

---

석사학위논문

도화새우 *Pandalus hypsinotus*의 성장,  
생식 및 Zoea 유생의 에너지 수치

제주대학교 대학원

수산생물학과



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

김 대 현

1995년 6월

도화새우 *Pandalus hypsinotus*의 성장,  
생식 및 Zoea 유생의 에너지 수지

지도교수 이 정 재

김 대 현

이 논문을 이학석사학위 논문으로 제출함.

1995년 6월

김대현의 이학석사학위 논문을 인준함.

심사위원장

노

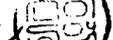
성 

위

원

이

영

진 

위

원

이

정

재 

제주대학교 대학원

1995년 6월

---

**Growth, Reproduction and Zoea larval Energy  
Budget of *Pandalus hypsinotus***

**Dae-Hyun Kim**  
(Supervised by professor Jung-jae Lee)

 제주대학교 중앙도서관  
A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER  
OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NANTIONAL UNIVERSITY

1995. 6

# 목 차

Summary .....	1
I. 서 론 .....	3
II. 재료 및 방법 .....	5
1. 생식생태 .....	5
1) 성장 .....	5
2) 성전환과 포란수 .....	5
3) 두홍갑장에 따른 성비 .....	6
2. Zoea 유생발달에 따른 에너지수지 .....	6
1) 유생사육 및 성장 .....	6
2) 산소소비 .....	7
3) 섭식에너지 .....	7
4) 에너지 수지 및 생태효율 .....	8
III. 결 과 .....	9
1. 생식 생태 .....	9
1) 상대성장 .....	9
2) 성전환과 포란수 .....	13
3) 두홍갑장에 따른 성비 .....	19

2. Zoea 유생 발생에 따른 에너지수지 .....	21
1) 성장 .....	21
2) 산소소비 .....	26
3) 섭식에너지 .....	26
4) 에너지 수지 및 생태효율 .....	28
IV. 고찰 .....	30
V. 요약 .....	33
VI. 참고문헌 .....	35
감사의 글 .....	39



## Summary

Annual reproductive cycle, morphological characteristics, and energy budget for the zoea larvae of a pandalid shrimp, *Pandalus hypsinotus* BRANDT was investigated from 1,037 individuals sampled using trap net in the East Sea of Korea during January and December, 1993. Total body length (TL), carapace length (CL), and uropod length (UL) was recorded to 0.1 mm using vernier calipers. Body wet weight (BW) was measured to 10 mg with a balance. Rate of assimilation, respiration, and excretion of the zoea larvae hatched from 11 ovigerous females were also estimated at 10°C to understand their energy budget.

From TL, CL, UL, and BW data, following relationships were identified ;

i ) female

$$TL = 31.1549 + 3.9813 CL \ (r=0.7676, n=118, P<0.01)$$

$$TL = 59.1227 + 5.3931 UL \ (r=0.6731, n=118, P<0.01)$$

$$\log BW = -2.3906 + 2.5341 \log CL \ (r=0.8017, n=86, P<0.01)$$

ii ) male

$$TL = 32.5717 + 4.0520 CL \ (r=0.9457, n=240, P<0.01)$$

$$TL = 33.1699 + 5.9509 UL \ (r=0.9324, n=240, P<0.01)$$

$$\log BW = -3.2391 + 3.0650 \log CL \ (r=0.9829, n=220, P<0.01)$$

The ranges of carapace length in male, female, and sex transitional stage' pandalid shrimp were measured 11.8 to 46.7 mm, 38.8 to 54.4 mm and 32.0 to 46.8 mm, respectively. By carapace length , all shrimp smaller than 32.0 mm in CL were males, while those greater than 46.8 mm in CL were females. Average number of eggs in ovigerous shrimp was 7,677 with a range of 3,766 to 12,500. A statistically significant correlation was found between number of eggs in female (fecundity, Fc) and carapace length ;

---

$$F_c = 437.1 CL - 12,453 \quad (r=0.6393, n=45, P<0.01).$$

The energy intake per larva of zoea I to VI stages fed on *Artemia* nauplii was 140.88 Joule. The energy losses by respiration, molting, and excretion were 16.22 Joule, 1.195 Joule, and 106.40 Joule, respectively. The amount of energy used by growth was 17.07 Joule.

Pandalid larvae assimilated 24.47 % of the ingested food. The gross efficiency(  $K$  ) calculated by the equation of (growth + exuviae)/ingestion rate  $\times 100$  was 12.96 %, and the net growth rate(  $K_2$  ) calculated by the equation of (growth rate + exuviae)/(growth rate + exuviae + respiration rate)  $\times 100$  was 52.96 %. The percentage used for somatic growth and maintenance among the assimilated energy were 49.51 %, and 47.04 %, respectively.

## I. 서론

도화새우, *Pandalus hypsinotus* BRANDT는 도화새우과(Family Pandalidae)에 속하는 한류계의 종으로 캘리포니아 연안, 베링해, 알래스카, 일본의 홋카이도 및 우리나라의 동해 등 전 세계적으로 널리 분포하고 있다(Butler, 1964; 尾身, 1979). 우리나라에 서식하는 도화새우속(Genus *Pandalus*)에는 도화새우를 비롯하여 북쪽 분홍새우(*P. borealis*), 줄무늬도화새우(*P. kesslery*), *P. gracilis* 등이 있으며, 특히 도화새우는 북쪽분홍새우와 *Pandalopsis*속의 물렁가시붉은새우(*P. japonica*)등과 함께 동해에 서식하는 주요 새우자원의 하나이다. 도화새우과의 특징 중 하나는 양성 선숙(protandrous hermaphroditism)의 특징을 들 수 있다(Carlisle, 1959a, b).

도화새우속(Genus *Pandalus*)에 관한 연구는 Berkeley(1930)가 초기유생발생에 관한 연구를 필두로 하여 생태 및 생활사, 온도와 염분에 따른 성장과 생존율, 그리고 도화새우속의 분포, 외부형태, 성전환, 유생발생에 따른 형태등에 관해 연구되어 왔다(Igarashi, 1951; Kurada 1962; Butler, 1964; Haynes, 1976; Rothlisberg, 1979; Mikulich와 Ivanov, 1983; Hayashi, 1988). 한편 尾身(1979)은 본종을 대상으로 종묘생산을 시도하였고, 村上(1992)에 의해 실내사육에 있어 성숙주기와 교미 및 산란행동에 관한 연구가 행하여졌다.

우리나라 연안에 서식하는 도화새우속에 관한 연구로는 정과 유(1965)의 한국 동해의 새우어업과 자원에 관한 내용으로 *P. hypsinotus*와 *P. borealis*의 자원 동태 및 어업 생물학적연구에 관해 연구한바 있고, Kim과 Jo(1985)에 의해 우리나라 동남부지역의 *P. borealis*의 자원을 추정하였을 뿐, 본종에 대한 연구는 거의 되어 있지 않다.

갑각류에 대한 자연과 실험실 집단을 통한 에너지 수지에 관한 연구는 많은 진전을 보여 왔고(Clutter와 Theilacker, 1971; Crisp, 1974; Daborn, 1975 ; Levine와 Sulkin, 1979; Logan과 Epifano, 1978; Emmerson, 1984; Harms, 1987; Willow, 1987), 성장, 탈피, 생식, 호흡, 배설, 체물질조

성 및 에너지 함량에 대한 실험적 연구에 의해서 에너지 수지를 파악하고 그 영양적 체계를 구성해 보이고 있다. 에너지 수지에 관한 연구는 환경에 대한 동물의 대사적 적응유형과 다른 영양단계간의 에너지 전이유형을 이해하는 총체적인 자료가 될 수 있으며, 그 동물의 생산성을 추측하는 데 유용하다 (Vernverg와 Vernberg, 1981).

따라서 본 연구는 동해안의 중요 새우자원의 하나인 도화새우 개체군의 상대성장, 성전환과 포란, 두흉갑장에 따른 성비등 생식생물학적 연구와 본종의 zoea 유생을 대상으로 성장, 탈피, 호흡, 섭식 및 에너지함량을 측정하여 유생 발생을 통한 에너지 수지를 분석하여 섭식과 성장에 따른 에너지 흐름의 동태를 파악하고자 하였다



## II. 재 료 및 방 법

### 1. 생 식 생 태

본 연구에 사용한 도화새우, *Pandalus hypsinotus* BRANDT는 강원도 삼척 정라진과 울릉도 근해에서 1993년 1월부터 12월까지 새우통발에 의해 어획된 암컷 158마리, 수컷 837마리, 성전환중인 개체 42마리, 총 1,037마리를 구입하여 두홍갑장조성에 따른 성비, 포란시기, 개체포란수, 성전환시 두홍갑장 크기 및 외부형태등을 조사하였다.

#### 1) 성장

구입된 새우는 산소봉입 포장방법으로 국립수산진흥원 울진수산종묘배양장까지 옮겨서 전장(total length: TL), 두홍갑장(carapace length: CL), 미각장(uropod length: UL)을 vernier calipers로 0.1 mm 단위까지 측정하였고, 체중(body weight: BW)은 전자저울(ER-120., AND CO)로 10 mg 단위까지 측정하였다. 전장은 액각(rostrum)의 끝에서 가시를 제외한 미절(telson) 끝까지의 거리, 두홍갑장은 안병의 기저에서 두홍갑의 등면 뒤쪽의 오목한 부분까지 측정하였고, 미각장은 마지막 복부체절의 말단에서 강모를 제외한 미각 끝까지의 직선 거리를 측정하고 그 상대성장을 비교하였다. 그런데, 암컷의 경우 난의 무게가 체중에 영향을 미치므로 암컷의 두홍갑장과 체중의 관계는 비포란 암컷만을 사용하였다. 암수간 회귀식의 기울기에 대한 유의성 검정은 공분산분석을 이용하였고, 각각의 회귀식의 유의성 검정은 Hexcel software를 사용하였다.

#### 2) 성전환과 포란수

암수의 외부형태와 성전환 개체의 형태적 특징은 Igarashi(1951)의 기재에 따

라 제1복지(1st pleopod)와 제2복지(2nd pleopod)의 내지(endopod)의 형태적 특징에 의해 현미경(SZH10., Olympus CO)하에서 구별하였다.

수컷은 제1복지의 내지(endopod)가 두 갈래로 갈라져 있으며, 제2복지의 내지에 1개의 내부속지(appendix interna)와 그 옆에 1개의 숫돌기(appendix masculina)가 있는 반면, 암컷은 제1복지의 내지 끝이 2갈래로 갈라져 있지 않을 뿐더러 제2복지의 내지에는 1개의 내부속지만 가지고 있다. 성전환중(sex transitional stage)인 개체의 제1복지의 내지는 한갈래가 점점 퇴화되어 소실되는 모양을 갖고있고, 제2복지의 숫돌기 역시 퇴화되어 소멸되는 형태를 갖고 있다.

외포란수 조사는 복지(pleopod)의 부착모에 부착된 수정란을 분리하여 전자저울로 전중량을 조사하고, 그 중 일부를 표본하여 계수한 후 환산하였다.

### 3) 두흉갑장에 따른 성비

두흉갑장에 따른 성비를 파악하기 위하여 두흉갑장을 5 mm 간격의 체급으로 조사하였다. 성의 구별은 Igarashi(1951)의 형태적 특성에 따라 수컷, 암컷 그리고 성전환중인 개체로 구분하였다.



## 2. Zoea 유생의 에너지 수지

### 1) 성장

유생의 에너지 수지를 조사하기 위하여 1993년 2월 26일 어획된 암컷 중 발안된 난을 가진 어미 11 마리를 실험실의 1 m<sup>3</sup> polycarbonate 수조에 옮겨 5 μm의 cartridge filter로 여과한 해수를 유수시키면서 부화시켰다. 부화된 유생은 별 도의 1 m<sup>3</sup> polycarbonate 수조에 옮겨 10℃ 전후로 조절하면서 대량 사육하여 각 실험에 사용하였고, 먹이는 *Artemia*의 갓 부화된 nauplius를 주었다.

유생은 매일 10~20 마리를 무작위 추출하여 Haynes(1976)의 기체에 따라

발생 단계별 전장, 건조중량 및 유생의 에너지함량을 조사하였고, 전장은 마지막 복부체절의 말단에서 두흉갑의 앞쪽 끝까지의 직선거리를, 건조중량은 유생을 담수에 세척한 후 70℃에서 24시간 건조시켜 측정하였다. 개체성장은 3개의 chamber(전체 크기 40×20×13 cm에 5×5×12 cm, 300 ml씩 40개 구획)에 유생을 각각 1 마리씩 투입하여 *Artemia nauplius*를 먹이로 주면서 매일 아침 탈피체 유무를 조사하고 탈피체의 건조중량과 에너지함량은 zoea VI기의 것에 대해서만 측정하였다.

## 2) 산소소비

대사열 생산에 의한 손실에너지를 측정하기 위하여 여과해수를 채운 용량 100 ml의 산소병에 유생의 크기에 따라 50~80 마리의 유생을 넣은 후, 10℃에서 3시간 동안의 산소소비량을 산소검량기(YSI CO., 58)에 의해 실험 전후의 용존산소량 차이로 측정하였다. 각 측정결과는 3회 반복 실험한 평균치로서 유생 1 마리당 시간당의 산소소비량을  $\mu\text{l}$ 로 표시하였다. 각 동물의 호흡은 산소분압에 영향을 받기 때문에 (Belman과 Childress, 1973; Dawirs, 1983), 실험동안의 산소농도의 감소가 5~20 %될 때까지 조절하였다.

## 3) 섭식에너지

유생단계별 섭식량 측정시에는 개체크기에 따라 용량 100~300 ml의 산소병에 여과해수를 채우고 30~50 마리의 유생을 투입 한 후, 먹이생물인 *Artemia nauplius*의 농도가 10 nauplii/ml가 되도록 하여 24시간 동안의 섭식량을 측정하였다. 각 측정 결과는 5회 반복 실험한 평균치로서 유생 1 마리당 일간 섭식량 (nauplii/zoea/day)으로 나타내었다.

섭식에너지는 개체 1 마리가 1일 섭식한 *Artemia nauplius* 수로 측정하였다. *Artemia nauplius*는 건조중량이 1.97  $\mu\text{g}$ 이고, 열량계에 의한 에너지함량은 건조중량이 4.619 cal/mg 이므로 *Artemia nauplius* 1 마리는 37.9 mJ의 에너지를 함유한다는 보고(박, 1989)에 따라서 섭식에너지를 측정하였다.

#### 4) 에너지 수지 및 생태효율

각 유생단계 및 전체 유생발생에 대한 에너지 수지는 다음의 공식으로 표시하였다.

$$I = G + Ex + M + E$$

여기서 G는 성장으로 전환된 에너지, Ex는 탈피에너지이며 M은 대사율로서 산소소비율로 나타내었다. 요배출 및 분배출( E )에 대한 실험은 행하지 않고 동화에너지( A )와 섭식에너지( I )의 차이(  $E = I - A$  )로서 나타내었다(Dawirs, 1983). 도화새우 유생에 대해 섭식, 성장, 탈피 및 호흡을 측정한 자료를 사용하여 다음 효율들을 계산하였다.

a) 동화효율( A ) :  $( G + Ex + M ) / I \times 100$ 으로서, 이것은 섭식량에 대한 동화된 양의 백분율을 나타낸다.

b) 총성장효율(  $K_1$  ) :  $( G + Ex ) / I \times 100$ 이며, 섭식량에 대한 성장으로 전환된 양의 백분율을 나타낸다.

c) 순성장효율(  $K_2$  ) :  $( G + Ex ) / G + Ex + M \times 100$ 이며, 동화량에 대한 성장으로 전환된 양의 백분율을 나타낸다.

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 생식생태

##### 1) 상대 성장

도화새우의 형태적 특성을 파악하기 위하여 두홍갑장과 전장, 두홍갑장과 체중, 미각장과 전장의 관계를 Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3에 나타내었다. 두홍갑장에 대한 전장의 회귀관계는 암컷의 경우  $TL = 31.1549 + 3.9813 CL$  ( $r=0.7676$ ,  $n=118$ ,  $p<0.01$ ), 수컷  $TL = 23.5717 + 4.0520 CL$  ( $r=0.9459$ ,  $n=240$ ,  $p<0.01$ )로 나타났으며(Fig. 1), 기울기에 대한 5 % 유의수준에서 암수간의 유의차가 인정되지 않았다.

두홍갑장과 체중에 대한 암수의 회귀관계는 비포란 암컷의 경우  $\log BW = -2.3906 + 2.5341 \log CL$  ( $r=0.8017$ ,  $n=86$ ,  $p<0.01$ ), 수컷은  $\log BW = -3.2391 + 3.0650 \log CL$  ( $r=0.9829$ ,  $n=220$ ,  $p<0.01$ )이었다(Fig. 2). 이들 비포란 암컷과 수컷간에 갑장 증가에 대한 체중의 증가가 다르게 나타났는데, 수컷이 갑장 증가에 대한 체중의 증가가 비포란 암컷보다 높게 나타났다. 이 두 회귀식의 기울기에 대한 5 % 유의수준에서 유의차가 인정되어 수컷이 암컷보다는 갑장에 대한 체중의 증가 비가 크게 나타났다. 미각장과 전장에 대한 암수의 회귀관계는 암컷의 경우  $TL = 59.1227 + 5.3931 UL$  ( $r=0.6731$ ,  $n=118$ ,  $p<0.01$ ), 수컷은  $TL = 33.1699 + 5.9509 UL$  ( $r=0.9324$ ,  $n=240$ ,  $p<0.01$ )로 나타났으며(Fig. 3), 기울기에 대한 5 % 유의수준에서 암수간의 유의차가 인정되지 않았다.

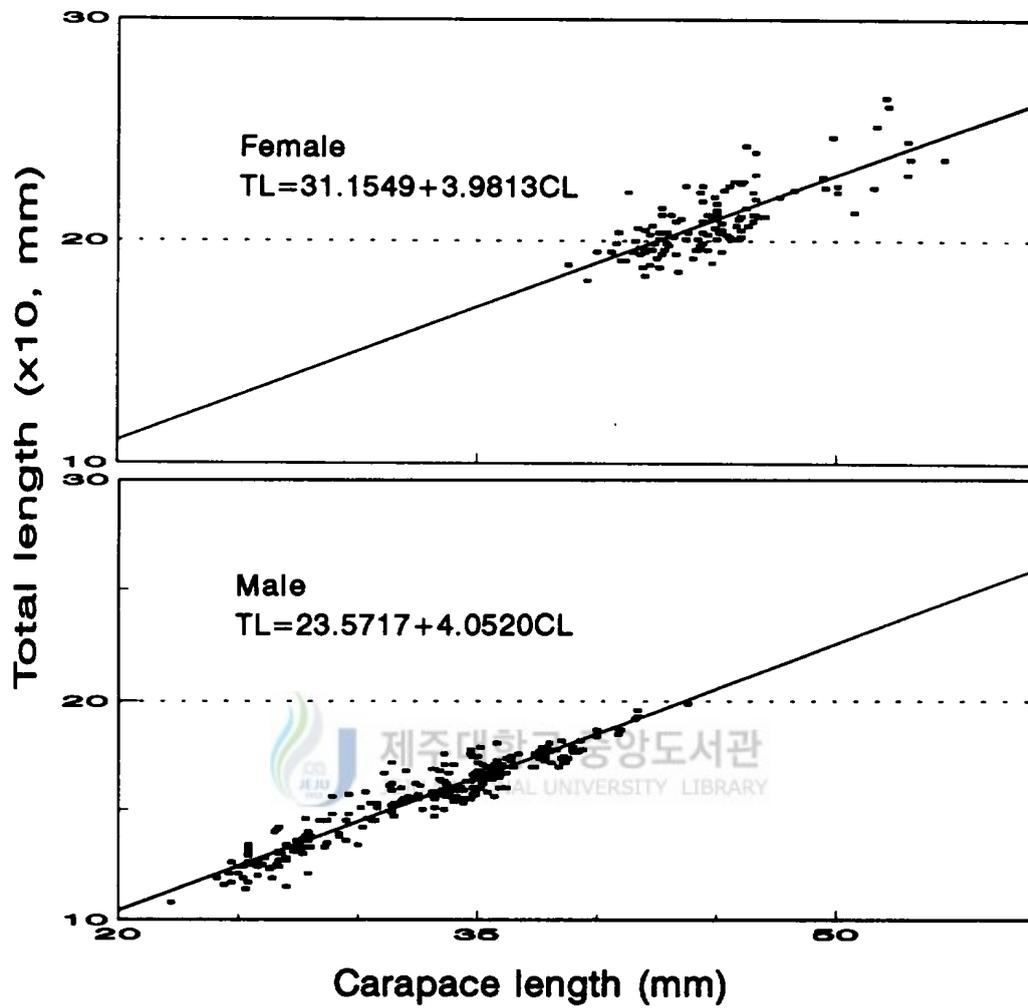


Fig.1. Regression lines showing the relationships of carapace length against total length.

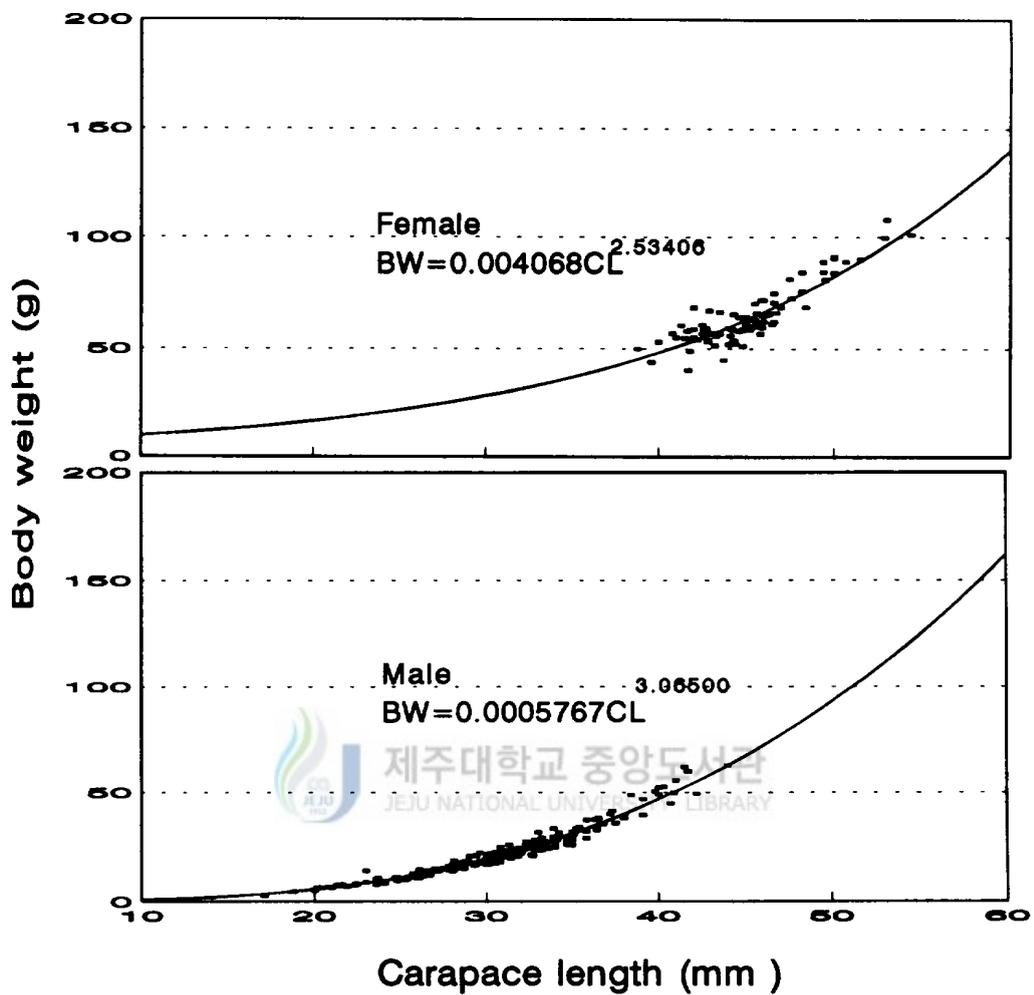


Fig.2. Regresson curves showing the relationships of carapace length against body weight.

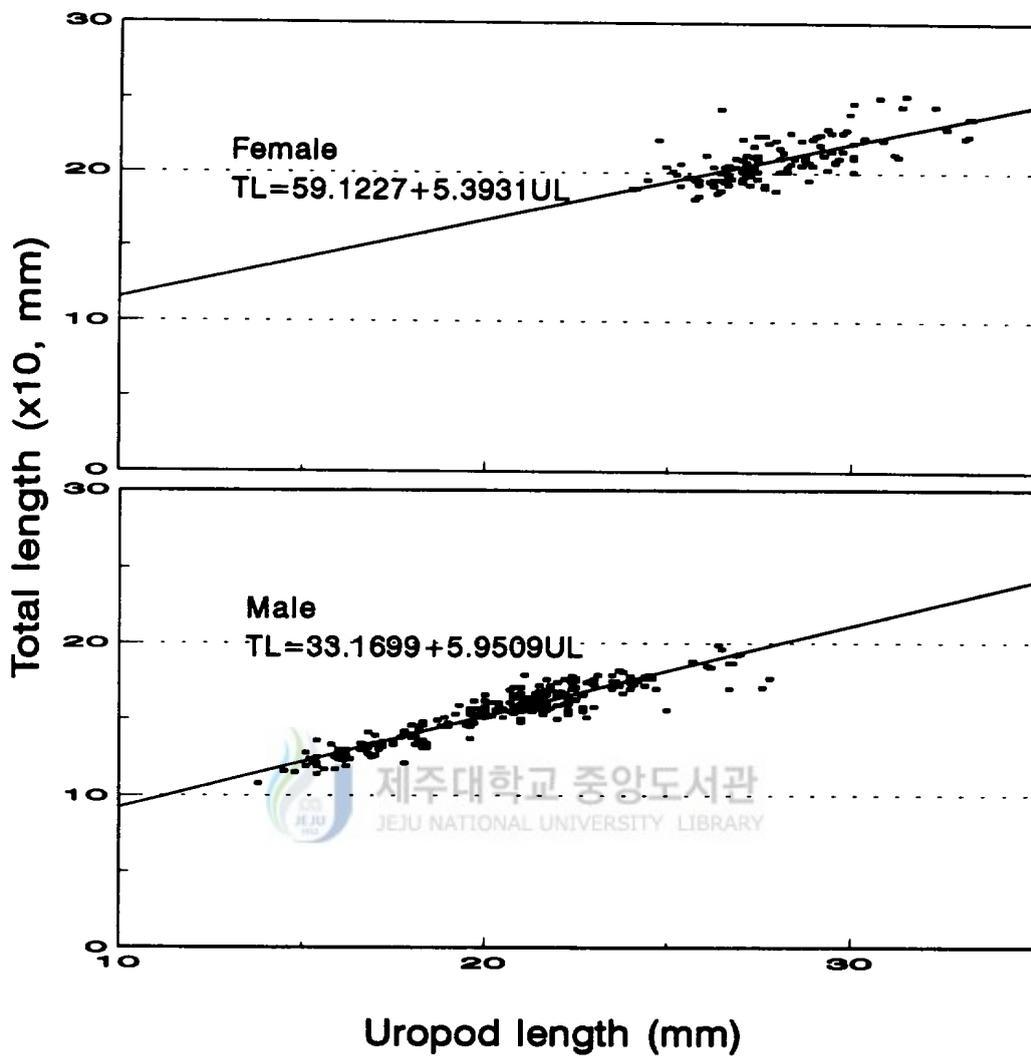


Fig.3. Regression lines showing the relationships of uropod length against total length.

## 2) 성전환과 포란수

월별 성현상의 변화(Table 1, Fig. 4)는 전체적으로 볼 때 수컷의 출현빈도가 연중 72.8~92.0 %(평균 79.0 %)로 현저히 높게 나타났다. 성전환중인 개체의 출현은 9월에 채집된 총 81 마리 중 3 마리가 성전환중인 개체로서 3.7 %였다. 이후 성전환중인 개체의 출현율이 증가하여 10월에 88 마리 중 9 마리가 성전환중인 개체로 11.1 %였고, 11월에는 88 마리중 12 마리로 13.6 %였고, 12월에는 89 마리 중 13 마리가 성전환중인 개체로서 14.6 %의 출현율을 보여 조사기간 중 최대치를 나타내었다. 이후 그 출현율이 급격히 감소하여 1월에 4.0 %, 2월에 1.3 %였다. 그러나 3월에는 총 108 마리중 수컷 92 마리, 암컷 16 마리로 성전환중인 개체는 찾아볼 수 없었다. 이러한 성전환중인 개체의 비출현시기는 8월까지 지속되었다.

전체 암컷에 대한 포란한 암컷의 백분율인 포란율(Table 1)은 9월에 암컷 14 마리 중 2 마리로 16.7 %였고, 11월에 62.5 % , 12월에 66.7 %, 1월에 60.0 %로 급격히 증가하였으며, 2월에는 암컷 10 마리 중 8 마리가 포란되어 80.0%로 조사기간 중 가장 높은 포란율을 보였다. 그 후 3월에 68.8 %, 4월에 68.0 %의 포란율을 보였어서 차츰 낮아지는 경향이 있었는데 이것은 3월 이후 부화가 완료된 개체의 출현에 기인하였다. 5월에는 암컷 14 마리 모두 부화 완료된 개체로서 포란된 개체는 없었다.

포란한 암컷의 두흉갑장 범위는 41.0~52.9 mm였고, 포란한 암컷의 최소 크기였던 41.0 mm 개체의 경우 포란수는 4,491개였으며, 포란한 암컷의 최대 크기인 52.9 mm에서 포란수는 10,131개였다. 포란개체의 평균 두흉갑장은 46.7 mm, 평균 포란수는 7,677개였고, 포란수 범위는 3,766~12,500개였다. 두흉갑장과 포란수와의 관계는  $Fc = 437.1 CL - 12,453$  ( $r=0.6393$ ,  $n=45$ ,  $p<0.01$ )로 두흉갑장이 클수록 대체로 포란수도 증가하였다(Fig. 5).

난은 타원형이며 안점이 나타나기 전의 발생초기에는 불투명한 청록색이었고, 안점이 나타나면서 점차 투명해져 옅은 녹색을 띠었다. 또한 부화직전의 난은 투명한 담황색으로 유생의 형태를 확인 할 수 있었다. 난의 크기는 장경 1.289~1.782  $\mu\text{m}$ , 단경 1.119~1.341  $\mu\text{m}$ 의 범위였고, 단경(MI)과 장경(MA)의 관계식은  $MI = 0.5394 + 0.4579 MA$  ( $r=0.9458$ ,  $p<0.01$ )였다(Fig. 6).

Table 1. Number of *P. hypsinotus* caught with the trap net and sexual phenomena

Date	Total	Male (%*)	Transitional stage (%*)	Female			
				Subtotal (%*)	Non- ovigerous (%**)	Ovigerous (%**)	Spawned (%**)
Jan. 14	75	62(82.7)	3( 4.0)	10(13.3)	4( 40.0)	6(60.0)	-
Feb. 16	150	138(92.0)	2( 1.3)	10( 6.7)	2( 20.0)	8(80.0)	-
Mar. 23	108	92(85.2)	-	16(14.8)	-	11(68.8)	5( 31.2)
Apr. 11	92	67(72.8)	-	25(27.2)	1( 4.0)	17(68.0)	7( 28.0)
May 17	54	40(74.1)	-	14(25.9)	-	-	14(100.0)
Jun. 19	67	49(73.1)	-	18(26.9)	18(100.0)	-	-
Jul. 21	78	59(75.6)	-	19(24.4)	19(100.0)	-	-
Aug. 21	73	61(83.6)	-	12(16.4)	12(100.0)	-	-
Sep. 20	81	64(79.0)	3( 3.7)	14(17.3)	12( 85.7)	2(14.3)	-
Oct. 25	83	68(81.9)	9(10.8)	6( 7.3)	6(100.0)	-	-
Nov. 20	88	68(77.3)	12(13.6)	8( 9.1)	3( 37.5)	5(62.5)	-
Dec. 22	89	67(75.3)	13(14.6)	9(10.1)	3( 33.3)	6(66.7)	-

\* Percent values calculated against total number

\*\* Percent values calculated against subtotal number of female

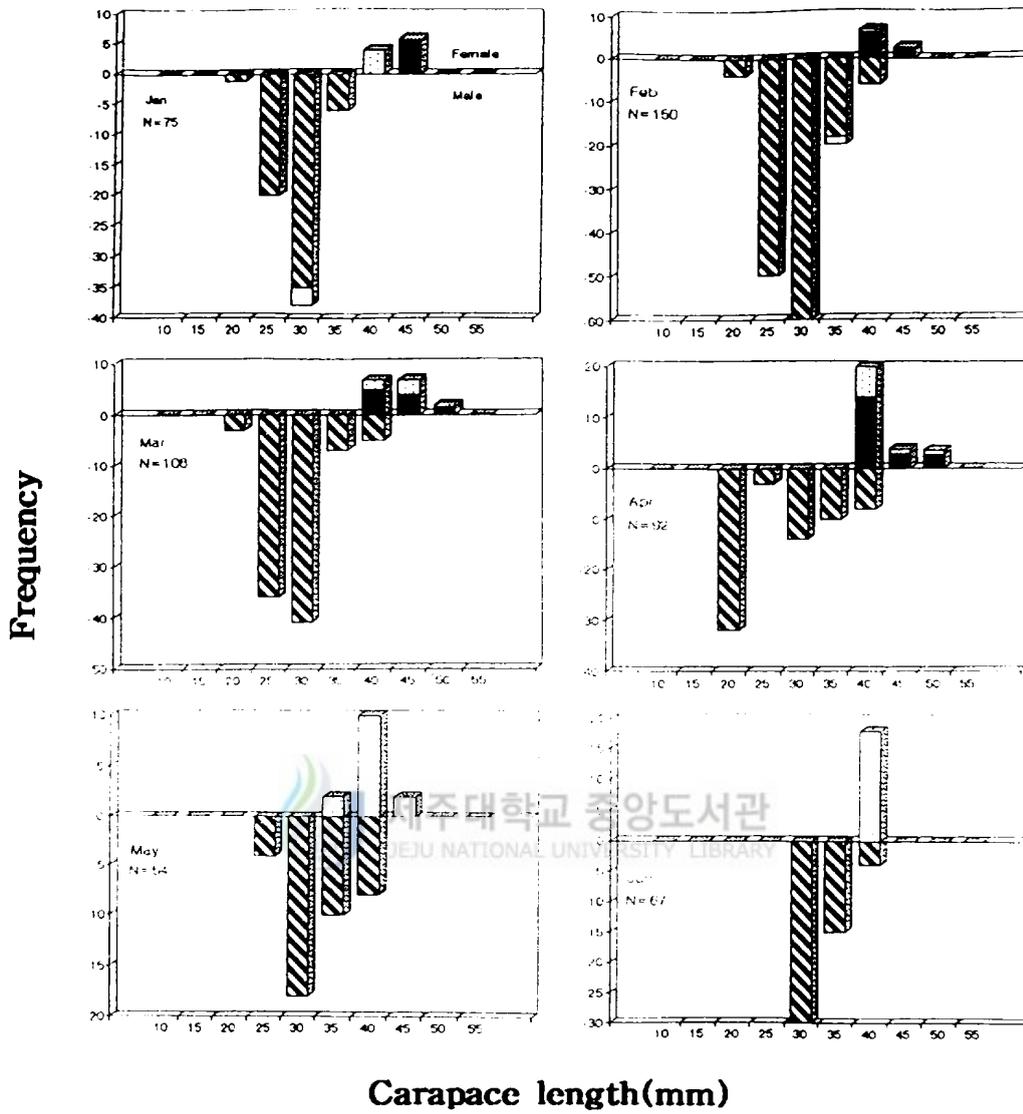


Fig. 4. Size frequency of carapace length of *P. hypsinotus* caught with the trap net from January to December 1993.  
 ■ Ovigerous female □ Sex transitional stage ▨ Female ▩ Male

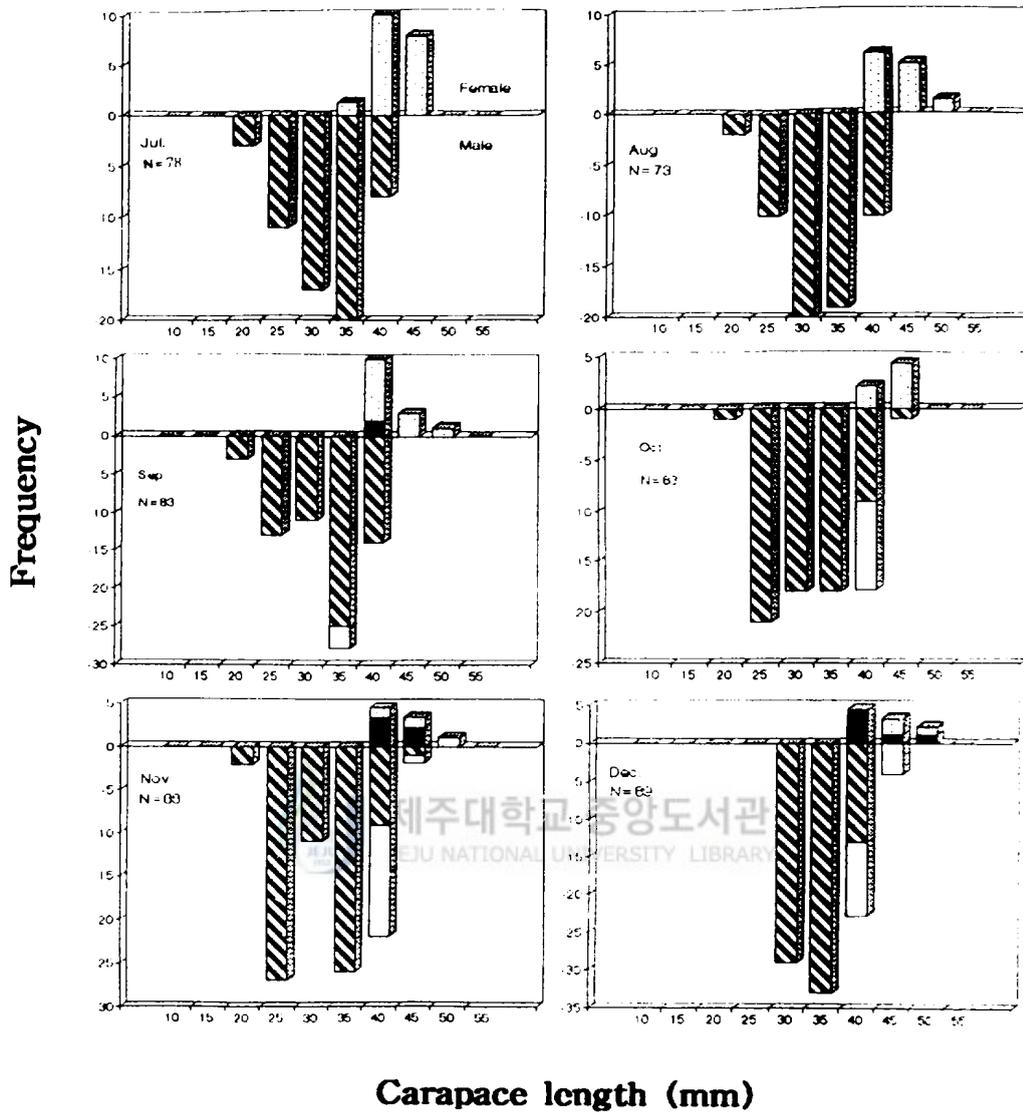
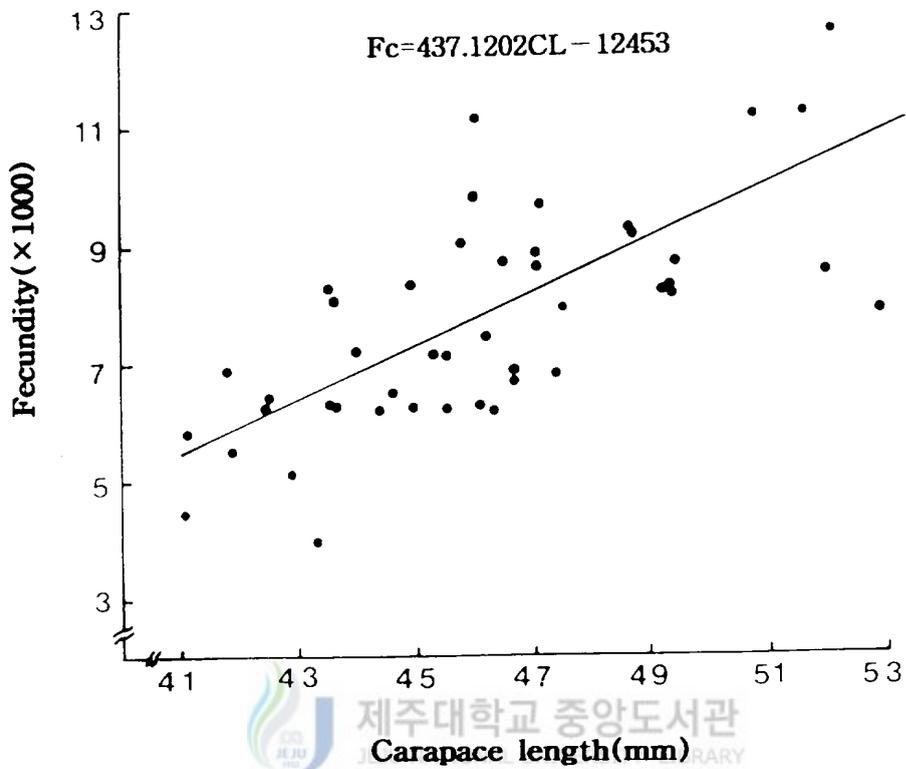
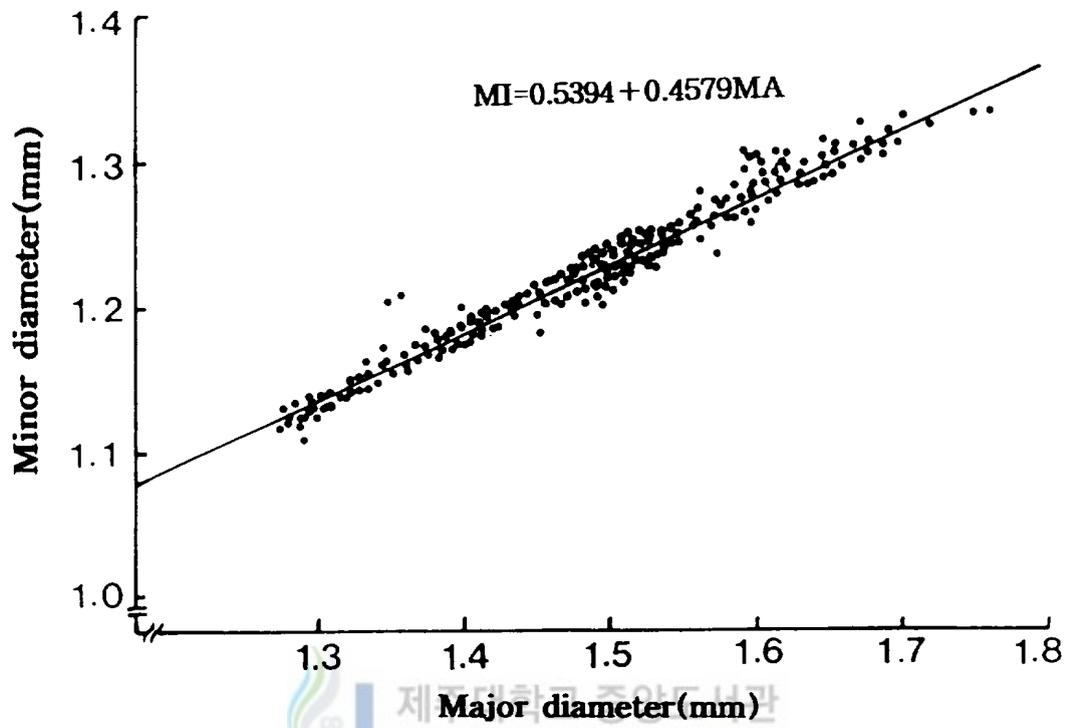


Fig. 4. Size frequency of carapace length of *P. hypsinotus* caught with the trap net from January to December 1993.

■ Ovigerous female □ Sex transitional stage ▨ Female ▩ Male



**Fig. 5. Regression line showing the relationship of carapace length against fecundity of *P. hypsinotus* ovigerous females.**



**Fig. 6. Regression line showing the relationship of major and minor diameter of *P. hypsinotus* ovigerous eggs.**

### 3) 두흉갑장에 따른 성비

두흉갑장에 대한 성비의 변화(Fig. 7)를 보면, 수컷은 두흉갑장 11.8~46.7 mm, 성전환중인 개체는 32.0~46.8 mm, 암컷은 38.8~54.4 mm로 두흉갑장 32.0 mm 이하에서는 모든 개체가 수컷이었다. 성전환중인 개체는 두흉갑장 32.0 mm 이상의 개체에서 출현하기 시작하여 40~45 mm군에서 최고 출현율을 나타내었다. 암컷은 두흉갑장 38.8 mm에서 출현하기 시작하여 크기가 증가할수록 그 비율이 높아져서 두흉갑장 40~45 mm 개체군에서는 수컷 39.8 %, 암컷 47.7 %로 비슷한 성비를 나타내었고, 두흉갑장 47.0 mm 이상의 개체는 모두 암컷이었다. 포란개체는 두흉갑장 41.0 mm에서 출현하기 시작하여 45~50 mm범위에서 최대출현율을 보였으며 최대 두흉갑장은 52.9 mm였다.

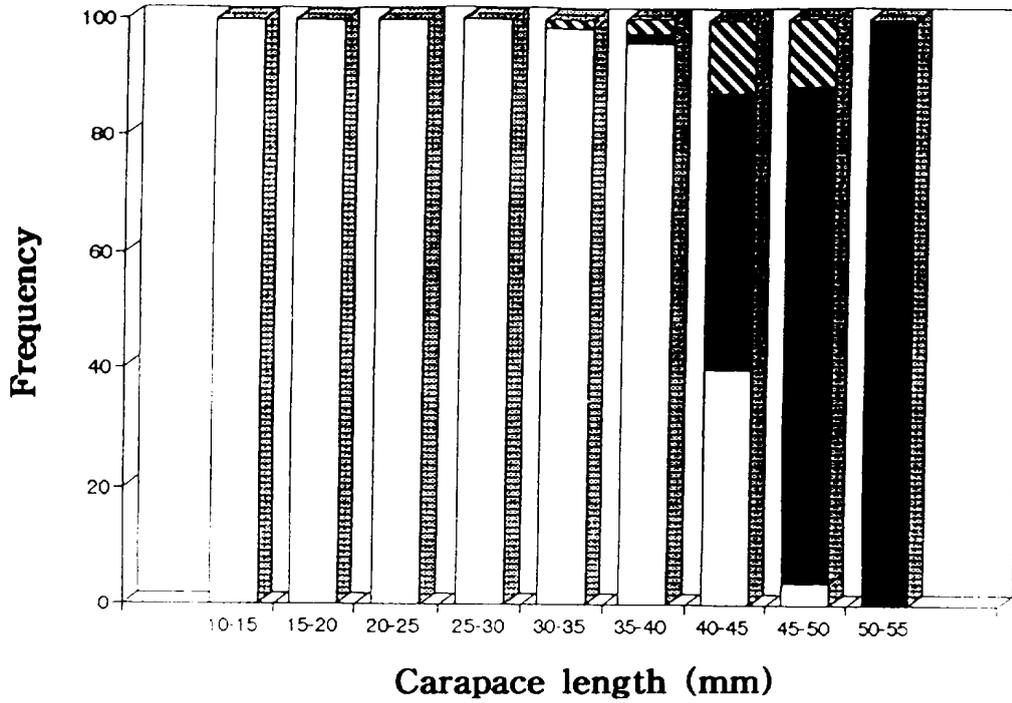


Fig. 7 Histogram showing the relationship of carapace length and sex ratio of *P. hypsinotus* caught with the trap net.

■ Female □ Male ▨ Sex transitional stage

## 2. Zoea 유생발생에 따른 에너지 수치

### 1) 성장의 일반적 경향

부화 후 경과시간에 따른 유생의 전장과 건조중량 그리고 유생과 탈피체의 에너지 함량을 Table 2에서 나타내었다. zoea I기에서 zoea VI기까지의 전장 성장을 보면, 갓 부화한 zoea I기는 평균전장 5.97 mm였고, 건조중량은 0.14 mg이었으며 미절(telson)은 분리되지 않았다. zoea II기로 성장하는 데에는 평균 4.11일 소요되었고 평균전장은 7.10 mm이었으며 아직 미절이 분리되지 않았다. 부화 후 10.70일만에 평균전장 8.04 mm의 zoea III기로 되었으며, 이 단계에서 부터 미절이 분리되었다. zoea IV기는 16.83일만에 평균전장 10.51 mm로 성장하였다. zoea V기로 되는 데에는 26.95일 소요되어 평균 11.41 mm로 성장하였다. 그리고 부화후 33.88일만에 zoea의 마지막 유생단계인 zoea VI기로 되었으며 그때의 평균전장은 12.66 mm였다(Fig. 8).

도화새우의 체성장에 사용된 에너지는 Table 2에 나타난 생체 에너지 함량(J/ind.)으로 산출하였다. zoea I기에서 zoea VI기까지 성장하는 동안 zoea VI기의 생체에너지 즉, 17.07 J의 에너지를 체성장에 사용하였다. 그리고 성장에 수반되어 탈피체로 손실된 에너지량 또한 Table 2의 탈피체 에너지 함량(J/molt)으로 계산하였다. zoea I기부터 zoea VI기까지 사용한 탈피에너지는 1.19 J이었다.

유생기의 각 탈피간 전장 성장의 백분율인 성장계수(growth factor, %)는 전장이 증가할수록 감소하였으나, zoea III기(평균전장 8.04 mm)에서 zoea IV기(평균전장 10.51 mm)로 될 때 특이하게 증가된 것이 주목된다(Fig. 9).

한편, 탈피간기(intermolt period, days)는 전장증가와 함께 반대수좌표상에서 직선적으로 증가하여  $\log IP = 0.411 + 0.0471TL$  ( $r^2 = 0.6279$ )로 나타났다(Fig. 10). zoea I기의 4일에서 부터 zoea VI기의 13일의 범위에 걸쳐 전장이 증가할수록 탈피간기는 서서히 증가하였다.

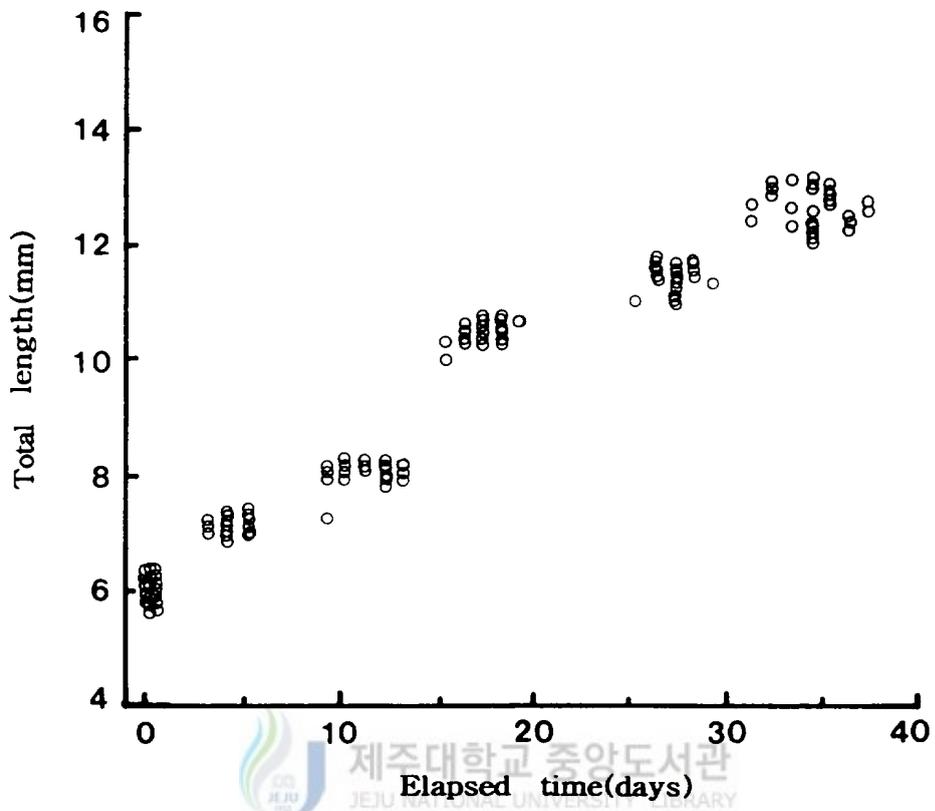


Fig. 8. Growth in total length during the larval development of *P. hypsinotus*.

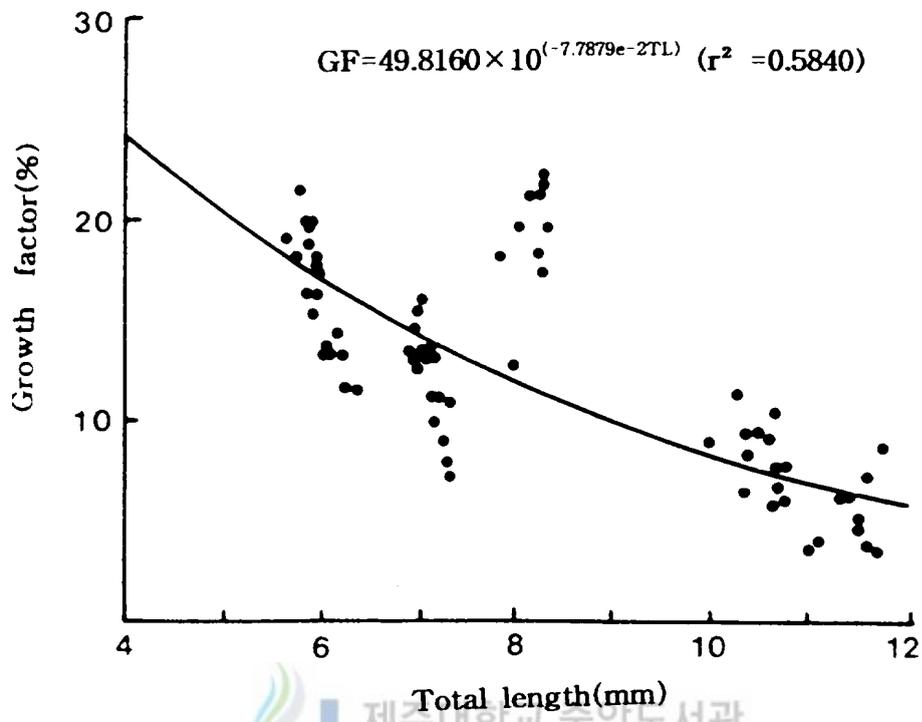


Fig. 9 Relationship between total length and growth factor of *P. hypsinotus* zoea larvae.

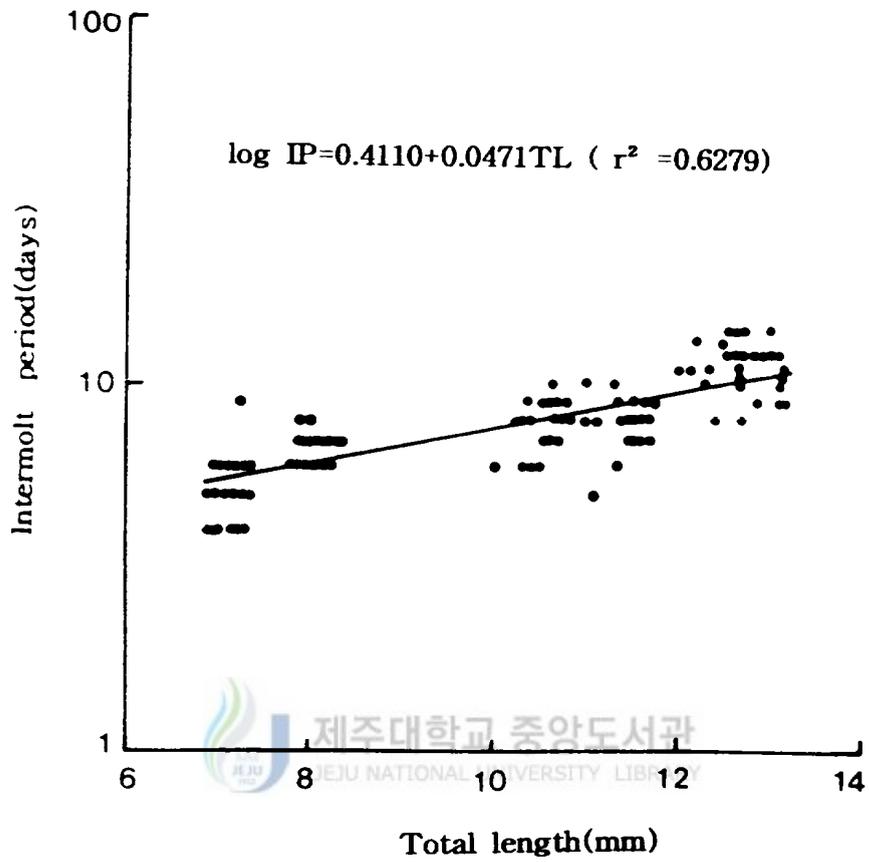


Fig. 10 Relationship between total length and intermolt period of *P. hypsinotus* zoea larvae.

Table 2. Mean values of elapsed time and biomass for the stages of *P. hypsinotus* larvae

Developmental stage	Parameter				
	Elapsed time(days)	Body length (mm)	Dry wt. (mg)	J/ind.	J/molt
Zoea I	0.00	5.97	0.14		
Zoea II	4.11	7.10	0.24		
Zoea III	10.70	8.04	0.32		
Zoea IV	16.83	10.51	0.48		
Zoea V	26.95	11.41	0.71		
Zoea VI	33.88	12.66	0.88	17.07	1.19
Post larva	41.20	13.87			

Table 3. Oxygen consumption of *P. hypsinotus* larvae

Larval stage	Mean dry wt.(mg)	Oxygen consumption	
		$\mu\text{O}_2$ /mg/hr	$\mu\text{O}_2$ /ind./hr
Zoea I	0.14	0.843	0.118
Zoea II	0.24	0.929	0.223
Zoea III	0.32	1.122	0.359
Zoea IV	0.48	1.279	0.614
Zoea V	0.71	1.652	1.173
Zoea VI	0.88	1.838	1.617

## 2) 산소소비

zoea 유생기의 산소소비량은 zoea I기의  $0.118 \mu\text{O}_2 / \text{ind./hr}$  에서 zoea VI기의  $1.617 \mu\text{O}_2 / \text{ind./hr}$ 로 유생발생이 진행됨에 따라 급격히 증가하였다(Table 3). 한편, 비체중 산소소비율도 유생발생의 진행과 더불어  $0.843 \mu\text{O}_2 / \text{mg/hr}$ 에서  $1.838 \mu\text{O}_2 / \text{mg/hr}$ 의 범위에 걸쳐 점차 증가하였다. 산소소비량 측정자료로부터 일간 호흡에 쓰인 에너지를 Table 4에 나타내었다. zoea I기부터 zoea VI기에 걸쳐 유생발생이 진행될수록 대사에너지는 급격히 증가하였다. Table 4에 나타낸 대사에너지를 사용하여 Table 2에 표시된 각 유생단계별 경과시간에 따른 총대사에너지를 계산하여 보면 zoea I기부터 zoea VI기까지 사용된 대사에너지는 16.22 J이었다.

## 3) 섭식량

zoea 유생의 일간섭식량과 일간섭식에너지를 Table 5에 나타내었다. zoea I기부터 zoea VI기에 걸쳐 51 nauplii/zoea/day에서 121 nauplii/zoea/day의 범위에서 유생발생의 진행과 함께 *Artemia nauplius* 섭식량은 급격히 증가하였다. 먹이생물인 *Artemia nauplius* 1 마리의 평균 건조중량은  $1.97 \mu\text{g}$ 이고 에너지 함량은  $4.619 \text{ cal/mg dry wt.}$  (박, 1989)을 사용하여 유생단계의 섭식에너지를 계산하였다. zoea I기는 하루에 1.93 J의 에너지를 섭취하였으며, 유생발생이 진행됨에 따라 섭식에너지는 증가하여 zoea VI기는 4.59 J의 에너지를 섭취하였다. 이상의 자료로부터 Table 2에 나타낸 각 유생단계별 경과시간에 따른 총 섭식에너지는 140.88 J이었다.

Table 4. Estimated metabolic energy requirements of larvae of *P. hypsinotus*

Larval stage	Daily respiratory energy expenditure	
	J/mg dry wt./day	J/ind./day
Zoea I	0.452	0.063
Zoea II	0.496	0.119
Zoea III	0.600	0.192
Zoea IV	0.684	0.328
Zoea V	0.884	0.627
Zoea VI	0.982	0.865

Table 5. Mean daily food intake of *P. hypsinotus* larvae fed on *Artemia* nauplii

Stage	No./zoea/day	$\mu\text{g}/\text{zoea}/\text{day}$	J/zoea/day
Zoea I	51	100.47	1.93
Zoea II	64	126.08	2.43
Zoea III	81	159.57	3.07
Zoea IV	93	183.21	3.52
Zoea V	110	216.70	4.17
Zoea VI	121	238.37	4.59

#### 4) 에너지 수지 및 생태효율

성장에 따른 유생의 에너지(G) 및 탈피체의 에너지 함량(Ex)은 Table 2에서 나타낸 결과를 사용하였다. 대사에너지(M)는 Table 3과 4에 표시된 자료로부터 계산하였다.

섭식에너지(I)는 일간 섭식량과 일간 섭식에너지(Table 5)로부터 평가하였다. 요와 분으로 배설된 에너지(E)는 실험을 행하지 않고 섭식에너지(I)와 동화에너지(A)의 차이로써 계산하였다. 전 유생단계 동안의 누적 에너지수지를 Table 6에 나타내었다. 일반적으로 유생의 성장은 발생진행과 더불어 급속히 증가하였다. 또한, 섭식, 탈피체, 호흡 및 배설도 성장이 진행될수록 현저히 증가하였다.

도화새우 zoea 유생의 발달단계에 따른 에너지수지를 Table 6에 나타내었다. Zoea I기에서 zoea VI기까지의 총 누적 섭식에너지는 140.88 J이었으며, 요와 분으로 106.40 J의 에너지가 사용되었다. 각 에너지 수지 구성요소들의 섭식에너지에 대한 백분율을 살펴보면 성장이 12.12 %, 탈피체가 0.84 %, 대사에너지가 11.51 % 그리고 요와 분으로 75.53 %였다. Zoea I기부터 zoea VI기까지의 총동화에너지는 전체 섭식에너지의 24.47 %인 34.48 J이었으며, 각 에너지 수지 구성요소들의 동화에너지에 대한 백분율은 성장이 49.51 %, 탈피체가 3.45 % 그리고 대사에너지가 47.04 % 였다. 또한, zoea I기에서 zoea VI기까지의 총생산에너지는 총동화에너지의 52.96 %, 총섭식에너지의 12.96 %인 18.26 J로 성장으로 전환된 에너지는 93.48 %, 탈피체로 소모된 에너지는 6.52 %였다.

유생의 섭식, 성장, 탈피 및 호흡을 측정된 자료로부터 생태효율을 구하였다. 유생의 동화효율은 24.47 %였으며, 총성장효율(  $K_1$  )은 12.96 %, 순성장효율(  $K_2$  )은 52.96 %로 나타났다.

Table 6. Cumulative energy budget for the zoea stage's development of *P. hypsinotus*

Parameter	Abbreviation	Total energy(J)	% P	% A	% I
Molting	Ex	1.19	6.52	3.45	0.84
Growth	G	17.07	93.48	49.51	12.12
Total production	P	18.26	100.00	52.96	12.96
Respiration	M	16.22		47.04	11.51
Total assimilation	A	34.48		100.00	24.47
Excretion & egestion	E	106.40			75.53
Ingestion	I	140.88			100.00

#### IV. 고 찰

자연 상태에서의 부화시기나 포란시기는 해역에 따라 다소 차이가 있다(林, 1971; 小島, 1967). 일본 Hokkaido에서 도화새우의 포란시기와 부화시기는 8월에서 9월에 산란하여 10월에서 11월에 포란하며, 이후 약 6개월 후인 2월부터 3월까지 부화한다 하였다(Igarashi, 1951). 본 연구 결과 우리나라 동해에서의 도화새우의 산란 및 포란시기는 일본 Hokkaido해역 보다 1개월 정도 늦은 9월에서 다음해 4월까지였으며, 부화시기 역시 1개월 가량 늦은 3월에서 5월이었다. 부화가 완료된 개체의 출현을 보면 3월에 암컷 16 마리 중 5 마리로 31.3 %였고, 4월에는 25 마리 중 7 마리로 28.0 %였다. 5월에는 암컷 전 개체가 부화가 완료된 상태였다. 4월에 부화 완료된 개체가 3월 보다 그 출현율이 낮은 점과 5월에 전체 암컷이 부화완료 개체인 점은 표본 채집상의 오차에 기인한 것으로 생각되어진다. 포란수 및 난의 크기를 보면 Igarashi(1951)는 두홍갑장이 37 mm 이상의 개체에서 750~3,000개의 난을 갖는다 하였고, 난경은 장경 0.95~1.30 mm, 단경 0.7~1.1 mm라 보고하였다. 林(1971)도 동일 해역에서 7월 중순에서 9월 상순에 장경 약 0.8 mm, 단경 약 0.6 mm의 난을 2,000~8,000개 갖는다 하였으며, 포란수는 개체의 크기에 따라 정상관 관계가 있다 하였다. 본 연구의 포란수와 개체의 크기는  $Fe = 437.1 CL - 12,453$   $r=0.6393$ 로서 林(1971)의 보고와 같이 정상관 관계를 보였고, 포란수는 3,766~12,500개(평균 7,677개)로 Igarashi(1951)와 林(1971)의 연구에서 보다 많은 포란수를 보였다. 포란한 암컷의 크기도 두홍갑장 41.0~52.9 mm(평균 46.7 mm)로 Igarashi(1951)와 林(1971)의 연구에서 보다 대형개체에서 포란하였고, 난의 크기도 장경 1.3~1.8 mm, 단경 1.1~1.2 mm로 역시 크게 나타났다.

본종의 생활사에서 특징적인 것은 다른 도화새우속의 새우에서와 같이 웅성 선속의 성전환을 하는 것과 산란된 수정란은 유생으로 부화되기까지 암컷의 복지 부착모에 부착된채 포란되는 것이다(Igarashi, 1951). 村上(1992)는 일본 能登

半島 海域에서 성전환중인 개체는 11월 하순에 체장 140 mm, 두흉갑장 40 mm 이상의 개체에서 성전환이 이루어지며, 인공생산된 새우를 양성한 결과 3년에서 4년생의 체장 100~120 mm 크기에서 성전환한다 하였고, Butler(1964)는 British Columbia 해역에서 트롤에 의해 어획된 도화새우속 7종의 성장, 생식 그리고 분포에 관한 연구에서 도화새우의 수컷은 전장 110 mm에서 성숙이 이루어지고 성전환중인 개체는 3월과 4월에 어획된 평균 두흉갑장 20.0 mm라 보고하였으며, Igarashi(1951)는 Hokkaido에서의 성전환중인 개체는 11월~12월에 전장 130 mm 이상 크기에서 출현한다 하였다. 본 연구 결과 우리나라 동해에서 도화새우의 성전환중인 개체 출현시기 및 크기는 9월부터 익년 1월까지, 두흉갑장 32.0~46.8 mm(전장 171~217 mm)로村上(1992)의 성전환중인 개체크기(두흉갑장 40 mm)와 비슷하였으나, Butler(1964)와 Igarashi(1951)가 각각 보고한 두흉갑장 20.0 mm, 전장 130 mm보다는 대형개체에서 성전환중인 개체가 출현하였다. 성전환중인 개체 출현시기는 Hokkaido의 11~12월보다는 장기간 지속되었고, British Columbia 해역의 3~4월과는 많은 차이를 보였다. Aiken과 Waddy(1980)는 서식집단의 환경적 차이, 지역적인 개체의 크기, 개체의 측정방법, 월별 조사시기등에 따라 갑각류의 생식에는 많은 차이가 있다고 보고한바 있으며, 도화새우에서도 이러한 차이가 있다고 생각된다.

두흉갑장과 체중의 관계에 있어 수컷이 비포란 암컷보다 두흉갑장 증가에 대한 체중의 증가가 높게 나타났는데 이러한 차이는 Olmi III와 Bishop(1983)의 연구에서 처럼 성, 성숙도, 탈피관계 및 두흉갑의 형태등이 두흉갑장과 체중관계에 영향을 미치기 때문인것으로 추정된다.

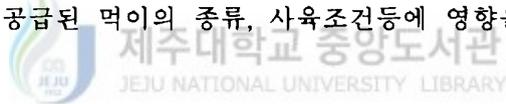
해산동물의 에너지 흐름을 파악하기 위해서는 에너지 수지를 구명하기 전에 그 생물의 생활사를 정확하게 조사하는 것이 대단히 중요하다(박, 1989).

도화새우 zoea 유생의 탈피간 전장 성장의 백분율인 성장계수(growth factor)는 전장 증가와 더불어 대체로 감소하는 경향을 보였으나 zoea III기에서 zoea IV기로 될 때 증가하였다. 이러한 성장율의 차이는 사육조건이나 종에 따라 차이가 많다는 것이 보고 되었다(Leffer, 1972). 이러한 일정치 않은 성장율의 변화는 다른 종에서도 보고된 바 있다(Crothers, 1967; Hogarth, 1975).

도화새우 zoea 유생의 호흡율은 체중이 증가할수록 비례적으로 증가하였는데 이러한 결과는 다른 갑각류의 유생(Dawirs, 1983; Jacobi와 Anger, 1985)과 유사하였다.

도화새우 zoea 유생의 섭식량은 박(1989)이 보고한 *Penaeus japonicus*의 mysis 유생기의 일일 섭이량인 3.70 J과 비슷한 섭식량을 나타내었다. 그러나, *Penaeus indicus* protozoa 유생에서의 보고(Emmerson, 1984)보다는 훨씬 낮게 나타났다.

도화새우 zoea 유생의 평균 동화효율인 24.47 %는 *Penaeus japonicus*의 17.62 %(박, 1989)보다는 높게 나타났으며, *Carcinus maenas*의 22.2 %(Dawirs, 1983)와 비슷한 경향을 보였으나, *Rhithropanopeus harrisii*의 45.0 %(Levine와 Sulkin, 1979), *Menippe mercenaria*의 63.2 %(Mootz와 Epifanio, 1974) 및 *Cancer irroratus*의 77.0 %(Johns, 1982)에 비해서는 훨씬 낮은 값을 보였다. 또한 총성장효율( $K_1$ )은 12.96 %로서 *Penaeus monodon*의 11.1 %(Kurmaly 등, 1989))와 비슷한 경향을 보였으나, *Carcinus maenas*의 3.3 %(Dawirs, 1983)보다는 훨씬 높게 나타났다. 그러나 *R. harrisii*, *M. mercenaria* 및 *C. irroratus*의 총성장효율 23~39 %(Levine와 Sulkin, 1979; Mootz와 Epifanio, 1974; Johns, 1982) 보다는 훨씬 낮은 값을 나타내었다. 이러한 효율의 차이는 각각의 유생의 종별, 발생단계별, 공급된 먹이의 종류, 사육조건등에 영향을 받기 때문인 것으로 생각된다.



## V. 요약

동해안의 주요새우 자원의 하나인 도화새우(*Pandalus hypsinotus*)를 매월 구입하여 상대성장과 산란생태를 조사하였고, 실내에서 부화시킨 다음 유생에 대한 에너지 수지를 조사하였다.

### 1. 상대성장과 산란생태

전장(TL), 두흉갑장(CL), 미각장(UL), 및 체중(BW)에 대한 암수의 상대성장은 다음과 같다.

암컷,  $TL = 31.1549 + 3.9813 CL$  ( $r=0.7676$ ,  $n=118$ ,  $P<0.01$ )

$TL = 59.1227 + 5.3931 UL$  ( $r=0.6731$ ,  $n=118$ ,  $P<0.01$ )

$\log BW = -2.3906 + 2.5341 \log CL$  ( $r=0.8017$ ,  $n=86$ ,  $P<0.01$ )

수컷,  $TL = 23.5717 + 4.0520 CL$  ( $r=0.9457$ ,  $n=240$ ,  $P<0.01$ )

$TL = 33.1699 + 5.9509 UL$  ( $r=0.9324$ ,  $n=240$ ,  $P<0.01$ )

$\log BW = -3.2391 + 3.0650 \log CL$  ( $r=0.9829$ ,  $n=220$ ,  $P<0.01$ )

성별에 따른 두흉갑장은 수컷 11.8~46.7 mm, 암컷 38.8~54.4 mm, 성전환개체 32.0~46.8 mm였다. 두흉갑장 32 mm이하 개체는 전부 수컷이었고, 두흉갑장 46.8 mm이상 개체는 전부 암컷이었다. 포란한 개체의 크기는 두흉갑장 41.0~52.9 mm였으며, 암컷 1마리에 대한 평균 포란수는 7,677개(범위 3,766~12,500개)였다. 두흉갑장에 대한 포란수( $F_c$ )의 관계는  $F_c = 437.1CL - 12,453$  ( $r=0.6393$ ,  $n=45$ ,  $P<0.01$ )이었다.

## 2. 유생의 에너지 수지

실험실에서 부화시킨 도화새우의 zoea 유생발달에 따른 섭식, 성장, 탈피 및 대사에 관한 에너지수지를 분석하였다.

도화새우의 zoea 전유생기간중 섭식에 의한 총에너지는 140.88 J이었다. 이 중 체성장에 사용된 에너지는 17.07 J이었고 호흡, 탈피 및 배설에 사용된 에너지는 각각 16.22 J, 1.19 J 및 106.40 J이었다.

섭식한 먹이에 대한 동화효율(assimilation efficiency, A/I)은 24.47 %였다. 성장으로 전환된 에너지의 총섭식에너지에 대한 백분율인 총성장효율(gross growth efficiency,  $K_1$ )과 성장으로 전환된 동화에너지에 대한 백분율인 순성장효율(net growth efficiency,  $K_2$ )은 각각 12.96 %와 52.96 %였다. 동화에너지가 체성장과 대사에너지에 사용된 것은 각각 49.51 %와 47.04 %였다.



## VI. 참고문헌

- Aiken, D. E. and S. L. Waddy. 1980. Reproductive biology. In "The biology and Management of Lobster" (J. S. Cobb and B. F. Phillips, eds.), Vol. 2, Chapter 4, 215~276.
- Anger, K. and C. C. Jacobi. 1985. Respiration and growth of *Hyas araneus* L. larvae (Decapoda, Majidae) from hatching to metamorphosis. J. Exp. Mar. Biol., 88, 257~270.
- Belman, B. W. and J. J. Childress. 1973. Oxygen consumption of the larvae of the lobster *Panulirus interruptus* (Randall) and the crab *Cancer productus* Randall. - Comp. Biochem. Physiol. 44A, 821-828.
- Berkeley, A. A. 1930. The post-embryonic development of the common pandalids of British Columbia. Contrib. Canadian Biol., N.S., 6(6), 79~163.
- Butler, T. H. 1964. Growth, reproduction, and distribution of pandalid shrimps in British Columbia. J. Fish. Res. Board of Canada, Vol. 21, 6, 1403~1432.
- Carlisle, D. B. 1959a. On the sexual biology of *Pandalus borealis*. II. The termination of the male phase. J. Mar. Bio. Assoc. U. K., 38, 381~395.
- Carlisle, D. B. 1959b. On the sexual biology of *Pandalus borealis*. III. The initiation of the female phase. J. Mar. Bio. Assoc. U. K., 38, 481~492.
- Clutter, R. I. and G. H. Theilacker. 1971. Ecological efficiency of a pelagic mysid shrimp : Estimates from growth, energy budget and mortality studies. Fish. Bull. U.S., 69, 93~115.
- Crisp, D. J. 1974. Energy relations of marine invertebrate larvae. Thalassia jugosl. 10, 103~120.

- Crothers, J. H. 1967. The biology of the shore crab *Carcinus maenas* (L.). The background-anatomy, growth, and life history. Field Study, 407~434.
- Daborn, G. R. 1975. Life history and ecology relations of the giant fairy shrimp, *Branchinecta gigas* Lynch.(Crustacea : Anostraca). Ecology, 56, 1023~1039.
- Dawirs, R. R. 1983. Respiration, energy balance and developmental pattern in growing and starving larvae of *Carcinus maenas* L. (Decapoda, orthonididae). J. Exp. Mar. Biol., 69, 105~128.
- Emmerson, W. D. 1984. Predation and energetics of *Penaeus indicus* (Decapoda, Penaeidae) larvae feeding on *Brachionus plicatilis* and *Artemia* nauplii, Aquaculture, 38, 201~210.
- Harms, J. 1987. Energy budget for the larval development of *Eliminius midestus*(Crustacea : Cirripedia). Helgolander wiss Meeresunters., 41, 45~67.
- 林 清. 1971. トヤマエビの生態調査. 栽培漁業開發調査資料(北海道開), 調 429, 漁場調成, 10, 103~116.
- Hayashi, K. I. 1988. Specific status of *Pandalus gracilis*(Decapoda, Caridea, Pandalidae), Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 54(1), 73.
- Haynes, E. 1976. Description of zoeae of coonstripe shrimp, *Pandalus hypsinotus*, reared in the laboratory. Fish. Bull., 74(2), 323~342
- Hogarth, P. J. 1975. Instar number and growth of juvenile *Carcinus maenas*(L.) (Decapoda, Branchyura). Crustaceana, 29(3), 299~300.
- Igarashi, T. 1951. Studies on *Pandalus hypsinotus* Brandt in Funka Bay, Hokkaido. Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ., 2, 1~9.
- Jacobi, C. C. and K. Anger. 1985. Growth and respiration during the larval development of *Hyas coarctatus*(Decapoda : Majidae). Mar. Biol., 87, 173~180.
- 정부관·유성재. 1965. 한국동해의 새우어업과 그 자원에 대하여. 수진원. 수산 자원조사보., 6, 1~12.

- Johns, D. M. and J. A. Pechenik. 1980. Influence of the accommodated fraction of Nr. 2 fuel oil on energetics of *Cancer irroratus* larvae. Mar. Biol., 55, 247~254.
- Johns, D. M. 1982. Physiological studies on *Cancer irroratus* larvae. III. Effects of temperature and salinity on the partitioning of energy resources during development. Mar. Ecol. Prog. Ser., 8, 112~121.
- Kim, B. A. and T. H. Jo. 1985. Studies on the fishing conditions of Korean shrimp trawl fisheries and stock assessment of *Pandalus borealis*, in the Southeastern part of Japan Sea. Bull. Fish. Res. Dev. Agency, 36, 29~38.
- 小島伊織. 1967. 北都日本海(トヤマエビ). 北海道沿岸漁業資源調査並に漁業經營試驗報告書(道立中央水産ほんか), 276~289.
- Kurada, H. 1962. Studies on the age and growth of Crustacea. Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab., 24, 1~115.
- Kurmaly, K., A.B. Yule and D.A. Jones. 1989. An energy budget for the larva of *Penaeus monodon*(Fabricius). Aquaculture, 81, 13~25.
- Leffer, C. W. 1972. Some effects of temperature on the growth and metabolic rate of juvenile blue crab, *Callinectes sapidus*, Mar. Biol., 14, 104~111.
- Levine, D. M. and S. D. Sulkin. 1979. Partitioning and utilization of energy during developments of the xanthid crab, *Rhithropanopeus Jharrisii*(Gould). J. exp. mar. Biol. Ecol., 40, 247~257.
- Logan, D. T. and C. E. Epifanio. 1978. A laboratory energy balance for the larvae and juveniles of the american lobster *Homarus americanus*, Mar. Biol., 47, 381-389.
- Mikulich, L. V. and B. G. Ivanov. 1983. The far-eastern shrimp *Pandalus prensor* STIMPSON (Decapoda, Pandalidae): Description of laboratory reared larvae. Crustaceana, 44 (1), 61~75.
- Mootz, C. A. and C. E. Epifanio. 1974. An energy budget for *Menippe mercenaria* larvae fed *Artemia* nauplii. Biol. Bull.(Woods Hole,

- Mass.)146, 44~55.
- 村上恵祐. 1992. 養成したトヤマエビの成熟周期と交尾および産卵行動. 栽培技研, 20(2), 65~72.
- Olmi III, E. J. and J.M. Bishop. 1983. Variations in total width-weight relationships of blue crabs, *Callinectes sapidus*, in relation to sex, maturity, molt stage, and carapace form. J. Crust. Biol., 3, 575~581.
- 尾身東美. 1979. トヤマエビの種苗生産. 栽培技研, 8(2), 77~84.
- 박기영. 1989. 실내사육한 보리새우, *Penaeus japonicus*의 생활사에 따른 에너지 흐름. 부산수산대학교 대학원 이학박사학위논문, pp. 1~69.
- Rothlisberg, P. C. 1979. Combined effects of temperature and salinity on the survival and growth of the larvae of *Pandalus jordani* (Decapoda :Pandalidae) Mar. Biol., 54, 125~134.
- Stephenson, M. J. and A. W. Knight. 1980. Growth, respiration and caloric content of larvae of the prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, Comp. Biochem. Physiol., 66A, 386~391.
- Vernberg, F. J. and W. B. Vernberg. 1981. Functional adaption of marine organisms. Academic Press, New York, pp. 1~347.
- Willow, R. I. 1987. Population and individual energetics of *Ligia oceanica*(L.) in the rocky supralittoral (Crustacea : Isopoda). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 105, 253~274.

## 감사의 글

논문을 쓸 수 있도록 사랑과 격려로 가르쳐 주시고 세심하게 지도해주신 이정재 교수님께 마음속 깊이 감사드립니다. 아울러 논문의 심사를 맡아 부족한 논문을 정성껏 다듬어 주신 노섬 교수님, 이영돈 교수님께 감사드립니다. 그리고 학부시절부터 지금까지 많은 격려를 해주신 정상철 교수님, 이기완 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

또한 논문이 완성되기까지 많은 도움과 가르침을 주신 강릉대학교 박기영 교수님께도 감사드립니다. 아울러 많은 시간을 할애하여 주시고 격려해 주신 손송정 장장님, 울진수산종묘배양장 직원여러분과 실험진행과 자료정리 뿐만 아니라 많은 조언과 도움을 주신 이정의 선배님과 홍정표 실장님에게 고마운 마음을 표합니다. 언제나 용기와 격려를 아끼지 않았던 생리 생태 실험실 선배님께도 감사의 마음을 전합니다.

항상 헌신적인 사랑과 끝없는 보살핌으로 오늘이 있게 하신 부모님과 동생에게 글로나마 감사드립니다.

