

## 부산 동리어촌계 개량조개, *Mactra chinensis*의 자원생태학적 연구

박희원\* · 장창익

부경대학교 해양생산시스템관리학부

### A Population ecological study of the hen clam(*Mactra chinensis*) in the Dong-li self-regulatory community of Busan

Hee Won PARK\* and Chang Ik ZHANG

Division of marine production system management, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

This study was performed to estimate biomass and to provide management plan through population ecological characteristics, including growth parameters, survival rate, instantaneous coefficient of natural and fishing mortalities, and age at first capture of hen clam, *Mactra chinensis*, in the Dong-li self-regulatory community of Busan. The von Bertalanffy growth parameters estimated from a non-linear regression were  $SH_{\infty} = 86.24\text{mm}$ ,  $K = 0.12/\text{year}$ , and  $t_0 = -1.37\text{year}$ . Survival rate(s) of the hen clam was 0.515. The instantaneous coefficients of natural mortality(M) was estimated to be 0.232/year and fishing mortality(F) 0.432/year for hen clam. The current biomass of the hen clam in the study area was estimated to be 713mt and the acceptable biological catch(ABC) was estimated under various harvest strategies based on  $F_{0.1}$  and  $F_{40\%}$ .

Key words : Hen clam, Ecological characteristics, Biomass, MSY, ABC

#### 서 론

개량조개(hen clam, *Mactra chinensis*)는 연체동물문(Phylum Mollusca), 이매패강(Class Bivalvia), 백합목(Order Veneroida), 개량조개과(Family Mactridae)에 속하는 패류로 한국, 대만, 일본 등지에 널리 분포하며, 해저 10m 이천의 모

래나 펠에 서식하는 것으로 알려져 있다(Ryu and Kim, 2001).

개량조개 패각은 삼각형을 하고 있으며, 각포에는 성장선이 뚜렷하고 복연쪽으로 갈수록 굵어져서 성장률의 형태를 이루고 있다(NFRDI, 2002). 패각은 황색을 띄고 있으나 각장으로부터

\*Corresponding author: hwpark@pknu.ac.kr, Tel: 82-51-629-5882, Fax: 82-51-629-5886

터 여러 줄의 열은 각색대가 방사선으로 뻗어 있으며 패각 내면은 열은 미색으로 외투선 만입은 둥글고 깊게 패어져 있다.

개량조개는 형망 어업에 의해 대부분 어획되고 있으며, 서해·남해의 사니질에 서식하며, 형망으로 어획되는 상업적으로 중요한패류이다 (Ryu and Kim).

개량조개에 관한 연구로는 개량조개의 정자 미세구조에 관한 연구(Kim and Yoo, 2002), 개량조개의 성성숙에 관한 연구(Chung et al., 1987)가 있고, 그 외 식품가공학적인 연구(Park, 1984) 등이 꾸준히 이루어지고 있는 실정이다. 그러나 생태에 관한 연구는 Ryu and Kim(2001)에 의한 개량조개의 연령과 성장에 관한 연구결과가 있을 뿐이다. 그 외 일본에서는 Hanaoka and Shimadzu (1949)가 형태변이와 성장률에 관하여, Sakurai (1993)의 연령과 성장에 관한 연구결과가 있으며, Sakurai et al.(1998)은 개체군 동태와 개체군의 크기에 대한 연구를 한 바 있다.

개량조개는 수산자원생물로서 우리나라 인근 해역에서 많이 채집되어지는 상업적 종이나 자원상태에 관한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 개량조개 자원의 생태학적 특성을 파악하고 자원의 합리적 자원평가와 관리연구에 기초 자료로 활용하기 위해 부산 동리어촌계에 서식하는 개량조개의 생태학적 특성치를 추정하였다. 또한 추정된 생태학적 특성치를 바탕으로 개량조개 자원에 대한 최대지속적 생산량, 최대지속적 생산량시 어획노력량, 적정어획노력량, 적정어획연령등의 생물학적 기준점을 제시하고 생물학적 허용어획량을 추정하여 개량

조개에 대한 효율적인 관리방안을 제시하였다.

## 재료 및 방법

### 채집방법

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

실제 개량조개 어획이 이루어지고 있는 어선에 승선하여 조업면적을 추정하기 위해 5분마다 선박의 GPS 위치를 기록하였다.

채집된 개량조개는 전량실험실로 옮긴 후, 필요한 각종 생태학적 특성치를 구하기 위하여 Table 1과 같이 각장(shell length : SL), 각고(shell height : SH)를 Vernier calipers로 0.01mm까지 측정하였고, 전중(total weight : TW)은 전자저울을

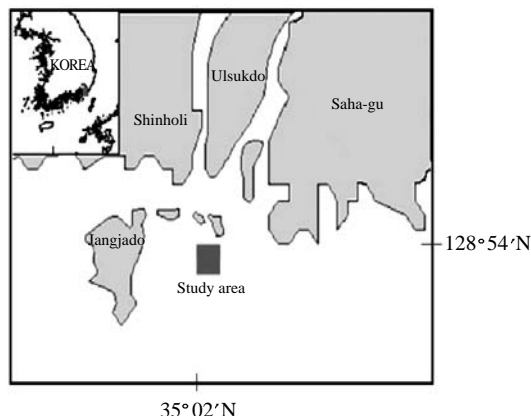


Fig. 1. Location of the Dong-li self-regulatory community sampling site of *Mactra chinensis* in fishing ground from November 2004 to June 2005.

Table 1. Number of samples and range of shell height, shell length and total weight of *Mactra chinensis* fished in Dong-li 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

사용하여 0.01g 까지 측정하였다.

### 연령과 성장

동리어촌계에서 채집된 개량조개 784개체에 대하여 측정한 각장, 각고, 전중의 자료는 Table 1과 같으며, 이 중에서 표본상태가 좋은 345개체를 표본샘플로 사용하여 연령을 분석하였다. 본 연구에서는 개량조개의 패각을 연령형질로 사용하였다.

패각을 연령형질로 사용하기 위해, 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). 또한 패각의 불투명대와 투명대로 이행하는 경계가 1년에 1회 형성되는 주기성의 윤문이라는 Ryu and Kim의 결과에 따라 패각의 초점에서부터 각 윤문의 후연까지의 최대 직선거리를 윤경으로 측정하여 Fig. 2와 같이 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.

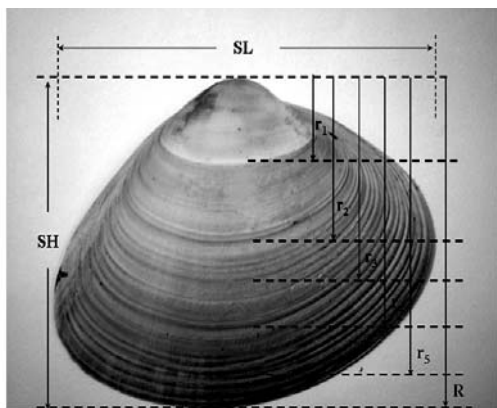


Fig. 2. Morphological image showing ring radius used for the age determination of hen clam, *Mactra chinensis*.

성장식의 추정에는 판독된 연령과 연령별 각고 자료를 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.

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

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

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

개량조개는 각고( $SH$ )와 각장( $SL$ )의 관계는 직선회귀를 사용하여  $SL = a + bSH$ 의 식으로 구하였고, 전중( $TW$ )의 상대성장식은  $TW = \alpha SH^{\beta}$ 의 지수식을 EXCEL solver를 사용하여 비선형회귀분석방법으로 구하였다. 그리고 이론적 최대전중( $TW_{\infty}$ )는 각고와 전중의 상대성장식에 이론적 최대각고( $SH_{\infty}$ )를 대입하여 추정하였다.

### 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(1960)방법으로 식(2)와 같다.

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

여기서,  $T = \sum i \cdot N_i$  ( $i$  = 연령,  $N_i$  =  $i$  연령의 개체 수)이다. Chapman and Robson 방법은 초기하분포이론을 사용하여 생산율을 추정하는 것으로 분산값의 추정 또한 가능하다.

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

$$Z = -\ln S \quad (3)$$

순간자연사망계수( $M$ )는 Alverson and Carney (1975) 방법과 Zhang and Megrey(2006) 방법을 사용하여 추정하였다. Alverson and Carney (1975) 방법은 식(4)과 같다.

$$M = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{\max})} - 1} \quad (4)$$

Zhang and Megrey (2006) 방법은 Alverson and Carney (1975) 방법을 개선한 방법으로 식(5)와 같다.

$$M = \frac{\beta K}{e^{K(t_{mb} - t_i)} - 1} \quad (5)$$

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

Zhang and Megrey (2006) 방법은 Alverson and Carney 방법에서 모든 종에 일관적으로 적용되던 상수 값 (0.38) 대신 생물 종을 두 그룹(부어류: 0.302, 저어류: 0.44)으로 나눠 각각의 그룹에 적합한 계수를 사용하였다. 본 연구에서는 개량조개를 저어류에 속하므로  $C_i$ 값을 0.44로 사용하였다.

순간어획사망계수( $F$ )는 추정된  $Z$ 와  $M$ 을 식(6)에 대입하여 구하였다.

$$F = Z - M \quad (6)$$

#### 어획개시연령

일반적으로 어류 자원의 어획개시연령은 망목 시험을 통하여 추정하는 방법이 가장 효율적

이다(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 어획개시연령( $t_c$ )을 식(7)에 의하여 추정하였다.

$$t_c = \frac{t_a \times P_a + t_b \times P_b}{P_a + P_b} \quad (7)$$

#### 자원량

개량조개의 자원량을 추정하기 위해 실제 개량조개가 어획되고 있는 형망어선에 승선하여 조사하였다. 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( $\bar{D}$ , inds./m<sup>2</sup>), 평균중량( $\bar{W}$ , g) 전체서식면적( $A$ , m<sup>2</sup>)을 어획율( $q$ )을 이용하여 식(8)으로 추정하였다.

$$B = \frac{\bar{D} \cdot \bar{W} \cdot A}{q} \quad (8)$$

자원량의 분산(Var)은 식(9)의 델타방법으로 구하였다(Kim, 1991)

$$Var(B) = A^2(\bar{W}^2 Var(\bar{D}) + \bar{D}^2 Var(\bar{W})) \quad (9)$$

#### MSY와 $f_{MSY}$ 추정

동리 어촌계에서 생산되는 개량조개는 전량 일본으로 수출되고 있으므로 수협을 통해 계통

**Table 2. Total catch and fishing effort in the Dong-li self-regulatory community of Busan from 2000 to June 2004**

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

판매된 어획량 자료는 없었다. 따라서 Table 2와 같이 해당 어촌계에 보관중인 최근 5년간 (2000 - 2004) 어획실적 자료에 근거하여 어획량 및 어획노력량(어선척수)을 파악하였으며, 이 자료로부터 개량조개의 최대지속적생산량 (MSY)을 추정하였다.

최대지속적생산량 추정에는 Fox(1970) 모델을 사용하였다.

$$Y = U_{\infty} \exp\left(-\frac{qf}{r}\right) f \quad (10)$$

식(10)을 에 대하여 미분해서 최대치를 구하기 위해 0으로 놓으면 이때의 연간 평형생산량 (Y)이 최대지속적생산량(MSY)이고, 이때의 어획노력량(f)이 MSY시 어획노력량( $f_{MSY}$ )이다.

#### 적정어획강도 및 어획개시연령

개량조개의 최대 가입당생산량을 산출하는 적정어획사망계수 및 적정어획개시연령을 구하기 위해 Beverton and Holt(1957)의 가입당생산량 모델인 식(11)을 사용하였다.

$$\frac{Y}{R} = F \exp[-M(t_c - t_r)] W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \frac{U_n \exp[-nK(t_c - t_0)]}{F + M + nk} \cdot (1 - \exp[-(F + M + nK)(t_L - t_c)]) \quad (11)$$

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

#### 생물학적기준점 추정

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

기울기를 구하여 다음의 식(12)에서 구하였다.

$$\frac{d(Y/R)}{dF} = \exp[-M(t_c - t_r)] W_{\infty} \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{U_n(M + nK) \exp[-nK(t_c - t_0)]}{(F + M + nK)^2} \right\} + \frac{U_n(M + nK) \exp[-nK(t_L - t_c)]}{(F + M + nK)^2} \cdot [(t_L - t_c) F^2 + (M + nK)(t_L - t_c) F - (M + nK)] \quad (12)$$

식(12)를 사용하여 계산한 기울기의 10%에 해당하는 F값을 찾기 위하여 F값들을 반복 대입하여  $F_{0.1}$  값을 추정하였다.

가입당 산란자원량의 추정은 식(13)을 사용하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때( $F=0$ )의 산란자원량을 기준으로, 그 산란자원량의 40%의 자원량을 유지시킬 수 있는 순간 어획사망계수인  $F_{40\%}$ 을 추정하였다.

$F=0$ 일 때의 가입당 산란자원량( $SB/R$ )은

$$\frac{SB}{R} |_{F=0} = \sum_{t=t_r}^{t_L} m_t \cdot e^{-M(t-t_r)} \cdot e^{-M(t-t_r)} \cdot W_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_r)})^3 \quad (13)$$

여기서,  $SB$ 는 산란자원량을 의미하며, 이 식에서 사용된 연령별 성숙비( $m_t$ )을 제외한 모든 값들은 식(13)에서 동일한 값들을 사용하였다. 위의 식에서 사용된 연령별 성숙비( $m_t$ )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 F값  $F=F_1$ 일 때의  $SB/R$ 은

$$\frac{SB}{R} |_{F=F_1} = \sum_{t=t_r}^{t_L} m_t \cdot e^{-M(t-t_r)} \cdot e^{-(M+F)(t-t_r)} \cdot W_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_r)})^3 \quad (14)$$

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

**Table 3. Tiers used to determine acceptable biological catch(ABC) in accordance with the level of information available for fisheries management system (Zhang and Lee, 001)**

Tier 1. Information available : Reliable estimates of B, B <sub>MSY</sub> , F <sub>MSY</sub> and F <sub>x%</sub>	
1a) Stock status : B/B <sub>MSY</sub> > 1	$F_{ABC} = F_{MSY}$
1b) Stock status : $\alpha < B/B_{MSY} \leq 1$	$F_{ABC} = F_{MSY} \times (B/B_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$
1c) Stock status : B/B <sub>MSY</sub> ≤ $\alpha$ : F <sub>ABC</sub> = 0	
Tier 2. Information available : Reliable estimates of B, B <sub>x%</sub> and F <sub>x%</sub>	
2a) Stock status : B/B <sub>x%</sub> > 1	$F_{ABC} = F_{x\%}$
2b) Stock status : $\alpha < B/B_{x\%} \leq 1$	$F_{ABC} = F_{x\%} \times (B/B_{x\%} - \alpha)/(1 - \alpha)$
2c) Stock status : B/B <sub>x%</sub> ≤ $\alpha$ : F <sub>ABC</sub> = 0	
Tier 3. Information available : Reliable estimates of B and	
	$F_{ABC} = F_{0.1}$
Tier 4. Information available : Tim-series catch and effort data	
4a) Stock status : CPUE/CPUE <sub>MSY</sub> > 1	$ABC = MSY$
4b) Stock status : $\alpha < CPUE/CPUE_{MSY} < 1$	$ABC = MSY \times (CPUE/CPUE_{MSY} - \alpha)/(1 - \alpha)$
4c) Stock status : CPUE/CPUE <sub>MSY</sub> ≤ $\alpha$ : ABC = 0	
Tier 5. Information available : Reliable catch history	
	$ABC = P \times Y_{AM}$ (average catch over an appropriate time period), 0.5 ≤ P ≤ 1.0 P : optimal constant
Equation used to determine ABC:	
$ABC = F_{target} \frac{B}{(M + F_{target})} (1 - e^{-(M + F_{target})})$	
B: Biomass at age i, M: instantaneous co coefficient of natural mortality	
F <sub>target</sub> : instantaneous coefficients of fishing mortality determined by the data available and the stock status	

$$\frac{SB/R}{SB/R} \Big|_{F=F_1} = x\% \quad (15)$$

생물학적 허용어획량

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

결 과

연령과 성장

윤문형성

윤문의 대응성과 윤문 관독의 정확성을 검토 하기 위해 각 윤문군별 각고와 윤경간의 관계를

Fig. 3 과 같이 나타내었다. 여기서 폐각의 중심 에서 각 윤문간의 거리는 Table 4 와 같이 =21.83 mm에서 r<sub>8</sub>=58.33mm의 범위로 나타났다. 같은 수의 윤경을 가진 경우 윤경은 각고가 커짐에 따라 크게 나타났으며, 윤경과 각고는 서로 직선적 인 관계를 보임으로 폐각에 나타나는 윤문 사이 에는 대응성이 있었다.

각고 - 각장 및 전중관계

개량조개의 각고(SH)와 각장(SL)의 상대성 장을 조사하기 위하여 총 345 개체의 개량조개 를 분석한 결과 각고(SH)와 각장(SL) 과의 관계 는 Fig. 4 와 같이  $SL = 1.34SH + 0.19 (R^2 = 0.98)$  이었고, 각고(SH)와 전중량(TW)과의 상대성 장 식은 Fig. 5 와 같이  $TW = 0.0002SH^{3.1221} (R^2 = 0.96)$ 이었다.

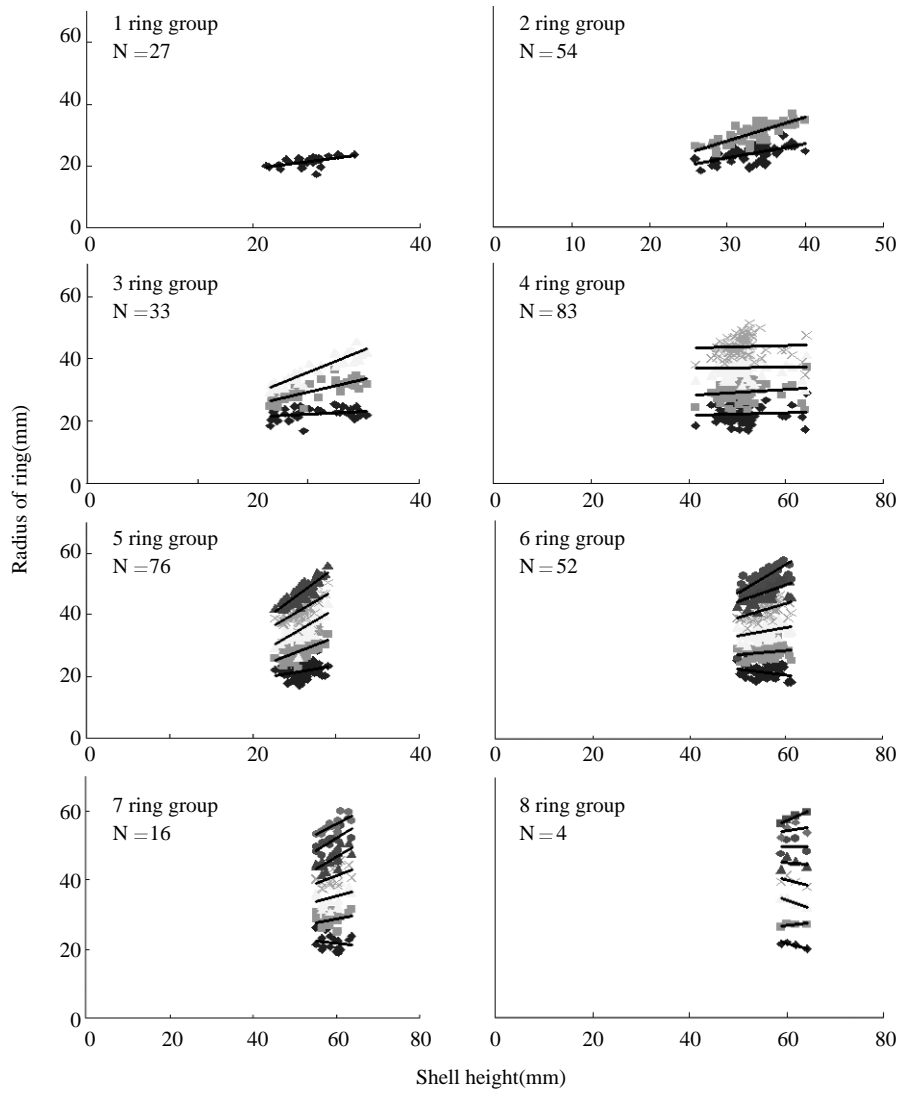


Fig. 3. Relationship between shell height and ring radius of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

Table 4. Mean ring radius on the shell of *Mactra chinensis* in the Dong-li 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

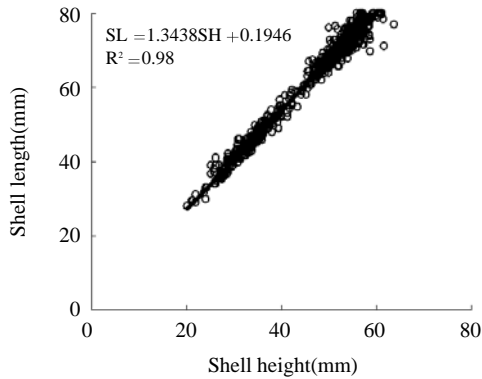


Fig. 4. Relationship between shell height and shell length of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

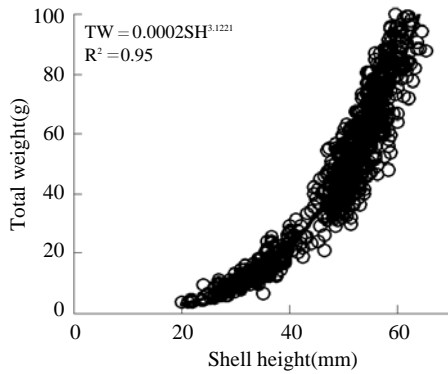


Fig. 5. Relationship between shell height and total weight of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

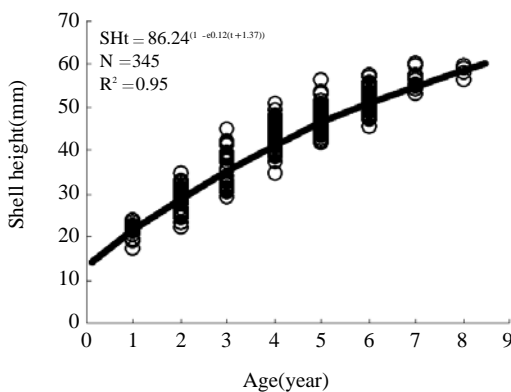


Fig. 6. The von Bertalanffy growth curve by the non-linear regression method of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005.

비선형 회귀방법으로 추정된 von Bertalanffy 성장식의 성장곡선은 Fig. 6과 같으며, 여기서 성장계수( $K$ )는 0.12/yr, 이론적 최대각고( $SH_{\infty}$ )는 86.24mm, 각고가 0일 때의 이론적 연령( $t_0$ )은 -1.37세로 추정되었다.

사망계수

생산율( $S$ ) 및 순간전사망계수( $Z$ )

Chapman and Robson 방법에 의해 동리어촌계 개량조개의 생산율은 Table 5에서와 같이 0.515 ( $Var(S) = 0.0005$ )로 추정되었으며, 순간전사망계수는 식(3)에 의해 0.664/year로 계산되었다.

Table 5. Estimated of survival rates( $S$ ) and instantaneous coefficient of total mortalities( $Z$ ) by of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan

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

순간자연사망계수( $M$ )와 순간어획사망계수( $F$ )

순간자연사망계수는 Alverson and Carney (1975)와 Zhang and Megrey 방법(2006)을 사용하였다. 두 가지 방법에서 사용된 von Bertalanffy 성장계수는 0.120/year이고, Zhang and Megrey (2006) 방법에서 사용된 값은 최대연령은 9세,  $\beta$  값은 3.122이며,  $C_i$  값은 0.440이다. 이 때 추정된 순간자연사망계수와 순간어획사망계수는 Table 6과 같다.

Table 6. Estimated Instantaneous coefficient natural mortality( $M$ ) and fishing mortality( $F$ ) of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan

Methods	Instantaneous coefficient of natural mortality ( $M$ )	Instantaneous coefficient of fishing mortality ( $F$ )
Alverson and Carney	0.240	0.424
Zhang and Megrey	0.232	0.432

어획개시연령( $t_c$ )

부산 동리어촌계 개량조개의 연령조성비는



**Table 7. Age composition of *Mactra chinensis* in the Dong-li 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 7과 같으며, 여기서 우점연령군( $t_b$ )은 4세로 그 조성비( $P_b$ )는 24.1%이었고, 가장 어린 연령군( $t_a$ )인 1세의 조성비( $P_a$ )는 7.8%이었다. Table 7의 연령조성자료와 식(6)을 사용하여 추정된 개량조개의 어획개시연령( $t_c$ )은 3.26세로 추정되었다.

**자원량**

부산 동리어촌계 개량조개의 자원량을 추정하기 위한 매개변수는 Table 8과 같으며, 1차 조사에서는 면적당 개체수가 15.85inds./m<sup>2</sup>, 2차에서는 13.82inds./m<sup>2</sup>, 3차에서는 13.51inds./m<sup>2</sup>이었다. Table 8에 나타낸 자료와 식(7)을 사용하여 동리어촌계 개량조개의 자원량은 Table 9와 같이 713mt로 추정되었다. 본 연구에서 사용된 어획율( $q$ )은 일반적인 형망어구의 어획선택성을 고려하였다. 형망어구의 경우 어구 니들에 의해

**Table 8. Input data used to estimated biomass of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005**

Number of operation	Density (inds./m <sup>2</sup> )	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 9. Biomass, variance, and 95% confidence interval of biomass for *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005**

Biomass (mt)	Var(B) by Delta method	95% confidence interval (mt)
713	$1.14 \times 10^{15}$	645.19 - 780.43

1차 선택성이 발생하고 그물의 망목 크기에 의해 2차선택성이 발생한다(Park and Kim, 2000). 본 연구에 사용된 어구의 니들 간격이 5cm 인 것과 또한 망목의 크기가 5.6cm 인 것을 고려하여 니들에 의해 선택되어 어획될 확률과 망목에 의해 선택되어 어획될 확률의 곱인 0.52를 사용하였다.

**MSY와  $f_{MSY}$  추정**

부산 동리어촌계 개량조개의 최대지속적생산량(MSY)은 2000년부터 2004년까지의 총어획량과 어획노력량인 어선척수를 사용하여 Fox(1970) 모델에 의해 496mt으로 추정되었고, MSY시 어획노력량( $f_{MSY}$ )은 47.8척이었다.

**적정어획강도 및 어획개시연령**

개량조개의 적정어획강도와 적정어획개시연령을 추정하기 위해 사용된 Beverton and Holt(1957) 모델에서 사용된 특성치는 Table 10과 같다. 이론적인 최대체중( $W_\infty$ )은 221.04g, 성장계수( $K$ )는 0.12/yr, 각고가 0일 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 최소 각고시 연령으로 환산하였고, 이때 어장가입연령( $t_r$ )은 0.8세로 추정되었다.

순간어획사망계수( $F$ )에 대한 어획개시연령( $t_c$ )과 가입당생산량( $Y/R$ )과의 관계는 Fig. 7과 같

**Table 10. Input data used in Beverton and Holt model (1957) of *Mactra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan**

Parameters	Values
$K$	0.120/year
$W_\infty$	212.04g
$t_0$	-1.37year
$M$	0.417/year
$t_c$	3.26year
$t_r$	0.8year
$t_{max}$	9year

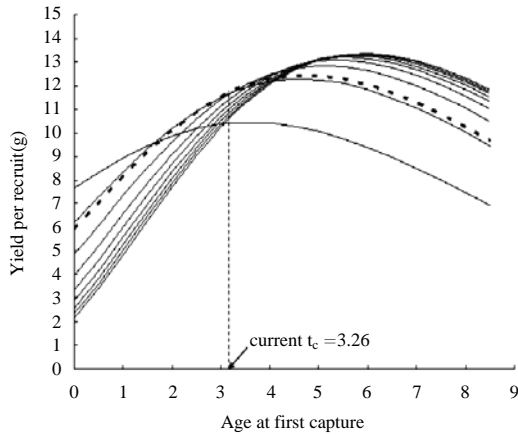


Fig. 7. Y/R against the age at first capture( $t_c$ ) for various fishing mortalities(F) of *Macra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community.

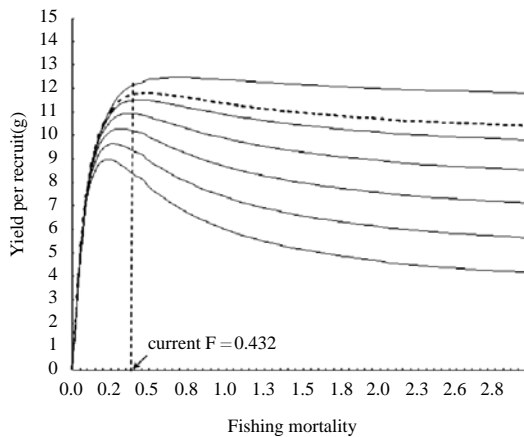


Fig. 8. Y/R against fishing mortalities(F) for various ages at first capture( $t_c$ ) of *Macra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community.

으며 여기서, 점선으로 표시된 종선은 현재의 어획개시연령( $t_c$ )인 3.26세,  $F = 0.432/\text{yr}$ 에서의 가입당생산량이 10.336 g임을 나타내고 있다. 현재의 어획개시연령( $t_c$ ) 3.26세에서 어획개시연령을 5.0세로 높여주었을 때 가입당생산량이 증가함을 보이고 있다.

어획개시연령( $t_c$ )에 대한 순간어획사망계수( $F$ )와 가입당생산량( $Y/R$ )과의 관계는 Fig. 8과 같으며, 여기서  $F$ 값을 0.247에서 0.600 수준까지

올려줬을 때 가입당생산량이 증가함을 보이고 있으나  $F$ 값의 증가폭에 비해 가입당생산량의 증가가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

#### 생물학적 기준점 추정

Beverton and Holt 모델(1957)을 어획사망계수에 대해 미분하여 추정된 현재 어획개시연령( $t_c$ )에 대한  $F_{0.1}$  값과  $F_{40\%}$ , 을 비교한 결과는 Table 11과 같으며, 여기서  $F_{0.1}$ 은 0.250/year이었고, 이때의 가입당생산량은 10.71g이었으며, 가입당산란자원량 모델식을 이용하여 주어진 가입연령에 대해서 어획이 전혀 없을 때의 산란자원량의 40% 수준을 유지시킬 수 있는 순간어획사망계수  $F_{40\%}$ 는 0.418/year이었고, 이때의 가입당산란자원량은 25.47g로 추정되었다.

Table 11. Yield and spawning biomass per recruit of *Macra chinensis* in the Dong-li self-regulatory community of Busan from November 2004 to June 2005 under harvest strategies by  $F_{0.1}$  and  $F_{40\%}$

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

#### 생물학적허용어획량

부산동리어촌계에서의 개량조개의 생물학적 허용어획량(ABC)은 초기자원량 추정치(Table 9)와 여러 생물학적 목표기준점 (Table 11)을 사용하여 추정하였다. 따라서 목표기준치를 적용하여 추정된 ABC는 141 mt이었고, 어획이 전혀 없을 때의 산란자원량의 40% 수준을 유지할 수 있는  $F_{40\%}$ 에서의 ABC는 219 mt이었다.

#### 고 찰

본 연구에서는 폐각에 나타나는 윤문으로 연령 사정 한 결과 개량조개의 연령 분포는 1세에서 8세까지 나타났다. Ryu and Kim(2001)의 연구에 의하면 총 4개의 연급군이 각각 25.53mm, 42.25mm, 50.12mm, 55.27mm로, 본 연구에 비해 절반 정도의 연급군이 나타났으며, 최대각장도

약 60.02mm로 본 연구의 86.24mm에 비해 작게 추정되었다. Ruy and Kim의 연구에 따르면 이와 같은 결과는 개량조개 어획시 대형 개체들만 선택적으로 채취하여 2세-3세 이상 개체들의 출현율이 매우 낮았다고 보고하고 있다. 그러나 부산 동리어촌계의 경우 최소체장을 설정하여 어획을 수행하고 있어 고령어의 연급군확보가 쉬웠으며, 1차 조사의 경우 어획이 시작되기 전의 시기로 전 연령의 표본이 확보되어 Ruy and Kim의 연구보다 월등히 많은 연급군이 존재하였다고 판단된다.

본 연구에서는 순간자연사망계수(M)의 추정에 있어서 Alverson and Carney 방법을 개선한 Zhang and Megrey(2006)를 사용하였다. Zhang and Megrey(2006) 방법은 Alverson and Carney 방법에서 모든 종에 일관적으로 적용되던 상수 값 대신 생물 종을 두 그룹(부어류, 저어류)으로 나눠 각각의 그룹에 적합한 계수를 사용하여 추정하였으며, 또한 전중(TW) - 각고(SH)의 관계값을 사용하여 Alverson and Carney 방법에 의해 추정된 값보다 오차가 적은 값을 나타내었다 (Zhang and Megrey, 2006).

부산 동리어촌계의 개량조개 자원을 가입당생산량 모델에 적용시킨 결과, 현재의  $t_c=3.26$ 세,  $F=0.432/\text{year}$ 에서 가입당생산량은 약 10.336g로 나타났다. 여기서  $t_c$ 를 현재상태로 고정시킨 후 가입당생산량을 증가시키는 방법을 모색해보면, 현재의 F값 0.432/year에서 F를 증가시켜도 가입당생산량이 크게 변화하지 않는 경향을 보이지만, 현재의 어획강도(F)를 고정시키는 경우에는  $t_c$ 를 3.26세에서 4.5세로 조정하면 12.40g로 최대의 가입당생산량을 얻을 수 있다.

본 연구에서 부산 동리어촌계에 서식하고 있는 개량조개의 자원량은 713mt로 추정되었고, 현재 tx의 여러 가지 목표기준점을 적용하여 추정된 생물학적허용어획량(ABC)은 추정된 자원량과 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당되는  $F_{0.1}$ 에 의한 ABC

는 141mt였고, 처녀산란자원량의 40%를 유지시키기 위한  $F_{40\%}$ 에 의한 ABC는 219mt이었다. 추정된 목표기준점에 의한 ABC로 현재의 어획량 488mt을 비추어 보았을 때 개량조개의 자원상태는 과도 어획되어지고 있다고 판단된다. 따라서 추정된 생물학적 허용어획량을 기준으로 어획량을 감소시켜 자원을 관리 하여야 지속적으로 이용 가능 할 것이라 생각되어진다.

## 결론

본 연구에서는 부산지역의 개량조개 자원에 대해서 자원생태학적 특성치 및 현재 자원량을 추정하고 적정어획을 위한 자원관리 매개변수를 추정하여 개량조개의 자원평가를 수행하였으며 이를 바탕으로 합리적인 자원관리 방안을 모색하였다. von Bertalanffy 성장식을 통해 추정된 개량조개의 성장파라미터는  $SH_{\infty}=86.24\text{mm}$ ,  $K=0.12/\text{year}$ , and  $t_0=-1.37\text{year}$ 이다. 또한 Zhang and Megrey 방법으로 추정된 순간자연사망계수는 0.232/year이었고, 이때 순간어획사망계수는 0.432/year로 추정되었다. 부산 동리어촌계의 개량조개 자원량은 713mt로 추정되었으며  $F_{0.1}$ 수준에서 생물학적 허용어획량은 허용어획량은 141mt,  $F_{40\%}$ 수준에서의 생물학적 허용어획량은 219mt로 추정되었다.

## 참고문헌

- Alverson, D.L. and M.J. Carney, 1975. A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *Journal Conseil international pour l'Exploration de la Mer.*, 36(2), 133 -143.
- 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.
- Chung, E.Y., Y.G. Kim and T.Y. Lee, 1987. A study on sexual maturation of hen clam *Mactra chinensis* Philippi. *Kor. Soc. Fish. Res.*, 20(6), 501 – 508.
- Fox, W.W. Jr, 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 90, 80 – 88.
- Hanaoka, T. and T. Shimadzu, 1949. Studies on the morphometry and rate of growth in clam, *Mactra sulcataria* Reeve, in Tokyo Bay. *Bull. Japan. Fish. Soc.*, 15(7), 313 – 317.
- Kim, J.H. and M.S. Yoo, 2002. Spermatozoan Ultrastructure of 4 Species in *Macridae*. *Kor. Fish. Soc.*, 35(5), 504 – 511.
- NFRDI, 2002. Commercial molluscs from the freshwater and continental shelf in Korea, Guduck publ., pp. 132.
- Park, H.H. and S.H. Kim, 2000. Tooth selectivity on venus clam (*Gomphina melanaegis*) dredge. *Bull. Kor. Fish. Tech.*, 36(4), 267 – 273.
- Park, Y.H., 1984. Evaluation of thermal processes for canned marine products(3) canned minced hen-clams in brine and canned smoked. *Kor. Fish. Soc.*, 17(4), 306 – 312.
- Ryu, D.K. and Y.H. Kim, 2001. Management of the hen clam, *Mactra chinensis* Philippi, on the coast of Kunsan. I. Age and Growth. *Kor. J. of Mala.*, 17(2), 13 – 18.
- Kim, S., 1991. Fisheries resource assessment. Woosung Publ. Co., Seoul. Korea, pp. 175.
- Sakurai, I., 1993. Age and growth of the sunary surf clam *Mactra chinensis* in Tomakomai, southwest Hokkaido. *Bull. J. Soc. Sci. Fish.*, 59(3), 469 – 472.
- Sakurai, I., T. Horii, O. Murakami and S. Nakao, 1998. Population dynamics and stock size prediction for the sunray surf clam, *Mactra chinensis* at southwest Hokkaido, Japan. *Fish. Bull. NOAA*, 6(2), 344 – 351.
- Zhang, C.I., 1991. Fisheries Resource Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea, pp. 399.
- 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), 620 – 633.

---

2008년 4월 17일 접수

2008년 5월 2일 1차 수정

2008년 5월 14일 수리