

서해 송도 갯벌에서의 동죽(*Mactra veneriformis*: Bivalvia)의 성장과 생산

신현출¹ · 고철환²

¹여수수산대학교 해양학과

²서울대학교 해양학과

Growth and Production of *Mactra veneriformis* (Bivalvia) on the Songdo Tidal Flat, West Coast of Korea

HYUN CHOOL SHIN¹ AND CHUL-HWAN KOH²

¹Department of Oceanography, Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749

²Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742

본 연구에서는 한국 서해 인천 연안의 송도 갯벌 조간대에 서식하는 동죽(*Mactra veneriformis*)의 성장과 생산을 조사하였다. 표본은 1989년 3월부터 1990년 9월까지 월별로 채집하였다. 각장은 1989년 3월부터 8월까지 단 일모드를 보였다. 1989년 9월부터는 작은 개체들이 출현하기 시작하여 이중모드를 보였다. 서식밀도는 다소 불규칙적으로 변동하였으나, 대체로 시간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 1989 연도군의 서식밀도는 1990년 2월 이후 급격히 증가하였다. 각장은 봄에 성장이 빠르고, 산란기 이후 여름과 가을에 둔화되며, 겨울에 성장을 멈추었다. 성장율은 연령이 증가될수록 감소하였다. 중량은 산란기 직전의 늦봄에 최대값을 보이고, 가을에 2차 최대값을 나타내었다. 윤장과 이로부터 역계산한 육질부 건중량으로 연성장을 분석하였다. 각장은 von Bertalanffy 성장 모델에, 건중량은 Gompertz 성장 모델에 잘 적합되었다. 1985년군의 L_{∞} 가 가장 높고, 1986년군이 가장 낮았다. 중량의 성장률은 2-3세에서 최대값을 나타내었다. 1984년군과 1985년군의 W_{∞} 와 성장률이 높았고, 1986년군과 1987년군이 낮았다. 최대성장률이 나타나는 연령은 1986년군과 1987년군이 더 빨랐다. 각장과 중량의 상대성장률은 연령에 따라 지수함수적으로 감소하였다. 육질부 건중량의 생물량은 모든 연령군에서 봄에 높았다가 산란기 이후 감소하여 겨울에 최저치를 보였다. 생물량은 1990년 8월에 $134.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 가장 높았다. 1989년도군이 가입한 이후에는 1989년군의 생물량이 총 생물량의 변동을 지배하였다. 1989년 3월부터 1990년 3월까지의 연생산량은 $67.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었다. 조사기간동안 1989년도군의 누적 생산량이 가장 높았고, 1984년군이 가장 적었다. 생산량은 봄과 가을에 증가하였고, 여름과 겨울에 0의 값을 보였다.

The present study was performed to determine the growth and production of *Mactra veneriformis* on the Songdo tidal flat off Inchon, west coast of Korea. Monthly samples were collected from March 1989 to September 1990. The size distributions of shell length showed unimodal patterns from March to August 1989. The bimodal pattern after September 1989 indicated a recruitment of young clams during this period. The density fluctuated irregularly, but showed a decreasing pattern over time on the whole. The density of the year class 1989 increased markedly after February 1990. The growth in shell length showed three phases during a year; a fast growth phase in spring, a slow growth phase in summer and autumn, and a lag phase in winter. The annual increment in shell length reduced with age. The flesh dry weight showed a peak in late spring just before the spawning period, and another peak in autumn. The length of annuli and the back-calculated flesh dry weight were used to describe the annual growth. The growth in shell length fitted to the von Bertalanffy model and the flesh dry weight to the Gompertz model. The absolute growth rate of the shell length reduced gradually with age. The year class 1985 had the highest L_{∞} ,

*본 연구는 교육부 학술진흥재단의 지원(BSRI-94-5409)에 의해 수행되었음.

and the year class 1986 the lowest L_{∞} . The annual growth in weight showed a typical sigmoid curve. The growth rate was maximum at the age of 2 to 3. Year classes of 1984 and 1985 had higher values of W_{∞} and higher absolute growth rates than those of 1986 and 1987. Maximum absolute growth rates of 1986 and 1987 year classes were recorded at younger ages than 1984 and 1985 year classes. The annual relative growth rates of length and weight decreased exponentially with age. Biomass in flesh dry weight increased till spring and thereafter decreased progressively. Maximum biomass was $134.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ in August 1990. The biomass of 1989 year class occupied highest proportion in total biomass. Annual production in flesh dry weight from March 1989 to March 1990 was $67.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{year}^{-1}$. Cumulative production of 1989 year class was highest among all year classes, and that of year class 1984 was lowest. The production is high in spring and autumn, and very low in summer and winter.

서 론

한국 연안에는 수산생물자원으로 이용되는 유용한 패류가 다양하게 서식하고 있으나 아직까지 이들 패류에 대한 생물학적, 생태학적 연구가 체계적으로 수행되지 못하였다. 서식지 퇴적환경의 기술이나 성장 모델의 추정 등 단편적인 결과들 만이 있을 뿐이다(유, 1960; 이 등, 1968, 1969; 김 등, 1977; 강과 김, 1983). 본 연구에서는 한국 서해 갯벌조간대의 대표적 유용 이매패류인 동죽(*Mactra veneriformis* Reeve)을 대상으로 동죽 개체군의 여러가지 생태 특징 중 개체의 성장과 시간에 따른 서식밀도와 생물량, 그리고 생산량의 변동을 분석하였다.

동죽은 이매패강(Class Bivalvia)의 개랑조개과(Family Mactridae)에 속하는 이매패로서 식용으로 이용가치가 높다. 한국, 중국, 일본의 주변해역에서만 서식한다. 우리나라에서는 인천 연안과 충남, 전북 일대의 갯벌조간대에 분포한다. 동죽은 5~10 cm 깊이의 굴을 갯벌에 파고, 수관만을 퇴적물 표면으로 내놓고 먹이를 취한다. 사나질 혹은 니사질 퇴적물에 미세한 모래가 50~90% 가량 섞인 곳이 서식지로 적합한 것으로 알려져 있다(이 등, 1968, 1969). 중부조간대부터 수심 20m 가량의 천해까지 분포하며, 담수의 영향을 거의 받지 않는 지역에 서식한다. 먹이는 *Paralia sulcata*, *Coscinodiscus minor*, *Fragilaria oceanica*, *Amphora laevis*, *Nitzschia seriata* 등의 규조류가 주종을 이룬다(유, 1960). 동죽은 식용으로 이용되기 때문에 산업적으로 이용 가치가 높은 이매패로 전국에서 매년 채집된 동죽의 어획량은 1982년에 9,366톤이었으며, 이 후 점차로 어획량이 줄어들어 1989년에는 2,231톤에 불과하였다(수산업협동조합, 1981~1990). 어획량은 줄어들었지만 아직까지 이매패류의 전체 어획량중 동죽이 차지하는 비율은

35.8%로 바지락(*Ruditapes philippinarum*) 다음으로 많다.

동죽의 생태에 관한 국내 연구는 매우 적다. 동죽의 먹이생물에 관하여 부산 용호만산을 대상으로 수행된 연구가 있으며(유, 1960), 그의 양식 조건을 조사하기 위하여 동죽이 서식하고 있는 지역의 퇴적물 입도에 관한 연구가 이루어졌을 뿐이다(이 등, 1968, 1969). 일본에서는 동죽 유생의 발달 과정에서 착생까지의 초기 생활사에 관한 연구가 양식을 목적으로 일부 이루어져 있다(Yoshida, 1964).

이매패류를 대상으로 한 성장모델은 주로 각장의 성장을 von Bertalanffy 성장식에 적합시켜 왔다(Ansell and Lagardere, 1980; Broom, 1982). 국내에서도 von Bertalanffy 성장모델을 대합(*Meretrix lusoria*)과 북방대합(*Spisula sachalinensis*), 맛조개(*Solen strictus*), 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*)의 각장 성장에 적용시킨 예가 있다(김 등, 1977; 강과 김, 1983; 홍과 박, 1994; 양, 1994). 본 연구에서는 동죽을 대상으로 성장이 연중 그리고 일생동안 어떠한 양상으로 일어나는가를 조사하고, 이를 성장모델에 적합시켜 보았다.

생산량은 지금까지 생물량(혹은 밀도와 중량)의 변동으로부터 산출하고자 노력해 왔으며, 이를 위해 다양한 추정 모델이 개발되었다. 생산량이란 특정 시간구간 동안 생물량의 변화량이며, 서식밀도와 중량 변화율의 곱의 합으로 계산될 수 있다. 이 개념에 의한 생산량의 추정 방법은 Ricker(1975)가 제안한 방법, Allen 곡선법(1951), Crisp(1984)가 제안한 방법, Waters(1969)의 회전율법 등이 있다. 이 중 해양생물학자가 가장 많이 사용하는 방법은 Crisp(1984)의 성장 증가량 합산법이며, 수산생물학자는 Ricker(1975)법을 많이 사용한다. 국내에서는 바지락(*Tapes philippinarum*), 맛조개(*Solen strictus*), 가리맛조개

(*Sinonovacula constricta*) 등의 일부 이매패류의 생산량이 추정되었다(김, 1986; 최, 1987; 홍과 박, 1994; 양, 1994). 본 연구에서는 동죽의 생산량을 Ricker (1975)의 방법으로 산출하였다. 또한 생산량을 연령군별로 추정하여 연령군별로 비교하였다.

재료 및 방법

동죽은 인천 앞 송도 조간대에서 채집하였다 (37° 28'N, 126° 36'E). 조사지역의 조석은 반일주조형이며, 연평균조차는 613 cm이며, 최대조차가 954 cm, 최소조차가 244 cm로 조차가 큰 해역이다(수로국, 1989). 인천항에서 관측된 조류의 최대 유속은 창조시 0.9~1.8 m·sec⁻¹이며, 낙조시 1.2~2.3 m·sec⁻¹이다(Yi, 1972). 연중 25회의 대조와 소조가 반복되었고, 대조시 최대 조차는 봄과 가을에 크고 여름과 겨울에 작다. 조사지역은 1989년에 연중 1일 1회 이상 노출되었으며, 평균 노출시간이 9.4 hr·day⁻¹, 최대 노출시간은 12 hr·day⁻¹, 최소 노출시간은 4 hr·day⁻¹이었다. 기온 및 퇴적물 표층 온도는 1989년동안 8월에 각각 30°C, 31°C로 최대를 기록하였고, 12월에 8°C, 10°C로 최저를 기록하였다(이, 1991).

1989년 3월 25일부터 1990년 9월 22일까지 총 17회에 걸쳐 매일 1회씩 동죽을 채집하였다. 채집시기는 매일 대조시의 최대 간조가 13:00~14:00에 일어나는 날을 택하였다. 무작위로 10개 이상의 채집점을 정하고 방형구(50×50 cm)내에 서식하는 동죽을 30 cm 깊이까지 파서 채집하였다. 현장에서 채집한 동죽은 실험실로 옮겨와서 각 방형구별로 개체수를 계수하였다. 그리고 무작위로 선정된 5~10개의 방형구에서 150개체 이상의 길이(cm)와 중량(g)을 측정하였다.

각장은 버니어캘리퍼스(0.05 mm)를 사용하여 측정하였다. 중량(g)은 육질부를 60°C의 전기건조기 속에서 2~3일간 건조시킨 후 정밀도 0.001 mg의 전자저울(Mettler H51)로 건조량을 측정하였다.

동죽의 폐각에 나타나는 연륜(annual growth ring)이 연령 형질로 적합한가를 알아보기 위하여 연변부지수(marginal index)를 계산하였다. 연변부지수의 시간에 따른 변화를 추적한 결과 연륜이 겨울에 형성됨이 판별되었으므로 폐각에 나타나는 윤문의 개수를 계수하여 동죽의 연령을 사정하였다(신, 1992).

연령을 사정한 개체를 대상으로 폐각에 나타나는

모든 연륜의 각장(윤장)을 측정하여 연륜이 형성될 시기에서의 각장을 역추정함으로써 각장 성장을 조사하였다. 1989년 12월 15일의 자료에서 구한 각장과 건조량간의 관계식을 이용하여 각 윤장에 해당하는 건조량을 추정한 후, 이를 이용하여 중량 성장을 조사하였다.

각장 성장식은 다음과 같은 von Bertalanffy(1938) 성장 모델 $L_t = L_{\infty}(1 - e^{-K(t-t_0)})$ 을 이용하였다. 중량 성장식은 다음과 같은 Gompertz(1825) 성장 모델 $W_t = W_{\infty} \cdot \exp(-a \cdot e^{-bt})$ 을 사용하였다. 연령군별로 성장식의 차이를 비교하기 위하여 각장의 성장식인 von Bertalanffy 성장모델에서는 Gallucci and Quinn (1978)이 제안한 변수인 각장의 초기($t=t_0$) 성장률에 해당하는 ω 를 이용하고, 중량의 성장식인 Gompertz 성장모델에서는 최대성장률(AGR_{max})을 이용하였다. 동죽의 생물량은 실제 채집한 개체들의 중량을 연령군별로 모두 합산한 값으로 하였다. 생산량은 Ricker(1975)의 방법을 이용하여 일일생산량을 기준으로 각 연령군별로 추정하였다.

결 과

1. 각장의 도수분포

각장의 빈도분포는 1989년 3월에서 6월 사이 한개의 최빈값을 보였다(Fig. 1). 1989년 7월에 2.5~3.0 cm 내외의 작은 개체가 소수 출현하였으나 그 수는 적었다. 1세 이상의 연령군들은 각장의 길이가 많은 부분에서 증척될 뿐만 아니라 1세군의 양이 적기 때문에 연령군별로 모드가 뚜렷이 나타나지는 않았고 전 연령군을 통털어 단일모드(unimode)를 보였다. 그러나 대체적으로 시간이 경과하면서 전체 개체군의 모드가 나타나는 각장이 증가하는 양상을 보여주었다. 1989년 9월에 각장 1.0~2.5 cm의 작은 개체들이 채집되면서 분포곡선이 뚜렷하게 이중모드(bimode) 형태로 나타났다. 즉 새로 가입된 0세군과 1세 이상의 복합연령군으로 구분되었다. 1990년 3월까지는 1989년에 가입한 1세군과 2세 이상의 복합 연령군으로 구분이 가능하지만 4월부터는 또 다시 단일모드의 형태를 띠기 시작하였다. 1989년의 경우와는 달리 2세 이상의 연령군의 개체수가 매우 적고, 1세군의 각장의 범위가 매우 넓음을 알 수 있다.

폐각에 나타나는 윤문으로 연령을 사정한 후, 각 연령군별로 계수하여 이를 단위면적당(m²)으로 환산

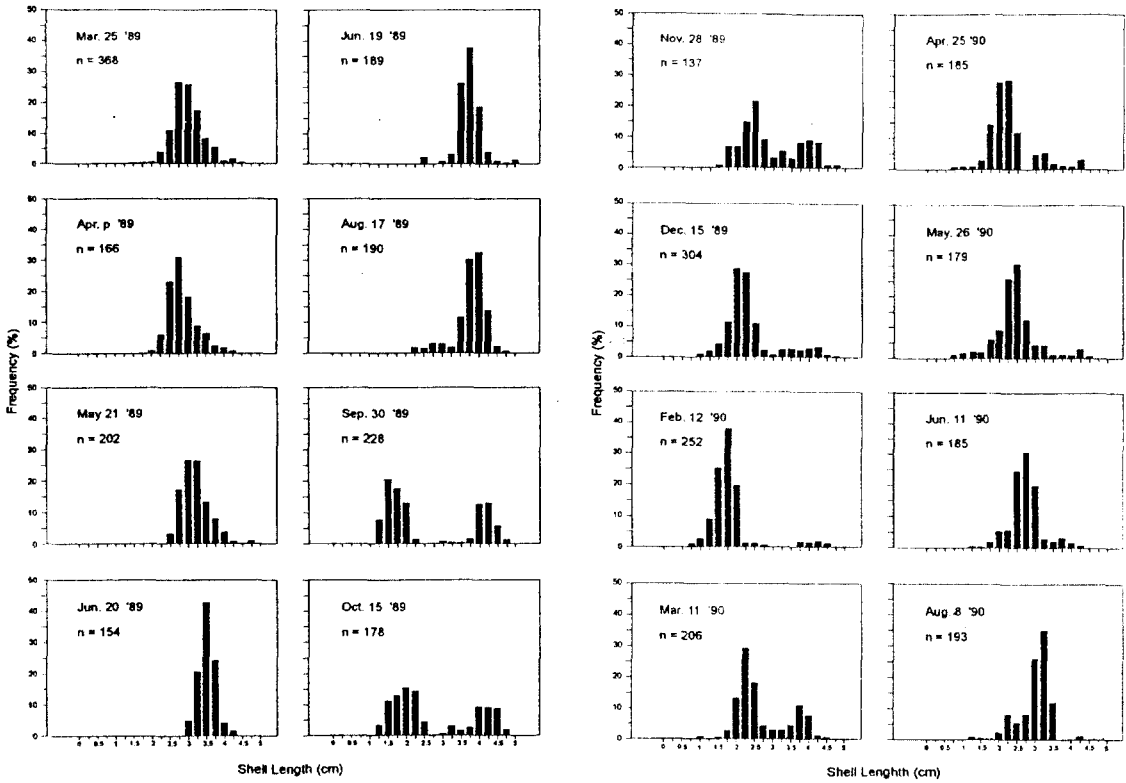


Fig. 1. The frequency distributions of shell length of *Mactra veneriformis* from March 1989 to August 1990.

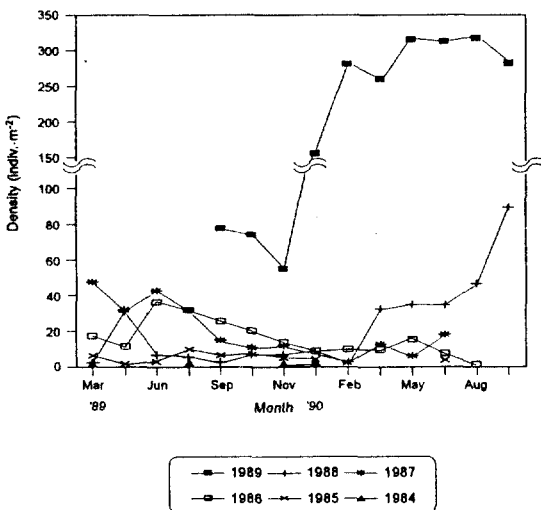


Fig. 2. Monthly variations in density (indiv. · m⁻²) of each year class of *Mactra veneriformis*.

하여 시기별 서식밀도의 변동을 나타내면 Fig. 2와 같다. 총 서식밀도는 1989년 9월에 새로운 연령군이

가입하면서 증가하기 시작하였다. 각 연령군별 연령군강도(year class strength)를 살펴보면, 1989년 9월에 새로이 가입한 1989년군의 연령군 강도가 가장 강하였다. 조사지역에 가입한지 1년밖에 되지 않은 1988년군은 심한 경우 가입 후 4년이 지난 1985년군보다 채집개체수가 적을 때도 있었는데, 이는 1988년군의 강도가 매우 약함을 의미한다. Fig. 2에서 특이한 점은 1989년군의 밀도의 변동 양상으로 1990년에서의 밀도가 1989년 밀도의 2~3배 정도이었다. 이는 동쪽의 초기 착생지역과 성장지역이 다를 수 있음을 의미한다. 즉 1989년 9월에 조사지역으로 처음 가입한 이 후 겨울을 거치면서 외부의 일차 착생 지역으로 부터 조사지역으로 대규모 이입이 일어난 것으로 보이며, '토의'에서 자세히 다루었다.

2. 각장과 육질의 성장

각장의 시간에 따른 변화는 모든 연령군에서 비슷하였다(Fig. 3a). 봄에 각장이 급격히 증가하고 초여름의 산란기 이후부터 성장이 거의 정체되었다가 가

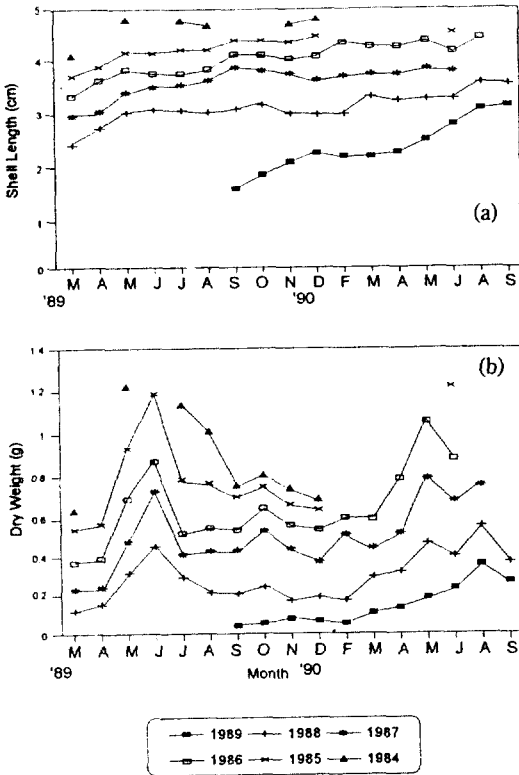


Fig. 3. Seasonal growth in shell length (a) and flesh dry weight (b) for each year class of *Macra veneriformis*.

을에 약간 증가한 후 겨울에는 거의 성장을 멈추었다. 반면에 육질부 건중량의 계절 변화는 각장의 변화와는 다른 양상을 보였다(Fig. 3b). 모든 연령군에서 봄에 중량이 급격히 증가하기 시작하여 초여름에 최대 중량을 보였다. 이 후 산란이 끝난 여름 이후 중량이 급속히 감소하였다가 가을에 이차 최대 중량을 기록하였으며 겨울에 다시 감소하였다. 육질부의 습중량과 패각중량을 합한 총습중량의 경우 육질부 건중량보다 시기에 따라서 11.8~21.3배 크다. 각장의 성장과는 달리 봄과 가을에 두번의 성장기를 보였다.

1989년과 1990년에 월별로 채집된 동죽의 패각에 나타나는 각 연륜의 폭(윤장)을 측정하여 각 윤장의 평균값을 이용하여 각장 성장식을 계산하였다(Table 1). 이 자료를 개체의 성장식에서 대표적으로 사용하는 von Bertalanffy 성장모델에 적합시킨 결과 유의확률(p)이 0.001 이하, 결정계수(R²)가 0.996 이상으로 매우 적합이 잘되었다. Fig. 4a에 각장의 성장을 절대성장률과 함께 나타내었다. 이론적인 최대각

Table 1. von Bertalanffy growth model of shell length and Gompertz growth model of flesh dry weight of *Macra veneriformis* collected on the Songdo tidal flat off Inchon.

Year class	Shell length	Flesh dry weight
1984	$L_{\infty}=5.07(1-e^{-0.37(t+0.58)})$	$W_{\infty}=0.91\exp(-4.42e^{-0.53t})$
1985	$L_{\infty}=5.31(1-e^{-0.31(t+0.68)})$	$W_{\infty}=0.98\exp(-4.56e^{-0.48t})$
1986	$L_{\infty}=5.00(1-e^{-0.36(t+0.48)})$	$W_{\infty}=0.78\exp(-4.77e^{-0.57t})$
1987	$L_{\infty}=5.13(1-e^{-0.33(t+0.62)})$	$W_{\infty}=0.77\exp(-4.56e^{-0.55t})$

장(L_∞)과 von Bertalanffy 성장계수(K)는 연령군에 따라 약간씩 차이를 보였다. L_∞는 1985년군이 5.31 cm로 가장 크고, 1986년군이 5.0 cm로 가장 작았다. 반면에 성장계수 K는 1985년군이 0.31으로 가장 낮고, 1984년군이 0.37로 가장 높다.

1989년과 1990년에 채집된 개체의 연륜으로부터 추정된 각장을 각장, 중량의 관계식을 이용하여 육질부 건중량으로 역계산한 후, 이로부터 육질부 건중량의 연성장식을 추정하였다(Table 1). 육질부의 건중량을 Gompertz 성장 모델에 적합시킨 결과 유의확률 0.001 이하, 결정계수 0.992 이상으로 적합도가 높았다. Fig. 4b에 중량의 성장을 절대성장률과 함께 나타내었다. 이론적인 최대중량 W_∞는 1985년군이 0.98 g으로 가장 크고, 1987년군이 0.77 g으로 가장 작았다. Gompertz 성장계수 g는 1985년군이 0.48로 가장 작고, 1986년군이 0.57로 가장 높았다. 최대성장률이 나타나는 연령과 최대성장률(AGR_{max})을 살펴봄으로서 각 연령군별 성장 양상을 비교해 볼 수 있다. 1984년군은 2.82세에 최대성장률이 0.175 g·y⁻¹, 1985년군은 3.20세에 0.170 g·y⁻¹, 1986년군은 2.75세에 0.163 g·y⁻¹, 1987년군은 2.77세에 0.154 g·y⁻¹이었다. 최대성장률을 기록한 연령은 1985년군이 가장 늦고, 1987년군이 가장 빠르다. 최대성장률은 1984년군이 가장 높고, 1987년군이 가장 낮다. 대체로 1984년군과 1985년군의 성장이 빠르고, 1986년군과 1987년군의 성장이 느리다고 할 수 있다.

각장 성장에서의 초기성장률(ω)과 중량 성장에서의 최대성장률(AGR_{max})을 계산하면 Table 2와 같다. 각장의 초기성장률 ω은 1984년군이 1.86으로 높고, 1987년군이 1.62로 낮았다. 건중량의 최대성장률 AGR_{max} 역시 1984년군이 0.18로 높고, 1987년군이 0.15로 낮았다. 각장의 경우는 1984>1986>1985>1987년군의 순으로 높고, 중량의 경우는 1984>1985>1986>1987년군의 순으로 높았다. 대체적으로 1984년군과 1985년군의 성장률이 높고, 1986년군과

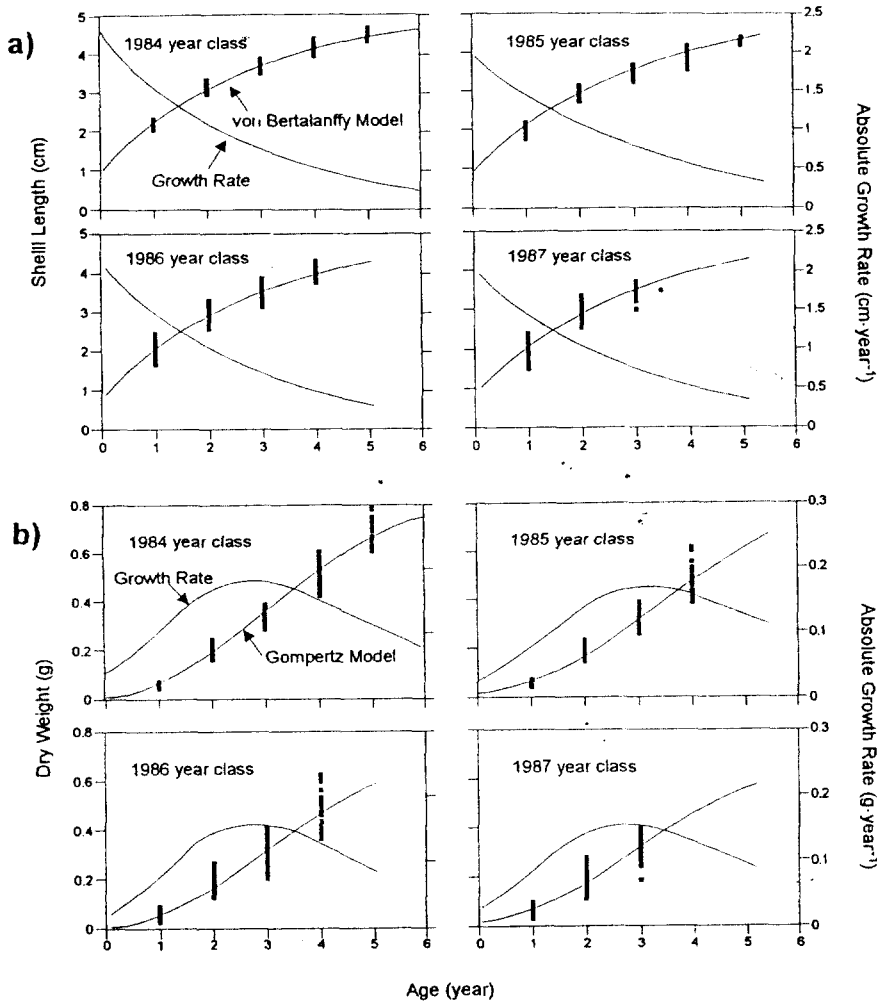


Fig. 4. Back-calculated annual growth and absolute growth rate in shell length (a) and flesh dry weight (b) of *Mactra veneriformis*.

Table 2. Comparison of growth rates among year class. ω is the absolute growth rate when shell length is zero at $t = t_0$ in von Bertalanffy model, which is suggested by Gallucci and Quinn (1978). AGR_{max} is the maximum in Gompertz model.

Year Class	1984	1985	1986	1987
ω	1.86	1.67	1.81	1.62
AGR_{max}	0.18	0.17	0.16	0.15

1987년군의 성장률이 낮았다.

3. 생물량 및 생산

건조육질부의 생물량을 연령군별로 구분하여 나

타내면 Fig. 5와 같다. 모든 연령군에 있어서 생물량이 봄에 증가하기 시작하여 초여름에 최대를 기록하고, 산란이 끝나면서 큰 폭으로 감소한 후 겨울에 최소를 기록하는 변화를 보였다. 1984년군은 서식밀도가 매우 낮기 때문에 생물량이 매우 적어 0.8~0.9 g·m⁻²에 불과하였다. 1985년~1988년군은 봄과 여름에 최대 생물량을 보여 변동 양상이 비슷하였다. 그러나 1989년 9월에 가입한 연령군은 생물량이 계속 큰 폭으로 증가하였다. 1989년 9월에 2.4 g·m⁻²이었으나 1990년 8월에 107.2 g·m⁻²까지 크게 증가하였다. 시간별 생물량의 변화는 개체중량의 변화 양상과 거의 일치하였다. 그리고 연령별 생물량의 차이는 연령별

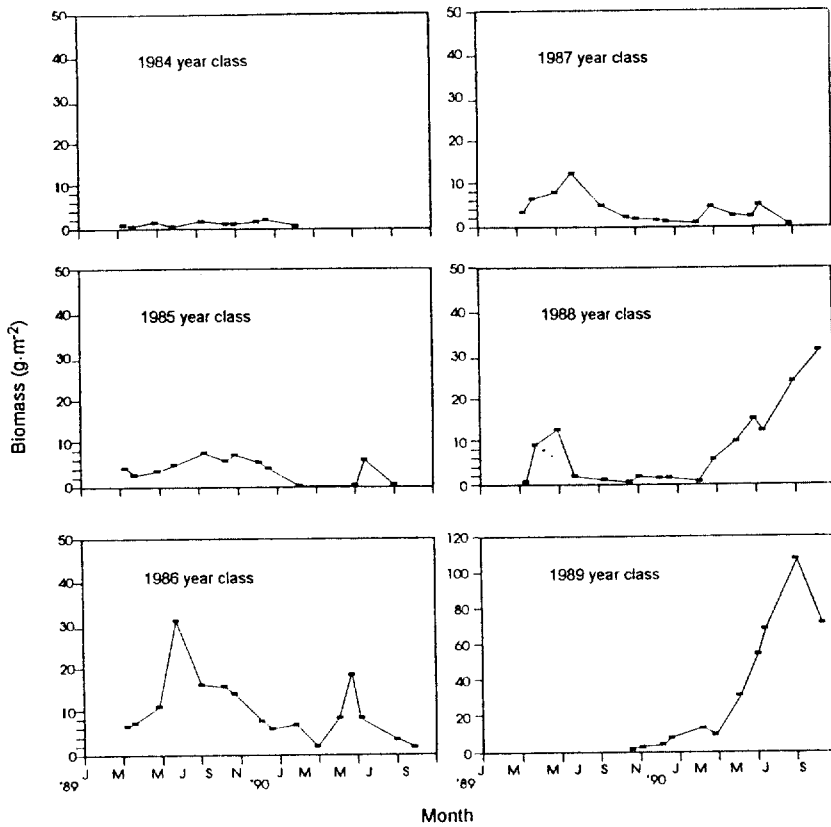


Fig. 5. Monthly variations in biomass ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) of flesh dry weight for each year class.

서식밀도에 크게 좌우되었다. 각 연령군의 생물량을 합한 총 생물량의 변화를 살펴보면, 1989년에는 산란 직전인 6월에 $64.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 최대 생물량을 보였고, 산란이 끝난 9월에 $28.5\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 격감하였다. 이 후 겨울로 가면서 계속 조금씩 감소하여 1989년 12월에 $20.8\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 최저를 기록하였다. 이 후 1990년 봄부터 생물량이 점차 증가하기 시작하여 8월초에 $134.6\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ 으로 최대를 기록하였다.

연령군별 생산량의 변화는 Table 3과 같다. 계산 과정 상에서 증량의 감소로 말미암아 성장률이 음의 값을 가지면 생산량도 음의 값으로 추정되나, 생산량이 음이 될 수는 없으므로 음의 값은 모두 0으로 처리하였다. 대부분의 연령군의 생산량은 봄에 증가하다가, 산란기 이후 여름에 0의 값을 기록하고, 가을에 다시 소량의 생산을 하다가 겨울에 다시 생산량이 0의 값을 기록하는 동일한 유형을 보였다. 각 연령군 별로 생산량의 값은 큰 차이를 보였다. 가장 생산량의 변화폭이 심한 연령군은 1989년에 새로 가입

Table 3. Production($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) of *Mactra veneriformis* in flesh dry weight from March 1989 to September 1990. "0" indicates the negative production.

Year Class Date	1989	1988	1987	1986	1985	1984	Total
'89 Mar 25		1.14	0.36	0.12	0.07		1.68
Apr 09		7.65	13.03	5.39	0.73	0.49	27.29
May 21		2.55	10.99	4.95	0.65		19.14
Jun 20		0*	0*	0*	0*	0*	0*
Aug 17	1.59	0*	0.30	0*	0*		1.88
Sep 30	0.83	0.21	1.21	2.71	0.39		5.35
Oct 15	1.87	0*	0*	0*	0*	0*	1.87
Nov 28	0*	0.14	0*	0*	0*	0*	0.14
Dec 15	0*	0*	0.66	0.46			1.12
'90 Feb 12	7.86	1.56	0*	0*			9.42
Mar 11	5.70	0.83	1.46	1.44			9.43
Apr 25	13.82	4.93	2.61	4.03			25.39
May 26	15.56	0*	0*	1.65	1.78		17.33
Jun 11	36.20	6.50		0*			44.36
Aug 08	0*	0*					0*
Sep 22							
Table	84.41	25.50	30.63	20.76	3.61	0.49	

된 연령군으로 1989년 9~10월에는 $0.83 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 이었던가, 1990년 6~8월에는 $36.20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 생산량이 변동폭이 매우 컸다. 다음으로 변동폭이 심한 연령군은 1987년군으로서 1989년의 4~5월의 기간동안 $13.03 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 를 기록하였으며, 6~8월중에는 0의 생산량을 보였다. 다음은 1988년군의 생산량의 변동폭이 크게 나타났으며, 1986년군과 1985년군의 생산량의 변동폭이 다음이었다. 1984년군은 생물량이 극히 적어 생산량이 미미하였다. 대체적으로 1988년군과 1989년군은 1990년의 생산량이 1989년의 생산량보다 높게 나타났다. 이는 성장에 따른 생물량의 증가가 크기 때문으로 여겨진다. 반면에 1987년군 이하는 오히려 1989년의 생산량이 1990년보다 높게 나타났다. 이는 1990년이 되면서 서식밀도가 계속 감소하여 생물량이 큰 폭으로 감소하였기 때문이다. 이러한 생산량의 변동은 육질부 중량의 계절적 변동에 직접적으로 영향을 받는 것으로 보인다. 즉 개체의 성장이 가장 왕성하게 일어난 봄에는 생산량이 크게 증가하다가, 6~7월에 산란이 일어남으로서 육질부의 중량이 크게 감소하여 생산량이 0의 값을 보였다. 이후 여름을 지나면서 개체의 성장이 다시 회복됨으로서 생산량이 소폭이나마 증가하다가 겨울에 성장을 멈춤으로서 다시 생산량이 0의 값을 보였다.

조사기간인 1989년 3월 25일부터 1990년 9월 22일까지의 누적생산량은 $164.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 이었다. 반면에 1989년 3월부터 1990년 3월까지의 거의 일년의 기간동안에 생산된 연생산량은 $67.9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었다. 연생산량의 추정은 조사시기 및 기간이 언제인가, 그리고 매년 연령군강도가 다르기 때문에 추정치가 달리 계산될 수 있다. 따라서 연생산량의 추정은 반드시 조사기간과 연령군별 생산량 추정치를 명시하여야 할 것으로 보인다. 조사기간동안 누적생산량이 가장 많은 연령군은 1989년군으로 총 $84.4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 생산하였으며, 다음은 1987년군이 $30.6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 1988년군이 $25.5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 을 기록하였다. 그리고 1984년군과 1985년군의 누적생산량은 극히 적었다. 연령군별 생산량의 차이는 평균 개체무게의 차이에 의한 것보다 생물량에 더 심한 영향을 받았다. 즉 생물량이 매우 높은 1989년군의 생산량이 많고, 개체중량이 많이 나가는 4세군이나 5세군은 생물량 자체가 적기 때문에 생산량이 매우 적었다.

수산업의 관점에서는 육질부 건중량의 변화보다는 육질부 습중량과 패각중량을 합한 총 습중량이

중요하다. 총 습중량 관점에서의 생물량을 표로 처리하여 제시하지는 않았지만, 1989년 6월에 $760 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 최대를 기록한 후, 점차 감소하여 1990년 2월에 $374 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 최소치를 보였다. 이후 증가하기 시작하여 1990년 8월에 $1,987 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 최대를 기록하였다. 1990년의 습중량이 1989년보다 월등히 높은 것은 1989년군의 생물량이 $1,615 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 매우 높은 값을 기록하였기 때문이다. 총 습중량으로 계산한 생산량은 1989년 5월에 $235 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 최대이고, 산란 이후인 9월에 $206 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 크게 감소하였다가, 1990년 8월에 $839 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 으로 다시 최대에 달하였다. 1990년의 생산량이 매우 높은 것은 1989년군이 1990년에 최대 생산을 보였기 때문이다. 일례로 1989년군은 1990년 6월과 8월 사이에 $1,355 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 를 생산하였다. 조사기간동안의 총생산량은 $2,287 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 이었고, 1989년 3월부터 1990년 3월까지의 연생산량은 $880 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-1}$ 이었다.

고 찰

동족의 운문은 각장 성장이 둔화될 때 형성된다. 동족의 각장 성장은 Fig. 3의 계절성장에서 보듯이 봄에서 초여름에 성장이 가장 빠르고, 이 후 점점 둔화되어 겨울에 성장을 멈춘다. 연변부지수 역시 1989년에는 3월에 가장 낮은 값을 보이고, 6월까지 급속히 증가하다가 산란기 이후 증가가 크게 둔화되었다(신, 1992). 따라서 동족의 연륜은 패각의 성장이 멈추는 시기인 겨울에 생성되는 것으로 판단된다.

동족의 개체군의 서식밀도가 연령군별로 크게 차이가 나는 현상(Fig. 2)은 크게 두가지 요인으로 생각해 볼 수 있다. 첫째는 조사시기 이전에 본 조사지역인 인천 갯벌조간대 일대에서 동족의 대량폐사가 일어날 만큼 열악한 환경의 시기를 거친 이후 현재 서서히 개체군 서식밀도가 회복되고 있다는 사실과 두 번째는 동족의 착생지역과 성장지역이 다르다는 사실이다.

1986년까지는 전국의 동족 어획량의 90% 이상이 조사지역을 포함한 인천 연안에서 어획되었는데, 1987년 이후 어획량이 격감하였다(수산업협동조합, 1981~1990). 이는 1987년 중반기에 발생한 동족의 대량폐사를 반영한 것으로 보인다. 1984년군과 1985년군은 1987년 대량폐사가 일어날 시기에 3세군 이상으로 상당히 성장이 이루어진 연령군이므로

환경 격변에 의한 영향을 비교적 적게 받아 사망률이 낮을 수 있다. 그러나 1986년군은 이 시기에 1세군, 1987년군은 산란 및 착생기에 해당되므로 환경 변화에 민감하였을 것이다. 1988년군은 1987년에 변화된 환경이 아직 동죽의 생육에 적합한 환경으로 되돌아가지 않았기 때문에 가입률이 적어 조사시기에 낮은 밀도를 보인 것으로 판단된다. 1989년에는 서식 환경이 정상 상태로 회복되고 있기 때문에 가입밀도 혹은 서식밀도가 다른 연령군보다 월등히 높았다고 볼 수 있다. 1986년의 관찰에서 동죽은 퇴적물내에 두층 혹은 세층으로 겹겹이 쌓여서 서식하고 있었으며, 서식밀도가 500 indiv. m^{-2} 이상으로 높았다(고와 신, 미발표자료).

이로 보아 현재는 동죽 개체군은 대량폐사 이후 서서히 회복되고 있는 과정 중에 있다고 하겠다.

개체군 동태를 연구할 때 개체군의 이입, 이출에 의한 개체수의 변동은 정확한 밀도의 추적을 어렵게 하는 요인이다. 일반적으로 이매패류는 퇴적물속에 파고 들어가 표면으로 수관만 내어 놓고 생활하는 정착성동물이다. 그러나 최근에 이르러서 생활사 초기 단계에서 2회의 이동을 한다는 사실이 밝혀지고 있다. 즉 저서생활로 들어가기 전의 부유유생기 때 이동을 하고, 이 후 완전한 저서생활을 하기 전의 치패시기에 또다시 이동을 한다. 크기가 수 mm로 성장한 치패의 이차이동은 패각에 붙어 있는 긴 투명한 실을 바닥에 끌면서 해류를 타고 처음으로 착생한 지역에서 완전히 정착하여 보다 큰 크기의 성체로 성장할 수 있는 지역으로 먼거리를 이동한다(Sigurdsson *et al.*, 1976; Beukema and de Vlas, 1989). 1989년에 조사지역에 새로 가입한 동죽의 개체수는 77 indiv. m^{-2} 이하 이었으나, 1990년에는 겨울을 지나면서 동일한 연령군의 밀도가 253 indiv. m^{-2} 이상으로 증가하였다(Fig. 2). 또 1989년 9월에 조사지역에서 처음으로 1989년군이 채집될 당시 이미 개체의 각장이 1.0 cm 정도의 크기이기 때문에 현장에서 채집하면서 놓칠 가능성은 거의 없다(Fig. 1). 1989년 3월에 10회 이상 채집을 반복하면 채집 개체수가 현장의 밀도를 대표할 수 있는 것으로 판명되었으므로(신, 1992), 채집회수의 부족으로 인한 자료의 변이는 아니라고 판단된다. 그럼에도 불구하고 1989년군의 개체수가 1989년과 1990년에 큰 차이를 보이는 것은 동죽의 치패가 겨울을 지나면서 조사지역으로 이동해 들어온 것으로 판단된다. 실제로 조사

지역보다 바다쪽의 하부조간대에서 1989년 11월에 각장이 0.5 cm 이하인 치패가 대량으로 발견되었다. 그리고 1988년 5월에 조사지역 주변의 경기만에서 선박을 이용하여 만조때 선박이 들어갈 수 있는 하부조간대지역을 조사한 결과 0.2~0.3 cm 가량의 동죽 치패가 대량으로 채집되었다(Shin *et al.*, 1989). 이상의 사실로 미루어 볼 때 본 연구에서는 조사되지 않았지만 동죽 역시 유생의 가입지역과 성체의 성장지역이 다르고, 동시에 가을부터 겨울 사이에 성체의 성장지역으로 이차이동을 하는 것으로 보인다.

본 논문에서 동죽의 각장 성장과 중량 성장을 연 성장으로 파악하였다. 그러나 실제 연중 계절별 성장 양상이 심한 변동을 보이므로 연성장으로 정확한 성장 양상을 파악하는 데는 무리가 있다. 즉 각장의 계절별 변동을 살펴보면, 봄에 급격히 각장이 증가하고 초여름의 산란기 이후부터 성장이 정체되었다가 가을에 소폭 증가하고 겨울에는 거의 성장을 멈춘다(Fig. 3). 육진부 건중량의 계절 변화는 봄에 중량이 급격히 증가하기 시작하여 초여름에 최대 중량을 보이고 이후 산란이 끝나면 중량이 급속히 감소하였다가 가을에 이차 최대 중량에 달한 후 겨울에는 다시 감소하였다. 각장의 성장과는 달리 산란기 이후와 겨울에 중량이 감소하는 것이 특징이다. 그러므로 개체의 성장을 정확하게 파악하기 위해서는 반드시 계절 성장을 고려할 필요가 있다.

연령군별 성장식 차이중 특이한 것은 1984년군과 1985년군의 성장률이 높고, 1986년군과 1987년군의 성장률이 낮았다는 사실이다. 1986년군과 1987년군의 각장, 중량 성장률이 낮다는 사실은 바로 1987년에 동죽개체군이 대량폐사할 만큼 환경이 열악했음을 의미한다. 즉 1984년, 1985년 연령군은 악화된 환경에도 불구하고 생존 개체들은 이 환경을 어느정도 극복할 수 있을 정도로 성장하였기 때문이라 할 수 있다. 이는 연령군별로 최대성장률과 최대성장률이 나타나는 시기에서도 알 수 있다. 즉 최대성장률을 기록한 연령은 1984년군과 1985년군이 가장 늦고, 1986년군, 1987년군이 가장 빠르다. 그리고 최대성장률은 1984년군, 1985년군이 높고, 1986년군, 1987년군이 낮다. 1984년군과 1985년군의 성장이 매우 양호하나, 1986년군과 1987년군의 성장률도 불량하고 열악한 환경을 극복하기 위해 가능하면 빠른 기간에 성장하려고 하는 것으로 보인다.

생산량은 평균생물량과 육질부 중량의 상대증가

울의 곱으로 추정하였기 때문에 육질부 중량의 상대 증가율이 감소하였을 때, 생산량이 음(-)의 값으로 추정될 수가 있다. 이러한 시기는 본 연구에서 산란 직후와 겨울철이다. 즉 산란 직후 생식소 중량이 빠진 다거나 겨울철에 대사활동을 미약하게 함으로서 전체 개체중량이 감소하기 때문에 중량 상대증가율이 음의 값을 가질 수 있다. 본 연구에서는 이렇게 하여 감소한 중량은 동족 개체군의 관점에서는 소실된 양이지만 생태계의 관점에서 볼 때는 생태계내로 유입한 양이므로 음의 값이 될 수 없다는 의미로서 추정 생산량이 음의 값을 가질 때는 이를 0으로 처리하였다.

참고문헌

- 강용주, 김종관, 1983. 한국연안천해생물군집의 구조와 생산. 3. 동해산 북방대합(*Spisula sachalinensis*)의 연령과 성장. 한국수산학회지, 16: 82-87.
- 김한수, 1986. 가로림만 바지락(*Tapes philippinarum*)의 성장, 사망 및 생산. 이학석사학위논문, 충남대학교, 44pp.
- 김봉안, 김백균, 김선웅, 1977. 백합 *Meretrix lusoria* (Röding)의 성장에 관한 연구. 수산연구보고, 17: 77-85.
- 수로국, 1989. 검조기록부.
- 수산업협동조합, 1981~1990. 수산물계통판매고통계연보.
- 신현출, 1992. 동족(*Macra veneriformis*: Bivalvia)의 성장과 개체군동태. 이학박사학위논문, 서울대학교, 135pp.
- 양미라, 1994. 가리맛조개(*Sinonovacula constricta*: Bivalvia)의 성장과 생산. 이학석사학위논문, 서울대학교, 81pp.
- 유성규, 1960. 용호만산 이매패의 식이에 관한 연구. 제 1보. 불통 *Macra veneriformis*. Bull. Pusan Fish. Coll. 3: 43-52.
- 이창훈, 1991. 인천 송도 조간대 저서미세조류의 일차생산에 관한 연구. 이학석사학위논문, 서울대학교, 110pp.
- 이춘구, 장남기, 이정재, 1968. 해산패류 증식을 위한 간석지 개척에 관한 연구. (1) 경기만 간석지의 토성과 화학적 조성에 관하여. 한국수산학회지, 1: 115-119.
- 이춘구, 장남기, 최신석, 1969. 패류양식을 위한 적지환경 요인에 관한 연구. 한국수산학회지, 2: 33-40.
- 최영민, 1987. 삼천포 신수도 연안에 서식하는 바지락 *Tapes philippinarum*의 2차 생산에 관하여. 이학석사학위논문, 부산수산대학교, 45pp.
- 홍재상, 박홍식, 1994. 인천연안 간석지산 주요 저서생물의 성장과 생물생산 II. 최전지역 간석지에 서식하는 맛조개 *Solen(Solen) strictus*의 생물생산. 한국수산학회지, 27: 560-571.
- Allen, K.R., 1951. The computation of production in fish population. *N.Z. Sci. Rev.*, 8: 89.
- Ansell, A.D. and F. Lagardere, 1980. Observation on the biology of *Donax trunculus* and *D. vittatus* at Ile d'Oleron (Frensh Atlantic Coast). *Mar. Biol.*, 57: 287-300.
- Beukema, J.J. and J. de Vlas, 1989. Tidal-current transport of thread-drifting postlarval juveniles of the bivalvia *Macoma balthica* from the Wadden Sea to the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 52: 193-200.
- Broom, M.J., 1982. Analysis of the growth of *Anadara granosa* (Bivalvia: Arcidae) in natural artificially seeded and experimental populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 9: 69-79.
- Crisp, D.J. 1984. Energy flow measurements. In: Methods for the study of marine benthos, edited by Holme, N. A. and A.D. McIntyre: Blackwell Scientific Publications, 197-279.
- Gallucci, V.F. and T.J. Quinn, 1979. Reparameterizing, fitting and testing a simple growth model. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 108: 14-25.
- Gompertz, B., 1825. On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.*, 115: 515-585.
- Ricker, W.E., 1975. Computation and interpretation for biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 191: 382pp.
- Shin, H.C., J.W. Choi and C.H. Koh, 1989. Faunal assemblages of benthic macrofauna in the inter- and subtidal region of the inner Kyeonggi Bay, west coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, 24: 184-193.
- Sigurdsson J.B., C.W. Titman and P.A. Davis, 1976. The dispersal of young post-larval bivalve molluscs by byssus threads. *Nature*, 262: 386-387.
- von Bertalanffy, L., 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Human Biol.*, 10: 181-213.
- Water, T.F., 1969. The turnover ratio in production ecology of freshwater invertebrates. *Am. Nat.*, 103: 173-185.
- Yi, S.U., 1972. On the tides, tidal currents and tidal prisms at Incheon Harbor. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 7: 86-97.
- Yoshida, H., 1964. Seedling of shell-fish. Hokuryu Kan Co., Tokyo, 221pp.