



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

**A THESIS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE**

Ecological Study of Coral Feeding Nudibranchia,
Phestilla sp. Found on *Alveopora japonica* Collected
from East Coast of Jeju Island, Korea

Jung Hui, Chae

**Department of Marine Life Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

February 2017

Ecological Study of Coral Feeding Nudibranchia,
Phestilla sp. Found on *Alveopora japonica* Collected
From East Coast of Jeju Island, Korea

Jung Hui, Chae
(Advised by Professor Kwang-Sik Choi)

A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of

Master of Science

February 2017

This dissertation has been examined and approved by



Thesis director, Dr. Suk-Geun Jung, Associate Professor, School of Marine
Biomedical Science, Jeju National University

Dr. Sang-Rul Park, Associate Professor, School of Marine Biomedical
Science, Jeju National University

Dr. Kwang-Sik Choi, Professor, School of Marine Biomedical Science, Jeju
National University

2017.02
Date

**Department of Marine Life Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY**

CONTENTS

ABSTRACTS.....	ii
LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES.....	iv
1. INTRODUCTION	1
2. MATERIALS AND METHODS.....	5
2.1. 표본수집.....	5
2.2. 사육관리.....	5
2.3. 나새류 시료 수집과 형태학적 분류.....	12
2.4. 나새류의 유전학적 분류.....	12
3. RESULTS	16
3.1. 형태학적 분류 결과.....	16
3.2. 유전학적 분류 결과.....	25
4. DISCUSSION	28
REFERENCES.....	32

ABSTRACTS

최근 지구 온난화로 인한 바다 수온의 상승으로 제주 연안에서는 열대 지역에서 볼 수 있던 산호들이 확산되고 있다. 이와 같은 서식지의 확장은 산호와 더불어사는 주변 생물 군집의 지역적 변화도 야기시킨다. 거품돌산호는 고위도에 서식하는 경산호로 국내 기후변화와 관련하여 제주 지역에서 밀도가 급증함으로 인해 최근 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 연구에서는 제주의 아쿠아리움에서 거품돌산호를 실내 배양하던 중, 산호체에 기생하는 나새류 개체군을 발견하였다. 이들은 빠른 속도로 번식하여 증가하였고, 산호는 결국 폐사하였다. 따라서, 위 나새류의 동정을 위해 성체와 준성체, 난피(Egg Mass), 난(Egg)을 분리하여 관찰하였고, 산란 형태, 섭식 양상을 분석하였다. 나새류는 거품돌산호의 살아있는 폴립을 섭식하였고, 난피는 타원형으로 그 크기는 평균 $1144.4 \pm 270.9 \mu\text{m}$ (Length), $702.4 \pm 153.2 \mu\text{m}$ (Width)에 이르렀으며, 하나의 난피에서는 최대 120여개의 난이 관찰되었다. 난의 평균 크기는 $276.6 \pm 21.4 \mu\text{m}$ (Length), $219.4 \pm 15.4 \mu\text{m}$ (Width)으로 측정되었다(n=10). 유전학적 동정은 COI (cytochrome c oxidase subunit I) 유전자 염기서열에 근거하여 분석하였다. 위 나새류는 형태학적으로 체형, 크기, 색상, 아가미돌기의 배열, 난피와 난의 크기, 난의 개수 등 *Phestilla minor* (Rudman, 1981)와 상당 부분 유사하였다. 유전학적 분석 결과는 *Phestilla* sp.1, *Phestilla* sp.2와 12%의 차이를 보였으며, *Phestilla minor*와는 13%의 차이가 나타났다. *Phestilla*속의 나새류는 이전 연구에서 *Porites* spp.(Family *Poritidae*), *Goniopora* spp.(Family *Poritidae*), *Tubastraea* spp.(Family *Dendrophylliidae*) 산호를 섭식하는 것으로 알려져 왔으나, 본 연구에서는 수조 환경에서 *Phestilla* sp.가 *Alveopora japonica*(Family *Acroporidae*)를 숙주로 취한 것이 처음으로 확인되었다. *Phestilla*속의 나새류는 열대 지방에서 주로 서식하며 아직 국내 연안에서는 발견된 바 없으나, 아쿠아리움의 해수는 자연해수를 사용하고 있어 해수 내에서 유생 상태로 유입되었을 가능성도 있다. 숙주 교체를 하는 *Phestilla*속 나새류의 특성상 새로운 종 분화의 가능성 또한 존재하며, 이에 관해서는 추가적인 연구가 더 필요하다.

List of Figures

Fig. 1. Location of survey site: 33°27'13"N; 126°56'56"E	7
Fig. 2. Collecting of <i>Alveopora japonica</i>	8
Fig. 3. <i>Alveopora japonica</i> in the aquaria	9
Fig. 4. Culturing tank system of <i>Alveopora japonica</i>	10
Fig. 5. Nudibranchia found on <i>Alveopora japonica</i>	14
Fig. 6. Terminology of Family <i>Tergipedidae</i>	19
Fig. 7. <i>Phestilla</i> sp. (Adult)	21
Fig. 8. <i>Phestilla</i> sp. (Juvenile)	22
Fig. 9. <i>Phestilla</i> sp. (Egg Mass)	23
Fig. 10. <i>Phestilla</i> sp. (Egg, Lecithotrophic Larva)	24

List of Tables

Table 1. Water quality of culturing tank	11
Table 2. Universal primer used in this study	15
Table 3. Average size of Egg Mass and Egg diameters	20
Table 4. Comparison of sequence similarity of <i>Phestilla</i> sp. retrieved from Genbank database	26
Table 5. Comparison on morphological characters among species of <i>Phestilla</i> sp. and <i>Phestilla minor</i> , <i>Phestilla</i> sp.1, <i>Phestilla</i> sp.2	27

1. Introduction

산호충류의 분포는 열대지역과 아열대지역에 한정되지 않으며, 온대지역과 심해에서도 분포한다 (Veron and Minchin 1992; Yamano et al. 2011). 산호충류는 광에 대해 호일성과 음일성으로 나눌 수 있는데, 열대지역의 산호는 주로 와편모조류를 가지고 있기 때문에 호일성산호(zooxanthellate)가 많으며, 아열대지역에서는 음일성산호(azooxanthellate)가 많은 것으로 알려져 왔다. 온대해역인 우리나라에서는 일부 말미잘과 돌산호류를 제외하고는 내부 공생자를 갖지 않는 음일성산호가 많이 분포하고 있다 (Song et al. 2005).

산호충류는 전 세계적으로 6,500여종이 알려져 있으며, 국내에서 보고된 산호충류는 156종으로 해마다 새로운 신종과 미기록종이 보고되고 있다 (Song 2014; Denis et al. 2014). 쿠로시오 난류의 영향을 받는 제주도 해역에는 국내 산호충류의 약 70%가 분포하고 있으며, 특히 서귀포 문섬, 숲섬, 범섬 일대의 ‘제주연안 연산호 군락지’는 세계적으로도 진귀한 해양생태계를 이루고 있어 2004년에 천연기념물 제 442호로 지정된바 있다. 최근 기후환경 변화와 서식지 훼손에 따라 산호 서식지를 보존하려는 노력이 수반되고 있다 (Song 2014; Song et al. 2005; Yang et al. 2011; Kim et al. 2013).

국내 산호 중 연산호류와 음일성산호는 Song (1991)과 Hwang and Song (2009)에 의해 널리 연구되어 왔으나, 상대적으로 호일성산호(zooxanthellate)에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 최근 지구 온난화의 영향으로 우리나라의 해수 온도가 상승하고 있어, 열대지역에서나 볼 수 있던 호일성산호(zooxanthellate)의 분포지역이 확산되고 새로운 종이 나타나고 있다. 이에 고위도에 서식하는 산

호에 대한 연구의 필요성이 대두되었다 (Song and Lee 2011; Sugihara et al. 2014; Denis et al. 2013,2014,2015).

거품돌산호(*Alveopora japonica* Eguchi, 1968)는 고위도에 서식하는 경산호로 자웅동체의 Brooding Coral이다 (Harii et al. 2001). 반구형의 Colony는 직경이 4cm보다 작지만, 10cm에 이르는 종도 발견된다. 폴립은 매우 길고 12개의 촉수를 가지며, 촉수 끝은 둥글고 흰색의 점이 있다. 산호의 골격은 다공성으로 다각형의 산호협으로 이루어져 있다. 연안의 얕고 편평한 암초지대에서 바위에 고착하여 생활하며, 해조류와 연산호 군락에서 주로 서식한다. 제주도 연안의 수심 5~20m에서 분포하며, 타이완, 일본 등지에서도 발견된다 (Hong et al. 2006; Dai and Horng 2009; Vieira et al. 2016). CITES 부속서 II에 해당하는 국제적 멸종위기종이자 국제자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature and Natural Resources; IUCN)의 멸종위기생물목록(Red List)에는 취약종(Vulnerable, VU)으로 등재되어있다.

거품돌산호는 최근 기후 온난화에 따라 제주 지역에서 밀도가 급증하여 이슈가 되고 있다 (Denis et al. 2013,2015; Hong et al. 2015; Vieira et al. 2016; Noseworthy et al. 2016). Harii et al. (2001)는 거품돌산호의 번식에 관한 실험을 통해 배우자형성의 사이클과 번식시기, 유생정착을 보고하였다. Vieira et al. (2016)는 제주 귀덕리, 신흥리 지역에서의 거품돌산호 분포밀도, 평균 크기, 수명, 성장율에 대해 조사하였고, Noseworthy et al. (2016)는 제주도 금능 지역에서 거품돌산호와 함께 사는 연체동물의 군집을 밝혀낸 바 있다. Yamano et al. (2011)의 연구에 따르면 최근 기후 변화는 서식지 범위가 확대되면서 많은 해양 생물의 지역적 변화를 야기시켰다. Noseworthy et al. (2016)는 경산호의 북쪽 지역으

로의 확산은 기존 종과 유입 종의 새로운 서식지를 제공할 수 있다고 하였다.

산호충류는 히드라류, 연체동물류, 십각류 등 다양한 무척추동물들이 외부공생하거나 기생하며 살아간다. 유착진충산호에 공생하는 개오지불이류는 숙주의 표면에 착생한 조류를 섭취하고, 이러한 먹이활동은 조류에 의한 숙주의 폴립 개폐를 원활하게 만든다. 해양류에 기생하는 담홍말미잘(*Nemanthus nitidus*)은 산호의 골축에 달라붙어 골축을 녹이는 것이 관찰되었다. 서귀포 연안에서는 꼬마아가씨갯민숭이(*Dermatobranchus primus*)가 큰수지맨드라미의 폴립을 먹는 것이 관찰되었다 (Song et al. 2005).

이 연구에서는 제주의 아쿠아리움(Hanwha Hotels&Resorts, AQUAPLANET JEJU)에서 거품돌산호를 실내 배양하던 중 산호를 섭식하는 나새류가 관찰되었다. 실내 배양수조에 거품돌산호를 입식한지 한달 후 일부 산호의 개화율이 하락함과 동시에 폴립의 Ball-Out현상이 진행되었다. 산호체를 덮고 있던 폴립의 손실로 흰 골격이 노출되었고, 살아있는 폴립과 골격 사이에서 나새류의 군집이 발견되었다. 수조 내부의 거품돌산호를 전량 육안으로 검사한 결과, 나새류의 서식밀도는 산호체 폴립의 생산율에 따라 각각 다르게 나타났다. 폴립의 폐사가 많이 진행된 산호체에는 30개체 이상의 나새류 무리가 있었고, 폴립의 폐사가 없는 개체에는 나새류가 발견되지 않았다. 이로 나새류가 산호에 어떠한 해를 끼치고 있다는 것을 확인하였다. 육안으로 보이는 나새류 성체를 분리하였음에도 불구하고, 유생은 빠른 속도로 성장하여 산호를 뒤덮었고, 숙주인 거품돌산호는 빈 골격만 남긴 채 결국 폐사하였다.

나새류의 먹이는 매우 다양하여 자포동물, 해조류, 해면, 연체동물 동족

등을 먹이로 취한다. 광합성을 하는 종은 주산텔라를 얻기 위해 동물성먹이인 연산호를 먹지만 그 외의 종은 단지 양분을 섭취하기 위해 먹는다 (Koh 2006). Rudman (1981)에 따르면 *Porites* 산호의 조직을 섭취하였더라도, 먹이원으로 활용하는 부분은 종에 따라 다르다고 하였다. *Cuthona poritophuges*의 경우 공생조류인 주산텔라를 특징적으로 활용하고, *Phestilla lugubris*의 경우 나선자포를 제외한 모든 부분을 소화시켰으며, *P. minor*의 경우 나선자포만을 소화시킨 것이 확인되었다.

이 연구의 목적은 제주 연안에서 수집된 거품돌산호에서 관찰된 나새류를 동정하고, 거품돌산호와 나새류 간의 숙주-포식자 관계를 확인하여 위 나새류 개체군의 생태를 파악하는 데에 있다.

2. Materials and Methods

2.1. 표본 수집

2014년 4월 성산연안(위도 33° 27' 13" N, 경도 126° 56' 56" E)의 수심 10~15m 지역에서 거품돌산호가 수집되었다. 산호의 채집 지역은 성산일출봉의 남동쪽에 위치한 앞바다로 이 구역은 암반으로 이루어진 지역이다. 수심 10~15m는 경사가 완만한 암반지대이며 수심 21m 구역까지 급격한 경사지형으로 이루어져 있다. 상부의 감태 분포지역을 제외하고 연산호와 거품돌산호가 혼재하여 분포한다. 스쿠버다이빙을 이용하여 대상종을 탐색하였고, 발견 시 끌을 사용하여 암반에 고착된 거품돌산호를 수집 후 지퍼백에 밀봉하여 출수하는 방식으로 채집하였다.

2.2. 사육관리

채집된 거품돌산호는 1800X1000X400mm 규격의 직사각형 수조에 수용하였으며, 여과조를 포함한 수량은 1Ton이다. 사육용수는 성산 연안에서 취수되어 Sand Filter의 1차 여과를 거친 자연해수로 배양수조에 지속적으로 유입되도록 반개방식(Semi-Opened Recirculating System)으로 운용하였고, 주 1회 10%의 환수를 시행하였다. 여과조에는 ASM 사의 Protein Skimmer와 Live Rock을 사용하여 여과하였다. 수조 내부에는 22w 수류모터를 두 개 설치하였고, 수류 컨트롤러를 사용하여 교차 작동시켜 수조 내부의 정체 공간이 발생하지 않도록 원활한 수류를 조성하였다. 수온은 22~24°C에서 사육되었으며, 5000Lux의 조도 하에서

10L/14D의 광주기를 가졌다. 수온과 pH, DO는 HACH 사의 pH meter(HQ11d), DO meter(HQ30d)로 매일 측정하였으며, Ammonia, Nitrite, Nitrate는 HACH 사의 분광광도계(DR3900)로 주 1회 분석하였다. Calcium, Magnesium, Phosphate 항목은 SALIFERT 사의 Test Kit으로 주 1회 측정하였다.

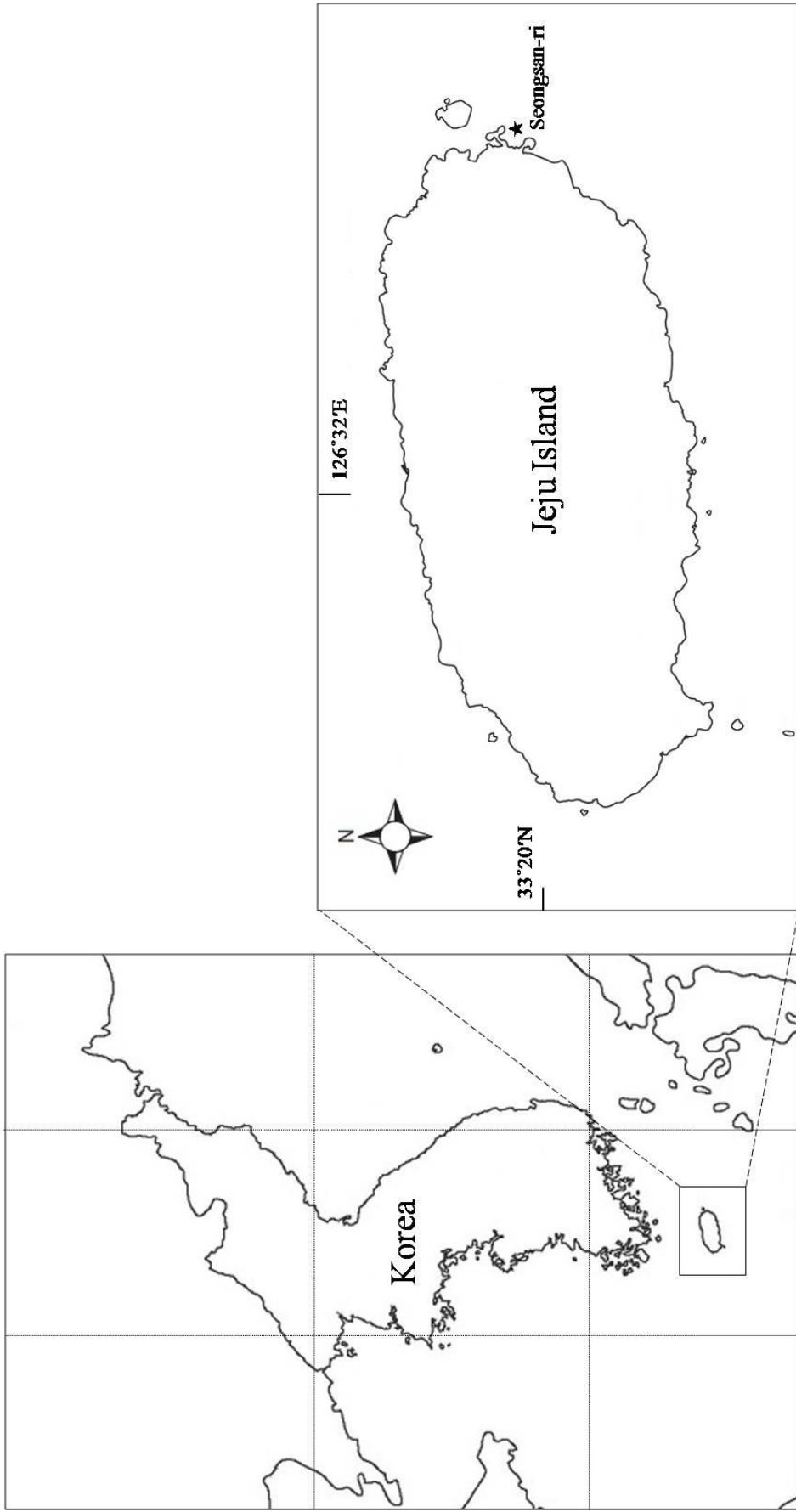


Fig. 1. Location of survey site: 33°27'13"N; 126°56'56"E



Fig. 2. Collecting of *Alveopora japonica*



Fig. 3. *Alveopora japonica* in the aquaria

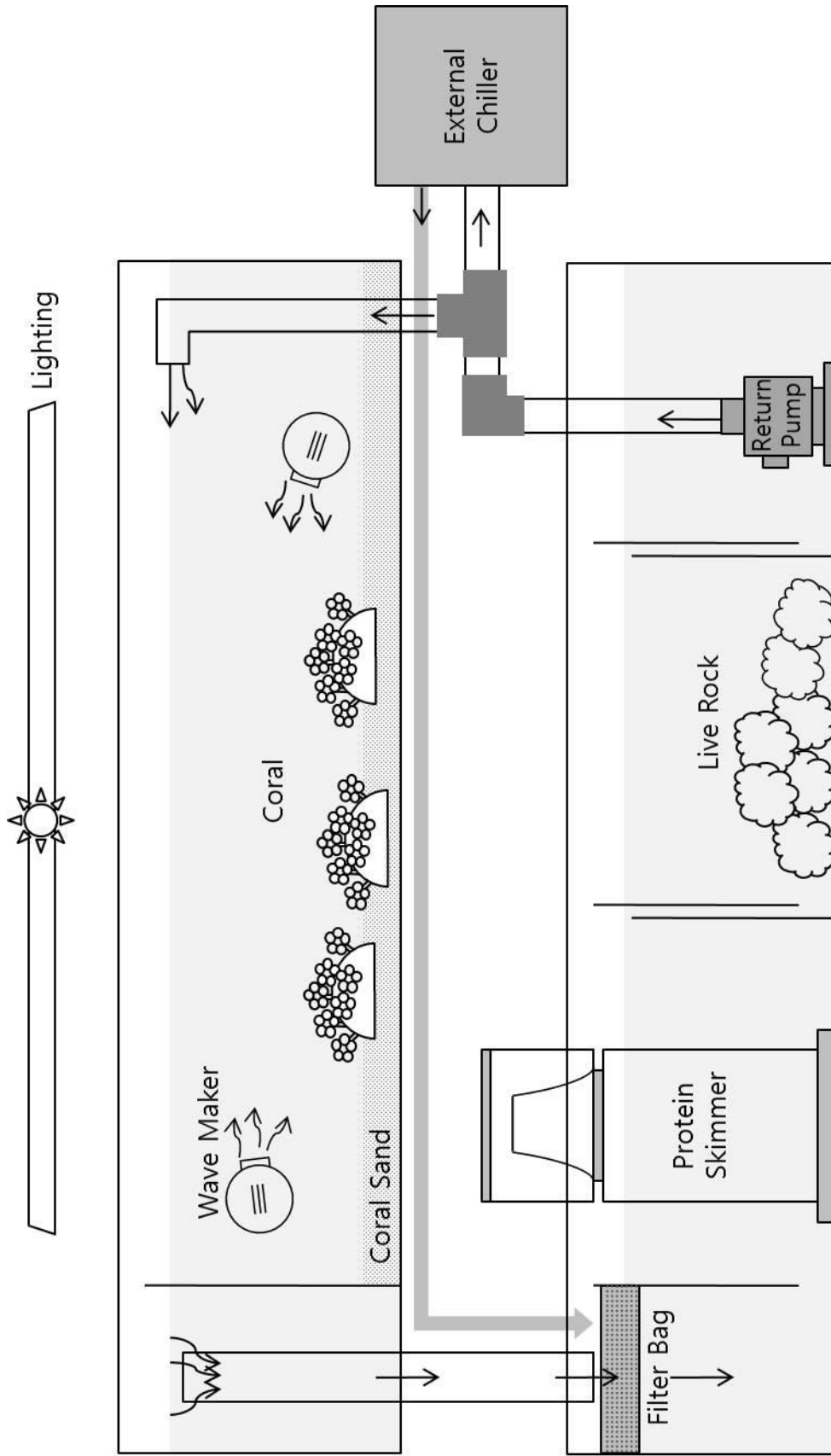


Fig. 4. Culturing tank system of *Alveopora japonica*

Table 1. Water quality of culturing tank

Parameter	Frequency of Checking	Range
Temperature	Daily	22~24 °C
pH	Daily	8.0-8.2
DO	Daily	7.5-8.0
Salinity	Daily	33- 35ppt
Ammonia	Weekly	<0.1 ppm
Nitrite	Weekly	<0.1 ppm
Nitrate	Weekly	<5 ppm
Calcium	Weekly	380-400 ppm
Magnesium	Weekly	1350-1500 ppm
Phosphate	Weekly	<0.1 ppm

2.3. 나새류 시료 수집과 형태학적 분류

정밀한 종 동정을 위해 감염된 산호체에서 핀셋과 스포이드를 이용하여 나새류 성체, 준성체, 난괴, 난을 분리하였다. 수집된 표본은 8% MgCl₂ 수용액에서 완전히 마취시킨 후, 형태보존을 위한 표본은 10% Neutral Formalin으로 고정하였으며, DNA 분석을 위한 표본은 97% Ethanol로 고정하였다 (Holznagel 1998; Choi 2003; Jung 2014). 고정된 표본은 실체현미경과 해부현미경을 이용하여 외부 형질을 관찰하였다. 수중촬영의 경우, Olympus 사의 수중카메라 TG-3를 이용하여 촬영하였다.

2.4. 나새류의 유전학적 분류

97% 에탄올에 보존된 나새류 표본에서 DNeasy blood & Tissue Kit (Qiagen, Germany)를 이용하여 total genomic DNA를 추출하였다. COI primers (Folmer et al. 1994) (Table 2)을 이용하여 중합효소연쇄반응(PCR)을 실시하였다. 각각의 영역을 증폭하기 위하여 genomic DNA 20µg/ml를 template로 사용하였고, 10X Ex Taq buffer, Takara EX Taq, dNTP, 각각의 primer 및 멸균 증류수를 첨가하여 최종부피가 25µl가 되도록 혼합액을 만들었다. PCR 조건은 95°C에서 3분 동안 pre-denaturation을 시킨 후, 96°C에서 10초의 denaturation, 47°C에서 30초의 annealing, 72°C에서 2분간 extension으로 이루어지는 thermal cycle 과정을 30회 반복하였으며, 마지막으로 72°C에서 7분간 final extension 과정을 진행하였다. PCR 산물은 1.2% agarose gel 상에서 전기영동하여 EtBr로 염색한 후 UV light에서 증폭 여부 및 증폭 산물의 크기를 확인하였다. 증폭된 PCR 반응 산물은

AccuPrep PCR purification kit (Bioneer, Korea)를 이용하여 정제한 후 sequencing(Macrogen Sequencing Service, Korea)하여 염기서열을 얻었고, MEGA6 Program을 이용하여 분석하였다 (Tamura et al. 2013).

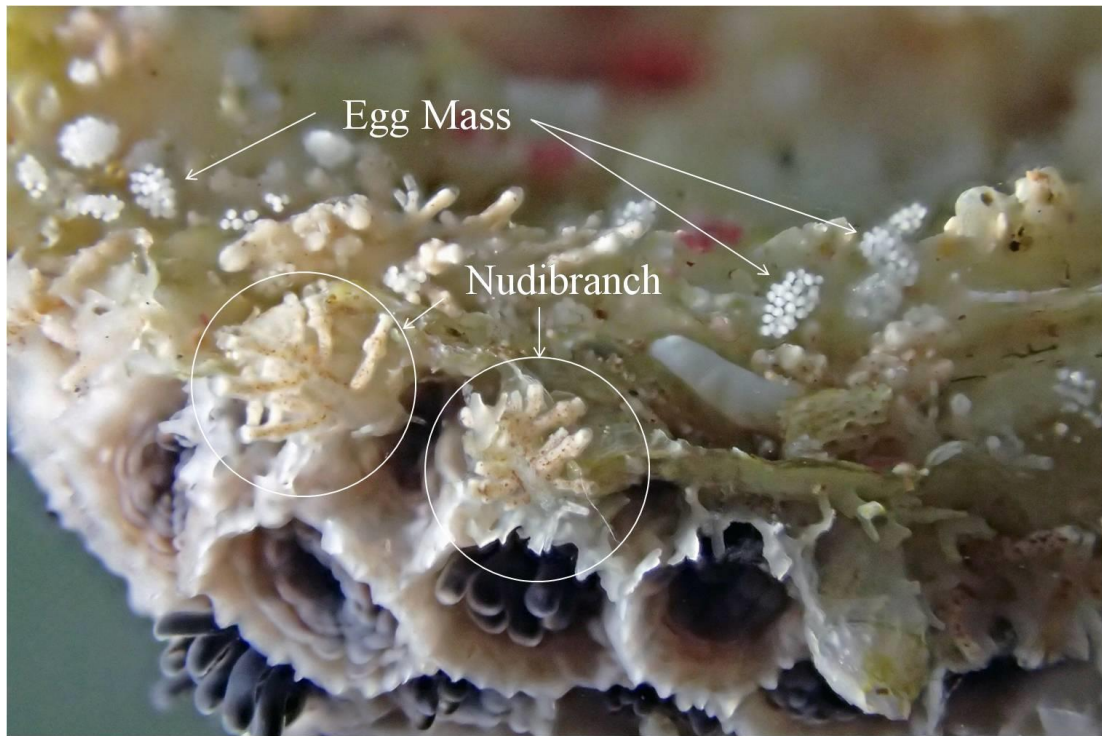


Fig. 5. Nudibranchia found on *Alveopora japonica*

Table 2. Universal primer used in this study

Primer Code	Sequences (5'→3')	Reference
LCO1490	GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG	Folmer et al.(1994)
HCO2198	TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA	

3. Results

3.1. 형태학적 분류 결과

Phylum	Mollusca Linnaeus, 1758	연체동물문
Class	Gastropoda Cuvier, 1795	복족강
Order	Nudibranchia Cuvier, 1817	나새목
Family	Tergipedidae Bergh, 1889	도롱이갯민숭이과
Genus	Phestilla Bergh, 1874	

Key to Genera of the Family *Tergipedidae*

1. Digestive ducts branched.

- 1) Single row of diverticula (and cerata). *Cuthonella*
- 2) Double row. *Precuthona*

2. Digestive ducts simple, diverticula in a single row.

1) Oral tentacles present.

- (1) Cnidosacs. *Cuthona*
- (2) No cnidosacs. *Phestilla*

2) No oral tentacles (replaced by a veil)..... *Tenellia*

3. Digestive ducts simple, single diverticula (and cerata) only.

- 1) Precardiac part of the duct system with more than one diverticulum (and ceras). *Subcuthona*

- 2) Precardiac part with only one diverticulum (and ceras). *Tergipes*

거품돌산호에서 분리한 시료는 체장은 6~9mm이고, 체폭은 0.8~1mm으로 소형종이다. 체형은 폭이 좁고 길게 신장되어 뒤쪽으로 갈수록 가늘어진다. 머리에는 구막의 가장자리에서 발생한 한 쌍의 구강촉수를 가지고, 그 위로 한 쌍의 촉각이 있다. 구강촉수와 촉각은 반투명한 색상에 흰색의 줄무늬를 가진다. 등면의 양쪽으로 손가락처럼 보이는 긴 아가미돌기가 있으며, 등면의 수직으로 발생하여 몸체의 후방으로 기울어진 형태이다. 아가미돌기는 5~7열로 성장 발달단계에 따라 다르게 나타나며, 성체는 한 열에 최대 4개의 아가미돌기가 관찰되었다. 아가미돌기의 끝은 둥글게 부풀어오른 형상으로 곤봉을 연상케하며, 말단의 가장자리는 손톱같이 반투명한 색상을 지닌다. 끝에서 아래로 내려오면 크게 부풀어오른 구역이 하나 더 있으며, 기저부로 갈수록 가늘어진다. 외투는 반투명한 크림색을 띠며, 아가미돌기의 표피는 반투명하지만 내부 소화샘의 성분 따라 크림색이나 얼룩덜룩한 갈색을 띤다.

시료는 거품돌산호의 살아있는 폴립을 섭식하였으며, 산호의 골격 위에 유백색의 난괴(Egg Mass)를 산란하였다. 난괴는 타원형으로 Straight Type과 Curved Type이 관찰되었다. 난괴의 크기는 평균 $1144.4 \pm 270.9 \mu\text{m}$ (Length), $702.4 \pm 153.2 \mu\text{m}$ (Width)에 이르렀으며, 하나의 난괴에서는 최대 120여개의 난이 관찰되었다. 각각의 난에서는 내부 유생이 회전운동을 하는 것이 관찰되었고, 난의 평균 크기는 $276.6 \pm 21.4 \mu\text{m}$ (Length), $219.4 \pm 15.4 \mu\text{m}$ (Width)로 측정되었다(n=10).

나새류의 섭식 양상을 관찰한 결과, 초기 숙주로 삼은 산호체에서는 이들이 골격의 하단부에 은신하여 눈에 잘 띄지 않았다. 시간이 지남에 따라, 산호 골격의 가장자리에 있는 폴립부터 섭식하기 시작하여 산호체의 중심부로 개체군이 이동해나가는 양상을 보였다. 이들의 섭식행위와 빠른 번식력으로 인해 폴립

은 폐사하기 시작하였고 산호의 개화율도 현저히 저하되었다. 흰 색의 골격이 드러나 완전히 폐사에 이른 산호에서는 나새류를 발견할 수 없었다.

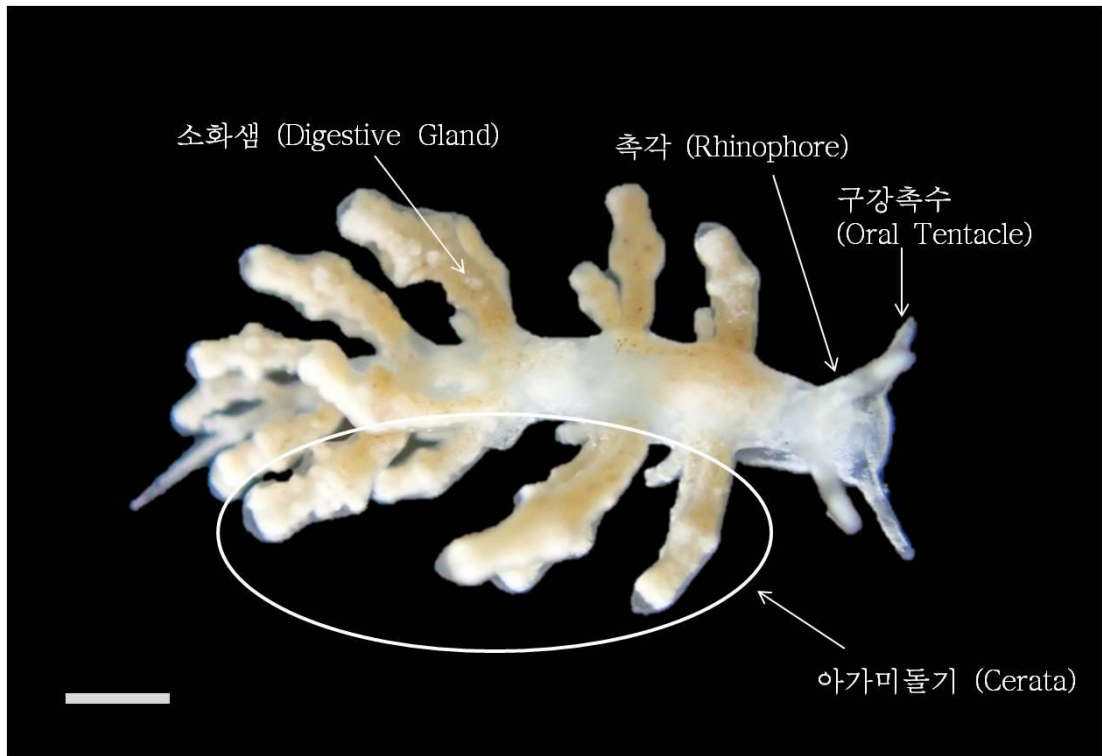


Fig. 6. Terminology of Family *Tergipedidae*

Table 3. Average size of Egg Mass and Egg diameters

Samples	Egg Mass Diameters		Egg Diameters	
	Length(μm)	Width (μm)	Length(μm)	Width (μm)
1	932.23	584.53	301.25	225.3
2	983.69	517.9	274.34	203.89
3	1348.53	821.12	298.43	216.71
4	1115.6	704.7	248.17	199.99
5	1057.89	642.59	245.96	215.66
6	864.74	636.8	260.93	239.36
7	1270.64	814.89	305.92	223.25
8	898.62	587.31	287.33	225.3
9	1210.58	673.43	275.69	244.46
10	1761.55	1040.76	267.52	199.81
Average	1144.4\pm270.9	702.4\pm153.2	276.6\pm21.4	219.4\pm15.4



Fig. 7. *Phestilla* sp. (Adult); Body Length: 9.5mm; Scale Bars: 1mm



Fig. 8. *Phestilla* sp. (Juvenile); Body Length: 6.5mm; Scale Bars: 1mm



Fig. 9. *Phestilla* sp. (Egg Mass); Scale Bars: 100 μm

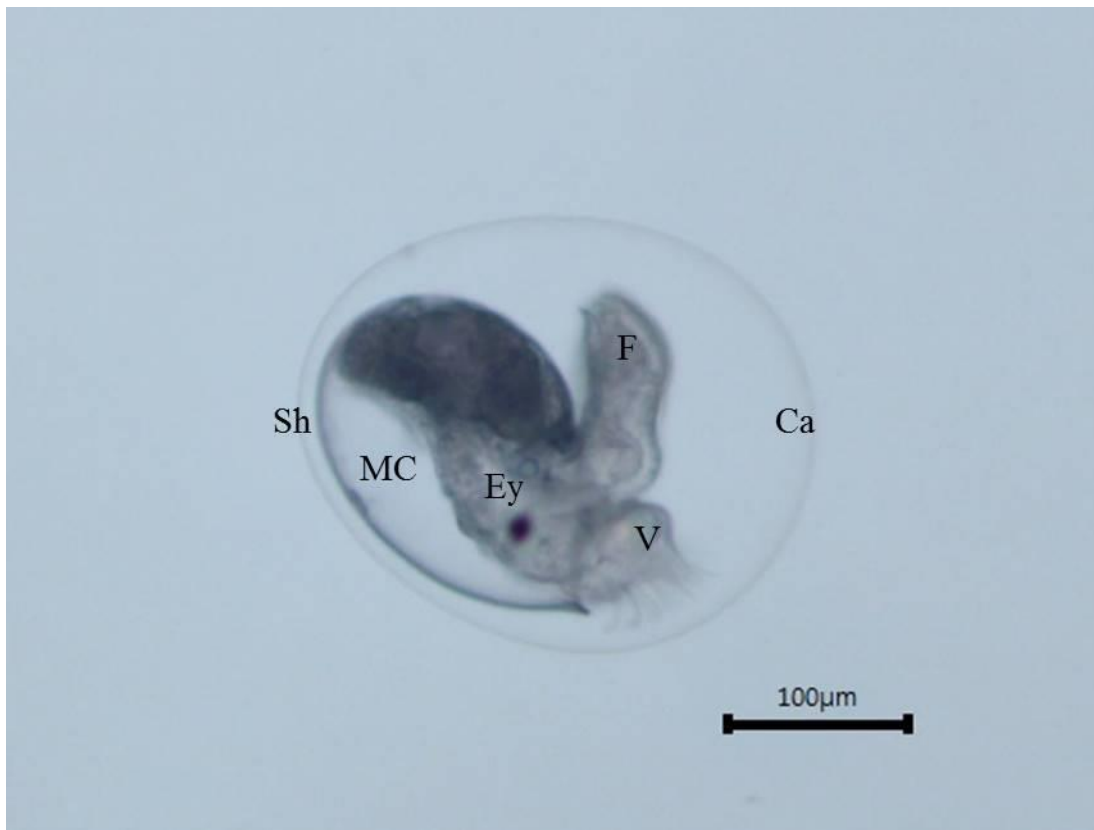


Fig. 10. *Phestilla* sp. Egg, Lecithotrophic Larva (Scale Bar is 100 μ m. Ey, Eye; F, Larval Foot; MC, Mantle Cavity; Sh, Larval Shell; V, Ciliated Velum; Ca = the capsule that surrounds each embryo.)

3.2. 유전학적 분류 결과

미토콘드리아 COI primer를 통한 유전학적 분석 결과 나새류 표본의 염기서열은 *Phestilla* sp.1, *Phestilla* sp.2와 12%의 차이를 보였으며, *Phestilla minor*와 13%의 차이를 보였다 (Table 4).

Table 4. Comparison of sequence similarity of *Phestilla* sp. retrieved from Genbank database

GenBank No.	Taxon	Host Coral	Collection Locality	Collection Year	Reference	Sequence Identity(%)
DQ417317	<i>Phestilla</i> sp.1	<i>Porites rus</i>	Palau (N of Ngel Channel)	2003	Fauci et al.(2006)	88%
DQ417318	<i>Phestilla</i> sp.1	<i>Porites rus</i>	Palau (N of Ngel Channel)	2003		88%
DQ417321	<i>Phestilla</i> sp.1	<i>Porites rus</i>	Palau (N of Ngel Channel)	2003		88%
DQ417283	<i>Phestilla</i> sp.2	<i>Goniopora fruticosa</i>	Guam	2003		88%
DQ417284	<i>Phestilla</i> sp.2	<i>Goniopora fruticosa</i>	Guam	2003		88%
DQ417304	<i>Phestilla minor</i>	<i>Porites annae</i>	Guam (Pago Bay)	2003		87%
DQ417306	<i>Phestilla minor</i>	<i>Porites annae</i>	Guam (Tangrissan Reef)	2003		87%
DQ417301	<i>Phestilla minor</i>	<i>Porites compressa</i>	Oahu/HI (Kaneohe Bay)	2002		87%

Table 5. Comparison on morphological characters among species of *Phestilla* sp. and *Phestilla minor*, *Phestilla* sp.1, *Phestilla* sp.2

	Samples	<i>Phestilla minor</i>	<i>Phestilla</i> sp.1	<i>Phestilla</i> sp.2
Morphological Characteristics	<i>Phestilla minor</i> 유사종	-	<i>Phestilla minor</i> 유사종, 아가미돌기 불일치	<i>Phestilla sibogae</i> 유사종
Length	6-9mm	7-9mm	5mm	30mm
Egg Mass Shape	타원형	타원형	타원형	나선형
Host Coral	<i>Alveopora japonica</i>	<i>Porites compressa</i> <i>Porites annae</i> <i>Porites lutea</i>	<i>Porites cylindrica</i> , <i>Porites rus</i>	<i>Goniopora</i> spp.

4. Discussion

나새류(나새목, *Nudibranchia*)는 복족강 후새아강에 속하는 분류군으로 노출된 아가미를 가지고 있으며, 패각은 없다 (Gosliner 1987). 나새목은 4개의 아강으로 나뉘어지는데, 도롱이갯민숭이과는 Aeolid아목에 속해있어 Aeolid Nudibranch로 불린다. 아가미는 나새류를 분류하는 기준이 되며, 몸통 후방에 항문을 둘러싸는 아가미다발을 가지는 형태와 등 전체에 아가미돌기를 가지는 형태로 구분할 수 있다. Aeolid아목은 후자에 속한다 (Gosliner1987; Yonow 2008).

도롱이갯민숭이과(*Tergipedidae*)는 몸체는 작으며 촉각이 구강촉수보다 길고, 아가미돌기(cerata)가 한열씩 등 면의 양 옆에 경사지게 나있다. 아가미돌기의 내부에는 혈액이 차 있고, 중앙에 소화분비선이 있다. 도롱이갯민숭이과에서는 소화관의 분화에 따라 속이 나뉘어진다 (Miller1977). Aeolid아목의 대부분의 종들이 자포동물을 먹이로 삼으며, 그들의 아가미돌기의 끝에 위치한 자포낭에 자포를 저장하여 방어용으로 사용한다. 그러나 *Phestilla*속의 경우, 경산호를 섭식하지만 자포낭을 가지고 있지 않다. 대신에, 아가미돌기에 분비선이 있어 자신을 방어할 수 있는 화학물질을 분비한다 (Miller1977; Koh 2006). *Phestilla*속은 *P. lugubris*(=*P. sibogae*), *P. melanobrachia*, *P. minor*, *P. panamica*의 4종이 분류군에 속해 있다(Rudman 1979,1981). *Phestilla* spp.는 일생의 대부분을 특정한 숙주 산호에서 보낸다. 산호체에 알을 낳고, 부화한 부유유생은 숙주의 화학적 신호를 감지하여 특정 숙주에 정착한다 (Ritson-Williams et al. 2003; Faucci et al. 2006).

*Phestilla*속 나새류 4종의 체형과 아가미돌기, 체색, 크기 등의 형질을 비교 분석한 결과 시료는 *P. minor*와 매우 유사하였다. 이전의 문헌에서 *Phestilla*

*minor*는 탄자니아, 오스트레일리아, 하와이에서 분포하는 것으로 알려져 왔고, *Porites*속의 산호에서 성체의 무리와 난괴가 발견되었다 (Rudman 1981; Ritson-Williams et al. 2003; Faucci et al. 2006). *Phestilla minor*는 *Phestilla*속의 다른 종들과 비교하여 크기가 매우 작아 이러한 이름이 붙었다. 10일이면 2mm에서 9mm까지 자랄 정도로 성장속도가 매우 빠른 편으로, 6-9mm크기에 이르면 산란을 시작한다 (Rudman 1981).

*Phestilla*속의 숙주 산호로는 *Porites* spp., *Goniopora* spp., *Tubastrea* spp.가 알려져 있으며, 종에 따라 선호하는 숙주가 각각 다르다. Faucci et al. (2006)는 *Phestilla* spp.의 계통발생학적 분류를 통해 같은 지역 내에서 숙주 산호의 교체가 이루어진 것을 분석하였으며, 이는 종 분화와도 연결된다고 하였다.

*Phestilla minor*의 경우 Guam에서는 *Porites annae*, Oahu/HI 에서는 *P. compressa*, Tanzania에서는 *P. somaliensis*와 *P. australensis*산호에서 출현하였다 (Ritson-Williams et al. 2003; Faucci et al. 2006). Ritson-Williams et al. (2003)의 실험에 따르면 *Phestilla*속의 숙주 선호도로 인해 다른 지역에서 새로운 숙주에 적응하여 정착할 수도 있는 가능성을 제시한다. 성체의 경우 *Porites* 산호군 중에서도 선호하는 숙주 산호가 뚜렷하였으나, 유생 정착의 경우 성체가 선호하지 않는 산호 뿐 아니라 다른 속의 산호에서도 일어났다.

시료의 유전학적 분석 결과 가장 높은 유사도를 보인 *Phestilla* sp.1의 경우, *Phestilla minor* 과 한 계통에서 분화된 종으로 두 종 모두 *porites* spp. 산호를 숙주로 삼지만 숙주 종의 선호도에는 차이가 있어 서로 다른 종의 산호에서 서식한다. 숙주 종에 따라 계통이 서로 섞여서 분화된 양상도 나타났다. *Phestilla*

*minor*와 *Phestilla* sp.1의 평균 종내 염기서열 유사도 차이는 각각 5.5%, 5.9%로 나타났으나, 채집날짜와 지역은 같지만 다른 종의 숙주산호(*P. rus*, *P. cylindrica*)에서 채집된 *Phestilla* sp.1의 경우 11.1%의 높은 서열 차이를 보였다(Fauci et al. 2006). 시료와 *Phestilla* sp.1, *Phestilla* sp.2의 형태학적 유사도를 확인하기 위해 문헌을 통해 이들의 체형, 크기, 숙주산호, 산란형태를 분석한 결과, 시료와 불일치하였다 (Table 5).

앞서 언급한대로 이전의 연구에서 알려진 *Phestilla*속 나새류의 숙주 산호는 *Poritidae*과에 속한 *Porites* spp., *Goniopora* spp.와 *Dendrophylliidae*과에 속한 *Tubastrea* spp.이다. 본 연구에서 *Phestilla* sp.가 숙주로 취한 *Alveopora*속은 형태적 유사성으로 인해 *Poritidae*과에 속해있었으나 Fukami et al. (2008)의 연구에서 위 산호의 계통을 분석한 결과 *Acroporidae*과와 매우 유사한 것으로 확인되었다. 이에 *Alveopora*속이 *Poritidae*과에서 *Acroporidae*과로 이동해야 된다는 주장이 제기되었고 (Fukami et al. 2008), Dai and Horng (2009)의 경산호의 분류에서는 *Alveopora*속을 *Acroporidae*과로 분류하였으며, 현재 WoRMS(World Register of Marine Species, 세계해양생물종등록기구)에는 *Acroporidae*과로 분류되어 있다.

국내에서는 지금까지 *Phestilla*속 나새류의 출현이 보고된바 없으며, 열대 지역에서 주로 서식하는 *Phestilla* sp.가 실내의 수조에 어떠한 경로로 유입이 되었는지는 알 수 없다. 일본에서는 *Phestilla*속 나새류가 일부 출현하였으며, 기후 변화에 따라 위 나새류의 서식지가 점차적으로 북상하였다면 이미 국내에도 유입종이 되었을 가능성이 있다. *P. minor*의 경우 수조 환경에서 *Porites* sp.의 부재로 *Montipora* sp. 산호에서 발견된 사례가 있다 (Riddle 2012). Ritson-Williams et al. (2003)의 연구에서는 다른 지역에서의 *P. minor*의 새로운 출현은 숙주의 수를

확장할 수 있다고 시사하였다.

이 연구를 통해 수조 환경의 *Alveopora japonica*에서 관찰된 *Phestilla* sp.의 숙주-포식자 관계가 처음으로 확인되었다. 연구에서 분석한 나새류 시료는 형질상으로는 *Phestilla minor*와 유사하나, 유전학적 정보만으로 보면 13%라는 높은 서열차이를 보인다. 따라서 *P. minor*가 아닌 다른 종으로도 간주될 수 있으며, 이 연구에서는 *Phestilla* sp.로 분류하였다. 하지만, *Phestilla*속의 계통발생학적 연구 결과 (Faucci et al. 2006)에 근거하여 숙주 교체로 인한 새로운 종 분화의 가능성이 있으므로 추가적인 분자 분류학적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- Choi, M.A., 2003. Classification of Doridacea (Gastropoda, Nudibranchia) from sea shores around Je-ju Island. MS thesis, Sungkyunkwan University, Kyonggi-do, Korea, pp. 1-69.
- Dai, C.F., Horng, S., 2009. Scleractinia fauna of Taiwan I. The complex group. Taipei: National Taiwan University. 175 p.
- Denis, V., Deulofeu, L.R., Laubeyers, M., Palmas, S.D., Hwang, S.J., Woo, S., Song, J.I., Chen, C.A., 2015. Recruitment of the subtropical coral *Alveopora japonica* in the temperate waters of Jeju Island, South Korea. *Bulletin of Marine Science* 91, 85–96.
- Denis, V., Deulofeu, L.R., Palmas, S.D., Chen, C.A., 2014. First record of the scleractinian coral *Psammocora albopicta* from Korean waters. *Marine Biodiversity* 44(2): 157-158.
- Denis, V., Mezaki, T., Tanaka, K., Kuo, C.Y., Palmas, S.D., Keshavmurthy, S., Chen, C.A., 2013. Coverage, diversity, and functionality of a highlatitude coral community (Tatsukushi, Shikoku Island, Japan). *PLoS One* 8(1), e54330.
- Fauci, A., Toonen, R.J., Hadfield, M.G., 2006. Host shift and speciation in a coral-feeding nudibranch. *Proc. R. Soc. B*.
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., Vrijenhoek, R., 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 3, 294–299.
- Fukami, H., Chen, C.A., Budd, A.F., Collins, A., Wallace, C., Chuang, Y.Y., Chen, C., Dai, C.F., Iwao, K., Sheppard, C., Knowlton, N., 2008. Mitochondrial and nuclear genes suggest that stony corals are monophyletic but most families of stony corals are not (Order Scleractinia, Class Anthozoa, Phylum Cnidaria). *PloS One* 3:e3222.
- Gochfeld, D.J., Aeby, G.S., 1997. Control of populations of the coral-feeding nudibranch *Phestilla sibogae* by fish and crustacean predators. *Marine Biology*. 130: 63-69.

- Gosliner, T., 1987. Nudibranchs of southern Africa. *Sea Challengers*, Monterey, pp. 1-136.
- Harii, S., Omori, M., Yamakawa, H., Koike, Y., 2001. Sexual reproduction and larval settlement of the zooxanthellate coral *Alveopora japonica* Eguchi at high latitudes. *Coral Reefs* 20: 19-23.
- Harris, L.G., 1975. Studies on the life history of two coral-eating nudibranchs of the genus *Phestilla*. *Biol Bull (Woods Hole)* 149:539-550.
- Holznagel, W.E., 1998. A nondestructive method for cleaning gastropod radulae from frozen, alcohol-fixed, or dried material. *Amer. Malac. Bull.*, 14(2): 181-183.
- Hong, H.K., Keshavmurthy, S., Kang, C.K., Hwang, K.S., Park, S.R., Cho, S.H., Choi, K.S., 2015. *Alveopora japonica* repopulation of a bare substrate off Jeju Island, Korea. *Bull Mar Sci.* 91(4):477-478.
- Hong, S.Y., Park, K.Y., Park, C.W., Han, C.H., Suh, H.L., Yun, S.G., Song, C.B., Jo, S.G., Lim, H.S., Kang, Y.S., Kim, D.J., Ma, C.W., Son, M.H., Cha, H.K., Kim, K.B., Choi, S.D., Park, K.Y., Oh, C.W., Kim, D.N., Shon, H.S., Kim, J.N., Choi, J.H., Kim, M.H., Choi, I.Y., 2006. *Marine invertebrates in Korean coasts*. Academy Publishing Company, Inc. Seoul, pp. 1-479.
- Hwang, S.J., Song, J.I., 2009. Sexual reproduction of soft coral, *Scleronephthya gracillimum* (Alcyonacea: Nephtheidae) based on long-term collection from Jejudo Island, Korea. *Galaxea J Coral Reef Stud* 11:155-167.
- Jung, D.W., 2014. *A Systematic Study of Opisthobranchs from Korea*. MS thesis, Sangmyung University, Korea, pp. 1-83.
- Kim, D.K., Jung, K.K., Yun, D.H., Kim, S.Y., Han, E.G., 2013. Regional distribution of corals (Anthozoa) in the waters around Jeju Island. 3(1), 1-18.
- Koh, D.B., 2006. *Sea slugs of Korea*. Pungdeung Publishing, Seoul, pp.1-248.
- Miller, M.C., 1977. Aeolid nudibranchs (Gastropoda: Opisthobranchia) of the family Tergipedidae from New Zealand waters. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 60: 197-222.
- Noseworthy, R.G., Hong, H.K., Keshavmurthy, S., Lee, H.J., Jeung, H.D., Ju, S.J., Kim, J.B., Jung, S.G., Choi, K.S., 2016. *An Assemblage of Mollusks*

- Associated with the High Latitude Scleractinian Coral *Alveopora japonica* (Eguchi 1968) in Jeju Island, off the South Coast of Korea. *Ocean Sci. J.* 51(1):21–31.
- Riddle, D., 2012. Accessed through: Aquarium Invertebrates: Phestilla Nudibranchs: Cryptic Enemies of Porites, Goniopora, Tubastrea and Dendrophyllia Corals and an Identification of 'Montipora-eating Nudibranchs' at <http://www.advancedaquarist.com/2012/6/inverts> on 2016-10-10
- Ritson-Williams, R., Shjegstad, S., Paul, V., 2003. Host specificity of four corallivorous Phestilla nudibranchs(Gastropoda: Opisthobranchia). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255, 207–218.
- Rohwer, F., Seguritan, V., Azam, F., Knowlton, N., 2002. Diversity and distribution of coral-associated bacteria. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 243: 1-10.
- Rudman, W.B., 1979. The ecology and anatomy of a new species of aeolid opisthobranch mollusc; a predator of the scleractinian coral *Porites*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 65: 339-350.
- Rudman, W.B., 1981. Further studies on the anatomy and ecology of opisthobranch molluscs feeding on the scleractinian coral *Porites*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 71: 373-412.
- Song, J.I., 1991. The systematic study on the Korean Anthozoa 12. Order Scleractinia. *Kor J SystZool* 7:127–150.
- Song, J.I., 2014. Octocoral Finder of Korea. Korea Coral Resource Bank. 45pp.
- Song, J.I., Kim, J.H., Choi, K.S., Cho, Y.K., 2005. The Culture of Protective Species of Anthozoans and Rehabilitation, Ministry of Environment. 340pp.
- Song, J.I., Lee, E.A., 2011. Flowers of the Sea. Korea Coral Resource Bank. 74pp.
- Sorokin, Y.I., 1995. Coral Reef Ecology. Springer Verlag, Berlin. 465pp.
- Sugihara, K., Yamano, H., Choi, K.S., Hyeong, K.S., 2014. Zooxanthellate scleractinian corals of Jeju Island, Republic of Korea. In: Nakano S, Yahara T, Nakashizuka T (eds) Integrative observations and assessments. Asia-Pacific Biodiversity Observation Network (AP-BON), Tokyo, pp 111–130.
- Tamura, K., Stecher, G., Peterson, D., Filipiski, A., Kumar, S., 2013. MEGA6:

- molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* 30: 2725–2729.
- Veron, JEN., Minchin, P.R., 1992. Correlations between sea surface temperature, circulation patterns and the distribution of hermatypic corals of Japan. *Cont Shelf Res* 12:835–857.
- Vieira, C., Keshavmurthy, S., Ju, S.J., Hyeong, K.S., Seo, I.A., Kang, C.K., Hong, H.K., Chen, C.A., Choi, K.S., 2016. *Marine and Freshwater Research*. 67, 594–604.
- Yang, M.H., Kim, M.C., Kim, S.Y., Yi, E.S., 2011. Growth and Survival of Corals Artificial Seed Transplanted of Chagui-Do Sea area in the JejuIsland. *The Journal of Fisheries Resources Management*.1(1).71-80.
- Yamano, H., Sugihara, K., Nomura, K., 2011. Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophys Res Lett* 38:L04601.
- Yonow, N., 2008. *Sea slugs of the Red Sea*. Pensoft Series Faunistica, Sofia, pp. 1-304.
2016. Accessed through: Japan Nudibranchs and Sea Slugs Database at http://www.ajoa.jp/seaslugdb/data/PhotoDataEn.jsp?photo_id=684 on 2016-10-10

감사의 글

수조라는 작은 생태계 속에서 일어난 현상이 하나의 결과물로 만들어지기까지 많은 분들의 도움이 있었습니다. 논문이 세상 밖으로 나올 수 있도록 이끌어주신 최광식 교수님께 진심으로 감사드립니다. 교수님의 가르침을 통해 앞으로도 더 노력하고 성장하는 제자가 되도록 하겠습니다. 논문 심사를 해주시고 조언을 주신 박상울 교수님, 정석근 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

연구를 도와주신 무척추동물 실험실 연구원 분들께도 감사의 인사를 전합니다. 바쁜 와중에도 세심하게 조언해준 영관이 너무나 고맙습니다. 강현실 박사님, 홍현기 박사님, 이희중 박사님, 정희도 박사님, 헤미씨, 진수 모두들 감사드리며, 온기 가득했던 연구실의 그 열정 또한 잊지 못할 것입니다. 생물의 분류에 도움을 주신 Ron Noseworthy, 시료를 자세히 관찰할 수 있도록 촬영에 도움을 주신 임형목 감독님 감사합니다.

아쿠아리움 산호의 사육에 있어 많은 조언을 해주셨던 조춘호 오빠, 황성근 대리님 너무나 감사합니다. 항상 초심 잃지 않고 배우는 자세로 임하겠습니다.

제주 바다별에 와서 참 많은 분들과 인연을 맺었습니다. 수중을 탐사할 때에도, 연구를 하면서도 함께였기에 한걸음 더 앞으로 나아갈 수 있었습니다. 존경하는 아쿠아리스트 임지언 차장님, 김동완 과장님, 그리고 홍원희 수의사님을 만난 덕분에 내일은 더 나은 아쿠아리스트가 되어야겠다는 생각이 듭니다. 아쿠아플라넷 제주 장동준 본부장님, 박진희 팀장님, 김용배 과장님, 그리고 어류파트 직원들 항상 함께 해주셔서 감사합니다. 제주도에서 국내의 산호들을 연구할 수 있도록 멀리서 지원해주신 해양생물연구센터 이기원 소장님, 한원민 팀장님, 최은지 대리님께도 감사드립니다. 멀리서든 옆에서든 같은 길을 걸어온 해마엄마 효선, 대학원동기 창완, 갑각류매니아 영현에게도 고마움을 전합니다.

매 순간 제 선택을 존중해주시고 격려해주신 부모님, 동생 정화 진심으로 감사드립니다.