

## 굴 양식수역의 환경용량 산정

### II. 거제·한산만의 환경용량

박중수<sup>+</sup> · 김형철 · 최우정 · 이원찬 · 김동명\* · 구준호 · 박청길\*  
국립수산과학원 환경관리과, \*부경대학교 환경공학과

## Estimating the Carrying Capacity of a Coastal Bay for Oyster Culture

### II. The Carrying Capacity of Geoje-Hansan Bay

Jong Soo PARK<sup>+</sup>, Hyung Chul KIM, Woo Jeung CHOI, Won Chan LEE  
Dong Myung KIM\*, Jun Ho KOO and Chung Kil PARK\*

Marine Environment Management Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea

\*Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

A 3D hydrodynamic-ecological coupled model was applied to estimate carrying capacity in Geoje-Hansan Bay where is one of the most important oyster culturing grounds in Korea. We considered the carrying capacity as the difference between food supply to the oysters and food demand, considering monthly difference of the actual growth. The food supply to the system was determined from the results of the model simulation (tidal exchange and chlorophyll *a*) over the culturing period from September to May of the following year. The food demand was estimated from the food concentration (chlorophyll *a*) multiple the filtration rate of oysters that is considered monthly different growth rate of oysters and food concentration. The values of carrying capacity for the system varied from 6.1 ton/ha (minimum carrying capacity) in February to 14.91 ton/ha (maximum carrying capacity) in April of marketable size oysters (>4 g wet-tissue weight) depending on temporal variations in the food supply. The oyster production calculated from present facilities was 9 ton/ha in wet-tissue weight in Geoje-Hansan Bay. This value corresponded to 60% of maximum carrying capacity of the system. The optimal carrying capacity without negatively affecting on oyster production was 5.5 ton/ha when calculated from annual statistic data and 6.1 ton/ha when determined by this study. These results suggest that it must be reduced 32%~39% of oyster facilities in the system.

Key words: Ecosystem model, Carrying capacity, Food supply, Food demand, Oysters, Geoje-Hansan Bay

## 서 론

최근 내만 해역에서 어패류 양식은 과거에 비해 보다 집약적으로 이루어지고 있으나, 양식생물 생산량은 점차 감소하거나 더 이상 증가하지 않고 있는 실정이다. 이러한 원인으로는 여러 가지가 있겠지만, 우리는 이것을 양식생물 생산량을 유지시키는 시스템의 능력, 즉 환경용량 (carrying capacity)에 초점을 맞추어 접근하고자 한다.

생태계 내 환경용량의 개념은 개체군 생태학으로부터 유래하였고 (Verhulst, 1845; Pearl and Reed, 1920; Errington, 1934), Dame and Prins (1998)는 환경용량을 생태계의 특성으로 간주하여 어떤 개체군의 생물량이 더 이상 증가하지 않을 때 이러한 주변 환경하에 부양되는 생물량의 총수로서 최대 환경용량 (maximum carrying capacity)이라고 하였고, 연구자에 따라 최대 수용력이라는 용어를 사용하기도 한다 (平野, 1992).

그리고, 환경용량의 개념을 패류 양식과 같은 자연 자원의 개발 (exploitation)에 적용하여 일년 생산량을 중요한 변수 (para-

meter)로서 설명할 수 있다. 日本水産資源保護協會 (1989)는 환경용량의 개념을 첫째, 어장의 최대 생산력 또는 최대 수용력, 둘째, 어장을 유지시키기 위해 보전해야 할 환경조건, 셋째, 어장의 변화를 일으키기 시작하는 인위적인 영향의 한계로 정의하고 있고, Caver and Mallet (1990)은 성장률에 부정적인 영향을 미치지 않고 생산량 정도가 최대에 도달할 때 생물의 현존량 (stock density)으로 진주담치 양식을 예로 연안의 작은 만의 환경용량을 산정하였다.

따라서, 환경용량의 개념을 반폐쇄적 연안이나 양식이 집약적으로 행해지는 만에 적용할 경우 환경의 관점에서 보면 양식어장의 환경악화를 일으키기 시작하는 오염물질 부하량의 한계 즉, 자정능력의 한계를 의미하고, 양식생물의 관점에서 보면 주어진 환경조건 하에서 양식어장의 최대 수용력이라 말할 수 있다 (平野, 1992). 그러므로, 연안 해역의 환경관리는 환경용량 산정을 통하여 환경용량 이하로 오염물질 유입량을 삭감시키는 방향으로 환경관리를 해야 하며, 양식생물의 측면에서는 최대 수용력 이하로 양식시설을 설치하여야 한다.

양식어장의 수용력을 산정하기 위해 楠木 (1986)은 해역의 생산력 또는 먹이량으로부터 수용력을 구하는 방법을 제안하였고,

<sup>+</sup>Corresponding author: jsparkk@nfrdi.re.kr

기초생산력 또는 먹이 공급 가능량은 모두 패류의 생육으로 전환되지 않으므로 양식 굴의 에너지의 전환 효율 (Kim, 1980)을 이용하여 Cho et al. (1996)은 가막만을 대상으로 알굴 최대 생산량을 산정한 바 있다.

최근에는 해수유동을 통한 먹이원의 공급 양상 (Incze and Lutz, 1981; Rosenberg and Loo, 1983; Wildish and Kristmanson, 1984; Fréchette and Bourget, 1985)과 동물플랑크톤과 자연산 패류를 포함한 다른 섭식자간 먹이경쟁 (Hanson et al., 1986; Rodhouse and Roden, 1987; van der Tol and Scholten, 1998) 및 양식생물의 생리·생태 및 연안해역의 물질순환 과정을 포함하는 생태계 모델을 이용하여 환경용량 산정에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다 (堀口·中田, 1993; Dowd, 1997; Bacher et al., 1998; Bayne and Warwick, 1998; Ferreira et al., 1998; van der Tol and Scholten, 1998; Chapelle et al., 2000).

한편, 일정 크기를 가진 시장성 있는 상품으로서의 환경용량에 대한 접근이 시도되었는데 (Héral, 1993), Bacher et al. (1998)과 Campbell and Newell (1998)은 개체별 성장률을 포함하여 연간 최대 생산량을 위한 최적 생물 크기 (seed size)와 밀도 (seed density)를 예측하기 위하여 모델링 기법을 이용하였으며, 패류 양식을 위한 환경용량을 시장성 있는 상품 (cohort)의 연간 생산량이 최대가 될 때의 현존량 (standing stock)으로 정의하여 참굴과 진주담치에 대해 각각 환경용량을 산정하였다. 또한, 시장성 있는 상품 (cohort)이 최대 생산량에 도달할 때의 생물 크기로 정의되는 시장개척 환경용량 (exploitation carrying capacity)과 나아가 자연 자원의 시장개척을 경제학적 차원으로 해석하여 시장성 있는 상품의 최대 생산량보다는 투자에 대한 최대 이익이 일반적으로 중요한 목적으로 해석되는 경제적 환경용량 (economic carrying capacity)으로까지 적용 분야에 따라 다양하게 접근되고 있다 (Smaal et al., 1998).

따라서, 본 연구의 목적은 양식생물에 부정적인 영향을 주지 않고 생물 생산량이 최대가 될 때의 양식 시설량을 정의한 Carver and Mallet (1990)의 개념을 적용하여 과밀양식으로 인하여 굴의 성장이 저조하고 양식기간이 연장되고 있는 거제·한산만 굴 양식의 적정 환경용량을 산정하고자 한다. 이러한 결과는 최소의 비용으로 최대의 효과를 거두는 경제의 원리를 찾아 지속적인 생산성 유지를 위한 방안을 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

재료 및 방법

1. 대상해역

거제·한산만은 크고 작은 섬으로 둘러싸여 있으며, 만 내에는 총 4개의 만구가 있고, 이곳을 통해 해수교환이 이루어지고 있다. 또한, 거제·한산만은 Fig. 1과 같이 굴 양식장이 구역별로 서로 다른 면적으로 시설되어 있으며, 해수유동에 따른 먹이 공급량의 분포 및 수용력 또한 소구역별로 서로 다르기 때문에 총 5개 (A~E)의 소구역으로 나누어 조사하였다.

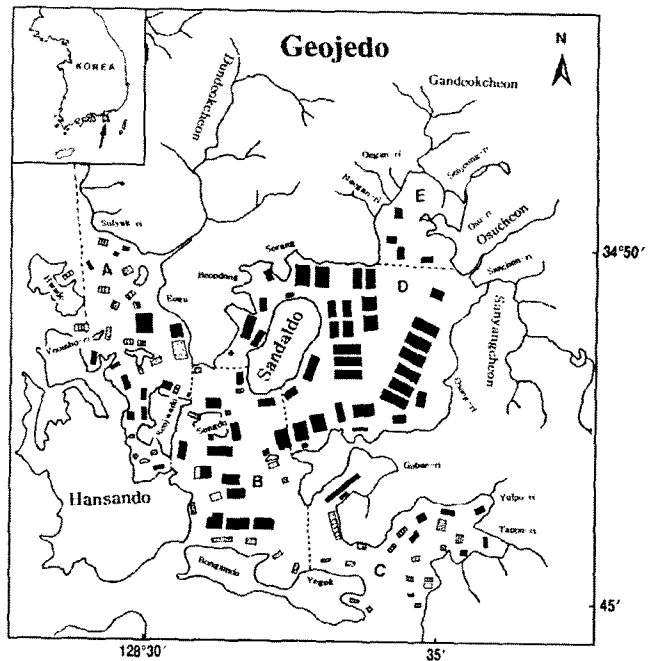


Fig. 1. Distributions of oyster (■), sea squirt (□), net cage (▨) and others (□) facilities in Geoje-Hansan Bay.

2. 먹이 공급량 추정

거제·한산만 굴 양식어장의 환경용량을 산정하기 위하여 대상해역의 해수유동을 재현하기 위한 해수유동 모델 (hydrodynamic model)과 chlorophyll a, COD (chemical oxygen demand), DIN (dissolved inorganic nitrogen), DIP (dissolved inorganic phosphorus), POC (particle organic carbon), DOC (dissolved organic carbon) 등의 현장 관측치를 입력자료로 사용하여 단위시간당 식물플랑크톤의 생산량, 즉 기초생산력을 예측하기 위한 생태계 모델 (ecosystem model)의 모식도 및 입력자료는 Park et al. (2002)과 같다. 본 연구에서는 거제·한산만의 기초생산력을 대상해역 양식 굴의 먹이 공급량으로 간주하였다.

3. 양식 굴의 먹이 요구량

3.1. 여수율

우리나라와 환경조건이 유사하고 일본산 참굴을 대상으로 한 Kobayashi et al. (1997)의 참굴의 여수율을 적용하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$2.0 \text{ g} < W_d; FR_w = 2.51W_d^{0.279}$$

$$W_d \leq 2.0 \text{ g}; FR_w = 0.117W_d^3 - 1.05W_d^2 + 3.09W_d + 0.133$$

$$FR = \frac{FR_w T^{0.5}}{4.47} \tag{1}$$

FR: filtration rate (L/individual/h)  
 W<sub>d</sub>: dry meat weight (g)  
 T: Temperature (°C)

3.2. 먹이 요구량

양식 이매패류의 수용력 산정에 있어서 먹이 요구량은 먹이의

농도에 여수율을 곱하여 산정하고 있으며 (Carver and Mallet, 1990), 본 연구에서도 참굴의 먹이 요구량은 월별 성장을 고려한 여수율에 생태계 모델에 의해 계산된 월별 chlorophyll *a* 농도를 곱하여 산정하였다.

4. 수용력 산정

생태계 모델로 추정된 먹이 공급량을 먹이 요구량으로 나누어 수용력을 산정하였다.

$$\text{Carrying capacity (ton wet tissue/ha)} = \frac{\text{Food supply (gC/m}^2\text{/day)}}{\text{Food demand (mgC/g wet-tissue/day)}} \quad (2)$$

본 연구에서는 양식 굴의 먹이원으로서 식물플랑크톤 만을 가정하였다. 현장관측을 통한 굴 먹이량은 양식 굴이 먹고 남은 양을 측정하게 되므로, 양식 굴이 없는 조건의 월별 먹이량을 산정하기 위해 비 양식시기인 5월의 관측결과를 생태계 모델에 입력하여 식물플랑크톤의 양을 재현하였다. 5월의 재현된 결과를 토대로 월별 식물플랑크톤 양을 추정하였다. 월별 식물플랑크톤 현존량 변화를 재현하기 위해 기초생산력에 영향을 미치는 요인으로 수온, 염분, 일사량, 일조시간 및 오염 부하량 등을 고려하였다.

양식 굴의 먹이 요구량은 거제·한산만 양식 굴의 월별 성장 자료를 이용하여 식 (1)에 의해 월별 여수율을 구하고, 생태계 모델로 구한 월별 식물플랑크톤의 농도를 곱하여 산정하였다.

여수율의 단위는 굴 개체당 여수율 (L/individual (ind.)/day) 또는 굴 단위 중량당 여수율 (L/g wet-tissue/day)로 표현되며, 여기에 식물플랑크톤 농도를 곱한 먹이 요구량은 굴 개체당 먹이 요구량 (mgC/ind./day) 또는 알굴 단위 중량당 먹이 요구량 (mgC/g wet-tissue/day)으로 표현된다. 수용력 산정에 있어 먹이 요구량의 단위는 알굴 중량당 먹이 요구량 (mgC/g wet-tissue/day)을 기준으로 하였다.

결과 및 고찰

1. 대상해역 양식 굴의 성장

1.1. 굴의 육 성장

통영일원의 굴 양식은 6~8월 사이에 채묘하여 곧바로 양 성장에 수하하며, 이듬해 4월까지 대부분 수확한다. 굴의 성장은 패각 성장과 연체부 성장으로 나뉘며, 패각 성장은 수온 상승기에, 연체부 성장은 수온이 하강하는 가을철부터 빠르게 일어나는 것이 일반적이다 (Bae, 1998; 유, 1979; 2000).

굴의 육 성장은 거제·한산만 내에 위치한 통영군 한산면 예곡 어장에서 수하시점인 9월부터 이듬해 5월까지 월별로 조사한 결과 (NFRDI, 1993)를 이용하여 참굴의 육질부 성장곡선을 구해본 결과  $Y=0.4502e^{0.276x}$  ( $R^2=0.97$ )로 나타났고, 9월과 10월의 육중량은 외삽법으로 산정하였다 (Fig. 2).

참굴의 서식과 성장은 여러가지 요인에 의해 지배될 수 있지만 특히, 생산성은 어장 여건에 따라 차이가 있다. 굴은 서식수역의

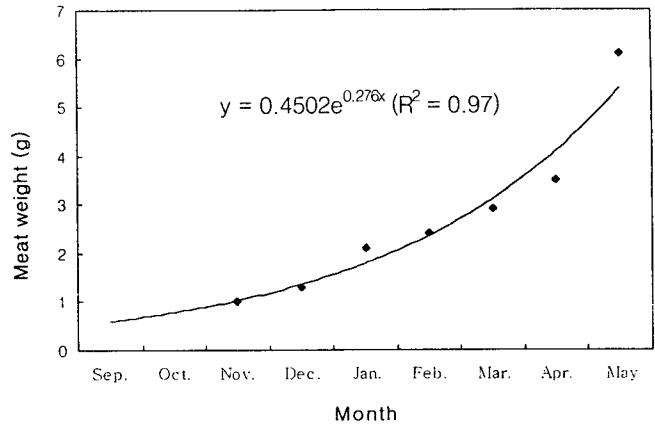


Fig. 2. The growth patterns of wet-tissue weight of *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay, which is of the form,  $Y=0.4502e^{0.276x}$  ( $R^2=0.97$ ) (after NFRDI, 1993).

식물플랑크톤과 현탁유기물 (detritus)의 섭취가 성장에 직접적인 요인이 되며 (Askew, 1972; Lim et al., 1975; Agius et al., 1978), 부착생물들과의 경쟁관계 (Hanson et al., 1986) 등에 의하여 영향을 받는다.

1.2. 월별 여수율

본 연구에서 여수율 산정을 위해 사용한 식 (1)은 알굴의 건중량과 온도의 함수로 표현되어 있으나, 실제 현장 자료는 습중량으로 표현되어 있다. 습중량의 월 변화를 건중량으로 표현하기 위해 Kang et al. (2000)이 거제·한산만에서 월별로 시료를 채취하여 분석한 자료를 이용하여 건중량과 습중량의 상관성을 구하였다 (Fig. 3).

상관식은  $Y=0.1757X$ 로 표현되었으며, 상관성 ( $R^2=0.86$ )은 양호하였다. 건중량과 습중량의 상관식을 이용하여 Fig. 2의 월별 습중량 변화를 건중량으로 환산하여 여수율 산정에 이용하였다.

여수율 계산을 위한 또 다른 함수인 수온은 국립수산물과학원에서 거제·한산만에 대해 1980~1998년 간 조사한 월별 평균 수온 자료를 이용하였다. 이와 같은 값들을 이용하여 거제·한산만 참굴

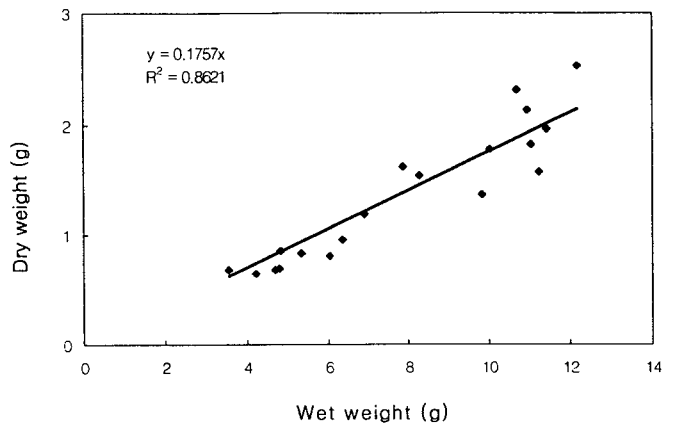


Fig. 3. The relationship between wet and dry-tissue weights of *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay.

의 월별 여수율을 산정한 결과를 Table 1에 나타내었다.

굴의 개체당 여수율은 11.28~53.47 L/ind./day, 단위 습중량당 여수율로 환산하면 8.77~19.12 L/g wet-tissue/day로서 개체당 여수율은 습중량의 증가와 비례하여 증가하였지만 습중량당 여수율은 습중량이 적을수록 여수율이 증가하였다.

**Table 1. Filtration rates of *Crassostrea gigas***

Parameters	Month									
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Water temperature (°C)	23.7	19.6	16.4	12.2	11.7	7.5	11.9	12.5	17.5	
Wet-tissue weight (g/ind.)	0.59	0.78	1.0	1.3	2.1	2.4	2.9	3.5	6.1	
Dry-tissue weight (g/ind.)	0.10	0.14	0.18	0.23	0.37	0.42	0.51	0.61	1.07	
Filtration rate (L/ind./day)	11.28	12.96	14.26	14.81	20.91	18.44	26.88	31.39	53.47	
Filtration rate (L/g wet-tissue/day)	19.12	16.62	14.26	11.39	9.96	7.68	9.27	8.97	8.77	

**2. 먹이 공급량**

양식 굴의 먹이원으로서 생태계 모델로 계산된 거제 · 한산만의 기초생산력, 즉 먹이 공급량은 계산 시작 시점인 9월에 1.12 gC/m<sup>2</sup>/day의 높은 값을 나타낸 이후, 점차 감소하여 2월에 0.19 gC/m<sup>2</sup>/day로 최저치를 나타내었으며, 5월에 1.27 gC/m<sup>2</sup>/day로 최고치를 나타내었다 (평균: 0.62 gC/m<sup>2</sup>/day) (Park et al., 2002). 그리고, 먹이 공급량은 해역에서 해수유동의 변화에 따라 크게 달라지기 때문에 (Incze et al., 1981; Wildish and Kristmanson, 1984) 크고 작은 섬으로 둘러싸여 해수유동의 양상이 독특한 특성을 가지고 있는 거제 · 한산만을 Fig. 1과 같이 A~E까지 소 해역별로 구분하여 생태계 모델에 의해 소해역별로 각각 먹이 공급량을 계산하였으며, 그 값은 Park et al. (2002)에 잘 나타나 있다.

**3. 양식 굴의 먹이 요구량**

**3.1. 성장에 따른 먹이 요구량**

양식 굴에 의한 먹이 요구량은 여수율과 먹이 농도의 함수 (Carver and Mallet, 1990)이며, 여수율은 수온과 개체 육중량의 함수 (Kobayashi et al., 1997)로 양식 수용력을 결정하는 중요한 요소이다. 본 연구에서 여수율은 Table 1에 나타내었으며, 굴의 먹이 생물인 chlorophyll *a*의 월별 현존량은 생태계 모델을 이용하여 계산하였다. 월별 먹이 요구량은 Table 2와 같이 여수율에 생태계 모델에 의해 계산된 월별 chlorophyll *a* 농도를 곱하여 산정하였다.

생태계 모델로 계산한 월별 chlorophyll *a* 현존량은 50.0~101.0 µgC/L (1.0~2.0 µg/L) 범위, 평균 65 µgC/L (1.30 µg/L)이었으며, 가을철에서 겨울철로 가면서 점차 낮아지고, 봄철로 접어들면서 점차 높아지는 경향을 보였다. Choi et al. (1997)은 거제 · 한산만의 chlorophyll *a* 조사에서 2월은 평균 1.98 µg/L (0.98~3.09 µg/L), 5월은 평균 1.73 µg/L (0.96~2.76 µg/L), 11월은 평균 1.09 µg/L (ND~3.44 µg/L)로 보고하였지만, 조사 년도마다 월별 관측치

**Table 2. Food demand of oysters obtained from multiple chlorophyll *a* by filtration rate**

Item	Month									
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Chlorophyll <i>a</i> (µgC/L)	101.0	60.5	51.0	50.5	50.0	52.0	59.5	66.0	94.0	
Filtration rate per individual oyster (L/Ind./day)	11.28	12.96	14.26	14.81	20.91	18.44	26.88	31.39	53.47	
Food demand per individual oyster (mgC/Ind./day)	1.14	0.78	0.73	0.75	1.05	0.96	1.60	2.07	5.03	
Filtration rate per g wet-tissue (L/g wet tissue/day)	19.12	16.62	14.26	11.39	9.96	7.68	9.27	8.79	8.77	
Food demand per g wet-tissue (mgC/g wet-tissue/day)	1.93	1.01	0.73	0.58	0.50	0.40	0.55	0.59	0.82	

농도의 편차가 크게 나타났다. 또한, Lee et al. (1991)은 9월에서 5월까지 평균 1.70 µg/L (1~2 µg/L)로 보고하고 있으며, 수온이 상승하는 5월부터 농도가 증가하기 시작하여 수온이 낮은 계절에 농도가 낮게 나타나 계절에 따른 농도 분포 경향은 본 연구에서 나타난 결과와 같은 경향을 보이고 있다. 그러나, Choi et al. (1997)과 Lee et al. (1991)의 월별 평균치는 본 연구의 결과치보다 다소 높거나 이와 유사한 값을 나타내고 있지만, 국립수산물과학원 (unpublished data)이 2000년 2월부터 그 이듬해 2월까지 조사한 자료에 의하면, 수온이 낮은 계절 (10~2월)에 0.21~0.36 µg/L (평균 0.26 µg/L)로 낮은 chlorophyll *a* 농도 분포를 보였고, 수온이 상승하는 계절 및 하계 (3~8월)에 1.21~2.80 µg/L (평균 1.96 µg/L)의 농도 분포를 나타내었다. 따라서, 모델에 의해 계산된 굴이 없는 조건에서의 거제 · 한산만의 각 월별 평균 식물플랑크톤 농도분포는 비교적 잘 재현된 것으로 판단되었다.

굴 개체기준으로 9월의 굴 개체당 (습중량 0.59 g) 먹이 요구량은 1.14 mgC/ind./day이었다. 11월은 0.73 mgC/ind./day로 최소 먹이 요구량을 나타낸 이후 서서히 증가하기 시작하여 1월과 2월 (습중량 0.4 g 전후)은 먹이 요구량이 1 mgC/ind./day 전후였고, 수온 상승과 육중량 증가로 5월에는 굴 개체당 (습중량 6.1 g) 5.03 mgC/ind./day의 최대 먹이 요구량을 나타내었다.

알굴의 단위 습중량 기준으로는 9월이 1.93 mgC/g wet-tissue/day로 가장 높은 값을 나타내었고, 그 이후 수온이 점차 하강함에 따라 감소하다가 2월에 0.40 mgC/g wet-tissue/day로 가장 낮은 먹이 요구량을 보였으며, 봄철로 접어들면서 먹이 요구량도 서서히 증가하는 경향을 보였다. 한편 Bayne (1976)은 진주담치의 먹이 요구량에 대한 연구에서 20~100 mgPOM/g dry-tissue/day로 보고한 바 있는데, 이 값은 건조중량 기준임을 감안하여도 참굴의 먹이 요구량에 비해 상당히 높게 나타나고 있다. 이와 같은 원인은 먹이원으로 입자유기물 (particle organic material, POM)을 이용하였고, 참굴과 진주담치의 여수율 차이 등에 기인한 것으로 생각된다.

3.2. 수확 크기별 먹이 요구량

먹이 요구량은 양식 굴의 크기에 따라 다르게 나타나므로 Carver and Mallet (1990), Fang et al. (1996)은 진주담치와 가리비의 수용력 산정을 위한 먹이 요구량 추정시 수확 크기를 기준으로 하였다. 일반적으로 굴은 습중량으로 4~7g 범위에서 시판되므로 Table 3과 같이 상품 크기별 먹이 요구량을 산정하였다.

4g 크기 굴의 먹이 요구량은 1.40~4.82 mgC/ind./day (평균 2.49 mgC/ind./day) 범위로 2월이 가장 낮은 값을 보였고, 9월에 가장 높은 값을 나타내었다. 7g 크기 굴은 1.96~6.77 mgC/ind./day (평균 3.50 mgC/ind./day) 범위였고, 4g 굴과 마찬가지로 2월이 가장 낮고 9월이 가장 높은 경향을 보였으며, 4g 크기에 비해 평균 1.4배 많은 먹이 요구량을 나타내었다.

Table 3. Food demand of oysters in each marketable size (Unit: mgC/ind./day)

Month	Tissue weight									
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Food demand for 4g oyster	4.82	2.63	2.03	1.73	1.68	1.40	2.01	2.29	3.86	
Food demand for 5g oyster	5.59	3.04	2.35	2.00	1.94	1.62	2.33	2.65	4.47	
Food demand for 6g oyster	6.23	3.39	2.62	2.24	2.17	1.80	2.60	2.96	4.98	
Food demand for 4g oyster	6.77	3.69	2.84	2.43	2.35	1.96	2.82	3.21	5.41	

4. 굴 양식어장 수용력 산정

굴 양식어장의 수용력을 산정하기 위하여 먹이는 일반적으로 chlorophyll a와 현탁유기물이 굴의 먹이로서 이용되며, 미소 현탁물과 플랑크톤의 침전량이 많은 양식어장에서 굴의 성장이 양호하다고 알려져 있다 (楠木, 1986; Rodhouse et al., 1984; Pazos et al., 1997). 또한 참굴의 성육과 chlorophyll a 양과는 정의 상관관계가 있다고 알려져 있으며 (Kusuki, 1977), 굴 양식장의 먹이량 추정은 현탁물 중의 유기질소 양보다는 chlorophyll a 양을 측정하는 것이 좋다고 하였다 (Kusuki, 1978, Brown and Hartwick, 1988). 따라서 본 연구에서는 기초생산에 의한 먹이량만 고려하였고, 공급되는 먹이량을 100%로 섭취한다고 가정하였다 (Rose and Nisbet, 1990; van Haren and Kooijman, 1993).

다른 과정은 모델 영역 내에서의 먹이 경쟁관계로, 동물플랑크톤, 저서동물 (benthic filter feeders), 굴 양식 수하연에 부착된 해적생물 등도 굴과 먹이 경쟁관계에 있으나 본 계산에서는 동물플랑크톤에 의한 먹이 섭취만을 고려하였다.

양식순기인 9월부터 이듬해 5월까지 9개월 동안 양식장이 없는 조건으로 식물플랑크톤 월별 기초생산력을 생태계 모델로 계산하여 월별 먹이 공급량으로 산정하였고 (Park et al., 2002), 이것을 월별 먹이 요구량으로 나누어 수용력을 산정한 결과는 Table 4와 같다.

월별 수용력은 개체수 (Ind.)로는 1.98×10<sup>6</sup>~3.16×10<sup>6</sup> Ind./ha 범위, 알굴 무게로는 4.11~15.45 ton/ha 범위로 양식 굴의 크기 (알굴

Table 4. Carrying capacities calculated from the difference between food supply and food demand during the oyster culturing periods in Geoje-Hansan Bay

Item	Month									
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Food supply (gC/m <sup>2</sup> /day)	1.12	0.78	0.37	0.24	0.26	0.19	0.54	0.76	1.27	
Food demand per individual oyster (mgC/Ind./day)	1.14	0.78	0.73	0.75	1.05	0.96	1.60	2.07	5.03	
Food demand per g wet-tissue (mgC/g wet-tissue/day)	1.93	1.01	0.73	0.58	0.50	0.40	0.55	0.59	0.82	
Carrying capacity (Ind.×10 <sup>6</sup> /ha)	9.86	9.99	5.07	3.16	2.53	1.98	3.35	3.67	2.53	
Carrying capacity (ton/ha)	5.82	7.79	5.07	4.11	5.32	4.76	9.71	12.84	15.45	
Remark (g wet-tissue weight)	0.59	0.78	1.00	1.30	2.10	2.40	2.90	3.50	6.10	

습중량)에 따라 수용력은 다르게 산정되었다. 월별 수용력을 살펴 보면 9월은 (알굴 0.59g) 개체수로 9.86×10<sup>6</sup> Ind./ha, 알굴 무게로는 5.82 ton/ha로 가장 많은 개체수를 수용할 수 있었고, 12월은 (알굴 1.30g) 개체수로 3.16×10<sup>6</sup> Ind./ha, 알굴 무게로는 4.11 ton/ha로 나타나 알굴 무게로서 가장 작은 수용력을 나타내었다. 한편 2월의 수용력은 (알굴 2.40g) 개체수는 1.98×10<sup>6</sup> Ind./ha, 알굴 무게는 4.76 ton/ha로서 가장 적은 개체수를 수용할 수 있었고, 5월의 수용력은 (알굴 6.10g) 개체수는 2.53×10<sup>6</sup> Ind./ha, 알굴 무게는 15.45 ton/ha로 알굴 무게로는 가장 많은 수용력을 나타내었다.

Cho et al. (1996)은 가막만을 대상으로 6월부터 이듬해 3월까지 10개월 동안의 월별 기초생산력을 이용하여 생산 가능한 월별 탄소량이 전부 알굴로 전환된다고 가정하여 구한 단위 면적당 알굴 최대 생산 가능량은 21.42 ton/ha로 제시한 바 있으며, 본 연구에서 구한 알굴 최대 생산 가능량인 15.45 ton/ha 보다는 다소 높은 값이다. 이것은 월별 먹이 공급량의 차이에 기인한 것으로 생각된다.

이와 같이 양식 수용력은 양식생물의 크기에 따라 다르게 나타나므로 Carver and Mallet (1990), Fang et al. (1996)과 같이 수확되는 굴의 크기를 기준으로 수용력을 산정하는 것이 바람직 할 것이며, 이렇게 계산한 것을 Table 5에 나타내었다. Smaal et al. (1998)도 시장성이 있는 상품으로서 일년 생산량이 최대가 될 때 그 생물의 현존량을 환경용량이라고 정의하고 있다.

수확되는 굴의 크기 (4~7g)에 따른 수용력은 2월이 5.44~6.78 ton/ha (평균 6.10 ton/ha) 범위로 최저치를 나타내었고, 4월이 13.29~16.58 ton/ha (평균 14.91 ton/ha) 범위로 최대치를 나타내었다.

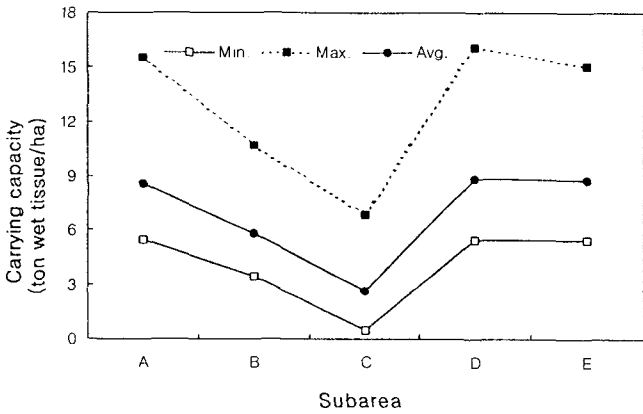
수용력을 개체수 기준으로 나타내면 2월이 0.97×10<sup>6</sup>~1.36×10<sup>6</sup> Ind./ha (평균 1.14×10<sup>6</sup> Ind./ha) 범위로 최소였고, 4월이 2.37×10<sup>6</sup>~3.32×10<sup>6</sup> Ind./ha (평균 2.73×10<sup>6</sup> Ind./ha) 범위로 최대 개체수를 나타내었다.

한편 Fig. 1과 같이 소 해역별로 수확되는 굴의 크기 (4~7g)를

**Table 5. Carrying capacities calculated from the difference between food supply and food demand of oysters at each marketable size in Geoje-Hansan Bay**

Item	Month									
	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	
Food supply (gC/m <sup>2</sup> /day)	1.12	0.78	0.37	0.24	0.26	0.19	0.54	0.76	1.27	
Food demand (mgC/Ind./day)	4g	4.82	2.63	2.03	1.73	1.68	1.40	2.01	2.29	3.86
	5g	5.59	3.04	2.35	2.00	1.94	1.62	2.33	2.65	4.47
	6g	6.23	3.39	2.62	2.24	2.17	1.80	2.60	2.96	4.98
	7g	6.77	3.69	2.84	2.43	2.35	1.96	2.82	3.21	5.41
Carrying capacity (Ind.×10 <sup>6</sup> /ha)	4g	2.33	2.98	1.82	1.37	1.58	1.36	2.66	3.32	3.30
	5g	2.01	2.57	1.57	1.18	1.36	1.17	2.30	2.87	2.85
	6g	1.80	2.31	1.41	1.06	1.22	1.05	2.06	2.57	2.55
	7g	1.66	2.13	1.30	0.97	1.13	0.97	1.90	2.37	2.35
Carrying capacity (ton/ha)	4g	9.32	11.93	7.28	5.46	6.32	5.44	10.64	13.29	13.20
	5g	10.05	12.87	7.85	5.89	6.82	5.87	11.48	14.34	14.24
	6g	10.81	13.85	8.45	6.34	7.33	6.32	12.35	15.42	15.32
	7g	11.62	14.88	9.08	6.81	7.88	6.78	13.28	16.58	16.47

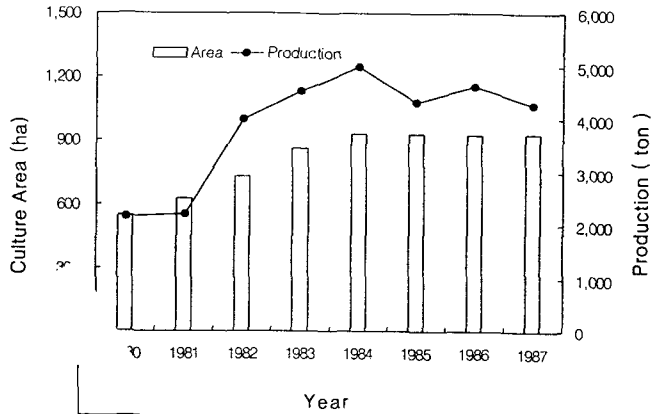
기준으로 9월부터 이듬해 4월까지의 알굴 생산 가능량을 산정하였다 (Fig. 4). 먹이 공급량이 많은 D 해역은 5.51~16.05 ton/ha 범위에 평균 8.81 ton/ha로 가장 높고, E 해역과 B 해역은 각각 평균 8.75 ton/ha와 8.57 ton/ha였다. 외양역과 연결되고 먹이 공급량이 가장 적은 C 해역은 0.50~6.81 ton/ha 범위에 평균 2.67 ton/ha로 수용력이 적었다.



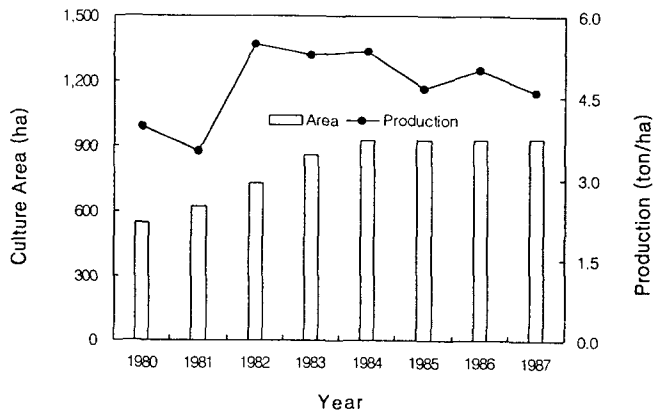
**Fig. 4. Estimated carrying capacities at each subarea.**

한편, 城 (1992)과 Héral (1993)은 과거의 장기적이고 다양한 통계 자료를 이용하여 최대 수용력을 산정한 바 있어 박 등 (1988)이 조사한 거제·한산만의 1980~1987년까지 굴 생산량 변동추이를 살펴보았다. 굴 생산량은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 1980년은 548 ha의 굴 양식장에서 2,172 ton의 굴을 생산하였으며, 양식장 면적이 증가할수록 생산량이 증가하여 1984년에 최고 4,980 ton의 생산량을 나타낸 이후 양식장 면적은 거의 일정하지만 생산량은 감소하는 경향을 나타내었다.

단위 면적당 생산량은 Fig. 6과 같이 1982~1984년은 5.3~5.5 ton/ha 범위였다가 1985년 이후는 5 ton/ha 이하로 낮아져 조사



**Fig. 5. Yearly variations of oyster production (ton) and culturing area (ha) in Geoje-Hansan Bay from 1980 to 1987 (after Park et al., 1988).**



**Fig. 6. Yearly variations of oyster production (ton/ha) and culturing area (ha) in Geoje-Hansan Bay from 1980 to 1987 (after Park et al., 1988).**

기간 동안의 최대 생산량은 1982~1984년의 4,000~5,000 ton 범위, 단위 면적당 최대 생산량은 5.5 ton/ha이었다.

본 연구에서 거제·한산만의 먹이 공급량과 굴의 먹이 요구량으로부터 구한 수확 가능한 크기를 가진 굴의 수용력은 최저 6.10 ton/ha (1.14×10<sup>6</sup> Ind./ha), 최대 14.91 ton/ha (2.78×10<sup>6</sup> Ind./ha)로 월별 변동이 크게 나타났다. 수산 양식업 특성을 고려할 때 양식 시설량은 태풍과 같은 재해, 급격한 해양변동 또는 질병 등에 의한 대량 폐사가 없는 한 수확 시점부터 수확할 때까지 거의 그대로 유지된다. 따라서 실제 양식은 월별 최대 수용력이 아닌 굴 양식순기 동안의 환경조건하에서 양식생물의 성장에 부정적 영향을 주지 않기 위해서는 월별 수용력이 최저가 되는 임계시기인 2월의 6.1 ton/ha를 기준으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 이상과 같이 통계자료로부터 구한 단위 면적당 최대 생산량 5.5 ton/ha와의 상대오차가 10%에 불과하여 실제 상황을 잘 반영하고 있는 것으로 사료된다.

본 연구에서는 기초생산에 의해 공급되는 먹이 만을 고려하였고, 동물플랑크톤을 제외한 부착생물 등 다른 생물과의 먹이 경쟁

을 통한 소비는 고려하지 못하였으므로 이 부분에 관한 연구는 계속 진행되어야 할 것으로 생각되며, 또한 굴 양식이 이루어지는 곳에서는 굴의 생리 대사 과정으로 인해 수계로 영양염 재생산 (regeneration)이 이루어 지고 이것은 다시 기초생산력에 영향을 미치기 때문에, 이와같이 양식생물과 생태계 간 물질순환과 같은 제반과정을 포함한 보다 발전된 생태계 모델링 기법이 요구된다. 이를 통해 양식생물이 생태계에 미치는 영향을 보다 자세하고 명확히 구명할 수 있을 것으로 기대된다.

집약적 양식을 행하고 있는 해역에서는 양식생물의 성장이 둔화되고 생존율이 감소되는 것은 일반적인 현상이다. 이러한 의미에서 양식 수용력은 지속적이고 안정적인 양식생산을 위한 어장 관리의 기본적인 개념이 되고 있다 (Héral, 1991).

양식 수용력은 생물생산의 관점에서 주어진 환경조건하에서의 양식장 최대 생산력의 의미와 양식생물의 성장에 부정적 영향을 주지 않고 최대 수준으로 유지되는 자연생태계의 부양능력을 의미한다 (Carver and Mallet, 1990; 日本水産資源保護協會, 1989; 平野, 1992). 이러한 수용력은 해역별 먹이생물의 생산력, 유기물의 공급 정도, 수리학적 특성과 서식지 내에서의 밀도 등에 따라 달라지므로 해역별 수용력을 산정하여 어장관리 방안을 수립할 필요가 있다.

거제 · 한산만의 안정적이고 지속적으로 생산을 영위할 수 있는, 실제적이고 적용 가능한 최대 수용력은 앞에서 서술한 바와 같이 단위 면적당 6.10 ton/ha로 산정되었다.

박 등 (1988)에 의하면 가막만 역시 거제 · 한산만과 마찬가지로 시설면적의 증가와 더불어 생산량이 증가하여 1984년과 1986년에 각각 6.70 ton/ha, 6.80 ton/ha를 기록한 이후 단위 면적당 생산량이 낮아지는 현상이 나타난 반면, 고성만은 시설 면적의 증가와 더불어 생산량이 1986년은 6.39 ton/ha, 1987년은 7.27 ton/ha로 증가하고 있어 거제 · 한산만과 가막만과는 다소 달랐다. 최근 자료 (경상남도, 1997)에 의하면 고성만의 수확 시기별 알굴 생산량은 Table 6과 같이 2월은 연당 2.68 kg, 4월은 연당 3.35 kg이었다. 고성만의 경우 양식시설 1 ha 내에는 길이 100 m 줄이 20개가 시설되고 1개의 줄에는 142개의 수하연 (string)을 시설하므로 ha 당 생산량으로 환산하면 2월은 알굴 7.6 ton/ha, 4월은 9.5 ton/ha가 생산되는 것으로 추산된다.

**Table 6. The production of oysters observed in Goseong culturing grounds (Unit: wet-tissue)**

Month	Feb.	Mar.	Apr.	Remarks
Parameter				
kg/string	2.68	3.02	3.35	Gyeongsangnam-do (1997)
ton/ha	7.6	8.6	9.5	

반면에 거제 · 한산만은 NFRDI (1993)의 시설기준 조사에서 9개월~14개월 동안 1 ha에서 수확한 각굴은 68.4 ton이었으며, 각굴에 대한 알굴의 무게비 (알굴/각굴, 0.13)를 고려할 때 양식기간 동안 1 ha에서 생산된 알굴은 9.0 ton 내외로 추산된다.

따라서, 현재 거제 · 한산만의 알굴 생산량은 수확 크기 알굴

무게 기준으로 볼 때 최대 수용력의 60% 수준이나 적정 수용력을 평가함에 있어서 임계시기로 생각되는 2월의 수용력 6.1 ton/ha와 통계자료에 의한 최대 생산량 5.5 ton/ha를 감안할 때 현재 시설량을 32~39% 정도를 줄여야 하는 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 거제 · 한산만 굴 양식어장은 기초생산력이 낮으며, 빈영양 해역으로 먹이 공급이 원활하지 못한 상태임에도 불구하고 현재 시설량과 양식 생물량이 과다하게 시설되어 있어 양식 시설량을 수용력 범위 내로 조절하는 것이 바람직한 것으로 생각된다. 이러한 방법에는 수하연간 간격을 늘이는 방법, 수하연의 원반 (cluster) 수를 조절하는 방법 등이 있고, 소 해역별 양식 수용력을 감안할 필요성이 있는 것으로 생각된다.

**요 약**

과밀양식으로 생산성이 저하되고 있는 거제 · 한산만의 안정적이고 지속적인 굴 생산방안을 제시하기 위하여 생태계 모델을 이용하여 먹이 공급량을 추정하였고, 양식 굴의 여수율과 chlorophyll a 농도로부터 먹이 요구량을 계산하여 양식 수용력을 산정한 결과는 다음과 같다.

수확 크기별 굴의 먹이 요구량은 습중량 4g의 알굴인 경우 1.40~4.82 mgC/ind./day (평균 2.49 mgC/ind./day), 습중량 7g의 알굴인 경우 1.96~6.77 mgC/ind./day (평균 3.50 mgC/ind./day) 범위로 나타나 알굴의 습중량이 증가할수록 먹이 요구량도 크게 나타났다. 월별로는 2월이 가장 작았고, 9월이 가장 크게 나타났다.

월별 먹이 공급량을 월별 먹이 요구량으로 나누어 수확 크기별 수용력을 산정한 결과 2월이 평균 6.10 ton/ha로 최저 수용력을 나타내었고, 4월이 14.91 ton/ha로 최대 수용력을 나타내었다.

거제 · 한산만의 알굴 생산량은 9 ton/ha로 최대 수용력의 60% 수준이나 지속적 생산을 위해서는 임계 수용력인 2월의 6.1 ton/ha와 통계자료에 의한 최대 생산량 5.5 ton/ha를 감안하여 현재 시설량을 32~39% 정도 줄여야 할 것으로 판단되었다.

**참 고 문 헌**

Agius, C., V. Jaccarini and D.A. Ritz. 1978. Growth trials *Crassostrea gigas* and in inshore waters of Malta (Central Mediterranean). *Aquaculture*, 15, 195~218.

Askew, C.G. 1972. The Growth of oyster, *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas* in Ensworth harbor. *Aquaculture*, 1, 237~259.

Bacher, C., P. Duarte, J.G. Ferreira, M. Héral and O. Raillard. 1998. Assessment and comparison of the Marennes-Oléron Bay (France) and Carlingford Lough (Ireland) carrying capacity with ecosystem models. *Aquat. Ecol.*, 31, 379~394.

Bae, P.A. 1998. Biological Study of the Reproductive Ecology on the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in the Southern Coast of Korea. Ph. D. thesis, Dongeui University, 131pp. (in Korean).

Bayne, B.L. 1976. Aspects of reproduction in bivalve molluscs. In *Estuarine Processes*, M.L. Wiley, ed. Academic press, New York, pp. 432~448.

Bayne, B.L. and R.M. Warwick (eds). 1998. Feeding and growth of

- bivalves: Observations and models. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 219, Special Issue, 269pp.
- Brown, J.R. and E.B. Hartwick. 1988. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. II. Condition index and survival. *Aquaculture*, 70, 253~267.
- Campbell, D.E. and C.R. Newell. 1998. MUSMOD<sup>®</sup>, a production model for bottom culture of the blue mussel, *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 219, 171~203.
- Carver, C.E.A. and A.L. Mallet. 1990. Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture. *Aquaculture*, 88, 39~53.
- Chapelle, A., A. Ménesguen, J.-M. Deslous-Paoli, P. Souchu, N. Mazouni, A. Vaquer and B. Millet. 2000. Modelling nitrogen, primary production and oxygen in a Mediterranean lagoon. Impact of oysters farming and inputs from the watershed. *Ecol. Modell.*, 127, 161~181.
- Cho, E.I., C.K. Park and S.M. Lee. 1996. Estimation of carrying capacity in Kamak Bay (II) - Estimation of carrying capacity of oyster culture ground. *J. Korean Fish. Soc.*, 29, 709~715.
- Choi, W.J., Y.Y. Chun, J.H. Park and Y.C. Park. 1997. The influence of environmental characteristics on the fatness of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay. 30, 794~803 (in Korean).
- Dame, R.F. and T.C. Prins. 1998. Bivalve carrying capacity in coastal ecosystems. *Aquat. Ecol.*, 31, 409~421.
- Dowd, M. 1997. On predicting the growth of cultured bivalves. *Ecol. Modell.*, 104, 113~131.
- Errington, P.L. 1934. Vulnerability of bobwhite population to predation. *Ecology*, 15, 110~127.
- Fang, J.G., K.S. Huan, H.L. Sun, Y. Sun, S.L. Zhou, Y.L. Song, Y. Cui, J. Zhao, Q.F. Yang and J. Grant. 1996. Study on carrying capacity of Sungo Bay for the culture of scallop *Chlamys farreri*. *J. Marine Fisheries Research*, 17, 18~31 (in Chinese).
- Ferreira, J.G., P. Duarte and B. Ball. 1998. Trophic capacity of Carlingford Lough for oyster culture-analysis by ecological modelling. *Aquat. Ecol.*, 31, 361~378.
- Fréchette, M. and E. Bourget. 1985. Energy flow between the pelagic and benthic zones: Factors controlling particulate organic matter available to an intertidal mussel bed. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 1158~1165.
- Hanson, R.B., M.T. Alvarez-Ossorio, R. Cal, M.J. Campos, M. Roman, G. Santiago, M. Varela and J.A. Yoder. 1986. Plankton response following a spring upwelling event in the Ria de Arosa, Spain. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 32, 101~113.
- Héral, M. 1991. Approches de la capacité trophique des écosystèmes conchylicoles: Synthèse bibliographique. *ICES Mar. Sci. Symp.*, 192, 48~62 (in French).
- Héral, M. 1993. Why carrying capacity models are useful tools for management of bivalve molluscs culture. In *Bivalve Filter Feeders in Estuarine and Coastal Ecosystem Processes*, R.F. Dame, ed. NATO ASI Series, Springer-Verlag, Berlin, pp. 455~477.
- Ince, L.S. and R.A. Lutz. 1981. Modeling carrying capacities for bivalve molluscs in open, suspended-culture systems. *J. World Maricul. Soc.*, 12, 143~155.
- Kang, C.K., M.S. Park, P.Y. Lee, W.J. Choi and W.C. Lee. 2000. Seasonal variation in condition, reproductive and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (THUNBERG), in suspended culture in two coastal bays of Korea. *J. Shellfish Res.*, 19, 771~778.
- Kim, Y.S. 1980. Efficiency of energy transfer by a population of the farmed Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 13, 179~193.
- Kobayashi, M., E.E. Hofmann, E.N. Powell, J.M. Klinck and K. Kusaka. 1997. A population dynamics model for the Japanese oyster, *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 149, 285~321.
- Kusuki, Y. 1977. Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds. II. Organic content of faecal materials. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 43, 167~171 (in Japanese).
- Kusuki, Y. 1978. Relationship between quantities of faecal material produced and of the suspended matter removed by the Japanese oyster. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 44, 1183~1185 (in Japanese).
- Lee, B.D., K.K. Kang and Y.J. Kang. 1991. Primary production in the oyster farming bay. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24, 39~51 (in Korean).
- Lim, D.B., C.H. Cho and W.S. Kwon. 1975. On the oceanographic conditions of oyster farming area near Chungmu. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 8, 61~67 (in Korean).
- NFRDI. 1993. Studies on the Development of Polyculture System in the Coastal Waters of Korea. National Fisheries Research and Development Institute, Korea, 201pp. (in Korean).
- Park, J.S., H.C. Kim, W.J. Choi, W.C. Lee, D.M. Kim, J.H. Koo and C.K. Park. 2002. Estimating the carrying capacity of a coastal bay for oyster culture. I. Estimating a food supply to oysters using an ecohydrodynamic model in Geoje-Hansan Bay. *J. Korean Fish. Soc.*, 408~416 (in Korean).
- Pazos, A.J., G. Román, C.P. Acosta, M. Abad and J.L. Sánchez. 1997. Seasonal changes in condition and biochemical composition of the scallop *Pecten maximus* L. from suspended culture in the Ria de Arousa (Galicia, N.W. Spain) in relation to environmental conditions. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 211, 169~193.
- Pearl, R. and L.J. Reed. 1920. On the rate of growth of the population of the United States since 1790 and its mathematical representation. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 6, 275~288.
- Rodhouse, P.G. and C.M. Roden. 1987. Carbon budget for a coastal inlet in relation to intensive cultivation of suspension-feeding bivalve molluscs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 36, 225~236.
- Rodhouse, P.G., C.M. Roden, G.M. Burnell, M.P. Hensley, T. McMahon, B. Ottway and T.H. Ryan. 1984. Food resource, gametogenesis and growth of *Mytilus edulis* on the shore and in suspended culture: Killary Harbour, Ireland. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 64, 513~529.
- Rose, A.H. and R.M. Nisbet. 1990. Dynamic models of growth and reproduction of the mussel *Mytilus edulis* L. *Funct. Ecol.*, 4, 777~787.
- Rosenberg, R. and L. Loo. 1983. Energy-flow in a *Mytilus edulis* culture in western Sweden. *Aquaculture*, 35, 151~161.
- Smaal, A.C., T.C. Prins, N. Dankers and B. Ball. 1998. Minimum requirements for modelling bivalve carrying capacity. *Aquat. Ecol.*, 31, 423~428.
- van der Tol, M.W.M. and H. Scholten. 1998. A model analysis on the effect of decreasing nutrient loads on the biomass of benthic suspension feeders in the Oosterschelde ecosystem (SW Netherlands). *Aquat. Ecol.*, 31, 395~408.
- van Haren, R.J.F. and S.A.L.M. Kooijman. 1993. Application of a dynamic energy budget model to *Mytilus edulis* L. *Neth. J. Sea Res.*, 31, 119~133.



- Verhulst, P.F. 1845. Recherches mathematiques sur la loi d'accroissement de la population. *Nouv. mem. de l'acad. Roy. des Sci et Belles-Lett de Bruxelles, T.*, 18, 1~38 (in French).
- Wildish, D.J. and D.D. Kristmanson. 1984. Importance to mussels of the benthic boundary layer. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 1618~1625.
- 경상남도. 1997. 경상남도 특별관리어장 정화사업 기본조사 및 실시계획 용역 최종보고서 (고성만). 406pp.
- 박성쾌 · 신영태 · 김정봉. 1988. 수산재해에 따른 양식공제시험사업 설계. 굴 수하식양식을 중심으로. *한국농촌경제연구원 연구보고*, 176, 3~27.
- 유성규. 1979. 천해양식, 새로출판사, pp. 98~104.
- 유성규. 2000. 천해양식, 구덕인쇄사, pp. 51~140.
- 堀口文男 · 中田喜三浪. 1993. 沿岸生態系モデルの實海域への適用—山口縣西部海域の場合. *資源と環境*, 2, 61~92.
- 楠木豊. 1986. 二枚貝の適正収容力研究について. *廣島縣水産試験場, 指定調査総合助成事業報告書*, pp. 1~8.
- 城久. 1992. 大阪灣. 漁場環境容量, *水産學シリーズ*, 87, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 49~67.
- 日本水産資源保護協會. 1989. 漁場環境容量策定事業報告書. 制1分冊. 日本水産資源保護協會, 883pp.
- 平野敏行. 1992. 環境からの概念. 漁場環境容量, *水産學シリーズ*, 87, 恒星社厚生閣, 東京, pp. 9~19.

---

2002년 1월 31일 접수

2002년 7월 16일 수리