

박사학위논문

해마류(*Hippocampus* spp.)의
번식생물학적 연구



제주대학교 대학원

수산생물학과

최영웅

2006년 6월

해마류(*Hippocampus* spp.)의 번식생물학적 연구

지도교수 노 섬

최 영 응

이 논문을 이학박사 학위논문으로 제출함

2006년 6월

최영응의 이학박사 학위논문을 인준함

심사위원장 장 영 진 (인)

위 원 이 영 돈 (인)

위 원 김 기 영 (인)

위 원 정 민 민 (인)

위 원 노 섬 (인)

제주대학교 대학원

2006년 6월

Reproductive Biology of
Seahorses (*Hippocampus* spp.)

Young-Ung Choi

(Supervised by Professor Sum Rho)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

DEPARTMENT OF MARINE BIOLOGY
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

June 2006

목 차

ABSTRACT	i
I. 서론	1
II. 여수근해산 해마류의 분포양상	4
1. 재료 및 방법	4
1) 채집	4
2) 측정	7
3) 단위 노력당 어획량	9
4) 개체군의 밀도	9
5) 치어와 성어	9
6) 전장조성의 변화	9
7) 혼재어류상	9
8) 통계분석	10
2. 결과	11
1) 단위 노력당 어획량	11
2) 개체군의 밀도	17
3) 치어와 성어	17
4) 전장조성의 변화	20
(1) 왕관해마	20

(2) 산호해마	21
5) 혼재어류상	24
(1) 종조성	24
(2) 밀도	26
(3) 증량비율	28
3. 고찰	31
Ⅲ. 번식과 성장	36
1. 재료 및 방법	36
1) 생식소와 보육낭 구조	36
2) 개체군의 구조	36
(1) 성비	36
(2) 임신개체	37
3) 왕관해마	39
(1) 측정과 Tagging	39
(2) 어미관리	39
(3) 어미크기와 출산자어수와의 관계	39
(4) 자어의 형태발달과 성장	42
(5) Copepod와 <i>Aretemia</i> 포식량	43
(6) 먹이공급방법에 따른 생존	43
4) Barbour's seahorse	45
(1) 어미관리	45
(2) 자어의 형태발달과 성장	45
5) 통계분석	46

2. 결과	47
1) 생식소와 보육낭 구조	47
(1) 생식소 외부형태	47
(2) 난소의 내부구조	47
(3) 정소와 보육낭의 내부구조	50
2) 개체군의 구조	53
(1) 성비	53
(2) 임신개체	53
3) 왕관해마	58
(1) 어미크기와 출산자어수와의 관계	58
(2) 자어의 형태발달과 성장	61
(3) Copepod와 <i>Artemia</i> 포식량	71
(4) 먹이공급방법에 따른 생존	74
4) Barbour's seahorse	76
(1) 자어의 형태발달과 성장	76
(2) 생존	89
3. 고찰	91
IV. 요약	104
V. 참고문헌	107

ABSTRACT

The recent decrease in wild seahorse stocks has prompted efforts to develop captive breeding strategies. Due to an increased demand for seahorses in traditional medicine and aquarium trades, widespread interest exists in developing seahorse aquaculture.

We investigated the distribution patterns of seahorses and coexisting fauna in the waters surrounding Yeosu, Korea. We also examined the structure of the gonads and blood pouch, parturition and early growth in *Hippocampus coronatus*, along with early growth for developing juvenile *H. barbouri*, a native of Indonesia.



1. Seahorse Distribution Pattern in the Waters Surrounding Yeosu

A total of 807 seahorses was collected at four sites (Ucheon-ri, Nang-do, Anpo-ri and Song-do) in the waters adjacent to Yeosu between August 2003 and September 2005. The range of catch per unit effort (CPUE) was 13.0–57.0 seahorses/day. The highest recorded collection, 57.0 ± 8.8 seahorses/day, occurred in July 2004 ($P < 0.05$). *H. coronatus* densities, which ranged from 1.05 to 6.49 seahorses/1000 m² (mean density: 3.45 seahorses/1000 m²), did not differ among months or among years ($P > 0.05$). However, the densities of *H. mohnikei* were significantly different among both years and months ($P < 0.05$). The yearly densities were highest in 2003 (mean density: 4.41 seahorses/1000

m²). Monthly densities peaked in July (mean density: 4.24 seahorses/1000 m², P<0.05). The juvenile ratio (juveniles as a fraction of the total population) in *H. coronatus* was highest in 2003 (0.41, P<0.001), and was seasonally highest during July of that year (0.71, P<0.001). In the case of *H. mohnikei*, the juvenile ratio was at its yearly highest in 2004 (0.35, P<0.001) and its monthly highest during July (0.46, P<0.001).

A total of 161 fish, comprising 11 species and representing eight families, was collected from three sites (Ucheon-ri, Nang-do and Anpo-ri) during September 2004. Of these, *H. coronatus* and *H. mohnikei* comprised, respectively, 1.2 and 1.9% of the total population. *Takifugu niphobles* was the dominant species, comprising 30.4% of the total fish population. *Acanthopagrus schlegeli*, *Lateolabrax japonicus*, and *Lateolabrax maculatus*, natural predators of the seahorse, comprised 0.6, 5.6, and 11.8% of the total fish population. The densities of *H. coronatus*, *H. mohnikei* and the other coexisting fish did not differ among sites (P>0.05). The highest observed densities (P<0.05) were found near the coast of Nang-do, where the mean densities of *Aulichthys japonicus* and *Tridentiger trigonocephalus* were 5.23 and 11.59 fish/1000 m², respectively. The mean percentage of seahorses as a fraction of the total fish population was 3.67%. The mean percentage of the seahorse wet weight as fraction of the total fish wet weight was 0.41% at three sites: Ucheon-ri, Nang-do and Anpo-ri.

2. Reproduction and Growth

The gonad of *H. coronatus* is a paired structure in the posterior-dorsal region of the coelomic cavity. The mature ovaries are of the cylindrical tube type and are quite conspicuous due to their orange color. The ovary contains two follicular lamina. Germ cells are arranged sequentially in a sheet according to developmental stage. The testis is a hollow tube in which germ cells, cysts of spermatogenesis, and spermatozoa cannot be identified under light microscopy. However, unidentified cells containing oil-like droplets could be readily observed. The brood pouch is located in the ventral tail and the internal structure of the pouch is of the chamber type. One larva was found in each chamber.

H. coronatus and *H. mohnikei* species were collected from the coastal waters of Yeosu between August 2003 and September 2005. In *H. coronatus*, a 0.36 sex ratio, defined as males as a fraction of the total, differed significantly from a 1:1 predicted ratio ($\chi^2=25.70$, $df=7$, $P<0.05$) in contrast to the 0.38 ratio observed in *H. mohnikei*, which did not significantly differ from the predicted 1:1 ratio ($\chi^2=11.14$, $df=8$, $P>0.05$). The pregnant individuals ratio (pregnant individuals as fraction of the total) for *H. coronatus* did not differ significantly among years ($P>0.05$), but varied among months, and was highest during July ($P<0.001$). In the case of *H. mohnikei*, this ratio did not vary among years or among months ($P>0.05$).

H. coronatus adults (mean standard length: 77.77 ± 9.84 mm, $n=12$) were collected from the sampling sites from September 2003 to November 2004. Parturition size ranged from 6 to 75 juveniles (mean:

39 juveniles/male/time) for 14 observed parturitions. Just after parturition, seahorses were 13.7 ± 1.3 mm (n=15) in standard length (SL). After that time, 4 day old seahorses had 14 dorsal fin rays, 12 pectoral fin rays, and 4 anal fin rays. In 10 day old seahorses, we observed 10 trunk rings and 39 tail rings. In 60 day old seahorses, SL values were 24.65 ± 0.83 mm (n=4). The growth rate of seahorses was 0.18 mm/day at 24°C during the 60 days after parturition. When offered *Artemia* nauplii and copepod nauplii, 5 day old seahorses preferred the copepod nauplii; the maximum predation rate was 31 copepod nauplii/larva/h. However, 30 day old seahorses preferred *Artemia* nauplii, although the maximum predation rate was only 14 *Artemia* nauplii/larva/h. Survival was highest (49%) when seahorses were fed a mixture of copepod nauplii and *Artemia* nauplii in 50 days after parturition.

Parturient *H. barbouri* adults (SL: 111.8 mm) released 156 juveniles at a time. 1 day old seahorses were 9.48 ± 0.69 mm (n=4) in SL and possessed 17 dorsal fin rays, 14 pectoral fin rays, and 4 anal fin rays. In 12 days old seahorses possessed 11 trunk rings and 35 tail rings. In 20 days old seahorses were 14.97 ± 0.62 mm (n=4) in SL. At this time, the seahorse's snout became slender and long, and the adult body coloration became apparent. In 41 days old seahorses grew to 22.89 ± 2.22 mm (n=4) in SL. This was coincident with the development of a coronet of several spines. In 158 days old seahorses had grown to 61.42 ± 3.32 mm in SL. Head length (HL), Trunk length (TrL) and Tail length (TaL) comprised 19.1 ± 0.3 , 25.2 ± 0.7 , and $55.8 \pm 0.3\%$ of the SL, respectively. The survival rate was 15.6% during this time.

I. 서 론

해마(seahorse)는 실고기(pipefish), pipehorse 그리고 해룡(seadragon)과 함께 실고기과(Syngnathidae)에 속하는 경골어류로서, 북위 45°에서 남위 45° 사이의 열대와 아열대 해역에서 33종이 발견되며, 그 중 70% 정도가 인도-태평양해역에 분포한다(Lourie et al., 1999a). 한국에는 왕관해마 *Hippocampus coronatus*, 가시해마 *H. histrix*, 복해마 *H. kuda*, 산호해마 *H. mohnikei* 그리고 점해마 *H. trimaculatus* 등 5종이 서식하고 있는 것으로 알려져 있다(Kim and Lee, 1995). 이 연구의 대상종인 Crowned seahorse *H. coronatus*는 국명이 해마(Jung, 1977)로 명명되어 있으나 이 국명을 사용할 때 다른 해마종과 혼동을 하기 쉬워 이 종이 형태적 특징인 관(coronet)이 높게 발달되어 있는 것과 영명에 상통하는 의미에서 왕관해마로 명명하였다.

해마류의 서식지는 주로 잘피밭이며 망그로브에도 서식하는 것으로 알려져 있으나, 기후에 따라서 열대종은 주로 해초와 해조군락에서, 아열대종은 주로 산호초 군락에서 발견된다(Foster and Vincent, 2004).

해마의 수명은 Dwarf seahorse *H. zosterae*의 경우 최소 1년이며 (Strawn, 1958) Cape seahorse *H. capensis*의 경우 최대 5년 까지 사는 것으로 알려져 있다(Lockyear et al., 1997). 수명은 주로 피식과 포식관계와 질병의 영향을 받지만 종류와 연구자에 따라 차이를 보이고 있다. 해마의 포식자로는 외양성 어류와 도미과 어류, 대구, 농어 그리고 홍어 등이다 (Jordan and Gilbert, 1882).

해마는 기질에 부착할 수 있는 꼬리를 갖고 있으나 꼬리지느러미가 없고

머리는 몸통과 직각을 이루고 있으며 가슴지느러미가 높게 형성되어 다른 어류와 쉽게 구분이 된다(Fritzsche, 1980). 수컷이 보육낭 주머니에서 알을 보호하는 습성은 경골어류에 있어서 매우 특이한 형태이다(Herald, 1949).

그동안 해마는 중국 전통 약재로서 천식, 간 기능 장애 그리고 일반적인 통증에 효능이 있는 것으로 알려져 있으며 중국을 비롯한 동남아시아에서는 약재로서의 수요가 많고 유럽과 북미에서는 관상용과 건조시켜 기념품이나 골동품 등으로 상품화하고 있다(Vincent, 1996). 해마의 주요 수출국은 인도네시아, 인도, 멕시코, 필리핀, 대만 그리고 베트남으로, 이 지역에서 포획된 해마는 건조된 형태로 중국, 타이완 그리고 싱가포르 등 세계각지로 수출되고 있으며 전 세계적으로 매년 2천만 개체의 해마가 포획되고 있는 것으로 추정된다(Vincent, 1996). 최근 들어 이들의 수요가 꾸준히 증가함에 따라 주요 서식지에서는 남획이 진행되어 자원량은 급격히 감소하고 있다(Vincent, 1996). 또한 무차별한 개발로 서식지인 연안해역의 해조군락지 그리고 망그로브 군락지가 훼손되고 있는 점과 해마의 낮은 번식률도 자원량 감소에 한 요인으로 지적되고 있다(Foster and Vincent, 2004). 이에 따라 현재 멸종 위기종 1종, 취약종 9종으로 지정되어 있고(IUCN, 2003), 야생해마의 포획과 상거래를 엄격히 제한하기에 이르렀다(CITES, 2002).

이러한 상황에서 현재 해마에 관한 연구는 사라져가고 있는 생물자원 복원과 인공증식의 측면에 그 초점이 맞추어지고 있다(Lourie et al., 1999a). 특히 해마양식은 자연 자원의 보존과 해마어업을 대체할 수 있는 대안으로서 관심이 집중되고 있으며(Job et al., 2002), 외국에서는 이미 소수의 해마 종에 대하여 상업적 규모의 양식에 관심을 집중하고 있거나 일부 인공양식에 성공하였다(Forteach, 1997).

한편, 한국에 서식하고 있는 해마류는 아직 상업적으로 이용되고 있지

않다. 하지만 해마의 서식지가 되는 잘피밭이 임해공업단지와 대규모 주택 단지의 건설, 대규모 간척, 매립 등에 따른 연안해역의 개발과 오염등으로 해마 자원 고갈의 위협에 노출되고 있다. 또한 관상용으로 유통되고 있는 수족관용 해마는 주로 인도네시아, 필리핀 등의 동남아시아 국가로부터 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

이 연구의 목적은 해마류의 양식기술개발을 위하여 여수근해산 해마류의 분포양상과 주요 해마류의 인공번식을 위한 번식생물학적 연구를 수행하였다. 세부적인 연구내용은 첫째 여수근해산 해마류의 분포양상과 혼재어류를 조사·분석하였다. 둘째 여수근해산 왕관해마의 생식소의 구조 특성을 조사하였고 안정적인 양식기술 개발을 위하여 왕관해마의 출산어미크기와 자어수와의 상관관계, 자어의 형태발달과 성장, 초기자어사육에 알맞은 먹이조건을 조사하였다. 또한 한약 재료와 관상무역에서 거래되고 있는 주요 해마종 중의 하나인 인도네시아산 Barbour's seahorse *H. barbouri*의 인공종묘생산과정에서 자·치어의 형태발달과 성장 그리고 생존율을 조사 비교하였다.

II. 여수근해산 해마류의 분포양상

1. 재료 및 방법

1) 채집

해마의 채집은 여수부근 해역의 4개 정점(Fig. 1, A, 고흥군 영남면 우천리; B, 여수시 화정면 낭도리; C, 여수시 화양면 안포리; D, 여수시 돌산읍 송도)에서 2003년 8부터 2005년 9월 사이에 31일 동안 총 858회의 채집조사를 실시하였다. 채집 중에 수온은 봉상수온계, 염분은 광학염분계(S/Mill-E, ATAGO)를 사용하여 측정하였다.

채집해역은 잘피(*Zostera marina*)밭으로 간조시 수심은 1.3-2.7 m였다(Fig. 2). 채집은 망목크기 1×1 cm의 무결절망으로 제작된 길이 51 m, 폭 9 m의 후릿그물(haul net)을 이용하여 조사수역(Fig. 1)을 둘러싼 후 양망하는 방법으로 하였다(Fig. 2).

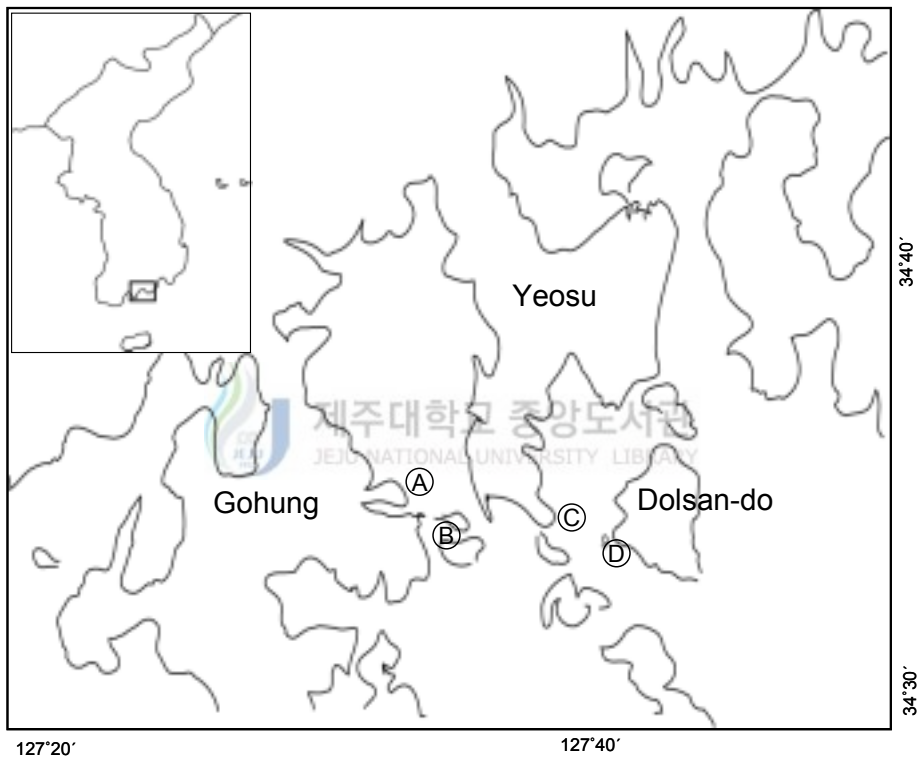


Fig. 1. Location of sampling areas in Kamak and Yeoja Bay. (A), Ucheon-ri; (B), Nang-do; (C), Anpo-ri; (D), Song-do.

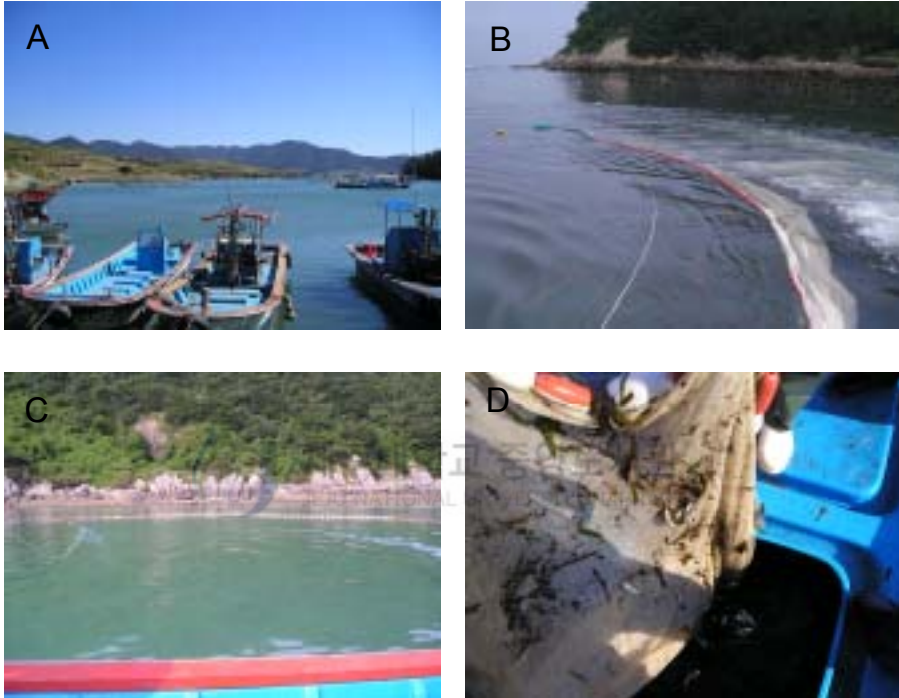


Fig. 2. Sampling process of seahorse by haul net. A, research boat; B, setting of the net; C, hauling the net; D, take up the net and sampling.

2) 측정

채집한 해마는 비닐봉지(30×40 cm)에 채집현장의 해수를 채운 후, 산소포장하여 스티로폼 상자에 넣고 실험실로 운반하였다. 이 후 50 L 규모의 수조에서 *Artemia* (O.S.I, USA)를 부화시켜 2-3주 동안 배양한 성체와 copepod (*Tigriopus* spp.)를 공급하면서 실험실내의 수조환경에 적응시켰다. 이후 실험실에서 Lourie 등(2004)의 방법으로 해마를 종별로 동정하였고 취급에 의한 스트레스를 최소화하기 위해서 5 mm단위로 표시하여 제작한 비닐 방안지위에 해마를 올려놓고 디지털 카메라(Olympus, Japan)로 촬영한 후, Image analysis software (Imageline Inc, USA)를 이용하여 계측하였다. 각 부위의 측정 기준은 Lourie 등(1999b)의 방법에 따라 관 중앙의 홈 끝에서 cleithral ring 중앙까지를 관고(coronet height, CH), 주둥이 끝에서부터 cleithral ring 중앙까지를 두장(head length, HL), cleithral ring 중앙부터 마지막 trunk ring 중앙까지를 동장(trunk length, TrL), 그리고 마지막 trunk ring 중앙부터 꼬리 끝까지의 크기를 미장(tail length, TaL)으로 0.01 mm 까지 측정하였고 전장(standard length, SL)은 두장, 동장 그리고 미장을 합산하여 구하였다(Fig. 3).

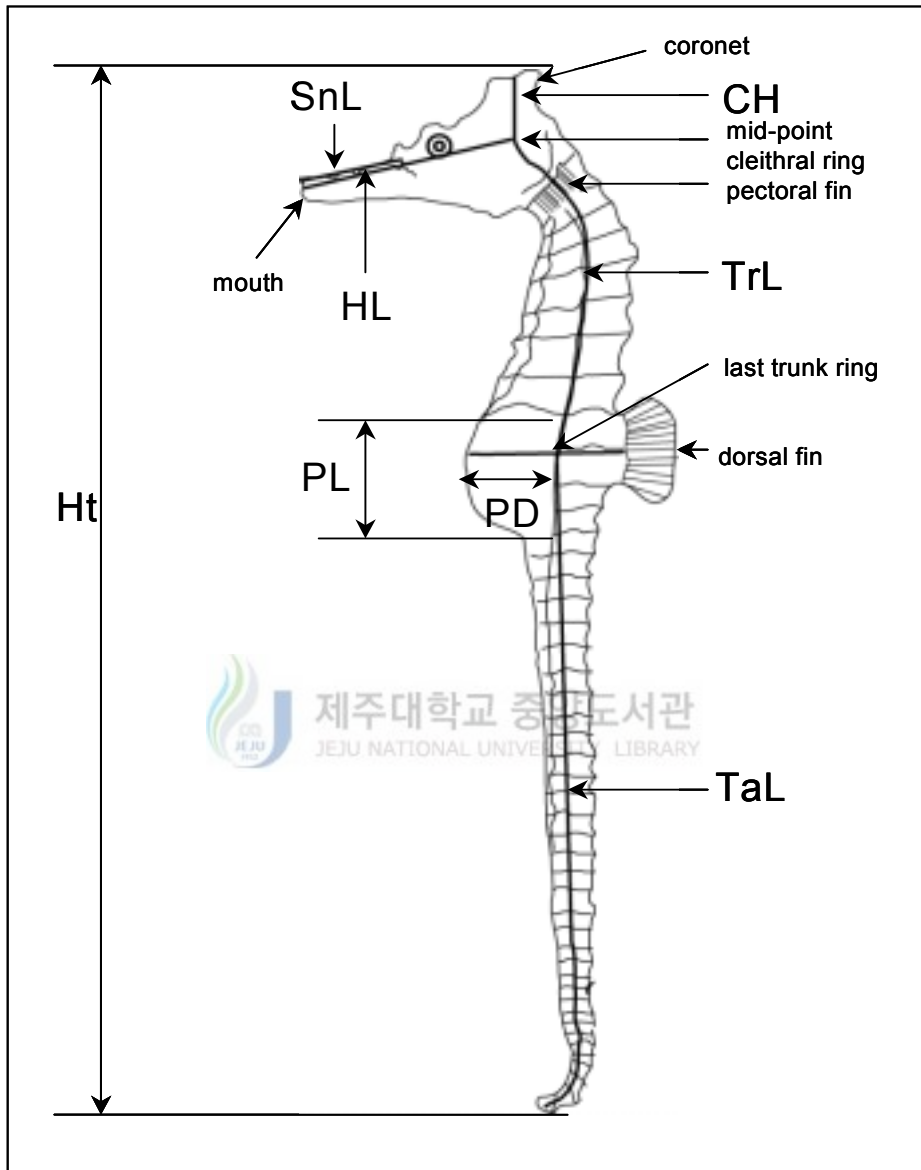


Fig. 3. Measurements used in this study.

CH, coronet height; HL, head length; Ht, height; PD, pouch depth; PL, pouch length; SL, standard length= $HL+TrL+TaL$. SnL, snout length; TaL, tail length; TrL, trunk length. from Lourie et al., 1999b and Lourie, 2003.

3) 단위 노력당 어획량

채집지역에서 해마의 개체군의 출현변동을 살펴보기 위해 단위 노력당 어획량(catch per unit effort)을 조사하였다. CPUE는 Meeuwig and Samoily's (2003)의 방법에 따라 일일 채집된 개체수(number day⁻¹)를 양망 회수로 환산하여 나타내었다.

4) 개체군의 밀도

채집지역에서 해마의 개체군 밀도는 길이 51 m의 후릿그물로 1회 채집되는 구역(207.0 m²) 안에서 포획개체수를 조사하여 1000 m²당 개체수로 구하였다. 이때 한번 조사된 면적은 중복되어 조사되지 않는다는 가정에서 시기별로 평균밀도를 비교하였다.

5) 치어와 성어



채집한 왕관해마와 산호해마는 생활사단계(치어:성어)를 구분하여 개체군 구조 특성을 조사하였다. 치어와 성어의 구분은 Meeuwig and Samoily's (2003)의 방법에 따라 보육낭을 가진 최소형을 기준으로 하여 이보다 작은 개체를 치어로, 큰 개체를 성어로 각각 구분하였다.

6) 전장조성의 변화

해마의 월별 출현양상을 조사하기 위해 Fig. 3과 같은 방법으로 전장을 측정하여, 계급별로 나누고, 출현개체수의 누적도수로 월별 출현개체수를 비교하였다.

7) 혼재어류상

해마와 혼재하는 어류를 조사하기 위하여 3개 정점(Fig. 1, A, 고흥군 영

남면 우천리; B, 여수시 화정면 낭도리; C, 여수시 화양면 안포리)에서 Fig. 2와 같은 방법으로 각각 5회씩 채집하였다. 1회에 어획된 전 어종을 한 조사군으로 설정하였고, 채집된 해마와 혼재 어종에 대해서는 Jung (1991)의 방법으로 동정하였다. 채집지역에서 혼재어류의 밀도는 개체군의 밀도조사방법에 준하였고, 어류의 종과 조사한 정점에 따라 5회 채집에서 조사된 개체수의 1000 m²당 평균밀도를 비교하였다. 그리고 해마와 혼재 어류는 0.01 mg단위까지 체중을 측정하여 혼재어류의 중량비율을 조사하였다.

8) 통계분석

채집기간 동안 월별 단위 노력당 어획량과 시간적 해마개체군 밀도의 차이는 ANOVA-test를 실시하여 분석하였다. 치어와 성어의 출현변동의 유의 차이는 chi-square 검정(Baum et al., 2003)을 실시하였다. 그리고 해마 혼재어류의 채집지점별 밀도차이 분석은 ANOVA-test를 실시하였다. 이 모든 과정은 SPSS Version 10.0 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago. IL, USA)을 이용하여 분석하였다.

2. 결과

1) 단위 노력당 어획량

2003년 8월부터 2005년 9월 사이에 31일 동안 총 858회의 채집(Table. 1) 조사에서 왕관해마 555개체, 산호해마 252개체가 포획되었다. 채집기간 동안 수온은 14.7-26.8°C 범위였고 염분은 31.7-33.5 psu 범위였다(Fig. 4). 2003년 8월에 해마의 CPUE는 44 개체/일 이었고, 9월에는 27.5±9.5 개체/일 이었고 11월에는 11 개체/일 이었다. 2004년 7월에는 57±8.8 개체/일이었고, 8월에는 13±2.8 개체/일 이었다. 9월에는 49.5±11.4 개체/일 이었으며, 10월에는 26.8±5.5 개체/일 이었다. 11월에는 17.7±3.76 개체/일 이었고, 2005년 9월에는 21.0±5.3 개체/일 이었다. 이상 해마의 평균 CPUE는 26.0±20.9 개체/일 이었다(Fig. 5). CPUE가 가장 높을 때는 2004년 7월이었고($P<0.05$), 제일 낮을 때는 2004년 8월이었다($P<0.05$). 채집시기의 수온이 14.7-18.2°C 범위였던 2004년 4-6월에 채집한 6일 동안($n=87$ sampling)에는 포획된 개체가 없었고 24.9-17.8°C 범위였던 7-11월 사이, 계절적으로 여름에서 늦가을에 채집되었다(Fig. 5).

2) 개체군의 밀도

2003년 8월 채집에서 조사된 1000 m²당 왕관해마의 평균밀도는 1.05개체였고, 9월에는 2.02개체였다. 2004년 7월에는 3.14개체였고, 8월에는 2.05개체였으며, 9월에는 6.49개체였다. 그리고 10월에는 4.16개체였고, 11월에는 2.72개체였으며, 2005년 9월에는 3.44개체였다. 이상과 같이 채집기간 동안 1000 m²당 왕관해마의 평균밀도범위는 1.05-6.49개체였고, 평균 3.45개체였으며 연별과 월별 평균밀도 간에는 차이가 없었다(Table 2).

산호해마는 2003년 8월에 8.19개체였고, 9월에는 2.69개체였으며, 11월에

는 4.09개체였다. 2004월 7월에는 4.24개체였고, 8월에는 1.23개체였으며, 9월에는 0.48개체였다. 그리고 10월에는 0.47개체였고, 11월에 0.15개체였으며, 2005년 9월에 2.66개체였다 산호해마의 밀도범위는 0.15-8.18개체였고 평균 1.68개체였으며 연별과 월별 평균밀도에는 차이가 있었다($P<0.05$). 2003년도에 밀도는 4.41개체로 가장 높았고, 7월에 4.24개체로 가장 높았다 ($P<0.05$).



Table 1. Sampling of seahorse from August 2003 to September 2005

Month	Sampling		
	Number of fishing day	Number of fish caught	Number day ⁻¹
2003			
August	1	23	23.0
September	2	58	29.0±2.8
November	1	13	13.0
2004			
April	2	25	12.5±2.1
May	2	37	18.5±4.9
June	2	25	12.5±0.5
July	4	150	37.5±4.8
August	2	39	19.5±2.1
September	4	142	35.5±6.6
October	4	120	30.0±7.3
November	3	92	30.6±2.5
2005			
September	4	134	33.5±9.3
Total	31	858	27.7±9.9

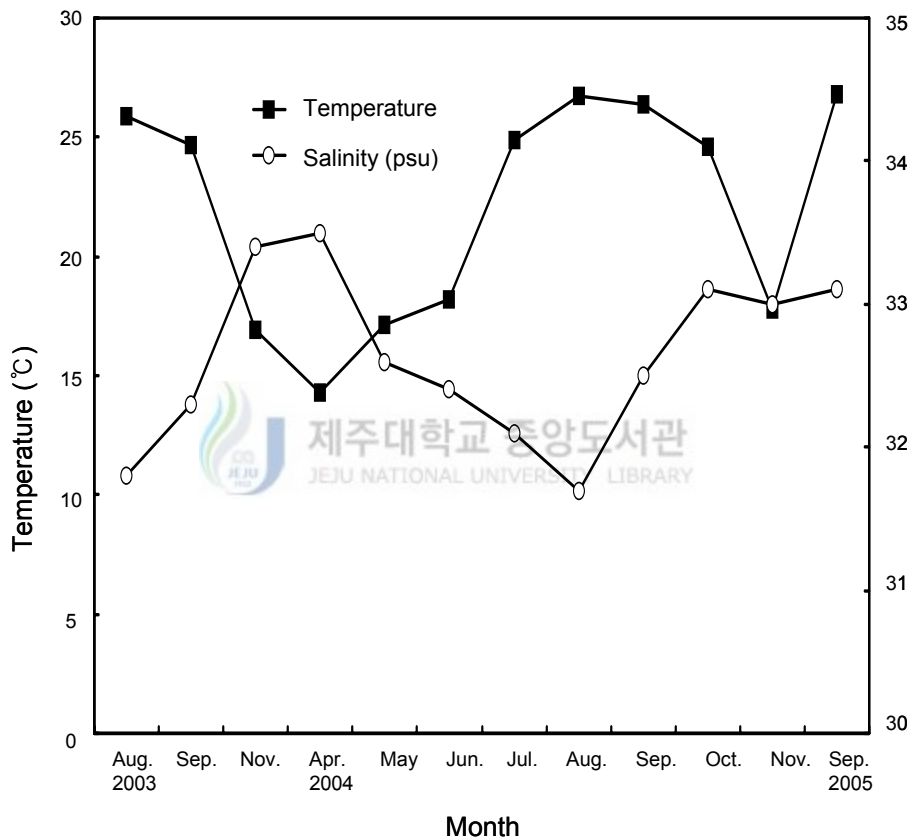


Fig. 4. Variations of water temperature and salinity in the study area during the sampling period.

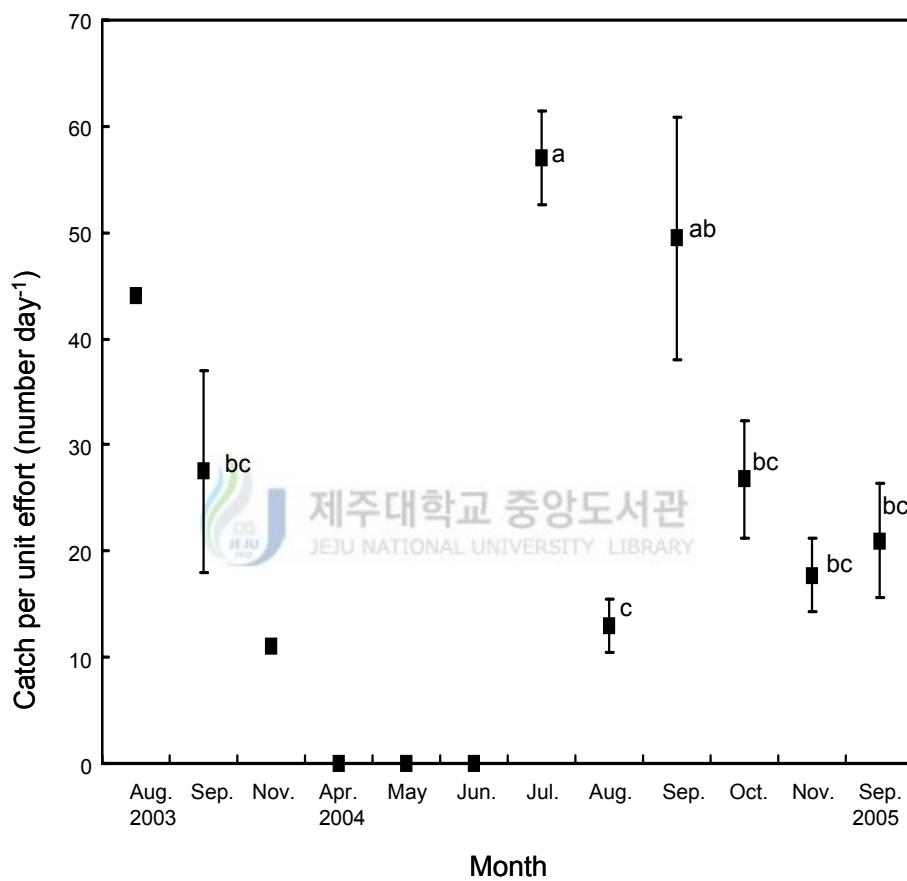


Fig. 5. Catch per unit of effort for seahorses in sampling area from August 2003 to September 2005.

Table 2. Significance levels for ANOVAs of densities seahorses from August 2003 to September 2005 (df=degrees of freedom, *, P<0.05)

Source	df	<i>H. coronatus</i>	<i>H. mohnikei</i>
		F	F
Year	2	2.237	5.774*
Month	4	1.260	3.890*



3) 치어와 성어

채집된 왕관해마 555개체 중 보육낭을 갖는 최소형의 성어로서 전장이 53.91 mm 이상인 성어로 구분된 개체는 427개체(76.9%)로 전장범위는 53.91-98.37 mm (평균 66.69±9.03 mm)였고, 보육낭을 갖지 않은 치어는 128개체(23.1%)로 전장범위는 23.40-53.40 mm (평균 46.27±6.08 mm)였다 (Table 3).

2003년 8월에 채집된 개체군은 치어 2개체, 성어 3개체였고, 9월에는 치어 10개체, 성어 14개체였다. 이후 11월과 2004년 4-6월에는 채집이 되지 않았다. 2004년 7월에 채집된 98개체 중 치어는 70개체, 성어는 28개체였으며 8월에는 치어는 10개체, 성어는 6개체였고 9월에 채집된 184개체 중 치어는 10개체, 성어가 174개체였다. 10월에는 치어 16개체, 성어 80개체 그리고 11월에는 치어 4개체, 성어 48개체가 채집되었다. 2005년 9월에는 80개체가 채집되었고 이 중 치어는 5개체, 성어는 75개체였다.

치어와 성어의 비율은 2003-2005년의 3년간 비교와 7-11월의 사이의 월별 비교에서 차이가 있었다(Table 4). 이 기간 동안 채집된 전 개체 중 치어의 비율은 3년간 비교하여 2003년에 0.41로 가장 높았고($P<0.001$), 월별로는 7월에 0.71로 가장 높았다($P<0.001$).

산호해마는 252개체 중 성어로 구분되는 전장 44.90 mm 이상의 개체는 190개체(75.0%)로 전장범위는 44.90-93.56 mm (평균 59.52±11.07 mm)였고 치어는 62개체(25.0%)로 전장범위는 19.90-44.60 mm (평균 37.39±5.84 mm)였다(Table 3).

2003년 8월에 채집된 39개체는 전 개체가 44.90 mm 이상의 크기인 성어였다. 또한 9월에 채집된 31개체, 11월에 채집된 11개체도 전 개체가 성어였다. 2004년 4-6월에는 채집이 되지 않았고 이후 7월에 치어 60개체, 성어 70개체가 채집되었고 8월에 채집된 개체는 10개체 전부 성어였으며 9월에

는 치어는 1개체, 성어는 13개체였다. 10월에 치어는 1개체, 성어는 10개체가 채집되었고, 11월에 채집된 3개체는 모두 성어였다. 2005년 9월에는 채집된 개체는 4개체로 전 개체가 성어였다.

치어와 성어의 비율은 연별과 월별에 따라 차이가 있었다($P < 0.001$). 3년간 비교에서 2004년에 전 개체에 대한 치어의 비율은 0.35로 가장 높았고 ($P < 0.05$) 월별로는 7월에 0.46로 가장 높았다(Table 4).



Table 3. Mean standard length composition the life history stage of seahorses in sampling areas of Yeosu

Species	Life history stage			
	Juvenile		Adult	
	n	SL (mm) (Mean±SD)	n	SL (mm) (Mean±SD)
<i>H. coronatus</i>	128	46.27±6.08	427	66.69±9.03
<i>H. mohnikei</i>	62	37.39±5.84	190	59.52±11.07

Table 4. Significance levels for chi-square test on effects of year, month on life history stage of seahorses in sampling areas of Yeosu

Species	Source	Juvenile:Adult		
		df	X ²	P
<i>H. coronatus</i>	Year	2	19.065	P<0.001
	Month	4	184.849	P<0.001
<i>H. mohnikei</i>	Year	2	40.267	P<0.001
	Month	4	65.108	P<0.001

4) 전장조성의 변화

(1) 왕관해마

2003년 8월부터 2005년 9월까지 채집된 개체군의 전장의 크기는 23.40-98.37 mm 범위였다. 2003년 8월에는 전장이 45.34-61.11 mm 범위의 5개체가 채집되었다. 9월에는 전장 47.80-71.39 mm의 24개체가 채집되었고, 이후 11월과 2004년 4-6월에는 채집이 되지 않았다(Fig. 6).

2004년 7월에 채집된 98개체의 전장은 23.40-87.91 mm 범위였다. 8월에는 41.89-74.79 mm 전장 범위의 16개체가 채집되었다. 9월에는 47.84-95.72 mm 전장 범위의 184개체가 채집되었다. 10월에는 47.04-91.70 mm 전장 범위의 96개체가 채집되었으며, 11월에는 43.60-80.20 mm 전장 범위의 52개체가 채집되었다. 2005년 9월에는 48.38-99.84 mm 전장 범위의 80개체가 채집되었다(Fig. 6).

월별 전장 분포에서 주요 개체는 2004년 7월 30.00-50.00 mm 범위의 개체가 전 개체의 87.7%(n=86)로 치어단계의 개체들이었다. 하지만 태풍으로 채집횟수가 적었던 8월에는 뚜렷한 양상을 관찰할 수 없었고, 9월에 50.00-65.00 mm 전장 범위의 개체들이 76.6%(n=141)로 성어의 출현양상을 뚜렷하게 관찰할 수 있었으며, 10월에 45.00-65.00 mm 전장 범위의 개체들이 80.2% (n=77)로 9월과 비슷한 양상으로 출현하였다. 11월에는 50.00-75.00 mm 전장 범위의 개체들이 78.8% (n=41)로 대부분의 개체가 성어 단계의 개체들로서, 7월 이후부터 점차적으로 성장하는 양상을 11월 까지 계속되었다. 결과적으로 왕관해마는 계절적으로 여름부터 어린개체들이 출현하여 늦가을까지 성어로 성장하는 것으로 관찰되었다(Fig. 6).

(2) 산호해마

2003년 8월부터 2005년 9월까지 채집된 개체군은 19.90-93.56 mm 전장 범위의 252개체가 채집되었다. 2003년 8월에 46.80-66.48 mm 전장 범위의 39개체가 채집되었고, 9월에는 49.40-75.49 mm 전장 범위로 31개체가 채집되었다. 11월에는 62.40-79.81 mm 전장 범위의 개체들이 11개체가 채집되었다(Fig. 7).

2004년 4-6월에는 채집이 되지 않았고 7월에 19.90-90.49 mm 전장 범위의 130개체가 채집되었고 이 시기에 이번 실험에서 조사된 개체 중 크기가 가장 작은 개체가 출현하였다. 8월에는 47.60-84.68 mm 전장 범위의 10개체가 채집되었다. 9월에는 40.90-93.56 mm 전장 범위의 14개체가 채집되었고, 10월에는 40.99-78.30 mm 전장 범위의 11개체가 채집되었으며, 11월에는 51.60 mm 크기의 암컷과 72.70 mm 크기 수컷 2개체가 채집되었으며, 2005년 9월에는 채집된 4개체들은 전장이 60.99-76.87 mm 범위였다(Fig. 7).

이 종의 월별 전장 분포에서 주요개체는 2004년 7월 30.00-50.00 mm 범위의 개체가 전 개체의 66.2%(n=86)로 치어단계의 개체였다. 8월에는 40.00-55.00 mm 범위와 70.00-80.00 mm 범위의 것이 3개체와 7개체가 출현하였고, 9월에 45.00-60.00 mm, 75.90 mm 범위의 3개체와 8개체 출현하였으며 10월에 40.00-60.00 mm, 75.00-90.00 mm 범위의 8개체와 3개체가 출현하여 7월 이후부터 11월까지 점차적으로 성장하는 양상을 나타내었다. 결과적으로 산호해마는 계절적으로 여름에 어린개체들이 출현하여 늦가을까지 어미로 성장하는 양상을 관찰할 수 있었다(Fig. 7).

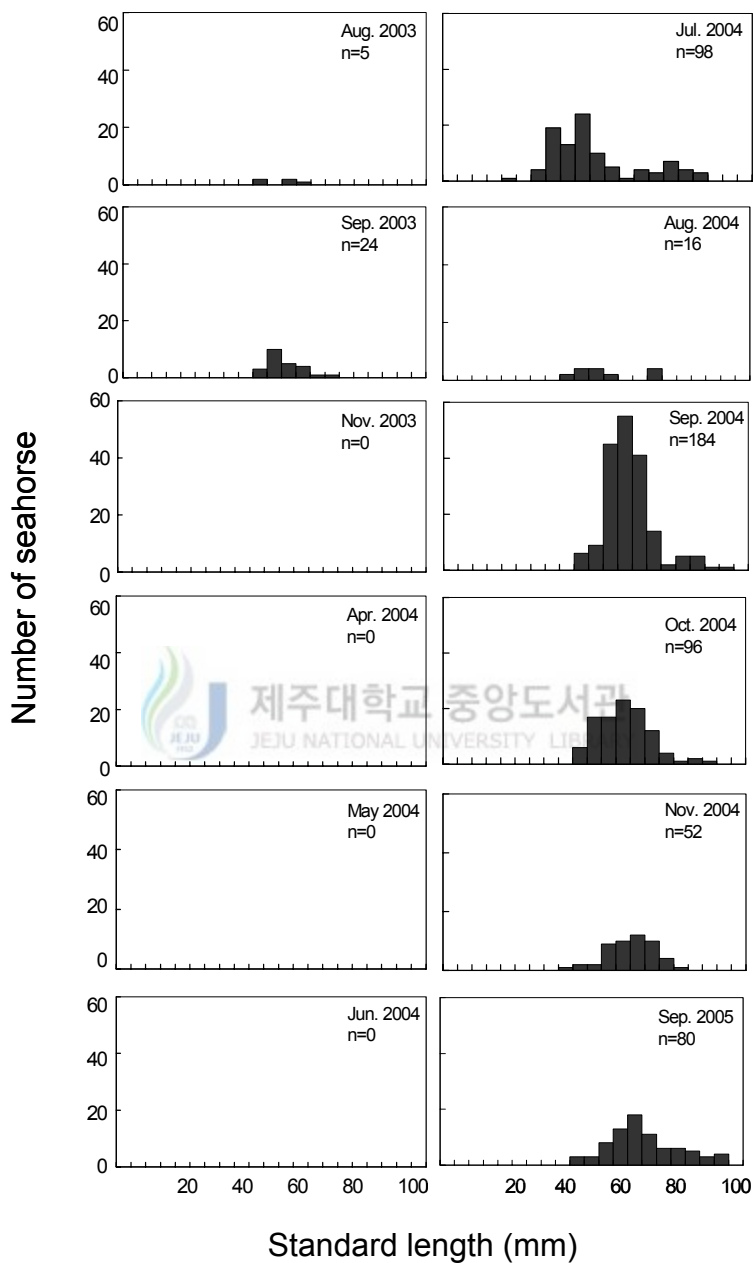


Fig. 6. Standard length (SL) distribution for crowned seahorse *H. coronatus* from August 2003 to September 2005 in sampling of the adjacent waters of Yeosu.

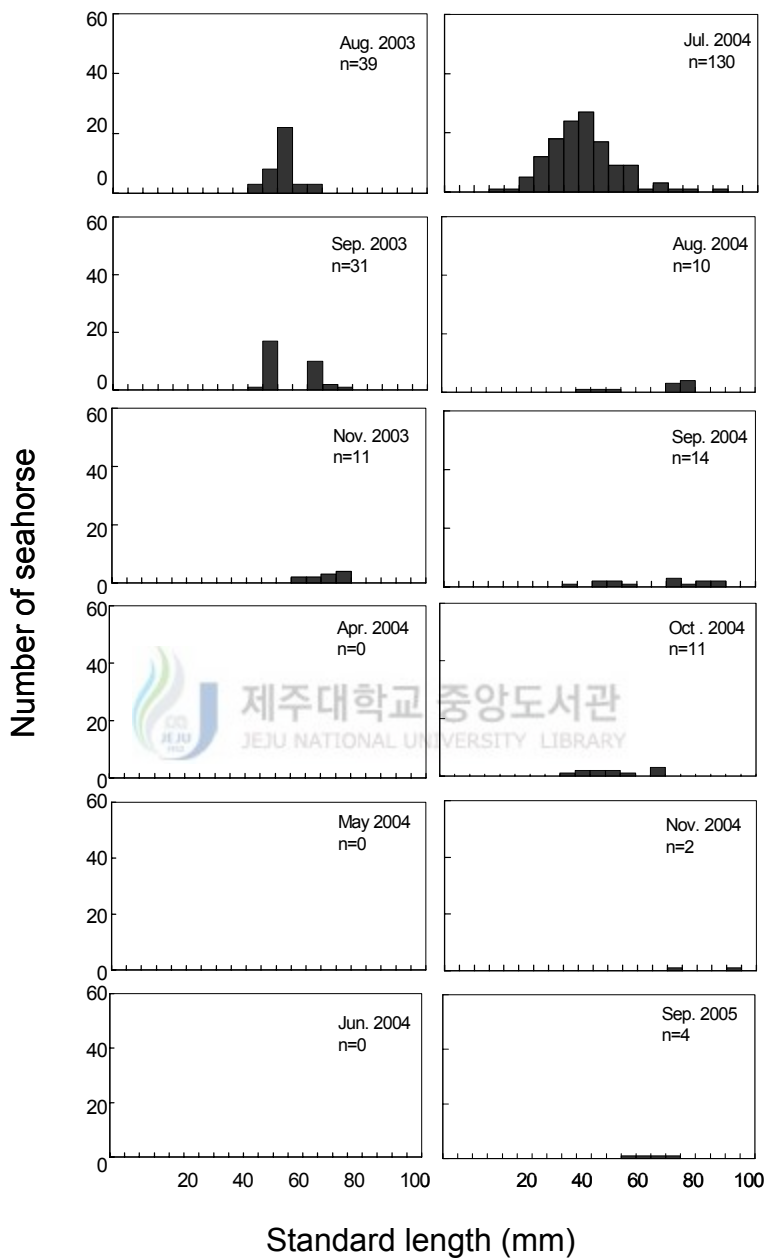


Fig. 7. Standard length (SL) distribution for japanese seahorse *H. mohnikei* from August. 2003 to September 2005 in sampling of the adjacent waters of Yeosu.

5) 혼재어류상

(1) 종조성

2004년 9월 조사해역의 3개 정점(Fig. 1, A, 고흥군 영남면 우천리; B, 여수시 화정면 낭도리; C, 여수시 화양면 안포리)에서 4목 8과 11종 161개체가 출현하였다(Table. 5). 왕관해마는 정점 C에서 2개체가 출현하여 총 개체수의 1.2%였고 산호해마는 정점 A, B, C 에서 각각 1개체씩이 출현하여 총 개체수의 1.9%였다. 혼재어류 중 가장 많이 출현한 종은 복섬 *Takifugu niphobles*으로 정점 A, B, C에서 각각 25, 12 그리고 12개체가 출현하여 총 개체수의 30.4%였고, 주둥치 *Leiognathus nuchalis*는 각각 3, 27 그리고 1개체가 출현하여 총 개체수의 19.3%였다. 두줄망둑 *Tridentiger trigoncephalus*은 정점 A, B, C에서 각각 11, 12 그리고 2개체가 출현하여 총 개체수의 15.5%였고, 점농어 *Lateolabrax maculatus*는 정점 A, B에서만 7, 12개체가 출현하여 총 개체수의 11.8%였고, 실비늘치 *Aulichthys japonicus*는 정점 A, B, C에서 각각 2, 14, 1개체가 출현하여 총 개체수의 10.6%였으며, 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*은 각각 5, 2, 3개체가 출현하여 총 개체수의 5.6%였다. 그 밖에 독중개 *Cottus poecilopus*, 농어 *Lateolabrax japonicus* 그리고 실고기 *Syngnathus schlegeli*가 정점 C에서 각각 3, 1 그리고 2개체가 출현하여 총 개체수의 1.9, 0.6 그리고 1.2%였다(Table 5).

Table 5. Number and percentage of species as fraction of total fishes (%) collected from three sites using a round haul net in September 2004 (A, Ucheon-ri; B, Nang-do; C, Anpo-ri)

Species	A		B		C		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Black porgy (<i>Acanthopagrus schlegeli</i>)	5	9.3	2	3.0	2	5.1	9	5.6
Japanese tubesnout (<i>Aulichthys japonicus</i>)	2	3.7	14	20.6	1	2.6	17	10.6
Yellowfin sculpin (<i>Cottus poecilopus</i>)	-	-	-	-	3	7.7	3	1.9
Crowned seahorse (<i>Hippocampus coronatus</i>)	-	-	-	-	2	5.1	2	1.2
Coral seahorse (<i>Hippocampus mohnikei</i>)	1	1.9	1	1.5	1	2.6	3	1.9
Sea perch (<i>Lateolabrax japonicus</i>)					1	2.6	1	0.6
Spotted sea bass (<i>Lateolabrax maculatus</i>)	7	13.0	-	-	12	30.8	19	11.8
Soapy (<i>Leiognathus nuchalis</i>)	3	6.1	27	39.7	1	2.6	31	19.3
Seaweed pipefish (<i>Syngnathus schlegeli</i>)	-	-	-	-	2	5.1	2	1.2
Grass puffer (<i>Takifugu niphobles</i>)	25	46.3	12	17.6	12	30.8	49	30.4
Striped tripletooth goby (<i>Tridentiger trigoncephalus</i>)	11	20.4	12	17.6	2	5.1	25	15.5
Total	54	33.5	68	42.2	39	24.2	161	

(2) 밀도

이번 조사에서 출현한 11종의 각 정점별 분포밀도에 대한 ANOVA-test 결과를 Table 6에 나타내었다. 왕관해마와 산호해마는 3개 정점에서 1000 m²당 평균밀도는 0.96개체 그리고 0.97개체였으며 각 정점별 밀도에 차이가 없었다(Table 6, P>0.05). 혼재어류에 있어서 실비늘치 *A. japonicus*와 두줄망둑 *T. trigoncephalus*는 여수시 화정면 낭도리 연안에서 1000 m²당 5.23개체(4.83-14.49개체) 그리고 11.59개체(4.83-24.10개체)로 가장 밀도가 높았다(Table 6, P<0.05). 그 외 출현종은 3개 정점의 밀도차이는 없었고 (Table 6, P>0.05), 1000 m²당 평균밀도는 감성돔 *A. schlegeli*이 2.58개체, 독중개 *C. poecilopus*가 0.97개체, 민농어 *L. japonicus*가 0.32개체, 점농어 *L. maculatus*가 6.11개체, 주둥치 *L. nuchalis*는 9.98개체, 실고기 *S. schlegeli*는 0.64개체, 복섬 *T. niphobles*는 15.77개체, 그리고 두줄망둑 *T. trigoncephalus*는 8.05개체였다.



Table 6. Significance levels for ANOVAs of densities of coexisting fishes in three sampling sites on September 2004 (df=degrees of freedom, *, P<0.05)

Source	Species											
	As	Aj	Cp	Hc	Hm	Lj	Lm	Ln	Ss	Tn	Tt	
df	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
Sampling site	2	0.444	6.741*	2.250	2.667	0.000	1.000	3.893	29.210	1.000	2.037	4.789*

(As, *Acanthopagrus schlegeli*; Aj, *Aulichtys japonicus*; Cp, *Cottus poecilopus*; Hc, *Hippocampus coronatus*; Hm, *Hippocampus mohnikei*; Lj, *Lateolabrax japonicus*; Lm, *Lateolabrax maculatus*; Ss, *Syngnathus schlegeli*; Tn, *Takifugu niphobles*; Tt, *Tridentiger trigrancephalus*)

(3) 중량비율

3개 정점에서 출현한 왕관해마 그리고 산호해마와 혼재하고 있는 어류는 모두 161개체였으며 총 중량은 506.6 g이었다. 혼재어류의 중량비율에서 주 등치 *L. nuchalis*는 38.07%로 가장 높았고($P < 0.05$), 독중개 *C. poecilopus*, 농어 *L. japonicus*, 실고기 *S. schlegeli* 그리고 두줄망둑 *T. trigoncephalus*은 1.47, 1.43, 0.34 그리고 2.08%로 왕관해마와 산호해마가 상대적으로 중량비율이 낮았다(Fig. 8).

왕관해마와 산호해마의 혼재비율은 정점 A, B, C에서 각각 1.85, 1.47 그리고 7.69%였고, 총 중량에 대한 비율은 각각 0.18, 0.25 그리고 0.76%였다(Fig. 9).



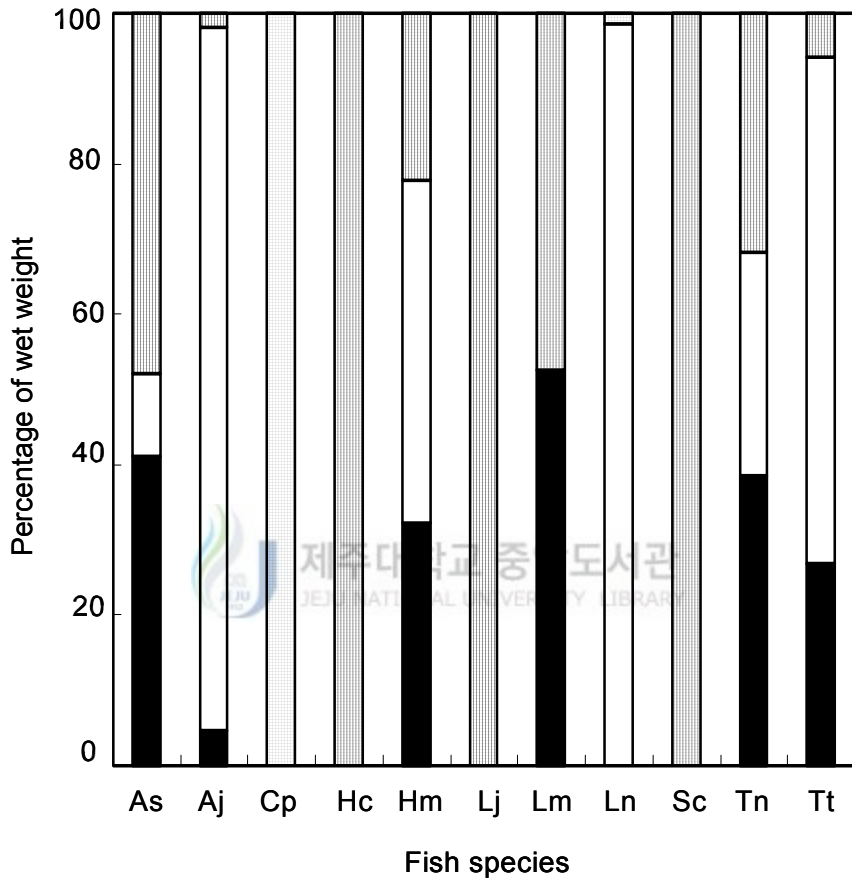


Fig. 8. Percentage of species wet weight as fraction of total fishes wet weight (sampling sites A, ■; B, □; C, ▤). As, *Acanthopagrus schlegeli* Aj, *Aulichthys Japonicus* Cp, *Cottus poecilopus* Hc, *Hippocampus coronatus* Hm, *Hippocampus mohnikei* Lj, *Lateolabrax japonicus* Lm, *Lateolabrax maculatus* Ss, *Syngnathus schegeli* Tn, *Takifugu niphobles* Tt, *Tridentiger trigoncephalus*.

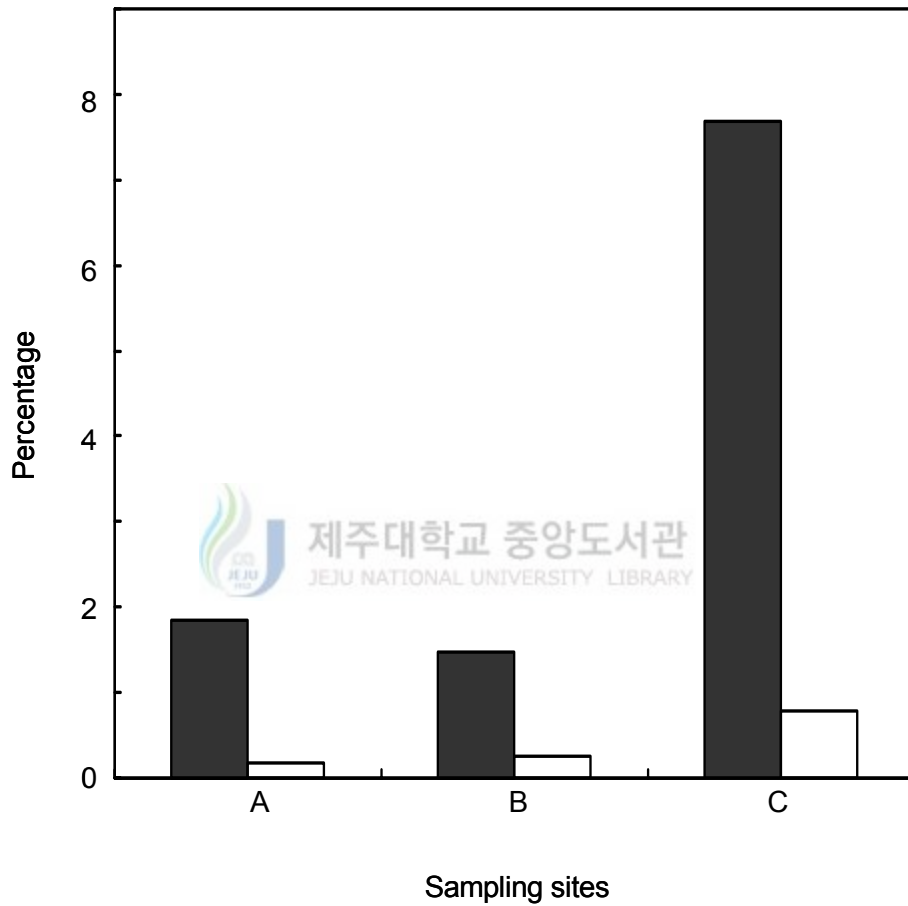


Fig. 9. Percentage of seahorse as fraction of total fishes in three sampling sites. (■, number of seahorses as fraction of total fishes and □, wet weight of seahorses as fraction of total fishes wet weight).

3. 고찰

단위 노력당 어획량(CPUE)을 이용한 자원량 조사는 방법적인 면에서 많은 논란이 있는 것이 사실이지만 아직까지는 자원량 변동을 추정하는데 있어서 이론적인 자원량 지수로 사용되고 있다(Meeuwing and Samoilys, 2004). 멕시코 만에서 1998년 6-8월과 1999년 6-7월에 총 95회 트롤 조사하여 Lined seahorse의 CPUE를 추정한 보고에서, 인망시간당 24.25 ± 2.15 mm의 개체, 이를 환산하면 대략 조사선당 1시간에 0.5-1개체가 포획된 보고가 있다(Baum et al., 2003). 이 연구에서 여수부근해역의 잘피밭에서 해마 개체군의 분포양상을 파악하기 위해 2003년 8월부터 2005년 9월까지 조사한 결과를 보면, 왕관해마와 산호해마는 4-6월 사이에 포획되지 않았고 7월부터 11월까지 총 807개체가 포획되었다. 이 기간 동안 평균 CPUE는 26.0 ± 20.9 개체/일 이었고, 가장 높은 시기는 2004년 7월로서 57.0 ± 8.8 개체/일 로 높은 CPUE를 나타내었다. 2004년 8월에는 태풍의 잦은 발생으로 어획의 변동이 심하여 13.0 ± 2.8 개체/일 로 가장 낮았고 이후 9월에 높아져 11월까지 지속적으로 감소하는 추세를 보였다. 계절적으로는 수온이 $24.9-17.8^{\circ}\text{C}$ 였던 7-11월 사이, 여름부터 늦가을까지 관찰할 수 있었고 CPUE는 7-9월 사이에 가장 높게 나타났다. 이 연구에서 앞의 보고와 비교를 위해 환산해 보면 조사선당 1시간에 1.6-7.1개체가 포획된 것으로 추정되어 멕시코만에서 Lined seahorse 조사의 어획도와 조사면적, 종의 특성에 차이가 있지만 여수근해에서 왕관해마와 산호해마의 자원량이 보다 높은 것을 알 수 있었다. 그러나 최근 임해공업단지의 개발과 연안해역의 오염으로 해마의 주 서식처인 잘피밭이 점차 감소하고 있어 지속적인 해마의 자원량 변동조사를 통해 대책수립이 필요하다고 생각된다.

자연에서 해마 개체군은 밀도가 낮고 분포가 불규칙하다. Knobby seahorse *H. breviceps*는 오스트레일리아 Philip만에서 1000 m²당 밀도는 170-310개체였고(Moreau and Vincent, 2004), 남아프리카 Knysna의 하구역에서 Cape seahorse는 8.9-220개체였다(Bell et al., 2003). Longsnout seahorse *H. reidi*는 브라질의 Rio Grande 하구역에서 6-510개체였고(Dias and Rosa, 2003), 오스트레일리아에서 White's seahorse *H. whitei*는 80-210개체의 밀도로 조사되었다(Vincent et al., 2004).

이 연구에서 채집기간 동안 1000 m²당 왕관해마의 밀도는 1.05-6.49개체였고 평균 밀도는 3.45개체였으며 연별과 월별 밀도의 차이는 관찰하지 못했다($P>0.05$). 산호해마는 2003년도에 1000 m²당 밀도가 4.41개체로 가장 높았고 월별로 7월에 4.24개체로 가장 높았다($P<0.05$). 이처럼 왕관해마는 7-11월 사이에 출현변동이 없이 지속적으로 출현하지만 산호해마는 비교적 짧은 시간에 출현하고 점차적으로 출현량이 줄어들었고, 다른 지역의 해마 종에 비해서 비해 서식밀도는 가장 낮게 관찰되었다(Table 7). 이는 여수 부근해역에서 왕관해마와 산호해마의 출현이 뚜렷하게 계절성을 띄게 나타나고, 한정된 지역을 조사한 점과 소형어구를 사용할 경우 채집과정 중 도피하는 개체가 많은 점 등이 복합적으로 작용한 요인으로 생각된다.

해마의 치어는 출산 직후부터 부유생활을 하기 때문에 성어에 비해 분산의 정도가 심하다(Foster and Vincent, 2004). 특히 Big-bellied seahorse *H. abdominalis*는 출산 후 4-6주간 부유생활기를 갖는 것으로 추정되고 실제로 12.5-73 mm의 크기가 플랑크톤 채집망에 조사된 경우가 있으며(Lovett, 1969), Long-snouted seahorse *H. guttulatus*는 출산 후 6-8주간 부유생활기를 갖고(Boisseau, 1967), 산호해마도 일정기간의 부유생활기를 갖는다(Kanou and Kohno, 2001). 폐쇄적 사육시스템에서도 25 mm까지 성장하는 출산 후 2-4주간 기질에 부착하여 생활하지 않고 수표면에서 부유

Table 7. Comparison of densities between seahorse species in this study and the other recorded (*Hippocampus* spp.)

Species	Mean density (1000 m ⁻²)	Locality	Reference
<i>H. breviceps</i>	170	Port Philp Bay Australia	Moreau and Vincent, 2004
	310	Port Philp Bay Australia	Moreau and Vincent, 2004
<i>H. capensis</i>	8.9	Knyvna Estuary South Africa	Bell et al., 2003
	220	Knyvna Estuary South Africa	Bell et al., 2003
<i>H. cornes</i>	20	Bohol, Philippines	Perante et al., 2002
<i>H. reidi</i>	0.510	Rio Grande do Norte state, Brazil	Dias and Rosa, 2003
	6	Rio Grande do Norte state, Brazil	Dias and Rosa, 2003
<i>H. whitei</i>	80	Sydney, Australia	Vincent et al., 2005
	215	Sydney, Australia	Vincent et al., 2005
Present study			
<i>H. coronatus</i>	3.45	Kamak, Yeoja Bay	
<i>H. mohrkei</i>	1.68	Kamak, Yeoja Bay	

생활하는 것이 관찰되었으며(Woods, 2000a), 복해마는 출산 후 19-22일(Mi et al., 1998) 그리고 West Australian seahorse *H. subelongatus*는 출산 후 14-21일 동안 수류의 흐름을 따라 부유생활하는 것이 관찰되었다(Lawrence 1998). 이 연구에서 왕관해마 치어와 성어의 비율은 2003-2005년의 3년간 비교와 7-11월의 사이의 월별로 차이가 있었고 치어가 차지하는 비율은 2003년에 0.41로 가장 많이 포획되었고 월별로는 7월에 0.71로 가장 높았으며($P < 0.001$), 총 채집 개체 중 23.0%였으며 산호해마도 치어와 성어의 비율은 년과 달에 따라 차이가 있었다($P < 0.001$). 3년간의 비교에서 2004년에 치어의 비율은 0.35로 가장 높았고($P < 0.001$), 월별로는 7월에 0.46으로 가장 높았으며($P < 0.001$), 총 개체 중 치어가 차지하는 비율은 0.33이었다. 이처럼 시기에 따라 치어의 출현량이 적은 것은 치어기에 잘피나 해조에 붙어 부유생활을 하는 시기에 채집이 잘피발을 중점으로 이루어져서 전체적으로 포획된 치어의 비율이 낮게 관찰된 것으로 생각된다.

해마 어미는 위장능력이 있고 곱판형의 피부를 갖고 있어 자연에서 포식자는 거의 없을 것으로 추측이 된다(Lourie et al., 1999b). 그러나 외양성 어류와 도미과 어류(Jordan and Gilbert, 1882), 만새기, 가오리, 참치(Alverson, 1963; Herald, 1949; Wilson and Beckett, 1970)와 아귀, 양태가 포식자로 알려져 있다(Kuiter, 2000). 잘피밭에서 해마와 혼재하고 있는 어류와의 피식과 포식 관계에 의하여 해마의 생물량에 영향을 줄 수 있는 어류 종을 조사한 이 연구에서 2004년 9월 조사해역의 3개 정점에서 4목 8과 11종 161개체가 출현하였다. 각 정점별로 왕관해마는 여수시 화양면 안포리 연안에서 2개체가 출현하여 총 개체수의 1.2%였고 산호해마는 고흥군 영남면 우천리, 여수시 화정면 낭도리 그리고 여수시 화양면 안포리 연안에서 각각 1개체씩이 출현하여 총 개체수의 1.9%였다. 어류 중 가장 많이 출현한 종은 복섬 *T. niphobles*으로 총 출현 개체수의 30.4%였고, 해마와

피식과 포식관계를 형성하고 있는 점농어 *L. maculatus*, 감성돔 *A. schlegeli* 그리고 농어 *L. japonicus*는 총 출현 개체수의 11.8%, 5.6% 그리고 0.6%였다. 왕관해마와 산호해마는 각 정점별 분포밀도에 차이가 없었고, 혼재어류에 있어서 실비늘치 *A. japonicus*와 두줄망둑 *T. trigoncephalus*는 여수시 화정면 낭도리 연안에서 1000 m²당 5.23개체 (4.83-14.49개체) 그리고 11.59개체(4.83-24.10개체)로 가장 분포밀도가 높았다. 이 두 종은 해마와 피식과 포식관계가 형성될 수는 없을 것으로 생각되지만 유영이 빠르고 활동영역이 해마와 비교해서 넓어 먹이 경쟁생물로서 해마의 밀도에 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 3개 정점에서 출현한 전 어종 161개체의 총 중량 506.6g 중 왕관해마와 산호해마의 전체 출현어종 대비 혼재비율은 고흥군 영남면 우천리, 여수시 화정면 낭도리 그리고 여수시 화양면 안포리 연안에서 각각 1.85, 1.47 그리고 7.69%였고 총중량에 대한 비율은 각각 0.18, 0.25 그리고 0.76%으로 조사해역의 어류 개체군에서 매우 낮은 비율을 차지하고 있어 피식과 포식관계와 먹이경쟁에 의한 개체군의 밀도가 영향을 민감하게 받을 것으로 생각된다. 이처럼 해마는 연안생태계에서 생산성의 중요한 요소이고 종 다양성을 증가시키는데 중요한 역할을 하고 있는 잘피(Coleman and Burholder, 1995)로부터 포식자(Hindell et al., 2000)와 해일과 파도와 같은 물리적인 영향으로부터 은신처(Lewis, 1984)와 풍부한 먹이를 제공받고(Edgar, 1990), 동시에 점농어, 감성돔 그리고 농어와 같은 포식자들(Jordan and Gilbert, 1882)과 먹이경쟁관계에 있을 것으로 생각되는 복섬, 주둥치 *Leiognathus nuchalis*, 두줄망둑, 실비늘치, 독중개 *Cottus poecilopus*, 실고기, *Syngnathus schlegeli* 등의 유영력이 빠르고 활동영역이 넓은 어류들과 혼재하며 잘피밭 어류생태계를 구성하고 있었다.

Ⅲ. 번식과 성장

1. 재료 및 방법

1) 생식소와 보육낭 구조

왕관해마 생식소와 보육낭 구조의 관찰은 2004년 7월부터 11월까지 채집된 암컷 58개체, 수컷 45개체를 대상으로 하였다. 조직표본 제작은 상법에 따라 생식소는 적출하여 Bouin's solution에 고정하였고, 조직 내 paraffin을 침투시킨 후 Tissue Embedding Center (Richer-Jung, 8040)를 이용하여 준비하였다. 그리고 생식소의 발달과정을 관찰하기 위해 마이크로톰 (Richert-Jung, 820)을 이용하여 횡단면과 종단면으로 5-6 μm 크기의 부분 절편을 만들었다. 염색은 Hansen's hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하였으며, 현미경(Carl Zeiss, HBO 50)으로 검경하였다.

2) 개체군의 구조

(1) 성비

채집한 왕관해마와 산호해마는 Meeuwig and Samoilys (2003)의 방법에 따라 성비 그리고 수컷 개체군은 번식상태(pouch rounded: pouch flat)에 구분하여 개체군 구조의 특성을 조사하였다.

암수의 구분은 성어 중 보육낭을 갖고 있는 개체를 성숙한 수컷(Fig. 10, A, B, D, E)으로, 갖고 있지 않는 개체를 성숙한 암컷(Fig. 10, C, F)으로 구분하여 전 개체에 대한 수컷의 비율로 조사하였다.

(2) 임신개체

수컷은 번식참여 상태를 파악하기 위해서 임신한 개체(Fig. 10, A, D)와 임신하지 않은 개체(Fig. 10, B, E)로 구분하였다. 하지만 암컷(Fig. 10, C, F)은 복부의 상태만으로 번식참여 상태를 구분하기가 어려웠기 때문에 조사에서 제외시켰다.



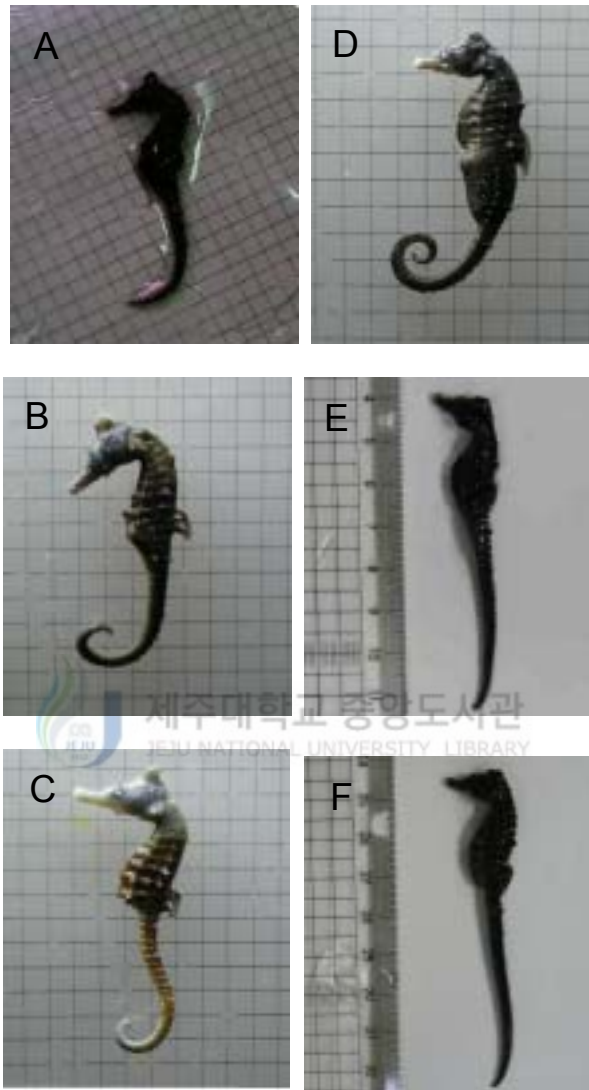


Fig. 10. External feature of females, males from the presence of a brood pouch. A, Pregnant male with rounded pouch in *H. coronatus*; B, Male with flat pouch in *H. coronatus*; C, Female of *H. coronatus*; D, Pregnant male with rounded pouch in *H. mohnikei*; E, Male with flat pouch in *H. mohnikei*; F, Female of *H. mohnikei*. One quadrille scale=0.5 cm.

3) 왕관해마

(1) 측정과 Tagging

채집된 개체들은 실험실내의 수조환경에 적응시킨 후 각 부위별로 측정 한 후 보육낭의 크기를 측정하였고 어미들은 어미사육수조로 옮기면서 보육낭의 크기와 출산자어수와의 관계를 조사하기 위해 임신개체별로 구분하여 tagging하였다. 측정은 Fig. 3과 같은 방법으로 전장, 보육낭 길이(pouch length, PL) 그리고 보육낭 깊이(pouch depth, PD)를 0.01 mm 단위까지 측정(Lourie et al., 1999b; Lourie, 2003)하였다. Tagging은 Woods and Martin-Smith (2004)의 방법에 의하여 Visible implant fluorescent elastomer (NMT Inc, USA)로 처리(Fig. 11)한 후 출산용수조로 수용하였다.



(2) 어미관리

어미사육은 유리로 된 사각수조(50×30×28 cm)에 여과조(26×26×28 cm)를 연결한 순환여과사육시스템(Fig. 12)에서 실시하였으며 환수량은 9-10 회/일 되도록 하였다. 실험기간 동안의 사육환경은 수온 24.0±0.5℃, 염분 33±1.0 psu, pH 7.78±0.42 그리고 DO 6.8±0.3 mg/L였고 광주기는 14L:10D로 조절하였다. 먹이는 출산 후 1-2일된 guppy (*Lebistes reticulatus*) 치어와 부화시켜 2-3주 동안 배양한 5-7 mm 크기의 *Artemia* (O.S.I, USA) 성체 및 시판되는 냉동 Blood Worm (Hicari, Japan)를 혼합 공급하였다.

(3) 어미크기와 출산자어수와의 관계

2003년 8월부터 2004년 11월까지 총 14회의 출산이 관찰되었고 출산하는 개체의 Tagging된 표지를 식별하여 출산어미를 확인하였다. 자어들은 유

리 스포이드를 사용하여 별도의 유생사육수조로 분리 수용하면서 계수하였다.

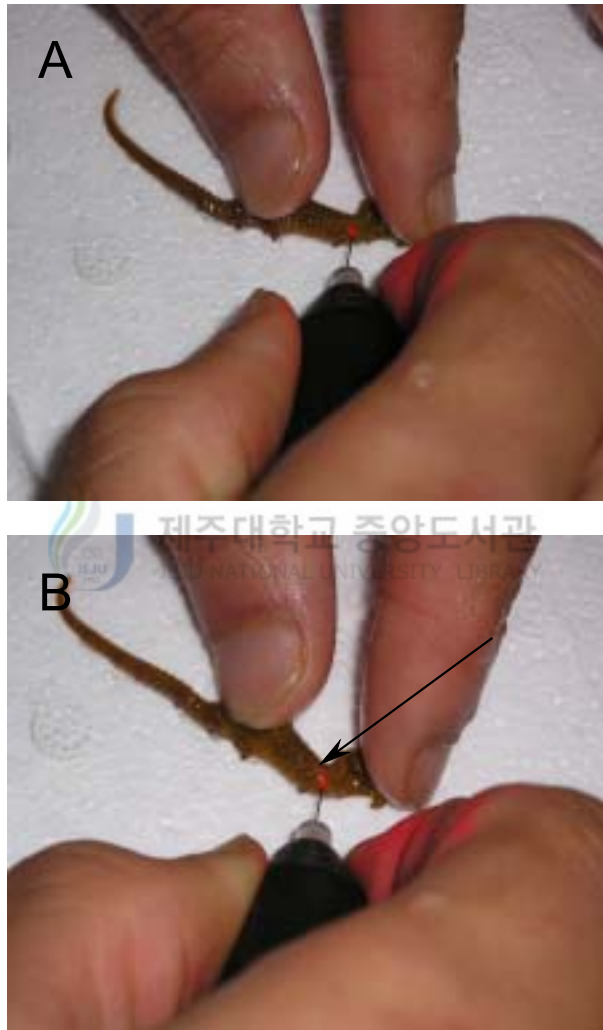


Fig. 11. Tagging of pregnant individuals. A, injection fluorescent elastomer into between the 3rd and 4th trunk ring; B, orange color is shown under the skin. from Woods and Martin-Smith (2004).

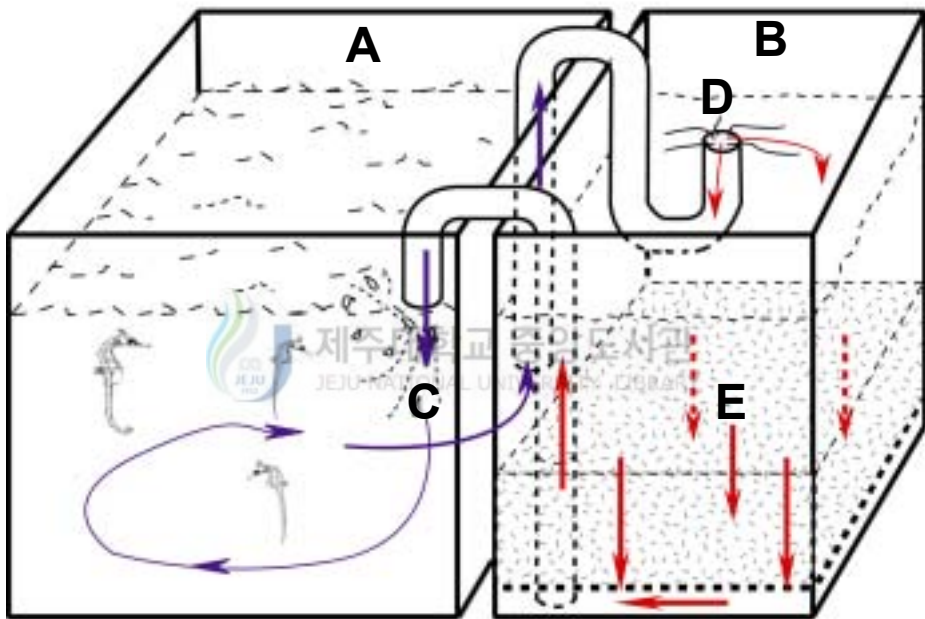


Fig. 12. System design for the culture of crowned seahorse *H. coronatus* adults. A, rearing tank; B, filter tank; C, in flow; D, out flow; E, sand filter.

(4) 자어의 형태발달과 성장

출산한 자어의 성장조사를 위해서 2004년 8월 5일 출산한 55개체를 모서리를 둥글게 만든 FRP 사각수조에서(0.9×0.9×0.75 m) 지수식으로 사육하였다. 사육수온은 24.0±0.5℃, 염분 33±1.0 psu, pH 7.81±0.39 그리고 DO 6.5±0.4 mg/L 였고 광주기는 14L:10D로 조절하였다.

먹이는 농축 *Isochrysis galbana* (Reed Mariculture, USA)로 24-48시간 동안 영양 강화한 *Artemia* (O.S.I, USA)를 3-5 개체/mL로 공급하였으며 수조 상층부에 185-205 μ m의 망목으로 제작한 사각거름망(10×10×20 cm)을 띄워서 *Tigriopus*. spp. 성체를 넣고 배양하면서 어미로부터 산출되는 nauplius 단계의 유생을 섭식할 수 있게 하였으며 유생의 밀도는 10-15 개체/mL였다. 이 때 사육수에는 수질유지와 공급한 *Artemia*와 copepod의 영양강화를 위해서 *I. galbana*를 500,000 cells/mL를 첨가하였고 해마자어의 부착기질로 나일론 끈을 20 cm의 크기로 자른 후 풀어서 끝을 3 cm 크기로 자른 PVC 파이프(dia. 10 mm)에 묶어서 만든 인공부착기질을 수조바닥에 5 set를 놓아주었다.

물의 환수는 매일 저면청소를 하면서 1/4을 환수하였다. 자어는 성장단계별로 20% 에탄올에 고정하였다. 형태발달의 관찰은 해부현미경(Stemi DV4, Carl Zeiss, Germany)을 사용하였고 측정은 취급에 의한 스트레스를 최소화하기 위해서 5 mm 단위로 표시하여 비닐 코팅한 방안지를 붙여 자체 제작한 사각 아크릴용기에(8×3×9 cm) 자어를 넣어 디지털 카메라(Olympus, Japan)로 촬영한 후, Image Scope (Imageline Inc, USA)를 이용하여 Fig. 3의 방법으로 각 부위를 측정하면서 60일간 전장의 성장과 함께 각 부위별 상대성장을 조사하였다.

(5) Copepod와 *Artemia* 포식량

Copepod와 *Artemia*의 포식량 실험은 2004년 10월 6일에 출산한 개체 중 15개체를 대상으로 출산 후 5일과 30일째에 3000 mL 비이커에 자어 5개체를 수용하여 온도를 $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 유지하면서 오전 8시부터 20시까지 3회 반복 실시하였다.

먹이 공급방법은 24-48시간동안 영양 강화한 *Artemia* 유생 1 개체/mL와 배양수조에서 185-205 μm 거름망으로 걸러져 나오는 성체를 분리하고 65-85 μm 의 망에 걸러진 copepod (*Tigriopus* spp.) 유생을 5 개체/mL의 밀도로 혼합 공급하였다.

포식량 조사는 2시간 간격으로 1 mL 피펫으로 사육수를 5회 채취하여 copepod 유생의 잔존량을 조사하였고, *Artemia* 유생은 185-205 μm 의 거름망으로 사육수를 걸러 계수한 후 평균 포식량을 조사하였다.



(6) 먹이공급방법에 따른 생존

실험구는 4개의 먹이계열로 나누어서 예비시험을 거쳐 3회 반복 실시하였다. 실험에 사용한 해마의 출산자어는 모두 180개체로서 실험구 A, B, C에 사용한 해마의 자어는 7월 27일과 28일에 출산한 개체를, 실험구 D는 7월 27일과 28일 및 10월 10일에 출산한 개체를 각각 사용하였다.

실험구 A는 영양 강화한 *Artemia* 유생 단독 급이구, B는 영양 강화한 *Artemia* 유생 + copepod 성체(망목 205-235 μm 로 선별한 개체), C는 copepod 성체(망목 205-235 μm 로 선별한 개체) + copepod 유생(망목 85-135 μm 로 선별한 개체) 그리고 D는 영양 강화한 *Artemia* 유생 + copepod 유생(망목 85-135 μm 로 선별한 개체)였다.

시험사육수조는 사각수조(50×30×28 cm)에 여과조(26×26×28 cm)를 연결한 순환여과사육시스템에 각각 15개체씩 수용하여 실시하였다. 환수량은

3-4 회/일이 되도록 조절하였다.

먹이밀도는 *Artemia* 유생, 1-2 개체/mL, copepod 성체, 1-2 개체/mL 그리고 copepod 유생, 15-20 개체/mL를 유지시켰다. 이 때 사육수에는 수질 유지와 공급한 *Artemia*와 copepod의 영양강화를 위해서 *I. galbana*를 500,000 cells/mL를 첨가하였으며 바닥에는 해마자어가 꼬리를 감을 수 있도록 나일론 끈으로 만든 부착기질 2 set를 놓아 주었다.



4) Barbour's seahorse

(1) 어미관리

실험에 사용된 어미해마는 2004년 인도네시아로부터 CITES 허가를 승인받고 도입된 것으로 에어리프트식 순환 여과 사육 장치가 설치된 450 L 수량의 원형 아크릴수조에서 사육하였다. 사육하면서 성숙 포란한 해마 Barbour's seahorse의 수컷 개체를 저면 여과식 장치가 설치된 120 L 수량의 유리수조에 개체별로 별도 수용하고 출산을 유도하였다. 이때 사육수의 수온은 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$, 염분 32.7 ± 0.8 psu, pH 7.1-8.1의 범위였으며 사육수는 지속적으로 포기하였고 먹이는 냉동 곤쟁이를 1일 1-2회 공급하였다.

실험에 사용된 해마는 수컷의 전장이 111.8 mm였고 건조중량(dried weight, DW)은 1.06 g이었으며 암컷의 전장은 123.3 mm, 건조중량은 0.76 g이었다.



(2) 자어의 형태발달과 성장

수컷 해마의 출산과 초기 자어 사육은 사육수에 copepod *Tisbe* sp.와 *Tigriopus* sp.가 우점종으로 조성된 120 L 수량의 저면 여과식 장치가 설치된 유리수조에서 실시하였다. 실험에 사용한 자어는 수컷 해마로부터 출산된 156개체로서 시험 사육은 출산 0일령에 2개체의 자어를 측정 및 관찰용으로 제외시키고 154개체로 시작하였다. 먹이로서는 갯 부화된 *Artemia* 유생을 자어 사육수조에 3-5 개체/mL가 유지되도록 매일 공급하였으며 *Artemia* 유생을 첨가하기 전에 남은 *Artemia* 유생과 사체는 가능한 모두 수조로부터 제거하면서 사육수의 20-25%를 환수하였다. 이때 사육수의 수온은 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$, 염분 32.9 ± 0.6 psu, pH 7.1-8.1이었다.

자어는 각 성장단계별로 4마리씩 20% 에탄올에 고정하였다. 형태발달의

관찰은 해부현미경(Stemi DV4, Carl Zeiss, Germany)을 사용하였고 측정
은 디지털 카메라(Olympus, Japan)로 촬영한 후 전장은 본문 3)-(4) 자어
의 형태발달과 성장에서 조사한 방법과 동일하게 계측하였고 체중은 체 표
면에 묻어 있는 해수를 제거한 후 전자저울(A&D Company, Japan)로
0.0001 g까지 측정하였다.

3) 통계분석

암컷과 수컷의 출현변동, 수컷에 있어서 임신개체변동의 유의 차이는
chi-square 검정(Baum et al., 2003)을 실시하여 분석하였다. 왕관해마 어
미크기와 자어수와의 관련성을 조사하기 위해 상관분석을 실시하였고 먹이
생물의 포식량 조사 그리고 생존율 조사결과의 분석은 ANOVA-test를 실
시하고 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리하여 평균간
의 유의성을 검정하였다. 이 모든 과정은 SPSS Version 10.0 (SPSS,
Michigan Avenue, Chicago. IL, USA)을 이용하여 분석하였다.

2. 결과

1) 생식소와 보육낭 구조

(1) 생식소 외부형태

해마는 자웅이체로 생식소는 체강의 배후부에 척추골을 따라 앞으로 길게 신장되어 위치하고 있었다. 난소와 정소는 모두 한 쌍으로 등쪽 체강 벽으로부터 체강 내에 매달려 있으며, 성숙시기에 난소는 낭상형으로 주황색을 띄어 쉽게 구별이 가능하였다. 미성숙시기에는 난소와 정소는 가늘고 길게 신장되어 있어 육안적으로 구별이 어려웠으나, 수컷 특유의 보육낭 유무에 의해 정소 구분이 가능하였다(Fig. 13).

(2) 난소의 내부구조

난소는 2개의 난소박판(follicular lamina)이 존재하며, 이 난소박판은 외부적으로 난소외막에 내부적으로 내막상피조직에 둘러싸여 있으며, 나선형으로 난소 내강쪽으로 향하고 있었다. 이 난소박판 내부에는 난모세포가 발달단계에 따라 단계적으로 배열되어 있었고, 각각의 난소박판 끝에는 생식용기를 갖고 있었다(Fig. 14, A).

미성숙시기의 난소에는 난소박판의 생식용기 주변에 약 10-12 μm 의 구형인 염색인기 난모세포가 관찰되었고, 세포의 대부분을 차지하는 핵 내에는 염색질과 하나의 인이 분포하고 있었다. 그리고 세포질에 비해 핵의 면적이 큰 약 35-77 μm 의 주변인기 단계의 어린난모세포와 235-475 μm 이상의 유구기 난모세포가 발달단계별로 배열되어 있었다(Fig. 14, B). 성숙시기의 난소에는 난소박판에 35-175 μm 의 주변인기 난모세포와 185-320 μm 의 유구기 난모세포 그리고 세포질에 난황구가 축적된 1060-1480 μm 이상의 난황

구기 난모세포가 관찰되었다(Fig. 14, C).



Fig. 13. Morphological features of female (A) and male (B) in crowned seahorse *H. coronatus*. A, external shape of ovary; B, external shape of brood pouch. Bp, brood pouch. One quadrille scale=5 mm.

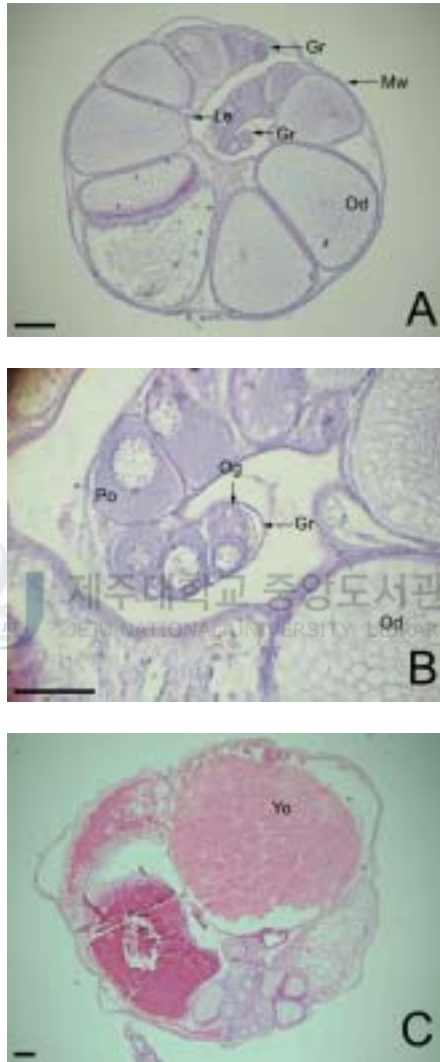


Fig. 14. Internal structure of ovary and oogenesis in crowned seahorse *H. coronatus*. A and B, immature stage; C, mature stage; Gr, germinal ridge; Le, lumen; Mw, muscular wall; Od, oil-droplet; Og, oogonium; Po, peri-nucleolus oocyte; Yo, yolk globules. Scale bars=150 μ m.

(3) 정소와 보육낭의 내부구조

채집된 개체의 정소는 난소와 달리 속이 빈 관형태로 생식세포, 정자형성과정이 일어나는 cyst, 그리고 변태를 마친 정자들은 관찰되지 않았다(Fig. 15, A). 그러나 정소내부에는 구형의 유구와 같은 세포가 존재하고 있었다(Fig. 15, B). 보육낭은 수컷 꼬리 배쪽에 위치하며 내부 구조는 별집 모양의 방형으로 각각의 방안에는 자어들이 한 개체씩 존재하는 것이 관찰되었다(Fig. 16, A, B). 보육낭 안에 있는 자어들은 전장이 약 7.0 mm, 난황의 크기는 약 0.2 mm로 비교적 큰 원형의 난황을 갖고 있었고, 안구와 입이 발달되어 있었다(Fig. 16, C, D).



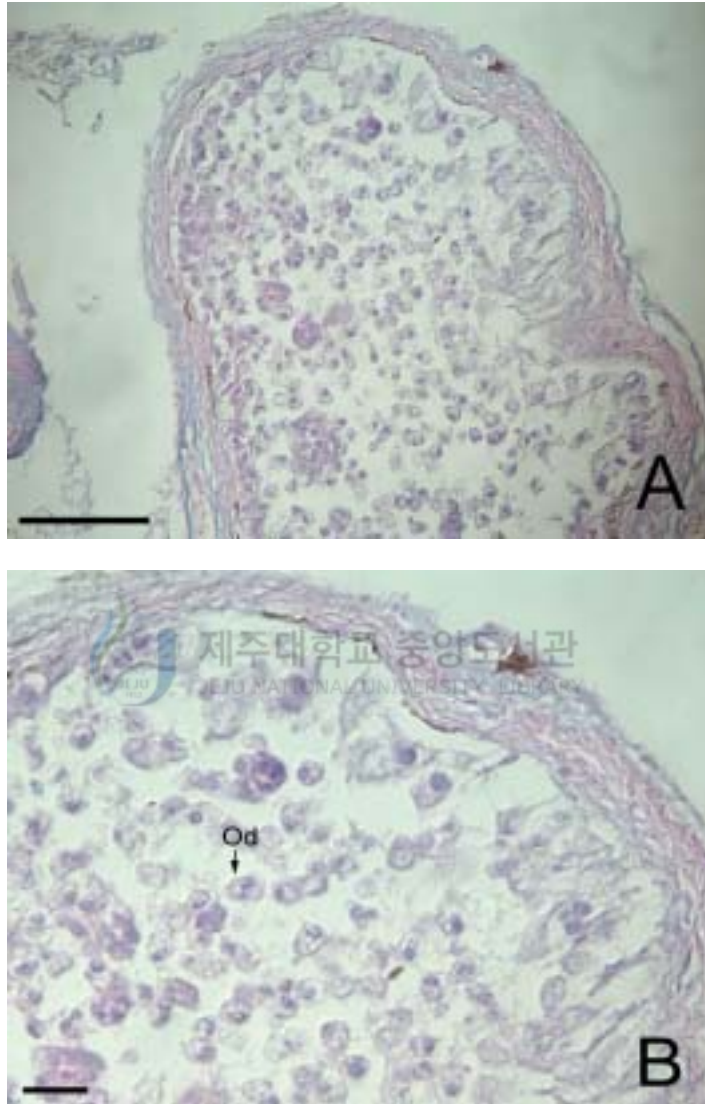


Fig. 15. Internal structure of testis in crowned seahorse *H. coronatus*. A, unidentified cells containing oil-like droplets; B, magnified photograph of A. Od, oil-droplet. Scale bars=100 μm .

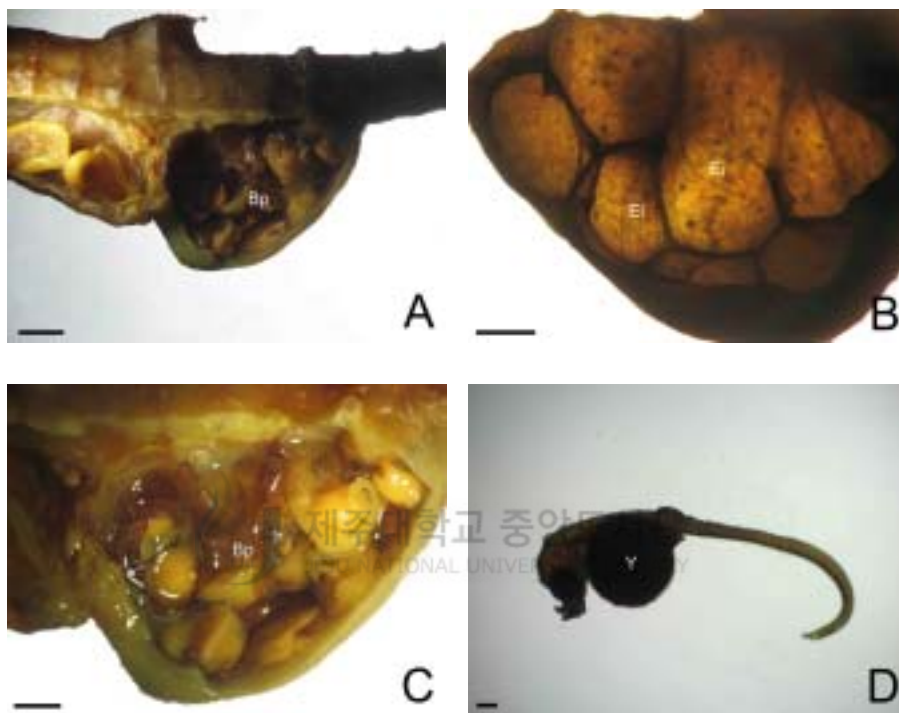


Fig. 16. Morphological features of brood pouch and larva in crowned seahorse *H. coronatus*. A, B and C, internal structure of brood pouch. D, larva in brood pouch before hatching. Bp, brood pouch; Ei, egg imprints; Y, yolk. Scale bars=500 μ m.

2) 개체군 구조

(1) 성비

왕관해마의 성어 427개체 중 보육낭을 갖고 있어 수컷으로 분류된 161개체(37.7%)의 전장범위는 53.91-99.84 mm (평균 68.12±9.74 mm)였고, 암컷은 266개체(62.3%)로 전장범위는 53.96-98.37 mm (평균 66.01±8.58 mm)였다(Table 8). 전개체수에 대한 수컷의 비율은 연별비교에서 차이가 인식되지 않았지만(Table 9, $P>0.05$), 월별비교에서는 유의차이가 있었다(Table 9, $P<0.001$). 자연서식처에서 해마의 성비(수컷:암컷)가 1:1 임을 가정할 때 2004년 7월과 8월에 성비는 1:0.3 그리고 1:0 로 1:1의 기대 성비를 적용할 수 없었고($P<0.05$), 전체적으로도 8 개월 동안 채집된 전 개체군의 성비는 1:1.65로 1:1의 기대 성비를 적용할 수 없었다(Table 10, $X^2=25.70$, $df=7$, $P<0.05$).



산호해마의 성어 190개체 중 수컷은 72개체(37.9%)로 전장범위는 44.90-93.56 mm (평균 61.58±12.44 mm)였고 암컷 118개체(62.1%)의 전장범위는 45.30-89.89 mm (평균 58.22±10.09 mm)였다(Table 8). 전개체수에 대한 수컷의 비율은 3년간 비교와 월별비교에서 유의차이가 없었다(Table 9, $P>0.05$). 이 종은 2003년 11월로 성비(수컷:암컷)가 1:10.0 로 1:1의 기대 성비를 적용할 수 없었지만($P<0.05$), 9개월 동안 채집된 전 개체군의 성비는 1:1.64로 1:1의 기대 성비를 적용할 수 있었다(Table 10, $X^2=11.14$, $df=8$, $P>0.05$).

(2) 임신개체

왕관해마 수컷 161개체 중 임신하여 번식활동에 참여하고 있는 개체는 33개체(20.5%)로 전장범위는 53.91-97.22 mm (평균 73.83±10.15 mm)였고,

평평한 보육낭을 갖고 있어 번식활동에 참여하고 있지 않은 128개체 (79.5%)의 전장범위는 54.30-99.84 mm (평균 66.32±8.98 mm)였다(Table 8). 임신 중인 개체와 임신하고 있지 않은 개체 비율은 3년간 비교에서 차이가 없었지만(Table 9, $P>0.05$), 월별로는 차이가 있었고(Table 9, $P<0.001$) 수컷 전 개체에 대한 임신한 개체의 비율은 7-11월 사이에서 7월에 0.73으로 가장 높았다($P<0.001$).

산호해마 수컷 중 임신한 16개체(22.2%)의 전장범위는 47.60-90.49 mm (평균 63.33±10.58 mm)범위였으며 번식활동에 참여하고 있지 않은 56개체 (77.8%)의 전장범위는 44.90-93.56 mm (평균 60.45±13.13 mm)였다(Table 8). 임신 중인 개체와 임신하고 있지 않은 개체의 비율은 연별과 월별로 차이가 없었다(Table 9, $P>0.05$).



Table 8. Mean standard length composition the life history stage, sexual and reproductive state of seahorses in sampling areas of Yeosu

Species	Sex		Reproductive state					
	Male		Female		Rounded pouch		Flat pouch	
	n	SL (mm) (Mean±SD)	n	SL (mm) (Mean±SD)	n	SL (mm) (Mean±SD)	n	SL (mm) (Mean±SD)
<i>H. coronatus</i>	161	65.53±11.23	266	60.59±12.09	33	73.83±10.15	128	66.32± 8.98
<i>H. mohnikei</i>	72	61.10±12.59	118	51.19±13.37	16	63.33±10.58	56	60.45±13.13

Table 9. Significance levels for chi-square test on effects of year, month on population structure of seahorses in sampling areas of Yeosu

Species	Source	Sex ratio			Reproductive state		
		df	X ²	P	df	X ²	P
<i>H. coronatus</i>	Year	2	3.473	P>0.05	2	2.508	P>0.05
	Month	4	25.614	P<0.001	4	28.02	P<0.001
<i>H. mohnikei</i>	Year	2	2.537	P>0.05	2	4.347	P>0.05
	Month	4	3.492	P>0.05	4	3.849	P>0.05

Table 10. Monthly sex ratio of seahorses in sampling areas of Yeosu

	<i>H. coronatus</i>				<i>H. mohnikei</i>					
	Males	Females	Total	Sex ratio	X ²	Males	Females	Total	Sex ratio	X ²
2003										
August	1	2	3	1:2	0.33	14	25	39	1:1.79	2.08
September	8	6	14	1:0.8	0.29	11	20	31	1:1.80	2.61
November	0	0	0	0	0	1	10	11	1:10.0	7.36*
2004										
April	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
July	21	7	28	1:0.3	7.00*	29	41	70	1:1.41	2.06
August	6	0	6	1:0	6.00*	6	4	10	1:0.67	0.40
September	63	111	174	1:1.8	13.24	5	8	13	1:1.60	0.69
October	23	56	79	1:2.4	13.78	4	6	10	1:1.50	0.40
November	16	32	48	1:2.0	5.33	1	1	2	1:1.00	0
2005										
September	23	52	75	1:2.3	11.21	1	3	4	1:3.00	1.00
Total	161	266	427	1:1.65	23.89*	72	118	190	1:1.64	11.14

*significant difference in sex ratio from the expected value of 1:1 ($\alpha = 0.05$)

3) 왕관해마

(1) 어미크기와 출산자어수와의 관계

어미의 출산 모습과 총 14 회 동안 출산에 참가한 어미 크기와 출산 자어수를 Table 11과 Fig. 17에 나타내었다. 출산은 보통 오전 5-10시에 이루어졌고 개체를 출산하는 간격은 2-8 분/10회로 불규칙하였다. 출산은 어미의 보육낭 입구가 열리면서 시작되었고(Fig. 17, A) 호흡수는 정상시 46-55회(평균 50.1 ± 2.9 회/10분)였던 것이 출산이 시작되면 호흡수는 79-91회(평균 84.9 ± 3.9 회/10분)로 급격히 빨라지면서 복부를 압박하며 새끼를 출산시키기 위해서 몸을 상하좌우로 비트는 출산동작을 하였다(Fig. 17, B), 어미는 5-7분 동안 꼬리를 기질에 감은 채 출산동작을 한 후 새끼의 머리부터 보육낭 밖으로 내보내기 시작하였다(Fig. 17, C). 이 시기에도 출산동작은 계속되었고 보통 보육낭이 열린 후 새끼는 1분 이내에 어미의 보육낭 밖으로 빠져나왔다(Fig. 17, D). 이후 기질에 붙어 정상적인 호흡활동을 하다가 2-8분 후 다시 출산동작을 반복하였다.

출산은 7-11월에 채집된 전장 53.91-87.31 mm (평균 77.76 ± 9.84 mm, $n=12$)의 범위 개체에서 이루어졌고 출산직전의 친어의 보육낭 길이(PL)는 7.01-12.97 mm (평균 10.62 ± 1.93 mm, $n=12$) 범위였고 보육낭 깊이(PD)는 4.66-8.40 mm (평균 6.63 ± 0.98 mm, $n=12$) 범위였으며 총 14회 동안의 평균 출산 개체수는 38.8개체였다(Table 11).

출산 개체수는 전장의 크기와는 상관없이 없었으나(Table 9, $P > 0.05$), PL과는 상관이 있었으며(Table 11, $P < 0.05$), PD와는 매우 높은 유의성을 나타내었다(Table 11, $P < 0.01$).

Table 11. Correlation between size of crowned seahorse *H. coronatus* adults and brood (*, P<0.05, **, P<0.01)

Number	Parturition date (2003-04)	Standard length (mm)	Pouch length (mm)	Pouch depth (mm)	Brood
1	Sep. 6	-	-	-	41
2	Nov. 26	-	-	-	6
3	Jul. 27	87.31	12.97	7.34	75
4	Jul. 27	80.77	12.86	7.24	61
5	Jul. 28	53.91	11.95	7.08	55
6	Jul. 29	84.55	7.01	6.29	35
7	Aug. 3	76.95	9.24	5.85	36
8	Aug. 5	79.00	12.83	8.40	55
9	Sep. 14	79.47	11.56	7.28	35
10	Oct. 6	84.79	10.12	5.68	12
11	Oct. 6	84.88	10.29	6.87	41
12	Oct. 10	85.37	10.08	7.05	52
13	Nov. 10	69.00	7.93	4.66	15
14	Nov. 15	67.25	10.64	5.86	24
Coefficient of correlation to brood		0.143	0.705*	0.803**	

- No investigated

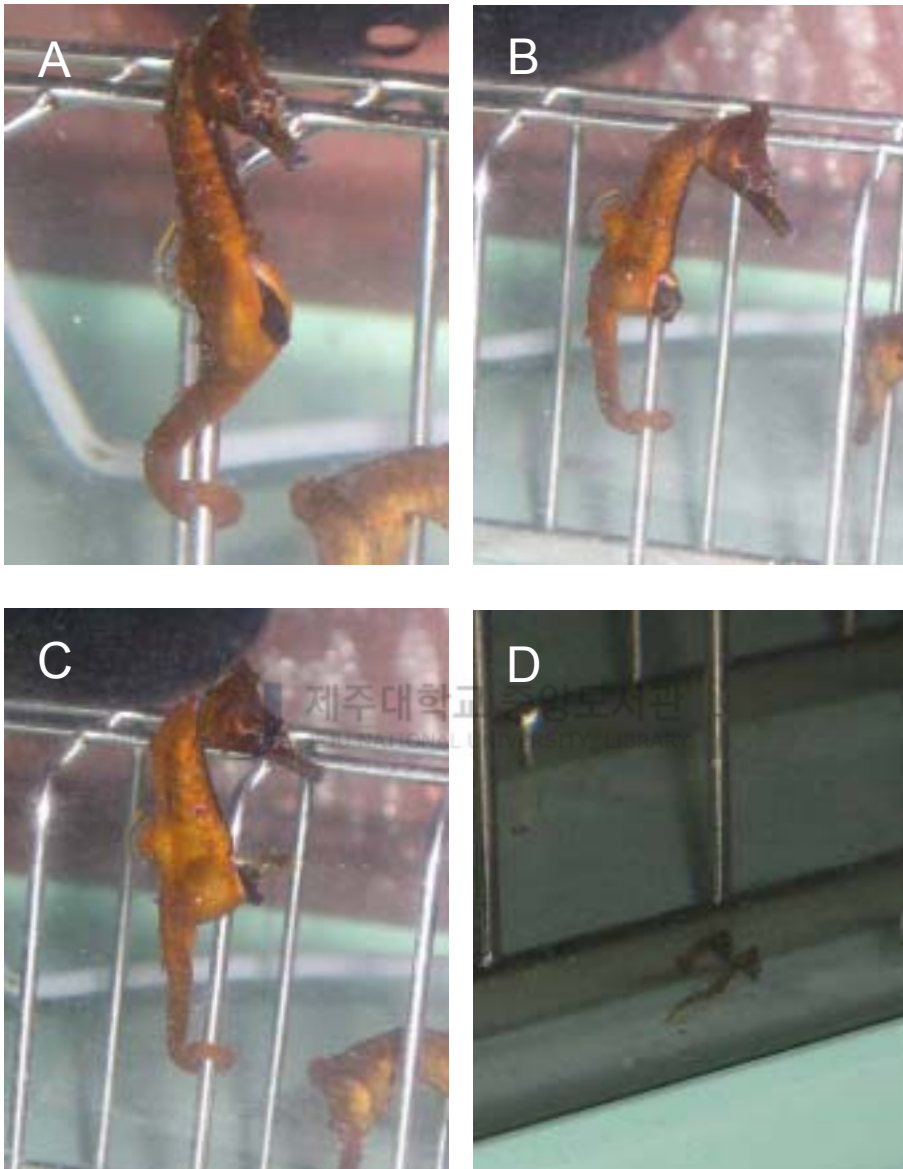


Fig. 17. Process parturition of crowned seahorse *H. coronatus*. A, open the entrance of brood pouch; B, start of parturition; C, juvenile's head come out of the brood pouch; D, juvenile just after parturition.

(2) 자어의 형태발달과 성장

① 형태발달

출산 직후 자어의 전장은 11.69-15.81 mm (평균 13.69±1.29 mm, n=15)로 점 형태의 색소포가 복부를 따라 착색이 진행되고 있었으며, 출산 직전의 자어와 비교해 보면 난황은 완전히 흡수된 상태였다. 두부에는 눈 위에 2개의 극이 눈 아래 1개의 극과 턱밑에 1개의 극이 발달되어 있었고 눈에는 흑색소포가 진하게 착색이 되어 있었고 체륜이 희미하게 형성되고 있었다. 이 시기 자어사육수조에 설치한 부착기질을 이용하지 않고 대부분 수조 중층을 유영하고 공급한 copepod (*Tigriopus* spp.)유생을 섭이하기 시작하였다(Figs. 18A, Fig. 19B, Table 12).

출산 후 1일째에는 전장은 12.28-16.72 mm (평균 14.48±1.38 mm, n=15)로 점 형태의 색소포가 뭉쳐져 오렌지색으로 착색이 진행되었으며 몸통에 1, 4, 7, 10번 체륜 주변부에 다갈색 띠를 형성하고 있었다. 4번 체륜극이 다른 극보다 날카롭게 발달되어 있었으며 꼬리에는 3, 5, 9, 14, 20번 체륜 주변부에 갈색띠가 형성되어 있었다. 이 시기의 자어는 부착기질을 이용하여 꼬리를 감고 생활하기 시작하였다(Figs. 18B, Fig. 19C, Table 12).

출산 후 4 일째에 자어의 전장은 12.68-18.00 mm (평균 14.98±1.62 mm, n=15)로 등지느러미, 가슴지느러미 그리고 뒷지느러미 줄기수가 각각 14, 12 그리고 4개로 어미의 줄기수와 동일하였다. 이시기의 해마 자어는 부착기질에 붙어 있다가 먹이생물들이 빛에 의해 몰려 있는 부분에 대부분의 개체가 이동하여 섭식활동을 활발히 하였다(Fig. 18C, Table 12).

출산 후 8일째에는 전장이 12.75-18.58 mm (평균, 15.40±1.64 mm, n=15)로 성장하였고 꼬리의 3, 5, 9, 14, 20번 체륜극이 다른 극보다 날카롭게 발달되어 있었으며 체색은 오렌지색에서 갈색으로 변하기 시작하였다(Fig. 18D, Table 12).

출산 후 10일째에는 전장이 12.69-19.02 mm (평균, 15.69±1.72 mm, n=15)로 성장하였고 외부형태는 성어와 거의 같은 형태로 발달하여 체륜이 뚜렷해져 몸통에 10개, 꼬리에 39개로 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다(Table 12).

출산 후 20일째 치어의 전장은 17.38-21.98 mm (평균, 18.55±1.69 mm, n=10)로 이 시기 꼬리에도 체륜극이 뚜렷해지고 강하게 발달하면서 안정적인 부착기질을 감고 있었다(Figs. 18E, Fig. 19D, Table 12).

출산 후 30일째에 치어의 전장은 17.30-21.97 mm (평균, 20.09±1.56 mm, n=10)로 성장하였으며 전장에 대한 두장, 동장 그리고 미장의 비율이 각각 18.1%, 24.0% 그리고 57.9%를 차지하고 있었고 갈색으로 형성되어 있었던 몸통의 1, 4, 7, 10번 체륜의 띠와 꼬리의 3, 5, 9, 14, 20번 체륜의 띠는 갈색에서 회색으로 변하였다(Fig. 18F, Table 12).

출산 후 40일째에 치어의 전장은 18.58-23.81 mm (평균, 21.82±1.69 mm, n=10)로 성장하였고 체륜과 체륜 사이에 굴곡이 뚜렷해지고 외형상으로 성어와 완전히 비슷한 형태로 발달하였으며 관에는 skin filament가 돌아 있었고 이 시기 주둥이 길이(snout length, SnL)는 1.20-1.87 mm (평균 1.63±0.21 mm, n=10)로 두장의 42.5±1.3%였다(Fig. 18G, Table 12).

출산 후 50일째 치어의 전장은 19.81-24.79 mm (평균, 23.11±1.52 mm, n=10)로 몸통의 4, 7번 체륜극과 꼬리의 9번 체륜극에도 skin filament가 돌아 있었고 몸 전체적으로 체색은 오렌지색이었다(Fig. 18H, Table 12).

출산 후 60일째 치어의 전장은 23.48-25.29 mm (평균, 24.65±0.83 mm, n=4)로 주둥이는 먹이를 강하게 흡입할 수 있을 정도로 발달하였다. 꼬리는 부착기질로 넣어준 나일론 끈을 휘감고 안정적으로 생활할 수 있을 만큼 발달하였으며 이 시기 유영능력이 더욱 향상되어 먹이에 민첩하게 반응하며 섭이활동을 하였다. 이 시기 전장에 대한 두장, 동장 그리고 미장의

비율은 각각 17.6%, 25.7% 그리고 56.7%를 차지하고 있었으며 SnL는 1.76-1.88 mm (평균, 1.82 ± 0.06 mm, $n=4$)로 HL/SnL 2.39 ± 0.07 이었다(Fig. 18I, Table 12).

이상과 같이 60일 동안 해마 자어의 일령(age)과 전장(SL)과의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있었고

$$SL \text{ (standard length)} = 14.18 + 0.18\text{age} \text{ (} r^2 = 0.9893 \text{),}$$

일간성장률은 0.18 mm/일 이었다.



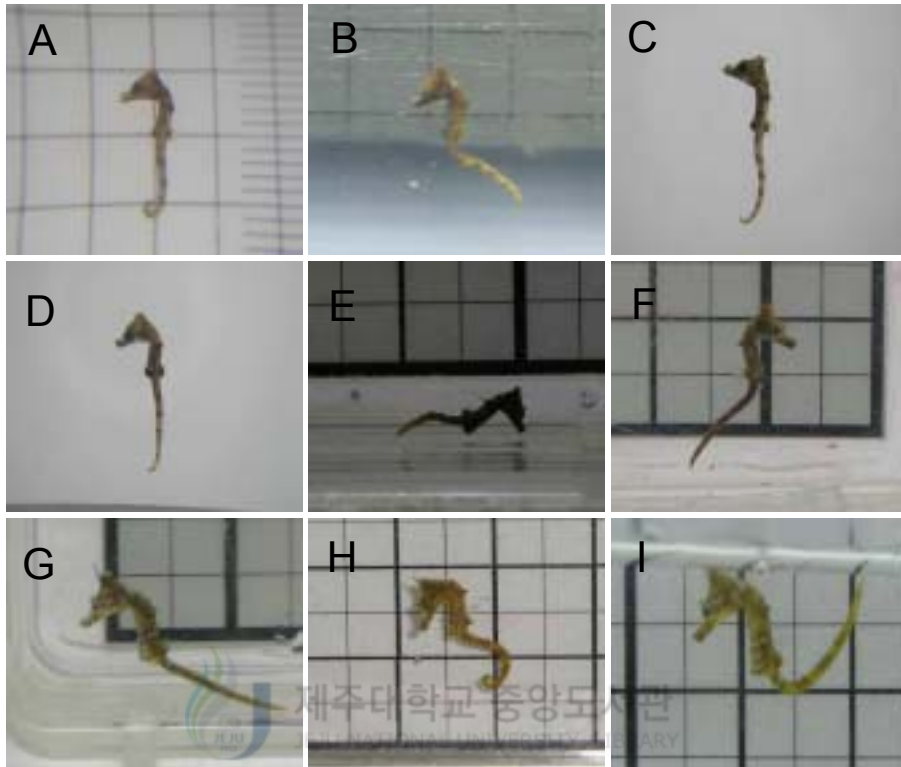


Fig. 18. Juvenile development of crowned seahorse *H. coronatus* reared for 60 days after parturition.

A, juvenile just after parturition, 13.69 ± 1.29 (n=15) SL;

B, juvenile 1 day after parturition, 14.48 ± 1.38 mm (n=15) SL;

C, juvenile 4 days after parturition, 14.98 ± 1.62 mm (n=15) SL;

D, juvenile 8 days after parturition, 15.40 ± 1.64 mm (n=15) SL;

E, juvenile 20 days after parturition, 18.55 ± 1.69 mm (n=10) SL;

F, juvenile 30 days after parturition, 20.09 ± 1.56 mm (n=10) SL;

G, juvenile 40 days after parturition, 21.82 ± 1.69 mm (n=10) SL;

H, juvenile 50 days after parturition, 23.11 ± 1.52 mm (n=10) SL;

I, juvenile 60 days after parturition, 24.65 ± 0.83 mm (n=4) SL.

One quadrille scale=0.5 cm.

Table 12. Growth of head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail Length (Tal) in *H. coronatus* larvae during the 60 days after parturition

Age (Day)	Number of larvae	HL (mm) (Mean±SD)	CH (mm) (Mean±SD)	TrL (mm) (Mean±SD)	Tal (mm) (Mean±SD)	SL (mm) (Mean±SD)
0	15	2.54±0.20	1.40±0.20	3.68±0.64	7.48±0.96	13.69±1.29
1	15	2.70±0.39	1.36±0.36	3.29±0.43	8.49±0.95	14.48±1.38
4	15	2.61±0.29	1.21±0.10	3.38±0.46	9.00±0.96	14.98±1.62
8	15	2.74±0.25	1.38±0.23	3.46±0.45	9.21±1.04	15.40±1.64
10	15	2.74±0.38	1.53±0.19	3.81±0.51	9.13±0.94	15.69±1.72
20	10	3.21±0.47	1.69±0.29	4.68±0.94	10.67±1.10	18.55±1.69
30	10	3.63±0.15	1.82±0.28	4.83±0.59	11.63±0.84	20.09±1.56
40	10	3.84±0.48	2.15±0.38	5.62±0.32	12.37±1.32	21.82±1.69
50	10	3.94±0.41	2.36±0.29	5.91±0.40	13.26±0.98	23.11±1.52
60	4	4.35±0.05	2.46±0.05	6.33±0.27	13.96±0.53	24.65±0.83

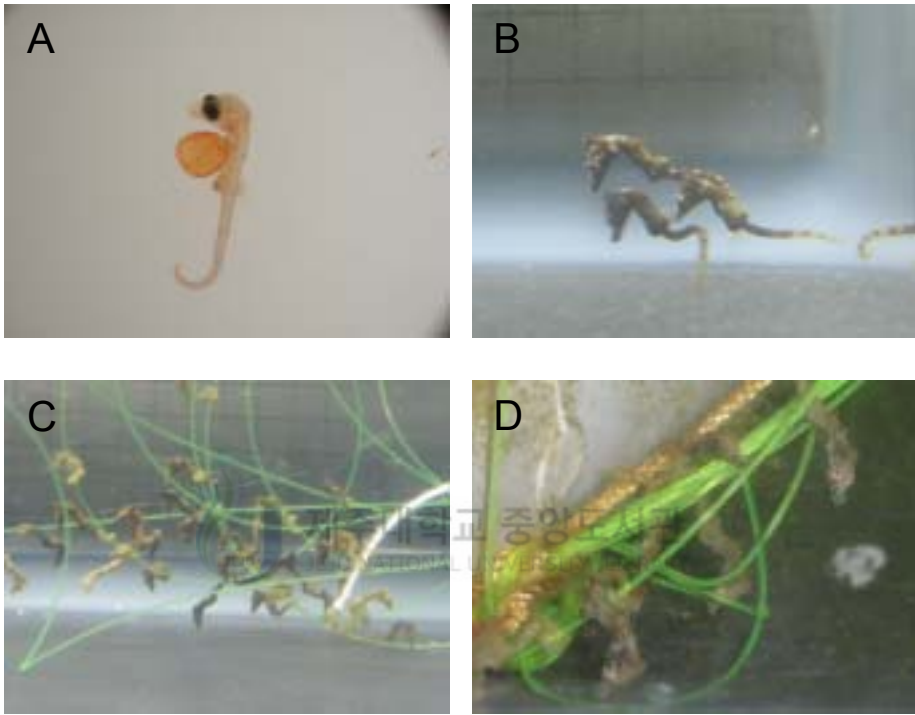


Fig. 19. Changes of morphology and behaviour of juveniles on crowned seahorse *H. coronatus*. A, juvenile just before parturition; B, juveniles 1 day after parturition; C, juveniles 2 days after parturition; D, juveniles 20 days after parturition.

② 부위별 성장

출산 직후 자어의 두장은 2.19-2.90 mm (2.54 ± 0.20 mm, n=15)이고 60일째 자어는 4.32-4.42 mm (4.35 ± 0.05 , n=4)로 Fig. 20에 나타낸 것과 같다. 이때에 일령(age)과 두장(HL)과의 관계는 $HL = 2.26 + 0.03age$ ($r^2 = 0.975$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고, 일간성장률은 0.03 mm/일 이었다.

출산 직후 관고는 1.01-1.69 mm (1.40 ± 0.22 mm, n=15)이고 60일째 2.38-2.49 mm (2.46 ± 0.05 mm, n=4)로 성장하여, 이 기간 중의 일령(age)과 관고(CH)와의 관계는 $CH = 1.16 + 0.02age$ ($r^2 = 0.9803$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.02 mm/일 이었다(Fig. 20).

출산 직후 동장은 3.11-4.79 mm (mean 3.68 ± 0.65 mm, n=15)이었고 60일째 5.95-6.57 mm (6.33 ± 0.27 mm, n=15)로 성장하였고, 이 기간 중의 일령(age)과 동장(TrL)과의 관계는 $TrL = 3.11 + 0.05age$ ($r^2 = 0.9763$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.05 mm/일 이었다(Fig. 20).

미장은 출산 직후 6.01-9.46 mm (7.48 ± 0.96 mm, n=15)에서 60일째 13.21-14.38 mm (13.96 ± 0.53 mm, n=4)로 변화하였고, 이 기간 중의 일령(age)과 미장(TaL)과의 관계는 $TaL = 7.01 + 0.11age$ ($r^2 = 0.9702$)로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.11 mm/일 이었다(Fig. 20).

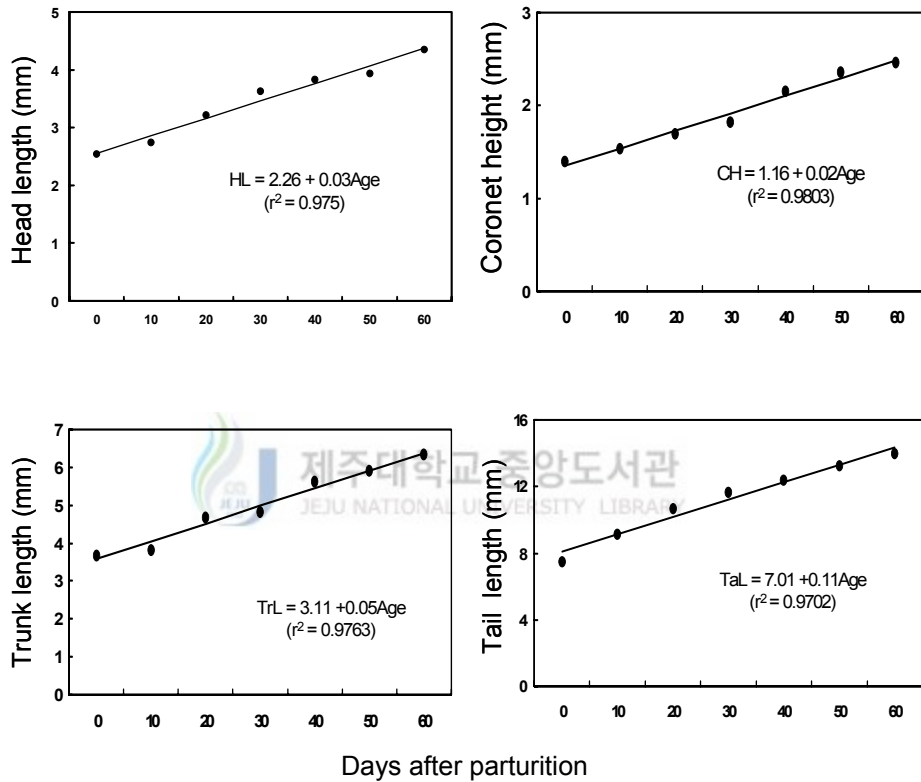


Fig. 20. Growth of head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail length (TaL) of crowned seahorse *H. coronatus* for 60 days after parturition.

③ 상대성장

출산 직후부터 60일까지의 자어의 전장(SL)에 대한 두장(HL), 판고(CH), 동장(TrL) 그리고 미장(TaL)의 상대성장은 각각 $HL = 0.1652SL + 0.2152$ ($r^2 = 0.9739$), $CH = 0.102SL - 0.0889$ ($r^2 = 0.9484$), $TrL = 0.2565SL - 0.0616$ ($r^2 = 0.9793$) 그리고 $TaL = 0.5807SL - 0.2014$ ($r^2 = 0.9891$)의 회귀 직선식으로 나타낼 수 있었다(Fig. 21).



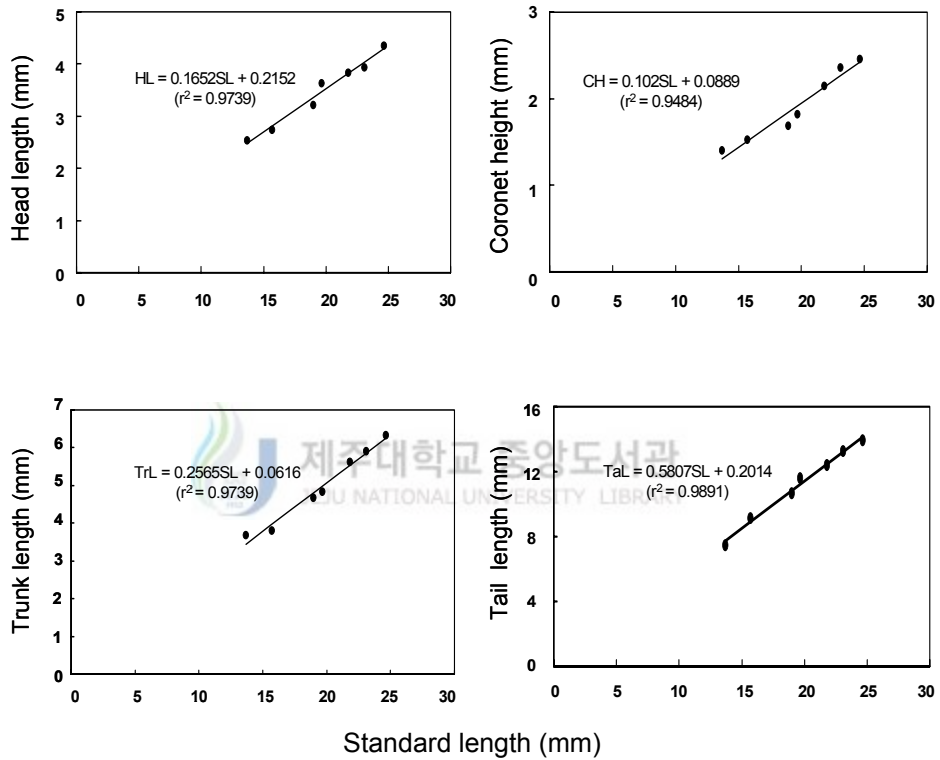


Fig. 21. Relationship between head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail length (TaL) against standard length (SL) of crowned seahorse *H. coronatus* for 60 days after parturition.

(3) Copepod와 *Artemia* 포식량

출산 후 5일째 자어를 대상으로 copepod 유생과 *Artemia* 유생의 포식량을 조사한 결과는 Fig. 22와 같다. 해마자어 1개체가 12시간 동안 섭식한 copepod 개체수는 254 개체로 시간당 포식량은 평균 21개체였고 실험시작 후 2시간동안 포식량은 시간당 31개체로 가장 많은 개체를 섭식하였다 ($P < 0.05$). 해마자어 1개체가 12 시간동안 섭식한 *Artemia* 유생의 개체수는 31개체로 시간당 포식량은 평균 3개체였고 실험시작 후 6시간동안 포식량은 시간당 3개체를 포식하여 이후 6시간 보다 포식량이 많았다 ($P < 0.05$).

출산 후 30일째 자어를 대상으로 copepod 유생과 *Artemia* 유생의 포식량을 조사한 결과는 Fig. 23과 같다. 해마자어 1개체가 12시간동안 섭식한 copepod 유생의 개체수는 62개체로 시간당 포식량은 평균 5개체였고 시간대별 평균 포식량의 유의차이는 없었다 ($P > 0.05$). *Artemia* 유생에 대한 12시간동안의 포식량은 107개체로 시간당 포식량은 평균 9개체였고 실험시작 2-4 시간 사이에 14개체로 가장 많았다 ($P < 0.05$).

출산 후 5일과 30일의 포식량 비교에서 copepod 유생의 포식량은 출산 후 5일째 보다 출산 후 30일 째에는 포식량이 줄어들었고 ($P < 0.05$) 이와는 반대로 *Artemia* 유생의 포식량은 출산 후 5일째 보다 출산 후 30일째에 늘어나는 경향이 있었다 ($P < 0.05$).

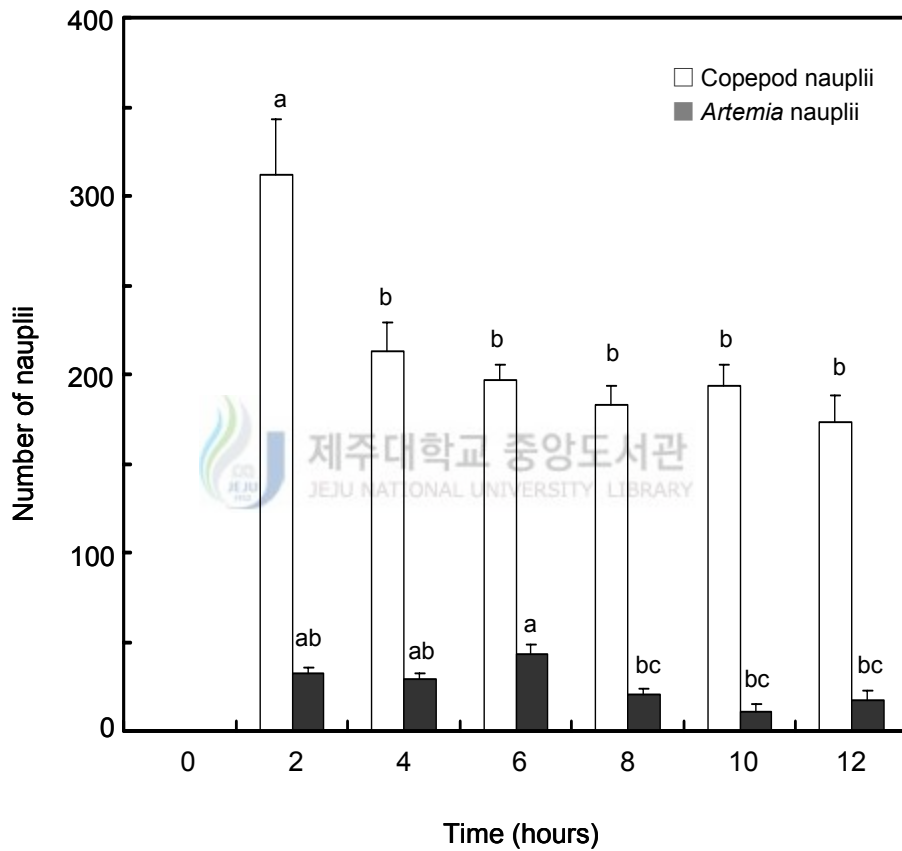


Fig. 22. Predation individuals by 5 days old juveniles in crowned seahorse *H. coronatus* (n=5) on copepod and *Artemia*.

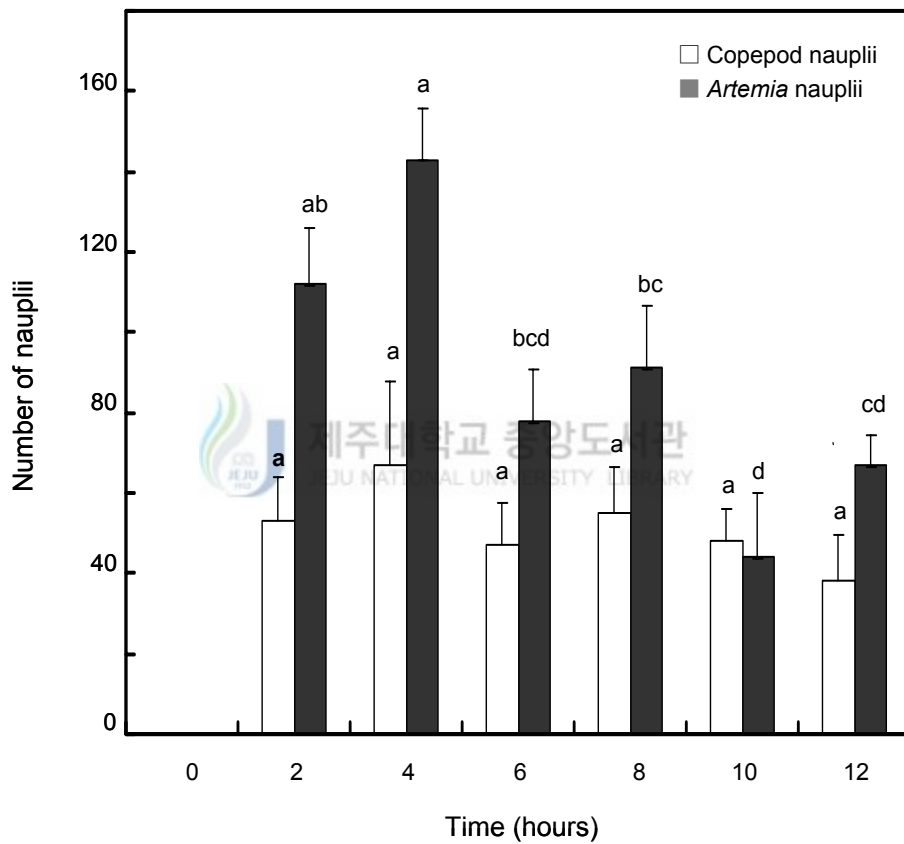


Fig. 23. Predation individuals by 30 days old juveniles in crowned seahorse *H. coronatus* (n=5) on copepod and *Artemia*.

(4) 먹이 공급방법에 따른 생존

해마 자·치어의 먹이 공급방법을 달리한 실험구의 생존율을 Fig. 24에 나타내었다. 각 실험구별 생존율은 출산 후 5일째 실험구 A에서 75.6%로 가장 낮았으며($P < 0.05$) B, C 그리고 D에서 각각 93.3, 93.3 그리고 95.6%로 비슷한 경향이였다($P > 0.05$). 부화 후 14일째, 영양강화한 *Artemia* 유생을 공통적으로 공급한 A와 B의 생존율에 차이가 없었으며($P > 0.05$), copepod 유생을 공통적으로 공급한 C와 D 사이에도 생존율의 차이는 없었으나($P > 0.05$) A, B 실험구와 C, D 실험구 사이에는 유의한 차이가 있었다($P < 0.05$). 이후 A와 B에서는 출산 25일과 30일째 전량 폐사하였다. 실험구 C에서는 출산 후 35부터 급격히 생존율이 저하되어 출산 후 44일째부터 D와 차이를 보이기 시작하였고($P < 0.05$) 출산 후 47일째 전량 폐사하였으나 실험구 D에서는 완만한 감소세를 보이며 출산 후 50일째에 생존율이 48.9%였다(Fig. 24).



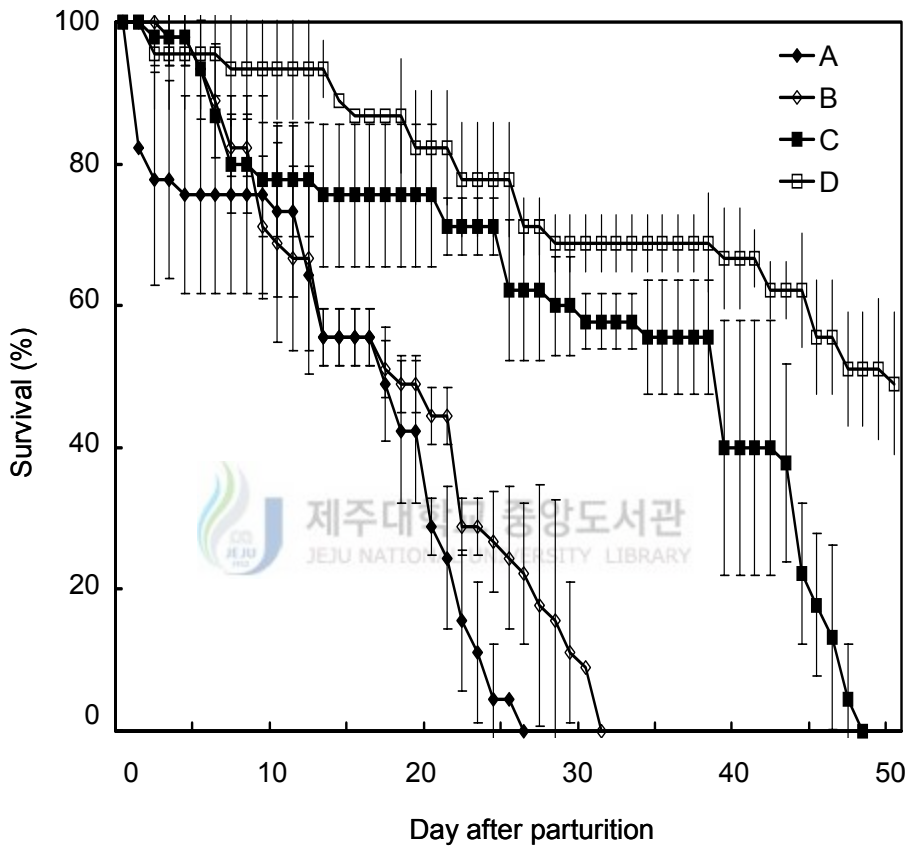


Fig. 24. Survival of juveniles in crowned seahorse *H. coronatus* reared on 4 feeding regimes (\pm SD). A, *Artemia* nauplii; B, *Artemia* nauplii + copepod adult; C, copepod adult + copepod nauplii; D, *Artemia* nauplii + copepod nauplii.

2) Barbour's seahorse

(1) 자어의 형태발달과 성장

① 형태발달

출산 후 1일째 자어는 전장이 8.82-10.36 mm (평균 9.48 ± 0.69 mm, $n=4$)로 체표에는 점 형태로 색소포의 착색이 진행되고 있었으며 등지느러미, 가슴지느러미 그리고 뒷지느러미 줄기 수는 각각 17, 14 그리고 4개로 형성되어 있었다. 눈은 흑색소포가 진하게 착색 되어 있었고 등을 따라 체륜이 뚜렷해지는 양상으로 몸통에 형성된 4, 7, 10번째 체륜극이 등 쪽에 돌출되고 주변부위에서 다른 극보다 흑색소포가 진하게 분포하고 있었다. 꼬리에는 3, 6, 8, 10, 12번째 체륜이 뚜렷해지며 체륜극이 등 쪽에 돌출되어 있었고 흑색소포 또한 진하게 분포하고 있었으며 배 쪽의 체륜이 희미하게 형성되고 있었지만 극이 나타나 있지는 않았다. 이 시기에 난황은 완전히 흡수된 상태였다(Fig. 25, A).

출산 후 4일째 자어는 전장이 9.32-11.22 mm (평균 9.98 ± 0.63 mm, $n=7$)로 점 형태의 색소포는 몸 전체로 고르게 퍼져 착색이 농후하게 진행되고 있는 반면 주둥이와 아래턱 주변 부위는 착색이 진행되고 있지 않은 상태였다(Fig. 25, B).

출산 후 8일째 자어는 전장이 9.17-12.59 mm (평균 10.72 ± 1.45 mm, $n=4$)로 이 시기 두장은 출산 후 4일째 체장의 22.4%에서 27.4%로 급격히 성장하였다. 색소포의 분포는 주둥이 부위에도 착색이 되고 있었으며 아래턱 주변부위는 착색이 더디게 진행되고 있었다. 체륜극의 발달은 몸통의 4, 7, 10번의 체륜극이 배 쪽에도 돌출 되어 있었으며 미부의 3, 6, 8, 10, 12번째의 체륜극도 배 쪽에 돌출되기 시작하였다(Fig. 25, C).

출산 후 12일째 자어는 전장이 10.29-11.73 mm (평균 11.35 ± 0.71 mm,

n=4)로 이 시기까지 점 형태의 색소포가 많아지던 형태는 몸 전체에서 뭉쳐져 체색을 띄기 시작했고 체륜극에는 높낮이의 차이가 있지만 모두 돌출되어 있었고 이때 체륜은 몸통에 11, 꼬리에 35개가 형성되어 있었다(Fig. 25, D).

출산 후 16일째 치어는 전장이 12.33-13.91 mm (평균 13.01±0.75 mm, n=4)로 체륜의 골판이 발달되었고 체색은 길기가 더욱 농후해지고 머리는 둥근 타원형에서 정수리 부분이 위로 신장되어 삼각형의 형태로 발달하였다. 체륜극은 이전단계의 몸을 중심으로 중심선에 직각으로 돌아 있는 삼각형의 형태에서 극의 끝이 70-45° 아랫방향으로 날카롭게 휘어지는 갈고리 형태로 발달되어 있었다(Fig. 25, E).

출산 후 20일째 치어는 전장이 14.37-15.79 mm (평균 14.97±0.62 mm, n=4)로 주둥이가 가늘고 길어졌으며 체색은 아래턱 주변부위에도 완전히 착색되어 성어와 거의 비슷한 체색과 체형을 갖추었으며 꼬리의 14번째 체륜극도 발달하기 시작했다(Fig. 25, F).

출산 후 24일째 치어는 전장이 17.77-19.90 mm (평균 18.60±0.94 mm, n=4)로 골판이 더욱 더 단단해진 형태였고 몸통부위의 수직 중심선에 따라 극이 강하게 발달되어 있었으며 꼬리부분에도 체륜의 굴곡이 심해져 있는 상태였다(Fig. 25, G).

출산 후 28일째 치어는 전장이 17.30-20.96 mm (평균 18.60±1.65 mm, n=4)로 꼬리의 길이가 체장의 48.8%까지 신장되어 있었고 외부형태변화는 없었다(Fig. 25, H).

출산 후 32일째 치어는 전장이 19.49-22.01 mm (평균 20.59±1.06 mm, n=4)로 눈을 중심으로 아가미 덮개에 9개의 줄이 방사형으로 형성되어 있었고 복부 쪽에도 체륜극이 강하게 발달되어 있었다(Fig. 26, A).

출산 후 36일째 치어는 전장이 16.56-24.68 mm (평균 21.94±3.12 mm,

n=5)로 얇게 길어졌던 주둥이는 두꺼워지고 강하게 발달하였으며 꼬리도 두껍고 안정적인 형태로 발달되어 있었다(Fig. 26, B).

출산 후 39일째 치어는 전장이 19.39-24.72 mm (평균 22.39±2.02 mm, n=5)로 눈 주위의 극이 강하게 발달되어 있었고 아가미 덮개부분에는 눈을 중심으로 13개의 줄이 방사형으로 형성되었고 거미줄처럼 가는 줄로 연결되어 있었다. 미부의 18번째 체륜극이 강하게 발달되어 있었다(Fig. 26, C).

출산 후 41일째 치어는 전장이 20.14-24.89 mm (평균 22.89±2.22 mm, n=4)로 머리의 극은 원통형으로 굽어지고 끝에서 여러 개의 돌기가 돌아서 관의 모양으로 발달되고 있었다(Fig. 26, D).

출산 후 82일째 치어는 전장이 37.54-45.11 mm (평균 40.51±4.04 mm, n=3)로 꼬리의 길이가 체장의 51.5%까지 신장되어 있었고 머리의 관은 완전히 발달하여 왕관의 모양을 형성하고 있었으며 주둥이는 먹이를 강하게 흡입할 수 있을 만큼 두레가 두꺼워졌고 체륜과 체륜 사이에 굴곡이 뚜렷해지고 몸 전체의 체륜극은 강하게 발달되어 완전한 성어의 형태로 발달되었다(Fig. 26, E).

출산 후 97일째 치어는 전장이 41.81-42.26 mm (평균 42.07±0.23 mm, n=3)로 이 시기 몸 전체의 체륜극은 길고 날카롭게 발달되고 있었다(Fig. 26, F).

출산 후 145일째 치어는 52.65-57.22 mm (평균 54.55±2.38 mm, n=3)까지 성장하였고(Fig. 22G), 출산 후 158일째 치어는 59.07-63.76 mm (평균 61.42±3.32 mm, n=2)로 두장이 체장의 19.1%, 동장이 25.2% 그리고 미장은 55.7%였다(Fig. 26, H).

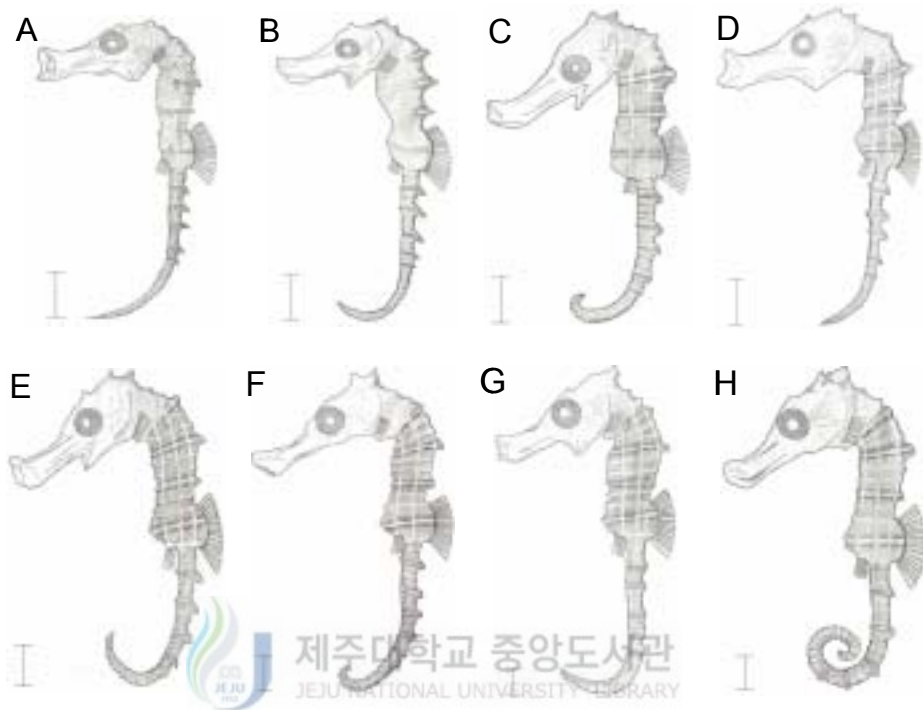


Fig. 25. Morphological development of barbour's seahorse *H. barbouri* from 1 day after parturition to 28 days after parturition.

A, 1 day after parturition, 9.48 ± 0.69 mm (n=4) SL;
 B, 4 days after parturition, 9.98 ± 0.63 mm (n=7) SL;
 C, 8 days after parturition, 10.72 ± 1.45 mm (n=4) SL;
 D, 12 days after parturition, 11.35 ± 0.71 mm (n=4) SL;
 E, 16 days after parturition, 13.01 ± 0.75 mm (n=4) SL;
 F, 20 days after parturition, 14.97 ± 0.62 mm (n=4) SL;
 G, 24 days after parturition, 18.60 ± 0.94 mm (n=4) SL;
 H: 28 days after parturition, 18.60 ± 1.65 mm (n=4) SL.
 Scale bars=1 mm.

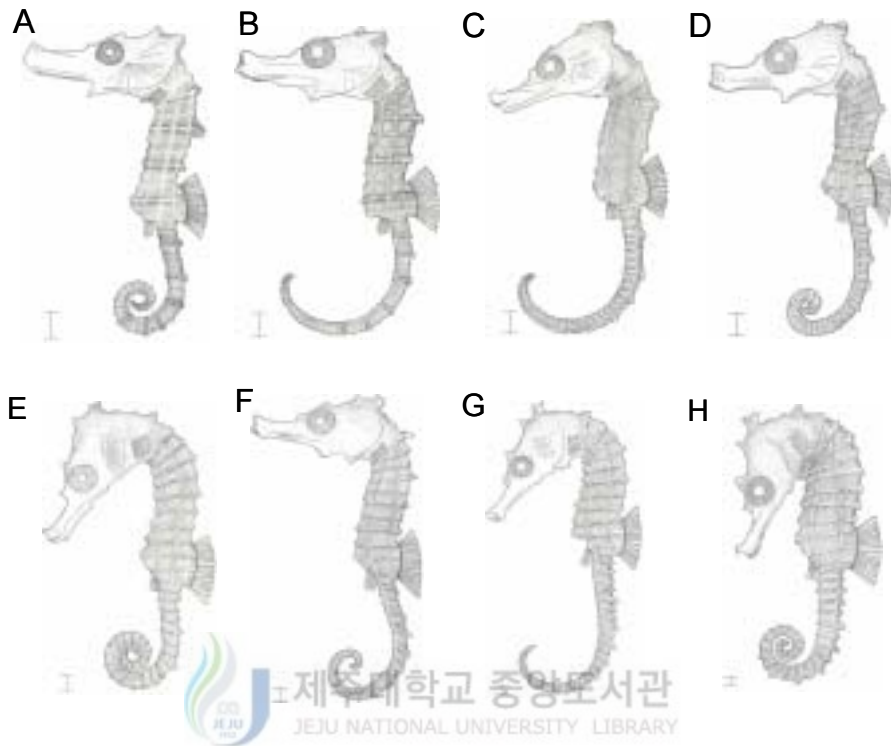


Fig 26. Morphological developments of barbour's seahorse *H. barbouri* from 32 days after parturition to 158 days after parturition.

A, 32 day after parturition, 20.59 ± 1.06 mm (n=4) SL;

B, 36 days after parturition, 21.94 ± 3.12 mm (n=5) SL;

C, 39 days after parturition, 22.39 ± 2.02 mm (n=5) SL;

D, 41 days after parturition, 22.89 ± 2.22 mm (n=4) SL;

E, 82 days after parturition, 40.51 ± 4.04 mm (n=3) SL;

F, 97 days after parturition, 42.07 ± 0.23 mm (n=3) SL;

G, 145 days after parturition, 54.55 ± 2.38 mm (n=3) SL;

H, 158 days after parturition, 61.42 ± 3.32 mm (n=2) SL.

Scale bars=1 mm.

② 자·치어의 성장

2005년 5월 8일 출산 후 2005년 10월 18일까지 158일 동안 해마자·치어의 전장과 체중(wet weight, WW)의 변화는 Fig. 27과 같이 두 단계로 뚜렷하게 구분 가능하였다. 전장과 체중 모두 41일령까지는 아주 완만한 성장 추세를 보였으나 41일령 이후부터는 매우 급격한 전장과 체중의 빠른 성장을 볼 수 있었다(Fig. 27).

출산 후 1일째 해마자어의 전장은 8.82-10.36 mm (9.48 ± 0.69 mm, n=4)이고 출산 후 41일째에 치어는 20.14-24.89 mm (22.89 ± 2.22 mm, n=4)로 이 기간에는 일령(age)과 전장(SL)과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.37 mm/일 이었다(Fig. 27).

$$SL \text{ (standard length)} = 8.13 + 0.37age \text{ (} r^2 = 0.9729 \text{)}$$



출산 후 1일째 WW은 0.0025-0.0031 g (0.0028 ± 0.0004 g, n=4)였고 출산 후 41일째 치어는 0.0235-0.0285 g (0.0260 ± 0.0035 g, n=4)으로 이 기간 자·자어의 일령(age)과 WW (g)와의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.0007 g/일 이었다(Fig. 27).

$$WW \text{ (wet weight)} = - 0.0015 + 0.0007age \text{ (} r^2 = 0.9351 \text{)}$$

출산 후 41일째 치어는 전장 20.14-24.89 mm(22.89 ± 2.22 mm, n=4)에서 출산 후 158일에 치어는 59.07-63.76 mm (61.42 ± 3.31 mm, n=2)로 이 기간 해마 치어의 일령(age)과 전장(SL)과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.27 mm/일 이었다(Fig. 27).

$$SL \text{ (standard length)} = 12.18 + 0.31age \text{ (} r^2 = 0.9787 \text{)}$$

출산 후 41일째 치어는 0.0235-0.0285 g (0.0260±0.0035 g, n=4)이고 출산 후 158일에 치어는 0.3037-0.3319 g (0.3178±0.0199 g, n=2)로 이 기간 해마 치어의 일령(age)과 WW (g)와의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.0027 g/일 이었다(Fig. 27).

$$WW \text{ (wet weight)} = - 0.0863 + 0.0024age \text{ (} r^2 = 0.9775 \text{)}$$



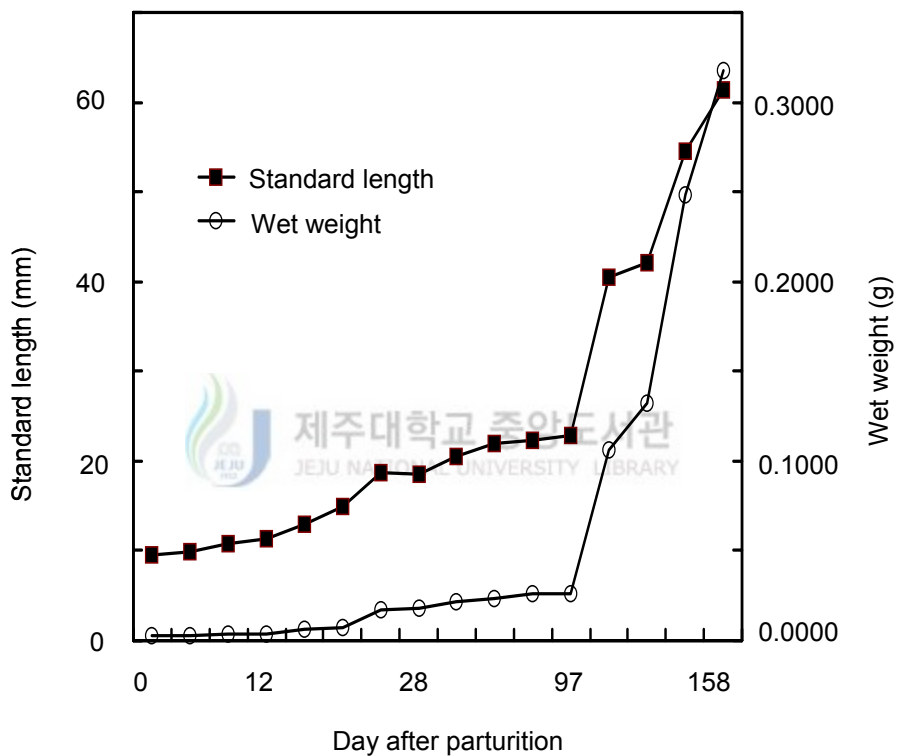


Fig. 27. Growth of standard length and wet weight of barbour's seahorse *H. barbouri* for 158 days after parturition.

③ 부위별 성장

출산 후 1일째 자어의 두장은 1.91-2.65 mm (2.21 ± 0.35 mm, n=4)이고 41일째 자어는 4.87-5.17 mm (5.02 ± 0.14 , n=4)로 Fig. 28에 나타낸 것과 같으며, 이 기간 일령(age)과 두장(HL)과의 관계는 $HL = 2.19 + 0.07age$ ($r^2 = 0.953$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고, 일간성장률은 0.07 mm/일이었다. 그리고 출산 후 158일째 치어의 두장은 11.43-11.98 mm (11.71 ± 0.39 mm, n=2)로 성장하여 양성단계인 출산 후 41일부터 158일까지 일령(age)과 두장(HL)과의 관계는 $HL = 3.19 + 0.06age$ ($r^2 = 0.9743$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 이 기간 일간성장률은 0.06 mm/일 이었다(Fig. 28).

출산 후 1일째 관고는 0.40-0.46 mm (0.43 ± 0.25 mm, n=4)이고 41일째 1.69-1.82 mm (1.76 ± 0.09 mm, n=4)로 성장하여이 기간 일령(age)과 관고(CH)와의 관계는 $CH = 0.38 + 0.04age$ ($r^2 = 0.9812$)로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.04 mm/일 이었다. 출산 후 158일째 치어는 5.30-5.46 mm (5.38 ± 0.12 mm, n=2)로 성장하였고(Fig. 28), 출산 후 41일부터 158일까지의 일령(age)과 관고(CH)와의 관계는 $CH = 0.61 + 0.03age$ ($r^2 = 0.9295$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.03 mm/일 이었다(Fig. 28) .

출산 후 1일째 동장은 2.04-3.71 mm (mean 2.86 ± 0.87 mm, n=4)이었고 41일째 4.63-8.07 mm (6.50 ± 1.48 mm, n=4)로 성장하였고 이 기간 일령(age)과 동장(TrL)과의 관계는 $TrL = 2.64 + 0.10age$ ($r^2 = 0.9633$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.10 mm/일 이었다. 출산 후 158일에 치어는 동장이 14.59-16.34 mm (15.47 ± 1.24 mm, n=2)로 성장하여(Fig. 28), 출산 후 41일 이후부터 158일까지 일령(age)과 동장(TrL)과의 관계는 $TrL = 4.18 + 0.08age$ ($r^2 = 0.9501$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수

있었으며 일간성장률은 0.08 mm/일 이었다(Fig. 28).

미장은 출산 후 1일째 3.66-5.05 mm (4.41 ± 0.62 mm, n=4)에서 41일째 9.80-13.41 mm (11.38 ± 1.55 mm, n=4)로 변화하였고, 이 기간 일령(age)과 미장(TaL)과의 관계는 $TaL = 3.31 + 0.20age$ ($r^2 = 0.9594$)로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.20 mm/일 이었다. 출산 후 158일 치어는 TaL 33.05-35.44 mm (34.25 ± 1.69 mm, n=2)로 성장하여(Fig. 28), 출산 후 41일 부터 158일까지의 일령(age)과 미장(TaL)과의 관계는 $TaL = 4.81 + 0.18age$ ($r^2 = 0.9579$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.18 mm/일 이었다(Fig. 28).



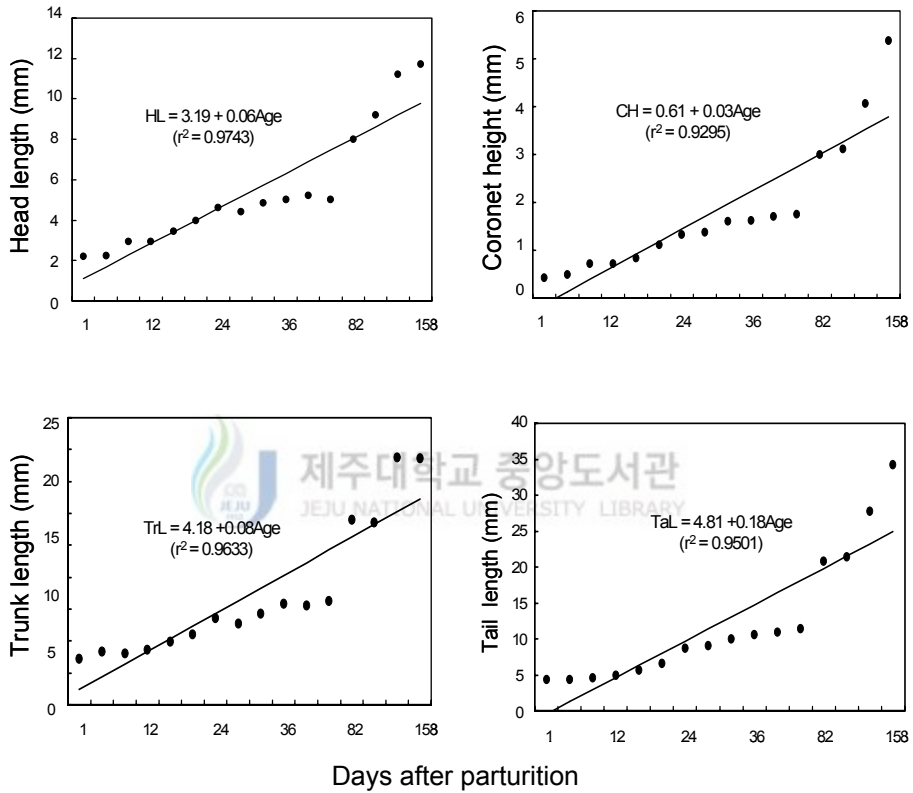


Fig. 28. Growth of head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail length (TaL) of barbour's seahorse *H. barbouri* for 158 days after parturition.

④ 상대성장

출산 후 1일째부터 158까지의 자어의 전장(SL)에 대한 두장(HL), 관고(CH), 동장(TrL) 그리고 미장(TaL)의 상대성장은 각각 $HL = 0.184SL + 0.9237$ ($r^2 = 0.9889$), $CH = 0.0849SL - 0.2576$ ($r^2 = 0.9855$), $TrL = 0.2594SL + 0.5437$ ($r^2 = 0.9916$) 그리고 $TaL = 0.5566SL - 1.4621$ ($r^2 = 0.9962$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었다(Fig. 29).



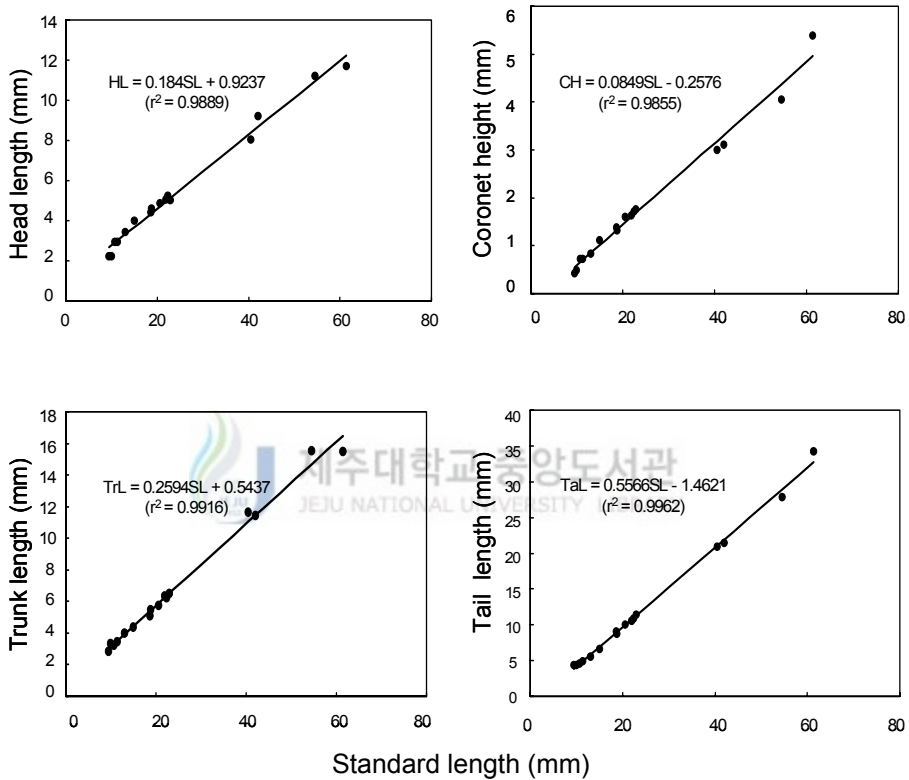


Fig. 29. Relationship between head length (HL), coronet height (CH), trunk length (TrL) and tail length (TaL) against standard length (SL) of barbour's seahorse *H. barbouri* for 158 days after parturition.

(2) 생존

해마 자어의 생존율은 출산 후 36일째까지 85.7%로서 높았으나 형태적 발달과 성장이 빠르게 진행되는 39일 전후에 57.1%로 크게 감소하였고 이후 폐사가 더 진행되어 출산 후 145일째에는 15.6%였다(Fig. 30).



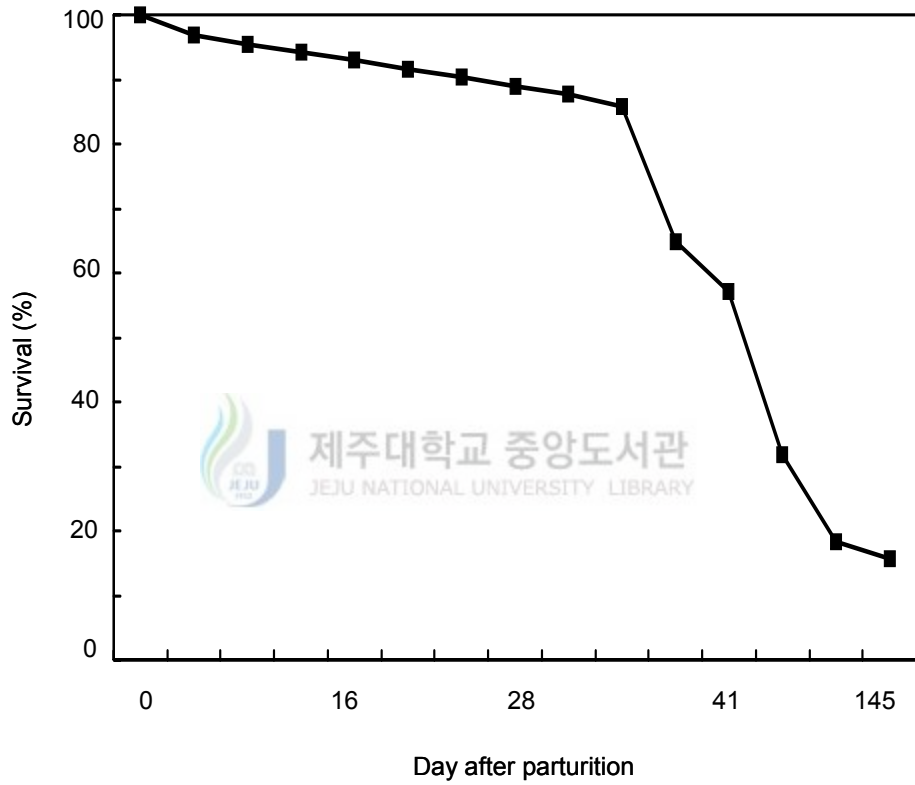


Fig. 30. Survival rate of barbour's seahorse *H. barbouri* for 145 days after parturition.

3. 고찰

자연생태계의 대부분의 해마들은 암수가 1:1의 비로 관찰된다(Dauwe, 1993; Perante et al., 2002; Vincent and Sadler, 1995). 버지니아의 Chesapeake만에서, 새우 트롤로 포획한 Lined seahorse *H. erectus*의 전 개체 중 수컷의 비율이 0.40(Teixeira and Musick, 2001), 플로리다 연안에서 pushnet으로 포획한 Dwarf seahorse 개체군에 있어서 수컷의 비율은 0.33이었다(Strawn, 1958). 이 연구에서 왕관해마의 성비는 3년간의 연별 비교에서는 차이가 없었지만($P>0.05$), 월별 암수 비율에는 차이가 있었다($P<0.001$). 해마개체군의 수컷과 암컷의 비가 1:1임을 가정할 때 2004년 7월과 8월로 성비는 1:0.3 그리고 1:0 으로 1:1의 성비 기대치를 적용할 수 없었고($P<0.05$), 8 개월 동안 채집된 전 개체군의 성비는 1:1.65로 나타났다(Table 5, $X^2=25.70$, $df=7$, $P<0.05$). 그러나 산호해마의 성비는 3년간 비교와 월별 비교에서 암수 비율의 차이가 없었다($P>0.05$). 각 시기별로 채집된 해마개체군의 수컷과 암컷의 비가 1:1임을 가정할 때 2003년 11월로 성비는 1:10.0로 1:1의 성비 기대치를 적용할 수 없었지만 전체적으로 9개월 동안 채집된 전 개체군은 성비는 1:1.64로 1:1이라고 할 수 있었다($X^2=11.14$, $df=8$, $P>0.05$). 이 연구에서 왕관해마의 성비가 1:1이라 할 수 없었던 것은 현장 조사에서 잘피밭을 중심으로 한정된 범위를 조사하여 나타난 일시적인 암수의 불균형 현상으로 생각된다. White's seahorse의 경우 암컷은 14.4 m^2 ($6\text{-}21 \text{ m}^2$) 수컷은 9 m^2 ($4\text{-}17 \text{ m}^2$)의 서식공간을 갖는다(Vincent et al., 2005). 오스트레일리아에서 Knobby seahorse는 암컷과 수컷은 각각 8.1 m^2 과 4.4 m^2 의 서식공간을 갖고(Moreau and Vincent, 2004), 네덜란드 Bonaire에서 Longsnout seahorse는 암컷은 13.3 m^2 의 서

식공간은 수컷의 3.5 m² 보다 훨씬 넓은 공간을 서식처로 이용한다 (Dauwe, 1993). 결과적으로 조사면적이 일정하지 못할 때 해마의 암수 서식공간의 차이는 암수비율의 차이로 관찰될 수 있기 때문에 이 연구에서 채집기간 동안 왕관해마의 암수비율이 차이가 있었지만 보다 장기간에 걸친 지속적인 조사와 조사수역을 보다 넓게 할 필요가 있다고 생각한다.

해마 번식기의 시기와 기간은 위도에 따라 다양하게 나타나며 특히 빛, 온도 그리고 먹이 조건과 같은 환경적 조건의 영향을 받는다(Bye, 1984). 점해마의 번식기는 중국해에서 3-5월에 절정기를 이루고(Truong and Nga, 1995), 온도가 일정하게 유지되면 년 중 지속된다(Cai et al., 1984). 임신한 Tiger tail seahorse *H. comes*는 수온이 일정하게 유지되는 필리핀에서 1년 내내 관찰되고 장마철인 7-9월 사이에 임신한 수컷이 가장 많이 출현한다(Perante et al., 2002). Big-bellied seahorse의 번식기는 열대해역에서 온대해역보다 길게 나타나고(Woods, 2000a) 뉴질랜드 Wellington만에서는 1년 내내 번식기가 지속된다(Poortenaar et al., 2004). 이 연구에서 왕관해마는 7-11월 사이에 성숙한 수컷 중 임신한 개체가 33개체로 20.5%를 차지하였고 월별로 9월에 21.8%로 가장 높았다($P < 0.05$). 산호해마는 7-9월 사이에 임신한 개체가 16개체가 출현하여 성숙한 수컷 중 번식참여개체가 22.2%에 이르렀다. 이처럼 임신한 개체들이 출현한 7-11월은 수온이 24.9-17.8°C로 계절적으로 여름에서 늦가을이고 연중 낮의 길이가 가장 긴 시간이었다. 임신개체의 출현분포로 미루어 본다면 이 두 종에 있어서 이 시기는 번식기 범위 안에 포함되는 것으로 생각된다.

이 연구의 왕관해마는 옥돔 *Branchiostegus japonicus* (Choi et al., 2004), 볼락 *Sebastes inermis* (Lee and Chang, 2002) 등 대부분의 경골어류에서 찾아볼 수 있는 난소였지만 다른 경골어류와 달리 2개의 난소박관이 나선형으로 구성되어 있었으며 난소박관 내에 난원세포, 어린난모세포,

성숙란이 발달단계에 따라 배열되어 있었다. 이러한 난소의 형태는 실고기와 어류의 종 특이적인 난소 형태로 Gulf pipefish *Syngnathus scovellii* (Begovac and Wallace, 1987)와 Lined seahorse (Selman et al., 1991), Big-bellied seahorse (Poortenaar et al., 2004)등에서도 보고되고 있다. 생식세포는 내면 상피조직에서 출현하지 않고, 난소박판의 끝 부분에 존재하는 생식용기에서 기원하며(Begovac and Wallace, 1987; Selman et al., 1991), Gulf pipefish *S. scovellii*는 이러한 생식용기가 1개 존재하고, Lined seahorse (Selman et al., 1991)와 Big-bellied seahorse (Poortenaar et al., 2004)는 2개 존재한다. 이 연구에서도 왕관해마의 난소에는 2개의 생식용기가 존재하며, 생식용기에서 난원세포가 관찰되었다.

실고기와 어류의 수컷은 꼬리 배쪽에 보육낭을 갖고 있으며, 보육낭에 알을 보호하는 습성을 갖고 있다(Herald, 1949). Eastern pipefish *S. acusimilis* 수컷의 정소는 암컷과 구애행동을 하는 기간에만 정모세포의 형성과 정세포가 발달 하는 정자형성과정이 일어나며, 보육낭에 수정할 알을 포란하고 있을 때, 매우 짧은 시기 동안에만 정소 내에 성숙한 정자가 관찰된다(Kornienko and Drozdow, 1999). 또한 실고기와 어류인 Seaweed pipefish *S. schlegeli*의 연구에서도 정소를 조직학적으로 조사한 결과 정소 내 정원세포를 비롯한 정모세포, 정세포, 정자가 관찰되지 않았고, 유구같은 세포들이 정소의 내강을 채우고 있다(Watanabe et al., 2000). 이 연구에서도 2004년 7월에서 11월까지 채집된 수컷의 정소를 조직학적으로 관찰한 결과, 정소 내에서 정자형성이 일어나는 cyst는 관찰하지 못하였다. 왕관해마의 경우도 Eastern pipefish *S. acusimilis*와 같이 암컷과 구애행동을 하는 시기에만 정소 내 정자형성과정이 일어나며, 이러한 현상은 실고기와 어류의 종 특이적인 현상이라 생각된다.

수컷의 보육낭은 완전히 외부환경과 폐쇄된 구조로 교미에 의해 암컷이

수컷의 보육낭에 알을 낳고 나면 수컷은 출산하기까지 2-4주 동안 알을 관리하게 되며 보육낭은 수컷의 혈액을 통해서 산소공급이 되고 삼투압이 조절되는 정교한 부화기 역할을 한다(Haresign and Shumway, 1981). 이 연구에서 왕관해마의 보육낭 구조는 작은 방형으로 혈관이 매우 발달해 있으며, 방과 방 사이는 상피조직으로 나뉘어져 있었다. 이러한 보육낭의 구조는 실고기과 어류인 Straightnose pipefish *Nerophis ophidion*과 유사한 형태를 보였다(Carcupino et al., 2002).

해마 양식은 전 세계적인 해마수요의 증가와 남획상태의 자원을 관리하는 측면에서 높은 관심을 불러일으키고 있다(Hilomen-Garcia, 1999). 그리고 현재 산업적으로 수요가 많은 Big-bellied seahorse (Woods, 2000a), West Australian seahorse (Payne and Rippingale, 2000), Lined seahorse (Correa et al., 1996) 그리고 복해마(Job et al., 2002)의 양식에 대한 기초적 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 경골어류에 있어서 생물학적 최소형은 개체군의 50%가 성적으로 성숙하는 시점의 크기로 정의 되지만(Froese and Pauly, 2003) 해마에 있어서는 수컷의 보육낭이 완전히 발달해 있는 크기를 성적인 성숙단계로 결정하는 방법과(Baum et al., 2003) 임신한 수컷 중에 가장 작은 것의 크기를 생물학적 최소형으로 결정하는 방법이 사용되고 있다(Foster and Vincent, 2004). 하지만 전자의 경우 점해마의 경우처럼 조직학적 검경에 의한 방법과 외형상 보육낭의 상태로 판단하는 것에서 판단시점의 차이가 있어 단독적인 결과로 생리적인 성숙도를 나타내는 데는 한계가 있고(Cai et al., 1984), 후자의 경우 밀도가 낮은 해마자원의 특성과 개체군 내에서 성비의 불균형으로 짝짓기 기회를 놓칠 경우 임신개체출현 시기가 늦어져 최초 성숙시기를 판단하는데 있어서도 약간의 차이가 있다(Foster and Vincent, 2004). 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 야생에서 행동학적

분석과 조직적 검증이 필요하지만 많은 양의 표본이 필요하고 해마자원의 밀도가 낮아 비효율적이고 어려움이 따른다. 이에 이 연구에서는 Foster and Vincent (2004)의 방법에 의하여 최소성숙크기를 판단해보면 임신한 왕관해마 개체들의 전장은 53.91-87.31 mm (평균 77.76±9.84 mm, n=12)범위로 그 중 가장 작은 개체의 전장이 53.91 mm로 이 연구에서 나타난 왕관해마의 최초 성숙크기였다.

Barbour's seahorse는 적도부근해역에 서식 하고 있는 종으로서 최대 체고(height, HT)는 150 mm 이고 최소 성숙 크기는 체고 80 mm로 알려져 있다(Perez-Oconer, 2002). 일반적으로 해마의 크기는 최소형 종인 Denise's pygmy seahorse *H. denise*의 최대 체고 21 mm (Lourie and Randall, 2003)에서 초대형인 Big-bellied seahorse의 최대 체고 350 mm (Francis, 1996)의 범위로 알려져 있다. 이 연구에 사용된 Barbour's seahorse 어미의 크기는 수컷이 111.8 mm이고 암컷은 123.3 mm로 Perez-Oconer (2002)가 보고한 바와 비교하면 최소 성숙단계를 거친 개체였다.

대부분의 해마에 있어서 1회 출산 개체수는 100-300개체 정도이다 (Masonjones and Lewis, 1996). 해마에 있어서 가장 출산 개체 수가 많은 종은 현재 점해마로 1,783개체를 산출한다는 보고가 있다(Foster and Vincent, 2004) 이 연구에서 왕관해마의 평균 출산 개체수는 38.8개체 (n=14)로 출산양이 극히 적으로 것으로 알려져 있는 Dwarf seahorse의 출산 개체수 69개체(Strawn, 1958) 보다도 적은 양을 출산하였고, 이 연구에서 시험 대상 생물로 선택된 Barbour's seahorse는 156개체를 출산해서 중간정도의 자어수를 출산하였다. 이는 Lined seahorse의 1,552개체 (Teixeira and Musick, 2001), 북해마의 1,405개체 (Truong and Doan, 1994)에 비교하면 매우 적은 양이었고 Chilka seahorse *H. fuscus*의 150개체 (Golani and

Fine, 2002)와 비슷하였다.

어미가 알을 보호하는 습성을 가진 어류에서 수컷이 새끼를 보호하는 능력은 산출자어의 생존율을 결정하는데 매우 중요한 요소가 된다(Cole and Sadovy, 1995). 수컷의 보육낭에서 영양분의 공급, 산소공급, 삼투압 조절 등의 형태로 알을 관리하는 해마(Linton and Soloff, 1964; Boisseau, 1967)에 있어서 수컷 보육낭의 크기가 출산 자어수를 제한하는 지의 여부는 생산량을 결정하는데 중요한 요인으로 판단하고 있다(Masonjones, 1997). 왕관해마 수컷의 출산 개체수와 전장, 보육낭 길이(PL) 그리고 보육낭 깊이(PD)와의 관계를 조사한 이 연구에서 출산 개체수는 전장과 상관이 없었고 PL 그리고 PD와 상관관계가 있었다. 다른 연구에서 Dwarf seahorse에서 수컷의 크기와 출산 자어수는 연관성이 있었고(Masonjones, 1997), White's seahorse는 수컷의 크기와 보육낭의 크기가 출산 개체수와는 상관관계가 없었다(Vincent and Giles, 2003). 이 실험에 사용된 해마는 여수부 근해역 4개의 정점에서 채집된 개체들로 해마 서식공간의 범위가 좁은 것을 고려해 보면(Vincent et al., 2004), 각 정점에서 채집된 개체들이 같은 서식 공간 내에 동일개체군이라 할 수 없는 만큼 수컷과 보육낭의 크기와 출산자어수와의 관계에 규정하는데 무리가 있고, 위의 두 연구와도 세밀한 비교는 어려웠다. 그러므로 해마에 있어서 수컷의 상태와 생산력과는 밀접한 연관관계가 있을 것으로 생각되지만, 확실한 평가를 위해서는 서식공간의 범위를 고려한 조사가 더 뒷받침 되어야 할 것으로 생각된다.

모든 해마는 형태와 기능적 면에서 같은 구조를 갖고 있는데 기질에 꼬리를 감아 붙잡을 수 있는 체형 구조와 습성을 갖고 있어 꼬리지느러미는 필요 없다. 그리고 다른 어류와는 달리 몸통과 직각으로 위치한 곳에 머리가 있으며 중심선을 따라 복부에 보육낭 주머니가 위치하고 가슴지느러미가 높게 형성되어 있다(Fritzsche, 1980). 이러한 형태상의 특이점은 다른

어류와 쉽게 구분이 가능하지만, 실제로 해마류의 종간 분류는 체색변화와 skin filament 등으로 매우 어렵다. 한편, 다른 실고기과 어류와는 계통 발생학적으로 매우 밀접한 연관관계를 갖고 있으며 비늘이 없는 피부는 몸통과 꼬리를 둘러싸는 체륜과 같은 형태로 관찰할 수가 있다(Gill, 1905). 해마 성어는 배지느러미와 꼬리지느러미가 없고 전진하는데 필요한 1개의 등지느러미와 몸의 균형과 방향을 잡는 역할을 하는 2개의 가슴지느러미 그리고 추진력을 감소시키는 역할을 하는 1개의 뒷지느러미를 갖고 있다 (Foster and Vincent, 2004). 그러나 가슴지느러미와 등지느러미 그리고 뒷지느러미의 줄기수와 체륜의 수는 종마다 차이가 있다. 일반적으로 해마의 몸통에 형성되어 있는 체륜은 11개로 동일하며 꼬리에는 35개(가시해마)-41개(점해마)의 체륜을 갖고 줄기 수는 가슴지느러미에 13개(산호해마)-18개(가시해마) 그리고 등지느러미에 15개(산호해마)-20개(점해마)를 갖는다(Lourie et al., 1999b). 이 연구에서 왕관해마의 경우 몸통에는 10개가 형성되어 있어 일반적인 해마류의 체륜수보다도 적었고 꼬리에 39개의 체륜이 형성되어 있었으며 가슴지느러미와 등지느러미 줄기수도 12개와 14개로 다른 종들에 비해 적은 수의 줄기가 형성되어 있었고 분류형질 중 하나인 두장에 대한 SnL의 비율은 출산 후 60일째 41.8%였다(Table 13). 그리고 Barbour's seahorse의 경우 몸통에 11개, 꼬리에 35개의 체륜이 형성되어 있었고 가슴지느러미 줄기 수는 14개, 등지느러미 줄기 수는 17개가 형성되어 있어 다른 종들에 비해 꼬리의 체륜과 가슴지느러미와 등지느러미의 줄기가 비교적 적은 수로 형성되어 있었다(Table 13).

출산 직후 왕관해마의 전장은 11.69-15.81 (mean 13.69±1.38 mm)로 Chilka seahorse *H. fuscus*의 7.5 mm (Vincent, 1990), 북해마의 7.0 mm (Mi et al., 1998), White's seahorse의 8.5 mm (Vincent, 1990)보다는 크고 West Australian seahorse의 11.3 mm (Payne and Rippingale, 2000)와 비

슷한 크기였으며 Big-bellied seahorse의 20 mm (Young, 1926)보다는 작은 크기였다. Barbour's seahorse는 전장 8.82-10.36 mm (9.48 ± 0.69 mm, $n=4$)로 Big-bellied seahorse의 16.2 mm (Woods, 2000b), Lined seahorse의 11.0 mm (Vincent, 1990), Long-snouted seahorse의 11.8 mm (Whitehead, 1986) 그리고 West Australian seahorse의 11.3 mm (Lawrence, 1998)보다는 작은 크기였고 Knobby seahorse의 8.9 mm와 Tiger tail seahorse의 9.5 mm (Vincent, 1990)와 비슷한 크기였다.

왕관해마 자어는 수온 $24.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 에서 출산 후 60일에 전장 24.65 ± 0.83 mm로 성장하였고 일간성장률은 0.18 mm/일이었다. 대형종에 속하는 복해마는 수온 30°C 조건에서 자연에서 채집한 copepod와 amphipod등을 공급해서 출산 후 14일에 30.4 mm 그리고 42 일동안 72.1 mm로 성장하여 일간성장률은 1.53 mm/일(Job et al., 2002)이었으며 출산 직후 전장이 16 mm인 Big-bellied seahorse의 경우 60 L 규모의 유리 수조에서 수온 $16 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 의 조건으로 *Isochrysis* sp.로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하고 55W의 형광등을 수조 측면에서 조명한 조건에서 사육한 결과 출산 후 30일 후에 전장 30.6 mm로 성장하였고 60일 후에는 43.0 mm로 성장하였다 (Woods, 2000b). 이번 실험과 위의 두 실험을 비교하는 데 있어서 사육조건이 동일하지 않아 세밀한 비교는 어렵지만 이 실험의 대상종인 왕관해마는 위의 두 대형종에 비해 성장률이 낮은 종의 특성을 파악할 수 있었다.

Barbour's seahorse 자어는 120 L 수량의 사각 유리수조에서 수온 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 조건에서 copepod를 우점종으로 하는 물만들기 방법으로 사육한 결과 출산 후 16일령에 체장이 13.01 mm로 성장하였고 출산 후 41일령에는 22.89 mm로 성장하여 출산 직후부터 출산 후 41일까지 일간성장률은 0.37 mm/일이었다. 이 연구의 Barbour's seahorse 자·치어 사육 결과와 복해마, Big-bellied seahorse와 현격한 차이가 있는 이유는 복해마의 경우

최대 체고 170 mm까지 성장하고(Lourie et al., 1999b) Big-bellied seahorse는 최대 체고 350 mm까지 성장하는(Francis, 1996) 종의 특성에 따른 성장률의 차이로 이 연구의 대상종인 Barbour's seahorse가 위의 두 종에 비해 성장률이 낮은 종임을 추측 가능하게 한다. 그러나 이 연구 결과는 아직 해마의 자어 사육에 있어서 최적의 성장에 필요한 먹이 조건이 완전히 구명되어 있지 않은 상태에서의 연구 결과이므로 먹이 조건이 향상될 경우 보다 빠른 체성장이 가능할 것으로 기대되므로 후속연구가 필요하다고 생각된다.

왕관해마는 출산 후 60일째 전장 23.48-25.29 mm (24.65 ± 0.83 mm) 까지 성장하였고 이 시기 두장은 4.32-4.42 mm (4.35 ± 0.05 mm), 동장은 5.96-6.57 mm (6.33 ± 0.27 mm) 그리고 미장이 13.21-14.38 mm (13.96 ± 0.53 mm)였다. 전장에 대한 각 부위의 비율은 두장 17.7%, 동장 25.7% 그리고 미장 56.7%로 Table 13에서 볼 수 있듯이 다른 종에 비해 두장이 짧고 미장이 다소 긴 형태였다.

한편, Barbour's seahorse는 출산 후 158일째에 전장 59.07-63.76 mm (61.42 ± 3.31 mm)까지 성장하였으며 이때 두장은 11.43-11.98 mm (11.71 ± 0.39 mm), 동장은 14.59-16.34 mm (15.47 ± 1.24 mm) 그리고 미장이 33.05-35.44 mm (34.25 ± 1.69 mm)였다. 전장에 대한 각 부위의 비율은 두장 19.1%, 동장 25.2% 그리고 미장 55.8%로 각 부분의 비율을 비교해 보면 일령 158일째 Barbour's seahorse는 Table 13에서 다른 종과 비교했을 때 두장과 동장보다는 미장이 긴 형태임을 알 수 있었다.

야생에서 해마의 먹이는 amphipods, copepod, mysid, caridean shrimp 등이다(Tipton and Bell, 1988). 이러한 점에서 착안하여 해마의 초기사육은 야생에서 위와 같은 동물플랑크톤을 채집하여 안정적으로 배양한 것들을 해마의 먹이로 공급하는 것에 비중을 두어 왔다(Payne et al., 1998).

Table 13. Basic morphometric statistics for seahorse species

Species	Hs	Hcom	Ht	Hku	Hke	Hm	Hh	Present study		
								Hcor	Hb	Hh
Morphometrics										
SL (mean±SD)	135.0±19.4	157.8±10.1	130.0±16.8	148.0±13.5	198.5±43.3	55.3±2.1	110.5±16.5	24.6±0.8	61.4±3.3	
TrL (%SL)	25.8±1.2	27.1±1.4	24.7±1.1	26.1±1.0	27.5±1.2	25.4±0.9	29.0±1.4	25.7±0.3	25.2±0.3	
TaL (%SL)	54.6±2.1	52.4±2.3	56.8±1.8	54.7±1.3	52.7±1.7	57.0±0.4	47.0±1.9	56.7±0.6	55.8±0.4	
HL (%SL)	19.7±1.4	20.5±1.2	18.4±1.1	19.2±0.2	19.7±0.8	17.6±1.2	24.0±0.9	17.7±0.1	19.1±0.1	
Meristics										
Number of Tr. rings	11	11	11	11	11	11	11	10	11	
Number of Ta rings	37	35	41	36	40	36	35	39	35	
Pectoral fin rays (PF)	17	17	18	16	18	13	18	12	14	
Dorsal fin rays (DF)	18	18	20	17	18	15	17	14	17	

(Hs, *Hippocampus spinosissimus*; Hcom, *H. comes*; Ht, *H. trimaculatus*; Hku, *H. kuda*; Hke, *H. kelloggii*; Hm, *H. mohinkei*; Hh, *H. histrix*; Hcor, *H. coronatus* on 60 days after the birth; Hb, *H. barbour* on 158 days after birth) from Lourie et al., 1999b)

그 중 치어의 먹이의 필요한 구성성분인 고도불포화지방산을 함유하고 있는 copepod(Watanabe et al., 1983)는 해마 치어 사육에 안정적인 먹이가 될 수 있다(Liang, 1992). 하지만 사육에 충분한 먹이의 양을 확보하기가 어렵다. 이에 *Artemia*는 원하는 양을 손쉽게 얻을 수 있는 장점이 있고, 고도불포화지방산(HUFA)으로 영양 강화하여 이용할 경우 영양적으로도 안정적인 먹이로 이용할 수 있다(Sargent et al., 1997). 이 연구에서는 *I. galbana*로 영양 강화한 *Artemia*와 제주해안의 조간대 지역에서 채집한 copepod *Tigriopus. spp.*를 배양 공급하여 포식량을 조사한 결과 출산 후 5일째 copepod 유생에 대한 12시동안의 총 포식량은 254개체였고 섭식활동이 가장 왕성했던 시간은 시험시작 4시간으로 시간당 26개체였으며 *Artemia*는 거의 섭식하지 못했다. 대형종인 오스트레일리아 서부 해역의 West Australian seahorse의 최대 포식량은 공복 후 4 시간동안 시간당 214개체였다(Payne and Rippingale, 2000). 이 실험에서도 공복 후 4시간 사이에 포식량이 최고조에 달했다. 출산 후 30일째에는 copepod 유생에 대한 12시동안의 총 포식량은 62개체였고 *Artemia*에 대한 12시간동안의 포식량은 107개체로 성장함에 따라 *Artemia*에 대한 포식량이 늘어났다.

해마종묘생산에 있어서 부화 직후부터 몇 달간은 생존율이 매우 저조하다(Scarratt, 1995). 이것은 해마의 초기 먹이계열에 대한 정보가 부족한데 있다. 그러나 산업적 수요가 많은 종을 중심으로 상업적 규모의 양식이 성공적인 결과를 얻고 있다. 그 중 하나인 최대 체고 350 mm까지 성장하는 초대형종인 Big-bellied seahorse는 *Chroomonas salina*와 *Isochrysis sp.*로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하여 사육한 결과 출산 후 2달째 생존율이 80.4%였으며(Woods, 2000b) 그리고 성어의 크기가 17 cm까지 이르는 북해마는 *Acetes sp.*로 영양 강화한 *Artemia*를 공급하여 사육한 경우 출산 후 98일째 생존율이 73.3%로 향상된 결과를 얻은 바 있다(Job et al.,

2002). 왕관해마의 초기 사육에 있어서 알맞은 먹이를 조사하기 위한 이번 실험에서 영양 강화한 *Artemia*를 단독으로 공급한 실험구와 영양 강화한 *Artemia*와 copepod 성체를 혼합으로 공급한 실험구에서는 출산 후 25일과 30일째 전량 폐사하였다. 그리고 copepod 성체와 copepod 유생을 혼합 공급한 실험구에서는 47일째 전량 폐사하였으며 *Artemia*와 copepod 유생을 혼합 공급한 실험구에서는 출산 후 50일째에 생존율이 48.9%였다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 왕관해마는 출산 후 50일까지 copepod 유생과 영양 강화한 *Artemia*를 공급할 때 가장 향상된 생존율을 보였다($P < 0.05$). 이는 먹이의 영양과 습성에 관련하여, 왕관해마 치어사육에는 copepod 유생의 영양적 가치가 영양 강화한 *Artemia* 보다 적합하고, 먹이의 유영습성에 있어서 copepod 성체가 수조 바닥과 벽면에 주로 붙어 있어 섭식하기 어려운 데 반해 copepod 유생의 수조 내에서 중층에서 유영하는 습성은 해마 치어가 먹이를 잡아먹는데 보다 유리한 것으로 생각된다.

사육 기간 동안 관찰된 Barbour's seahorse의 생존율은 출산 후 36일째 까지 85.7%로서 높았으나 형태적 발달과 성장이 급격히 진행되는 39일 전후 급격히 감소하여 57.1%였으며 이후 감도가 더 진행되어 출산 후 145일째에는 15.6%였다.

이상의 연구결과로 왕관해마는 현재 다른 해마류에 비해 출산수가 적고 치어의 성장률이 낮으며 치어의 먹이공급에 있어서는 copepod와 *Artemia*를 이용할 경우 copepod 유생과 영양 강화한 *Artemia*를 혼합 공급하여 향상된 결과를 얻을 수 있었다. Barbour's seahorse의 연구에서는, 해마류 중 인공종묘 생산기술이 가장 많이 개발된 Big-bellied seahorse가 2개월 경에 80.4%의 높은 생존율 보인 결과(Woods, 2000b)와 비교했을 경우 초기 단계에서는 생존율이 낮은 것은 아니지만 145일간의 사육 기간 중에 성장과 함께 해마가 요구하는 보다 대형의 먹이가 원활하게 공급되었다면 높

은 생존율의 유지가 가능하였으리라 생각된다. 따라서 이번 연구에서 초기 생존율을 고려한 다양한 먹이탐색이 이루어지지 않았던 것은 아쉬웠던 점으로 이후 해마의 성장단계별로 초기생존율 향상을 고려한 적합한 먹이생물에 대한 연구가 더 보완되어야 할 것으로 생각된다.



V. 요약

전통적 약재와 관상무역에서 수요가 급증함에 따라 해마자원이 감소하면서 양식에 대한 관심이 높아지고 있다. 한국에 서식하고 있는 해마는 아직 상업적으로 이용되고 있지 않지만 연안해역의 개발과 오염으로 자원고갈의 위협에 노출되고 있으며 수족관용 해마도 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

이 연구에서는 해마의 양식기술개발을 위하여 여수근해산 해마류의 분포양상과 주요 해마류의 인공번식을 위한 번식생물학적 연구를 수행하였다.

여수근해산 해마류의 분포양상

2003년 8월부터 2005년 9월까지 여수 근해의 4개 정점(고흥군 영남면 우천리, 여수시 화정면 낭도리, 여수시 화양면 안포리 그리고 여수시 돌산읍 송도)에서 왕관해마 *Hippocampus coronatus*, 산호해마 *H. mohnikei*가 총 807개체 채집되었다. 단위 노력당 어획량 (CPUE)의 범위는 13.0-57.0 개체/일 이었고 2004년 7월에 57.0±8.8 개체/일 로 가장 높았다($P<0.05$). 왕관해마 *H. coronatus*의 1000 m²당 밀도는 1.05-6.49 개체(평균밀도 3.45개체/m²)였으며, 연별과 월별에 따른 차이는 없었다($P>0.05$). 그러나 산호해마 *H. mohnikei*의 밀도는 연별과 월별에 따라 차이가 있어($p<0.05$), 2003년도에 4.41개체, 월별로는 7월에 4.24개체로 가장 높았다($P<0.05$). 치어의 연별 비율에서 왕관해마는 2003년에 0.41, 월별로는 7월에 0.71로 가장 높았다($P<0.001$). 산호해마 치어의 비율은 2004년에 0.35, 월별로는 7월에 0.46으로 가장 높았다($P<0.001$).

2004년 9월 조사해역의 3개 정점(고흥군 영남면 우천리, 여수시 화정면 낭도리, 여수시 화양면 안포리)에서 채집된 혼재어류는 8과 11종 161개체였다. 이 중 왕관해마와 산호해마는 전 출현 개체의 1.2, 1.9%였다. 혼재어류에서 가장 많이 출현한 종은 복섬 *Takifugu niphobles*으로 총 출현 개체수의 30.4%였고, 해마와 피식과 포식관계를 형성하고 있는 감성돔 *Acanthopagrus schlegeli*, 점농어 *Lateolabrax maculatus* 그리고 농어 *Lateolabrax japonicus*는 총 출현 개체수의 5.6%, 11.8%, 그리고 0.6%였다. 왕관해마, 산호해마와 그 외 혼재어류들은 각 정점별 분포밀도에 차이가 없었지만($P>0.05$), 실비늘치 *Aulichthys japonicus*와 두줄망둑 *Tridentiger trigoncephalus*은 여수시 화정면 낭도리 연안에서 1000 m²당 밀도는 5.23 개체(4.83-14.49개체)그리고 11.59개체(밀도범위, 4.83-24.1개체)로 가장 분포밀도가 높았다($P<0.05$). 3개 정점에서 출현한 해마류는 총 개체의 평균 3.67%였고, 총 개체 중량의 평균 0.41%였다.

번식과 성장

왕관해마의 생식소는 한 쌍으로 복강의 배후부쪽에 위치하고 있으며, 성숙한 난소는 원통모양으로 주황색을 띠었다. 난소는 2개의 난소박판(follicular lamina)이 존재하며, 내부에는 난모세포들이 발달단계에 따라 단계적으로 배열되어있다. 정소는 속이 빈 관형태로 생식세포, cyst, 그리고 변태를 마친 정자들은 관찰되지 않았다. 보육낭은 수컷 꼬리 배쪽에 위치하며 내부 구조는 벌집 모양의 방형으로 각각의 방안에는 자어들이 한 개체씩 존재하였다.

2003년 8월부터 2005년 9월까지 여수 근해에서 채집한 왕관해마 수컷의 비율은 0.36으로 암수 1:1의 비율을 적용할 수 없었고($X^2=25.70$, $df=7$, $P<0.05$), 산호해마의 수컷의 비율은 0.38로 암수 1:1의 비율을 적용할 수

있었다($X^2=11.14$, $df=8$, $P>0.05$). 왕관해마에서 성숙한 수컷 중 임신한 개체의 비율은 연별로 차이가 없었으나($P>0.05$), 월별로는 차이가 있고 7월에 가장 높았다($P<0.001$). 산호해마는 성숙한 수컷 중 임신한 개체의 비율은 연별과 월별로 차이가 없었다($P<0.05$)

왕관해마는 2003년 9월부터 2004년 11월까지 채집된 전장(SL) 53.91-87.31 mm (평균 77.76 ± 9.84 mm, $n=12$)의 개체들이 실험실내에서 6-75개체(평균 38.8개체)를 출산하였다. 출산 후 60일 동안 해마 자·치어의 성장은 전장(SL)= $14.18+0.18age$ ($r^2=0.9893$)의 회귀 직선식으로 나타낼 수 있었다. 왕관해마의 출산자어는 5일째에 *Artemia* 유생보다 copepod 유생을 선호하였고 개체당 최대 포식량은 시간당 31개체다. 출산 후 30일째에는 *Artemia* 유생을 copepod 유생보다 더 선호하였으며 최대 포식량은 시간당 14개체였다. 먹이 공급방법에 따른 생존율 조사에서, 생존율은 영양강화한 *Artemia* 유생과 copepod 유생을 혼합 공급한 경우 출산 후 50일에 48.9%로 향상되었다.

Barbour's seahorse 어미(111.8 mm SL)에서 156개체의 자어가 출산하였다. 출산 후 158일 동안 자·치어의 성장은 전장(SL)= $12.18+0.31age$ ($r^2=0.9787$)의 회귀 직선식으로 나타낼 수 있었다. 출산 후 145일째 생존율은 15.6%였다.

VI. 참고문헌

- Alverson, F. G., 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific Ocean. Inter-Ame. Trop. Tuna Comm. Bull., 7: 293-396.
- Baum, J. K., J. J. Meeuwing and A. C. J. Vincent, 2003. Bycatch of seahorse (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery. Fish. Bull., 101: 721-731.
- Begovac, P. C. and R. A. Wallace, 1987. Ovary of the pipefish, *Syngnathus scovelli*. J. Morphol., 193: 117-133.
- Bell, E. M., J. F. Lockyear, J. M. Mcpherson, A. D. Marsden and A. C. J. Vincent, 2003. The first field studies of an endangered South African seahorse, *Hippocampus capensis*. Env. Biol. Fish., 67: 35-46.
- Boisseau, J., 1967. Recherche sur le controle hormonal de l'incubation chez l'Hippocampe. Rev. Europ. d'Endocrinol., 4: 197-234.
- Bye, V. J., 1984. The role of environmental factors in the timing of reproductive cycles. (in) Fish Reproduction, Strategies and Tactics (eds.) Potts, G. W. and R. J. Wootton, Academic Press, London. U.K. pp. 187-205.
- Cai, N., Q. Xu, F. Yu, X. Wu and G. Sun, 1984. Studies on the reproduction of the seahorse *Hippocampus trimaculatus*. Stud. Mar. Sinica, 23: 83-93.

- Carcupino M., A. Baldacci, M. Mazzini and P. Franzoi, 2002. Functional significance of the male brood pouch in the reproductive strategies of pipefishes and seahorses: a morphological and ultrastructural comparative study on three anatomically different pouches. *J. Fish Biol.*, 61: 1465-1480.
- Choi, J. K., H. J. Kim, C. B. Park, C. H. Lee, Y. B. Song, K. J. Lee, I. K. Yeo, J. U. Lee, D. S. Chang, D. S. Ha and Y. D. Lee, 2004. Annual reproductive cycle and sexual characteristics of Horsehead *Branchiostegus japonicus*. *Kor. J. Ichthyol.*, 16: 282-294. (In Korean)
- CITES, 2002. Twelfth Meeting of the Conference of the Parties. Comments from the Parties and Comments and Recommendations from the Secretariat on the Proposals to Amend Appendices I and II, in web site; www.cites.org
- Cole, K. S. and Y. Sadovy, 1995. Evaluating the use of spawning success to estimate reproductive success in a Caribbean reef fish. *J. Fish Biol.*, 47: 181-191.
- Coleman, V. L. and J. M. Burkholder, 1995. Response of microalgal epiphyte communities to nitrate enrichment in an eelgrass (*Zostera marina*) meadow. *J. Phycol.*, 31: 36-43.
- Correa, M., K. S. Chung and R. Manrique, 1996. Experimental culture of seahorse, *Hippocampus erectus*. (in) *The Role of Aquaculture in World Fisheries*. Proc. World Fisher. Cong., Theme 6 (eds.) Heggberget, T. G., J. G. Woiwode and R. J. Wolotira, Science Publishers, New Hampshire, pp. 171-172.

- Dauwe, B., 1993. Ecology of the seahorse *Hippocampus reidi* on the Bonaire coral reef (N.A.): habitat, reproduction and community interaction. M.S. Thesis, Rijksuniversiteit, Groningen, Netherlands, 65 pp.
- Dias, T. L. P. and I. L. Rosa, 2003. Habitat preferences of a seahorse species, *Hippocampus reidi* (Teleostei: Syngnathidae) in Brazil. *Aqua*, 6: 165-176.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 11: 1-42.
- Edgar, G. J., 1990. The influence of plant structure on the species richness, biomass and secondary production of macrofaunal assemblages associated with western Australian seagrass beds. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 137: 215-240.
- Forteach, N., 1997. The large bellied seahorse, *Hippocampus abdominalis*: a candidate for aquaculture. *Austasia Aquac.*, 11: 52-54.
- Foster, S. J. and A. C. J. Vincent, 2004. The life history and ecology of seahorses: implications for conservation and management. *J. Fish Biol.*, 65: 1-61.
- Francis, M., 1996. Coastal Fishes of New Zealand: An Identification Guide. Reed Books, Auckland, 72 pp.
- Fritzsche, R. A., 1980. Revision of the eastern Pacific Syngnathidae (Pisces: Syngnathiformes) including both recent and fossil forms. *Proc. Calif. Acad. Sci.*, 42: 181-227.
- Froese, R. and D. Pauly, 2003. Fishbase. in website; www.fishbase.org.

- Gill, T., 1905. The life history of the sea-horses (*Hippocampus*). Proc. U.S. Nat'l. Mus., 28: 805-814.
- Golani, D. and M. Fine, 2002. On the occurrence of *Hippocampus fuscus* in the eastern Mediterranean. J. Fish Biol., 60: 764-766.
- Haresign, T. H. and S. E. Shumway, 1981. Permeability of the marsupium of the pipefish *Syngnathus fuscus* to [14C]-alpha amino isobutyric acid. Comp. Biochem. Physiol., 69A: 603-604.
- Herald, E. S., 1949. Pipefishes and seahorses as food for tuna. Calif. Fish Game, 35: 329 pp.
- Hilomen-Garcia, G., 1999. AQD's marine ornamental fish project. SEAFDEC Asian Aquacult., 21: 31-38.
- Hindell, J. S., G. P. Jenkins and M. J. Keough, 2000. Evaluating the impact of predation by fish on the assemblage structure of fishes associated with seagrass (*Heterozostera tasmanica*) (Marten and Ascherson) den Hartog, and unvegetated sand habitats. J. Exp. Mar. Bio. Ecol., 255: 153-174.
- IUCN, 2003. 2003 IUCN Red List of Threatened Species. IUCN, Grand, Switerland, in website; www.redlist.org.
- Job, S. D., H. H. Do, J. J. Meeuwig and H. J. Hall, 2002. Culturing the oceanic seahorse, *Hippocampus kuda*. Aquaculture, 214: 333-341.
- Jordan, D. S. and C. H. Gilbert, 1882. Synopsis of the fishes of North America. Bull. Nat'l. Mus., 16: 382-387.
- Jung, M. K., 1977. The fishes of Korea. Iljisa Pub. Co. Seoul, 272 pp.
- Jung, M. K., 1991. The fishes of Korea, 3rd. Iljisa Pub. Co. Seoul, 727

- pp.
- Kanou, K. and H. Kohno, 2001. Early life history of a seahorse, *Hippocampus mohnikei*, in Tokyo Bay, Japan. *Ichthyol. Res.*, 48: 361-368.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1995. First record of the seahorse fish, *Hippocampus trimaculatus* (Pisces: Syngnathidae) from Korea. *Kor. J. Zool.*, 38: 74-77.
- Kornienko, E. S. and A. L. Drozdov, 1999. Gametogenesis in the Far Eastern Pipefish *Syngnathus acusimilis*. *Russian J. Mar. Biol.*, 25: 353-357.
- Kuiter, R. H., 2000. Seahorses, Pipefishes and Their Relatives: A Comprehensive Guide to Syngnathiformes. Chorleywood, U.K.; TMC Publishing, pp. 1-240.
- Lawrence, C., 1998. Breeding seahorses - Facts and fallacies. *Western Fisheries*, Autumn, pp. 39-40.
- Lee, J. S. and Y. J. Chang, 2002. Electron microscopical description on the egg stalk-like structure on the rockfish, *Sebastes inermis* (Teleostei: Scorpaenidae). *J. Kor. Fish. Soc.*, 35: 130-134.
- Lewis, F. G., 1984. Distribution of macrobenthic crustaceans associated with *Thalassia*, *Halodule* and bare sand substrata. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 19: 101-113.
- Liang, B., 1992. Research on the culture of *Hippocampus*. *J. Ocean Univ, Qingdao (Qingdao Haiyang Daoxue Xuebao)*, 22: 39-44.
- Linton, J. R. and B. L. Soloff, 1964. The physiology of the brood pouch of the male seahorse *Hippocampus erectus*. *Bull. Mar. Sci.*

- Gulf Carib., 14: 45-61.
- Lockyear, J., H. Kaiser and T. Hecht, 1997. Studies on the captive breeding of the Knysna seahorse, *Hippocampus capensis*. Aquar. Sci. Con., 1: 129-136.
- Lourie, S., 2003. Measuring seahorses. Project Seahorse Technical Report No. 4, Version 1.0. Project Seahorse. Fisheries Centre, University of British Columbia, 15 pp.
- Lourie, S. A. and J. E. Randall, 2003. A new pygmy seahorse, *Hippocampus denise* (Teleostei: Syngnathidae), from the Indo-Pacific. Zool. Stud., 42: 284-291.
- Lourie, J. R., A. C. J. Vincent and H. J. Hall, 1999a. Seahorses: An Identification Guide to the World's Species and Their Conservation. Project Seahorse, London, 214 pp.
- Lourie, S. A., J. C. Pritchard, S. P. Casey, T. S. Ky, H. J. Hall and A. C. J. Vincent, 1999b. The taxonomy of Vietnam's exploited seahorses (family Syngnathidae). Biol. J. Linn. Soc., 66: 231-256.
- Lourie, S. A., S. J. Foster, E. W. T. Cooper and A. C. J. Vincent, 2004. A Guide to the Identification of seahorses. Project Seahorse, pp. 1-114.
- Lovett, J. M., 1969. An introduction to the biology of the seahorse *H. abdominalis*. Honours, University of Tasmania, Australia., 102 pp.
- Masonjones, H. D. and S. M. Lewis, 1996. Courtship behavior in the dwarf seahorse, *Hippocampus zosterae*. Copeia, 1996: 634-640.

- Masonjones, H. D., 1997. Relative parental investment of male and female dwarf seahorses, *Hippocampus zosterae*. *Ame. Zool.*, 37, 114 pp.
- Meeuwig, J. and M. Samoilys, 2003. Guide to monitoring seahorse fisheries. Project Seahorse Technical Report No. 1, Version 1.1. Project Seahorse, Fisheries Centre, University of British Columbia, 1-10 pp.
- Mi, P. T., E. S. Kornienko and A. L. Drozdov, 1998. Embryonic and larval development of the seahorse *Hippocampus kuda*, *Russ. J. Mar. Biol.*, 24: 325-329.
- Moreau, M. A. and A. C. J. Vincent, 2004. Social structure and space use in a wild population of the Australian short-headed seahorse *Hippocampus breviceps* Peter, 1869. *Mar. Freshwat. Res.*, 55: 231-239.
- Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2000. *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*, 188: 352-361.
- Payne, M. F., R. J. Rippingale and R. B. longmore, 1998. Growth and survival of juvenile pipefish (*Stigmatopora argus*) fed live copepod with high and low HUFA content. *Aquaculture*, 167: 237-245.
- Perante, N. C., M. G. Pajaro, J. J. Meeuwig and A. C. J. Vincent, 2002. Biology of a seahorse species *Hippocampus comes* in the central Philippines. *J. Fish Biol.*, 60: 821-837.
- Perez-Oconer, E., 2002. Reproductive biology and gestation of the male

- seahorse, *Hippocampus barbouri* (Jordan and Richardson 1908).
Ph.D Thesis, University of the Philippines, Quezon City, Philippines, 131 pp.
- Poortenaar, C. W., C. M. C. Woods, P. J. James, F. M. Giambartolomei and P. M. Lokman, 2004. Reproductive biology of female big-bellied seahorses. *J. Fish Biol.*, 64: 717-725.
- Scarratt, A. M., 1995. Techniques for raising lined seahorses (*Hippocampus erectus*). *Aquar. Front.*, 3: 24-29.
- Sargent, J. R., L. A. McEvoy and J. G. Bell, 1997. Requirements, presentation and sources of polyunsaturated fatty acids in marine fish larval feeds. *Aquaculture*, 155: 117-128.
- Selman, K., R. S. Wallace and D. Player, 1991. Ovary of the seahorse, *Hippocampus erectus*. *J. Morphol.*, 209: 285-304.
- Strawn, K., 1958. Life history of the pigmy seahorse, *Hippocampus zosterae* Jordan and Gilbert, at Cedar Key, Florida. *Copeia*, 1958: 16-22.
- Teixeira, R. L. and J. A. Musick, 2001. Reproduction and food habits of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Syngnathidae) of Chesapeake Bay, Virginia. *Rev. Bras. Biol.*, 61: 79-90.
- Tipton, K. and S. S. Bell, 1988. Foraging patterns of two syngnathid fishes: importance of harpacticoid copepods. *Mar. Ecol. Pro. Ser.*, 47: 31-43.
- Truong, S. K. and T. N. M. Nga, 1995. Reproduction of two species seahorses *Hippocampus histrix* and *H. trimaculatus* in

- Binhthuan waters. Bao cao Khoa Hoc., 27: 68 pp.
- Truong, S. K. and T. K. L. Doan, 1994. Reproduction of the seahorse (*Hippocampus kuda*) inhabiting the Cuabe Estuary. Tuyen Tap Nghien Cuu Bien, 5: 111-120.
- Vincent, A. C. J., 1990. Reproductive Ecology of Seahorses. Ph.D. Thesis, Cambridge University, U.K., 107 pp.
- Vincent, A. C. J., 1996. The International Trade in Seahorses. TRAFFIC International, Cambridge, pp. 4-163.
- Vincent, A. C. J. and L. M. Sadler, 1995. Faithful pair bonds in wild seahorses, *Hippocampus whitei*. Anim. Behav., 50: 1557-1569.
- Vincent, A. C. J. and B. G. Giles, 2003. Correlates of reproductive success in a wild population of *Hippocampus whitei*. J. Fish Biol., 63: 344-355.
- Vincent, A., A. D. Marsden, K. L. Evans and L. S. Sadler, 2004. Temporal and spatial opportunities for polygamy in a monogamous seahorse, *Hippocampus whitei*. Behaviour, 141: 141-156.
- Vincent, A. C. J., K. L. Evans and A. D. Marsden, 2005. Home range behaviour of the monogamous Australian seahorse, *Hippocampus whitei*. Env. Biol. Fish., 72: 1-12.
- Watanabe, S., M. Hara and Y. Watanabe, 2000. Male internal fertilization and introsperm-like sperm of the seaweed pipefish (*Syngnathus schlegeli*). Zool. Sci., 17: 759-767.
- Watanabe, T., C. Kitajima and S. Fujita, 1983. Nutritional values of live organisms used in Japan for mass propagation of fish: a

- review. *Aquaculture*, 34: 115-143.
- Whitehead, P. J. P., 1986. Syngnathidae. (in) *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*, (eds.) Whitehead, P. J. P., M. L. Bauchot, J. C. Hureau, J. Nielsen and E. Tortonese, Paris, France, UNESCO, pp. 628-639.
- Wilson, P. C. and J. S. Beckett, 1970. Atlantic Ocean distribution of the pelagic stingray, *Dasyatis violacea*. *Copeia*, 1970: 696-707.
- Woods, C. M. C., 2000a. Preliminary observation on breeding and rearing the seahorse *Hippocampus abdominalis* (Teleostei: Syngnathidae) in captivity. *New zeal. J. Mar. Freshwat. Res.*, 34: 475-485.
- Woods, C. M. C., 2000b. Improving initial survival in cultured seahorses, *Hippocampus abdominalis* Lesson, 1827 (Teleostei: Syngnathidae). *Aquaculture*, 190: 377-388.
- Woods, C. M. C. and K. M. Martin-Smith, 2004. Visible implant fluorescent elastomer tagging of the big-bellied seahorse, *Hippocampus abdominalis*. *Fish. Res.*, 66: 363-371.
- Young, M. W.. 1926. Marine biological notes No. 2: The spawning of the seahorse. *New. Zeal. J. Mar. Technol.*, 8: 284 pp.

감사의 글

이 논문에 주인공이 되었던 해마 1506 마리의 동그란 눈망울과 논문이 진행되는 과정에서 한없는 도움과 격려를 주셨던 분들을 떠올리면 감사함에 가슴이 먹먹해집니다. 청년기의 인생에 있어서 많은 것을 느끼게 해주신 노섭 교수님께 감사드립니다. 논문의 체제를 바로잡는 과정에서 글자마다 올바른 의미가 전달될 수 있도록 정성껏 다듬어 주신 장영진 교수님, 이영돈 교수님, 김기영 교수님, 정민민 연구사님께 감사드립니다. “언제 어디서고 학생의 본분을 잊지 말고 열심히 해야한다.”는 정상철 교수님의 말씀은 언제까지나 잊지 못할 것입니다. 따뜻한 관심과 조언으로 희망을 심어주셨던 이기완 교수님, 최광식 교수님, 이경준 교수님께 감사를 드립니다.

생물에 대한 경외감이 연속되어 실의에 빠져 있는 순간에 용기와 격려를 주셨던 제주수산연구소 이정의 소장님, 김제우 연구사님, 김성철 연구사님, 김경민 연구사께 감사드립니다. 그리고 따뜻한 관심으로 용기를 북돋아 주셨던 제주해양수산청 장근수 계장님께 감사드립니다. 채집으로 여수를 오가는 동안 선배의 따뜻한 정을 느끼게 해 주신 남해수산연구소 황형규 연구사님과 황성일 선배님께 감사드리며, 여름의 타는 듯한 더위와 파도가 심하게 이는 곳은 비 날씨에도 바다위에서 해마채집을 하는데 정성껏 도움을 준 유성운 선장님, 강성운님, 김만철님과 제주에서 먼 길 왔다면 먹을 거리를 한아름 챙겨다준 고흥군 영남면 우천리의 이름 모를 쌍둥이 형제와 채집과정에서 따뜻하게 맞이하며 도움을 아낌없이 준 돌산읍 송도의 여러 분들께 감사드립니다. 안타깝게도 이름을 몰라 한 분, 한 분 이 지면에 올려드리지 못하는 점 용서하십시오.

실험실에서 연구가 진행되는 동안 후배를 잊지 않고 격려를 해 주신 변수철 선배님, 박무익 선배님, 현충훈 선배님, 양준봉 선배님, 강희철 선배님을 비롯한 해경희 선배님들과 김원평 선배님, 김필연 선배님께 감사드립니다. 바쁘신 가운데에도 따뜻한 관심과 격려를 해주신 서종표 선배님과 이성익 선배님께 감사드립니다. 몇 해 동안을 실험실에서 같은 고민으로 마음을 썼던 김종수 선배님, 운영석님, 김남룡님, 부은경님께 감사드립니다

자료의 정리와 논문을 완성하는 과정에서 해양과환경연구소 발생학 실험실에서 지냈던 기간들은 또한 잊지 못할 순간들일 것입니다. 김병호 선배님, 나오수 선배님의 격려에 감사드립니다. 긴 시간동안 부족함이 없이 세심한 배려와 도움을 주셨던 송영보 선배님, 김봉수 선배님께 감사드립니다. 그리고 미안함과 고마움이 항상 함께하는 이치훈님과 박창범님, 허성표님, 류용운님, 강형철님, 이태진님, 이희중님께 감사드립니다. 따뜻한 관심을 주셨던 강태연 선생님, 김봉길 선생님, 고성대 선생님께 감사드립니다. 그리고 항상 많은 것을 느끼게 하고 일깨워 주셨던 김병직 선생님께 감사드립니다.

지난여름 타는 듯한 더위와 유난히도 눈이 많이 내렸던 겨울, 종달리의 너른 벌판에서 관상어에 대한 희망의 꽃을 피우기 위해 마음을 나누었던 오주택 소장님, 신상욱 상무님, 신상금님, 노경언님 ! “혹독한 추위가 끝나 봄이 오면 반드시 꽃은 피어오르듯이 같이 꿈꾸고 있는 희망의 꽃은 언젠고 반드시 환하게 피어오를 것임을 믿어 의심치 않습니다. 그동안 너무 고맙습니다.”

“어머니 고맙습니다. 혜영아, 선영아 ! 고맙다.”