

이학석사 학위논문

자 율 관 리 마 을 어 업 의 생 태 계
기 반 자 율 관 리 시 스템 연 구

2006년 2월

부경대학교 대학원

수산물리학과

박 희 원

이학석사 학위논문

자 율 관 리 마 을 어 업 의 생 태 계
기 반 자 율 관 리 시 스템 연 구

지도교수 장창익

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함

2006년 2월

부경대학교 대학원

수산물리학과

박 희 원

박희원의 이학석사 학위논문을 인준함

2005년 12월 19일

주 심 수산학박사 권 병 국 인

위 원 이 학 박 사 이 재 봉 인

위 원 이 학 박 사 장 창 익 인

목 차

Abstract	1
서 론	3
재료 및 방법	5
1. 마을어업의 생태계 기반 자원관리 적용	5
2. 적용대상어업	5
2.1. 대상어업 및 주요 대상생물	5
1) 조사지역 및 대상생물	5
2) 채집방법	6
2.2. 자원생태학적 특성치	9
1) 연령과 성장	9
2) 사망계수	13
3) 어획개시연령	14
4) 자원량	15
2.3 자원평가	15
1) MSY와 f_{MSY} 추정	15
2) 적정어획강도 및 어획개시연령	17
3) 생물학적 기준점 추정	18

4) 생물학적허용어획량	19
2.4 시나리오에 의한 자원조성 방안	20
3. 마을어업의 관리를 위한 컴퓨터 프로그램 개발	22
3.1. 자원생태학적 특성치 추정 프로그램	22
3.2. 자원평가 프로그램	24
3.3. 자원진단 프로그램	24
결 과	25
1. 마을어업의 생태계 기반 자원관리 시스템	25
1.1 자율관리어업의 현행 자원관리시스템 분석	25
1.2 개선된 자원관리시스템	27
2. 적용대상어업	29
2.1 자원생태학적 특성치	29
1) 연령과 성장	29
가. 윤문형성	29
나. 각고-각장 및 전중관계	34
2) 사망계수	34
가. 생잔율 (S) 및 순간전사망계수 (Z)	34
나. 순간자연사망계수 (M)와 순간어획사망계수 (F)	39
3) 어획개시연령	39
4) 자원량	39
2.2 자원평가	44

1) MSY와 f_{MSY} 추정	44
2) 적정어획강도 및 어획개시연령	44
3) 생물학적 기준점 추정	47
4) 생물학적허용어획량	47
2.3 시나리오에 의한 자원조성 방안	50
3. 자율관리어업의 생태계 기반 자원관리방안	50
고 찰	54
요 약	56
감사의 글	57
참고문헌	58

A study on the ecosystem-based resource management system of self-regulatory community fisheries

Hee Won Park

Department of Fisheries Physics, Graduate School,

Pukyong National University

Abstract

A self-regulatory community fisheries management program in Korea is designed to enhance fisheries resources, to protect fishing grounds of self-regulatory communities, and to manage their fisheries resources by their own regulations and knowledge. This study analyzes the status of present stock management systems of self-regulatory community fisheries, and explored the applicable ecosystem-based management plan based on the scientific investigation and analysis. This study suggested objectives, indicators and reference points of the

ecosystem-based resource management system which are *applicable* to self-regulatory community fisheries. The *objectives* of the management system are to maintain sustainable fisheries *production*, to maintain *optimum* fishing intensity, to reduce *by-catch*, to *conserve* spawning ground and habitat, to maintain *optimum* habitat environment, to increase/maintain abundance of *prey species*, to increase/maintain stock biomass, and to conduct stock enhancement on the basis of scientific assessment. The *improved* methods for the assessment and management are introduced by demonstrating a self-regulatory fishery which targets on hen clam in *Dong-ri* fishing village in Busan. Finally, we developed a user-friendly computer *program* which could be used for fishermen to *interactively* conduct a *simple* stock assessment of target *species* when information and data on the fishery and the stock are *limited*.

서론

자율관리어업이란 지속가능한 어업생산기반을 구축하고, 지역별 및 어업별 분쟁의 해소, 어업인들의 소득향상과 어촌사회발전을 꾀하기 위하여 어장관리·자원관리·경영개선·질서유지 등을 어업인들의 자율적인 참여하에 행하는 어업형태를 의미한다 (MOMAF, 2003). 이러한 자율관리어업의 목적은 어업인들의 자율적인 어업관리로 효율적인 자원보호와 적정생산에 의한 적정어가 유지로 어업인들의 소득증대를 도모하고, 지속가능한 어업생산 기반을 구축하며, 지역별 어업별 분쟁을 해소하는 것이다.

우리나라에서는 자율관리어업에 대한 논의가 1997년부터 시작되어, 2001년에 처음으로 시범사업이 시행되었고, 2005년 현재 300여개의 공동체가 참여하고 있다. 참여사업의 종류는 초기에는 마을어업과 양식어업이 주였으나 최근에는 어선어업까지 확대되고 있다 (Kim, 2005). 최근 양적으로 확대·시행되고 있는 자율관리어업은 많은 문제가 있는 것으로 알려져 있으며, 이 중에서 선결해야 할 과제는 자율관리어업의 자원평가와 관리를 과학적으로 시행하는 방안을 마련하는 것이다. 이러한 자율관리어업의 과학적인 시행을 위해서는 명확한 목표와 이를 위한 지표, 기준점들을 동시에 고려하여 자원을 관리하는 생태계 기반 자원관리의 도입이 필요하다. 여기서 말하는 생태계 기반 자원관리란 생태계가 장기간 건강하고 완벽한 기능을 지속적으로 유지하면서 인간과 공존할 수 있도록 인간의 활동을 생태학적, 사회경제적, 제도적 및 기술적인 측면을 모두 고려해서 관리하는 전략적인 방법을 의미한다 (Zhang, 2004).

최근 자율관리어업에 관한 연구는 자율관리어업의 성공과 정착을 위한 연구 (MOMAF, 2003), 우리나라 연안어업의 자율관리모델 개발에 관한 연구 (Lee and Shin, 2004), 연안어업의 자율적 관리체제 구축에 대한 연구 (Kim, 2002), 한·일 양국의 자율관리어업 비교 (Choi, 2005) 등과 같이 관리제도적 측면의 사회과학적 연구들이 주로 수행되었다. 그러나 자율관리어업의 자연과학적 평가 및 관리시스템에 대한 연구는 전무한 실정이다.

본 논문에서는 부산 동리어촌계 마을어업을 예시로 자율관리어업에서 시행하고 있는 현재의 관리방안을 살펴보고, 생태계 기반 자원관리의 개념을 도입하여 자율관리어업에 활용할 수 있는 자원평가 및 관리방안을 연구하였다. 또한 앞으로 구축되어야 할 생태계 기반 자원관리의 방향설정과 어업인들이 스스로 대상종의 자원평가를 수행하여 과학적 적정관리 방안을 마련할 수 있도록 용이한 컴퓨터프로그램을 개발하였다.

재료 및 방법

1. 마을어업의 생태계 기반 자원관리 적용

생태계 기반 수산자원관리를 수행하기 위해서는 자원관리목표를 세워야 하며, 각각의 목표를 달성하기 위해서는 측정 가능한 지표와 모니터링 계획을 설정해야 한다. 이를 위해서는 해양생태계의 구조와 기능에 대한 과학적인 지식이 필요하다. 본 연구에서는 자율관리어업이 시행되고 있는 마을어업에 대한 생태계 기반 자원관리 방안의 목표와 각각의 목표에 따른 지표, 기준점을 설정하기 위해서 FAO (2003), Gislason (2000) 및 Livingston (2005)에서 제시된 방법을 참고하여 본 연구의 대상해역에 적합한 생태계 기반 자원관리 방안의 목표, 지표 및 기준점을 설정하였다.

이를 위하여 자율관리어업이 시행되고 있는 마을어업의 현행 시스템을 현장조사를 통해 분석하였다. 현장조사에서는 현재 이루어지고 있는 마을어업의 어업형태, 어획시기, 종묘방류현황, 자원평가 및 관리방법, 자율관리규약 및 지침 등을 확인하였다. 현장조사를 통해 수집된 자료를 바탕으로 대상어장의 자율관리어업 현행시스템에 대한 문제점을 파악한 후 이를 개선할 시스템을 분석하였다.

2. 적용대상어업

2.1 대상어업 및 주요 대상생물

1) 조사지역 및 대상생물

본 연구의 대상지역으로 선정된 동리어촌계는 부산시 강서구 명지동 지선에 위치하고 있으며, 2003년부터 개량조개와 김을 대상으로 자율관리어업을 시행해 오고 있다 (Fig. 1).

대상자원인 개량조개 (**hen clam, *Macra chinensis***)는 연체동물문 (**Phylum Mollusca**), 이매패강 (**Class Bivalvia**), 백합목 (**Order Veneroidea**), 개량조개과 (**Family Mactridae**)에 속하는 패류이다 (Fig. 2). 개량조개는 한국, 대만, 일본 등지에 널리 분포하며, 해저 10m 이천의 모래나 펄에서 서식하는 것으로 알려져 있는데, 우리나라에서는 서해·남해의 사니질에서 서식하며, 형망으로 어획되는 상업적으로 중요한 패류이다 (Ryu and Kim, 2001).

2) 채집방법

개량조개 표본을 채집하기 위한 조사는 동리어촌계 복합양식어장에서 총 3차 9회에 걸쳐 이루어졌으며, 1차 조사는 2004년 11월에 3회, 2차 2005년 2월에 4회, 3차 2005년 6월에 2회 각각 수행되었다.

동리어촌계 개량조개의 채집에 사용된 관리선은 총톤수 2.35톤, 디젤엔진 223마력, 선질 목선 및 FRP선에 형망 2틀 1조를 사용하는 형망어선이다. 또한, 어획 수심은 2~10 m의 범위이다.

동리어촌계에서 개량조개를 어획하기 위해 사용하고 있는 어구는 재래식 형망을 개량한 분사식 형망이다. 재래식 개량조개 형망은 두개의 형망틀을 선수와 선미에 설치하고 선수측 어구가 닻의 역할을 하고 선미측 어구로 어획되도록 조업하였으나, 해저의 펄 때문에 원활한 예망이 어려워



Fig. 1. Location of the *Dong-ri* self-regulatory community sampling site of hen clam, *Mactra chinensis* in fishing ground from November 2004 to June 2005.



Phylum Mollusca	연체동물문
Class Bivalvia	이매패강
Order Veneroida	백합목
Family Mactridae	개량조개과
Scientific Name : <i>Mactra chinensis</i>	
Common Name : Hen clam	

Fig. 2. External feature and taxonomy of hen clam, *Mactra chinensis*.

어획성능이 크게 감소하였다. 그러나 분사식 개량조개 형망은 재래식 형망에 분사노즐을 부착하여 분사되는 물로서 해저 바닥의 펄을 파내어 원활한 예망이 가능하도록 함으로써 어획성능이 재래식에 비하여 약 1.2~1.6배 향상되었다 (Cho and Ko, 1991).

동리어촌계에서 사용되고 있는 형망은 틀이 660L×490W×465H (mm) 이고, 망목의 크기 50 mm인 PE망지로 구성된 어구이다. 개량조개의 채취 방법은 어장에 도착하여 먼저 선수의 닻을 투하한 후 끌줄을 주면서 배를 후진시키고 나서 어구를 투하한 후, 어구의 분사류를 분사하면서 선수의 닻을 감아 들이는 방법으로 어선을 전진시켜서 좌우의 어구에 대상물이 어획되도록 하였으며, 1회당 예망시간은 15분이었다.

채집된 개량조개는 전량 실험실로 옮긴 후, 필요한 각종 생태학적 특성치를 구하기 위하여 각장 (shell length : SL), 각고 (shell height : SH) 를 Vernier calipers로 0.01 mm까지 측정하였고, 전중 (total weight : TW)은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다.

2.2 자원생태학적 특성치

1) 연령과 성장

동리어촌계에서 채집된 개량조개 784개체에 대하여 측정한 각장, 각고, 전중의 자료는 Table 1과 같으며, 이 중에서 sub-sample된 345개체를 사용하여 연령을 사정하였다. 본 연구에서는 개량조개의 패각을 연령형질로 사용하였다.

Table 1. Number of samples and range of shell height, shell length and total weight of hen clam fished in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005

Sampling date	Catch-in -number	Range of shell height (mm)	Range of shell length (mm)	Range of total weight (g)
Nov. 2004	206	23.80 ~ 65.61	31.83 ~ 87.66	4.71 ~ 108.68
Feb. 2005	276	26.94 ~ 64.02	36.34 ~ 87.06	7.30 ~ 99.70
Jun. 2005	302	20.00 ~ 65.60	23.00 ~ 88.31	1.80 ~ 97.70
Total	784	20.00 ~ 65.61	23.00 ~ 88.31	1.80 ~ 108.68

개량조개의 패각에는 성장선이 뚜렷하고 복연쪽으로 갈수록 굵어져서 표면이 패인 듯한 성장특의 형태를 이룬다. 삼각형의 패각은 황색을 띄고 있으나, 각정으로부터 여러 줄의 엷은 갈색대가 방사상으로 뻗어 있고 패각 내면은 엷은 미색이다 (NFRDI, 1999).

개량조개의 패각에는 Fig. 3과 같이 각정부를 중심으로 성장 상황에 따라 동심원상으로 불투명대와 투명대가 나타난다. 우선 육질부를 완전히 제거한 후 좌우 한 쌍의 패각 중 비교적 윤문이 뚜렷한 한쪽 패각을 선정하고, 패각을 약 25% 염산에 3~5분간 담근 후 육안으로 패각의 불투명대와 투명대의 경계선을 확인하여 경계선을 윤문으로 간주하여 판독하였다 (Ryu and Kim, 2001). 이때, 패각의 불투명대와 투명대로 이행하는 경계가 1년에 1회 형성되는 주기성의 윤문으로 가정하고 패각의 초점에서부터 각 윤문의 후연까지의 최대 직선거리를 윤경으로 측정하여 이것을 윤문 형성시의 각고로 간주하였다. 그리고 개량조개의 패각에 나타나는 윤문이 연륜으로 적합한가를 확인하고 윤문판독의 정확성을 파악하기 위해 각 윤문군 별로 각고와 윤경간의 관계를 비교하여 윤문의 대응성을 검토하였다.

성장식의 추정은 판독된 연령과 연령별 각고자료를 사용하여 어류 및 패류의 성장을 나타내는데 일반적으로 가장 널리 사용되는 von Bertalanffy (1938) 성장식의 매개변수를 추정하였다.

본 논문에서 사용된 von Bertalanffy 성장식은 식(1)과 같다.

$$SH_t = SH_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)}) \text{-----}(1)$$

여기서, t 는 연령, SH_t 는 연령 t 시의 각고, SH_{∞} 는 이론적 최대각고, K 는 성장계수, 그리고 t_0 는 각고가 0일 때의 이론적 연령을 나타낸다.

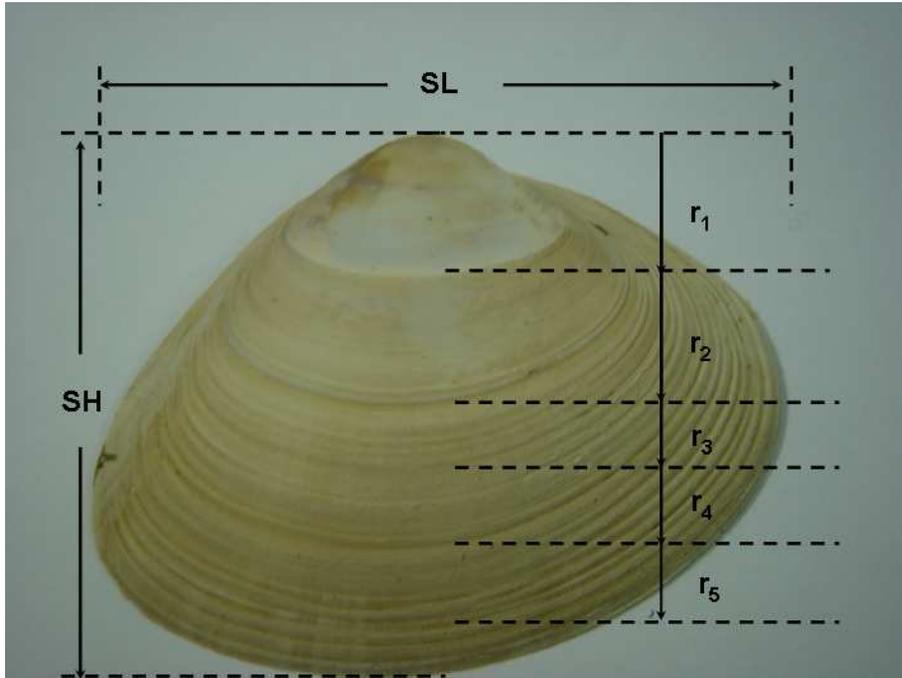


Fig. 3. Morphological image showing ring radius used for the age determination of hen clam, *Macra chinensis*.

성장모델의 매개변수 추정방법으로 **Walford** 정차도법에 의한 추정치를 구한 후 이 추정치를 초기값으로 하여 컴퓨터 패키지인 EXCEL의 **solver**를 이용한 비선형회귀분석방법으로 추정하였다. 이 방법을 택한 이유는 회귀에 의한 오차의 크기를 나타내는 편방편차합 (SSQ)이 가장 작기 때문이다.

개량조개의 각고 (SH)와 각장 (SL)의 관계는 직선회귀를 사용하여 $SL = a + bSH$ 의 식으로 구하였고, 전중 (TW)의 상대성장식은 $TW = aSH^b$ 의 지수식을 EXCEL **solver**를 사용하여 비선형 회귀분석방법으로 구하였다. 그리고 이론적 최대 전중 (W_∞)는 각고와 전중의 상대성장식에 이론적 최대 각고 (L_∞)를 대입하여 추정하였다.

2) 사망계수

개량조개의 생산율 (S)은 표본의 각고조성을 확인하고, 각 연령별 어획개체수를 구한 연령조성 자료를 사용하여 추정하였다. 본 연구에서 사용된 생산율의 추정식은 통계학적으로 신뢰성이 높은 **Chapman and Robson**방법 (1960)으로 식(2)와 같다.

$$\hat{S} = \frac{T}{\sum N_i + T - 1} = \frac{\bar{X}}{1 + \bar{X} - \frac{1}{\sum N_i}} \text{-----}(2)$$

여기서, $T = \sum i \cdot N_i$ 이다. **Chapman and Robson** 방법은 초기하분포이론을 사용하여 생산율을 추정하는 것으로 분산값의 추정 또한 가능하다.

순간전사망계수 (Z)는 생존율 (S) 추정치를 사용하여 식(3)에 의해 계산하였다.

$$Z = -\ln S \text{ -----(3)}$$

순간자연사망계수 (M)는 Zhang and Megrey 방법 (2006)을 사용하여 계산하였다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb}-t_0)} - 1} \text{ -----(4)}$$

여기서, $t_{mb} = C_i \times t_{\max}$ 이고 C_i 는 계수, t_{\max} 는 관측되어진 최대 연령, K 는 von Bertalanffy 성장계수, β 는 각고-전중 관계식으로부터 추정되었다.

순간어획사망계수 (F)는 추정된 Z 와 M 을 식(5)에 대입하여 구하였다.

$$F = Z - M \text{ -----(5)}$$

3) 어획개시연령

일반적으로 어류 자원의 어획개시연령은 망목 시험을 통하여 추정하는 방법이 가장 효율적이다 (Zhang, 1991). 그러나 패류는 어류와 달리 이 방법의 적용이 불가능하므로, 본 연구에서는 채취한 표본의 연령조성에서 우점연령군의 연령과 조성비를 각각 t_b 와 P_b , 가장 어린 연령군의 연령과 조성비를 각각 t_a 와 P_a 라 하여 어구가입연령 (t_c)을 식(6)에 의하여 추정하였다.

$$t_c = \frac{t_a \times P_a + t_b \times P_b}{P_a + P_b} \text{-----}(6)$$

4) 자원량

개량조개의 자원량을 과학적으로 추정하기 위해 실제 개량조개가 어획되고 있는 형망어선에 승선하여 채집하였다. 선박의 위치 (위·경도)와 선속 (knot/hr)은 5분 간격으로 GPS로 구하였고, 이 선속과 조업시간을 곱한 이동거리를 예망거리로 간주하여, 이 예망거리에 형망틀의 폭을 곱하여 형망어구의 소해면적을 구하였다. 자원량 (B)은 소해면적당 평균밀도 (\bar{D}) 및 평균중량 (\bar{W})과 전체서식면적 (A)을 이용하여 식(7)으로 추정하였다.

$$B = \frac{\bar{D} \cdot \bar{W} \cdot A}{q} \text{-----}(7)$$

자원량의 분산 (Var.)은 식(8)의 델타방법으로 추정하였으며, 95% 신뢰구간은 ($B \pm 2\sqrt{\text{var}(B)}$) (Kim, 1991)으로 계산하였다.

$$\text{Var}(B) = A^2 (\bar{W}^2 \text{Var}(\bar{D}) + \bar{D}^2 \text{var}(\bar{W})) \text{-----}(8)$$

2.3 자원평가

1) MSY와 f_{MSY} 추정

동리 어촌계에서 생산되는 개량조개는 전량 일본으로 수출되고 있으므로 수협을 통해 계통 판매된 어획량 자료는 없었다. 따라서 해당 어촌계에 보관중인 최근 5년간 (2000~2004) 어획실적 자료에 근거하여 어획량 및 어획노력량 (어선척수)을 파악하였으며, 이 자료로부터 개량조개의 최대지속적생산량 (MSY)을 추정하였다 (Table 2).

Table 2. Total catch and fishing effort in the *Dong-ri* self-regulatory community of Busan from *November* 2004 to *June* 2005

Year	Catch (mt)	Fishing effort (Number of vessel)
2000	500	55
2001	421	53
2002	486	50
2003	588	52
2004	488	48
Mean	530	51.6

최대지속적생산량 추정에는 Fox (1970) 모델을 사용하였다.

$$Y^* = U_\infty \exp\left(-\frac{qf}{r}\right)f \text{ -----(9)}$$

식(9)를 f 에 대하여 미분해서 최대치를 구하기 위해 0으로 놓으면 이 때의 연간 평형생산량 (Y^*)이 최대지속적생산량 (MSY)이고, 어획노력량 (f)이 최대지속적생산량일 때의 노력량 (f_{MSY})이다.

2) 적정어획강도 및 어획개시연령

개량조개의 최대 가입당 생산량을 산출하는 적정어획사망계수 및 적정어획개시연령을 구하기 위해 Beverton and Holt (1957)의 가입당생산량 모델인 식(10)을 사용하였다.

$$\begin{aligned} \frac{Y}{R} = & F \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nK} \\ & \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \end{aligned} \text{ -----(10)}$$

여기서, $\frac{Y}{R}$ 은 가입당생산량, W_∞, K, t_c 는 von Bertalanffy 성장식의 성장매개변수들이고, M 은 순간자연사망계수, t_r 은 어장가입연령, t_c 는 50% 어구가입연령 혹은 어획개시연령, t_L 은 최고연령이며, 그리고 $U_0 = 1, U_1 = -3, U_2 = 3, U_3 = -1$ 이다.

3) 생물학적 기준점 추정

본 연구에서 사용된 생물학적 기준점은 $F_{0.1}$, $F_{35\%}$ 그리고 $F_{40\%}$ 이었다. $F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수를 의미하는데, $F_{0.1}$ 값의 추정은 식(10)을 순간어획사망계수에 대해 미분하고, 어획이 없을 때 ($F=0$)의 생산량 곡선의 기울기를 구하여 다음의 식(11)에서 구하였다.

$$\begin{aligned} \frac{d(Y/R)}{dF} = & \exp[-M(t_c - t_r)] W_\infty \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n(M+nK) \exp[-nK(t_c - t_0)]}{(F+M+nK)^2} \right. \\ & + \frac{U_n(M+nK) \exp[-nK(t_L - t_c)]}{(F+M+nK)^2} \cdot [(t_L - t_c)F^2 + (M+nK) \\ & \left. (t_L - t_c)F - (M+nK)] \right\} \end{aligned} \quad \text{-----(11)}$$

여기서, 식(11)의 계수는 식(10)의 계수와 같다. 식(11)을 사용하여 계산한 기울기의 10%에 해당하는 F값을 찾기 위하여 F값들을 반복 대입하여 $F_{0.1}$ 값을 추정하였다.

가입당 산란자원량의 추정은 가입당산란자원량 모델식인 식(12)을 사용하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때 ($F=0$)의 산란자원량을 기준으로, 그 산란자원량의 40%의 자원량을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수인 $F_{40\%}$ 를 추정하였다.

$F=0$ 일 때의 가입당 산란자원량 (SB/R)은

$$\frac{SB}{R} \Big|_{F=0} = \sum_{t=t_r}^{t_\lambda} mt \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-M(t - t_c)} \cdot W_\infty (1 - e^{-K(t - t_0)})^3 \quad \text{---(12)}$$

이 된다. 여기서, SB 는 산란자원량을 의미하며, 이 식에서 사용된 연령별 성숙비 (m)을 제외한 모든 값들은 위의 **Beverton and Holt** 모델식에서와 동일한 값들을 사용하였다. 위의 식에서 사용된 연령별 성숙비 (m)는 1세 0.01, 2세 0.23, 3세 0.67, 4세 0.84, 5세 0.93, 6세 1.00으로서 6세가 완전성숙연령으로 추정되었다 (Chung et al., 1987).

어떤 특정 F 값 $F = F_1$ 일 때의 SB/R 은

$$\frac{SB}{R} \Big|_{F=F_1} = \sum_{t=t_r}^{t_\lambda} mt \cdot e^{-M(t-t_r)} \cdot e^{-(M+F)(t-t_c)} \cdot W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \text{-----} \quad (13)$$

이 된다. 여기서, t 세의 연령이 t_c 보다 작은 경우에는 F 값이 0이 되어야 하며, 이때의 비가 $x\%$ 가 되는 F_1 의 값이다. 즉,

$$\frac{SB/R \Big|_{F=F_1}}{SB/R \Big|_{F=F_0}} = x\% \text{-----} \quad (14)$$

4) 생물학적허용어획량

생물학적허용어획량 (ABC)은 Zhang and Lee (2001)가 제시한 이용 가능한 정보의 질적 수준에 따라 5단계의 방법으로 추정이 가능하다. 본 논문에서는 Zhang and Lee (2001)가 제시한 5단계 방법 중 2단계와 3단계 방법으로 ABC를 추정하였다.

따라서 개량조개의 생물학적허용어획량은 식(15)를 사용하여 추정하였다.

$$ABC = F_{target} \frac{B}{(M + F_{target})} (1 - e^{-(M + F_{target})}) \text{-----} \quad (15)$$

여기서, B 는 식(7)에 의해 추정된 자원량, M 은 순간자연사망계수, 그리고 F_{target} 은 본 연구에 사용된 생물학적 기준점에 해당하는 순간어획사망계수이다.

2.4 시나리오에 의한 자원조성 방안

본 연구의 대상 어장은 동리어촌계에서 개량조개를 대상으로 매년 일정량의 종패를 살포하고 있는 복합양식어장이다. 현재 동리어촌계에서 행해지는 종패살포는 경험에 근거하여 이루어지고 있으므로, 본 연구에서는 과학적이며 합리적인 적절한 기준을 제시하기 위해 시나리오에 의한 자원조성방안을 마련하였다.

자원조성방안 마련을 위해 먼저 동리어촌계의 생물학적허용어획량(ABC)과 현재 동리어촌계에서 어획되는 평균어획량의 관계의 기준을 아래와 같이 2가지 경우로 나누었다. 먼저, 기준 1은 생물학적허용어획량(ABC)이 평균어획량(\bar{C})보다 작거나 비슷한 경우이며, 기준 2는 생물학적허용어획량(ABC)이 평균어획량(\bar{C})보다 작을 경우이다. 기준 1의 경우에는 현재의 어획량으로 생물학적으로 지속적인 어획이 가능하다고 판단되므로 자원조성의 필요가 없다. 기준 2의 경우에는 현재의 어획량으로 지속적인 어획유지가 불가능하다고 판단되므로 ABC를 평균어획량(\bar{C})수준으로 높이기 위한 3가지의 시나리오를 Table 3과 같이 수립하였다.

Table 3. Scenarios for stock enhancement in the Dong-ri self-regulatory community of Busan

Criterion	Scenario	Stock enhancement
Criterion 1		Not needed
Criterion 2	Scenario 1	Enhanced at $(\bar{C} - ABC)$ by $F_{40\%}$
	Scenario 2	Enhanced at $(\bar{C} - ABC)$ by $F_{35\%}$
	Scenario 3	Enhanced at $(\bar{C} - ABC)$ by $F_{30\%}$

현재가입마리수 (R_{Fc})는 단위면적당 가입량 (R)에 어장의 면적 (A)을 고려해서 계산하고, $F=0$ 일 때의 가입마리수 ($R_{Fc=0}$)에서 현재가입마리수 (R_{Fc})를 제함으로서 적정가입마리수 (SN_{opt})를 추정하였다. 그러므로 적정 가입마리수 (SN_{opt})는 식 16과 같다.

$$SN_{opt} = SR_{opt} e^{K(t_c - t_s)} \text{-----}(16)$$

여기서, t_s 는 살포시 종패연령이다.

3. 마을어업의 관리를 위한 컴퓨터 프로그램 개발

본 연구에서는 어민들이 손쉽게 어장의 대상종에 대한 자원의 상태를 과학적으로 평가할 수 있도록 돕기 위해 자원평가 프로그램을 개발하였다. 자원평가 프로그램은 Table 4와 같이 비주얼 베이직을 사용하여 프로그램을 구성하였다. 자원평가 프로그램은 자원생태학적 특성치 추정 프로그램, 자원평가 프로그램, 그리고 자원진단 프로그램으로 구성하였다.

3.1 자원생태학적 특성치 추정 프로그램

자원생태학적 특성치 추정 항목에서는 입력 값은 무작위 표본채집에 의해 측정된 각고 값을 사용하였다. 입력된 각고 값을 바탕으로 연령별 각고 조성을 통해 *von Bertalanffy* 성장 매개변수를 제시하고 동시에 성장그래프를 나타내었다. *von Bertalanffy* 성장 매개변수를 제시하고 난 후 생산율 (S)과 전사망계수 (Z)를 추정하고 이 값으로 자연사망계수 (M), 어획사망계수 (F)를 추정하여 나타내도록 하였다.

Table 4. Input and output parameters using the stock assessment program

Menu	Input	Output
Population parameter	Shell height(mm)	<ul style="list-style-type: none"> · Growth parameter · Survival rate (S), · Total mortality (Z) · Instantaneous natural mortality (M) & fishing mortality (F) · Age at first capture (t_c)
Stock assessment	Density & mean weight Catch & Number of vessel	<ul style="list-style-type: none"> · Biomass · MSY · Yield per recruitment · ABC
Stock diagnosis	Mean catch	<ul style="list-style-type: none"> · Current stock status of target species

여기서 생산율 (S)은 앞서 밝힌 4가지 추정방법 중 분산값이 가장 낮은 값을 나타내었고, 자연사망계수 (M)는 Zhang and Megrey 방법 (2006)을 사용하였다.

3.2 자원평가 프로그램

자원평가 프로그램은 자원량, 최대지속적생산량 그리고 생물학적 허용어획량을 추정할 수 있도록 하였다. 자원량은 어장면적 및 밀도를 입력 변수로 지정하였고, 최대지속적생산량에서는 어획량과 어선척수를 입력 변수로 지정하였다. 생물학적허용어획량은 추정된 자원량과 생물학적기준점 ($F_{0.1}$, $F_{35\%}$, $F_{40\%}$)을 사용하여 추정될 수 있도록 하였다.

3.3 자원진단 프로그램

자원평가 항목에서 자원량, 최대지속적생산량, 생물학적 허용어획량이 추정된 후 추정된 값을 바탕으로 현재의 어획량과 비교하여 대상종의 자원진단이 이루어 질 수 있도록 하였다. 자원진단 항목은 앞서 추정된 값들과 현재 어획량을 비교하여 앞으로 어획수준을 어떻게 정해야 할지를 나타내었다.

결 과

1 마을어업의 생태계 기반 자원관리 시스템

1.1. 자율관리어업의 현행 자원관리시스템 분석

현재 자율관리어업은 Fig. 4와 같이 어장관리, 자원관리, 생산관리의 3가지 항목을 정하여 어업자원을 관리·보존하며 이용하고 있다 (MOMAF, 2003). 어장관리항목은 어장을 관리하기 위해 주로 어장 내의 폐어구 수거, 쓰레기 제거, 바위청소, 대상종의 해적생물 구제 활동을 통해 어장 청소를 일정기간마다 시행하고 있으며, 해안 감시조를 편성하여 자체적으로 불법어업을 단속하고 있다. 자원관리항목에서는 자율규약에 의한 채포 금지 크기와 기간 준수, 해조장 조성, 어장 내 특정어구의 조업 제한, 종묘 방류 등의 세부 항목을 시행하고 있다. 생산관리항목에서는 자율규약을 바탕으로 적정 생산량을 유지하기 위해 자체적인 TAC의 수행과 생산기간의 제한을 통하여 생산량을 규제하고 있다.

대상 지역인 동리어촌계에서 수행하고 있는 자원관리 방안을 살펴보면, 먼저 어장 관리를 위해 동리어촌계에서는 어장감시조를 편성하여 불법어업을 단속하고 있으며, 대상생물 개량조개의 천적 큰구슬우렁이에 의한 피해를 줄이기 위해 년 3회씩 해적 구제 활동을 수행하고 있다.

또한 개량조개의 자원관리를 위해 채포 기간을 정하고, 채포크기의 제한을 두고 있다. 먼저 채포기간은 금년 11월에서 익년 4월로 6개월간으로 정하여 조업하고 있다. 제한 채포크기는 각장을 기준으로 하여 7 cm

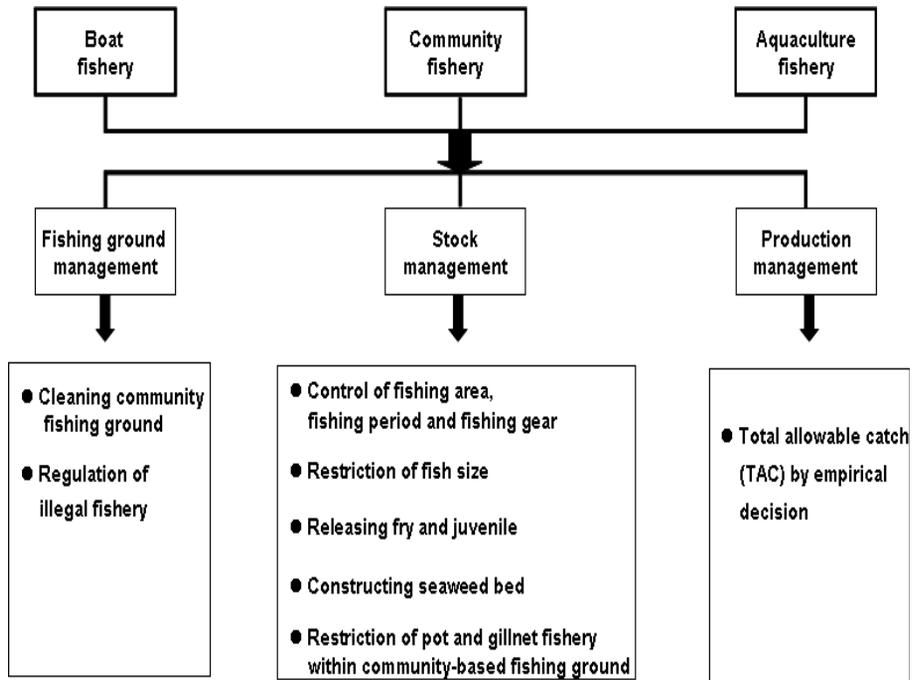


Fig. 4. The current self-regulatory fisheries management system in Korea.

이상의 개체만을 어획하도록 하고 있다. 형망을 이용하여 어장에서 어획된 개량조개를 채를 사용하여 선박 위에서 바로 선별하여 채포크기를 준수하려고 하고 있으나, 정확히 7 cm 이상의 개체만이 채취되지는 않고 있으며, 실측한 결과 약 5~7 cm 사이의 개체도 어획되고 있었다.

마지막으로 개량조개의 생산관리는 어획되는 개량조개를 전량 일본으로 수출함으로 연간 생산량은 수출업체의 주문에 의해 결정되고 있다. 수출업체에서 일정량의 주문을 받으면 이를 바탕으로 어선별 (혹은 가구별)로 일정량을 할당해 주고 할당된 양만큼 어획을 하도록 하고 있다. 계통출하를 위해 수출업체와 계약을 맺어 생산량을 밝히고 있으나, 실제로는 생산량을 정확히 파악할 수 없는 실정이다.

1.2 개선된 자원관리시스템

개선된 자원관리시스템은 Table 5와 같이 크게 8개의 목표 (Objectives)와 각각의 목표에 따른 지표 (Indicators), 기준점 (Reference points)으로 나타낼 수 있다. 그러나 한국 자율관리어업에서 현재 수행되어지고 있는 항목들은 8가지 목표 중 지속적 생산의 유지를 위한 노력, 산란장과 서식처 보존을 위한 노력, 적정 자원조성 등 세 가지의 목표만을 가지고 있다.

본 연구에서는 과학적 조사와 분석을 바탕으로 자율관리어업에서 수행되어질 수 있는 다음과 같은 6가지 항목을 제시하였다. 첫째, 지속적 생산 유지를 위한 자원관리방안, 둘째, 어획노력 감소를 위한 자원관리방안, 셋째, 적정어획강도 유지를 위한 자원관리방안, 넷째, 자원량의 증가/유지

Table 5. Ecosystem objectives, indicators and reference points for self-regulatory management system

Objectives	Indicators	Reference points
1. Maintain sustainable fisheries production	TAC	ABC
2. Maintain optimum fishing intensity	Fishing mortality	$F_{0.1}$, $F_{x\%}$
3. Reduce by-catch	Diversity in species abundance	Richness, Evenness
4. Conservation of spawning ground & habitat	Areas of disturbed spawning ground & habitat	% of each spawning ground and habitat that is undisturbed
5. Maintain optimum habitat environment	Abundance of predator or pirate species	Annual yield for predator or pirate species
6. Increase/maintain abundance of prey species	% of prey species in diet	Minimum % in diet
7. Increase/maintain stock biomass	Stock biomass	B_{MSY} , $B_{x\%}$,
8. Optimum stock enhancement	Optimum amount of stock release	Carrying capacity

를 위한 자원관리방안, 다섯째, 적정 서식환경을 유지하기 위한 자원관리 방안, 마지막으로 여섯째, 적정 자원조성을 위한 자원관리방안이다.

본 연구에서는 자원의 효율적인 생산·유지 관리를 위한 과학적 조사와 분석에 근거하여 현재 동리어촌계에서 수행하고 있는 자율관리어업의 관리방안을 확인하고 개선방안을 마련하였다 (Figs. 5 and 6). 현재 동리어촌계에서 수행하고 있는 자율관리어업의 관리방안은 경험적 근거를 바탕으로 채포크기의 제한을 7 cm로 정하고 채포시기를 11월~4월까지로 하며, 연간 일정량의 종묘를 방류하고 있다. 또한 어획량도 자체적인 규약에 근거하여 제한하고 있다 (Fig. 5).

본 연구에서는 현재 동리어촌계 자율관리어업의 관리방안을 과학적 조사와 평가를 통해 기준을 제시하고 각각의 항목을 개선하였다 (Fig. 6). 채포크기는 가입연령별 체장에 근거하여 6.25 cm로 선정하였고, 어획시기는 산란기를 고려하였으며, 종묘살포량과 어획량은 생물학적 허용어획량과 환경수용력을 고려한 값을 선정하였다.

2. 적용대상어업

2.1 자원생태학적 특성치

1) 연령과 성장

가. 윤문형성

윤문의 대응성과 윤문 관독의 정확성을 검토하기 위해 각 윤문군 별로 각 고와 윤경간의 관계를 Fig. 7과 같이 나타내었다. 여기서 패각의 중심에서 각 윤문간의 거리는 $r_1=21.83$ mm에서 $r_8=58.33$ mm의 범위에 있다 (Table 6).

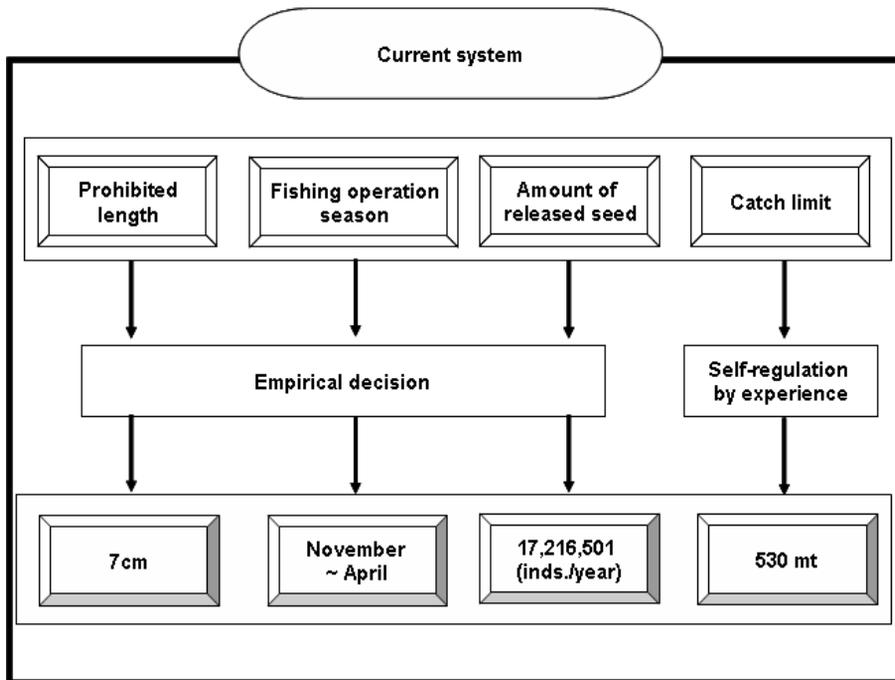


Fig. 5. Current self-regulatory community fisheries management system in the *Dong-ri* self-regulatory community of Busan.

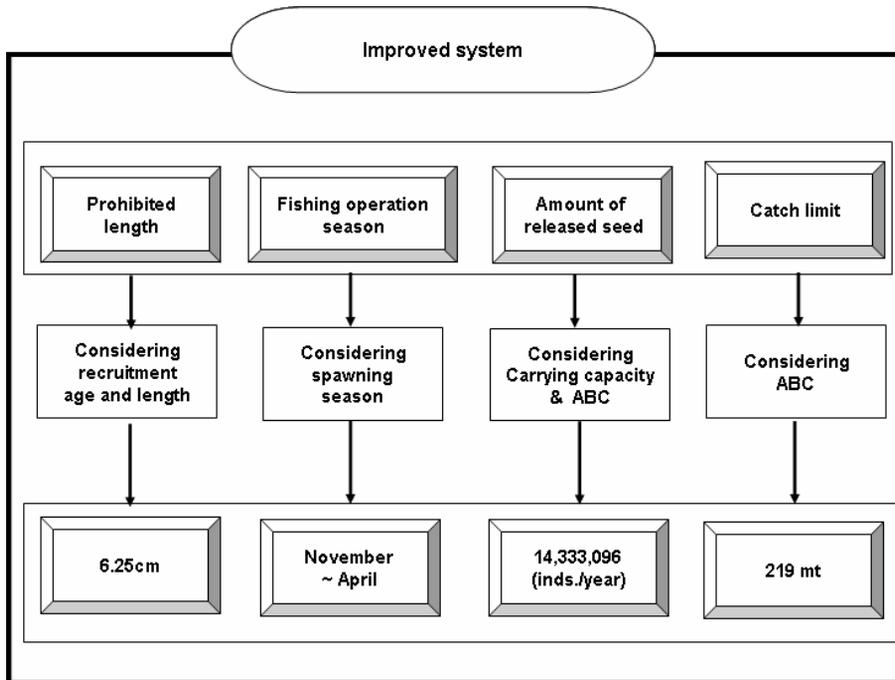


Fig. 6. Improved self-regulatory community fisheries management system in the Dong-ri self-regulatory community of Busan.

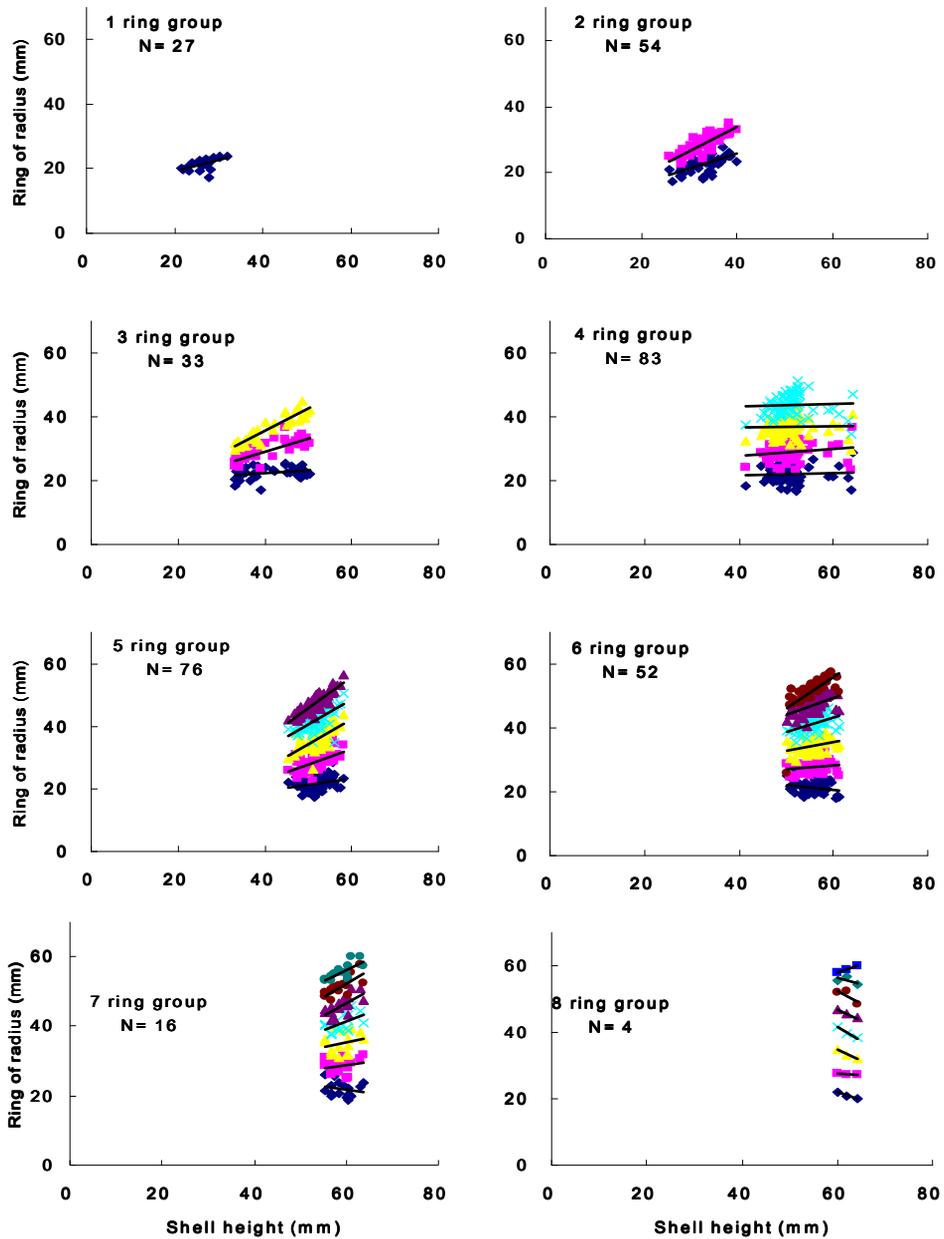


Fig. 7. Relationship between shell height and ring radius of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

Table 6. Mean ring radius on the shell of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005

Ring group	Radius of ring(mm)									Number of samples
	R	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8	
1	26.70	21.58								27
2	33.35	22.65	28.87							54
3	41.32	22.37	29.75	36.53						33
4	50.78	22.06	29.09	36.69	43.59					83
5	51.94	21.72	28.82	35.88	42.13	47.78				76
6	55.54	21.28	27.63	34.44	41.20	47.00	51.66			52
7	59.01	21.98	28.48	35.01	40.73	45.89	51.46	55.47		16
8	61.33	21.02	26.96	33.71	39.72	45.00	50.15	54.87	58.33	4
Mean		21.83	28.52	35.38	41.47	46.42	51.09	55.17	58.33	345

같은 수의 윤경을 가진 경우 윤경은 각고가 커짐에 따라 크게 나타났으며, 윤경과 각고는 서로 직선적인 관계를 보임으로 패각에 나타나는 윤문 사이에는 대응성이 있었다.

나. 각고-각장 및 전중관계

개량조개의 각고 (SH)와 각장 (SL)의 상대성장을 조사하기 위하여 총 345개체의 개량조개를 분석한 결과 각고와 각장과의 관계는 Fig. 8과 같이 $SL = 1.34SH + 0.1946$ ($R^2 = 0.98$)이었고, 각고와 전중량 (TW)과의 상대성장식은 Fig. 9와 같이 $TW = 0.0002SH^{3.1221}$ ($R^2 = 0.96$)이었다.

비선형 회귀방법으로 추정된 von Bertalanffy 성장식의 성장곡선은 Fig. 10과 같으며, 여기서 성장계수 (K)는 $0.12/\text{yr}$, 이론적 최대 각고 (SH_∞)는 86.24 mm , 각고가 0일 때의 이론적 연령 (t_0)은 -1.37 세로 추정되었다.

2) 사망계수

가. 생산율 (S) 및 순간전사망계수 (Z)

Chapman and Robson 방법에 의해 추정된 동리어촌계 개량조개의 생산율은 Table 7에서와 같이 0.515 ($Var(S) = 0.0005$)로 계산되었으며, 순간전사망계수는 $Z = -\ln S$ 의 식에 의해 $0.664/\text{yr}$ 로 계산되었다.

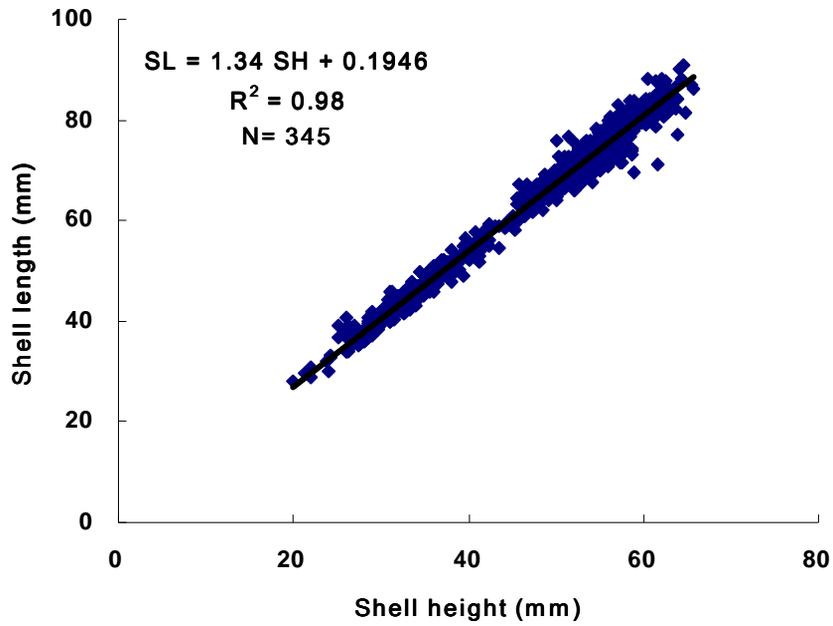


Fig. 8. Relationship between shell height and shell length of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

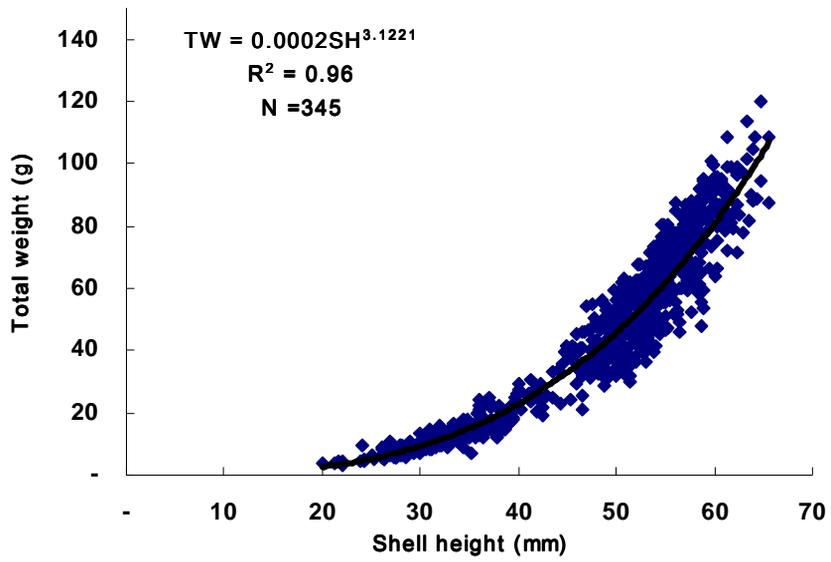


Fig. 9. Relationship between shell height and total weight of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

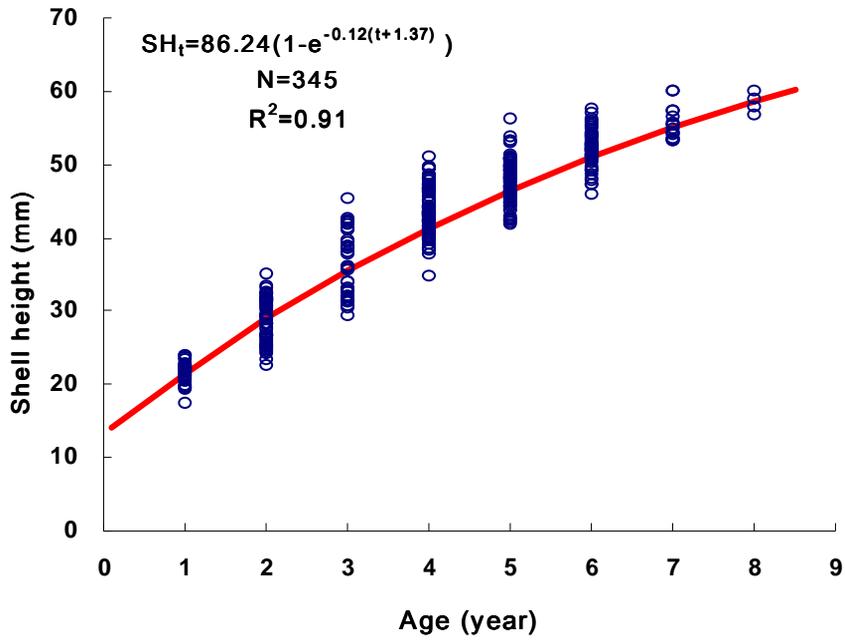


Fig. 10. The von Bertalanffy growth curve by the non-linear regression method of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

Table 7. Comparison of survival rates (S) and instantaneous coefficient of total mortalities (Z) by various methods of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan

Method	S	$Var(S)$	Z
Chapman and Robson	0.515	0.0005	0.664/yr

나. 순간자연사망계수 (M)와 순간어획사망계수 (F)

순간자연사망계수는 **Zhang and Megrey** 방법 (2006)을 사용하였다. 여기서 **von Bertalanffy** 성장계수 K 는 0.120/yr이며, 최대연령은 9세로 간주하였다.

Zhang and Megrey 모델에서 사용된 β 값은 각고 (**SH**)와 전중 (**TW**)의 상대성장식 $TW = 0.0002SH^{3.122}$ 에서 추정된 3.122이며, C_i 값은 0.440이다. 세 가지 방법을 사용한 순간자연사망계수는 $F = Z - M$ 식에 의해 추정되었으며, **Table 8**과 같다.

3) 어획개시연령

부산 동리어촌계 개량조개의 연령조성비는 **Table 9**와 같으며, 여기서 우점연령군 (t_b)은 4세로 그 조성비 (P_b)는 24.06%이었고, 가장 어린 연령군 (t_a)인 1세의 조성비 (P_a)는 7.83%이었다. **Table 9**의 연령조성자료와 식 (6)을 사용하여 개량조개의 어획개시연령 (t_c) 혹은 50% 어구가입연령을 계산하여 추정한 어획개시연령은 3.26세였다.

4) 자원량

동리어촌계 개량조개의 자원량을 추정하기 위한 매개변수는 **Table 10**에 서와 같으며, 여기서 면적당 개체수는 15.85 inds./m², 2차 13.82 inds./m², 3차 13.51 inds./m²이었다. **Table 10**에 나타낸 자료와 식(7)을 사용하여 추정한 동리어촌계 개량조개의 자원량은 **Table 11**과 같이 713 mt으로 추정되었다.

Table 8. Estimated Instantaneous coefficient of natural mortality (M) and fishing mortality (F) of *Mactra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan

Methods	Instantaneous coefficient of natural mortality (M)	Instantaneous coefficient of fishing mortality (F)
Zhang and Megrey	0.232/yr	0.432/yr

Table 9. Age composition of *Maetra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005

Age(year)	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
Number	27	54	33	83	76	52	16	4	345
Percent (%)	7.8	15.7	9.6	24.1	22.0	15.1	4.6	1.2	100.0

Table 10. Input data used to estimated biomass of *Macra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005

Number of operation	Density (inds./m ²)	Mean weight (g)	Total area (ha)	Catchability (q)
1	15.85	51.10	51.54	0.52
2	13.82	48.83	51.54	0.52
3	13.51	49.97	51.54	0.52
Mean	14.39	49.97	51.54	0.52

Table 11. Biomass, variance, and 95% confidence interval of biomass for *Macra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005

Biomass (mt)	Var.(B) by Delta method	95% confidence interval(mt)
713	1.14×10^{15}	645.2 ~ 780.4

2.2 자원평가

1) MSY와 f_{MSY} 추정

동리어촌계 개량조개의 최대지속적생산량은 2000년부터 2004년까지의 총어획량과 어획노력량인 어선척수를 사용하여 Fox (1970) 모델로 구하였으며, 그 추정값은 496 mt이었고, MSY시 어획노력량 (f_{MSY})은 47.8척이었다.

2) 적정어획강도 및 어획개시연령

개량조개의 적정어획강도와 적정어획개시연령을 추정하기 위해 사용된 **Beverton and Holt** (1957) 모델에서 사용된 특성치는 **Table 12**와 같다. 이론적인 최대체중 (W_{∞})은 221.04 g, 성장계수 (K)는 0.12/yr, 각고가 0 일 때의 이론적 연령 (t_0)은 -1.37세, 순간자연사망계수 (M)는 0.232/yr, 어획개시연령 (t_c)은 3.26세이었다.

그리고 어장가입연령 (t_r)은 **von Bertalanffy** 성장식을 연령에 대해 변환한 식에 어획물의 최소각고를 대입하여 최고 각고시 연령을 추정하였고, 이때 어장가입연령 (t_r)은 0.8세로 추정되었다.

순간어획사망계수 (F)에 대한 어획개시연령 (t_c)과 가입당생산량 (Y/R)과의 관계는 **Fig. 11**과 같으며 여기서, 점선으로 표시된 종선은 현재의 어획개시연령 (t_c)인 3.26세, $F= 0.432/\text{yr}$ 에서의 가입당 생산량이 4.38 g임을 나타내고 있다. 현재의 어획개시연령 (t_c) 3.26세에서 어획개시연령을 2.0세로 낮춰 주었을 때 가입당 생산량이 증가함을 보이고 있다.

Table 12. Input data used to estimated Beverton and Holt model of *Macra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan

Parameter	Value
K	0.120/yr
W_{∞}	212.04 g
t_0	-1.37/yr
M	0.232/yr
t_c	3.26/yr
t_r	0.8/yr
t_{\max}	9/yr

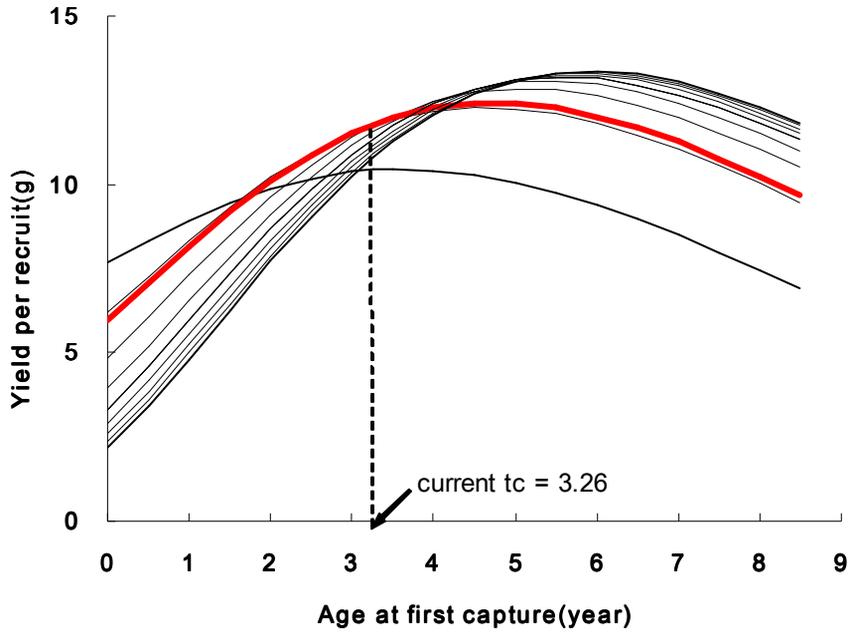


Fig. 11. Yield *per* recruit curves of *Macra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from 2004-2005. Y/R against the age at first capture (t_c) for various fishing mortalities (F).

어획개시연령 (t_c)에 대한 순간어획사망계수 (F)와 가입당 생산량 (Y/R)과의 관계는 Fig. 12와 같으며, 여기서 F 값을 0.247에서 0.75 수준까지 올려줬을 때 가입당 생산량이 증가함을 보이고 있으나 F 값의 증가폭에 비해 가입당 생산량의 증가가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

3) 생물학적 기준점 추정

Beverton and Holt (1957) 모델을 어획사망계수에 대해 미분하여 추정한 현재 어획개시연령 (t_c)에 대한 $F_{0.1}$ 값과 $F_{40\%}$, 그리고 $F_{35\%}$ 를 비교한 결과는 Table 13과 같으며, 여기서 $F_{0.1}$ 은 0.250이었고, 가입당산란자원량 모델식을 이용하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때의 산란자원량의 40%의 수준을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수 $F_{40\%}$ 의 값은 0.418 그때의 가입당 산란자원량은 25.47 g으로 추정되었다.

4) 생물학적허용어획량

동리어촌계에서의 개량조개의 생물학적허용어획량 (ABC)은 앞의 Table 10에서 나타낸 변수들의 평균값으로 추정한 초기자원량 (Table 11)과 본 연구에서 구해진 여러 가지 개량조개 자원의 목표기준점을 식(15)에 적용하여 추정하였다. 여기서 사용된 목표기준점들은 현재 어획개시연령에서의 값을 사용하였다. 자원의 목표기준치인 $F_{0.1}$ 을 적용하여 추정된 ABC는 141 mt이었고, 어획이 전혀 없을 때의 산란자원량의 40% 수준을 유지할 수 있는 $F_{40\%}$ 에서의 ABC는 219 mt이었다.

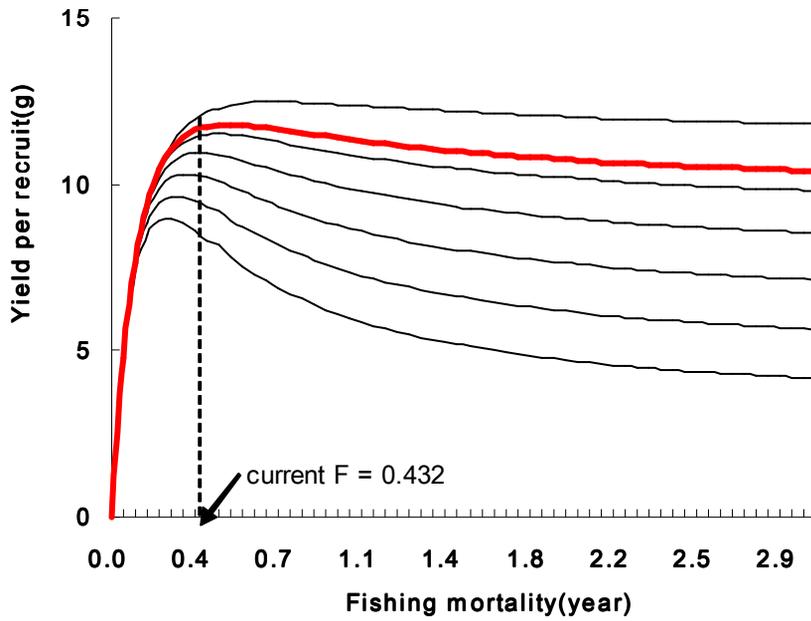


Fig. 12. Yield *per* recruit curves of *Macra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from 2004-2005. Y/R against fishing mortalities (F) for various age at first capture (t_c).

Table 13. Yield and spawning biomass per recruit of *Macra chinensis* in the Dong-ri self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005 under harvest strategies by $F_{0.1}$, $F_{35\%}$ and $F_{40\%}$

Age at first capture				$Y/R(g)$	$SB/R(g)$
	$F_{0.1}$	$F_{35\%}$	$F_{40\%}$	$F_{0.1}$	$F_{40\%}$
3.26	0.250	0.500	0.418	10.71	25.47

2.3 시나리오에 의한 자원조성 방안

동리어촌계의 생물학적허용어획량과 평균 어획량을 비교하였다. 동리어촌계의 평균어획량은 530 **mt**이고 $F_{40\%}$ 에 의한 생물학적허용어획량은 219 **mt**, $F_{35\%}$ 는 253 **mt**, $F_{30\%}$ 는 294 **mt**으로 평균어획량이 모든 생물학적 기준점에서 추정된 ABC 값보다 높은 수준이었다. 그러므로 본 연구에서는 Table 14와 같이 기준 2의 시나리오에 의해 자원조성의 수준을 설정하였다.

3. 자율관리어업의 생태계 기반 자원관리방안

자율관리어업의 생태계 기반 자원관리 방안은 Table 15와 같이 과학적인 조사를 통해 적용할 수 있는 6가지 방안이 있다.

첫째, 지속적 생산 유지를 위한 자원관리방안이다. 동리어촌계의 지속적 생산을 유지하기 위한 기준점으로 생물학적허용어획량을 추정해본 결과 F_{target} 이 40% 일 때 219 **mt**로 추정되었다. 추정된 생물학적허용어획량 범위 내에서 어획이 이루어진다면 해당 어촌계에서의 개량조개를 지속적인 생산·유지가 가능할 것으로 예측되었다.

둘째, 어획노력 감소를 위한 자원관리방안이다. 본 연구에 의해 추정된 어획노력량 (f_{MSY})은 최대지속적생산량 (MSY)이 496 **mt** 일 때 47.8척으로 추정되었다. 어획노력 감소를 위한 자원관리방안 현재의 어획이 과도하게 발생하고 있다는 전제하에서 이루어지며, 본 연구에서는 현재의 어획 수준이 추정된 생물학적허용어획량이나 최대지속적생산량보다 높음으로 어획노력의 감소가 필요하다고 판단되었다.

Table 14. Stock enhancement of *Macra chinensis* for Dong-ri self-regulatory community by scenarios

Criterion	Scenarios
Criterion 2	Stock enhancement by $F_{40\%}$ Increase 236(mt)
	Stock enhancement by $F_{35\%}$ Increase 190(mt)
	Stock enhancement by $F_{30\%}$ Increase 129(mt)

Table 15. *Applied parameter ecosystem objectives, indicators and reference points for self-regulatory management system*

Objectives	Reference points	Management scheme in Dong-li	
1. Maintain sustainable fisheries production	ABC*		260 ~ 369 mt
2. Reduce fishing effort	f_{MSY}		47.8 vessel
3. Maintain optimum fishing intensity	$F_{0.1}$, $F_{x\%}$	$F_{0.1}$	0.250/yr
		$F_{40\%}$	0.418/yr
4. Increase/maintain stock biomass	B_{MSY} , $B_{x\%}$,	B_{MSY}	491 mt
		$B_{x\%}$	409 mt
5. Maintain optimal habitat environment	Annual yield for pirate species		500 kg
6. Optimum stock enhancement	Carrying capacity		1,174 mt

* ABC denotes "acceptable biological catch"

셋째, 적정어획강도 유지를 위한 자원관리방안이다. 적정어획강도를 유지하기 위해 $F_{0.1}$ 과 $F_{40\%}$ 를 각각 추정하였다. $F_{0.1}$ 은 0.250/yr, $F_{40\%}$ 는 0.418/yr로 추정되었다.

넷째, 자원량의 증가/유지를 위한 자원관리방안이다. 자원량의 증가/유지를 위해 추정된 기준점 B_{MSY} 와 $B_x\%$ 는 각각 491 mt 및 409 mt 이었다.

다섯째, 적정 서식환경 유지를 위한 자원관리방안이다. 개량조개의 적정 서식환경의 유지를 위한 자원관리방안을 도출하기 위하여 해적생물의 생산량 조사를 실시한 결과, 개량조개의 해적생물은 큰구슬우렁이로 연간 500 kg 이상 어획되었다. 이에 동리어촌계에서는 해적생물인 큰구슬우렁이에 의한 피해를 막고 개량조개의 적정 서식환경을 유지하기 위해 일정 기간 간격으로 해적생물 제거 활동을 행하고 있다.

여섯째, 적정 자원조성을 위한 자원관리방안이다. 적정 자원조성을 위해 추정한 해당 어촌계의 환경수용력은 1,174 mt이었다. 이 값에 근거하여 추정한 동리어촌계의 적정 자원조성 마리수는 14,333,096 inds./yr이었다.

고 찰

자율관리어업에 적용되고 있는 자원관리방안과 과학적 조사를 통해 적용되어 질 수 있는 생태계 기반 자원관리 방안을 살펴보았다. 적용되어 질 수 있는 자원관리 방안 외에도 앞으로 적용되어야 할 생태계 기반 자원관리방안은 다음의 세 가지가 있다. 첫째, 산란장과 서식처의 보존을 위한 자원관리, 둘째, 먹이생물자원량의 유지 혹은 증가를 위한 자원관리방안, 셋째, 적정서식환경을 유지하기 위한 자원관리방안이다. 이 세 가지 항목들은 앞으로 더 많은 연구를 통해 각각의 기준점을 바탕으로 자율관리어업에 적용되어야 한다.

앞서 살펴본 결과에서와 같이 개량조개를 효과적으로 관리·이용하기 위한 방법으로서, 현재 채포크기는 과학적 조사·분석에 근거하여 채택되어지기보다 어민들의 누적된 경험에 근거하여 결정된 값이다. 본 연구에서는 개량조개의 채포크기를 가입연령을 고려하여 가입연령 시의 각장인 6.25 cm를 권장한다.

조업시기는 현재 해당 어촌계에서 시행하고 있는 것과 같이 개량조개의 산란기간인 5~9월을 제외한 시기로서 개량조개의 산란자원 보호 측면에서 볼 때 적합한 선택인 것으로 판단되었다.

생산량은 수협이나 공공기관을 통한 매매가 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서도 연도별 어획량자료와 어획노력량의 근거 자료를 구하기 위해 노력하였으나 검증된 자료의 확보가 불가능 하였다. 이것은 현재 해당

어촌계에서 생산되고 있는 개량조개가 전량 수출판매의 형태로 유통되고 있기 때문이다. 과학적인 분석을 위해 정확하고 검증된 통계자료의 구축이 필요하다. 또한 생산량은 수입상의 수입물량에 의해 결정되고 있으며, 이에 따라서 현재는 개량조개가 과도하게 어획되고 있다고 본다. 이러한 결과는 본 연구에서 추정된 MSY와 ABC 값을 통해서 확인되었다.

형망은 어획과정에서 형망틀의 니들 간격에 의하여 1차적으로 선택성이 발생하고, 틀의 뒤쪽에 붙여진 그물감의 망목크기에 의하여 2차적으로 선택성이 발생한다고 알려져 있다. 그러므로 본 연구에서는 부산 동리어촌계에서 사용하고 있는 형망어구의 니들 간격이 5 cm이고 망목의 크기가 5.6 cm 인 것을 고려하여 니들에 의해 선택되어 어획될 확률과 망목에 의해 선택되어 어획될 확률을 곱하여 어획율을 0.52로 결정하였다.

자율관리 어업을 정착시키기 위해서는 기본적으로 과학적 조사에 근거한 공동체 내의 현행 어업상태에 대한 진단이 우선적으로 이루어져야 할 것이다. 현재 학계에서 이루어지는 자원평가 및 자원관리 방안의 수립이 현실적으로 어민들 수준에서 매우 난해하고 직접 실행하기가 어렵다는 의견이 많다. 이에 따라서 본 연구에서는 비주얼 베이직을 활용하여 어민들이 직접적으로 자원의 상태를 손쉽게 알아볼 수 있는 범용프로그램을 개발하였다. 이를 활용하여 현재 자원의 상태를 판단하고 적절한 관리방안을 자율적으로 수립한다면 자율관리 어업은 양적인 증대 뿐 아니라 연안어업관리의 한 방안으로서 자리 잡을 수 있다고 생각된다. 앞으로 마을 어업이 아닌 다른 어업들에 대한 자원평가 및 관리방안의 마련을 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 보인다.

요 약

본 연구에서는 한국 자율관리어업의 현행 자원관리시스템을 분석하고, 효율적이고 과학적인 자율관리시스템 구축을 위하여 생태계 기반 자원관리의 개념을 도입하였다. 이를 위하여 현행 자율관리어업을 시행하고 있는 부산 동리어촌계의 개량조개를 대상으로 자원생태학적 특성치 추정과 자원평가 및 진단을 수행하는 생태계 기반 자율관리시스템을 구축하였다. 자율관리어업공동체인 동리어촌계의 지속적 생산 유지를 위해 생물학적 기준점 ($F_{40\%}$)에 의한 생물학적허용어획량 (ABC)은 219 mt, 최대지속적생산량 (MSY)은 496 mt으로 산정되어 현재 어획량 530 mt이 과도한 수준인 것으로 분석되었다. 또한, 해당 어촌계의 개량조개에 대한 MSY시어획노력량 (f_{MSY})은 47.8척으로 분석되어 현재 어획노력량이 과도한 수준인 것으로 판단되었다. 또한 자율관리공동체에서 어민들이 현장에서 자원의 상태를 진단하고 이를 바탕으로 관리방안을 손쉽게 마련할 수 있도록 비주얼 베이직을 사용하여 범용프로그램을 개발하였다.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 너무나도 부족하고 미흡한 저를 항상 따뜻한 가르침으로 인도해주신 장창익 교수님께 깊은 감사와 존경의 마음을 올립니다. 바쁘신 와중에서도 깊은 관심으로 논문이 완성되기까지 많은 조언으로 논문을 다듬어 주신 권병국 교수님과 이재봉 박사님께 깊은 감사의 마음을 드립니다.

언제나 관심 가져주시고 따뜻하게 격려 해주신 최영민 연구관님, 손명호 연구사님, 제가 대학원을 진학하고 나아 갈수 있도록 이끌어주시고 힘들 때 마다 격려해주시며 많은 도움을 주신 국립수산과학원의 남해연구소 서영일 연구사님, 동해연구소 이성일 연구사님, 국립수산과학원의 이선길 선배님, 한국연안생태연구소의 이만우 선배님 저의 보금자리인 연구실에서 아낌없는 관심과 조그만 일에도 자신의 일처럼 도와주신 박겸준, 윤상철 선배님 옆에서 힘이 되게끔 응원해주던 송경준, 나종현, 이종희 선배님 권유정 동기님 그리고 수산자원관리실험실의 후배님들께 감사의 마음을 전합니다.

아낌없는 조언을 해주시던 해양생산관리학과 수산물리학과 선배님들 동기님들 그리고 후배님들께도 감사의 글을 전합니다.

옆에서 늘 힘이 되어주고 묵묵히 제가 나가는 길을 지켜 봐준 최무열, 김병수 선배님, 이혜옥, 김주원 동기님, 그리고 김문희, 정아름 후배님께도

감사의 글을 전합니다.

제가 이 세상에 존재할 수 있게 해주신 부모님께 감사드리며 큰딸이라고 늘 항상 믿어주시고 못난 저를 위해 뒷바라지 해주시는 세상에서 제가 제일 사랑하는 어머님께 감사의 마음을 글로나마 전합니다. 늘 옆에서 동생이라는 이유로 제 짜증을 다 받아준 사랑하는 동생 혜원양에게도 감사를 전합니다. 이 논문이 가족들이 저에게 베풀어주신 은혜에 조금이나마 보답하는 기회가 되었으면 좋겠습니다.

참고문헌

- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.* 10(2). 181-213.
- 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. pp. 533.
- Chapman, D.G. and D.S. Robson. 1960. The analysis of catch curve, *Biometrics* 16: 354-368.
- Choi, Y.S. 2005. A comparison of community-based resource management fisheries policy between Korea and Japan. MS Thesis, *University of Hokkaido, Hakodate, Japan*, pp. 97.
- Cho, B.K and K.S Ko. 1991. Development of hydraulic jet dredge-II - 3. field experiment of hydraulic jet dredge for catching surf clam-. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.*, 27(4) : 267-277.
- Chung, E.Y., Y.G Kim and T.Y Lee. 1987. A study on sexual maturation of hen clam *Macra chinensis* Philippi. *Kor. Soc. Fish. Res.*, 20(6) : 501-508.
- FAO. 2003. Technical guidelines for responsible fisheries-fisheries management : 2. The ecosystem approach to fisheries.

- Fox, W. W., Jr. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 90 : 80-88.
- Gislason, H., M. Sinclair, K. Sainsbury and R. O'Boyle. 2000. Symposium overview : incorporating ecosystem objectives within fisheries management. *ICES Journal of Marine Science.* 57 : 468-475.
- Kim, S.H. 2002. A study on self-fisheries management of costal fisheries. MS Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea. pp. 44.
- Kim, S. 1991. Fisheries Resource Assessment. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea. pp. 175.
- Kim, T.G. 2005. The status and promotion plan of self-regulatory fisheries management. Proceedings of workshop on ecosystem-based fisheries management, Busan, Korea. 38-48.
- Lee, S.G and Y.M. Shin. 2004. A study on the self regulatory management model of costal fisheries in Korea. *The Journal of Fisheries Business Administration.* 35(1): 87-115.
- Livingston, P.A., K. Aydin, J. Boldt, J. Ianelli and J. Jurado-Molina. 2005. A framework for ecosystem impacts assessment using an indicator approach. *ICES Journal of Marine Science.* 62 : 592-597.

- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries). 2003. A study for successful settlement of self-regulatory fisheries management-final report. *pp.* 247.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 1999. Commercial molluscs from the freshwater and continental shelf in Korea. National Fisheries Research and Development Institute. Publ. Co. Guduk. *pp.* 197.
- Ryu, D.K and Y.H Kim. 2001. Management of the hen clam, *Macra chinensis Phillippi*, on the coast of Kunsan. I. Age and Growth. Kor. J. of Mala. 17(2): 13-18.
- Zhang, C.I. 1991. Fisheries Resource Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea. *pp.* 399.
- Zhang, C.I. 2004. Prospect of ecosystem-based fisheries resource management. J. Korean Soc. Fish. Res., 5 : 73-90.
- Zhang, C.I. and J.B. Lee. 2001. Stock assessment and management implications of horse mackerel (*Trachurus japonicus*) in Korean waters, based on the relationships between recruitment and the ocean environment. Progress in Oceanography 49: 513-537.
- 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).