Korean Journal of Malacology, Vol. 23(1): 25-30, June 30, 2007

한산도 진두해역 양식 바지락의 자원생태학적 연구

조상만, 정우건

경상대학교 해양과학대학 해양산업연구소, 해양생명과학과

Ecological Study of Shortnecked Clam *Ruditapes philippinarum* from the Jindu Coast of Hansan Island, Korea

Sang-Man Cho and Woo-Geon Jeong

Institute of Marine Industry and Department of Marine Biology and Aquaculture, College of Marine Science, Gyeongsang National University,
445 Inpyeong, Tongyeong, Gyeongnam 650-160, Republic of Korea

ABSTRACT

In order to estimate the ecological parameters of the population, short-necked clams, *Ruditapes philippinarum*, were collected from Jindu coast at Hansan Island, from April to December in 2005. The growth of the clam was estimated by von Bertalanffy growth model and each parameters were obtained from a nonlinear regression as L_∞ = 48.8 mm, k = 0.28 and t_0 = -0.88 (R^2 = 0.994). Instantaneous coefficient of total mortality (Z) and fishing mortality (F) was calculated to be 0.8614/yr. and 0.6122/yr, respectively. The age at the first capture was estimated to be 2.88 year. Using the present parameter for clam fishing, the yield-per recruit (Y/R) was estimated to be 3.44g. Although the maximum Y/R was obtained under the parameters (t_c = 3.48 yr. and F = 0.9295/yr), it is favorable to maintain the current fishing effort considering the annual fluctuation of the parameters.

Keywords: *Ruditapes philippinarum*, population ecological parameters, growth, cultural management.

서 론

통영연안은 리아스식 해안선이 잘 발달하여 있고 수심이 적당한 해역이 잘 발달하여 있어 예로부터 수산업이 성행하고 있다. 이 인근해역은 예로부터 각종 양식이 성행하고 있어 다양한 양식장이 존재하고 있다. 최근 한산도와 인근 추봉도를 연결하는 연도교 가설공사로 인하여 인근연안의 자원량 조사를 실시하였다. 한산면은 2 개의 섬으로 구성되어 있고 32 개 마을로 구성되어 있다. 조사연안인 진두 연안은 한산도의 남동부에 위치한 곳으로 인근에는 추봉도와 마주하고 있는 협수로의 인근 지역으로 조류소통이 좋고 선박의 통행이 많은 곳이다.

바지락 (*Ruditapes philippinarum*) 은 진변새 목 (Eulamellibranchia) 백합 과 (Family Veneridae) 에 속하는 종으로 한국과 일본, 중국 연안뿐만 아니라 미국 북서부 연안에서도 다량 서식한다 (Loosanoff and Davis, 1963; Anderson, 1982). 일반적으로 바지락은 각장 3 cm 전후를 상품 크기로 알려져 있고, 이러한 상품크기까지 성장하기 위해서는 최소 2 년 또는 3년 정도의 성장기간을 필요로 하지만 자연산을 채취하는 곳은 대체로 일찍 채취되고, 인위적으로 관리되는 양식어장은 대체로 수출 사이즈인 각장 3.5 cm 이상으로 자랄 때까지 보전된다.

어느 어장의 현존하는 자원량은 그 어장에서 일어나는 모든 자연 및 인위적인 현상을 포함하고 있는 연대기적 의미를 지니므로, 현장에서 채취한 시료를 조사하여 얻은 자원생물학적 특성치로부터 자원동태학적인 특성을 파악할 수 있을 것으로 기대한다.

최근 무분별한 매립과 오염 등으로 인하여 연안양식장의 생산량에 위협을 받고 있어 연안 수산자원의 효율적 관리에 관한 대책이 요구되고 있다. 어업자원을 효율적으로 관리하기 위해서는 대상 생물자원에 대한 자원생태학적 특성 및 자원량을 정확하게 파악하는 것이 무엇보다 중요하다 (Kim and Zhang,

Received May 14, 2007; Accepted June 8, 2007
Corresponding author: Jeong, Woo-Geon
Tel: +82 (55) 640-3101 e-mail: jwg@gnu.ac.kr
1225-3480/23104
© The Malacological Society of Korea

1999).

이 연구는 최근 추봉도와 연도교 공사로 인하여 양식장 관리에 대한 대책이 요구되는 한산도 진두연안의 바지락 양식장의 자원생태학적 특성치를 추정하여 적정 관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 바지락채취

바지락 표본을 채집하기 위하여 간조시에 한산도 진두연안 해역의 간석지에서 임의의 6 개 조사정점을 설정하고 2005년 4월부터 12월까지 3 회 채집을 실시하였다 (Fig. 1). 샘플채집은 1 × 1 m의 방형구를 설치하고 방형구내에 서식하고 있는 바지락을 채 (망목 3 mm) 에 걸러 전량 채취하였다. 채취한 바지락은 전량 실험실로 옮겨 분석하였다.

채집된 바지락은 각장 (shell length, mm) 및 각고 (shell height, mm) 를 0.01 mm까지 측정하였고, 전중 (total weight, g) 은 전자저울로 0.01 g까지 측정하였다. 샘플 중 일부는 패각 연륜을 이용하여 연령 사정하였고, 이를 표준 age-length key를 작성하였다. 그 외 개체의 연령을 연령조성표로부터 환산하였다.

2. 연령과 성장

연령사정은 패각을 10% 염산에 반응시켜 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 연륜으로 간주하였다. 각장 자료를 이용하여 von Bertalanffy (1938) 성장식을 추정하였다. 채집된 개체의 각장와 전중간의 상관관계는 최소자승법으로 회귀선을 취하였고, 이를 성장식에 대입하여 체중에 대한 성장식을 구하였다 (Eq. 1).

$$W_t = W_{\max} \cdot (1-e^{-k(t-t_0)}) \qquad \text{(Eq. 1)}$$

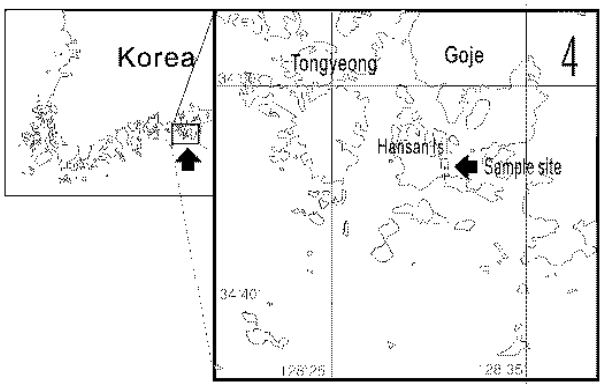

Fig. 1. Sampling site for *Ruditapes philippinarum* on the coast of Jindu at Hansan Island, Korea.

이때, t = 연령, W_t = 연령 t시의 각과, W_∞ = 극한체장, k = 성장계수, t_0 = 각고 0일 때 이론적 연령을 나타낸다.

3. 사망계수

바지락 자원군의 자원량 변화는 다음의 모형과 같이 표현할 수 있다. 즉 초기 개체수를 N_0라고 하면, 시간 t 경과 후 개체수 Nt는 Eq. 2와 같이 표현할 수 있고, 여기서 1-d는 생존율을 의미하므로 생존율 s로 대치하고 양변에 대수를 취하면 Eq. 3과 같다.

$$N_t = N_0 \cdot (1-d)^t \qquad \text{(Eq. 2)}$$

$$\ln(N_t) = \ln(N_0) \cdot \ln(S^t) \qquad \text{(Eq. 3)}$$

이 식은 경과시간 T에 대해서 개체수 NT의 대수값은 직선 회귀함을 나타낸다. 여기서 ln(s) 는 그 직선의 기울기 값으로서 이것은 개체수 감소속도를 의미하는 사망계수에 해당하며, (-) 값을 갖는다. ln(s) = -Z 로 두면 위식은 Eq. 4와 같다.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-zt} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

따라서 사망계수 Z는 Eq. 5와 같이 구할 수 있다.

$$Z = -\ln(\frac{N_t}{N_0})/t \qquad \text{(Eq. 5)}$$

어획개시 전까지는 자원에 작용하는 사망요인은 자연사망요인이라고 보고, 어획개시 후에는 자연사망과 사람에 의한 어획사망의 합력이 작용한다고 보면, 위의 Eq. 5는 어획개시 전까지는 Z 대신 자연사망계수 M으로 대치하여

$$N_t = N_0 \cdot e^{-Mt} \qquad \text{(Eq. 6)}$$

가 되며, 어획개시 후의 개체수는 Eq. 7과 같다.

$$N_t = N_0 \cdot e^{-(M+F)t} \qquad \text{(Eq. 7)}$$

위의 Eq. 7에서 경과시간 T를 조사당시의 치패연령 t_r부터 어획개시연령 t_c까지의 경과시간 (t_c-t_r) 로 대치하고, 초기개체수 N_0를 조사당시의 치패개체수 R로 대치하면, 어획개시연령 t_c에서의 개체수 N_c는 Eq. 8과 같다.

$$N_c = R \cdot e^{-M(t_c-t_r)} \qquad \text{(Eq. 8)}$$

위의 Eq. 8에서 경과시간 t를 어획개시 연령 t_c로부터 현재시점 t까지 경과한 시간으로 대체하고, 초기개체수 N_0를 어획개시 당시의 개체수 N_c로 대체하면 Eq. 9가 된다.

$$N_t = R \cdot e^{-(M+F)(t-t_c)} \qquad \text{(Eq. 9)}$$

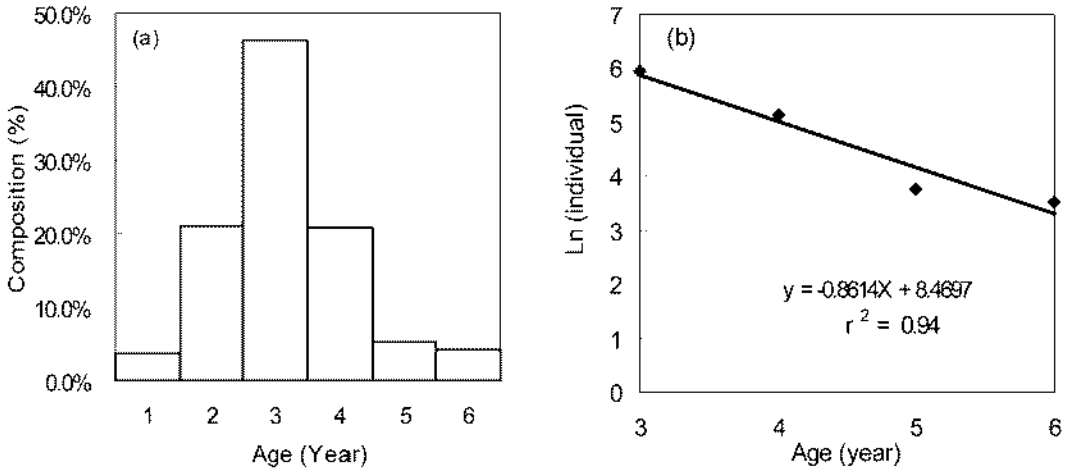

Fig. 2. Year class composition (a) and estimation of total mortality (b) of *Ruditapes philippinarum* captured from Jindu coast at Hansan Island, Korea.

이 식의 N_c대신 Eq. 8을 대입하면, 어획개시후 시점 t에서의 개체수 N_t는 Eq. 10이 된다. 이 식은 어획이 개시된 후의 개체수 변화를 추적하는 모형식이다.

$$N_t = R \cdot e^{-M(t_c - t_r) - F(t - t_c)} \qquad \text{(Eq. 10)}$$

4. 생산량 및 자원평가

어획이 이루어지고 있는 어느 시점 t에서 현존량을 B_t라고 하면 Eq. 11과 같다.

$$B_t = N_t \cdot W_t \qquad \text{(Eq. 11)}$$

여기서 어획되는 생물량은 B_t에 어획률 f를 곱한 값이 된다. 그리고 어기동안의 각 시점별 어획량을 전부 합한 것이 총어획생산량 (Y) 이 된다. 어획개시 연령 t_c부터 최고연령 t_d까지 $t_c \rightarrow t_d$ 동안의 총어획생산량 Y는 Eq. 12와 같다.

$$Y = \sum_{t=t_c}^{t_d} f \cdot N_t \cdot W_t = \int_{t_c}^{t_d} F \cdot N_t \cdot W_t \cdot dt \qquad \text{(Eq. 12)}$$

이 되며, N_t와 W_t는 각각 Eq. 10과 Eq. 1을 대입하면, Eq. 13과 같다.

$$Y = \int_{t_c}^{t_d} F \cdot R \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \cdot e^{-Z(t - t_c)} \cdot W_{max}(1 - e^{-k(t - t_0)})^3 \cdot dt \qquad \text{(Eq. 13)}$$

이를 정리하면 바지락양식장의 총 어획량은 Eq. 14와 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = F \cdot R \cdot W_{max} e^{-M(t_c - t_r)} \sum_{n=0}^{3} \frac{A_n \cdot e^{-nk(t_c - t_0)}}{F + M + n \cdot k} \cdot (1 - e^{-(F+M+nk)(t_d - t_c)}) \qquad \text{(Eq. 14)}$$

(단, n = 0, 1, 2, 3일 때 A_n = 1, -3, 3, -1)

한산도 진두어촌계 바지락 양식장의 적정어획사망계수와 어획개시연령을 구하기 위하여 Beverton and Halt (1957)의 가입당 생산량모델을 적용하여 양식장 적정관리 방안에 대해 논의하고자 하였다.

$$\frac{Y}{R} = F \cdot e^{-M(t_c - t_r)} \cdot W_{max} \sum_{n=0}^{3} \frac{An \cdot e^{nk(t_c - t_0)}}{F + M + n \cdot k} \cdot (1 - e^{-(F+M+nk)(t_d - t_c)}) \qquad \text{(Eq. 15)}$$

결과 및 고찰

1. 연령과 성장

진두지역의 간석지중 바지락 양식장을 위하여 적극적으로 관리되고 있는 면적 5024.4 m^2로 채집기간동안 최고 868 개체/m^2 (5,912.5 g/m^2) 가 채집되었고, 해당 양식장의 평균 서

Table 1. General information of cultural bed for clams, *Ruditapes phillippirum*, at Jindu, Hansan Island.

Items	Unit	Value
Density	individual/m^2	429.8
Unit biomass	g/m^2	3,485.8
Area of the bed	ha	0.5

식밀도는 429 개체/m^2 (1,035 g/m^2) 로 상당히 높은 서식밀도를 나타내었다 (Table 1).

채집된 샘플의 각 연령별 조성비율은 age-length key를 활용하여 구하였고, 그 결과는 Fig. 2와 같다. 채집된 개체 중 3 세군이 46.3%로 가장 많았고, 이후 6 세군까지 지속적으로 감소하였다. Kim and Zhang (1999) 은 진해연안산 바지락의 연령분포를 조사한 결과 4 세군이 최고 연령이라고 보고하였고, 이는 지역성, 서식환경의 차이 및 윤문판단의 상이성 때문에 연구에 따라 차이가 있을 수 있다고 하였다. 우리의 연령분포는 최고 6 세까지 분포하였고, 이는 윤 (1992) 과 조 등 (1995) 의 결과와 같았다.

측정된 자료로부터 한산진두연안의 바지락 양식장에서 서식하고 있는 바지락의 성장식을 산정하기 위하여 연령별 평균 각장을 가중평균하여 각 연령별 평균 각장을 산출하였다. 연령별 평균 각장으로부터 Bertalanffy 성장식을 구한 결과는 Fig. 3 과 같다. 이론적 최대각장은 48.8 mm, 성장계수는 0.28, 각장 0일 때 이론적 연령 (t_0) 은 -0.88으로 나타났다 ($Lt = 48.8(1 - e^{-0.28(t+0.88)})$). 성장식의 결정계수는 0.994이상으로 매우 적합도가 높은 것으로 나타났다 (Fig. 3). t_0값의 경우 연구자에 따라 다소 상이한 결과를 나타낸다. 우리의 연구결과는 타 연구자들의 *Corbicula papyracea* (Kwon *et al.,* 2002a), *Nuttallia olivacea* (Zhang *et al.*, 1999), *Paphia undalata* (Kim *et al.,* 2001) 에 대한 연구와 같이 음 (-) 의 값을 나타내었지만, 다른 연구 즉, *Ruditapes philippinarum* (Kim and Zhang, 1999), *Corbicula japonica* (Kwon *et al.,* 2002b) 를 대상으로 한 연구에서는 양 (+) 의 값으로 제시된 바도 있다. 바지락의 어장가입시의 개체 크기를 고려한다면, t_0는 음 (-) 값을 가지는 것은 타당할 것으로 판단된다.

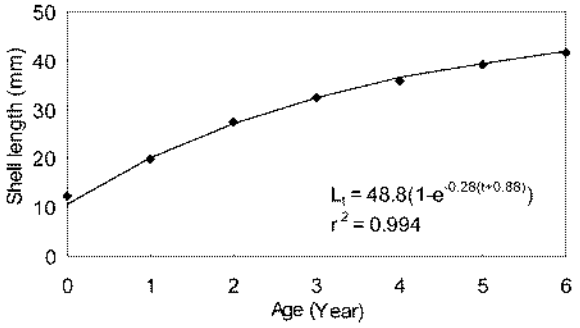

Fig. 3. The von Bertalanffy growth curve by the non-linear regression of *Ruditapes philippinarum* from the coast of Jindu at Hansan island.

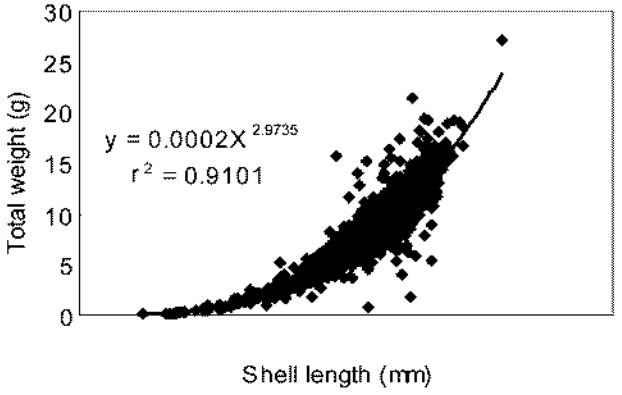

Fig. 4. Relationship between shell length and total weight of *Ruditapes philippinarum* from the Jindu coast at Hansan Island, Korea.

한편, 최소자승법으로 구한 각장-체중간의 상대성장식은 $Y = 0.0002L^{2.9735}$였고, 이는 일반적인 체중-체장관계식에 적합하였다 (Fig. 4).

2. 자연사망계수 및 어획계수 추정

채집된 바지락의 연급군별 현존량 자료는 Fig. 2(a) 와 같고, 어획의 개시가 이뤄지는 3 세군 이후의 현존량의 변화를 통해 전사망계수 (M) 를 추정를 추정한 것은 Fig. 2(b) 와 같다. ($Z = 0.8614$; $r^2 = 0.940$). 한편, 자연사망계수는 Alverson and Carney (1975) 식에 따라 산정한 결과, $M = 0.2426$였고, 어획사망계수 (F) 는 0.6122에 해당하였다. 현장에서 자연사망계수를 추정하기 위해서는 수년에 걸쳐 Cohort의 변동을 관찰해야 하는 등 많은 제약이 따른다. 따라서 대부분의 자원학적 연구에서 어느 시기의 생잔율 추정치로부터 전사망계수를 산정하고 있다. 그러나 인위적으로 어장으로 가입이 조절되는 양식장의 경우 자연 가입량보다 인위적인 가입량이 많아 이러한 자료를 활용하는 데는 충분한 주의를 기울일 필요가 있다.

3. 생산량 및 양식장 관리 평가

양식해역으로의 가입량은 인위적인 가입과 자연재생산력에 의한 가입량을 모두 고려하여야 한다. 그러나 해당양식장의 경우 매년 종패 살포량에 대한 자료가 빈약하여 바지락의 현존량으로부터 가입량을 추정하였다. 평균밀도를 $\tilde{P}$, 자연사망계수를 M, 연령조성에서 나타난 3세군의 개체수 비율을 r_3으로 하면, 가입량 R은

$$R = \tilde{P} \cdot r_3 \cdot e^{3M} \qquad \text{(Eq. 16)}$$

와 같다. 상기의 산정된 자료를 대입하여 가입량을 추정하면, 진두연안의 단위면적당 가입량은 382.1 개체/m^2로 산출되었다.

일반적인 어류 자원의 어획개시연령은 어구선택성에 의해 결정되지만 (Zhang, 1991), 패류, 특히 조간대에 서식하는 바지

락의 경우 어업행위자의 의지에 의해 어획개시 연령이 결정된다. 진두 어촌계의 경우, 내규로 체포 사이즈를 규제하고 있으므로 (대부분 30 mm 이상), 이 해역의 최초 어구가입연령 (t_c) 은 각장 30 mm를 초과하는 크기로 판단된다. 채취한 표본의 연령조성에서 우점연령군의 연령 (t_b) 과 조성비 (P_b) 및 가장 어린 연령군의 연령 (t_a) 과 조성비 (P_a) 를 이용하여 아래와 같은 식을 적용하여 구하였고 (Eq. 17), 또한 채집된 샘플의 연령조성을 통해 분석한 전사망계수와 산출 연역한 자연사망계수가 서로 일치하는 연령을 추정하였다.

$$t_c = \frac{t_a \cdot P_a + t_b \cdot P_b}{P_a + P_b} \qquad \text{(Eq. 17)}$$

어획개시연령 (t_c) 은 각각의 방법에 따라 2.93 세 및 2.88 세로 계산되었고, 이를 성장식에 대입하여 각 연령별 크기를 검토한 결과 2.88 세가 보다 적합한 것으로 판단되었다. 이상에서 추정된 parameters를 대입하여 진두해역의 연간 단위 생산량을 구하면, 1.3 kg/m^{2}로 양식장 면적전체로 환산하면 년간 약 6.6 ton/yr의 생산량을 기록하는 것으로 조사되었다.

어획사망계수 (F) 에 대한 가입당 생산량 (Y/R) 과 어획개시연령 (t_c) 과의 관계는 Fig. 5와 같다. 직선의 종선은 현재의 어획개시연령을 나타낸다. 이때 현재 어획강도에 의한 가입당 생산량은 3.44 g임을 나타내고 있다. 현재의 어획개시연령에서 최대 생산을 얻을 수 있는 어획사망계수는 0.9295/yr 였다. 한편, 어획개시연령 (t_c) 에 대한 순간어획사망계수 (F) 와 가입당생산량간의 관계는 Fig. 6과 같다. 진두해역의 바지락 양식장에서 조사한 순간어획사망계수 F = 0.6434/yr를 수직으로 내리면 현재 어획개시연령의 Y/R은 3.46 g에 해당하였고, 현재의 어획강도를 유지한 상황에서 가장 높은 어획량을 나타내는 어획개시연령은 3.48세이었다.

어획개시연령 (t_c) 와 순간어획사망계수 (F) 의 상호관계에 따른 가입당생산량 (Y/R) 의 변화는 Fig. 7과 같다. 점선 AA'는 주어진 F에 대하여 최대 Y/R을 산출하는 t_c값을 연결한 선이고, BB'는 t_c에 대하여 최대 Y/R을 산출하는 F값을 연결한 선으로 진두연안의 적정어획량의 범위에 해당한다. 현재 진두연안의 어획강도 (P) 는 이 범위 내에 해당하였다. 현재보다 높은 생산량을 위해서는 어획강도와 어획개시연령을 다소 높일 수 있지만, 자연사망계수 등을 고려하면 현재의 어획강도를 유지하는 것이 적당할 것으로 판단된다. 현재의 어획개시연령 (2.88 세) 은 3.48 세까지는 어획량이 증가하는 것으로 조사되

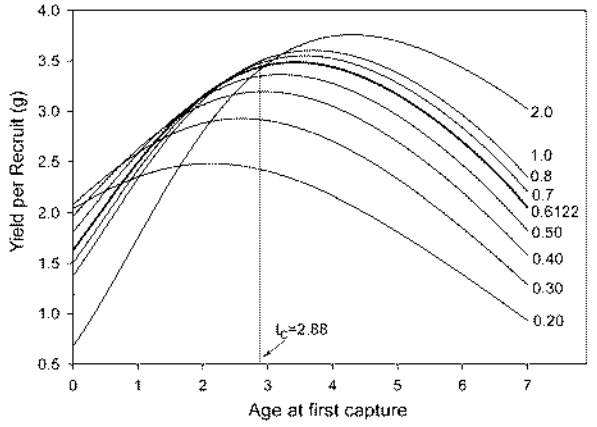

Fig. 5. Yield per recruit curves against age at first capture for *Ruditapes philippinarum* from the coast of Jindu at Hasan Island, Korea.

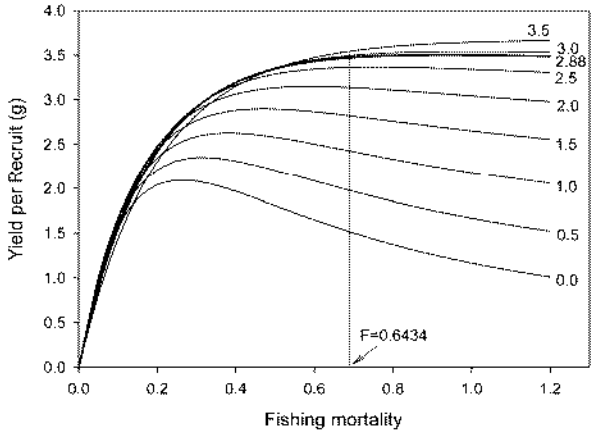

Fig. 6. Yield per recruit curves against fishing mortality for *Ruditapes philippinarum* from the coast of Jindu at Hasan Island, Korea.

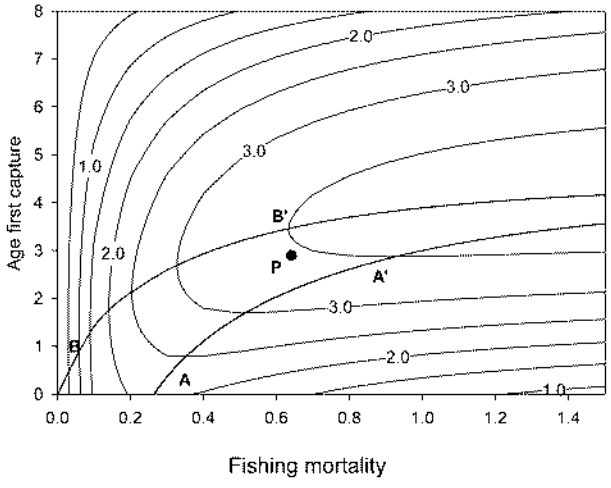

Fig. 7. Yield isopleths for *Ruditapes philippinarum* captured from Jindu coast at Hansan Island, Korea. P represents the current state of fishing mortality (F) and age at first capture (t_c).

었다.

요 약

양식생물의 최적생산을 위해서는 적극적 관리 외에도 환경 개선과 지속적으로 최대생산을 위하여 수산자원학적 관리방안도 함께 강구되어야 한다. 따라서 양식장의 생산성 향상을 위하여 어느 시기에 어느 정도의 사이즈의 생물을 선택적으로 채취하여야 할 것인가는 양식생산 측면에서 아주 중요한 문제가 될 수 있다. 이를 위하여 통영시 한산면 진두연안의 바지락양식장의 양성중인 바지락자원의 자원학적 특성치로부터 가입당 생산량 모델을 구현하였고, 이 모델을 통해 현재의 양식생물 이용현황을 파악하고자 하였다. 현재의 어업형태에 따른 t_c와 F를 적용하면, 가입당 생산량은 3.46 g에 해당하였지만, t_c의 경우 3.48 세까지, F의 경우 0.9295/yr까지 증가시키면 약 5% (3.63 g) 의 생산증대효과를 볼 수 있는 것으로 예상되었다. 그러나 채취시기를 연장함에 따른 사육소요기간의 장기화 및 자연사망계수의 변동 가능성을 고려한다면 현재의 어업행위가 가장 적합한 것으로 판단된다.

REFERENCES

Alverson, D.L. and Carney, M.I. (1975) A graphic review of the growth and decay of population cohorts. *ICES Journal of Marine Science,* **36**(2): 133-143.

Anderson, G.J. (1982) Comments on the settlement of Manila clam spats (*Tapes philippinarum*) at Filucy Bay, Washington, USA. *Journal of Shellfish Research,* **2**(1): 115.

Bertalanffy, L. von, (1938) A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biology,* **10**(2): 181-213.

Beverton, R.J.H. and Halt, S.J. (1957) On the dynamics of exploited fish populations. Fishery Investigations, Series II, Marine Fisheries, Fisheries and Food 19, pp. 533. Great Britain Ministry of Agriculture.

Kim, H.J. and Zhang, C.I. (1999) A population ecological study of Short-necked clam, *Tapes philippinarum* in the adjacent waters of Jinhae. *Journal of the Korean Society of Fishery Resources,* **2**: 32-49. [in Korean]

Kim, Y.H., Chang, D.S. and Park, Y.C. (2001) Preliminary survey of age and growth of the short-necked clam, *Paphia undalata,* in Kwangyang Bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **17**(1): 7-12. [in Korean]

Kwon, D.H., Kang, Y.J. and Kim, D.H. (2002a) Estimation of growth parameters of *Corbicula papyracea* Heude from Chungpyeong. *Journal of Korean Fisheries Society,* **35**(6): 557-562. [in Korean]

Kwon, D.H., Kang, Y.J., Kim, W.K. and Lee, C.S. (2002b) Population dynamics of *Corbicula* (*Corbicula*) *japonica* Prime from Namdae stream in Yangyang, Korea. *ournal of Korean Fisheries Society,* **35**(6): 686-695. [in Korean]

Loosanoff, V.L. and Davis, H.C. (1963) Rearing of bivalve mollusks. *Advances Marine Biology,* **1**: 1-136.

Zhang, C.I. (1991) Fisheries Resources Ecology. 399 pp. Woosung Publishing Co., Seoul, Korea. [in Korean]

Zhang, C.I., Lee, M.W. and Yoon, S.K. (1999) Estimation of population ecological characteristics of Sunset shell, *Nuttallia olivacea*, in Dadaepo shore, Korea. *Journal of the Korean Society of Fishery Resources,* **2**: 24-31. [in Korean]

윤성봉 (1992) 통영 안정리 인접 바지락 자원의 개체군역학적 연구. 부산수산대학 석사학위논문. pp 4-10.

조수근, 장창익, 손명호 (1995) 군산 연안 양식 바지락 (*Tapes philippinarum*)의 형태와 성장에 관한 연구. 군산대학교 논문집 **7**(1): 36-38.