



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**

Spatial Distribution Pattern Analysis of the High Latitude Coral
Alveopora japonica Occurring on the Northern Coast of Jeju
Island Using Underwater Images

Seunghwan, Shin

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

August, 2019

**Spatial Distribution Pattern Analysis of the High Latitude
Coral *Alveopora japonica* Occurring on the Northern Coast
of Jeju Island Using Underwater Image**

Seunghwan, Shin
(Advised by Professor Kwang-Sik Choi)

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

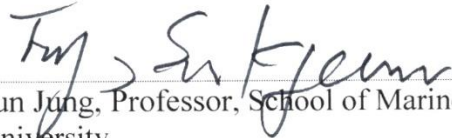
Master of Science

June 2019

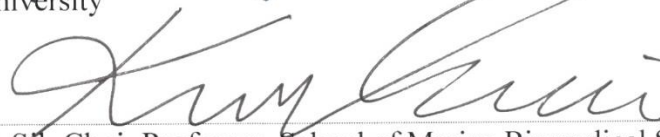
This dissertation has been examined and approved by



Thesis Director, Dr. Jae-Won Yoo, Chief Executive Officer, Korea Institute of
Coastal Ecology, Inc.



Dr. Sukgeun Jung, Professor, School of Marine Biomedical Science, Jeju
National University



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

June 2019
Date

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

CONTENTS

초록	II
ABSTRACT	III
LIST OF FIGURES	IV
LIST OF TABLES	V
1. 서론	1
2. 재료 및 방법	4
2.1. 조사 지역 및 조사방법	4
2.1.1. 촬영 지역 선정	4
2.1.2. 수중 촬영	6
2.2. Image Analysis	9
2.2.1. 방법론의 원리	9
2.2.2. Image J 프로그램	10
2.2.3. 자료 분석 과정	12
3. 결과	19
3.1. 수심 5 m	19
3.2. 수심 10 m	22
3.3. 수심 15 m	25
3.4. 수심별 종 조성의 결과	28
4. 고찰	32
4.1. 수중촬영 영상에 출현한 대형 저서 생물	32
4.1.1. <i>Alveopora japonica</i>	33
4.1.2. Corallin algae	34
4.1.3. <i>Ecklonia cava</i>	35
4.2. 고찰 및 향후 연구방향	38
REFERENCES	42

초록

고위도 돌산호류인 거품돌산호, *Alveopora japonica*는 홍콩, 대만, 일본 남부 및 우리나라 제주 남부 연안에 폭 넓게 분포한다. *A. japonica*는 지난 30년간 표층 수온의 상승으로 인해 그 분포가 제주도 남부 연안에서 제주도 북부 연안에 이르기까지 확대되고 있는 것으로 보고되고 있다. 특히 거품돌산호는 제주 남부 연안에서 북부연안으로 그 분포를 넓히고 있으며, 이는 지난 수십년간 진행된 수온상승과 깊은 관련이 있는 것으로 알려지고 있다. 이 연구에서는 수중 촬영 기법을 이용하여 제주도 북부 연안에 분포하는 *A. japonica*의 수심에 따른 분포양상을 분석하였다. 조사는 2016년 가을, 수중 디지털 카메라를 이용하여 수심 5 m, 10 m, 15 m 에 각각 20 m Line-Transect를 설치, 바닥을 촬영하였다. 수중사진에 출현한 거품돌산호 및 대형 저서생물은 영상분석 소프트웨어인 Image J를 이용하여 빈도와 피도를 측정하였다. 조사 결과, 수심 5 m에서는 석회조류가 주를 이루었으며, 대형갈조류 및 거품돌산호는 발견되지 않았다. 수심 10m에서는 모자반류와 감태 등의 대형갈조류가 출현하였으나 거품돌산호는 관찰되지 않았다. 거품돌산호는 수심 15 m에서 처음으로 출현하였으며, 20 m Line Transect에 총 305가 계수되어, 그 밀도는 15.5 ind. Colony/m²로 추정되었다. 수심 15m에서는 대형 해면류 및 고착성 저서생물이 관찰되었다. 이 연구 결과, 거품돌산호 군체는 주로 수심 10-15m 환경에 선택적으로 분포하며, 이는 이들의 섭식활동 및 공생조류인 *Symbiodinium* sp. 의 광합성 활동에 영향을 미치는 빛과 밀접한 관계를 갖는 것으로 사료되었다.

ABSTRACT

High latitude coral *Alveopora japonica* has a wide distribution range from Hong Kong, Taiwan, southern Japan to Jeju Island off the south coast of Korea. For the past three decades, *A. japonica* has extended its distribution range from the southern to the northern coast of Jeju Island possibly due to the surface seawater temperature increase and decrease in macro algae in the shallow water. In this study, we applied underwater photography and subsequent image analysis technique to monitor depth-dependent distribution of *A. japonica* on the northern coast of Jeju. In 2016, distribution of *A. japonica* population was surveyed using 20m-long line transect at depth of 5, 10, and 15m from a subtidal hard bottom on the northern Jeju Island. Underwater images indicated that the calcareous coralline algae were predominant at depth of 5 m where no corals and no macro algae observed. *A. japonica* first appeared at depth of 10m with some macro algae including *Sargassum sp.*, *Ecklonia sp.* At depth 15m, *A. japonica* occurred at a high density, and often the density exceeded more than 50 *A. japonica* colonies/m². It was evident that *A. japonica* distribution at the sampling site was depth-dependent, as *A. japonica* prefers depth of 10-15m. Sponges and other filter feeding animals were commonly observed from *A. japonica* habitat, suggesting that fine size of food particles may support their growth in the study area.

List of Figures

Fig. 1. Location of the study site on the northern coast of Jeju Island	5
Fig. 2. Resolution of the Image J software used in this study. Smallest <i>A. japonica</i> colony identifiable from the underwater image is estimated to be 2.0 cm in diameter	7
Fig. 3. Illustration of underwater line-transect method applied in this study. A 20m long line-transect was installed at each sampling depth and underwater image was taken at every 1 m	8
Fig. 4. Image J electronic image analysis program developed by National Institute of Health of the USA	11
Fig. 5. An example of the underwater camera image and its analysis using Image J.....	14
Fig. 6. Estimating area of <i>E. cava</i> appeared on the underwater camera image using the Image J image analysis software.	16
Fig. 7. Identification and counting of different types of <i>A. japonica</i> colonies appeared on the underwater camera images.	18
Fig. 8. Underwater camera image of 20 m line transect taken at depth of 5 m and the percent coverage of coralline algae and <i>E. cava</i>	20
Fig. 9. Coralline algae and unidentified red algae appeared on the underwater camera image taken at depth of 5 m	21
Fig. 10. Underwater camera images of the 20 m line transect taken at depth of 10 m and percent area coverage of the coralline algae and <i>E. cava</i>	23
Fig. 11. Macro-benthic fauna and flora appeared on underwater camera images taken at depth of 10 m.	24
Fig. 12. Underwater camera images of the 20 m line transect taken at depth of 15 m and percent area coverage of the coralline algae and <i>E. cava</i>	26
Fig. 13. Average percent coverage of coralline algae and <i>E. cava</i> at 3 different depths	31
Fig. 14. 3 Common macro benthic animal and seaweed appeared on the underwater images.	37
Fig. 15. Unidentified nudibranch appeared on underwater camera image and considered as a potential predator of <i>A. japonica</i>	40

List of Tables

Table 1. Different types of <i>A. japonica</i> colonies and their density (colony/m ²) appeared at each depth	27
Table 2. Macro-benthic fauna and flora appeared on the underwater camera images taken at 5, 10, and 15 m depth	29
Table 3. Percent coverage of Coralline algae and <i>E. cava</i> at each depth	30

1. 서론

최근 과학 기술 발달은 기존 해양 저서균집 연구 방법의 문제점을 해결하는데 도움을 준다. 특히, 디지털 카메라의 발달과 디지털 영상 처리 기술의 발달은 과거의 방식을 효과적으로 그리고 효율적으로 대체해 나가고 있다. 디지털 카메라 촬영에 의한 저서생물 균집 연구는 기존의 채집 방식과는 달리 비파괴적이며, 데이터를 반복하여 얻을 수 있는 장점이 있어 매우 효율적인 연구 방법으로 간주된다 (Ninio et al. 2003; Dunlop et al. 2015; Raoult et al. 2016). 디지털 카메라 촬영을 이용한 해양생물 연구는, 저서 생물의 개체밀도 (Schoening et al. 2012) 및 산호종 동정 (Stokes and Deane 2009; Safuan et al. 2015), 색 이미지 (RGB 데이터)를 이용한 용존유기물 (colored dissolved organic material)과 엽록소 (chlorophyll a) 정량 (Goddijn and White 2006) 등에 다양하게 응용되고 있다. 디지털 이미지 처리 기술의 발달은 이러한 연구가 상대적으로 미시적인 차원인 생물 종을 확인하는 것에서만 도움을 주는 것뿐 아니라 상대적으로 거시적인 차원인 공간적 분포의 특징을 확인하는 것에도 도움을 줄 수 있다. 예를 들면, 생물 종을 확인하는 것과 함께 그 지역에서 출현하는 생물 종의 분포를 파악하는 것이 가능하다. 또한 그 지역의 지형적인 (geomorphic) 특징을 이미지 데이터로 처리하여 유용하게 활용할 수 있도록 해 준다. 이미지 분석 기법은 앞서 언급한 바와 같이 산호초 생태계의 생물학적, 지형적 특징 연구에 널리 응용 되고 있다. Phinn 등 (2011)은 이와 관련하여 고해상도 이미지 데이터를 활용해 산호초 지역의 생태학적 환경 연구를 수행하고, 또 그 지역의 해저 지도 (mapping)를 만드는 것을 제안한 바 있다.

제주도는 지난 수 십 년간 진행된 해수면 수온 상승의 영향으로 연안 저서 생태 환경 역시 급격하게 변화하고 있는 것으로 알려지고 있다. 이러한 급격

한 저서 생태 환경의 변화는 특정 생물 종들의 공간적 분포와 개체밀도에 영향을 미치며, 더 나아가 그 지역 생태 군집 구조의 변화에 영향을 미친다. 제주도 연안의 저서 환경에서 흔히 발견되는 산호는 거품돌산호(*Alveopora japonica*)이다. 거품돌산호(*A. japonica*)는 홍콩, 대만과 일본 남부지역과 함께 제주도 연안에 분포하는 아열대 돌산호로 (Veron 2000) 제주연안에서 거품돌산호(*A. japonica*)의 개체 수는 꾸준히 증가해 오고 있다(Vieira et al. 2016). 수온의 상승에 따라 변화된 연안 해양 환경은 거품돌산호(*A. japonica*)의 증가와 복상(Yamano et al. 2011)에 영향을 주며, 더 나아가 저서 생물 군집의 변화와 함께 제주도 인근 지역 경제에 다양한 영향을 미칠 수 있는 것으로 사료된다.

최근 산호의 연구는 지구 온난화와 관련하여 산호의 백화현상(coral bleaching)에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Hughes et al. 2017). 산호의 백화현상이란, 산호 내에 공생하는 와편모조류(dinoflagellate, zooxanthellae)가 수온 상승이나 그 밖에 어떤 요인에 의해 산호와의 공생관계를 잃고, 산호 바깥으로 방출되는 현상인데, 그 결과 산호 군체가 흰색으로 변하는 현상이다. 대부분의 경우 백화 된 산호는 하얀 골격을 드러내 폐사하나, 일부의 경우 다시 회복되기도 한다 (Fitt 1993). 산호의 백화현상은 공간적 측면에서 소규모로 발생하는 현상이 아니라 대규모로 발생하며 (Baker et al. 2008) 발생 빈도도 최근 들어 크게 증가하고 있다(Hughes et al. 2018). 외국의 경우 백화 현상은 산호의 생리생태학적 측면(Baker 2003) 및 지역적 공간적 패턴을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(Hoechberg & Atkinson 2000).

하와이에서는 1998 년부터 산호초 지역을 모니터링 하기 위해 『산호초 평가 및 모니터링 프로그램(The Coral Reef Assessment and Monitoring Program, CRAMP) 을 운영하고 있다(Brown et al. 2004). 이 프로그램에서는 제한된 시간과

예산 안에서 좀 더 반복적이고, 적절한 길이의 구간(appropriate transect length)의 선택 등 다양한 요소를 고려하여, 디지털 영상 자료 데이터의 생태학적 활용하며, 이는 산호나 조류의 성장률, 정착률 그리고 사망률 등을 좀 더 정확하게 밝히는데 활용되고 있다.

제주연안의 거품돌산호(*A. japonica*) 확산은 지난 20 년간 지속된 생태학적 현상인 반면 거품돌산호의 생태학적 연구는 미미한 실정이다 (Vieira et al. 2016). 거품돌산호(*A. japonica*)는 과거 서귀포 문섬 연안에 국한적으로 분포하였으나, 1990 년 이후 북제주연안에서 관찰되기 시작하였으며, 이는 지난 20 년간 진행된 북제주연안의 백화 현상과도 밀접한 관계를 갖는 것으로 알려지고 있다. 따라서 이 연구에서는 제주도 북부 연안에 분포하는 거품돌산호(*A. japonica*)의 수심별 분포양상과 이들이 분포하는 조하대의 대형 조류 및 저서동물과의 관계를 수중촬영 및 이미지 영상 분석 기법을 활용하여 분석하는데 그 목적을 두었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 지역 및 조사 방법

2.1.1. 촬영 지역 선정

조사 지역은 제주도 북부 연안에 위치한 외도(33° 29.7926'N, 126° 25.7679'E)(Fig.1.)이며, 조사 시기는 2016년 12월 21에 이루어졌다. 연구 지역의 저질(substrate)은 단단한 암석 바위가 대부분을 차지하는 경성저질이며 난류인 쿠로시오 해류의 영향을 받아 연중 최저 수온 13 °C, 최고 수온 25 °C로 알려져 있다 (Park et al. in press). 조사 지역 인근에는 연대방파제가 북동-남서 방향으로 축조 되어 있고, 연대포구와 외도 선착장 등이 위치하고 있다.



Fig. 1. Location of the study site on the northern coast of Jeju Island. (33° 29.7926'N, 126° 25.7679'E)

2.1.2. 수중 촬영

거품돌산호(*A. japonica*) 및 저서생물의 수심 별 분포현황은 스쿠버 다이빙에 의한 수중촬영 방법으로 수행하였으며, 고해상도의 이미지 촬영을 위해 Nikon D800 (해상도 1320만 화소)을 이용하였다. Nikon D800 카메라의 해상도는 거품돌산호(*A. japonica*) 군체의 직경이 2 cm 이상이 되면, 육안으로 충분히 식별 가능할 정도이다(Fig.2.).

거품돌산호(*A. japonica*) 군집의 수심별 분포 현황을 이해하기 위하여 5 m, 10 m, 15 m 수심에, Line-Transect 를 설치하였다(Fig. 3.). Line Transect는 길이가 20 m 이며, 시작점에서 매 1 m 마다 플라스틱 판에 연속하여 번호를 부여하였다. 촬영은 Line Transect가 화면 정 중앙에 위치하게 하여 촬영하였으며, 각 1 m 간격으로 총 20 m 연속촬영을 수행하였다. 이에 따라 20 m Line Transect는 총 20 개의 1x1 m 격자 (quadrat)로 이루어 졌으며, 총 20매의 영상이 최종적으로 분석되었다.

Line-Transect 방식은 생물의 분포와 출현 빈도를 조사하는 기법 중 하나로서, 일정한 길이의 선을 연장하여 그 선 주위를 기준으로 단위 면적에 해당하는 부분을 샘플링 하는 방식이다. 이 조사에서 정한 길이는 20 m 이다. 이 방식은 Point-Transect 방식과 비교했을 때, 전체적으로 고르게 분포하지 않고, 집단을 이루어 출현하는 생물 중 파악에 적합한 방식이다(Dethier et al. 1993; Dean et al. 2015). Point-Transect 방식(Heady et al. 1959)의 경우 무작위로 선택된 지역이 샘플링 되기 때문에 분포가 희소한 종의 경우에는 그 개체의 분포와 출현 빈도가 실제보다 과소 평가되는 반면, Line-Transect 방식은 이러한 오차가 적은 것으로 알려져 있다.

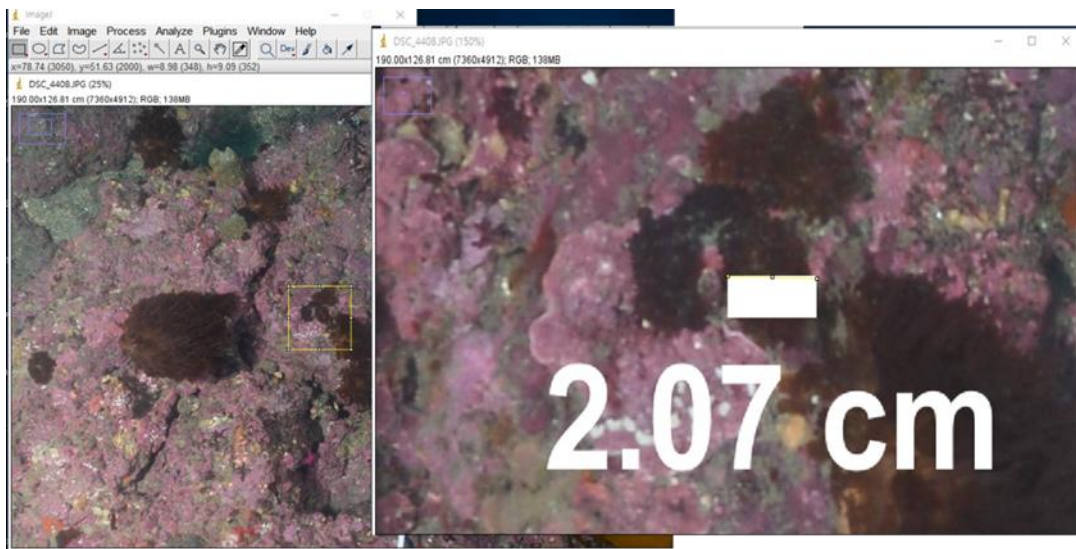


Fig.2. Resolution of the Image J software used in this study. Smallest *A. japonica* colony identifiable from the underwater image is estimated to be 2.0 cm in diameter.

Underwater Line-Transect

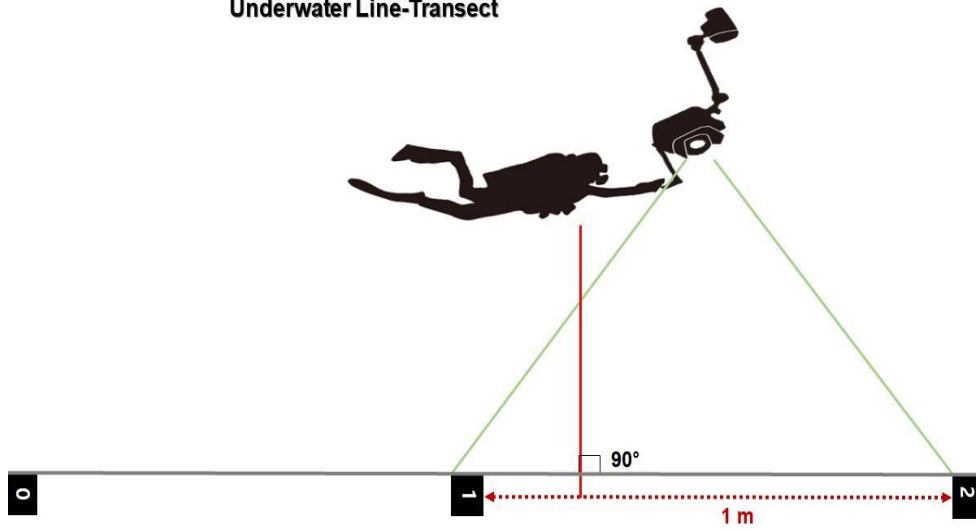


Fig. 3. Illustration of underwater line-transect method applied in this study. A 20m long line-transect was installed at each sampling depth and underwater image was taken at every 1 m.

2.2. Image Analysis

해저 생태계를 연구하는데 있어서 이미지 분석 기법은 다양한 형태로 응용이 되고 있다. 먼저, 디지털 카메라를 사용하여 스틸 이미지나 영상 이미지로 저장한 다음, 연구의 목적에 부합하는 질적, 양적 데이터를 만들고 그 데이터를 분석하는 것이다. 이미지 분석 기법은 해저 저서 생물 종을 확인하는 것에서부터 해저 지형의 특성을 밝혀 내는 것까지 다양한 방식으로 응용이 되고 있다(Sotheran et al. 1997).

과거에는 이미지 데이터를 통해 생물 종을 확인하는 것에 사람이 눈으로 보고 하나하나 종을 확인한다거나, 좀 더 발전된 방식으로 Pixel 을 기반으로 하여 종을 확인하였다. 이미지분석의 최근 동향은 개체인식에 있어 정확도를 높이기 위해 객체기반(Object-based) 이미지 분석이 많이 사용되고 있다(Stokes and Deane 2009; Phinn et al. 2012; Wahidin et al. 2015).

2.2.1. 방법론의 원리

디지털 이미지 분석 기법은 디지털 이미지 데이터를 분석하는 방식에 따라서 Pixel 기반과 Object(객체) 기반으로 나눌 수 있다. Pixel 기반의 방식은 이미지 데이터의 Pixel(색깔)을 기반으로 이미지 데이터를 분석하는 기법이다. 예를 들면, 이미지 데이터에 광합성을 하는 엽록소(chlorophyll)는 초록색으로 표시될 것이다. 즉, 초록색 Pixel 로 표시가 된 이미지 데이터는 곧 엽록소를 나타낸다. 만약, 그 면적을 구하게 되면 엽록소의 면적을 구할 수 있게 된다.

Object 기반의 방식은 이미지 데이터의 Pixel (색깔) 이외에도 다른 많은 데이터가 사용된다. 질감(texture), 모양(shape), 크기(scale) 등 여러 가지 요소가 그

물체를 파악하는데 사용되는 것이다. Pixel 이미지 데이터로만 생물의 종을 파악하는 데는 한계가 있다. 예를 들면, 엽록소를 가진 생물은 녹조식물문(Division Chlorophyta)에 속하는 생물뿐 아니라 초록색 빛을 띤 산호 역시 이에 해당이 된다. 이에 따라서, Object 기반의 이미지 분석 방법은 색깔 이외에 여러 가지 요소를 함께 고려함으로써 보다 정확한 생물 종을 파악 할 수 있도록 도움을 준다 (Stokes and Deane 2009; Duro et al. 2011; Aggawal et al. 2016). Wahidin 등의 연구에 따르면 Object 기반의 방식 중에서도 SVM(Support Vector Machine) 알고리즘을 사용한 것이 기존의 다른 알고리즘(Random Tree, Decision Tree, Bayesian, k-Nearest Neighbor)을 사용한 것보다 좀 더 높은 정확도를 도출한다 (Wahidin et al. 2015).

이에 따라 본 연구에서는 출현하는 종의 수가 적고, 석회조류(coralline algae)의 비중이 높은 것을 감안하여, 앞서 언급한 방법론 중에서 Pixel 기반 이미지 분석 방법을 택하여 관찰 및 분석을 진행하였다.

2.2.2. Image J 프로그램

Image J 프로그램(Fig. 4.)은 미국 국립 보건원(National Institutes of Health)과 광학 및 전산 계측 연구소(LOCI, University of Wisconsin)에서 개발되었다. Java 기반의 본 프로그램은 이미지 처리(Schneider et al. 2012)를 목적으로 사용된다.

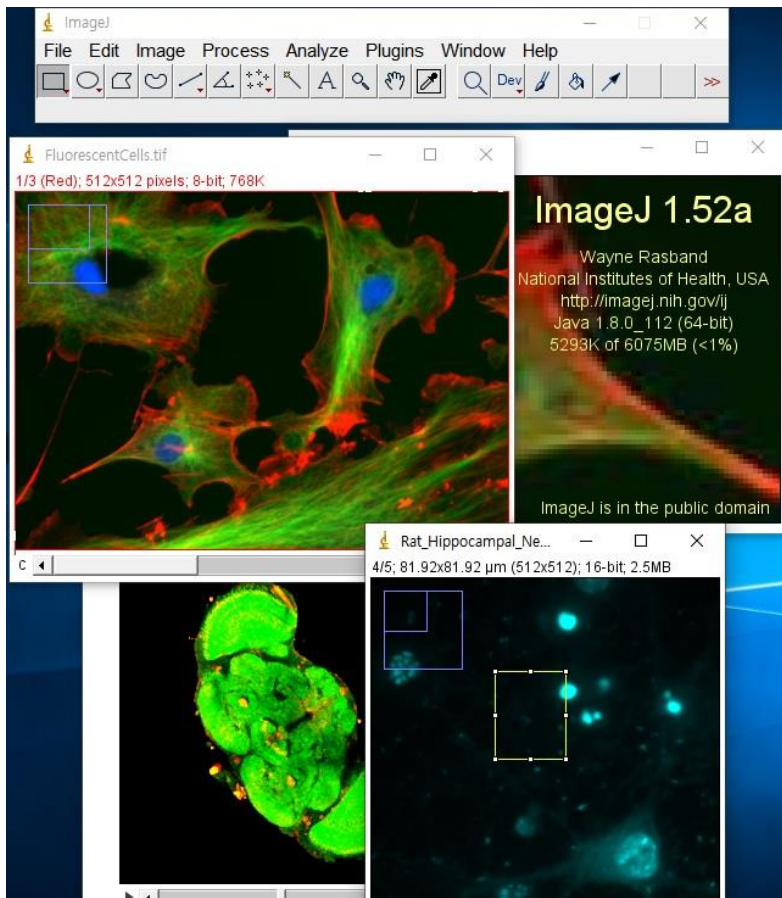


Fig. 4. Image J electronic image analysis program developed by National Institute of Health of the USA.

Image J 프로그램은 사용자들에게 무료(public domain, 공개소프트웨어)로 제공이 되며, 이미지 데이터 처리에 관련한 다양한 기능을 다수 포함하고 있다. 예를 들면, 사진 편집 기능, 8 비트 이미지로 바꿔주는 기능뿐 아니라, 샘플 이미지에 나타난 세포의 수를 세거나 선택된 부분의 면적을 구하는 기능과 같이 이미지 분석에 필요한 기능 그리고 다양한 포맷 형식(TIFF, PNG, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS, raw 등)의 이미지 데이터를 읽을 수 있도록 해준다.

Image J 프로그램은 프로그램에서 자체적으로 지원하는 기능 이외에도 사용자가 작성한 플러그인(plugin, 추가기능)을 사용할 수 있다. 예를 들면, 3차원 라이브 셀 이미징(live cell imaging, 현미경과 같은 광학 장치를 이용하여 살아 있는 세포를 실시간 이미지로 보여주는 것)부터 방사선 이미지 처리 등 다양한 추가 기능을 추가하는 식으로 하여 이미지 처리와 분석이 가능하다(Eliceiri 2005; Barboriak et al. 2005).

2.2.3. 자료 분석 과정

이 연구에서 얻어진 제주 북부 연안 조하대 거품돌산호(*A. japonica*) 군락 수중 영상은 NIH Image J 프로그램을 사용하여 처리하였다. 수중촬영 영상에 나타난 대형 저서생물은 각 종의 면적과 단위밀도 (개체/m²) 등을 Image J 를 통하여 구하였다.

수중 영상에 나타난 저서생물의 피도 (percent coverage)는 다음 두 가지 방식을 이용하여 얻었다. 먼저, 이미지 한 장 당 1m²에 해당하는 단위 면적을 선택한다(Fig. 5. A). 그리고, 이어서 1m²의 단위 면적 내에서 동일하거나 유사한 색감을 나타내는 부분의 면적을 별도로 계산하는 과정을 거쳤다 (Fig. 5. B). Fig.

5.에서 B 아래의 왼쪽 사진은 작업하기 전 시점을 나타내고, B 아래의 오른쪽 사진은 작업한 후(컬러 필터 적용 후)의 시점을 나타낸다. 이미지 처리 과정 시 주의할 점은 이미지 처리 과정에서 나타나는 색(구하고자 하는 색, 제외하고자 하는 색)을 서로 혼동하지 않도록 해야 하는 일이다.

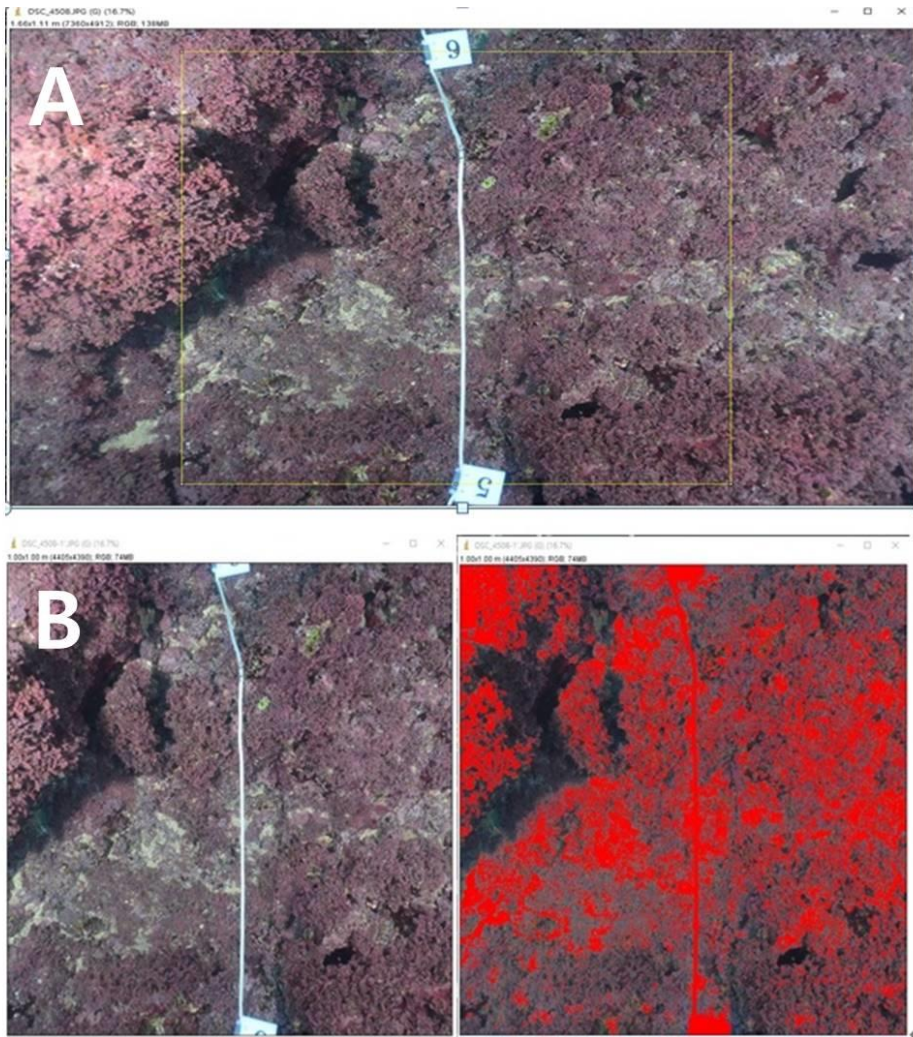


Fig. 5. An example of the underwater camera image and its analysis using Image J. A, setting a 1x1 m virtual quadrat on the line transect; B, measuring the filtered area of identifiable objects as marked in red.

감태(*E. cava*)의 면적은 수중촬영 영상에 나타난 외곽선을 수동으로 구분하여 면적을 구하는 방식을 택하였다(Fig. 6.). 테두리 부분은 수중영상 이미지를 확대하여 마우스로 경계 부분을 선택하는 방식을 적용했다. 이 방법은 별도의 수작업이 필요하지만, 수중영상 이미지에 나타난 색의 구분이 분명하지 못한 경우 혹은 선택하는 색이 두 가지 이상일 경우 유용하게 사용할 수 있는 방법이다.

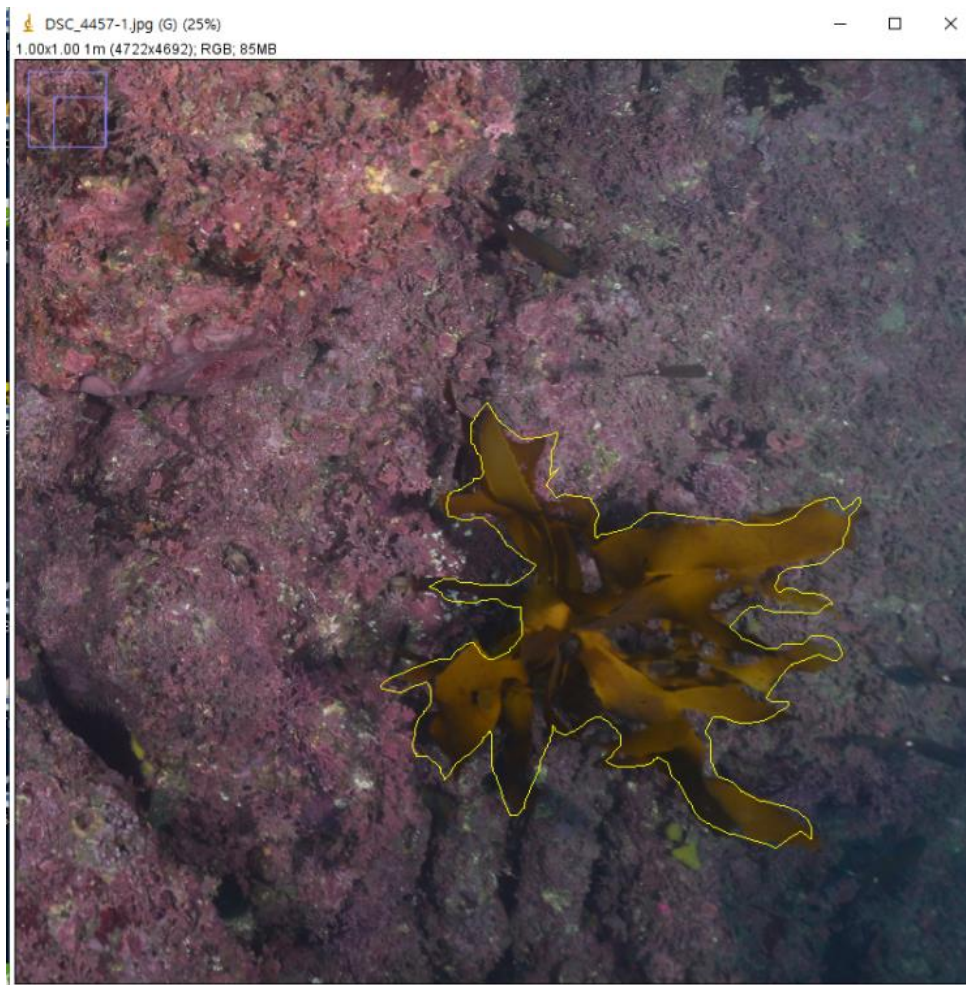


Fig.6. Estimating area of *E. cava* appeared on the underwater camera image using Image J image analysis software.

거품돌산호(*A. japonica*)의 경우 개체의 밀도를 구하는 방식은 다음과 같이 이루어졌다. 수중영상에 출현한 거품돌산호(*A. japonica*)는 우선 육안으로 종을 확인하고 그 개체 수를 계수하였다(Fig. 7.). B 에 해당하는 거품돌산호(*A. japonica*) 중에서 직경 10 cm 이하의 개체와 이를 초과하는 크기의 개체는 따로 구분하여 계수하였다. 촬영된 영상에 나타난 거품돌산호(*A. japonica*)의 경우, 직경 2 cm 이상의 개체는 육안으로 식별이 가능하기에 그 크기 이상의 개체는 모두 계수하였다.

또한, 부분적으로 백화가 진행된 경우 C 와 완전히 폐사한 개체 D 를 구분하였다. C 의 경우 반구형 군체의 일부분에 polyp 이 없이 하얗게 보이는 부분이 있고, 동시에 그 군체의 다른 부분에 polyp 이 보이는 부분이 있는 경우는 'bleached'라고 분류하였다. D 의 경우 반구형의 군체 전부가 polyp 이 없는 체로 하얗게 보이거나, polyp 이 없는 체로 기타 조류로 뒤덮인 경우는 'dead colony'로 분류하였다.'

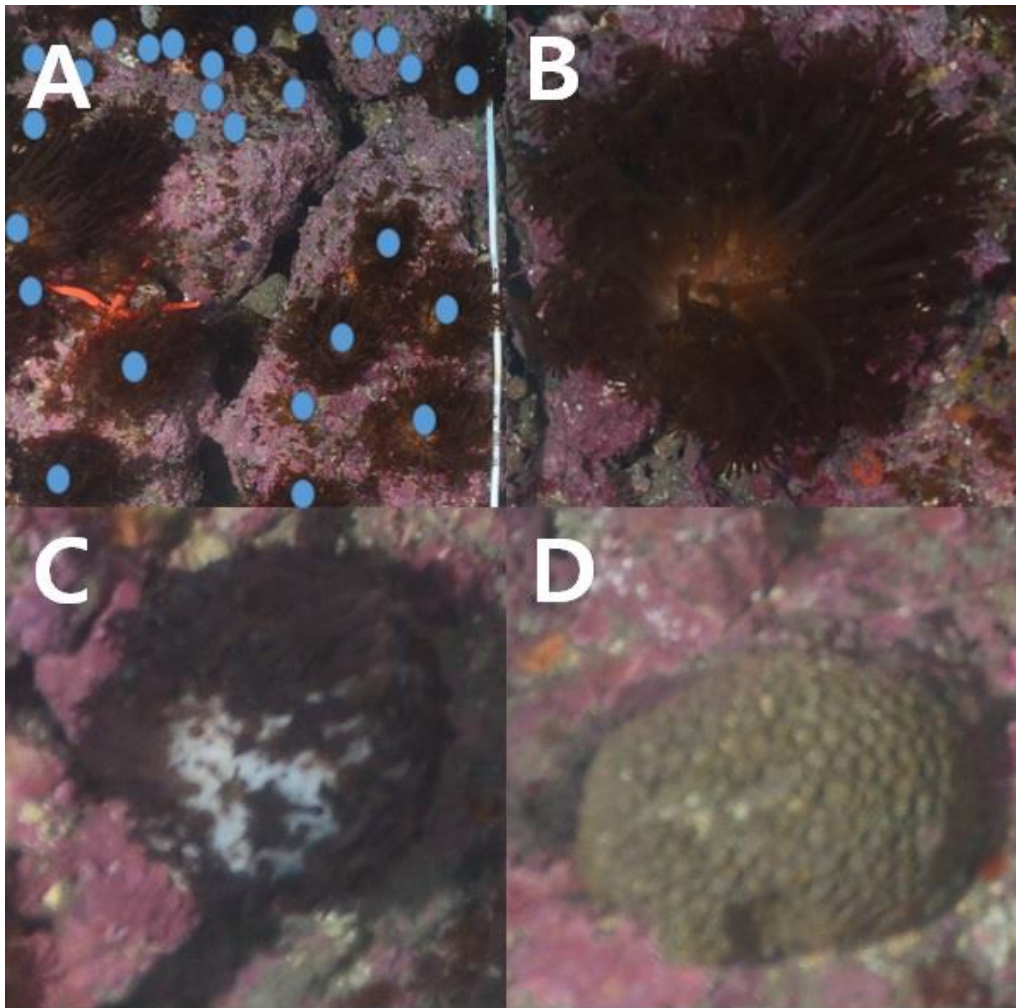


Fig. 7. Identification and counting of different types of *A. japonica* colonies appeared on the underwater camera images. A, marking and counting the live colonies; B, live *A. japonica* colony; C, bleached *A. japonica* colony; D, dead *A. japonica* colony.

3. 결과

3.1. 수심 5 m

수심 5 m (Fig. 8.)에서 출현한 생물 종(Fig. 9.)은 *Corallina sp.*(작은구슬산호말, A)과 같은 유절석회조류(geniculate coralline algae)와 함께 다수의 무절석회조류(non-geniculate coralline algae) 등이 있다. 석회조류는 거의 모든 영상에서 기저면을 뒤덮고 있는 형태로 출현하였으며, 간간히 우뚝가사리(*Gelidium amansii*, B)가 보이기도 하였다. 그러나, 기저면이 암반이 아닌 모래로 이루어진 경우에는 석회조류가 이를 온전히 뒤덮지는 못했다. 또한, Line Transect 영상에는 출현하지 않았으나, 주황해변해면(*Hymeniacidon sinapium*)과 같은 다수의 해면류(Phylum Porifera) 등이 함께 관찰되었다.

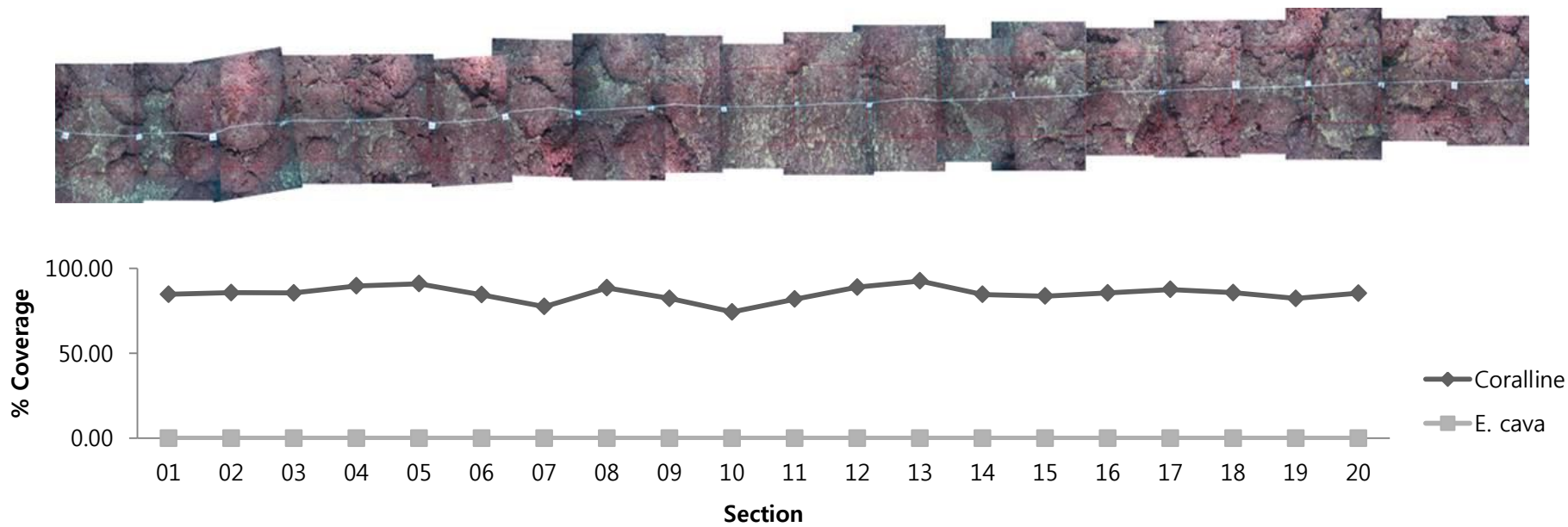
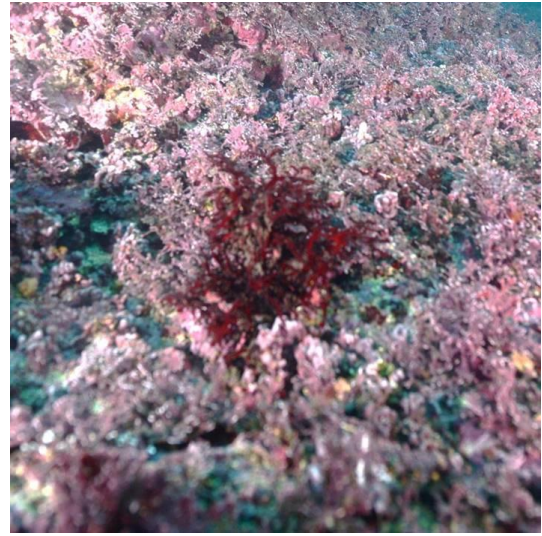
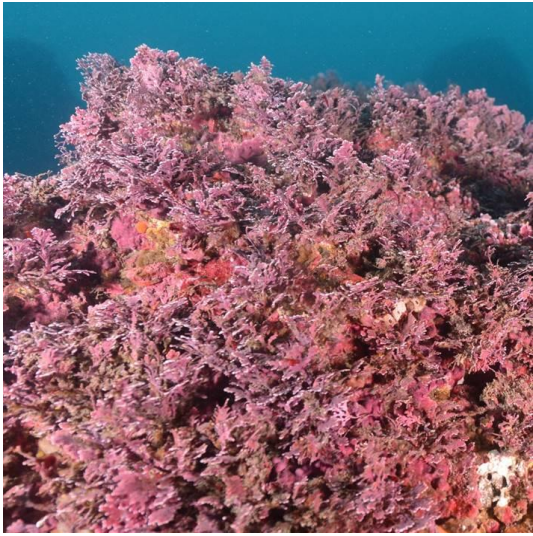


Fig. 8. Underwater camera image of 20 m line transect taken at depth of 5 m and the percent coverage of coralline algae and E. cava.



(A) *Corallina sp.*

(B) Unidentified algae(*Geliidium amansii*)

Fig. 9. Coralline algae (A) and unidentified red algae (B) appeared on the underwater camera image taken at depth of 5 m.

3.2. 수심 10 m

수심 10 m (Fig. 10.)에서 출현한 생물 종(Fig. 11.)은 대략 8 종 이상이 되는데, 감태(*E. cava*, A)와 주황해변해면(*Hymeniacidon sinapium*, B) 은 영상 촬영된 대부분의 지역에서 발견되었다. 큰열매모자반(*Sargassum macrocarpum*, C), 바다나리(*Anneissia japonica*, Sea lily, Class Crinoidea, D), 그리고 각 종 해면류와 불가사리 등이 출현하였다.

특이한 점은 수심 10 m 에서는 출현하는 종의 수가 급격하게 늘었다는 점이다. 특히, 대형 갈조류인 감태(*E. cava*)와 큰열매모자반(*S. macrocarpum*)과 같은 해조류의 출현이 빈번하게 관찰되었다.

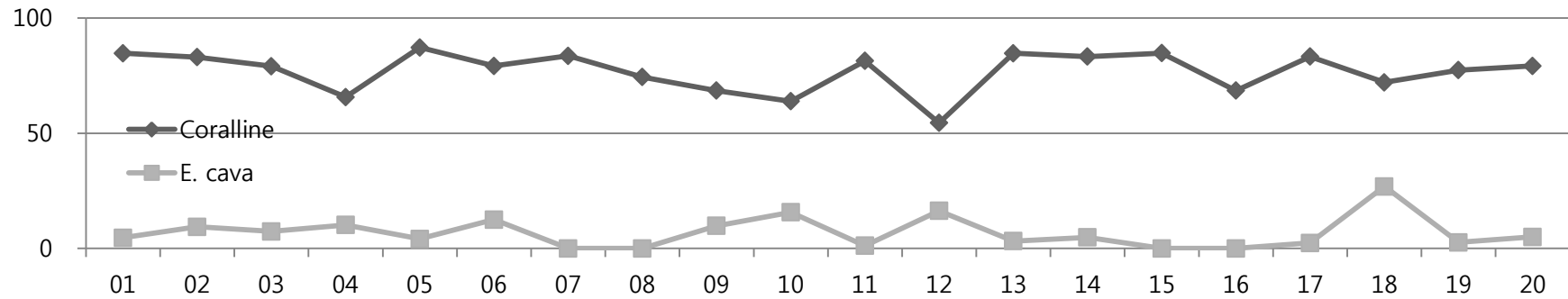
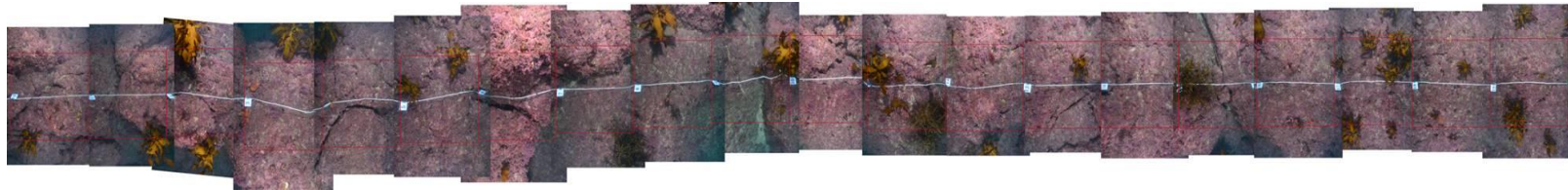


Fig. 10. Underwater camera images of the 20 m line transect taken at depth of 10 m and percent area coverage of the coralline algae and *E. cava*.

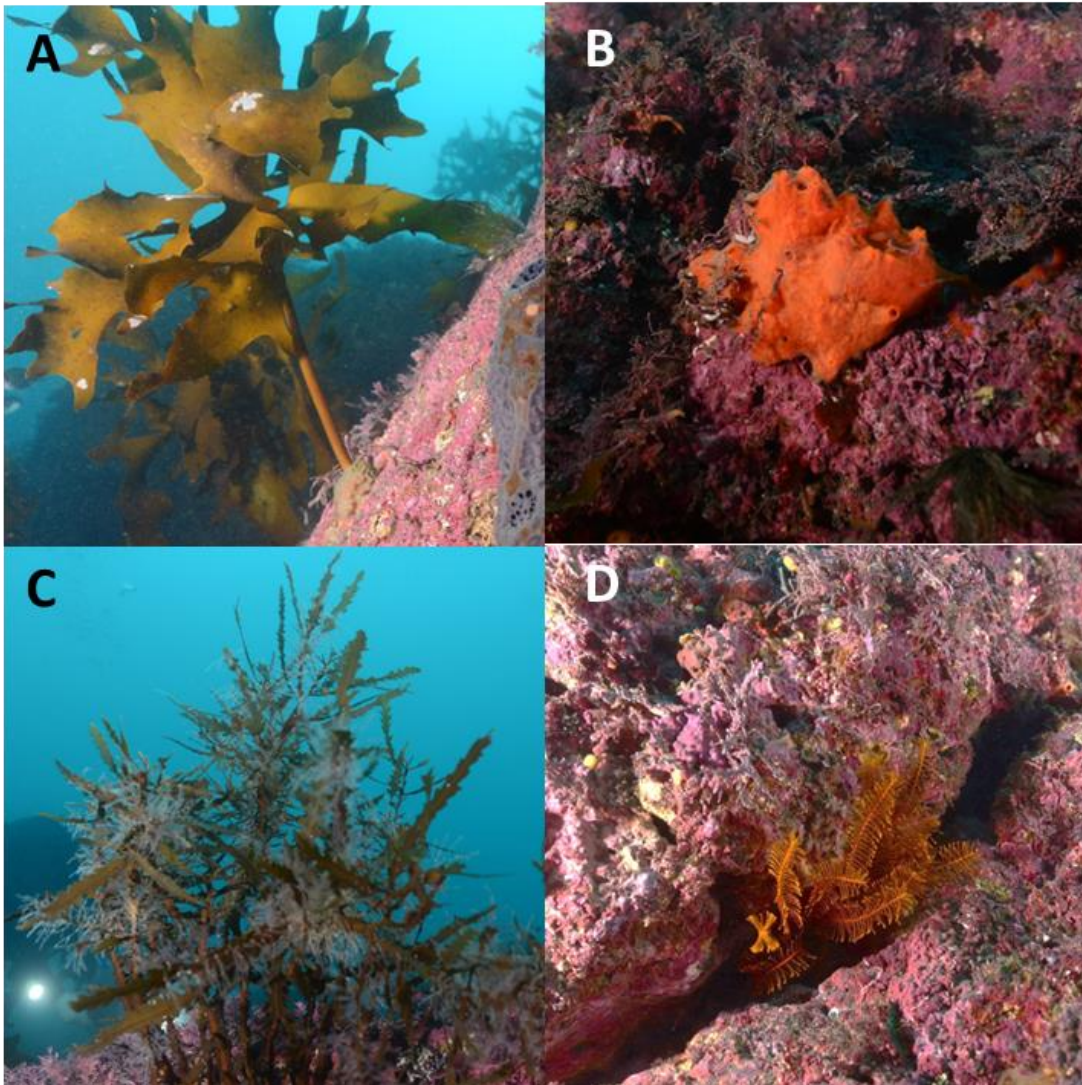


Fig. 11. Macro-benthic fauna and flora appeared on underwater camera images taken at depth of 10 m. A, *E. cava*; B, *H. sinapium*; C, *S. macrocarpum*; D, *Annissia japonica*.

3.3. 수심 15 m

수심 15 m (Fig. 12.)에서 새롭게 출현한 생물 종으로는 거품돌산호(*A. japonica*)이외에는 없는 것으로 관찰되었다. 조사가 이루어진 지역에서 거품돌산호(*A. japonica*)는 총 305 개체수가 관찰되었으며, 가장 많은 개체가 출현한 단위 구간의 개체밀도는 최고 $63/m^2$ 를 기록하였다. 그리고, 거품돌산호(*A. japonica*) 대부분은 직경 10 cm 를 초과한 개체수가 직경 10 cm 이하인 개체수보다 큰 경우는 하나의 자료만 제외하고는 모두 해당되지 않았는데, 이는 이 지역의 거품돌산호 (*A. japonica*) 대부분이 태어난 지 얼마 되지 않았음을 의미한다. Table. 1. 에 개체수를 계수한 것을 정리하였고, 아래 식 (1) 에 그 계수 방법을 기입하였다.

$$N = N_s + N_l \quad (1)$$

Where, N = Number of *A. japonica*

N_s = Number of *A. japonica* by small colonies

N_l = Number of *A. japonica* by large colonies

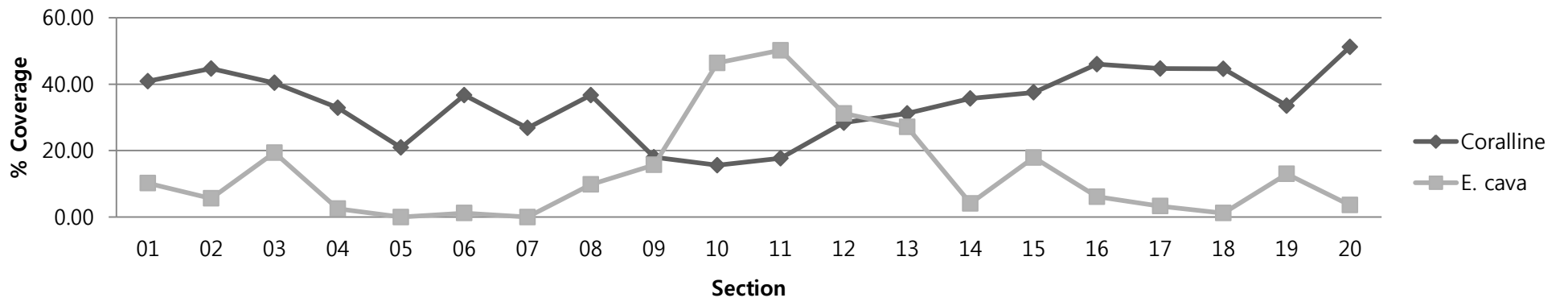


Fig. 12. Underwater camera images of the 20 m line transect taken at depth of 15 m and percent area coverage of the coralline algae and *E. cava* .

Table. 1. Different types of *A. japonica* colonies and their density (colony/m²) appeared at each depth.

Depth	Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
5m	Large colonies of <i>A. japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Small colonies of <i>A. japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	partly bleached	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total numbers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10m	Large colonies of <i>A. japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Small colonies of <i>A. japonica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	partly bleached	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Dead	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total numbers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15m	Large colonies of <i>A. japonica</i>	6	12	7	11	28	22	17	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	109
	Small colonies of <i>A. japonica</i>	5	26	18	43	35	23	18	6	0	3	0	8	11	0	0	0	0	0	0	0	196
	partly bleached	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3
	Dead	0	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	6
	Total numbers	11	38	25	54	63	45	35	12	0	3	0	8	11	0	0	0	0	0	0	0	305

3.4. 수심별 종 조성의 결과

본 연구에서 출현한 생물 종은 총 11 종 이상이고, 이를 Table. 4.에 정리하였다. 보다 정확한 종의 수는 이보다 훨씬 많을 것으로 예상된다. 이는 무엇보다 이미지 분석 기법이 구조적으로 위에서 아래로 보여지는 생물만 인식할 수 있는 방법이기 때문이다. 제주도 연안의 조하대에서 발견되는 생물 종은 186 종 정도로 알려져 있다(Kim et al. 2018).

석회조류(Coralline algae) 와 감태(*E. cava*)의 경우 단위 면적당 차지하는 비율(Table. 3.)로부터 각각 홍조류 및 갈조류 중에서 우점종인 것으로 나타났다. Table. 5 에는 Coralline algae 와 *E. cava* 가 각각의 샘플링 이미지에서 차지하는 비율을 표기해 놓았고, 맨 마지막 행에는 평균을 구하여 표기해 놓았다(Fig.13.).

Table 2. Macro-benthic fauna and flora appeared on the underwater camera images taken at 5, 10, and 15 m depth.

Taxa group	Species	5m	10m	15m
Coralline algae	Geniculate form	(+)	(+)	(+)
	Non-geniculate form	(+)	(+)	(+)
Macroalgae	<i>Gelidium amansii</i>	(+)		
	<i>Ecklonia cava</i>		(+)	(+)
	<i>Sargassum macrocarpum</i>		(+)	
Echinoderms	<i>Centonardoa semiregularis</i>		(+)	(+)
	<i>Anneissia japonica</i>		(+)	
Sponges	<i>Haliclona sp.</i>		(+)	(+)
	<i>Hymeniacidon sinapium</i>		(+)	(+)
	<i>Callyspongia elegans</i>		(+)	
Cnidaria	<i>Alveopora japonica</i>			(+)

Table. 3. Percent coverage of coralline algae and *E. cava* at each depth.

Depth	Species																					Mean
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
5m	Coralline algae	84.7	85.7	85.5	89.7	91.0	84.5	77.5	88.5	82.3	74.3	81.9	88.9	92.6	84.6	83.7	85.5	87.6	85.7	82.3	85.4	85.1
	<i>E. cava</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10m	Coralline algae	84.7	83.0	79.1	65.7	87.2	79.2	83.6	74.4	68.5	63.9	81.4	54.5	84.7	83.3	84.8	68.5	83.3	72.1	77.4	79.2	76.9
	<i>E. cava</i>	4.6	9.4	7.4	10.2	4.1	12.5	0.0	0.0	9.8	15.7	1.2	16.3	3.2	4.8	0.0	0.0	2.4	26.9	2.6	5.0	6.8
15m	Coralline algae	40.9	44.7	40.4	32.9	20.9	36.7	26.8	36.7	18.0	15.6	17.7	28.4	31.2	35.7	37.5	46.0	44.7	44.6	33.5	51.2	34.2
	<i>E. cava</i>	10.2	5.6	19.4	2.5	0.0	1.2	0.0	9.8	15.7	46.4	50.2	31.2	27.1	4.1	17.9	6.1	3.3	1.2	13.0	3.6	13.4

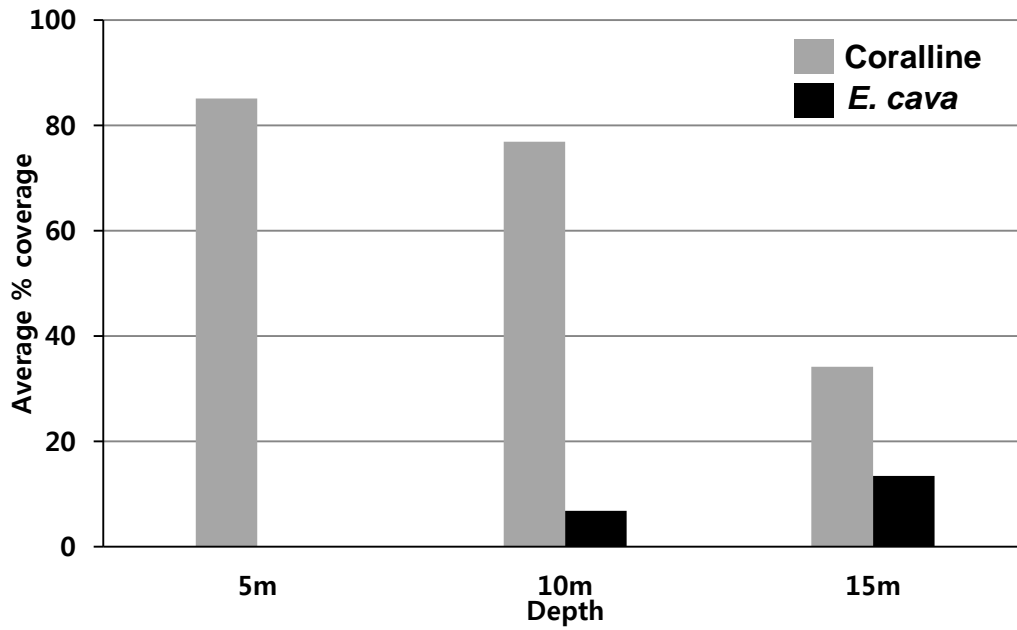


Fig. 13. Average percent coverage of coralline algae and *E. cava* at 3 different depths.

4. 고찰

4.1. 수중촬영 영상에 출현한 대형 저서생물

조사가 이루어진 제주도 북부 연안 경성 조하대에서는 돌산호류인 거품돌산호(*A. japonica*)가 주로 출현하였다 (Ronald et al. 2015; Hyeong et al. 2008). 조사 지역의 기저면은 대부분 석회조류(Coralline algae)로 덮여있으며, 석회조류는 자라는 형태에 따라, 유절석회조류(geniculate coralline algae)와 무절석회조류(non-geniculate coralline algae)로 구분된다. 무절석회조류의 경우 산호 유생(larvae)의 정착(settlement)에 긍정적인 역할을 하는 것으로 보고된 바 있다(Gómez-Lemos et al. 2018).

수중에서 촬영된 영상을 분석한 결과, 조사 지역에는 석회조류 이외에도 대형갈조류인 감태(*Ecklonia. cava*)가 분포하고 있음이 확인 되었다. 감태는 제주도 연안에 분포하는 대형 갈조류 중 평균 현존량(g/m^2)이 가장 높은 것으로 보고되고 있다(Kim et al. 2018). 최근 연구에 의하면, 제주연안의 감태는 지속적인 수온 상승으로 인해 그 현존량이 감소하고 있는 것으로 알려지고 있다. 일본의 경우 역시 지속적인 수온 상승으로 Tosa 만에서의 감태(*E. cava*)군락이 2000 년대에 이르러서는 완전히 소멸된 것으로 보고되고 있다(Serisawa et al. 2004).

석회조류(Coralline algae) 및 거품돌산호(*A. japonica*)의 증가와 함께 감태(*E. cava*)의 감소여부는 변화되는 생태 환경에 대해 각각의 생물들이 종별로 얼마나 잘 적응해 나가는가에 대한 감수성의 정도를 가늠하는 기준이 될 수 있으며, 더 나아가 생물 종들 간의 경쟁 관계를 파악해 나가는 것에도 유용한 정보가 될 수 있을 것으로 사료된다.

5 ~ 15 m 에 고르게 분포하는 해면류는 전형적인 여과섭식자로 입자성 유기물질(particulate organic matter)뿐 아니라 용존유기물질(dissolved organic matter)을 먹이로 삼는 것으로 잘 알려져 있다 (Hadas et al. 2009; Goeji et al. 2008). 따라서, 이러한 여과섭식형 대형 저서 생물이 풍부하게 분포하는 것은 이 지역에 작은 입자성 유기물 먹이가 풍부히 분포함을 암시하고 있으나, 이에 대한 보다 심도 있는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

4.1.1. *Alveopora japonica*

조사 지역에서 관찰된 거품돌산호(*A. japonica*)(Fig. 14.)는 그 생물학적 분류(classification) 기준에 따르면 돌산호 목(Order Scleractinia)에 속하고 단풍돌산호과(Family Acroporidae)에 속한다. 거품돌산호(*A. japonica*)는 제주도를 비롯하여 한국, 일본 남부, 대만 그리고 중국 동부 연안 등 고위도 지역에 분포한다(Sheppard et al. 2008; Dai and Horng 2009; Vieira et al. 2016). 거품돌산호(*A. japonica*)분포의 북방 한계는 일본의 Tateyama 만(34°58'03"N; 139°46'05"E)이다.

거품돌산호(*A. japonica*)는 여러 개의 polyp 이 모여서 하나의 군체(colony)를 이룬다. 이 군체의 형태는 반구형(hemisphere)이다. 군체를 이루는 각각의 polyp 은 녹색이나 갈색을 띄며, 각각의 polyp 은 12 개의 촉수(tentacle)를 가진다. 거품돌산호(*A. japonica*)는 보통 낮에 그 polyp 을 확장시키고(Sugihara et al. 2014), 밤에는 그 polyp 을 위축시킨다. 거품돌산호(*A. japonica*)의 수명은 10 년 이상(Vieira 2016)이며, 한국에서의 산란 시기는 늦여름부터 초가을(8 월 ~ 9 월) 시기로 보고된 바 있다(Park et al. 2019)

조사 지역에서 출현한 거품돌산호(*A. japonica*) 대부분은 그 기저가 유절석회조류(geniculate coralline algae) 혹은 모래가 아닌, 무절석회조류(non-geniculate coralline algae)로 되어 있었는데, 이는 단단하고 평평한 형태의 무절석회조류(non-geniculate coralline algae)가 *Acropora sp.*(Gómez-Lemos et al. 2018) 이외의 산호 종인 거품돌산호(*A. japonica*)의 경우 역시 초기 정착시기에 긍정적인 역할을 했을 것으로 생각된다. 거품돌산호(*A. japonica*)가 수심 5 m 혹은 10 m 에서 거의 나타나지 않는 이유 역시, 그 기저면의 대부분을 유절석회조류(geniculate coralline algae)가 차지하고 있어서 그럴 것으로 예상되는데, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

또한, 조사 지역의 거품돌산호(*A. japonica*)는 빛이 잘 드는 위쪽에 정착한 경우가 많았다. 이는 광합성을 하는 공생조류인 zooxanthellae 가 거품돌산호(*A. japonica*)의 초기정착과 성장에 긍정적인 역할을 하고 있기 때문으로 보인다 (Levy et al. 2003).

4.1.2. Coralline Algae

석회조류(Coralline algae)(Fig. 14.)는 홍조식물 문(Division Rhodophyta)에 속하는 조류(red algae)이다. 석회조류(Coralline algae)는 산호말 목(Order Corallinales)에 속하며, 그 자라는 형태에 따라서 두 가지로 분류된다. 가지가 있는 형태로 자라나는 것을 유절석회조류(geniculate coralline algae, 또는 유절산호말류)라고 하며, 가지가 없는 형태로 자라나는 것을 무절석회조류(non-geniculate coralline algae, 또는 무절산호말류)라고 한다. 석회조류(Coralline algae)는 전세계 모든 바다에서 발견되는 조류로 대부분 암석 층 위(rocky substrata)를 덮고 있다.

대부분의 경우 다른 조류나 해양 속씨식물(angiosperms) 위에 착생하는(epiphytic) 형태로 자란다.

무절석회조류(Non-geniculate coralline algae)는 산호초의 생태계에서 중요한 역할을 하는데, 산호초 구조에 석회 물질을 추가하는 식으로 산호초와 산호초를 서로 연결해 주는 역할을 한다(Caragnano et al, 2009). 석회조류(Coralline algae)는 탄산 칼슘(calcium carbonate)을 포함하고 있기 때문에 해양이 산성화(ocean acidification)가 되면 용해가 되고, 취약해 지기도 한다(Kuffner et al. 2008).

조사 지역의 석회조류는 그 기저로 모래가 아닌 단단한 암반의 위를 덮고 있는 경우가 많았다. 이는 석회조류 자체도 기질 특이성(substrate specificity)이 있음을 반증한다 (Nobuya et al. 1988).

4.1.3. *Ecklonia cava*

감태(*E. cava*)(Fig. 14.)는 갈조식물 문(Division Phaeophyta)에 속하는 조류(brown algae)이다. 감태(*E. cava*)는 다시마 목(Order Laminariales)에 속한다. 감태(*E. cava*)의 분포는 주로 한국과 일본 연안의 조하대(subtidal zone)에서 발견되는데, 최대 3 m 까지 자라는 대형종이다(Hayashida 1977).

감태(*E. cava*)는 주로 전복의 먹이원으로 이용되었으나, fuciodan, phlorotannin 등의 기능성 물질이 밝혀짐에 따라 그 상업적인 가치도 높아지고 있다(Mabeau and Fleurence 1993; Jimenez-Escring et al 1999; Athukorala et al. 2006). 이러한 상업적인 가치 이외에 감태(*E. cava*)는 해중림(kelp forest)을 형성하여 수많은 고착동물(sessile invertebrates)이나 저서동물 등에게 여러 유익한 역할을

제공한다(Reed and Foster 1984; Dunton and Schell 1987; Levin 1994; Anderson et al. 1997; Kim et al. 2018).

해조류의 경우, 그 수평적 분포가 수온과 밀접한 관련이 있다고 알려져 있다 (Hoek 1982; Eggert 2012). 본 연구에서는 수심이 깊어지면서 감태(*E. cava*)가 증가하였는데, 이 부분과 관련해서는 수온에 의한 것인지 아니면 다른 요소가 더 영향을 미쳤는지에 대해서는 추가 연구가 더 필요할 것으로 사료된다. 제주도의 기후 변화가 해조류에 미치는 영향에 관련해서는 Caballo(2002) 등과 Piñeiro-Corbeira(2012) 등이 연구했던 것과 마찬가지로 수온 상승이 제주도 북부 연안 지역에서도 역시 새로운 아열대 종의 출현과 전반적인 해조류 군집구조의 변화를 일으킬지 그 귀추가 주목된다.

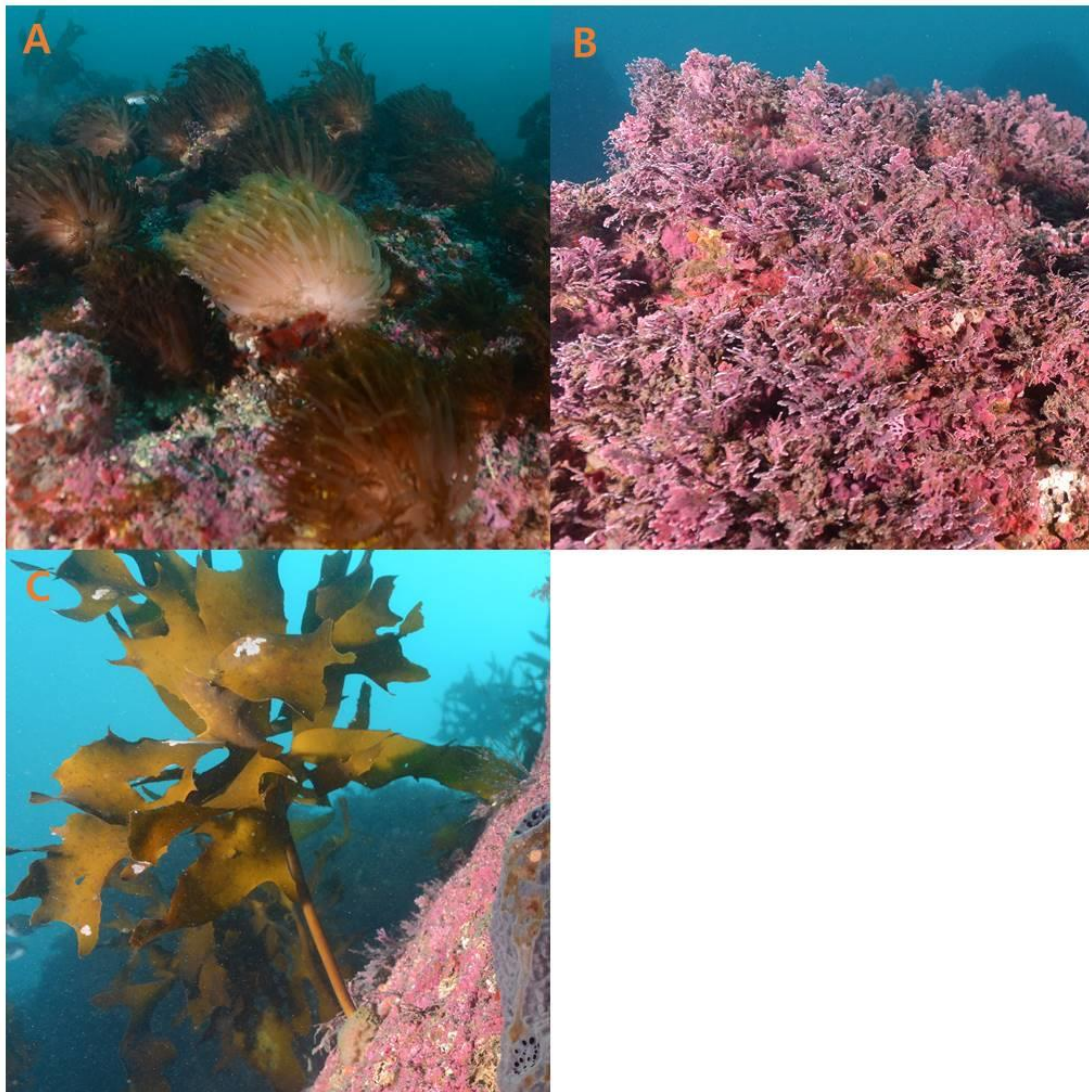


Fig. 14. 3 Common macro benthic animal and seaweed appeared on the underwater images.
A, *A. japonica*; B, Coralline algae; C, *E. cava*

4.2. 고찰 및 향후 연구방향

지구 온난화는 앞으로도 당분간 지속될 것이다. 이러한 환경 속에서 제주도의 북부 연안의 생태 역시 지금과는 다른 형태로 변할 것이다. 생태환경의 변화를 이해하기 위해서는 다음과 같은 몇 가지 요인을 고려해야 할 것이다.

본 연구에서 사용된 Pixel 기반의 이미지 분석 기법은 Coralline algae와 같은 생물 종의 분포를 조사하는데 매우 유용하고, 해저 지형의 전체적인 특징을 파악하는 것에도 도움이 된다. 조사의 범위가 넓고, 예산이 제약된 상황이라면, 이러한 방식은 매우 효율적이고 효과적인 방식이다. Pixel 기반의 이미지 분석과 함께 Object 기반 이미지 분석은 저서 생물 종을 확인하는데 결과적으로는 많은 비용을 절감시켜 줄 것이다. 그리고, 저서 생물들을 확인하는 데에 형태학적인 방법 이외에 분자생물학적 분류작업도 필요할 것이다. 해저 무척추 생물 종의 경우 한국에서는 2017년에 이러한 연구가 이루어진 후 수평 전개되지 못하고 답보상태에 머물러 있다(Yoo, Kim 2017).

또, 대기 환경과 함께 산호의 정착(settlement)과 성장(growth, calcification 혹은 경화작용)에 영향을 미칠 수 있는 요인에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다. 지구온난화의 근본적인 원인은 대기중 CO_2 농도이다(Millero 2013). CO_2 농도는 점차적으로 해양을 산성화 시키고, 산성화 된 해양은 산호의 성장을 방해한다. CO_3^{2-} 농도와 관련되는 해수의 아라고나이트 포화도(aragonite saturation state)는 산호의 경화작용에 직접 영향을 준다(Albright et al. 2008). 따라서, 거품돌산호(*A. japonica*) 역시 pH에 따라서 그 정착 및 성장에 어떻게 영향을 줄 수 있는지에 대한 실험이 필요할 것이다.

종간 경쟁(intra species competition)과 종내 경쟁(inter species competition)에 대한 심도 깊은 연구도 생태 환경 변화에 대한 생물들의 대응을 이해하는데 중요할 것이다. 산호는 자포동물(Phylum Cnidaria)에 속하며, 이들은 nematocyst(자포)를 통해 먹이를 잡는데 이용한다. 새롭게 정착하는 외래종의 산호가 다른 토착종인 산호와 경쟁에서 자포를 통해 효과적으로 경쟁을 하고 성공적으로 정착이 된 경우가 발견 되었다(Sammarco et al. 2015). 거품돌산호(*A. japonica*) 역시 제주 북부 연안에서 성공적으로 정착하기 위해 이러한 전략을 사용할 것인지 실험을 통해 확인 할 필요가 있다. 그리고, 본 연구에서 거품돌산호(*A. japonica*)가 부분적으로 백화가 일어난 것 그리고, 죽은 개체가 관찰된 것과 관련하여서는 수온상승이나 기후변화와 같은 환경적인 요인 때문으로 보기에 다소 무리가 있다. 그 이유는 이러한 물리 화학적 수질의 변화는 동일한 환경에 있는 거의 모든 개체군에 영향을 줄 것이기 때문이다. 이러한 현상이 발생된 원인으로는 나새류(Nudibranch) 등의 포식활동에 의한 것으로 보인다(Che 2017)(Fig. 15.).

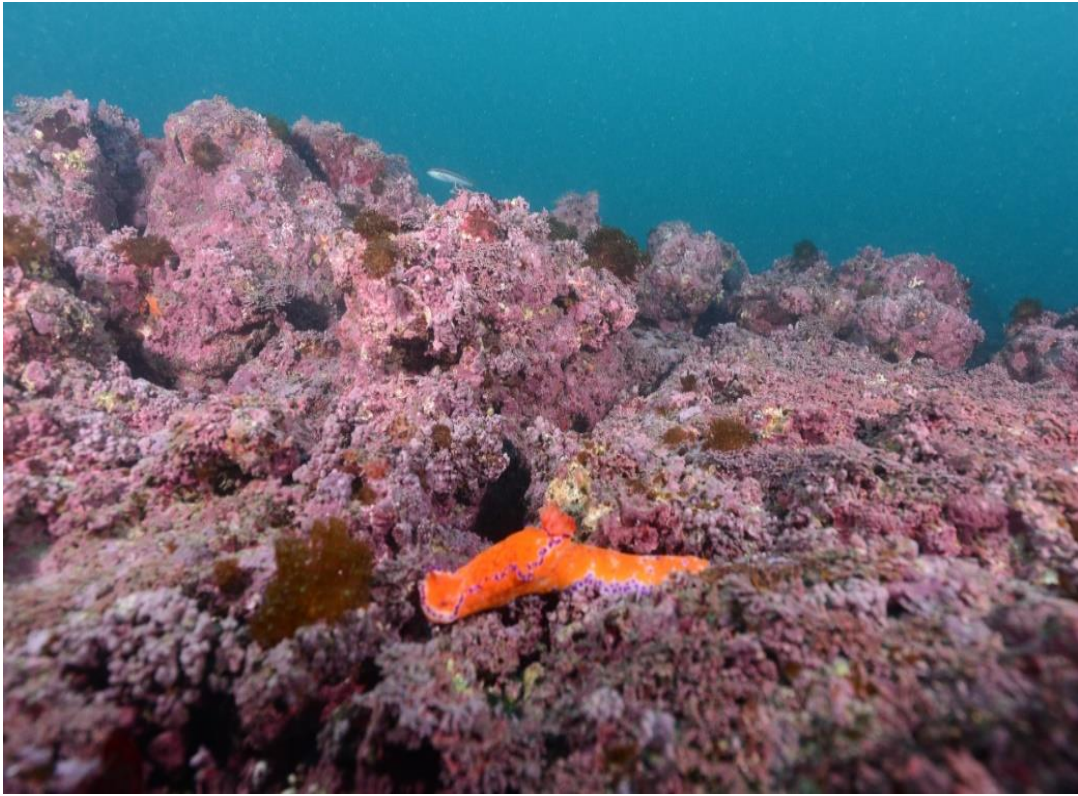


Fig. 15. Unidentified nudibranch appeared on underwater camera image and considered as a potential predator of *A. japonica*

그리고 장기적인 조사를 통한 시계열 자료의 확보 역시 필요할 것이다. 제주도 역시 계절에 따라 수온이 변한다. 해저 생물은 직접적으로 수온의 영향을 받는다. 그리고, 생물은 생물마다 환경에 대한 감수성의 정도가 다르다. 따라서, 많은 양의 시계열 자료가 확보되면 시간에 따른 생물들의 분포함수가 생길 수 있고, 이를 토대로 좀 더 제주도 북부 연안의 생물을 이해할 수 있는 폭이 넓어질 수 있을 것이다.

마지막으로 산호초 지형은 그 대상구조(zonation)에 따라 분포하는 생물 종이 달라진다. 거품돌산호(*A. japonica*)나 감태(*E. cava*) 및 석회조류(*coralline algae*) 역시 그 지형적인 특징에 따라서 그 성장이 제한될 수 있을 것이다. 수심에 따라 달라지는 수직적인 분포와 육지에서 떨어진 거리에 따라 달라지는 수평적인 분포는 제주도 해양 생태계를 좀 더 구체적으로 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Aggawal, N., Srivastava, M. and Dutta, M. (2016). Comparative Analysis of Pixel-Based and Object-Based Classification of High Resolution Remote Sensing Image – A Review. *International Journal of Engineering Trends and Technology* volume 38, 1
- Albright, R., Mason, B. and Langdon, C. (2008). Effect of aragonite saturation state on settlement and post-settlement growth of *Porites astreoides* larvae. *Coral Reefs* 27 (3):485–490
- Anderson, R.J., Carrick, P., Levitt, G. J. and Share, A (1997) Holdfasts of adult kelp *Ecklonia maxima* provide refuges from grazing for recruitment of juvenile kelps. *Mar Ecol-Prog Ser* 159:265–273
- Athukorala, Y., Kim, K. N. and Jeon, Y. J. (2006). Antiproliferative and antioxidant properties of an enzymatic hydrolysate from brown alga, *Ecklonia cava*. *Food and Chemical Toxicology* 44 (7):1065–1074
- Baker, A. C. (2003). FLEXIBILITY AND SPECIFICITY IN CORAL-ALGAL SYMBIOSIS: Diversity, Ecology, and Biogeography of *Symbiodinium*. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34(1):661-689
- Baker, A. C., Glynn, P. W and Riegl, B. (2008). Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 80 (4): 435–471.
- Barboriak, D., Padua, A., York, G. and Macfall, J. (2005). Creation of DICOM—Aware Applications Using ImageJ. *J Digit Imaging*. 18 (2): 91–9
- Brown, E., Cox, E., Jokiel, P., Rodgers, K., Smith, W., Tissot, B., Coles, S. L. and Hultquist, J. (2004). Development of Benthic Sampling Methods for the Coral Reef Assessment and Monitoring Program (CRAMP) in Hawai'i. *Pacific Science* 58 (2):145-158
- Caragnano, A., Colombo, F., Rodondi, G. and Basso, D. (2009). 3-D distribution of nongeniculate corallinales: A case study from a reef crest of South Sinai (Red Sea, Egypt). *Coral Reefs* 28 (4): 881-891

- Carballo, J. L., Olabarria, C. and Osuna, T. G. (2002). Analysis of Four Macroalgal Assemblages along the Pacific Mexican Coast during and after the 1997–98 El Niño. *T. Ecosystems* (2002) 5: 0749
- Che, J. H. (2017). Ecological Study of Coral Feeding Nudibranchia, *Phestilla* sp. Found on *Alveopora japonica* Collected from East Coast of Jeju Island, Korea. M.D. Thesis, *Jeju National University, Korea*.
- Goeij, J. M. de., Moodley, L., Houtekamer, M., Carballeira, N. M. and van Duyl, F. C. (2008). Tracing ^{13}C -enriched dissolved and particulate organic carbon in the bacteria-containing coral reef sponge *Halisarca caerulea*: Evidence for DOM feeding. *Limnol. Oceanogr.*, 53 (4):1376–1386
- Dai, C.F. and Horng, S. (2009a) Scleractinia fauna of Taiwan. I. The complex group. National Taiwan University, Taipei
- Dean, A. J., Steneck, R. S., Tager, D. and Pandolfi J. M. (2015). Distribution, abundance and diversity of crustose coralline algae on Great Barrier Reef. *Coral Reefs* 34(2):581-594
- Dethier, M., Graham, E., Cohen, S. and Tear, L. (1993). Visual versus random-point percent cover estimations: 'objective' is not always better. *Marine Ecology Progress Series*, 96(1):93-100.
- Dunlop, K. M., Kuhnz, L. A., Ruhl, H. A., Huffard, C. L., Caress, D. W., Henthorn, R. G., Hobson, B. W., McGill, P. and Smith, K. L. Jr. (2015). An evaluation of deep-sea benthic megafauna length measurements obtained with laser and stereo camera methods. *Deep-Sea Research I* 96:38–48
- Dunton, K. H. and Schell, D. M. (1987) Dependence of consumers on macroalgal (*Laminaria solidungula*) carbon in an Arctic kelp community: $\delta^{13}\text{C}$ evidence. *Mar Biol* 93:615–626
- Duro, D. C., Franklin, S. E. and Dubé, M. G. (2012). A comparison of pixel-based and object-based image analysis with selected machine learning algorithms for the classification of agricultural landscapes using SPOT-5 HRG imagery. *Remote Sensing of Environment* 118 :259–272
- Eggert, A. (2012). Seaweed Responses to Temperature. *Seaweed Biology*, 47-66

- Eliceiri, K. and Rueden, C. (2005). Tools for visualizing multidimensional images from living specimens. *Photochem Photobiol.* 81 (5): 1116–1122
- Fitt, W. K., Spero, H. J., Halas, J., White, M. W. and Porter J. W. (1993). Recovery of the coral *Montastrea annularis* in the Florida Keys after the 1987 Caribbean "bleaching event". *Coral Reefs* (1993) 12 (2):57-64
- Goddijn, L.M. and White, M. (2006). Using a digital camera for water quality measurements in Galway Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 66 (3-4):429-436
- Gómez-Lemos, L. A., Doropoulos, C., Bayraktarov, E. and Diaz-Pulido, G. (2018). Coralline algal metabolites induce settlement and mediate the inductive effect of epiphytic microbes on coral larvae. *Nature Scientific Reports* 8:17557
- Hadas, E., Shpigel, M. and Ilan, M. (2009). Particulate organic matter as a food source for a coral sponge. *The Journal of Experimental Biology* 212 (22):3643-3650
- Heady, H.F., Gibbens, R.P., and R.W. Powell. (1959). A comparison of the charting, line intercept, and line point methods of sampling shrub types of vegetation. *Journal of Range Management* 12:180-188
- Hoechberg, E.J. and Atkinson, M. J. (2000), Spectral discrimination of coral reef benthic communities. *Coral Reefs* 19:164-171
- Hoek, C. (1982). Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from life history studies. *Helgol Meeres* 35, 153-214.
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Alvarez-Noriega, M., Alvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A.H., Babcock, R. C., Bejer, M., Bellwood, D. R., Berkelmans, R., Bridge, T. C., Butler, I. R., Byrne, M., Cantin, N. E., Comeau, S., Connolly, S. R., Cumming, G. S., Dalton, S. J., Diaz-Pulido, G., Eakin, C. M., Figueira, W. F., Gilmour, J.P., Harrison, H. B., Heron, S. F., Hoey, A. S., Hobbs, J. P. A., Hoogenboom, M. O., Kennedy, E. V., Kuo, C. Y., Lough, J. M., Lowe, R. J., Liu, G., McCulloch, M. T., Malcolm, H. A., McWilliam, M. J., Pandolfi, J. M., Pears, R. J.,

- Pratchett, M. S., Schoepf, V., Simpson, T., Skirving, W. J., Sommer, B., Torda, G., Wachenfeld, D. R., Willis, B. L. and Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* 543:373-377
- Hughes, T. P., Anderson, K. D., Connolly, S. R., Heron, S. F., Kerry, J. T., Lough, J. M., Baird, A. H., Baum, J. K., Berumen, M. L., Bridge, T. C., Claar, D. C., Eakin, C. M., Gilmour, J. P., Graham, N. A. J., Harrison, H., Hobbs, J. P. A., Hoey, A. S., Hoogenboom, M., Lowe, R. J., McCulloch, M. T., Pandolfi, J. M., Pratchett, M., Schoepf, V., Torda, G. and Wilson, S. K. (2018). Spatial and temporal patterns of mass bleaching of corals in the Anthropocene. *Science*, 359 (6371), 80–83.
- Hyeong, K., Shimamura, M., Watanabe, T., Yamano, H., Sugihara, K. and Kim, J. (2008). Evaluation of Jeju/Tsushima Hermatypic Corals as Sea Surface Temperature (SST) Recorders. *Ocean and Polar Research* 30 (3):351-359
- Itoh, N., Hasan, A. K., Izumi, Y. and Yamada, H. (1988). Substrate specificity, regiospecificity and stereospecificity of halogenation reactions catalyzed by non-heme-type bromoperoxidase of *Corallina piltlifer*. *Eur. J. Biochem.* 172 (2):477-484
- Jimenez-Escring, A. and Cambrodon, G. (1999). Nutritional evaluation and physiological effects of edible seaweeds. *Arch.. Latinoam. Nutr.* 49 (2):114-120
- Kim, S., Youn, S. H., Oh, H. J., Choi, S. K., Kang, Y. H., Kim, T. H., Lee, H. J., Choi, K. S. and Park, S. R. (2018). Stipe Length as an Indicator of Reproductive Maturity in the Kelp *Ecklonia cava*. *Ocean Sci. J.* (2018) 53: 595
- Kim, Y., Ko, J. C. and Choi, H. G. (2018). Monitoring of Macroalgal Flora and Community Structure in the Subtidal Zone around Jeju Coasts and Gapado Island, Korea (2013-2015). *Korean J Fish Aquat Sci* 51 (3):262-277
- Kuffner, I. B., Andersson, A. J., Jokiel, P. L., Rodgers, K. S., Mackenzie and F. T. (2008). Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nature Geoscience* 1:114–117

- Levin, P. S. (1994) Fine-scale temporal variation in recruitment of a temperate demersal fish: the importance of settlement versus post-settlement loss. *Oecologia* 97:124–133
- Levy, O., Dubinsky, Z. and Achituv, Y. (2003). Photobehavior of stony corals: responses to light spectra and intensity. *The Journal of Experimental Biology* 206, 4041-4049
- Mabeau, S. and Fleurence, J. (1993). Seaweed in food products: biochemical and nutritional aspects. *Trends Food Sci. Technol.* 4 (4):103-107
- Millero, F. J. (2013), *Chemical Oceanography* 4th edition. USA CRC Press 198-210
- Mora, C., Tittensor, D. P., Adl, S., Simpson, A. G. B. and Worm, B. (2011). How Many Species Are There on Earth and in the Ocean? *PLoS Biol* 9 (8): e1001127.
- Ninio, R., Delean, S., Osborne, K. and Sweatman, H. (2003). Estimating cover of benthic organisms from underwater video images: Variability associated with multiple observers. *Marine Ecology-progress Series - MAR ECOL-PROGR SER.* 265. 107-116
- Noseworthy, R. G., Hong, H. K., Keshavmurthy, S., Lee, H. J., Jeung, H. D., Ju, S. J., Kim, J. B., Jung, S. and Choi, K. S. (2016). An Assemblage of Mollusks Associated with the High Latitude Scleractinian Coral *Alveopora japonica* in Jeju Island, off the South Coast of Korea. *Ocean Sci. J.* 51 (1):21–31
- Park, J. S., Keshavmurthy, S., Subramaniam, T., Park, S. R., Kang, C. K. and Choi, K. S. (2019). Annual Gametogenesis Patterns in Two High-Latitude Corals, *Alveopora japonica* and *Oulastrea crispata*, from Jeju Island, South Korea. *Estuaries and Coasts*. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00539-9>
- Phinn, S. R., Roelfsema, C. M. and Mumby, P. J. (2011), Multi-scale, object-based image analysis for mapping geomorphic and ecological zones on coral reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (12): 3768-3797

- Piñeiro-Corbeira, C., Barreiro, R., Cremades, J. and Arenas, F. (2018). Seaweed assemblages under a climate change scenario: Functional responses to temperature of eight intertidal seaweeds match recent abundance shifts. *Nature Scientific Reports* 8:12978
- Raoult, V., David, P. A., Dupont, S. F., Mathewson, C. P., O'Neill, S. J., Powell N. N. and Williamson J. E.(2016). GoPros™ as an underwater photogrammetry tool for citizen science. PeerJ, DOI 10.7717/peerj.1960
- Reed, D. C. and Foster, M. S. (1984) The effects of canopy shading on algal recruitment and growth in a giant kelp forest. *Ecology* 65:937–948
- Safuan, M., Boo, W.H., Siang, H. Y., Chark L. H. and Bachok, Z. (2015). Optimization of Coral Video Transect Technique for Coral Reef Survey:Comparison with Intercept Transect Technique. *Open Journal of Marine Science* 5:379-397
- Sammarco, P. W., Porter, S. A., Genazzio, M. and Sinclair, J. (2015). Success in Competition for Space in Two Invasive Coral Species in the western Atlantic – *Tubastraea micranthus* and *T. coccinea*. *PLoS ONE* 10(12): e0144581
- Schneider, C. A., Rasband, W. S. and Eliceiri, K. W. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods volume* 9 (7):671–675
- Schoening, T., Bergmann, M., Ontrup, J., Taylor, J., Dannheim, J., Gutt, J., Purser, A. and Nattkemper T. W.(2012). Semi-Automated Image Analysis for the Assessment of Megafaunal Densities at the Arctic Deep-Sea Observatory HAUSGARTEN. *PLoS ONE* 7 (6):e38179.
- Schuhmacher, H. and Zibrowius, H. What is hermatypic? A redefinition of ecological groups in corals and other organisms. *Coral Reefs* 4 (1):1-9
- Serisawa, Y., Imoto, Z., Ishikawa, T. and Ohno, M. (2004). Decline of the *Ecklonia cava* population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern Japan. *FISHERIES SCIENCE* 70 (1):189–191

- Sheppard, A., Fenner, D., Edwards, A., Abrar, M. and Ochavillo, D. (2008). *Alveopora japonica*. IUCN Red List of Threatened Species.
- Sotheran, I. S., Foster-Smith, R. L. and J. Davies (1997). Mapping of Marine Benthic Habitats Using Image Processing Techniques Within a Raster-based Geographic Information System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44 (1):25-31
- Stokes, M. D. and Deane, G. B. (2009). Automated processing of coral reef benthic images. *Limnology and Oceanography: Methods* 7 (2):157–168
- Sugihara, K., Yamano, H., Choi, K. S. and Hyeong, K. (2014). Zooxanthellate scleractinian corals of Jeju Island, republic of Korea. *Ecological Research Monographs*, 2, 111-130
- Veron, J. (2000). *Coral of the World*. Australian Institute of Marine Science: Townsville, Qld.
- Vieira, C., Keshavmurthy, S., Ju, S.J., Hyeong, K.S., Seo, I. A., Kang, C. K., Hong, H.K., Chen, C. A. and Choi, K. S. (2016). Population dynamics of a high-latitude coral *Alveopora japonica* Eguchi from Jeju Island, off the southern coast of Korea. *Marine and Freshwater Research* 67 (5), 594.
- Wahidin, N., Siregar, V. P., Nababan, B., Jaya, I. and Wouthuyzen, S. (2015). Object-based image analysis for coral reef benthic habitat mapping with several classification algorithms. *Procedia Environmental Sciences* 24:222–227
- Yamano, H., Sugihara, K. and Nomura, K. (2011). Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 38: L04601
- Yoo, S. J. and Kim, D. H. (2017). Molecular Identification of a Sea Anemone (Cnidaria: Anthozoa:Actiniaria) Obtained in Gijang, Busan. *Korean J Fish Aquat Sci* 50 (4):447-452

감사의 글

먼저, 이 석사 논문이 나오기까지 정말 많은 분들의 도움이 있었음을 고백합니다. 먼저, 2년 6개월 동안 부족한 저를 아낌없이 가르쳐 주셨고, 늘 열과 성을 다하는 모습을 통해 제게 많은 본이 되셨고, 깊고 냉철한 통찰력으로 논문 지도를 해 주셨던 존경하는 최광식 지도 교수님께 정말 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고, 논문 심사를 위해 먼 곳에서 제주도까지 왕래하여 수고해 주신 한국연안생태연구소의 유재원 박사님과 부족한 논문을 보시며 피가 되고 살이 되는 조언을 해 주신 제주대학교의 정석근 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 생소했던 Image J 프로그램을 익숙하게 사용하도록 도움을 주었던 가톨릭대학교 순환기간내 연구실의 박봉우님, 논문 심사에 필요한 발표자료를 준비하면서 도움을 준 인하대학교의 이상복 박사과정생, 석사논문 내용에 참고 문헌으로 도움이 되는 양질의 자료를 추천해 주신 권덕호형과 유상준님, 연구실에서 이것 저것 석사 논문에 필요한 자료를 찾아봐 주고 행정적인 도움이 필요할 때마다 바쁜 가운데서도 내색하지 않고 아낌없는 도움을 주었던 조영관 박사과정생과 연구실에 계신 연구원들 모두에게도 고마움과 감사의 말씀을 전합니다.

엄마 그리고 아빠에게는 두말할 필요 없이, 자식을 향한 변함없는 애정과 늘 든든한 버팀목이 되어 주셔서 너무 고맙고 또, 사랑합니다. 누나와 매형을 비롯한 그 가족들에게도 사소한 것 이것 저것 챙겨 주어서 고마운 마음이 듭니다.

마지막으로 논문이 잘 안 써지고 아이디어가 떠오르지 않을 때, 시간이 촉박한데 해야 할 일이 많아 불안한 마음에 갈피를 잡지 못할 때, 누군가의 도움이 절실히 필요할 때 하나 하나 그 길을 인도해 주셨던, 사랑하는 '하나님', 이 모든 과정 가운데 당신의 세밀한 계획이 있으셨음을 고백합니다.

‘하나님은 인생이 아니시니 식언치 않으시고, 인자가 아니시니 후회가 없으시도다.
어찌 그 말씀하신 바를 행치 않으시며, 하신 말씀을 실행치 않으시랴’ (민 23:19)