

해마류 *Hippocampus barbouri*의 외부형태 발달과 성장 그리고 생존

최영웅 · 정민민*¹ · 김성철² · 김재우¹ · 이정희¹ · 이윤호³ · 노 심

제주대학교 해양생산과학전공

¹국립수산과학원 제주수산연구소

²국립수산과학원 남해수산연구소 해조류연구센터

³국립수산과학원 남해수산연구소

Morphological Development, Growth and Survival of Barbour's Seahorse, *Hippocampus barbouri*

YOUNG-UNG CHOI, MIN-MIN JUNG*¹, SUNG-CHUL KIM², JAE-WOO KIM¹,
JUNG-UIE LEE¹, YOON-HO LEE³ AND SUM RHO

Faculty of Applied Marine Science, Cheju National University, Jeju 690-756, Korea

¹Jeju Fisheries Research Institute, National Fisheries Research Development Institute, Jeju 699-804, Korea

²Seaweed Research Center, South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research
Development Institute, Mokpo 530-831, Korea

³South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research Development Institute, Yeosu 556-820, Korea

해마류 *Hippocampus barbouri*의 인공번식 기술개발을 위한 이 연구는 인도네시아 원산의 *H. barbouri* 1개체가 출산한 154 마리의 자어를 대상으로 형태적 발달의 특징, 성장 그리고 생존율을 조사하였다. 출산 후 1일째 자어는 표준체장이 8.82~10.36 mm (평균 9.48±0.69 mm, n=4)이고, 등지느러미 가슴지느러미 그리고 뒷지느러미 줄기 수는 각각 17, 14 그리고 4개 형성되어 있었다. 출산 후 16일째 표준체장은 12.33~13.91 mm (13.01±0.75 mm)로 성장하면서 체륜 극은 날카롭게 발달하여 성체와 비슷한 모습을 띠기 시작하였다. 출산 후 20일째 체장이 14.37~15.79 mm (14.97±0.62 mm, n=4)로 성장하면서 주둥이가 가늘고 길어졌고 아래턱 주변부위도 완전히 착색되어 성어와 거의 유사한 체색과 체형을 갖추었고 이 시기 생존율은 91.6% 이었다. 출산 후 41일째 치어는 표준체장이 20.14~24.89 mm (22.89±2.22 mm, n=4)로 성장하면서 머리의 극은 원통형으로 굵어지고 끝에서 여러 개의 돌기가 돌아서 관의 모양으로 발달하였는데 이 시기 체륜은 몸통에 11, 미부에 35개가 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었고 이 시기 생존율은 57.1%였다. 출산 후 158일째에는 59.07~63.76 mm (61.42±3.32 mm n=2)으로 성장하여 체장에 대한 두장, 몸통장 그리고 미장의 비율은 각각 19.1±0.3%, 25.2±0.7% 그리고 55.8±0.3%이었고 이 시기 생존율은 15.6%였다.

We have investigated morphological development with growth and survival rates of juvenile for 158 days after parturition to get a basis data in the way of establishment of breeding techniques in the common seahorse species of Barbour's seahorse, *Hippocampus barbouri*. At 1 day after parturition, seahorse larvae were 8.82~10.36 mm (mean 9.48±0.69 mm, n=4) in standard length (SL) with 17 dorsal fin rays, 14 pectoral fin rays and 4 anal fin rays. At 20 days after parturition, the size of seahorse larvae were 14.37~15.79 mm (14.97±0.62 mm, n=4) in SL, snout of seahorse larvae became slender was long, and body was coloration to the full as adult seahorse. At 41 days after parturition, seahorse larvae were grew 20.14~24.89 mm (22.89±2.22 mm, n=4) in SL with development of several spines in coronet, and their have 11 trunk rings and 35 tail rings. At 158 days after parturition, seahorse were grew to 59.07~63.76 mm (61.42±3.32 mm n=2), and head length (HL), trunk length (TrL) and tail length (TaL) were composed respectively 19.1±0.3%, 25.2±0.7% and 55.8±0.3% of SL. In this time, survival rate is 15.6%.

Keywords: Seahorse, *Hippocampus barbouri*, Morphological development, Growth, Survival

*Corresponding author: jungminmin@hanmail.net

서 론

해마류(Seahorse)는 한약재료, 수족관용 관상생물 그리고 골동품 등의 목적으로 상거래가 이루어지고 있으며 1993년부터 급속하게 증가되는 수요량에 맞추어 남획되면서 최근 자연수역에서의 해마 생물자원은 급격하게 감소되었다(Vincent, 1996). 해마류의 주요 수출국은 인도네시아, 인도, 멕시코, 필리핀, 대만 그리고 베트남으로 이 지역에서 포획된 개체는 건조된 형태로 중국, 타이완 그리고 싱가포르 등으로 수출되고 있으며 일본과 한국에도 상당량의 해마가 수입되고 있는데 전 세계적으로 매년 2천만 마리의 해마가 포획되고 있는 것으로 추정된다(Vincent, 1996).

이러한 상황에서 현재 해마에 관한 연구는 사라져가고 있는 생물자원 복원과 인공증식의 측면에 그 초점이 맞추어지고 있다(Lourie *et al.*, 1999a). 특히 해마의 인공번식은 자연 자원의 보존과 해마어업을 대체할 수 있는 방법으로서 관심이 집중되고 있으며(Job *et al.*, 2002) 외국에서는 이미 소수의 해마 종에 대하여 상업적 규모의 생산에 관심을 집중하고 있거나 일부 인공번식에 성공 하였다(Forteath, 1997). 그래서 한국도 전 세계적으로 매년 8~10%의 성장이 추정되고(Vincent, 1996) 있는 해마 수요시장에 능동적으로 대처하기 위해서는 해마의 인공번식 기술개발에 대한 연구가 절실하게 필요한 실정이다.

한편, 우리나라에는 5종의 해마가 분포하고 있으나(Kim and Lee, 1995) 산업적으로 이용되고 있지는 않으며 관상용으로 유통되고 있는 수족관용 해마의 수요는 주로 인도네시아, 필리핀 등의 동남아시아 국가로부터 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

*H. barbouri*는 주로 서태평양 해역에 분포하고 서식처는 수심 10 m 내외의 얕은 산호초 군락과 해초 군락으로 어미 한 개체가 최대 250개체의 새끼를 출산하는 것으로 알려져 있다(reviewed by Foster and Vincent, 2004; Wilson and Vincent, 1998). 현재 이 종은 한약 재료와 관상무역에서 거래되고 있는 주요 해마종중의 하나로 서식지역에서의 남획으로 인하여 개체군이 급격하게 감소하고 있어(Vincent, 1996), 생물 보호 대상으로 지정되었으며(Project seahorse, 2002) 최근에는 CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of wild flora and fauna) 협약에 의하여 보호되어야 할 멸종 위기 대상 생물종 Index II에 포함되었다.

이 연구에서는 산업적 부가가치가 높은 해마의 인공 종묘생산 기술개발을 통하여 상업용 해마를 공급할 수 있도록 하고 아울러 자연에서 점차 사라져가고 있는 해마 생물자원의 회복을 위하여 해마류 중에서도 그 유통량이 많고 인기도가 높은 *H. barbouri*의 출산 자치어를 사육하면서 성장과 생존율 그리고 외부형태 발달 과정을 조사하였다.

재료 및 방법

어미 해마의 확보와 사육

실험에 사용된 *H. barbouri*의 친어는 2004년 인도네시아로부터 CITES 허가를 승인받고 도입된 것으로 에어리프트식 순환 여과 사육 장치가 설치된 450 L 수량의 원형 아크릴수조에서 사육하였다. 사육하면서 성숙 포란한 *H. barbouri*의 수컷 개체를 저면 여과식 장치가 설치된 120 L 수량의 유리수조에 개체별로 별도 수

용하고 자연산란을 기다렸다. 이때 사육수의 수온은 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$, 염분 32 ppt 전후, pH 7.1~8.1의 범위였으며 사육수는 지속적으로 포기하였고 먹이는 냉동 미시스를 1일 1~2회 공급하였다.

실험에 사용된 *H. barbouri*는 수컷의 표준체장(standard length)이 111.8 mm이고 건조중량(dried weight, DW)은 1.061 g이었으며 암컷의 표준체장은 123.3 mm, DW은 0.7640 g이었다.

자어사육

포란 성숙되어 분리 수용된 한 마리의 수컷 *H. barbouri*로부터 출산된 156 개체의 자어는 저면 여과식 장치가 설치된 120 L 수량의 유리수조에서 사육하였다. 시험 사육은 출산 0일령에 2마리의 자어를 측정 및 관찰용으로 제외시키고 154마리로 시작하였다.

수컷 *H. barbouri*의 출산과 초기 자어 사육은 하르팍티코이다목의 요각류 *Tisbe* sp.와 *Tigriopus* sp.를 우점종으로 하는 물만들기가 조성된 유리수조에서 실시하였다. 그리고 갯 부화된 *Artemia* sp.를 3~5 ind./mL가 유지되도록 매일 공급하였으며 *Artemia* sp.를 첨가하기 전에 남은 *Artemia* sp.와 사체는 가능한 모두 사이펀하여 수조로부터 제거하면서 사육수의 20~25%를 환수하였다. 이때 사육수의 수온은 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$, 염분 32 ppt 전후, pH 7.1~8.1의 범위였다.

자어의 형태변화 관찰과 성장 측정

자어는 각 성장단계별로 20% 에탄올에 고정하였다. 형태발달의 관찰은 해부현미경(Stemi DV4, Carl Zeiss, Germany)을 사용하였고 측정은 digital camera (Olympus, Japan)로 촬영한 후 Image Scope (Version 2.3, USA)를 이용하여 Lourie *et al.* (1999b)의 방법으로 각 부위를 0.001 mm 까지 측정하였고 체중(Body Weight: BW)은 체 표면에 묻어 있는 해수를 제거한 후 전자저울(A&D Company, Japan)로 0.0001 g까지 측정하였다.

결 과

외부 형태 발달

출산 후 1일째 자어는 표준체장이 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 4개 형성되어 있었다. 눈은 흑색소포가 진하게 착색되어 있었고 등을 따라 체륜이 뚜렷해지는 양상으로 몸통에 형성된 체륜 극 중 4, 7, 10번째 체륜 극이 등 쪽에 돌출되고 주변부위에서 다른 극보다 흑색소포가 진하게 분포하고 있었다. 꼬리에는 3, 6, 8, 10, 12번째 체륜이 뚜렷해지며 체륜 극이 등 쪽에 돌출되어 있었고 흑색소포 또한 진하게 분포하고 있었으며 배 쪽의 체륜이 희미하게 형성되고 있었지만 극이 나타나 있지는 않았다. 이 시기 난황은 완전히 흡수된 상태였다(Fig. 1A).

출산 후 4일째 치어는 표준체장이 9.32~11.22 mm (9.98 ± 0.63 mm, $n=7$)로 점 형태의 색소포는 퍼져서 몸 전체로 고르게 퍼져 착색이 농후하게 진행되고 있는 반면 주둥이와 아래턱 주변 부위는 착색이 진행되고 있지 않은 상태였다(Fig. 1B).

출산 후 8일째 치어는 표준체장이 9.17~12.59 mm (10.72 ± 1.45 mm, $n=4$)로 이 시기 머리 길이는 출산 후 4일째 체장의 22.4%에서 27.4%

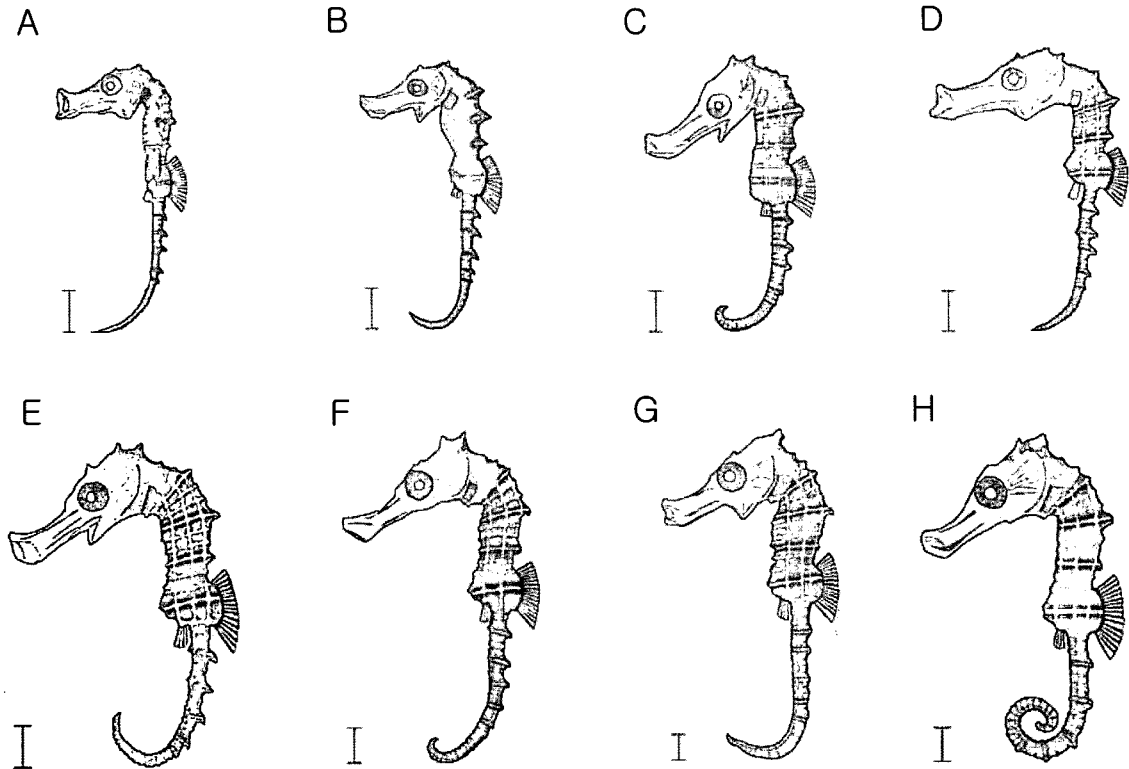


Fig. 1. Morphological development of barbour's seahorse, *Hippocampus barbouri* from 1 day after parturition to 28 days after parturition. A: 1 day after parturition, 9.48 ± 0.69 mm ($n=4$) standard length (SL), B: 4 days after parturition, 9.98 ± 0.63 mm ($n=7$) SL, C: 8 days after parturition, 10.72 ± 1.45 mm ($n=4$) SL, D: 12 days after parturition, 11.34 ± 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, 18.79 ± 0.94 mm ($n=4$) SL, H: 28 days after parturition, 18.60 ± 1.65 mm ($n=4$) SL. Scale bars indicated 1 mm.

로 급격히 성장하였고 주둥이 부위에도 착색이 되고 있었으며 아래턱 주변 부위는 착색이 더디게 진행되었고 몸통의 4, 7, 10번의 체륜 극이 배 쪽에도 돌출 되었으며 미부의 3, 6, 8, 10, 12번째의 체륜 극도 배 쪽에 돌출되었다(Fig. 1C).

출산 후 12일째 치어는 표준체장이 $10.29 \sim 11.73$ mm (11.35 ± 0.71 mm, $n=4$)로 이 시기 까지 점 형태의 색소포가 많아지던 형태는 몸 전체에서 뭉쳐져 밤색의 체색을 띠기 시작했고 체륜 극에는 높낮이의 차이가 있지만 모두 돌출되었다(Fig. 1D).

출산 후 16일째 치어는 표준체장이 $12.33 \sim 13.91$ mm (13.01 ± 0.75 mm, $n=4$)로 체륜의 골판이 발달되었고 체색은 질기가 더욱 농후해지고 머리는 둥근 타원형에서 정수리 부분이 위로 신장되어 삼각형의 형태로 발달하였으며 체륜 극은 이전단계의 몸을 중심으로 중심선에 직각으로 돌아 있는 삼각형의 형태에서 극의 끝이 $70 \sim 45^\circ$ 아랫방향으로 날카롭게 휘어지는 갈고리 형태로 발달되었다(Fig. 1E).

출산 후 20일째 치어는 표준체장이 $14.37 \sim 15.79$ mm (14.97 ± 0.62 mm, $n=4$)로 주둥이가 가늘고 길어졌으며 체색은 아래턱 주변부위에도 완전히 착색되어 성어와 거의 비슷한 체색과 체형을 갖추었으며 미부의 14번째 체륜 극도 발달하였다(Fig. 1F).

출산 후 24일째 치어는 표준체장이 $17.77 \sim 19.90$ mm (18.60 ± 0.94 mm, $n=4$)로 골판이 더욱 더 단단해진 형태였고 몸통부위의 수직 중심선에 따라 극이 강하게 발달되어 있었으며 꼬리부분에도 체륜의 굴곡이 심해졌다(Fig. 1G).

출산 후 28일째 치어는 표준체장이 $17.30 \sim 20.96$ mm (18.60 ± 1.65 mm, $n=4$)로 꼬리의 길이가 체장의 48.8%까지 신장되었다(Fig. 1H).

출산 후 32일째 치어는 표준체장이 $19.49 \sim 22.01$ mm (20.59 ± 1.06 mm, $n=4$)로 눈을 중심으로 아가미 덮개에 9개의 줄이 방사형으로 형성되어 있었고 배 쪽에도 체륜 극이 발달되었다(Fig. 2A).

출산 후 36일째 치어는 표준체장이 $16.56 \sim 24.68$ mm (21.94 ± 3.12 mm, $n=5$)로 얇게 길어졌던 주둥이는 뚱뚱해지는 형태로 강하게 발달하였으며 꼬리도 두껍게 안정적인 형태로 발달되어 있었다(Fig. 2B).

출산 후 39일째 치어는 표준체장이 $19.39 \sim 24.72$ mm (22.38 ± 2.02 mm, $n=5$)로 눈 주위의 극이 발달되었고 아가미 덮개부분에는 눈을 중심으로 13개의 줄이 방사형으로 형성되었고 거미줄처럼 가는 줄로 연결되었다. 그리고 미부의 18번째 체륜 극이 강하게 발달되었다(Fig. 2C).

출산 후 41일째 치어는 표준체장이 $20.14 \sim 24.89$ mm (22.89 ± 2.22 mm, $n=4$)로 머리의 극은 원통형으로 굽어지고 끝에서 여러 개의 돌기가 돌아서 관의 모양으로 발달되었고 이때 체륜은 몸통에 11, 꼬리에 35개가 형성되었다(Fig. 2D).

출산 후 82일째 개체는 표준체장이 $37.54 \sim 45.11$ mm (40.51 ± 4.04 mm, $n=3$)로 꼬리의 길이가 체장의 51.5%까지 신장되었고 머리의 관은 왕관 모양으로 형성되었으며 주둥이는 먹이를 강하게 흡입할 수 있을 만큼 두레가 두꺼워졌고 체륜과 체륜 사이에 굴곡이 뚜렷해지고 몸 전체의 체륜 극은 발달되어 완전한 성어의 형태로 발달되었다(Fig. 2E).

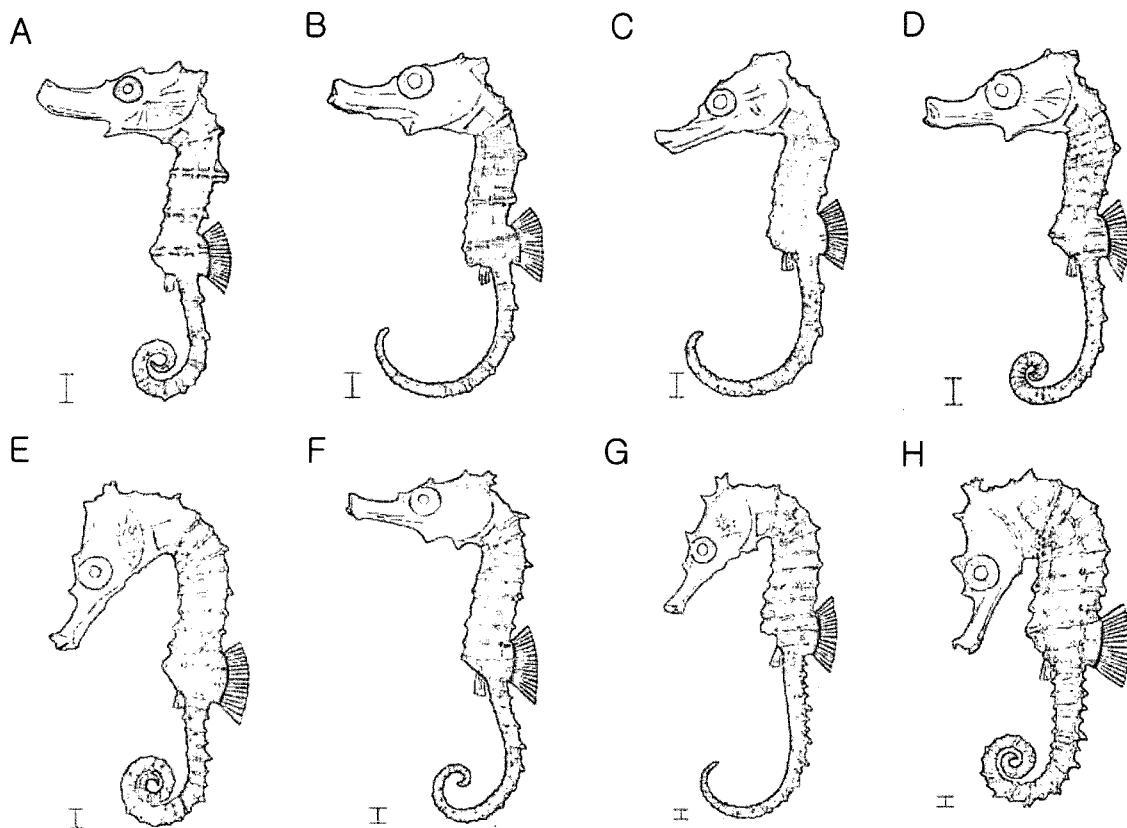


Fig. 2. Morphological development of barbour's seahorse, *H. barbouri* from 32 days after parturition to 158 days after parturition. A: 32 day after parturition, 20.59±1.06 mm (n=4) standard length (SL), B: 36 days after parturition, 21.93±3.11 mm (n=5) SL, C: 39 days after parturition, 22.39±2.02 mm (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 indicated 1 mm.

출산 후 97일째 개체는 표준체장이 41.81~42.26 mm (42.07±0.23 mm, n=3)로 이 시기 몸 전체의 체륜 극은 길고 날카롭게 발달되었다 (Fig. 2F).

출산 후 145일째 개체는 표준체장이 52.65~57.22 mm (54.55±2.38 mm, n=2)까지 성장하였고 (Fig. 2G) 출산 후 158일째에는 표준체장이 59.07~63.76 mm (평균 61.42±3.32 mm, n=2)로 머리길이와 체장의 19.1%, 몸통 길이는 25.2% 그리고 꼬리길이가 55.7%였다 (Fig. 2H).

성장, 부위별 성장 그리고 상대성장 비교

2005년 5월 8일 출산 후 2005년 10월 18일까지 158일 동안 *H. barbouri* 자어의 표준체장과 체중(BW)의 변화는 41일령까지는 아주 완만한 성장 추세를 보였으나 41일령 이후부터는 매우 급격한 표준체장과 체중의 증가가 관찰되었다 (Fig. 3).

1) 출산 후 41일령까지의 표준체장과 체중의 성장

출산 후 1일째 *H. barbouri* 자어의 표준체장은 8.82~10.36 mm (9.48±0.69 mm, n=4)이고 출산 후 41일째에 자어는 20.14~24.89 mm (22.89±2.22 mm, n=4)로 이 기간 *H. barbouri* 자어의 표준체장과 일령(age)과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.37 mm/day이었다 (Fig. 3).

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

출산 후 1일째 체중은 0.0025~0.0031 g (0.0028±0.0004 g, n=4)였고 출산 후 41일째 자어는 0.0235~0.0285 g (0.0260±0.0035 g, n=4)로 이 기간 *H. barbouri* 자어의 체중 (g)과 일령과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.0007 g/day이었다 (Fig. 3).

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

2) 출산 후 41일령부터 158일령까지의 표준체장과 체중의 성장
출산 후 41일째 자어는 표준체장이 20.14~24.89 mm (22.89±2.22 mm, n=4)에서 출산 후 158일째에 자어는 59.07~63.76 mm (61.42±3.31 mm, n=2)로 이 기간 *H. barbouri* 자어의 표준체장과 일령과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.27 mm/day이었다 (Fig. 3).

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

출산 후 41일째 자어의 체중은 0.0235~0.0285 g (0.0260±0.0035 g, n=4)이고 출산 후 158일째에 자어는 0.3037~0.3319 g (0.3178±0.0199 g, n=2)로 이 기간 *H. barbouri* 자어의 체중과 일령과의 관계는 다음과 같은 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.0027 g/day이었다 (Fig. 3).

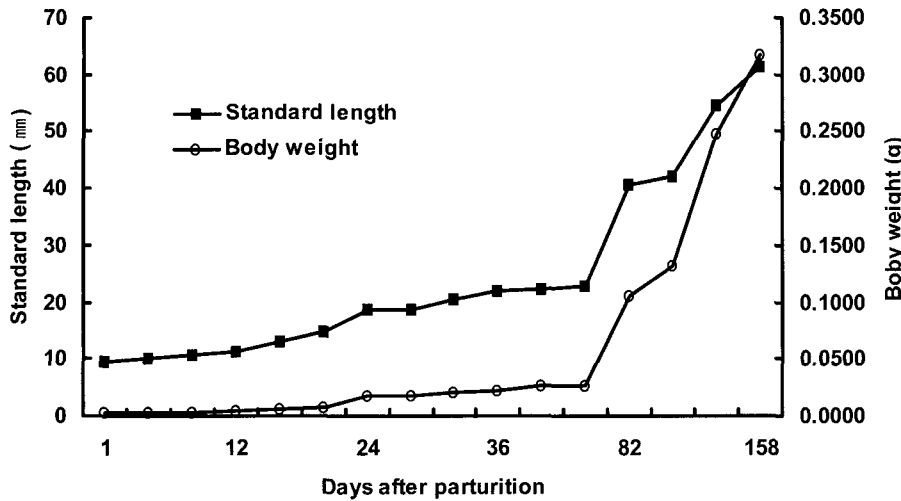


Fig. 3. Growth of standard length and body weight of barbour's seahorse, *H. barbouri* for 158 days after parturition.

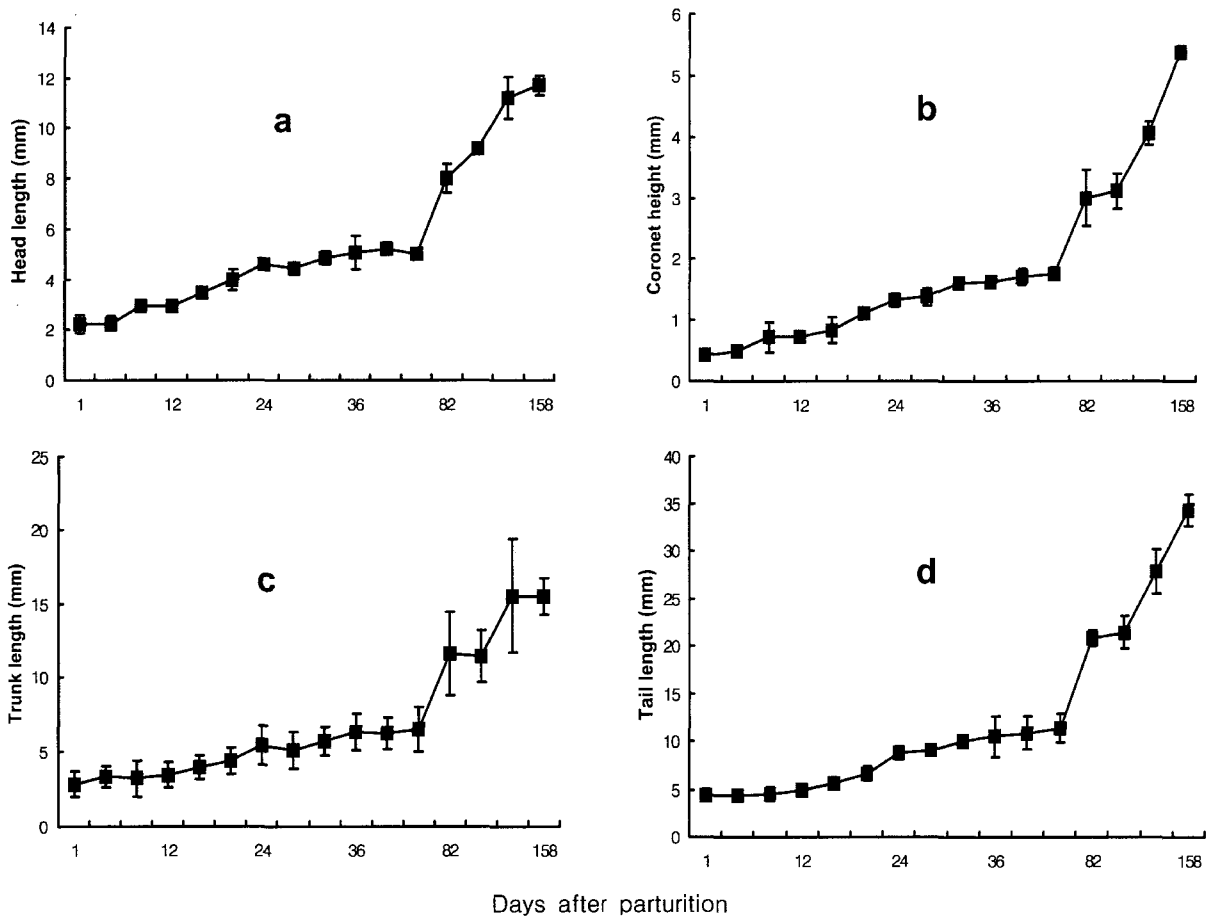


Fig. 4. Growth of head length (HL; a), coronet height (CH; b), trunk length (TrL; c) and tail length (TaL; d) of barbour's seahorse, *H. barbouri* for 158 days after parturition.

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

3) 부위별 성장

출산 후 1일째 *H. barbouri* 자어의 두장(Head length)은 1.91~2.65 mm (2.21 ± 0.35 mm, n=4)이고 41일째 자어는 4.87~5.17 mm (5.02 ± 0.14 mm, n=4)로 Fig. 4a에 나타낸 것과 같으며, 이 기간 두장과 일령과의

관계는 두장= $2.19 + 0.07 \text{ age}$ ($r^2 = 0.953$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고, 일간성장률은 0.07 mm/day 이었다. 그리고 출산 후 158 일째 자어의 두장은 11.43~11.98 mm (11.71 ± 0.39 mm, n=2)로 성장하여(Fig. 4a) 양성단계인 출산 후 41일부터 158일까지 두장과 일령과의 관계는 두장= $3.19 + 0.06 \text{ age}$ ($r^2 = 0.9743$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 이 기간 일간성장률은 0.06 mm/day 이었다.

출산 후 1일째 Coronet height (CH)는 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 성장하여 (Fig. 4b), 이 기간 CH와 일령과의 관계는 $CH=0.38+0.04 \text{ Age}$ ($r^2=0.9812$)로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.04 mm/day 이었다. 출산 후 158일째 *H. barbouri* 자어는 5.30~5.46 mm (5.38±0.12 mm, n=2)으로 성장하였고(Fig. 4b), 출산 후 41일부터 158일까지의 CH와 일령과의 관계는 $CH=0.61+0.03 \text{ Age}$ ($r^2=0.9295$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.03 mm/day 이었다.

출산 후 1일째 몸통장(Trunk length)은 2.04~3.71 mm (2.86±0.87 mm, n=4)이었고 41일째 4.63~8.07 mm (6.50±1.48 mm, n=4)로 성장하였고(Fig. 4c) 이 기간 몸통장과 일령(age)과의 관계는 $\text{몸통장}=2.64+0.10 \text{ Age}$ ($r^2=0.9633$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.10 mm/day 이었다. 출산 후 158일에 *H. barbouri*의 자어는 14.59~16.34 mm 몸통장(15.47±1.24 mm, n=2)으로 성장하여(Fig. 4c), 출산 후 41일 이후부터 158일까지 몸통장과 일령과의 관계는 $\text{몸통장}=4.18+0.08 \text{ age}$ ($r^2=0.9501$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었으며 일간성장률은 0.08 mm/day 이었다.

미장(Tail length)은 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 성장하였고(Fig. 4d), 이 기간 미장과 일령과의 관계는 $\text{미장}=3.31+0.20 \text{ Age}$ ($r^2=0.9594$)으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.20 mm/day 이었다. 출산 후 158일째 자어는 미장 33.05~35.44 mm (34.25±1.69 mm, n=2)로 성장하여(Fig. 4d) 출산 후 41일부터 158일까지의 미장과

일령과의 관계는 $\text{미장}=4.81+0.18 \text{ Age}$ ($r^2=0.9579$)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었고 일간성장률은 0.18 mm/day 이었다.

4) 상대성장

출산 후 1일째부터 158일까지 자어의 표준체장에 대한 두장, Coronet height, 몸통장 그리고 미장의 상대성장은 각각 두장 = 0.184 표준체장 + 0.9237 ($r^2=0.9889$; Fig. 5a), Coronet height = 0.0849 표준체장 - 0.2576 ($r^2=0.9855$; Fig. 5b), 몸통장 = 0.2594 표준체장 + 0.5437 ($r^2=0.9916$; Fig. 5c) 그리고 미장 = 0.5566 표준체장 - 1.4621 ($r^2=0.9962$; Fig. 5d)의 회귀 관계식으로 나타낼 수 있었다.

생존

H. barbouri 자어의 생존율은 출산 후 36일째까지 85.7%로서 높았으나 형태적 발달과 성장이 급격히 진행되는 39일 전후 급격히 감소하여 57.1%였으며 이후 폐사가 더 발생되어 출산 후 145일째에는 15.6%였다(Fig. 6).

토 의

해마의 인공번식 기술개발은 전 세계적인 해마수요의 증가와 남획상태의 자원을 관리하는 측면에서 높은 관심을 불러일으키고 있다(Hilomen-Garcia, 1999). 그리고 현재 산업적으로 수요가 많은 *H. abdominalis* (Woods, 2000), *H. subelongatus* (Payne and Ripplingale, 2000), *H. erectus* (Correa et al., 1996) 그리고 *H. kuda* (Job et al.,

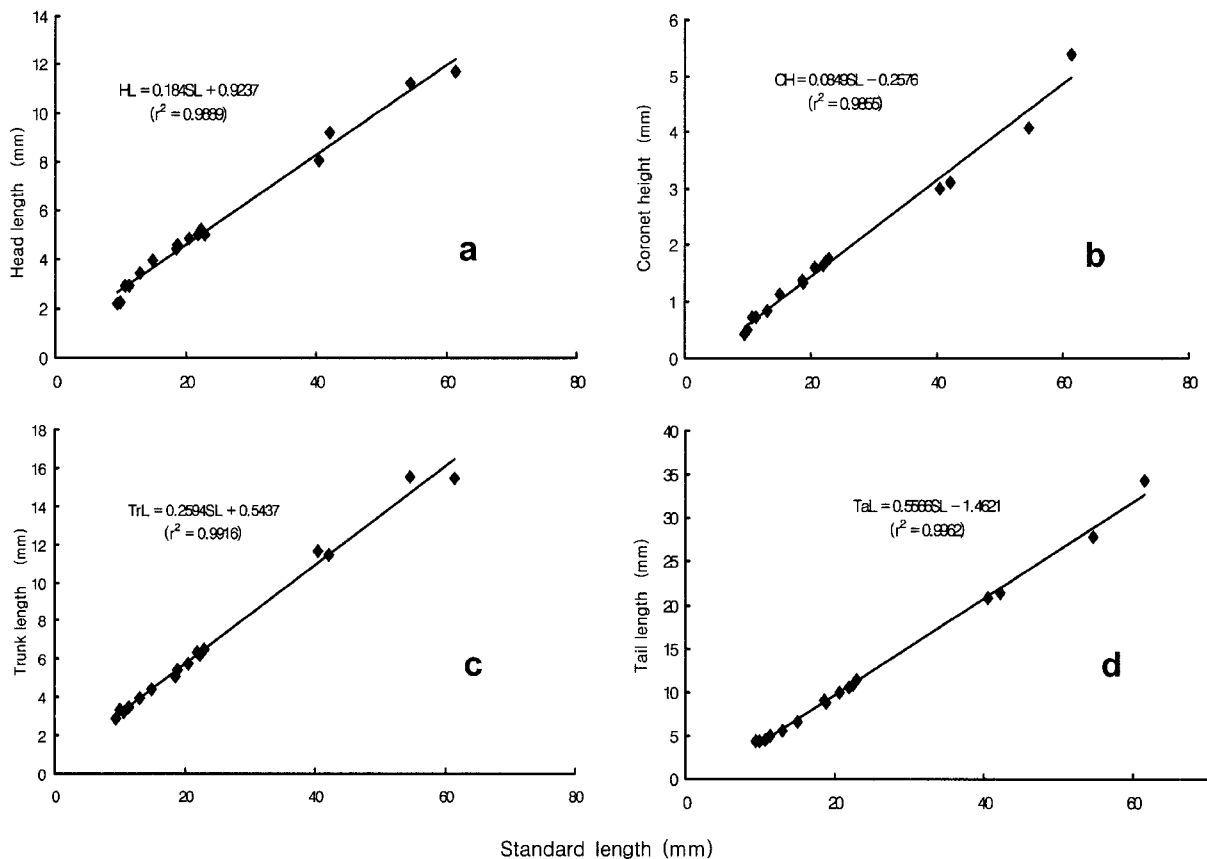


Fig. 5. Relationship between head length (HL; a), coronet height (CH; b), trunk length (TrL; c) and tail length (TaL; d) against standard length (SL) of barbour's seahorse, *H. barbouri*.

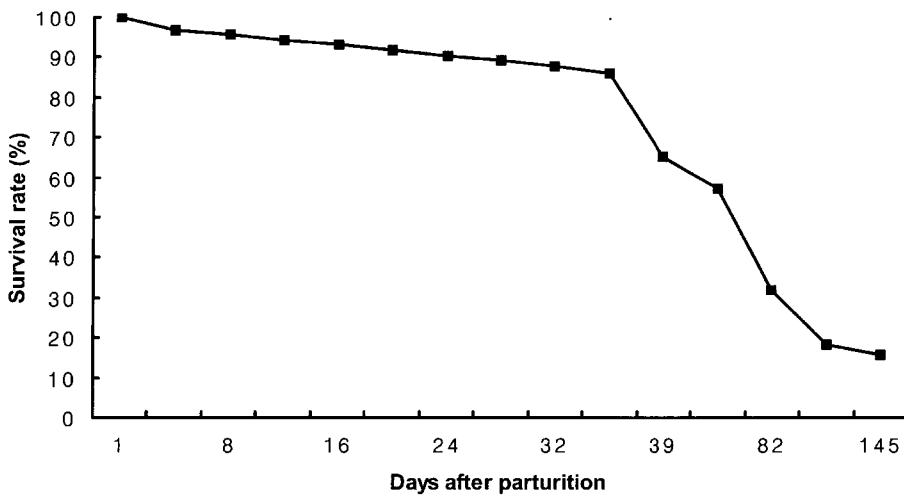


Fig. 6. Survival rate of barbour's seahorse, *H. barbouri*.

2002)의 인공번식에 대한 기초적 연구가 진행되고 있다.

이 연구에서 인공번식 대상종으로 선택한 *H. barbouri*는 적도 부근해역에 서식 하고 있는 종으로서 최대 크기는 150 mm이고 최소 성숙 크기는 80 mm로 알려져 있다(Perez-Oconer, 2002). 일반적으로 해마의 크기는 최소형 종인 *H. denise*의 최대 21 mm (Lourie and Randall, 2003)에서 초대형인 *H. abdominalis*의 최대 350 mm (Francis, 1988)의 범위로 알려져 있다. 이 연구에 사용된 *H. barbouri* 어미의 크기는 수컷이 111.8 mm이고 암컷은 123.3 mm로 Perez-Oconer(2002)가 보고한 바와 비교하면 최소 성숙단계를 거친 개체였다.

모든 해마는 형태와 기능적 면에서 같은 구조를 갖고 있는데 기질에 꼬리를 감아 붙잡을 수 있는 체형 구조와 습성을 갖고 있어 꼬리지느러미는 없다. 그리고 다른 어류와는 달리 몸통과 직각으로 머리가 위치하며 중심선을 따라 복부에 보육낭 주머니가 있으며 가슴지느러미가 높게 형성되어 있다(Fritzsche, 1980). 이러한 형태상의 특이점은 다른 어류와 쉽게 구분이 가능하지만, 실제로 해마류 무리 내의 중간 분류는 매우 어렵다. 한편, 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 35(*H. hystrix*)-41개(*H. trimaculatus*)의 체륜을 갖고 줄기 수는 가슴지느러미에 13(*H. mohnikei*)-18개(*H. hystrix*) 그리고 등지느러미에 15(*H. mohnikei*)-20개(*H. trimaculatus*)를 갖는다(Lourie et al., 1999b). 이 연구에서 실험생물로 사용된 *H. barbouri*의 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.

대부분의 해마 수컷이 1회에 출산하는 자어의 수는 100~300개

체로 알려져 있으나 소형종인 *H. zosterae*인 경우 5개체 정도를 출산하기도 한다(Masonjones and Lewis, 1996). 해마에 있어서 가장 출산 개체 수가 많은 종은 현재 *H. trimaculatus*로 1,783개체를 산출한다는 보고가 있다(reviewed by Foster and Vincent, 2004) 이 연구에서 *H. barbouri*는 156개체를 출산해서 중간정도의 자어 수를 출산하였다. 이는 *H. erectus*의 1,552개체(Teixeira and Musick, 2001), *H. kuda*의 1,405개체(Truong and Doan, 1994)에 비교하면 매우 적은 양이었고 *H. fuscus*의 150개체(Golani and Fine, 2002)와 비슷하였다.

출산 직후 자어의 표준체장은 8.82~10.36 mm (9.48 ± 0.69 mm, $n=4$)로 *H. abdominalis*의 16.2 mm (Woods, 2000), *H. erectus*의 11.0 mm (Vincent, 1990), *H. guttulatus*의 11.8 mm (Whitehead, 1986) 그리고 *H. subelongatus*의 11.3 mm (Lawrence, 1998)보다는 작은 크기였고 *H. breviceps*의 8.9 mm와 *H. comes*의 9.5 mm (Vincent, 1990)와 비슷한 크기였다.

*H. barbouri*의 자어는 120 L 수량의 사각 유리수조에서 수온 $24.0 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 조건에서 코페포다를 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/day였다. 한편, 해마류 중에서 비교적 대형 종에 속하는 *H. kuda*는 수온 30°C 조건에서 자연에서 채집한 copepod와 amphipod를 공급해서 출산 후 14일째에 30.4 mm 그리고 42일 동안 72.1 mm로 성장하여 일간성장률은 1.53 mm/day (Job et al., 2002)이었다. 그리고 출산 직후 표준체장이 16 mm인 *H. abdominalis*는 60 L 규모의 유리수조에서 수온 $16 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 의 조건으로 *Isochrysis* sp.로 영양강화한 *Artemia*를 공급하고 55W의 형광등을 수조 측면에서 조명하여 출산 후 30일 후에 30.6 mm로 성장하였고 60일 후에는 43.0 mm로 성장하였다고 보고하였다(Woods, 2000). 앞에서 설명한 것과 같이 자어의 성장 비교에서 이 연구의 *H. barbouri* 자어 사육 결과와 다른 두 연구결과와 현격한 차이가 있는 이유는 *H. kuda*의 경우 최대 170 mm까지 성장하고(Lourie et al., 1999b) *H. abdominalis*는 최대 350 mm까지 성장하는(Francis, 1988) 종의 특성에 따른 성장률의 차이로 이 연구의 대상종인 *H. barbouri*가 위의 두 종에 비해 성장률이 낮은 종임을 추측 가능하게 한다. 그러나 이 연구 결과는 아직 해

마의 자어 사육에 있어서 최적의 성장에 필요한 먹이 조건이 완전히 구명되어 있지 않은 상태에서의 연구 결과로서 먹이 조건이 향상될 경우 보다 빠른 체성장이 가능하리라 판단된다.

한편, *H. barbouri*는 출산 후 158일째에 표준체장이 59.07~63.76 mm (61.42±3.31 mm)까지 성장하였으며 이때 두장은 11.43~11.98 mm (11.71±0.39 mm), 몸통장은 14.59~16.34 mm (15.47±1.24 mm) 그리고 미장이 33.05~35.44 mm (34.25±1.69 mm)였다. 표준체장에 대한 각 부위의 비율은 두장 19.06%, 몸통장 25.18% 그리고 미장 55.76%으로 각 부분의 비율을 비교해 보면 일령 158일째 *H. barbouri*는 머리와 몸통보다는 꼬리의 길이가 긴 형태임을 알 수 있었다. 그러나 성체 수컷의 경우에는 표준체장에 대하여 두장 17.01%, 몸통장 38.20% 그리고 미장 44.78%이었고 성체 암컷의 경우에는 표준체장에 대한 두장은 17.80%, 몸통장은 33.69% 그리고 미장은 48.49%로 관찰되어 158일령의 어린 개체에서 도출된 결과와 비교하여 성체의 경우에는 표준체장에서 꼬리 부위(미장)가 차지하는 비율이 그다지 높지 않았다. 한편 다른 종류의 해마에 대한 유사한 연구 결과로서 두장, 몸통장 그리고 미장의 비율이 각각 27.1±1.4%, 20.5±1.2% 그리고 52.4±2.3%인 *H. comes* (157.8±10.1 mm, n=8) (Lourie *et al.*, 1999b)와 두장 19.7±0.8%, 몸통장 27.5±1.2% 그리고 미장 52.7±1.7%인 *H. kelloggi* (198.5±43.3 mm, n=12) (Lourie *et al.*, 1999b)가 알려져 있다.

사육 기간 동안 관찰된 *H. barbouri*의 생존율은 출산 후 36일째까지 85.7%로서 높았으나 형태적 발달과 성장이 급격히 진행되는 39일 전후 급격히 감소하여 57.1%였으며 이후 감소가 더 진행되어 출산 후 145일째에는 15.6%였다. 이와 같은 연구 결과는 해마류 중에서 인공종묘 생산기술이 가장 많이 개발된 *H. abdominalis*가 2개월경에 80.4%의 높은 생존율 보인 결과와(Woods, 2000) 비교했을 경우 초기 단계에서는 그다지 낮은 생존율을 보인 것은 아니다. 그렇지만 이번 연구에서는 145일간의 사육 기간 중에 성장과 함께 *H. barbouri*가 요구하는 보다 대형의 먹이가 원활하게 공급되었다면 높은 생존율의 유지가 가능하였으리라 판단된다. 앞으로 해마류의 초기 먹이생물 뿐만 아니라 1개월 이상 경과된 개체가 요구하는 비교적 다양한 크기의 먹이생물 개발에도 연구가 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 연구는 해양수산부 수산특정연구개발과제(RP-2006-AQ-010, 해수관상어 양식기술 개발에 관한 연구)의 연구비 지원에 의하여 국립수산물품질관리원 제주수산연구소와 제주대학교에서 수행한 것입니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

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, edited by Heggberget, T. G., J. G. Woiwode and R. J. Wolotira, Science Publishers, New Hampshire, pp. 171-172.

Forthéath, 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. Life history and ecology of seahorse: implications for conservation and management. *J. Fish Biol.*, **65**: 1-61.

Francis, M., 1988. Coastal Fishes of New Zealand. Heinemann Reid, Auckland, New Zealand. 72 pp.

Fritzsche, R. A., 1980. Revision of the eastern Pacific Syngnathidae (Pisces: Syngnathiformes) including both recent and fossil forms. *Proceedings of the California Academy of Science*, **42**: 181-227.

Gill, T., 1905. The life history of the sea-horses (*Hippocampus*). *Proceedings of the United States National Museum*, **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.

Hilomen-Garcia, G., 1999. AQD's marine ornamental fish project. *SEAFDEC Asian Aquacult.*, **21**(2): 31-38.

Job, S. D., H. H. Do, J. J. Meeuwing and H. J. Hall, 2002. Culturing the oceanic seahorse, *Hippocampus kuda*. *Aquaculture*, **214**: 333-341.

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.

Lawrence, C., 1998. Breeding seahorses - facts and fallacies. Western Fisheries, Autumn, pp. 39-40.

Lourie, S. A., A. C. J. Vincent and T. S. Hall, 1999a. An Identification Guide to the World's Species and Their Conservation In: Seahorses, 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). *Biological Journal of the Linnean Society*, **66**: 231-256.

Lourie, S. A. and J. E. Randall, 2003. A new pygmy seahorse, *Hippocampus denise* (Teleostei: Syngnathidae), from the Indo-Pacific. *Zoological Studies*, **42**: 284-291.

Masonjones, H. D. and S. M. Lewis, 1996. Courtship behavior in the dwarf seahorse, *Hippocampus zosterae*. *Copeia*, **1996**: 634-640.

Payne, M. F. and R. J. Rippingale, 2000. Rearing West Australian seahorse, *Hippocampus subelongatus*, juveniles on copepod nauplii and enriched *Artemia*. *Aquaculture*, **188**: 353-361.

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.

Project Seahorse, 2002. *Hippocampus barbouri*. In: IUCN 2004. 2004 IUCN Red List of Threatened Species. <http://www.iucnredlist.org>.

Teixeira, R. L. and J. A. Musick, 2001. Reproduction and food habits of the lined seahorse, *Hippocampus erectus* (Teleostei: Syngnathidae) of Chesapeake Bay, Virginia. *Review Brazilian Biology*, **61**: 79-90.

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. Cambridge, U. K.: TRAFFIC International, 4 pp.

- 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, M. J. and A. C. J. Vincent, 1998. Preliminary success in closing the life cycle of exploited seahorse species, *Hippocampus* spp., in captivity. *Aquarium Sciences and Conservation*, **2**: 179–196.
- Woods, C. M. C., 2000. Improving initial survival in cultured seahorse, *Hippocampus abdominalis* Leeson, 1827 (Teleostei: Syngnathidae). *Aquaculture*, **190**: 377–388.
-

2006년 3월 24일 원고접수

2006년 8월 16일 수정본 채택

담당편집위원: 최광식