

## 가막만 양식 참굴의 성장과 환경용량 추정에 대한 연구

박 영 철\* · 최 광 식<sup>1</sup>

국립환경연구원 생물자원과, <sup>1</sup>제주대학교 해양과학대학

### Growth and Carrying Capacity of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, in Kamak Bay, Korea

Young Cheol Park\* and Kwang-Sik Choi<sup>1</sup>

Biological Resources Division, National Institute of Environmental Research, KeungSeo-dong Seo-gu, Incheon 404-170, Korea

<sup>1</sup>College of Ocean Science, Cheju National University, Cheju-Do 690-756, Korea

**Abstract** - Growth of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Kamak Bay, Korea was modeled using Von Bertalanffy growth function, seasonal Von Bertalanffy growth function and generalized growth equation of Schnute and Richards' growth model, based on shell length and wet weight frequency data of 9208 oysters. Carrying capacity in the oyster culture ground was also estimated using Schaefer's and Fox's surplus production model. The present results suggest that the generalized growth equation of Schnute and Richards' model is fitter to describe the length growth pattern of *C. gigas* than Von Bertalanffy growth functions. This results also suggest that the current number of culture facility per unit area in 2000 is similar to the number of facility that produces the maximum production of oyster per unit area.

**Key words** : Growth, Carrying capacity, Pacific oyster

### 서 론

참굴, *Crassostrea gigas*는 국내 수산업에 있어 가장 중요한 양식 패류의 하나로 남해안 및 서해안 일대에서 널리 양식되고 있다. 참굴의 양식생산량은 수하식 양식이 급격히 증가한 1975년부터 1987년까지 생산량이 급격히 증가하였으나 1990년대에 들어서면서 생산량이 지속적으로 감소하고 있는 추세에 있다(인하대학교 1999). 가막만은 전남지역 전체 참굴 생산량의 90% 이상이 생산되는 지역으로 1969년부터 북서쪽 내만에서부터 멧목

식양식으로 시작되었으나 1975년부터 수하식 양식으로 전환되었다. 그러나 생산량 증가를 위한 해면의 무질서한 이용으로 인하여 가막만 내의 연간 참굴 생산량은 심한 변동을 보였다(조 등 1996). 가막만의 참굴 생산량은 1987년에 최고치를 보인 후, 1990년대에 들어서면서 감소하기 시작하여 1993년에는 예년 생산량의 약 20%에 그친 것으로 보고되었다(조 등 1996). 1993년 이후 생산량은 다소 증가하였으나, 1990년대 초반 연평균 생산량의 절반 수준을 넘지 못하고 있었다(Fig. 1a).

양식 참굴의 성장은 해당어장의 기초생산력 또는 먹이조건, 수온, 염분, 부유물질의 양, 해류조건 및 부착생물의 양과 종류에 따라 다르게 나타난다(배 등 1976; 김 등 1980; Spencer 1988; Sara and Mazzola 1997). Powell

\*Corresponding author: Young Cheol Park, Tel. 032-560-7246, Fax. 032-560-7253, E-mail: youngyl96@yahoo.com

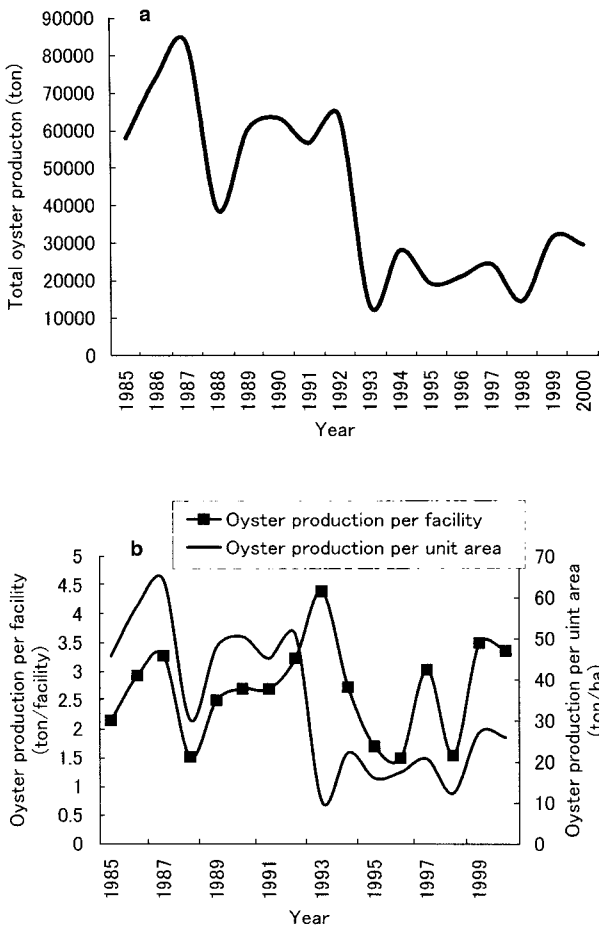


Fig. 1. Historical (a) total production, (b) production per unit area and production per facility for *Crassostrea gigas* in Kamak Bay, Korea.

et al. (1995)은 먹이조건이 미국 굴(*Crassostrea virginica*)의 성장에 미치는 영향을 조사하여 이를 모델화 시켰고 Kobayashi et al. (1997)은 이를 참굴에 적용하였으며 Hyun et al. (2001)은 가막만의 양식 참굴을 대상으로 동일한 방법을 사용하여 먹이성분에 따른 참굴의 성장을 조사한 바 있다. 참굴의 성장에 영향을 미치는 요인들의 변동은 뚜렷한 계절성을 보인다. 즉 고수온기에는 염분이 증가하며 먹이의 지수가 되는 Chlorophyll-a의 양은 봄과 가을에 가장 높고 부유물질의 양은 2월과 3월에 가장 높다(Hyun et al. 2001의 Fig. 2 참조). 성장에 영향을 미치는 대부분의 환경요인들은 그 요인들 서로가 서로에 대해 상관관계를 가지고 있으며 몇몇 환경요인들을 이용해 굴의 성장모형을 단순화하기란 쉬운 일이 아니다(Malouf and Breese 1977). 따라서 본 연구에서는 계절성을 나타내는 참굴의 성장패턴을 성장자료와 Von Bertalanffy 성장모델 및 일반화된 Schnute and Richar-

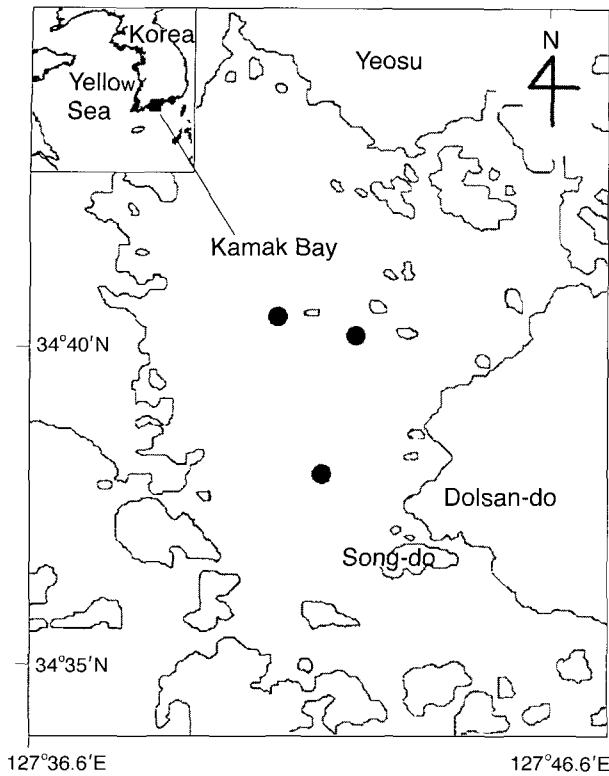
ds(1990)의 모델을 이용하여 일반화하였다.

환경용량(carrying capacity)이란 조 등(1996)의 연구에서 언급되었듯이 ‘주어진 조건하의 환경이 수용할 수 있는 어떤 생물 종의 최대 개체수’라고 정의할 수 있다. 따라서 한 지역의 환경용량은 고정된 절대값이 아니라 환경의 변화에 따라 유동적으로 변하게 된다. 가막만 양식 참굴의 환경용량은 조 등(1996)에 의해 생태계모델로부터 산정된 식물 플랑크톤량과 굴 생체량으로의 전환계수를 이용하여 추정되어진 바 있다. 이 연구에서 사용된 가정은 식물플랑크톤의 탄소량이 전부 굴 생체량으로 전환된다는 것이었다. 이 가정 아래에서는 식물플랑크톤과 양식참굴의 피포식관계를 제외한 식물플랑크톤과 이들을 먹이로 하는 기타 패류 또는 동물 플랑크톤들과의 피포식관계 및 부착생물에 의한 피식 등의 효과들은 무시된다. 대부분의 생태계 모델들에서 나타나듯이 특정 생물의 생체량 변화의 영향을 미치는 요인들을 모두 고려하기란 거의 불가능할 것이다. 고려할 요인들 사이의 관계를 일반화하기도 쉬운 일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 수산자원량의 추정에 이용되는 잉여생산량모델들을 사용하여 역학적인 방법으로 환경용량을 추정하여 보았으며, 추정치들을 바탕으로 가막만의 굴 양식 관리 방안에 대해서도 고찰하여 보았다.

재료 및 방법

본 연구의 재료로 쓰인 월별 각장 및 알굴의 중량분포는 가막만 내의 세곳의 채집지역에 위치한 수하양식장에서 월별 무작위 채취되어진 개체들로부터 측정되었으며, 채집된 월별 개체수는 최소 130개체(1998년 5월)에서부터 최대 1,095개체(1998년 10월)에 이른다(Fig. 2). 각장은 디지매텍 캘리퍼스(Mitutoyo-500)를 이용하여 0.01 m까지 중량은 전자저울(ACOM JW-1C)을 이용하여 0.01 g까지 측정하였다. 1985년부터 2000년까지 가막만의 연도별 수하양식 시설수와 알굴 생산량은 국립수산과학원(미발표자료)과 조 등(1996)으로부터 구하였다. 굴의 성장곡선은 먼저 월별 각장 측정치들을 Von Bertalanffy 성장식(“VBGF”)과 계절변동은 고려한 VBGF(Pauly and Gaschutz 1979)에 적합시켜 추정하였으며 이 추정에는 FiSAT (FAO-ICLARM Stock Assessment Tools; Gayanilo et al. 1993) 컴퓨터 package가 이용되었다.

또 다른 성장곡선은 계산된 월별 각장자료들을 일반화된 Schnute and Richards(1990)의 성장식에 적합시켜 구하였으며, 성장 계수들의 추정을 위해 비선형회귀분석



**Fig. 2.** Study area in Kamak Bay, Korea, showing sampling stations (Black circles) for the growth analysis of *Crassostrea gigas*.

법이 이용되었다. 이용된 VBGF, 계절변동을 고려한 VBGF 그리고 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식은 다음과 같다.

\* VBGF:

$$L_t = L_\infty [1 - \exp(Kt_0 - Kt)] \quad (1)$$

\* 계절변동을 고려한 VBGF:

$$L_t = L_\infty [1 - \exp\{- (K(t - t_0) + SK \sin 2\pi(t - t_s)/2\pi)\}] \quad (2)$$

\* 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식:

$$Y_t = Y_\infty [1 + \alpha \exp(-Kt^\gamma)]^{-1/\beta} \quad (3)$$

여기서  $L_t$ 는 연령  $t$ 에서의 각장,  $L_\infty$ 는 이론적 최대각장,  $t_0$ 는 길이가 0일 때의 이론적 연령,  $Y_t$ 는 연령  $t$ 에서의 각장 또는 중량,  $Y_\infty$ 는 이론적 최대각장 또는 최대중량이고,  $S$ 와  $t_s$ 는 각각 계절변동을 나타내는 상수들이며  $K$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $\gamma$ 는 각각 성장매개변수들이다.

길이가 0 일때의 이론적 연령  $t_0$ 는 다음과 같이 구하였다.

$$t_0 = t + (1/K) \ln [1 - (L_t/L_\infty)] \quad (4)$$

여기서  $L_t$ 와  $t$ 는 평균각장(48.7 mm) 및 그때의 연령 (0.31) 을 사용하였다.

Schnute and Richards (1990)는 그들의 연구에서  $L_\infty$ 에 대해 언급하지 않았으나  $L_t$ 의 값이  $L_\infty$ 까지 변한다고 가정한다면 원래의 Schnute and Richards (1990) 식 (i.e.  $L_t = [1 + \alpha \exp(-\alpha t^\gamma)]^{-1/\beta}$ )에 비해 더욱 일반적인 형태의 식 (3)을 얻을 수 있다.

추정된 각각의 성장곡선들과 기존의 참굴 성장계수들을 비교하기 위하여 성장수행계수 ( $\psi$ ; growth performance index; Pauly and Munro 1984)를 다음과 같이 구하였다.

$$\psi = \ln(K) + 2 \ln(L_\infty) \quad (5)$$

가막만 수하양식장의 환경용량은 1) Schaefer (1957)의 잉여 생산량모델과 2) Fox (1970)모델을 사용하여 회귀직선법으로 추정하였으며 이때 어획노력량으로는 단위 면적 당 연간 수하시설의 수를 사용하였고 어획량은 단위 면적 당 연간 총습중량을 사용하였다. 사용된 잉여생산량 모델들은 다음과 같다.

\* Schaefer (1957) 모델:

$$U_t = U_\infty - (qU_\infty/r)t \quad (6)$$

\* Fox (1970) 모델:

$$\ln(U_t) = \ln U_\infty - (q/r)t \quad (7)$$

여기서  $U_t$ 는  $t$ 년의 단위노력 당 어획량,  $r$ 는 자원의 내적 자연증가율,  $q$ 는 어획능력계수,  $f_t$ 는  $t$ 년의 어획노력량, 그리고  $U_\infty$ 는 초기 단위 노력 당 어획량이다. 위의 모델들은 보통의 잡는 어업에 있어서의 어획의 영향을 파악하기 위해 고안된 것들로서 어획량과 노력량 자료를 사용하여 단순회귀분석을 통해 각각의 매개변수들과 최대 지속적 생산량("MSY": Maximum Sustainable Yield)을 구할 수 있다 (i.e. 식 (6)의 경우  $MSY = rU_\infty/(4q)$  이고 식 (7)의 경우는  $MSY = rU_\infty/(eq)$ 가 된다; 장 1991의 249-268쪽 참조). 이들 모델들은 어획량과 노력량 사이의 관계를 이용해 평형 생산량 곡선을 추정하고 이로부터 최대치 즉 MSY를 구하여 어획 관리에 이용하는 방법들이다.

본 연구의 대상은 잡는 어업이 아니라 기르는 어업이므로 위의 모델을 이용해 구해진 최대 평형 생산량은 MSY가 아니라 단위 면적 당 최대생산량("MPUA": Maximum Production per Unit Area) 즉, 단위면적 당 환경용량이 된다. 자료로 사용된 기간동안의 환경변화는 없으며 단위양식면적 내에서 단위시설 당 생산량은 환경의 수용력을 대표하는 좋은 지수가 된다고 가정하였다.

결 과

양식 참굴의 평균 연령은 산란과 채묘가 시작되는 6월을 기준으로 하여 6월 1일을 0년으로 가정하여 환산하였다. 양식 참굴은 거의 채묘 후 1년간 단련시킨 후 이듬해 6월부터 양성을 시작하게 된다. 양성을 시작한 후에는 1년 이내에 수확하게 되므로 연령 2세 이후의 성장에 대해서는 본 연구에서 다루지 않았다. 또한 단련 기간 중에는 성장이 일어나지 않는 것으로 가정하였으며, 따라서 본 연구에서 추정된 성장 계수들은 양성이 시작된 이후의 개체들에 대해서 추정되었다.

양식 참굴의 길이 성장은 뚜렷한 계절성을 보였다. 즉 양성 직후부터 연령이 1.4세 되는 초가을까지 패각의 길이 성장은 빠른 증가를 보였다. 그러나 평균 연령 1.4세부터 1.9세가 되는 초봄까지 성장률은 급격한 감소를 보이고, 그 이후 봄 동안 다시 성장률은 증가하였다(Fig. 3a). 이러한 길이 성장의 계절적 특성으로 인해 Bertalanffy 성장 모델보다는 계절변동을 고려한 Bertalanffy 모델이나 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장 모델이 가막만 양식 참굴의 성장 양상을 더욱 정확히 표현하는 것으로 나타났으며, 적합도는 일반화된 Schnute

and Richards (1990)의 성장 모델이 가장 높았다(Table 1). 무게 성장의 경우는 길이 성장 패턴과는 다소 다른 양상을 보였다. 즉 무게 성장률은 1.8세가 되는 초봄 이후에 최고를 보였다(Fig. 3b).

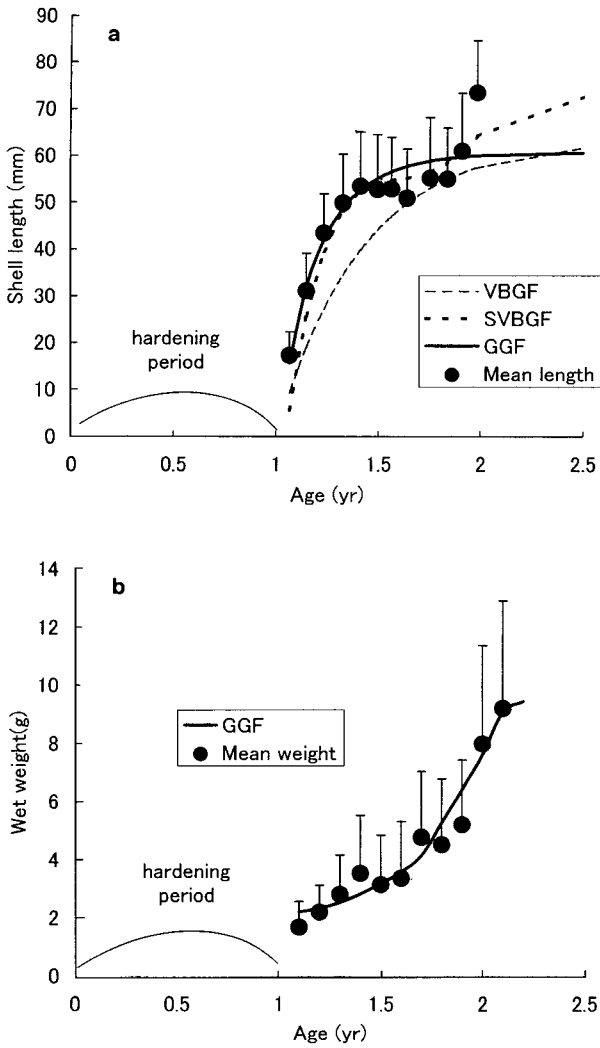
본 연구에서 추정된 환경용량은 단위 양식면적 당 최대생산량으로 단위면적 당 시설대수에 대한 최대 생산량을 의미한다. 단위 양식면적 당 생산량과 시설 대수의 자료를 Schaefer 모델과 Fox 모델에 적용시기 전에 자료의 변화 양상을 조사하였다.

단위시설 당 생산량은 전체 시설대수가 가장 적었던 1993년(연평균 시설대수의 약 20%)에 헥타 당 4.4 ton으로 최고 값을 나타냈으나 전반적으로 1.5~3.5 ton 사이에서 해마다 심한 변동을 보였다(Fig. 1b). 한편 총 생산량과 거의 유사한 년 변화를 보인 단위면적 당 생산량은 1987년에 헥타 당 약 64 ton으로 최고값을 기록한 후 1988년엔 헥타 당 약 30톤으로 급격히 감소하였으나 1989년에서 1992년까지는 줄곳 약 45톤 내외에서 유지되었다(Fig. 1). 그러나 1993년 또 한번의 급격한 감소로 10톤 내외까지 떨어졌고 그 이듬해인 1994년부터 2000년 현재까지는 15에서 25톤 사이에서 유지되고 있는 것으로 나타났다(Fig. 1).

따라서 단위 면적당 생산량의 년 변화를 요약하자면

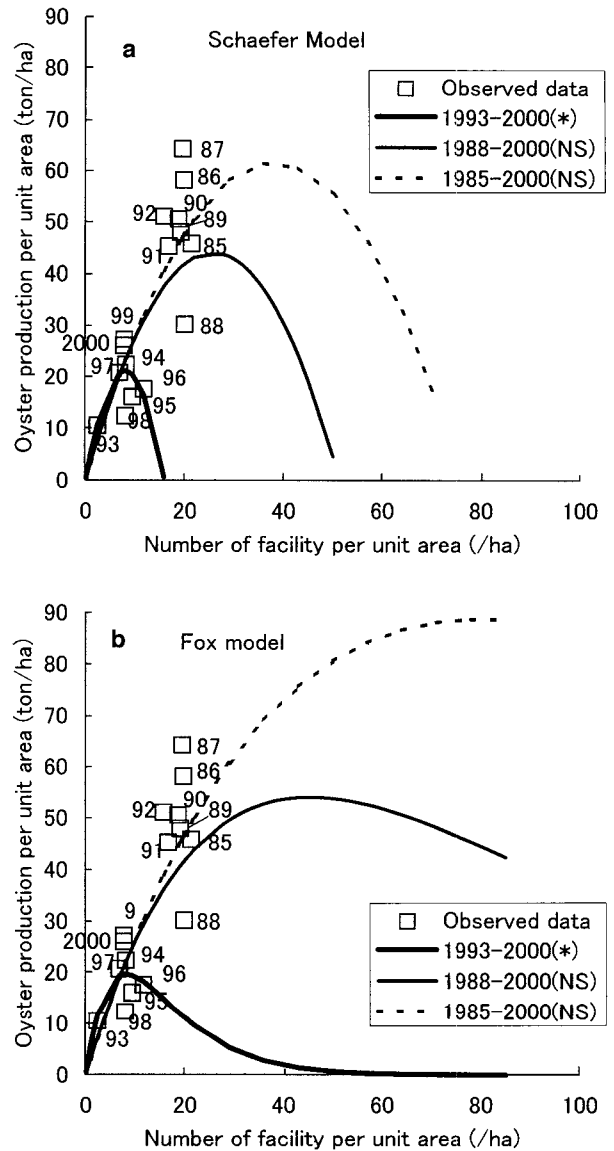
**Table 1.** Growth parameter estimates of *Crassostrea gigas* for each length-growth model. VBGF = Von Bertalanffy growth function; SVBGF = seasonalized VBGF; GGF = Schnute and Richards' generalized growth function; NLR = nonlinear regression analysis; FiSAT = FAO-ICLARM stock assessment computer package;  $W_{\infty}$  = asymptotic meat weight;  $L_{\infty}$  = asymptotic shell length; K = curvature parameter of growth functions; C = parameter showing the amplitude of seasonal growth oscillation in the SVBGF; WP = winter point in the SVBGF (i.e.  $t_s + 0.5$ );  $t_0$  = the age that fish would have had at length zero;  $\alpha$ ,  $\beta$  &  $\gamma$  = growth parameters in the GGF;  $\phi$  = growth performance index (eq. (5)); Bracketed figures = standard errors; March 1997-May 1998<sup>a</sup>; June 1997-May 1998<sup>b</sup>; fixed value<sup>c</sup>

Parameters	Estimation method:	FiSAT				NLR
	Data used:	Input data A <sup>a</sup>		Input data B <sup>b</sup>		Input data B <sup>b</sup>
	Growth model:	VBGF	SVBGF	VBGF	SVBGF	GGF
$L_{\infty}$ (mm)		63.50	75.50	65.00	75.00	60.83 (3.36)
K (yr <sup>-1</sup> )		2.40	2.10	2.50	2.20	4.66 (1.12)
$t_0$ (yr)		-0.30	-0.19	-0.25	-0.17	
C			0.90		0.90	
WP			Dec.		Jan.	
$\alpha$						-1.15 (0.59)
$\beta$						-0.95 (0.33)
$\gamma$						0.85 (0.33)
$\phi$		9.18	9.38	9.27	9.42	9.76
R <sup>2</sup>		0.60	0.64	0.71	0.81	0.84
$W_{\infty}$ (g)						24.05
K (yr <sup>-1</sup> )						1.89 (0.25)
$\alpha$						10.21 (2.59)
$\beta$						1 <sup>c</sup>
$\gamma$						2.05 (0.64)
R <sup>2</sup>						0.91



**Fig. 3.** Estimated growth curves of *Crassostrea gigas*. a) length growth curves; b) weight growth curve; VBGF = Von Bertalanffy Growth Function; SVBGF = Seasonal Von Bertalanffy Growth Function; GGF = generalized growth equation of Schnute and Richards' growth model; error bars = standard deviations of the mean values.

1988년과 1993년의 급격한 감소를 기준으로 계단형의 감소경향을 보이고 있다고 할 수 있다. 본 연구에서 사용한 두 모델은 다른 여러 잉여 생산량 모델들(Walters and Hilborn 1976; Schnute 1977)에서와 같이 입력자료가 불안정 할 때는 추정치의 변이가 매우 크게 나타난다. 그래서 본 연구에서는 참굴의 단위면적 당 생산량 변화를 바탕으로 세 가지 입력자료(즉, 1985~2000년, 1988~2000년, 과 1993~2000년 자료)를 사용하였다. 적용된 두 모델에서 모두 1985~2000년과 1988~2000년의 자료를 사용하였을 경우는 1993~2000년의 자료를



**Fig. 4.** Production and number of facility per unit area for *Crassostrea gigas* with the estimated equilibrium production curves using 1985~2000, 1988~2000 and 1993~2000 data sets. a) fits of Schaefer model; b) fits of Fox model; NS = not significant; \* = significant.

사용하였을 경우에 비해 추정된 최대 생산량이 최대 네 배까지 큰 값을 보였으나 큰 변이로 말미암아 통계학적으로 유의한 추정치를 얻지는 못하였다(Fig. 4, Table 2). 반면, 1993~2000년의 자료를 사용하였을 경우는 유의한 MPUA의 추정값을 얻을 수 있었다(Table 2). 1993~2000년의 자료를 사용하여 추정된 헥타 당 최대생산량과 이때의 시설대수는 Schaefer 모델을 적용하였을 경우 21.17 ton과 8대였으며 Fox 모델의 경우 19.70 ton

**Table 2.** Maximum productions of oyster per unit culture area (MPUA) and the corresponding number of facilities (FAC<sub>MP</sub>) in the Kamak Bay obtained from the two estimation methods

Models	Data used	MPUA (ton/ha)	FAC <sub>MP</sub> (facility/ha)	R <sup>2</sup>	Significance
Schaefer model	1985~2000	61.65	38	0.10	NS
	1988~2000	44.09	26	0.18	NS
	1993~2000	21.17	8	0.69	*
Fox model	1985~2000	88.79	80	0.05	NS
	1988~2000	54.13	45	0.12	NS
	1993~2000	19.70	8	0.61	*

NS: not significant ( $P > 0.05$ ); \*: significant ( $P < 0.05$ )

과 8대 였다. 두 경우 모두 2000년 현재의 헥타 당 생산량인 26 ton보다 작았으나 최대생산량을 산출하는 헥타 당 시설대수 추정치들은 2000년의 7.8대 (ha<sup>-1</sup>)와 유사한 값을 보였다.

## 고 찰

본 연구결과는 Yoo *et al.* (1972)의 거제만 양식 참굴자료를 Von Bertalanffy 성장 곡선에 적용시킨 Vakily (1992)의 결과와 유사하게 나타났다. Vakily (1992)의 연구에서 이론적 최대장장, L<sub>∞</sub>와 성장계수, K는 본 연구결과와 유사한 61.3~64.2 (mm)과 2.35~2.69 (year<sup>-1</sup>)의 범위를 보였다 (Table 1). 성장수행계수 ( $\phi$ )는 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식에 적용했을 때가 가장 높았으며, 이는 Bertalanffy 성장 모델에 적합시켰을 경우가 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식을 이용했을 때 보다 가막만 양식 참굴의 성장률이 상대적으로 과소평가 되고 있음을 나타낸다 (Table 1). 모델 적합도는 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식에 적용했을 때가 가장 높았으나 이 경우 적용한 세가지 모델 중 가장 많은 다섯개의 매개변수를 추정하여야 하는 단점도 가지고 있다. 입력자료가 불안정하거나 개체 변이가 심한 종의 경우에는 많은 매개변수들을 동시에 추정하는 것이 불가능할 때가 많으며, 이때에는 추정 매개변수의 수가 적은 Bertalanffy 모델이 유용할 수도 있을 것이다.

양식 참굴의 증량 자료를 일반화된 Schnute and Richards (1990)의 성장식에 적합 시켰으나 성장 매개변수 중의 하나인  $\beta$ 를 1로 고정시키기 전까지는 추정치의 수렴이 일어나지 않았다.  $\beta$ 를 1로 고정시키면 식 (3)은 Robertson (1923)의 지수성장 곡선 (즉,  $Y_t = Y_{\infty} / (1 + \alpha \exp(-Kt))$ )과 비슷한 형태를 하게되며 가막만 양식 참굴의

증량자료에 대해 높은 적합도를 보였다 ( $R^2 = 0.91$ ; Table 1; Fig. 3b).

양식 참굴의 성장에 관한 연구는 우리나라에서 여러 학자들에 의해 많이 다루어져온 주제라 할 수 있다. 그러나 최근의 Hyun *et al.* (2001)의 연구를 제외하면 우리나라 양식 참굴의 성장모델에 대한 연구는 미미하였다. 지금까지의 굴 성장에 대한 연구들을 살펴보면 크게 상대성장 또는 계절별, 해역별, 단련-비단련 성장률의 비교에 대한 연구(배 1973; 유 등 1980; 민 등 1999)와 월 평균 각장이나 체중을 온도 등의 환경요인과 비교 해석해 보는 연구(배 등 1976; 김 등 1980; 송 등 1988)들로 나눌 수 있다. 반면 성장 특성에 대한 모델연구(Vakily 1992; Mancera and Mendo 1996)나 성장현상과 관련된 환경요인과의 정량적인 관계를 다루는 연구(Spencer 1988; Sara and Mazzola 1997; Kobayashi *et al.* 1997; Hyun *et al.* 2001) 등은 국내에서 상대적으로 매우 부족한 실정이다. 굴의 성장을 모델화 시키는 연구들은 이러한 굴 개체군의 양적 변동을 규명하기 위해서 뿐만 아니라 굴의 성장과 환경과의 정량적 관계를 규명하는 연구에 중요한 기초자료로 이용될 수 있다.

양식장의 환경은 해마다 같을 수 없으며, 환경여건이 변함에 따라 환경용량 또한 변하게 된다. 단위면적 당 생산량이 환경수용력의 지수로 사용 할 수 있다고 하더라도 연도별 환경여건이 일정하다는 본 연구의 가정은 무리가 있다고 생각된다. 따라서 본 연구의 환경용량 추정치는 관측된 시설대수와 생산량을 기초로 하여 추정된 관측기간동안의 환경용량 대표치라고 생각할 수 있다. 만약 관측기간동안의 생산량이나 시설대수가 급격히 변한 경우의 추정치는 본 연구의 1985~2000년과 1988~2000년의 자료를 사용하였을 때와 같이 통계적 유의성을 확보하기 어려운 경우가 많으며, 유의성을 확보한다고 하더라도 정확한 최근의 환경용량 값과는 심한 차이를 보일 수 있다.

이러한 경우는 생태계모델을 이용한 방법이 유용할 수도 있다고 생각된다. 단지 생태계모델을 이용함에 있어 비현실적인 가정들을 개선해야함은 물론이다. 조 등 (1996)이 생태계모델을 이용한 환경용량 산정의 연구에서 1994/1995년 추정 기초생산량을 바탕으로 산정한 가막만 양식 알굴의 환경용량은 21.42 ton ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>였다. 이 값을 년 평균 수율 0.22 (조 등 1996, Table 1)로 나누면 헥타 당 총 환경용량은 약 98 ton에 이른다. 만약 가막만의 단위면적당 환경용량이 일정하다고 가정한다면 이 값은 1994년도 헥타 당 생산량인 22.36 ton이나 1995년의 16.09 ton 보다는 월등히 큰 값으로 단위면적당 양식시설대수를 증가시켜도 생산량은 계속 증가

할 것이란 예측을 가능하게 한다.

그러나 실제 1996년의 헥타 당 시설대수는 12대로 1994년의 8대보다 증가하였으나 헥타 당 생산량은 22.36 ton에서 17.6 ton으로 감소하였다. 물론 1996년의 환경용량이 1994년의 그것보다 환경의 악화로 인해 급격히 줄었을 가능성이 있지만 환경용량이 과대 추정되었을 가능성도 생각할 수 있다. 즉 조 등(1996)이 가정 한 가막만내 식물플랑크톤이 전부 양식 참굴의 생체량으로 바뀐다는 가정은 다소 무리한 것으로 생각된다.

참굴의 전환계수(즉, 참굴이 섭취한 탄소량에 대한 성장으로 전환된 탄소량의 비율)가 정확히 추정되었다고 가정하더라도 굴 이외의 생물에 의해 섭취되는 식물 플랑크톤량은 따로 고려해 주는 것이 바람직하다. 우선 가장 큰 소비군으로 동물플랑크톤을 들 수 있을 것이며 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. Fig. 4에 나타난 연도별 단위면적 당 생산량과 시설대수는 비록 1993년 이전 자료를 사용했던 추정의 결과가 유의하지 않았다 하더라도 주의 깊게 분석해 볼 필요가 있다. 우선 Fig. 4에 나타난 관찰점들을 세개의 그룹으로 구분해보면 다음과 같이 나눌 수 있을 것이다. 즉,

group-a: 1986, 1987;

group-b: 1985, 1988, 1990, 1991, 1992;

group-c: 1993-2000.

group-a, b, c의 모든 관찰점들을 함께 살펴보면 단위 면적 당 생산량과 시설대수의 관계는 대략적인 선형 관계라 볼 수 있으나 group-c의 관찰점만을 고려한다면 이들 생산량과 시설대수사이의 관계가 선형이라 볼 수는 없다.

물론 이러한 고찰은 주관적이긴 하지만 1993년 이전의 환경용량이 1993년 이후보다 상당히 컸을 가능성이 있다고 생각된다. 사실상 생산량을 관리하는 실질적인 수단이 시설대수라고 생각할 때 환경용량 그 자체보다는 어장관리에 더욱 중요한 지수는 환경용량을 생산하는 시설대수일 것이다. 본 연구결과는 2000년 현재의 시설대수(7.8 ha<sup>-1</sup>)가 추정된 환경용량 만큼의 생산량을 생산하는 시설 대수(8 ha<sup>-1</sup>)에 매우 가깝다는 것을 보여 준다. 1999년과 2000년의 관측점이 Schaefer 모델과 Fox 모델 모두에서 추정된 환경용량보다 크다는 사실은 환경의 관점에서 볼 때 매우 바람직한 현상이라 생각된다. 이는 최근 1999년과 2000년의 환경 수용력이 1990년대 중반에 비해 증가되었을 수 있다는 것을 의미한다.

1999년과 2000년의 단위 면적당 생산량(26~27 ton ha<sup>-1</sup>)이 1993년부터 2000년까지의 자료로부터 추정된 MPUA(20~21 ton ha<sup>-1</sup>) 보다 다소 높지만 MPUA를 산출하는 시설대수(8.0대 ha<sup>-1</sup>)는 2000년(7.8)과 유사하기

때문에 안정적인 환경 및 생산관리를 위해서 현재의 시설대수를 유지하는 것이 바람직할 것으로 생각된다 (Table 2). 만약 생산력의 일시적인 증가가 관찰되었다 하더라도 이것이 일시적인 환경요인의 영향인지 아니면 전반적인 환경조건의 호조로 인한 생산력 증가인지를 판단하기 위해서는 보다 자세한 조사와 지속적인 관찰이 필요할 것이다. 그러나 근본적으로는 환경의 관점에서 기준이 되는 환경기준용량(environmental capacity)을 설정한 다음 이 기준에 맞도록 어장을 관리하는 것이 필요하며 환경기준치의 설정은 관련기관의 이해관계보다는 환경의 자정능력을 최우선으로 고려하여야 한다고 생각된다.

## 적 요

가막만 양식 참굴의 성장양상을 모델화 하기 위해 1997년 3월부터 1998년 5월까지 양식장에서 무작위 채집된 총 9,208개체의 각장 및 습중량을 조사하였으며, 참굴 양식장의 환경용량을 추정하기 위하여 1985년부터 2000년까지의 단위면적 당 생산량과 시설대수를 조사하였다. 참굴의 성장모델 추정에는 Bertalanffy 성장식, 계절변동을 고려한 Bertalanffy 성장식과 일반화된 Schnute and Richards 성장식이 사용되었고, 환경용량의 추정을 위해서는 Schaefer 와 Fox의 잉여 생산량 모델들이 사용되었다. 추정된 길이 성장모델은 Bertalanffy 모델을 적용하였을 때 보다 일반화된 Schnute and Richards 성장식을 적용했을 때 적합도가 높았다. 추정된 환경용량은 Schaefer 모델에서 21.17 ton ha<sup>-1</sup>, Fox 모델에서는 19.7 ton ha<sup>-1</sup>로 2000년 현재의 단위면적 당 생산량 26.1 ton ha<sup>-1</sup>보다 낮았으나 환경용량을 생산하는 시설대수는 8대(ha<sup>-1</sup>)로 2000년 현재의 7.8대(ha<sup>-1</sup>)와 유사한 값을 보였다.

## 사 사

귀중한 자료를 제공해주신 국립수산물과학원의 김성연 님과 이 논문작성을 위해 발전적 조언을 해주신 조은일 교수님, 유재원 박사님, 오경희 박사님께 고마움을 전합니다.

## 참 고 문 헌

김 윤, 윤동수, 강필애. 1980. 참굴 수하양식에 관한 연구,

- (VII)-굴양성장의 환경과 성장. 국립수산진흥원 연구보고. 25:35-43.
- 민광식, 김태익, 허성범, 허영백, 전창영, 김대회. 1999. 참굴, *Crassostrea gigas*, 인공종묘와 천연종묘의 성장과 생존. 국립수산진흥원 연구보고. 57: 43-53.
- 배경만. 1973. 참굴 수하양식에 관한 연구, (II) 해역별 성장도에 대하여. 국립수산진흥원 연구보고. 11:59-69.
- 배평암, 김주련, 강필애, 김 윤. 1976. 참굴 수하양식에 관한 연구, (III) 양식굴의 어장환경별 성장도에 대하여. 국립수산진흥원 연구보고. 15:73-81.
- 송홍인, 김백균, 김귀영. 1988. 서해산 참굴, *Crassostrea gigas* (Thunberg)의 이식성장에 관한 연구. 국립수산진흥원 연구보고. 41:55-63.
- 유성규, 박주석, 진평, 장동석, 임기봉, 박청길, 홍성윤, 조창환, 허중수, 이삼석, 강필애, 박경양, 이영숙, 김 윤. 1980. 굴양식장 종합조사. 국립수산진흥원 연구보고. 24: 7-46.
- 유성규, 유명숙, 박종남. 1972. 굴의 양식에 관한 생물학적 연구(I) 참굴의 성장. 국립수산수대연보. 12(2): 63-76.
- 인하대학교. 1999. 굴 가상식 양식기법 개발 연구. 해양수산부 최종연구보고서.
- 장창익. 1991. 수산자원 생태학. 우성문화사.
- 조은일, 박청길, 이석모. 1996. 가막만의 환경용량산정(II)-굴양식장의 환경용량산정. 한국수산학회지. 29(5): 709-715.
- Fox WW Jr. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. Trans. Amer. Fish. Soc. 90: 80-88.
- Gayanilo FC Jr, P Sparre and D Pauly. 1996. FAO-ICLARM stock assessment tools (FiSAT): user's manual. FAO Computerized information series, Fisheries No. 8., ICLARM, FAO, Rome. pp. 1-126.
- Hyun K, I Pang, JM Klinck, K Choi, J Lee, EN Powell, EE Hofmann, EA Bochenek. 2001. The effect of food composition on Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg) growth in Korea: a modelling study. Aquaculture. 199: 41-62.
- Kobayashi M, EE Hopmann, EN Powell, JM Klinck and K Kusaka. 1997. A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. Aquaculture. 149: 285-321.
- Malouf RE and WP Breese. 1977. Seasonal changes in the effect of temperature of water flow rate on the growth of juvenile Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. Aquaculture. 12: 1-13.
- Mancera E and J Mendo 1996. Population dynamics of the oyster *Crassostrea rhizophorae* from the Cienaga Grande de Santa Marita, Colombia. Fish. Res. 26:139-148.
- Pauly D and G Gaschütz. 1979. A simple method for fitting oscillating length growth data, with a program for pocket calculators. ICESCM 1979/G: 24, Demersal fish cttee. pp. 1-26.
- Pauly D and JL Munro. 1984. Once more on the comparison of growth in fish and invertebrates. Fishbyte. 2(1):21.
- Powell EN, JM Klinck, EE Hopmann, EA Wilson-Ormond and MS Ellis. 1995. Modelling oyster populations: V. Declining phytoplankton stocks and the population dynamics of American oyster (*Crassostrea virginica*) populations. Fish. Res. 24:199-222.
- Robertson TB. 1923. The chemical basis of growth and senescence. J.B. Lippincott, Philadelphia. pp. 81-94. In 수산자원 생태학(장창익 저) 우성문화사.
- Sara G and A Mazzola. 1997. Effects of trophic and environmental conditions on the growth of *Crassostrea gigas* in culture. Aquaculture. 153: 81-91.
- Schaefer MB 1957. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter. Am. Trop. Tuna Comm. Bull. 2: 245-285.
- Schnute J 1977. Improved estimates from the schaefer production model: theoretical considerations. J. Fish. Res. Bd. Can. 34: 583-603.
- Schnute JT and LJ Richards. 1990. A unified approach to the analysis of fish growth, maturity, and survivorship data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 24-40.
- Spencer BE. 1988. Growth and filtration of juvenile oysters in experimental outdoor pumped upwelling systems. Aquaculture. 75:139-158.
- Vakily JM. 1992. Determination and comparison of bivalve growth, with emphasis Thailand and other tropical areas. ICLARM Tech. Rep. 36:1-125.
- Walters CJ and R Hilborn. 1976. Adaptive control of fishing systems. J. Fish. Res. Bd. Can. 33: 145-159.

(Received 30 September 2002, accepted 19 November 2002)