
주요 어종	1.	2.	3.	(기타)		본수	

5. 어획량

1. 최근 5년간 어획량의 변화는 어떻습니까?

①매우 증가 ②약간 증가 ③변화 없음 ④약간 감소 ⑤매우 감소 ⑥모름

5. 노력량

2-1. 최근 5년 간 어선세력(적수 또는 마력수)이 증가하였습니까?

①매우 증가 ②약간 증가 ③변화 없음 ④약간 감소 ⑤매우 감소 ⑥모름

2-2. 귀하가 조업하는 어장에 금어기(또는 금지채장) 등 어획관리나 자원관리노력이 있습니까?

①적극적으로 관리 ②다수 이뤄지고 있음 ③조금 이뤄지고 있음 ④없음

2-3. 귀하가 조업하는 어장에 불법 어업이 이뤄지고 있습니까?

①매우 많음 ②일부 있음 ③없음

2-4. 불법어업에 대해 구체적으로 설명해 주세요.

()

5. 주요 어획물의 크기

3-1. 주로 어획하는 대상 어종의 평균크기 및 무게는 어느 정도입니까?

① 어종 이름 : _____, 크기 : _____ cm, _____ kg

② 어종 이름 : _____, 크기 : _____ cm, _____ kg

③ 어종 이름 : _____, 크기 : _____ cm, _____ kg

3-2. 자율적 금지채장이 설정되어 있습니까?

①있음 ②있으나 지켜지지 않음 ③없음

5. 재생산력

4-1. 어종별 어획하는 시기와 연간 총 어획량의 몇 %를 차지합니까?

① 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 월, (총 어획량의 _____ %)

② 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 월, (총 어획량의 _____ %)

③ 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 월, (총 어획량의 _____ %)

4-2. 어획물 중 알을 물거나 산란 중인 개체가 있습니까?

①연중 있음 ②때에 따라 있음 ③없음

4-3. 금어기 및 금지어장이 설정되어 있습니까?

①있음 ②있으나 지켜지지 않음 ③없음

5. 유전학적 구조

5-1. 조업 해역에 치패 방류가 이루어진 적이 있습니까?

①있음 ②없음 ③모름

5-2. 방류가 있다면 어떤 어종이 몇 년간 방류되었습니까?

① 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 년, 횟수 : _____ 번

② 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 년, 횟수 : _____ 번

③ 어종 이름 : _____, 기간 : _____ ~ _____ 년, 횟수 : _____ 번

Appendix 1. Continued

B. 부수어획

6. 어획물 중 목표어종 외 부수어종의 어획비율이 어느 정도입니까?

- ① 95% 이상 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 미만

B. 폐기량

7. 선상 또는 항구에서 어획물 중 버려지는 양은 어느 정도 있습니까?

- ① 95% 이상 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 미만

B. 다양성

8. 최근 5년 동안 어획되는 어종 수의 변화가 어느 정도입니까?

- ① 별 차이 없음 ② 늘어났음 ③ 줄었음 ④ 모르겠음

H. 오염률

9-1. 조업구역 내에서 쓰레기(담배꽂이, 폐어구 등)를 버리는 양은 어느 정도입니까?

- ① 바다에 버림 ② 물으로 가져와서 버림 ③ 신경 안씀

9-2. 조업 주변해역에 산란장/보육장이 있습니까?

- ① 있음 ② 없음 ③ 모르겠음

9-3. 산란장/보육장을 안다면 거기서의 조업형태는 어떻습니까?

- ① 별 차이 없음 ② 오염이 안되게 주의함

9-4. 최근 5년 간 조업어장에 오염사고(기름유출 등)가 있었습니까? (____년 ____회)

H. 어구사용량(조업일수)

10-1. 하루 평균 몇 시간 조업을 하십니까? (____시간/일)

10-2. 매월 조업 일수는 어느 정도입니까? (____일/월)

E. 소득 변화

11-1. 귀하의 연간 소득은 얼마입니까? (____만 원)

11-2. 최근 5년 간 소득의 변화는 어떻습니까?

- (증가시) ① 95% 증가 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 증가

- (감소시) ① 95% 감소 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 감소

11-3. 최근 5년 간 월 소득은 최저생계비(150만원 기준)와 비교하면 어떻습니까?

- ① 매우 높음 ② 높음 ③ 약간 높음 ④ 보통 ⑤ 약간 적음 ⑥ 적음 ⑦ 매우 적음

E. 어업 비용

12. 최근 5년 간 어업이윤(생산금액-비용)의 변화(증가 또는 감소)는 어떻습니까?

- (증가시) ① 95% 증가 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 증가

- (감소시) ① 95% 감소 ② 80~95% ③ 60~80% ④ 40~60% ⑤ 20~40% ⑥ 5~20% ⑦ 5% 감소