발간등록번호
79-6500396-000015-10

사람과 자연이 공존하는 청정제주

2021년 수산종자 방류사업 효과조사 보고서

2022. 5.



Jeju 제주특별자치도 Jeju Special Self-Governing Province
해양수산연구원

목 차

제1장 서론 ····· 1

제2장 조사개요 ····· 3
1. 조사 배경 ····· 3
2. 조사 목적 ····· 3
3. 조사 범위 및 내용 ····· 3
3.1. 조사 범위 ····· 3
3.2. 조사 내용 ····· 4
3.3. 조사 방법 ····· 4

제3장 조사결과 ····· 5
1. 수중지형조사 ····· 5
1.1 평대(전복 방류어장) ····· 5
1.2 표선(전복 방류어장) ····· 8
1.3 법환(전복 방류어장) ····· 11
1.4 한수(오분자기 방류어장) ····· 14
1.5 위미2(오분자기 방류어장) ····· 17
1.6 시흥(오분자기 방류어장) ····· 20
1.7 고내(홍해삼 방류어장) ····· 23
1.8 행원(홍해삼 방류어장) ····· 26
2. 서식생물 생태조사 ····· 29
2.1 해조류 ····· 29
2.1.1 종조성 ····· 29
2.1.2 생물량 ····· 30
2.1.3 우점종 ····· 31
2.2 저서동물 ····· 33
2.2.1 종조성 ····· 33
2.2.2 생물량 ····· 34
2.2.3 우점종 ····· 35
3. 방류종자 추적조사 ····· 37
3.1 평대 ····· 37
3.2 표선 ····· 39
3.3 법환 ····· 41
3.4 한수 ····· 43
3.3 고내 ····· 45

제4장 종합고찰 ····· 47
1. 요약 및 고찰 ····· 47
2. 제언 ····· 51

제5장 참고문헌 ····· 54

표 목 차

<표 3.2.1> 전체 표본어장 수심별 해조류 생물량(wet.g.m^2) ····· 31
<표 3.2.2> 전체 표본어장 해조류 생물량(wet.g.m^2)에 따른 주요 우점종 ····· 32
<표 3.2.3> 전체 표본어장 수심별 저서동물 생물량(wet.g.m^2) ····· 35
<표 3.2.4> 전체 표본어장 저서동물 생물량(wet.g.m^2)에 따른 주요 우점종 ····· 36

그 림 목 차

(그림 1.1.1) 수산종자 방류사업 효과조사의 접근방법 ····· 2
(그림 2.3.1) 방류효과조사 표본어장 ····· 4
(그림 3.1.1) 평대 마을어장 조사위치 ····· 5
(그림 3.1.2) 평대 마을어장 수중지형 ····· 6
(그림 3.1.3) 평대 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 6
(그림 3.1.4) 평대 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 7
(그림 3.1.5) 평대 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 7
(그림 3.1.6) 표선 마을어장 조사위치 ····· 8
(그림 3.1.7) 표선 마을어장 수중지형 ····· 9
(그림 3.1.8) 표선 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 9
(그림 3.1.9) 표선 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 10
(그림 3.1.10) 표선 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 10
(그림 3.1.11) 법환 마을어장 조사위치 ····· 11
(그림 3.1.12) 법환 마을어장 수중지형 ····· 12
(그림 3.1.13) 법환 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 12
(그림 3.1.14) 법환 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 13
(그림 3.1.15) 법환 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 13
(그림 3.1.16) 한수 마을어장 조사위치 ····· 14
(그림 3.1.17) 한수 마을어장 수중지형 ····· 15
(그림 3.1.18) 한수 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 15
(그림 3.1.19) 한수 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 16
(그림 3.1.20) 한수 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 16
(그림 3.1.21) 위미2 마을어장 조사위치 ····· 17
(그림 3.1.22) 위미2 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 18
(그림 3.1.23) 위미2 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 18
(그림 3.1.24) 위미2 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 19
(그림 3.1.25) 시흥 마을어장 조사위치 ····· 20
(그림 3.1.26) 시흥 마을어장 1번 지선 주변 해조류 서식생태 ····· 21
(그림 3.1.27) 시흥 마을어장 2번 지선 주변 해조류 서식생태 ····· 21
(그림 3.1.28) 시흥 마을어장 3번 지선 주변 해조류 서식생태 ····· 22
(그림 3.1.29) 고내 마을어장 조사위치 ····· 23
(그림 3.1.30) 고내 마을어장 수중지형 ····· 24
(그림 3.1.31) 고내 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 24
(그림 3.1.32) 고내 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 25
(그림 3.1.33) 고내 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 25
(그림 3.1.34) 행원 마을어장 조사위치 ····· 26
(그림 3.1.35) 행원 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태 ····· 27
(그림 3.1.36) 행원 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태 ····· 27
(그림 3.1.37) 행원 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태 ····· 28
(그림 3.2.1) 방류 표본어장 내 해조류 전체 출현 종조성 ····· 29

(그림 3.2.2) 방류 표본어장별 해조류 분류군 출현 종수 ····· 30
(그림 3.2.3) 방류 표본어장별 해조류 평균 생물량(wet.g.m^2) ····· 30
(그림 3.2.4) 방류 표본어장별 해조류 수심별 평균 생물량(wet.g.m^2) ····· 31
(그림 3.2.5) 방류 표본어장 내 저서동물 전체 출현 종조성 ····· 33
(그림 3.2.6) 방류 표본어장별 저서동물 분류군 출현 종수 ····· 34
(그림 3.2.7) 방류 표본어장별 저서동물 평균 생물량(wet.g.m^2) ····· 34
(그림 3.2.8) 방류 표본어장별 저서동물 수심별 평균 생물량(wet.g.m^2) ····· 35
(그림 3.3.1) 전복 방류 위치(평대) ····· 37
(그림 3.3.2) 시기별 평대 전복 방류어장 추적조사 ····· 38
(그림 3.3.3) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(평대) ····· 38
(그림 3.3.4) 전복 방류 위치(표선) ····· 39
(그림 3.3.5) 시기별 표선 전복 방류어장 추적조사 ····· 40
(그림 3.3.6) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(표선) ····· 40
(그림 3.3.7) 전복 방류 위치(법환) ····· 41
(그림 3.3.8) 시기별 법환 전복 방류어장 추적조사 ····· 42
(그림 3.3.9) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(법환) ····· 42
(그림 3.3.10) 오분자기 방류 위치(한수) ····· 43
(그림 3.3.11) 시기별 한수 오분자기 방류어장 추적조사 ····· 44
(그림 3.3.12) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(한수) ····· 44
(그림 3.3.13) 홍해삼 방류 위치(고내) ····· 45
(그림 3.3.14) 시기별 고내 홍해삼 방류어장 추적조사 ····· 46

제1장 서론

우리나라 수산자원은 최근 환경오염, 연안개발, 남획 등으로 1990년대 이후 연근해어업 생산량이 지속적으로 감소하였으며, 이에 따라 수산자원의 지속적인 이용 및 관리를 위해 수산종자 방류사업의 필요성이 높아졌다. 수산종자 방류사업은 천연자원의 재생산만으로는 부족한 자원을 방류를 통해 보완함으로써 자원량을 늘리는데 목적이 있으며,(서 등., 2010), 수산자원관리법 제41조 재1항 제4호에 의거 실시되고 있다.

제주도에서는 기후변화, 갯녹음어장 확산 등으로 감소된 수산자원의 회복 및 어업인 소득증대를 위해 금어기 및 금지체장 지정, 어구 및 어법의 제한, TAC제도 시행과 바다목장 및 바다숲 조성, 인공어초 및 투석사업과 함께 수산종자 방류사업을 지속적으로 수행하고 있다. 1999년부터 현재까지 마을어장의 주요 수산자원이자 소득자원인 전복, 오분자기, 홍해삼에 대한 지속적인 방류가 이루어지고 있다.

한편 최근들어 방류품종이 다양해지고 규모가 커짐에 따라 수산종자 방류사업이 공공사업으로서 얼마나 효과를 가지고 있는지에 대한 관심이 커지고 있다. 즉, 방류를 통해 방류 종자가 얼마나 수산자원 회복에 기여하는지, 경제적 측면에서 어업인 또는 일반국민들에게 얼마나 기여하는지, 정책적 측면에서 방류사업의 효과를 객관적으로 달성하고 있는지에 대한 요구가 커지고 있다. 따라서 2007년부터 '수산종묘관리 사업지침'을 통해 방류종자에 대한 종합적인 효과조사를 하도록 의무화하였고, 2009년부터 수산자원관리법에 수산종자 방류사업에 대한 사후관리 및 효과분석을 규정하였다(수산자원공단, 2015).

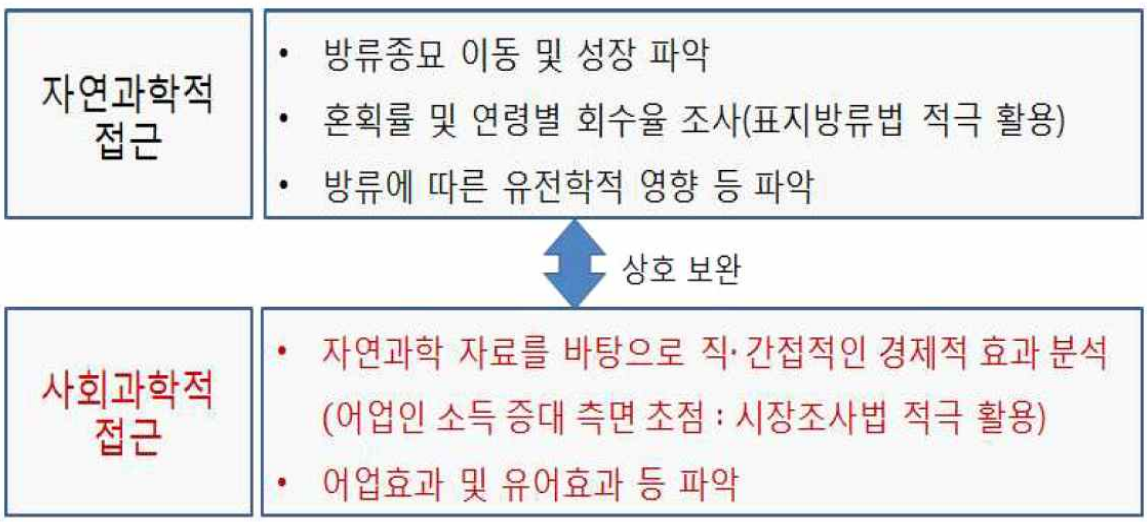
수산종자 방류효과조사는 크게 자연과학적 접근과 사회경제적 접근이 상호 보완적으로 이루어진다. 자연과학적 접근은 방류된 수산종자의 이동 및 성장 파악, 혼획률 및 연령별 회수율 조사, 방류에 따른 유전학적 영향 등을 분석하는 것이며, 사회경제적 접근은 자연과학적 접근 자료를 바탕으로 직·간접적인 경제성을 평가하는 방법이다(수산자원공단, 2015).

방류 수산종자에 대한 효과조사와 관련한 연구로 품종별로는 참전복(강 등., 1996), 넙치(서 등., 2010), 조피볼락(송과 홍, 2009), 해삼(박 등., 2013), 다슬기(송과 강, 2016)이 대표적이다. 방류지역의 전반적인 방류효과에 대한 분석으로는 경기도 화성해역에서 어업조사에 의한 단위노력당 어획량(CPUE)와 넙치 및 조피볼락의 자연산과 방류산 비율의 비교연구가 있다(서와 김, 2003). 유전학적 연구로는 우리나라 서·남해안에 분포하는 대하(*Fenneropenaeus chinensis*) 집단과 인공종자의 유전자를 분석한 연구(한 등., 2003)가 있다. 이처럼 방류효과조사는 점차 다양해지고 있는 방류품종

을 중심으로 표지방류부터 유전자분석, 경제성분석 등 다양한 방법으로 이루어지고 있다.

해양수산연구원에서도 제주도 수산종자 매입방류사업 대상지역 중 전복, 오분자기, 홍해삼 방류지를 대상으로 2008년도부터 효과조사를 추진하여 왔다. 대표적으로 2008년의 경우 전복 표지방류조사 및 오분자기 그린마크에 의한 혼획률조사를 추진하였으며 2009년 돌돔 유전자분석 및 회수율을 추정하였다. 2010년 이후부터는 전복, 오분자기, 홍해삼의 혼획률 조사를 통한 방류효과분석을 지속적으로 실시하고 있으며, 최근 말쥐치, 자바리 등 어류자원의 어미유전자 분석 및 혼획률 조사를 추진 중에 있다.

2021년도 제주도 수산종자 방류사업의 경우 70개 지역에 2,030천마리 방류가 이루어졌으며(제주시 40개소·1,003천마리, 서귀포시 30개소·1,027천마리) 품종별로는 홍해삼은 26개소·914천마리, 전복은 33개소·826천마리, 오분자기는 11개소·290천마리 였다(제주특별자치도, 2022). 이중 효과조사 대상지역은 8개소로 품종별로는 전복 3개소, 홍해삼 2개소, 오분자기 3개소이다. 이번 조사에서는 2021년 효과조사 대상어장 8개소에 대한 수중지형 및 서식생물 생태조사를 통해 전반적인 방류지역의 생태환경을 분석하여 추후 적절한 방류지 선정에 대한 기초데이터로 활용하고자 하였으며, 방류종자에 대한 종자 확산범위 등 추적조사를 통해 방류효과를 분석하고자 하였다.



(그림 1.1.1) 수산종자 방류사업 효과조사의 접근방법

제2장 조사개요

1. 조사 배경

수산종자 방류사업은 1986년부터 감소된 어업자원 회복 및 어업인 소득증대를 위해 매년 실시하였다. 제주도에서는 1999년 이후 방류사업을 지속적으로 실시하고 있다. 최근 방류품종이 다양해지고 규모가 커짐에 따라 수산종자 방류사업을 통해 방류 종자가 얼마나 수산자원 회복에 기여하는지, 경제적 측면에서 어업인 또는 일반국민들에게 얼마나 기여하는지, 정책적 측면에서 방류사업의 효과를 객관적으로 달성하고 있는지 등 효과 검증에 대한 요구가 커지고 있다.

이에 따라 국가에서는 2007년부터 '수산종묘관리 사업지침'을 통해 방류종자에 대한 종합적인 효과조사를 하도록 의무화하였고, 2009년부터 수산자원관리법에 수산종자 방류사업에 대한 사후관리 및 효과분석을 규정하였다(수산자원공단, 2015). 따라서 본 조사에서는 수산자원관리법 및 수산종자 방류지침에 따라 2021년 도내 방류어장 중 효과조사 표본어장으로 지정된 8개소에 대한 효과조사를 실시하였다.

2. 조사 목적

2021년 매입방류사업 방류어장 중 효과조사 표본어장으로 지정된 8개소에 대한 수중지형 및 서식생물 생태조사를 통해 전반적인 방류지역의 생태환경을 분석하여 추후 적절한 방류지 선정에 대한 기초데이터로 활용하고자 하였으며, 방류 종자에 대한 종자 확산범위 등 추적조사를 통해 방류효과를 분석하고자 하였다

3. 조사 범위 및 내용

3.1. 조사 범위

효과조사 표본어장 8개소는 전복 3개소(평대, 표선, 법환), 오분자기 3개소(한수, 위미2, 시흥), 홍해삼 2개소(고내, 행원)로 그림 2.3.1 과 같다.

표본어장 8개소 중 상반기의 경우 5개 어장(평대, 표선, 법환, 한수, 고내)에서 방류가 이루어져, 이에 대한 수중지형, 생물서식 생태조사 및 방류종자 추적조사를 실시하였다. 하반기의 경우 나머지 3개 어장(위미2, 시흥, 행원)에서 방류가 이루어졌으며, 수중지형과 생물서식 생태조사만 실시되었다.



(그림 2.3.1) 방류효과조사 표본어장

3.2. 조사 내용

수중 잠수조사를 통해 효과조사 표본어장의 수중지형 및 생물서식 생태조사와 방류 종자에 대한 추적조사를 실시하고, 이에 따른 방류효과를 분석하였다.

3.3. 조사 방법

조사는 표본어장 8개소 해역별 2개 지선을 선정하여 준비된 조사라인의 좌표를 확인하고 방향 설정 후 SCUBA diving을 이용하여 Line-transect 방법으로 실시하였다. 수중조사팀은 4명이 1조가 되어 수중비디오 카메라(Sony RX-100, Sony Co.) 촬영 1명, 수중사진(Olympus E-M5 Mark Ⅱ, Olympus Co.) 촬영 1명 그리고 생물 채집 2명으로 구성되었다.

먼저 수중지형조사의 경우 저질의 구성비율 및 암반의 분포 형성, 방류지역의 수심대, 파도의 영향 등 서식환경에 관한 전반적인 사항을 조사하였다. 조사된 저질구성 및 암반의 분포는 프로그램(SketchUP pro) 이용하여 3D 그림으로 나타내었다.

서식생물 생태조사 중 해조류 분포는 각 조사라인의 4m, 8m, 12m의 수심에 해조류의 종조성 및 현존량 등 군집 특성을 사진과 영상 촬영으로 실시하고 1x1m 방형구법으로 전량 채집 실시하였으며, 저서동물의 경우 각 조사정점에서 연안 또는 외해로 진행하며 단위면적당(1㎡) 분포개체를 평균 개체수로 환산하는 방식으로 조사하였다. 채집한 해조류 및 저서동물의 분류와 동정에는 이(2008), 국토해양부(2013) 등을 참조하였다.

추적조사의 경우 방류 후 1주일 단위로 SCUBA diving을 이용하여 수중조사팀에 의해 방류종자의 확산 분포범위, 서식상태 등을 촬영조사 하였다. 전복과 오분자기 방류어장의 경우 추적조사시 조사당시 방류지역에서 발견되는 패각수와 생존개체수를 산정하였다.

제3장 조사결과

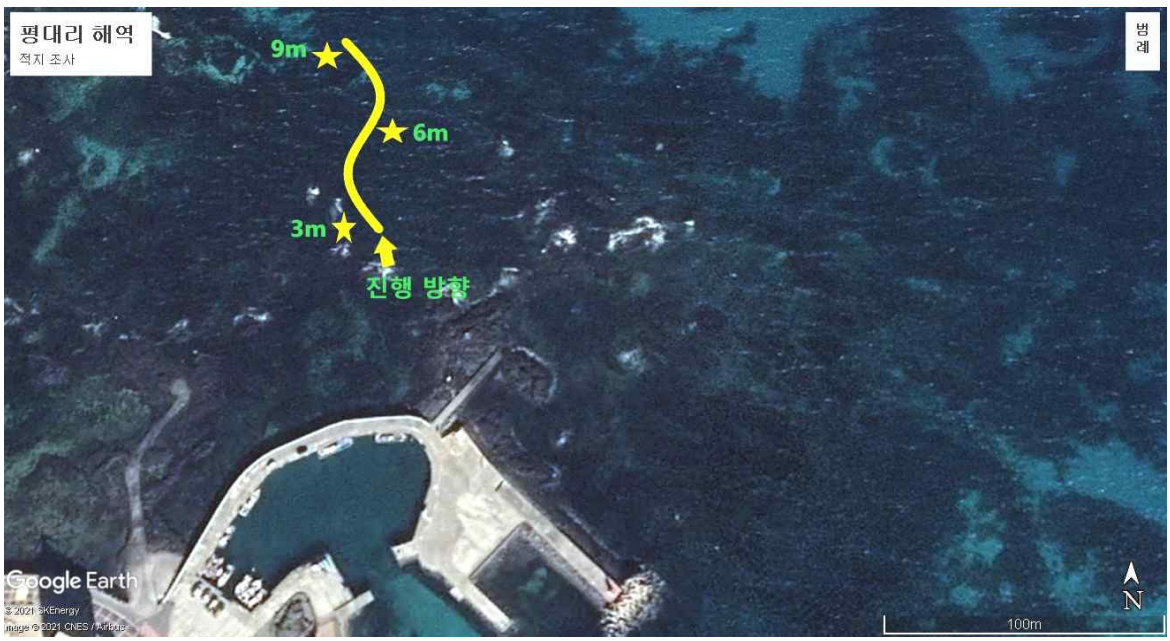
1. 수중지형조사

1.1. 평대(전복 방류어장)

2021년 5월 14일 조사당시 날씨는 맑고 수온은 17℃였다. 조사지역은 평대포구 해녀 작업을 위한 콘크리트 진입로 해안으로 북-북서, 북-북동풍의 영향으로 큰 파도에 의한 물리적 교란이 상쇄되는 지형이며, 조석 및 파도에 의한 해수소통이 원활하였다. 수심은 1~10 m로 비교적 완만하게 형성되었다(그림 3.1.1).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~2개였고 저질은 전석 10%, 사질 30%, 암반 60%로 구성되었으며, 전석은 1층 또는 2층으로 이루어져 있어 전복의 충분한 은폐장소를 제공하였다(그림 3.1.2).

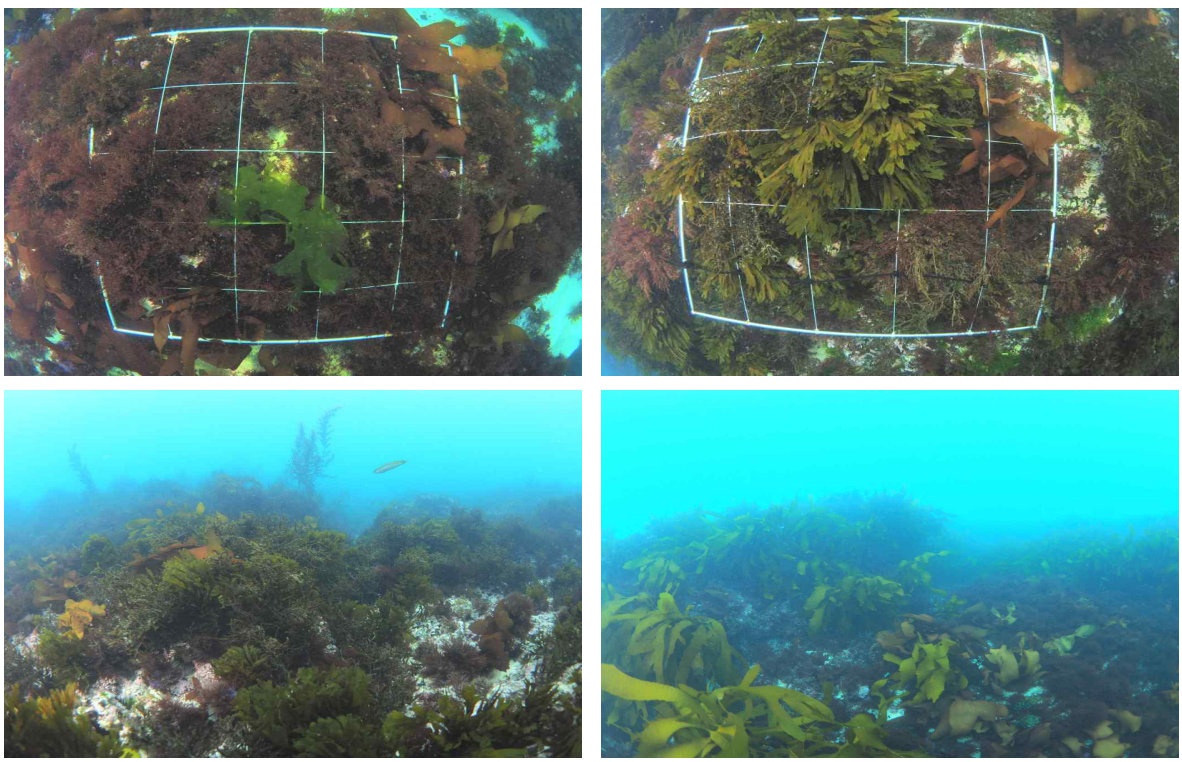
해당지역은 수심 3m부터 9m까지 유용해조류 서식이 매우 풍부하였으며, 대표적으로 우뭇가사리, 감태, 모자반 등의 서식 밀도가 높은 모습을 보였다.(그림 3.1.3~3.1.5).



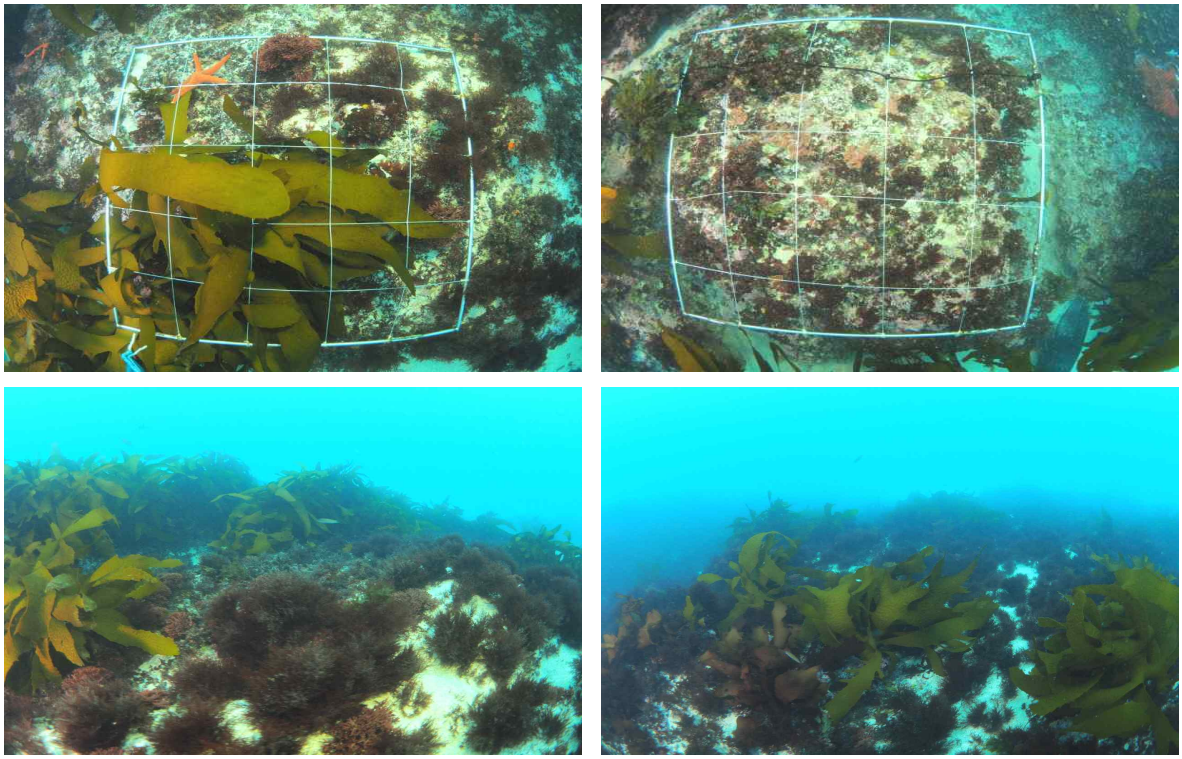
(그림 3.1.1) 평대 마을어장 조사위치



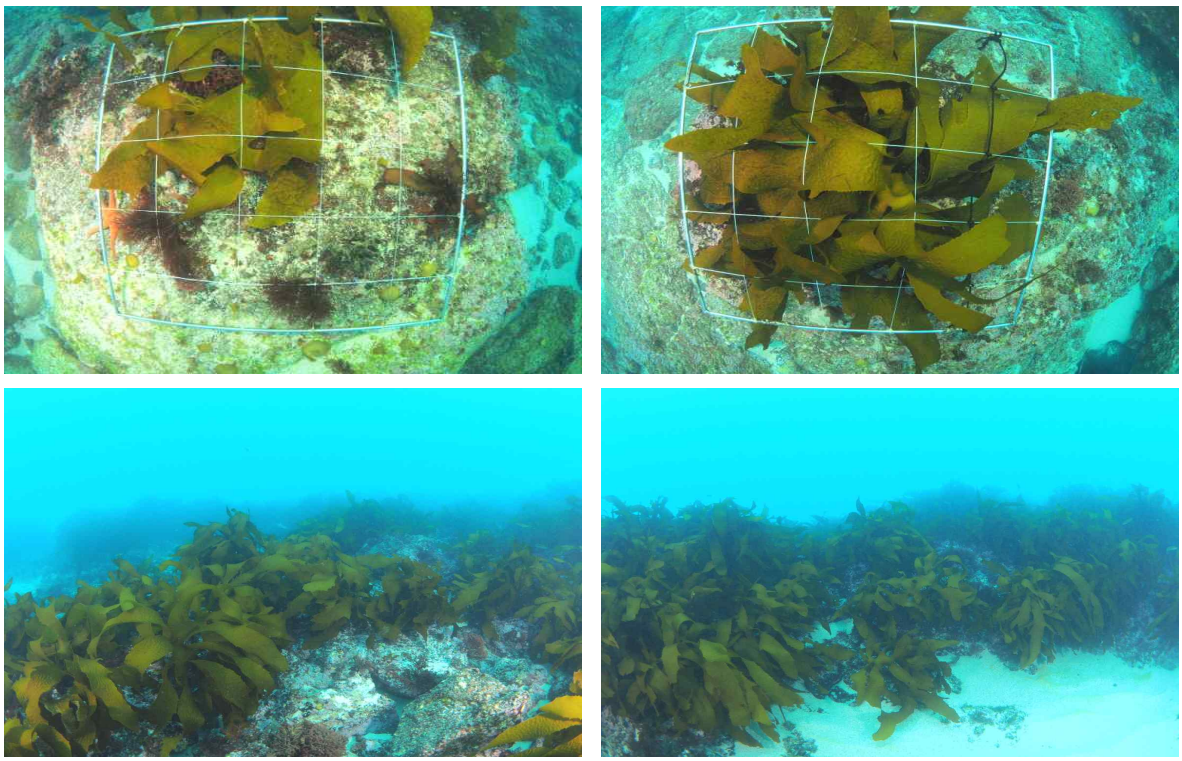
(그림 3.1.2) 평대 마을어장 수중지형



(그림 3.1.3) 평대 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.4) 평대 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.5) 평대 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.2. 표선(전복 방류어장)

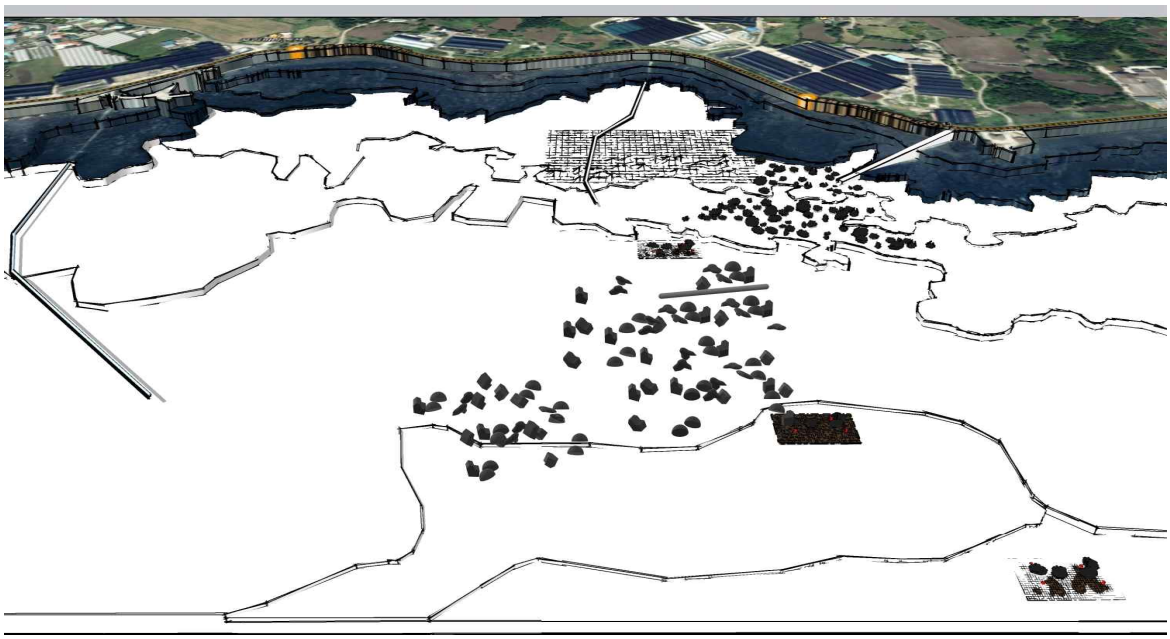
2021년 5월 13일 조사당시 날씨는 맑고 수온은 17℃였다. 조사지역은 광어 양식장 앞 해안으로 해안선으로 길게 돌출된 여 남쪽으로 외해와 면해있는 지형이며, 조석 및 파도에 의한 해수소통이 원활하였다. 수심은 1~10 m로 비교적 완만하게 형성되었다(그림 3.1.6).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~8개였고 저질은 전석 30%, 사질 20%, 암반 50%로 구성되어 대부분 전석과 암반으로 이루어져 있으나 수심이 깊어질수록 사질지형이 많아졌다. 전복 방류 해역의 경우 전복의 충분한 은폐장소를 제공하였다(그림 3.1.7).

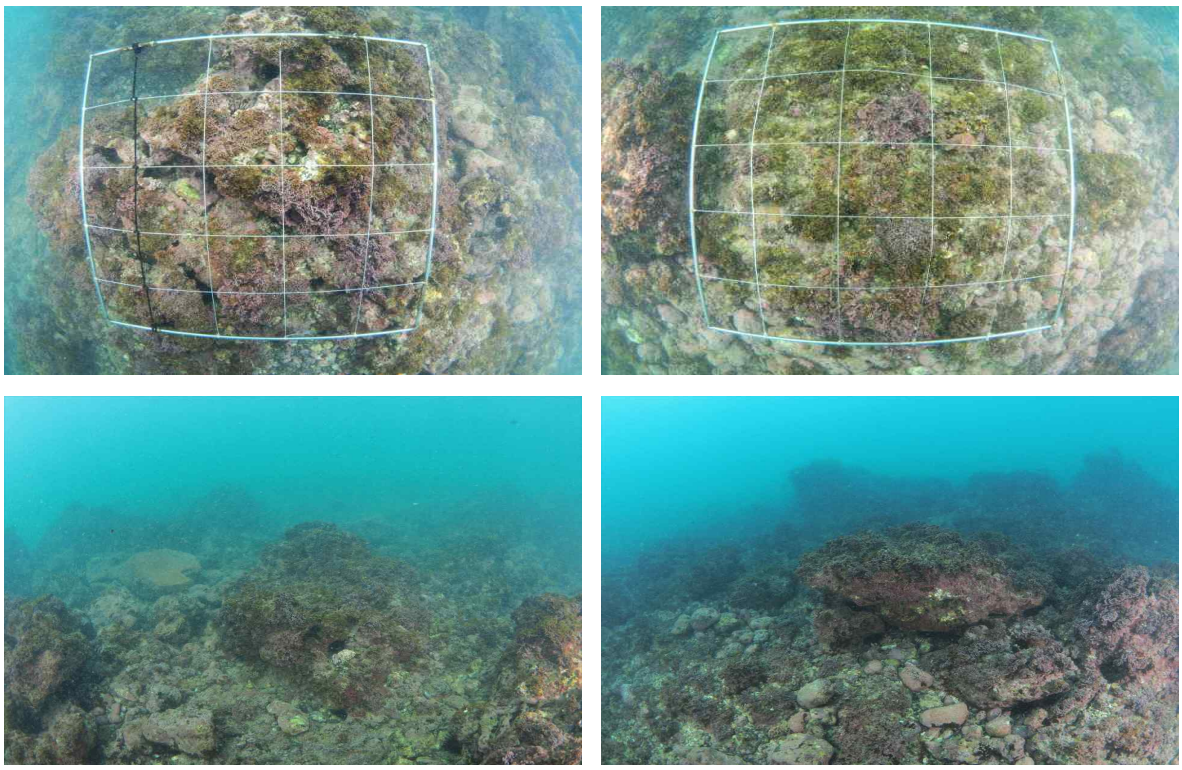
해당지역 내 방류지점에는 상대적으로 유용해조류가 서식하였으나, 조사지역 전체적으로 유용해조류의 서식상태는 매우 낮았으며 유절산호말류와 무절산호말류가 주를 이루어 갯녹음 현상이 두드러지는 특징을 보였다(그림 3.1.8~3.1.10).



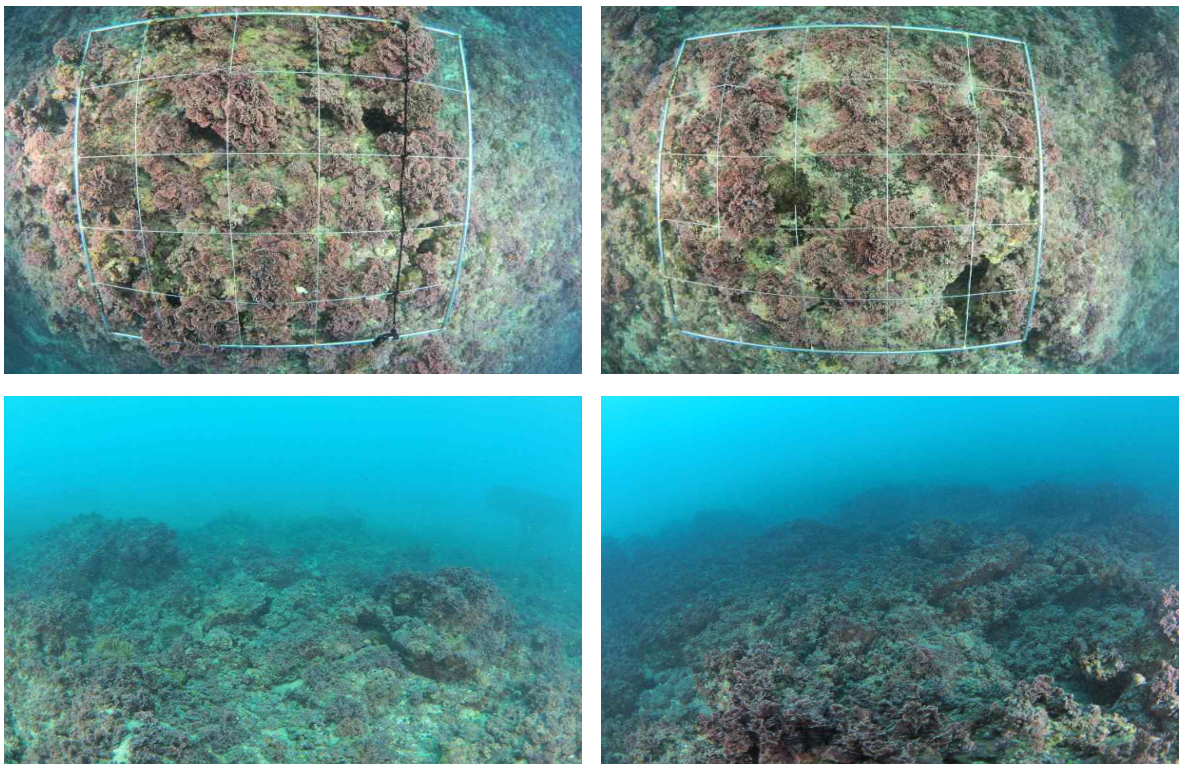
(그림 3.1.6) 표선 마을어장 조사위치



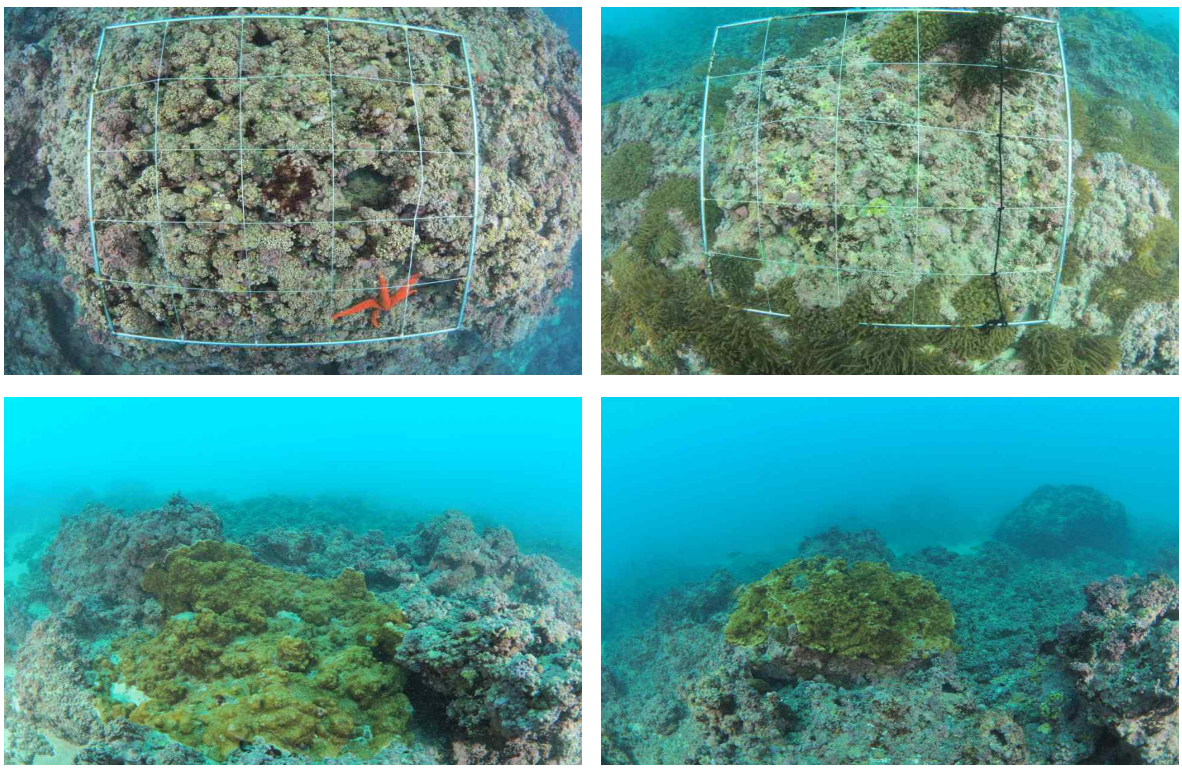
(그림 3.1.7) 표선 마을어장 수중지형



(그림 3.1.8) 표선 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.9) 표선 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.10) 표선 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.3. 법환(전복 방류어장)

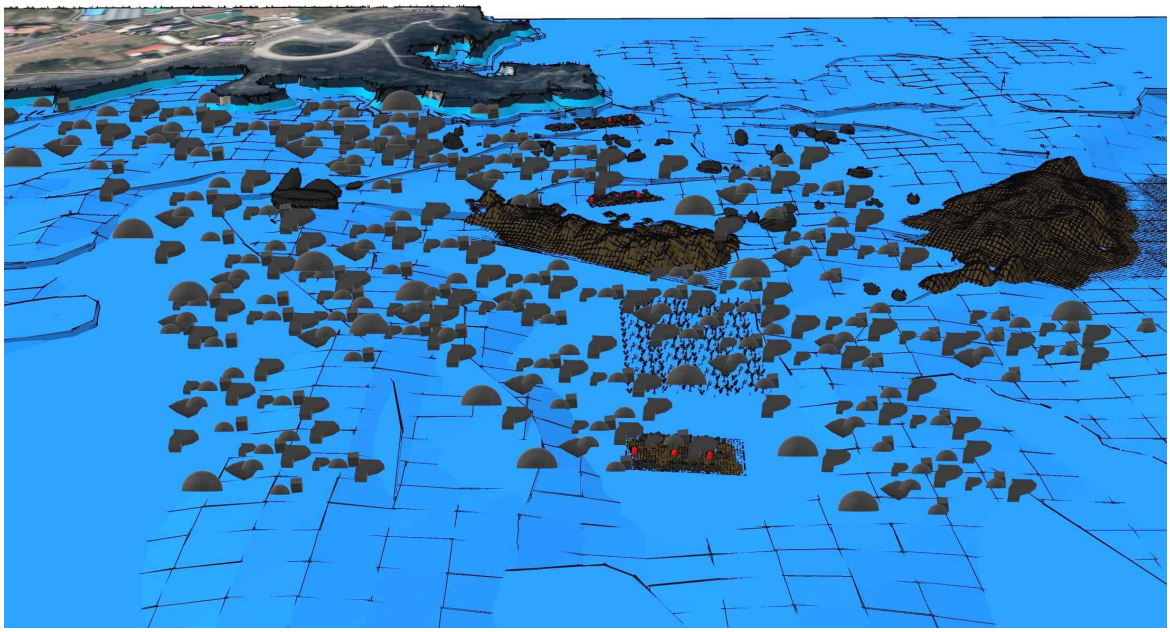
2021년 4월 28일 조사당시 날씨는 맑고 수온은 17℃였다. 조사지역은 법환 해녀의 집 앞 해안으로 남쪽의 커다란 암반에 의한 수중여와 해녀 작업을 위한 콘크리트 진입로 및 동서방향의 해안선으로 파도에 의한 물리적 교란이 상쇄되는 지형으로, 조석 및 파도에 의한 해수소통이 원활하였다. 수심은 2.5~10 m로 비교적 완만하게 형성되었다(그림 3.1.11).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~5개였고 저질은 전석 95%, 자갈 5%로 구성되었으며, 암반위에 전석으로 이루어져 있어 전복의 충분한 은폐장소를 제공하였다. 전석을 뒤집었을 때의 기질은 암반 80%와 자갈(20%)로 구성되었다. 전석의 경우 크기가 0.3~1.0m 또는 그 이상으로 해녀들의 조업활동 시 뒤집기 작업이 어려울 것으로 예상되었다(그림 3.1.12).

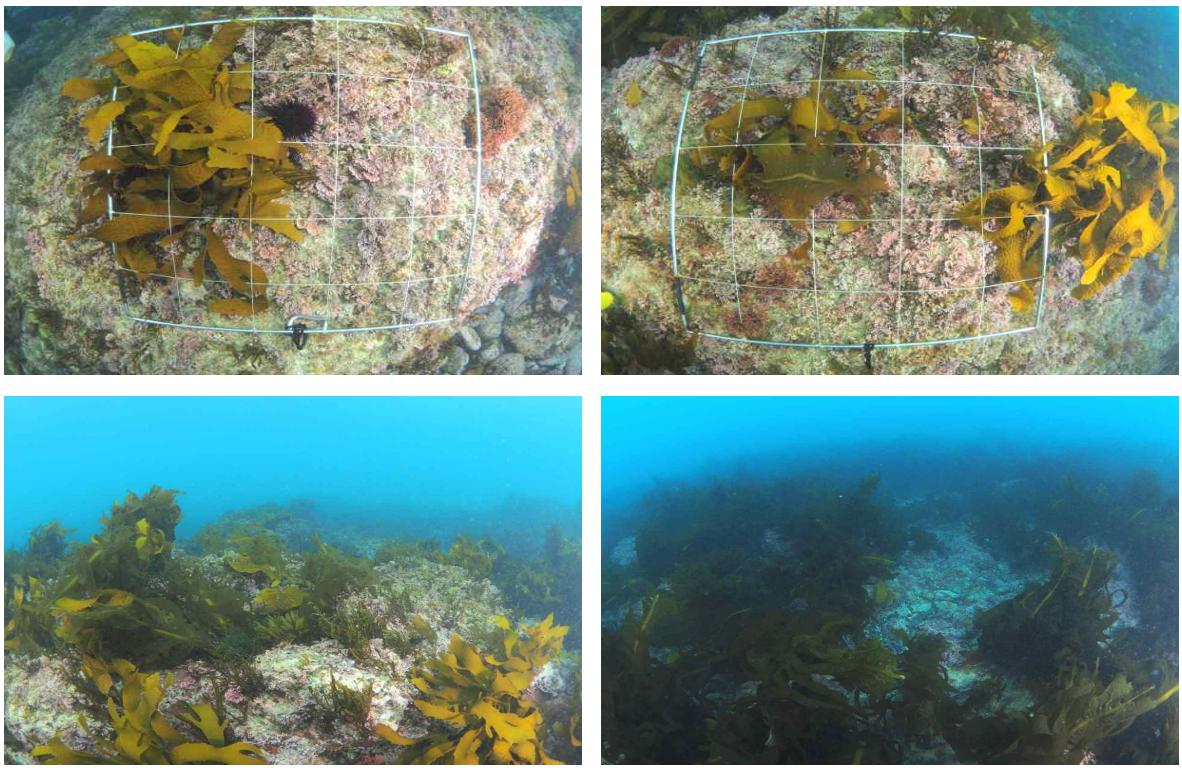
해당지역은 수심 3m부터 9m까지 유용해조류의 생물량이 높은 편으로 조사되었다(그림 3.1.13~3.1.15).



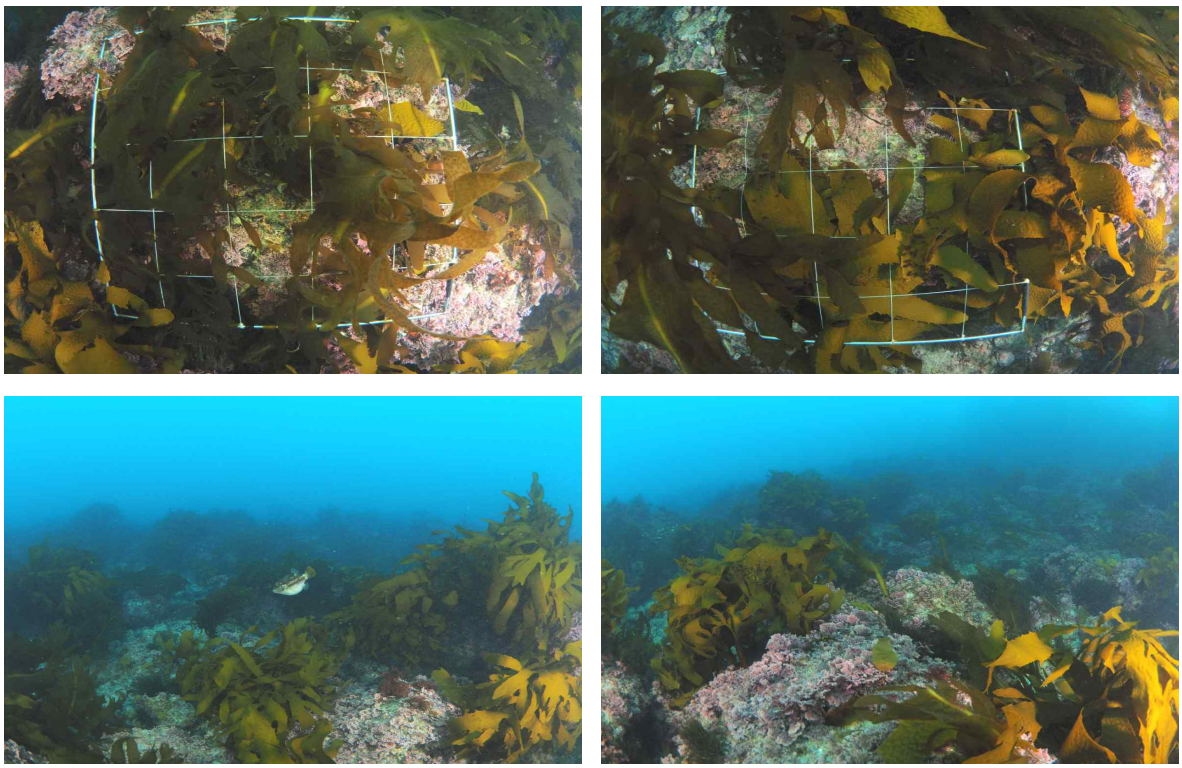
(그림 3.1.11) 법환 마을어장 조사위치



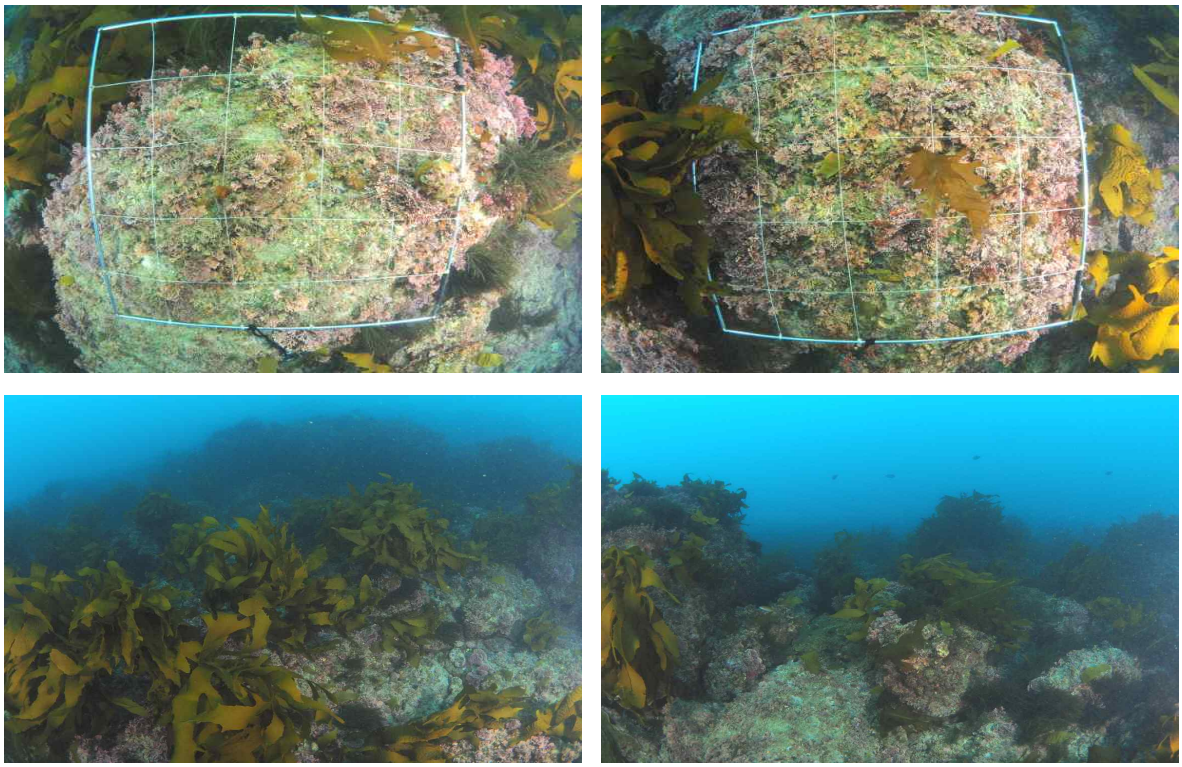
(그림 3.1.12) 법환 마을어장 수중지형



(그림 3.1.13) 법환 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.14) 법환 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.15) 법환 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.4. 한수(오분자기 방류어장)

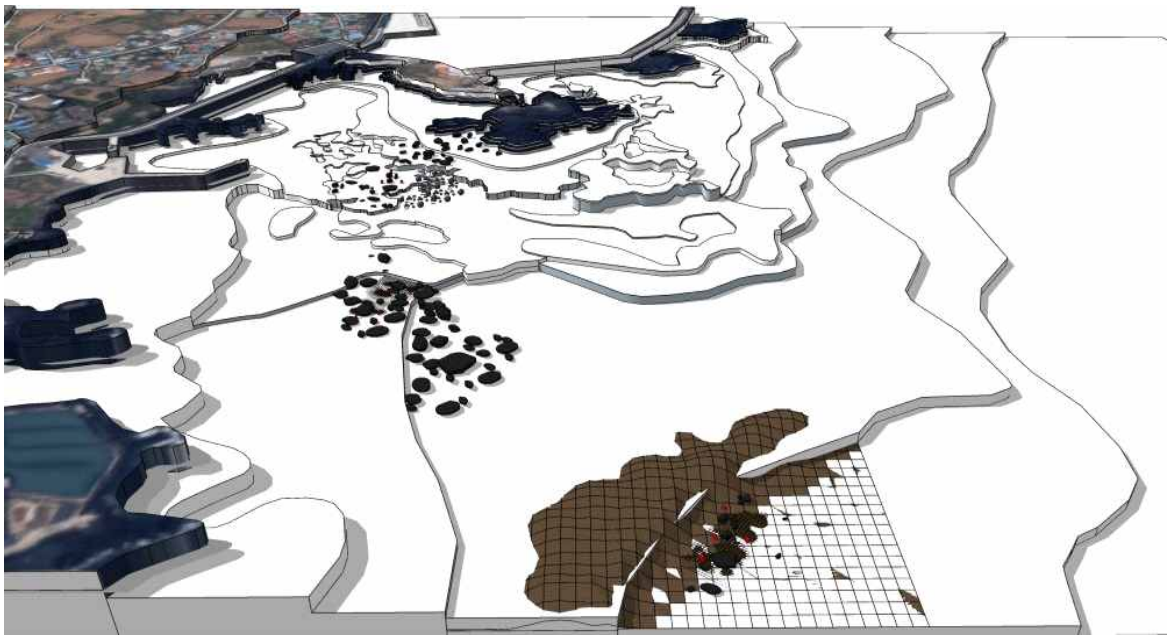
2021년 5월 7일 조사당시 날씨는 맑고 수온은 17℃였다. 조사지역은 한림 조선소 입구 해안으로 해안선으로 길게 돌출된 여 동쪽에 위치해 있으며 북쪽으로 외해와 면하고 조석 및 파도에 의한 해수소통이 원활하였다. 수심은 1~10 m로 비교적 완만하게 형성되었다(그림 3.1.16).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~8개였고 저질은 전석 50%, 암반 40%, 자갈 5%, 사질 5%로 구성되었다. 전석의 크기는 30~70cm로 1~2층으로 분포되어 있으며, 전석을 뒤집었을 때 기질은 사니질로 구성되었다. 해당지역은 오분자기의 은폐장소를 충분히 제공할 것으로 판단되었다. 그러나 파도를 완화시킬 수 있는 암초가 크게 발달되어 있지 않아 물리적인 영향을 많이 받을 것으로 예상되었다(그림 3.1.17).

해당지역의 해조류는 우뭇가사리의 우점현상이 높게 나타났으며, 무절산호말류는 약한 군락을 형성하고 있었다(그림 3.1.18~3.1.20).



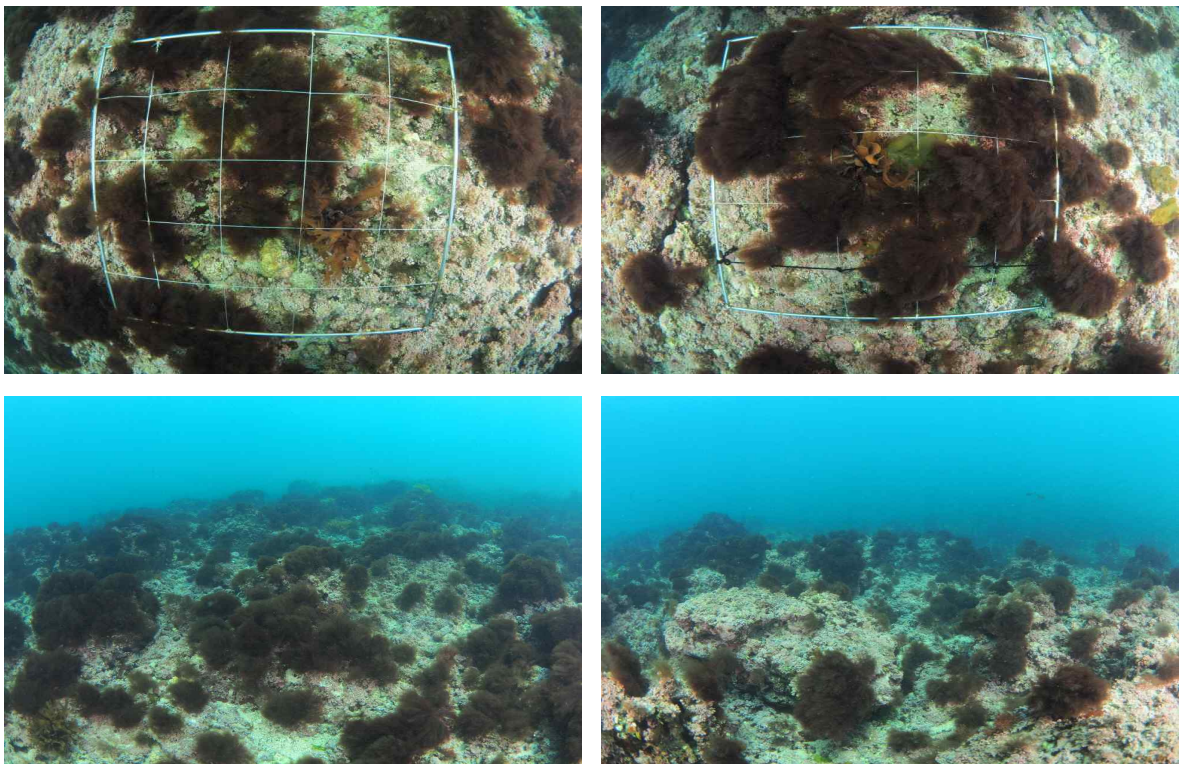
(그림 3.1.16) 한수 마을어장 조사위치



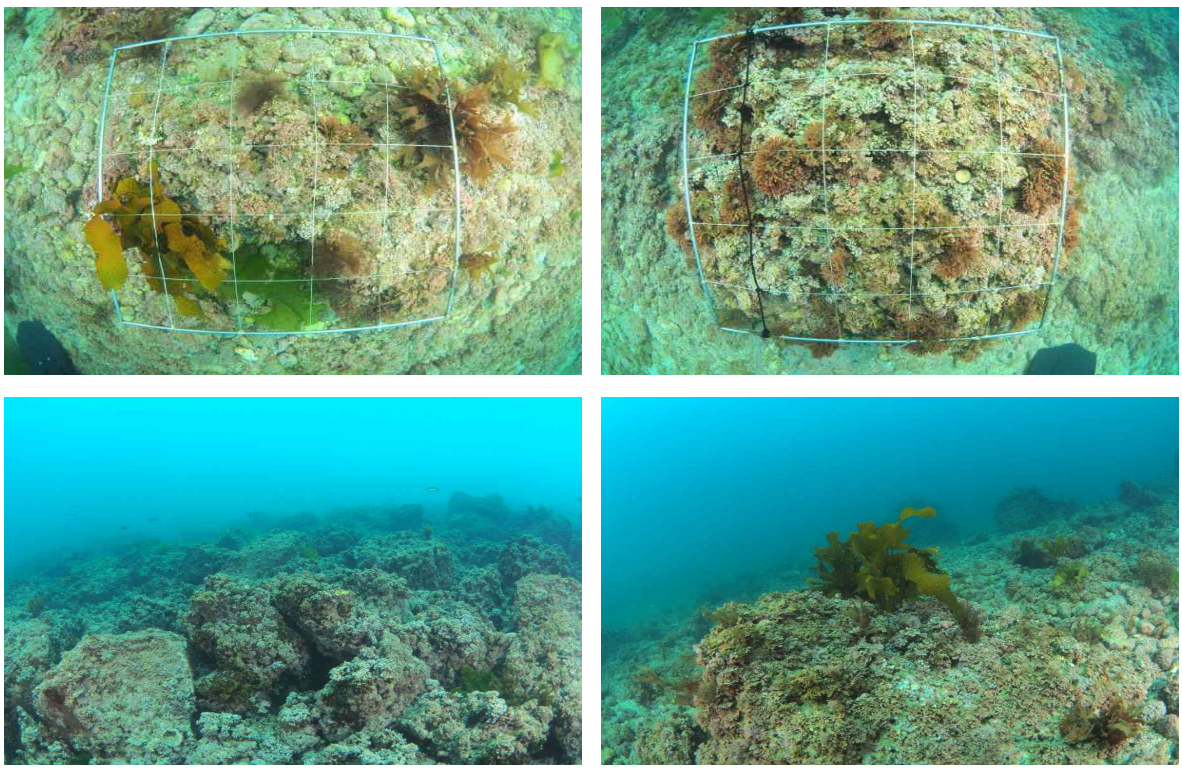
(그림 3.1.17) 한수 마을어장 수중지형



(그림 3.1.18) 한수 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.19) 한수 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.20) 한수 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.5. 위미2(오분자기 방류어장)

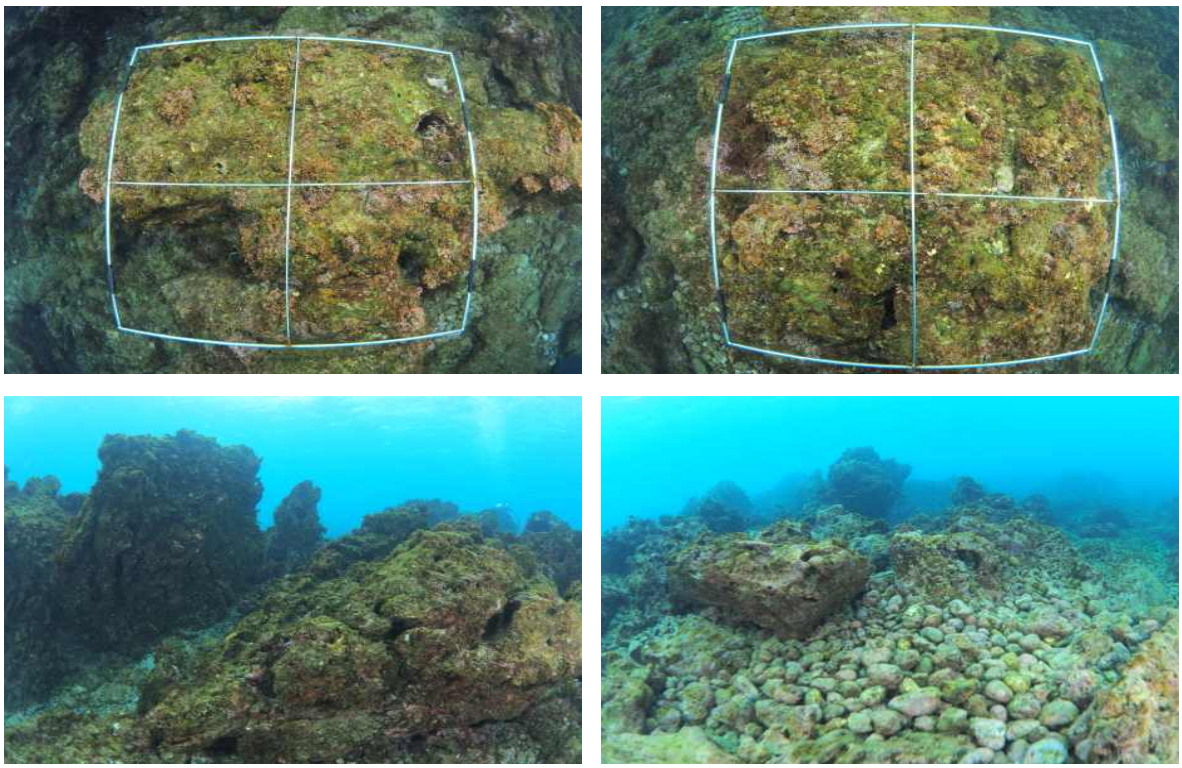
2021년 10월 20일 조사당시 날씨는 흐렸고 수온은 23℃였다. 조사지역은 국립수산과학원 제주수산연구소 앞 동쪽 해역으로 바람, 파도에 큰 영향을 받는 해역이었다. 조석 및 파도에 의한 해수소통은 원활할 것으로 판단되었으며 수심은 1~10 m로 비교적 완만하나 깎아지른 듯한 암석으로 이루어져 있었다(그림 3.1.21).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 0.5개였고 저질은 암반 95%, 전석 3%, 자갈 2%로 구성되었다. 해당지역은 오분자기 은폐장소를 충분히 제공할 것으로 판단되었다.

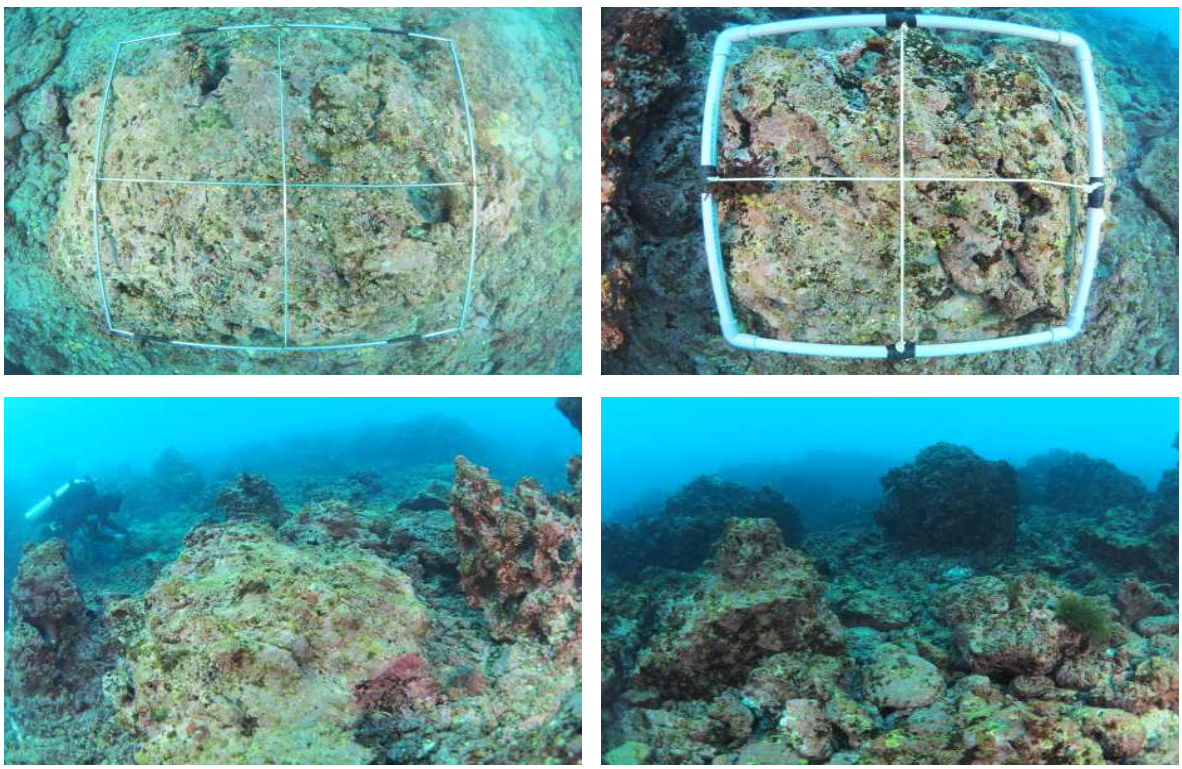
해당지역의 해조류는 수심 3m부터 9m까지 유절산호말류 및 무절산호말류가 우점하여 갯녹음현상이 두드러졌으며, 유용해조류의 서식밀도는 낮게 조사되었다(그림 3.1.22~3.1.24).



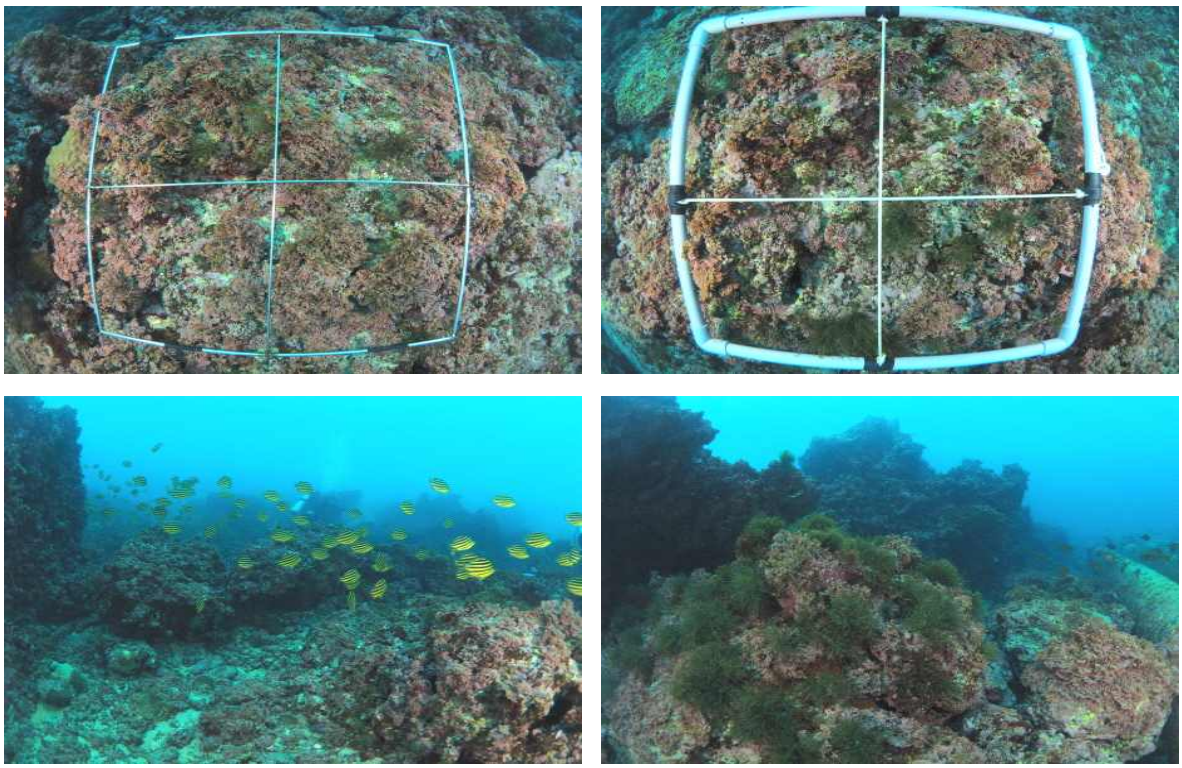
(그림 3.1.21) 위미2 마을어장 조사위치



(그림 3.1.22) 위미2 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.23) 위미2 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



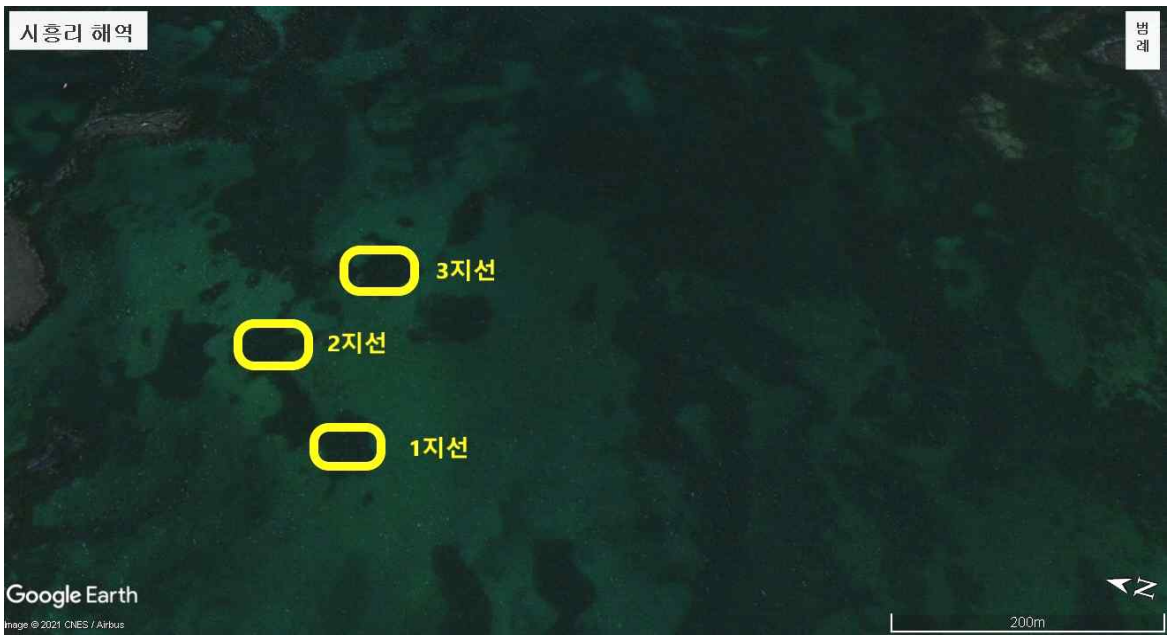
(그림 3.1.24) 위미2 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.6. 시흥(오분자기 방류어장)

2021년 10월 20일 조사당시 날씨는 흐렸고 수온은 19℃였다. 조사지역은 시흥포구 방파제 서쪽 해역으로 바람, 파도의 큰 영향을 받는 해역이었다. 조석 및 파도에 의한 해수 소통이 원활할 것으로 보여지며 수심은 1~6 m로 비교적 완만하나 조수간만의 차가 다소 크게 나타나는 해역이었다. 이 지역은 수심변화가 큰 차이를 보이고 있지 않아 수심별 조사가 어려워 지선별 조사를 실시하였다(그림 3.1.25).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 0개였고 저질은 사질 51%, 암반 44%, 자갈 5%로 구성되었다. 암반위에 전석수는 매우 낮고 깎아지른 듯한 암반이 많아 오분자기 은폐에 충분한 장소를 제공하는 것으로 판단되었다.

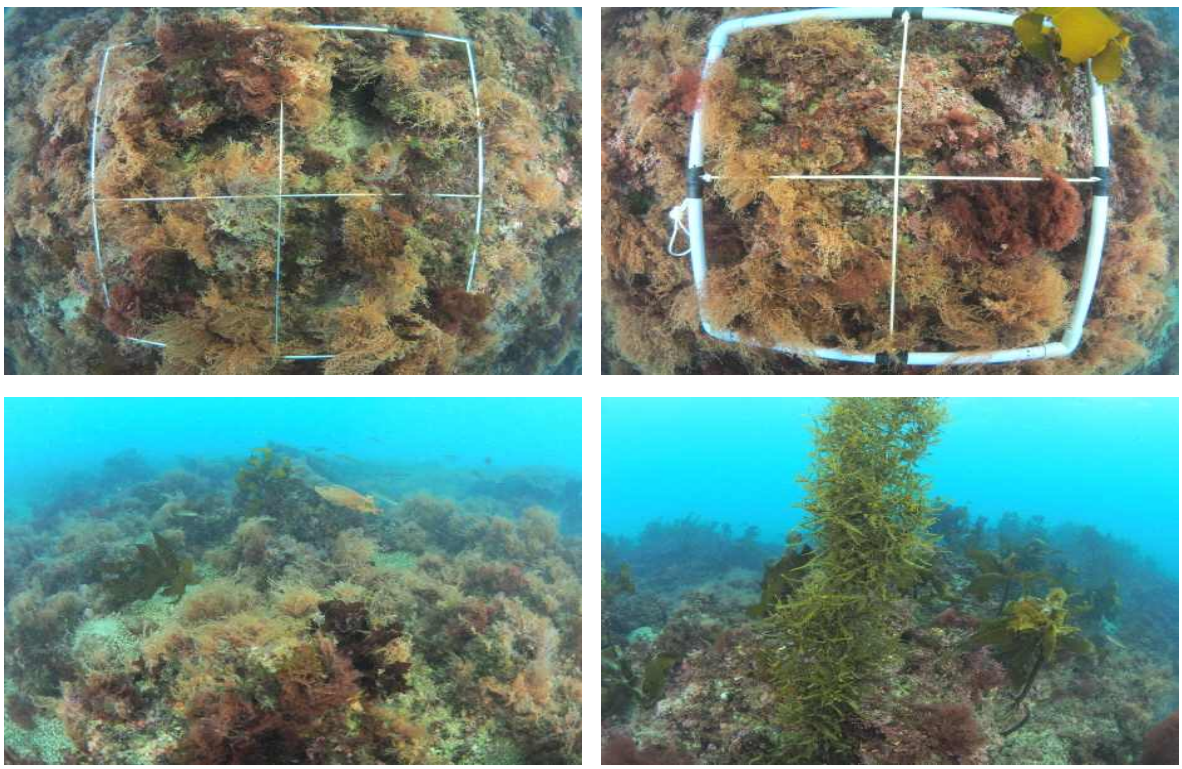
해당지역의 해조류는 유절산호말류 및 무절산호말류로 구성되어 있으나, 유용해조류의 서식밀도 또한 비교적 높게 나타나는 해역이었다(그림 3.1.26~3.1.28).



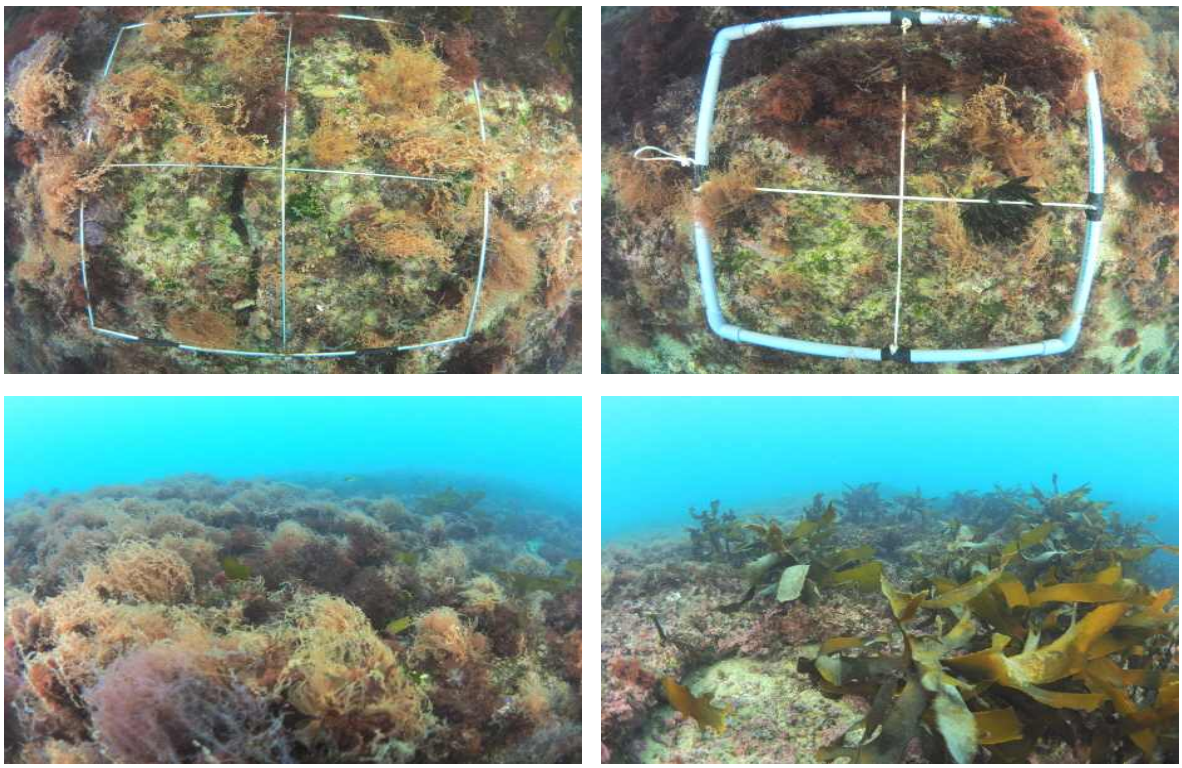
(그림 3.1.25) 시흥 마을어장 조사위치



(그림 3.1.26) 시흥 마을어장 1번지선 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.27) 시흥 마을어장 2번지선 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.28) 시흥 마을어장 3번지선 주변 해조류 서식생태

1.7. 고내(홍해삼 방류어장)

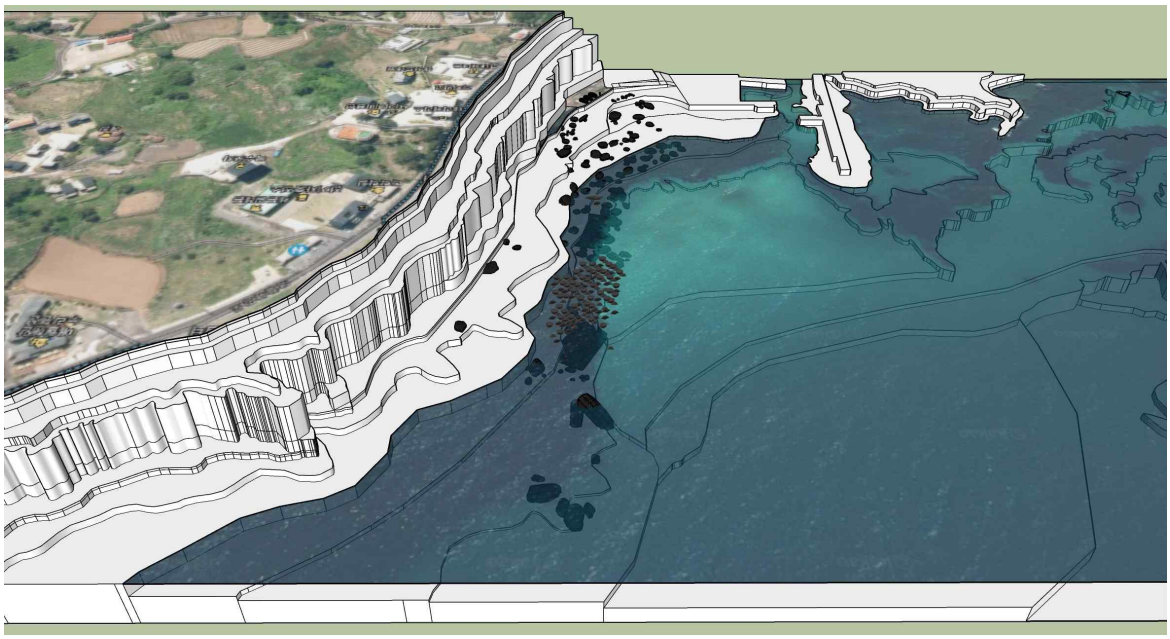
2021년 5월 6일 조사당시 날씨는 맑고 수온은 17℃였다. 조사지역은 고내 포구 동쪽 절벽 및 해안으로 북서풍 파도에 의한 영향이 높고 조석 및 파도에 의한 해수 소통은 원활할 것으로 파악되었다. 수심은 1~10 m로 비교적 완만하게 형성되었다(그림 3.1.28).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~3개였고 저질은 사질 55%, 전석 34%, 암반 10%, 자갈 1% 구성되었다. 연안쪽은 평암반과 전석으로 이루어져 있으며 외해로 갈수록 사질의 비율이 높아졌다. 대부분 사질로 이루어져 있으나 연안쪽은 암반위의 전석으로 이루어져 있어 홍해삼 은폐에 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다. 전석의 크기는 1m이상으로 해녀 조업시 먹이활동을 위해 외부로 나온 홍해삼을 채취할 수 있을 것으로 예상된다(그림 3.1.29).

해당지역의 해조류 서식밀도가 낮고, 유절산호말류 및 무절산호말류가 대부분을 이루는 갯녹음현상이 상당부분 진행된 특징을 보였다(그림 3.1.30~3.1.32).



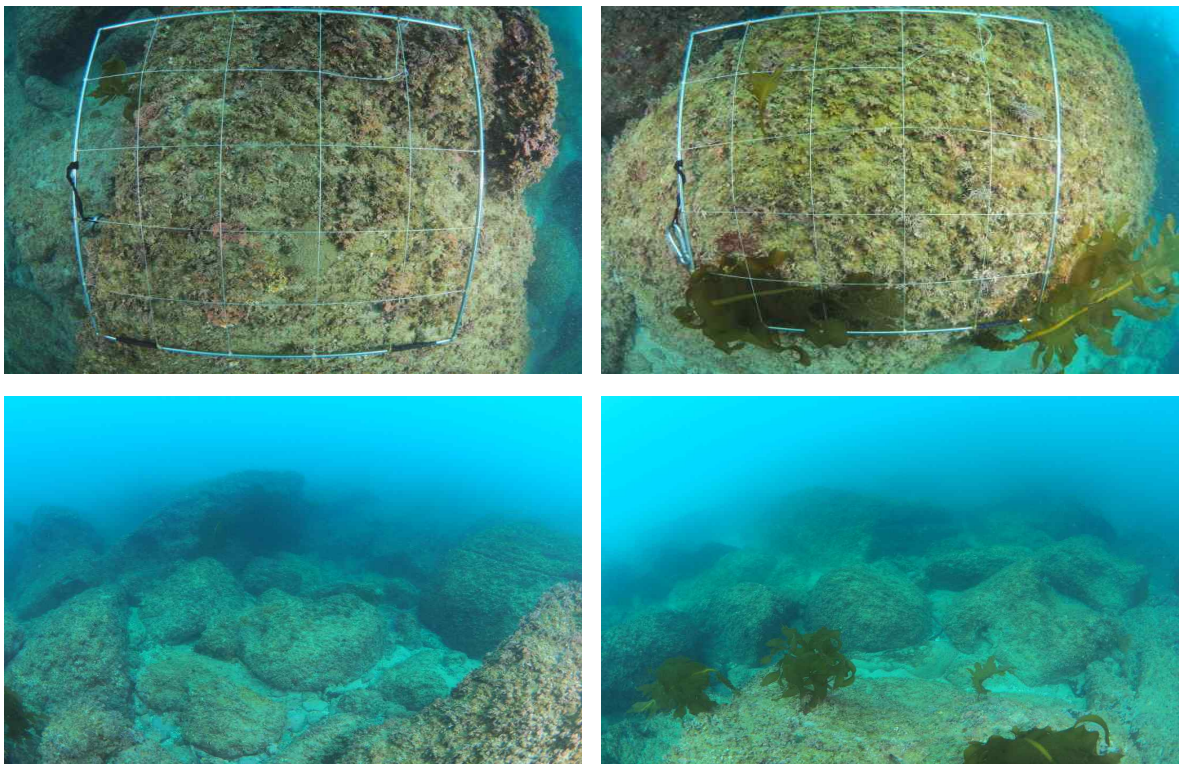
(그림 3.1.29) 고내 마을어장 조사위치



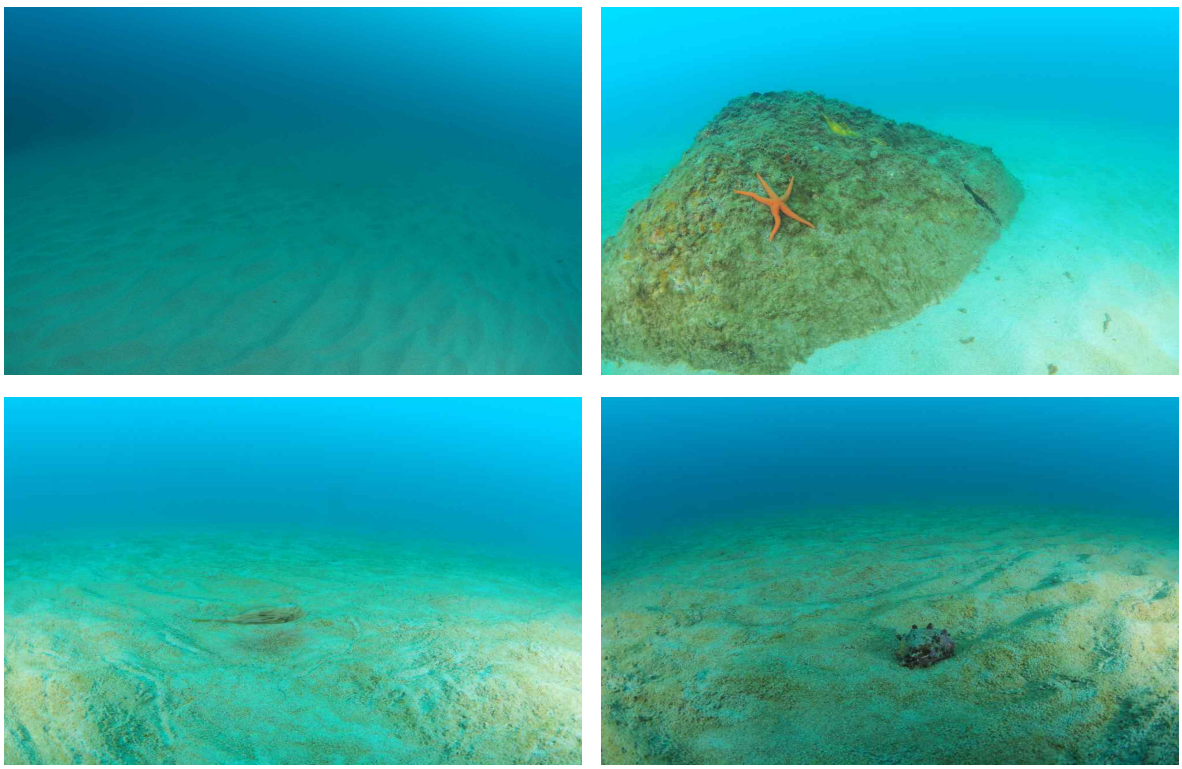
(그림 3.1.30) 고내 마을어장 수중지형



(그림 3.1.31) 고내 마을어장 수중 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.32) 고내 마을어장 수중 6m 주변 해조류 서식생태



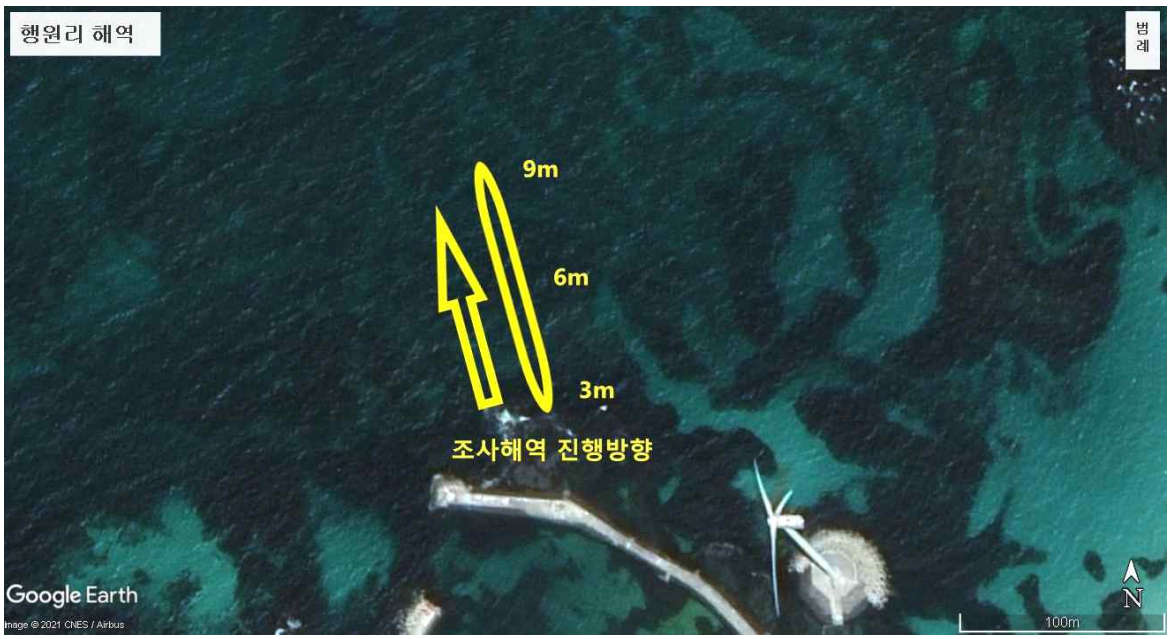
(그림 3.1.33) 고내 마을어장 수중 9m 주변 해조류 서식생태

1.8. 행원(홍해삼 방류어장)

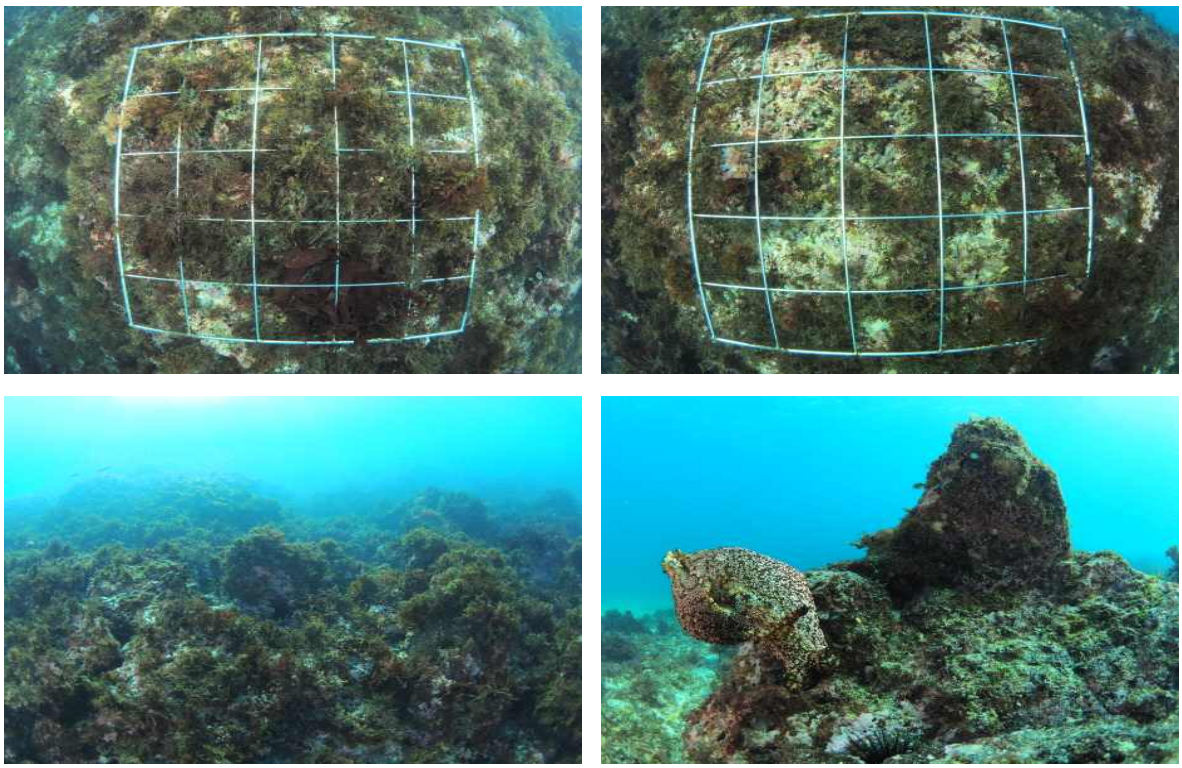
2021년 11월 19일 조사당시 날씨는 맑았고 수온은 18℃였다. 조사지역은 행원포구 등대 방파제 앞 북쪽 해역으로 바람과 파도의 영향을 많이 받는 해역이었다. 조석 및 파도에 의한 해수 소통은 원활하였으며, 수심은 1~10m 로 완만하게 형성되어 있으나 곳곳에 큰 여들이 위치하고 사질과 암반으로 이루어져 있었다(그림 3.1.33).

조사지역의 잔석수 밀도는 m^2당 1~3개였고 저질은 암반 40%, 전석 30%, 사질 30%로 구성되었다. 저질은 암반과 암반위의 전석, 사질로 이루어져 있으며 홍해삼 은폐의 충분한 장소를 제공하였다.

해당지역의 해조류는 연질해조류와 유절산호말류 및 무절산호말류로 구성되어 있으며 홍해삼 방류수심인 3~5m의 경우 연질해조류 비율이 높고 수심이 깊어질수록 유절산호말류 및 무절산호말류 비율이 높게 나타났다(그림 3.1.34~3.1.36).



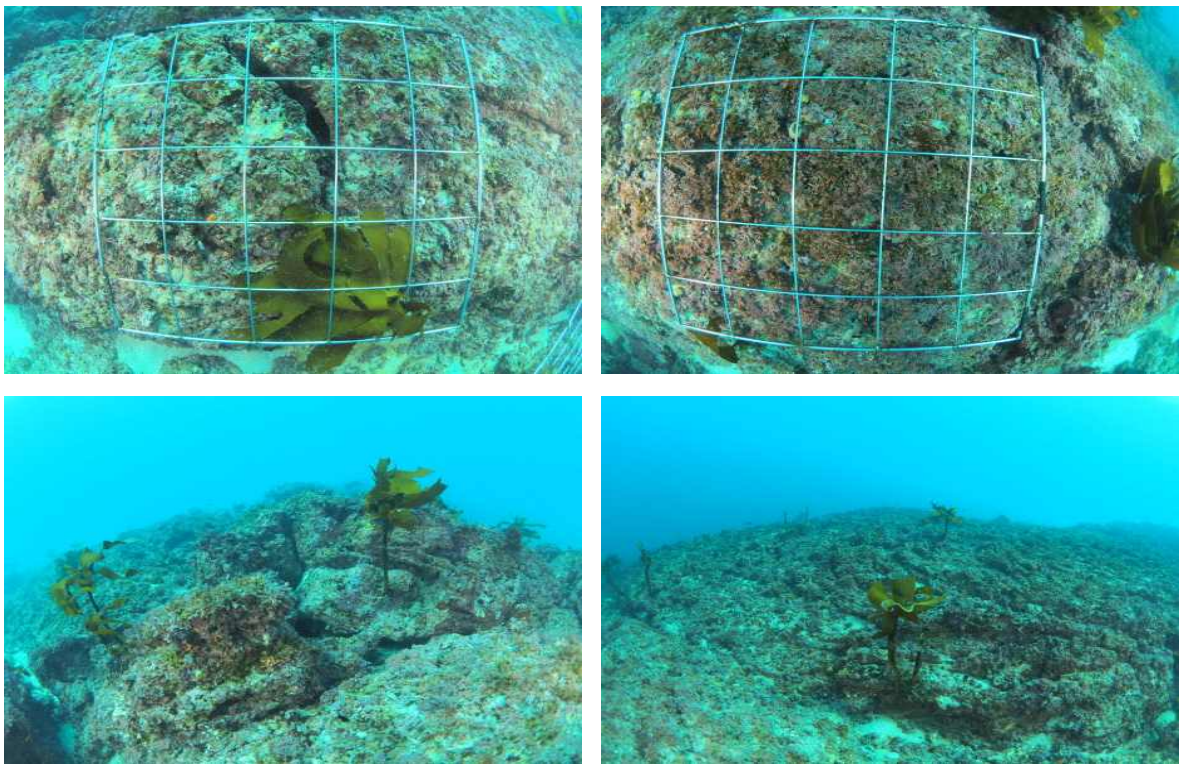
(그림 3.1.34) 행원 마을어장 조사위치



(그림 3.1.35) 행원 마을어장 3m 주변 해조류 서식생태



(그림 3.1.36) 행원 마을어장 6m 주변 해조류 서식생태



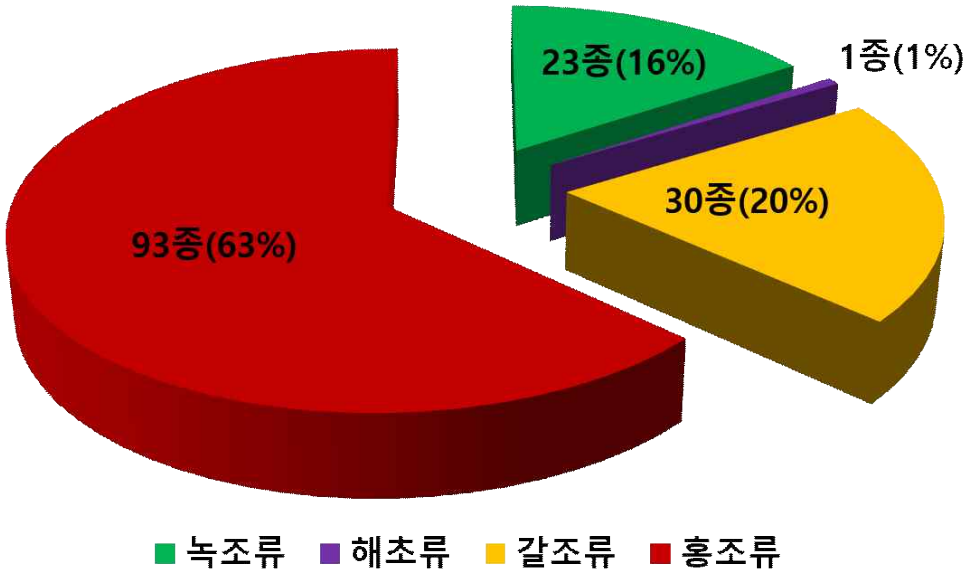
(그림 3.1.37) 행원 마을어장 9m 주변 해조류 서식생태

2. 서식생물 생태조사

2.1. 해조류

2.1.1. 종조성

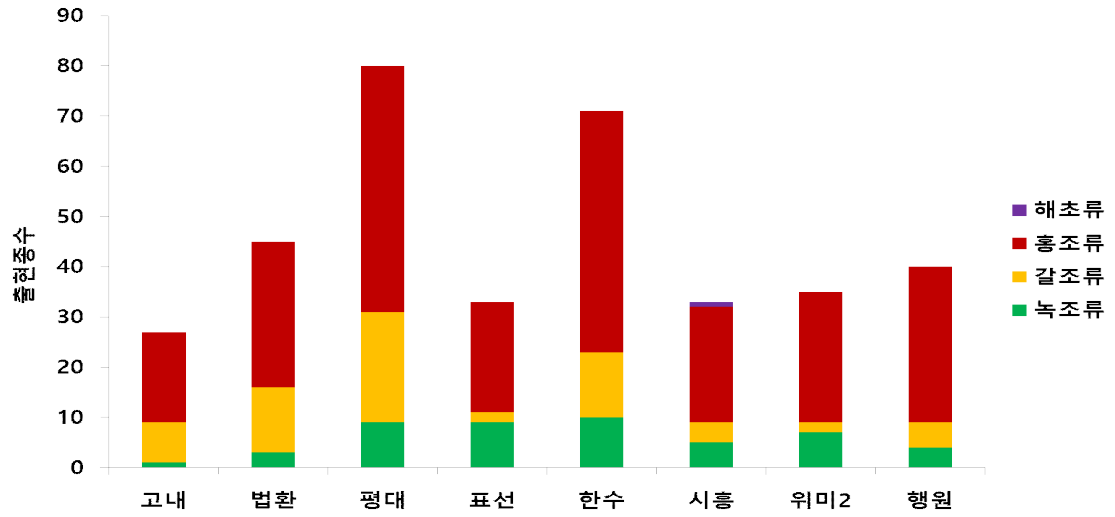
방류 표본어장 내 해조류 전체 출현종의 경우 총 147종이 출현하였다. 분류군별로는 홍조류 93종(63%), 갈조류 30종(20%), 녹조류 23종(16%), 해초류 1종(1%) 순으로 홍조류가 가장 우점하는 것으로 나타났다(그림 3.2.1). 해초류의 경우 잘피로 시흥지역조사에서 발견되었다.



(그림 3.2.1) 방류 표본어장 내 해조류 전체 출현 종조성

지역별 출현종수는 평대 80종(홍조류 49종, 갈조류 22종, 녹조류 9종), 한수 71종(홍조류 48종, 갈조류 13종, 녹조류 10종), 법환 45종(홍조류 29종, 갈조류 13종, 녹조류 3종), 행원 40종(홍조류 31종, 갈조류 5종, 녹조류 4종), 위미2 35종(홍조류 26종, 녹조류 7종, 갈조류 2종), 표선 33종(홍조류 22종, 녹조류 9종, 갈조류 2종), 시흥 33종(홍조류 23종, 녹조류 5종, 갈조류 4종, 해초류 1종), 고내 27종(홍조류 18종, 갈조류 8종, 녹조류 1종) 순으로 나타났다(그림 3.2.2).

조사어장 중 표선지역과 위미2, 시흥지역의 경우 다른 지역과 달리 갈조류보다 녹조류의 출현종수가 높게 나타났다.

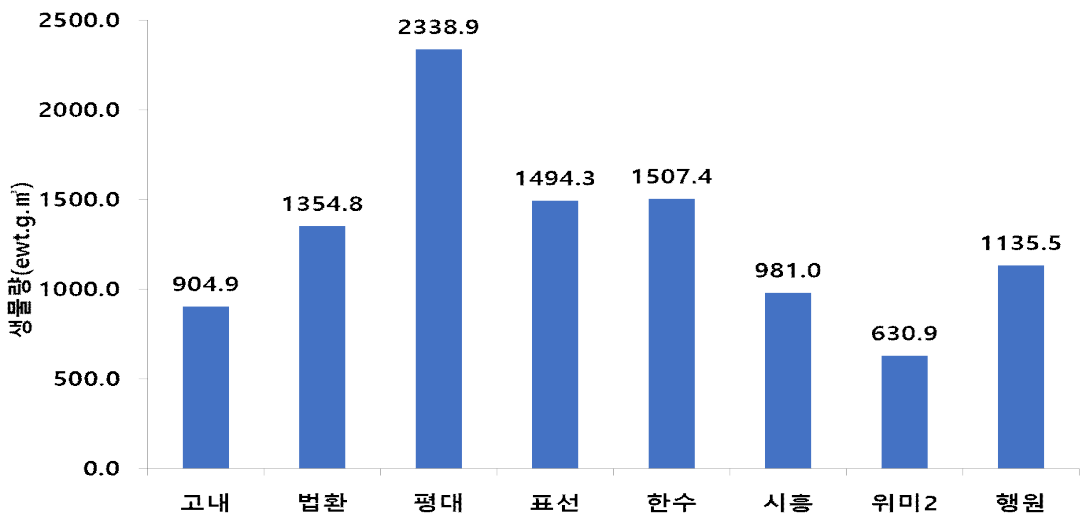


(그림 3.2.2) 방류 표본어장별 해조류 분류군 출현 종수

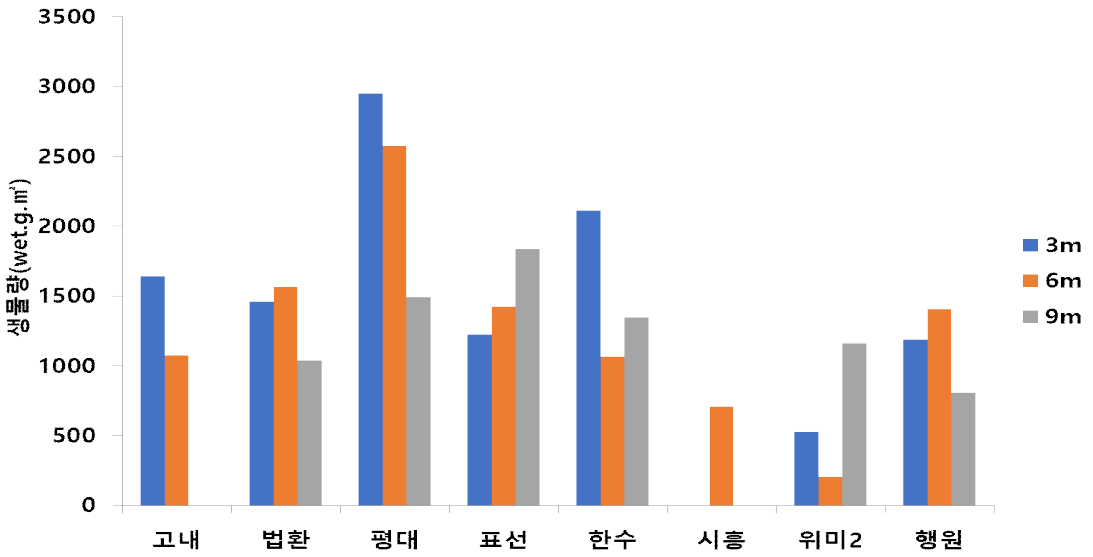
2.1.2. 생물량

지역별 평균 해조류 생물량의 경우 평대 2,338.9 wet.g.m^2, 한수 1,507.4 wet.g.m^2, 표선 1,494.3 wet.g.m^2, 법환 1,354.8 wet.g.m^2, 행원 1135.5 wet.g.m^2, 시흥 981.0 wet.g.m^2, 고내 904.9 wet.g.m^2, 위미2 630.9 wet.g.m^2 순으로 나타났다(그림 3.2.3).

해조류 생물량은 보편적으로 깊은 수심으로 갈수록 점차 낮아지는 현상을 보였으나, 표선 지역의 9m와 행원 지역의 6m에서는 가장 높은 값을 나타냈다. 시흥지역의 경우 다른 지역과 달리 방류지역 전체 수심이 6m 이내로 생물량은 4m 1338.9 wet.g.m^2, 5m 894.3 wet.g.m^2, 6m 709.9 wet.g.m^2 로 수심이 깊어질수록 낮아졌다(그림 3.2.4, 표 3.2.1).



(그림 3.2.3) 방류 표본어장별 해조류 평균 생물량(wet.g.m^2)



(그림 3.2.4) 방류 표본어장별 해조류 수심별 평균 생물량(wet.g.m^2)

<표 3.2.1> 전체 표본어장 수심별 해조류 생물량(wet.g.m^2)

해역	조사시기	3m	6m	9m	평균
고내	5월	1639.1	1075.6	0	904.9
법환	5월	1462.3	1564.7	1037.4	1354.8
평대	5월	2950.4	2573.0	1493.2	2338.9
표선	5월	1223.6	1424.5	1834.6	1494.2
한수	5월	2111.0	1063.6	1347.6	1507.4
시흥	10월	0	709.9 (4m 1338.9, 5m 894.3)	0	981.0
위미2	10월	527.6	205.7	1159.5	630.9
행원	10월	1190.0	1407.4	809.1	1135.5

2.1.3. 우점종

해조류 생물량에 따른 해조류 우점종의 경우 조사 표본어장에서 주로 산호말류로 구성되었으며,

법환, 평대 지역의 경우 감태 등 연질해조류의 우점현상도 나타났다(표 3.2.2).

지역별로 상반기 방류어장 5개소 중 평대지역은 검둥감태 603.1 wet.g.m^2, 새발 320.4 wet.g.m^2, 참도박 299.4 wet.g.m^2 로 나타났으며, 표선지역의 경우 작은구슬산호말 531.0 wet.g.m^2, 잔가지쩍 178.3 wet.g.m^2, 인도쩍 169.6 wet.g.m^2 로 나타났다. 법환지역의 경우 감태 393.3 wet.g.m^2, 미역 271.0 wet.g.m^2, 고리마디게발 200.4 wet.g.m^2 로 나타났으며, 한수지역의 경우 잔가지쩍 283.0 wet.g.m^2, 혹돌잎 201.3 wet.g.m^2, 분홍개서실 173.1 wet.g.m^2 로 나타났다. 고내지역의 경우 방황게발혹 223.6 wet.g.m^2, 작은구슬산호말 161.0 wet.g.m^2, 둘레게발혹 135.8 wet.g.m^2 로 나타났다.

하반기 방류어장 3개소 중 시흥지역의 경우 우뭇가사리 333.9 wet.g.m^2, 참곱슬이179.1 wet.g.m^2, 개우무 170.4 wet.g.m^2 로 나타났으며, 위미2지역의 경우 방황게발혹 196.0 wet.g.m^2, 잔가지쩍137.5 wet.g.m^2, 긴가지산호말 115.7 wet.g.m^2 순으로 나타났다. 행원지역의 경우 방망이가시서실 222.5 wet.g.m^2, 감태 220.1 wet.g.m^2, 긴가지산호말 173.5 wet.g.m^2 순으로 나타났다.

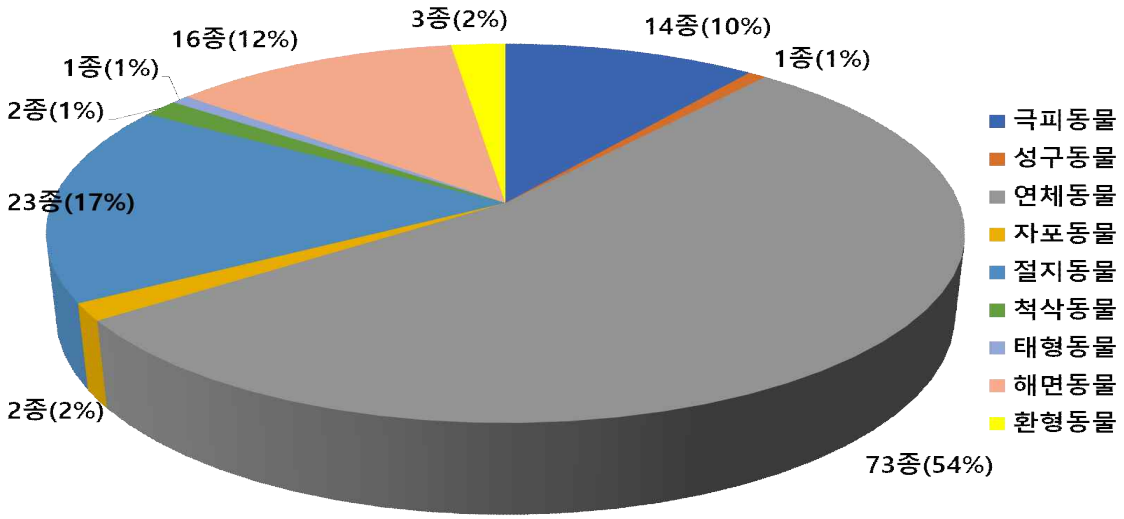
<표 3.2.2> 전체 표본어장 해조류 생물량(wet.g.m^2)에 따른 주요 우점종

표본어장	조사시기	구 분	우점종	생물량 (wet.g.m^2)
고내	5월	우점종	방황게발혹	223.6
		준우점종	작은구슬산호말	161.0
		준우점종	둘레게발혹	135.8
법환	5월	우점종	감태	393.3
		준우점종	미역	271.0
		준우점종	고리마디게발	200.4
평대	5월	우점종	검둥감태	603.1
		준우점종	새발	320.4
		준우점종	참도박	299.4
표선	5월	우점종	작은구슬산호말	531.0
		준우점종	잔가지쩍	178.3
		준우점종	인도쩍	169.6
한수	5월	우점종	잔가지쩍	283.0
		준우점종	혹돌잎	201.3
		준우점종	분홍개서실	173.1
시흥	10월	우점종	우뭇가사리	333.9
		준우점종	참곱슬이	179.1
		준우점종	개우무	170.4
위미2	10월	우점종	방황게발혹	196.0
		준우점종	잔가지쩍	137.5
		준우점종	긴가지산호말	115.7
행원	10월	우점종	방망이가시서실	222.5
		준우점종	감태	220.1
		준우점종	긴가지산호말	173.5

2.2. 저서동물

2.2.1. 종조성

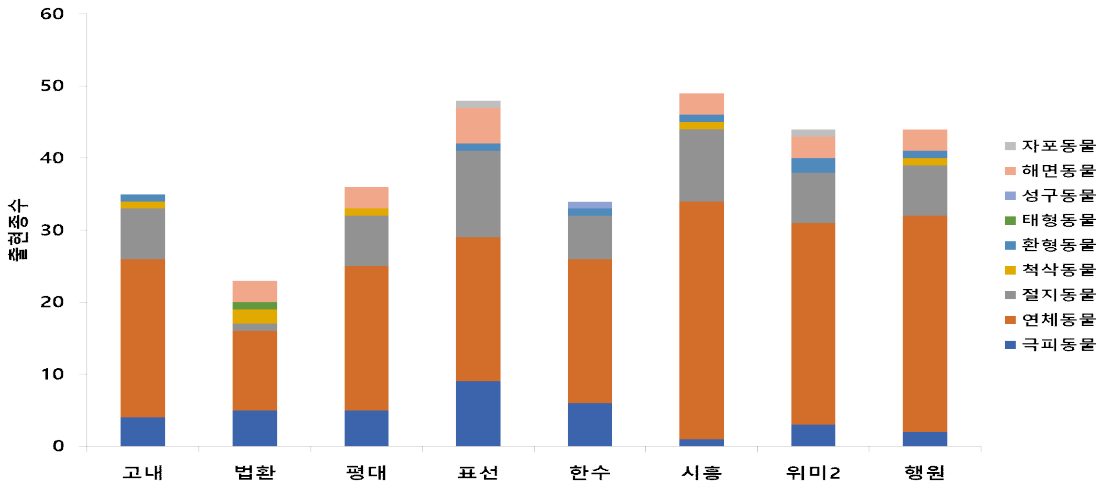
방류 표본어장 내 저서동물 전체 출현종의 경우 총 135종이 출현하였다. 분류군별로는 연체동물 73종(54%), 절지동물 23종(17%), 해면동물 16종(12%)이 전체출현비율의 80%이상을 차지하는 것으로 나타났다(그림 3.2.5).



(그림 3.2.5) 방류 표본어장 내 저서동물 전체 출현 종조성

지역별 출현종수는 시흥 49종(연체동물 33종, 절지동물 10종, 해면동물 3종, 극피동물 1종, 척삭동물 1종, 환형동물 1종), 표선 48종(연체동물 20종, 절지동물 12종, 극피동물 9종, 해면동물 5종, 환형동물 1종, 자포동물 1종), 행원 44종(연체동물 30종, 절지동물 7종, 해면동물 3종, 극피동물 2종, 척삭동물 1종, 환형동물 1종), 위미2 44종(연체동물 28종, 절지동물 7종, 극피동물 3종, 해면동물 3종, 환형동물 2종, 자포동물 1종), 평대 36종(연체동물 20종, 절지동물 7종, 극피동물 5종, 해면동물 3종, 척삭동물 1종), 고내 35종(연체동물 22종, 절지동물 7종, 극피동물 4종, 척삭동물 1종, 환형동물 1종), 한수 34종(연체동물 20종, 절지동물 6종, 극피동물 6종, 환형동물 1종, 성구동물 1종), 법환 23종(연체동물 11종, 극피동물 5종, 해면동물 3종, 척삭동물 2종, 절지동물 1종, 태형동물 1종) 순으로 나타났다.

조사어장 전체에서 연체동물의 출현율이 가장 높았고, 다음으로 절지동물, 극피동물이었으나 법환 지역의 경우 극피동물, 해면동물 순으로 출현율이 높게 나타났다(그림 3.2.6).

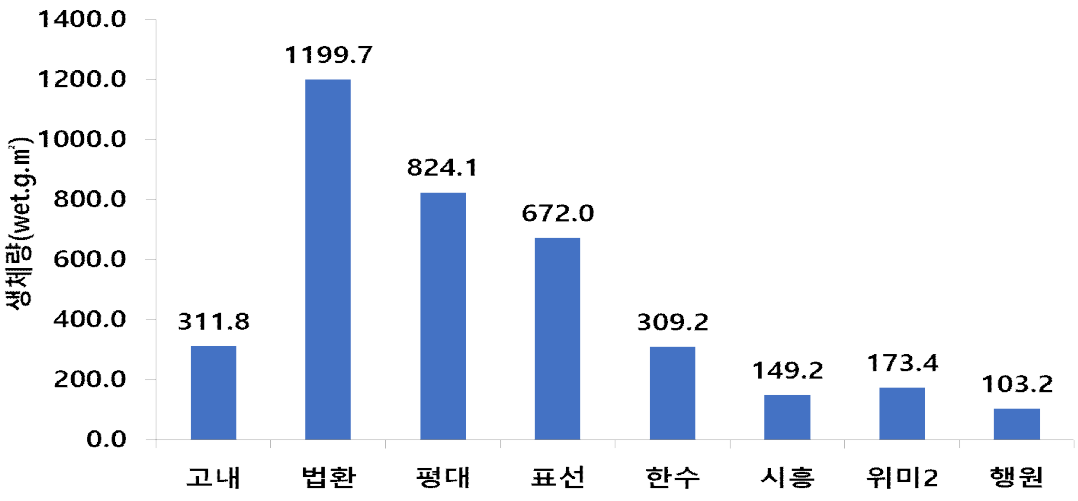


(그림 3.2.6) 방류 표본어장별 저서동물 분류군 출현 종수

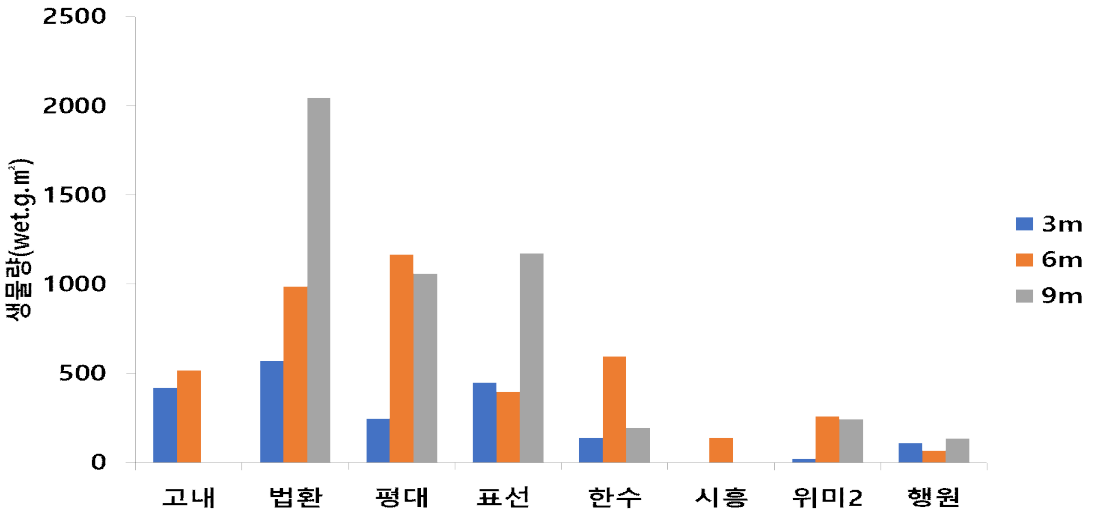
2.2.2. 생물량

지역별 평균 저서동물 생물량의 경우 법환 1199.7 wet.g.m^2, 평대 824.1 wet.g.m^2, 표선 672.0 wet.g.m^2, 고내 311.8 wet.g.m^2, 한수 309.2 wet.g.m^2, 위미2 173.4 wet.g.m^2, 시흥 149.2 wet.g.m^2, 행원 103.2 wet.g.m^2 순으로 나타났다(그림 3.2.7).

저서동물 생물량은 보편적으로 깊은 수심으로 갈수록 점차 높아지는 현상을 보였으나, 평대·한수·위미2 지역의 6m에서는 가장 높은 값을 나타냈다. 시흥지역의 경우 다른 지역과 달리 방류지역 전체 수심이 6m 이내로 생물량은 4m 171.2 wet.g.m^2, 5m 139.9 wet.g.m^2, 6m 136.6 wet.g.m^2 로 수심이 깊어질수록 낮아졌다(그림 3.2.8, 표 3.2.3).



(그림 3.2.7) 방류 표본어장별 저서동물 평균 생물량(wet.g.m^2)



(그림 3.2.8) 방류 표본어장별 저서동물 수심별 평균 생물량(wet.g.m^2)

<표 3.2.3> 전체 표본어장 수심별 저서동물 생물량(wet.g.m^2)

해역	조사시기	3m	6m	9m	평균
고내	5월	417.6	517.8	0	311.8
법환	5월	568.7	985.3	2,045.3	1,199.7
평대	5월	246.2	1167.8	1058.4	824.1
표선	5월	447.9	396.9	1,171.2	672.0
한수	5월	138.6	595.1	193.9	309.2
시흥	10월	0	136.6 (4m 171.2, 5m 139.9)	0	149.2
위미2	10월	20.8	258.0	241.3	173.4
행원	10월	109.8	66.3	133.5	103.2

2.2.3. 우점종

저서동물 생물량에 따른 우점종의 경우 조사 표본어장에서 주로 산호말류로 구성되었으며, 법환, 평대 지역의 경우 감태 등 연질해조류의 우점현상도 나타났다(표 3.2.4).

지역별로 상반기 방류어장 5개소 중 고내지역은 가시두드럭게 206.3 wet.g.m^2, 군부 23.0 wet.g.m^2, 군소 19.3 wet.g.m^2 로 나타났으며, 법환지역의 경우 가는줄연두군부 1057.2 wet.g.m^2,

구멍밤고둥 90.8 wet.g.m^2, 긴팔불가사리 10.6 wet.g.m^2 로 나타났다. 평대지역의 경우 가시두드럭게 550.7 wet.g.m^2, 갯주걱벌레 83.4 wet.g.m^2, 검정해변해면군체 29.6 wet.g.m^2 로 나타났으며, 표선지역의 경우 가시두드럭게 245.3 wet.g.m^2, 갯주걱벌레 122.1 wet.g.m^2, 검정해변해면군체 110.6 wet.g.m^2 로 나타났다. 한수지역의 경우 갯고둥 162.4 wet.g.m^2, 긴뿔매물고둥 62.1 wet.g.m^2, 꼬마군부 17.0 wet.g.m^2 로 나타났다.

하반기 방류어장 3개소 중 시흥지역의 경우 보말고둥 39.2 wet.g.m^2, 두드럭고둥 20.2 wet.g.m^2, 팽이고둥 20.0 wet.g.m^2 로 나타났으며, 위미2지역의 경우 소라 82.1 wet.g.m^2, 바퀴고둥 23.3 wet.g.m^2, 보말고둥 17.3 wet.g.m^2 순으로 나타났다. 행원지역의 경우 보말고둥 28.5 wet.g.m^2, 팽이고둥 19.0 wet.g.m^2, 바퀴고둥 11.1 wet.g.m^2 순으로 나타났다.

<표 3.2.4> 전체 표본어장 저서동물 생물량(wet.g.m^2)에 따른 주요 우점종

표본어장	조사시기	구 분	우점종	생물량 (wet.g.m^2)
고내	5월	우점종	가시두드럭게	206.3
		준우점종	군부	23.0
		준우점종	군소	19.3
법환	5월	우점종	가는줄연두군부	1,057.2
		준우점종	구멍밤고둥	90.8
		준우점종	긴팔불가사리	10.6
평대	5월	우점종	가시두드럭게	550.7
		준우점종	갯주걱벌레	83.4
		준우점종	검정해변해면군체	29.6
표선	5월	우점종	가시두드럭게	245.3
		준우점종	갯주걱벌레	122.1
		준우점종	검정해변해면군체	110.6
한수	5월	우점종	갯고둥	162.4
		준우점종	긴뿔매물고둥	62.1
		준우점종	꼬마군부	17.0
시흥	10월	우점종	보말고둥	39.2
		준우점종	두드럭고둥	20.2
		준우점종	팽이고둥	20.0
위미2	10월	우점종	소라	82.1
		준우점종	바퀴고둥	23.3
		준우점종	보말고둥	17.3
행원	10월	우점종	보말고둥	28.5
		준우점종	팽이고둥	19.0
		준우점종	바퀴고둥	11.1

3. 방류종자 추적조사

3.1. 평대

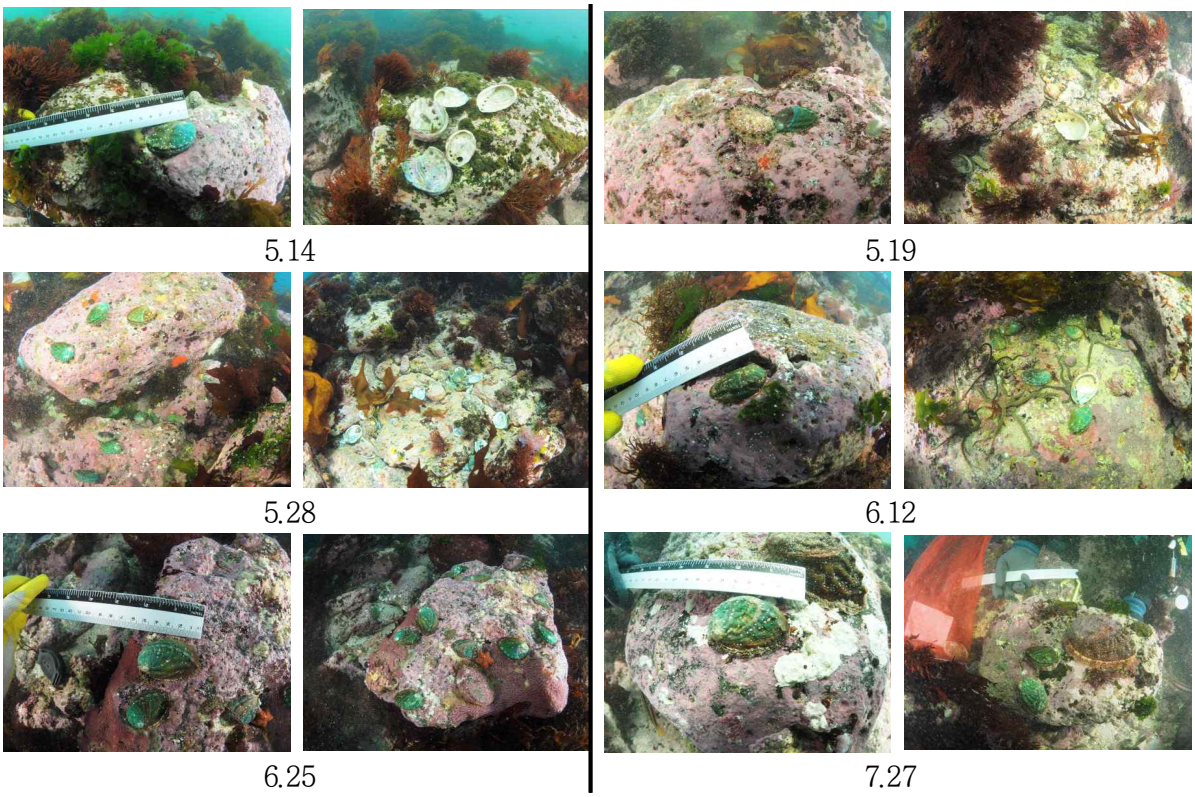
평대 전복 방류지역의 경우 저질형태는 전석(80%), 암반(20%)로 구성되었으며, 잔석 밀도는 1~6 개/m^2로 조사되었다. 방류지역은 서쪽으로 포구 방파제와 북쪽으로 외해와 면해 있으며 북-북서, 북-북동쪽에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받는 지역이었다. 방류는 수심 1.0~2.5m에 위치한 암반 위 전석 지형 내에서 이루어졌다. 수중지형조사결과 해당지역은 방류한 전복이 은폐할 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다(그림 3.3.1).

추적조사는 5월 14일부터 7월 27일까지 주단위로 이루어졌다. 조사를 거듭할수록 많은 양의 전복 치패가 발견되었으며, 반대로 패각수는 감소하였다. 따라서 방류 전복은 큰 전석이나 깊은 곳으로 잠입한 것으로 추정된다.

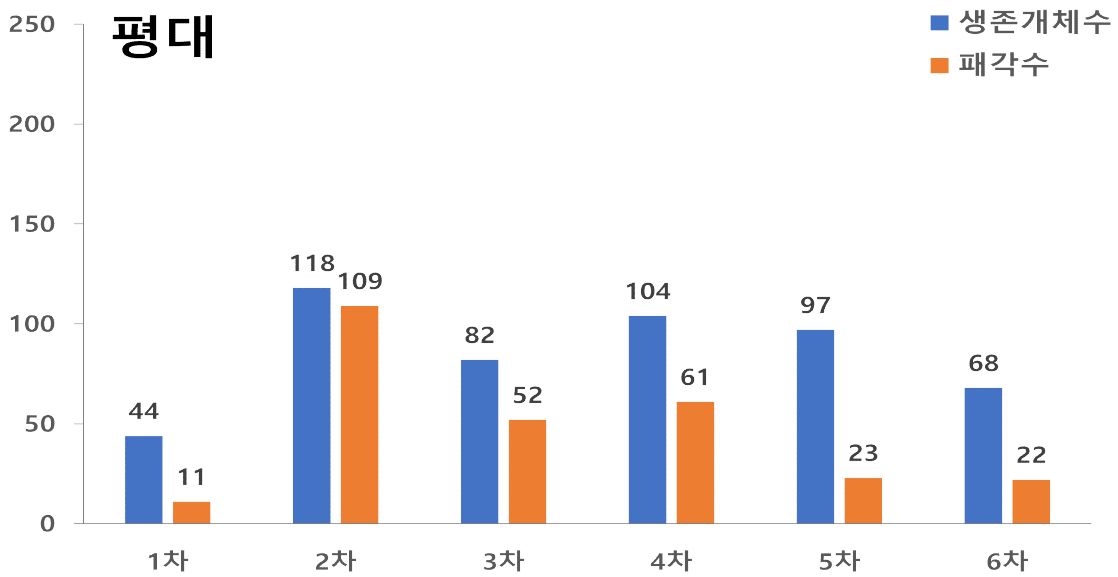
해당지역은 방류 개체 이외에 15cm 전복도 3개체 이상씩 발견되었다. 수중지형조사, 서식생태조사 및 추적조사결과 해당지역은 전반적으로 방류종자의 은폐 및 먹이활동에 유리한 조건이며, 방류 후 서식상태도 양호한 것으로 판단된다(그림 3.3.2, 3.3.3).



(그림 3.3.1) 전복 방류 위치(평대)



(그림 3.3.2) 시기별 평대 전복 방류어장 추적조사



(그림 3.3.3) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(평대)

3.2. 표선

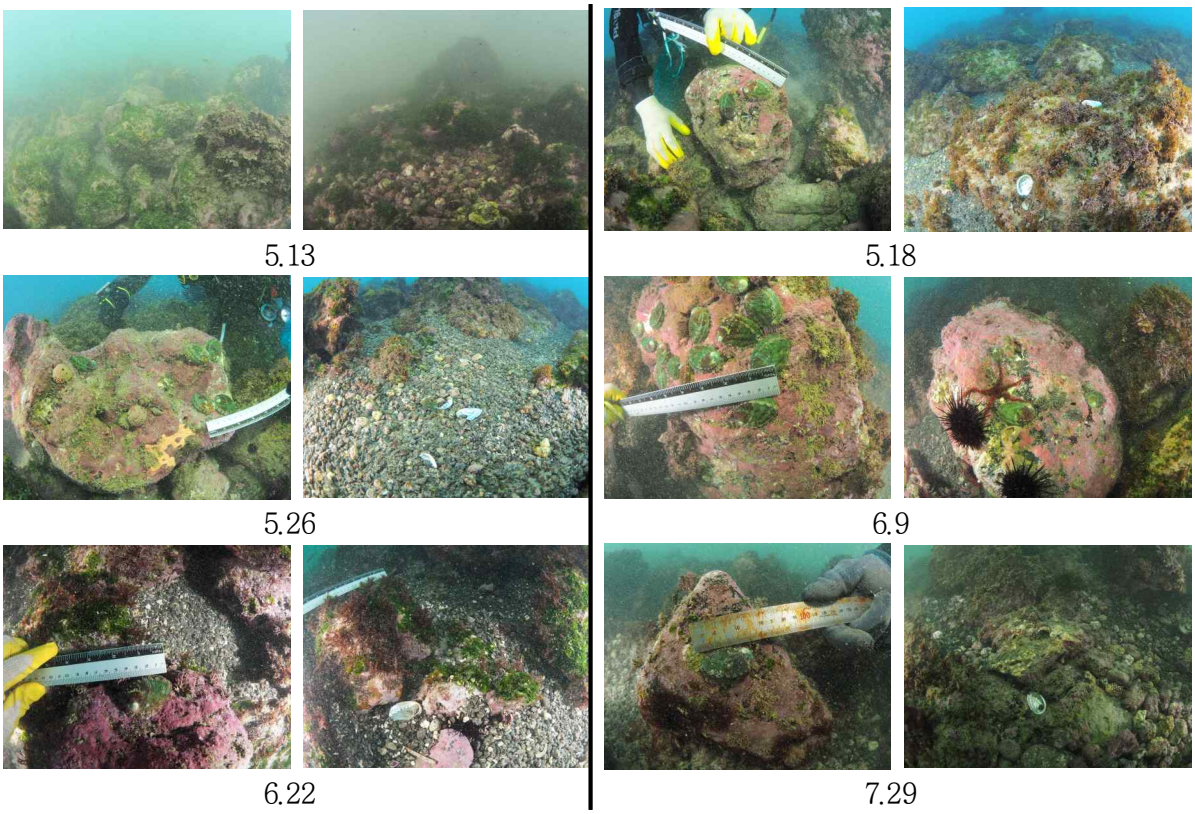
표선 전복 방류지역의 경우 저질형태는 전석(70%), 사니질(15%), 자갈(10%), 사질(5%)로 구성되었으며 잔석 밀도는 1~5 개/m^2로 조사되었다. 방류지역은 광어 양식장 앞 해안으로 남쪽으로 외해와 면해있으며 남-남서, 남-남동쪽에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받는 지역이었다. 방류는 수심 1.0~2.5m에 위치한 사질과 사니질 위 전석 지형 내에서 이루어졌다. 저질이 대부분 사질과 전석으로 이루어져 파도에 의해 퇴적되어 있던 사질이 흩날려 시야확보가 어려울 때가 많은 지역이나, 수중지형 조사결과 해당지역은 방류한 전복이 은폐할 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다(그림 3.3.4).

추적조사는 5월 13일부터 7월 29일까지 주단위로 이루어졌다. 조사를 거듭할수록 많은 양의 전복 치패가 발견되었으며, 반대로 패각수는 감소하였다. 따라서 방류 전복은 큰 전석이나 깊은 곳으로 잠입한 것으로 추정된다.

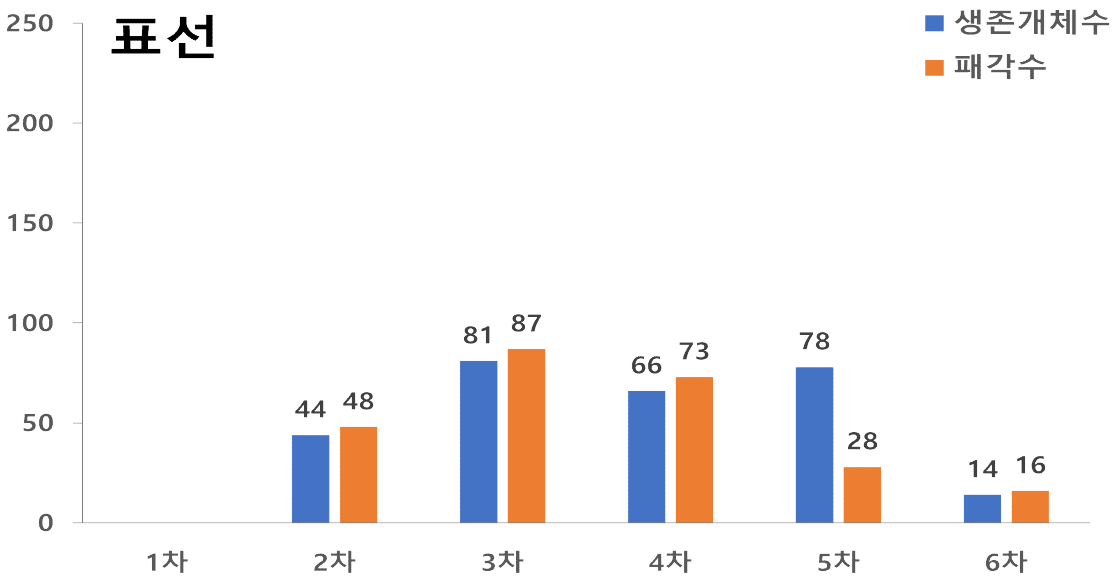
해당지역은 방류 개체 이외에 오분자기도 발견되었다. 수중지형조사, 서식생태조사 및 추적조사결과 해당지역은 전반적으로 방류종자의 은폐에 유리한 조건이며, 방류 후 서식상태도 양호한 것으로 판단된다. 그러나 해당지역은 산호말류 우점도가 높은 갯녹음현상이 나타나 먹이활동에는 다소 불리할 것으로 사료된다(그림 3.3.5, 3.3.6).



(그림 3.3.4) 전복 방류 위치(표선)



(그림 3.3.5) 시기별 표선 전복 방류어장 추적조사



(그림 3.3.6) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(표선)

3.3. 법환

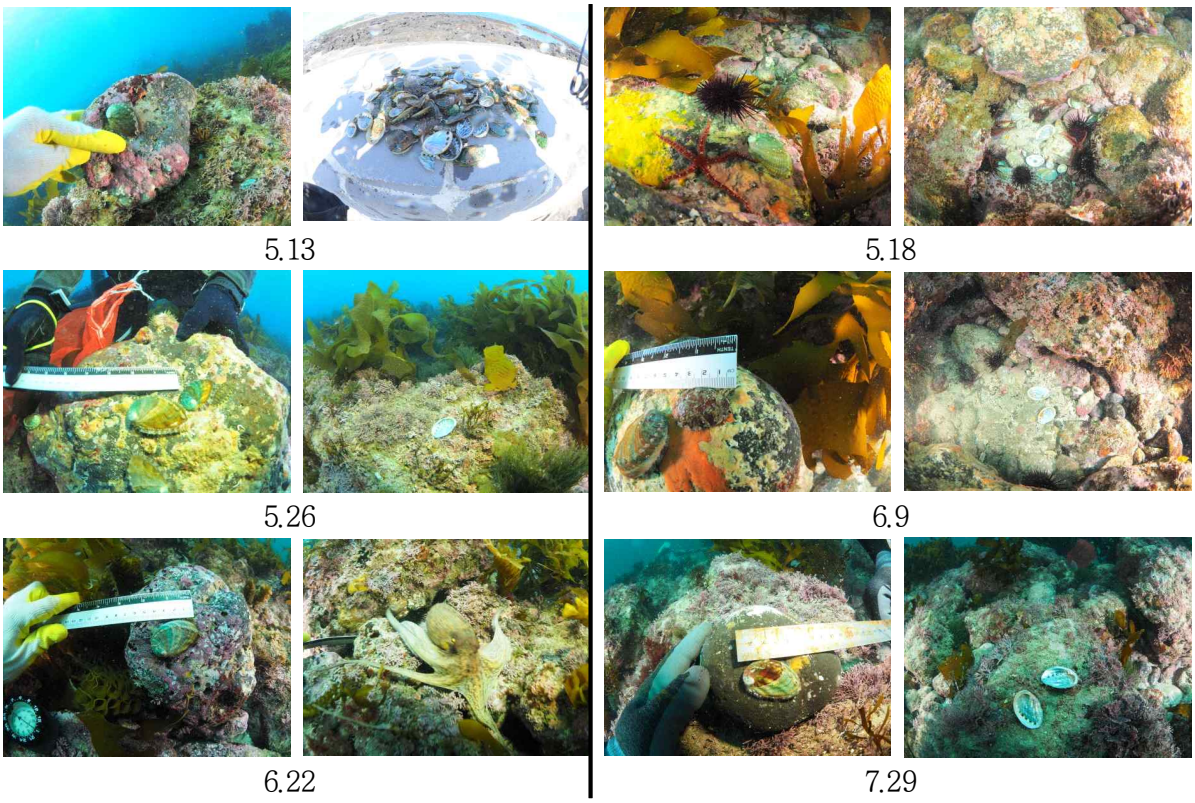
법환 전복 방류지역의 경우 저질형태는 암반(50%), 전석(40%), 자갈(10%)로 구성되었으며 잔석 밀도는 1~3 개/m^2로 조사되었다. 방류지역은 해녀의집 앞 해안으로 남쪽으로 외해와 면해있으며 남-남서, 남-남동쪽에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받는 지역이었다. 방류는 수심 2.5~6.0m에 위치한 암반 위 전석 지형 내에서 이루어졌다. 저질이 대부분 암반과 전석으로 이루어져 있으며 조석과 파도에 의한 해수 소통이 원활한 지역이었다. 수중지형 조사결과 해당지역은 방류한 전복이 은폐할 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다(그림 3.3.7).

추적조사는 5월 13일부터 7월 29일까지 주단위로 이루어졌다. 추적조사시 많은 양의 전복 치패가 발견되었으며 매주 단위 조사시 발견되는 패각의 개체수가 증가하였다.

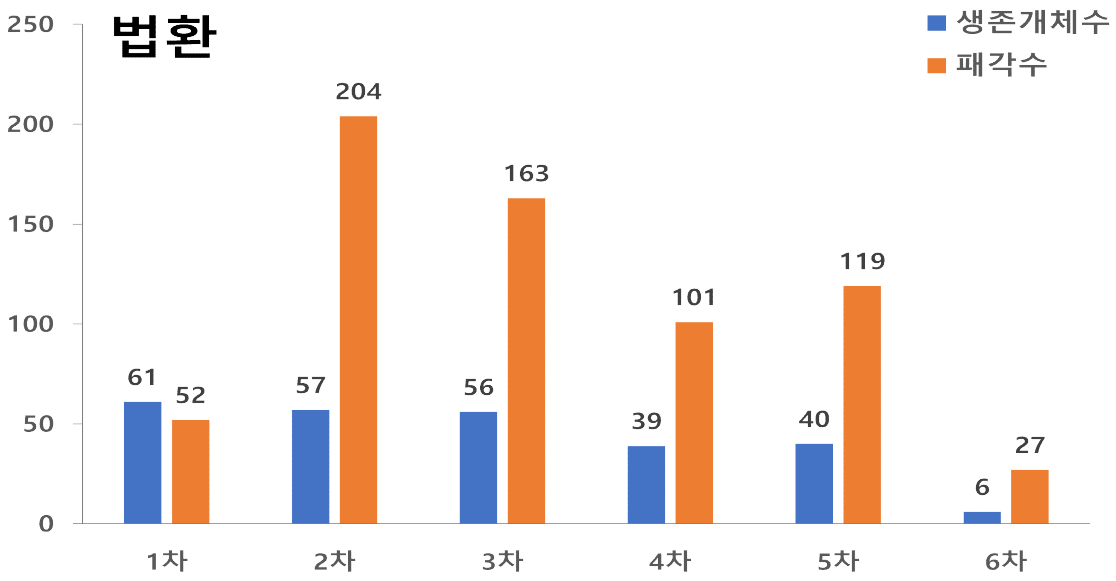
해당지역은 방류 개체 이외에 오분자기도 발견되었다. 수중지형조사, 서식생태조사 및 추적조사결과 해당지역은 전반적으로 방류종자의 은폐 및 먹이활동에 유리한 조건이나 방류 전복의 폐사율이 지속적으로 높게 나타나는 특징을 나타냈다(그림 3.3.8, 3.3.9).



(그림 3.3.7) 전복 방류 위치(법환)



(그림 3.3.8) 시기별 법환 전복 방류어장 추적조사



(그림 3.3.9) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(법환)

3.4 한수

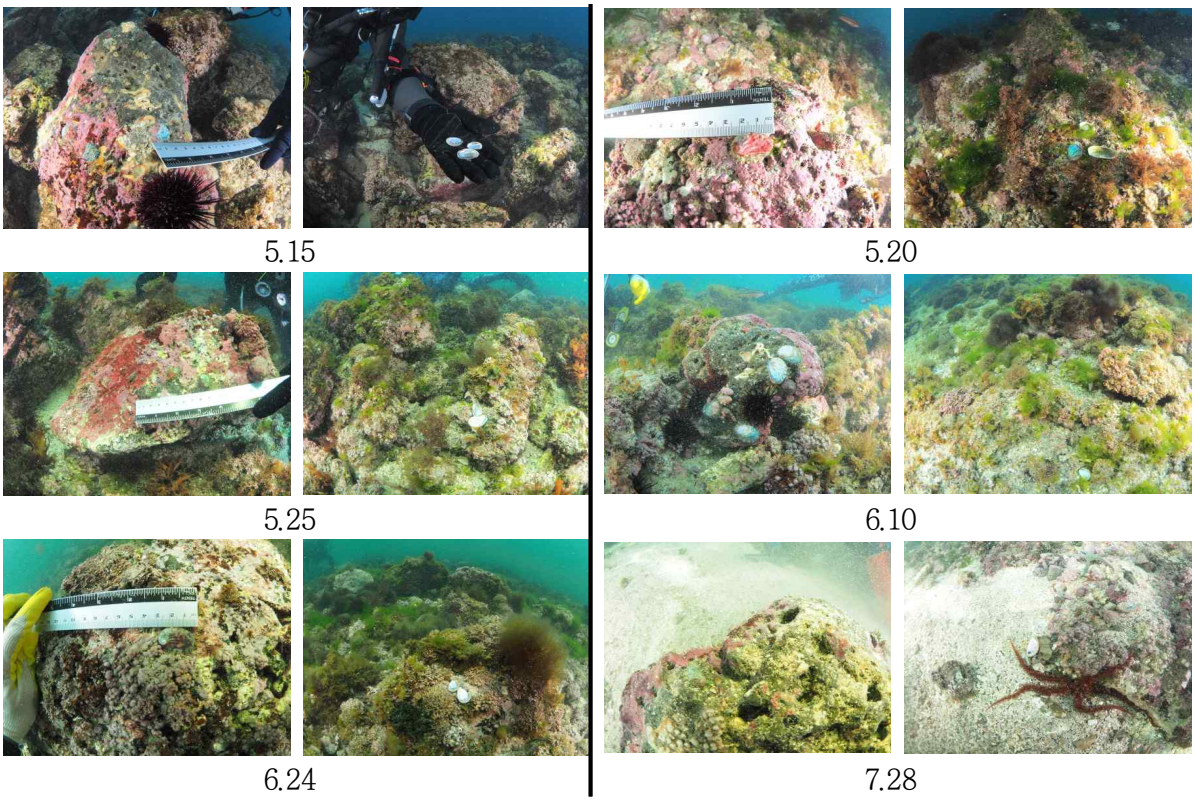
한수 오분자기 방류지역의 경우 저질형태는 암반(50%), 전석(30%), 자갈(10%), 사니질(10%)로 구성되었으며 잔석 밀도는 1~7 개/m^2로 조사되었다. 방류지역은 한림 조선소 앞 해안으로 북동쪽으로 외해와 면해있으며 북-북서, 북-북동쪽에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받는 지역이었다. 방류는 수심 1.0~2.5m에 위치한 암반 위 전석 지형 내에서 이루어졌다. 수중지형 조사결과 해당지역은 방류한 오분자기가 은폐할 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다(그림 3.3.10).

추적조사는 5월 15일부터 7월 28일까지 주단위로 이루어졌다. 조사를 거듭할수록 많은 양의 오분자기 치패가 발견되었으며, 반대로 패각수는 감소하였다. 따라서 방류 오분자기는 큰 전석이나 깊은 곳으로 잠입한 것으로 추정된다.

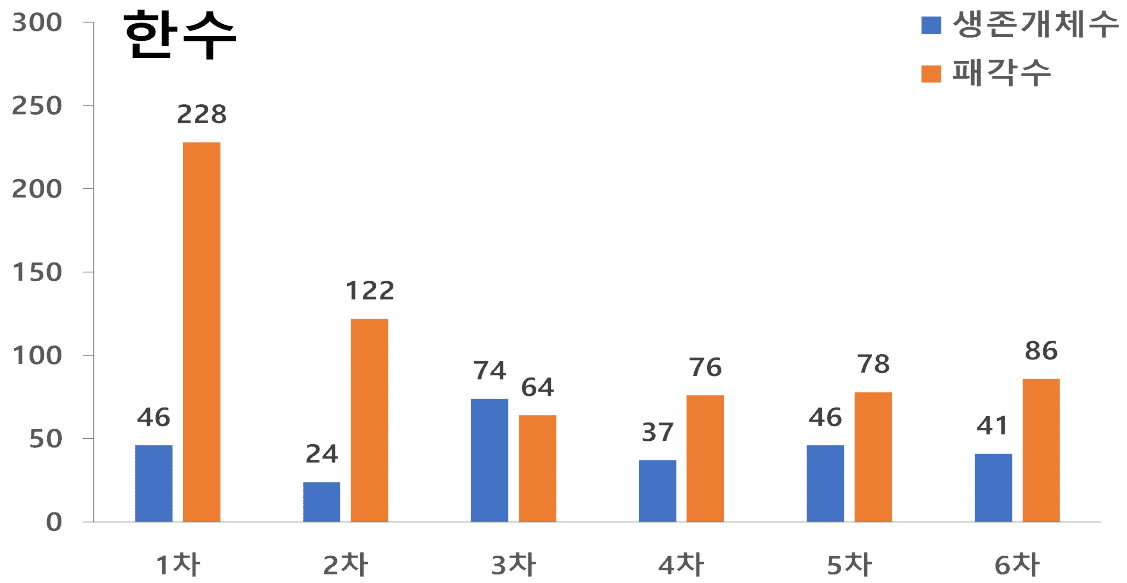
수중지형조사, 서식생태조사 및 추적조사결과 해당지역은 전반적으로 방류종자의 은폐 및 먹이활동에 유리한 조건이며, 방류 후 서식상태도 양호한 것으로 판단된다(그림 3.3.11, 3.3.12).



(그림 3.3.10) 오분자기 방류 위치(한수)



(그림 3.3.11) 시기별 한수 오분자기 방류어장 추적조사



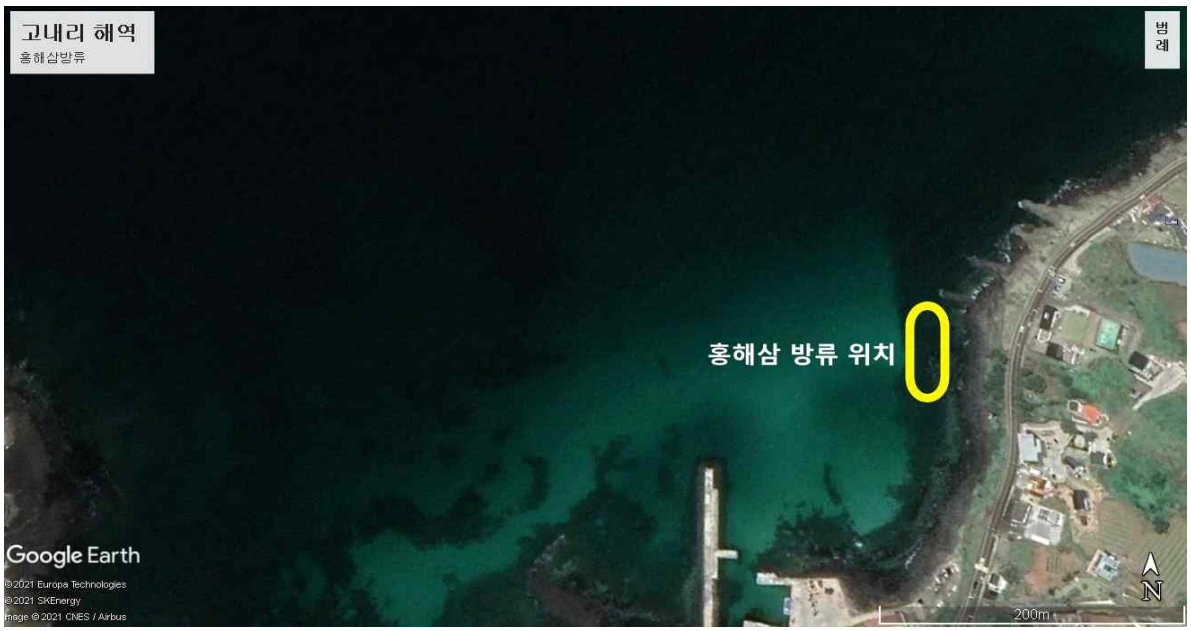
(그림 3.3.12) 추적조사 시기별 발견되는 생존개체수 및 패각수(한수)

3.5 고내

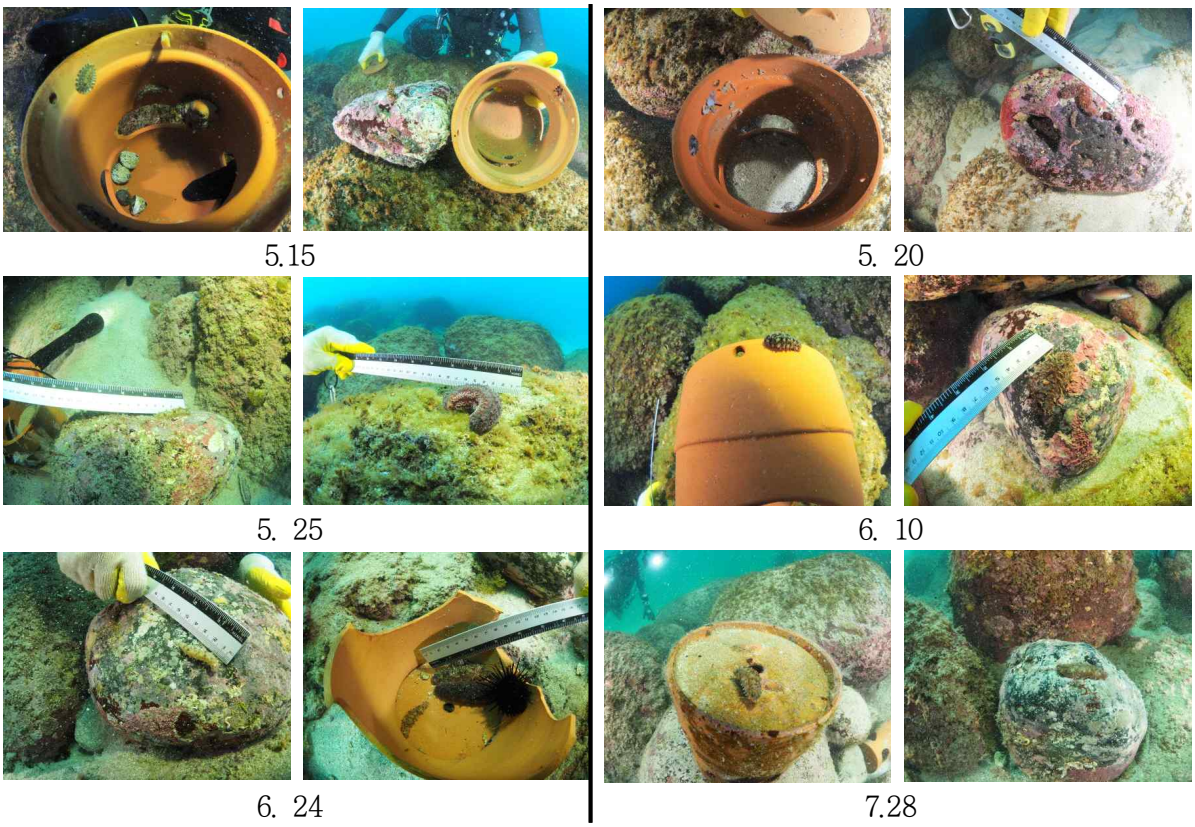
고내 홍해삼 방류지역의 경우 저질형태는 전석(80%), 사질(20%)로 구성되었으며 잔석 밀도는 1~2 개/m^2로 조사되었다. 방류지역은 서쪽으로는 포구 방파제와 동쪽으로는 절벽 밑 전석 해안으로 북-북서쪽에서 불어오는 바람의 영향을 직접적으로 받는 지역이었다. 방류는 수심 1.0~3.0m에 위치한 사질 위 전석 지형 내에서 이루어졌다. 수중지형 조사결과 해당지역은 방류한 홍해삼이 은폐할 충분한 공간을 제공할 것으로 판단되었다(그림 3.3.13).

추적조사는 5월 15일부터 7월 28일까지 주단위로 이루어졌다. 추적조사시 해당어장의 전석의 큰 형태로 인해 많은 양의 종자를 찾아볼 수는 없었으나, 큰 전석 밑으로 잠입했을 것으로 추정된다.

해당지역은 방류 개체 이외에 홍해삼 한두개체씩 발견되었다. 수중지형조사, 서식생태조사 및 추적조사결과 해당지역은 전반적으로 전석의 형태가 방류종 포획이 어려워 해녀들의 조업활동시 먹이활동을 위해 전석 외부로 나온 방류 종자를 채취할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 해당지역이 먹이경쟁과 천적이 거의 없어 방류 이후 일정기간이 지난 경우 회수율이 높을 것으로 판단된다(그림 3.3.14).



(그림 3.3.13) 홍해삼 방류 위치(고내)



(그림 3.3.14) 시기별 고내 홍해삼 방류어장 추적조사

제4장 종합고찰

1. 요약 및 고찰

수산종자 방류사업 효과조사는 제주도 매입방류사업 대상지역 중 표본어장 8개소에 대한 품종별 방류효과 분석을 통해 향후 수산자원조성사업의 효율성을 높이기 위한 기초자료로 활용하는데 목적이 있다.

2021년도 조사에서는 수중지형 및 생물서식 생태조사를 실시하여 전반적인 방류지역의 생태환경을 분석하였다, 또한 방류품종에 대한 방류효과를 분석하기 위해 방류 종자에 대한 추적조사를 실시하였다.

1.1 수중지형조사

전복 방류어장인 평대, 표선, 법환지역의 수중지형조사 결과 해수소통이 원활하고 수심이 1~10m 전후로 비교적 완만하게 형성되어 있으며, 방류수심에는 우뭇가사리, 감태, 모자반 등 유용해조류 서식밀도가 양호하였다. 또한, 저질의 경우 암반과 전석으로 이루어진 지형이었다. 따라서 전복의 은폐와 먹이활동에 적합한 방류지형인 것으로 판단된다. 그러나 표선지역의 경우 전반적으로 산호말류에 의한 갯녹음현상이 나타남에 따라, 방류지점 선정시 상대적으로 해조류의 서식밀도가 풍부한 지점을 선정하여 방류가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

오분자기 방류어장인 한수, 위미2, 시흥지역의 수중지형조사 결과 해수소통이 원활하고 수심이 1~10m 전후로 비교적 완만하게 형성되어 있으며, 저질의 경우 암반과 전석 또는 암반으로 이루어져 있는 지역이었다. 따라서 오분자기 은폐에 유리한 지형으로 판단된다. 그러나 한수지역의 경우 수중암초가 크게 발달되어 있지 않아 파도 등 물리적인 영향을 많이 받을 것으로 예상되며, 시흥지역의 경우에도 바람과 파도의 영향을 크게 받아 향후 방류지점 선정시 물리적인 영향을 상쇄해줄수 있는 지형이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

특히 한수지역의 경우 수심이 깊어질수록 아열대생물종인 거품돌산호의 서식밀도가 매우 높게 나타났는데, 거품돌산호(*Alveopora japonica*)는 저서무척추동물 중 이동성이 적어 일시적 환경변화 또는 연안 환경을 모니터링하는 지표종으로 열대 및 아열대성 기후 서식종으로 알려져 있다(심, 2021). 따라서 거품돌산호가 발견되는 지역은 아열대화가 진행되었음을 암시하고 있으며 이는 기존에 서식하고 있는 생물군집구조에 영향을 미칠 수 있어 향후 방류시기, 방류지점 선정시 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

일반적으로 해삼 적지요건은 수온 12~18 ℃, 염분 28~34 psu, 인산염 0.05 mg/L 이하, 용존무기질소 0.6 mg/L 이하, 용존산소 5.0 mg/L 이상, pH 7.8~8.3이어야 하며, 저질환경의 경우 모래비율이 50~60%, 저질 COD 20 mg O^2/g DM 이하, AVS는 0.5 mg S/g DM 이하가 좋은 것으로 알려져 있다. 지형적으로는 은신처 역할을 할 수 있는 해조류 군락 또는 암석이 넓게 분포하는 곳이 좋고 담수영향이 적고 인근 오염원 및 부영양화 요건이 없으며, 풍파에 의한 영향이 적은 곳이어야 한다(오 등., 2015).

홍해삼 방류어장인 고내, 행원지역의 수중지형조사 결과 해수소통이 원활하고 수심이 1~10m 전후로 비교적 완만하게 형성되어 있었다. 저질의 경우 암반과 전석으로 이루어져 있고 저층은 사질이 55% 이상으로 구성되어 있었다. 행원지역의 경우 방류수심대에는 해조류 서식비율이 상대적으로 높게 나타났다. 따라서 적지요건에 비추어보았을 때 고내와 행원지역 모두 홍해삼 방류에 적합한 지형으로 판단된다.

1.2 서식생물 생태조사

해조류는 다양한 어패류 및 무척추동물의 산란, 생육 및 먹이활동 등 연안생태계의 생물다양성 유지에 중요한 역할을 담당하며(Terawaki et al., 2001), 해수의 영양염을 흡수하는 생물정화자(bio-filter)이자 인간활동에 의한 오염 및 기후변화에 의해 군집구조가 변하는 생물지표종(bio-indicator)으로 많은 연구자들에 의해 활용되고 있을 만큼 생태계에서 중요도가 높다(김 등., 2013). 또한 저서무척추동물은 이동성이 적어 해역의 환경을 모니터링하고 다양도와 개체수는 해당 생태계의 건강도를 판단하는 지표로 활용되고 있다(고 등., 2011). 따라서 해조류와 저서생물 생태조사는 해당 해역의 생태구조를 이해하는 기초데이터로서 중요하다고 할 수 있다.

해조류 및 저서생물 생태조사는 조사지역 내 2개 지선을 설정한 뒤 수심별로 다이버를 이용하여 사진 및 영상촬영과 채집조사를 진행하였다. 해조류 출현종의 경우 총 147종(홍조류 93종, 갈조류 30종, 녹조류 23종, 해초류 1종)이 출현하였으며, 공통적으로 홍조류가 가장 우점하였다. 해초류의 경우 시흥 방류어장에서 잘피가 발견되었다. 2020년 국가 해양생태계 종합조사 결과(해양환경공단, 2021), 제주 해역 조간대 해조류 출현종수는 총 102종(녹조류 7종, 갈조류 23종, 홍조류 72종)으로 이번 조사결과에서 이보다 많은 종이 출현하였다.

지역별 출현종수의 평대, 한수, 법환, 행원, 위미2, 표선, 시흥, 고내 순이었다. 해조류 출현종수와 생물량은 지역별로 차이를 보였으며, 이는 지역마다 다른 자연적인 여건(수심, 지형, 광량 등) 뿐만 아니라 인위적인 여건(인간활동, 오염정도 등)이 전반적인 해조류의 생육상태에 영향을 미친 결과로 판단된다. 또한 수심별 해조류 생물량의 경우 지역별로 전반적으로 낮은 수심대에서 생물량이 높고

수심이 깊어질수록 점차 낮아지는 경향을 보였는데, 이는 조간대 얕은 수심의 경우 투과되는 광량이 높고 육지부에서 유입되는 영양염이 많기 때문인 것으로 판단된다.

우점종의 경우 전복방류어장 중 평대와 법환지역은 감태류가 최우점하였다. 해조숲을 형성하는 대형갈조류를 켈프(Kelp)라고 하는데 감태(*Ecklonia cava*)는 모자반(*Sargassum* spp.)과 함께 대형갈조류인 켈프종으로 인공 해중림 조성에 주요한 종이며(성, 2010), 갯녹음현상으로 인한 기능을 상실한 연안해역의 복원과 이산화탄소(CO_2) 흡수원으로 중요한 역할을 담당한다. 따라서 전복방류어장 중 평대와 법환지역은 주요 우점종이 감태로서 건강한 해조류 생태계를 유지하고 있으며, 전복의 먹이활동에도 유리한 여건인 것으로 판단된다. 반면 표선지역의 경우 작은구슬산호말이 최우점하였는데, 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*)은 홍조식물문(Rhodophyta)의 온대성 산호말류로 우리나라 전 연안에 분포하며 석회질로 이루어져 있다. 특히 작은구슬산호말과 방황혹산호말(*Corallina aberrans*), 고리마디게발(*Amphiloa beauvoisii*)은 수온상승에 따라 생육이 증가하는 것으로 예상되어 해양생물종 중 기후변화 지표종으로 선정되기도 하였다(국립공원 연구원, 2019). 따라서 표선지역은 기후변화에 의한 수온상승이 지속적으로 이루어진 지역으로 판단되며, 전복의 먹이활동에는 다소 불리한 여건으로 판단된다. 앞으로 기후변화에 따른 아열대화가 확장되는 상황에서 전복방류시 상대적으로 전복이 선호하는 해조류가 풍부한 환경을 탐색하여 방류하거나 환경에 맞는 방류종의 선정이 필요할 것으로 사료된다.

오분자기 방류어장 중 한수지역은 잔가지쩍이 최우점하였고, 위미2지역은 방황게발혹, 시흥지역은 우뭇가사리가 우점하였다. 위미2지역의 경우 갯녹음 현상이 나타나고, 한수와 시흥지역의 경우 특별한 해조류 우점현상은 나타나지 않았다.

홍해삼 방류어장인 고내지역의 경우 방황게발혹이, 행원지역의 경우 방망이가시서실이 최우점하였다. 해조류 우점종 분석결과 고내 지역의 경우 갯녹음 현상이 나타나지만 주변에 먹이경쟁이 적고 저질이 사질로 구성되어 있어, 먹이활동은 양호할 것으로 판단된다. 상대적으로 행원 지역의 경우 유용해조류 서식상태가 양호하여 홍해삼 은폐와 먹이활동에 유리할 것으로 판단된다.

저서동물 출현종의 경우 총 135종이 출현하였으며, 분류군 중 연체동물, 절지동물이 80%이상 출현하였다. 고 등.(2011)은 제주 연안 저서무척추동물은 총 166종이 출현하였으며, 연체동물의 우점하는 이유는 제주도 주변 연안역이 주로 수평·수직으로 이루어진 암반에 의해 이를 공간 또는 부착기질로 활용하는 연체동물과 절지동물, 자포동물의 비율이 높다고 보고하였다. 이번 조사결과는 이보다 적은 종이 출현하였으며 이는 이번조사가 1회 조사에 그친 결과 상대적으로 적은 종이 집계된 것으로 판단된다.

지역별 출현종수의 경우 시흥, 표선, 행원, 위미2, 평대, 고내, 한수, 법환 순으로 나타났다. 이는

과거 고 등(2011)의 연구결과 다양한 생물 종들이 연안어장으로 가입할 기회가 높은 북부해역에서 높다고 보고한 결과와 비교했을 때, 이번 조사에서 상대적으로 북쪽에 위치한 평대, 고내지역과 시흥, 행원지역에서 많은 종이 출현하여 비슷한 결과를 나타냈다. 그러나 지역별로 다른 자연적 또는 인위적인 요건 또한 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

수심별 생물량의 경우 깊은 수심에서 상대적으로 얕은 수심보다 높은 경향을 나타내었다. 제주연안 저서무척추동물 군집구조변화연구 결과 수심이 깊어질수록 생물량이 높게 나타났는데, 수심 5~10m에서 연체, 절지 및 성구동물의 생물량이 높았으며 수심 20m에서는 해면, 자포, 태형 및 극피동물의 생물량이 높게 나타났다(고 등., 2016). 이에 대해 연체, 절지 및 성구동물은 크기가 작아 포식작로부터 안전하고 먹이생물이 풍부한 얕은 수심에 주로 분포하고, 체표면적이 크고 군체를 이루어 서식하는 해면, 자포 및 태형동물은 풍랑의 영향이 적고 비교적 안정된 환경에 적응한 서식전략으로 분석하고 있다. 따라서 이번조사에서도 지역별 환경에 따라 차이는 있겠지만 대체로 깊은 수심으로 갈수록 체표면적이 큰 해면, 자포 및 태형동물 비율이 높아진 결과 생물량이 증가한 것으로 판단된다.

우점종의 경우 전복 방류어장인 평대와 표선지역의 경우 가시두드럭게, 법환지역의 경우 가는줄연두군부가 우점하였다. 오분자기 방류어장인 한수지역의 경우 갯고둥이 우점하였으며, 위미2지역의 경우 소라가 시흥지역의 경우 보말고둥이 우점하였다. 홍해삼 방류어장인 고내지역의 경우 가시두드럭게가 우점하였으며, 행원지역의 경우 보말고둥이 우점하였다. 발견되는 우점종의 경우 제주 연안에서 흔히 발견되는 종으로 특별한 저서동물 우점현상은 나타나지 않았다. 다만 제주해역은 다양한 해류의 유입과 기후변화의 영향으로 외래종과 토착종이 상존하는 다양한 생태적 군집특성을 보이고 있으며(임, 2012), 이번 조사에서 조사된 한수지역의 거품돌산호는 이미 오래전부터 우점하여 나타나고 있다. 따라서 향후 지속적인 기후변화와 외래종유입에 따른 방류환경의 변화에 따라 지속적인 모니터링이 필요하다고 사료된다.

1.3 방류종자 추적조사

수중지형조사 및 서식생물 생태조사를 기반으로 품종별 적정수심대, 지형 및 해조류 서식지형 내 방류가 이루어졌으며, 방류 후 1주일 단위로 총 6회 수중다이버를 활용하여 촬영 및 영상조사를 실시하여 방류종자의 서식상태를 전반적으로 분석하였다. 또한 전복 및 오분자기 방류어장의 경우 추가적으로 방류지점 내 생존 개체수와 패각수를 비교하여 방류효과를 간접적으로 분석하였다.

전복 방류어장인 평대, 표선, 법환지역의 경우 1.0~2.5m 수심대에 위치한 전복종자 은폐에 적합한 암반과 전석에 방류가 이루어졌다. 추적조사시 많은 양의 치패가 발견되었으며 조사가 진행될수

록 패각수는 적게 발견되었다. 그러나 법환지역의 경우 지속적으로 발견되는 패각수가 증가하는 추세를 보였다. 따라서, 평대와 표선지역의 경우 방류지역 내에서 방류전복이 양호하게 서식하는 것으로 판단된다.

오분자기 방류어장인 한수지역의 경우 1.0~2.5m 수심대에 위치한 오분자기 종자 은폐에 적합한 암반과 전석에 방류가 이루어졌다. 추적조사시 많은 양의 치패가 발견되었으며 시간이 지날수록 패각수는 적게 발견되었다. 따라서 방류 오분자기는 전석이나 깊은 곳으로 잠입한 것으로 추정된다. 또한 한수지역의 경우 깊은 수심으로 갈수록 아열대생물인 거품돌산호가 우점도가 높아짐에 따라 향후 지속적인 모니터링을 통해 확산범위를 파악, 아열대생물종이 적은 수심대에 방류가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

홍해삼 방류어장인 고내지역의 경우 1.0~3.0m 수심대에 위치한 홍해삼 종자 은폐와 먹이활동에 유리한 사질 위 전석지형에 방류가 이루어졌다. 추적조사시 많은 양의 홍해삼이 발견되지는 않았으나 잠입했을 가능성이 있으며, 해당지역은 먹이경쟁과 천적이 거의 없고 전석의 형태가 방류종 포획이 어려운 큰 형태여서 일정기간이 지난 후에는 방류종자의 회수율이 높을 것으로 판단된다. 또한 고내지역은 갯녹음현상이 상당부분 진행되었음에도 홍해삼 종자가 양호하게 서식할 것으로 판단된다.

2. 제언

방류효과조사결과 전복, 오분자기, 홍해삼 종자는 서식에 적합한 지형에서 전반적으로 양호하게 서식하고 있는 것으로 판단된다. 다만 이번 조사결과를 바탕으로 향후 변화하는 해양환경에 대비하여 방류사업에 대한 몇 가지 제언을 하고자 한다.

첫째, 제주연안 아열대화에 따른 아열대 해조류의 소득화방안이 필요할 것으로 사료된다. 기후변화로 인한 해양생태계변화는 우리나라 연안 곳곳에서 나타나고 있다. 먼저 해양생태계의 기초생산자인 식물플랑크톤의 경우 우리나라 연안에서 20 ㎛ 이하의 미세플랑크톤(nanoplankton) 비율이 증가하는 추세이며(해양환경공단, 2021), 동물플랑크톤의 경우 개체수 및 생체량이 감소와 난류성 소형 요각류인 oncaeids 및 corycaeids의 출현빈도가 증가하였다(주, 2014). 플랑크톤의 변화는 기초생산력의 변화와 해양생태계 먹이사슬 변화를 야기할 수 있다. 또한, 저서생물의 경우 아열대 돌산호류인 거품돌산호(Alveoporajaponica)가 급속히 확산되었고, 최근 남서 태평양에 서식하는 흑진주 조개가 범섬지역에서 발견되기도 하였다. 따라서 기후변화에 의한 아열대화는 기존에 서식하던 해조류 서식지를 변화시키고 전복, 오분자기 등 소득자원을 감소시켜 어업인의 경제적 손실을 야기할 수 있다.

따라서 기후변화에 의한 제주연안 아열대 확산에 대비하여 향후 아열대품종 생산기술을 확립하고 적지에 방류함으로써 변화하는 해양생태계에 대비함은 물론 어업인 소득보전을 기대할 수 있을 것이

다. 예를들어 아열대 해조류인 옥덩굴(*Caulerpa* sp.) 중 아열대성 옥덩굴(*Caulerpa lentillfera*)은 철분, 식이섬유, 칼슘, 비타민 등이 풍부하여 면역력 증강에 좋으며 저칼로리로 다이어트 효과가 있어 각광받고 있는데, 최근 인공배양에 성공하여 어업인의 새로운 소득원이 될 것으로 기대하고 있다(경상남도, 2019). 제주에서도 해역에 맞는 아열대 해조류를 생산 및 이식하여 아열대환경을 조성하고, 이에 맞는 품종을 방류한다면 향후 어업인 소득에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

둘째, 마을어장 내 갯녹음 현황파악 및 해조류 자원조성이 이루어져야 한다. 갯녹음현상은 일반적으로 연안에 서식하는 해조류가 사라지고 그 자리에 무절석회조류(Crustose coralline algae)가 뒤덮으면서 바다 암반의 종다양성과 생체량이 급감하고 황폐화되는 현상이며, 갯녹음의 확산은 해조류를 서식장 및 먹이로 활용하는 생물에게 커다란 피해와 해양생태계의 불균형을 야기할 수 있다(황 등, 2017). 갯녹음의 원인은 수온상승, 연안오염, 조식동물(성게)에 의한 식해작용 등 다양하나 아직까지 확실한 원인은 규명되지 않고 있다.

이번 조사에서도 대표적으로 표선지역과 위미2지역, 고내지역은 갯녹음이 상당부분 관찰된 지역이었다. 현재 해당지역에 전복이나 오분자기 방류시 지역내 해조류가 비교적 양호한 환경을 탐색하여 방류하고 있으나, 실질적인 자원조성효과를 거두기 위해서는 갯녹음 환경의 지속적인 개선이 선행되어야 할 것이다. 이를 위해 우선적으로 갯녹음현상 발생지역에 대한 현황파악이 선행되어야 한다. 즉 주기적인 모니터링을 통한 갯녹음 면적과 발생수심, 주변 생물상조사가 실시되어야 한다. 이는 많은 예산과 시간이 소요되기 때문에 조사를 위한 행정의 지속적인 예산지원 또한 필요하다.

다음으로 유용 해조자원을 인공적으로 이식·부착하는 해조장 복원사업이나 해중림 조성사업 등을 통해 방류어장의 생태환경을 개선하는 사업이 지속적으로 수행되어야 한다. 제주도내 해중림 조성사업은 2004년 애월읍 동귀리부터 시작되어 지속적으로 진행되어왔으며 수산자원의 증강과 어업생산력의 증대, 어업인 소득기회 제공, 해양레포츠 수요확산에 기여할 것으로 기대되었다. 강(2011)의 우도 서광리 어장 해중림 조성사업에 대한 경제성 분석결과 경제성이 있는 것으로 판단하였으나, 현재 기준으로 명확한 효과가 나타나고 있는 지역은 거의 없는 실정이다. 문제는 해중림의 기대효과 및 경제적 가치에도 불구하고 이에 대한 지속적인 모니터링과 관리가 이루어지지 못하는 것으로 파악된다. 따라서 앞으로는 해중림 조성과 수중조사를 통한 지속적인 관리가 이루어져야하고, 이에 대한 연구기관과 행정간 협력이 필요하다.

마지막으로, 현재 수산종자 방류사업에 대한 개선방안 마련이 필요하다. 수산종자 방류사업은 수산자원조성과 연안어장의 연안의 생산성을 늘리고 어업인 소득을 위해 중요하며 지속적으로 추진되어 왔다. 현재까지 방류효과조사의 사업성은 경제성분석을 통해 이루어졌으며, 대표적으로 수산종묘방류사업의 경제성평가(황 등., 2005), 꽃게 방류사업의 경제성 분석(김과 김, 2017) 등이 수행되었

다. 위 연구들은 품종에 따라 방류 경제성이 있으며, 지역별로 방류지역의 환경, 종자의 계약단가 등에 따라 차이가 있다고 보고하고 있다. 제주에서도 행정차원에서 향후 연구용역을 통해 제주지역 매입방류사업 과정에서 발생하는 문제점을 파악하고 개선방향을 도출하는 과정이 필요할 것으로 사료된다.

제5장 참고문헌

경상남도. 2019. 아열대해조류 '옥덩굴' 양식방법 개발 성공. 보도자료.

국립공원연구원. 2019. 해양생물종 중 기후변화 지표종 선정 및 매뉴얼 구축.

국토해양부. 2013. 한국의 해양식물.

수산자원공단. 2015. 수산종묘방류사업의 고도화 방안 및 경제성 분석.

제주특별자치도. 2022. 수산종자 방류사업 추진계획(통보용).

해양환경공단. 2021. 2020년 국가 해양생태계 종합조사 해양생태총서(종합).

강경호, 위종환, 김광수. 1996. Haliotis discus hannai 표지개체의 실내사육 및 방류효과. 한국양식학회지, 9(2).

강석규. 2011. 해중림 조성사업의 경제성 분석: 제주 우도 서광리 어장을 중심으로. 水産經營論集, 42(1), 37-55.

고준철, 구준호, 이승종, 장대수, 조성환. 2011. 제주도 연안 마을어장의 저서무척추동물 군집구조. Korean J. Malacol, 27(3), 229-246.

고준철, 김보연, 손명호, 조운찬, 이관철. 2016. 제주연안 저서무척추동물 군집구조의 단기변화 (2013-2015). 한국패류학회지, 32(4), 297-328.

김보연, 고준철, 고혁준, 박성은, 차형기, 최한길. 2013. 제주도 주변 해역 조하대 해조류 군집구조의 계절적 변동. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 46(5), 607-618.

김봉태, 김대영. 2017. 꽃게 방류사업의 경제성 분석. Ocean & Polar Research, 39(3).

박경일, 김영준, 김도훈. 2013. 경북지역 해삼 종묘방류사업의 경제적 효과 분석. 水産經營論集, 44(1), 81-90.

서만석, 김지현. 2003. 경기도 화성해역의 수산종묘 방류 효과에 관한 연구. 수산해양교육연구, 15(2), 135-144.

서주남, 백진이, 김도훈. 2010. 넙치 종묘방류사업의 경제적 효과분석. Ocean and Polar Research, 32(4), 483-488.

성건희. 2010. 제주도에 자생하는 대형갈조류 감태의 개체군 생태학적 연구. 국내석사학위논문(성균

관대학교 대학원).

송정헌, 홍재범. 2009. 볼락 방류사업의 현황 및 과제 - 경제성효과분석을 중심으로. 수산경영론집 40(3), 69-88.

송정헌, 강종호. 2016. 다슬기 방류사업의 현황 및 과제: 경제효과분석을 중심으로. 수산해양교육연구, 28(2), 450-455.

심중현. 2021. 거품돌산호 추출물의 멜라닌 합성 억제 효능. 생약학회지, 52(3), 143-148.

오윤화, 강민선, 위진희, 이인태. 2015. 지속가능한 해삼 양식장 조성을 위한 생태적합 서식처 모형 개발. Ecology and Resilient Infrastructure, 2(1), 64-79.

이용필. 2008. 제주의 바닷말. 아카데미서적.

임치영. 2012. 제주해역의 해조류와 저서무척추동물 생태적 분포. 국내박사학위논문(순천향대학교 대학원).

주세종. 2014. 한국남해와 제주근해 해양환경 및 생태계 기후변화 영향 진단. In 한국생태환경과학협의회 학술발표대회. 한국생태환경과학협의회, 35-36.

한현섭, 장인권, 임현정, 박영제, 김종화. 2003. 대하의 자연산과 인공종묘의 유전적 변이성 및 방류효과. 한국어업기술학회 2003년 춘계 학술대회발표 요지집, 185-186.

황성일, 김대권, 성봉준, 전수경, 배종일, 전병현. 2017. 제주연안에서 기후변화가 갯녹음 확산에 미치는 영향. 한국환경생태학회지, 31(6), 529-536.

황진욱, 이권혁, 정달상, 김광수. 2005. 수산종묘방류사업의 경제성 평가. 한국수산경형학회지, 36(1), 121-138.

Terawaki, T., Hasegawa, H., Arai, S., Ohno, M. 2001. Management-free techniques for restoration of Eisenia and Ecklonia beds along the central Pacific coast of Japan. Journal of applied phycology, 13(1), 13-17.