

## 강원도 양양 남대천에서 채집된 일본재첩, *Corbicula (Corbicula) japonica* Prime의 수산자원학적 연구

권대현<sup>+</sup> · 강용주 · 김완기\* · 이채성\*  
부경대학교 해양생물학과, \*국립수산과학원 강릉수산종묘시험장

### Population Dynamics of *Corbicula (Corbicula) japonica* Prime from Namdae Stream in Yangyang, Korea

Dae Hyeon KWON<sup>+</sup>, Yong Joo KANG, Wan Ki KIM\* and Chae Sung LEE\*  
Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea  
\*Gangnung Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Gangnung 210-800, Korea

Samples of *Corbicula (Corbicula) japonica* Prime of Namdae Stream in Gangnung were collected from November 2000 to October 2001. Age of *C. (C.) japonica* was determined from the rings on the shell. The shell length of the samples ranged from 8 mm to 38 mm. The ring on the shell was formed once a year in March. Von Bertalanffy's growth parameters were estimated using a nonlinear regression method, asymptotic shell length ( $L_{\infty}$ ) was 48.98 mm,  $K$  was 0.2042/year, theoretical age at 0 shell length ( $t_0$ ) was 0.3169 year, and asymptotic total weight ( $W_{\infty}$ ) was 41.37 g. The formula of allometry between shell length ( $L$ , mm) and total weight ( $W$ , g) of the brackish water clam was  $W=3.42 \times 10^{-4} L^3$ . The annual survival rate was estimated at 0.3799, instantaneous coefficient of natural mortality was 0.5007/year, and instantaneous coefficient of fishing mortality was 0.4672/year. The age at first capture was estimated at 2.1593 year using shell length compositions of the brackish water clam. The current yield-per-recruit at 0.4672/year of fishing mortality was 0.6595 g.  $F_{0.1}$  was estimated at 0.1865/year. Acceptable biological catch was estimated at 14.4 metric ton.

**Key words:** *Corbicula (Corbicula) japonica* Prime, Growth, Age, Survival rate, Yield-per-recruit, Acceptable biological catch

#### 서 론

일본재첩 *Corbicula (Corbicula) japonica* Prime은 이치亞綱 (Heterodonta) 백합목 (Veneroida) 재첩과 (Corbiculidae)의 기수산 이매패이다 (Kwon et al., 2001). 우리나라에서는 강원도의 송지호와 매호, 경상남도 하동군의 섬진강 하류지역, 전라남도 강진군 탐진강 하류지역에 서식하는 것으로 알려져 있다 (Lee and Kim, 1997).

본 종은 강원도 양양군 남대천에도 서식한다. 양양 남대천은 강릉시 연곡면 두루봉에서 발원하여 동해로 흐르는 도중에 태백산맥의 설악산, 점봉산, 응봉산, 황백산의 각 골짜기에서 시작되는 지류와 합류하여 본류를 이루면서 양양읍 조산리를 거쳐 동해로 유입된다 (Byeon et al., 1996). 따라서, 남대천은 동해로 유입되는 하천 중에서 비교적 계곡이 깊은 데다가, 많은 지류가 있고, 유정(流程)이 길어 유량이 풍부한 하천으로 (田, 1982), 연어, 송어, 황어 등의 냉수성 어종과 일본재첩이 많이 서식하고 있다.

남대천에서 일본재첩은 하류지역에 분포한다. 남대천의 하류역은 과거에 보호수면으로 지정되어 있었다. 본 종은 패각이 광택을 띠고, 남대천에서는 큰 개체가 비교적 풍부하여 상품성이 높다. 일본재첩의 상업적 채취는 1998년 보호수면이 해제되면서 시작되었다. 2002년 10월 현지에서 설문조사한 결과, 이를 채취하는 어업인에 있어서 채취생산에 의한 소득은 총 소득의 약 15%를 차

지하고 있었다.

재첩류에 대한 연구로는 Kim and Yoo (2000), Kwon et al. (1987), Lee and Jung (1980), Jung (1977), Lee et al. (1985), Jo et al. (1998) 등의 연구가 있으며, 본 종의 성장에 대한 보고로는 일본의 宇藤 (1981)의 연구가 있다. 자원관리 및 지속적인 생산을 위해서는 이에 대한 자원생태적 연구가 이루어져야 하지만, 국내에는 본 종에 대한 자원관리적 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 최근 어획이 시작된 강원도 양양 남대천에서 채집된 일본재첩의 성장 및 자원생태학적 특성치들을 추정하여 적정 관리수준을 위한 지견을 얻고자 수행하였다.

#### 재료 및 방법

##### 1. 측 정

표본은 2000년 11월부터 2001년 10월까지 매월 1회 양양 남대천 기수역 (Fig. 1)에서 무작위 채집하였다. 채집된 표본은 5% 포르말린 용액에 고정된 채로 실험실로 운반하였다. 혹시, 채집물에 다른 종류의 재첩이 섞여 있을 것을 염두에 두고 모든 표본 개체에 대해 동정하였다. 본 종의 확인은 Kwon et al. (2001)의 기준에 따랐다. 전중은 전자저울로 0.01 g 단위까지, 각장은 vernier calliper로 0.01 mm 단위까지 측정하였다. 각장은 패각의 전연(前緣)과 후연(後緣) 간의 최장 직선 거리로 측정하였다.

본 종의 패각 표면은 전체가 흑갈색 또는 다갈색을 나타내며, 질은 갈색 또는 흑색의 성장선이 각정을 중심으로 달리고 있었다

\*Corresponding author: kdh0211@hanmail.net

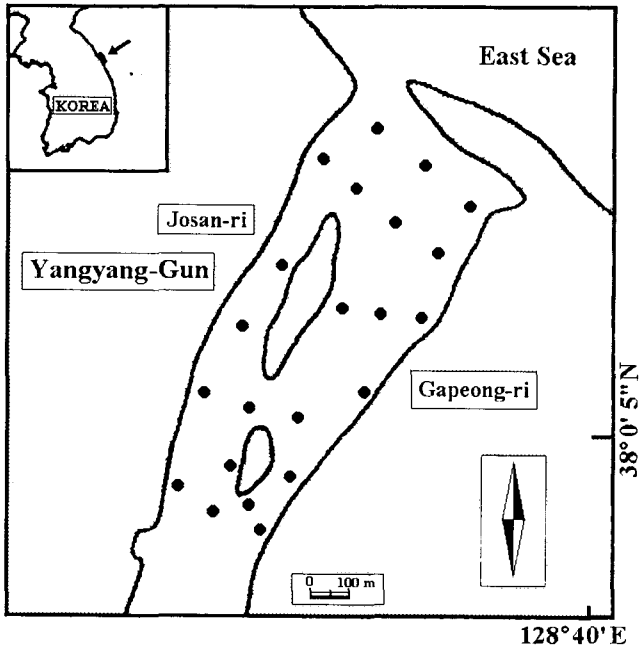


Fig. 1. Location of survey area (filled circle).

(Fig. 2). 성장선 중에서 계단모양으로 뚜렷이 함몰된 것이 주기적으로 나타났는데 이를 윤문으로 정하였다. 윤문은 좌우 한쌍의 패각 중에서 좌각을 선택하여 판독하고 윤경을 측정하였다. 윤경 측정은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 패각의 전면과 후연간을 잇는 최장축을 기준선으로 설정하여 vernier calliper로 0.01 mm 단위까지 측정하였다.

2. 윤문판독의 정확성

생후 2년 이상의 패각에는 복수의 윤문이 나타난다. 채집된 표본에는 패각에 윤문을 1개 가진 개체들 (이를 1륜군이라 함), 2개 가진 개체들 (이를 2륜군이라 함), ... 최대 5개 가진 개체들 (이를 5륜군이라 함)이 관찰되었다. 본 연구에서 윤문의 판독이 정확했는지는 윤문군별로 각장과 윤경의 상관도로 확인하였다.

3. 윤문형성의 주기성

윤문형성의 시기와 횟수는 연역지수의 경월변동을 추적하여, 연역지수가 가장 낮은 시기를 윤문형성시기로 정하였고, 그 시기가 일년 중에 나타나는 횟수에 의해 연간 윤문형성회수를 확인하여 연륜으로서 타당한지를 확인하였다.

연역지수 (MI)는 식 (1)에 의하여 구하였다.

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

여기서, L은 각장, r<sub>n</sub>은 최외측의 윤문 (각장에서 패각의 가장자리로 향해 n번째의 윤문)의 윤경, r<sub>n-1</sub>은 n-1번째 윤문의 윤경이다.

각 윤문이 형성되는 시점에서의 생물체의 연령은 산란기에서 제 1윤문이 형성되는 시점까지의 기간을 알아야 정확하게 사정된다. 산란기는 Kim et al. (2002a)이 보고한 자료를 분석하여 9월로 정

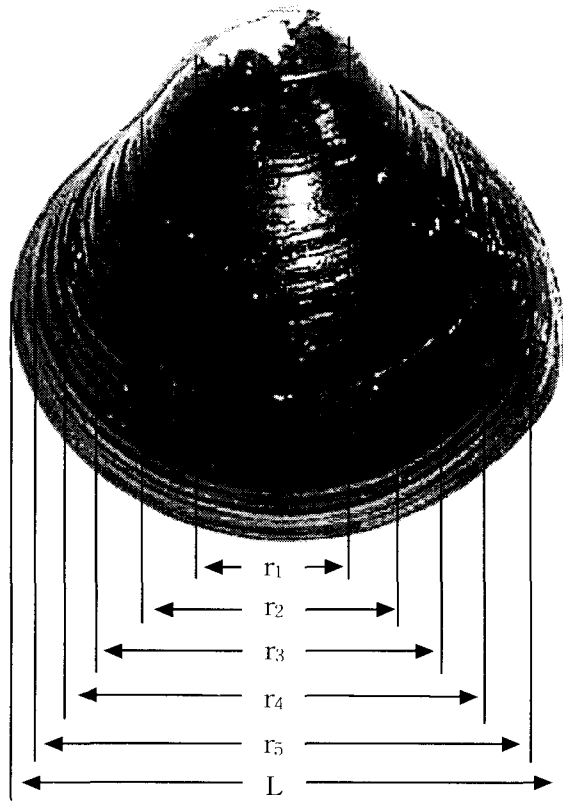


Fig. 2. Shell length (L) and ring diameters (r<sub>1</sub>~r<sub>5</sub>) of *C. japonica* from Namdae stream in Yangyang.

하였다.

4. 연령과 성장

성장은 von Bertalanffy (1938)의 성장이론에 근거하여 파악하였다. 즉, 연령이 t일 때의 각장 L<sub>t</sub>는 식 (2)와 같이 구하였다.

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (2)$$

여기서, L<sub>∞</sub>는 이론적 최대각장, K는 성장계수, t<sub>0</sub>는 각장이 0일 때의 이론적 연령이다.

성장식의 모수는 연령별 평균각장을 사용하여 통계분석 프로그램인 SPSS (Release 10.1.3, SPSS Inc.)의 비선형회귀 (nonlinear regression) 추정법을 사용하여 추정하였다. 추정은 기본적으로 Levenberg-Marquardt의 방법을 따랐고, 비선형회귀법의 초기값으로 이론적 최대각장은 50, t<sub>0</sub> 및 K는 0.1로 설정하였다. 또한, 각장과 전중간의 상대성장은 W=aL<sup>3</sup>의 상대성장식으로 추정했다.

5. 가입연령

가입연령 중 어구가입연령 (또는 어획개시연령, t<sub>c</sub>)은 표본의 각장조성 자료와 von Bertalanffy 성장식을 이용하는 Pauly (1984)의 방법을 적용하여 추정하였다. 이 방법에서는 완전가입연령 이상에 해당하는 연령조성 자료를 직선회귀시킨 후 순간전사망계수 (Z)를 식 (3)으로 추정하였다.

$$\ln \frac{C_p}{\Delta t} = c - Z(t + \frac{\Delta t}{2}) \quad (3)$$

여기서,  $C_p$ 는 실제어획개체수,  $t$ 는 연령,  $\Delta t$ 는 각각의 각장 계급에 해당되는 연령간의 차이,  $c$ 는 상수를 나타낸다. 위에서 추정된  $Z$  값을 식 (4)에 대입하여 기대어획개체수 ( $C_E$ )를 구하였다.

$$C_E = \Delta t e^{c-Zt} \quad (4)$$

그리고  $S$ 는 식 (5)에 의해 계산하였다.

$$S = \frac{C_p}{C_E} \quad (5)$$

이렇게 계산된 연령  $t$ 의  $S$ 값을  $S_t$ 라 하고 식 (6)에 대입하였다.

$$\ln(\frac{1}{S_t} - 1) = T_1 - T_2 t (\frac{L_1 + L_2}{2}) \quad (6)$$

여기에서,  $L_1$ 과  $L_2$ 는 각장이고,  $T_1$ 과  $T_2$ 는 상수다. 이에 따라  $T_1$ 과  $T_2$ 를 추정하여 식 (7)에 의해 50%가 어구에 가입하는 어구가입 연령 ( $t_c$ )을 추정하였다.

$$t_c = \frac{T_1}{T_2} \quad (7)$$

Kim et al. (2002a)는 일본재첩이 수정 후 성숙자패가 되면서 저서생활로 이행하여 잠입을 하게 되는 시기를 16일로 보고하였다. 이를 연령으로 환산하여 어구가입연령 ( $t_c$ )으로 정하였다.

6. 생산율 및 사망계수

표본 중에서 연령이 사정된 개체에 의해 연령조성을 파악하였다. 윤문이 정확하지 않아 연령사정에서 제외되었던 개체는 각장 측정치를 가지고 각장 성장식에 의해 연령을 역추정하여 연령조성을 구하는 자료에 포함시켰다. 이 연령조성을 이용하여 생산율 ( $S$ )을 추정하였다. 생산율의 추정에는 Heincke의 방법, 어획물 꼭선법, Jackson의 방법, Chapman and Robson의 방법, Hoenig의 방법 (장, 1992), 평균연령 이용법 (Ricker, 1975), Beverton and Holt (1956)의 방법 등의 7가지 방법을 이용하였다.

순간전사망계수 ( $Z$ )는 생산율 추정치를 이용하여 식 (8)에 의해서 계산하였다.

$$Z = -\ln S \quad (8)$$

순간자연사망계수 ( $M$ )는 Alvenson and Carney (1975)의 방법인 식 (9)로 추정하였다.

$$M = \frac{3K}{e^{K(0.38 \times t_{max})} - 1} \quad (9)$$

여기서  $K$ 는 von Bertalanffy 성장식의 성장계수,  $t_{max}$ 는 최대연령이다. 최대연령은 Jo et al. (1998)가 보고한 최대각장 42.6 mm를 연령으로 환산하여 추정하였다.

이상에서 구한 순간전사망계수와 순간자연사망계수를 이용하여 순간어획사망계수 ( $F$ )를 식 (10)에 의해 추정하였다.

$$F = Z - M \quad (10)$$

7. 현존량 및 자원량

현존량 (standing biomass)은 분포지역 내에 현존하고 있는 조사대상 생물종의 모든 개체들의 중량을 말하며, 자원량 (stock biomass)은 이 중에서 어획대상이 되는 모든 개체들의 중량을 말한다. 따라서, 현존량에는 어획대상이 되지 않는 어린 개체도 포함된다.

Kim et al. (2002b)은 남대천 하구에서 22개 정점 (Fig. 1)을 설정하고 일본재첩의 분포와 밀도를 조사한 바 있다. 본 연구에서 현존량 및 자원량의 추정은 이 조사결과를 이용하기로 하였다. 이 조사에서는 각장계급을 10 mm 이하, 10~15 mm, 15~20 mm, 20~30 mm, 30 mm 이상의 5개 계급으로 구분하여 제시하고 있다. 본 연구에서 남대천 하구의 일본재첩은 어구가입각장이 약 15 mm 이상인 것으로 추정되었다. 따라서, Kim et al. (2002b)이 보고한 정점별 밀도자료 중에서 각장 15 mm 이상의 분포량을 본 연구는 자원량으로 간주하여 자원량을 추정하였다.

보다 정확한 현존량과 자원량을 추정하기 위해 0~475 개체/m<sup>2</sup>의 분포밀도범위를 19개의 분포밀도계급 (급간 25 개체/m<sup>2</sup>)으로 나누었다. 그리고, 평면좌표 위에 나타난 정 점별 밀도를 보간 (interpolation)하여 정점간 등밀도선의 좌표를 계산하였다. 본 연구에서는 보간방법으로 Kriging (Lee, 1997)을 채택하였다. 등밀도선은 100×80의 격자 (grid)를 이용하여 나타내었다. 각 밀도계급의 등밀도선이 나타난 폐곡선의 면적을 측정하였다.

현존량 ( $B_a$ )은 수식 (11)과 같이 계산하였다.

$$B_a = \sum_{j=1}^{19} \sum_{i=1}^{10} D_j \cdot A_j \cdot P_i \cdot w_i \quad (11)$$

여기서,  $D_j$ 는 밀도계급  $j$ 의 평균밀도,  $A_j$ 는 밀도계급  $j$ 의 면적,  $P_i$ 는 각장계급  $i$ 의 비율,  $w_i$ 는 각장계급  $i$ 의 평균전중이다.

자원량 ( $B_c$ )은 15 mm 이상의 각장계급만을 이용하여 식 (12)에 의해 추정하였다.

$$B_c = \sum_{j=3}^{19} \sum_{i=1}^{10} D_j \cdot P_i \cdot w_i \cdot A_j \quad (12)$$

8. 자원 평가

재첩의 적정어획사망계수와 적정어구가입연령은 Beverton and Holt (1957)의 가입당 생산량 모델인 식 (13)으로 추정하였다.

$$\frac{Y}{R} = F W_{\infty} e^{-M(t_c - t_0)} \sum_{n=0}^3 \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{F + M + nK} (1 - e^{-(F + M + nK)(t_m - t_c)}) \quad (13)$$

여기에서,  $\frac{Y}{R}$ 는 가입당생산량,  $\Omega_0 = 1, \Omega_1 = -3, \Omega_2 = 3, \Omega_3 = -1$ 이며,  $W_{\infty}, K, t_0$ 는 von Bertalanffy 성장식의 성장모수이고,  $t_c$ 는 어구가입연령,  $t_0$ 는 어구가입연령,  $t_m$ 는 최고연령을 나타낸다.

또한,  $F_{0.1}$ 은 어획이 없을 때의 가입당생산량의 10%에 해당하는 순간어획사망계수로, Beverton and Holt 모델식을 순간어획사망계수  $F$ 에 대해 미분한 식 (14)를 이용하여 추정하였다.

$$\frac{d(\frac{Y}{R})}{dF} = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_0)} \sum_{n=0}^3 \left\{ \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_0)}}{(F + M + nK)^2} [M + nK - e^{-(F + M + nK)(t_m - t_c)}] \right. \\ \left. [M + nK - F(t_m - t_c)(F + M + nK)] \right\} \quad (14)$$

이 식에서  $F=0$ 이 되면 식 (15)와 같다.

$$\frac{d(\frac{Y}{R})}{dF} = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_p)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_p)}}{M + nK} (1 - e^{-(M+nK)(t_m - t_c)}) \quad (15)$$

또한, 식 (15)는  $t_m \rightarrow \infty$ 일 경우, 식 (16)과 같다.

$$\frac{d(\frac{Y}{R})}{dF} = W_{\infty} e^{-M(t_c - t_p)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Omega_n e^{-nK(t_c - t_p)}}{M + nK} \quad (16)$$

이 두 식을 사용하여 계산한 기율기의 10%에 해당하는  $F_{0.1}$ 값을 비선형회귀추정법으로 추정하였다.

일본재첩의 생물학적 허용어획량 (ABC)은 식 (17)을 이용하여 추정하였다.

$$ABC = F_{0.1} \cdot B_c \cdot \frac{1}{M + F_{0.1}} (1 - e^{-(M + F_{0.1})}) \quad (17)$$

### 결 과

#### 1. 각장조성

일본재첩표본의 각장범위는 8~38 mm이었고, 대부분의 개체가 20~35 mm이었다 (Fig. 3). 각장 10 mm 안팎의 개체들은 9월부터 출현하기 시작하여, 이듬해 1월에 14~15 mm 급간에서 뚜렷한 모드를 보였다가, 6월에 15~16 mm를 중심으로 하는 모드로 이어졌다. 이 모드는 다시 서서히 증가하여 9월에 18~19 mm 급간에서 뚜렷해지며, 11월과 12월에 19~21 mm 부근에서 또다시 뚜렷한 모드가 나타났다. 그리고 이듬해 6월에도 20 mm 부근에서 뚜렷한 모드가 나타났다. 이 모드는 다시 11월에 25~26 mm 급간에서 뚜렷하게 이어졌고, 7월의 28~29 mm 급간을 중심으로 계속되었다. 9월에는 30~31 mm 급간에서 뚜렷한 모드가 나타났으며, 12월에는 30~31 mm 급간에서, 이듬해 2월에는 31~33 mm 급간에서, 그리고 9월에는 33~34 mm 급간에서 주된 모드가 보였다. 35 mm 이상의 개체들은 2~4월에 35~38 mm 급간에서, 8~10월에는 37~38 mm 급간에서 적은 양이 출현하였다.

#### 2. 운문판독의 정확성

운문을 정확하게 판독하였는지를 검토하기 위해 각장과 운경간의 대응성을 살펴보았다 (Fig. 5). 채집표본의 각장과 운경간에는 정상관을 보여 운문판독의 정확성을 확인할 수 있었다. 그러나, 각장-운경간에 회귀직선을 중심으로 다소의 분산을 나타내었다. 따라서, 연속하는 운문의 운경간에는 측정치가 겹쳐 나타나는 경우가 더러 있어, 운문판독의 정확성이 의문시 되었다. 이와 같이 겹쳐 나타난 운경측정치는 운문판독을 다시 하였고, 정확한 운문판독이 불가능한 것으로 판단된 경우에는 자료에서 제외하였다. 이러한 표본은 채집 792개체 중 48개체이었다.

#### 3. 운문형성의 주기성

운문형성시기와 횡수를 알아보기 위해 연역지수의 월변화를 살펴 보았다 (Fig. 6). 연역지수는 11월에 높은 값을 보였다. 이후에

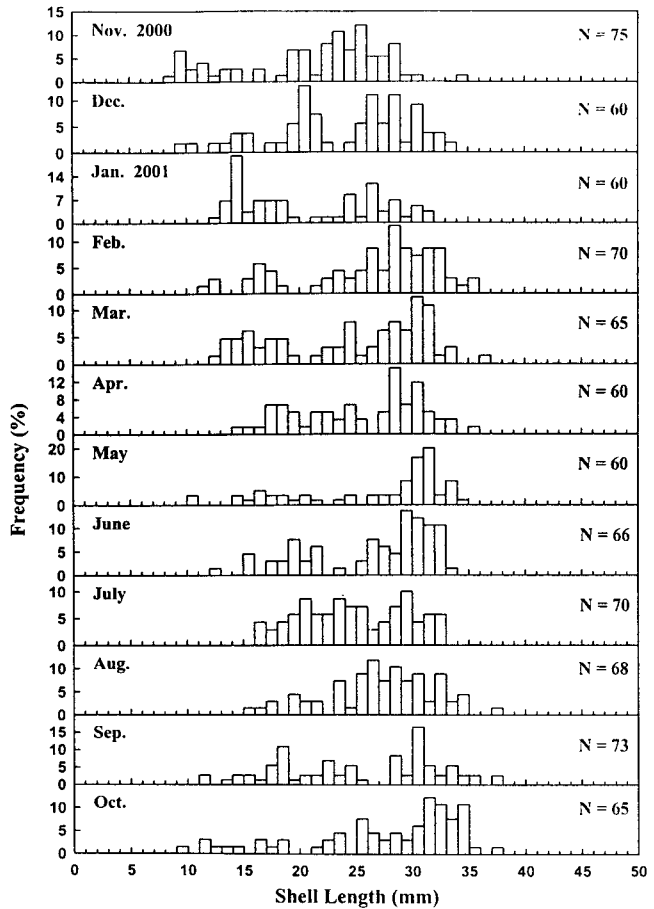


Fig. 3. Monthly frequency distribution of the shell length of *C. japonica* from Namdae stream in Yangyang.

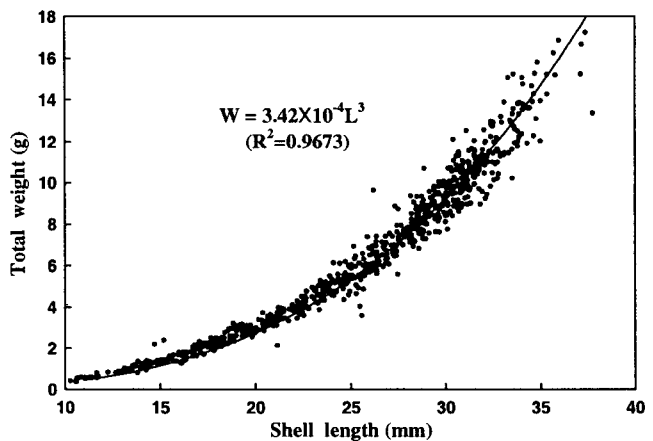


Fig. 4. Relationship between shell length and total weight of *C. japonica* from Namdae stream in Yangyang.

서서히 낮아지다가 3월에 가장 낮은 값을 보인 이후, 다시 서서히 증가하기 시작하였다. 3월 직전에도 일부 운문이 형성되는 것으로 보이지만, 대다수의 운문이 형성되는 것으로 판단되는 3월을 운문형성시기로 추정하였다. 일본재첩은 여름 (7~9월)에 산란한다.

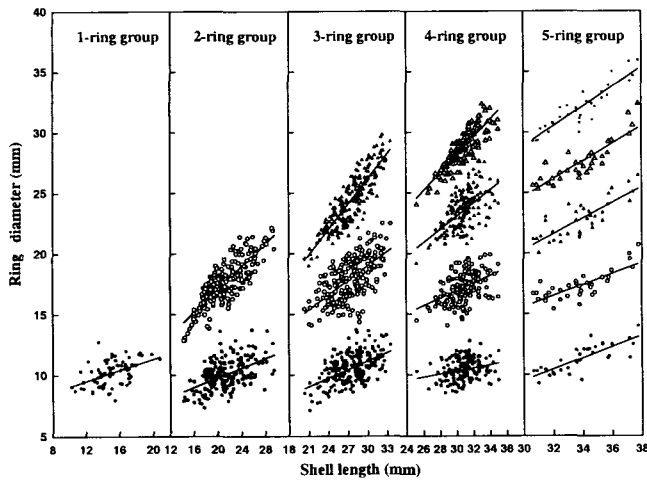


Fig. 5. Relationship between shell length and ring diameter of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang.

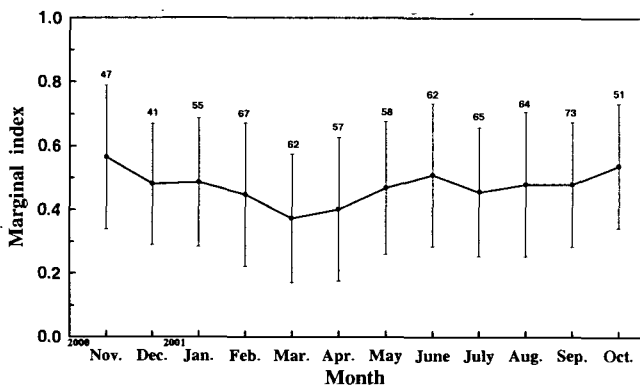


Fig. 6. Monthly change of shell marginal indices of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang. Numbers represent sample size.

9월을 기점으로 약 1.5년만에 첫 윤문을 형성하며 연 1회 윤문을 형성하는 것으로 확인하였다. 이에 의거해 본 연구에서 정의한 윤문을 연륜으로 확정하였다.

4. 연령과 성장

각 연령의 평균을 각 연령군의 각장으로 정하였다 (Table 1). 즉, 1.5세의 각장은 10.54 mm, 2.5세는 17.52 mm, 3.5세는 23.53 mm, 4.5세는 28.07 mm, 5.5세는 31.99 mm였다.

여기서 구한 연령군별 각장에 의거해 von Bertalanffy 성장식의 모수를 추정하면 극한각장  $L_{\infty}$ 은 48.98 mm, 성장계수  $K$ 는 0.2042/year, 각장이 0일 때의 이론적 연령  $t_0$ 는 0.3169 year로 각각 추정되었으며, 성장식은 식 (18)과 같다 (Fig. 7).

$$L_t = 48.98(1 - e^{-0.2042(t - 0.3169)}) \quad (18)$$

각장 ( $L$ )과 전중 ( $W$ ) 간의 상대성장식은 식 (19)와 같다 (Fig. 4).

$$W = 3.42 \times 10^{-4} L^3 \quad (19)$$

Table 1. Ring diameters of each age group of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang

Ring	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$r_5$	N
1	10.23					82
2	10.19	17.65				204
3	10.56	17.94	24.37			221
4	10.43	17.16	23.47	28.68		160
5	11.30	17.32	22.77	27.47	31.99	35
Mean	10.54	17.52	23.54	28.07	31.99	

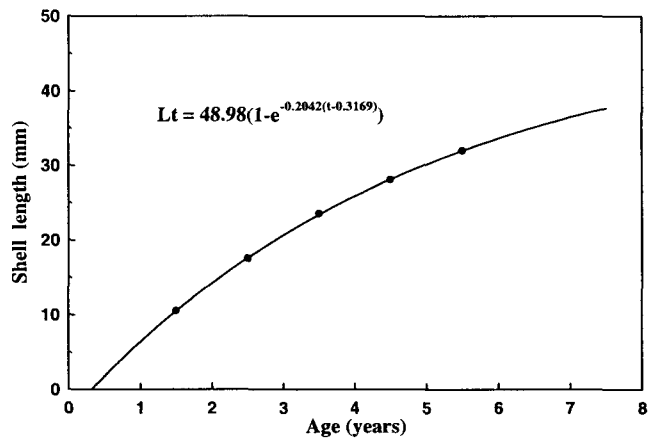


Fig. 7. Von Bertalanffy's growth curve of shell length of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang.

여기서, 각장이 25 mm 이전까지 비교적 변동폭이 좁았으나, 그 이상 증가할수록 편차가 심한 개체들이 많이 확인되었다.

5. 가입연령

연령과 각장조성자료를 사용하여 어구가입연령 ( $t_c$ )을 계산하면 2.1593세였다. 이 어구가입연령은 사망계수가 연령에 관계없이 일정하고, 가입과 어구선택이 없는 상태를 가상하여 기대어획개체수와 실제어획개체수의 비에 의해 추정된 것이다. 또한, 어장가입연령 ( $t_c$ )은 0.0438세로 추정하였다.

6. 생산율 및 사망계수

채집표본은 1세군에서 5세군에 이르는 5개 연령군으로 구성되며, 3세군의 조성비가 가장 높았다 (Table 2). 윤문판독이 어려워 연령사정에서 제외했던 48개의 개체는 각장에 의해 연령을 추정 후 연령조성에 산입하였다. 어구가입연령이 2.1593세이고, 3세의 조성비가 가장 컸으므로 3세를 완전가입연령으로 간주하고 연간 생산율을 추정하였다 (Table 3).

생산율 추정방법 중 Hoenig의 방법에 의한 추정치가 0.6117/year로 가장 높았으며, Beverton and Holt의 방법, Heincke의 방법, Jackson의 방법, 어획물 곡선법, Chapman and Robson의 방법, 평균연령 이용법의 순으로 값이 낮았다. Heincke의 방법과 Jackson의 방법의 결과는 0.5011/year로 동일했다. 이상의 방법에서 분산값 추정이 가능한 것은 Heincke의 방법과 어획물 곡선법, Chapman and Robson의 방법이었으며, Chapman and Robson의

Table 2. Age composition of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang

Age group	0	1	2	3	4	5	Total
Number	42	82	205	231	181	51	792

Table 3. Comparison of survival rates (*S*) and instantaneous coefficient of total mortalities (*Z*) by various methods of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang

Methods	<i>S</i>	Var ( <i>S</i> )	<i>Z</i> (year <sup>-1</sup> )
Heincke	0.5011	0.0006	0.6910
Catch curve	0.4699	0.0009	0.7553
Jackson	0.5011	NA	0.6910
Chapman and Robson	0.3799	0.00038	0.9679
Beverton and Holt	0.5022	NA	0.6887
Hoernig	0.6117	NA	0.4916
Mean age	0.3056	NA	1.1854

방법에서 가장 낮게 추정되었다. 이 방법들 중에서 분산이 가장 작아 가장 유효한 것으로 판단되는 Chapman and Robson 방법을 적용하여 구한 0.3799/year를 생산율로 정하였다. 생산율 0.3799/year에 근거하여 순간전사망계수는 0.9679/year로 계산되었다. 최대연령은 10.2979세로 산정하였다. 이 값에 의한 순간자연사망계수는 0.5007/year이었으며, 순간어획사망계수는 0.4672/year로 추정되었다 (Table 4).

Table 4. Estimates of instantaneous coefficient of total mortality (*Z*), natural mortality (*M*), and fishing mortality (*F*) of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang

<i>Z</i> (year <sup>-1</sup> )	<i>M</i> (year <sup>-1</sup> )	<i>F</i> (year <sup>-1</sup> )
0.9679	0.5007	0.4672

7. 현존량 및 자원량

현존량과 자원량을 추정하기 위해 서식지의 평균밀도계급별 분포영역을 살펴보면, 남대천 상류에서 조산리 쪽에는 2~31 개체/m<sup>2</sup>의 낮은 밀도로 분포하였으나, 가평리 쪽에서는 191 개체/m<sup>2</sup>로 높은 분포밀도를 보였다 (Fig. 8). 남대천의 전체 서식지에 걸쳐서는 가평리 쪽에 많이 분포하였으며, 특히 중하류에서는 가평리 쪽에서 464 개체/m<sup>2</sup>로 높게 밀집되었다가 다시 하구까지 점차 분포밀도가 줄어드는 양상을 보였다. 5개의 각장계급에서 30 mm 이상인 개체의 평균전중은 11.149 g으로 다른 계급보다 월등히 높았다 (Table 5). 밀도계급별 분포면적은 밀도가 0~50 개체/m<sup>2</sup>인 면적이 가장 넓었으며, 450~500 개체/m<sup>2</sup>인 면적이 가장 좁게 추정되었다 (Table 6). 이 밀도자료를 이용하여 추정된 현존량은 118,619 kg이었으며, 총자원량은 106,838 kg이었다.

8. 자원 평가

Beverton and Holt의 모델로 일본재첩에 대해 적절한 순간어획

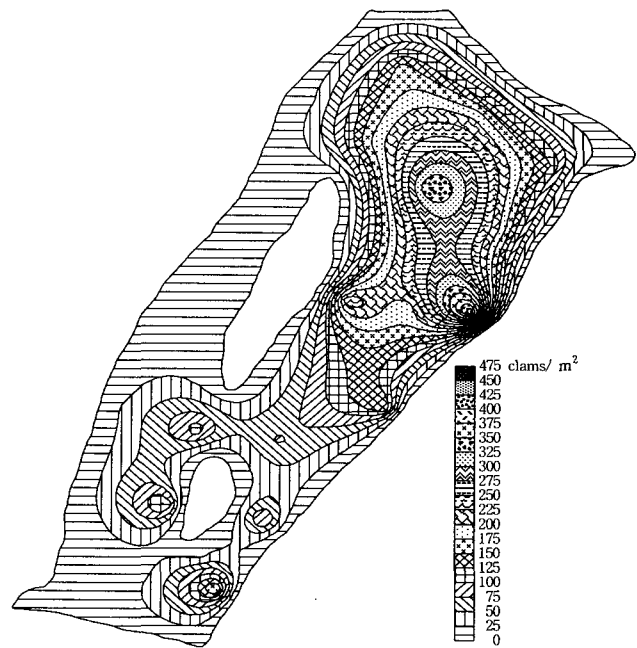


Fig. 8. Distribution and density of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang.

Table 5. Number of individual, ratio and mean weight of *C. (C.) japonica* from Namdae stream

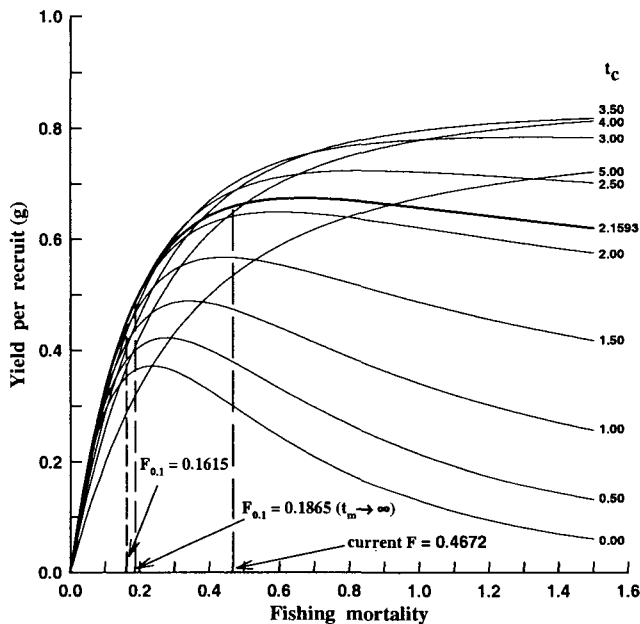
Class of shell length ( <i>i</i> )	Shell length (mm)	Individual number of clams (/m <sup>2</sup> )	Ratio of inds. (%)	Mean weight (g)
1	<10	95	3.16	0.295
2	10~15	161	5.36	1.005
3	15~20	1,352	45.01	2.222
4	20~30	1,310	43.61	6.241
5	30<	86	2.86	11.149
Sum		3,004	100.00	

사망계수 (어획강도)와 적정어구가입연령을 추정하는데 필요한 모수로 이론적인 극한전중 (*W<sub>∞</sub>*) 41.37 g, 성장계수 (*K*) 0.2042/year, 각장이 0일 때의 이론적 연령 (*t<sub>0</sub>*) 0.3169세, 순간자연사망계수 (*M*) 0.5007/year, 어장가입연령 (*t<sub>a</sub>*) 0.0438세, 어구가입연령 (*t<sub>c</sub>*) 2.1593세, 그리고 최대연령 (*t<sub>m</sub>*) 10.2979세를 사용하였다.

어구가입연령 (*t<sub>c</sub>*)을 0~5세의 범위에서 단계적으로 변화시켜 순간어획사망계수 (*F*)에 대한 가입당 생산량 (*Y/R*)의 변화를 살펴보았다 (Fig. 9). 현재의 어구가입연령이 2.1593세이고, 순간어획사망계수가 0.4672/year일 때의 가입당 생산량은 0.6595 g이었다. 어구가입연령을 점차 높일 경우 가입당 생산량이 증가하며, 각 어구가입연령에서 최대의 가입당 생산량을 얻을 수 있는 순간어획사망계수는 점차 커지게 된다. 즉, 가입연령이 1세일 경우 최대 가입당 생산량을 얻을 수 있는 순간어획사망계수는 0.34/year, 2세일 경우에는 0.60/year, 2.5세일 경우에는 0.85/year로 추정되었다. 현재의 어구가입연령에서 순간어획사망계수를 0.66/year까지 높이면 최대의 가입당 생산량 0.67 g을 얻는다. 그러나, 이는 현재수준

Table 6. Mean density, area, number of clams, standing biomass, and stock biomass of *C. (C.) japonica* from Namdae stream

Density class (j)	Density (clams /m <sup>2</sup> )	Mean density of clams (m <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	Number of clams	Standing biomass (kg)	Mean density of stock (m <sup>2</sup> )	Number of stock clams	Stock biomass (kg)
1	0~ 25	22.5	101,376.03	2,280,960	9,361	20.6	2,086,577	8,431
2	25~ 50	47.5	43,795.25	2,080,274	8,537	43.5	1,902,994	7,689
3	50~ 75	72.5	34,699.60	2,515,721	10,324	66.3	2,301,332	9,299
4	75~100	97.5	20,145.13	1,964,149	8,061	89.2	1,796,765	7,260
5	100~125	122.5	15,278.96	1,871,672	7,681	112.1	1,712,169	6,918
6	125~150	147.5	15,226.37	2,245,889	9,217	134.9	2,054,495	8,302
7	150~175	172.5	11,987.29	2,067,807	8,486	157.8	1,891,589	7,643
8	175~200	197.5	11,641.80	2,299,255	9,436	180.7	2,103,313	8,499
9	200~225	222.5	11,067.08	2,462,425	10,106	203.5	2,252,578	9,102
10	225~250	247.5	8,523.90	2,109,666	8,658	226.4	1,929,881	7,798
11	250~275	272.5	8,312.63	2,265,191	9,296	249.3	2,072,152	8,373
12	275~300	297.5	7,930.67	2,359,373	9,683	272.1	2,158,308	8,721
13	300~325	322.5	4,024.04	1,297,753	5,326	295.0	1,187,158	4,797
14	325~350	347.5	1,976.01	686,662	2,818	317.9	628,145	2,538
15	350~375	372.5	511.15	190,403	781	340.8	174,177	704
16	375~400	397.5	292.90	116,428	478	363.6	106,506	430
17	400~425	422.5	169.66	71,681	294	386.5	65,572	265
18	425~450	447.5	41.50	18,571	76	409.4	16,988	69
19	450~475	472.5	0.02	11	0	432.2	10	0
Sum			297,000.00	28,903,891	118,619		26,440,709	106,838

Fig. 9. Yield per recruit curves of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang. Y/R against fishing mortalities ( $F$ ) for various ages at first capture ( $t_c$ ).

에 비해 2.27% 증가하는 것에 불과하다.

순간어획사망계수를 0.2~3/year의 범위에서 단계적으로 변화시켜 어구가입연령에 대한 가입당 생산량의 변화를 살펴보았다 (Fig. 10). 순간어획사망계수를 0.4672/year로 유지하면서 어구가입연령을 현재의 2.1593세에서 2.97세로 증가시키면, 가입당 생산

량이 최대인 0.70 g으로 증가한다. 어구가입연령을 2.1593세 이상으로 계속 증가시키면 가입당 생산량은 감소하여 현재의 어구가입연령에서의 수준을 밑돌게 된다. 또한, 순간어획사망계수가 높아짐에 따라 가입당 생산량이 증가하는데, 순간어획사망계수가 작은 경우에는 증가폭이 크지만, 큰 경우에는 증가폭이 줄어들며 점차 수렴하는 경향을 보인다. 그리고, 최대의 가입당 생산량을 얻을 수 있는 어구가입연령도 순간어획사망계수의 증가에 따라 점차 커지는 것을 나타낸다. 즉, 순간어획사망계수가 0.2/year일 경우 0.51 g의 최대 가입당 생산량을 내는 어구가입연령은 2.34세인데 순간어획사망계수를 1.0/year로 높일 경우 0.80 g인 최대 가입당 생산량을 내는 어구가입연령은 3.47세로 이전보다 가입당 생산량이 57.26% 더 증가하게 된다.

그리고, 어구가입연령 ( $t_c$ )과 순간어획사망계수 ( $F$ )의 상호작용에 의한 가입당 생산량 변화를 알아보았다 (Fig. 11). 곡선 AA'는 주어진 어구가입연령의 변화에 따라 최대의 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결한 선이며, BB'는 순간어획사망계수의 변화에 따라 최대 가입당 생산량을 산출하는 점들을 연결하는 적정어획곡선을 나타낸다. 현재 수준인 점 P의 어구가입연령을 고정하고 순간어획사망계수를 현재의 0.4672/year에서 0.66/year까지 높이면 가입당 생산량이 0.89% 증가하지만, 순간어획사망계수 0.66/year와 어구가입연령 2.1593세의 점을 지나게 되면 계속 감소하게 된다. 현재의 어획강도에서 어구가입연령, 즉 어획개시연령을 2.97세로 올리게 되면 6.14%의 가입당 생산량을 더 얻게 된다.

최대연령 ( $t_m$ )을 무한대로 할 경우 현재의 어구가입연령 2.1593세에 해당하는  $F_{0.1}$ 은 0.1865/year로서, 현재의 순간어획사망계수에서 0.2808/year (60.09%)만큼 낮춰야  $F_{0.1}$ 에 맞출 수 있다. 이 때,

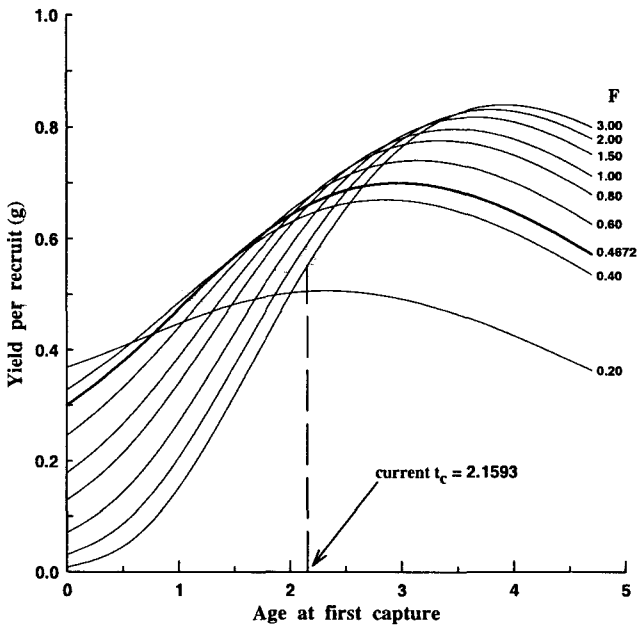


Fig. 10. Yield per recruit curves of *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang. Y/R against the age at first capture ( $t_c$ ) for various fishing mortalities ( $F$ ).

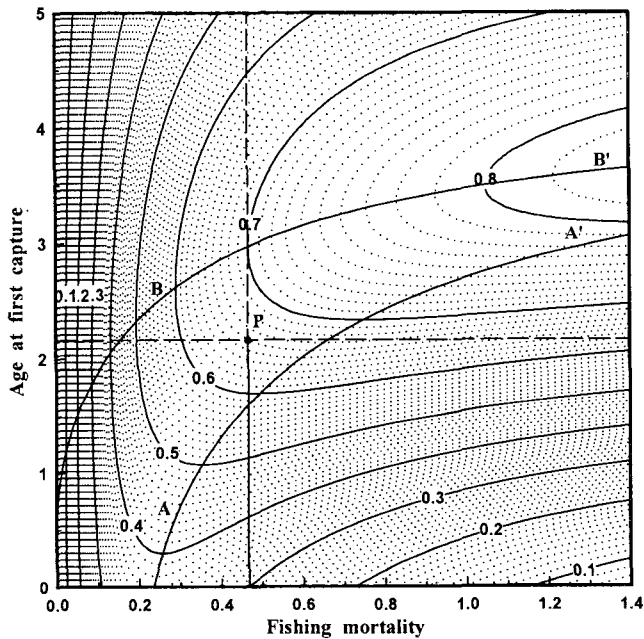


Fig. 11. Yield isopleths for *C. (C.) japonica* from Namdae stream in Yangyang. P represents the current state of fishing mortality ( $F$ ) and age at first capture ( $t_c$ ).

가입당 생산량 (0.4881 g)은 현재의 순간어획사망계수에 의한 가입당 생산량 (0.6595 g)에 비해 0.1714 g 만큼 감소된다. 하지만, 현재 추정된 최대연령을 그대로 적용한 경우  $F_{0.1}$ 은 0.1615/year로 현재의 순간어획사망계수에서 0.3057/year만큼 낮춰야 하며, 이 어획 강도에서의 가입당 생산량 (0.4516 g)은 현재 어획강도에 의한

가입당 생산량에 비해 0.2079 g만큼 감소된다. 따라서, 최대연령을 무한대로 할 경우의  $F_{0.1}$ 은 그렇지 않은 경우에 비해 가입당 생산량이 8.08% 더 높았으며 그에 대한  $F$ 값도 15.42% 더 높게 계산되었다.

또한, 두 경우에 있어서 추정된 생물학적 허용 어획량 (ABC)은 최대연령을 무한대로 한 경우가 14.4톤이었으며, 그렇지 않은 경우가 12.6톤으로 작았다.

### 고찰

宇藤 (1981)에 의하면, 일본의 網走湖에서 채집된 일본재첩의 패각 표면에는 윤문과 같은 모양의 흑갈색의 성장선이 확인되었으나, 이 성장선은 선명하지 않았으며, 또한 관찰되지 않은 개체도 많이 보여, 연령형질로 하여 취급하는 것은 적당하지 않다고 하였다. 그리고, 계단모양의 윤문이 거의 모든 개체에서 확인되었다. 연변부 길이 (각장과 최종윤문경의 差)의 계절적 변화를 조사한 결과, 10월부터 다음 해 6월의 기간에 연변부 길이가 가장 짧아지는 것을 확인하였다. 이에 의해 윤문은 1년에 1번 겨울부터 봄에 걸쳐 형성되는 것으로 보고하였다. 이는 본 연구의 결과와 일치한다.

Jung (1977)에 의하면 낙동강에서 채집된 일본재첩의 경우 주 산란기는 6, 7월이었으며 3~10월까지의 주산란기 이외에도 약간의 산란이 이루어짐이 관찰되었다. Kim et al. (2002a)은 일본재첩의 산란기는 양양 남대천에서 7월 하순부터 9월 하순까지라고 보고하고 있다 (Fig. 12). 그러나, 본 연구에서는 이 자료를 검토한 결과 산란성기가 9월인 것으로 판단하였고, 9월을 산란기로 정하고 이를 기점으로 연령을 추정하였다.

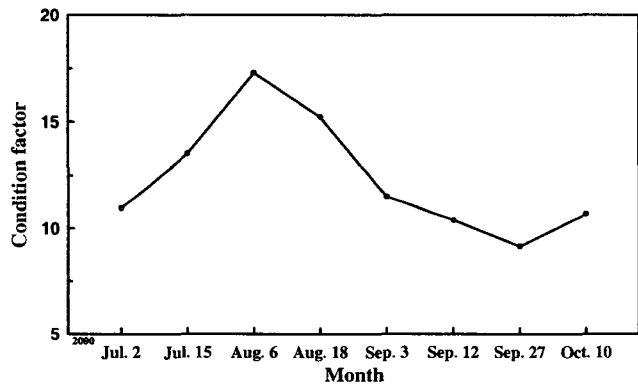


Fig. 12. Variations of condition factor of *C. (C.) japonica* from July to October in 2000. (Kim et al. 2002)

각장-전중의 상대성장에 있어서 각장이 25 mm 이전까지는 회귀곡선을 중심으로 분산이 비교적 작았다. 그러나, 각장 25 mm 이상 증가할수록 분산이 큰 개체들이 많이 확인되었는데 (Fig. 4), 각장이 이 수준 이상 증가할수록 환경 및 생리적인 영향으로 각장-전중의 편차가 커진 것으로 생각된다.

윤문군별로 각장과 윤경간의 대응성을 확인한 결과 (Fig. 5), 윤경의 분산이



는 율문형성시기가 개체간에 변이가 큰 것으로 보이며, 패각이 얇은 어린 시기에는 환경변화에 민감하기 때문에 율문의 형성시기 및 형성크기의 개체간 차이가 비교적 큰 것으로 사료된다.

본 연구에서는 宇藤 (1981)의 연구에서 나타나지 않은 30 mm 이상의 큰 개체들이 27.70%가 출현하였다. 또한 일본의 경우는 76~78년급군의 성장계수  $K$ 와  $t_0$ , 극한각장이 각각 0.22/년, 0.46년, 47.2 mm로 초기에 빠르게 성장한 이후에 점차 성장이 완만해지는 특성을 보였다. 이에 비해 본 연구에서는 저령군과 고령군의 성장이 거의 완만하게 나타났다. 이에 대해서는 본 종이 서식하는 강원도 남대천의 여러 가지 환경적 특성에 기인하는 것으로 사료된다.

생간율을 추정하기 위해서는 여러 해 동안 동일 cohort를 조사한 연령조성 자료가 필요하다. 현장에서 이 방법을 사용하기에는 오랜 시간이 필요하며 여러 가지 어려운 점이 많다. 본 연구에서는 자원의 평형상태를 가정하여 일년 동안의 표본조사를 하였다. 본 조사에서 관찰된 표본의 연령조성은 실제 많은 변동요인이 있는 자연상태에 있어서 모집단의 연령조성과는 어느 정도 차이가 있을 수 밖에 없다. 본 연구에서는 여러 가지 요인을 고려한 다양한 추정방법 중에서 분산이 가장 작은 추정방법이 가장 신뢰성이 있는 것으로 판단하고 이 방법을 적용하여 생간율을 추정하였다. 이에 의해 추정된 순간전사망계수를 자원해석에 이용하였다.

일본계첩을 Beverton and Holt의 가입당 생산량 모델에 적용시켜 자원의 현 상태를 추정한 결과, 현재의 어구가입연령은 2.1593세, 어획강도 (여기서는 순간어획사망계수)는 0.4672/year에서 가입당 생산량이 0.6595 g이다. 이 수준에서 최대의 가입당 생산량을 이끌기 위해서는 어획강도와 어구가입연령을 현재 수준보다 높여야 한다. 그렇게 하면 가입당 생산량을 일정수준 상승시킬 수 있다. 이를 실현시키고자 한다면 조업지역에서의 여러 가지 상황을 고려하여 적절한 수준을 맞추어야 할 것이다.

본 연구에서  $F_{0.1}$ 은 두 가지 방법에 의해 추정되었다. 어느  $F_{0.1}$ 도 현재의  $F=0.4672/year$ 에 비해 현저히 낮은 수준이다.  $F_{0.1}$ 의 계산에서 최대연령을 무한대로 한 경우 가입당 생산량 방정식에서 감소부분인  $e^{-(M+nK)(t_m-t_0)}$ 가 0이 되므로 자연적으로 결과값이 증가할 수 밖에 없다. 최대연령은 어획이 없는 상태에서 정확하게 파악된다. 어획이 계속 진행되는 상황에서는 최대연령을 무한대로 간주하고  $F_{0.1}$ 을 추정할 수 밖에 없다. 본 연구에서는 최대연령을 무한대로 한 경우의  $F_{0.1}$ 과 그렇지 않은 경우의  $F_{0.1}$ 은 차이가 15.42%이었다. Zhang et al. (2000)이 연구한 비단가리비의 경우, 최대연령을 무한대로 한 경우의 순간어획사망계수 (0.1723/year)가 그렇지 않은 경우 (0.1399/year)에 비해 23.15% 컸다. Park et al. (2000)에 의한 갈치의 경우, 전자의 경우가 0.7762/year로, 후자의 경우 0.2532/year보다 206.55% 높게 계산된다. 이와 같이  $F_{0.1}$ 의 계산에서 최대연령을 무한대로 한 것과 그렇지 않은 것의 차이가 큰 것이 어획강도를 조절하기 위한 정책수위를 정할 때 중요한 문제가 될 수 있을 것이다. 따라서, 수산생물의 생물학적 허용어획량을 결정하기 위해  $F_{0.1}$ 을 이용할 때에는 어획이 없는 상태 혹은 수산생물의 생존가능연령에 대한 자료의 확보가 필요하다. 그러나, 실제에 있어서는 자료확보와 관련하여 많은 어려움이 있을 것으로 생각된다.

본 연구결과 최대연령을 무한대로 한 경우 연간 생물학적 허용어획량 (ABC)은 14.1톤으로 추정되었고, 그렇지 않은 경우에는 12.6톤으로 추정되었다. 따라서, 일본계첩을 효율적으로 이용하기 위해서는 최소한 14.1톤 이하로 생산하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

남대천에서는 1998년에 보호수면지정이 해제된 후 패류채취허가를 취득한 어업인이 현재 40명에 달한다. 어업유효기간은 허가 취득 후 5년간이다. 채취채취기를 사용하여 어획할 때에 각장 20 mm 이하는 채취금지로 되어 있다. 이를 지키기 위해 현장에서는 망목 13 mm 이상 되는 채로 걸러 이보다 작은 개체는 현장에서 바로 방류하도록 하고 있다. 현재, 자율적인 어업활동이 진행되는 중이지만, 그에 따른 효과와 적절한 관리상태를 점검하기 위해 본 연구의 결과가 참고자료로 이용되기를 바란다.

## 참 고 문 헌

- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.*, 10, 181~213.
- Beverton, R.J.H. and S.J. Holt. 1956. A review of methods for estimating mortality rates in fish populations, with special reference to sources of bias in catch sampling. *Rapp. P.-V. Reun. Cons. Perm. int. Explor. Mer.*, 140, 67~83.
- 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, Fish. Food*, 19, 533p.
- Beyon, H.K., J.S. Choi and J.K. Choi. 1996. Fish fauna and distribution characteristic of anadromous type fish in Yangyang Nam-dae stream. *Kor. J. Limnol.*, 29, 159~166.
- Chapman, D.G. and D.S. Robson, 1960. The analysis of catch curve. *Biometrics*, 16, 354~368.
- Jo, M.K., K.S. Byun and M.H. Jang. 1998. Distribution and ecology of genus *Corbicula* in the North Kyungsang Province I. Distribution and classification of genus *Corbicula* in the north Kyungsang province. *J. Aquacult.*, 11, 581~592 (in Korean).
- Jung, J.Y. 1977. Ecological studies of a brackish water clam, *Corbicula japonica* PRIME, from Nag Dong river. *Nat. Fresh Water Fish Hat. of Fish. Choeng-pyong, Korea*, 2, 130~140 (in Korean).
- Kim, J.H. and M.S. Yoo. 2000. Reproductive cycle of marsh clam, *Corbicula leana* (Prime) in Hyongsan estuary. *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 184~191 (in Korean).
- Kim, W.K., C.S. Lee, J.Y. Lee and S.B. Hur. 2002a. Production of artificial seedling of the brackish water clam, *Corbicula japonica*. *J. Aquacult.*, 15, 23~29.
- Kim, W.K., C.S. Lee, J.Y. Lee, K.K. Baik and S.B. Hur. 2002b. Environmental factors and population density of brackish water clam, *Corbicula japonica* on Namdae stream in Yangyang, Gangwon. *J. Aquacult.*, 15, 1~6.
- Kwon, O.K., D.K. Min, J.R. Lee, J.S. Lee, J.G. Je and B.L. Choe. 2001. Korean Mollusks with color illustration. Min's Shell House, 332 pp. (in Korean).
- Kwon, O.K., J.S. Lee and G.M. Park. 1987. The studies on the mollusks in the lake Uiam (7) - a study on the gonadal tissues and demibranchs of *Corbicula fluminea* (Palaeoheterodonta: Corbiculidae), *Kor. J. Limnol.*, 20, 30~38.

- Lee, J.S. and J.B. Kim. 1997. Systematic study on the Genus *Corbicula* in Korea. *Kor. J. Sys. Zool.*, 13, 233~246.
- Lee, S.I. 1997. Geostatistical model validation using orthonormal residuals. *KSCE J. Civil Engineering*, 1, 59~66.
- Lee, T.Y. and E.Y. Chung. 1980. Reproductive cycle of marsh clam, *Corbicula fluminea* (v. Muller). *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan*, 12, 47~54 (in Korean).
- Lee, T.Y., J.S. Park, P. Chin, Y.J. Kang, C.H. Sohn and P.Y. Lee. 1985. Studies on environment and biology of aquatic living resource in Nakdong estuary. *Bull. Fish. Res. Dev. Agency*, 34, 5~60 (in Korean).
- Park, C.S., D.W. Lee, Z.G. Kim and Y.J. Kang. 2000. Stock assessment and management of the hairtail, *Trichiurus lepturus* Linnaeus, in Korean waters. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 3, 29~38.
- Pauly, D. 1984. Length-converted catch curves. A powerful tool for fisheries research in the tropics (Part II). *ICLARM Fishbyte*, 2, 9~10.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191, 382p.
- Zhang, C.I., K.K. Park and T.G. Kang. 2000. Stock assessment and management implications of the Korean scallop, *Chlamys farreri*, in the coastal waters adjacent to Wando, Korea. *J. Kor. Soc. Fish. Res.*, 3, 39~49.
- 장창익. 1992. 수산자원 생태학, 399p.
- 田祥麟. 1982. 東海로 流入되는 小河川 水系의 魚類相에 關하여. *自然保存研究報告*, 4, 109~118.
- 舟橋三郎, 原一郎, 山川民夫. 1972. 脂質2. 共立出版社, 376pp.
- 宇藤 均. 1981. 網走湖産ヤマトシジミ *Corbicula japonica* Prime의 成長. *北水試報*, 23, 65~81.

---

2002년 9월 14일 접수

2002년 11월 26일 수리