

BSPE 00255-446-3

서해 조간대에 분포하는 두토막눈썹참갯지렁이
(*Perinereis aibuhitensis*)의 개체군 동태에 관한 연구

Population dynamics of *Perinereis aibuhitensis* in the intertidal
mud flat of the west coast of Korea

1992. 3.

한국해양연구소

제 출 문

한국해양연구소 소장 귀하

본 보고서를 “서해 조간대에 분포하는 두토막눈썹참갯지렁이의 개체군 동태에 관한 연구” 사업의 최종 보고서로 제출합니다.

1992 년 3 월 31 일

한국해양연구소

연구책임자 : 이 재 학

연 구 원 : 최 진 우

요약문

1. 낚시 미끼로서 상업적 이용이 높은 해산 갯지렁이에 대한 현존 자원량과 생활사 및 자원생태학적인 특성이 필요하며 이를 위해서는 대상 개체군의 서식밀도, 개체군 변동, 성장을 및 사망율, 생산량 등에 관한 정보가 필요하다.
2. 한국 서해의 조간대 갯펄에 서식하는 두토막눈썸참갯지렁이(*Perinereis aibuhitensis*)의 개체군동태와 생산량을 조사하기 위해서 인천 청라도 지역에서 1990년 9월부터 1991년 11월까지 15개월간 매월 시료를 채집하였다.
3. 조사지역내의 평균 서식밀도는 129개체/m²였고, 생물량은 77.9 g/m²였다. 조사정점 1에서의 월별 현존량변화를 보면 1991년 7월에 230개체/m²로 최대였고, 1990년 12월에 52개체/m²로 가장 적었다. 생물량은 1991년 5월에 134.8 g/m²로 최대였고 1990년 12월에 34.7 g/m²로 최소였다.
4. 청충의 개체군은 총 5개의 연급군 (cohorts)으로 구성되어 있었으며, 봄철에 1개의 연급군이 여름인 7월부터 가을까지 매달 1개의 연급이 출현하였다. 대부분 연급군의 평균적인 수명은 1년 정도였다.
5. 조사기간 동안 연급군의 성장은 지수함수적 성장을 보였으며 성장율은 0세군의 경우 0.68/Mo.에서 0.81/Mo.을, 1세군은 0.1/Mo.에서 0.2/Mo.을 보였다. 성장율은 겨울에 낮고 여름에 높았다.
6. 전사망율은 연급군 I이 $Z = -0.358/\text{Mo.}$ ($-3.60/\text{yr}$)였고, 다른 연급군들도 Z의 값이 $-0.314/\text{Mo.}$ 에서 $-0.363/\text{Mo.}$ 에 있어서 연급군 I과 비슷하였다.
7. 연급군별 총 생산량은 가입시기에 따라 차이를 보였으며, 7월에 가입한 연급군 I이 68.12 g/m²로 가장 많았고 P/B ratio는 4.0이었다. 전체 개체군의 연간 생산량은 267.63 g (wet)/m²/yr였고 P/B ratio는 3.43이었다.

Abstract

1. For the effective management of marine polychaete resources it is necessary to get information on the standing stock, population dynamics, growth and mortality rates, and production of the target population.
2. To investigate the population dynamics and annual production of *Perinereis aibuhitensis* inhabiting in the silty sediment of intertidal zone of the western coast of Korea, monthly sampling was conducted from Sept., 1990 to Nov., 1991.
3. Mean population density of *P. aibuhitensis* was 129 ind./m² and mean biomass was 77.9 g wet/m². The maximum population density was 230 ind./m² in July of 1991, and the maximum biomass was 134.8 g wet/m² in May, 1991. The minimum density and biomass appeared in Dec., 1990 with 52 ind./m² and 34.7 g/m², respectively.
4. Total five cohorts were identified by Bhattacharya's method. Four cohorts appeared during main recruitment period from July to Oct. or Nov., and one cohort recruited in March. Most cohorts showed that their life span was less than one year. The spring cohort had the shortest life span of 5 months.
5. The instantaneous growth rate of younger cohorts was in the range of 0.68/Mo. to 0.81/Mo. while that of older cohorts was 0.1/Mo. - 0.2/Mo. Seasonal change in the growth rate was found; more rapid growth occurred during summer.

6. Total mortality rates (Z) of cohorts were in the similar level ranging from 0.314/Mo. to 0.363/Mo., which approximately corresponds to 3.60/yr.

7. The total production of cohort I, which recruited in July, was 68.12 g wet/m², and its P/B ratio was 4.0. The annual production of *P. aibuhitensis* was 267.63 g (wet)/m²/yr, and the P/B ratio was 3.43.

목차

그림 목차	-----	13
표 목차	-----	15
제 1 장 서론	-----	17
제 2 장 재료 및 방법	-----	19
제 3 장 결과 및 고찰	-----	25
제 1 절 서식지 환경	-----	25
제 2 절 두토막눈썹참갯지렁이 개체군 동태	-----	27
1. 현존량	-----	27
2. 성장 및 생산율	-----	29
가. 상대성장	-----	29
나. 성장식의 추정	-----	30

3. 사망율 -----	47
4. 생산량 추정 -----	49
가. 생체 생물량과 고정 생물량간의 관계 -----	49
나. 습중생물량과 건조생물량간의 관계 -----	50
다. 각 연급군별 연간 생산량 추정 -----	50
제 4 장 요약 및 결론 -----	57
참고 문헌 -----	60
부 록 -----	61

Content

List of figures -----	13
List of tables -----	15
Chapter 1. Introduction -----	17
Chapter 2. Materials and Methods -----	19
Chapter 3. Results and discussion -----	25
Section 1. Habitat environments -----	25
Section 2. Population dynamics of <i>Perinereis aibuhitensis</i> ----	27
1. Abundance and biomass -----	27
2. Growth and survival rates -----	29
A. Relative growth -----	29
B. Growth equations -----	30

3. Mortality rate of <i>P. aibuhitensis</i> -----	47
4. Production -----	49
A. Relationship between alive and fixed body weights --	49
B. Relationship between wet and dry weights -----	50
C. Annual production of each cohort -----	50
Chapter 4. Summary and Conclusion -----	57
References -----	60
Appendix -----	61

List of Figures

Fig. 1. A map showing study area and sampling sites. -----	20
Fig. 2. The density and biomass of <i>Perinereis aibuhiensis</i> . -----	27
Fig. 3. Total density and biomass of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	28
Fig. 4. Size-frequency distribution of <i>P. aibuhitensis</i> based on body weight. -----	31
Fig. 5. Average body weight of each cohort of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	42
Fig. 6. Estimated weight-specific growth rate for each cohort of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	46
Fig. 7. Total production of cohort I of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	52
Fig. 8. Total production of cohort II of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	52

Fig. 9. Total production of cohort III of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	53
Fig. 10. Total production of cohort IV of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	53
Fig. 11. Total production of cohort V of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	55
Fig. 12. Monthly total production of <i>P. aibuhitensis</i> during the sampling period. -----	55

List of tables

Table 1. The grain size composition and total organic carbon content of surface sediments. -----	26
Table 2. The summary of the regression analysis on the relationship between body weight and width of the tenth segment of <i>P. aibuhitensis</i> . -----	30
Table 3. The result of multiple polymodal analysis on cohorts of <i>Perinereis aibuhitensis</i> . -----	37
Table 4. The growth equations of cohorts of <i>P. aibuhitensis</i> during the study period. -----	45
Table 5. The coefficient of total mortality(Z) of each cohort of <i>P. aibuhitensis</i> during the study period. -----	48
Table 6. Total production of each cohort of <i>P. aibuhitensis</i> during the study period. -----	51

제 1 장 서론

해산 갯지렁이는 우리나라 연안의 갯벌에 널리 분포하는 저서동물로서 저서어류의 주요 먹이생물로 이용되고 있으며 (김, 1987), 또한 해양 저서생태계에서 유기물을 소비하여 분해시키는 해저오염의 정화자로서도 중요한 역할을 수행하고 있다 (Clark, 1977).

우리나라에서는 1970년대 초반부터 이 해산갯지렁이를 낚시용 미끼로서 일본, 프랑스, 이탈리아 등 해외로 수출하기 시작하면서 본격적인 어업생산에 돌입하였다. 낚시용 미끼로서 주로 채취되고 수출되는 해산 갯지렁이로는 청충 (두토막눈썹참갯지렁이: *Perinereis aibuhitensis*)과 본충 (바위털갯지렁이: *Marphysa sanguinea*)이었다. 1970년대 후반과 1980년대 전반에는 연간 갯지렁이 어획량이 일천 M/T 수준에 이르렀으나 1980년 후반에는 700 M/T 정도로 어획량이 해마다 감소하고 있는 추세이다 (한국해양연구소, 1991).

일반적으로 어업자원을 효율적으로 이용하고 관리하기 위해서는 그 생물의 현존 자원량과 생활사 및 자원생태학적 특성이 상세히 밝혀져야 한다. 그러나 우리나라의 경우 상업적으로 이용가능한 해산 갯지렁이에 관한 연구로는 형태적 특징에 관한 것이 주류였고 (Paik, 1975), 자원량이나 생활사 및 생태학적인 특성에 관한 연구로는 아직 초보단계에 있으며 (국립수산진흥원, 1973; 해양과학연구소, 1977), 최근에 이용도가 높은 청충과 본충에 대한 서식밀도와 현존자원량에 대한 연구가 있었다 (한국해양연구소, 1989; 김, 1991).

본 연구에서는 인천 청라도 조간대 갯벌에 분포하는 청충 (두토막

눈썹참갯지렁이)의 개체군을 대상으로 서식밀도, 연중 개체군 변동, 성장을
및 연간 생산량 등 개체군동태에 관한 정보를 얻고자 하였다.

제 2 장 재료 및 방법

제 1 절 현장조사

두토막눈썹참갯지렁이 개체군의 서식밀도와 크기별 조성을 조사하기 위해 인천 청라도 일대의 조간대 갯펄에서 1990년 9월부터 1991년 11월 까지 매달 현장조사가 이루어졌다 (Fig. 1). 서식밀도 조사를 위해서는 조사지역내 10개 정점을 선정하여 1990년 9월부터 12월까지 현장채취가 있었고 개체군 동태를 보기 위한 월별 시료채취는 조사지역을 대표할 수 있는 정점 1에서 이루어졌다.

환경요인에 대한 조사는 기온, 퇴적물 온도, 해수의 염분 등과 퇴적물의 입도, 함수율, 유기물함량 등을 측정하기 위해 퇴적물을 채취하였다.

청충의 시료는 1 m² 넓이의 방형구를 사용하여 각 정점에서 임의채집이 되도록 하여 5회씩 채집이 이루어졌고, 한번 채집이 이루어진 장소를 피하여 채집하였다. 우리나라 서해 갯펄에서 청충은 대개 임의분포를 하고 있으며, 서식밀도 평가를 위한 채집회수도 1m²의 크기에서 5회 이내인 것으로 보고되었다 (김.장, 1991). 따라서 본 조사에서는 매 조사시의 채집횟수는 5회를 기준으로 하였으며, 1991년 6월부터는 0.25 m² (50 cm x 50 cm) 넓이의 방형구 내에서 청충을 채집하였다. 성체의 채집은 세가닥으로 난 호미를 사용하여 약 30 cm 깊이까지 흙을 파서 손으로 잘게 조개어 그 속에 들어 있는 개체를 가능한한 모두 잡을 수 있도록 하였다. 어린 개체의 출현을 보기위해 0.24 m² (22 x 11 cm) 넓이를 덮는 can corer를 약 30 cm 깊이 까지 박아서 퇴적물을 채취하여 실험실로 옮겨 1 mm² 망목의 체로 걸렀다.

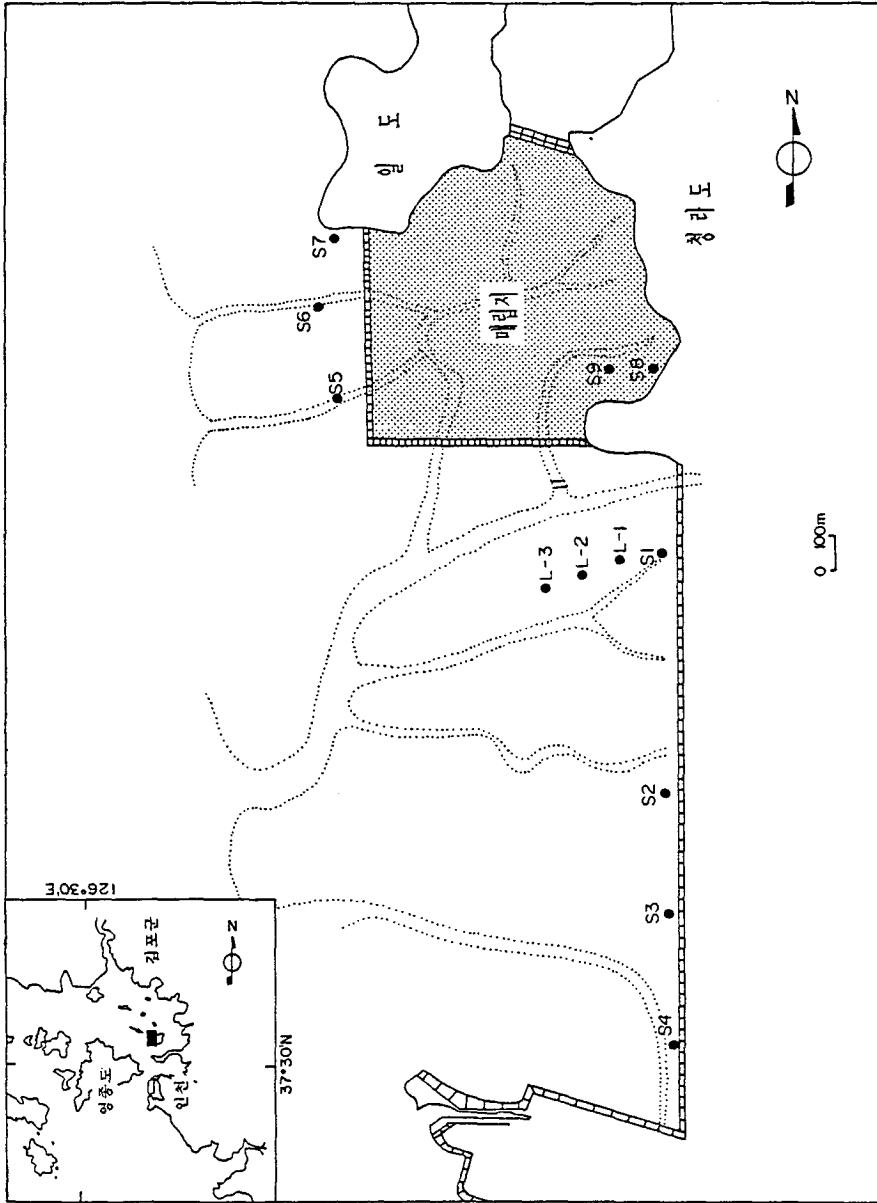


Fig. 1. A map showing study area and sampling sites.

현장에서 손으로 잡은 성체는 10 % 포르말린으로 고정하였다.

제 2 절 자료분석

1. 체중과 체폭 및 체장과의 관계

현장에서 채집시에 몸체가 끊어진 개체의 생물량을 추정하기 위해 매월 채집된 시료 중에서 완전한 개체를 대상으로 10번째 체절의 체폭과 체중을 측정하여 청충의 체폭과 체중간에는 다음의 식이 성립한다는 가정하에 이들간의 관계식을 구하였다.

$$W = a \cdot L^b \quad (W : \text{체중}, L : \text{체폭}) \quad \text{--- 식 1}$$

식 1의 양변에 대수를 취하면 $\ln(W) = \ln(a) + b \cdot \ln(L)$ 로 되고 이것은 일차식이므로 직선회귀식의 상수와 기울기를 구하여 식1의 매개변수 a 와 b를 구하였다.

현장에서 생체의 무게나 체장 및 체폭을 측정하기는 여러가지 여건상 어렵기 때문에 생체시료를 실험실로 옮겨 생체와 고정된 개체간의 형태적 차이를 보고자 하였다. 생체시료는 1992년 4월에 채집된 개체 중에서 완전하면서 다양한 크기가 포함된 약 90개체를 무작위로 골랐다. 각 변수간에는 대수 또는 직선관계를 가정하여 회귀식을 구하였고 결정계수가 가장 큰 경우의 관계식을 택하였다.

2. cohort 분석

해산 갯지렁이는 거의 대부분 성장륜을 나타내는 고행체가 없기 때문에 직접적인 연령사정이 어렵다. 참갯지렁이과(Fam. Nereidae)에 속하는

종들은 턱(jaw)을 한쌍씩 가지고 있어서 연령사정이 가능할 것으로 예상되었으나, 실제로는 턱이 마모되고 또한 턱의 성분이 대부분 단백질로 구성되어 있어서 관찰전의 처리가 어려워 연령사정이 곤란하였다 (한국해양연구소, 1991). 따라서 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하는 크기별 도수분포도 (size-frequency histogram)에 의거한 연령군 또는 cohort를 구분하였다. 각 cohort의 구분은 정규확률지에 의한 연령군의 해석방법(Harding, 1949)에 기초를 둔 컴퓨터 프로그램인 Bhattacharya 방법 (Bhattacharya, 1967)을 사용하였다.

3. 개체의 성장을 및 성장식

동물의 성장에는 성장량을 시간의 함수로서 나타내는 절대성장과 동일개체의 체 부분간의 성장을 나타내는 상대성장이 있다. 동물의 성장을 나타내는 함수에는 여러가지가 제시되었으나 그 중에서 von Bertalanffy의 체중성장식을 중점적으로 사용하였다. 즉, $W_t = W_0 (1 - \exp(-K(t-t_0)))^3$ 을 사용하였다.

이 성장식의 매개변수인 W_0 , K , t_0 등의 추정에는 von Bertalanffy 방법에 의해 아래와 같이 선형화시켰다.

$$\begin{aligned}
 W_t^{1/3} &= W_0^{1/3}(1 - \exp(-K(t-t_0))) \\
 W_{t+1}^{1/3} &= W_0^{1/3}(1 - \exp(-K(t-t_0))) \\
 &= W_0^{1/3}(1 - \exp((-K) + \exp(-K) - \exp(-K)\exp(-K(t-t_0)))) \\
 &= W_0^{1/3}(1 - \exp(-K) + W_0^{1/3}\exp(-K)(1 - \exp(-K(t-t_0)))) \\
 &= W_0^{1/3}(1 - \exp(-k) + \exp(-K)W_t^{1/3})
 \end{aligned}$$

즉, 위의 식은 독립변수인 W_t 와 종속변수인 W_{t+1} 에 대한 1차함수로 $y=a+bx$ 의 식이 되며 직선회귀식의 기울기와 상수를 추정할 수 있다. 여기서 $a = W_{00}^{1/3}(1-\exp(-K))$ 이고, $b=\exp(-K)$ 이므로 이 관계에서 W_{00} 와 K 를 구하였다. 한편 t_0 를 구하기 위해서는 위 식을 t_0 에 대해 다시 쓰면,

$t_0 = t + (1/K) * \ln(1 - W_t^{1/3} / W_{00}^{1/3})$ 로 된다. 이 식에서 각 연령군 또는 cohort에 대한 값들을 구하여 평균값을 사용하였다. 일반적으로 t_0 값은 저연령어로서 완전히 가입이 된 연령들에 대해서 구한 평균치가 가장 좋은 추정치로 알려져 있으므로 (Gulland, 1983), 이 방법에 의해 추정되었다.

개체의 성장율은 연령에 따라 달라지게 되므로 불연속적인 시간간격 즉, 거의 1개월 동안의 개체 증량증가로서 다음과 같이 추정하였다.

$$G_i = (\ln(W_{t_2}) - \ln(W_{t_1})) / \Delta t$$

4. 전사망계수 및 자연사망계수의 추정

성장식의 추정에 사용된 청층의 월별체중조성 자료를 분석하여 전사망계수를 추정하였다. 월별 체중조성 자료를 사용하여 앞에서 추정된 연령별 체중과 그의 범위에 해당되는 체중조성의 빈도수를 각 연령별로 합하여 연령조성을 만들었다.

연령	0	1	2	3	4	-----	t
자원 미수	N0	N1	N2	N3	N4	-----	Nt
채집 미수	C0	C1	C2	C3	C4	-----	Ct

순간 전사망계수는 일반적으로 $dN/dt = -ZN$ 의 지수함수적 사망곡선을 가정하여 구해지므로 이 미분방정식을 풀면 가입이후의 자원미수는 $N_t = Re^{-Zt}$. 여기서 R은 가입시의 자원미수이다. 위에서 채집미수(C_t)는 자원미수에서 채집율(p)을 곱한 것이므로 $C_t = pN_t$ 가 된다. 따라서 채집미수 $C_t = pRe^{-Zt}$ 가 된다.

이 식의 양변에 대수를 취하면 $\ln(C_t) = \ln(pR) - Zt$, 즉 기울기가 Z인 직선선으로 된다. 월별 연령조성 자료를 사용하여 이식의 회귀계수들을 구함으로써 전사망계수(Z)를 추정하였다. 이 방법의 사용에는 다음과 같은 가정이 필요하다. 첫째, 몇년에 걸친 생산율이 일정하다. 둘째, 가입은 일시에 일어나며 일정하다. 셋째, 표본은 모집단을 정확하게 대표할 수 있다. 넷째, 연령사정이 정확하다.

한편 연생산율(S)은 $S = \exp(-Z)$ 의 관계로 추정하였다.

5. 생산량 추정

개체군의 생산량은 Crisp(1971)의 방법에 의해 다음의 식에 의해 구해졌다.

$$P = \sum \sum G_i * N_i * W_i * \Delta t$$

여기서 P: 생산량, G_i : 크기 i인 개체들의 체중별 성장율, W_i : 크기 i인 개체의 평균체중, N_i : Δt 동안 크기 i인 개체들의 총개체수이다. $G = dW/dt$ 이므로 $P = \sum \sum N_i * dW/dt * \Delta t = \sum \sum N_i * \Delta W$ 로 변환된다.

제 3 장 결과 및 고찰

제 1 절 서식지 환경

청충의 서식지 환경요인 중에서 중요하다고 생각되는 퇴적물의 입도조성, 퇴적물내 유기물함량, 함수량 등과 퇴적물의 온도, 공극수의 염분등을 측정하였다. 먼저 조사지역의 최간조시 현장의 기온은 1991년 1월에 5.6 °C에서 1991년 7월의 28.8 °C까지 변화하였고, 퇴적물의 온도는 1990년 12월의 3.3 °C에서 1991년 7월의 26.6 °C로서 연중 23 °C의 변화폭을 보였다 (Appendix 1). 가을철과 겨울철에는 바람의 영향과 해수의 영향으로 퇴적물 온도가 기온보다 약간 높음을 보였다. 조사지역에서의 해수 염분은 28.0‰ - 29.6‰ 로서 외곽으로 나갈 수록 약간 높았다.

청라도 조간대 갯펄의 퇴적물 입도조성을 보면 전 조사정점이 실트 크기의 입자들이 우세한 실트퇴적상을 보였다. 평균입도는 5.3 ϕ - 6.9 ϕ 의 범위에 있었으며, 퇴적물내 유기물함량도 0.84 %에서 1.95 %의 값을 보였다 (Table 1). 또한 퇴적물이 함유할 수 있는 해수의 비율은 조간대의 위치와 입도에 따라 차이를 보여 정점 1에서 26 %로 가장 낮았고, 약간 외곽으로 나간 정점 L-3에서는 35 %로 증가하였다. 한편 정점 2는 지형상 오목하여 간조시에도 물이 상당히 고여 있어서 함수율이 54 %에 이르렀다 (Appendix 2).

한편 청라도 지역의 조간대 갯펄에서 서식하는 주요 유용 저서생물로는 청충외에도 참맛(*Sinonovacula constricta*), 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 가무락(*Cyclina sinensis*), 딱총새우(*Alpheus* sp.), 썩(*Upogebia major*) 등이었다. 참맛의 서식밀도는 39 - 113개체/m²이고 생물

량은 355 - 965 개체/m²였다. 개체당 평균 중량은 8.5 - 10 g 정도였다. 참
 맛의 서식지역은 청층의 서식지와는 달리 퇴적물의 함수량이 높은 조건대
 하부역 또는 수로역이었다. 칠계의 서식밀도는 약 10개체/m² 정도였다.

Table 1. The grain size composition and total organic carbon content of
 surface sediments.

Station	Composition				Sediment type	Mz(phi)	Org. C. (%)
	Gr.	Sa.	Si.	Cl.			
1	2.26	5.52	73.67	18.56	Silt	6.26	1.42
2		1.49	86.41	12.10	Silt	6.20	1.05
3	0.04	2.12	78.70	19.14	Silt	6.37	1.80
4		0.88	75.47	23.66	Silt	6.93	1.95
5		13.45	77.66	8.89	Silt	5.63	1.14
6		11.57	75.58	12.85	Silt	5.91	1.13
7	4.82	5.34	81.86	7.99	Silt	5.28	0.84
8		5.92	84.00	10.08	Silt	5.86	1.32
9	0.99	3.24	89.80	5.96	Silt	5.74	0.87
L-1		9.34	79.65	11.01	Silt	5.87	1.07
L-3		11.89	78.63	78.63	Silt	5.71	1.05

Gr. = Gravel; Sa. = Sand; Si. = Silt; Cl. = Clay; Mz. = Median

Org. C. = Total organic carbon content (%)

제 2 절 두토막참갯지렁이 개체군 동태

1. 현존량

청라도 지역의 두토막참갯지렁이 개체군의 서식밀도는 정점간에 또는 조사시기별로 다소 큰 차이를 보였다 (Fig. 2). 개체수의 관점에서 보면 평균 82개체/m²가 출현하였으며, 정점 3에서 203개체/m²로 최대치를 보였고 방조제 외곽역에 위치한 정점 6에서 15개체/m², 조하대에 가까운 정점 L-3에서는 19개체/m²로 가장 낮았다 (Appendix 3). 한편 매립지내에서의 서식 밀도는 정점 8과 9에서 36 - 39개체/m²로 조사지역의 외곽역과 정점 5와 6의 수준과 유사하였다. 이것은 1990년 9월초부터 어린개체들이 낮은 염분에 의해 폐사했거나 매립으로 인하여 작은 개체들이 더 이상 가입이 없어졌기

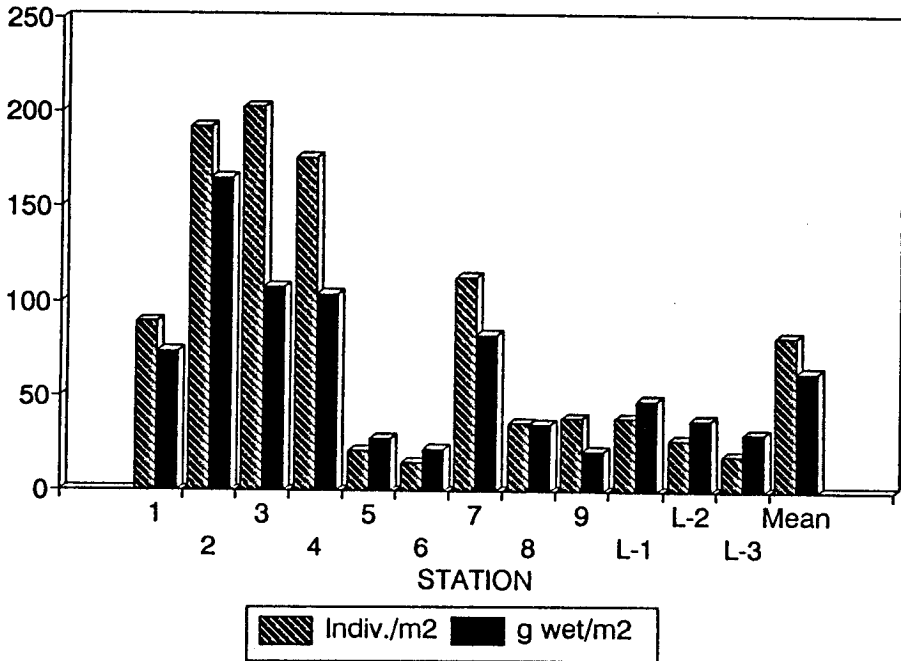


Fig. 2. The density and biomass of *Perinereis aibuhiensis*.

때문이라고 생각된다.

조사지역 전체의 청충의 습중 생물량은 평균 63.5 g/m²였고 정점2에서 165.2 g/m²으로 최대 생물량을, 매립지 내부역인 정점 9에서 21.1g/m²으로 가장 적었다 (Appendix 4). 생물량의 분포는 개체크기에 좌우되어 개체수의 분포양상과는 약간 차이를 보였는데, 정점 3과 4의 경우에는 개체수는 많지만 평균 개체당 0.5 - 0.6 g에 불과하여 단위면적당 생물량이 적고, 반면 정점 2와 5, 6 및 L-2, L-3 등에서는 개체당 1.2 - 1.6 g에 이르는 큰 개체가 서식하였다. 일반적으로 조간대 하부쪽으로 갈수록 생물량도 감소함을 보였는데, 이러한 경향은 정점 1에서 74.0 g/m²의 생물량을 보였으나, 정점 L-1에서 48.3 g/m², L-2에서 37.6g/m², L-3에서 30.2 g/m² 등으로 나타난 것에서 볼 수 있다.

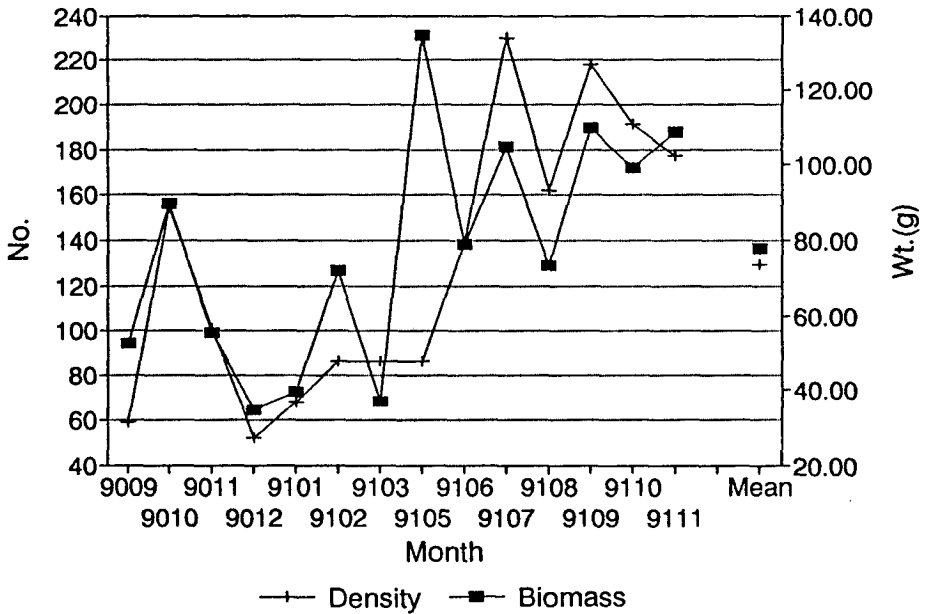


Fig. 3. Total density and biomass of *P. aiuhitensis* during the sampling period.

시기별 두토막참갯지렁이의 현존량 변화를 보기 위해 정점 1에서 채집된 단위면적당 개체수와 생물량을 보면 서식밀도는 1990년 10월과 11월에 각각 155개체/m²와 101개체/m²로 높았고, 다음해인 1991년 6월부터 크게 증가하여 7월에 230개체/m²로서 최대를 보였고, 11월 이후 다시 서서히 감소하는 경향을 보였다 (Fig. 3). 생물량에 있어서는 1990년 10월에 89.7 g/m²로 높다가 1991년 5월에 134.8 g/m²로 최대치를 보였다. 그 후 월별로 큰 폭으로 증감을 보이다가 9월 이후에는 99.3 - 109.8 g/m²로서 안정된 수치를 보였다.

2. 성장 및 생잔울

가. 상대성장

두토막눈썹참갯지렁이(청충)의 체중과 체폭간의 관계를 $W=a*L^b$ 로 가정하고 이것을 대수변환하여 $\ln(W)=\ln(a)+b*\ln(L)$ 의 회귀식으로 되며 이때 $\ln(a)$ 와 b 를 추정하고자 하였다. 위 관계식은 몸체가 끊어진 개체들의 체중을 구하는데 사용되었다. 따라서 매월 채집된 청충의 시료를 대상으로 관계식을 하나씩 구하여 체폭의 자료를 가지고 그 때의 체중을 추정하였다.

먼저 1990년 9월 경우에 있어서는 총 110개체를 사용하여 회귀분석을 한 결과 $W = 0.026*L^{2.68}$ ($R^2=0.93$, $df=108$, $p<0.01$)의 관계식을 얻었다 (Table 2, Appendix Fig.1). 월별 체중과 체폭과의 관계식의 매개변수인 상수와 기울기를 보면 상수는 -4.03에서 -3.25사이에 있고, 직선식의 기울기는 2.50 - 3.01 사이에 존재하였다. 매월 채집된 실측자료와 직선회귀식에 의해 구해진 예측치간에는 대체로 잘 일치함을 볼 수 있었다 (Appendix Fig. 1).

Table 2. The summary of the regression analysis on the relationship between body weight and width of the tenth segment of *Perinereis aibuhitensis*.

Month	Const. (a)	Slope	R ²	DF	exp(a)
1990.09	-3.65	2.68	0.93	108	0.026
10	-3.38	2.53	0.89	400	0.034
11	-4.03	3.01	0.93	192	0.018
12	-3.47	2.50	0.91	108	0.031
1991.01	-3.86	2.83	0.91	206	0.021
02	-3.66	2.84	0.84	162	0.026
03	-3.90	2.76	0.86	92	0.020
05	-3.41	2.60	0.89	179	0.033
06	-3.46	2.83	0.93	41	0.031
07	-3.49	2.70	0.89	101	0.030
08	-3.39	2.79	0.94	78	0.034
09	-3.25	2.77	0.93	123	0.039
10	-3.53	2.77	0.88	117	0.029
11	-3.25	2.64	0.90	49	0.039
1992.04	-2.70	2.25	0.80	73	0.067

나. 성장식의 추정

인천 청라도 조간대 갯펄의 정점 1에서 1990년 9월에서 1991년 11월까지 14회에 걸쳐서 채집된 두토막눈뿔참갯지렁이 개체군의 월별 체중조성은 Fig. 4와 같다. 체중조성에 사용된 채집미수는 1991년 6월의 140개체

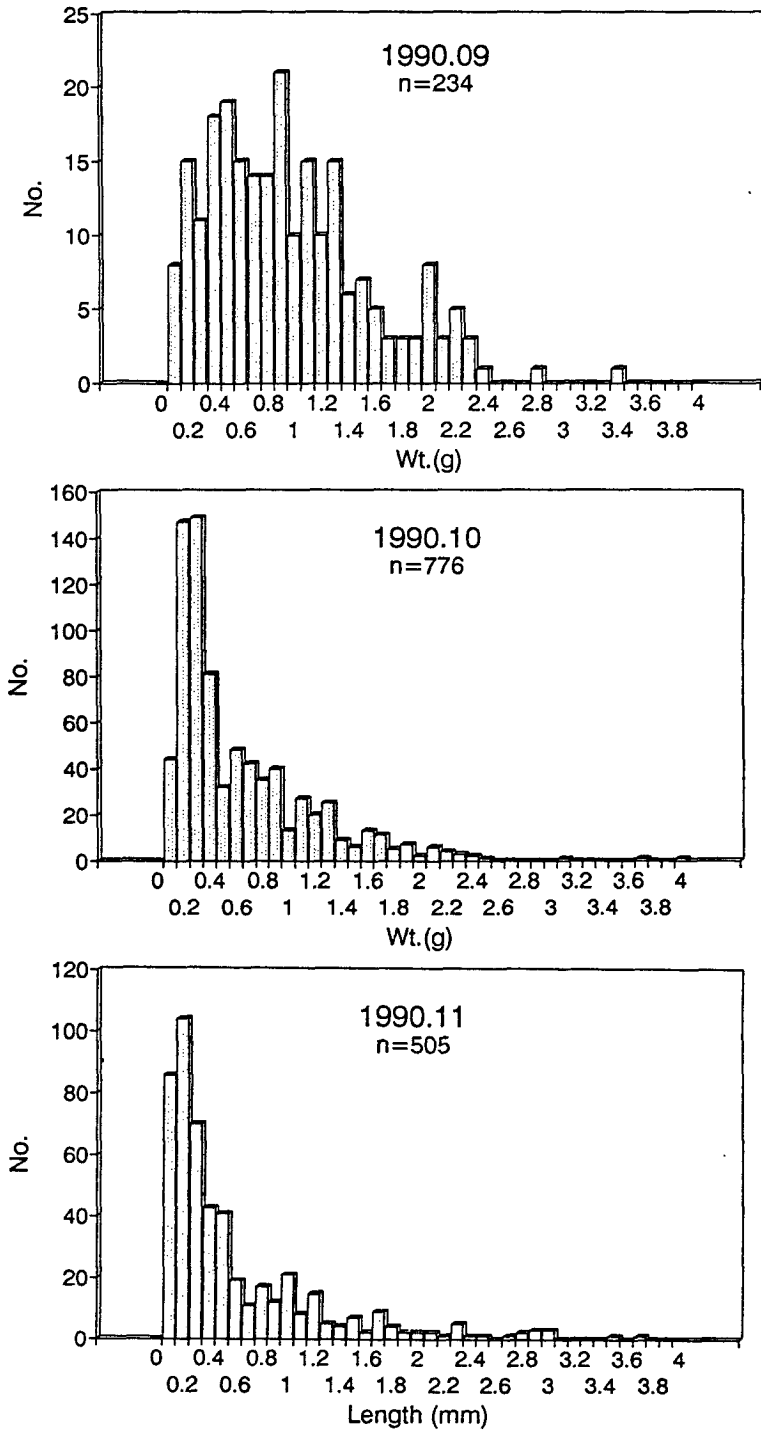


Fig. 4. Size-frequency distribution of *P. aibuhitensis* based on body weight.

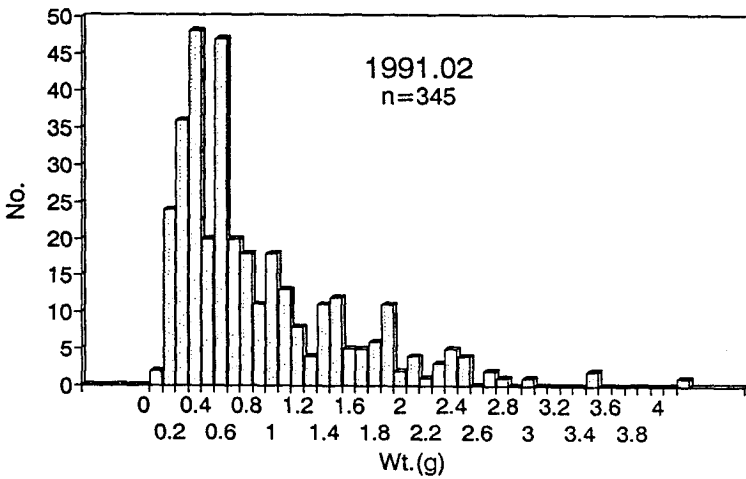
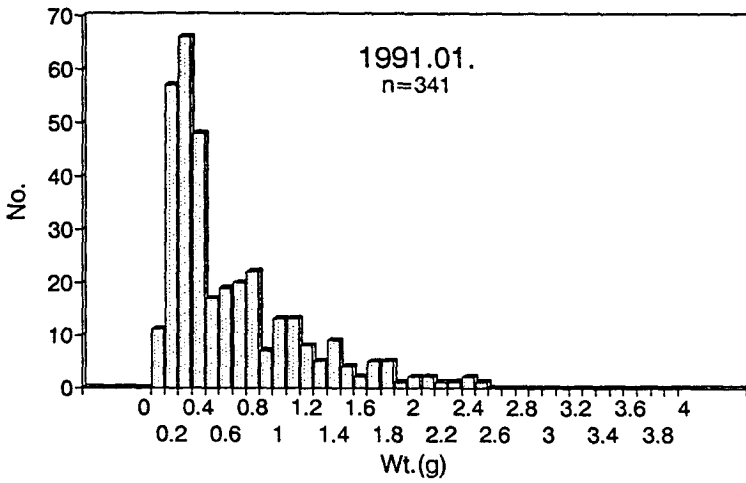
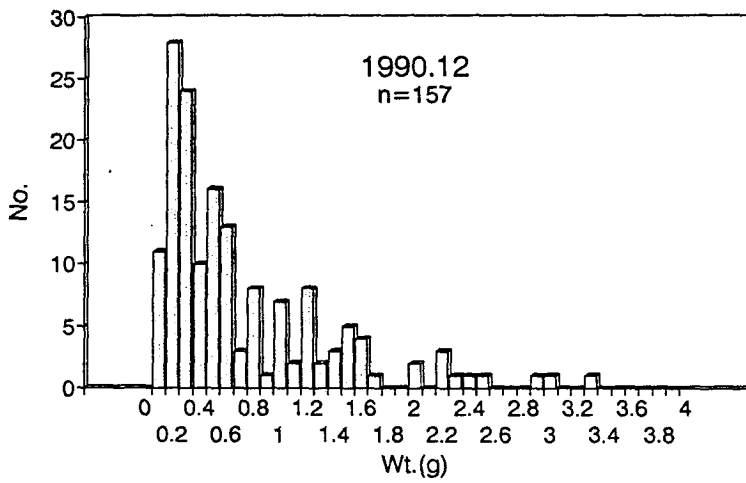


Fig. 4. - continued -

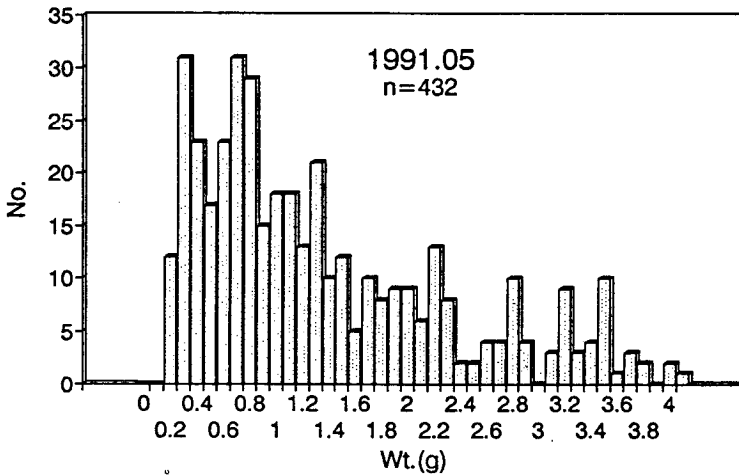
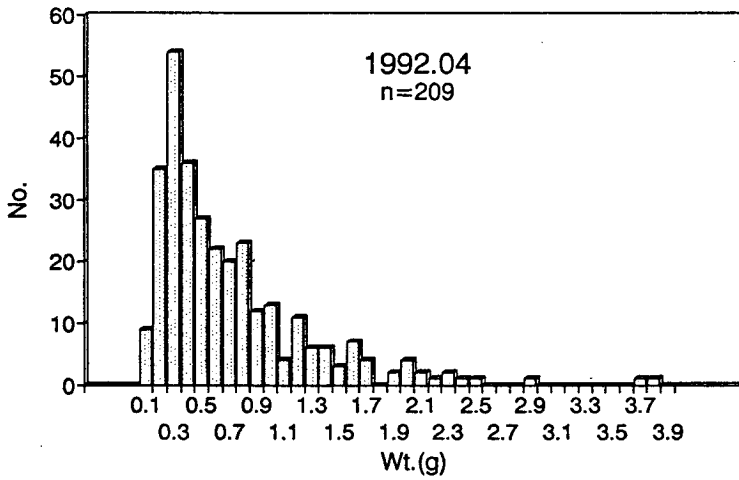
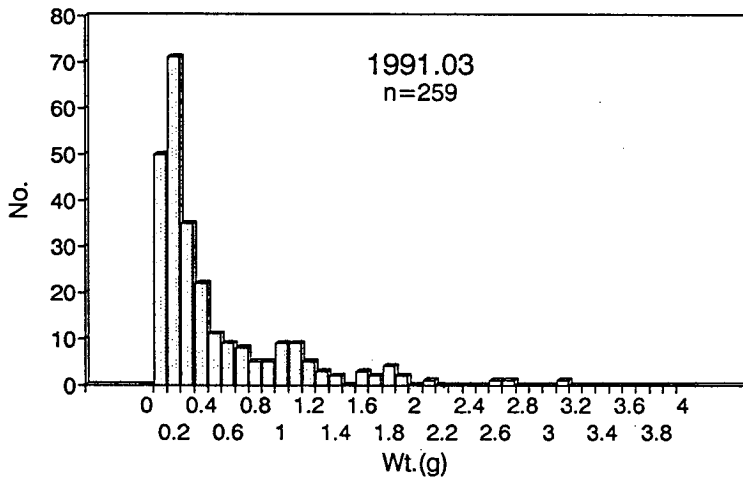


Fig. 4. - continued -

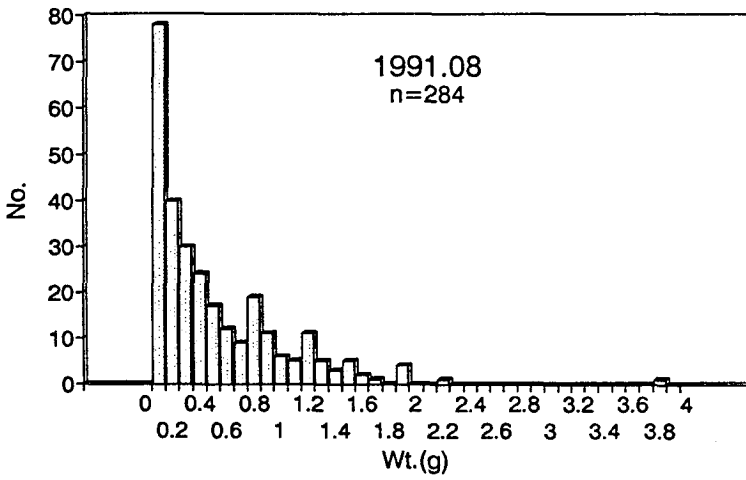
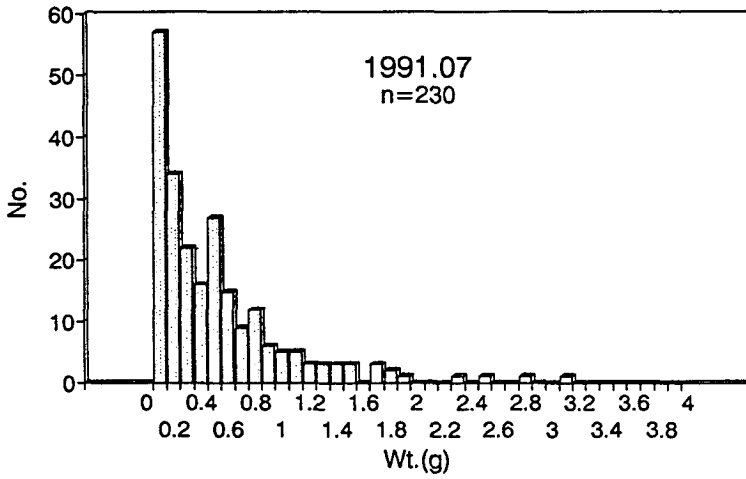
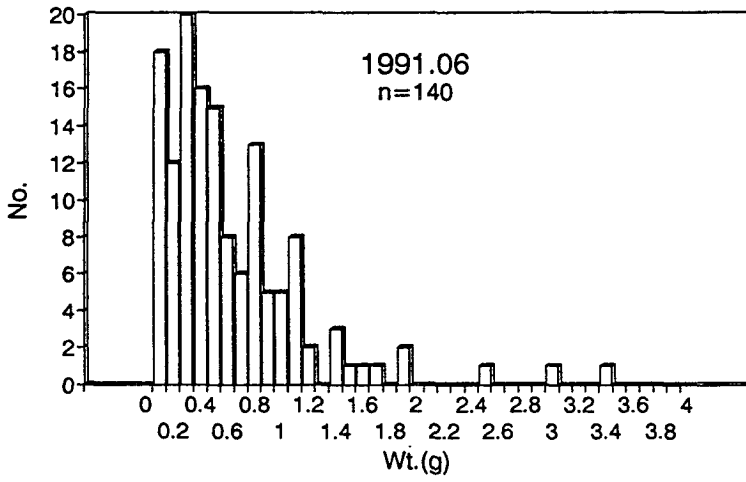


Fig. 4. - continued -

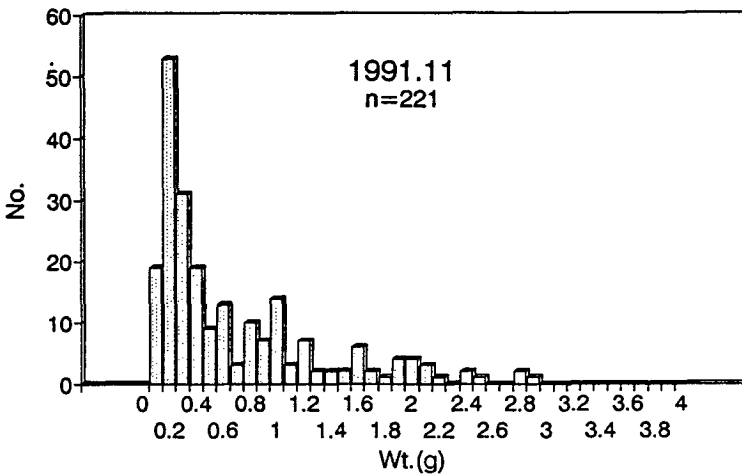
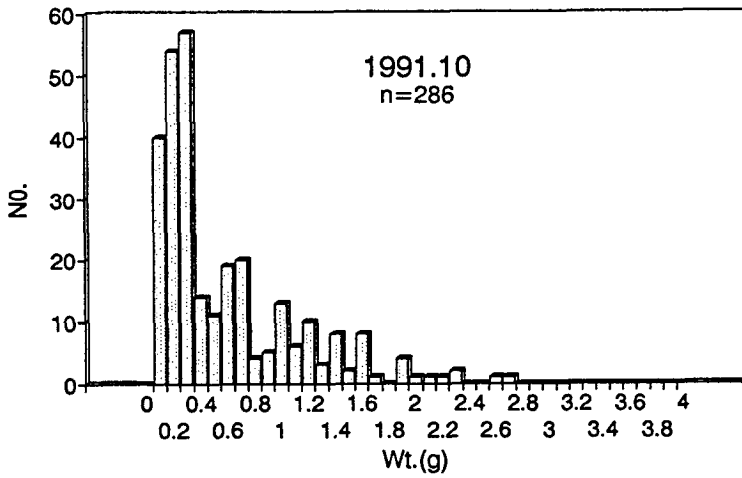
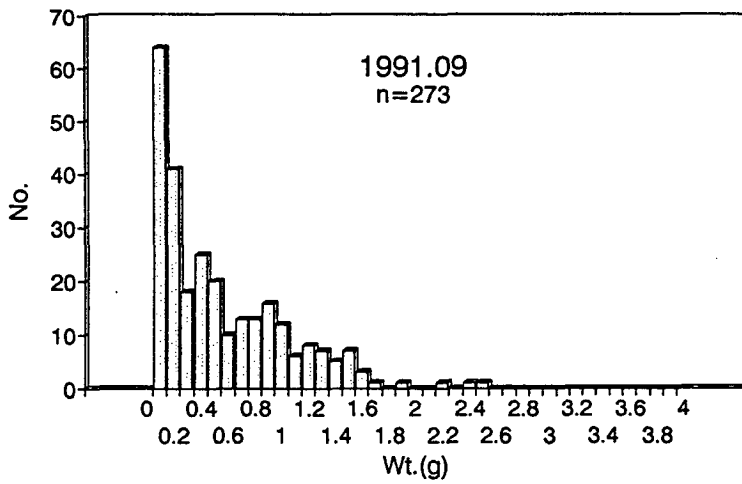


Fig. 4. - continued -

에서 1990년 10월의 776개체에 이르고 대부분의 시기에 있어서, 200개체 이상이었다. 월별 체중조성에는 위에서 구한 체폭에 의한 체중 추정치가 포함되어 있다.

월별 개체군의 크기조성 자료를 사용하여 Bhattacharya의 방법에 의해 다수의 cohort로 나눌 수 있었다 (Table 3). cohort 분석 결과에 의하면 1991년 3월에 4개의 최빈값을 보였고, 5월에 7개 가량의 최빈값이 나타났다. 어린 개체가 많이 가입되는 주된 시기는 1991년 7월에서 9월에 일어나는 것으로 나타났다. 그러나, 연중 0.3 - 0.4 g 이하의 작은 개체가 최빈값을 보이고 있어서 비록 규모는 작지만 이른 봄부터 가을까지 계속 가입이 이루어짐을 보였다.

개체의 성장에 있어서는 시기와 개체의 연령 또는 크기에 따라 달라짐을 보였는데, 예로서 가을에서 겨울에 이르는 1990년 11월에서 3월 동안에는 큰 개체에 속하는 것들은 1.5 g에서 1.9 g으로, 중간크기인 0.9 g은 1.8 g으로, 0.5 g에서 1.1 g으로 성장하는 것과 소형개체인 0.2 g은 0.6 g으로 성장하였다 (Fig. 5). 즉, 대형개체나 소형개체에 비해 중간 크기의 청충들이 더 빠른 성장을 함을 보였다. 한편 여름철에서 가을철에 이르는 1991년 7월에서 11월에 이르는 기간동안 0.5g의 개체는 2.0 g으로, 0.1 g의 개체는 1.5 g 정도까지 성장하는 것으로 나타났다. 1.0 g 부근의 중간개체는 7월에서 8월에 이르는 한달동안 0.4 g의 성장을 보였다.

청충의 생활사를 체중의 조성으로부터 추적해 보면 7월에 가입된 0.05 g 정도의 어린 개체는 그해 겨울에는 약 1.5 g 정도에 이르고 이듬해 2월에 약 1.9 g으로 성장하여 성숙된 개체는 산란을 하고 폐사하는 것들과 3.0g이상 커진 다음 다음해 6월에 산란하는 것들로 구분할 수 있다. 그러

**Table 3. The result of multiple polymodal analysis
on cohorts of Perinereis aibuhitensis.**

1990.09

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAMPLE No. 1 , file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.44	0.271	114.980	
2	1.12	0.195	68.010	2.909
3	1.56	0.122	23.990	2.789
4	2.09	0.163	23.990	3.726

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1990.10

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAMPLE No. 2 , file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.29	0.119	451.560	
2	0.78	0.128	182.370	3.934
3	1.27	0.089	79.020	4.530
4	1.70	0.161	38.280	3.469
5	2.25	0.141	20.510	3.661

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1990.11

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAMPLE No. 3 , file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.18	0.172	321.240	
2	0.53	0.063	43.500	2.956
3	0.89	0.163	72.940	3.191
4	1.48	0.073	27.410	5.012
5	2.13	0.199	21.290	4.764
6	2.95	0.168	14.640	4.489

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

Table 3. - continued -

1990.12

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 4 ,file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.25	0.105	74.000	
2	0.57	0.066	31.050	3.829
3	1.12	0.117	28.600	6.044
4	1.52	0.097	12.350	3.726
5	2.15	0.095	6.120	6.511

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.01

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 5, file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.31	0.108	199.020	
2	0.73	0.101	68.670	3.994
3	1.10	0.064	33.540	4.529
4	1.41	0.123	19.650	3.235
5	1.76	0.071	11.150	3.678
6	2.40	0.085	8.970	8.150

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.02

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 6 , file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.27	0.069	68.910	
2	0.60	0.076	129.640	4.541
3	1.03	0.164	71.600	3.596
4	1.49	0.067	27.010	3.995
5	1.87	0.167	25.440	3.257
6	2.56	0.166	18.470	4.086

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

Table 3. - continued -

1991.03

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 7, file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.18	0.097	162.350	
2	0.62	0.168	51.690	3.267
3	1.08	0.047	24.960	4.309
4	1.80	0.085	16.000	10.868

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1992.04

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 1, file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.30	0.106	144.950	
2	0.78	0.176	103.750	3.352
3	1.23	0.061	23.550	3.834
4	1.61	0.084	19.760	5.251
5	2.00	0.085	8.240	4.619
6	2.31	0.078	3.840	3.801

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.05

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 8, file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.33	0.090	71.210	
2	0.71	0.154	117.370	3.181
3	1.18	0.203	83.910	2.621
4	2.00	0.203	55.360	4.028
5	2.75	0.151	40.010	4.238
6	3.32	0.137	20.840	3.952
7	3.80	0.102	13.310	4.062

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

Table 3. - continued -

1991.06

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 9 , file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.37	0.175	93.520	
2	0.94	0.151	28.750	3.482
3	1.28	0.136	10.050	2.418
4	1.75	0.186	2.400	2.903

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.07

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 10 file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.05	0.139	106.020	
2	0.50	0.089	67.470	3.984
3	0.80	0.089	25.400	3.284
4	1.08	0.121	13.180	2.672
5	1.53	0.234	12.890	2.572

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.08

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS
Summary results for SAM AMPLE No. 12 file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.05	0.122	130.040	
2	0.38	0.202	79.460	2.061
3	0.87	0.095	37.340	3.266
4	1.21	0.076	20.560	3.952
5	1.49	0.08	9.760	3.684

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

Table 3. - continued -

1991.09

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAM AMPLE No. 12 file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.05	0.156	129.300	
2	0.44	0.128	51.950	2.793
3	0.86	0.176	60.170	2.737
4	1.34	0.181	22.620	2.691

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.10

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAM AMPLE No. 13 file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.14	0.150	144.230	
2	0.63	0.091	75.110	4.067
3	1.22	0.169	39.760	4.545
4	1.68	0.149	16.490	2.879
5	2.42	0.170	8.400	4.625

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

1991.11

BHATTACHARYA'S METHOD FOR SEPARATING FREQUENCY DISTRIBUTIONS

Summary results for SAM AMPLE No. 14 file : MPATEST

GROUP NO.	MEAN	STANDARD DEV.(s.d)	POPULATION (N)	SEPARATION INDEX(S.I)
1	0.22	0.080	106.900	
2	0.57	0.074	40.210	4.620
3	1.01	0.170	36.850	3.598
4	1.54	0.171	19.920	3.096
5	1.99	0.127	11.150	3.000

S.I. should be ≥ 2 for groups to be meaningfully separated

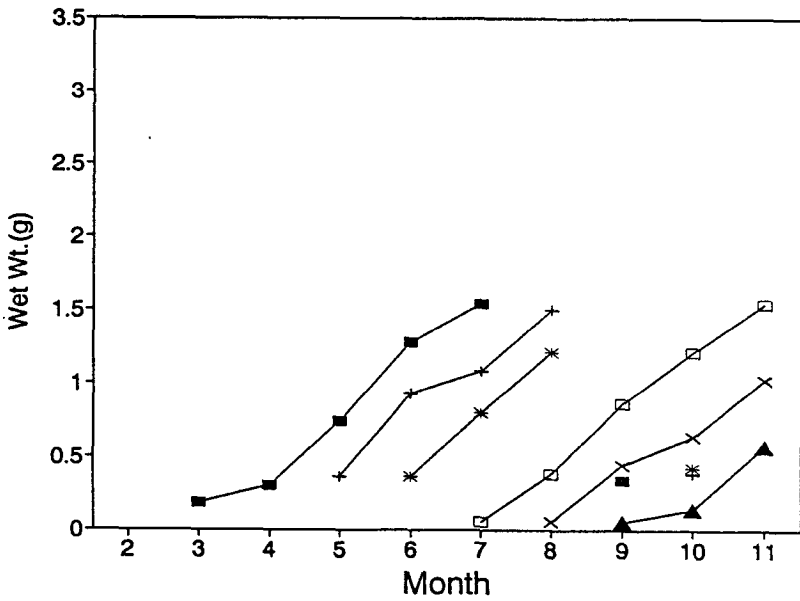
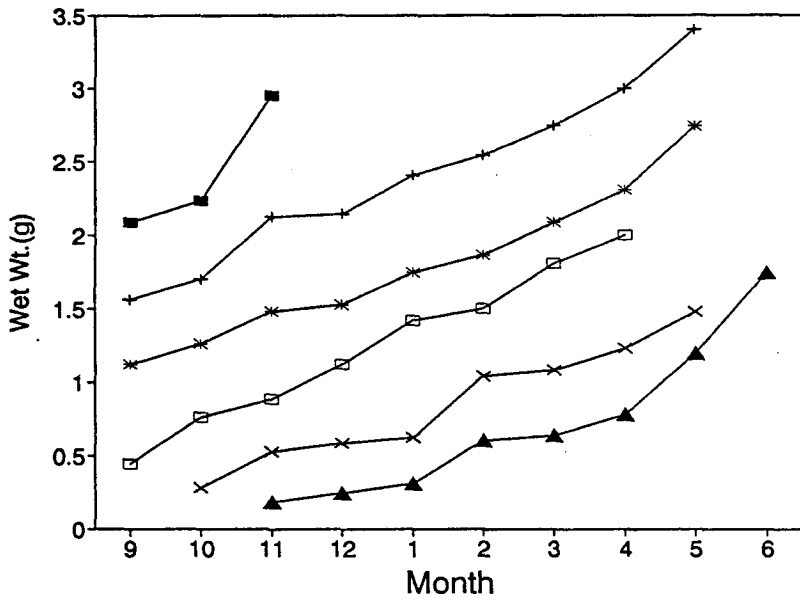


Fig. 5. Average body weight of each cohort of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

나, 5g이상되는 개체들도 채집되고 있어서 한번이 아니라 적어도 두번 정도 산란의 기회를 연기할 수 있는 것으로 보인다. 반면 늦여름 또는 초가을인 9월에 산란되어 가입된 어린 개체는 11월에 0.6 g으로 성장하고 이듬해 봄인 3월에 1.1 g으로 성장하고 초여름인 6월에 1.5 g - 1.7g 정도에서 산란을 시작하는 것으로 보였다. 한편 3월경에 0.18 g정도의 소형개체가 가입됨을 보였는데 7월에 1.54 g정도로 성장하여 8월에서 9월에 산란하는 것으로 추정된다. 이 때 산란하지 못한 개체들은 12월에 2.1 g, 이듬해 3월에 2.7 g으로 성장하고 5월에 3.4 g까지 성장한 후 6월부터 산란하는 것으로 보인다. 즉, 어린개체의 가입은 주로 7월에서 9월에 주된 가입이 있고 10월까지도 이어지며, 3월에도 소규모의 가입이 있는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구지역의 두토막눈썸참갯지렁이(청충)개체군은 봄과 여름의 2개 계절에 산란, 가입된 대략 4-5개의 연급군(cohort)이 함께 존재함을 보였다. 두토막눈썸참갯지렁이는 0.1g으로 가입한 후 1년동안에 약 2.7 g 까지 성장하고, 2년 후에는 약 4 - 5 g 정도까지 성장한 후 산란하고 생을 마칠 것으로 예상된다.

Gillet (1990)은 프랑스의 Loire estuary의 조간대에 서식하는 *Nereis diversicolor* 개체군을 6개의 연급군으로 나누었고, 1년 동안에는 2개의 연급군이 봄과 여름에 가입하는 것으로 분석하였다. 또한 Kristensen (1984)도 덴마크의 Norsminde Fjord 하구에 서식하는 *N. diversicolor*의 개체군도 초봄과 여름에 가입이 일어난다고 보고하였다. 본 연구의 대상종인 *P. aibuhitensis*도 크게 보면 봄철과 여름철에 가입이 일어나는 것으로 볼 수 있어서 이들 두종은 서로 유사한 재생산 유형을 가지는 것으로 생각된다. 그러나 *Nereis virens*의 경우에는 평균 수명이 3년이고 재생산은 일년에 한번, 6월-7월에 가입이 일어나는 것으로 보고되었다 (Kristensen,

1984). *N. diversicolor*의 평균 수명이 대략 1년 내외로 추정하고 있어서 수명과 재생산 유형간에는 어느 정도는 관계가 있는 것으로 생각된다.

각 연급군별 성장 양상을 보기 위해 시간에 따른 일차함수, 기하함수 및 von Bertalanffy 성장식 등에 적합시킨 결과 대부분 일차함수와 기하함수적인 경향을 보였고, 기존에 알려진 성장식에는 몇개 연급군을 제외하고는 적합되지 않았다. 연급군 II 1+의 경우에는 $W_t = 1.84 * [1 - \exp(-0.51 * (t+0.80))]^3$ ($R^2=0.92$, $df=6$)으로서 von Bertalanffy의 체중성장식을 보였고, 연급군 III 1+의 경우에도 $W_t=1.88*[1-\exp(-0.22*(t+3.3))]^3$ ($R^2=0.83$, $df=5$)의 관계식을 보였다. 한편 연급군 I 0+의 경우에는 $W_t=2.08*[1-\exp(-0.50*(t+0.69))]^3$ ($R^2=0.97$, $df=2$)의 성장식을 보였다. 본 연구의 대상 개체군은 대략 $W_{00}=1.9$ g, $K=0.5$, $t_0=0.8$ 정도의 매개변수값을 가질 것으로 생각된다.

모든 연급군에 von Bertalanffy 성장식이 잘 적합되지 않는 이유는 여러가지가 있겠지만 먼저 일년생으로 산란을 하고 죽기 때문에 고령화에 따른 성장둔화같은 현상이 본 연구 대상개체군인 두토막눈썹참갯지렁이에서는 잘 나타나지 않은 것으로 생각된다. 또한 채집기간이 짧아서 전 생활사에 걸친 성장양상을 추적하지 못한 것도 중요한 이유라고 생각된다. 또한 상업적 가치가 높고 어민들에 의해 쉽게 잡히는 대형개체들의 선택적인 어업사망에 의해 전체 개체군의 크기조성이 소형개체쪽으로 기울어져 있어서 나타난 현상일 수도 있다. 그러나 그 기간동안에 있어서의 각 연급군별 성장은 충분히 반영하였다고 생각한다.

먼저 1990년 봄에 가입된 것으로 추정되는 연급군 V 1+의 경우에는 기존의 성장식으로는 구하지 못하였고, 일차시과 기하함수식에 잘 적합되었다. 즉, $W = 1.54 + 0.215 * t$ ($R^2=0.98$, $df=7$, $p<0.001$) 또는 $\ln(W) =$

0.48 + 0.092 * t (R²=0.98, df=7, p<0.001)이었다. 다른 연급군에 있어서도 대부분 일차함수적 성장식과 지수함수적 성장식에 잘 적합되었다 (Table 4). 그러나 실제로는 S자 또는 시그모이드형태의 성장양상을 보일 것으로 생각되며 선형적 성장보다는 지수함수적 성장식이 더 현상을 잘 반영한다고 생각된다. 본 연구기간동안의 각 연급군별 성장율을 보면 1990년 봄에 가입했던 연급군 V 1+의 경우에는 0.09 /Mo.을 보였고, 1990년 여름에 가입했던 연급군 I 1+는 0.1 /Mo., II 1+는 0.18 /Mo., III 1+는 0.21 /Mo., IV 1+는 0.28 /Mo. 등으로 점차 증가하는 경향을 보였고, 1991년에 가입된 연급군의 경우에는 연급군 I 0+가 0.68 /Mo., II 0+가 0.75 /Mo.을, III 0+가 0.81 /Mo.로서 연급군 1+에 비해 5배 정도 더 높음을 보였다.

Table 4. The growth equations of cohorts of *Perinereis aibuhitensis* during study period.

(t: month)					
Cohort	recruitment time	growth equation	R ²	df	p
V 1+	1990.3	Ln(W)=0.48+0.092*t	0.98	7	<0.001
I 1+	1990.7	Ln(W)=0.13+0.104*t	0.99	7	<0.001
II 1+	1990.8	Ln(W)=-0.58+0.200*t	0.94	6	<0.001
III 1+	1990.9	Ln(W)=-1.04+0.218*t	0.93	6	<0.001
IV 1+	1990.11	Ln(W)=-1.71+0.319*t	0.98	6	<0.001
V 0+	1991.3	Ln(W)=-1.66+0.574*t	0.96	3	<0.01
I 0+	1991.7	Ln(W)=-2.30+0.801*t	0.83	3	<0.01
II 0+	1991.8	Ln(W)=-2.47+0.942*t	0.83	2	<0.05
III 0+	1991.9	Ln(W)=-3.06+1.217*t	0.99	1	<0.05

한편 각 연급군의 성장율에 있어서 계절적인 차이를 보였는데 대부분의 연급군이 12월에서 2월에 이르는 겨울철에 다른 시기에 비해 성장율이 낮게 나타났다 (Fig. 6). 그러나 1월에서 2월에 이르는 기간동안 연급군 III 1+, IV 1+ 등에서 매우 높게 나타남을 보였는데 이는 설명하기 어려운 현상이다.

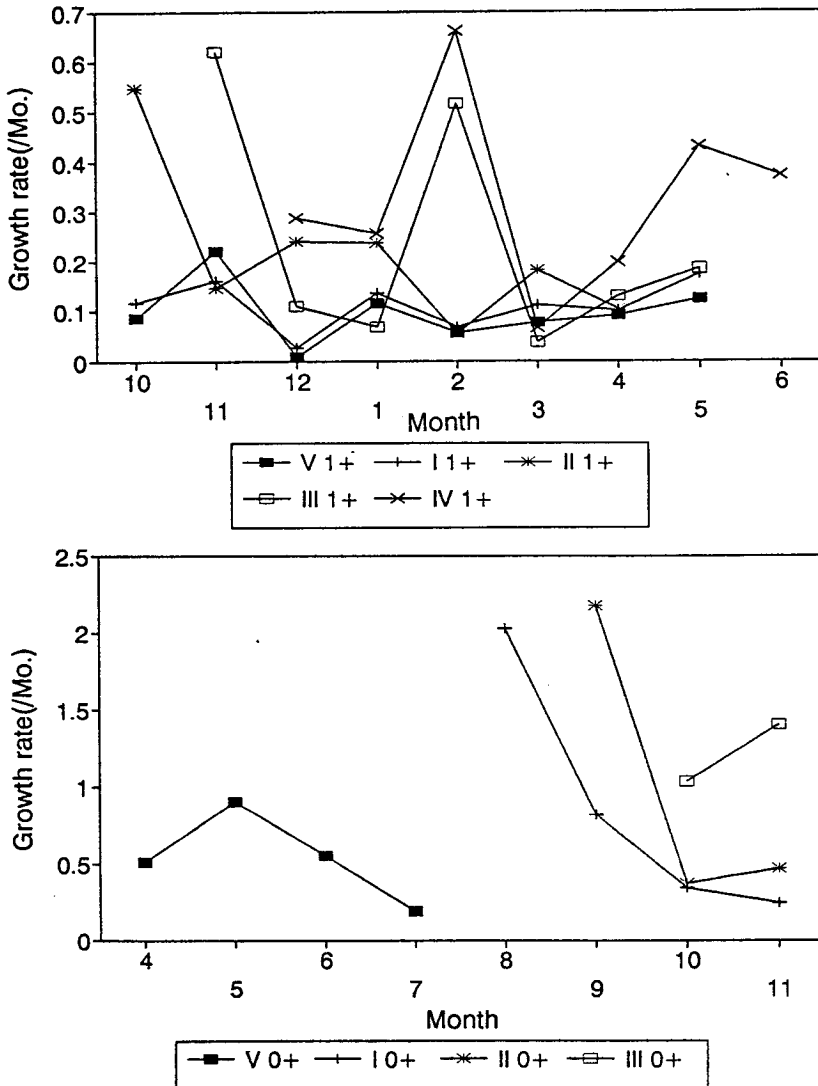


Fig. 6. Estimated weight-specific growth rate for each cohort of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

참갯지렁이과의 개체군에 대한 성장을 조사한 것은 많지 않은데 특히 본 연구에서와 같이 다양한 연급군이 존재하는 개체군에 있어서는 매우 더물다. Kristensen (1984)에 의하면 덴마크의 Norsminde Fjord에 서식하는 *Nereis virens*와 *N. diversicolor*의 일간 성장율은 각각 0.0062/day 와 0.0050/day 였는데, 이것을 월별 성장율로 환산하면 대략 0.18/Mo. 과 0.15/Mo. 가 된다. 이것은 본 연구의 1세 연급군들의 성장율에 해당되는 수준이었고, 0세군의 성장율보다는 훨씬 작은 수치이다. 한국해양연구소 (1991)에서 본 연구 대상종을 실내에서 사육한 결과를 보면 0.46 g 정도의 소형개체들을 3개월간 사육한 후에는 평균 체중이 1.02 g에서 1.45 g 으로 성장하였고, 다시 3개월 후에는 1.36 g에서 1.86 g 으로 성장하였음을 보고 하였다. 이러한 성장양상은 0세군인 0.43 g의 초기 3개월간의 성장율이 0.80 에서 1.15 의 범위로 높지만 그 후 3개월간은 0.27 에서 0.38 정도로 성장이 둔화됨을 보인 것이며, 월간 성장율은 첫 3개월은 0.27/Mo. 에서 0.38/Mo. 로, 후기 3개월은 0.08/Mo. 에서 0.11/Mo. 에 해당되었다. 한편 1.31 g 정도의 개체를 대상으로 3개월간 사육한 후에는 1.66에서 1.85 까지 성장 하였고, 또 3개월 후에는 2.16에서 2.47 g으로 성장하였다 (한국해양연구소, 1990). 이 자료에 의한 월간 성장율은 0.09/Mo. 에서 0.10/Mo. 사이에 있어서 1세 연급군의 성장율과 유사한 수준이었다.

3. 사망율

각 연급군별 전사망계수 (Z)을 구하기 위해서 현장의 개체군밀도를 반영하여 각 연급군별 조성비율과 밀도를 곱하여 월별 각 연급군의 개체수를 구하였다. 조사기간 중의 각 연급군의 전사망계수를 구하면 연급군 I 1+ 과 II 1+ 의 경우 각각 $z = -0.27/\text{Mo.}$ 로서 매우 낮은 값을 보였고, 연급군

Table 5. The coefficients of total mortality (Z) of each cohort of *P. aibuhitensis*.

Cohort	mortality (Z)	survival (S)	R2	df	p
I 1+	-0.27	0.76	0.70	7	<0.05
II 1+	-0.27	0.76	0.63	5	<0.05
IV 1+	-0.33	0.72	0.62	6	<0.05
I 0+	-0.42	0.66	0.92	3	<0.01
II 0+	-0.33	0.72	0.87	3	<0.05
III 0+	-0.59	0.55	0.81	1	<0.2
V 0+	-0.39	0.68	0.83	3	<0.05

IV 1+의 경우에는 $z=-0.33/\text{Mo.}$ 이었다. 따라서 1990년 10월에서 1991년 6월까지의 연급군 I 1+의 월별 생존율은 $S=0.76/\text{Mo.}$ 이었고, 연급군 IV 1+의 경우 $S=0.72/\text{Mo.}$ 였다 (Table 5).

반면 1991년에 가입한 연급군의 경우에는 1990년의 연급군에 비해 다소 높은 전사망계수값을 보였다. 1991년 3월에 가입했던 연급군 V 0+은 5개월 동안 $z=-0.39/\text{Mo.}$ 을, 7월에 가입한 I 1+ 연급군은 5개월 동안 $z=-0.42/\text{Mo.}$, 8월에 가입한 연급군 II 0+는 $z=-0.33/\text{Mo.}$, 9월에 가입한 연급군 III 0+은 3개월 동안 $z=-0.59/\text{Mo.}$ 을 보였다. 이것으로 볼때 어린 개체가 주로 우점하고 있는 1991년의 연급군들은 큰 개체들의 연급군에 비해 전사망계수값, 즉 사망율이 다소 높다. 연급군 III 0+의 경우 생존율은 $0.55/\text{Mo.}$ 로 가장 낮았다.

연급군 I을 1990년과 1991년에 가입한 연급군들로 연결하여 하나의 연급군으로 보면 7월에 가입하여 이듬해 5월에 산란하고 죽는 것으로 가정

하여 전사망계수를 구하면 $Z = -0.358/\text{Mo.}$ ($R^2 = 0.92$, $df = 9$, $p < 0.001$) 이다. 꼭 같은 가정하에 연급군 II에서 IV까지의 전사망계수 Z 을 구하면 각각 $Z(2) = -0.363/\text{Mo.}$, $Z(3) = -0.314/\text{Mo.}$, $Z(4) = -0.326/\text{Mo.}$ 등과 같다.

Kristensen(1984)에 의하면 덴마크의 Norsminde (Kysing) Fjord 하구에 서식하는 *Neanthes virens*와 *N. diversicolor*의 전체 사망계수(Z)는 각각 1.4/yr.와 3.79/yr.로 보고하였다. 본 연구의 연급군 I 1+의 경우 연간 사망계수는 대략 3.60/yr.로 추정되므로 *N. diversicolor*와 유사한 사망계수를 가진다. 이것은 두 종의 평균 수명이 대략 1년 전후이기 때문에 전사망계수가 이 같이 높은 것으로 생각된다.

4. 생산량 추정

가. 생체생물량과 고정생물량간의 관계

현장에서 채집된 갯지렁이 시료는 대개 보존을 위해서 즉시 10% 포르말린으로 고정하게 된다. 갯지렁이가 살아 있을 때의 무게와 체장, 체폭은 고정함에 따라 변하게 된다. 따라서 생산량의 추정에 있어서는 먼저 이들의 변화를 알고 보정할 필요가 있다.

전체 시료를 대표할 수 있도록 다양한 크기의 갯지렁이 중에서 완전한 88개체를 골라 생체무게와 고정한 무게, 그리고 마취한 후의 체장과 체폭을 측정하고 고정하여 체장과 체폭을 측정하여 이들을 서로 비교하였다. 먼저 생물량에 있어서는 생체에 비해 고정한 후의 무게가 감소함을 보였다. 즉, $F. Wt = 0.90 * A1. Wt + 0.019$ ($R^2 = 0.99$, $df = 86$, $p < 0.001$)의 관계식을 보여 고정시에 대략 10% 정도의 생물량 감소를 보였다. 본 연구에서 사용한 고정시의 체폭은 마취시의 체폭에 비해 5% 정도 증가하는 경

향을 보였는데 이들간에는 다음과 같은 관계식이 나타났다. 즉, $F. Wd = 1.46 + 1.052 * An. Wd$ ($R^2=0.96$, $df=86$, $p<0.001$). 한편 마취시의 체장과 고정된 개체의 체장간에는 다소 큰 차이를 보였는데 $F.L. = 1.29 + 0.82 * An. L.$ ($R^2=0.97$, $df=86$, $p<0.001$)의 관계식을 나타내어 고정시에는 대략 20 % 까지 체장이 수축함을 보였다. 그러나 실제로 갯지렁이의 체장은 신축성이 강해서 개체군 매개변수로는 부적당한 것으로 생각된다.

나. 습중생물량과 건조생물량간의 관계

고정된 개체의 무게와 건조시의 무게를 보기위해 몸체가 완전한 73 개체를 선별하여 60 에서 48시간 말렸다. 건조 생물량과 고정시의 생물량간의 관계식은 $Dry Wt = 0.11 * Wet Wt - 0.025$ ($R^2=0.91$, $df=71$, $p<0.001$)로 나타났다. 건조 중량은 고정된 습중량에 비해 대략 10 % 수준으로 감소함을 보였다. Kristensen(1984)에 의하면 *N. virens*와 *N. diversicolor*의 습중량과 건조중량간에는 $DW=0.13*WW$ 로 주어졌는데 본 종의 관계식과 매우 유사한 값이다. 또한 상기 두 종의 연소재를 제외한 건조중량 (AFDW)은 건조중량의 86 % 내지 89 % 수준으로 보고하였다. Heip and herman (1979)도 습중량과 건조중량간의 관계를 $dwt=0.154 wwt$ 로 추정하였다.

다. 두토막눈썹참갯지렁이의 각 연급군별 연간 생산량

1990년 7월에 가입된 연급군 I 1+과 1991년 7월에 가입된 연급군 I 0+를 합하여 가입이후 이듬해 5월까지 연급군 I의 총생산량은 68.124 g(wet wt.)/m²이었고, 그 기간 중의 평균 생물량은 약 17.037 g (wet wt.)/m²으로 P/B ratio 는 약 4.00 이었다 (Table 6). 연급군 I의 시기별 또는 연령별 총생산량을 보면 가입후 2개월째인 8월에서 9월사이에 22.4 g으로 가장 많

Table 6. Total production of each cohort of *P. aibuhitensis* during study period.

Cohort	Duration	Production (wet g/m ²)	mean biomass (wet g/m ²)	P/B
I	July - May	68.12	17.04	4.00
II	Aug. - Apr.	54.40	16.91	3.22
III	Sep. - May	57.00	13.21	4.32
IV	Nov. - June	27.32	11.59	2.36
V	Mar. - July	28.75	13.75	2.09
Total	1990.9. - 1991.11.	312.23	77.90	4.00

있고, 그 이후 점차 감소하였다. 그러나 P/B ratio는 가입직후인 7월에서 8월 사이에 2.02로서 가장 높았다 (Fig. 7).

8월에 가입한 연급군 II의 경우에는 이듬해 4월까지의 총 생산량이 54.397 g (wet wt.)/m²으로 7월에 가입한 연급군 I 보다 약간 적었다. 평균 생물량은 16.91 g/m²으로서 P/B ratio 는 3.217 로서 역시 연급군 I에 비해 낮았다. 연급군 II의 시기별 생산량은 가입직후 한 달동안 18.442 g/m²으로 가장 많았고, 그다음으로는 10월에서 11월에 이르는 기간에 14.971 g으로 많았다. 시기별 P/B ratio는 가입직후가 2.17로서 가장 높았다 (Fig. 8).

9월에 가입한 연급군 III이 이듬해 5월까지 9개월 동안의 총생산량은 57.00 g/m²이었고, 그 기간의 평균 생물량은 13.21 g/m²으로 P/B ratio 는 4.32였다. 시기별 생산량은 10월에서 11월에 이르는 한달동안에 30.31 g으로 가장 많았고, 기간별 P/B ratio는 가입직후인 9월에서 10월 사이에 1.03 으로 가장 높았다 (Fig. 9).

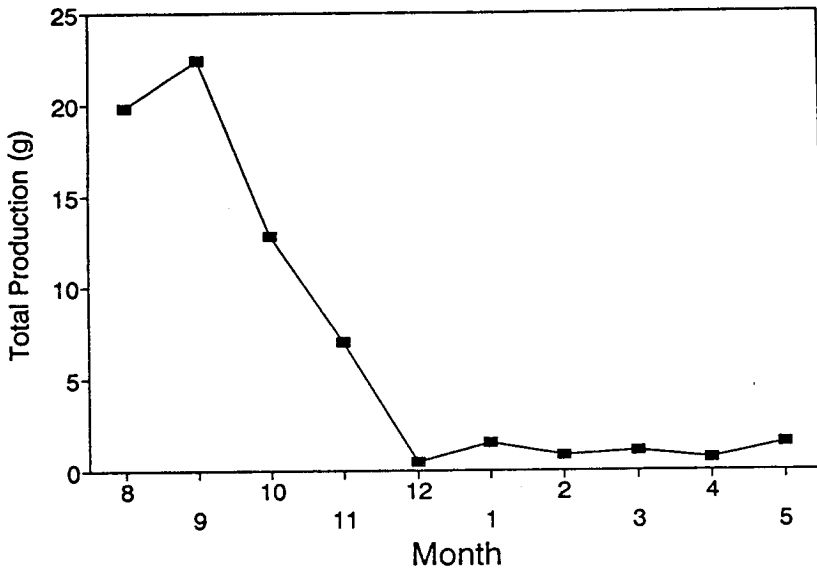


Fig. 7. Total production of cohort I of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

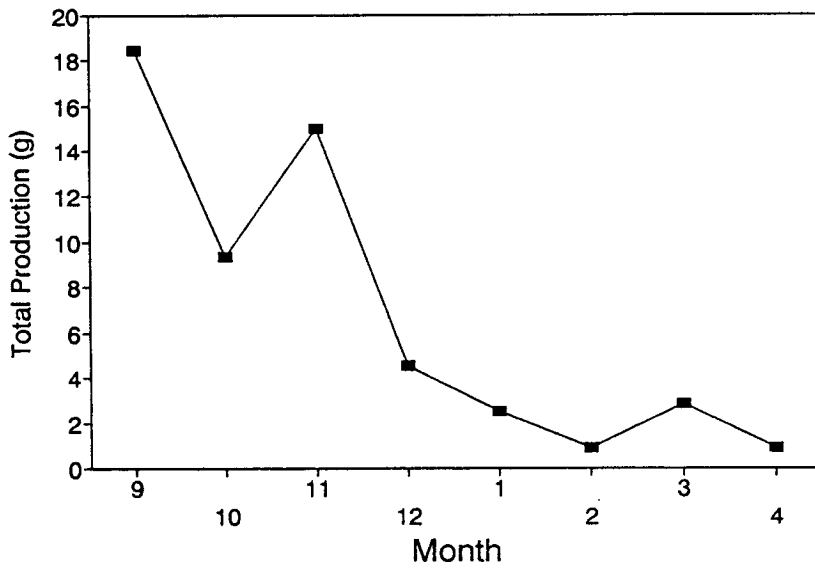


Fig. 8. Total production of cohort II of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

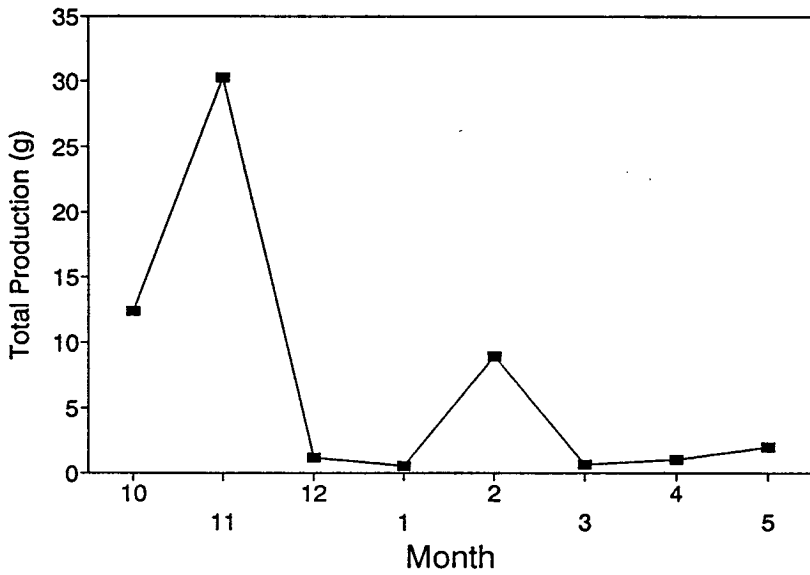


Fig. 9. Total production of cohort III of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

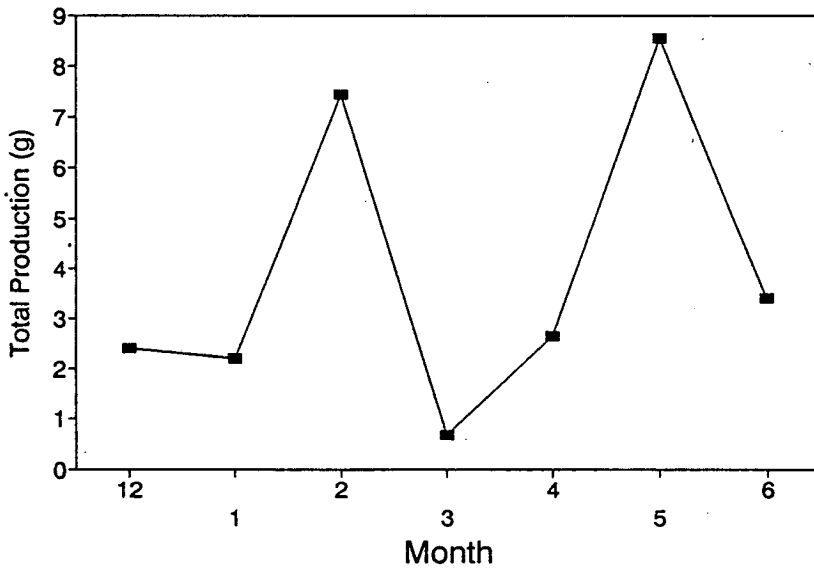


Fig. 10. Total production of cohort IV of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

연급군 IV는 11월에 가입하였기 때문에 이듬해 6월까지 7개월 동안의 생산량이 27.317 g/m²으로서 다른 연급군에 비해 매우 낮았다. 이 기간 동안의 평균 생물량은 11.586 g/m²이어서 P/B ratio는 2.358 정도에 불과하였다. 시기별 생산량에 있어서도 가입직후나 부근이 아니라 이듬해 봄인 4월에서 5월에 8.546 g으로 가장 많았고 P/B ratio도 0.43으로 가장 높았다 (Fig. 10).

봄철인 3월에 가입한 연급군 V의 경우는 7월에 대부분 산란하고 죽기 때문에 이 기간동안의 총생산량은 28.752 g이었고, 평균 생물량은 13.75 g으로 P/B ratio는 2.09였으며, 전체 연급군 중에서 가장 낮았다. 그러나 산란을 지연한 개체들로 구성된 연급군 V 1+는 1990년 9월부터 1991년 5월까지 생산한 양은 5.20 g, 평균 생물량은 6.71 g이었다 (Fig. 11).

이상의 결과에서 보면 각 연급군의 가입시기에 따라 개체군의 크기와 생산량, P/B 값이 달라짐을 알 수 있다. Moller (1985)에 의하면 western Sweden의 천해에 서식하는 *N. diversicolor*의 0+ 연급군의 생산량은 1.6에서 7.0 g (AFDW)/m², P/B 값은 3.5에서 5.9의 범위에 있었다. 본 연구에서는 여름철인 7월에서 9월까지 가입한 연급군 0+의 P/B 값은 3.2 - 4.3으로 *N. diversicolor*보다 약간 낮지만 유사한 수준이었고, 늦 가을이나 봄철에 가입한 0 연급군은 생산량에 있어서는 하한값 수준이고 P/B 값은 매우 낮다.

위의 연급군별 결과를 전체 개체군으로 합하여 조사기간 중인 1990년 9월부터 1991년 11월까지 생산된 양을 보면 312.231 g (wet wt.)/m²였고, 평균 생물량은 77.9 g (wet wt.)/m²이었다. 시기별로는 1991년 10월에서 11월에 52.329 g으로 가장 많은 생산량을 보였고, 1991년 2월에서 3월에 이르는 동안에 5.786 g으로 가장 적었다 (Fig. 12). 1991년 5월이후에는 월

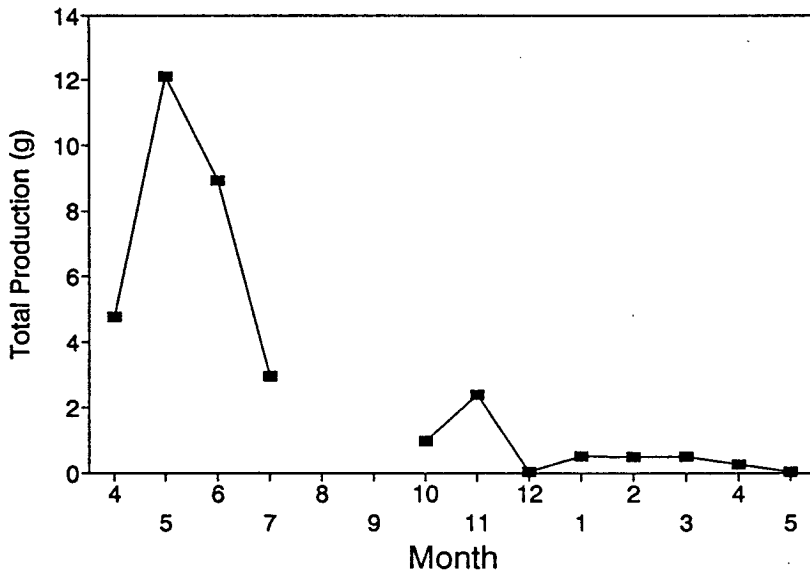


Fig. 11. Total production of cohort V of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

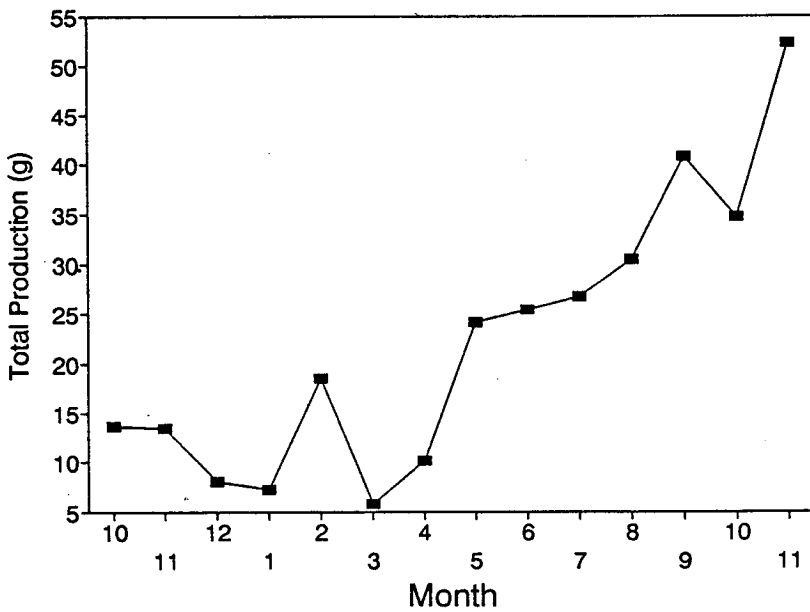


Fig. 12. Monthly total production of *P. aibuhitensis* during the sampling period.

별 생산량이 20 g/Mo. 이 넘는 반면 1990년의 9월에서 11월 사이에는 13 g/Mo. 이하였다. 즉 이것은 1990년의 연급군은 가입강도가 1991년에 비해 매우 약함을 시사한다.

조사기간 동안에 인천 청라도 조간대 갯벌에서 두토막눈썸참갯지렁이 개체군이 생산한 총량은 습중량으로 312,231 g 였는데, 이것을 연간 생산량으로 환산하면 약 267.63 g/m²/yr (wet wt.)가 되고 건조 중량으로 바꾸면 29.44 g (DW)/yr 또는 25.32 g (AFDW)/yr이다. 이것은 Kristensen (1984)이 덴마크의 Norsminde Fjord에 서식하는 *Nereis virens*와 *N. diversicolor*의 연간 생산량을 추정하 값인 23.73 g (AFDW)/yr과 27.17 g (AFDW)/yr와 유사한 수준이다. 한편 Gillet (1990)은 프랑스의 Loire estuary에 서식하는 *N. diversicolor*의 생산량을 34.7 g/m²로 보고하였다. 그러나, P/B ratio에 있어서는 Norsminde Fjord의 *N. virens*와 *N. diversicolor*가 각각 2.52와 2.60을, Loire estuary의 *N. diversicolor*가 2.2를 기록한 것에 비해 본 연구 대상종인 *Perinereis aibuhitensis*는 3.43으로 위 두 종보다 훨씬 높은 값을 보였다. 참갯지렁이과에 속하는 종들은 대체로 지역에 따라 동일 개체군에 있어서도 생산량과 P/B 값에 차이를 보이는 것으로 보고되었는데, Scotland의 Ythan estuary에 서식하는 *N. diversicolor*는 연간 생산량이 12.78 g (AFDW)/yr에 P/B 값이 3.0이었고 (Chambers and Milne, 1975), 기수성 호수인 Dievengat에 서식하는 *N. diversicolor*의 연간 생산량은 61 g (DW)/yr 또는 54.3 g (AFDW)/yr이었고, P/B 값은 2.5였다 (Heip and Herman, 1979).

제 4 장 요약 및 결론

한국 서해의 조간대 상부역의 실트질 퇴적물에 서식하는 두토막눈썸참갯지렁이 (*Perinereis aibuhitensis*)의 개체군 동태와 생산량을 추정한 결과를 요약하면 다음과 같다.

먼저 조사장소인 인천 청라도 지역의 환경조건으로는 퇴적물 온도는 0.4°C (2월)에서 26.6°C (7월), 염분은 28.0‰ - 29.6‰, 퇴적물의 평균 입도는 $5.3-6.9\phi$, 유기탄소의 함량은 0.84 - 1.95%, 퇴적물의 함수율은 26 - 54%범위에 있었다.

청라도 지역에서의 가을에서 겨울까지의 두토막눈썸참갯지렁이의 현존량은 15개체- 203개체/ m^2 로서 평균 82개체/ m^2 였고, 조간대 하부로 갈수록 감소하는 경향을 보였다. 생물량에 있어서는 $21.1\text{ g}/\text{m}^2$ 에서 $165.2\text{ g}/\text{m}^2$ 으로 평균 $63.5\text{ g}/\text{m}^2$ 였다. 조사정점 1에서의 시기별 현존량의 변화를 보면 서식밀도는 1990년 12월에 52개체/ m^2 에서 1991년 7월에 230개체/ m^2 의 범위로서 평균 129개체/ m^2 였고, 생물량은 1990년 12월의 $34.7\text{ g}/\text{m}^2$ 에서 1991년 5월의 $134.8\text{ g}/\text{m}^2$ 로서 평균 $77.9\text{ g}/\text{m}^2$ 였다.

두토막눈썸참갯지렁이의 상대성장 중 체중과 체폭의 관계는 $W=aLb$ 의 관계식을 가장하고 양변을 지수변환한 직선식의 기울기와 절편을 구하였다. 매월의 자료를 회귀분석한 한 결과 기울기는 2.50에서 3.01의 사이에 있었다.

개체군의 연급군분석 (cohort analysis)은 월별 체중에 대한 빈도수지료를 사용하여 Bhattacharya 방법을 이용한 컴퓨터 프로그램으로 이루어졌다. 총 5개의 연급군이 존재하였는데 주 가입시기인 7월에서 10월까지

매월 하나의 연급군이 가입되고, 3월에 가입되는 한개의 연급군이 있는 것으로 나타났다. 각 연급군별 성장은 가입시기에 따라 달라지며 여름에 가입한 연급군이 더 빨리 성장하였다. 7월에 가입된 연급군은 이듬해 3월에 1.9 g 정도로 성숙하여 산란하며, 일부 개체는 산란을 지연하여 여름이나 다음 해 봄에 산란하는 것으로 생각된다. 반면 봄에 가입된 연급군은 그해 여름에 약 1.5 g 정도로 성장하여 여름철부터 산란하는 것으로 나타났다. 따라서 평균 개체군의 수명은 1년일 것으로 추정된다.

각 연급군의 체중성장은 시간에 대한 지수함수적 유형을 보였으며, 성장율은 연령과 가입시기에 따라 차이를 보였으며, 1세 연급군은 $G=0.1/\text{Mo.}$ 에서 $0.2/\text{Mo.}$, 0세 연급군은 $G=0.68/\text{Mo.}$ 에서 $0.81/\text{Mo.}$ 였다. 성장율은 겨울에 낮고 여름에 높았다.

각 연급군의 월간 전사망계수는 오래된 연급군일수록 낮아서 1세군은 $Z=-0.27/\text{Mo.}$ 에서 $-0.33/\text{Mo.}$ 정도였고, 0세군들은 가입초기에 높은 사망율을 보여 $Z=-0.33/\text{Mo.}$ 에서 $-0.59/\text{Mo.}$ 까지 였다. 전 생활사를 통한 연급군 I의 월간 전사망계수는 $-0.358/\text{Mo.}$ 였으며, 이는 $Z=-3.60/\text{yr.}$ 에 해당된다. 다른 연급군들도 이와 비슷하여 연급군 II는 $Z=-0.363/\text{Mo.}$, 연급군 III의 경우 $Z=-0.314/\text{Mo.}$, 연급군 IV는 $Z=-0.326/\text{Mo.}$ 였다.

각 연급군별 총 생산량은 가입시기 및 생육기간동안의 환경에 따라 서로간에 차이를 보였으며, 연급군 I이 68.12 g/m^2 로 가장 많았고 늦 가을에 가입된 연급군 IV가 27.32 g/m^2 로 가장 적었다. 각 연급군별 P/B ratio는 2.09 에서 4.32 까지 나타나 다른 참갯지렁이류의 개체군에 비해 높은 값이었다. 전체 연급군이 조사기간 동안 생산한 총량은 312.23 g wet/m^2 였고 연간 총생산량은 $267.63 \text{ g wet/m}^2/\text{yr}$ 로 추정되었다.

참고 문헌

- 국립수산진흥원, 1973. 갯지렁이 자원조사 결과. 국립수산진흥원, 43 pp.
- 김 종관, 1987. 삼천포 수도의 연안어류 섭식생태. 부산수산대학
박사학위 논문, 142 pp.
- 김 종관, 장 창익, 1991. 서산 연안간석지에서 두토막눈썸참갯지렁이
(청충), *Perinereis aibuhitensis*의 분포밀도와 현존량의 추정.
한국수산학회지, 24(4):229-236.
- 한국해양연구소, 1989. 해산 갯지렁이 자원조사 및 시육기법 개발.
BSPG 00072-226-3, 199 pp.
- 한국해양연구소, 1991. 해산 갯지렁이 자원조사 및 시육기법 개발.
BSPG 00122-366-3, 267 pp.
- 해양과학연구소, 1977. 갯지렁이류의 자원생태 및 축양에 관한 연구.
부산수산대학 해양연구소, 98 pp.
- Bhattacharya, C.G., 1967. A simple method of resolution of
a distribution into Gaussian components. *Biometrics*,
23:115-135.
- Chambers, M.R. and H. Milne, 1975. Life cycle and production of *Nereis*
diversicolor O.F. Muller in the Ythan estuary, Scotland.
Estuar. Coastal Mar. sci., 3:133-144.
- Clark, R.B., 1977. Reproduction, speciation and polychaete taxonomy.
In: D.J. Reish & K. Rauchald (eds.). *Essay on polychaetous*
annelids in memory of Dr. Olga Hartman. p. 477-502.
- Crisp, D.J., 1971. Energy flow measurements. In: Holme, N.A. and

- McIntyre, A.D. (eds), Methods for the study of marine benthos, IBP Handbook No.16, Blackwell Scientific Publications, Oxford and Edinburgh, pp. 197-280.
- Gillet, P., 1990. Biomass, production and population dynamics of *Nereis diversicolor* (polychaetous annelid) in the Loire estuary (France). *Oceanol. Acta*, 13(3):361-371 (in French).
- Harding, J.P., 1949. The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distributions. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 28:141-153.
- Heip, C. and R. Herman, 1979. Production of *Nereis diversicolor* O.F. Muller (Polychaeta) in a shallow brackish-water pond. *Estuar. Coastal Mar. Sci.*, 8:297-305.
- Kristensen, E., 1984. Life cycle, growth and production in estuarine populations of the polychaete *Nereis virens* and *N. diversicolor*. *Holarct. Ecol.*, 7:249-256.
- Moller, P., 1985. Production and abundance of juvenile *Nereis diversicolor*, and oogenic cycle of adults in shallow waters of western Sweden. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 65:603-616.
- Paik, E.- I., 1975. Taxonomic evaluation of two varieties of *Perinereis nuntia*, *P. nuntia* var *vallate* (Grube, 1857) and *P. nuntia* var. *brevicirris* (Grube, 1857). *Bull. Korean Fish. Soc.*, 8(4):242-244.

부록

Appendix 1. The monthly variation of sediment and air temperature at site 1.

Date	Temp. Sediment temp. (°C)	Air temp. (°C)
1990.		
9/18	20.3	23.4
10/29	20.4	22.6
11/19	12.8	8.8
12/10	7.9	3.3
1991.		
2/02	5.1	5.6
2/27	0.4	5.8
3/29	11.8	12.0
4/17	11.1	15.1
5/02	14.3	15.0
6/03	19.9	20.7
6/27	26.0	29.7
7/26	26.6	28.8
9/26	21.6	22.7
10/24	14.7	18.0

Appendix 2. The salinity and water content of surface sediments.

Site						
Variables	1	2	5	7	9	L-3
Salinity (‰)	27.96	29.41	-	29.59	13.16	-
Water content (%)	26.0	54.0	28.0	-	-	35.0

Appendix 3. Mean individuals of *Perinereis aiubhitensis* collected
at 12 sampling sites from Sept. to Dec. of 1990.

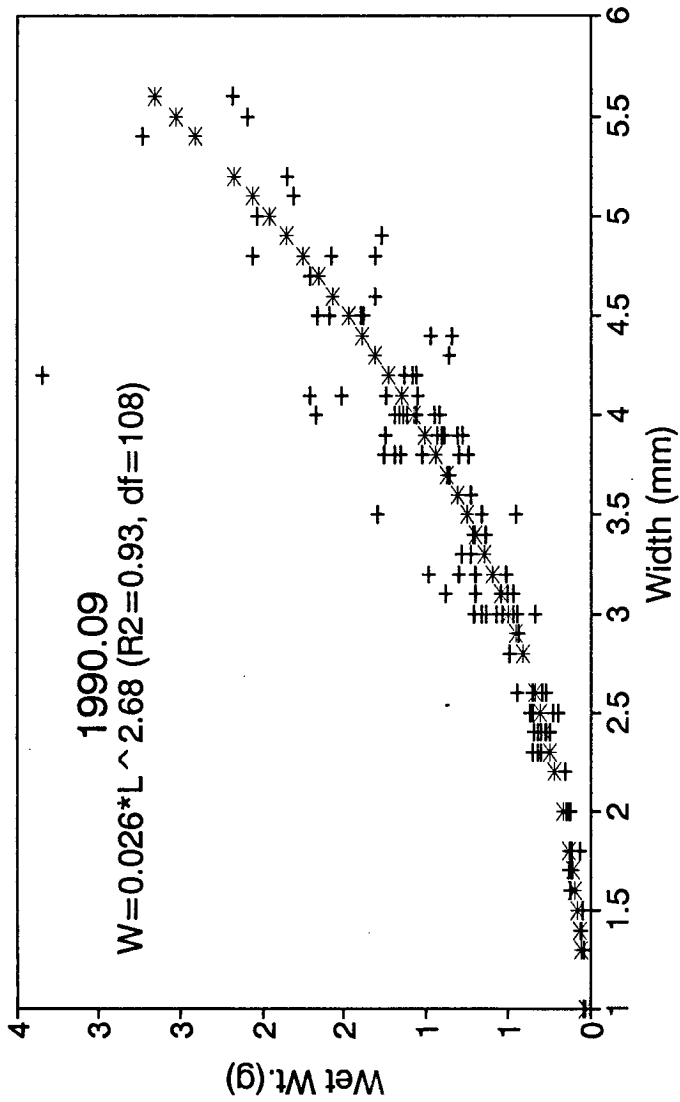
(unit: indiv./m²)

Site\Date	9\18	10\10	10\29	11\20	12\10	Mean
1	59	84	155	101	52	90
2	197	124	196	200	242	192
3	140	168	247	246	215	203
4	131	156	322	92	180	176
5	21	15	18	22	27	21
6	26	10	16	16	9	15
7	156	90	58	135	132	114
8	60	45	38	15	24	36
9	13	53	64	23	40	39
L-1	34	64	39	24	34	39
L-2	40	25	32	23	14	27
L-3	27	7	24	-	19	19
Mean	75	70	101	81	82	82

Appendix 4. The Biomass of *Perinereis aibuhitensis*.

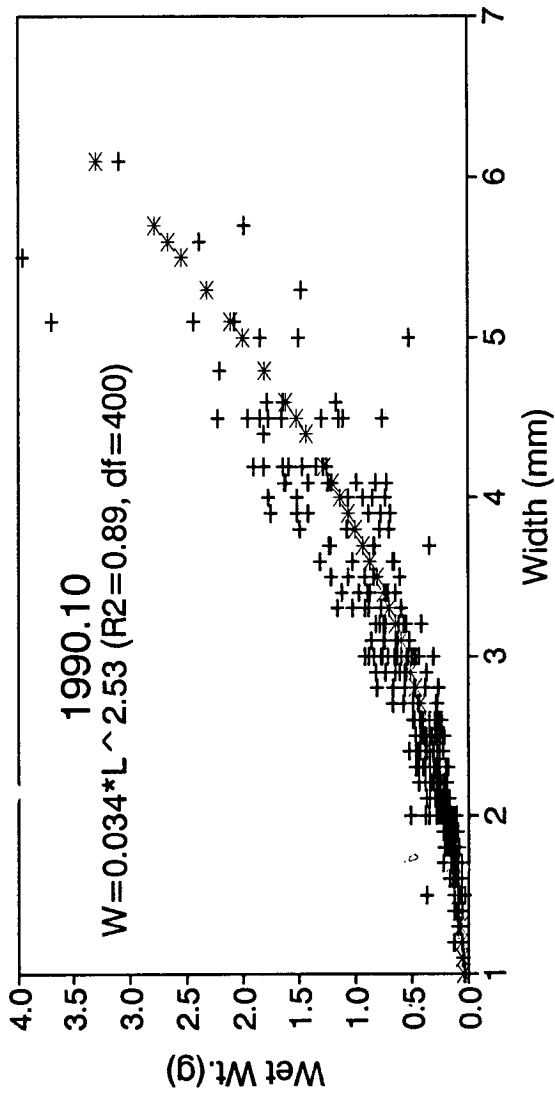
(unit: g/m²)

Site\Date	9\18	10\10	10\29	11\20	12\10	Mean
1	48.90	125.66	96.04	59.83	39.74	74.03
2	141.93	109.00	221.40	136.63	216.92	165.18
3	60.99	88.42	138.61	133.59	118.86	108.09
4	62.88	94.63	173.73	57.72	133.08	104.41
5	17.18	26.20	25.15	22.55	48.15	27.85
6	21.98	18.08	23.88	28.19	17.60	21.95
7	92.05	80.67	59.12	110.89	71.41	82.83
8	74.57	32.16	29.10	19.20	21.15	35.24
9	5.52	29.05	32.84	18.40	19.73	21.11
L-1	45.00	61.43	59.83	32.04	43.41	48.34
L-2	43.80	40.56	51.03	39.38	13.25	37.61
L-3	39.57	15.94	37.20	-	28.22	30.23
Mean	54.53	60.15	78.99	59.86	64.29	63.56



(1) Sept. 1990.

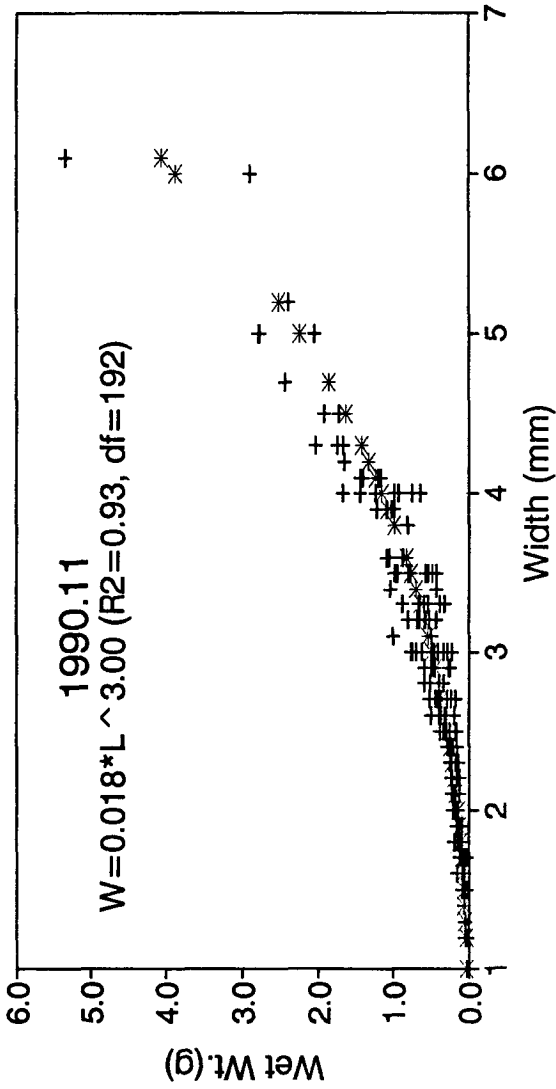
Appendix Fig. 1. The relationship between the body width of the 10th segment and body weight of *Perinereis aiuhitensis*.



+ measured values * estimated values

(2) Oct. 1990.

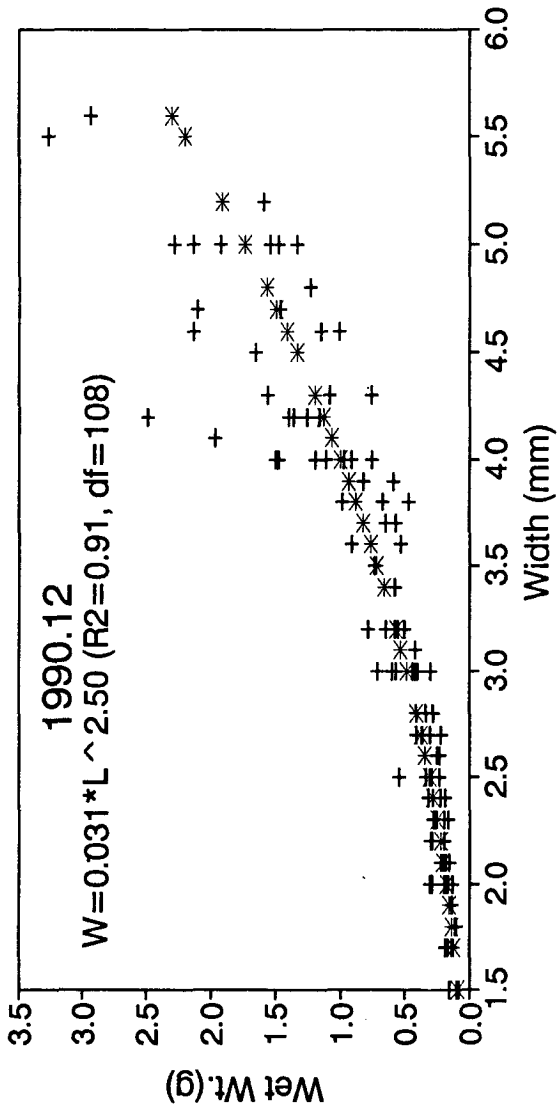
App. Fig. 1. - continued -



+ measured values * estimated values

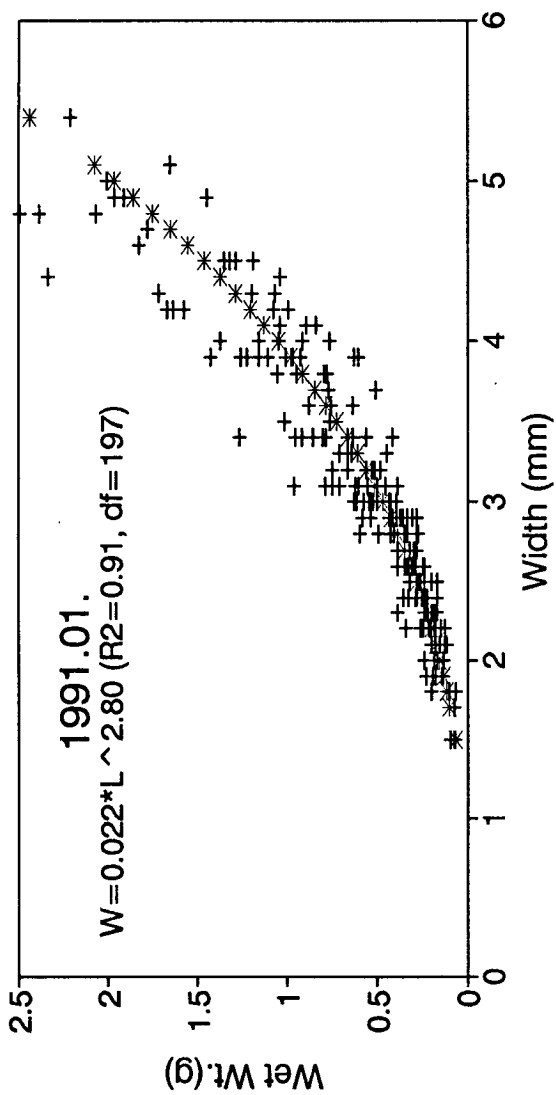
(3) Nov. 1990.

App. Fig. 1. - continued -



(4) Dec. 1990.

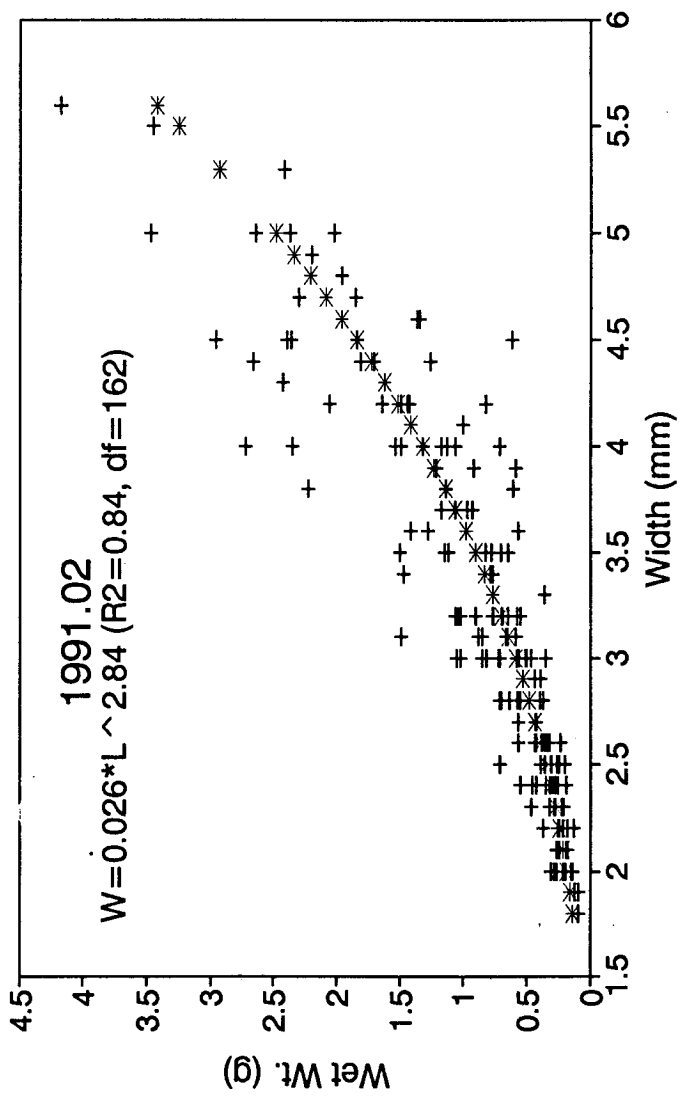
App. Fig. 1. - continued -



+ measured values * estimated values

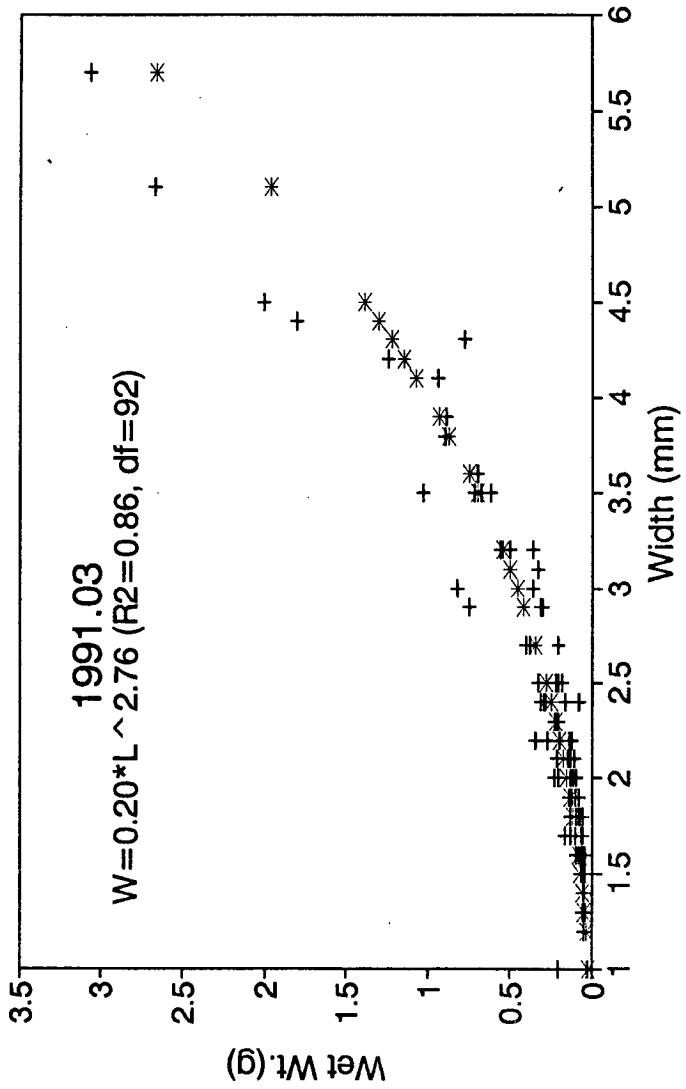
(5) Jan. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



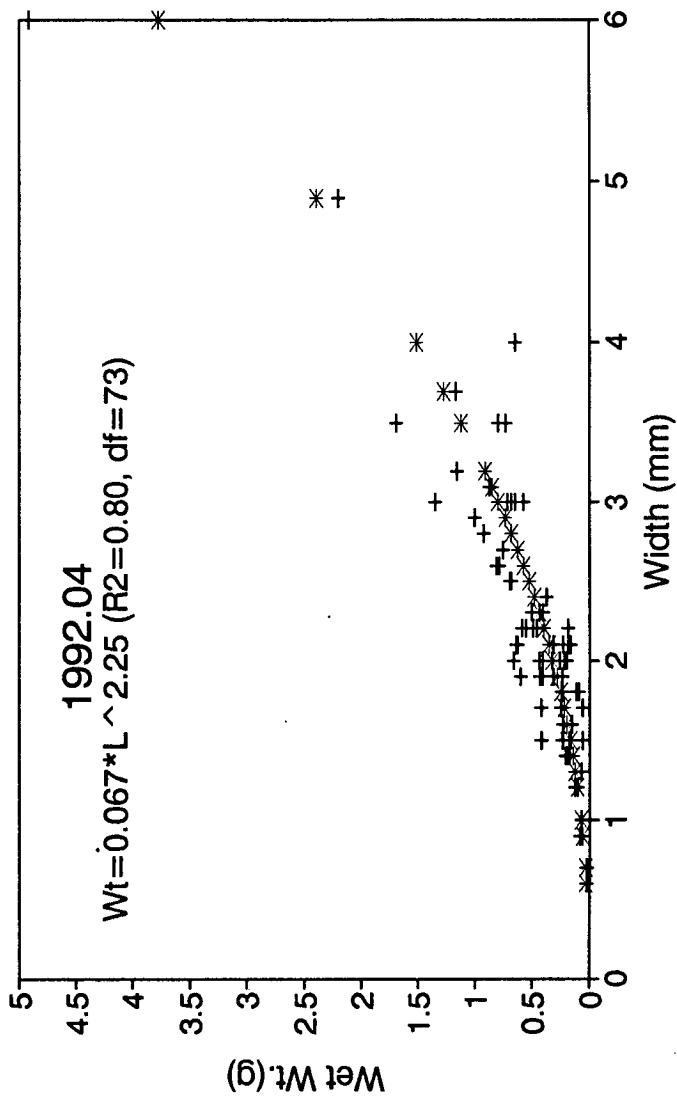
(6) Feb. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



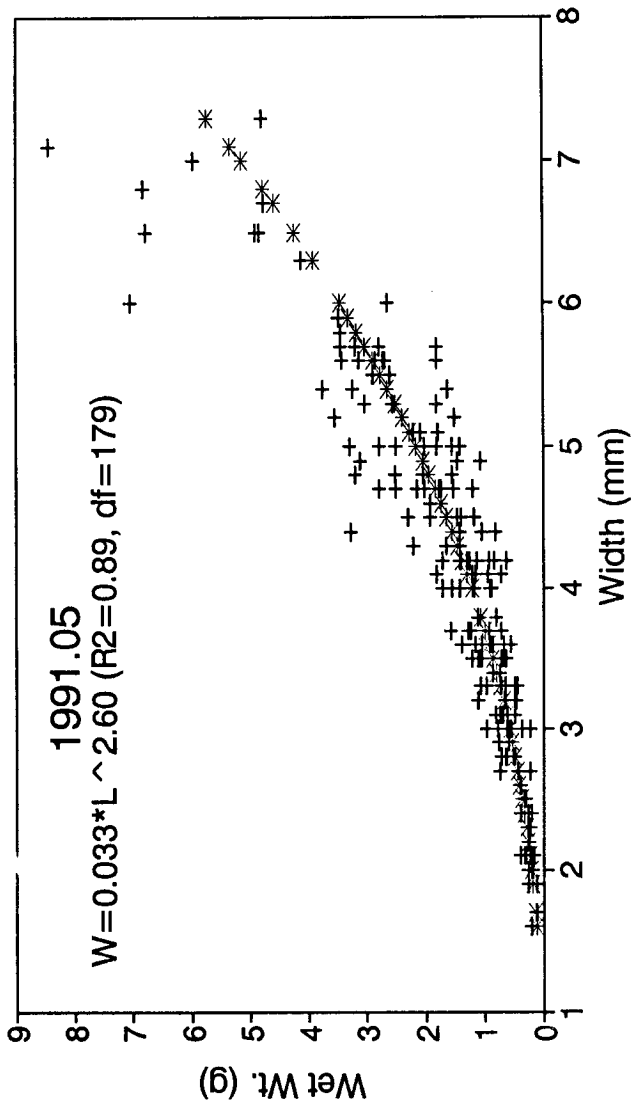
(7) Mar. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



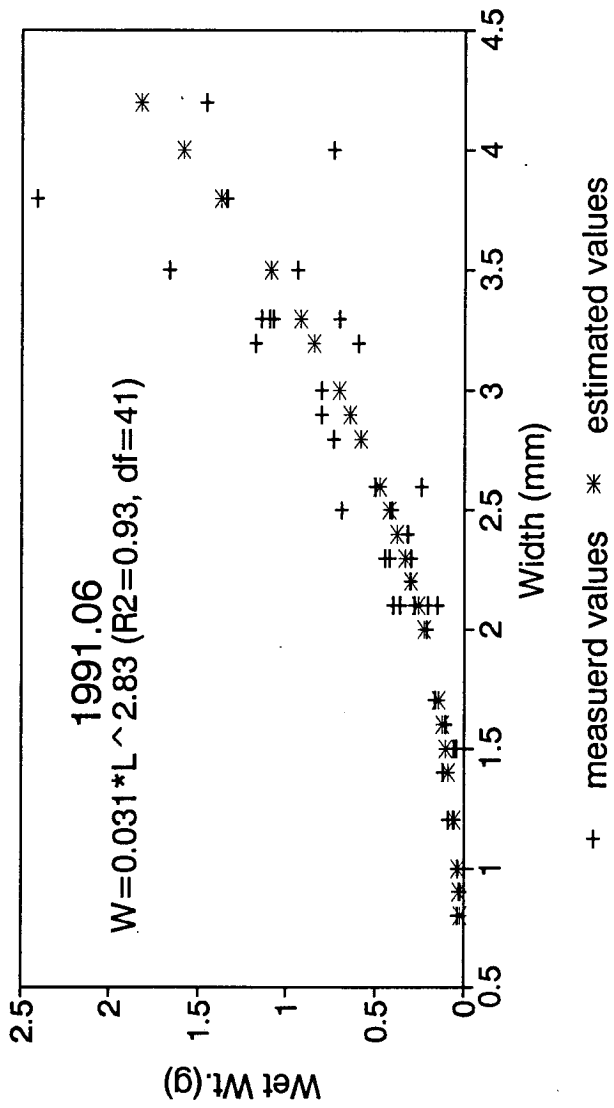
(8) Apr. 1992.

App. Fig. 1. - continued -



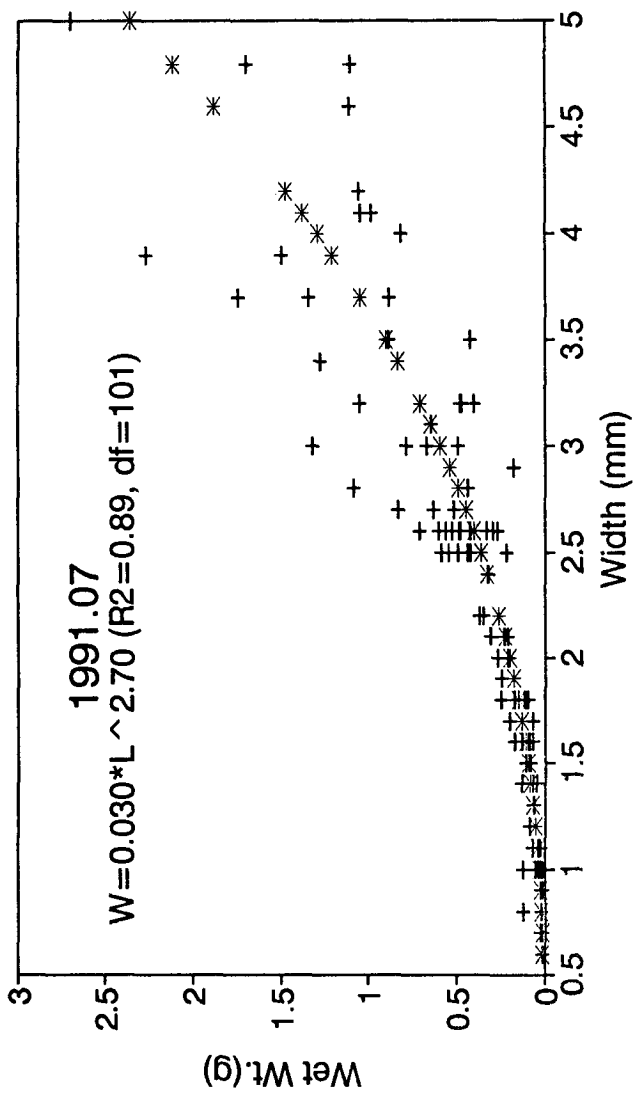
(9) May 1991

App. Fig. 1. - continued -



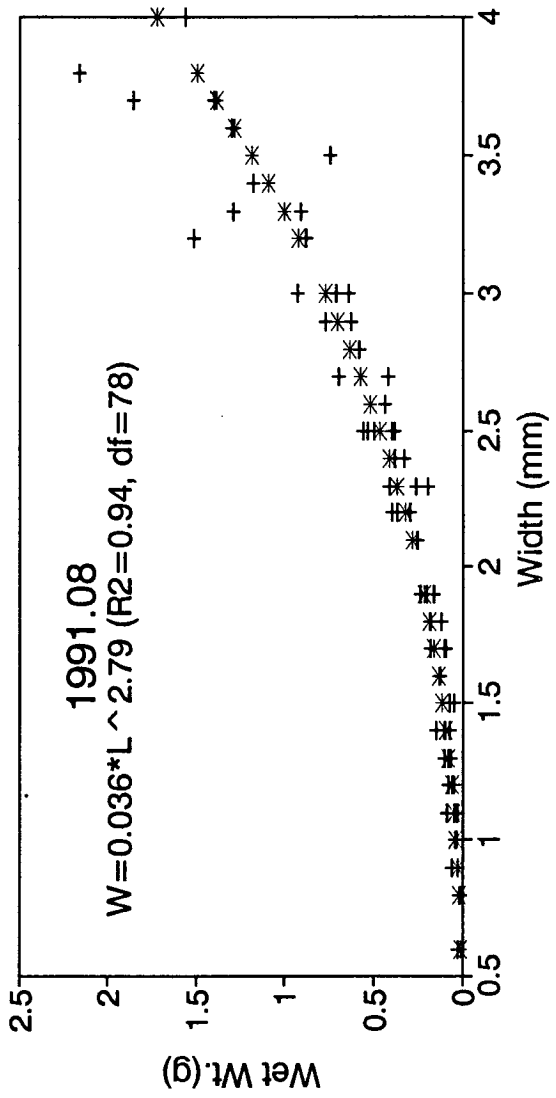
(10) Jun. 1991

App. Fig. 1. - continued -



(11) Jul. 1991

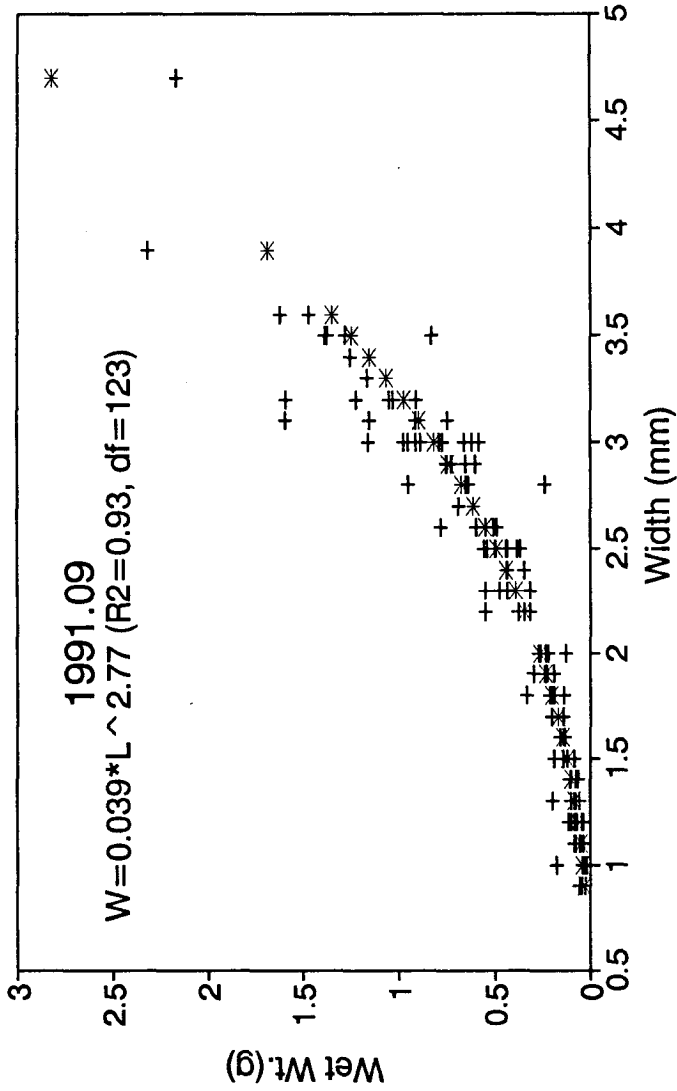
App. Fig. 1. - continued -



+ measured values * estimated values

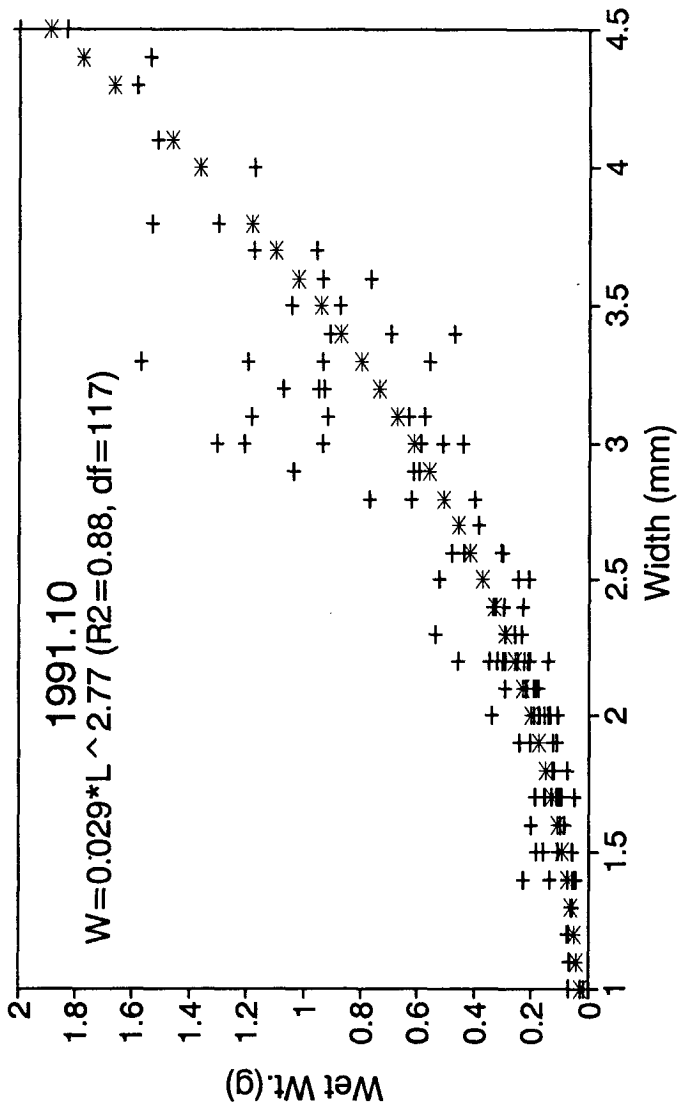
(12) Aug. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



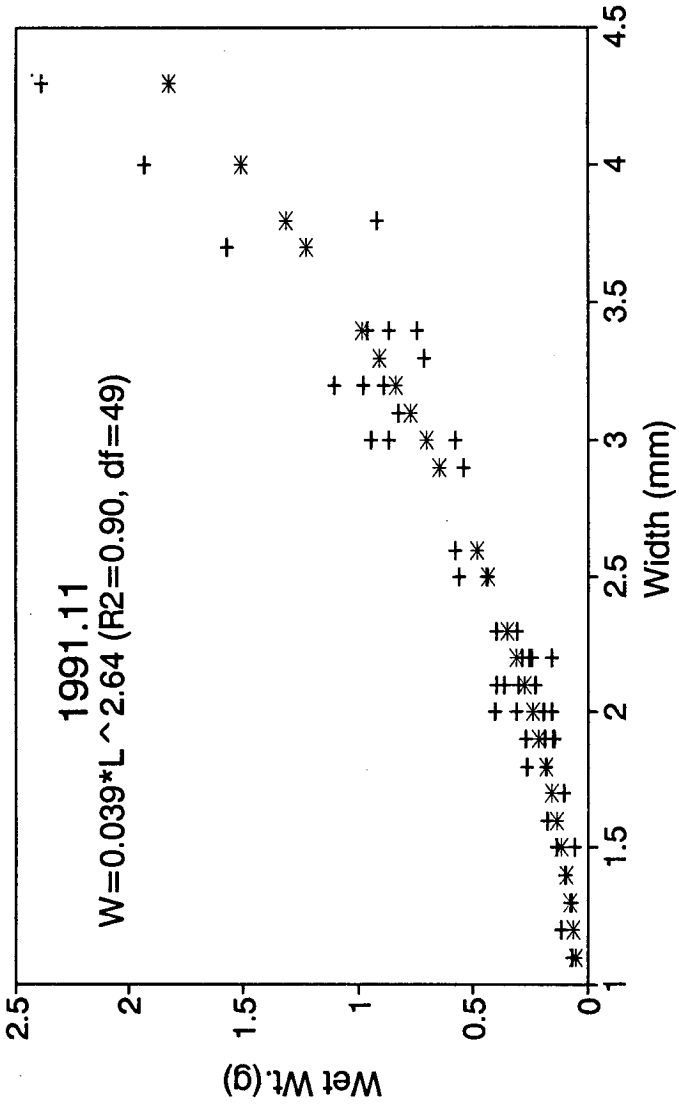
(13) Sep. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



(14) Oct. 1991.

App. Fig. 1. - continued -



(15) Nov. 1991.

App. Fig. 1. - continued -