



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](#)

이학석사 학위논문

수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를
위한 지표와 기준점 연구



2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산물리학과

임 정 현

이학석사 학위논문

수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를
위한 지표와 기준점 연구

지도교수 장 창 익

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함



2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

수산물리학과

임 정 현

임정현의 이학석사 학위논문을 인준함

2010년 2월



주 심 수산학박사 최 영 민 인

위 원 이 학 박사 이 재 봉 인

위 원 이 학 박사 장 창 익 인

목 차

Abstract	1
서 론	3
자료 및 방법	6
1. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표와 기준점의 선정 기준	6
2. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표	10
2.1 지표의 중복성	10
2.2 지표의 용이성	10
2.2.1 체장	10
2.2.2 유전적 구조	11
3. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 기준점	12
결 과	13
1. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표와 기준점의 선정	13
2. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표	13
2.1 지표의 중복성	16
2.2 지표의 용이성	19
2.2.1 체장	19
2.2.2 유전적 구조	20

3. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 기준점	22
4. 새로운 지표와 기준점의 적용	25
4.1 생체량	25
4.2 어획 강도	25
4.3 어획개시크기	25
4.4 서식처 규모	26
4.5 군집 구조	26
4.6 재생산 잠재력	27
4.7 생산력	27
4.8 유전적 구조	28
고 찰	34
요 약	37
감사의 글	38
참고문헌	40

A study on indicators and reference points for assessing the sustainability in IFRAME

Jung Hyun Lim

*Department of Fisheries Physics, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

A new tool, Integrated Fisheries Risk Assessment Method for Ecosystems (IFRAME), was developed to assess fisheries resources for three management objectives: sustainability, biodiversity and habitat quality. In the sustainability evaluation for the Tier 1 analysis of IFRAME, 8 indicators were developed for assessing ecosystem status. However, it was difficult to estimate both target and limit reference points for each indicator since these indicators required high level of quantitative data and information. Also, there is a duplication of data among the indicators. In case of the reference points, it is required to

be more general. In this study, cost-effective indicators were explored using size data, which are routinely collected. The mean trophic level in catch was used to substitute the FIB (fishery is balanced) indicator in order to avoid a duplication of data among the indicators. The rate of mature fish was used to substitute the FRP (fish reproduction potential) indicator in order to avoid a duplication of data among the indicators and be easy and cost-effective data. The slope of size spectra was developed as an indicator for explaining the attribute of system productivity in order to be easy and cost-effective data. Ratio of (released stock abundance)/(wild stock abundance) in catch was developed as an indicator for explaining the attribute of genetic structure in order to be easy and cost-effective data.

Thus, multi-attributed indicators were replaced by single-attributed indicators in order to avoid the overlapping nature of the indicators.

The target and limit reference points of each indicator for the sustainability were developed to apply for jacopever rockfish (*Sebastes schlegelii*), the main targets species in the Tongyeong marine ranching area.

서론

세계 해양의 수산자원은 현재 거의 모든 해역에서 상당부분이 남획 또는 고갈되었다. 우리나라의 수산자원도 계속 감소상태를 보이고 있으며, 어획량도 점차 감소하고 있다. 이에 따라 전 지구적으로 해양생태계를 고려한 수산자원의 평가 및 관리기법의 개발 필요성이 대두되고 있는 상황이었다.

생태계 기반 자원관리 개념의 발달은 전통적인 수산자원관리방침이 실질적 효과가 없다는 인식과 함께, 지구환경의 변화가 급격히 진행되면서 가속되었다. 전 세계의 유수한 기관과 연구진들이 생태계를 고려하는 자원관리체계를 수립하려고 계획하였지만, 아직까지 이 두 분야를 어떻게 접목시켜야 할지에 대한 구체적 실행사항은 제정되지 않았다 (해양수산부, 2007).

최근까지 수산자원의 평가와 관리는 환경은 고려하지 않고 개체군 수준에서 가입과 성장, 자연사망, 어획사망 등 4가지 요소만을 고려하는 개체군 역학적 분석결과에 의존하여 수행되어져 왔다. 또한, 현재의 수산자원관리 체제에서는 어획으로 인한 생태학적 변화가 고려되지 않고 있으며, 과도어획으로 인한 생태계 변화가 모니터링 되지 않고 있다 (해양수산부, 2007). 지속 가능한 어업을 유지하기 위해서는 생태계 차원의 거시적인 관점에서 어업관리가 고려되어야 한다. 따라서, 최근 들어 수산자원을 관리하는데 전통적인 단일어종 접근방식에서 다종어업 분석방법으로 점차 발전되고 있는

며, 최근에는 생태계를 기초한 자원관리방식으로의 인식전환 (paradigm shift)이 점차 강조되고 있다.

이러한 생태계를 고려한 수산자원관리의 목표는 해양생태계를 건강하게 유지하면서 생태계를 지속적으로 보존·이용하는 것이다 (Zhang, 2006).

생태계 기반 자원평가를 위한 지표는 FAO (2007), CSIRO (2005), ICES (2005) 등에서 다양한 관리지표들을 개발하여 제시한 바 있으나 이들을 평가할 기준점은 제시하지 않고 있다. 생태계 기반 자원평가를 위한 기준점 (목표기준점 및 한계기준점)은 MSC (2006)와 Zhang et al. (2009)에서 개발하여 제시한 바 있다.

수산자원의 생태계 기반 지속성 평가에 관한 국내외 연구동향을 보면, 지속성에 관한 연구로 Zhou and Griffiths (2008)의 어획 영향에 의한 지속성 평가에 관한 연구, 통영바다목장의 생태계 모델링 연구결과가 있으며, 수산특정연구로서 생태계 기반 자원관리시스템 개발 연구가 수행된 바 있다. 그러나 이 연구들은 자원관리시스템에 관한 기본 틀 (frame)을 설정하는 기초수준의 연구이다. 최근 Zhang et al. (2009)은 생태계 기반 어업평가를 위한 실용적인 방법을 개발한 바 있다.

Zhang et al. (2009)의 생태계 기반 자원평가 방법에서는 지속성, 생물 다양성, 서식처의 3가지 목표를 설정하였으나, 본 연구에서는 생태계 상태를 평가함에 있어 가장 중요한 목표인 지속성 평가를 위한 지표와 기준점에 대해 살펴보았다. Zhang et al. (2009)은 실용적이나 수산자원의 생태계 기반 지속성을 평가함에 있어 지표간의 중복성을 피하고, 쉽고 간편한 분석방법의 필요성, 일반적인 기준점 등이 현실적으로 적용 가능하도록 고려

되어져야 할 것이다.

이에 본 연구의 목적은 이전 연구에서 제시된 한계를 수정·보완하고 이를 바탕으로 수산자원의 생태계 기반 지속성 평가에 적합한 지표를 설정하여, 각 지표에 해당하는 기준점을 개발하는 것이다. 또한 기존의 방법과 수정·보완된 방법을 통영바다목장에 적용하여 비교 분석해 보는 것이다.



자료 및 방법

1. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표 (indicator)와 기준점 (reference point)의 선정 기준

이전 연구인 Zhang et al. (2009)의 생태계 기반 자원평가 방법을 살펴 보기에 앞서, 생태계 기반 관리를 정의하면 ‘생태계가 장기간의 지속성을 유지하면서 건강하고 완벽하게 기능을 하면서 인간과 공존할 수 있도록 인간의 활동을 생태학적, 사회경제적, 제도적 및 기술적인 측면을 모두 고려 해서 관리하는 전략적인 방법’이라 할 수 있다 (Zhang, 2006).

Zhang et al. (2009)의 생태계 기반 자원평가 방법에는 지속성, 생물다양성, 서식처의 3가지 목표 (objective)가 있다. 본 연구에서는 생태계 상태를 평가함에 있어 가장 중요한 목표인 지속성에 관한 지표와 기준점에 대해 살펴보았다 (Table 1). 지속성 목표에는 지표를 설정하기 위한 8개의 특성 (attribute)이 있다. 생체량 (biomass)과 어획강도 (fishing intensity), 어획개시크기 (size at first capture) 등의 자원에 관련된 특성들과 서식처 규모 (habitat size), 군집구조 (community structure), 재생산 잠재력 (reproductive potential), 생산력 (system productivity), 유전적 구조 (genetic structure) 등의 특성이 있다 (Table 2).

생태계 기반 자원평가는 지표 (indicator)에 따르는 기준점 (reference points)을 바탕으로 이루어진다. 기준점은 목표기준점 이내 (Better than target), 목표기준점과 한계기준점 사이 (Between target and limit), 한계기

준점 초과 (Beyond limit)로 구분되며, 각각 0, 0~2, 2의 평가점수 (risk score; RS)를 부과하여 목표위험도지수 (objectives risk index; ORI)를 계산하는데 사용된다. 평가점수가 0~2점일 때는 아래의 식 (1)과 같이 계산하였다 (Zhang et al., 2009).

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

목표에 대한 지표들의 평가점수를 평균하여 구하는 목표위험도지수 (ORI)는 각 지표의 평가점수 (RS_i)를 중요도 (W_i)로 곱해서 더한 값을 각 지표에 대한 중요도를 더한 값으로 나누어 아래의 식 (2)와 같이 계산하였다 (Zhang et al., 2009).

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

여기서, RS_i 는 지표 i 의 평가점수, W_i 는 지표 i 의 중요도이며 n 은 지표수이다. 기준점을 활용하여 평가할 때 평가점수는 지표의 중요도에 따라 가중치를 주게 된다. 각 지표별 평가점수가 낮을수록 위험도가 낮거나 혹은 자원 및 생태계 관리가 잘 이루어졌음을 의미한다. 따라서, 평가점수가 높은 지표에 대해서는 관리조치와 개선을 통하여 점수를 낮출 수 있다.

이전 연구에서 사용된 지표와 기준점들은 실용적이나 적용함에 있어서 좀 더 쉽고 간편하게 고려되어야 한다. 그러므로 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표와 기준점은 다음과 같은 기준에 의해 선정되었다. 첫째, 지속성 목표의 특성에 관한 8개 지표간의 중복성을 피한다. 둘째, 분석방법과 자료의 문제에 있어서 보다 구하기 쉽고 간편한 분석방법을 사용한다. 예를 들어 일반적으로 과학조사에 의한 자료의 경우 측정 자료가 연령 자료에 비해 구하기 쉽다. 이럴 경우 측정 자료를 활용한 분석법을 통해 간편한 방법으로 접근해야 한다. 셋째, 기준점을 표현함에 있어서 이전의 연구보다 일반적인 기준을 사용한다. 특별한 경우에 대한 한정된 기준점의 표현이 아니라 가능하면 일반적인 표현에 의해 이루어져야 한다.

따라서, 위의 3가지 선정 기준에 의해 생태계 기반 지속성 평가에 적합한 기준점 개발은 개체군, 군집, 생태계를 모두 고려하여 각각의 지표를 정량적으로 평가하기 위해 개발되어야 한다.

Table 1. Indicators and status of indicator relative to target and limit reference points for Tier 1 ecosystem-based fisheries assessment approach (Zhang et al., 2009).

Indicator	Indicator status			Weight
	Better than target	Between target and limit	Beyond limit	
Biomass (B)	$B_{40\%} \leq B$	$B_{35\%} \leq B < B_{40\%}$	$B < B_{35\%}$	3
or CPUE	$CPUE_{ABC} \leq CPUE$	$CPUE_{MSY} \leq CPUE < CPUE_{ABC}$	$CPUE < CPUE_{MSY}$	2
Fishing mortality (F)	$F \leq F_{40\%}$	$F_{40\%} < F \leq F_{MSY}$	$F_{MSY} < F$	2
or catch (C)	$C \leq ABC$	$ABC < C \leq MSY$	$MSY < C$	2
Age at first capture (t)	$t_{target} \leq t$	$0.9t_{target} \leq t < t_{target}$	$t < 0.9t_{target}$	1
Habitat size (H)	$0.9H_{target} \leq H$	$0.8H_{target} \leq H < 0.9H_{target}$	$H < 0.8H_{target}$	1
FIB index	$FIB_{target} \leq FIB$	$FIB_{limit} \leq FIB < FIB_{target}$	$FIB < FIB_{limit}$	1
FRP index	$FRP_{target} \leq FRP$	$0.9FRP_{target} \leq FRP < FRP_{target}$	$FRP < 0.9FRP_{target}$	1
Total production of ecosystem (P)	$P_{target} \leq P$	$0.9P_{target} \leq P < P_{target}$	$P < 0.9P_{target}$	1
No. of spawning populations	$SP_{target} \leq SP$	$0.9SP_{target} \leq SP < SP_{target}$	$SP < 0.9SP_{target}$	1

2. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표 (indicator)

지표 (indicator)란 가변성 있는 지침이나 지수로써 시스템 주요 요소의 변동을 나타내어야 하며, 기준점 혹은 값에 관한 지표의 상태와 경향은 현재 생태계의 상태와 시스템 역학을 나타내어야 한다. 이러한 지표들은 목표와 실행 간의 교량 역할을 한다 (FAO, 1999).

2.1 지표의 중복성

이전 연구에서는 군집구조 (community structure)를 고려하여 FIB index (fishery in balance)를 지표로 설정하였고, 가중치는 1로 두었다. FIB index를 추정하기 위해서는 CPUE 자료와 전환효율 (transfer efficiency, TE) 자료가 사용된다. CPUE의 경우 생체량을 나타내는 지표에서 사용되기 때문에 지표간의 중복성을 가지게 되며, 또한 전환효율의 경우 추정하기가 힘들다는 문제점이 있다.

재생산 잠재력 (reproductive potential)을 고려하여 FRP index (fish reproduction potential)를 지표로 설정하였고, 가중치는 1로 두었다. FRP index를 추정하기 위해서는 CPUE 자료를 사용한다. CPUE가 생체량을 나타내는 지표에서 사용되기 때문에 군집구조를 나타내는 FIB index와 마찬가지로 지표간의 중복성을 가진다는 문제점이 있다.

2.2 지표의 용이성

2.2.1 체장 (length)

어획개시크기 (size at first capture)를 고려하여 어획개시연령 (age at

first capture, t)을 지표로 설정하였고, 가중치는 1로 두었다. 연령 자료를 사용하는 경우 체장 자료보다 분석하는 것이 어렵고, 측정함에 있어서도 오류 (error)가 발생할 수 있으며, 연령을 알 수 없는 어류들도 있다는 문제점이 있다.

앞서 설명한 재생산 잠재력 (reproductive potential)을 고려한 FRP index (fish reproduction potential)의 경우 추정하기 위해서 여러 단계의 계산과정을 거쳐 복잡하다는 문제점도 있다.

생산력 (system productivity)을 고려하여 생태계 총생산량 (total production of ecosystem, P)을 지표로 설정하였고, 가중치는 1로 두었다. 생태계 총생산량의 경우 중상위영양단계 생태계 구조모델인 Ecopath 모델의 결과값으로 추정하기가 힘든 문제점이 있다.

2.2.2 유전적 구조 (genetic structure)

유전적 구조 (genetic structure)를 고려하여 산란개체군 수 (no. of spawning populations, SP)를 지표로 설정하였고, 가중치는 1로 두었다. 산란개체군 수는 광역생태계에 적용하기에 적합한 지표이므로 바다목장과 같은 천해생태계에는 적용하기가 힘든 문제점이 있다.

3. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 기준점 (reference point)

Jennings and Dulvy (2005)에 의하면 기준점은 생태계 기반 자원관리에
서 반드시 설정되어야 하는 항목으로 나타나고 있다. 목표기준점은 생태계
내에서 가장 적합한 상태와 관련되어 있으며, 한계기준점은 초과해서는 안
되는 생태계 상태에 대한 기준점을 제시해 준다.

생체량 (biomass) 특성을 고려한 자원량 (혹은 CPUE) 지표에 관한 목
표기준점은 자원량 (B)의 경우 처녀자원량의 40% 수준 이상으로 자원을
유지시킬 때, 상대자원량을 나타내는 지표인 CPUE의 경우 $CPUE_{ABC}$ 보다
크거나 같을 때, 자원이 지속성을 유지하기에 좋은 상태에 있음을 나타낸
다. 한계기준점은 자원량 (B)의 경우 처녀자원량의 30% 수준 미만으로 자
원을 유지시킬 때, CPUE의 경우 $CPUE_{MSY}$ 보다 작을 때, 자원이 관리가 필
요한 위험한 상태임을 나타낸다.

어획 강도 (fishing intensity) 특성을 고려한 어획사망계수 (혹은 어획
량) 지표에 관한 목표기준점은 어획사망계수 (fishing mortality, F)의 경우
40% 수준 이하로 유지시킬 때, 어획량 (catch, C)의 경우 ABC 보다 작거
나 같을 때, 자원이 지속성을 유지하기에 좋은 상태에 있음을 나타낸다. 한
계기준점은 어획사망계수 (F)의 경우 F_{MSY} 보다 클 때, 어획량 (C)의 경우
 MSY 보다 클 때, 자원이 관리가 필요한 위험한 상태임을 나타낸다.

결 과

1. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표 (New indicator)와 기준점 (New reference point)의 선정

생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표와 기준점에 관한 연구에는 군집 구조의 체장 기반 지표에 관한 기준점과 경향에 관한 연구 (Jennings and Dulvy, 2005), 어업관리를 위한 지표 선택에 관한 틀 (framework) 연구 (Rice and Rochet, 2005), 어업의 생태계 효과를 평가하기 위한 체장 기반 지표에 관한 연구 (Shin et al., 2005), 생태계 기반 어업평가를 위한 연구 (Zhang et al., 2009) 등이 있다.

생태계에 적합한 목표기준점 및 한계기준점을 설정하기 위해 활용할 수 있는 과학적인 자료를 검토하여 새로운 지표와 기준점으로 사용하였다 (Table 2 and 3).

2. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표

수산자원의 생태계에 적합한 지속성 평가를 위한 지표를 개발하기 위해 CSIRO (2005), ICES (2005), FAO (2007), MSC (2009), Zhang et al. (2009) 등의 기존 연구 결과들을 참고하여 지속성 평가를 위한 생태계 상태를 측정할 수 있는 지표로 사용하였다 (Table 2).

Table 2. Old (Zhang et al., 2009) and new indicators for assessing the sustainability in IFRAME

Attribute	Old indicator	New indicator	Reason
Biomass	Biomass (B) or CPUE (U)	Biomass (B) or CPUE (U)	General standard
Fishing intensity	Fishing mortality (F) or Catch (C)	Fishing mortality (F) or Catch (C)	General standard
Size at first capture	Age at first capture (t)	Age (or Length) at first capture (t or L)	easy and cost-effective data
Habitat size	Habitat size (H)	Habitat size (H)	
Community structure	FIB index	Mean trophic level in catch (TL)	duplicate data
Reproductive potential	FRP index	Rate of mature fish (MR)	easy and cost-effective data / duplicate data
System Productivity	Total production of ecosystem (P)	Slope of length (or weight) spectra	easy and cost-effective data
Genetic structure	No. of spawning populations (SP)	Ratio of (release stock abundance) /(wild stock abundance) in catch ($R_{r/w}$)	easy and cost-effective data

Table 3. New reference points for the sustainability objectives used in the ecosystem-based fisheries assessment approach

Indicator	Indicator status		
	Better than target (0)	Between target and limit (0~2)	Beyond limit (2)
Biomass (B) or CPUE	$B_{MSY} \leq B$ $CPUE_{MSY} \leq CPUE$	$1/2(B_{MSY}) \leq B < B_{MSY}$ $1/2(CPUE_{MSY}) \leq CPUE < CPUE_{MSY}$	$B < 1/2(B_{MSY})$ $CPUE < 1/2(CPUE_{MSY})$
Fishing mortality (F) or catch (C)	$F \leq F_{MSY}$ $C \leq MSY$	$F_{MSY} < F \leq 2F_{MSY}$ $MSY < C \leq 2MSY$	$2F_{MSY} < F$ $2MSY < C$
Age (or length) at first capture (t or L)	$(t_{target} \leq t)$ or $(L_{target} \leq L)$	$(0.9t_{target} \leq t < t_{target})$ or $(0.9L_{target} \leq L < L_{target})$	$(t < 0.9t_{target})$ or $(L < 0.9L_{target})$
Habitat size (H)	$0.9H_{target} \leq H$	$0.8H_{target} \leq H < 0.9H_{target}$	$H < 0.8H_{target}$
Mean trophic level in catch (TL)	$TL_{max} \leq (TL)$	$0.95TL_{max} \leq (TL) < TL_{max}$	$(TL) < 0.95TL_{max}$
Rate of mature fish (MR)	$MR_{40\%} \leq MR$	$MR_{40\%} > MR \geq MR_{20\%}$	$MR < MR_{20\%}$
Slope of size spectra	$0.10 \leq P$	$0.01 \leq P < 0.10$	$P < 0.01$
Ratio of (released stock abundance)/(wild stock abundance) in catch ($R_{r/w}$)	$R_{r/w} \leq 0.5$	$0.5 < R_{r/w} \leq 1.0$	$1.0 < R_{r/w}$

2.1 지표의 중복성

군집구조를 나타내는 지표의 경우 기존의 FIB index를 대신하여 어획물 평균영양단계 (mean trophic level in catch, TL)를 지표로 설정하였다.

영양단계를 추정하기 위해서 기초생산자, 유기쇄설물을 1이라 가정하고, 소비자그룹은 피식자 그룹의 영양단계를 가중 평균한 값에 1을 더하여 추정하였다 (Pauly et al., 1998a).

어획물의 평균영양단계의 변화를 알아보기 위해 각 생물군별 영양단계를 어획량에 대해 가중 평균하여 전체 영양단계를 식 (3)과 같이 계산하였다 (농림수산식품부, 2008).


$$TL_C = \frac{\sum_{i=1}^n TL_i \cdot C_i}{\sum_{i=1}^n C_i} \quad (3)$$

여기서, TL_C 는 어획물 평균영양단계, TL_i 는 구하고자 하는 i 그룹의 영양단계, C_i 는 i 생물군의 어획량을 나타낸다.

어획물 평균영양단계에 관한 목표기준점 및 한계기준점은 통영해역의 1970~1975년의 어획량 자료 (수산업협동조합중앙회, 1972)를 참고하여 설정하였다. 목표기준점으로는 처녀자원상태와 가까운 1970~1975년의 TL값 중 가장 높았던 해인 1972년의 값인 3.89로 설정하였고, 한계기준점으로는 목표기준점인 3.89에서 표준편차를 뺀 값인 3.70으로 설정하였다.

재생산 잠재력을 나타내는 지표의 경우 기존의 FRP index를 대신하여

성어 자원들이 재생산에 참여할 수 있는 가능성을 나타내는 성숙비율 (rate of mature fish, MR)을 지표로 설정하였다. 성숙비율은 식 (4)와 같이 계산하였다.

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

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.

성숙비율에 관한 목표기준점 및 한계기준점은 처녀자원상태를 기준년도로 하여 설정하였다. 목표기준점으로는 성숙비율 (MR)을 40%로, 한계기준점으로는 성숙비율 (MR)을 20%로 설정하였다.

Table 4. New indicators and reference points for the sustainability objectives substituted duplicated data between indicators

Indicator	Indicator status		
	Better than target (0)	Between target and limit (0~2)	Beyond limit (2)
Mean trophic level in catch (TL)	$TL_{max} \leq (TL)$	$0.95TL_{max} \leq (TL) < TL_{max}$	$(TL) < 0.95TL_{max}$
Rate of mature fish (MR)	$MR_{40\%} \leq MR$	$MR_{40\%} > MR \geq MR_{20\%}$	$MR < MR_{20\%}$

2.2 지표의 용이성

2.2.1 체장

어획개시크기를 나타내는 지표는 기존의 연령 자료와 함께 체장 자료도 활용할 수 있는 방안을 모색하였다. 그러므로 이전 연구에서 설정한 어획개시연령 지표에다 어획개시체장 (length at first capture) 지표를 추가 설정하였다.

어획개시연령 (혹은 체장) 지표에 관한 목표기준점 및 한계기준점은 어획개시연령 (혹은 체장)보다 어획된 개체의 연령이 크면 지표가 잘 수행되는 것으로 평가한다. 여기서, 어획개시연령 (혹은 체장)은 어획물 내 최소 체장을 바탕으로 추정된 값을 사용하였고, 적정 어획개시연령 (혹은 체장) $t(L)_{opt}$ 는 Beverton and Holt 모델에 의하여 추정된 적정 어획개시연령 (t_{opt}) (혹은 체장 L_{opt})을 기준으로 하였다. 목표기준점은 $t(or L)_{target}$, 한계기준점은 $t(or L)_{target}$ 의 90% 수준으로 설정하였다.

생산력을 나타내는 지표의 경우 기존의 생태계 총생산량을 대신하여 체장에 대한 개체수 (혹은 중량)를 나타내는 체장 스펙트럼의 기울기 (slope of size spectra)를 지표로 설정하였다.

체장 스펙트럼의 기울기에 관한 목표기준점 및 한계기준점을 설정하기 위해서 현재 생태계의 기울기 A와 기준년도의 기울기 B에 대한 공변량분석법 (Analysis of covariance, ANCOVA)을 통해 유의수준 (α)을 추정하였다. 기준년도는 어획이 되지 않은 처녀자원상태를 나타내는 처녀군집상태 (virgin state)로 설정하였다. 목표기준점은 기울기 A와 B가 유의하지 않은 차이를 나타내는 경우로 유의수준 P가 0.10보다 클 경우로 설정하였다. A

와 B간의 차이가 없기 때문에 현재 상태가 처녀자원상태와 크게 차이가 없이 유지하고 있다고 볼 수 있다. 한계기준점은 기율기 A와 B가 아주 유의함을 나타내주는 유의수준 P가 0.01보다 작을 경우로 설정하였다.

2.2.2 유전적 구조

유전적 구조를 나타내는 지표의 경우 기존의 산란개체군 수를 대신하여 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비 (ratio of released stock abundance/wild stock abundance in catch, $R_{r/w}$)를 지표로 설정하였다. 따라서, 바다목장과 같은 천해생태계에 적용하기에 적합한 지표를 설정하였다.

어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비에 관한 목표기준점으로는 어획량의 자연산어에 대한 방류어의 비 값 ($R_{r/w}$)을 0.5, 한계기준점으로는 어획량의 자연산어에 대한 방류어의 비 값 ($R_{r/w}$)을 1.0 수준으로 설정하였다. 따라서, 바다목장과 같은 천해생태계에 적용할 수 있는 쉽고 간편한 기준점이 된다.

Table 5. New indicators and reference points for the sustainability objectives used easy and cost-effective data

Indicator	Indicator status		
	Better than target (0)	Between target and limit (0~2)	Beyond limit (2)
Age (or length) at first capture (t or L)	$(t_{\text{target}} \leq t)$ or $(L_{\text{target}} \leq L)$	$(0.9t_{\text{target}} \leq t < t_{\text{target}})$ or $(0.9L_{\text{target}} \leq L < L_{\text{target}})$	$(t < 0.9t_{\text{target}})$ or $(L < 0.9L_{\text{target}})$
Rate of mature fish (MR)	$MR_{40\%} \leq MR$	$MR_{40\%} > MR \geq MR_{20\%}$	$MR < MR_{20\%}$
Slope of size spectra	$0.10 \leq P$	$0.01 \leq P < 0.10$	$P < 0.01$
Ratio of (released stock abundance)/(wild stock abundance) in catch ($R_{r/w}$)	$R_{r/w} \leq 0.5$	$0.5 < R_{r/w} \leq 1.0$	$1.0 < R_{r/w}$

3. 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 기준점

생태계 기반 자원평가를 위한 기준점 (목표기준점 및 한계기준점)은 MSC (2006), MSC (2009), Zhang et al. (2009) 등을 참고하여 개발하였다. 바다목장 생태계에 적합한 목표기준점 및 한계기준점을 설정하기 위해 활용할 수 있는 과학적인 자료를 검토하여 적합한 기준점을 제시하였다 (Table 3). 새로운 기준점은 이전 연구보다 좀 더 일반화시켜 다음과 같이 개선되었다.

생체량을 나타내는 자원량 지표의 경우 목표기준점 및 한계기준점을 설정하기 위해 아래의 식 (5), (6)과 같이 추정하여 기준점을 설정하였다 (MSC, 2009).

$$\text{목표기준점; } B_{\text{MSY}} = B_{40\%} \quad (5)$$

$$\text{한계기준점; } \frac{1}{2} B_{\text{MSY}} = B_{20\%} \quad (6)$$

목표기준점인 B_{MSY} 를 추정하기 위해 $B_{40\%}$ 를, 한계기준점인 $1/2(B_{\text{MSY}})$ 를 추정하기 위해 $B_{20\%}$ 를 사용하였다. 따라서, 이전 연구에서 제시한 기준점보다 일반적인 기준을 사용하여 설정하였다.

자원량의 자료를 사용할 수 없을 경우 CPUE 지표를 사용하여 자원량을 평가하는데 이 경우 목표기준점과 한계기준점은 위의 식 (5), (6)과 같이 일반적인 기준 (MSC, 2009)과 동일하게 적용하였다.

어획 강도를 나타내는 어획사망계수와 어획량 지표에 대한 목표기준점

및 한계기준점은 위의 식 (5), (6)과 같이 일반적인 기준 (MSC, 2009)과 동일하게 적용하였다. F_{MSY} 는 평형생산량 (Y)을 F 에 대하여 미분해서 0으로 놓고, 식 (7)과 같이 계산하였다.

$$F_{MSY} = \frac{r(m-1)}{m} \quad (7)$$



Table 6. New reference points for the sustainability objectives used more general standards

Indicator	Indicator status		
	Better than target (0)	Between target and limit (0~2)	Beyond limit (2)
Biomass (B)	$B_{MSY} \leq B$	$1/2(B_{MSY}) \leq B < B_{MSY}$	$B < 1/2(B_{MSY})$
or CPUE	$CPUE_{MSY} \leq CPUE$	$1/2(CPUE_{MSY}) \leq CPUE < CPUE_{MSY}$	$CPUE < 1/2(CPUE_{MSY})$
Fishing mortality (F)	$F \leq F_{MSY}$	$F_{MSY} < F \leq 2F_{MSY}$	$2F_{MSY} < F$
or catch (C)	$C \leq MSY$	$MSY < C \leq 2MSY$	$2MSY < C$

4. 새로운 지표와 기준점의 적용

생태계 기반 지속성 평가를 위해 개선된 새로운 지표와 기준점을 통영 바다목장 해역의 주 대상종인 조피볼락 (jacopever rockfish)에 적용시켜 보았다 (Fig. 1). 통영바다목장 연구는 1998년~2007년에 걸쳐 수행되었으며, 본 연구에서는 이전 연구에서 적용한 자료와 같은 해인 2006년 조피볼락 자료를 사용하여 적용하였다 (Table 7, 8 and Fig. 2).

4.1 생체량 (biomass)

조피볼락의 2006년 자원량은 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 (Y/R) 이론을 사용하여 833mt (이, 2008)으로 추정되었다. 개선된 생태계 기반 자원평가에 의한 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점 B_{MSY} 는 527.6mt으로, 한계기준점 $1/2(B_{MSY})$ 는 263.8mt으로 추정되어, 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.2 어획 강도 (fishing intensity)

이 (2008)에 의해 추정된 조피볼락의 순간어획사망계수는 0.130/년이였다. 개선된 생태계 기반 자원평가에 의한 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점인 F_{MSY} 는 0.207/년으로, 한계기준점인 $2(F_{MSY})$ 는 0.414/년으로 추정되어, 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.3 어획개시크기 (size at first capture)

이 (2008)에 의해 추정된 조피볼락의 어획개시연령은 1세이다. 적정어획

개시연령은 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 (Y/R) 이론을 사용하여 0.93세로 추정되었다. 그러므로 어획개시연령이 적정어획개시연령보다 높아 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.4 서식처 규모 (habitat size)

분포범위는 통영바다목장의 조피볼락 이동범위를 파악하여 평가되었다. 체외 표지법으로 음향표지를 부착한 조피볼락의 이동범위를 음향 추적한 결과 (강, 2007)를 활용하여 목표기준점인 $0.9(H_{\text{target}})$ 는 450m로, 한계기준점인 $0.8(H_{\text{target}})$ 는 400m로 계산되었다. 통영바다목장의 조피볼락이 중간육성장 가두리를 중심으로 반경 500m의 범위를 벗어나 이동함으로 개선된 생태계 기반 자원평가에서는 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.5 군집 구조 (community structure)

군집구조를 나타내는 지표인 FIB index는 개선된 생태계 기반 자원평가에서 새로운 지표인 어획물내 평균영양단계 (TL)로 대체되었다. 조피볼락의 어획물 내 평균영양단계 값은 3.98 (이, 2008)로 계산되었고, 개선된 생태계 기반 자원평가에 의한 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점인 TL_{max} 는 1972년 조피볼락의 평균영양단계 값으로 설정하여 3.89로, 한계기준점인 $0.95(TL_{\text{max}})$ 는 1972년 조피볼락의 평균영양단계 값에서 표준편차를 뺀 3.70으로 설정하였다. 그러므로 조피볼락의 평균영양단계 (TL)는 1970년 조피볼락의 평균영양단계보다 높아 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.6 재생산 잠재력 (reproductive potential)

재생산 잠재력을 나타내는 지표인 FRP index는 개선된 생태계 기반 자원평가에서 새로운 지표인 성어 비율 (MR)로 대체되었다. 조피볼락의 성어 비율은 21.58%로 추정되었고, 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점인 $MR_{40\%}$ 는 16.3%로, 한계기준점인 $MR_{20\%}$ 는 8.1%로 추정되었다. 그러므로 조피볼락의 재생산 잠재력은 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

4.7 생산력 (system productivity)

생산력을 고려한 새로운 지표는 체장 스펙트럼의 기울기로 설정되었다. 어획이 되지 않은 처녀자원상태를 나타내는 기준년도로써 1995년의 자료를 사용하였고, 현재 생태계를 나타내는 적용년도는 2006년의 자료를 사용하여 계산하였다. 개선된 생태계 기반 자원평가에 의한 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점은 기준년도의 기울기 A와 적용년도의 기울기 B가 유의하지 않은 차이를 나타내는 경우로 유의수준 P가 0.10보다 클 경우로 설정하였다. A와 B간의 차이가 없기 때문에 현재 상태가 처녀자원상태와 크게 차이가 없이 유지하고 있다고 볼 수 있다. 한계기준점은 기준년도의 기울기 A와 적용년도의 기울기 B가 아주 유의함을 나타내주는 유의수준 P가 0.01보다 작을 경우로 설정하였다. 따라서, A와 B간의 차이가 크므로 현재 상태가 처녀자원상태와 큰 차이를 보이고 있음을 나타내준다. 그러므로 1995년도와 2006년도는 유의수준 P가 0.01보다 작은 것으로 계산되어, 두 년도가 유의함으로 나타나 한계기준점 초과(2)로 평가되었다.

4.8 유전적 구조 (genetic structure)

유전적 구조를 고려한 새로운 지표는 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비 ($R_{r/w}$)로 설정되었다. 개선된 생태계 기반 자원평가에 의한 새로운 기준점을 사용하여 목표기준점은 0.5로, 한계기준점은 1.0으로 설정하여 평가한 결과 2006년 조피볼락의 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비는 0.01로 계산되어 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.



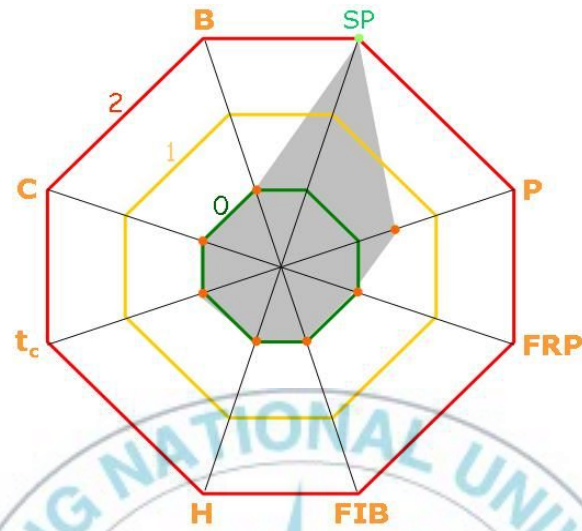
Table 7. Risk score of Old indicators for the ecosystem-based sustainability assessment in the Tongyeong marine ranching area (Zhang et al., 2009)

Jacopever rockfish			
Attribute	Indicator	Risk score	Weight
Biomass	Biomass (B)	0	3
Fishing intensity	Catch (C)	0	2
Size at first capture	Size (Age) at first capture	2	1
Habitat size	Habitat size (H)	0	1
Community structure	FIB index	0	1
Reproductive potential	FRP index	0	1
Productivity	Total production of ecosystem (P)	0.53	1

Table 8. Risk score of New indicators for the ecosystem-based sustainability assessment in the Tongyeong marine ranching area

Jacopever rockfish			
Attribute	Indicator	Risk score	Weight
Biomass	Biomass (B)	0	3
Fishing intensity	Fishing mortality (F)	0	2
Size at first capture	Size (Length) at first capture	0	1
Habitat size	Habitat size (H)	0	1
Community structure	Community trophic level(TLc)	0	1
Reproductive potential	Maturity rate (MR)	0	1
System productivity	Slope of size spectra (S)	2	1
Genetic structure	Ratio of (released stock abundance)/(wild stock abundance in catch) ($R_{r/w}$)	0	1

(a) old method



(b) new method

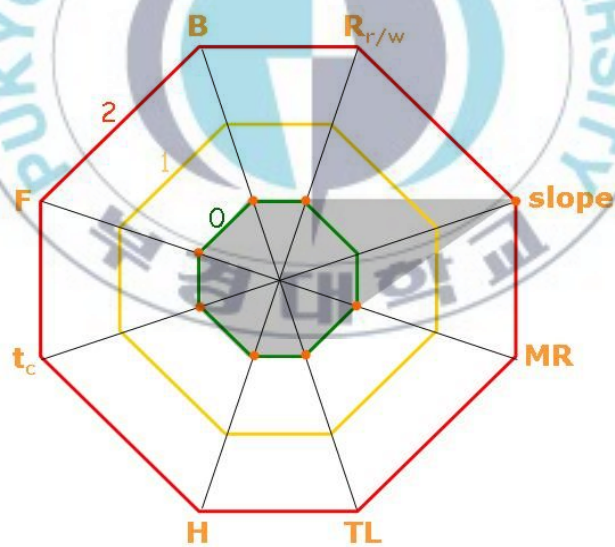


Fig. 2. Diagram showing risk score of Jacopever rockfish for the Tongyeong marine ranching area using ecosystem-based fisheries assessment in (a) old method (Zhang et al., 2009) and (b) new method.

Table 9. Old (Zhang et al., 2009) and new objective risk index (ORI) for the Tongyeong marine ranch using the ecosystem-based Tier 1 fisheries assessment approach

Species	Objective	ORI	
		Old	New
Jacopever rockfish	Sustainability	0.253	0.182



고 찰

수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를 위한 지표와 기준점 연구를 위해 이전 연구인 Zhang et al. (2009)의 문제점을 수정·보완하여 적합한 새로운 지표와 기준점을 개발하였다. 개선된 새로운 지표에는 어획개시크기를 나타내는 지표인 어획개시체장, 군집구조를 나타내는 지표인 어획물 평균영양단계, 재생산 잠재력을 나타내는 지표인 성숙비율, 생산력을 나타내는 지표인 체장 스펙트럼의 기울기, 유전적 구조를 나타내는 지표인 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비 등이 있다.

새로운 지표는 크게 지표간의 중복성을 피하고, 용이성을 고려하여 설정되었다. 군집구조를 나타내는 지표의 경우 기존의 FIB index를 대신하여 어획물 평균영양단계를 지표로 설정함으로써 어획물 평균영양단계를 지표로 설정함으로써 지표간의 중복성을 피하였다. 재생산 잠재력을 나타내는 지표의 경우 기존의 FRP index를 대신하여 성어 자원들이 재생산에 참여할 수 있는 가능성을 나타내는 성숙비율을 지표로 설정함으로써 지표간의 중복성을 피하였고, 또한 기존의 FRP index에 비해 추정방법이 쉽고 간편하다는 장점도 있다. 어획개시크기를 나타내는 지표는 기존의 연령 자료와 함께 체장 자료도 활용할 수 있는 방안을 모색하였다. 이전 연구에서 설정한 어획개시연령 지표에다 어획개시체장 지표를 추가 설정함으로써 기존의 연령 자료에 비해 구하기 쉽고, 간편한 분석방법으로 개선되었으며, 연령 사정함에 있어 발생할 수 있는 오류도 없기 때문에 더 낫다고 볼 수 있다.

생산력을 나타내는 지표의 경우 기존의 생태계 총생산량을 대신하여 체장에 대한 개체수 (혹은 중량)를 나타내는 체장 스펙트럼의 기울기를 지표로 설정함으로써 기존의 Ecopath 모델의 결과값을 사용하는 것보다 쉽고 간편한 분석방법으로 개선되었다. 유전적 구조를 나타내는 지표의 경우 기존의 산란개체군 수를 대신하여 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비를 지표로 설정함으로써 바다목장과 같은 천해생태계에 적용할 수 있는 쉽고 간편한 방법으로 개선되었다.

새로운 지표는 기존의 FIB index, FRP index 등의 multi-attributed indicator들을 single-attributed indicator로 수정·보완하여, 지표간의 중복성을 피하고, 용이성을 고려하여 개선되었다.

새로운 기준점은 MSC (2009)를 참고하여 이전 연구보다 좀 더 일반적인 기준점으로 개선되었다.

이와 같이 개선된 지표와 기준점에 의해 기존의 방법과 수정·보완된 방법을 통영바다목장에 적용하여 비교 분석해 보았다. 결과 부분에 나오는 팔각형 그림은 지속성 목표에 대한 지표들의 평가점수를 가시화하여 기존의 방법과 개선된 방법을 보다 쉽게 비교하기 위해 나타내었다. 팔각형의 각 모서리는 8개의 지표를 의미하며, 점들은 각 지표에 대한 평가점수를 나타낸다. 이 점들을 연결한 회색 다각형은 기존의 방법에서 개선된 방법으로 평가점수의 변화를 쉽게 비교할 수 있도록 가시화한 것이다 (Fig. 2). 대부분의 지표에 있어서 지표간의 중복성과 용이성을 고려하여 설정한 결과, 기존의 방법과 개선된 방법의 평가점수가 동일하였으나, 생산력 특성을 나타내는 지표의 경우 개선된 방법에서 평가점수가 높게 나타났다. 기준점

에 있어서는 이전 연구보다 좀 더 일반화시켜 설정한 결과, 기존의 방법과 개선된 방법의 평가점수가 동일하게 나타났다. 통영바다목장의 평가 결과, 개선된 평가에서 목표위험도지수가 0.182로 계산되어 이전 연구의 목표위험도지수 값인 0.253보다 조금 낮게 평가되었다 (Table 9). 대부분의 특성에 있어서는 그 평가점수가 동일하였으나, 생산력 특성의 경우 개선된 지표인 체장 스펙트럼의 기울기로 생산력을 추정한 결과 한계기준점 초과(2)로 평가되었다. 유전적 구조 특성의 경우 이전 평가에서의 지표인 산란개체군 수 (SP)에 대한 자료를 구하기 어렵고, 기존 연구가 없어 추정이 힘들었으나, 개선된 생태계 기반 지속성 평가에서는 새로운 지표인 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비 ($R_{r/w}$)를 사용하여 평가한 결과, 2006년 조피볼락의 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비는 0.01로 계산되어 목표기준점 이내(0)로 평가되었다.

본 연구에서는 개선된 생태계 기반 지속성 평가에 관한 지표와 기준점을 비록 천해생태계인 통영바다목장에 적용시켰지만, 추후 연구에서는 광역생태계에도 적용시켜 수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를 위한 보다 적합한 지표와 기준점을 설정하는 기반을 마련하여야 할 것이다.

요 약

본 연구에서는 수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표와 기준점을 제시하였다. Zhang et al. (2009)의 IFRAME 모델은 실용적인 방법이나 수산자원의 생태계 기반 지속성을 평가함에 있어 지표간의 중복성을 피하고, 쉽고 간편한 분석방법, 일반적인 기준점 등을 고려하여 현실적으로 적용 가능하도록 수정이 요구되었다. 이에 본 연구에서는 이전 연구에서 제시된 한계를 수정·보완하고 이를 바탕으로 적합한 지표를 설정하여, 각 지표에 해당하는 기준점을 개발하였다. 새로운 지표는 크게 지표간의 중복성을 피하고, 용이성을 고려하여 설정되었으며, 새로운 기준점은 MSC (2009)를 참고하여 이전 연구보다 좀 더 일반적인 기준점으로 개선되었다. 개선된 새로운 지표에는 어획개시크기를 나타내는 지표인 어획개시체장, 군집구조를 나타내는 지표인 어획물 평균영양단계, 재생산 잠재력을 나타내는 지표인 성숙비율, 생산력을 나타내는 지표인 체장 스펙트럼의 기울기, 유전적 구조를 나타내는 지표인 어획물 내 자연산어에 대한 방류어의 비 등이 있다. 또한 기존의 방법과 수정·보완된 방법을 통영바다목장에 적용하여 비교 분석하였다. 본 연구결과는 수산자원의 생태계 기반 지속성 평가를 위한 새로운 지표와 기준점을 제시하는 중요한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

지난 2년간의 대학원 생활을 돌이켜 보면 한 편의 논문으로 대신하기에는 아쉬움이 많이 남지만, 마무리를 잘 할 수 있게 되어서 뜻 깊게 생각하고, 이 논문이 완성되기까지 아낌없는 조언과 격려를 해주신 모든 분들께 감사의 마음을 전하고자 합니다.

부족한 저에게 많은 관심과 따뜻한 가르침으로 지도해 주신 장창익 교수님께 깊은 존경과 감사의 마음을 드립니다.

또한, 바쁘신 와중에도 미흡한 저의 논문을 심사해 주신 최영민 연구관님과 논문의 시작부터 많은 조언과 격려를 해주신 이재봉 연구사님께도 무한한 감사를 드립니다. 그리고 대학원 과정 동안 저에게 많은 가르침을 주신 수산물리학과와 여러 교수님들께도 감사드립니다.

항상 따뜻한 관심과 아낌없는 조언을 해주신 국립수산물학원의 독도수산연구센터 손명호 연구사님, 동해수산연구소 이성일 연구사님, 윤상철 연구사님, 남해수산연구소 이선길 연구사님, 서영일 연구사님, 고래연구소 박겸준 선배님, 한국연안환경생태연구소 이만우 선배님, 김광훈 선배님께 감사의 마음을 드립니다. 이 논문이 완성되기까지 곁에서 많은 관심과 큰 도움을 주신 수산자원학 실험실의 송경준 선배님, 나종현 선배님, 신영재 선배님, 이종희 선배님, 권혁찬 선배님, 박희원 선배님, 권유정 선배님과 멀리서 공부하고 있는 정여진 동기님께 깊은 감사의 마음을 전하며, 힘든 일이 있을 때마다 옆에서 큰 힘이 되어준 수정 언니, 동환 오빠, 상봉 오빠 및

후배님들께도 고마움을 전합니다.

무엇보다도 믿음으로 저에게 큰 힘이 되어주시고 물심양면으로 뒷받침 해주신 사랑하는 아버지와 어머니, 그리고 곁에서 큰 힘이 되어주는 사랑하는 동생에게 이 논문을 바칩니다.



참고문헌

- Beverton, R. J. H. and S. J. Holt. 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Fishery investigations, Series II, Marine Fisheries, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19. 533p.
- CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization). 2005. Ecological Risk Assessment for Effects of Fishing Case Study Instructions. 8, 95 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1999. Indicators for sustainable development of marine capture fisheries. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries 8 : 68 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2005. Discards in the world's marine fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 470 : 131 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 477 : 108 pp.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2009. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear. FAO Fisheries Technical Paper 523 : 115 pp.
- ICES. 2005. Quantitative ecosystem indicators for fisheries management.

- ICES Marine Science Symposia 222 : 613 pp.
- Jennings, S. and N.K. Dulvy. 2005. Reference points and reference directions for size-based indicators of community structure. *ICES Journal of Marine Science* 62 : 397-404.
- 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.
- MSC (Marine Stewardship Council). 2006. KDSFF final performance indicators and scoring guideposts. http://www.msc.org/html/content_1248.htm
- MSC (Marine Stewardship Council). 2009. TAB 15 - Agenda item No. 11 - FAM v2 (including RBF).
- Pauly, D., A.W. Trites, E. Capuli and V. Christensen. 1998a. Diet composition and trophic levels of marine mammals. *ICES J. Mar. Sci.* 55 : 467-481.
- Rice, J.C. and M.-J. Rochet. 2005. A framework for selecting a suite of indicators for fisheries management. *ICES J. Mar. Sci.* 62 : 516-527.
- Shannon, C.E., W. Wiener. 1963. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana : 125 pp.
- Shin, Y.J., M.-J. Rochet, S. Jennings, J.G. Field, and H. Gislason. 2005. Using size-based indicators to evaluate the ecosystem effects of

- fishing. ICES Journal of Marine Science 62 : 384-396.
- 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.
- Zhou, S. and S.P. Griffiths. 2008. Sustainability Assessment for Fishing Effects (SAFE): A new quantitative ecological risk assessment method and its application to elasmobranch bycatch in an Australian trawl fishery. Fisheries Research 91 : 56-68.
- 강경미. 2007. 음향 텔레메트리 기법을 이용한 통영바다목장 조피볼락의 행동특성 연구. 부경대학교. 103 pp.
- 농림수산식품부. 2008. 전남바다목장사업보고서 (2단계 4차년도 보고서). 521pp.
- 수산업협동조합중앙회. 1972. 수산물위탁판매고통계. 505 pp.
- 이선길, 이재봉, 장창익, 이동우. 2007. 한국 연근해 생태계의 잠재 재생산지수. 한국수산학회지 40(1) : 24-30.
- 이성일. 2008. 생태계 모델링에 의한 바다목장의 자원평가 연구. 부경대학교. 130 pp.
- 임양재, 황선도. 2002. 서해 연안 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 연령과 성장. 한국어류학회지 14(2) : 143-152.
- 장창익. 1991. 수산자원 생태학. 우성문화사. 399 pp.
- 장창익, 이선길. 2004. 한국 해양생태계의 영양단계와 어획강도. 한국수산자원학회지 6(2) : 140-152.

장창익. 2006. 생태계 차원에서의 수산자원관리 방안 연구. 한국어업기술학회지 42(4) : 240-258.

해양수산부. 2000. EEZ 체제하에서의 TAC 어업자원 관리기법 및 공동이용 자원에 대한 쿼터시스템 개발에 관한 연구. 542 pp.

해양수산부. 2007. 생태계 기반 자원관리시스템 개발연구. 341 pp.

해양수산부. 2007. 통영해역의 바다목장화 개발 연구 용역사업 보고서 (3단계 2차년도 보고서). 1082 pp.

