한국 남해안 조간대에 서식하는 우럭, *Mya japonica*의 자원생태학적 특성

이 선 길·장 창 익
부경대학교
(2000년 7월 20일 접수)

Population Ecological Characteristics of the Soft-shelled Clam, *Mya japonica* in the Intertidal Zone of South Sea in Korea

Sun Kil LEE and Chang Ik ZHANG
Pukyong National University
(Received July 20, 2000)

Abstract

This paper is to study population ecological characteristics, including growth parameters, survival rate, instantaneous coefficients of natural and fishing mortalities, and age at first capture of the soft-shelled clam, *Mya japonica* in the intertidal zone of South Sea in Korea. For describing growth of the clam a von Bertalanffy growth model was adopted. The von Bertalanffy growth curve had an additive error structure and the growth parameters estimated from a non-linear regression were $SH_\infty = 79.83mm$, $K = 0.26$, and $t_o = -0.01$. Survival rate (S) of the soft-shelled clam was 0.26 (SD = 0.02). The instantaneous coefficients of natural mortality (M) was estimated to be 0.78 */year* and fishing mortality (F) 0.57 */year* for the soft-shelled clam. The age at first capture (t_c) was estimated as 2.69 year. The mean densities of the soft-shelled clam by bottom type were 3.40 *inds./m²* (SE = 0.18) in the sand, 63.4 *inds./m²* (SE = 0.53) in the muddy sand, and 0 inds./m2 (SE = 0) in the gravelly sand. The mean densities of the soft-shelled clam by 3 different areas were 4.88 *inds./m²* (SE = 0.09), 2.61 *inds./m²* (SE = 0.13), 7.20 *inds./m²* (SE = 0.18), respectively and the biomass of the clam were estimated as 131*mt*, 121*mt*, 665*mt*, respectively. An yield-per-recruit analysis showed that the current yield-per-recruit of about 8.30*g* with $F = 0.57$ /year and the age at first capture (t_c) 2.69 *year*, was lower than the maximum possible yield-per-recruit of 9.60g. Fixing tc at the current level and increased fishing intensity (F) could produce an increase in the predicted yield-per-recruit from 8.30*g* to about 9.40*g*. However, estimated yield-per-recruit increased to 1.30*g* by decreasing tc from the current age (2.69 *year*) to age two with F fixed at the current level. Yield-per-recruit was estimated under harvest strategies based on F_{max} and $F_{0.1}$.

緖　論

우럭과 (Family Myacidae)에 속하는 패류의 종류는 전세계에 5종이 있는 것으로 알려져 있으며, 우리 나라에서 생산되는 우럭속 (*Mya*)에는 우럭 (*Mya japonica* MAKIYAMA) 1종뿐이다 (류, 1979). 우럭은 환경변화에 대해 저항성이 강하여 환경변화가 커서 다른 생물들이 살 수 없는 하구 부근에서 서식하는데 알맞은 종이라고 알려져 있으며, 우리 나라에서는 전 연안에 서식하고 있다.

우럭의 유생은 부유생활을 하고, 부유생활을 마치면서 저서 생활로 들어가는데, 이 때 족사로서 해초나 모래에 부착한다. 곳에 따라서는 조간대의 뻘모래 속에서 각장 0.26～3.8*mm* 크기의 치패를 많이 볼 수 있다. 이들 치패들은 점질상인 족사를 분비하고, 그 끝을 모래에 부착하고 있다. 우럭은 환경에 따라 해수 유동이 심한 곳에서는 저질 중에 잠입하지만, 수심이 깊고 해수의 유동이 적은 곳에서는 저질 위에 노출되어 있는 다른 물질에 부착해서 생활한다 (류, 1979).

우럭에 관한 생물·생태학적 기초연구가 지금까지 거의 없으며, 공식적인 생산량 통계도 이용할 수 없을 뿐만 아니라 자원평가 및 자원관리방안에 관한 연구 역시 이루어지지 않고 있다.

본 연구에서는 한국 남해안 조간대에 서식하고 있는 우럭의 생물학적 특성과 자원특성치를 추정하고 이들 결과를 이용해서 우럭 자원의 효율적 관리와 합리적인 자원관리방안에 필요한 기초자료를 제공하고자 한다.

資料 및 方法

1. 표본의 채집 및 측정

본 연구에서는 1998년 12월부터 1999년 10월까지 우리나라 남해안 조간대 (섬진강 하구에 발달된 조류형 사주)에서 격월로 월 1회씩 5차례 저조시를 택하여 우럭 (soft-shelled clam)을 채집하였다 (Fig. 1).

사주 지역은 섬진강 하구에서 저조시 형성되는데 강줄기가 두 갈래로 나뉘어 바다로 향한다. 그 중 하나는 사주 위쪽 오동도를 거쳐 바다로 향하고, 나머지 한 줄기는 아래쪽 소마도를 거쳐 바다로 향하게 되는데 이러한 지리적 조건에 따라 위쪽을 A해구, 아래쪽을 B해구, 그리고 가운데 부분을 C해구로 나누어 우럭표본을 각 해구 (A, B, C)에서 중복되지 않게 채집하는 층별무작위 채집법 (stratified random sampling)을 사용하였다. 표본을 채집하기 위한 정점은 무작위 (random)로 각 해구별 매회 10～20개를 정하였고, 각 정점의 넓이는 1m^2로 설정하였다. 조사방법으로는 크기 1m ×1m 방형구를 제작하여 선택된 정점 (깊이 50cm 이내)에서 발견된 개체를 전량 채집하는 방형구법을 사용하였다.

채집된 우럭 총 1,081마리 모두 실험실로 옮긴 후, 각 해구별 정점별로 우럭의 개체수를 계수하고, Fig. 2에서 보는 바와 같이 각장 (Shell length), 각고 (Shell height), 각폭 (Shell width)은 Vernier caliper로 0.01mm까지 측정하고, 전중 (Total weight)과 육중 (Meat weight)을 전자저울 (SD2020, OHAUS)로 0.01g까지 각각 측정하였다. 그리고 모든 개체를 연령사정에 사용하였다.

우럭의 패각에서 육질부를 완전히 제거한 후, 패각 표면에 나타나는 불투명대와 투명대의 경계선에 나타나는 윤문을 연륜으로 간주하여 나누고,

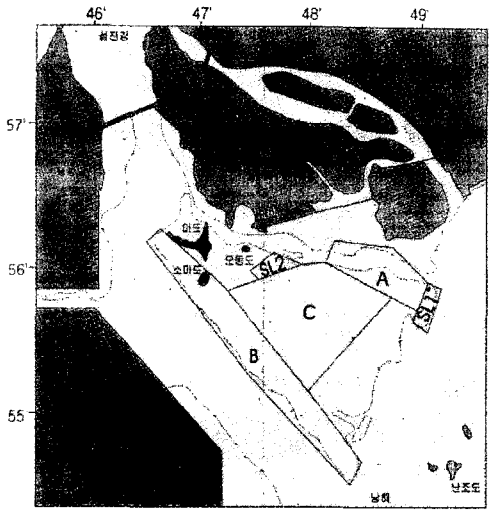

Fig. 1. Map showing the sampling sites of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea.

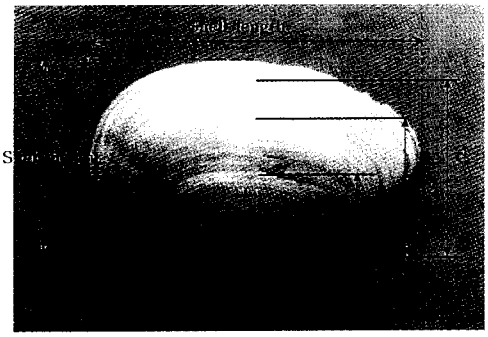

Fig. 2. Shell height and ring length of the shell used for age determination of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea.

그 경계를 윤문으로 간주하여 연령형질로 사용하였다. 패각의 초점에서부터 각 윤문의 후연까지의 최대직선거리를 윤경으로 측정하여 이것을 윤문형성시의 각고로 간주하였다 (Fig. 2).

우럭의 분포밀도와 서식처인 저질과의 관계를 살펴보기 위하여 표층으로부터 1cm 깊이의 퇴적물을 채취하였다. 현장에서 채취된 표층퇴적물은 밀봉된 상태로 실험실로 운반하였다. 표층퇴적물 시료들은 입도 분석을 위하여 과산화수소와 염산을 넣어 유기물과 탄산염을 제거하였다. 이 시료들은 건조시킨 후에 무게를 측정하였으며, 4Φ체로 습식체질하였다. 이 때 4Φ 이하 조립질 시료는 로탭진탕기 (Rotap sieve shaker)에서, 그리고 4Φ 이상의 세립질 시료는 자동입도 분석기 (Sedigraph 5100)로 분석하였다. 입도분석 결과는 통계분석 처리하였고, 퇴적물 형질의 분석은 Folk (1968)의 분류법에 따랐다.

사주의 면적은 1 : 33,333 (cm)으로 축적된 지도를 사용하여 대략적인 전체 면적을 구하고, 각 해구의 비율에 따라 해구별 면적을 측정하였다.

2. 분석방법

2. 1. 자원생태학적 특성

(1) 연령과 성장

우럭의 패각에 나타나는 윤문이 연륜으로 적합한가를 확인하고 윤문 판독의 정확성을 검토하기 위해 각 윤문군 별로 각고와 윤경간의 관계를 비교하여 윤문의 대응성을 검토하였고, 윤문의 형성시기 및 형성회수를추정하기 위해 연역지수 (Marginal Index : MI)의 격월 변화를 조사하였다. 연역지수는 (1)식으로 구하였다.

$$MI = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}} \quad (1)$$

여기서, R은 각고, r_n은 패각의 중심부 초점에서 n번째 윤경까지의 거리이다.

우럭의 각고와 전중간의 관계를 알아보기 위하여 오차구조 (error structure)를 확인하였다. 함수의 독립변수에 대하여 성장변이가 일정하면 합의 오차구조 (additive error structure)를 가지게 되고, 성장변이가 증가하면 곱의 오차구조 (multiplicative error structure)를 가지게 된다. 각고와 전중간의 합의 오차구조와 곱의 오차구조 모델은 다음 (2), (3)식과 같다 (Quinn and Deriso, 1999).

$$W_t = \alpha SH_t^{\beta} + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$W_t = \alpha SH_t^{\beta} e^{\varepsilon_t} \quad (3)$$

여기서, α와 β는 매개변수, ε_t는 임의 오차항이며, 평균은 0이고 분산은 σ^2이다. 매개변수(L_∞, K, t_0) 추정은 합의 오차구조일 때는 비선형최소자승법 (nonlinear least squares)을 사용하고, 곱의 오차구조일 때는 선형최소자승법 (linear least squares)을 사용한다 (W_t : 종속변수, t : 독립변수).

우럭의 성장은 동물의 성장을 나타내는 von Bertalanffy (1938) 성장식을 이용하여 추정하였다. von Bertalanffy 성장모델 역시 주어진 자료의 오차구조를 수반하는데, 각고 - 전중 관계에서 처럼 합의 오차구조와 곱의 오차구조를 가진다. 연령과 각고간의 합의 오차구조와 곱의 오차구조 모델은 다음 (4), (5)식과 같다.

$$SH_t = L_\infty[1 - e^{-K(t-t_0)}] + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$SH_t = L_\infty[1 - e^{-K(t-t_0)}]e^{\varepsilon_t} \quad (5)$$

여기서, SH_t : 연령 t시의 각고, t : 연령, SH∞ : 이론적 최대각고, K : 성장계수, t_0 : 각고가 0일 때의 이론적인 연령, ε_t는 임의 오차이며, 평균은 0이고 분산은 σ^2이다. 매개변수 (L_∞, K, t_0)추정은

합의 오차구조나 곱의 오차구조 둘 다 비선형최소자승법 (nonlinear least squares)을 사용하였다 (SH_t : 종속변수, t : 독립변수). 이 성장식의 추정에 필요한 각고자료는 각 연령에 대한 모든 측정 각고자료이다. von Bertalanffy 성장매개변수들은 전통적으로 사용되어 오는 Walford 정차도법에 의해 추정된 매개변수들을 초기값으로 사용하여 비선형최소자승법에 의해서 추정하였다.

(2) 생잔율 및 사망계수

우럭의 생잔율 (S)을 추정하기 위하여 표본의 각 연령별 어획개체수로 구한 연령조성 자료를 이용하였다. 생잔율의 추정방법으로는 어획물 곡선법 (Baranov, 1918), Jackson (1939) 방법, Heincke (1913) 방법, 평균연령 이용법 (Ricker, 1975), Chapman and Robson (1960) 방법의 다섯 가지 방법을 사용하였다 (Zhang, 1991). 다섯 가지 방법 중에서 분산값을 추정할 수 있는 것은 Heincke 방법과 Chapman and Robson 방법밖에 없다. 각각의 추정방법들에 의하여 계산한 생잔율들을 비교하기 위하여 이들 추정값들을 사용하여 Table 1의 3세 (완전가입 연령)이후의 연령별 어획개체수를 계산한 후 이 계산치 ($exp\ C_t$)와 Table 1의 관측된 연령별 어획개체수 (obs C_t)와의 오차를 평방편차합 (sum of squared error : SSQ)으로 비교하였다. 평방편차합 (SSQ)은 연령별 어획개체수의 감소경향이 지수적이라는 가정하에서 (6)식을 사용하였다.

$$SSQ = \sum [(\ln obs.\ C) - (\ln\ est.\ C)]^2 \qquad (6)$$

순간전사망계수 (Z)는 생잔율 (S) 추정치를 이용하여 (7)식에 의해서 계산하였다.

$$Z = -\ln S \qquad (7)$$

순간자연사망계수 (M)는 Alverson and Carney (1975) 방법인 (8)식으로 추정하였다.

$$M = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{max})} - 1} \qquad (8)$$

여기서, K는 von Bertalanffy 성장식의 성장계수, t_{max}는 최대연령을 나타낸다.

순간어획사망계수 (F)는 (7)식과 (8)식에서 구한 Z값과 M값을 (9)식에 대입하여 추정하였다.

$$F = Z - M \qquad (9)$$

(3) 어획개시연령 (t_c)

수산동물은 출생하여 어장에 서식하면서 연령이 높아질수록 자연 및 어획의 두 사망요인에 의해 그 생존개체수가 감소한다. 따라서, 어느 한 순간에 어장에 분포하는 각종 수산동물의 연령조성을 보면 가장 어린 연령군이 최고의 조성비를 가지고 연령이 높아질수록 조성비가 낮아질 것이며, 수산동물을 연령과 크기를 가리지 않고 무작위로 채취한다면 그 채취물의 연령조성은 실제의 연령조성을 반영할 것이다.

개체간의 성장차이 때문에 동시 출생군에 대해 채집이 시작되는 연령은 어느 범위를 가지고 있다. 따라서, 채취한 우럭의 연령조성에서 우점연령군의 연령과 조성비를 각각 t_b와 P_b, 가장 어린 연령군의 연령과 조성비를 각각 t_a와 P_a라 하면 어획개시연령 (t_c)은 (10)식을 사용하여 추정하였다 (Table 1).

$$t_c = \frac{t_a \cdot P_a + t_b \cdot P_b}{P_a + P_b} \qquad (10)$$

2. 2. 자원량

자원량 (B_i)은 각 해구의 표본으로부터 각각의 평균밀도 ($\overline{Di}$), 평균중량 ($\overline{W_i}$), 서식면적 (A_i) 등을 이용하여 (11)식으로 추정하였다.

$$B_i = \overline{Di} \cdot \overline{W_i} \cdot A_i \qquad (11)$$

여기서, i는 해구를 나타낸다.

자원량의 분산 (Var)은 델타 방법 (Delta method)인 (12)식으로 추정하였다.

$$Var(B_i) = A_i^2((\overline{W_i})^2\ Var(\overline{Di}) + \overline{Di}^2\ Var(\overline{W_i})) \qquad (12)$$

Table 1. Age composition of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea

Age(*yr*)	1	2	3	4	5	6	Total
Number	96	280	522	153	23	7	1,081
%	8.88	25.90	48.29	14.15	2.13	0.65	100

2. 3. 자원 평가

우럭의 적정어획사망계수 및 적정어획개시연령은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델인 (13)식으로 추정하였다.

$$\frac{Y}{R}=F\exp[-M(t_c-t_r)]W_\infty \sum_{n=0}^{3}\frac{U_n\exp[-nK(t_c-t_0)]}{F+M+nK} \cdot (1-\exp[-(F+M+nK)(t_m-t_c)]) \quad (13)$$

여기서, Y/R은 가입당생산량, W_∞, K, t_c는 von Bertalanffy 성장식의 계수들이고, M은 순간자연사망계수, t_r은 어장가입연령, t_c는 어구가입연령 혹은 어획개시연령, t_m은 최고연령이며, $U_0=1$, $U_1=-3$, $U_2=3$, $U_3=-1$ 이다.

$F_{0.1}$은 어획이 없을 때의 생산량 곡선의 기울기의 10%가 되는 기울기에 해당하는 어획사망계수를 의미하는데, $F_{0.1}$값의 추정은 Beverton and Holt(1957) 모델인 (13)식을 순간어획사망계수에 대해 미분하고, 어획이 없을 때 ($F=0.0$)의 생산량 곡선의 기울기를 구하여 다음 (14)식에서 구하였다.

$$\frac{d(Y/R)}{dF}=\exp[-M(t_c-t_r)]W_\infty \sum_{n=0}^{3}\{\frac{U_n(M+nK)\exp[-nK(t_c-t_0)]}{(F+M+nK)^2} + \frac{\exp[-(F+M+nK)(t_L-t_c)]}{(F+M+nK)^2} \cdot [(t_L-t_c)F^2+(M+nK)(t_L-t_c)F-(M+nK)] \quad (14)$$

여기서, (14)식의 계수는 (13)식의 계수와 같다.

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

結　果

1. 저질상태에 따른 우럭의 분포밀도

우리 나라 남해안 조간대에 서식하고 있는 우럭의 서식처 저질상태에 대한 분포밀도는 Table 2와 같다. 서식처 저질인 표층퇴적물의 조사는 4차례 실시하였으며, 총 조사정점 수는 125정점으로서 모래 (S)가 92 (73.6%), 뻘모래 (mS)가 32 (25.6%), 그리고 자갈모래 (gS)가 1 (0.8%)정점이였고, 저질형태별로 채집된 우럭은 모래 (S)에서 313마리, 뻘모래 (mS)에서 203마리, 그리고 자갈모래 (gS)에서 0마리였다. Table 2에서 저질상태에 따른 우럭의 평균 밀도범위는 0~6.34마리/m^2였고, 뻘모래에서 6.34마리/m^2로 가장 높았고, 모래에서는 3.40마리/m^2, 자갈모래에서는 한 마리도 없었다. Fig. 3은 1999년 조사 결과를 나타낸 것이며, 각 해구별 퇴적물의 분석결과를 삼각도형 (triangular diagram)으로 나타내었다.

Table 2. Bottom type and density of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea

Bottom type	Number of station	Mean density of soft-shelled clam (*Inds./m²*)	SE
Sand	92	3.40	0.18
Muddy sand	32	6.34	0.53
Gravelly sand	1	0	0
Total	125		

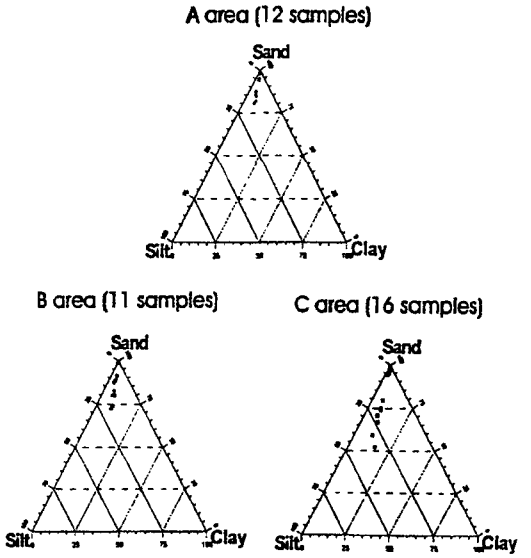

Fig. 3. Diagrams of surface sediments obtained from the intertidal zone of South Sea.

2. 자원생태학적 특성

2. 1. 연령과 성장

우럭의 패각에 나타나는 각 윤경은 인접한 윤경과 서로 중복됨이 없이 분리가 잘되어 있었고, 같은 수의 윤경을 가진 경우 각고가 커짐에 따라 윤

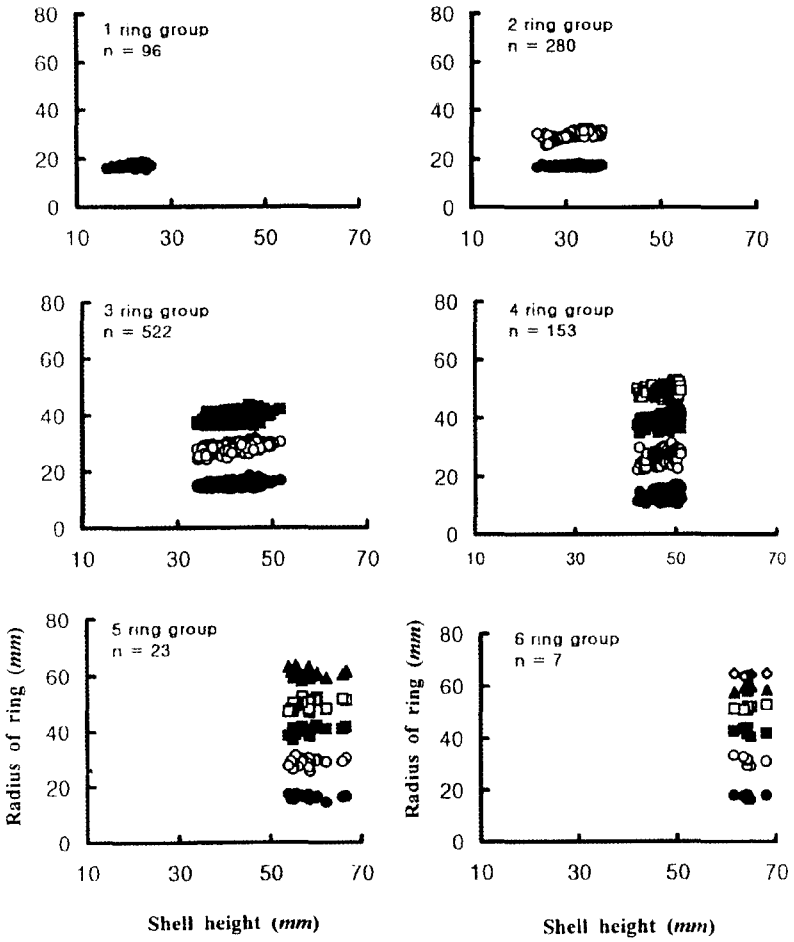

Fig. 4. Relationship between shell height and ring radius of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea, 1999.

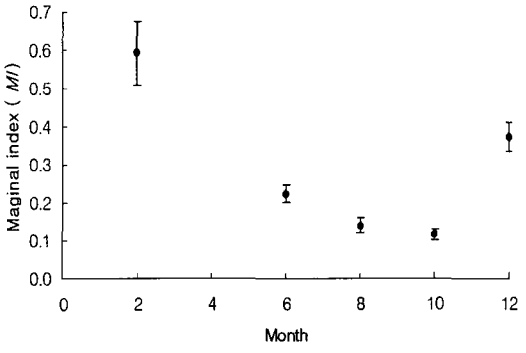

Fig. 5. Bimonthly changes in marginal index on the shell height of the soft-shelled clam expressed as the mean ±95% confidence interval *MI*.

경도 크게 나타났다. 따라서 패각에 나타나는 윤문 사이에는 대응성이 있었다 (Fig. 4).

윤문이 형성되는 시기와 형성되는 회수를 추정하기 위한 연역지수의 격월 변화는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 연역지수 값이 2월에 0.6으로 가장 컸고, 점점 감소하다가 10월에 0.11로 가장 낮았다. 따라서, 우럭의 윤문은 9월~10월에 연 1회 형성됨을 알 수 있었다.

총 1,081개체의 표본자료를 이용하여 평균 윤경을 계산한 결과 윤경의 범위는 1세 18.34*mm* (SE=0.99)에서 6세 63.57*mm* (SE=1.68)였는데, 이 평균 윤경들을 연령별 각고로 하였다.

우럭의 각고 (Shell height)와 전중 (Total

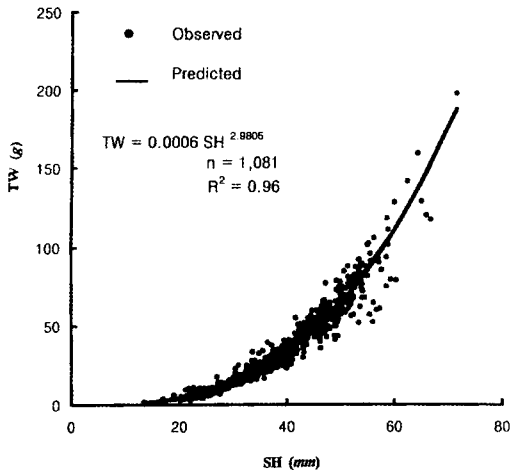

Fig. 6. Relationship between shell height and total weight of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea.

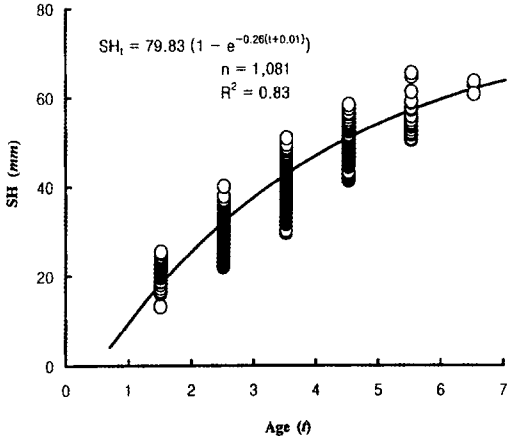

Fig. 7. The von Bertalanffy growth curve by the non-linear regression method of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea.

Table 3. Regression statistics for the soft-shelled clam obtained from the intertidal zone of South Sea in Korea

Statistics	Value
$\hat{\ln}\alpha \pm SE$	-7.4906 ± 0.0659
95% CI for ln α	(−7.6199, −7.3614)
$\hat{\ln}\beta \pm SE$	2.9805 ± 0.0183
95% CI for ln β	(2.9445, 3.0164)
$\hat{\alpha} = \exp(\hat{\ln}\alpha)$	0.000558
95% CI for α	(0.000491, 0.000653)
n	1,081
R^2	0.9636

Table 4. Nonlinear least squares statistics for the soft-shelled clam in the intertidal aone of South Sea in Korea

Statistics	Value
$\hat{L}_\infty$	78.8258*mm*
$\hat{K}$	0.2621/*yr*
$\hat{t}_0$	−0.0093*yr*
n	1,081 *inds.*
R^2	0.8296

weight)과의 관계는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 독립변수인 각고가 커짐에 따라 체중변이가 점점 증가하는 곱의 오차구조 (multiplicative error structure)를 가졌다. 따라서, (3)식을 사용하여 선형최소자승법으로 추정한 우럭의 각고와 전중과의 상대성장식은 (15)식과 같다.

$$TW = 0.0006\ SH^{2.9805} \qquad (15)$$

이 관계를 나타내는 결과는 Table 3에 나타나 있다.

우럭의 연령별 각고는 Fig. 7과 같다. 독립변수인 연령 (t)이 증가함에 따라 각고변이가 일정하게 증가하므로 합의 오차구조 (additive error structure)를 가지며, (4)식을 사용하여 비선형최소자승법으로 추정한 우럭의 von Bertalanffy 성장식은 (16)식과 같다.

$$SH_t = 78.93[1 - e^{-0.26(t+0.01)}] \qquad (16)$$

세부적인 추정 결과는 Table 4에 나타내었다.

2. 2. 사망계수

우럭 표본의 평균 윤경으로부터 추정된 우럭의 연령조성은 Table 1과 같은데, 어획개체수가 가장 많은 3세를 완전가입연령으로 간주하여 다섯 가지 방법으로 산출한 생잔율은 Table 5와 같다. 생잔율 추정방법중 Jackson 방법과 Heincke 방법에 의한 생잔율 추정치가 0.26으로서 가장 높았으며, 평균연령 이용법과 Chapman and Robson 방법에 의한 추정치가 0.24, 그리고 어획물 곡선법에 의한 추정치가 0.23이었다. 평방편차합을 계산한 결과 Heincke 방법에 의한 평방편차합이 7.276으

Table 5. Survival rate(S) and instantaneous coefficient of total mortalities(Z) by various methods of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea

Methods	S	Var(S)	Z	SSQ
Catch curve	0.23	NA	1.47/*year*	8.797
Jackson	0.26	NA	1.35/*year*	35.292
Heincke	0.26	0.0003	1.35/*year*	7.276
Mean age	0.24	NA	1.43/*year*	8.250
Chapman and Robson	0.24	0.0002	1.43/*year*	7.238

Table 6. Estimates of survival rate(S), instantaneous coefficients of total mortality(Z), natural mortality(M), and fishing mortality(F) of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea

S	Z	M	F
0.26	1.35/*yr*	0.78/*yr*	0.57/*yr*

로 가장 낮은 값이었다. 따라서, 평방편차합이 상대적으로 가장 작게 나타난 Heincke 방법에 의한 추정값인 0.26을 우럭의 생잔율로 채택하였다. 그리고, 순간전사망계수는 1.35/*year*로 계산되었다. 최고 연령을 7세, 성장계수 (K)는 0.26/*year*을 이용하여 순간자연사망계수 0.78/*year*을 계산하였다. 그리고, 순간어획사망계수는 0.57/*year*로 계산되었다. 이 결과들은 Table 6과 같다.

2. 3. 어획개시연령 (t_c)

Table 1의 연령조성 자료를 사용하여 (10)식을 사용하여 한국 남해안 조간대 우럭의 어획개시연령 (t_c) 혹은 50%어구가입연령을 계산하였다. 우점연령군 (t_b)은 3세, 그 조성비 (P_b)는 48.29였으며, 가장 어린 연령군 (t_a)은 1세, 그 조성비 (P_b)는 8.88이었다. 그 결과 어획개시연령은 2.69세였다.

우럭의 각 해구별 평균밀도는 A해구 ($\overline{D_A}$) 4.88개 ($SE=0.09$), B해구 ($\overline{D_B}$) 2.61개 ($SE=0.13$), 그리고 C해구 ($\overline{D_C}$) 7.20개 ($SE=0.18$)였다. 각 해구별 평균중량은 A해구 ($\overline{W_A}$) 29.91g ($SE=1.99$), B해구 ($\overline{W_B}$) 35.69g ($SE=6.64$), 그리고 C해구 ($\overline{W_C}$) 30.56g ($SE=2.01$)이었다 (Table 7). 전체 서식면적은 518ha (5,180,000m^2)였고, 각 해구의 면적은 86.3ha, 129.5ha, 그리고 302.2ha였다. 이들 자료를 이용하여 (11)식으로 계산된 자원량은 각각

Table 7. Area and density of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea, 1999

Area	Number of station	Mean density (*Inds./m²*)	SE
A	89	4.88	0.09
B	86	2.61	0.13
C	75	7.20	0.18

131mt, 121mt, 665mt으로 전체 자원량은 917mt이었다. (12)식으로 계산된 해역별 자원량의 분산은 각각 8.38×10^{15}, 2.01×10^{16}, 그리고 3.11×10^{17}이었다.

4. 자원 평가

우럭의 적정어획강도와 적정어획개시 연령을 추정하기 위한 Beverton and Holt (1957) 모델에서 이론적인 최대체중 (W_∞)은 502g, 성장계수 (K)는 0.26/*year*, 각고가 0일 때 이론적인 연령 (t_0)은 -0.01세, 순간자연사망계수 (M)는 0.78/*year*, 어획개시연령 (t_c)은 2.69세, 어장가입연령 (t_r)은 0.56세, 최대연령 (t_L)은 7세가 각각 사용되었다. 순간어획사망계수 (F)에 대한 어획개시연령 (t_c)과 가입당생산량 (Y/R)과의 관계는 Fig. 8과 같다. Fig. 8에서 점선으로 표시된 종선은 현재의 어획개시연령 (t_c)인 2.69세, $F=0.57$/*year*에서의 가입당생산량이 8.30g임을 나타내고 있다. 현재의 어획사망계수에서 최대의 가입당생산량을 얻기 위해서는 어획개시 연령을 약 2세로 낮춰야 하고, 현재의 어획개시 연령에서 순간어획사망계수를 높일수록 가입당생산량은 증가한다.

어획개시연령 (t_c)에 대한 순간어획사망계수 (F)와 가입당생산량 (Y/R)과의 관계는 Fig. 9와 같다. F값을 0.57/년을 유지하면서 t_c가 1.5세 또는 2.0세일 때 가입당생산량이 가장 높은 수준에 있음을 알 수 있으나 t_c를 3세 이상으로 증가시키면 t_c=2.69세 보다 오히려 가입당생산량이 감소하는 것을 알 수 있다. 현재의 t_c인 2.69세에서는 F값이 1.5/년 또는 2.0/년일 때 최대의 가입당생산량이 9.40g을 나타내었으며, 현재의 F값인 0.57/년에서의 가입당생산량 8.30g과는 1.10g정도의 차이가 나타났다.

어획개시연령 (t_c)과 순간어획사망계수 (F)간의

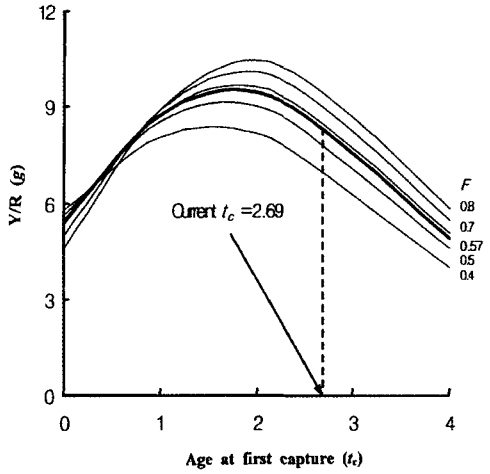

Fig. 8. Yield per recruit curve of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea. Y/R against the age at first capture(t_c) for various fishing mortalities (F).

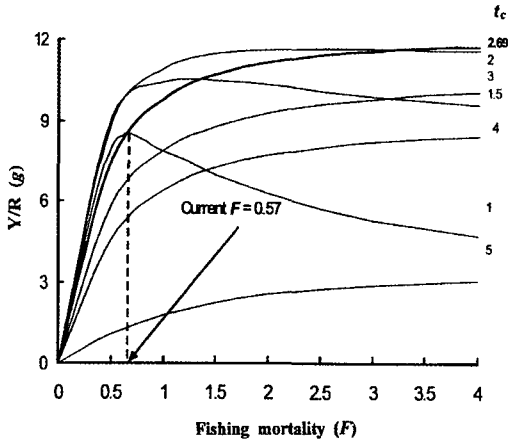

Fig. 9. Yield per recruit curve of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea. Y/R against fishing mortalities(F) for various ages at first capture(t_c).

상호변화에 따른 가입당생산량의 변동을 검토하기 위하여 구한 등생산량 곡선은 Fig. 10과 같다. 점선 AA'는 주어진 t_c에 따라 최대의 가입당생산량을 산출하는 점들을 연결한 점이며, BB'는 F값에 따라 최대 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결하는 선으로 섬진강 하구에서 형성되는 사주에 분포하고 있는 우럭의 적정어획 곡선

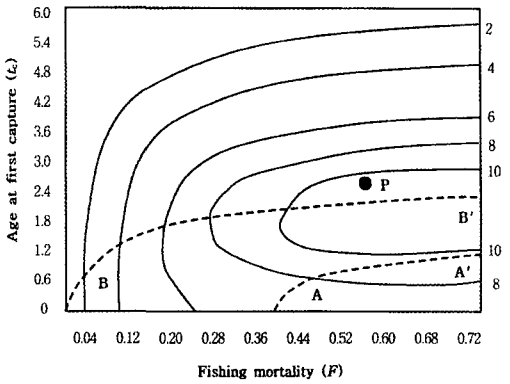

Fig. 10. Yield isopleths for the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea. P represents the current state of fishing mortality(F) and age at first capture(t_c). AA′ is the line of cacometric fishing, which means the locus of point F_{max} for the fixed values of current t_c. BB′ is the line of eumetric or optimal fishing, which denotes the locus of point t_{max} for the fixed values of current F.

Table 8. Yield per recruit of the soft-shelled clam in the intertidal zone of South Sea in Korea under harvest strategies on F_{max} and $F_{0.1}$

Age at first capture	F_{max}	$F_{0.1}$	Y/R(g) at	
			F_{max}	$F_{0.1}$
1	0.778	0.407	8.878	8.382
2	2.603	0.763	11.665	10.312
3	〉3	1.112	11.936	9.585
4	〉3	1.158	9.309	7.342

이다. 현재 수준 (P)의 어획개시연령에서 어획강도를 높이면 가입당생산량은 증가하였으며, 현재의 어획강도에서 t_c를 2세 정도로 낮출 때 최대의 가입당생산량을 얻을 수 있다.

Beverton and Holt (1957) 모델을 어획사망계수에 대해 미분한 식을 이용하여 추정한 1세부터 4세까지의 $F_{0.1}$ 값을 F_{max}와 비교하여 Table 8에 나타내었다. 이 때의 가입당생산량은 F_{max}의 경우 어획개시연령이 3세에서 가장 높은 값인 11.96g이었고, $F_{0.1}$의 경우는 2세 때 가장 높은 10.31g이었다.

參考文獻

류성규, 1979. 천해양식. 새로 출판사. 320~308.

Alverson, D. L. and Carney, M. I.(1975) : A graphic review of the growth and decay of population cohorts. J. Cons. Int. Explor. Mer. 36 : 133~143.

Baranov, F. I.(1918) : On the question of the biological basis of fisheries. Nauchn. Issled. Ikhtiologicche skii Inst. Izv. 1 : 81~128 (In Russian).

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 Holt, S. J.(1957) : On the dynamics of exploited fish populations. Fishery investigation, Series II, Marine Fisheries, Great Britain Ministry of Agriculture, Fisheries and Food 19. 533.

Chapman, D. G. and Robson, D. S.(1960) : The analysis of catch curve. Biometrics 16 : 354~368.

Folk, R. L.(1968) : Petrology of sedimentary rocks. Austin. Texas. Hemphill' s Bookstore. 170.

Heincke, F.(1913) : Investigation on the plaice. General report. I. Plaice fishery and protective measures. Preliminary brief summary of the most important points of the report. Rapp. P. -V. Reun. Cons. Perm. int. Explor. Mer. 16, 67.

Jackson, C. H. N.(1939) : The analysis of an animal population. J. Anim. Ecol. 8 : 238~246.

Ricker, W. E.(1975) : Computation and interpretation of biological statistics of statistics populations. Bull. Fish. Res. Board Can. 191, 382.

Quinn II, J. Q. and Deriso, R. B.(1999) : Quantitative Fish Dynamics. Oxford Univ. Press, New York, 542.

Zhang, C. I.(1991) : Fisheries Resource Ecology. Woosung Publ. Co., Seoul, Korea. 399 (in Korean).