

소안도에 서식하는 해마(*Hippocampus haema*) (Pisces: Syngnathidae)의 서식지 특성 및 산란생태^{1a}

조현근² · 안중관³ · 김형수^{4*}

Habitat Characteristics and Spawning Ecology of *Hippocampus haema* (Pisces: Syngnathidae) Inhabiting the Soando (Island)^{1a}

Hyun-Geun Cho², Jung-Kwan Ahn³, Hyeong-Su Kim^{4*}

요약

본 연구는 2015년 5월부터 2016년 12월까지 전라남도 완도군 소안도 일대에서 해마의 서식지 특성 및 산란생태를 밝히기 위해 조사하였다. 해마가 서식하는 조사지점은 주로 거머리말 개체군의 초지가 형성되었다. 거머리말 생육밀도와 생물량(Mean±SE)은 각각 춘계(5월)에 136±14.4shoots/m², 489.8g DW/m²로 가장 높았고, 생육밀도는 추계(10월)에 93±7.0shoots/m², 생물량은 동계(2월)에 122.3g DW/m²로 가장 낮았다. 본 연구 기간 동안 다이빙과 죽대 조사를 통해 293개체의 해마가 확인되었고 해마의 전장은 10.1~87.0mm의 범위였다. 수정란 또는 자어를 보육중인 수컷 개체는 2015년, 2016년 모두 5월부터 출현하여 10월까지 채집되었고, 미성어의 출현은 2015년에는 7월, 2016년에는 6월부터 확인되었다. 산란기 특성을 종합적으로 분석한 결과, 해마의 산란시기는 4~10월까지로 추정되었다. 수컷의 보육낭에서 확인된 수정난수 또는 자어수는 38.3±14.8(20~76)개였고 암컷에서 확인된 포란수는 47.2±8.6(31~59)개였다. 해마의 암컷과 수컷의 성비는 1:1.7로서 수컷의 출현비율이 우세하였다.

주요어: 해마류, 서식 밀도, 거머리말, 보존

ABSTRACT

This study investigated the habitat characteristics and spawning ecology of *Hippocampus haema* (Syngnathidae) in Soando Island, Korea, from May 2015 to December 2016. The survey site where seahorses inhabit was mainly formed by seagrass of *Zostera marina* populations. Total density and biomass (Mean±SE) of *Z. marina* were the highest at 136±14.4 shoots/m² and 489.8g DW/m², respectively, in spring (May), while

1 접수 2022년 9월 22일, 수정 (1차: 2022년 11월 7일), 게재확정 2022년 11월 16일

Received 22 September 2022; Revised (1st: 7 November 2022); Accepted 16 November 2022

2 국립공원연구원 해양연구센터 연구원 Marine Research Center, Korea National Park Research Institute, Bangnamhoegil 1 Yeosu-si 59723, Korea (bbabby56@knps.or.kr)

3 국립공원연구원 해양연구센터 책임연구원 Marine Research Center, Korea National Park Research Institute, Bangnamhoegil 1 Yeosu-si 59723, Korea (jkahn@knps.or.kr)

4 국립수산물품질관리원 첨단양식실증센터 해양수산연구소 Inland aquaculture research, National Institute of Fisheries Science, 55 Yeomyeongro 25 beongil Jinhae-gu Changwon-si 51688, Korea (kimk2k@korea.kr)

a 이 논문은 본 연구는 국립공원 해양생태권역 기본조사의 연구비에 의해 수행되었음

* 교신저자 Corresponding author: kimk2k@korea.kr

the total density was lowest at 93 ± 7.0 shoots/ m^2 in autumn (October), and biomass was the lowest and at 122.3 g DW/ m^2 in winter (February). During the study period, 293 individuals were identified through a diving and kick net survey, and the total length of *H. haema* ranged from 10.1 to 87.0 mm. Male individuals nurturing fertilized eggs or larvae appeared beginning in May and were collected until October in both 2015 and 2016. Juvenile individuals were captured beginning in July 2015 and June 2016. As a result of a comprehensive analysis of the spawning season characteristics, it was estimated that the spawning season of *H. haema* was from April to October. The number of fertilized egg or larvae inside the male brood pouch were 38.3 ± 14.8 (20-76), and the number of fecundity identified from female were 47.2 ± 8.6 (31-59). The male-to-female ratio of *H. haema* was 1:1.7, indicating the dominance of males.

KEY WORDS: SEAHORSE, HABITAT DENSITY, ZOSTERA MARINA, CONSERVATION

서 론

해마류(seahorse)는 실고기과(Syngnathidae)에 속하는 경골어류로 아래턱과 위턱이 융합된 관 모양의 주둥이를 가지며 몸은 비늘대신에 단단한 골판으로 덮여 있는 형태적 특징을 가지고 있다(Lourie *et al.*, 2016). 그러나 종간의 형태적 유사성, 서식처에 따른 변이, 성적이형(sexual dimorphism), 비비례생장에 따른 변이(allometric variation) 등으로 인하여 종 수준의 동정이 매우 어려운 분류군이기도 하다. 지금까지 세계적으로 해마류(*Hippocampus* spp.)에 대한 분류학적 연구가 많이 보고되었는데 Lourie *et al.* (2004)는 33종, Kuitert (2009)는 83종, Lourie *et al.* (2016)는 46종으로 분류한 바 있다. 국내에 분포하는 해마류에 대한 기록은 Kim and Lee (1995)가 과거 기록을 근거로 6종에 대해 분류키를 제시한 바 있으며, 최근에는 Han *et al.* (2017)이 분류학적 재검토를 통하여 국내에서 *H. haema* (국명: 해마)를 신종을 보고하였다.

해마류는 생태학적, 생물학적, 경제적 가치를 가지고 있는 중요한 해양생물 중 하나로(Vincent *et al.*, 2011) 주로 온대 및 열대 해역에서 수심이 얇고 산호나 수초가 생육하는 수심 5~100m 정도의 연안에 주로 서식하며, 산란기에는 수컷의 육아낭(brood pouch)에 암컷이 알을 넘겨주며 수컷은 알을 보육하다가 치어로 방출하는 독특한 번식전략을 가지고 있다(Masonjones and Lewis, 2000; Jones and Avise, 2001; Wilson *et al.*, 2003; Stölting and Wilson, 2007). 또한, 해마류는 요각류(copepoda)와 단각류(amphipoda) 등 저서성 갑각류의 포식자로서의 생태적 지위(ecological niche)를 가지고 있어 어류들의 생태학적 특성을 이해하는데 중요한 정보를 제공하고 있다(Kendrick and Hyndes, 2005; Felicio *et al.*, 2006; Garcia *et al.*, 2012). 최근에는 유럽과 북미에서 수족관의 관상용과 약재로서의 효능이 있는 것으로 알려져 중국과 동남아시아에서는 한약재로 거래되는 등 인간들의 경제적 활동

에 이용되고 있고(Yasué *et al.*, 2015; Pajaro and Vincent, 2016) 해초지, 맹그로브, 산호초, 해조류에 대표되는 상징종이기도 하지만 인간의 무분별한 연안개발로 인해 그 서식지를 잃고 개체수가 급감하고 있는 대표어종이기도 하다(Simberloff, 1998; Shokri *et al.*, 2009).

이러한 이유로 최근에 발표된 4종을 제외한 해마속(Genus *Hippocampus*)에 기록된 46종 전 종은 IUCN 적색목록 및 CITES 부속서 II에 수록되어 세계적으로 보호받고 있고, 해마류를 보호하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며 대표적으로는 Seahorse Project가 알려져 있다(Lourie *et al.*, 2016). 그러나 우리나라에 서식하는 해마류는 분포 및 현황에 대한 정보가 부족하여 가시해마(*H. histrix*), 복해마(*H. kuda*), 점해마(*H. trimaculatus*) 3종만이 해양수산부 해양보호생물로 지정되어 법으로 보호받고 있어(해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률 제 2조) 이들 이외의 종들에 대한 보호대책 마련이 시급하다.

현재까지 우리나라에서 수행된 해마류에 대한 생태 연구로는 자어기의 형태 발달 등에 관한 연구(Kang, 2004; Koh *et al.*, 2004), 해마의 출현량, 먹이습성, 체장분포에 관한 연구(Choi *et al.*, 2012; Huh *et al.*, 2014), 산란 및 초기성장(Choi *et al.*, 2006), 해마의 번식생물학적 연구(Choi, 2006)가 있을 뿐 해마의 서식지 연구나 개체군 특성에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다도해해상국립공원 내 분포하는 해마(*H. haema*)의 서식지와 산란 생태 연구를 통하여 이들의 주요 서식지 환경과 생태학적 특성 등을 규명하여 해마류의 보존을 위한 기초자료를 확보하고자 수행하였다.

연구방법

1. 조사시기 및 연구장소

본 연구는 2015년 5월부터 2016년 12월까지 전라남도 완도군 소안면 소안도 소안도항 일대의 거머리말(*Zostera marina*) 군락지를 대상으로 월 1회 이상 수행하였다. 해마의 서식지 및 개체군 조사를 위해 연구지역의 해저면에 30m의 횡단선(transect line)을 5m 간격으로 4개를 설치하여 만조시에는 스쿠버다이빙을 통한 UVC(under water visual census) 방법으로 조사하였고, 간조시에는 족대(길이 1.5×1.0m, 망목 3×3mm)를 이용하여 횡단선 조사지점 인근 거머리말 군락지 주변에서 수행하였다(Figure 1). 수온은 오후 1시 전후로 다항목 수질측정기(YSI-650 Inc.; Yellow spring Instruments, Yellow springs, OH, USA)를 이용하여 측정하였다.

2. 서식지 조사

해마의 서식지 특성을 알아보기 위해 기질 표면에서부터 30~50cm 높이에서 기질 표면을 덮고 있는 다양한 구성물에 대한 피도(%)를 2016년 동계(2월), 춘계(5월), 하계(7월), 추계(10월)로 나누어 4회 측정하였다. 특히, 해마가 부착기로 사용하는 거머리말의 생육밀도와 생물량 조사는 해조류

조사에서 일반적으로 사용하는 방형구(25×25cm)를 이용하였고 생육 밀도를 단위면적(m²)으로 환산하였다. 방형구 안의 거머리말 지하부와 지상부의 모든 식물체를 채집하였다. 채집된 식물체는 수돗물로 깨끗이 세척하고, 부착생물을 최대한 제거하여 영양지, 측지, 생식지로 분리 후 각각 지상부와 지하부로 구분하였다. 구분된 식물체는 60℃에서 24시간 건조한 후 각각의 무게를 측정하여 단위면적당 생물량(g DW/m²)으로 계산하였다. 거머리말 생육밀도 및 생물량 데이터 추정치의 정확성을 위해서 표준오차로 산출하였다.

3. 해마의 산란특성 및 동서출현종

해마의 산란특성을 확인하고자 조사기간 동안 매달 1회 이상 조사하였고 주요 산란기로 추정된 4~6월에는 2주 간격으로 정밀 조사를 실시하였다. 해마의 암수 구분은 보육낭의 유무로 결정하였고, 치어 구분은 보육낭을 갖는 최소형의 성어 크기(전장 50mm)로 구분하였다(Perante *et al.*, 1998; Wilson and Vincent, 1998; Baum *et al.*, 2003). 만조시 스쿠버다이빙을 통해 채집된 개체는 수중에서 동정 후, 전장, 성별, 부착기 특징을 기록하였고 그 자리에 재방류하였다. 간조시 족대를 이용하여 채집한 개체는 산란특성 분석을 위해 2016년 5월에서 10월까지 수컷 14개체, 암컷 13개체만 10% 중성 포르말린액에 고정하여 실험실로 이동하여 전장, 체중, 포란수 및 수정란수 또는 자어수를 측정하였

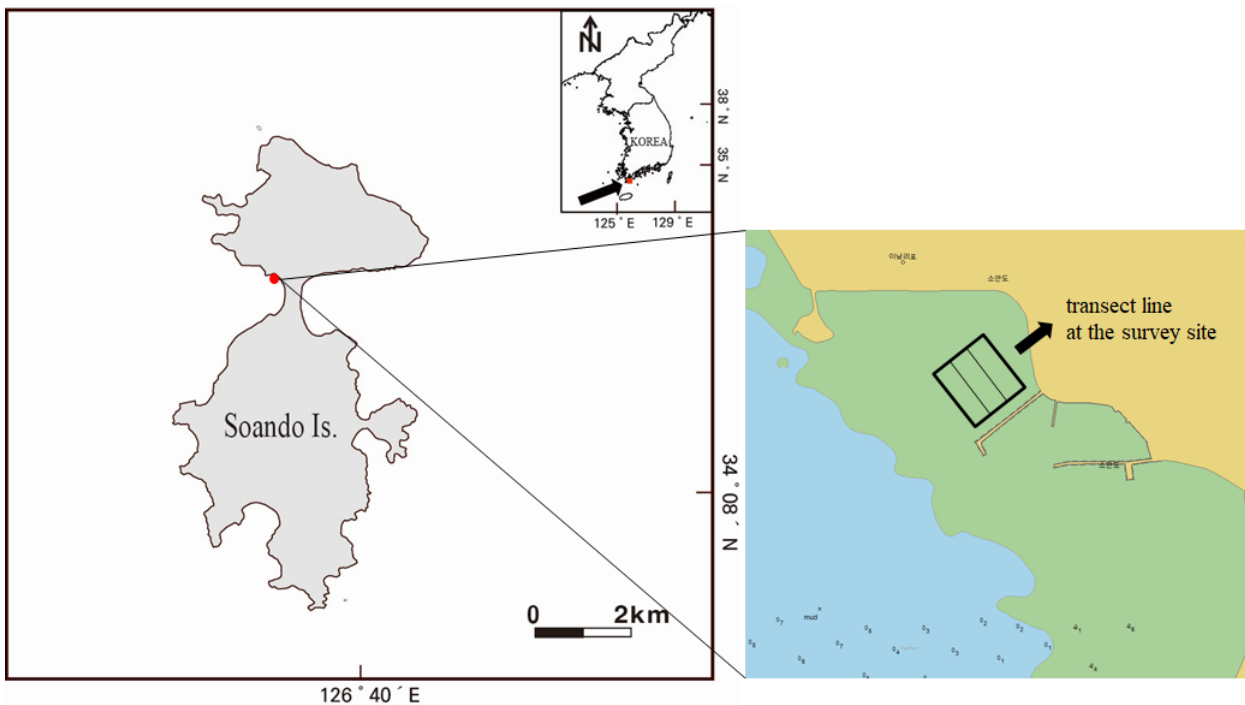


Figure 1. A map of the study site of *Hippocampus haema* in the Soando (island) from May 2015 to December 2016.

고 나머지 개체는 모두 재방류하였다. 조사기간 동안 채집된 어류는 Masuda *et al.* (1984), Kim *et al.* (2005), Nakabo (2013)를 이용하여 동정하였고, 어류분류체계는 Nelson (2006)을 따랐으며, 국명 및 학명은 NIBR (2021)을 참고하였다.

4. 통계분석

모든 유의성 검증은 SPSS program (SPSS 23.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 월별 수온변화가 해마의 출현개체수에 영향을 미치는지 확인하기 위해 회귀분석을 실시하였고, 해마의 암컷의 포란수와 수컷의 보육낭안의 수정란수 또는 자어수의 관계를 확인하기 위해 피어슨 상관분석을 실시하였다. 조사기간 동안 해마의 성비를 계산하고 χ^2 검정을 통하여 성비 1:1 유의성을 확인하였다. 모든 통계학적 유의수준은 $P < 0.05$ 로 설정하였다.

결 과

1. 서식지 환경

해마를 연구한 지역은 소안도항 남쪽의 비자리와 이월리 사이에 위치한 만의 지형으로 저질은 주로 니질(mud)이며, 거머리말 해초지가 만 전체에 넓게 분포하고 있었다. 만 서편의 노화도와 보길도 사이에 전복양식장이 위치하고 있으며, 소안도 거머리말 군락지 쪽으로는 미역과 다시마 양식 시설이 접해있었고 거머리말 해초지에서는 통방어업과 함께 소안도 어항에 출입하는 소형어선 및 양식장 관리선 등의 통행이 잦은 것으로 확인되었다. 또한, 해마의 주요 서식지로 알려진 거머리말 면적은 약 2.92km²로 광범위하게 군락지가 조성되어 있었다(Figure 1).

2. 서식지 특성

본 조사지점의 해초류는 거머리말 개체군으로 초지가 형성되었으며, 소안항부터 남쪽의 맹선리 항만까지 만 안쪽에 넓게 초지를 이루며 분포하였다. 소안도항 북쪽의 만과 해변에도 다수의 거머리말 패치와 넓은 초지가 발달하였으며, 수심 1~3m에서 생육하였다.

해초지를 구성하는 거머리말 개체군 이외에 몇몇 해조류가 같이 분포하였는데, 고착성의 해조류가 연성저질인 해초지 기질에 부착하지 못하고 거머리말 포기 사이의 노출된 기질을 단순히 덮고 있는 형태로 혼생하였다. 해초류의 대부분은 넓은붉은잎(*Callophyllis adnata*)이었다. 해초지의 피도를 바탕으로 한 해초지의 구성은 Table 1과 같다. 거머리말의 피도는 평균 10%로 동계-하계에 피도 12% 수준을 유지하다가 생육이 감소하는 추계에 피도 5% 수준으로 감소하였다. 탈락된 거머리말 잎은 평균 피도 16%였으며, 생장이 최대로 나타나는 하계에 평균 피도는 27%로 낙엽의 양이 증가하였다. 하지만, 추계에는 태풍 등으로 제거되거나, 부유퇴적물로 덮여 기질과 구분이 어려워 피도를 측정하지 못하였다.

소안도 거머리말 해초지의 대부분을 덮고 있는 넓은붉은잎은 평균 피도 24%였으며, 해조류 생육이 가장 증가하는 춘계에 평균 49%로 높았고, 추계에는 낙엽과 같은 이유로 피도를 측정치 못하였다. 계절에 따라 구멍갈파래(*Ulva australis*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*) 등이 나타났으며, 잎과 탈락된 거머리말 낙엽에 가위갯쇠털(*Sphacelaria rigidula*)이 다수 출현하기도 하였으나, 형태적 특성상 피도를 측정하기에는 부족하였다. 기타 해조류로 옥덩굴(*Caulerpa okamurae*), 청각(*Codium fragile*) 등이 조사지 주변에서 확인되었으며, 거머리말 잎 표면에 가위갯쇠털 이외에 잘피껍테기(*Pneophyllum zostericolum*), 모로우붉은실(*Polysiphonia*

Table 1. Habitat characteristic of the seagrass bed in the Soando (island) from February to October 2016

Index	Dominant species	Composition ratio of coverage (%)				Mean
		Winter period (February)	Spring period (May)	Summer period (July)	Autumn period (October)	
seagrass	<i>Zostera marina</i>	12	12	12	5	10
	fallen leaves	18	18	27		16
	<i>Callophyllis adnata</i>	25	49	22		24
seaweed	<i>Ulva australis</i>	2				+
	<i>Sphacelaria rigidula</i>		+			+
	<i>Sargassum horneri</i>			1		+

+: appearance

morrowii) 등 부착 해조류가 관찰되었다.

3. 거머리말 생육밀도 및 생물량

해마가 주요 부착기(holdfast)로 이용하는 거머리말의 생육밀도(Mean±SE)는 114±7.3shoots/m²로 영양지 밀도 83±7.0shoots/m², 측지 밀도 39±7.7shoots/m²였고, 생식지 밀도는 춘계(5월)에 16±9.8shoots/m²로 나타났다(Figure 2). 계절별 거머리말의 생육밀도는 춘계에 136±14.4shoots/m²로 가장 밀생하였고, 추계(10월)에 93±7.0shoots/m²로 낮았다. 연 평균 생물량은 277.48g DW/m²로 나타났고, 지상부는 157.0g DW/m², 지하부는 60.1g DW/m²이었으며, 계절별로는 생식지가 많이 나타난 춘계(5월)에 489.8g DW/m²로 가장 많았고, 거머리말 생육이 저조한 동계(2월)에 122.3g DW/m²로 가장 적었다(Table 2).

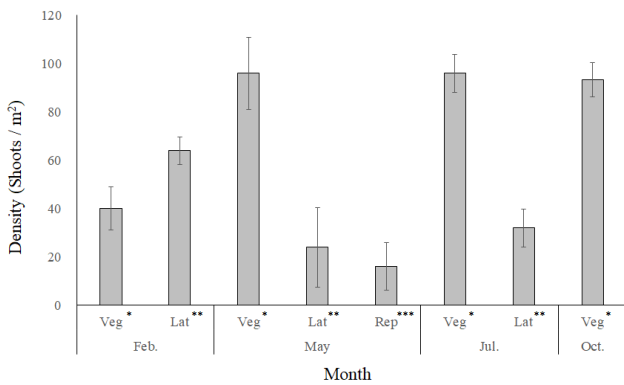


Figure 2. Monthly changes of density of *Zostera marina* in the Soando (island) from February to October 2016 (*: vegetation shoot, **: later shoot, ***: reproductive shoot).

4. 해마의 월별 출현양상 및 산란시기

본 연구기간 동안 다이빙과 족대 조사를 통해 293개체의 해마가 확인되었다. 해마의 월별 출현은 4월부터 10월까지 높은 개체밀도를 보였으며, 2015년 11월부터 2016년 3월

초까지 2016년 2월 2개체를 제외하고는 해마를 확인하지 못하였다. 수온범위는 7.0~28.0℃ 이었으며 수온의 변화와 해마의 출현개체수 간에는 유의한 수준에서 영향이 있는 것으로 나타났다(regression analysis, $r^2=0.616$, $t=5.374$, $P<0.001$). 해마의 평균 개체밀도는 단위면적당(m²) 0.0326 개체였으며, 해마 치어들의 유입으로 6월부터 10월 사이에 비교적 많은 개체수가 출현하였다(Figure 3).

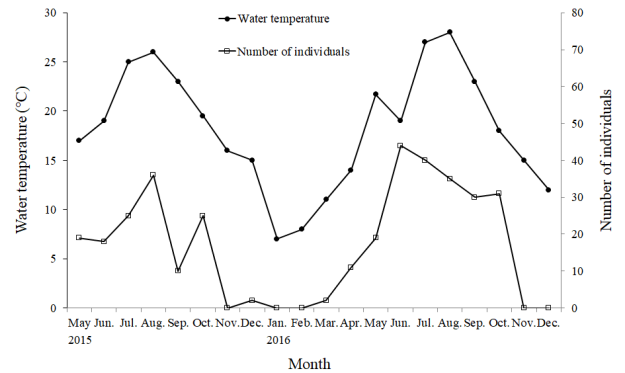


Figure 3. Monthly changes of the water temperature and the number of individuals of *Hippocampus haemain* in the Soando (island) from May 2015 to December 2016.

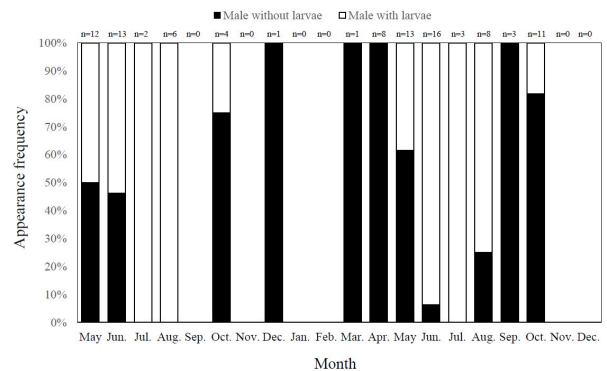


Figure 4. Appearance frequency of *Hippocampus haemain* male without (■) or with larvae (□) in the Soando (island) from May 2015 to December 2016.

Table 2. Total density and biomass of *Zostera marina* in the Soando (island) from February to October 2016

Survey period	Total density (shoots/m ²)		Biomass (g DW/m ²)		
	Vegetation shoot	Reproductive shoot	Aboveground	Belowground	Reproductive shoot
February	104±13.3	-	91.4	30.9	-
May	120±6.9	16±9.8	175.6	72.5	241.7
July	128±15.0	-	246.4	83.4	-
October	93±7.0	-	114.6	53.6	-
Mean±SE	114±7.3	4±2.5	157.0	60.1	60.4

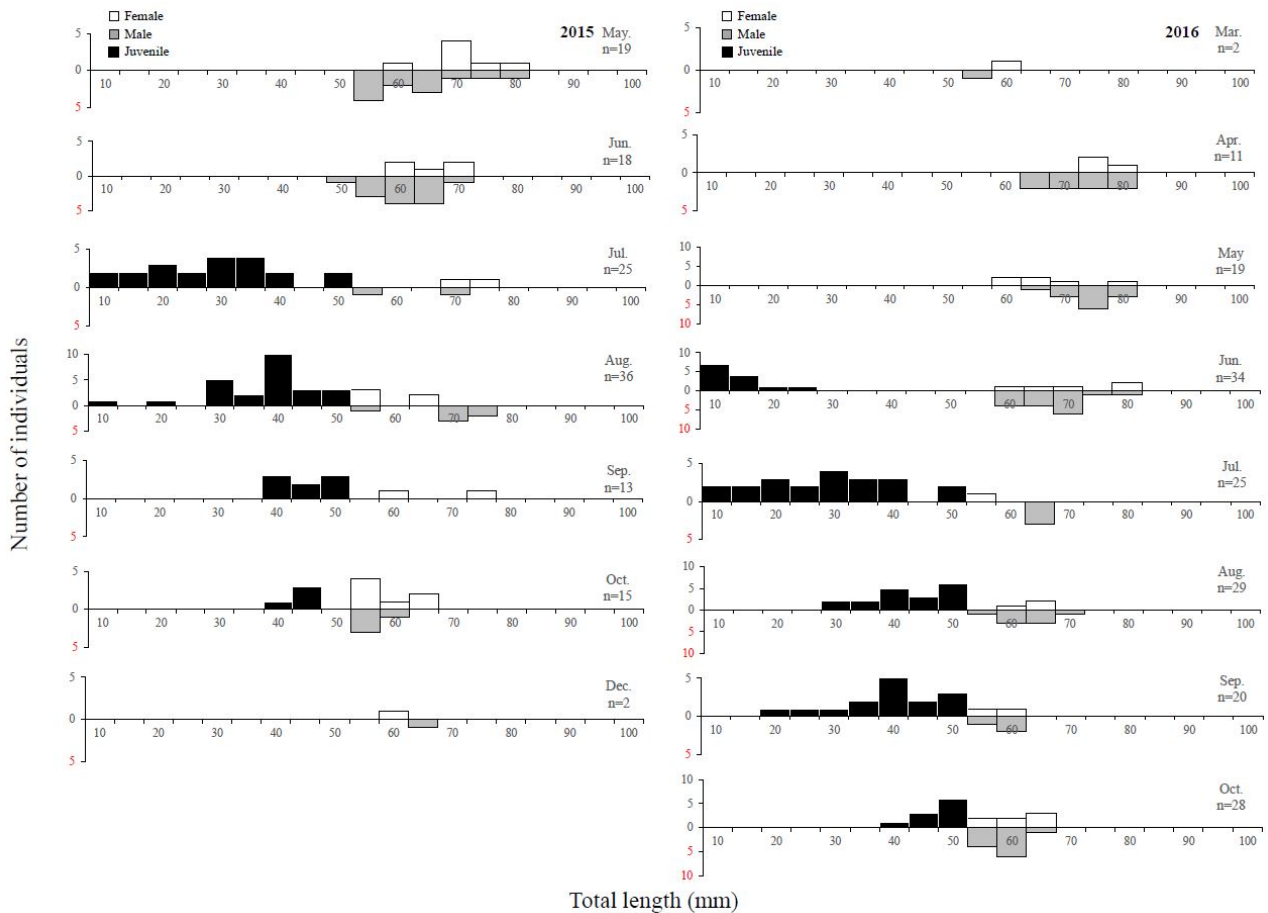


Figure 5. Total length frequency distribution of *Hippocampus haema* in the Soando (island) from May 2015 to October 2016.

연구기간 동안 채집된 해마의 전장은 10.1~87.0mm의 범위였고, 수컷은 55.0~87.0mm, 암컷은 55.0~81.3mm, 치어는 9.9~53.0mm로 확인되었다. 수정란 또는 자어를 보육중인 수컷 개체는 2015년 5월(6마리)부터 출현하였는데 수컷을 확인하지 못한 2015년 9월과 암컷과 미성어의 출현만 확인된 2016년 9월을 제외하고는 2015년 10월(1마리), 2016년 10월(2마리)로 10월까지 확인되었다. 보육중인 수컷의 비율은 2015년 7월(2마리)과 8월(6마리)에 100%, 2016년에는 6월(15마리)에 94%와 7월(3마리)에 100%의 높은 비율로 확인되었다. 미성어의 출현은 2015년 7월 조사에서 처음으로 확인되었고, 2016년에는 6월 조사부터 미성어가 채집되었다(Figures 4, 5).

5. 산란특성

산란특성을 확인하기 위해 2016년 5월에서 10월 사이에 채집된 개체 중 수컷 14개체와 암컷 13개체를 대상으로 복

부를 절개하여 수컷이 보육중인 수정란수 또는 자어수와 암컷의 포란수를 계수하였다. 해마 알은 타원형에 반투명의 옐로우색을 띠고 있었고, 수컷의 보육낭 내에서 확인된 자어는 모두 난황을 가지고 있었다. 수컷의 보육낭에서 확인된 수정란수 또는 자어수는 38.3 ± 14.8 (20~76)개로 나타났고, 암컷에서 확인된 포란수는 47.2 ± 8.6 (31~59)개로 나타났다. 5월에 채집된 보육중인 수컷 6개체 중 5개체는 모두 수정란이 확인되었고, 수컷 1개체는 72개의 수정란과 4개체의 자어를 보육하고 있었으며, 6월에 채집된 수컷 8개체에서는 보육낭에서 모두 자어만 확인되었다. 해마 전장이 커질수록 수컷 보육낭 안의 수정란수 또는 자어수 및 암컷의 포란수는 증가하는 경향이 나타났지만 통계학적으로 유의한 수준에서 상관관계는 없는 것으로 나타났다(Pearson correlation analysis, male, $p=0.490$; female, $p=0.227$; Figure 6).

연구기간 동안 해마 암컷은 57개체, 수컷은 101개체, 미성어는 135개체가 확인되었다. 해마 개체군의 암컷과 수컷의

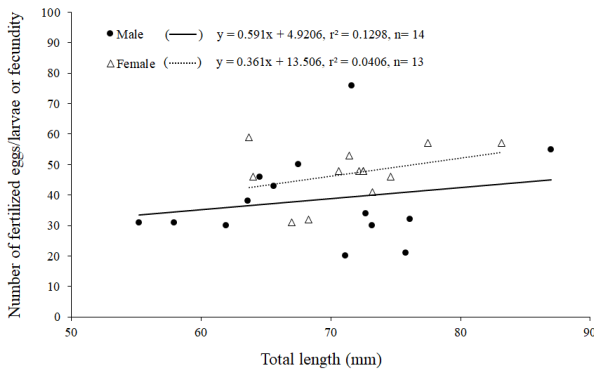


Figure 6. Number of fertilized eggs/larvae (●) with male and fecundity (△) with female of *Hippocampus haema* in the Soando (island) from May to October 2016.

Table 3. The sex ratio of *Hippocampus haema* in the Soando (island) from May 2015 to October 2016

Month	Female	Male	Sex ratio (♀:♂)	χ^2 (chi-squared)
2015				
May	7	12	1 : 1.7	1.32
Jun.	5	13	1 : 2.6	3.56
Jul.	2	2	1 : 1.0	0.00
Aug.	5	6	1 : 1.2	0.09
Sep.	2	0	1 : 0.0	2.00
Oct.	7	4	1 : 0.6	0.82
Dec.	1	1	1 : 1.0	0.00
2016				
Mar.	1	1	1 : 1.0	0.00
Apr.	3	8	1 : 2.7	2.27
May	6	13	1 : 2.2	2.58
Jun.	5	16	1 : 3.2	5.76
Jul.	1	3	1 : 3.0	1.00
Aug.	3	8	1 : 2.7	2.27
Sep.	2	3	1 : 1.5	0.20
Oct.	7	11	1 : 1.6	0.89
Total	57	101	1 : 1.7	12.25

The critical value for χ^2 goodness-of-fit test of equal numbers of females and males (1df) at 95% significance is 3.84.

비가 1:1의 경우를 가정할 때 암컷과 수컷의 성비는 1:1.7로서 수컷의 출현비율이 우세하였고, 암수간의 성비에서는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났는데, 특히, 2015년, 2016년 모두 6월에 차이가 있었다(Table 3; $\chi^2=12.25$, $P=0.628$).

6. 동서출현종

본 조사에서 총 4목 17과 36종 3,561개체의 어류가 확인

되었다(Table 4). 목 분류군 별로 농어목(Perciformes)이 7개과 출현하여 가장 많았으며 그 다음으로는 썸뱅이목(Scorpaeniformes)이 6과, 큰가시고기목(Gasterosteiformes), 복어목(Tetraodontiformes)의 2목에서 각 2과가 출현하였다. 종 수로는 망둑어과(Gobiidae)가 10종으로 가장 많이 출현하였으며 전체의 25%를 차지하였다. 그 다음으로는 양볼락과(Scorpaenidae) 4종, 실고기과(Aulorhynchidae) 3종, 독중개과(Cottidae), 망상어과(Embiotocidae), 장갱이과(Stichaeidae), 황줄베도라치과(Pholidae), 참복과(Tetratodontidae)의 5개과에서 각 2종씩 출현하였으며 나머지 9개과에서 각 1종씩 출현하였다. 우점종은 점베도라치(*Pholis crassispina*)로 총 650개체(Relative rate, 18.3%)였고 다음으로 미역치(*Hypodytes rubripinnis*) 510개체(14.3%), 실비늘치(*Aulichthys japonicus*) 440개체(12.4%), 살망둑(*Gymnogobius heptacanthus*) 380개체(10.7%) 순으로 조사되었다.

고찰

과거 연구 기록에 의하면 해마류(*Hippocampus* spp.)는 개체밀도가 낮고 패치형태로 분포하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(Foster and Vincent, 2004). 남아프리카 Knysna 하구역에서 *H. capensis*의 평균 밀도는 단위면적당 (m^2) 0.22개체(Bell et al., 2003), 필리핀의 Bohol의 산호초에서 *H. comes*는 0.02개체(Perante et al., 2002), 오스트레일리아의 *H. abdominalis*와 포르투갈의 *H. hippocampus*는 0.007개체(Foster and Vincent, 2004), 오스트레일리아의 *H. whitei*는 0.215개체(Vincent et al., 2005), 브라질의 Rio Grande 하구역의 *H. reidi*는 0.006~0.51개체로 보고되었다(Dias and Rosa, 2003). 해마(*H. haema*)의 경우에는 한국 남해안의 여수 가막만에서 단위면적당(m^2) 0.003개체(Choi et al., 2006)의 평균 밀도로 나타났으며 본 연구지역에서도 0.032개체로 확인되어 다른 해마류에 비해 개체밀도가 비교적 낮은 경향을 보였는데 이에 대해서는 해마의 선호 기질, 서식처 등과의 관계를 분석하는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

온대지역에서 해초류 군집은 실고기과 어류들의 안정적인 서식처로 그들의 다양성과 풍부성을 높여주며(Pollard, 1984; Howard and Koehn, 1985; Hindell et al., 2000; Hyndes et al., 2003), 특히 해마류의 출현량은 해초 밀도와 길이에 매우 밀접한 상관성을 갖는다고 하였다(Lockyear et al., 2006; Teske et al., 2007). 본 연구에서도 소안도 해초지 해마의 밀도는 거머리말의 생육밀도와 잎 길이의 계절변동과 유사한 경향이 나타났는데 거머리말의 성장은

Table 4. Relative abundance of collected fishes in the Soando (island) from May 2015 to December 2016

Scientific name	2015												2016						Total Number	Relative rate (%)		
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.			Nov.	Dec.
Order Gasterosteiformes																						
Family Aulorhynchidae																						
1 <i>Aulichthys japonicus</i>	35	30	28	35	36	37	7	3			13	11	28	26	25	41	44	37	3	1	440	12.4
Family Syngnathidae																						
2 <i>Hippocampus haema</i>	19	18	25	36	10	15		2			2	11	19	34	25	29	20	28			293	8.2
3 <i>Syngnathus schlegeli</i>	13	4	3	5	3						2		2			3	2				37	1.0
4 <i>Urocampus nanus</i>	11	6	5	2	1						1		1	2			3				32	0.9
Order Scorpaeniformes																						
Family Scorpaenidae																						
5 <i>Hypodytes rubripinnis</i>	15	18	15	41	18	28	8	7	5	6	13	21	18	15	31	75	81	68	18	9	510	14.3
6 <i>Sebastes koreanus</i>	1	1															2				4	0.1
7 <i>Sebastes schlegelii</i>	16	1	4	2	5						2					2	3				35	1.0
8 <i>Sebastiscus marmoratus</i>			4														1				5	0.1
Family Aploactinidae																						
9 <i>Erisphex pottii</i>			1															1			2	0.1
Family Platycephalidae																						
10 <i>Platycephalus indicus</i>	1				3																4	0.1
Family Hexagrammidae																						
11 <i>Hexagrammos otakii</i>	5	5															2				12	0.3
Family Cottidae																						
12 <i>Furcina osimae</i>	1			2																	3	0.1
13 <i>Pseudoblennius cottoides</i>	31	27	30	26	20	20	5	2			2	5	20	20	26	35	41	38	7	5	360	10.1
Family Cyclopteridae																						
14 <i>Eumicrotremus uenoi</i>	1	2																			3	0.1
Order Perciformes																						
Family Moronidae																						
15 <i>Lateolabrax maculatus</i>	2	1																			3	0.1
Family Sparidae																						
16 <i>Pagrus major</i>				2																	2	0.1
Family Mullidae																						
17 <i>Upeneus japonicus</i>					4												2				6	0.2
Family Embiotocidae																						
18 <i>Ditrema temminckii temminckii</i>	16	7	3																		26	0.7
19 <i>Ditrema viride</i>	15	19	17	2	5	3					2		5				8	4			80	2.2
Family Stichaeidae																						
20 <i>Ernogrammus hexagrammus</i>			1											1							2	0.1
21 <i>Zoarchias major</i>	3	5																			8	0.2
Family Pholidae																						
22 <i>Pholis crassispina</i>	71	68	52	38	48	18	11	10	8	10	15	30	43	41	45	44	48	30	15	5	650	18.3
23 <i>Pholis nebulosa</i>	44	36	13	5	6							8	3	5	9		5	10	6		150	4.2
Family Gobiidae																						
24 <i>Acanthogobius flavimanus</i>	1	5	3			3											5				17	0.5
25 <i>Acentrogobius pflaumii</i>	8	3	2														1				14	0.4
26 <i>Chaenogobius annularis</i>			9	8																	17	0.5
27 <i>Chaenogobius gulosus</i>			2	1																	3	0.1
28 <i>Gymnogobius heptacanthus</i>	35	41	29	28	30	10	6	2	1		3	3	15	21	18	25	95	15	3		380	10.7
29 <i>Gymnogobius urotaenia</i>				1																	1	0.0
30 <i>Luciogobius guttatus</i>				3																	3	0.1
31 <i>Pterogobius elapoides</i>	53	37	25	15	5	2	1							10	18	15	21	5	3		210	5.9

Scientific name	2015												2016												Total Number	Relative rate (%)
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.						
32 <i>Pterogobius zonoleucus</i>			6	5	8	10					4			3	5	10	5					56	1.6			
33 <i>Synechogobius hasta</i>			2																			2	0.1			
Order Tetraodontiformes																										
Family Monacanthidae																										
34 <i>Rudarius ercodes</i>	5	2	3	3	1									1	2	2	8	2				29	0.8			
Family Tetratodontidae																										
35 <i>Takifugu niphobles</i>	9	4	10	55	3	5					3	16	4	4	3	10	4					130	3.7			
36 <i>Takifugu poecilonotus</i>	15	1	1	2	1								2	1	5	3	1					32	0.9			
Number of speccis	25	28	26	18	16	11	6	6	3	2	13	8	14	12	11	14	23	11	5	4						
Number of individuals	426	358	293	307	200	151	38	26	14	16	70	100	173	192	198	300	397	236	46	20		3,561	100.0			

춘계부터 시작하여 하계에 최대치를 보였고 추계부터 감소하여 동계에 최저치를 보였고, 이는 해마의 계절적 출현 양상과 매우 유사한 결과였다. 결론적으로 봄과 여름철의 수온 증가는 거머리말의 성장에 영향을 주며 거머리말의 성장은 해마의 먹이활동 및 포식자 회피 등과 같은 개체군 유지에 필요한 최적의 서식환경을 제공하여 상호 관계가 있는 것으로 판단되며, 보다 많은 서식지를 대상으로 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다(Bell and Westoby, 1986; Flynn and Ritz, 1999).

해마류는 유영능력이 약하기 때문에 강한 해류에 그들의 몸을 지탱하고 균형을 잡아줄 수 있는 해면(sponge), 산호(coral), 해초(seagrass) 등과 같은 부착기질(holdfast)에 꼬리를 휘감아 생활하는데, 일부 해마류는 특정 부착기질을 선호하기도 한다(Foster and Vincent, 2004; Scales, 2010). *H. bargibanti*는 *Muricella* 속의 *gorgonia* 산호에서만 발견되었고(Lourie et al., 2004), *H. whitei*는 *Posidonia australia* 해초류를 선호하였으며(Vincent et al., 2005), *H. breviceps*는 *Laurencia majuscula*와 *Sargassum* spp. 해조류 등에서만 확인되었고(Moreau and Vincent, 2004), *H. capensis*는 *Z. capensis* 해초류를 부착기질로 선호하였다(Bell et al., 2003). 본 연구 지점에서 해마가 이용할 수 있는 부착기질은 해초류의 거머리말 1종과 해조류의 넓은붉은잎 등 10종이 확인되었지만 수중 관찰조사에서 해마의 일부 개체가 청각(3개체), 넓은붉은잎(3개체)에서 발견된 것을 제외하고는 대부분 거머리말에서 확인되었다. 또한, 발견된 해마 치어는 탈락된 거머리말 잎이나 거머리말의 유엽을 부착기질로 이용하고 있었는데 해초지의 대부분이 넓은붉은잎으로 덮여있는 것을 고려하면 소안도 해마는 거머리말을 주요 부착기질로 선호하는 것으로 추정된다.

소안도 지역에서 해마의 출현은 봄철인 4월부터 증가하여 치어 유입이 시작되는 6월부터 8월 사이에 비교적 높게 나타났고 겨울철인 11월부터 3월 사이에는 가장 낮은 것으로 확인되었다. 해마의 계절적 이동에 관한 연구로 *H. guttulatus*는 동절기에 더 깊은 수심으로 이동했다가 수온이

9°C 이상으로 오르기 시작하면 다시 연안의 해초지 지역으로 이동한다고 하였다(Garrick-Maidment, 2007). 본 연구에서 해마가 출현한 시기의 수온 범위는 13.3~28.0°C로, 수온이 15°C 이하로 떨어지는 동절기에 개체수가 급감하였다가 수온이 15°C 이상으로 올라가는 4월부터 해마의 출현이 증가하기 시작하였다. 이는 수온이 내려가는 겨울철에는 거머리말의 피도가 낮아지면서 먹이 부족과 포식 위협으로 인한 깊은 수심의 서식지로 이동한 것으로 판단된다(Foster and Vincent, 2004; Curtis and Vincent, 2006; Felicio et al., 2006). 본 연구에서는 겨울철 조사에서 주변 깊은 수심에서 해마 서식을 확인하고자 시도하였지만 2015년 12월 2개체밖에 발견하지 못해 겨울철 해마 이동에 대한 정밀한 연구가 추가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

해마류는 일반적으로 장기간의 산란기를 가지며(Foster and Vincent, 2004), 산란 시기와 산란 기간은 빛, 수온, 먹이 이용에 따라 결정되고(Bye, 1984), *H. zosterae*와 같은 일부 종은 낮의 길이에 영향을 받기도 한다고 알려져 있다(Strawn, 1954; Vari, 1982). 수온이 일정하게 유지되는 필리핀에 서식하는 *H. come*는 연중 보육중인 수컷 개체가 출현하지만, 우기의 영향으로 주요 산란기는 7월에서 12월로 보고되었다(Perante et al., 2002). 중국해에 출현하는 *H. trimaculatus*의 주요 산란기는 3~5월이지만, 수온을 일정하게 유지시키는 실내 실험에서는 연중 번식이 가능하였다(Truong and Nga, 1995). 따라서 열대지방의 해마류는 온대지역에 서식하는 종들 보다 더 장기간의 산란기를 가진다(Lourie et al., 2004). 본 연구 결과 소안도 해마 개체군의 산란기는 4~10월로 확인되었다. 보육중인 수컷 개체 출현은 5~6월에 가장 높았고, 10월까지 보육중인 수컷 개체가 확인되었으며, 20mm 이하의 치어의 출현은 6~8월에 집중되었다. 6~8월에 출현한 치어들은 8~10월에 50mm 이상의 그룹에 가입하는 것으로 추정되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 해마의 주요 교미 시기는 4~5월, 수컷의 치어 방출 시기는 6~8월로 추정되며, 출산된 치어들은 다른 장소로 이동하지 않고 10월까지 연구지역 내에서 지속적인 성장을

하는 것으로 추정된다.

대부분의 해마류는 번식시기에 1:1의 성비를 보이며 일 부일처의 생식활동을 한다(Perante *et al.*, 2002; Moreau and Vincent 2004; Foster and Vincent, 2004). 해마 개체군 의 암컷과 수컷의 성비가 1:1를 가정할 때 소안도 해마의 성비는 1:1.7로 수컷이 암컷보다 높았다. 일반적으로 해마 류는 번식기간 동안에 수컷이 암컷보다 행동권이 더 좁은 것으로 알려져 있는데(Rosa *et al.*, 2002) 이는 수컷의 보육 낭 발달로 인하여 이동이 제한적이기 때문으로 추정되며 본 연구에서 2015, 16년 6월 성비가 1:1이 아닌 것으로 나타 났지만(Vincent, 1996), 성비 불균형은 소안도의 연안지역 의 조수간만의 차가 크고 선박의 이동과 어업활동이 활발한 지역으로 많은 외부환경 요인 등의 복합적 영향이 있었을 것으로 생각된다.

소안도에서 조사된 해마 암컷의 알은 타원형으로 반투명 의 오렌지색을 띠었는데 이는 그들의 주요 먹이생물 소형갑 각류 체내의 카로티노이드(carotenoid) 성분 때문으로 판단 된다(Vincent, 1990). 해마류 성어는 크기에 따라 2~20mm의 치어를 한 배당 5~2,000개체 정도 보육하는 것으로 알려져 있는데(Foster and Vincent, 2004) 소안도 해마 암컷의 포란 수는 31~59(평균 47.3)개, 보육낭 안의 수정란수 및 자어수는 20~76(평균 39.4)마리를 보육하고 있어 다른 해마류에 비하여 포란수는 적지만 치어의 최소크기가 9.9mm로 확인 되어 해마류 가운데 상대적으로 큰 편에 속했다. 해마 치어 는 치어 크기가 클수록 높은 유영능력을 높여주며, 먹이부 족으로 인한 영양결핍이나 체온유지 등의 조건에서 유리하 게 작용하여 생존율을 높일 수 있는데(Marshall, 1953; Mann and Mills, 1979; Calow, 1981) 소안도 해마는 적은 포란수지만 치어의 크기를 크게하여 생존율을 높이는 쪽으 로 진화한 것으로 생각된다.

해마류는 소형어류임에도 불구하고, 위장능력과 골판형 의 피부를 가지고 있기 때문에 해양생태계 내에서 천적은 많지 않은 것으로 추정되고 있다(Lourie *et al.*, 1999). 지금 까지 알려진 해마류의 천적으로는 도미류(Jordan and Gilbert, 1882), 만새기류, 가오리류, 참치류, 대구류 (Whitley and Allan, 1958), 아귀류, 양태류(Kuiter, 2009) 등으로 알 려져 있다. 조사기간 동안 소안도 해초지 군락에서 채집된 어류는 4목 17과 36종의 어류가 출현하였고, 해마의 천적인 참돔(*Pagrus major*), 점농어(*Lateolabrax maculatus*), 양태 (*Platycephalus indicus*) 등이 출현하였지만 해마의 생존율 과의 상관관계에 대해서는 추후 식성분석 등을 통한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

해마류의 생존은 첫 번째, 관상용이나 중국의 한약재 등 의 수요 증가로 인한 남획(필리핀 *H. comes*; Perante *et al.*, 2002) 두 번째, 새우잡이 그물에 의한 혼획(멕시코 *H.*

erectus; Baum *et al.*, 2003) 세 번째, 서식지 파괴(*H. capensis*; Lockyear *et al.*, 2006) 등의 3가지 요인으로 크게 위협받고 있다. 현재의 연구대상종인 해마는 남해안 일대와 동해안 일부 지역의 해초지 지역에서 일부개체가 어렵게 관찰되고 있어 연안 어장 확대와 개발로 인한 서식지 파괴 로 개체수가 급감할 가능성이 매우 높다. 특히 행동권이 매 우 좁고 이동성이 떨어지는 해마의 생태적 특성상 서식지 파괴가 해마 개체군 감소의 주요 원인으로 생각된다. 특히, 해마의 주요 서식지인 거머리말 군락지는 연안의 대규모 도시건설, 간척지 개발과 매립, 수질 오염, 어장 확대 등으로 개발압이 매우 높은 지역이다. 해마는 전 세계적으로 멸종 위기에 처해 있는 만큼 보호대책 마련이 매우 시급하지만 아직까지 전국적인 서식 분포 현황 및 정보가 매우 부족한 실정이다. 따라서 국가적으로 전국적인 실태 조사, 서식량 및 밀도 추정, 종 및 개체군 수준의 자세한 조사를 통해 체계적인 종 보전 및 복원을 위한 대책마련이 시급한 것으 로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 국립공원 해양생태권역 기본조사의 연구비에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Baum, J.K., J.J. Meeuwig and A.C.J. Vincent(2003) Bycatch of seahorse (*Hippocampus erectus*) in a Gulf of Mexico shrimp trawl fishery. *Fish. Bull.* 101: 721-731.
- 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*. *Environ. Biol. Fishes* 67: 35-46.
- Bell, J.D. and M. Westoby(1986) Variation in seagrass height and density over a wide spatial scale: Effects on common fish and decapods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 104: 275-295.
- Bye, V.J.(1984) The role of environmental factors in the timing of reproductives cycles. In: G.W. Potts and R.J. Wootton(eds.), *Fish reproduction: Strategies and tactics*. Academic Press, London, pp.187-205.
- Calow, P.(1981) Resource utilization and reproduction. In: C.R. Townshend and P. Calow(eds.), *Physiological Ecology* Oxford, U.K., pp.245-270.
- Choi, Y.U.(2006) Reproductive biology of seahorse (*Hippocampus spp.*). Ph.D. dissertation, Cheju National University, Cheju,

- Korea, 116pp. (in Korean with English abstract)
- Choi, Y.U., S. Rho, H.S. Park and D.H. Kang(2012) Population characteristics of two seahorses, *Hippocampus coronatus* and *Hippocampus mohnikei*, around seagrass beds in the southern coastal waters of Korea. *Ichthyol. Res.* 59: 235-241.
- Choi, Y.U., S. Rho, M.M. Jung, Y.D. Lee and G.A. Noh(2006) Parturition and early growth of crowned seahorse, *Hippocampus coronatus* in Korea. *J. Aqua.* 19: 109-118. (in Korean with English abstract)
- Curtis, J.M.R. and A.C.J. Vincent(2006) Life history of an unusual marine fish: survival, growth and movement pattern of *Hippocampus guttulatus* Cuvier 1829. *J. Fish. Biol.* 68: 707-766.
- Dias, T.L.P. and I.L. Rosa(2003) Habitat preference of a seahorse species, *Hippocampus reidi* (Teleostei: Syngnathidae) in Brazil. *Aqua* 6: 165-176.
- Felicio, A.K.C., I.L. Rosa, A. Souto and R.H.A. Freitas(2006) Feeding behavior of the longsnout seahorse *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933. *Japan Ethol.* 24: 219-225.
- Flynn, A.J. and D.A. Ritz(1999) Effect of the habitat complexity and predatory style on the capture success of fish feeding on aggregated prey. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 79: 487-494.
- Foster, S.J. and A.C.J. Vincent(2004) Life history and ecology seahorses: Implication for conservation and management. *J. Fish Biol.* 65: 1-61.
- Garcia, L.M.B., G.V. Hilomen-Garcia, T.T. Gonzales and R.J. Maliao(2012) Diet composition and feeding periodicity of the seahorse *Hippocampus barbouri* reared in illuminated sea cages. *Aquaculture* 358~359, 1-5.
- Garrick-Maidment, N.(2007) British Seahorse Survey 2007. Escot: The Seahorse Trust, 26pp.
- Han, S.Y., J.K. Kim, Y. Kai and H. Senou(2017) Seahorse of the *Hippocampus coronatus* complex: Taxonomic revision, and description of *Hippocampus haema*, a new species from Korea and Japan (Teleostei, Syngnathidae). *Zookey* 712: 113-139.
- 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*) den Hartog, and unvegetated sand habitats. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 255: 11-24.
- Howard, R.K. and J.D. Koehn(1985) Population dynamics and feeding ecology of pipefish (Syngnathidae) associated with ealgrass beds of Western Port, Victoria. *Aust J. Mar. Freshw. Res.* 36: 361-370.
- Huh, S.H., J.M. Park, S.N. Kwak and B.J. Seong(2014) Abundances and feeding habits of *Hippocampus coronatus* in an eelgrass (*Zostera marina*) bed of Dongdae Bay, Korea. *J. Kor. Soc. Fish. Tech.* 50: 115-123. (in Korean with English abstract)
- Hyndes, G.A., A.J. Kendrick, L.D. MacArthur and E. Stewart(2003) Differences in the species and size-composition of fish assemblages in three distinct seagrass habitats with differing plant and meadow structure. *Mar. Biol.* 142: 1195-1206.
- Jones, A.G. and J.C. Avise(2001) Mating systems and sexual selection in male-pregnant pipefishes and seahorse: Insights from microsatellite-based studies of maternity. *J. Heredity* 92: 150-158.
- Jordan, D.S. and C.H. Gilbert(1882) Synopsis of the fishes of North America. *Bull. Natl. Mus.* 16: 382-387.
- Kang, S.H.(2004) Morphological development of hedgehog seahorse, *Hippocampus spinisissimus* reared in the laboratory. *J. Korean Fish. Soc.* 38: 298-303. (in Korean with English abstract)
- Kendrick, A.J. and G.A. Hyndes(2005) Variation in the dietary compositions of morphologically diverse syngnathid fishes. *Environ. Biol. Fishes* 72: 415-427.
- Kim, I.S. and W.O. Lee(1995) First Record of the seahorse Fish, *Hippocampus trimaculatus* (Pisces: Syngnathidae) from Korea. *Korean J. Zool.* 38: 74-77.
- Kim, I.S., Y. Choi, C.L. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim(2005) Illustrated Book of Korea Fishes. Kyohak Publishing, Seoul, 615pp. (in Korean)
- Koh, J.R., D.H. Kim, S.J. Yun and T.Y. Oh(2004) Early Life History and Rearing of the Yellow Seahorse *Hippocampus kuda* (Teleostei: Syngnathidae). *Korean J. Ichthyol.* 16: 1-8. (in Korean with English abstract)
- Kuiter, R.H.(2009) Seahorses and their relatives. Aquatic Photographics, Seaford, Victoria, Australia, 334pp.
- Lockyear, J.F., T. Hecht, H. Kaiser and P.R. Teske(2006) The distribution and abundance of the endangered Kynsna seahorse *Hippocampus capensis* (Pisces: Syngnathidae) in South African estuaries. *Afr. J. Aqua. Sci.* 31: 275-283.
- Lourie, S.A., J.C. Pritchard, S.P. Casey, S.K. Truong, H.J. Hall and A.C.J. Vincent(1999) The taxonomy of Vietnam's exploited seahorse (Family Syngnathidae). *Biol. J. Linn. Soc.* 66: 231-256.
- Lourie, S.A., R.A. Pollom and S.J. Foster(2016) A global revision of the Seahorses *Hippocampus Rafinesque* 1810 (Actinoptergii: Syngnathiformes): Taxonomy and biogeography with recommendations for further research. *Zootaxa* 4146: 1-66.
- Lourie, S.A., S.J. Foster, E.W. Cooper and A.C.J. Vincent(2004) A guide to the identification of seahorses. Project Seahorse and TRAFFIC North America, University of British Columbia and World Wildlife Fund, Washington D.C., USA, 114pp.
- Mann, R.H.K. and C.A. Mills(1979) Demographic aspects of fish fecundity. *Symposium of the Zoological Society of London* 44: 161-177.
- Marshall, N.B.(1953) Egg size in Artic, Antarctic and deep sea

- fishes. *Evolution* 7: 328-341.
- Masonjones, H. and S. Lewis(2000) Differences in potential reproductive rates of male and female seahorses related to courtship roles. *Anim. Behav.* 59: 11-20.
- Masuda, H., K. Amaoka, C. Araga, T. Uyeno and T. Yoshino(1984) The fishes of the Japanese archipelago. Tokai University Press, Tokyo, Japan, Text 437pp., Plate 370pp.
- 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* Peters 1869. *Mar. Freshw. Res.* 55: 231-239.
- Nakabo, T.(2013) Fishes of Japan with pictorial keys to the species, third edition. Tokai University Press, Tokyo, Japan, Hadano, i-xlix+1-2428. (In Japanese)
- National Institute of Biological Resource(NIBR)(2021) National List of species of Korea. <https://kbr.go.kr/>
- Nelson, J.S.(2006) Fishes of the world(4th ed.). John Wiley & Sons Inc, New Jersey, USA, 601pp.
- Pajaro, M.G. and A.C.J. Vincent(2016) The catch and export of the seahorse trade in the Pilippines, pre-CITES. Fisheries Centre Working Paper, 2015-102, 27pp.
- Perante, N.C., A.C.J. Vincent and M.G. Pajaro(1998) Demographics of the seahorse *Hippocampus comes* in the central Philippines. In Proceedings of the 3rd International Conference on the Marine Biology of the South China Sea. Hong Kong University Press, Hong Kong, pp.439-448.
- 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.
- Pollard, D.A.(1984) A review of ecological studies on seagrass fish communities, with particular reference to recent studies in Australia. *Aquat. Bot.* 18: 3-42.
- Rosa, I.L., T.L. Dias and J.K. Baum(2002) Threatened fishes of the world: *Hippocampus reidi* Ginsburg, 1933(Syngnathidae). *Environ. Biol. fishes* 64: 378.
- Scales, H.(2010) Advance in the ecology, biogeography and conservation of seahorses (genus *Hippocampus*). *Prog. Phys. Geogr.* 34: 443-458.
- Shokri, M.R., W. Gladstone and J. Jelbart(2009) The effectiveness of seahorse and pipefish (Pisces: Syngnathidae) as a flagship group to evaluate the conservation value of estuarine seagrass beds. *Aquat. Conserv.* 19: 588-595.
- Simberloff, D.(1988) Flagships, umbrellas, and keystones: Is single-species management passé in the landscapae era? *Biol. Conserv.* 83: 247-257.
- Stölting, K.N. and A.B. Wilson(2007) Male pregnancy in seahorses and pipefish: Beyond the mammalian model. *BioEssays* 29: 884-896.
- Strawn, K.(1954) Keeping and breeding the dwarf seahorse. *Aquarium Journal* October 215-228.
- Teske, P.R., J.F. Lockyear, T. Hecht and H. Kaiser(2007) Does the endangered Knysna seahorse, *Hippocampus capensis*, have a preference for aquatic vegetation type, cover or height? *Afr. Zool.* 42: 23-30.
- 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.
- Vari, R.P.(1982) Fishes of the Western North Atlantic, Part 8. Order Gasterosteiformes, Suborder Syngnathoidea. Syngnathidae (Doryrhamphinae, Syngnathinae, *Hippocampus campinae*). New Haven, U.S.A.: Sears Foundation for Marine Research, Yale University, 198pp.
- Vincent, A.C.J.(1990) Reproductive Ecology of Seahorses. Ph.D. dissertation, Cambridge University, U.K, 101pp.
- Vincent, A.C.J.(1996) The International Trade in Seahorses. Cambridge, U.K.: TRAFFIC International, 163pp.
- Vincent, A.C.J., K.L. Evans and A.D. Mardsen(2005) Home range behaviour of the monogamous Australian seahorse, *Hippocampus whitei*, *Environ. Biol. Fishes* 72: 1-12.
- Vincent, A.C.J., S.J. Foster and H.J. Koldewey(2011) Conservation and management of seahorses and other Syngnathidae. *J Fish Biol.* 78: 1681-1724.
- Whitley, G. and J. Allan(1958) The Sea Horse and its Relatives. Melbourne, Australia: Griffin Press, 84pp.
- Wilson, A.B., I. Ahnesjo, A.C.J. Vincent and A. Meyer(2003) The dynamics of male brooding, mating patterns, and sex roles in pipefishes and seahorses (family Syngnathidae). *Evolution* 57: 1374-1386.
- Wilson, M.J. and A.C.J. Vincent(1998) Preliminary success in closing the life cycles of exploited seahorse species, *Hippocampus* spp., in captivity. *Aquarium Sci. Conserv.* 2: 179-196.
- Yasué, M., A. Nellas, H. Panes and A.C.J. Vincent(2015) Monitoring landed seahorse catch in a changing policy environment. *Endanger. Species Res.* 27: 95-111.