

駕莫灣의 環境容量 算定 (II)

— 굴양식장 환경용량 산정 —

조은일 · 박청길 · 이석모
부경대학교 환경공학과

Estimation of Carrying Capacity in Kamak Bay (II)

— Estimation of carrying capacity of oyster culture ground —

Eun-Il CHO, Chung-Kil PARK and Suk-Mo LEE

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-737, Korea

In order to estimate the carrying capacity of oyster culture ground in Kamak Bay, primary productivity was calculated using the ecosystem model. The allowable maximum oyster production, namely, the carrying capacity of Kamak Bay was estimated by using the annual phytoplankton production and conversion coefficient to oyster meat.

On the environmental conditions of oyster culture period from June, 1994 to March, 1995, phytoplankton production, the allowable maximum oyster production were estimated to be 181,594 tons of carbon and 287,033 tons of oyster meat, respectively. The allowable maximum oyster production was estimated to be 15,443 tons in the actual culture ground where oyster culture facilities are installed in Kamak Bay. In 1994 4,532 tons of actual oyster meat production was equivalent to ca. 29% of carrying capacity, and in 1987 it was 14,592 tons equivalent to ca. 95%.

Key words : carrying capacity, oyster culture ground, oyster production, ecosystem model, Kamak Bay

緒 論

환경용량의 개념은 Odum (1971)에 의하면 주어진 조건하의 환경이 수용할 수 있는 어떤 생물 종의 최대 개체수라고 정의하였다. 이를 연안어장에 적용하여 平野 (1992)는 어장환경용량이란 생물생산의 관점에서 보면 주어진 환경조건하에서 어장의 최대생산력이라고 하였고, 환경의 관점에서 보면 환경의 악화 현상이 일어나기 시작하는 오염물질의 부하량 한계라고 정의했다.

연안 양식장의 적정시설량을 산정하기 위해서 환경의 변화가 어장 생산력에 어떤 영향을 미치는지를 정량적으로 파악해야 하며 적정어획량과 양식장의 적정시설량을 추정하기 위하여 환경용량 산정이 필요하다. 어장환경용량을 산정하기 위해서 과거에는 환경인자

의 변동상태와 어패류 생산량을 오랜 기간동안 조사하여 환경인자의 변동과 생산량과의 상관관계를 통계적인 방법에 의해 구하여 환경용량산정을 시도하였다 (Joh, 1986; Lee, 1993).

최근에는 연안 해양생태계 내의 저차생산자계만을 대상으로 탄소, 질소, 인의 농도와 생물 생산과의 관계를 수치적으로 해석하는 생태계 모델이 개발되어 환경용량 산정에 이용되고 있다 (日本通商産業省, 1986). 이때 대상생물을 고차 생산체인 자연산 어패류로 하면 생활사 단계와 먹이사슬단계가 복잡하여 환경인자 변동과 어패류 생산량과의 관계를 수치적으로 해석하기가 매우 어렵기 때문에 이런 생태계 모델은 아직 개발 중이다.

따라서 본 연구에서는 생태계 모델을 단순화하기 위하여 식물플랑크톤만 먹이로 하는 굴을 대상생물

로 선택하였으며 굴이 알에서 부화하여 어린 굴이 되고 이것이 성장해서 어미굴이 되는 전 생활사 단계를 거치는 자연산 굴을 대상으로 하지 않고, 치패를 부착시켜 양식장에 옮겨와서 식물플랑크톤 만을 먹이로 하며 어미굴로 성장하는 단계만을 취급하는 양식굴을 대상으로 하였다. 모델 대상해역은 굴양식장으로 이용되고 있는 駕莫灣을 선정하였고 해수유동, COD, 질소, 인 그리고 Chlorophyll-a 등 현장 환경인자를 입력한 생태계 모델을 사용하여 식물플랑크톤의 생산량인 월별 기초 생산력을 산정한 것은 Cho et al. (1996)와 같다. 이 때 식물플랑크톤의 현존량이나 기초생산력은 현장 측정값을 사용하지 않고 생태계 모델을 이용하여 계산으로 구한 이유는 5월에서 이듬해 3월까지의 굴양식을 하는 시기이기 때문에 당시 현장에서 측정된 식물플랑크톤의 현존량은 생산된 양에서 굴이 섭취하고 남은 양이 되기 때문에 식물플랑크톤 생산량으로 사용할 수 없고, 환경조건이 변했을 때 식물플랑크톤 생산량이 어떻게 변할 것인지를 예측할 수가 없기 때문이다. 이렇게 계산된 기초생산력 자료를 이용하여 연간 식물플랑크톤 생산량을 구하여 Kim (1980)이 구한 알굴로의 전환계수를 사용하여 굴의 최대 생산량 즉 어장환경용량을 산정하였다.

材料 및 方法

1. 생태계 모델

駕莫灣의 굴양식장 환경용량을 산정하기 위하여 해수유동상태를 재현하고 COD, 질소, 인 그리고 Chlorophyll-a 등 현장 환경인자를 입력하여 단위시간당 식물플랑크톤의 생산량 즉 기초생산력을 예측하는데 사용된 생태계 모델과 입력자료는 Cho et al. (1996)와 같다.

2. 굴양식장 환경용량 산정

굴의 먹이는 여러 연구자에 의하면 식물플랑크톤과 미세 현탁물질이라고 보고된 바 있다 (楠木, 1986, Kusuki, 1977a). 그리고 굴의 성장과 Chlorophyll-a량은 정의 상관관계가 있다고 보고하였다 (Kusuki, 1977b; 林 等, 1992). 본 연구에서 굴은 식물플랑크톤 만 먹이로 이용한다고 가정을 하고 생태계 모델을 이

용하여 계산된 기초생산력 자료로서 駕莫灣에서 연간 생산될 수 있는 식물플랑크톤량을 산정하고 여기에 알굴로서의 전환계수를 곱하여 연간 알굴의 최대 생산량을 구하였다.

2.1 기초생산력 산정

식물플랑크톤의 현존량과 기초생산력 산정은 생태계 모델을 이용하여 駕莫灣의 환경조건을 입력하여 산정하였으며 계산된 식물플랑크톤 현존량과 현장 측정치를 비교하는 모델의 보정에는 굴양식을 시작하지 않는 1994년 5월의 값을 이용하였고 검증에는 1990년 5월의 값을 이용하였다. 이렇게 검증된 생태계 모델을 이용하여 월별, 계절별로 변동되는 환경인자 들을 입력하여 굴양식기간인 1994년 6월부터 1995년 3월까지 총 10개월간 월별 평균 기초생산력을 산정하였다.

2.2 굴생산량 산정

굴생산량을 구하기 위해서 우선 굴의 먹이원인 식물플랑크톤량을 구해야 한다. 굴의 먹이량은 각 양식장에서 계산된 기초생산력 (mgC/m³/d)에 양식장의 부피 (m³)와 각 월에 따른 일수 (day)를 곱하여 월간 생산할 수 있는 식물플랑크톤량을 탄소량 (mgC)으로 계산하였다.

식물플랑크톤에 의해서 생산된 탄소량을 굴이 전부 먹이로서 섭취하였을 때 駕莫灣 내에서 연간 생산될 수 있는 굴의 최대 생산량을 구하였다.

굴생산량 (ton)을 구하기 위한 탄소량 (mgC)에서 굴생산량 (ton)으로 전환하는 관계식은 다음과 같다.

$$\text{Maximum Oyster production (ton)} = \text{Carbon production (ton)} \times 0.1528$$

$$\times \frac{1}{(479.75 - 4.02 T)} (\text{gDW/mgC})$$

$$\times \frac{1}{0.2483} (\text{gWW/gDW}) \times 10^3$$

여기서 0.1528 : 섭취한 양 (100)에 대한 육질로 남은 양 (15.28)의 비 (15.28/100)

$$\frac{1}{(479.75 - 4.02 T)} : \text{탄소함량 (mgC)에 대한 굴의 건중량 (gDW)으로의 전환식 (온도의 함수)}$$

$$\frac{1}{0.2483}$$

: 건조량 (DW)에 대한
습중량 (WW)의 비

윗 식의 구성 성분은 Kim (1980)이 1979년 7월부터 1980년 4월까지 양식굴을 대상으로 조사한 양식장내 존재하는 먹이량 즉 탄소량을 굴이 섭취하여 생산된 굴생체 내의 탄소량으로 전환할 수 있는 전환계수 (0.1528)가 있으며 이 값을 이용하여 양식장내 탄소량을

굴생체내의 탄소량으로 계산하였다. 그리고 계산된 굴의 탄소량을 건조중량으로 전환하기 위해 駕莫灣의 양식굴을 대상으로 얻은 수온을 함수로 한 탄소량 (mgC)에서 굴의 연체부 건조중량 (gDW)으로 전환하는 경험식이 있고 마지막으로 실제 생산된 알굴은 습중량으로 나타내기 때문에 그 생산량과 비교하기 위하여 1991년 10월부터 1994년 11월까지 駕莫灣의 양식굴을 실험하여 얻은 건조중량 (gDW)을 습중량

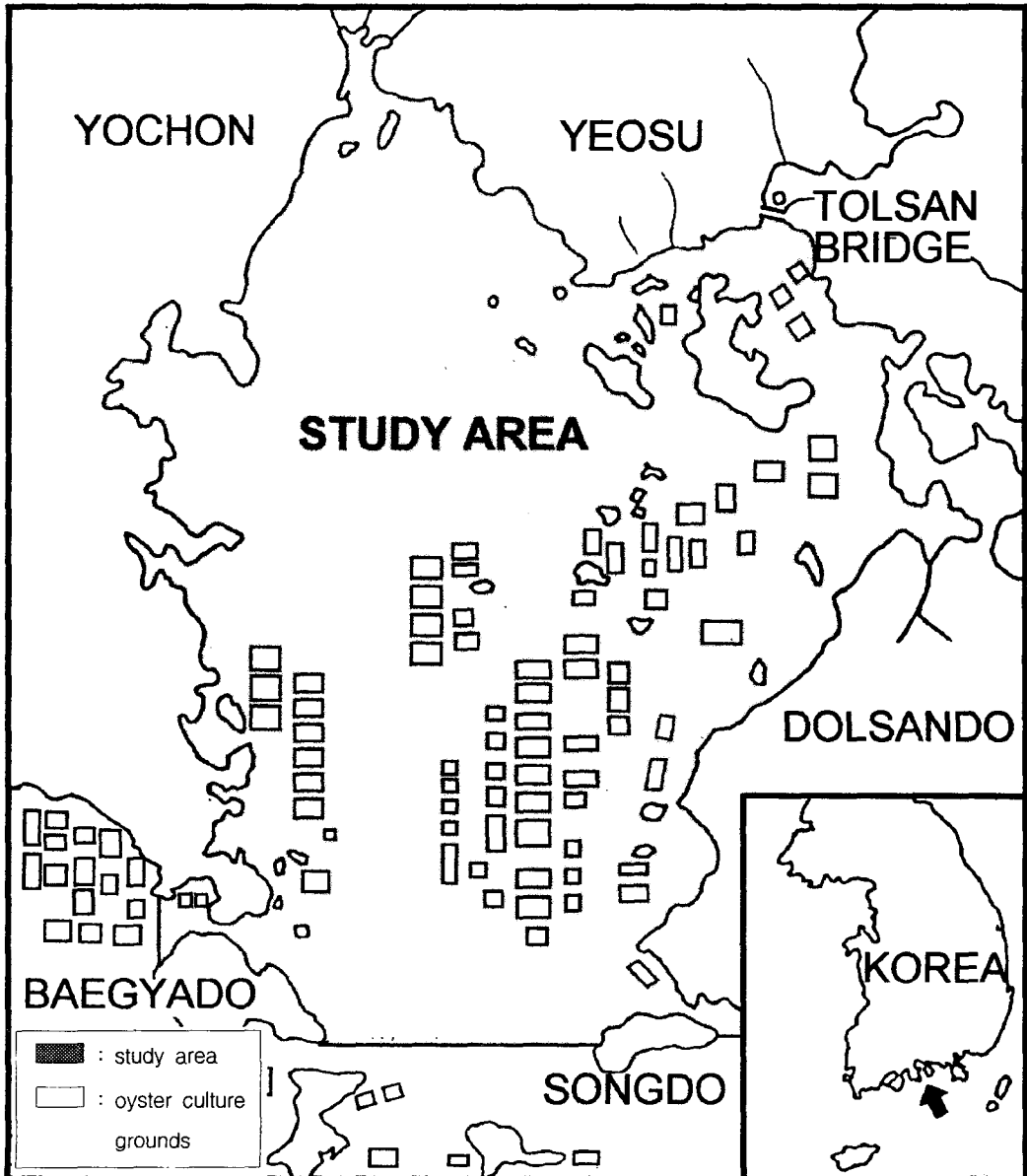


Fig. 1. The study area and the oyster culture grounds in Kamak Bay (1994).

(gWW)으로 전환하는 전환계수를 곱하여 월간 알굴 생산량으로 전환시켰다.

2.3 대상해역의 굴생산량 현황

駕莫灣의 굴 양식은 1969년부터 북서쪽 내만의 일부지역에서 멧목식으로 시작하여, 1975년 이후에는 수하연승식으로 전환하였고 이로부터 해면의 무질서한 이용과 함께 지역별, 연도별로 극심한 생산량 변동을 초래하였다(굴垂下式養殖水協, 1985).

본 연구에서 생태계모형을 이용하여 양식굴의 환경용량을 산정한 지역은 Fig. 1에 나타내었다. 연구대상 지역은 駕莫灣의 전 지역이 아니고 백야도의 서쪽부분의 양식장이 위치하는 지역과 백야도와 송도를 잇는 남쪽 지역의 양식장을 제외한 지역이고 양식장은 만구부에서 만 중앙부에 위치하며 크게 4개 어장(가막, 평사, 원포, 군내)으로 나누어 볼 수 있다.

1985년부터 1994년까지 駕莫灣의 연도별 양식시설 현황과 양식굴의 생산량을 Table 1에 나타내었다. 연도별 양식시설의 현황을 보면 양식면적의 변화는 거

의 없으나 양식시설 대수는 1988년부터 서서히 감소하기 시작하여 1993년에는 시설대수가 3,000대로 크게 감소되었고 1994년에는 예년에 비하면 반 정도의 시설대수를 보였다. 굴생산량은 두 가지로 나누어 나타냈는데 패각의 무게를 포함한 총굴 생산량(total oyster production)과 총굴 생산량에 수율(body weight rate)을 곱하여 패각의 무게를 제외한 알굴 생산량(oyster meat production)으로 나누어 나타내었다. 총굴의 생산량을 보면 1987년에 최대 생산량을 보이다가 1993년에는 13,200 ton, 1994년에는 28,000 ton을 생산하여 예년에 비해서 감소된 생산량을 보였다. 그리고 Table 2에 1994년 굴양식장의 양식면적과 양식시설 대수를 나타내었다. 駕莫灣 전체의 굴 양식면적은 1,246.3 ha이고 시설대수는 10,242대이나 본 연구에서 대상으로 하는 駕莫灣 내의 굴 양식면적은 895.0 ha이며 시설대수는 7,470대이다. 그리고 駕莫灣의 표면적은 134 km²이고 양식장 면적은 8.950 km²이므로灣에서 양식장이 차지하는 비율은 0.067 (8.950 km² ÷ 134 km²)이다.

Table 1. Culture area, facility, oyster production and body weight rate in Kamak bay from 1985 to 1994

Year	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Culture area (ha)	1,299	1,265	1,272	1,298	1,284	1,254	1,254	1,254	1,254	1,246
Facility (number)	27,000	25,240	25,440	25,660	24,080	23,500	21,000	19,782	3,000	10,242
Total oyster production (ton)	58,000	74,000	83,400	38,800	60,200	63,450	56,700	64,000	13,200	28,000
Oyster meat production ¹⁾ (ton)	13,514	18,130	20,016	8,846	12,160	11,674	10,546	14,016	2,890	6,216
Body weight rate ²⁾ (%)	23.0	23.3	24.5	22.8	20.2	18.4	18.6	21.9	21.9	22.2

1) oyster meat production (ton)=total oyster production (ton)×body weight rate (%)

2) body weight rate (%)=meat weight/(meat weight+shell weight)×100

Table 2. Oyster culture area and number of the hanging culture facilities in Kamak Bay (1994)

Area	Culture area (ha)		Facility (number)
	(ha)	(km ²)	
Kamak Bay	Yeosu	94.5	493
	Yochon	1,151.8	9,749
	Total	1,246.3	10,242
Study area	895.0	8.950	7,470

Table 3. Primary productivity, carbon production and maximum oyster production calculated on the assumption that there were no oyster culturing facilities

	1994						1995			Total	
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
Primary productivity (mgC/m ³ /d) ¹⁾	748.76	1,056.63	1,363.18	1,065.36	634.11	390.19	194.16	131.99	134.19	200.01	
Primary productivity (gC/m ² /d) ²⁾	5.60	7.91	10.20	7.97	4.75	2.92	1.45	0.99	1.00	1.50	
Carbon production (ton)	22,553	32,887	42,428	32,089	19,736	11,753	6,043	4,108	3,772	6,225	181,594
Maximum oyster production (ton)	35,412	53,342	70,803	51,560	30,576	17,554	8,410	5,549	5,090	8,737	287,033

¹⁾ Primary productivity(mgC/m³/d):

$$\left(\frac{dp}{dt}\right) = [1 - \mu_3(P)] \cdot V_1(T) \cdot \mu_1(DIP, DIN) \cdot \mu_2(I) \cdot P - V_2(T) \cdot P - V_3(T) \cdot Z - V_4(T) \cdot P - W_p \cdot \frac{\partial P}{\partial Z}$$

²⁾ Primary productivity(gC/m²/d)=Primary productivity¹⁾(mgC/m³/d)×7.5³⁾(m)×10⁻³

³⁾ Mean depth (m)

Table 4. Primary productivity, carbon production and maximum oyster production considering oyster culture area

	1994						1995			Total	
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
Primary productivity (mgC/m ³ /d) ¹⁾	748.76	1,056.63	1,363.18	1,065.36	634.11	390.19	194.16	131.99	134.19	200.01	
Primary productivity (gC/m ² /d) ²⁾	4.49	6.34	8.18	6.39	3.80	2.34	1.16	0.79	0.81	1.20	
Carbon production (ton)	1,206	1,759	2,269	1,716	1,056	629	323	220	202	333	9,713
Maximum oyster production (ton)	1,915	2,901	3,795	2,764	1,639	942	450	297	273	468	15,443

¹⁾ Primary productivity(mgC/m³/d):

$$\left(\frac{dp}{dt}\right) = [1 - \mu_3(P)] \cdot V_1(T) \cdot \mu_1(DIP, DIN) \cdot \mu_2(I) \cdot P - V_2(T) \cdot P - V_3(T) \cdot Z - V_4(T) \cdot P - W_p \cdot \frac{\partial P}{\partial Z}$$

²⁾ Primary productivity(gC/m²/d)=Primary productivity¹⁾(mgC/m³/d)×6.0³⁾(m)×10⁻³

³⁾ length of hanging culture facilities(m)

結果 및 考察

1. 굴양식장 환경용량 산정

1.1 만 전체의 최대 굴생산 가능량

양식장이 없는 조건으로 식물플랑크톤에 대한 월별 기초생산력을 계산하였고, 이 기초생산력을 이용하여 만 전체에서 생산 가능한 월별 탄소량을 구하였다. 그리고 구한 탄소량을 전부 굴로 전환된다고 가정하여 관계식을 이용하여 만 전체의 최대 굴생산량으로 구하였다. 그리고 계산된 월별 기초생산력, 탄소량과 월별 최대 굴생산량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 보면 1994년 6월에서 1995년 3월까지 양식기간 동안에 만 전체에서 식물플랑크톤의 기초생산으로 생산 가능한 총 탄소량은 181,594 tonC이었고, 만 전체의 연간 최대 생산 가능한 알굴량은 287,033 ton이었다. 그리고 이 생산량을 단위 면적당 생산량으로 바꾸면 駕莫灣의 표면적이 134 km²이므로 단위 면적당 생산량은 2,142 ton/km²/year이고 단위 용적당 알굴생산량으로 환산하면 駕莫灣 용적이 1×10⁶m³이므로 0.29 kg/m³/year가 된다.

1.2 굴양식시설이 되어 있는 시설공간에서의 굴생산 가능량

駕莫灣 전체 공간 중 실제 굴 양식시설이 되어 있는 공간은 그 중 일부지역에 한정되어 있으므로 최대 굴생산 가능량과 실제 생산량과를 비교하기 위해서는 실제 굴양식시설이 되어 있는 공간에서의 최대 굴생산량을 구할 필요가 있다. 1994년 駕莫灣 내 굴양식시설 면적은 8.95 km²이고 수하연 최대 깊이는 6m이므로 굴 양식시설 공간에서 연간 생산가능한 탄소량은 9,713 tonC이고 연간 알굴 생산가능량은 15,443 ton (Table 4)이었다.

1.3 실제 굴생산량

駕莫灣에서 1994년에 굴을 수하 양식하여 얻은 총 굴 연간 생산량은 28,000 ton으로 조사되었다. 이 생산량은 본 연구에서 대상으로 하는 지역 이외의 생산량도 포함되어 있으므로 연구대상지역에서 생산된 연간 굴생산량을 다시 구하였다. 연간 굴생산량은 대상지역의 양식시설대수(7,470대)에서 전체 양식시설대수(10,242대)를 나눈 비율(7,470÷10,242=0.729)을 곱

하여 구하였는데 이렇게 구한 연구대상지역에서 1994년에 생산된 총 굴 생산량은 20,412 ton이었고 수율을 곱하여 알굴생산량으로 계산하면 4,532 ton이었다.

1.4 굴양식장 환경용량

駕莫灣 전 해역에서 식물플랑크톤 생산량은 탄소량으로 181,594 ton C이고 이 양이 전부 알굴로 전환된다고 가정하면 연간 최대 알굴 생산 가능량은 287,033 ton이 된다. 이것이 駕莫灣의 환경용량이다.

駕莫灣 내의 굴양식장 환경용량은 굴양식시설이 되어 있는 공간 내에서의 연간 최대 알굴 생산 가능량으로 15,443 ton이 된다. 1994년도 굴양식시설에서 실제 생산된 알굴 생산량은 4,532 ton이므로 이는 최대 알굴 생산가능량의 약 29%에 해당되고, 생산량이 가장 높았던 1987년도 알굴생산량 14,592 ton은 최대 생산 가능량의 약 95%에 해당되므로 최대 생산 가능량에 가장 가까운 생산량으로 평가된다.

駕莫灣은 굴양식장 환경용량에 비교하여 실제 생산량이 적으므로 다른 굴양식장 관리조건만 허용된다면 양식시설대수를 증가시키면 생산량이 증가할 가능성이 있는 해역이다.

Nixon (1981)은 기초생산력과 어획량과의 관계 연구에서 기초생산력이 1 kgC/m²/year되는 해역에서의 어획량이 100 ton/m²/year정도 된다고 했다. 駕莫灣의 기초생산력이 1.6 kgC/m²/year이고 1994년도 알굴생산량은 506 ton/km²/year가 되므로 인공양식시설에서의 생산량이 자연상태의 생산량에 비하여 높은 생산량을 보였다.

要 約

駕莫灣의 굴양식장 환경용량을 산정하기 위해 생태계 모델을 이용하여 월별 기초생산력을 산정하고 연간 식물플랑크톤의 생산량을 구하여 알굴로서의 전환 계수를 사용하여 굴의 최대 생산 가능량 즉 환경용량을 산정하였다.

1994년 6월부터 1995년 3월까지 굴양식기간 동안의 駕莫灣 전체에서의 식물플랑크톤 생산량은 181,594 tonC이었고 최대 알굴 생산가능량은 287,033 ton이었고 단위용적당 생산가능량은 0.29 kg/m³/year였다. 駕

莫灣내에서 굴양식시설이 되어 있는 공간에서의 연간 최대 알굴생산 가능량은 15,443 ton이고 1994년도 실제 알굴생산량은 4,532 ton이므로 굴양식장 환경용량의 약 29%에 해당되었고 1987년도 생산량은 14,592 ton이므로 환경용량의 95%에 해당되었다. 따라서 다른 굴양식장 관리조건만 허용된다면 篤莫灣에는 굴양식시설대수를 증가시키면 생산량이 더 증가할 수 있는 해역으로 평가되었다.

사 사

본 연구는 한국과학재단 지원 부산수산대학교 해양산업개발연구소에서 지원한 「연안 굴 양식어장의 환경용량산정 및 증진 기술 개발」에 관한 연구결과의 일부이며, 이에 당 연구소에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Cho, E.I., C.K. Park and S.M. Lee. 1996. The Estimation of Carrying Capacity in Kamak Bay (I) - The estimation of primary productivity using eco-hydrodynamic model. J. Kor. Fish. Soc. 29 (3), 369~385 (in Korean).

Joh, H. 1986. Studies on the mechanism of eutrophication and the effect of it on fisheries production in Osaka Bay. Bull. Osaka Pref. Fish. Exp. Stat. (7), 1~174 (in Japanese).

Kim, Y.S. 1980. Efficiency of energy transfer by a population of the farmed Pacific oyster *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay. J. Kor. Fish. Soc. 13 (4), 179~193 (in Korean).

Kusuki. Y. 1977a. Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds- I Produc-

tion of faecal materials by the Japanese oyster. Bull. Jap. Soc. of Sci. Fish., 4 43 (2) 163~166 (in Japanese).

Kusuki. Y. 1977b. Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds-II Organic content of faecal materials. Bull. of the Jap. Soc. Sci. Fish., 43 (2) 167~171 (in Japanese).

Lee, G.H. 1993. Fisheries oceanographical studies on the production of the farming oyster in Kamak Bay. Ph.D. thesis, Department of Oceanography, National Fisheries University of Pusan, pp. 1~180 (in Korean).

Nixon, S.W. 1981. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. Oceanol. Acta, Pro. Internat. Sympo. Coast. Lagoons SCOR/IABO/UNESCO, pp. 357~371.

Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology (3rd edition). Saunders, Philadelphia. 574 pp.

굴垂下式養殖水協. 1985. 굴養殖 水協二十年史. 太化出版社, pp. 117~133.

楠木豊 (1986): 二枚貝の適正收容力研究について. 廣島縣水産試験場, 指定調査總合助成 事業報告書, pp. 1~8.

林浩志・藤澤邦康・草加耕司. 1992. 岡山縣下のカキ養殖場におけるクロロフィル-aの分布 (1990). 岡山 水試報, 6, 1~8.

日本通商産業省 資源環境技術總合研究所. 1986. “浜名湖が磐田地區産業公害總合事前調査, -水質豫測シミュレ-ション報告書-”.

平野敏行. 1992. 漁場環境容量. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 1~120.

1996년 3월 15일 접수

1996년 9월 5일 수리