



예상섬 조성을 위한 _____

예상 서식장 적지조사 결과보고서



17th Asian Games
INCHEON 2014



인천광역시
수산자원연구소
<http://fish.incheon.go.kr>

요 旨

1. 조사개요

- (1) 목적 : 새로운 해삼 서식 적지를 개발·조성하여 친환경 양식품종인 해삼 대량 생산을 통해 어민 소득 증대 도모
- (2) 장소 : 인천시 옹진군 백령면 진촌, 연지어촌계 해역
- (3) 정점 : 155개(연지 104, 진촌 51)
- (3) 내용 : 해삼 양식어장 현황, 해황, 수질환경, 퇴적환경, 해저지형, 잠수조사, 해삼 서식장 조성 적지면적 산정

2. 조사결과

- (1) 해황(인공어초 시설 적지기준 : 200 cm/s 이하)

조사항목	측 정 값	적지기준	판정
유 속 ¹	창조류 : 71.4~91.3 cm/s 낙조류 : 72.2~91.3 cm/s	200 cm/s 이하	적합

¹인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013. 06. 25)

- (2) 수질환경

조사항목	진촌어촌계 해역	연지어촌계 해역	적지기준	판정
수 온 ¹	3.2~21.8℃ (평균 13.2℃)	3.5~21.9℃ (평균 13.3℃)	2~26℃	적합
용존산소 ¹	6.2~11.7 mg/L (평균 8.5 mg/L)	6.8~11.5 mg/L (평균 8.7 mg/L)	5 mg/L 이상	적합
pH ¹	7.9~8.4 (평균 8.2)	7.9~8.4 (평균 8.2)	7.8~8.3	적합
염 분 ¹	31.6~33.2 ppt (평균 32.6 ppt)	31.6~33.4 ppt (평균 32.7 ppt)	28~34 ppt	적합
화학적산소요구량 ² (COD)	0.71~2.33 mg/L (평균 1.60 mg/L)	0.71~2.49 mg/L (평균 1.62 mg/L)	3 mg/L 이하	적합
총 인 ¹ (TP)	0.026~0.042 mg/L (평균 0.036 mg/L)	0.021~0.041 mg/L (평균 0.032 mg/L)	0.050 mg/L 이하	적합
총 질 소 ¹ (TN)	0.253~0.343 mg/L (평균 0.288 mg/L)	0.248~0.368 mg/L (평균 0.289 mg/L)	0.600 mg/L 이하	적합

¹ 태안군 해삼양식장 적지조사(국립수산과학원 서해수산연구소, 2013)

² 해삼양식산업 기술개발 연구사업(인하대학교, 2013)

(3) 퇴적환경

조사항목	해삼양식적지 기준 ¹	서식조건에 부적합한 정점
입 도	평균입도 6φ 이하, 분급 불량	11, 13, 21, 88, 139
화학적산소요구량	20 mg O ₂ /g.dry 이하	3, 11, 21, 62, 139
산취발성황화물	0.5 mg S/g.dry 이하	21, 62, 88, 139

¹해삼양식산업 기술개발 연구사업(인하대학교, 2013)

(4) 해저지형

조사항목	측 정 값	적지 기준	인공어초 시설에 부적합한 정점
해저 경사도 ¹	A~E라인 : 모든 지형이 5/100 미만 H라인 : 해안으로부터 520~620m이 5/100 이상 I라인 : 해안으로부터 220~440m이 5/100 이상	5/100 미만	117, 122, 129

¹인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013. 06. 25)

3. 환경성 및 작업성 등이 고려된 등급 산정

등급	등 급 별 조 건	정점수	서식장 조성 필요
A	① 수심 10m 내외 ② 먹이(부니) 충분 ③ 암반(은신처) 지역	65개	×
B	① 수심 10m 내외 ② 먹이(부니) 충분 ③ “자갈+모래” 함량 70% 이상 : 석괴 침하 우려 미비 ④ 암반(은신처) 없음	32개	○
C	① 수심 10m 이상 ② 먹이(부니) 부족 ③ “자갈+모래” 함량 70% 미만 : 석괴 침하 우려 있음 ④ 암반(은신처) 없음 ⑤ 외해 : 기존 암반해역과 연계 없음 ⑥ 기존 면허어장과 중복	58개	×

4. 해삼 서식장 조성 적지 판정

어촌계	적지면적 (ha)	서식장 조성 구역		수출전략단지 조성사업지
		2013년	2014년~	
연지	88	54,59,60,61번 (16ha)	6,12,23,37,39,45,46, 63,80,81,84,85,89 (52ha)	65,72,77,79번 (16ha)
진촌	40	141,145번 (8ha)	110,111,113번 (12ha)	132,133,136,137번 (16ha)

제 목 차 례

I. 개 요	1
1. 연구배경	1
2. 연구목적 및 범위	2
3. 연구방법	2
4. 연구기간 및 일정	3
5. 연구 내용	3
II. 재료 및 방법	4
1. 해삼 양식어장 현황 조사	4
2. 해황 조사	4
3. 수질환경조사	11
4. 퇴적환경조사	13
5. 해저 지형조사	20
6. 잠수 조사	21
7. 해삼 서식장 조성용 적지면적 산정	22
III. 조사 결과	23
1. 해삼 양식어장 현황	23
2. 해황 분석	24
가. 조석 관측	24
나. 층별 조류 관측	33
다. 파랑 관측	37
3. 수질환경	39
가. 수 온	39
나. 용존산소	40
다. 수소이온농도(pH)	41
라. 염 분	42
마. 화학적산소요구량(COD)	42
바. 영양염류	43
사. 총인(Total phosphate, TP)	47
아. 총질소(Total Nitrogen, TN)	47

4. 퇴적환경	48
가. 표층퇴적물 입도조성 및 조직매개변수	48
나. 강열감량(IL)	59
다. 화학적산소요구량(COD)	62
라. 산취발성황화물(AVS)	65
마. 부영양화관련	65
5. 해저 지형	70
가. 기준점 측량	70
나. 수준점 측량	70
다. 수심 측량	71
6. 수중 탐사	79
가. 정점 1	79
나. 정점 2	80
다. 정점 3	81
라. 정점 4	82
마. 정점 5	83
바. 정점 6	84
사. 정점 7	85
아. 정점 8	86
자. 정점 9	87
IV. 결 론	88
1. 기존 면허어장 중복여부	88
2. 해 황	88
3. 수질환경	89
4. 퇴적환경	90
5. 해저 지형조사	91
6. 잠수 조사	93
7. 환경성 및 작업성 등이 고려된 등급 산정	93
8. 해삼 서식장 조성 적지 판정	94
V. 참고문헌	95

표 차례

표 1. FlowQuest 제원	7
표 2. 파랑 관측장비(ADCP)의 제원	9
표 3. 퇴적환경조사 정점좌표	15
표 4. 입자의 크기에 따른 입도등급	17
표 5. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정	19
표 6. 해저지형조사 범위 좌표	20
표 7. 해저지형조사 개요	21
표 8. 잠수조사 정점 좌표	22
표 9. 진촌어촌계 해삼 양식 면허현황	23
표 10. 연지어촌계 해삼 양식 면허현황	23
표 11. 조석 관측자료 계산	25
표 12. 조석 주요 4대 분조특성 및 비조화상수 계산식	28
표 13. 조석 조화상수	29
표 14. 조석 조화상수 및 비조화상수 비교표	30
표 15. 정점 C2의 층별 최강유속 및 평균유속	35
표 16. 정점 C2의 잔차류 유속 및 유향	36
표 17. 정점 W1에서 파고주기의 출현율(단위: %)	37
표 18. 정점 W1에서 파향의 출현율(단위: %)	39
표 19. 정점 W1에서 평균유의파 및 폭풍파에 대한 파고, 주기, 파향	39
표 20. 조사정점별 퇴적물 조성비율 및 조직변수의 차이	55
표 21. 퇴적물 유형 분류표	58
표 22. 퇴적물 부영양화 관련 강열감량의 기준농도 및 평가점수	59
표 23. 조사정점별 표층퇴적물 강열감량 농도 및 부영양화 점수	60
표 24. 퇴적물 부영양화 관련 화학적산소요구량의 기준농도 및 평가점수	62
표 25. 조사정점별 표층퇴적물 화학적산소요구량 농도 및 부영양화 점수	63
표 26. 퇴적물 부영양화 관련 산화발성황화물의 기준농도 및 평가점수	65
표 27. 조사정점별 표층퇴적물 산화발성황화물의 농도 및 부영양화 농도	66
표 28. 조사정점별 표층퇴적물의 부영양화관련 평가점수 합계와 오염판정	68
표 29. 기준점 성과 비교표	70
표 30. 기본수준점 성과 비교	70
표 31. 조사해역의 라인별 종단면도	75
표 32. 진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 수질환경 및 적지 판정	89
표 33. 진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 퇴적환경 및 적지 판정	90
표 34. 자갈과 모래 함량이 70% 이상인 정점과 미만인 정점	91
표 35. 조사정점별 해삼 서식 환경 적합 여부에 따른 등급 분류	93
표 36. 연지,진촌어촌계 해역에 대한 해삼 서식장 조성 적합 정점 및 면적	95

그림 차례

그림 1. 조사지역 위치도	2
그림 2. 조석관측 정점과 좌표 위치도	4
그림 3. 조석 관측자료 전산처리 흐름도	5
그림 4. 층별 조류관측 정점과 좌표 위치도	6
그림 5. 조류관측 모식도	7
그림 6. 조류 관측자료 전산처리 흐름도	7
그림 7. 파랑 관측 정점과 좌표 위치도	8
그림 8. ADCP 파향파고계의 계류모식도	9
그림 9. 수질환경조사 정점 위치도	11
그림 10. 퇴적환경조사 정점 위치도	14
그림 11. 퇴적물 입도 삼각다이어그램(Triangular diagram)	18
그림 12. 해저지형조사 범위	20
그림 13. 잠수조사 정점 위치도	22
그림 14. 진촌, 연지어촌계 해삼양식 면허어장 위치도	24
그림 15. 정점 T1과 T2의 조석 시계열도	26
그림 16 . 한국 근해의 M2분조 등조시도	32
그림 17. 정점 C2의 층별 조류벡터도	33
그림 18. 정점 C2의 층별 조류분산도	34
그림 19. 정점 C2의 층별 최강유속 및 평균유속	35
그림 20. 정점 C2의 조류 진행벡터도	36
그림 21. 정점 W1에서 관측된 파랑의 시계열	38
그림 22. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 수온 변화	40
그림 23. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존산소 변화	41
그림 24. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 수소이온농도(pH) 변화	41
그림 25. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 염분 변화	42
그림 26. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 화학적산소요구량(COD) 변화	43
그림 27. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 암모니아 질소(NH ₄ -N)의 변화	44
그림 28. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 아질산 질소(NO ₂ -N)의 변화	44
그림 29. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 질산 질소(NO ₃ -N)의 변화	45
그림 30. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존무기질소(DIN)의 변화	45
그림 31. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존무기인(DIP)의 변화	46
그림 32. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 규산규소(SiO ₂ -Si)의 변화	46
그림 33. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 총인(TP)의 변화	47
그림 34. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 총질소(TN)의 변화	48
그림 35. 조사정점의 표층퇴적상을 보여주는 삼각다이어그램	49
그림 36. 조사정점별 퇴적물 형태	50

그림 37. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 자갈 함량(%) 공간분포도	51
그림 38. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 모래 함량(%) 공간분포도	52
그림 39. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 펄 함량(%) 공간분포도	53
그림 40. 조사정점별 표층퇴적물 평균입도 공간분포도	54
그림 41. 조사정점별 표층퇴적물 강열감량 공간분포도	61
그림 42. 조사정점별 표층퇴적물 화학적산소요구량 공간분포도	64
그림 43. 조사정점별 표층퇴적물 산취발성황화물 공간분포도	67
그림 44. 조사정점별 표층퇴적물 부영양화 관련 평가점수 공간분포도	69
그림 45. 연지어촌계 해역 등수심도	72
그림 46. 진촌어촌계 해역 등수심도	73
그림 47. 조사해역 경사산정을 위한 종단면	74
그림 48. 조사정점과 기존 면허어장 중복 여부 모식도	88
그림 49. 조사정점별 표층퇴적물의 자갈+모래 함량 차이(70%)	92
그림 50. 조사정점별 해삼 서식환경 등급 산정 및 서식장 조성 필요 여부	95

예상성 조성을 위한 _____ 예상 서식장 적지조사 결과보고서

백령면 연지, 진촌 해역에 대한 환경, 잠수조사를 통해 새로운 해삼 서식 적지를 개발하여 친환경 양식품종인 해삼을 대량으로 조성함으로써 어민 소득 증대 도모

I 개 요

1. 연구배경

인천광역시 관내 어장은 유류·원자재 가격 상승에 따라 어선어업의 채산성이 악화되고, 잡는 어업의 높은 의존도에 따라 마을어장의 생산성이 저하되어 유희화가 가속되고 있다. 특히 백령도는 서해 북방한계선의 위험 상존에 따른 조업이 부실하여 어촌경제가 더욱 어려워질 가능성이 높아지고 있다.

이와 같은 어촌 경제의 어려움을 해소하기 위해서는 불안정한 어선 어업으로부터 탈피하여 경제 개념의 고부가가치 지역 특성 증양식 품종 개발 등 새로운 지역 특화 어업 소득원을 발굴 육성하고, 자원 회복을 위한 유용 품종의 방류 확대와 어장의 재개발 이용, 어촌계 단위의 자립형 클러스터 육성을 통한 어촌사회의 안정된 대체 소득원의 확보가 필요하다.

여러 가지 고부가가치 지역특성 증양식 품종 중 해삼은 “바다의 인삼”으로 불리거나 최고의 스테미나 식품으로 그 인기가 날로 높아지고 있으며, 우리나라를 비롯한 중국과 일본 등 동양권에서는 매우 중요한 보양 수산물인데, 최근 건강 강장식품으로 알려지면서 소비가 크게 증가하고 있다. 또한, 해삼은 유기물 식성으로 펄 속의 유기물을 주로 섭취하기 때문에 인공적인 먹이를 공급하지 않는 환경친화적 양식이 가능한 품종이다. 그러나 자연에서의 생산량이 매년 감소되고 있으며, 수입량도 꾸준히 증가하고 있어 소비 수요에 대응하기 위해서는 양식생산에 의한 수요 충족이 시급하다.

2012년도 백령, 대청, 소청도 해역을 대상으로 실시한 해삼양식적지조사 결과에서 적지로 선정된 해역과 구 농림수산식품부에서 선정한 “2013년 수출양식단지 육성사업” 해역과 중복되는 백령면 진촌, 연지어촌계 해역에 대해 세부적인 조사를 통해 해삼 서식 적지를 발굴하고자 한다.

2. 연구목적 및 범위

본 조사의 목적은 새로운 해삼 서식 적지를 발굴하고 서식장 조성사업을 통해 해삼이 서식할 수 있는 범위를 확장하는 것이다. 이를 통해 해삼 생산량을 증대시켜 자원회복과 부가가치를 창출하여 어민 소득 증대에 기여하고자 한다.

3. 연구방법

가. 연구방법

- 기존 해삼 양식장 적지조건을 토대로 과학적인 해삼 양식어장 적지조사 방법을 적용하여 해삼 양식어장 적지를 발굴하였다.

나. 조사대상 해역

- 백령면 진촌, 연지어촌계 해역 : 어릿골, 고봉포, 사향포 해역(그림 1)



그림 1. 조사지역 위치도

4. 연구기간 및 일정

가. 사업명 : 해삼양식육성사업

나. 연구기간 : 2013. 1~8월(8개월)

다. 추진일정

- 2013. 2. 25~2. 26 해삼양식육성사업 관련 주민설명회
- 2013. 6~2013. 7 퇴적물 시료 채취조사 및 분석
- 2013. 7~2013. 8 현장 잠수조사 및 분석
- 2013. 8 보고서 작성 및 제출

5. 연구 내용

가. 해삼 양식어장 현황 조사

- 조사대상 해역의 기존 해삼 양식어장 현황 조사

나. 해황 조사

- 조석, 조류, 파랑 등(6~7월, 1회)

다. 수질환경조사

- 수온, 용존산소, pH, 염분, 영양염, 화학적산소요구량, 총인·총질소
- 2012년 연안어장생태환경조사 자료 인용

라. 퇴적환경조사

- 퇴적물 입도분석 : 155개 정점(6~7월, 1회)
- 퇴적물 강열감량 분석 : 84개(6월, 1회)
- 퇴적물 화학적산소요구량 분석 : 84개(6월, 1회)
- 퇴적물 산화발성황화물 분석 : 84개(6월, 1회)

마. 해저 지형조사

- 수심, 종단면 조사(6~7월, 1회)

바. 잠수 조사

- 해저면 형태, 해삼의 서식유무 및 서식생물 조사(7~8월, 1회)

사. 해삼 서식장 조성용 적지면적 산정

- 해삼 서식장 조성용 적지 면적 도식화

II 재료 및 방법

1. 해삼 양식어장 현황 조사

사업해역에 대해 웅진군 해양수산과에 2012년까지 등록된 해삼 양식어장 자료를 정리하여 인용하였다.

2. 해황 조사

가. 조석 관측

조성특성을 파악하기 위해 2013. 6. 16~7. 16(30일간)에 백령도 북측 해역에 위치한 정점 T1과 T2에서 각각 ADCP (RDI Inc., USA)와 FlowQuest (LinkQuest Inc., USA)의 압력센서를 관측정점 저면에 설치하여 10분 간격으로 자기 기록하여 조석을 관측한 한국수산자원관리공단의 자료를 이용하였다(그림 2). 관측정점에서 취득한 조석자료는 그림 3과 같이 전산처리하였다.



그림 2. 조석관측 정점과 좌표 위치도

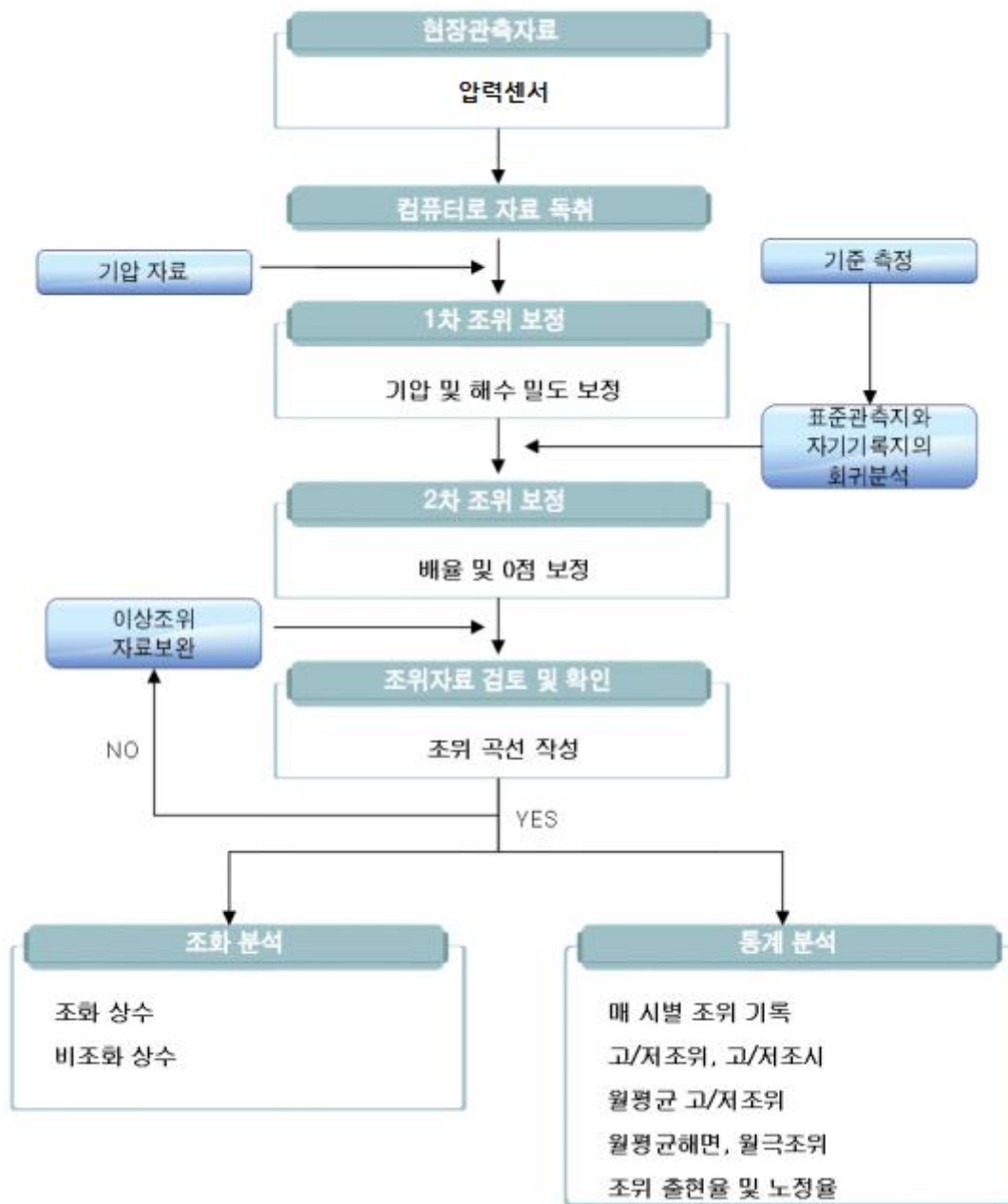


그림 3. 조석 관측자료 전산처리 흐름도

나. 층별 조류관측

대상해역의 조류 특성과 수치실험의 입력 및 검·보정자료로 활용하기 위해 2013. 6. 16~7. 16(30일간)에 백령도 북측해역에 위치한 정점 C2에서 FlowQuest (LinkQuest Inc., USA)를 이용하여 층별조류를 관측하였다 (그림 4).

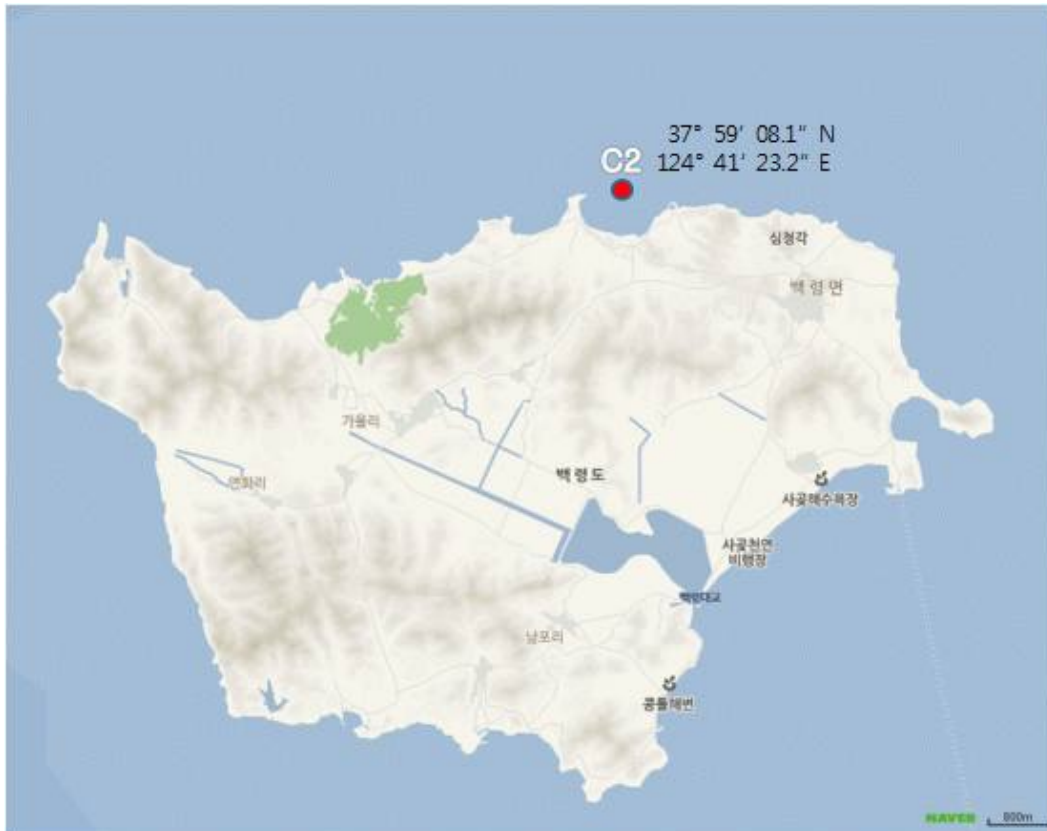


그림 4. 층별 조류관측 정점과 좌표 위치도

조류관측은 조류의 층별 특성을 보다 정밀하게 파악하기 위하여 수직적으로 최소 1.0m 간격으로 유향유속자료를 획득할 수 있는 FlowQuest를 사용하였다. 본 조사에서는 어로활동에 의한 기기유실의 위험이 크다고 판단되어 FlowQuest를 TRBM(Teawl Resistance Bottom Mount)에 장착하여 저층 계류하였고, 거치대의 저면침하를 방지하기 위하여 침하방지판을 거치대의 하부에 설치하였으며, 고파랑이나 주변 유속 등의 강한 외력에 의한 기기 이동 및 관측 자료의 질 저하를 방지하기 위하여 체인 및 앵커를 사용하여 저면에 단단히 고정하였다. 또한, 관측기기의 투하 및 인양시 전문다이버를 투입하여 기기설치의 이상유무와 안전 등을 도모하였으며, 음파발신추적기인 Pinger를 FlowQuest에 부착하여 기기의 위치 파악과 회수에 용이하도록 조치하였다.

조류측정은 연직방향으로 최소 1 m 간격 관측층을 나누었고, 10분 간격으로 각층별의 유속유향을 기기내부에 자기 기록되도록 설정하여 사용하였다.

표 1은 관측에 사용된 FlowQuest의 제원을 제시하였으며, 그림 5는 조사시 사용한 계류 형태를 모식한 것이다. 정점 C2에서 취득한 조류 자료는 그림 6와 같이 전산처리하였다.

표 1. FlowQuest 제원

항목	범위	정확도	해상도	제작사
유속	0~500cm/s	±0.5cm/s	0.01cm/s	LinkQuest Inc., USA
유향	0~360°	±1.5°	0.01°	

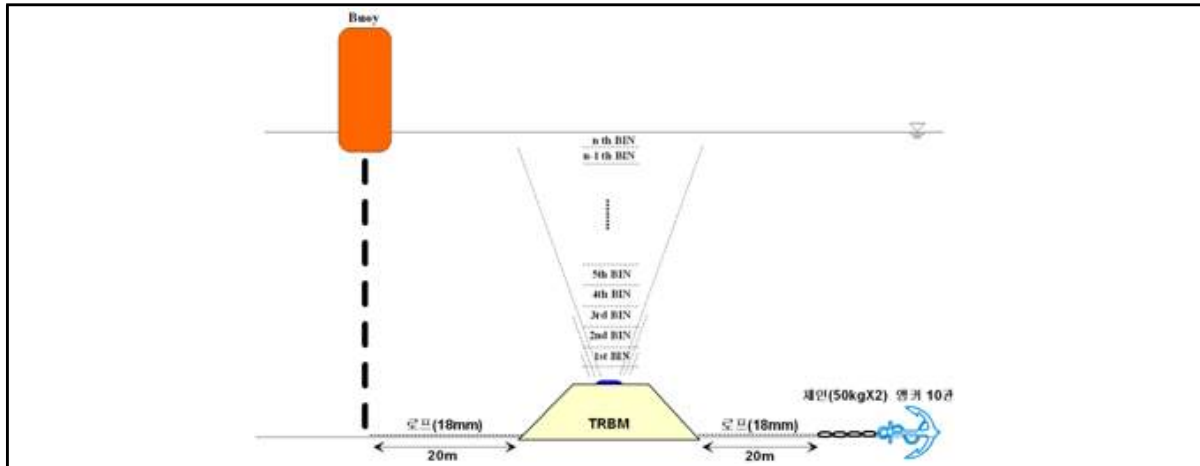


그림 5. 조류관측 모식도

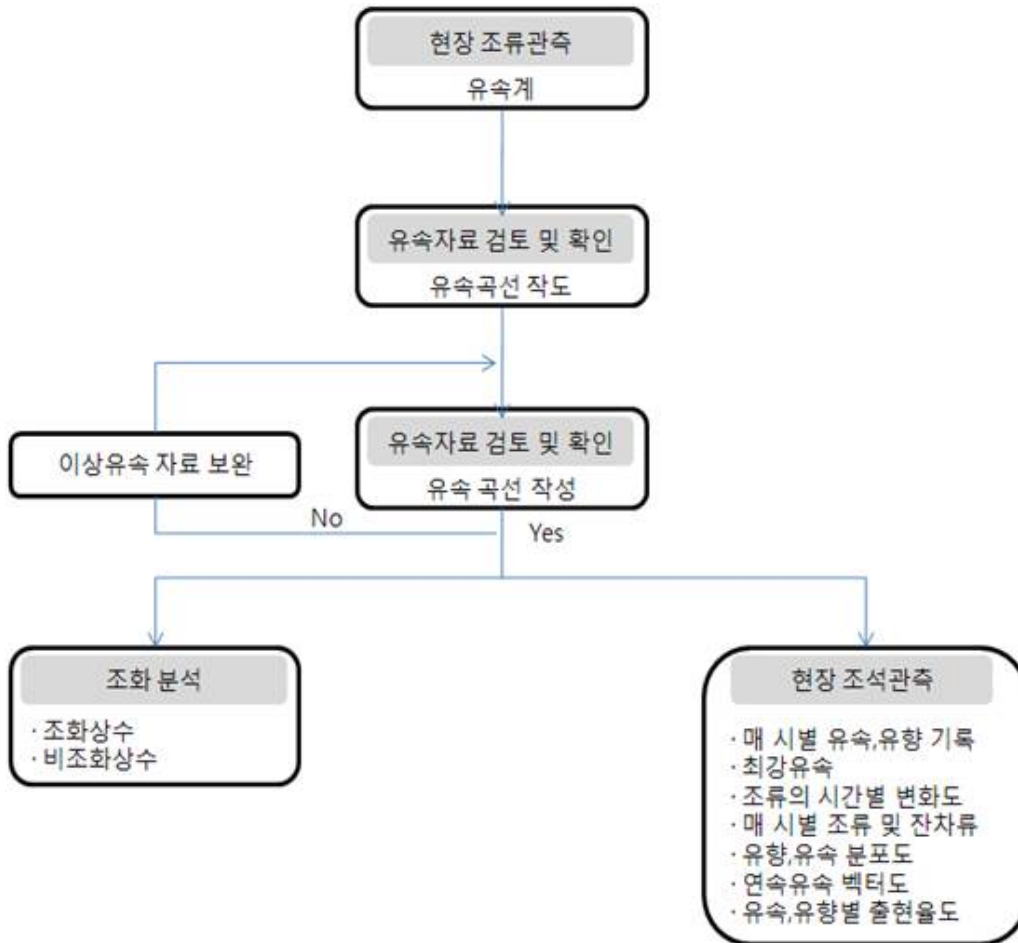


그림 6. 조류 관측자료 전산처리 흐름도

다. 파랑 관측

대상해역의 파랑특성과 수치실험의 입력 및 검보정자료로 활용하기 위해 2013. 6. 16~7. 16(30일간)에 백령도 북측해역에 위치한 정점 W1에서 ADCP (RDI Inc., USA)의 파향파고계를 이용하여 파랑을 관측한 한국 수산자원관리공단의 자료를 인용하였다.



그림 7. 파랑 관측 정점과 좌표 위치도

본 조사에 사용된 ADCP 파향파고계는 유속측정만 가능한 기존의 ADCP 그리고 파고측정만 가능한 수압식 파고계와는 달리 수중음향특성을 이용하여 파향파고의 동시관측이 가능하도록 개량된 기기이다. 이러한 ADCP 파향파고계의 제원은 표 2와 같다. 파향파고계의 설치위치인 정점 W1은 어로활동 및 레저활동 등에 의하여 기기유실 위험이 크다고 판단되어 TRBM(Trawl Resistant Bottom Mount)을 이용하여 그림 8과 같이 ADCP 파향파고계를 저층계류하는 방법을 사용하였다. ADCP 파향파고계의 저층계류 시 거치대의 저면침하를 방지하기 위하여 침하방지판을 거치대의 하부에 설치하였으며, 고파랑이나 빠른 조류 등에 의한 기기 이동 및 관측자료의 질 저하를 방지하기 위하여 체인 및 앵커를 사용하여

저면에 단단히 고정하였다. 그리고 관측기기의 투하 및 인양시 전문 다이버를 투입하여 기기설치의 이상 유무와 안전 등을 도모하였으며, 음파발신추적기인 Pinger를 APCP 파향파고계에 부착하여 기기의 위치 파악과 회수에 용이하도록 조치하였다. 기기의 세팅시 파향파고의 측정 자료를 계절별 30일동안 매 3시간간격으로 자기기록되도록 설정하였으며, 매 3시간마다 2Hz간격으로 20분동안 2,400개의 파랑자료를 기록하여, FFT분석에 충분히 활용될 수 있도록 하였다. 그리고 관측된 원시자료는 RDI사에서 제공하는 WavesMon 프로그램으로부터 파랑분석에 필요한 자료로 분리되었고, 이 자료는 스펙트럼법으로 처리되어 파고, 주기 그리고 파향 등으로 분석되었다.

표 2. 파랑 관측장비(ADCP)의 제원

기기	주파수	관측범위	정 확 도	제작사
Directional Wave Gauge (ADCP)	600kHz	5~45m	Surface Track Range: 1.0% Full Scale Pressure: 0.25% Full Scale Compass : $\pm 2^\circ$	RDI, USA

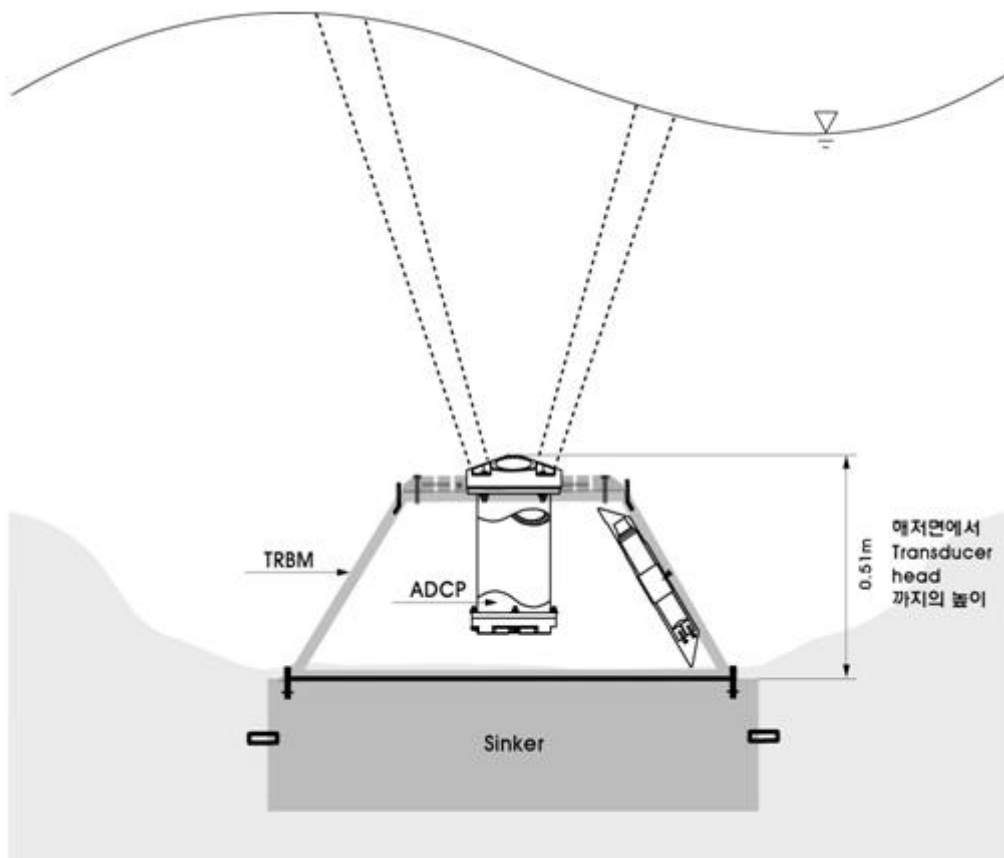


그림 8. ADCP 파향파고계의 계류모식도

ADCP 파향파고계를 이용하여 0.5초 간격으로 관측된 수면변위 시계열 자료를 후처리 프로그램에 적용하여 대표파(Representative Wave)를 산출하였다. 대표파 산출방법에는 스펙트럼법(Spectral Method)과 파별분석법(Wave by Wave Analysis Method) 등이 있으며, 본 조사는 스펙트럼법을 사용하였으며 이 방법을 소개하면 다음과 같다.

스펙트럼법은 관측된 불규칙 파가 무수히 많은 성분파의 선형적인 합으로 가정하여 FFT (Fast Fourier Transform) 기법으로 분석하고, 파랑의 에너지 스펙트럼을 구하여 파랑 특성을 파악하는 방법이다. 이것은 불규칙 파를 분석하는 일반적인 방법으로 불규칙성을 가진 자료분석에 매우 유용하게 적용되며, 불규칙파의 유의파고(H_s), 피크주기(T_p) 및 주파향(D_p)을 산출할 수 있다.

방향별 에너지의 분포를 고려하지 않고 주파수에 대한 분포만을 구한 것을 주파수 스펙트럼이라 하며, 이 스펙트럼에서 대표파의 파고와 주기를 추정하는 것이 가능하다. 파의 총에너지(Representative Value of the Total Wave Energy)인 m_0 는 스펙트럼함수 $S(f)$ 를 주파수 f 에 대해 적분하여 다음과 같이 구한다.

$$m_0 = \int_0^{\infty} f^0 S(f) df$$

이 적분치는 파수면변위의 분산과 다음과 같은 관계가 있다.

$$m_0 = \overline{\eta^2} = \lim_{t_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} \eta^2 dt$$

여기서, η 는 파의 수면변위이다. 그리고 이것의 표준편차 η_{rms} 는 다음과 같다.

$$\eta_{rms} = \sqrt{\overline{\eta^2}} = \sqrt{m_0}$$

만약 파고가 Rayleigh 분포를 따른다면, 유의파고 H_s 와 η_{rms} 사이에 다음과 같은 통계적 관계가 성립한다.

$$H_s = 4.004 \eta_{rms} = 4.004 \sqrt{m_0}$$

한편 유의주기 T_s 는 다음과 같이 정의된다(Goda, 1975).

$$T_s = 0.95 T_p$$

그리고 스펙트럼의 피크주기 T_p 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$T_p = \sqrt{\frac{m_2}{m_4}}$$

여기서, m_2 와 m_4 는 2차 및 4차 모멘트로서 다음과 같이 정의된다.

$$m_2 = \int_0^{\infty} f^2 S(f) df$$

$$m_4 = \int_0^{\infty} f^4 S(f) df$$

3. 수질환경조사

수질 환경은 본 연구소에서 실시한 연안어장생태환경조사시 2012년 2, 5, 8, 11월에 걸쳐 4회 조사한 자료를 인용하였다(그림 9). 각 항목 분석시 해양환경공정시험법(해양수산부, 2010)에 따라 분석하였다.



그림 9. 수질환경조사 정점 위치도

가. 수온, 용존산소, 수소이온농도(pH), 염분

현장에서 다항목수질측정기(YSI-556MPS, USA)를 이용하여 측정하였다.

나. 영양염류(Nutrient)

용존 암모니아성 질소(Ammonia, NH_4^+), 아질산성 질소(Nitrite, NO_2^-), 질산성 질소(Nitrate, NO_3^-), 인산염인(Phosphate, HPO_4^{2-}), 규산규소(Silicate, $\text{Si}(\text{OH})_4$)는 Grasshoff et al.(1999)의 방법에 따라 자동분석기 Quatro (Seal analytical, germany)을 사용하여 측정하였으며, 분석 방법은 아래와 같다.

(1) 암모니아성 질소(Ammonia, NH_4^+)

시료에 EDTA ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)와 sodium nitroprusside ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)의 혼합 용액 및 alkaline phenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$)과 dichloroisocyanic acid ($\text{C}_3\text{Cl}_2\text{N}_3\text{NaO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm로 측정하였다.

(2) 아질산성 질소(Nitrite, NO_2^-)

시료에 sulfanilamide ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2 \cdot \text{N}_2\text{S}$)와 naphthylethylenediamine ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 550 nm로 측정하였다.

(3) 질산성 질소(Nitrate, NO_3^-)

시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 후 아질산성 질소 측정방법과 동일하게 측정하였으며, column의 환원율을 구하여 보정한 후 아질산성 질소의 농도를 감하여 질산성 질소의 농도를 계산하였다.

(4) 인산염(Phosphate, HPO_4^{2-})

시료에 sodium molybdate, sulfuric acid, antimony potassium tartrate 혼합시약을 가하고, ascorbic acid로 환원시켜 발색시킨 후 파장 880 nm로 측정하였다.

(5) 규산염(Silicate, $\text{Si}(\text{OH})_4$)

시료에 sodium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후, oxalic acid와 ascorbic acid를 가하여 발색시킨 후 파장 660 nm에서 측정하였다.

다. 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand, COD)

시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨(KMnO_4)을 과잉으로 넣고 90°C 수욕상에서 60분간 가열 반응시킨 후 요오드화칼륨(KI) 및 황산(H_2SO_4)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

라. 총 인

여과하지 않은 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)를 가하여 시료 중의 무기, 유기 형태 등 모든 인 화합물을 산화 분해하여 무기 인산 인 형태로 변화시킨 다음, ascorbic acid로 환원시켜, 자동분석기 Quattro (Seal analytical, germany)를 이용하여 측정하였다.

마. 총질소

여과하지 않은 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)를 가하여, 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 자동 분석기인 Quattro (Seal analytical, germany)를 이용하여 측정하였다.

4. 퇴적환경조사

사업 지역의 표층퇴적물 입도 및 오염도를 조사하기 위하여 2013년 6월에 155개 정점에 대해 선상에서 채니기를 이용하여 채취하였고(표 3, 그림 10), 채취 정점의 위치는 GPS, Oregon 550(Garmin, USA)을 이용하였다. 각 항목 분석시 해양환경공정시험법(해양수산부, 2010)에 따라 분석하였다.



그림 10. 퇴적환경조사 정점 위치도

표 3. 퇴적환경조사 정점좌표

정점	위도			경도			정점	위도			경도		
1	37°	59′	14.80″	124°	37′	18.43″	40	37°	58′	28.55″	124°	38′	22.63″
2	37°	59′	1.86″	124°	37′	19.20″	41	37°	58′	22.08″	124°	38′	23.01″
3	37°	58′	52.00″	124°	37′	15.69″	42	37°	58′	15.61″	124°	38′	23.39″
4	37°	58′	45.53″	124°	37′	16.08″	43	37°	58′	15.91″	124°	38′	31.57″
5	37°	58′	52.30″	124°	37′	23.87″	44	37°	58′	22.38″	124°	38′	31.18″
6	37°	58′	45.83″	124°	37′	24.25″	45	37°	58′	28.85″	124°	38′	30.80″
7	37°	58′	52.61″	124°	37′	32.04″	46	37°	58′	35.32″	124°	38′	30.42″
8	37°	58′	46.14″	124°	37′	32.43″	47	37°	58′	41.80″	124°	38′	30.03″
9	37°	58′	39.67″	124°	37′	32.81″	48	37°	58′	51.35″	124°	38′	25.37″
10	37°	58′	33.50″	124°	37′	41.37″	49	37°	59′	4.29″	124°	38′	24.60″
11	37°	58′	39.97″	124°	37′	40.99″	50	37°	59′	17.23″	124°	38′	23.84″
12	37°	58′	46.44″	124°	37′	40.60″	51	37°	59′	17.84″	124°	38′	40.19″
13	37°	58′	52.91″	124°	37′	40.22″	52	37°	59′	4.90″	124°	38′	40.95″
14	37°	59′	2.47″	124°	37′	35.55″	53	37°	58′	51.96″	124°	38′	41.72″
15	37°	59′	15.41″	124°	37′	34.78″	54	37°	58′	42.10″	124°	38′	38.21″
16	37°	59′	16.02″	124°	37′	51.13″	55	37°	58′	35.63″	124°	38′	38.59″
17	37°	59′	3.07″	124°	37′	51.90″	56	37°	58′	29.16″	124°	38′	38.97″
18	37°	58′	53.22″	124°	37′	48.39″	57	37°	58′	22.69″	124°	38′	39.36″
19	37°	58′	46.75″	124°	37′	48.78″	58	37°	58′	29.46″	124°	38′	47.15″
20	37°	58′	40.28″	124°	37′	49.16″	59	37°	58′	35.93″	124°	38′	46.77″
21	37°	58′	33.81″	124°	37′	49.55″	60	37°	58′	42.40″	124°	38′	46.38″
22	37°	58′	27.64″	124°	37′	58.10″	61	37°	58′	42.70″	124°	38′	54.56″
23	37°	58′	34.11″	124°	37′	57.72″	62	37°	58′	36.23″	124°	38′	54.94″
24	37°	58′	40.58″	124°	37′	57.34″	63	37°	58′	29.76″	124°	38′	55.32″
25	37°	58′	47.05″	124°	37′	56.95″	64	37°	58′	36.54″	124°	39′	3.11″
26	37°	58′	53.52″	124°	37′	56.57″	65	37°	58′	43.01″	124°	39′	2.73″
27	37°	59′	16.62″	124°	38′	7.49″	66	37°	58′	52.56″	124°	38′	58.07″
28	37°	59′	3.68″	124°	38′	8.25″	67	37°	59′	5.50″	124°	38′	57.30″
29	37°	58′	50.74″	124°	38′	9.02″	68	37°	59′	18.44″	124°	38′	56.54″
30	37°	58′	40.88″	124°	38′	5.51″	69	37°	59′	19.05″	124°	39′	12.89″
31	37°	58′	34.41″	124°	38′	5.89″	70	37°	59′	6.11″	124°	39′	13.66″
32	37°	58′	27.94″	124°	38′	6.28″	71	37°	58′	53.17″	124°	39′	14.42″
33	37°	58′	21.47″	124°	38′	6.66″	72	37°	58′	43.31″	124°	39′	10.91″
34	37°	58′	21.78″	124°	38′	14.84″	73	37°	58′	36.84″	124°	39′	11.29″
35	37°	58′	28.25″	124°	38′	14.45″	74	37°	58′	30.37″	124°	39′	11.67″
36	37°	58′	34.72″	124°	38′	14.07″	75	37°	58′	30.67″	124°	39′	19.85″
37	37°	58′	41.19″	124°	38′	13.68″	76	37°	58′	37.14″	124°	39′	19.46″
38	37°	58′	41.49″	124°	38′	21.86″	77	37°	58′	43.61″	124°	39′	19.08″
39	37°	58′	35.02″	124°	38′	22.24″	78	37°	58′	37.44″	124°	39′	27.64″

표 3. 계속

정점	위도			경도			정점	위도			경도		
79	37°	58′	43.92″	124°	39′	27.26″	118	37°	58′	59.57″	124°	40′	40.07″
80	37°	58′	50.39″	124°	39′	26.87″	119	37°	58′	53.10″	124°	40′	40.45″
81	37°	58′	56.86″	124°	39′	26.49″	120	37°	58′	53.40″	124°	40′	48.62″
82	37°	59′	6.71″	124°	39′	30.01″	121	37°	58′	59.87″	124°	40′	48.24″
83	37°	59′	19.66″	124°	39′	29.24″	122	37°	59′	6.34″	124°	40′	47.86″
84	37°	58′	57.16″	124°	39′	34.67″	123	37°	59′	12.81″	124°	40′	47.48″
85	37°	58′	50.69″	124°	39′	35.05″	124	37°	59′	22.67″	124°	40′	51.00″
86	37°	58′	44.22″	124°	39′	35.43″	125	37°	59′	13.12″	124°	40′	55.66″
87	37°	58′	44.52″	124°	39′	43.61″	126	37°	59′	6.64″	124°	40′	56.04″
88	37°	58′	50.99″	124°	39′	43.22″	127	37°	59′	6.95″	124°	41′	4.22″
89	37°	58′	57.46″	124°	39′	42.84″	128	37°	59′	13.42″	124°	41′	3.84″
90	37°	59′	7.32″	124°	39′	46.36″	129	37°	59′	23.27″	124°	41′	7.35″
91	37°	59′	20.26″	124°	39′	45.59″	130	37°	59′	13.72″	124°	41′	12.01″
92	37°	58′	57.76″	124°	39′	51.02″	131	37°	59′	7.25″	124°	41′	12.39″
93	37°	58′	51.29″	124°	39′	51.40″	132	37°	59′	1.07″	124°	41′	20.95″
94	37°	58′	44.82″	124°	39′	51.78″	133	37°	59′	7.55″	124°	41′	20.57″
95	37°	58′	45.12″	124°	39′	59.95″	134	37°	59′	14.02″	124°	41′	20.19″
96	37°	58′	51.59″	124°	39′	59.57″	135	37°	59′	23.87″	124°	41′	23.71″
97	37°	58′	58.07″	124°	39′	59.19″	136	37°	59′	14.32″	124°	41′	28.36″
98	37°	59′	4.54″	124°	39′	58.81″	137	37°	59′	7.85″	124°	41′	28.74″
99	37°	59′	11.01″	124°	39′	58.43″	138	37°	59′	1.38″	124°	41′	29.12″
100	37°	59′	20.86″	124°	40′	1.95″	139	37°	58′	54.90″	124°	41′	29.50″
101	37°	59′	11.31″	124°	40′	6.61″	140	37°	59′	1.68″	124°	41′	37.30″
102	37°	59′	4.84″	124°	40′	6.99″	141	37°	59′	8.15″	124°	41′	36.92″
103	37°	58′	58.37″	124°	40′	7.37″	142	37°	59′	14.62″	124°	41′	36.54″
104	37°	58′	51.90″	124°	40′	7.75″	143	37°	59′	24.47″	124°	41′	40.06″
105	37°	58′	58.67″	124°	40′	15.54″	144	37°	59′	14.92″	124°	41′	44.72″
106	37°	59′	5.14″	124°	40′	15.16″	145	37°	59′	8.45″	124°	41′	45.10″
107	37°	59′	11.61″	124°	40′	14.78″	146	37°	59′	8.75″	124°	41′	53.27″
108	37°	59′	21.47″	124°	40′	18.30″	147	37°	59′	15.22″	124°	41′	52.89″
109	37°	59′	11.91″	124°	40′	22.96″	148	37°	59′	25.07″	124°	41′	56.41″
110	37°	59′	5.44″	124°	40′	23.34″	149	37°	59′	15.52″	124°	42′	1.07″
111	37°	58′	58.97″	124°	40′	23.72″	150	37°	59′	9.04″	124°	42′	1.45″
112	37°	58′	59.27″	124°	40′	31.89″	151	37°	59′	15.82″	124°	42′	9.25″
113	37°	59′	5.74″	124°	40′	31.51″	152	37°	59′	9.34″	124°	42′	9.62″
114	37°	59′	12.21″	124°	40′	31.13″	153	37°	59′	25.67″	124°	42′	12.77″
115	37°	59′	22.07″	124°	40′	34.65″	154	37°	59′	16.11″	124°	42′	17.42″
116	37°	59′	12.51″	124°	40′	39.31″	155	37°	59′	9.64″	124°	42′	17.80″
117	37°	59′	6.04″	124°	40′	39.69″							

가. 입도(Grain size)

염산과 과산화수소를 이용하여 탄산염과 유기물을 제거한 후 4Φ 체를 이용하여 습식체질을 통해 모래와 펄을 구분하고 건식체질과 Sedigraph III 5120(Micromeritics Instrument corp., USA)을 통하여 각 입자크기별 무게를 측정하여 입도분석지에 기입하였다(표 4).

표 4. 입자의 크기에 따른 입도등급

입자구분 (Size class)		입자직경	메쉬	파이(φ)	
자갈 (GRAVEL)	거 렵 (boulder)	256mm이상		-8	
	왕자갈 (cobble)	64mm이상		-6	
	자 갈 (pebble)	4mm이상	5	-2	
	왕모래 (granule)	2mm이상	10	-1	
모래 (SAND)	극조립사 (very coarse sand)	1mm이상	18	0	
	조립사 (coarse sand)	1/2mm이상 (0.5mm)	35	1	
	중립사 (medium sand)	1/4mm이상 (0.25mm)	60	2	
	세립사 (fine sand)	1/8mm이상 (0.125mm)	120	3	
	극세립사 (very fine sand)	1/16mm이상 (0.063mm)	230	4	
펄 (MUD)	실트 (SILT)	극조립실트 (very coarse silt)	1/32mm이상 (0.031mm)	5	
		조립실트 (coarse silt)	1/64mm이상 (0.016mm)	6	
		중립실트 (medium silt)	1/128mm이상 (0.008mm)	7	
		세립실트 (fine silt)	1/256mm이상 (0.004mm)	8	
	점토 (CLAY)	극세립실트 (very fine silt)	1/512mm이상 (0.002mm)		9
		점토(clay)	1/512mm이하 (0.002mm)		9이하

또한, 아래 식을 통해 평균입도(Mean, M_Z), 분급도(Sorting, S_O), 왜도(Skewness, S_K), 첨도(Kurtosis, K_G)를 계산하고, 삼각다이어그램을 통해 정점별 퇴적형태를 규명하였다(그림 11).

- 평균입도(M_Z) = $\frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3}$
- 분급도(S_O) = $\frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6.6}$
 - 0.35 이하 : Very well sorted
 - 0.50~0.71 : Moderately well sorted
 - 1.00~2.00 : Poorly sorted
 - 4.00 이상 : Extremely poorly sorted
 - 0.35~0.50 : Well sorted
 - 0.71~1.00 : Moderately sorted
 - 2.00~4.00 : Very poorly sorted
- 왜도(S_K) = $\frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$
 - 0.3 이상 : Strongly fine-skewed
 - -0.1~1.0 : Near-symmetrical
 - -0.3 이하 : Strongly coarse-skewed
 - 0.3~0.1 : Fine-skewed
 - -0.3~-0.1 : Coarse-skewed
- 첨도(K_G) = $\frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$
 - 0.67 이하 : Very platykurtic
 - 0.90~1.11 : Mesokurtic
 - 1.50~3.00 : Very leptokurtic
 - 0.67~0.90 : Platykurtic
 - 1.11~1.50 : Leptokurtic
 - 3.00 이상 : Extremely leptokurtic

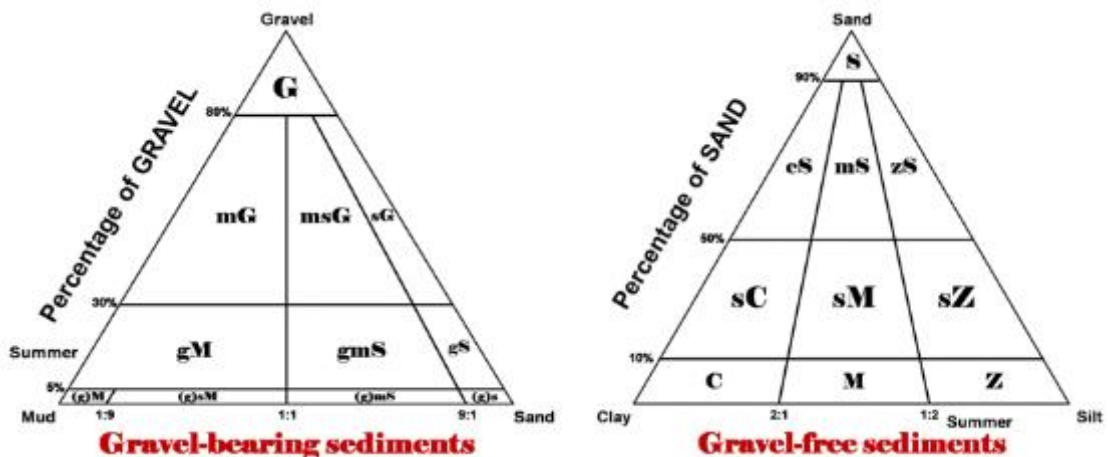


그림 11. 퇴적물 입도 삼각다이어그램 (Triangular diagram)

나. 강열감량(Ignition Loss, IL)

건조된 퇴적물 1g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550℃로 2시간 가열하여 가열 전후의 무게 차이로 계산하였다.

다. 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand, COD)

건조된 약 1 g의 무게를 취하여 과망간산칼륨과 수산화나트륨 용액을 넣고 100℃ 수욕상에서 60분간 중탕시킨 후 요오드화칼륨을 넣었다. 증류수를 가해 500 ml로 만들고 잘 흔들어 유리섬유여과지(GF/F)를 사용하여 여과한 후 황산을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

라. 휘발성황화합물(Acid Volatile Sulfide, AVS)

밀봉된 시료를 glove box 내에서 2 g을 정확히 측정하여 기체 발생관에 넣고 황산용액을 가하여 펌프를 작동시켜 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 하고 아래 식으로 계산하였다.

$$\text{황화물량}(mg\ S/g.dry) = \frac{\text{검지관눈금}}{\text{시료의무게}(g) \times \frac{100 - \text{함수율}(\%)}{100}}$$

마. 부영양화관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수

퇴적물 강열감량, 화학적산소요구량, 산취발성황화물 농도값에 대한 평가점수의 합계 점수를 부영양화 정화·복원지수(CI_{ET})라 하고(표 5), 이 값이 6점 이상인 구역을 정화·복원 대상지역으로 산정하여 환경개선 사업을 진행해야 한다.

표 5. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정
(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011.11)

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량 (IL)	% (건중량)	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6
화학적산소요구량 (COD)	mg/g (건중량)	13 미만	0
		20 미만	1
		30 미만	2
		40 미만	4
		40 이상	6
산취발성황화물 (AVS)	mg/g (건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6

5. 해저 지형조사

가. 기준점 및 수준점 측량

수심과 인공구조물 시설시 고려되어야 할 종단면도(경사도)를 고려하기 위하여 단빔(Single beam)을 이용하여 수심측량을 실시한 한국수산자원관리공단 자료를 인용하였다. 측량은 약 25 m 측선간격으로 정밀 측량을 조성예정해역인 사항포, 어릿골, 고봉포의 북측 해역을 대상으로 실시하였다(표 6, 그림 12). 측량은 기준점 측량, 수준점 측량, 수심 측량으로 나뉘며, 조사의 개요는 표 7과 같다.

표 6. 해저지형조사 범위 좌표

조사구역	UTM		WGS-84(DM)	
	X(N)	Y(E)	위도(N)	경도(E)
1	4213474.9660	115355.4984	37° 59.244 ′	124° 37.244 ′
2	4213474.9660	122737.7784	37° 59.430 ′	124° 42.274 ′
3	4212757.6192	122737.7784	37° 59.043 ′	124° 42.297 ′
4	4212401.2948	115355.4984	37° 58.665 ′	124° 37.297 ′

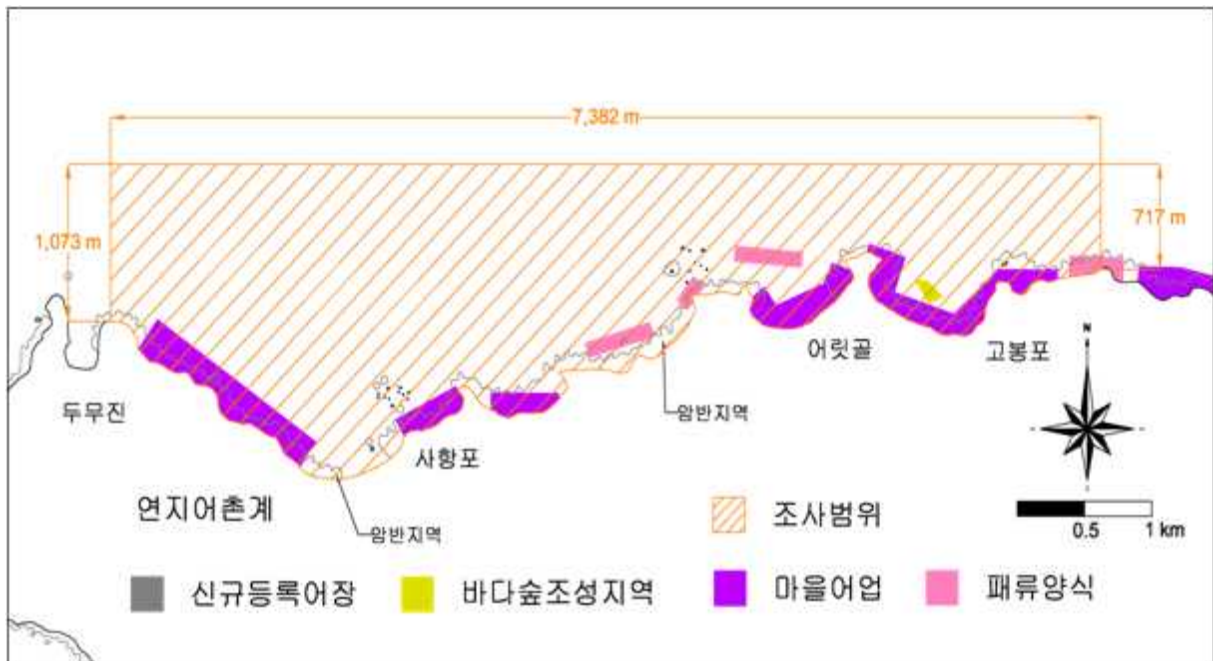


그림 12. 해저지형조사 범위

표 7. 해저지형조사 개요

항 목	적 용
측량기준점	통합기준점 U0054, U0055
해양기준점	백령도 301성과(해도 360)TBM No.3, TBM No.4, TBM No.5
조위관측점	조위관측 DI= 6.18사용(CP.2), 4.67(CP.6) 백령도 해양기준점 TBM2를 기준으로 유도하여 진촌어촌계(CP.2), 연지어촌계(CP.6)에서 표척관측을 실시하였고, 조위관측기록을 비교·검토하여 측지기준면하의 수심으로 경정하여 최종 경정측심치를 얻었다.
측심방법	정밀음향측심기 접근이 어려운 곳은 single beam을 사용하였고, 측심자료는 실시간으로 위치 좌표와 함께 Echo cad에 입력하였고, 자동저장되는 방식으로 진행
조사구역	인천광역시 옹진군 백령면 연지, 진촌 어촌계 북측해역
음향측심 기록보정	Bar-Check에 의한 수온과 염분에 대한 음속보정 실시 (음속보정경정계수 0.0%적용)
측량기준면	측지기준면 MSL 사용하여 도면에 기입
측심위치결정	DGPS(Differential Global Positioning System)

나. 수심측량

백령도 연지, 진촌 지역에 대한 수심 및 경사도를 획득하기 위하여 Single Beam 음향측심기를 조사선에 장착하여 작업 구역 내 수심측량을 실시하였다. 싱글빔 수심측량은 수심취득을 위한 천해용 정밀음향측심기 (KNUDSEN 320M)와 측심선의 위치결정을 위한 인공위성 위치측정기 (V30)로 구성하여 진행하였다. 음향 측심기로 측심한 수심에는 기기오차, 수중음향속도 변화에 의한 오차, 송수파기의 깊이(홀수) 및 조고(수위변화)에 의한 오차 등이 포함되어 있기 때문에 이를 보정하였다. 따라서 실수심은 “실수심 = 관측수심 + 기기보정량 + 음속도보정량 + 홀수보정량 - 조석보정량”으로 계산되며, 일반적으로 천해(수심 50 m 이하)에서는 기기오차를 수중음향속도 변화에 의한 오차 보정을 해줌으로써 자동으로 보정되었다.

6. 잠수 조사

진촌, 연지어촌계 해역의 9개 정점에 대해 잠수조사를 통하여 해삼 서식 밀도, 해저지형, 서식생물상(저서생물, 해조류)을 관찰하고 수중 촬영하였으며 (표 8, 그림 13), 한국수산자원관리공단과 자료를 공유하였다.

표 8. 잠수조사 정점 좌표

정점	종 류		좌표(WGS-84)	
			위도	경도
St. 1	연지어촌계 북측해역	자연초	37° 58.583 ' N	124° 37.846 ' E
St. 2		자연초	37° 58.469 ' N	124° 38.432 ' E
St. 3		자연초	37° 58.621 ' N	124° 38.600 ' E
St. 4		자연초	37° 58.615 ' N	124° 39.210 ' E
St. 5		자연초	37° 58.689 ' N	124° 39.523 ' E
St. 6	진촌어촌계 북측해역	반원가지형어초	37° 59.095 ' N	124° 40.200 ' E
St. 7		자연초	37° 59.130 ' N	124° 41.012 ' E
St. 8		자연초	37° 59.017 ' N	124° 41.395 ' E
St. 9		신요철어초	37° 59.128 ' N	124° 42.211 ' E

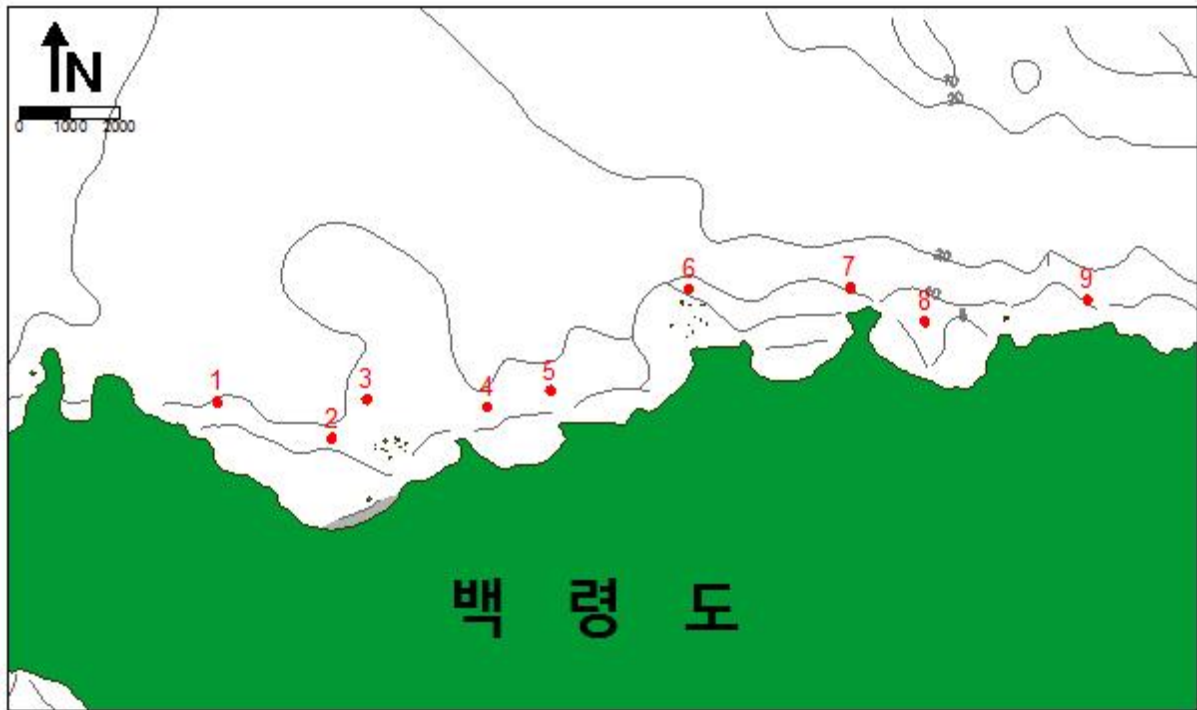


그림 13. 잠수조사 정점 위치도

7. 해삼 서식장 조성용 적지면적 산정

진촌, 연지어촌계 해역의 155개 정점에 대한 기존 면허어장 중복 여부, 해황, 수질환경, 퇴적환경, 해저 지형, 생물상 등을 고려하여 해삼 서식장 조성이 가능한 적지면적을 산정하여 도식화하였다.

III 조사 결과

1. 해삼 양식어장 현황

웅진군 백령면 진촌, 연지어촌계의 해삼양식 면허현황은 2013년 8월 현재 총 8개소, 115 ha이다(그림 14).

진촌어촌계의 경우 공동 1개(5ha), 마을 4개(60ha)이며, 해삼만 단독으로 양식하는 어장은 없으며, 전복·홍합등을 복합적으로 채취하는 어장이다(표 9). 연지어촌계의 경우 공동어업만 3개(50ha)이며, 진촌어촌계와 마찬가지로 전복 등과 복합적으로 채취하는 형태의 어장이다(표 10).

표 9. 진촌어촌계 해삼 양식 면허현황

연번	어업종류	번호	면적(ha)	면허기간	양식(채취) 품종	어업방법
1	공동	제27호	5		전복, 해삼	도수, 나잠
2	마을	제67호	10	2006.08.25~2016.08.24	전복, 해삼, 홍합, 다시마	도수, 낚, 칼, 호미
3	마을	제68호	20	2006.08.25~2016.08.24	전복, 해삼, 홍합, 다시마	도수, 낚, 칼, 호미
4	마을	제80호	15	2007.12.11~2017.12.10	전복, 해삼, 홍합, 다시마	도수, 낚, 칼, 호미
5	마을	제81호	15	2007.12.11~2017.12.10	전복, 해삼	도수, 나잠
합계			65			

표 10. 연지어촌계 해삼 양식 면허현황

연번	어업종류	번호	면적(ha)	면허기간	양식(채취) 품종	어업방법
1	공동	제35호	10	2004.12.30~2014.12.29	전복, 해삼 및 기타	낚, 호미, 칼, 삽
2	공동	제45호	20	2005.10.24~2015.10.23	전복, 해삼 및 기타	낚, 호미, 칼, 삽
3	공동	제59호	20	2007.04.08~2017.04.07	전복, 해삼 및 기타	낚, 호미, 칼, 삽
합계			50			

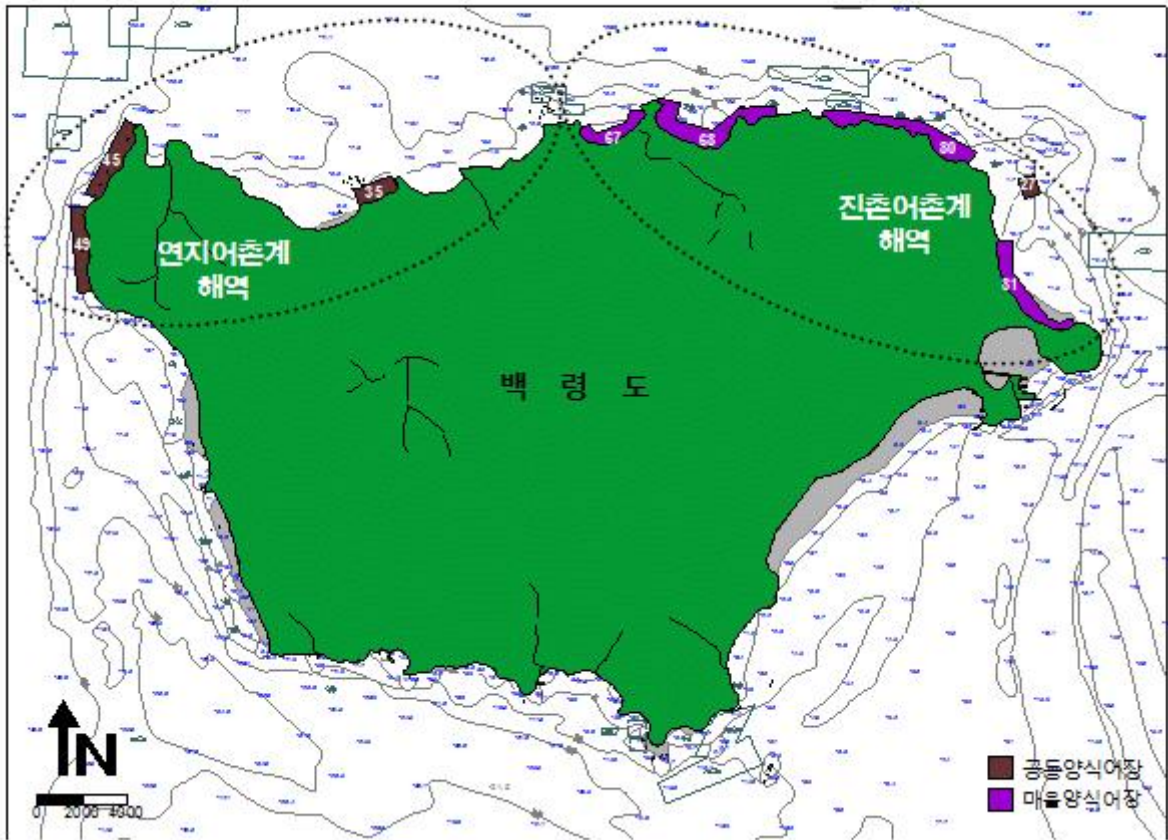


그림 14. 진촌, 연지어촌계 해삼양식 면허어장 위치도

2. 해황 분석

가. 조석 관측

(1) 자료 검증 및 변환

압력센서로부터 획득한 원시자료는 해수와 대기의 압력이 같이 고려된 압력값으로 표현된다. 따라서 정확한 해수면의 높이를 산정하기 위해 해수의 밀도와 대기압을 고려하여 해수면의 높이를 산정하여야 한다. 대기압은 인근 기상관측소에서 관측한 기압자료를 사용하여 기압효과를 빼주어 보정하였으며, 해수의 밀도는 연중 수직적으로 큰 차이가 없다고 가정하여 일정한 밀도값과 해수면과 대기압 사이의 역관계 이론을 적용하여 해저에서 관측한 압력을 아래 식을 사용하여 해수면의 높이로 계산하였다(표 11).

표 11. 조석 관측자료 계산

▶ 해저에서 측정된 압력의 단위가 hPa일 경우
(수압 1 hPa는 약 1 cm 두께 물의 압력)

$$\begin{aligned}
 D(m) &= \frac{(P_{obs} - P_{air})(hPa)}{\rho g} = \frac{(P_{obs} - P_{air})(hPa)}{1024.5 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9.80665 \text{ m s}^{-2}} \\
 &= \frac{(P_{obs} - P_{air})(10^2 \text{ Nm}^{-2})}{1024.5 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9.80665 \text{ m s}^{-2}} = \frac{(P_{obs} - P_{air})10^2 \text{ kg m s}^{-2} \text{ m}^{-2}}{1024.5 \text{ kg m}^{-3} \cdot 9.80665 \text{ m s}^{-2}} \\
 &= \frac{(P_{obs} - P_{air})10^2}{1024.5 \cdot 9.80665} \text{ m} = 0.0099533 (P_{obs} - P_{air}) \text{ m}
 \end{aligned}$$

여기서, 해수의 밀도(ρ)는 $1.0245 \text{ g cm}^{-3} = 1024.5 \text{ kg m}^{-3}$, 중력가속도(g)는 $9.80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 이다. 1 bar는 105 Pa이며, 1 Pa는 $1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ 또는 $1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 이다. 참고로, 1 hPa 해면기압 증가는 약 1 cm의 해수면 높이를 하강시킨다. 측정된 압력자료의 단위를 확인한 후 위에서 적용할 식을 선택한다. 이때 기압자료를 압력자료와 같은 단위로 통일이 필요하다. 보통 기압은 hPa를 사용하므로, 관측한 압력자료도 hPa로 통일한 후, 압력자료를 cm 단위의 해수면 높이 자료로 변환시켜 분석에 사용할 수 있다. $\rho = 1028 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 은 해양에서 가장 무거운 해수에 해당하므로(Pond and Pickard, 1988), 연안 해역에 적용하는데 무리가 있다. 위 식에서 사용한 $\rho = 1024.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 은 우리나라 연안의 연직평균밀도이다(김, 2010).

그림 15는 해수면 높이 자료로 변환시킨 분석결과를 도시한 것으로 실제관측조위와 예측조위를 나타내었다. 그리고 실측조위와 예측조위의 차를 나타낸 조석의 잔차 성분을 나타내었고, 이는 규칙적인 조석성분 이외의 다른 성분을 나타낸다.

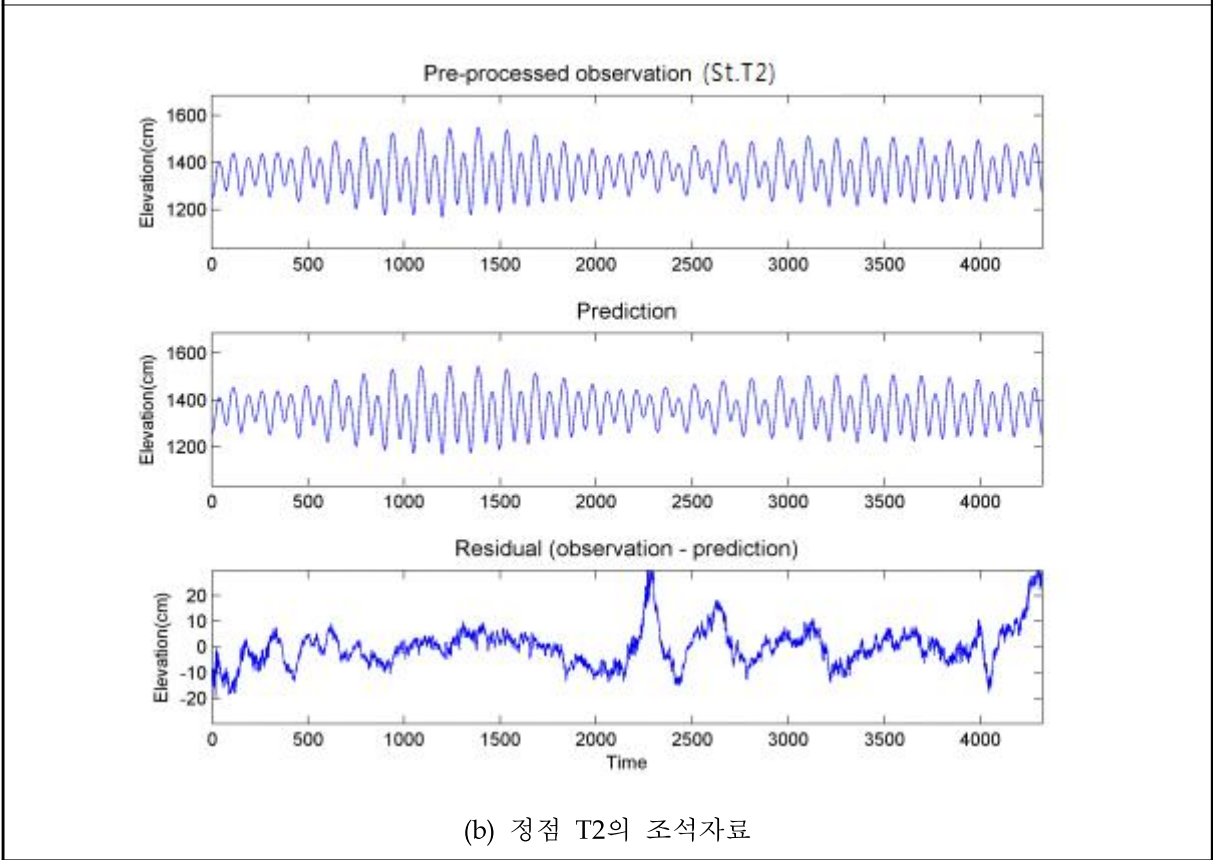
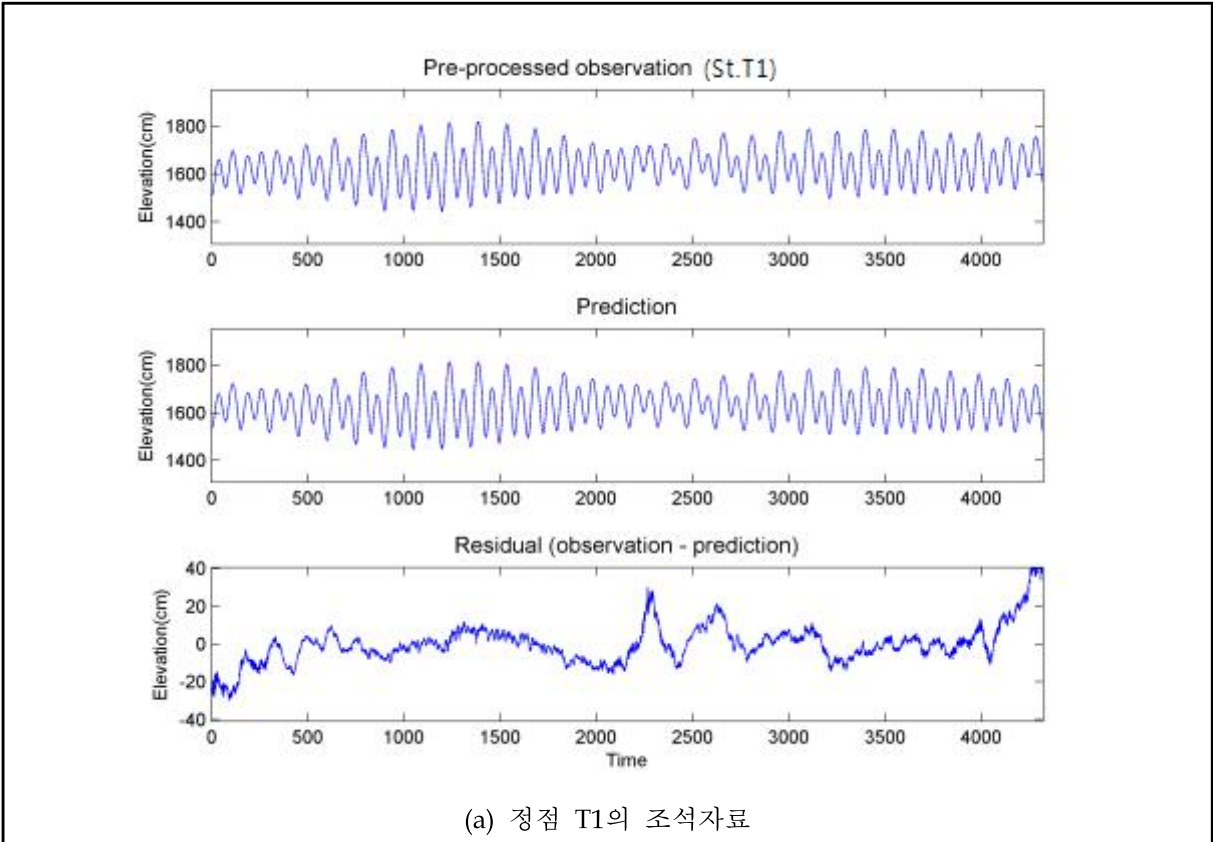


그림 15. 정점 T1과 T2의 조석 시계열도

(2) 조화분해

임의 시간동안 관측된 조위($H(t_i), i=1, N$)는 다음과 같은 함수를 이용하여 여러 분조의 합으로 표시할 수 있다.

$$H(t_i) = A_0 + \sum_{j=1}^M A_j \cos[2\pi(\sigma_j t_i - \phi_j)] \quad - \textcircled{1}$$

여기서, $N > 2M+1$

A_0 : 평균해면

σ_j : 분조의 각속도

A_j : 분조의 반조차

ϕ_j : 분조의 지각

미지수 A_j 와 ϕ_j 를 구하기 위한 여러 가지 방법 중 가장 일반적으로 사용되는 방법은 최소자승법(least square method)이며, 간단히 설명하면 다음과 같다.

위 식에서 $\sum_{j=1}^M A_j \cos[2\pi(\sigma_j t_i - \phi_j)]$ 은 다시 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\sum_{j=1}^M [C_j \cos(2\pi\sigma_j t_i) + S_j \sin(2\pi\sigma_j t_i)] \quad - \textcircled{2}$$

여기서, $A_j = (C_j^2 + S_j^2)^{1/2}$, $2\pi\phi_j = \arctan S_j / C_j$, 따라서 조정함수(fitting function)는 C_j 와 S_j 에 선형이 되어 풀 수 있게 된다.

$H(t_i)$ 를 H_i 로 다시 써서 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \sum_{i=1}^M \left[H_i - A_0 - \sum_{j=1}^M (C_j \cos 2\pi\sigma_j t_i + S_j \sin 2\pi\sigma_j t_i) \right]^2 \quad - \textcircled{3}$$

식 ③에서 T 가 최소가 되는 A_0 와 C_j, S_j 를 구하는 것이 최소자승법이며, A_0 와 C_j, S_j 를 구하면 식 ②과의 관계로부터 식 ①의 A_j (분조의 반조차)와 ϕ_j (분조의 지각)을 계산할 수 있다. 이렇게 구해진 분조의 반조차와 지각을 조화상수(harmonic constant)라 하며, 조화상수를 구하는 것을 조화분석(harmonic analysis)이라 한다. 진폭의 단위는 cm, 지각(°)의 기준(g)은 한국표준시의 자오선 기준(135°E)이다.

조화분석 프로그램은 세계적으로 많이 쓰이고 공인된 영국 Proudman Oceanographic Laboratory/Permanent Service for Mean Sea Level(POL/PSMSL)에서 개발한 Tidal Analysis Software Kit 2000 (TASK-2000)에 포함된 TIRA를 사용하였다.

조화상수 외에 조석의 특성을 나타내는 비조화상수(non-harmonic constant)를 구할 수 있는데, 비조화상수는 주요 4대 분조의 조화상수를 이용하여 계산한다. 여러 분조 중 주요 4대 분조의 특성 및 비조화상수 계산식을 표 12에 나타냈으며, 정점 T1 과 T2에서 취득한 자료를 조화 분석하여 얻은 주요 4대 분조의 조화상수를 표 13에 제시하였다.

표 12. 조석 주요 4대 분조특성 및 비조화상수 계산식

조 화 상 수	분조	분조명	각속도 (°/hr)	주기 (hr)	조화상수 기호	
					반조차	지각
조 화 상 수	M2	주태음반일주조	28.98	12.42	Hm	Km
	S2	주태양반일주조	30.00	12.00	Hs	Ks
	K1	일월합성일주조	15.04	23.93	H'	K'
	O1	주태음일주조	13.94	25.82	Ho	Ko
비 조 화 상 수	비조화상수			계 산 식		
	평균고조간격	M.H.W.I.	km/29			
	평균저조간격	M.L.W.I.	km/29 + 6h 12m			
	약최고고조위	Approx.H.H.W.	2(Hm+Hs+Ho+H')			
	대조평균고조위	H.W.O.S.T.	2(Hm+Hs)+Ho+H'			
	평균고조위	H.W.O.M.T.	2Hm+Hs+Ho+H'			
	소조평균고조위	H.W.O.N.T.	2Hm+Ho+H'			
	평균해면	M.S.L.	Hm+Hs+Ho+H'			
	소조평균저조위	L.W.O.N.T.	2Hs+Ho+H'			
	평균저조위	L.W.O.M.T.	Hs+Ho+H'			
	대조평균저조위	L.W.O.S.T.	Ho+H'			
	대조차	Spring Range	2(Hm+Hs)			
	평균조차	Mean Range	2Hm			
	소조차	Neap Range	2(Hm-Hs)			
	조석 형태수	Tide Factor	(Ho+H')/(Hm+Hs)			

표 13. 조석 조화상수

(반조차 : cm, 지각 : °)

분 조	T1		T2	
	2013.6.16~7.16		2013.6.16~7.16	
	반조차	지각	반조차	지각
MM	12.2	172.0	4.4	167.1
MSF	6.5	141.1	3.2	208.0
Q1	5.9	241.6	5.7	241.3
O1	23.4	280.0	23.3	280.2
M1	1.6	177.6	1.4	187.5
K1	36.2	320.5	36.1	319.6
J1	1.4	338.9	1.0	338.0
OO1	2.5	42.0	2.5	36.4
MU2	2.2	95.7	2.3	95.3
N2	18.0	172.3	18.5	168.5
M2	93.3	192.6	95.3	188.5
L2	3.5	224.1	3.6	216.5
S2	32.5	240.1	33.9	236.1
2SM2	0.8	152.3	0.9	140.3
MO3	0.5	246.0	0.9	239.3
M3	0.1	52.2	0.2	51.1
MK3	1.4	336.7	1.9	318.0
MN4	2.2	232.6	2.5	200.0
M4	4.1	252.3	5.4	219.2
SN4	0.2	111.7	0.1	46.3
MS4	2.0	303.8	3.0	272.8
2MN6	0.4	319.9	0.3	254.7
M6	0.3	354.6	0.4	245.1
MSN6	0.0	122.0	0.0	241.5
2MS6	0.4	42.3	0.4	325.4
2SM6	0.1	174.0	0.0	141.6
M.S.L	185.4		188.6	

(주) - 지각(°)의 기준은 한국표준시의 자오선 기준(135°E)이다.

(3) 조화상수 및 비조화상수

정점 T1 과 T2의 조석 특성을 파악할 수 있는 조화상수 및 비조화상수를 표 14에 정리하였다.

표 14. 조석 조화상수 및 비조화상수 비교표

위 치 Location		WGS-84	T1		T2		
위도 Latitude (N)			34° 59' 41.2" N		34° 59' 08.1" N		
경도 Longitude (E)			124° 38' 12.6" E		124° 41' 23.2" E		
기간 Period			2013.6.16~2013.7.16				
분 조	조화상수		반조차(cm)	지각(°)	반조차(cm)	지각(°)	
M_2 주태음반일주조			93.3	192.7	95.3	188.5	
S_2 주태양반일주조			32.5	240.1	33.9	236.1	
K_1 일월합성일주조			36.2	320.5	36.1	319.6	
O_1 주태음일주조			23.4	280.0	23.3	280.2	
평균해면의 높이 (기본수준면상) $So = Hm + Hs + H' + Ho$			185.4cm		188.6cm		
비 조 화 상 수 N o n h a r m o n i c c o n s t a n t	평균고조간격 M.H.W.I km/29		6h 39m		6h 30m		
	평균저조간격 M.L.W.I km/29+6H12m		12h 51m		12h 42m		
	약최고고조면 Approx H.H.W(2×So)		370.8cm		377.2cm		
	대조평균고조면 M.H.W.S(So+Hm+Hs)		311.2cm		317.8cm		
	평균고조면 M.H.W(So+Hm)		278.7cm		283.9cm		
	소조평균고조면 M.H.W.N[So+(Hm-Hs)]		246.2cm		250.0cm		
	평균해면 M.S.L(So)		185.4cm		188.6cm		
	소조평균저조면 M.L.W.N[So-(Hm-Hs)]		124.6cm		127.2cm		
	평균저조면 M.L.W(So-Hm)		92.1cm		93.3cm		
	대조평균저조면 M.L.W.S[So-(Hm+Hs)]		59.6cm		59.4cm		
	약최저저조면 Approx.L.L.W		0.0cm		0.0cm		
	대조차 Spring Range 2(Hm+Hs)		251.6cm		258.4cm		
	평균조차 Mean Range 2Hm		186.6cm		190.6cm		
	소조차 Neap Range 2(Hm-Hs)		121.6cm		122.8cm		
	조석형태수(Factor)			0.47		0.46	

(4) 결과분석

금회 조석관측 해역은 백령도 북측해역으로 6월~7월 사이에 정점 T1과 T2에서 1개월 동안 조위를 관측하였다. 이렇게 관측된 성과로부터 조사해역의 조석특성을 정리하면 다음과 같다.

1) 조석의 주기성

조석의 가장 기본적인 특성을 표시하는 것 중 관측해역의 반일주조 반조차(M2+S2)에 대한 일주조의 반조차(K1+O1)의 비가 있는데 이를 조석형태수(Tide Factor, F)라 한다. 조석형태수의 크기에 대한 분류는 다음과 같다.

F	=	0	~	0.25	:	반일주조가 우세한 조석
F	=	0.25	~	1.50	:	반일주조가 우세한 혼합조
F	=	1.50	~	3.0	:	일주조가 우세한 혼합조
F	>	3.0			:	일주조가 우세한 조석

금회 관측결과에 대한 조석형태수를 보면 0.46~0.47로 나타났다.

2) 대조차

한국연안의 대조차는 인천항에서 약 8m로 최대이고 서해안을 따라 남쪽으로, 그리고 남해안을 따라 동쪽으로 가면서 점차 감소한다. 정점 T1에서 251.6cm, 정점 T2에서 258.4cm로 나타났으며, 정점 T2가 6.8cm 높다.

3) 평균고조간격

달이 135°E 자오선을 통과한 후 고조가 될 때까지의 시간을 평균 고조간격이라 하며 주태음반일주조(M2)의 지각을 이용하여 계산한다. 남·동해안의 경우 대한해협 인근에 위치한 무조점을 중심으로 반시계 방향으로 전파되어 남해안의 동쪽에서 서쪽으로 갈수록 늦어진다(그림 16). 이번 조사의 조화분해는 한국표준시 자오선을 기준(g, 135°E 기준)으로 하였으며, 동일 기준으로 된 시간의 변화 양상을 보기 위하여 평균 고조 간격은 한국 표준시 자오선 기준(g, 135°E 기준)으로 나타내었다. 정점 T1에서 6h 39m, 정점 T2에서 6h 30m로 나타났으며, 정점 T2가 9분 빠르게 나타났다.

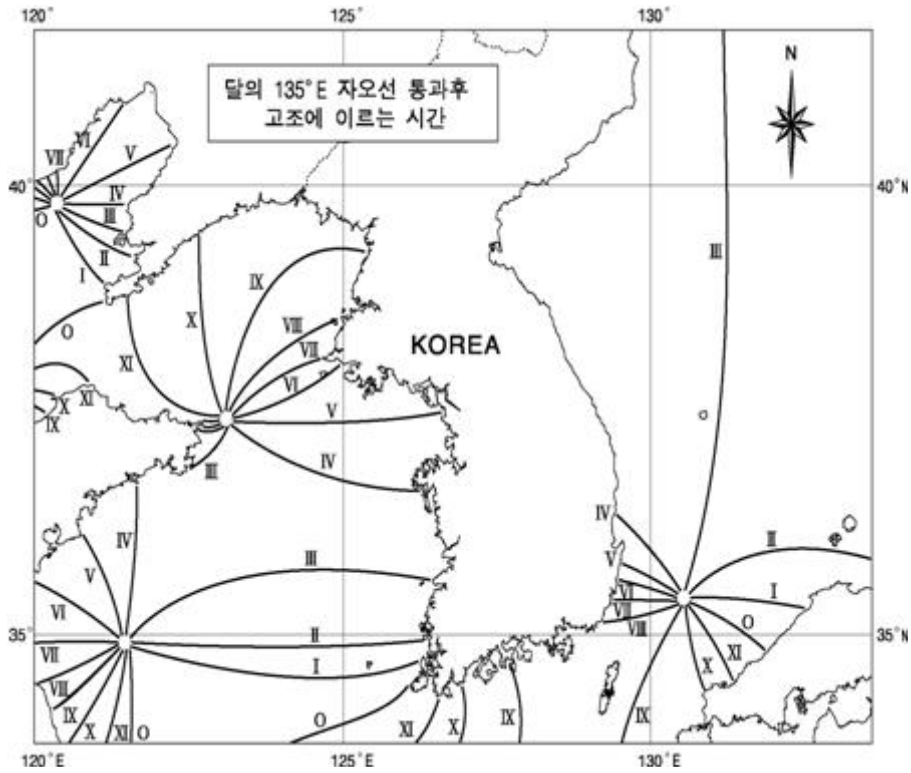


그림 16. 한국 근해의 M2분조 등조시도

4) 약최고고조위

약최고고조위는 평균해면에 주요 4대분조의 반조차를 더하여 얻어진다. 정점 T1에서 370.8cm, 정점 T2에서 377.2cm로 나타났으며, 정점 T2가 6.4cm 높다.

5) 평균해면

4대 주요 분조의 합인 평균해면($S_o = H_m + H_s + H_o + H'$)은 정점 T1에서 185.4 cm, 정점 T2에서 188.6 cm로 나타났으며, 정점 T2가 3.2 cm 높다.

6) 대조승

대조승은 기본수준면으로부터 대조의 평균고조면까지의 높이로서 평균해면에 반일주조의 반조차를 더하여 얻을 수 있다. 정점 T1에서 311.2 cm, 정점 T2에서 317.8 cm로 나타났으며, 정점 T2가 6.6 cm 높다.

나. 층별 조류 관측

(1) 조류 벡터도 및 분산도

그림 17에는 정점 C2의 각 수층별 조류벡터도를 도시하였으며, 그림 18에 각 수층별 조류분산도를 도시하였다. 조류분산도는 관측된 조류 속도와 방향분산의 정도를 파악하는데 유용하다. 이들 그림에서처럼 정점 C2에서 조류의 주방향은 전층에서 동남~분산성은 거의 일정하게 나타났다.

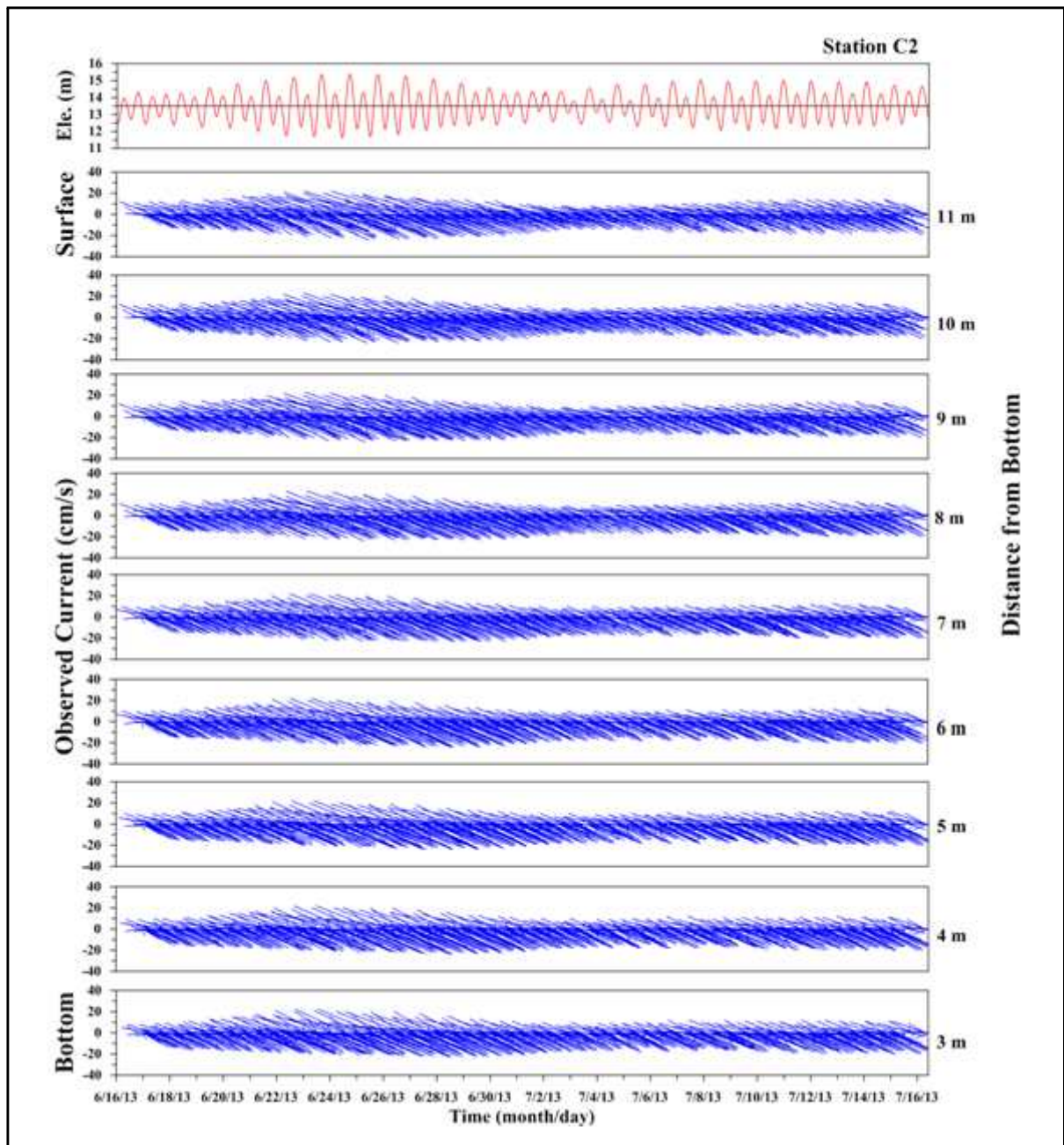


그림 17. 정점 C2의 층별 조류벡터도

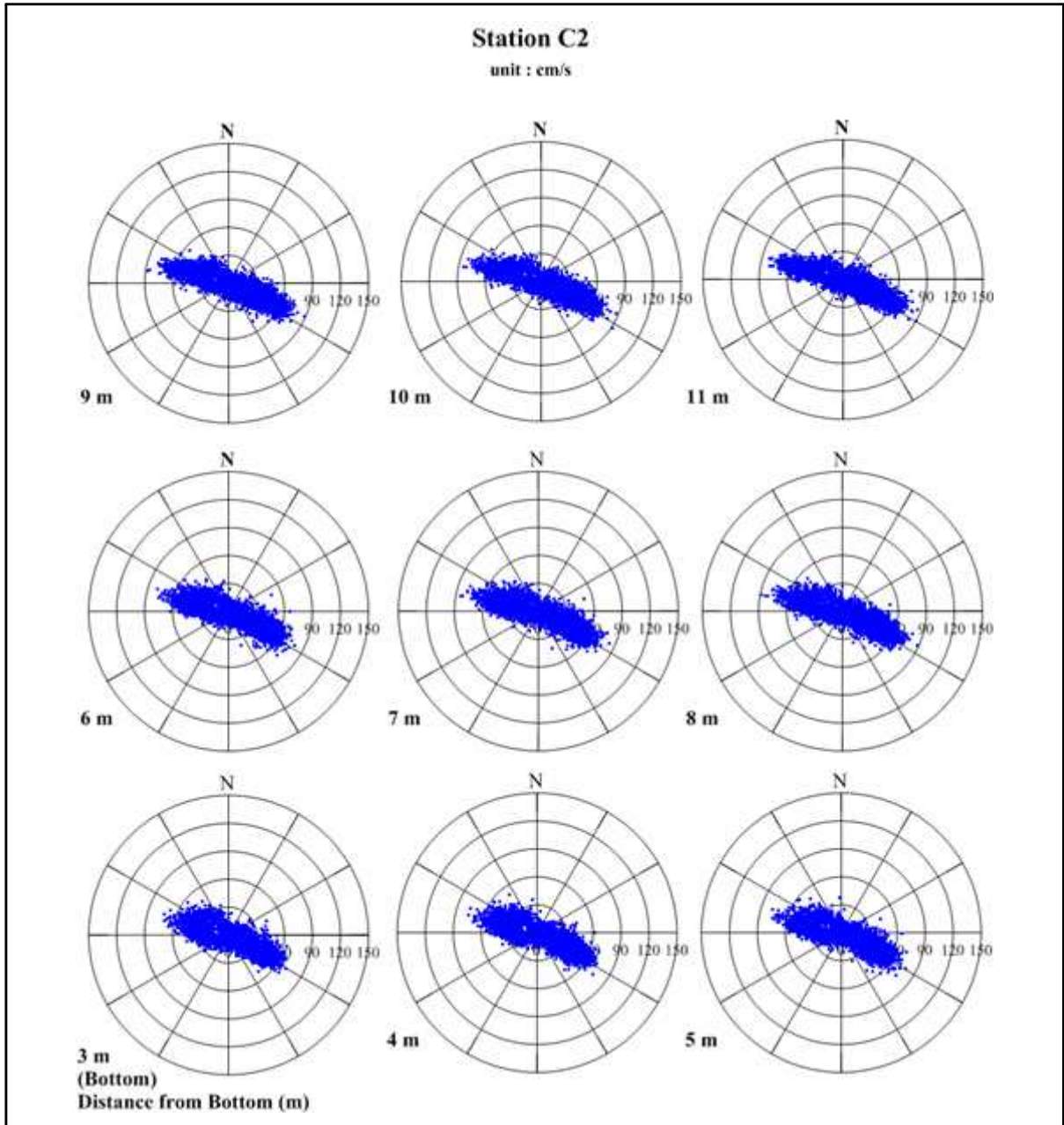


그림 18. 정점 C2의 층별 조류분산도

(2) 최강유속 및 평균유속

정점 C2의 층별 최강유속과 평균유속의 특징을 파악하기 위하여, 표 15에 그 구체적인 수치를 나타내었고, 그림 19에는 그림으로 도시하여 나타내었다. 정점 C2의 층별 최강유속은 창조류시 71.4~91.3 cm/s, 낙조류시 72.2~87.7 cm/s, 평균유속은 창조류시 33.3~35.6 cm/s, 낙조류시 27.6~30.9 cm/s로 낙조류보다 창조류의 유속이 크게 나타났다.

표 15. 정점 C2의 층별 최강유속 및 평균유속

수심		3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m
창조류 (cm/s)	최강	71.4	74.2	78.9	80.2	84.4	88.4	89.1	91.3	90.3
	평균	33.3	34.1	34.8	35.2	35.6	35.3	34.9	34.0	31.9
낙조류 (cm/s)	최강	72.2	76.1	77.2	79.6	84.3	87.5	87.7	84.3	81.8
	평균	27.6	28.4	29.1	29.8	29.9	30.5	30.7	30.9	29.9

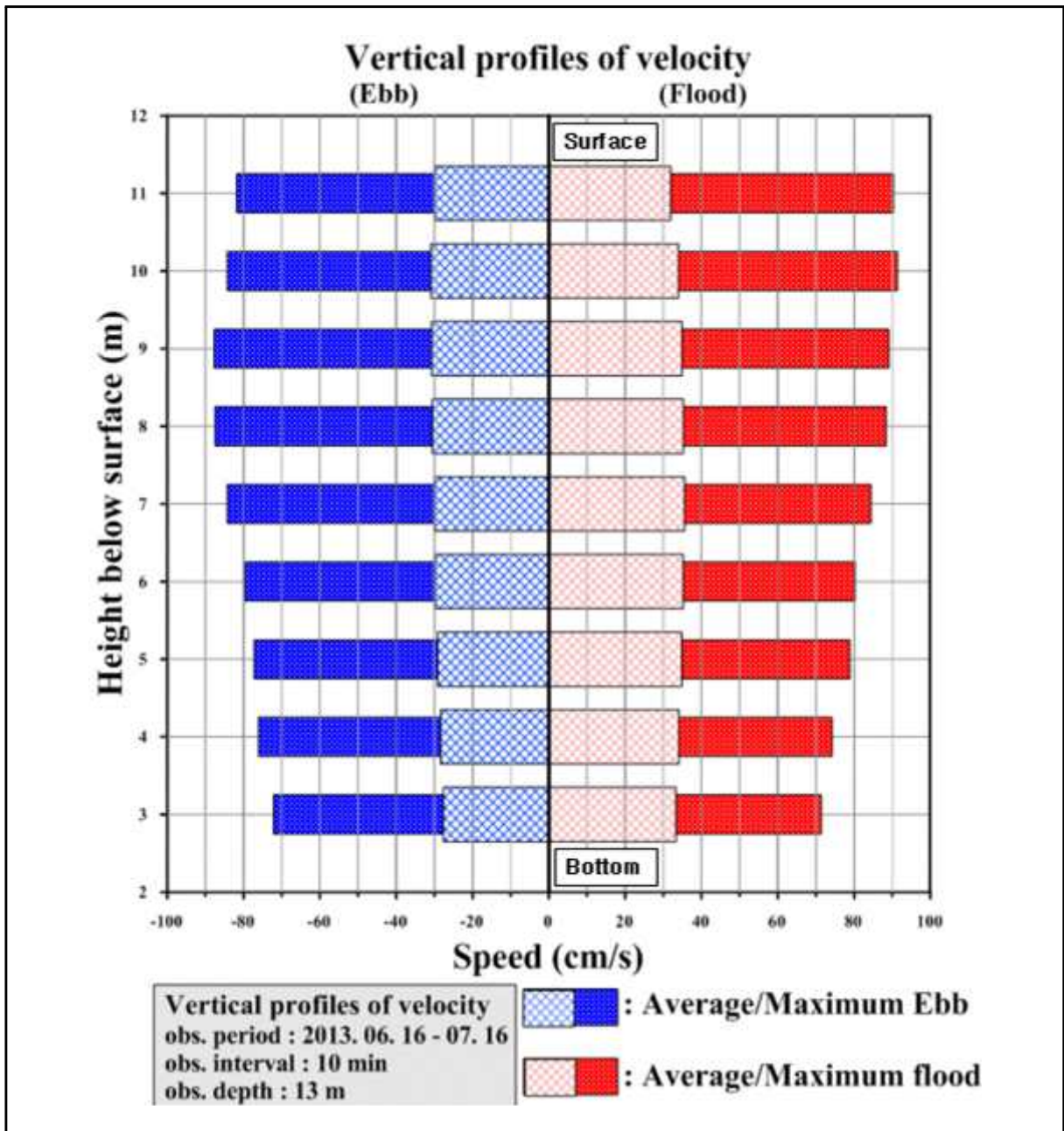


그림 19. 정점 C2의 층별 최강유속 및 평균유속

(3) 조석잔차류

조석잔차류를 파악하기 위하여 정점별 층별 조석잔차류를 표 16에 나타내었고, 그림 20에 조류진행벡터도를 제시하였다. 조류진행벡터도는 관측기간 동안 조류의 평균적인 진행 방향과 잔차류의 크기를 파악하는데 유용한 것으로 알려져 있다. 정점 C2의 잔차류 크기는 9.21~12.41 cm/s의 범위이고 주로 동남 방향의 유향을 나타내었으며, 비교적 전층에서 유향은 유사하였으며, 유속은 저층으로 갈수록 커지는 경향을 보였다.

표 16. 정점 C2의 잔차류 유속 및 유향

수 심	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m
유속(cm/s)	12.19	12.33	12.41	12.38	12.16	11.76	11.25	10.51	9.21
유향(°)	123.71	124.46	124.81	124.67	124.17	123.71	122.63	122.17	122.19

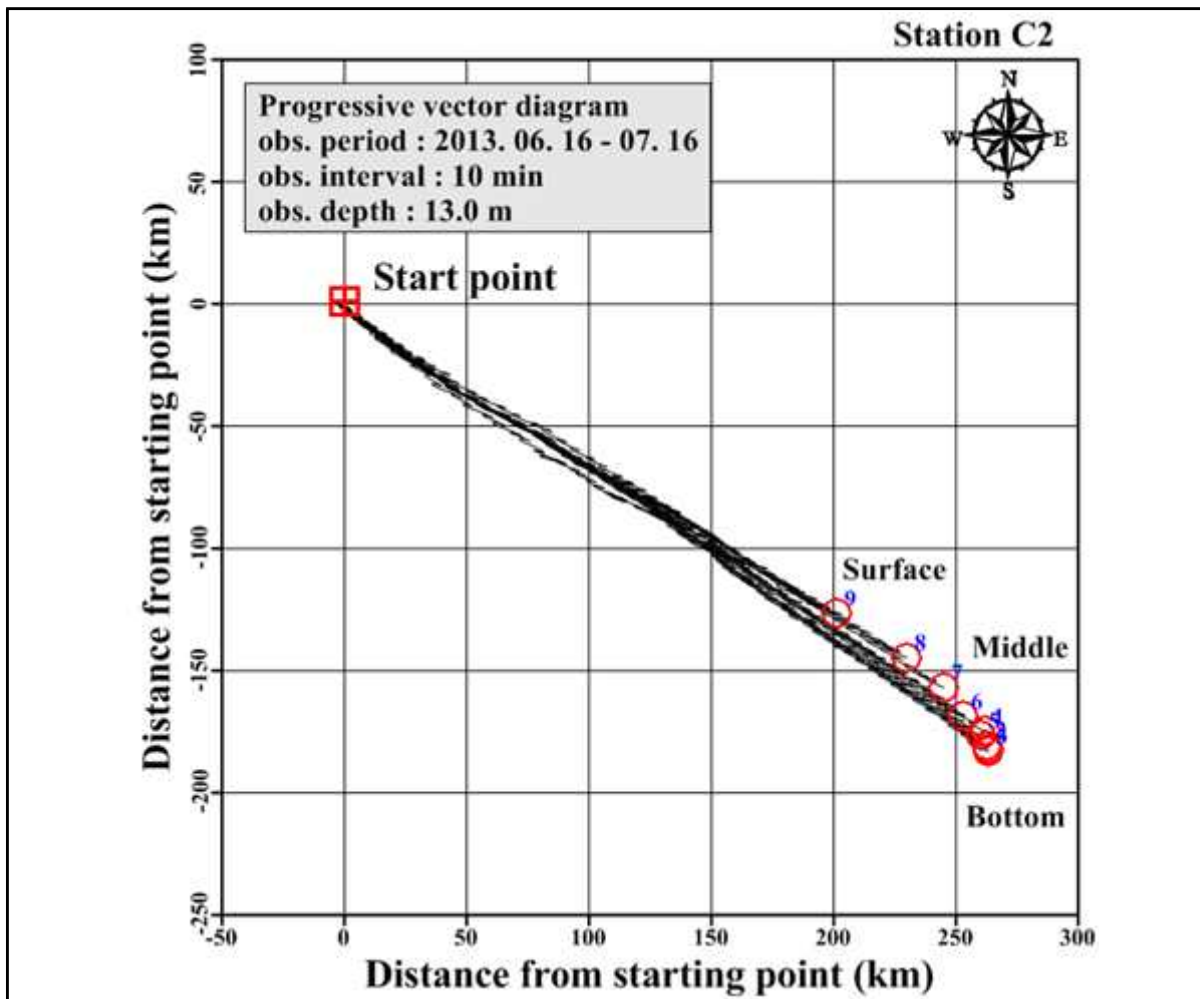


그림 20. 정점 C2의 조류 진행벡터도

다. 파랑 관측

금회 파랑관측 해역은 백령도 북측해역으로 6~7월 사이에 정점 W1에서 1개월 동안 파향파고를 관측하였다. 이렇게 관측된 자료는 스펙트럼법으로 분석되어 유의파고(H_s), 피크주기(T_s), 그리고 주파향(D_p)으로 정리되었으며, 그림 21에 시계열로 그 결과를 도시하였다. 그리고 이 자료를 통계처리하여 파고주기의 출현율과 파향의 출현율을 표 17와 표 17에 나타내었다.

정점 W1에서 유의파고는 0.5 m 이하 84.2%, 0.5~1.0 m 12.5%, 1.0~1.5 m 3.3%로 아주 정온한 해상상태의 특징을 보였으며, 피크주기는 5초 이하 47.1%, 5~10초 48.8%, 10초 이상 4.1%로서 5~10초 이하의 주기파가 우세하였고, 주파향은 정점 W1에서 W계 12.5%, WSW계 40.4%, WNW계 8.8% 등으로 W계 우세하였다.

한편, 3시간간격으로 30일동안 관측된 이들 유의파고, 피크주기, 그리고 주파향을 평균하여 표 20과 같이 파제원을 산출하였고, 정점 W1에서 평균 유의파고는 0.36m, 평균피크주기는 5.8초, 그리고 평균주파향은 221°(W)이었다. 또한 관측된 파고값으로부터 최대파고에 해당하는 폭풍파제원은 표 20과 같이 산출하였다. 정점 W1에서 유의파고는 1.27 m, 피크주기는 7.7초 주파향은 244°(W)이었다.

표 17. 정점 W1에서 파고주기의 출현율(단위: %)

파고 (m)	주기(s)											소계	누계
	<4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	11~12	12~13	13 ≤		
< 0.5	20.42	22.08	17.92	10.00	5.00	5.00	-	-	1.25	1.67	0.83	84.17	84.17
0.5~1.0	1.25	3.33	2.08	2.92	1.67	0.83	-	-	-	-	0.42	12.50	96.67
1.0~1.5	-	-	0.42	0.83	1.25	0.83	-	-	-	-	-	3.33	100.00
1.5~2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00
2.0 ≤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100.00
소계	21.67	25.42	20.42	13.75	7.92	6.67	0.00	0.00	1.25	1.67	1.25	100.00	
누계	21.67	47.08	67.50	81.25	89.17	95.73	95.83	95.83	97.06	98.75	100.00		

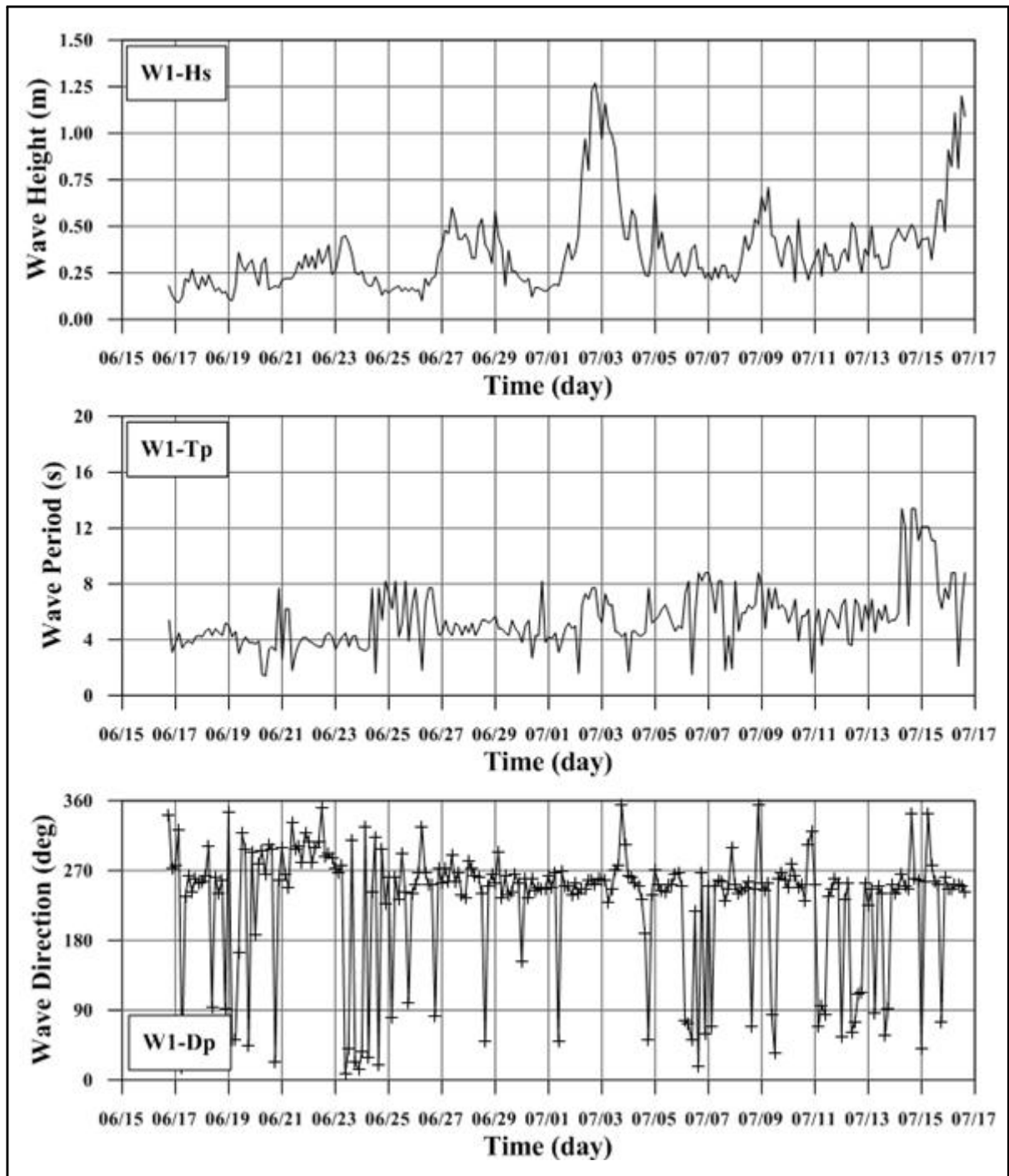


그림 21. 정점 W1에서 관측된 파랑의 시계열

표 18. 정점 W1에서 파향의 출현율(단위: %)

파향 (Deg.)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
출현율	1.67	2.92	5.00	4.58	2.50	0.83	0.42	0.42	0.83	0.42	12.5	40.42	12.5	8.75	3.33	2.92
소계	1.67	2.92	5.00	4.58	2.50	0.83	0.42	0.42	0.83	0.42	12.5	40.42	12.5	8.75	3.33	2.92
누계	1.67	4.58	9.58	14.17	16.67	17.50	17.92	18.33	19.17	19.58	32.08	72.50	85.0	93.75	97.08	100.0

표 19. 정점 W1에서 평균유의파 및 폭풍파에 대한 파고, 주기, 파향

평균유의파			폭풍파		
H_s (m)	T_p (s)	D_p (°)	H_s (m)	T_p (s)	D_p (°)
0.36	5.47	221(W)	1.27	7.70	244(W)

3. 수질환경

가. 수온

해삼에게 있어 수온은 성장기간을 결정짓는 중요한 요인이다. 해삼은 수온이 올라가면 여름잠(夏眠)을 자는데, 초여름부터 장마기에 걸쳐 수온이 18℃ 이상이 되면 운동이 활발하지 못하고 식욕이 감퇴하여 소화관이 위축되기도 하는데, 이때가 하면전기(夏眠前期)로 여름잠에 돌입하는 시기이다. 이후 수온이 25℃ 이상이 되면 단식 상태에 들어가 소화관은 퇴축하고 운동을 전혀 하지 않게 되는데, 이때가 완전히 여름잠에 빠지는 하면성기(夏眠盛期)이다.

진촌어촌계 해역은 3.2~21.8℃ (평균 13.2℃), 연지어촌계 해역은 3.5~21.9℃ (평균 13.3℃)이며(그림 22), 국립수산물과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 수온 범위인 2~26℃에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013). 또한, 여름철에 해삼의 하면이 시작되는 18℃ 이상이지만, 2008년 국립수산물과학원 한국해양자료센터 자료에 의하면 18℃ 이상이 유지되는 기간이 2개월로 4.3개월인 인천 연안(용유도)보다 2개월 가량 짧은 것으로 나타났다.

따라서, 조사해역은 다른 해역보다 하면 기간이 짧아 해삼 성장에 유리한 환경조건이라고 할 수 있다.

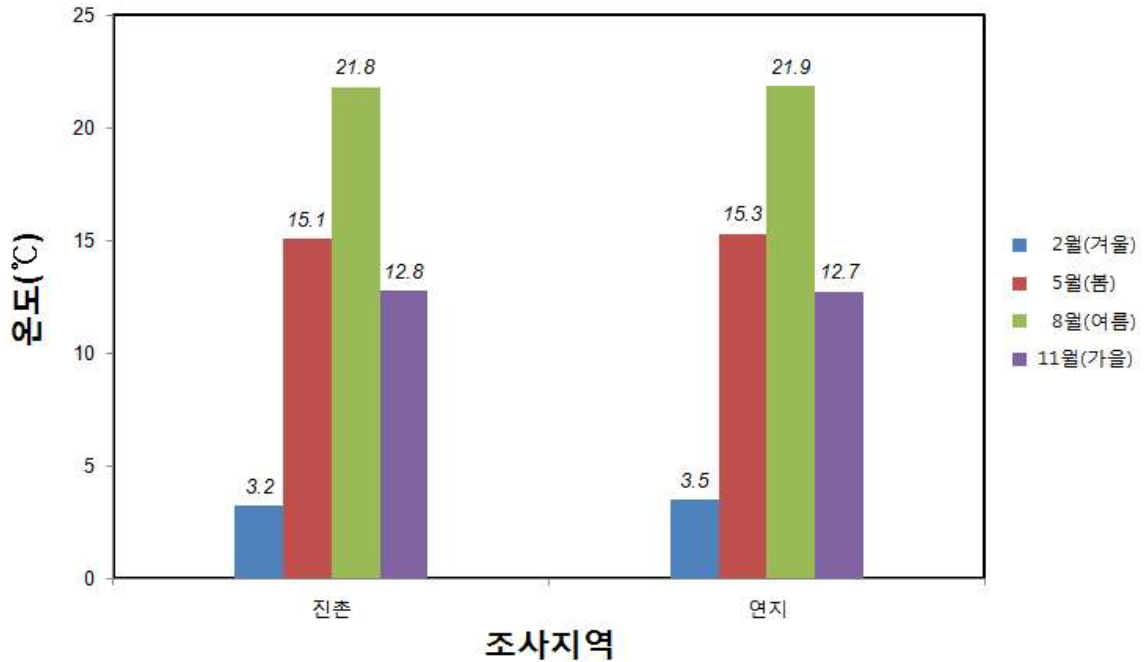


그림 22. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 수온 변화

나. 용존산소

해수 중의 용존산소는 대기 중 산소의 용해, 조류나 수생 동물의 광합성 그리고 용존산소가 풍부한 외해수로부터의 공급에 의해 증가하고 동·식물의 호흡작용, 미생물에 의한 유기물 분해작용 등에 의해 감소하는데, 해수나 퇴적물 중에 유기물질이 과다하게 축적되면, 미생물에 의해 분해되는 과정에서 많은 양의 용존산소를 소모하므로 수중의 용존산소 부족으로 생리적인 장애를 받게 된다. 따라서, 해수 중의 용존산소를 측정하면 오염정도를 간접적으로 알 수 있고, 해양생물에 미치는 영향을 추측할 수 있다(인천시 중구, 2008).

진촌어촌계 해역은 6.2~11.7 mg/L (평균 8.5 mg/L), 연지어촌계 해역은 6.8~11.5 mg/L (평균 8.7 mg/L)이며(그림 23), 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 용존산소 범위인 5 mg/L 이상에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013).

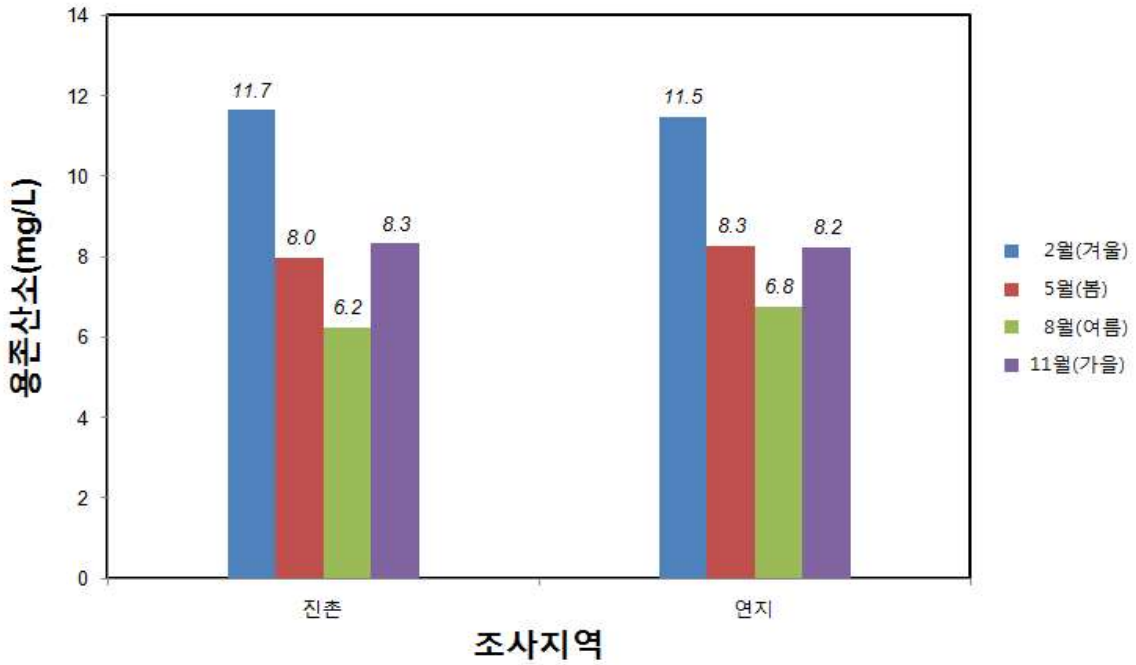


그림 23. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존산소 변화

다. 수소이온농도 (pH)

진촌어촌계 해역은 7.9~8.4 (평균 8.2), 연지어촌계 해역은 7.9~8.4 (평균 8.2)이며(그림 24), 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 수소이온농도(pH) 범위인 7.8~8.3에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013).

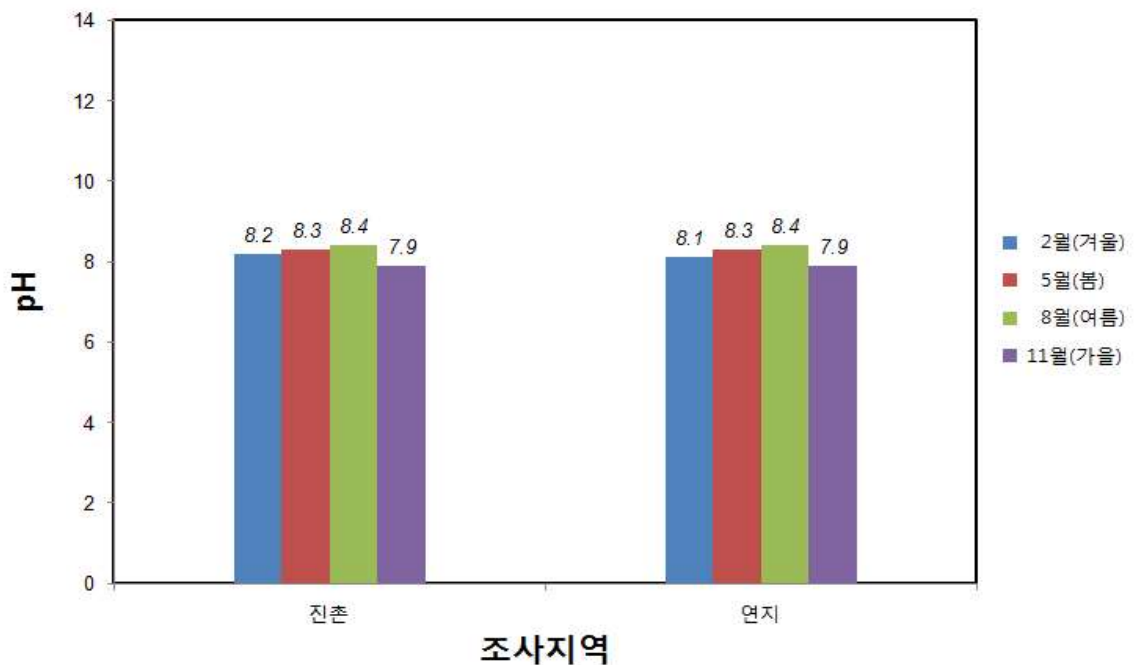


그림 24. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 수소이온농도(pH) 변화

라. 염 분

해삼의 특성상 빠른 이동과 도피력이 부족하며, 체표면에는 어류나 갑각류와 같이 비늘이나 갑각이 없어 저염분에 대한 저항력이 매우 약하다. 해삼의 적정 염분범위는 25~34 ppt로 집중 강우로 인하여 염분이 22 ppt 이하로 낮아지면 해삼의 생존에는 악영향을 미치게 된다(중구, 2008).

진촌어촌계 해역은 31.6~33.2 ppt (평균 32.6 ppt), 연지어촌계 해역은 31.6~33.4 ppt (평균 32.7 ppt)이며(그림 25), 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 염분 범위인 28~34 ppt에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013).

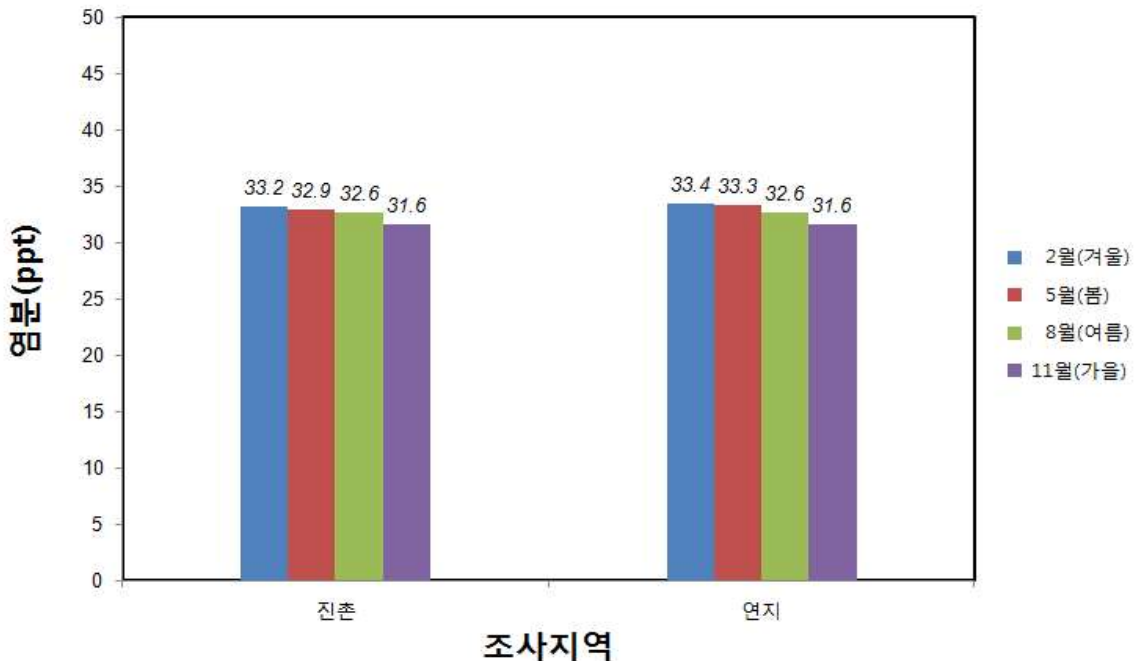


그림 25. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 염분 변화

마. 화학적산소요구량(COD)

화학적산소요구량(COD)은 유기물 등의 오염물질을 산화제로 산화 분해시켜 정화하는데 소비되는 산소량이며, 물속에 들어 있는 유기물, 아질산염, 제1철염, 황화물 등은 용존 산소를 소비하는데, 이런 물질이 많이 들어 있으면 물 속의 산소가 없어져 물고기와 미생물이 살 수 없게 되고 물이 썩어 고약한 냄새가 나고 물 색깔이 검게 변하여 물이 죽게 되므로, 해수 오염 지표로 이용되고 있다.

진촌어촌계 해역은 0.71~2.33 mg/L (평균 1.60 mg/L), 연지어촌계 해역은 0.71~2.49 mg/L (평균 1.62 mg/L)이며(그림 26), 여름·가을 측정값이 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 화학적 산소요구량 범위인 2 mg/L 이하인 기준에서 약간 벗어나지만, 육지와 멀리 떨어져 있어 오염물질의 유입이 없으므로 해삼 서식에는 악영향을 끼치지 않을 것으로 사료된다(옹진군, 2008).

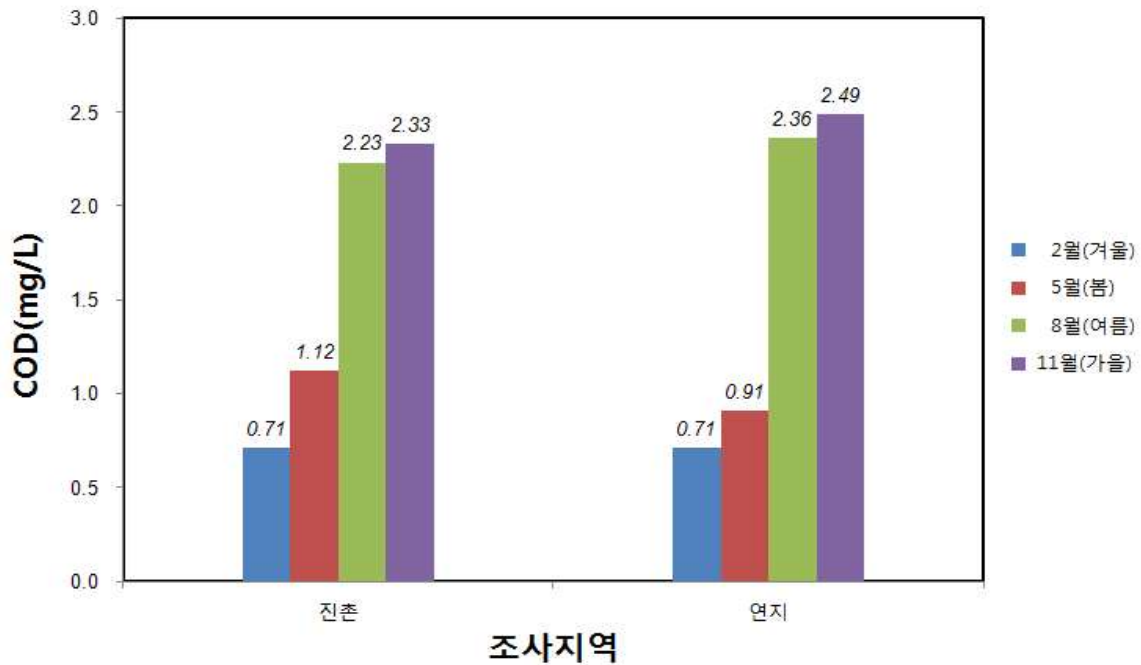


그림 26. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 화학적산소요구량(COD) 변화

바. 영양염류

(1) 암모니아 질소(NH₄-N)

암모니아질소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.011~0.079 mg/L (평균 0.034 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.010~0.073 mg/L (평균 0.032 mg/L)으로 나타났다(그림 27).

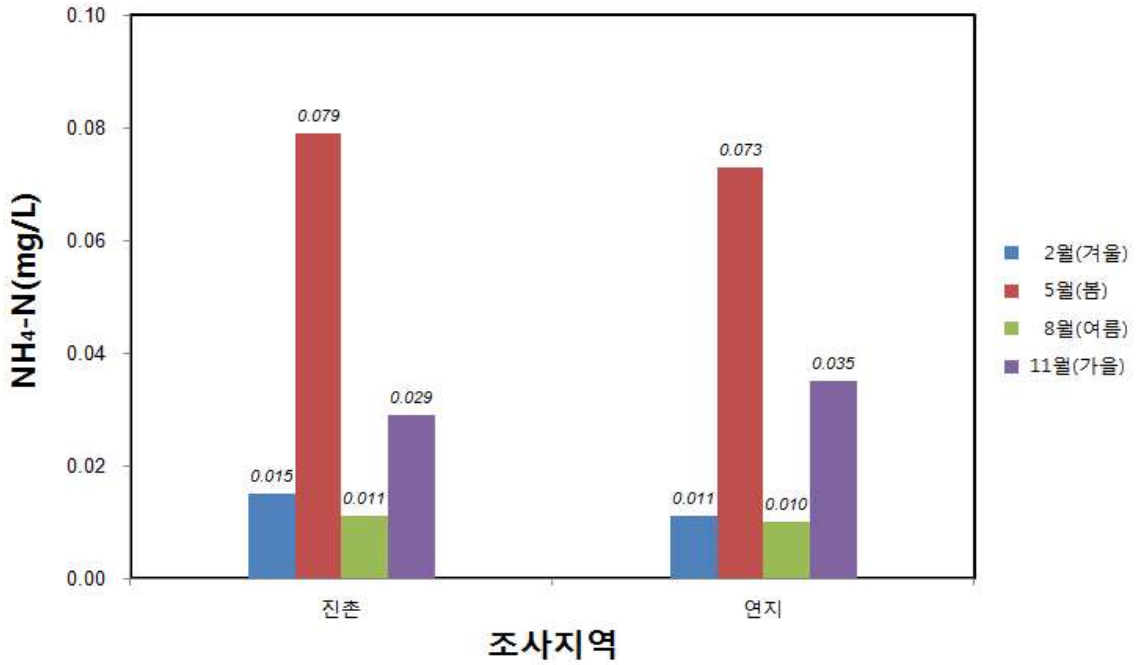


그림 27. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 암모니아 질소(NH₄-N)의 변화

(2) 아질산 질소(NO₂-N)

아질산 질소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.003~0.014 mg/L (평균 0.007 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.002~0.014 mg/L (평균 0.007 mg/L)으로 나타났다(그림 28).

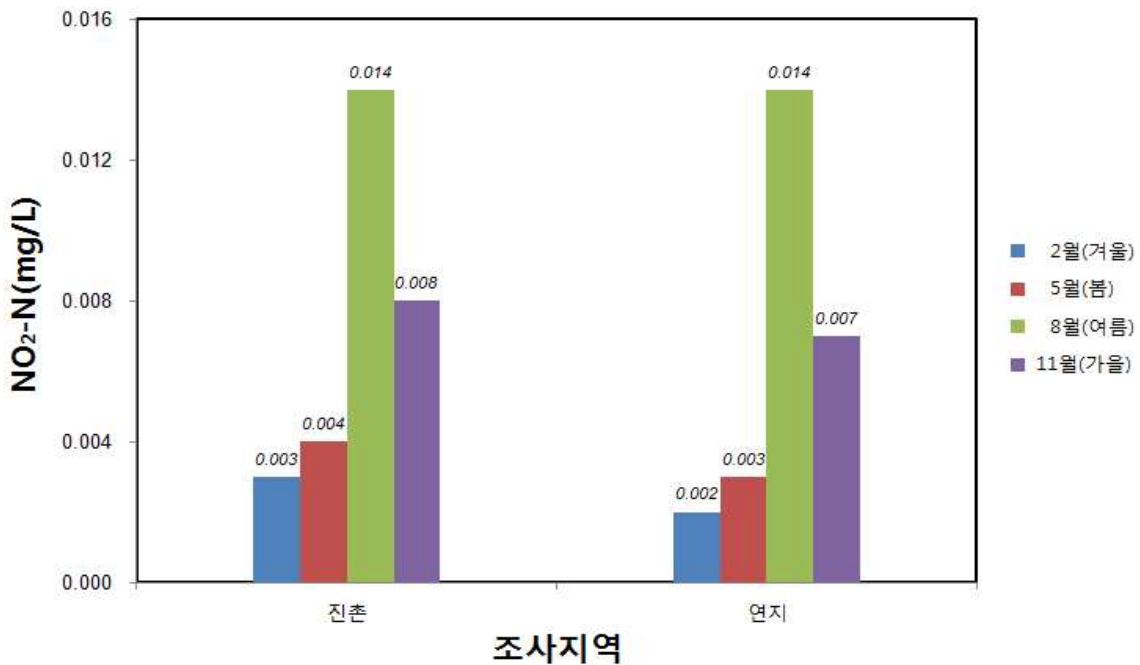


그림 28. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 아질산 질소(NO₂-N)의 변화

(3) 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

질산 질소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.025~0.114 mg/L (평균 0.068 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.024~0.125 mg/L (평균 0.072 mg/L)으로 나타났다(그림 29).

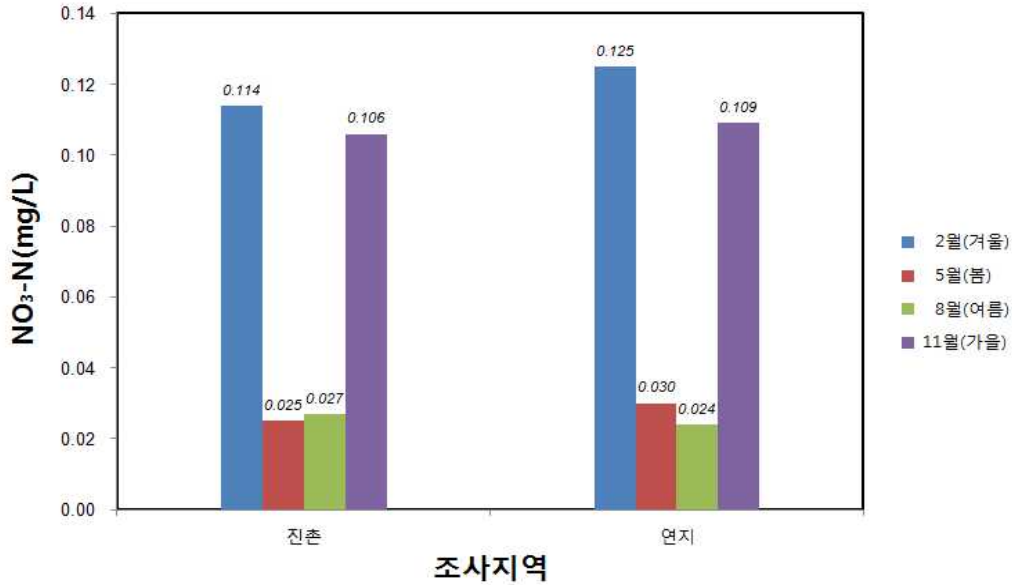


그림 29. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 변화

(4) 용존무기질소(DIN)

용존무기질소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.052~0.143 mg/L (평균 0.109 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.048~0.151 mg/L (평균 0.111 mg/L)으로 나타났다(그림 30).

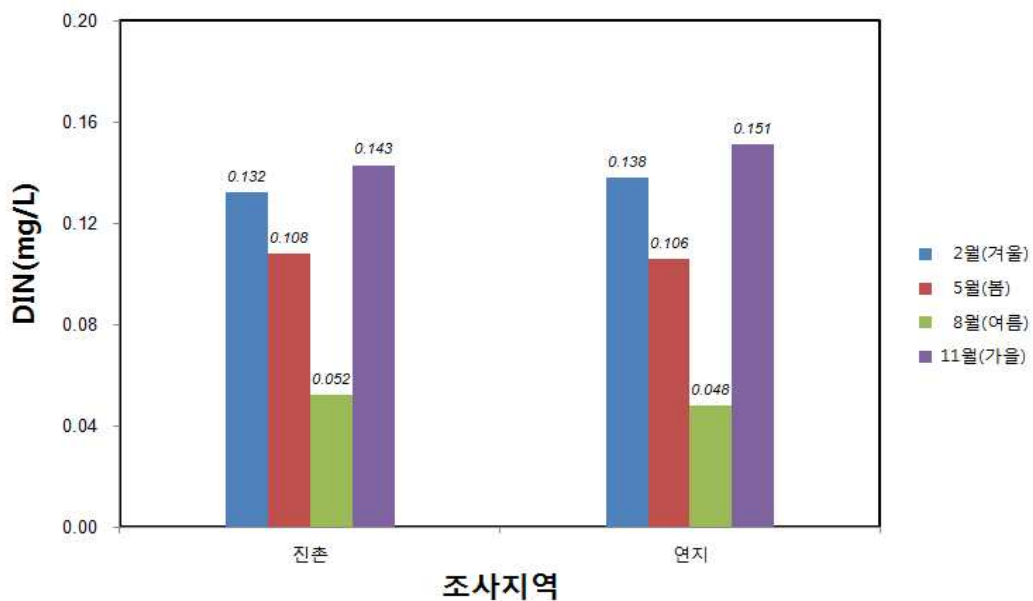


그림 30. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존무기질소(DIN)의 변화

(5) 용존무기인(DIP)

용존무기인 농도는 진촌어촌계 해역이 0.007~0.017 mg/L (평균 0.011 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.005~0.018 mg/L (평균 0.011 mg/L)으로 나타났다(그림 31).

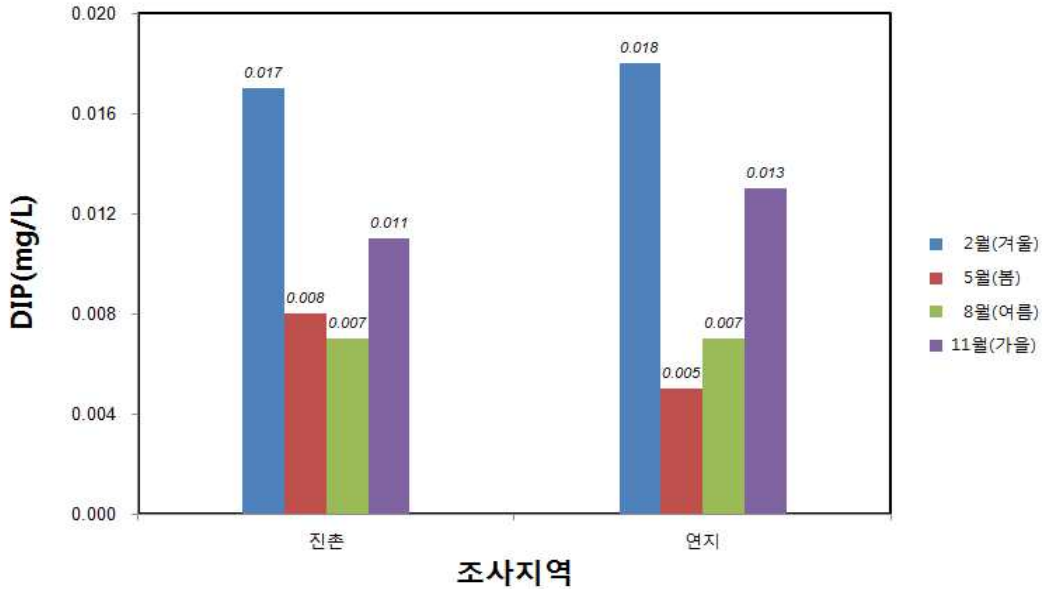


그림 31. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 용존무기인(DIP)의 변화

(6) 규산 규소(SiO₂-Si)

규산 규소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.144~0.441 mg/L (평균 0.317 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.141~0.592 mg/L (평균 0.366 mg/L)으로 나타났다(그림 32).

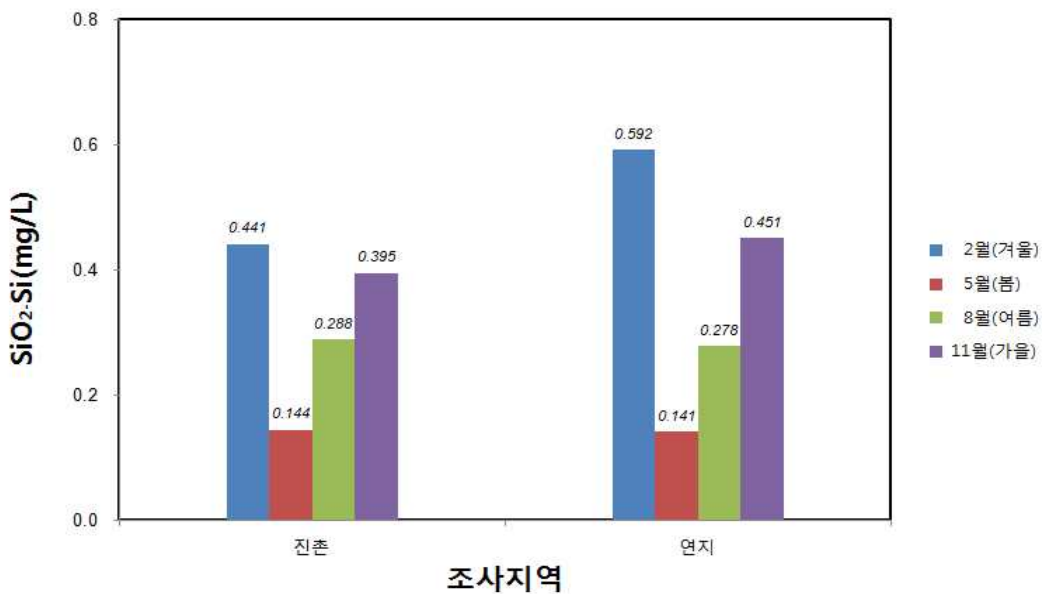


그림 32. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 규산규소(SiO₂-Si)의 변화

사. 총인(Total phosphate, TP)

총인 농도는 진촌어촌계 해역이 0.026~0.042 mg/L (평균 0.036 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.021~0.041 mg/L (평균 0.032 mg/L)으로 나타났다(그림 33). 두 해역 모두 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 총인 범위인 0.050 mg/L 이하에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013).

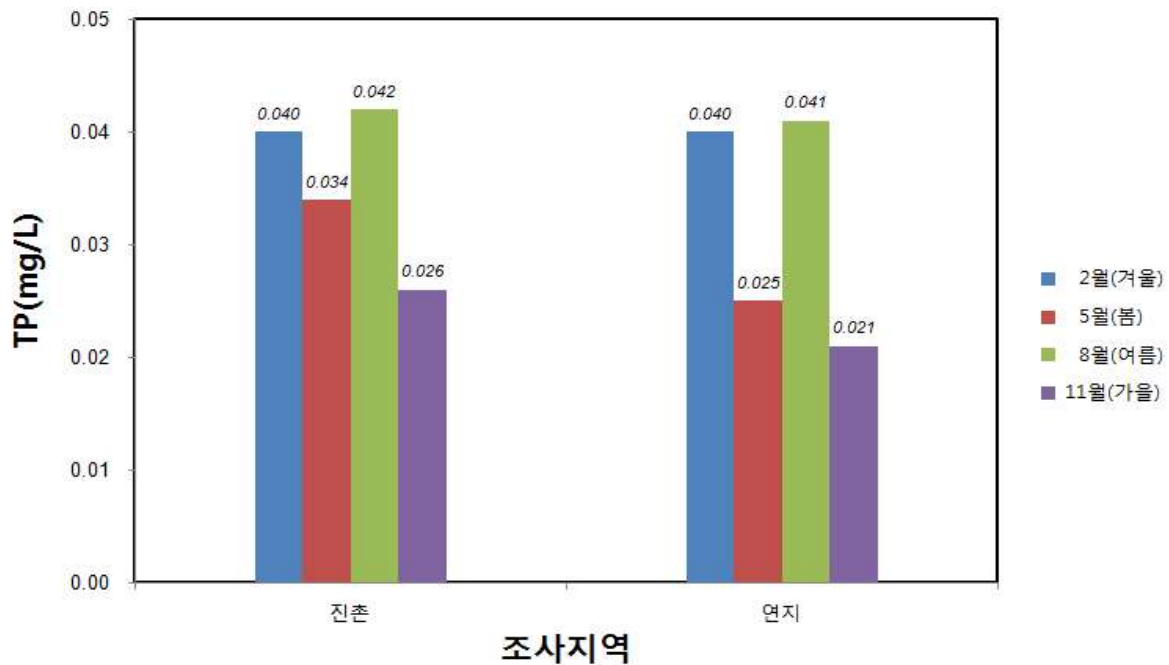


그림 33. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 총인(TP)의 변화

아. 총질소(Total Nitrogen, TN)

총질소 농도는 진촌어촌계 해역이 0.253~0.343 mg/L (평균 0.288 mg/L), 연지어촌계 해역이 0.248~0.368 mg/L (평균 0.289 mg/L)으로 나타났다(그림 34). 두 해역 모두 국립수산과학원에서 제시한 해삼양식 적지조사 기준에서 서식 적정 총질소 범위인 0.600 mg/L 이하에 포함되므로 해삼이 서식하기에 적합하다고 할 수 있겠다(태안군, 2013).

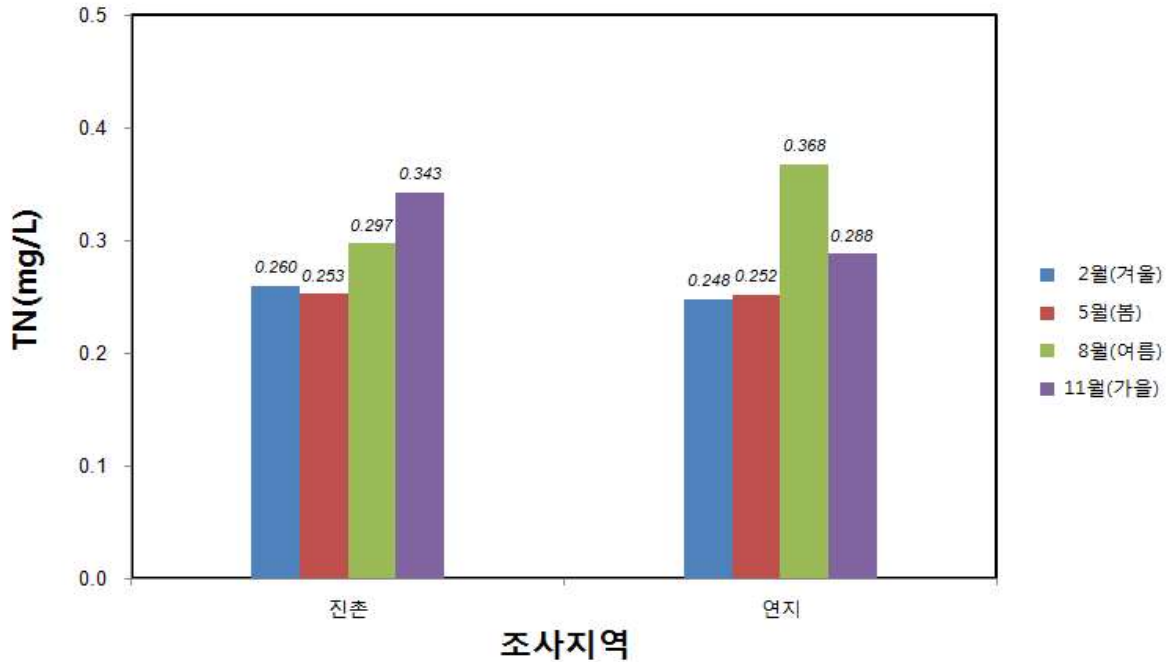


그림 34. 진촌, 연지어촌계 해역의 계절별 총질소(TN)의 변화

4. 퇴적환경

가. 표층퇴적물 입도조성 및 조직매개변수

조사지역에서 나타나는 표층퇴적물의 퇴적상은 Folk(1968)의 삼각다이아그램 분류에 따라 역질(G), 니역질(mG), 니사역질(msG), 사역질(sG), 역니질(gM), 역니사질(gmS), 역사질(gS), 니질(M), 사니질(sM), 니사질(mS), 사질(S)로 분류하였다(그림 35, 36).

조사지역인 백령면 연지, 진촌 어촌계 해역 155개 정점 중 71개 정점은 암반 지역이라 퇴적물 시료를 채취하지 못하여 역질로 표시하였으며, 퇴적물 시료를 채취한 84개 정점에 대한 입도분석 결과는 표 21에 나타내었다.

연지어촌계 관할인 사항포 해역의 경우, 수심 10m 이내 해역은 암반이 주를 이루었으며(그림 37), 수심 10m 이상 해역 중 중앙 부분은 모래 함량이 주를 이루는 사니질의 특성을 보였고(그림 38), 두무진 항과 가까운 서쪽 해역은 모래와 펄 함량이 비슷하지만 모래가 더 우세한 사니질의 특성을 보였다(그림 39).

진촌어촌계 관할인 어릿골 해역은 암반 지역이 많았는데(그림 37), 정점 110~113, 118, 120번은 모래 함량이 높았으며(그림 38), 고봉포 해역은 정점 132, 133, 137, 138, 141, 145번 정점이 모래 함량이 높았고(그림 38), 정점 139번은 펄 함량이 높게 나타났다(그림 39).

조사해역의 퇴적물 평균입도(mean)는 0.33~8.13 ϕ (평균 3.65 ϕ)의 범위를 보였다(그림 40).

퇴적물 분급도(sorting)는 퇴적물을 구성하는 입자들이 같은 크기의 것들로 구분되어 있는 정도를 나타낸다. 조사해역의 퇴적물 분급도는 0.40~3.04 (평균 1.72)의 범위를 보였다(표 20). 사질 형태를 보이는 정점들은 제외하고는 대체로 분급이 불량하여 여러 가지 크기의 퇴적물 입자들이 섞여 있음을 알 수 있다.

퇴적물 왜도(skewness)는 분포곡선에서 보이는 비대칭 상태를 나타내는 값으로 입도분포에서 정규분포에 대하여 조립 또는 세립 입도 쪽으로 치우친 정도를 나타낸다. 따라서 왜도값이 음(-)의 값이 클수록 더 많이 조립(coarse)하다는 것을 의미하고, 반대로 왜도값이 양(+)의 값이 클수록 더 많이 세립(fine)하다는 것을 의미한다. 조사해역의 퇴적물 왜도값을 살펴보면, -0.81~0.80 (평균 0.45)의 범위를 보였다(표 21). 정점별로 특별한 경향은 보이지 않았다.

퇴적물 첨도(kurtosis)는 분포곡선에서 보이는 중앙값(Φ_{50})에 대한 집중 정도를 나타낸다. 조사해역의 퇴적물 첨도값을 살펴보면, 0.53~4.92 (평균 2.20)의 범위를 보였으며(표 20), 정점별로 특별한 경향은 보이지 않았다.



그림 35. 조사정점의 표층퇴적상을 보여주는 삼각다이아그램 (Folk, 1968)



그림 36. 조사정점별 퇴적물 형태

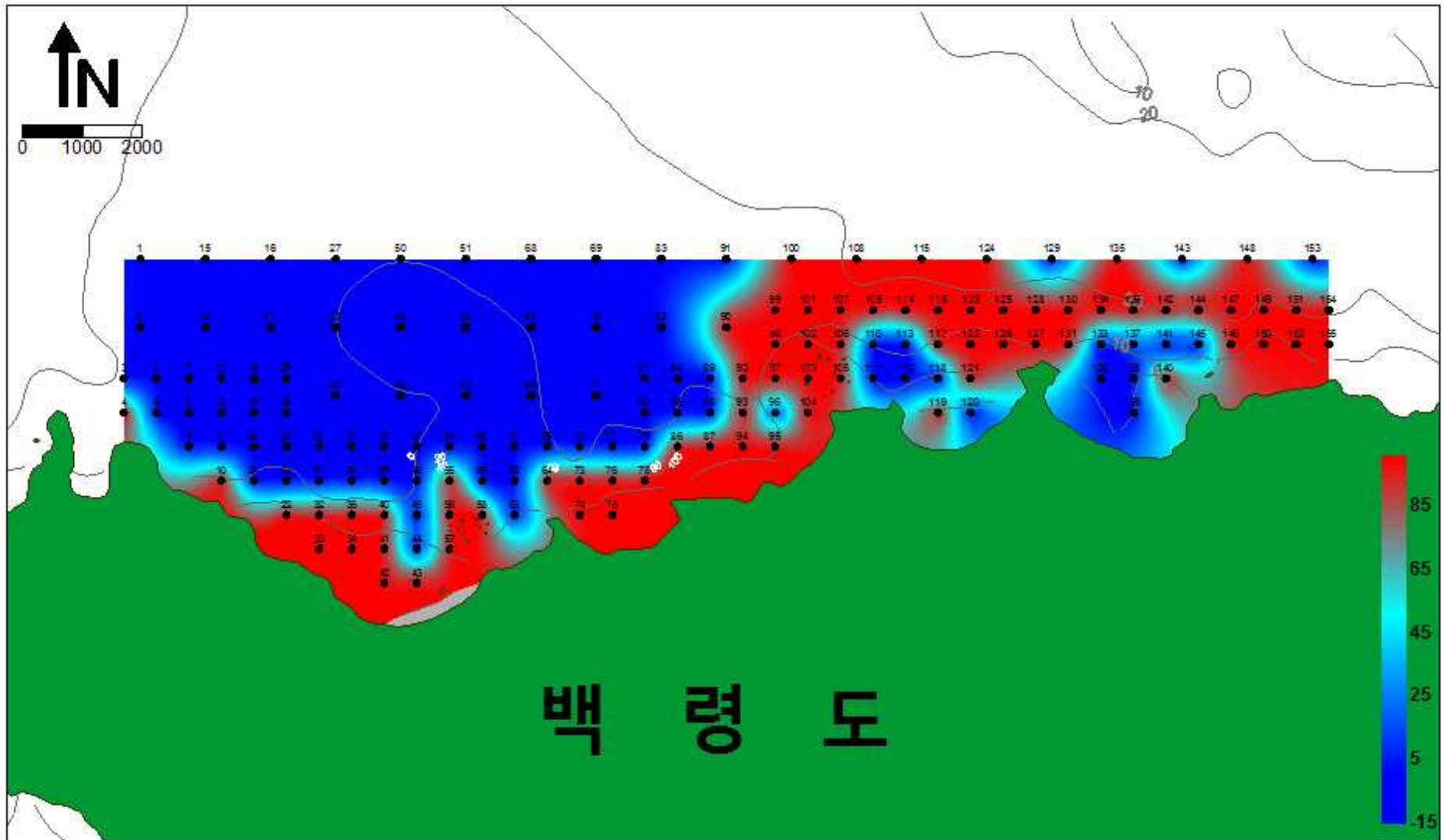


그림 37. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 자갈 함량(%) 공간분포도

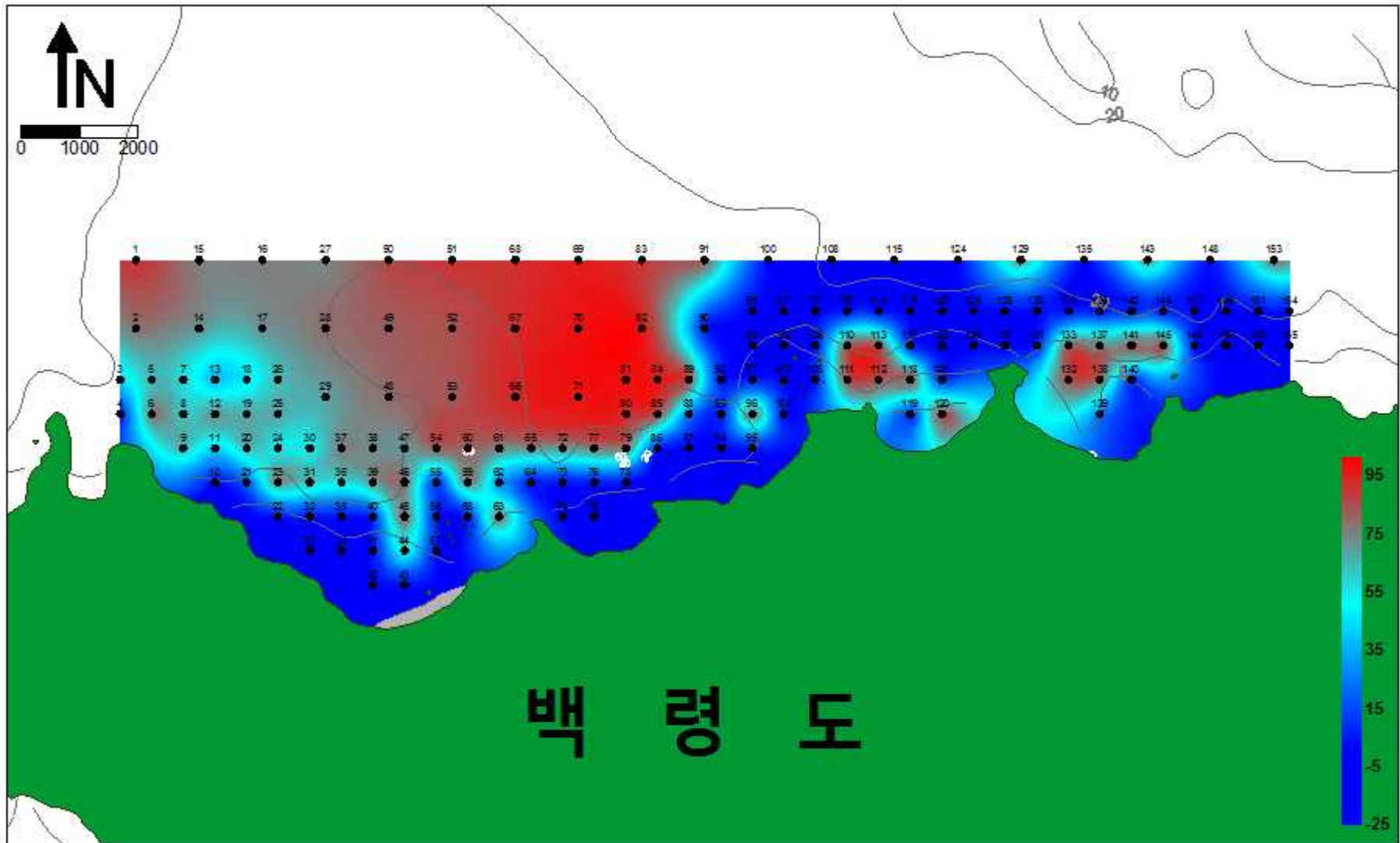


그림 38. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 모래 함량(%) 공간분포도

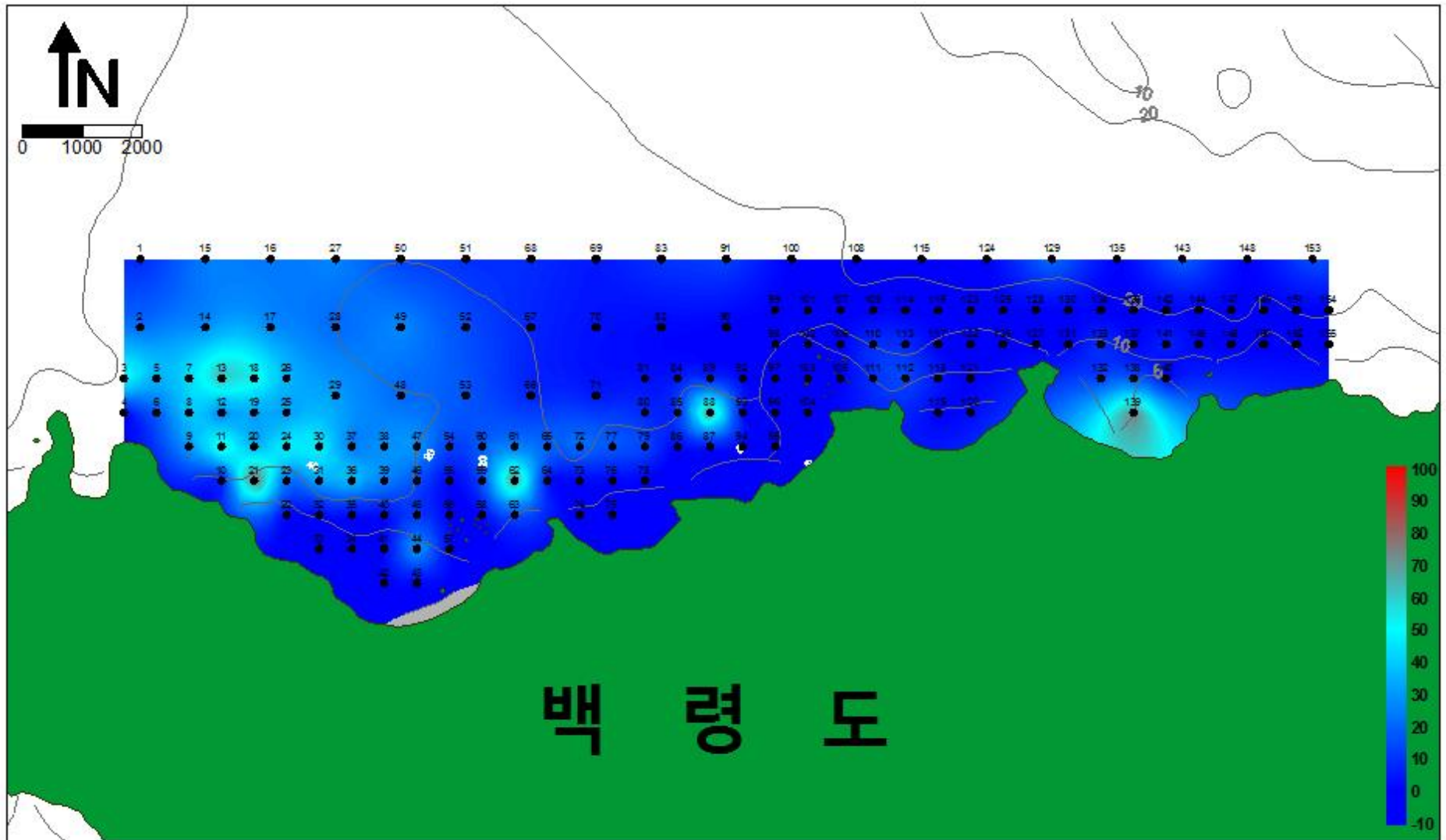


그림 39. 조사정점별 표층퇴적물 조성비율 중 펄 함량(%) 공간분포도

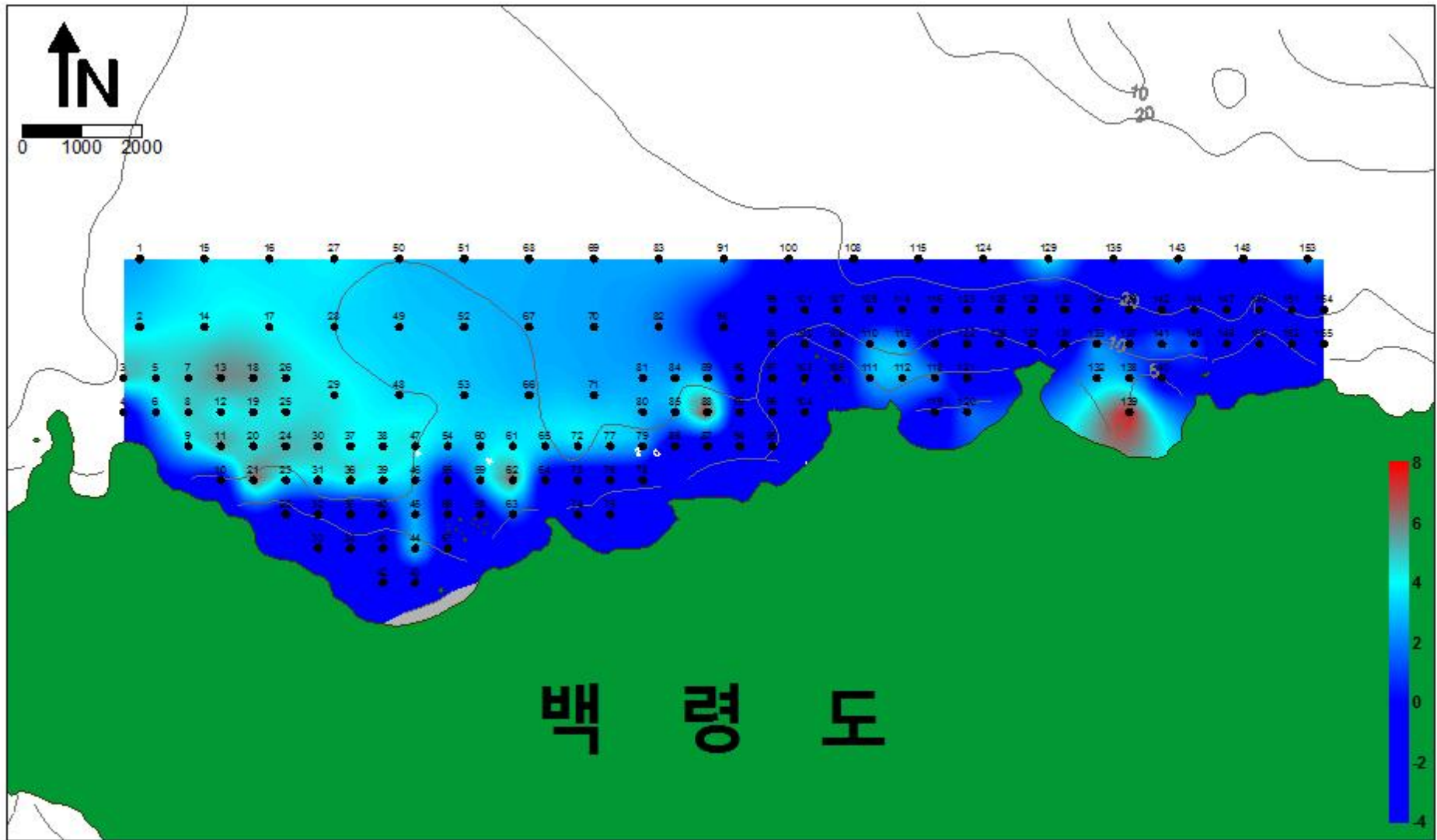


그림 40. 조사정점별 표층퇴적물 평균입도 공간분포도

표 20. 조사정점별 퇴적물 조성비율 및 조직변수의 차이

조사 정점	조성비율(%) Textural parameters			조 직 변 수 Statistical paraments				퇴적상 Sediment type	
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)	영 명	한글명
1	0.0	91.9	8.1	2.63	0.97	0.37	2.10	S	사 질
2	0.0	79.1	20.9	3.53	1.77	0.54	2.53	mS	니사질
3	0.0	43.4	56.6	5.73	2.75	0.53	0.83	sM	사니질
4								G	역질(암반)
5	0.0	64.5	35.4	4.57	2.51	0.66	1.42	mS	니사질
6	0.0	82.0	18.0	3.10	1.66	0.65	2.91	mS	니사질
7	0.0	56.2	43.8	5.03	2.73	0.63	1.06	mS	니사질
8	0.0	59.4	40.5	4.90	2.71	0.64	1.17	mS	니사질
9	0.0	68.0	32.1	4.00	2.05	0.57	1.95	mS	니사질
10								G	역질(암반)
11	0.0	39.8	60.2	6.13	2.92	0.50	0.66	sM	사니질
12	0.0	75.7	24.3	3.63	2.09	0.73	2.40	mS	니사질
13	0.0	34.3	65.7	6.17	2.82	0.47	0.72	sM	사니질
14	0.0	72.5	27.5	4.03	2.38	0.74	2.13	mS	니사질
15	0.0	74.4	25.6	3.80	2.09	0.63	2.40	mS	니사질
16	0.0	76.1	23.9	3.63	1.88	0.54	2.55	mS	니사질
17	0.0	72.7	27.3	4.07	2.10	0.59	2.77	mS	니사질
18	0.0	44.1	55.9	5.90	2.94	0.61	0.73	sM	사니질
19	0.0	67.9	32.1	4.43	2.41	0.65	1.79	mS	니사질
20	0.0	67.1	32.8	4.37	2.22	0.64	1.98	mS	니사질
21	0.0	15.5	84.4	7.10	2.74	0.07	0.59	sM	니사질
22								G	역질(암반)
23	0.0	82.3	17.7	3.43	1.30	0.24	3.23	mS	니사질
24	0.0	50.5	49.4	5.30	2.48	0.72	1.00	mS	니사질
25	0.0	69.4	30.7	4.23	2.04	0.64	2.73	mS	니사질
26	0.0	63.6	36.4	4.67	2.33	0.72	1.66	mS	니사질
27	0.0	73.2	26.8	3.97	2.19	0.63	2.24	mS	니사질
28	0.0	79.6	20.4	3.43	1.37	0.32	2.20	mS	니사질
29	0.0	67.8	32.2	4.40	2.18	0.66	2.21	mS	니사질
30	0.0	49.8	50.3	5.17	2.36	0.72	1.28	sM	사니질
31	0.0	65.8	34.1	3.77	1.49	0.35	1.56	mS	니사질
32								G	역질(암반)
33								G	역질(암반)
34								G	역질(암반)
35								G	역질(암반)
36	0.0	59.3	40.7	4.87	2.25	0.75	1.64	mS	니사질
37	0.0	77.4	22.6	3.77	1.77	0.51	3.51	mS	니사질
38	0.0	70.2	29.8	4.17	2.13	0.63	2.55	mS	니사질
39	0.0	73.4	26.5	4.00	1.87	0.64	3.24	mS	니사질
40								G	역질(암반)
41								G	역질(암반)

표 20. 계속

조사 정점	조성비율(%) Textural parameters			조 직 변 수 Statistical paraments				퇴적상 Sediment type	
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)	영 명	한글명
42								G	역질(암반)
43								G	역질(암반)
44	0.0	64.2	35.8	4.53	2.53	0.65	1.21	mS	니사질
45	0.0	88.3	11.7	3.20	1.17	0.30	2.21	mS	니사질
46	0.0	83.8	16.2	3.27	1.39	0.30	2.75	mS	니사질
47	0.0	68.1	31.8	4.53	2.15	0.73	2.70	mS	니사질
48	0.0	79.6	20.4	3.43	1.70	0.45	2.94	mS	니사질
49	0.0	82.1	27.8	3.27	1.51	0.41	2.61	mS	니사질
50	0.0	86.9	13.2	3.07	1.22	0.52	2.30	mS	니사질
51	0.0	90.5	9.5	2.87	0.95	0.55	2.10	S	사 질
52	0.0	84.2	15.8	3.10	1.51	0.58	2.72	mS	니사질
53	0.0	82.4	17.6	3.20	1.42	0.53	2.19	mS	니사질
54	0.0	88.0	12.0	3.23	1.23	0.24	2.38	mS	니사질
55								G	역질(암반)
56								G	역질(암반)
57								G	역질(암반)
58								G	역질(암반)
59	0.0	86.2	13.7	3.07	1.48	0.56	2.99	mS	니사질
60	0.0	81.5	18.4	3.40	1.51	0.34	3.32	mS	니사질
61	0.0	76.2	23.8	3.70	1.74	0.50	2.39	mS	니사질
62	0.0	22.8	77.2	7.00	2.88	-0.01	0.55	sM	사니질
63	0.1	84.3	15.6	1.60	2.40	0.80	4.92	mS	니사질
64								G	역질(암반)
65	0.0	79.4	20.6	3.53	1.86	0.55	2.73	mS	니사질
66	0.0	93.1	6.9	2.83	0.62	0.38	1.23	S	사 질
67	0.0	92.3	7.7	2.73	0.84	0.57	2.66	S	사 질
68	0.0	90.7	9.2	2.83	1.12	0.56	3.69	S	사 질
69	0.0	95.2	4.8	2.60	0.50	0.20	1.37	S	사 질
70	0.0	96.4	3.6	2.63	0.40	0.24	1.54	S	사 질
71	0.0	95.8	4.2	2.63	0.50	0.28	1.23	S	사 질
72	0.0	76.0	24.0	3.87	2.14	0.66	2.40	mS	니사질
73								G	역질(암반)
74								G	역질(암반)
75								G	역질(암반)
76								G	역질(암반)
77	0.0	81.3	18.6	3.20	1.78	0.69	3.02	mS	니사질
78								G	역질(암반)
79	0.0	83.8	16.2	3.07	1.60	0.63	3.11	mS	니사질
80	0.0	91.5	8.5	2.87	0.84	0.52	1.55	S	사 질
81	0.0	96.5	3.5	2.60	0.43	0.17	1.02	S	사 질
82	0.0	98.6	1.4	2.03	0.61	0.06	0.87	S	사 질
83	0.0	88.9	11.0	2.73	1.28	0.57	3.81	mS	니사질
84	0.0	95.7	4.3	2.70	0.50	0.39	1.48	S	사 질
85	0.0	92.6	7.4	2.80	1.09	0.53	3.16	S	사 질

표 20. 계속

조사 정점	조성비율(%) Textural parameters			조 직 변 수 Statistical paraments				퇴적상 Sediment type	
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)	영 명	한글명
86								G	역질(암반)
87								G	역질(암반)
88	0.0	22.0	78.0	8.13	2.96	-0.81	0.57	sM	사니질
89	0.0	94.9	5.1	2.80	0.56	0.32	1.11	S	사 질
90								G	역질(암반)
91	0.0	86.5	13.5	2.83	1.74	0.59	3.96	mS	니사질
92								G	역질(암반)
93								G	역질(암반)
94								G	역질(암반)
95								G	역질(암반)
96	4.3	95.0	0.7	0.33	0.76	-0.09	1.23	(g)S	약역사질
97								G	역질(암반)
98								G	역질(암반)
99								G	역질(암반)
100								G	역질(암반)
101								G	역질(암반)
102								G	역질(암반)
103								G	역질(암반)
104								G	역질(암반)
105								G	역질(암반)
106								G	역질(암반)
107								G	역질(암반)
108								G	역질(암반)
109								G	역질(암반)
110	0.0	89.6	10.3	2.87	1.54	0.62	4.68	mS	니사질
111	0.0	90.2	9.8	2.87	1.36	0.53	2.66	S	사 질
112	0.1	84.0	15.9	3.07	1.71	0.54	2.90	mS	니사질
113	0.0	91.2	8.7	2.83	1.16	0.54	2.92	S	사 질
114								G	역질(암반)
115								G	역질(암반)
116								G	역질(암반)
117								G	역질(암반)
118	0.0	95.0	5.0	2.70	0.51	0.40	1.56	S	사 질
119								G	역질(암반)
120	0.0	97.6	2.3	2.07	0.63	-0.04	0.82	S	사 질
121								G	역질(암반)
122								G	역질(암반)
123								G	역질(암반)
124								G	역질(암반)
125								G	역질(암반)
126								G	역질(암반)
127								G	역질(암반)
128								G	역질(암반)
129	0.9	76.3	22.8	4.57	2.59	0.73	2.36	mS	니사질
130								G	역질(암반)

표 20. 계속

조사 정점	조성비율(%) Textural parameters			조 직 변 수 Statistical paraments				퇴적상 Sediment type	
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)	영 명	한글명
131								G	역질(암반)
132	0.0	88.2	11.8	2.73	1.78	0.47	3.28	mS	니사질
133	0.0	89.1	10.9	2.90	1.58	0.63	4.15	mS	니사질
134								G	역질(암반)
135								G	역질(암반)
136								G	역질(암반)
137	20.3	78.9	0.7	0.60	1.53	-0.61	1.08	gS	역사질
138	0.0	84.0	16.0	2.70	2.03	0.55	3.18	mS	니사질
139	0.0	23.4	76.6	8.07	3.04	-0.79	0.53	sM	사니질
140								G	역질(암반)
141	0.0	91.8	8.2	2.47	1.59	0.32	3.64	S	사 질
142								G	역질(암반)
143	4.3	75.8	20.0	3.33	2.32	0.40	3.31	(g)mS	약역니사질
144								G	역질(암반)
145	1.6	96.8	1.6	1.63	0.64	0.09	1.23	(g)S	약역사질
146								G	역질(암반)
147								G	역질(암반)
148								G	역질(암반)
149								G	역질(암반)
150								G	역질(암반)
151								G	역질(암반)
152								G	역질(암반)
153	0.0	83.6	16.4	2.93	1.77	0.51	2.80	mS	니사질
154								G	역질(암반)
155								G	역질(암반)

표 21. 퇴적물 유형 분류표

퇴적물 유형	한 글 명	영 문 명	비 고
G	역질	Gravel	자갈
sG	사역질	Sandy gravel	모래질 자갈
msG	니사역질	Muddy sandy gravel	펄모래질 자갈
mG	니역질	Muddy gravel	펄질 자갈
gS	역사질	Gravelly sand	자갈질 모래
gmS	역니사질	Gravelly muddy sand	자갈펄질 모래
gM	역니질	Gravelly mud	자갈질 펄
S	사질	Sand	모래
(g)S	약역사질	Slightly gravelly sand	소량의 자갈을 포함한 모래
(g)mS	약역니사질	Slightly gravelly muddy sand	소량의 자갈을 포함한 펄질 모래
(g)sM	약역사니질	Slightly gravelly sandy mud	소량의 자갈을 포함한 모래질 펄
(g)M	약역니질	Slightly gravelly mud	소량의 자갈을 포함한 펄
M	니질	Mud	펄

나. 강열감량

암반지역이라 퇴적물 시료를 채취하지 못한 71개 정점을 제외한 84개 정점의 표층퇴적물의 강열감량(IL)은 1.2~14.5 mg/g (평균 4.8 mg/g)의 범위를 보였다(표 23, 그림 41).

“해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정”(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11)에 의거하여(표 22), 5~15%의 값을 보인 정점 139번 (14.5%)이 1점이었으며, 나머지 정점들은 0점에 해당되었다.

가장 높은 값을 보인 139번 정점은 지형적인 영향으로 조류의 흐름이 완만하여 펄의 함량이 높으며, 근처 고봉포항에서 유기물들이 유입된 것으로 사료된다.

또한, 10% 이상의 높은 강열감량 농도값을 보인 정점 3, 8, 11, 21, 62, 63, 88번은 펄의 함량이 대체로 높게 나타나는 경향을 보였다.

하지만, 나머지 정점들은 낮은 농도를 나타내어 대체로 건강한 퇴적 환경을 유지하고 있는 것으로 사료된다.

표 22. 퇴적물 부영양화 관련 강열감량의 기준농도 및 평가점수

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량 (IL)	%	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6

※ 해양오염 퇴적물 조사 및 정화,복원 범위 등에 관한 규정
(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011.11)

표 23. 조사정점별 표층퇴적물 강열감량 농도 및 부영양화 점수

정점	강열감량 (%)	점수	정점	강열감량 (%)	점수	정점	강열감량 (%)	점수	정점	강열감량 (%)	점수
1	2.9	0	40	Rock	-	79	4.0	0	118	2.1	0
2	5.0	0	41	Rock	-	80	2.7	0	119	Rock	-
3	10.7	0	42	Rock	-	81	1.7	0	120	1.7	0
4	Rock	-	43	Rock	-	82	1.2	0	121	Rock	-
5	6.5	0	44	3.2	0	83	2.9	0	122	Rock	-
6	3.4	0	45	2.3	0	84	2.4	0	123	Rock	-
7	7.4	0	46	3.7	0	85	2.7	0	124	Rock	-
8	11.1	0	47	5.5	0	86	Rock	-	125	Rock	-
9	4.4	0	48	3.9	0	87	Rock	-	126	Rock	-
10	Rock	-	49	3.9	0	88	11.3	0	127	Rock	-
11	10.1	0	50	5.1	0	89	2.5	0	128	Rock	-
12	3.7	0	51	4.2	0	90	Rock	-	129	4.6	0
13	10.0	0	52	4.6	0	91	3.1	0	130	Rock	
14	3.7	0	53	5.4	0	92	Rock	-	131	ROck	
15	4.2	0	54	3.5	0	93	Rock	-	132	3.4	0
16	5.2	0	55	Rock	-	94	Rock	-	133	3.3	0
17	7.6	0	56	Rock	-	95	Rock	-	134	Rock	-
18	6.7	0	57	Rock	-	96	4.3	0	135	Rock	-
19	4.5	0	58	Rock	-	97	Rock	-	136	Rock	-
20	5.7	0	59	3.5	0	98	Rock	-	137	3.7	0
21	12.5	0	60	3.9	0	99	Rock	-	138	3.6	0
22	Rock	-	61	5.4	0	100	Rock	-	139	14.5	1
23	2.8	0	62	11.4	0	101	Rock	-	140	Rock	-
24	5.8	0	63	12.0	0	102	Rock	-	141	2.3	0
25	4.9	0	64	Rock	-	103	Rock	-	142	Rock	-
26	5.3	0	65	4.5	0	104	Rock	-	143	4.5	0
27	5.4	0	66	2.3	0	105	Rock	-	144	Rock	-
28	4.1	0	67	2.6	0	106	Rock	-	145	5.5	0
29	5.5	0	68	2.9	0	107	Rock	-	146	Rock	-
30	6.7	0	69	2.5	0	108	Rock	-	147	Rock	-
31	3.3	0	70	2.3	0	109	Rock	-	148	Rock	-
32	Rock	-	71	2.5	0	110	3.2	0	149	Rock	-
33	Rock	-	72	4.9	0	111	2.9	0	150	Rock	-
34	Rock	-	73	Rock	-	112	4.3	0	151	Rock	-
35	Rock	-	74	Rock	-	113	2.6	0	152	Rock	-
36	5.3	0	75	Rock	-	114	Rock	-	153	3.9	0
37	3.6	0	76	Rock	-	115	Rock	-	154	Rock	-
38	3.7	0	77	3.6	0	116	Rock	-	155	Rock	-
39	4.6	0	78	Rock	-	117	Rock	-			

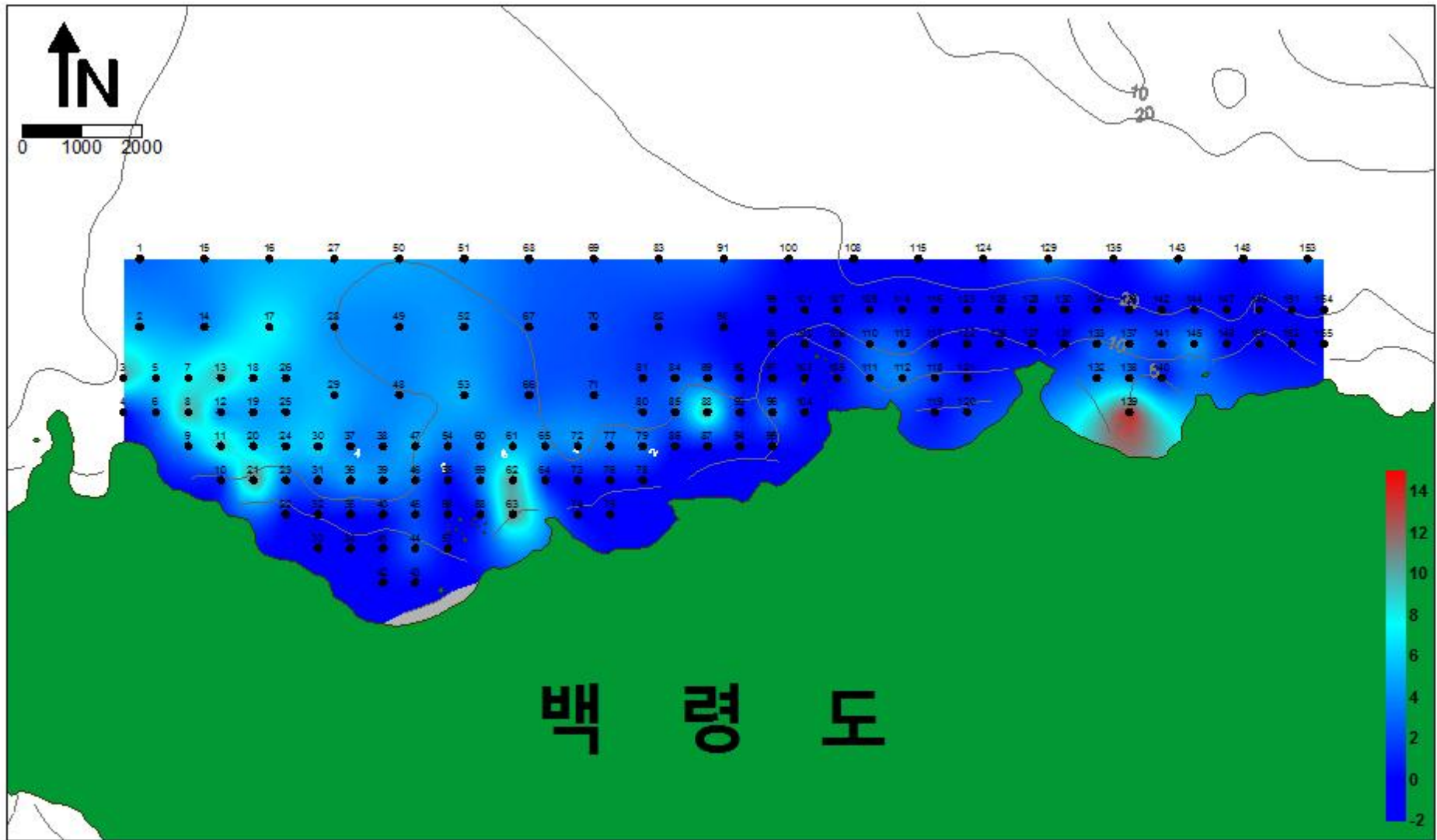


그림 41. 조사정점별 표층퇴적물 강열감량 공간분포도

다. 화학적산소요구량

암반지역이라 퇴적물 시료를 채취하지 못한 71개 정점을 제외한 84개 정점의 표층퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 0.359~34.613 mg/g (평균 8.607 mg/g)의 범위를 보였다(표 25, 그림 42).

“해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정”(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11)에 의거하여(표 24), 30~40 mg/g의 값을 보인 정점 21번(30.8 mg/g), 62번(30.5 mg/g), 139번(34.6 mg/g)은 4점이었으며, 20~30 mg/g의 값을 보인 정점 3번(21.6 mg/g), 11번(22.7 mg/g), 88번(26.9 mg/g)은 2점, 13~20 mg/g의 값을 보인 정점 7번(17.7 mg/g), 8번(15.6 mg/g), 13번(19.3 mg/g), 18번(17.5 mg/g), 20번(13.3 mg/g), 30번(16.2 mg/g), 63번(14.9 mg/g)은 1점이었고, 나머지 정점들은 0점에 해당되었다.

퇴적물 산화발성황화물, 강열감량과 비슷한 경향성을 보여 필함량이 높은 정점은 대체로 높은 화학적산소요구량 농도값을 보였다.

표 24. 퇴적물 부영양화 관련 화학적산소요구량의 기준농도 및 평가점수

항 목	단위	기준농도	평가점수
화학적산소요구량 (COD)	mg/g (건중량)	0~13	0
		13~20	1
		20~30	2
		30~40	4
		40 이상	6

※ 해양오염 퇴적물 조사 및 정화,복원 범위 등에 관한 규정
(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011.11)

표 25. 조사정점별 표층퇴적물 화학적산소요구량 농도 및 부영양화 점수

정 점	화학적산소요구량 (mg/g)	점수	정 점	화학적산소요구량 (mg/g)	점수	정 점	화학적산소요구량 (mg/g)	점수	정 점	화학적산소요구량 (mg/g)	점수
1	2.8	0	40	Rock	-	79	5.9	0	118	1.5	0
2	8.3	0	41	Rock	-	80	3.2	0	119	Rock	-
3	21.6	2	42	Rock	-	81	2.5	0	120	0.5	0
4	Rock	-	43	Rock	-	82	0.6	0	121	Rock	-
5	12.2	0	44	7.7	0	83	4.4	0	122	Rock	-
6	6.5	0	45	4.3	0	84	1.5	0	123	Rock	-
7	17.7	1	46	4.3	0	85	2.9	0	124	Rock	-
8	15.6	1	47	10.7	0	86	Rock	-	125	Rock	-
9	10.2	0	48	5.9	0	87	Rock	-	126	Rock	-
10	Rock	-	49	6.6	0	88	26.9	2	127	Rock	-
11	22.7	2	50	8.1	0	89	2.3	0	128	Rock	-
12	8.1	0	51	5.3	0	90	Rock	-	129	11.4	0
13	19.3	1	52	5.5	0	91	4.9	0	130	Rock	
14	8.0	0	53	8.3	0	92	Rock	-	131	ROck	
15	12.7	0	54	3.9	0	93	Rock	-	132	5.6	0
16	11.8	0	55	Rock	-	94	Rock	-	133	4.3	0
17	10.2	0	56	Rock	-	95	Rock	-	134	Rock	-
18	17.5	1	57	Rock	-	96	0.6	0	135	Rock	-
19	9.6	0	58	Rock	-	97	Rock	-	136	Rock	-
20	13.3	1	59	4.9	0	98	Rock	-	137	0.4	0
21	30.8	4	60	7.3	0	99	Rock	-	138	6.7	0
22	Rock	-	61	10.3	0	100	Rock	-	139	34.6	4
23	2.5	0	62	30.5	4	101	Rock	-	140	Rock	-
24	12.1	0	63	14.9	1	102	Rock	-	141	2.4	0
25	8.6	0	64	Rock	-	103	Rock	-	142	Rock	-
26	11.8	0	65	9.0	0	104	Rock	-	143	9.5	0
27	12.9	0	66	3.8	0	105	Rock	-	144	Rock	-
28	7.9	0	67	3.1	0	106	Rock	-	145	1.1	0
29	12.6	0	68	5.7	0	107	Rock	-	146	Rock	-
30	16.2	1	69	2.1	0	108	Rock	-	147	Rock	-
31	4.7	0	70	1.5	0	109	Rock	-	148	Rock	-
32	Rock	-	71	2.2	0	110	4.0	0	149	Rock	-
33	Rock	-	72	10.4	0	111	3.2	0	150	Rock	-
34	Rock	-	73	Rock	-	112	8.0	0	151	Rock	-
35	Rock	-	74	Rock	-	113	3.2	0	152	Rock	-
36	8.6	0	75	Rock	-	114	Rock	-	153	7.1	0
37	7.1	0	76	Rock	-	115	Rock	-	154	Rock	-
38	8.6	0	77	6.2	0	116	Rock	-	155	Rock	-
39	8.7	0	78	Rock	-	117	Rock	-			

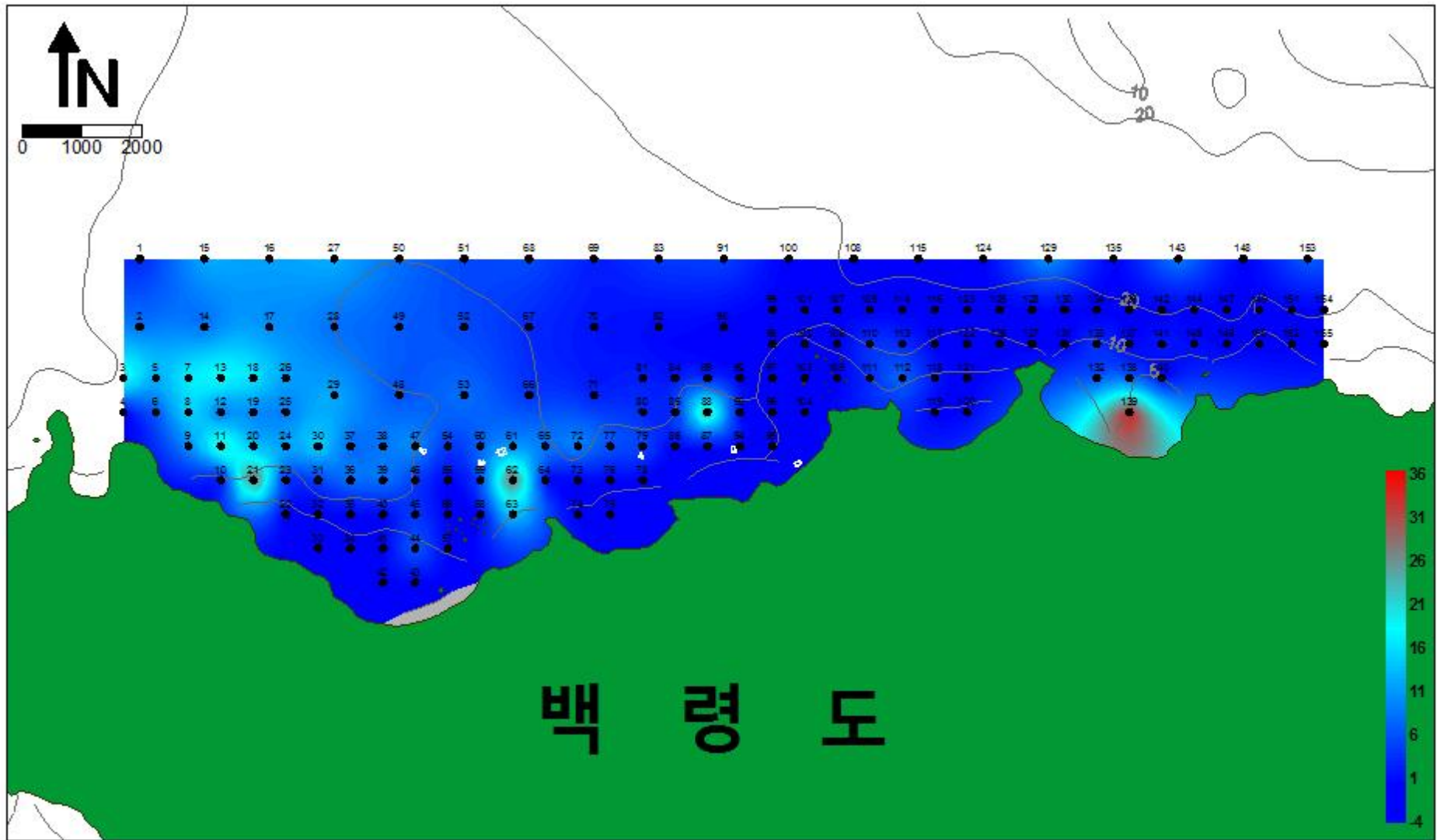


그림 42. 조사정점별 표층퇴적물 화학적산소요구량 공간분포도

라. 산취발성황화물

암반지역이라 퇴적물 시료를 채취하지 못한 71개 정점을 제외한 84개 정점의 표층퇴적물 산취발성황화물(AVS)은 0.000~1.354 mg/g (평균 0.106 mg/g)의 범위를 보였다(표 27, 그림 43).

"해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정"(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11)에 의거하여(표 26), 0.6~1.0 mg/g의 값을 보인 정점 88번(0.748 mg/g)이 1점이었으며, 1.0~5.0 mg/g 이상의 값을 보인 정점 139번(1.354 mg/g)이 2점이었으며, 나머지 정점들은 0점에 해당되었다.

높은 값을 보인 21, 62, 88, 139번 정점은 지형적인 영향으로 조류의 흐름이 완만하여 펄의 함량이 높아 산소를 접하지 못하여 환원층이 생긴 것으로 사료된다.

하지만, 나머지 정점들은 낮은 농도를 나타내어 대체로 건강한 퇴적 환경을 유지하고 있는 것으로 사료된다.

표 26. 퇴적물 부영양화 관련 산취발성황화물의 기준농도 및 평가점수

항 목	단위	기준농도	평가점수
산취발성황화물 (AVS)	mg/g (건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6

※ 해양오염 퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정
(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011.11)

마. 부영양화관련

정점별 표층퇴적물의 부영양화관련 평가점수는 표 28에 나타내었다. "해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정"(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11)에 의거 퇴적물 강열감량, 화학적산소요구량, 산취발성황화합물 평가점수의 합계 점수를 부영양화 정화·복원지수라 하고 이 값이 6점 이상인 구역을 정화·복원 대상지역으로 선정하는데, 정점 139번만 6점으로 정화·복원 대상해역으로 나타났다(그림 44).

표 27. 조사정점별 표층퇴적물 산화발성황화물의 농도 및 부영양화 농도

정 점	산화발성황화물 (mg/g)	점 수	정 점	산화발성황화물 (mg/g)	점 수	정 점	산화발성황화물 (mg/g)	점 수	정 점	산화발성황화물 (mg/g)	점 수
1	0.009	0	40	Rock	-	79	0.056	0	118	0.012	0
2	0.078	0	41	Rock	-	80	0.000	0	119	Rock	-
3	0.209	0	42	Rock	-	81	0.000	0	120	0.001	0
4	Rock	-	43	Rock	-	82	0.002	0	121	Rock	-
5	0.148	0	44	0.290	0	83	0.037	0	122	Rock	-
6	0.071	0	45	0.034	0	84	0.000	0	123	Rock	-
7	0.215	0	46	0.049	0	85	0.018	0	124	Rock	-
8	0.127	0	47	0.103	0	86	Rock	-	125	Rock	-
9	0.140	0	48	0.089	0	87	Rock	-	126	Rock	-
10	Rock	-	49	0.064	0	88	0.748	1	127	Rock	-
11	0.020	0	50	0.026	0	89	0.002	0	128	Rock	-
12	0.094	0	51	0.041	0	90	Rock	-	129	0.024	0
13	0.240	0	52	0.045	0	91	0.068	0	130	Rock	
14	0.125	0	53	0.070	0	92	Rock	-	131	ROck	
15	0.081	0	54	0.014	0	93	Rock	-	132	0.109	0
16	0.053	0	55	Rock	-	94	Rock	-	133	0.013	0
17	0.052	0	56	Rock	-	95	Rock	-	134	Rock	-
18	0.189	0	57	Rock	-	96	0.000	0	135	Rock	-
19	0.108	0	58	Rock	-	97	Rock	-	136	Rock	-
20	0.044	0	59	0.026	0	98	Rock	-	137	0.000	0
21	0.548	0	60	0.041	0	99	Rock	-	138	0.058	0
22	Rock	-	61	0.130	0	100	Rock	-	139	1.354	2
23	0.040	0	62	0.590	0	101	Rock	-	140	Rock	-
24	0.191	0	63	0.130	0	102	Rock	-	141	0.012	0
25	0.212	0	64	Rock	-	103	Rock	-	142	Rock	-
26	0.147	0	65	0.076	0	104	Rock	-	143	0.135	0
27	0.135	0	66	0.003	0	105	Rock	-	144	Rock	-
28	0.116	0	67	0.025	0	106	Rock	-	145	0.000	0
29	0.093	0	68	0.042	0	107	Rock	-	146	Rock	-
30	0.211	0	69	0.021	0	108	Rock	-	147	Rock	-
31	0.054	0	70	0.000	0	109	Rock	-	148	Rock	-
32	Rock	-	71	0.030	0	110	0.012	0	149	Rock	-
33	Rock	-	72	0.169	0	111	0.014	0	150	Rock	-
34	Rock	-	73	Rock	-	112	0.067	0	151	Rock	-
35	Rock	-	74	Rock	-	113	0.021	0	152	Rock	-
36	0.081	0	75	Rock	-	114	Rock	-	153	0.074	0
37	0.040	0	76	Rock	-	115	Rock	-	154	Rock	-
38	0.021	0	77	0.005	0	116	Rock	-	155	Rock	-
39	0.076	0	78	Rock	-	117	Rock	-			

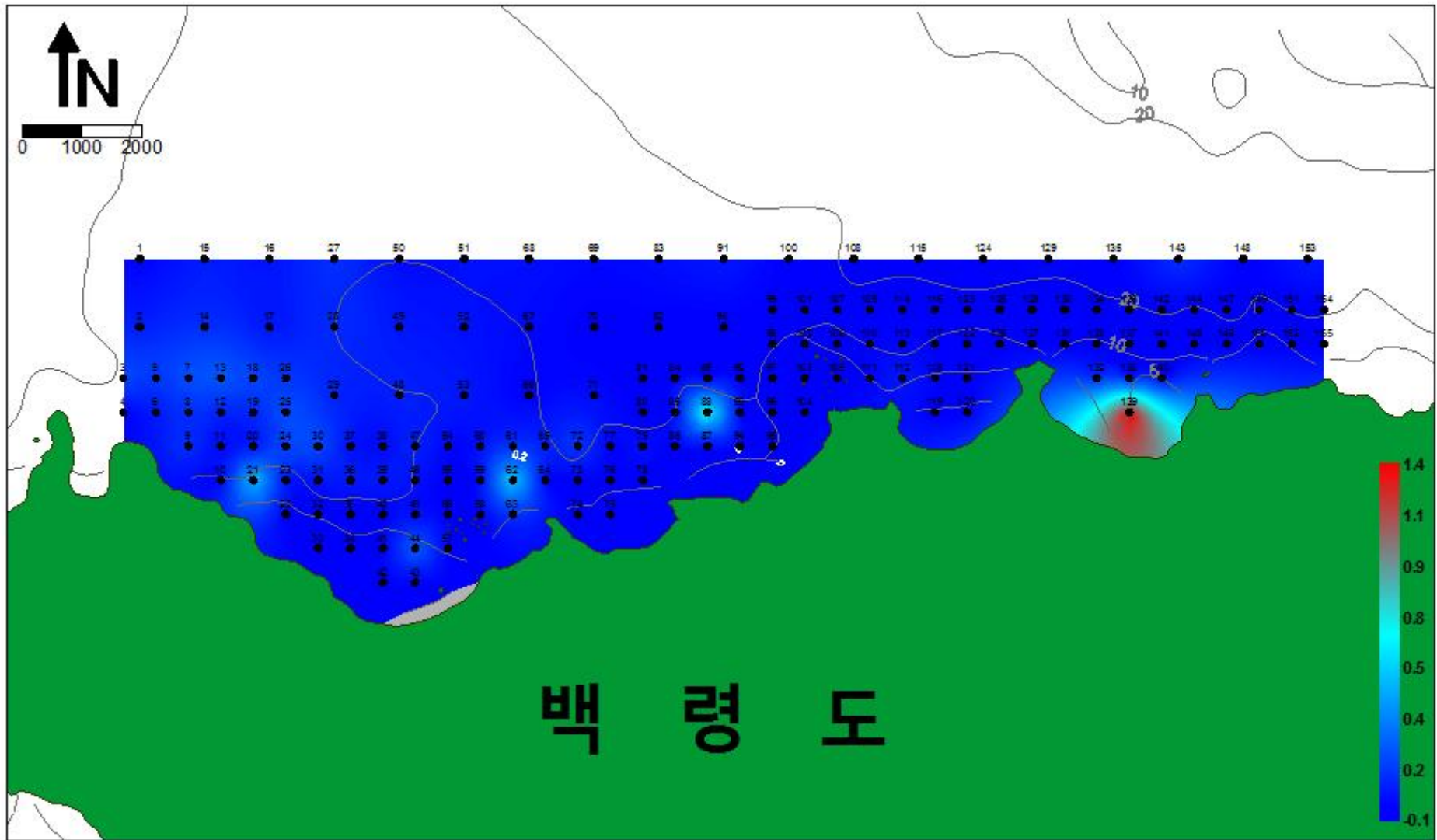


그림 43. 조사정점별 표층퇴적물 산화발성황화물 공간분포도

표 28. 조사정점별 표층퇴적물의 부영양화관련 평가점수 합계와 오염판정

정점	합계 점수	오염 판정	정점	합계 점수	오염 판정	정점	합계 점수	오염 판정	정점	합계 점수	오염 판정
1	0	비오염	40	0	비오염	79	0	비오염	118	0	비오염
2	0	비오염	41	0	비오염	80	0	비오염	119	0	비오염
3	2	비오염	42	0	비오염	81	0	비오염	120	0	비오염
4	0	비오염	43	0	비오염	82	0	비오염	121	0	비오염
5	0	비오염	44	0	비오염	83	0	비오염	122	0	비오염
6	0	비오염	45	0	비오염	84	0	비오염	123	0	비오염
7	1	비오염	46	0	비오염	85	0	비오염	124	0	비오염
8	1	비오염	47	0	비오염	86	0	비오염	125	0	비오염
9	0	비오염	48	0	비오염	87	0	비오염	126	0	비오염
10	0	비오염	49	0	비오염	88	3	비오염	127	0	비오염
11	2	비오염	50	0	비오염	89	0	비오염	128	0	비오염
12	0	비오염	51	0	비오염	90	0	비오염	129	0	비오염
13	1	비오염	52	0	비오염	91	0	비오염	130	0	비오염
14	0	비오염	53	0	비오염	92	0	비오염	131	0	비오염
15	0	비오염	54	0	비오염	93	0	비오염	132	0	비오염
16	0	비오염	55	0	비오염	94	0	비오염	133	0	비오염
17	0	비오염	56	0	비오염	95	0	비오염	134	0	비오염
18	1	비오염	57	0	비오염	96	0	비오염	135	0	비오염
19	0	비오염	58	0	비오염	97	0	비오염	136	0	비오염
20	1	비오염	59	0	비오염	98	0	비오염	137	0	비오염
21	4	비오염	60	0	비오염	99	0	비오염	138	0	비오염
22	0	비오염	61	0	비오염	100	0	비오염	139	6	오염
23	0	비오염	62	4	비오염	101	0	비오염	140	0	비오염
24	0	비오염	63	1	비오염	102	0	비오염	141	0	비오염
25	0	비오염	64	0	비오염	103	0	비오염	142	0	비오염
26	0	비오염	65	0	비오염	104	0	비오염	143	0	비오염
27	0	비오염	66	0	비오염	105	0	비오염	144	0	비오염
28	0	비오염	67	0	비오염	106	0	비오염	145	0	비오염
29	0	비오염	68	0	비오염	107	0	비오염	146	0	비오염
30	1	비오염	69	0	비오염	108	0	비오염	147	0	비오염
31	0	비오염	70	0	비오염	109	0	비오염	148	0	비오염
32	0	비오염	71	0	비오염	110	0	비오염	149	0	비오염
33	0	비오염	72	0	비오염	111	0	비오염	150	0	비오염
34	0	비오염	73	0	비오염	112	0	비오염	151	0	비오염
35	0	비오염	74	0	비오염	113	0	비오염	152	0	비오염
36	0	비오염	75	0	비오염	114	0	비오염	153	0	비오염
37	0	비오염	76	0	비오염	115	0	비오염	154	0	비오염
38	0	비오염	77	0	비오염	116	0	비오염	155	0	비오염
39	0	비오염	78	0	비오염	117	0	비오염			

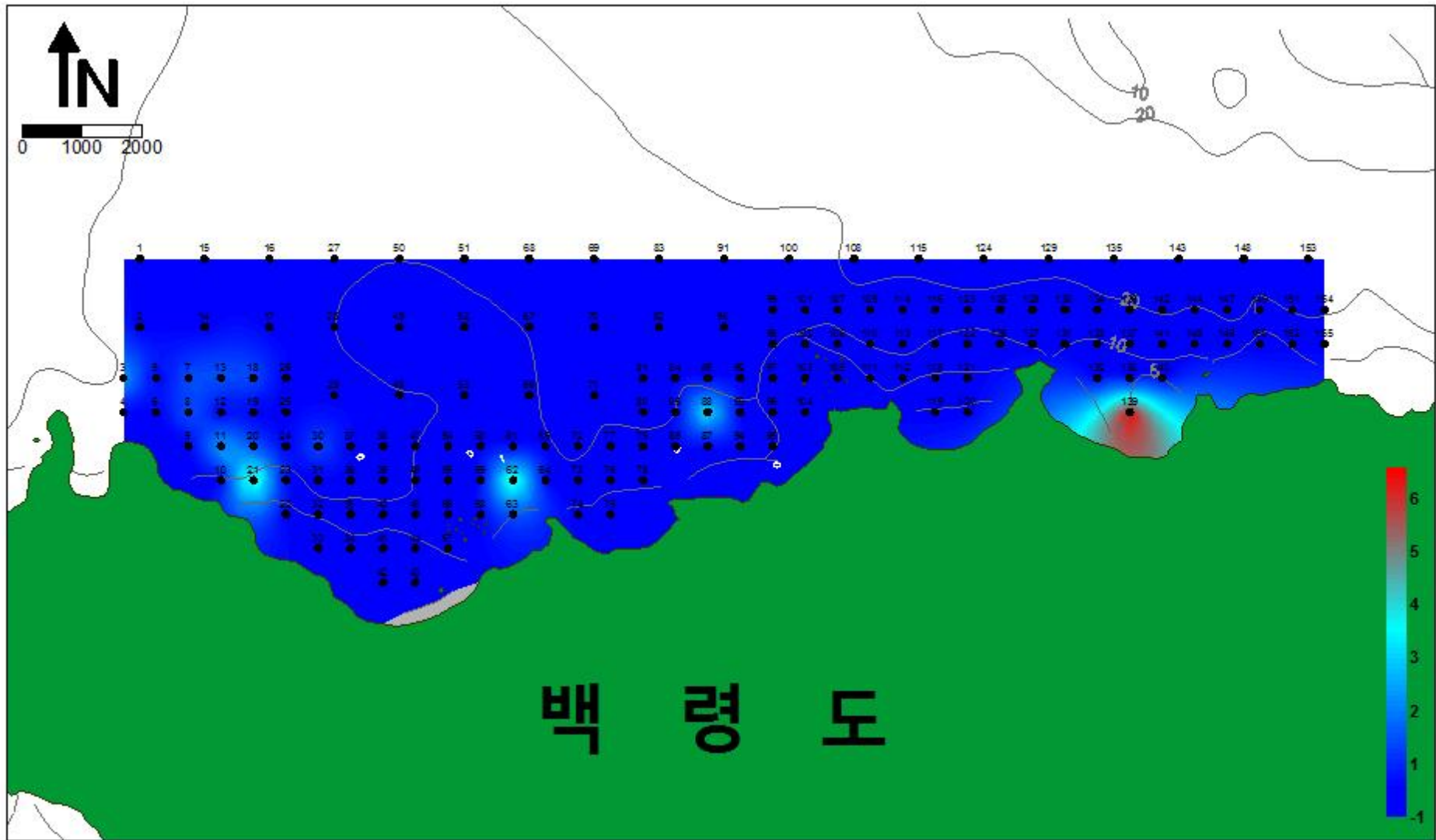


그림 44. 조사정점별 표층퇴적물 부영양화 관련 평가점수 공간분포도

5. 해저 지형

가. 기준점 측량

기준점측량은 2010년 4월 29일 매설된 통합기준점 U0054, U0055을 기준으로 측량하였으며, 기준점에 대한 좌표계는 WGS-84 (GRS80-125N서부) 좌표계를 사용하였다. 조사지역 내 6점에 대한 정밀 GPS 측량을 실시하였고, 그 성과를 토대로 값을 추출하여 인근 신설점을 매설하였다. 기 설치된 좌표를 전개로 WGS-84 (GRS80-125N서부) 좌표계를 사용하였으며, 금회 측량도 동일한 좌표계를 사용하였다. GPS 기준점을 측량하여 금회 기준점 성과는 기존성과와 비교한 결과는 표 29와 같다.

표 29. 기준점 성과 비교표

측점	기존성과 1		금회성과 2		잔 차		개정량	비고
	X(N)	Y(E)	X(N)	Y(E)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta(m)$	
U0054	4211808.490	123484.736	4211808.501	123484.749	0.011	0.013	0.000	
U0055	4209856.420	118550.474	4209856.429	118550.460	0.008	-0.014	0.000	

나. 수준점 측량

본 조사에서 필요한 수준점 측량은 국립해양조사원에서 수행한 기본수준점성과표의 해양기준점 TBM. 3, 4, 5 점들 중 최종 TBM. 3 (DL=5.589 m)를 기준으로 하여 간접수준측량에 의한 폐합 오차에 따른 정도를 확인하였으며, 조위관측을 위한 간접 수준측량(표고 측량)을 실시하여 오차량 및 표고값을 결정하여 비교하였다(표 30).

표 30. 기본수준점 성과 비교

구 분	명 칭	표고 (m/EGM08)		오차량(m)	개정량	비 고
		기존성과 1	금회성과 2	1-2	$\Delta(m)$	
1	TBM3	5.589	5.580	-0.009	5.589	
2	TBM4	6.993	7.010	0.017	6.993	
3	TBM5	7.186	7.172	0.014	7.186	

다. 수심 측량

(1) 수심분포도

연지어촌계는 어릿골 좌측에 위치하는 촛대바위로부터 사항포지선을 경유하여 두무진 우측해역을 대상으로 측량을 실시하였다.

조사 결과, 사항포항 인근인 북서측에 여가 형성되어 있으며, 수심 분포는 사항포 지선을 중심으로 10 m 까지 경사를 이루다가 중심부에서는 10 m 내외의 만을 이루고 있는 지역으로 조사되었다(그림 45).

진촌어촌계는 고봉포항 좌측에서부터 어릿골 좌측에 위치하는 촛대바위를 대상으로 측량을 실시하였다. 조사 결과, 어릿골과 고봉포 해변을 중심으로 수심의 변화가 작은 만의 형태를 이루고 있으며, 수심은 만 내에서 10 m 이하의 분포를 보였다. 그리고 수심이 10 m인 등수심선부터 조밀해져 수심의 변화가 심해지는 것을 볼 수 있다(그림 46).

(2) 종단면도

용진군 수출양식단지(양식섬) 조성을 위한 자연석(석괴) 및 인공어초를 시설하기 전 인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013.06.25.) 중 어초시설 적지조사 항목 및 판정조건의 기준을 살펴보면, 해저지형은 기울기 5/100 즉, 1/20 이하로 평탄한 해역에 시설하도록 규정하였다.

Single Beam 음향측심기를 이용하여 측량한 전체해역 총 11개(A~K) 라인을 대상으로 경사도를 분석하였으며(그림 47), 그 결과는 다음과 같다.

A~D Line은 축척 종방향(H)=1:2,000, 횡방향(V)=1:100, E~F Line은 축척 종방향(H)=1:1,200, 횡방향(V)=1:100으로 도면화하였다(표 31).

연지어촌계 해역인 사항포 지선은 수심 10 m 내외에서는 기울기의 변화가 거의 없는 지형을 갖추고 있어 인공어초를 시설하기에 적합한 해역이라 판단된다.

진촌어촌계는 H Line에서 해안으로부터 누가거리 520 m에서 620 m 사이에서 1/13의 최대 기울기를 보였으며, I Line에서 해안으로부터 누가거리 220 m에서 440 m 사이에서 1/20의 최대 기울기를 보여 어초시설 적지조사 항목 및 판정조건의 기준을 벗어나므로 이 해역을 제외한 모든 해역은 인공어초를 시설하기에 적합한 해역이라고 사료된다.

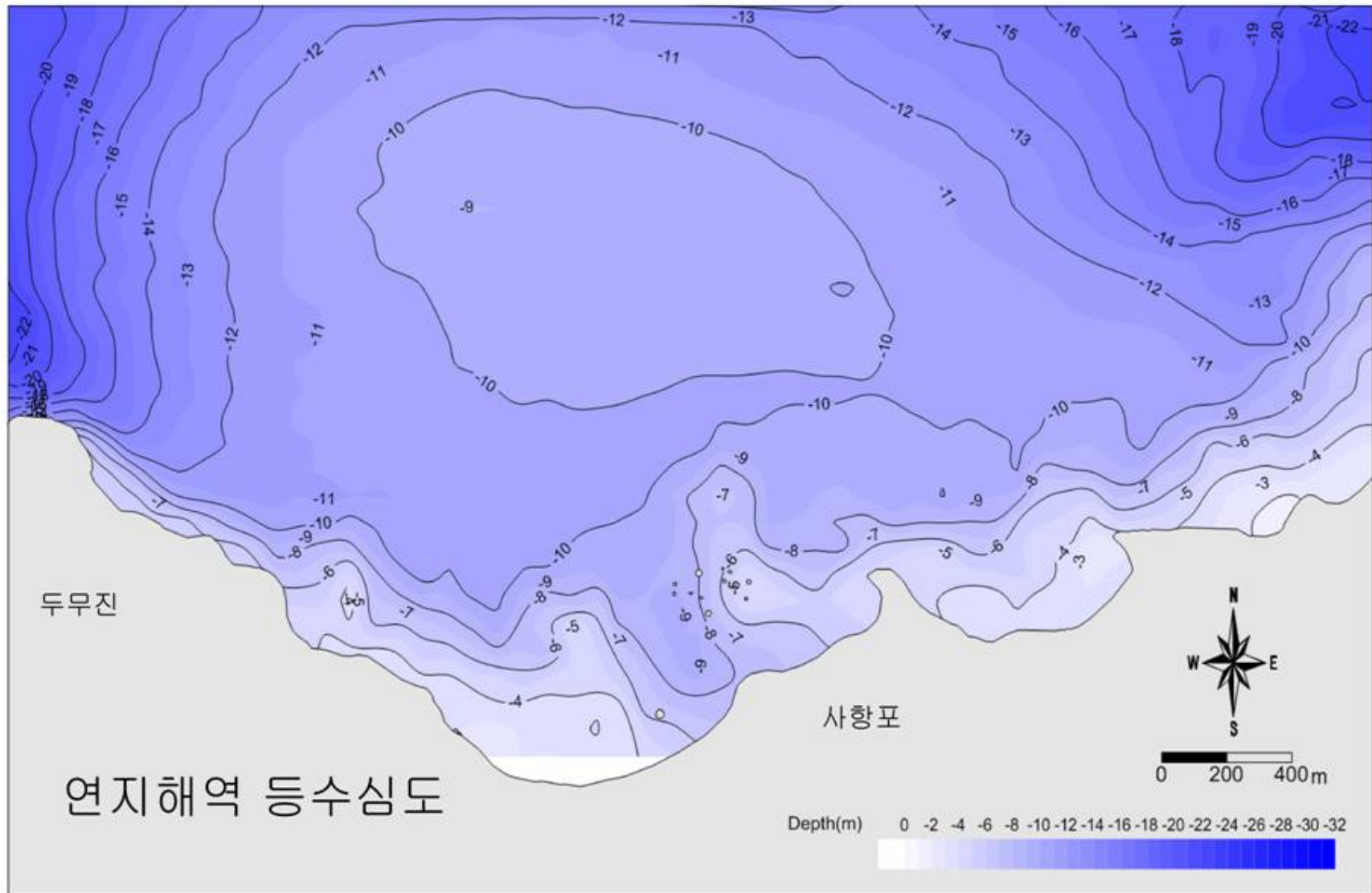


그림 45. 연지어촌계 해역 등수심도

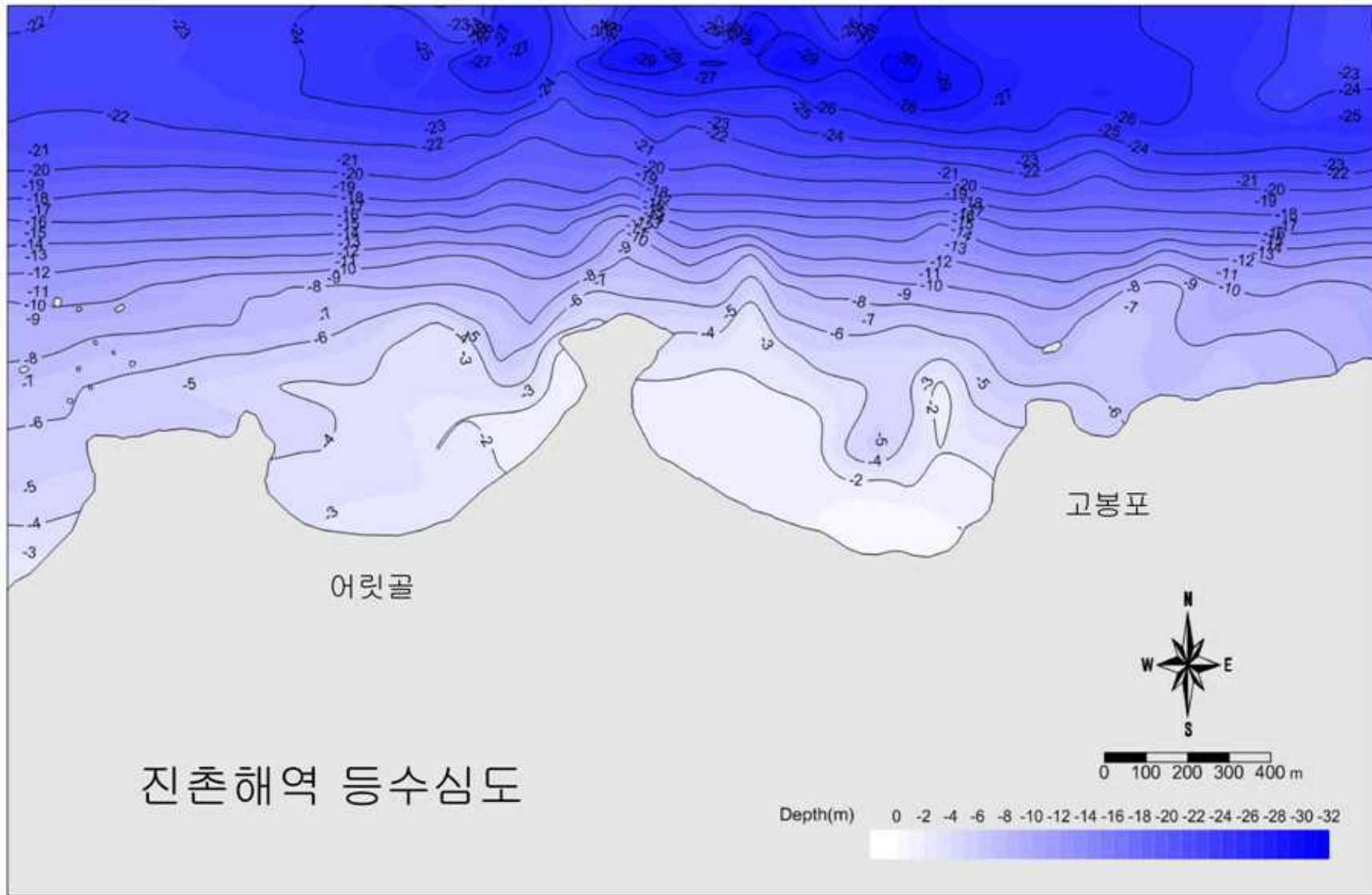


그림 46. 진촌어촌계 해역 등수심도

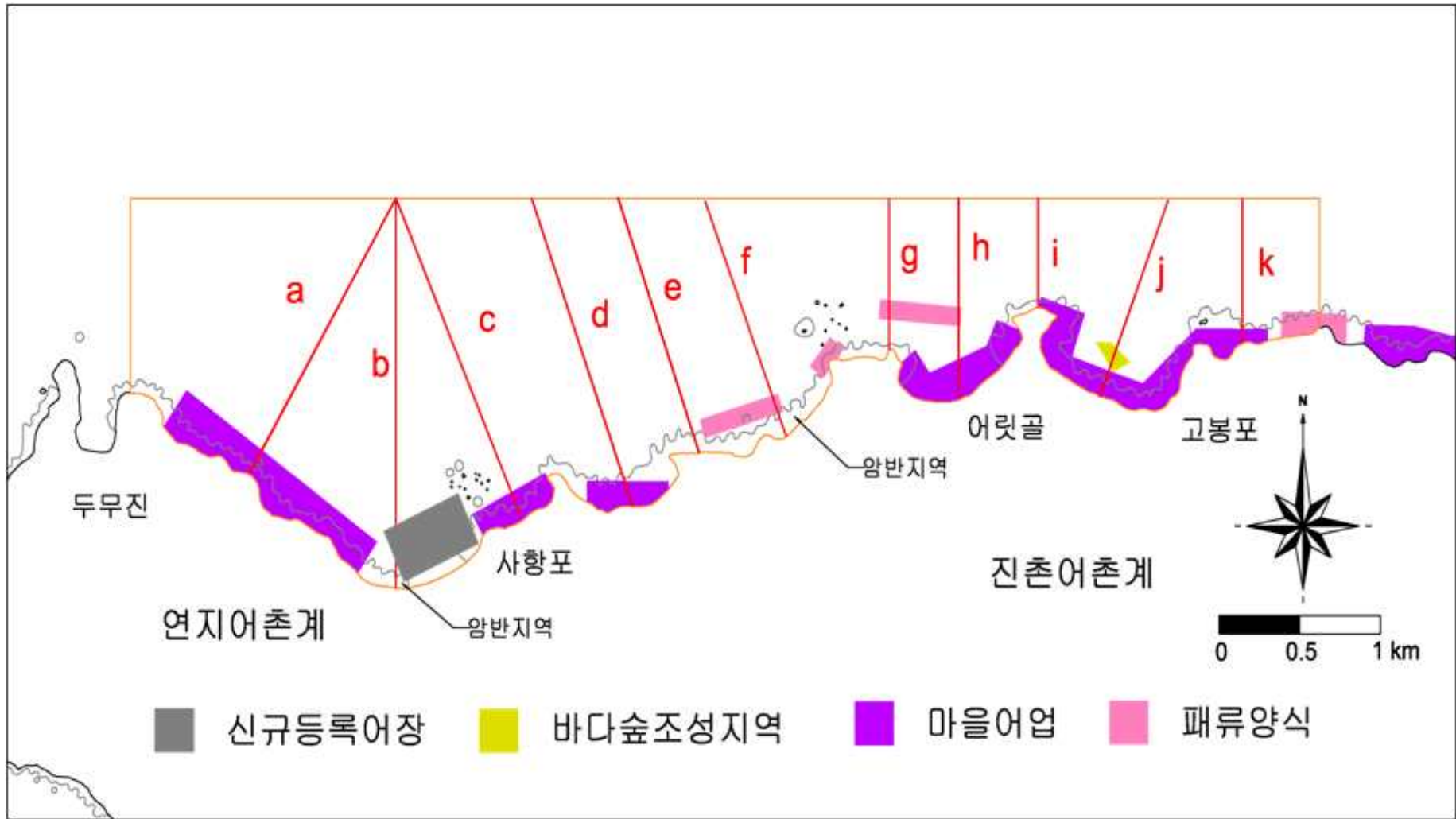


그림 47. 조사해역 경사산정을 위한 종단면

표 31. 조사해역의 라인별 종단면도

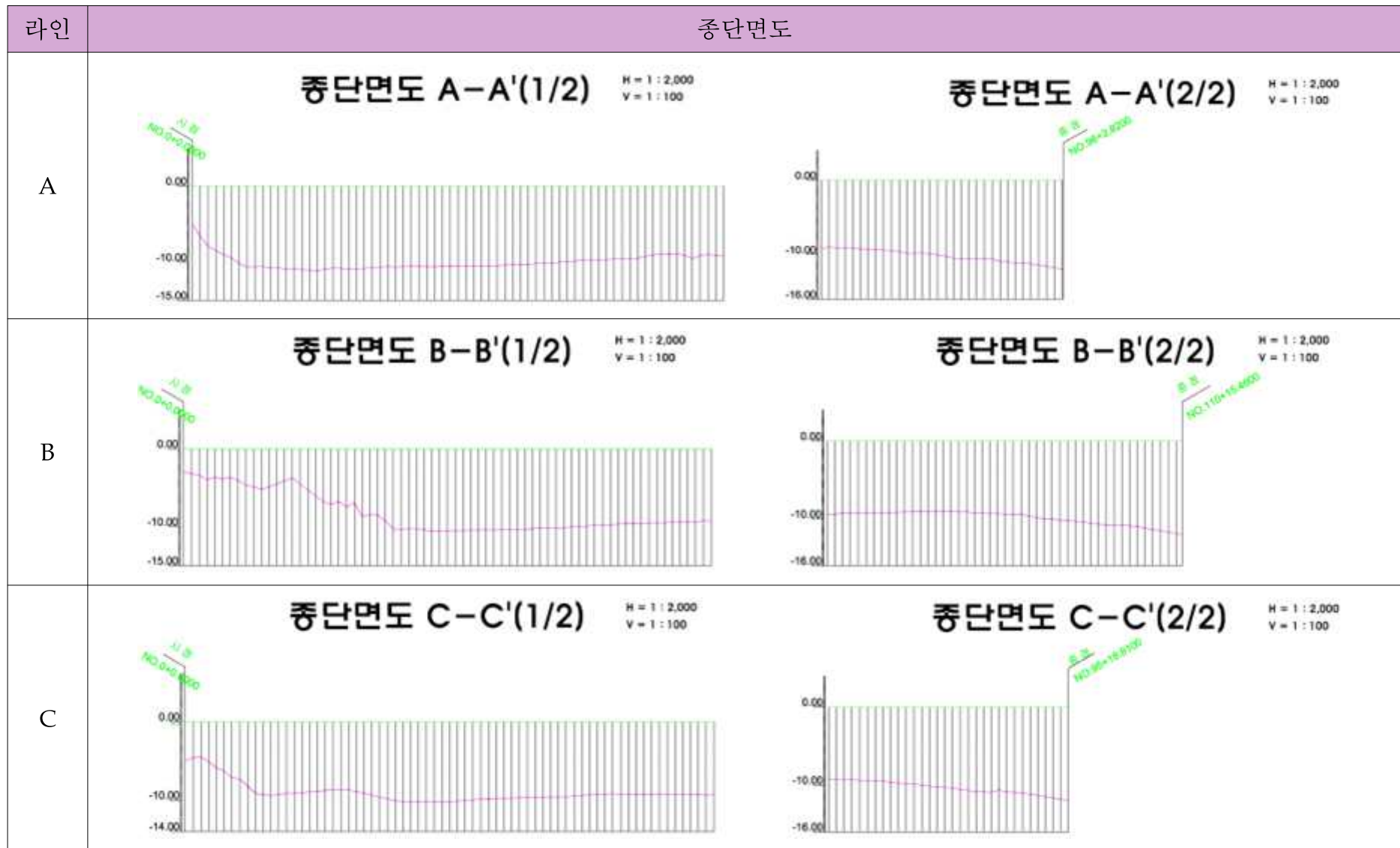


표 31. 계속

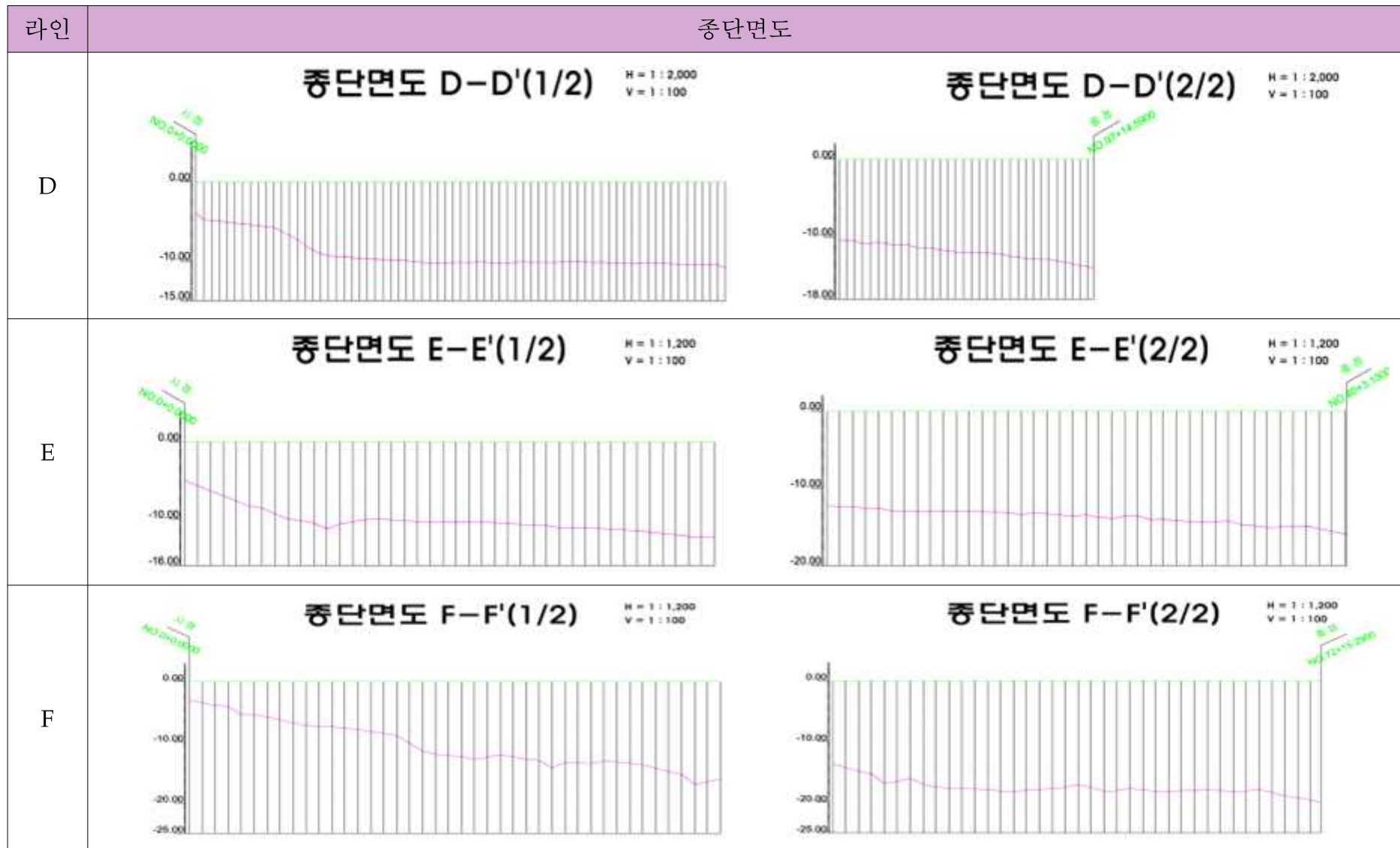
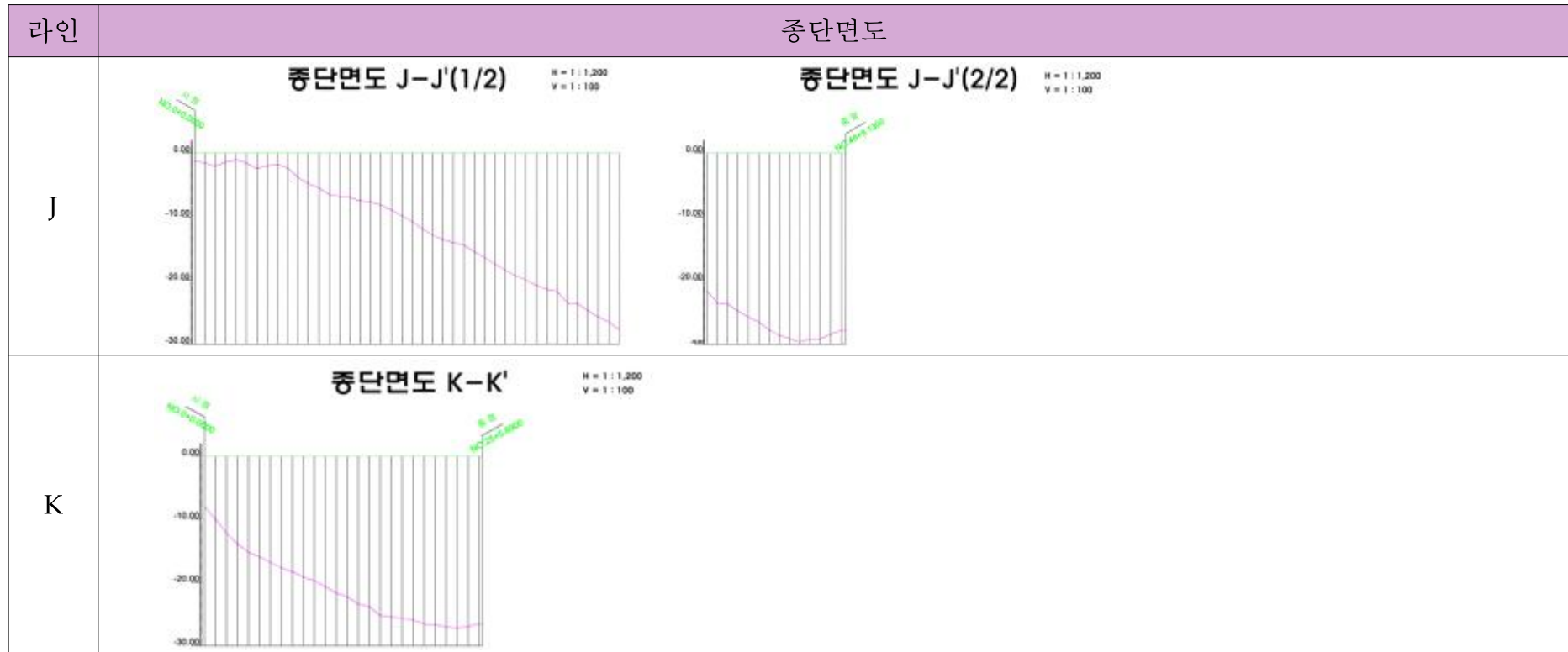


표 31. 계속




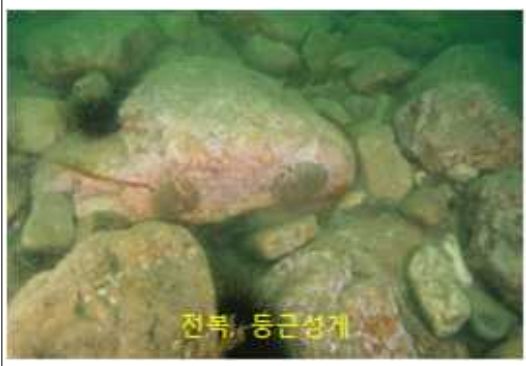


라인	종단면도
G	<p style="text-align: center;">종단면도 G-G'(1/1) H=1:1,200 V=1:100</p>
H	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>종단면도 H-H'(1/2) H=1:1,200 V=1:100</p> <p>기울기 : 1/13</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>종단면도 H-H'(2/2) H=1:1,200 V=1:100</p> </div> </div>
I	<p style="text-align: center;">종단면도 I-I' H=1:1,200 V=1:100</p> <p style="text-align: center;">기울기 : 1/19</p>

표 31. 계속



6. 수중 탐사

가. 정점 1

조사수심	13.5m		수 온	11 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 58.583' N	시 야	2 m
	경도	124° 37.846' E	퇴 적 물	자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
	돌기해삼		전복, 등근성게	
				
	등근성게		담치류	
저서생물	짜귀비단가리비, 등근성게, 돌기해삼, 일본불가사리, 별불가사리, 집게류, 갈색띠매물고둥, 해면류, 도우손햇님불가사리, 아팠불가사리, 주름불가사리, 이끼벌레류, 빨물맞이게, 방석고둥, 아무르불가사리, 보리무룩, 민꽃게			
해 조 류	붉은실류, 산말, 다시마, 흑돌잎, 굵은마디산호말			
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

나. 정점 2

조사수심	12.2m		수 온	11 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 58.469' N	시 야	2 m
	경도	124° 38.432' E	퇴 적 물	암반(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	암반 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
				
	저서생물	돌기해삼, 등근성게, 별불가사리, 도우손햇님불가사리, 짝귀비단가리비, 아펠불가사리, 아무르불가사리, 주름불가사리, 민꽃게, 일본불가사리, 피빨고둥, 삿갓조개류, 방석고둥, 담치류		
	해 조 류	잘피, 무절석회조류, 굽은마디산호말		
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			







다. 정점 3

조사수심	14.5m		수 온	11 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 58.621' N	시 야	2 m
	경도	124° 38.600' E	퇴 적 물	자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
				
	저서생물	민꽃게, 주름볼가사리, 막이끼벌레류, 짝귀비단가리비, 분지성게, 갈색띠매물고둥, 별볼가사리, 아무르볼가사리, 애기콩팍볼가사리, 갯민숭달팽이, 돌기해삼, 도우손햇님볼가사리, 히드라류, 무쓰뿌리돌산호, 자주빛이끼벌레, 오각광삼		
	해 조 류	없음		
	판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨		


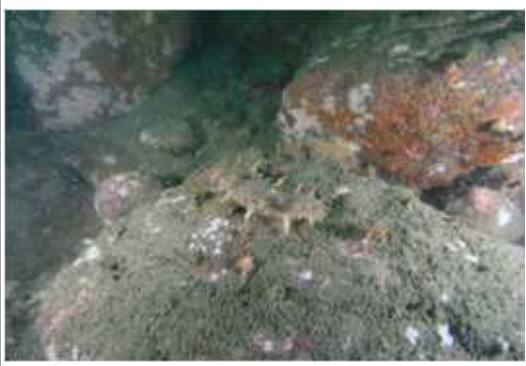
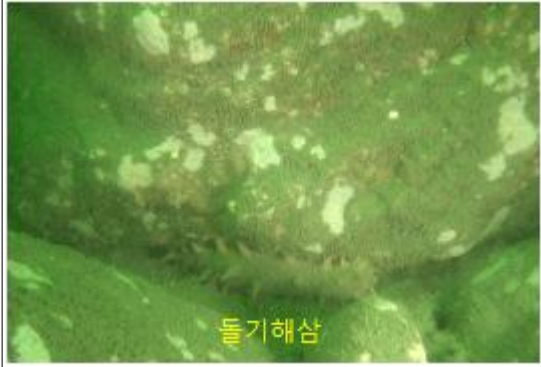
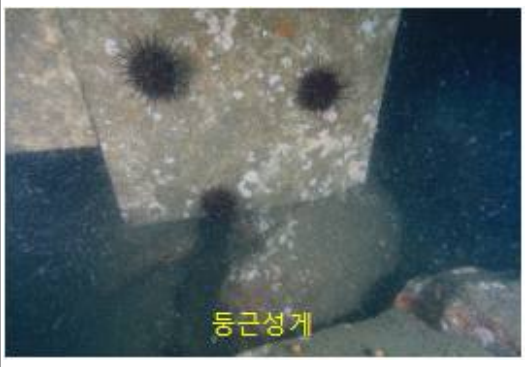


라. 정점 4

조사수심	12.0m		수 온	12 °C	
조사위치 WGS-84	위도	37° 58.615' N	시 야	2 m	
	경도	124° 39.210' E	퇴 적 물	자갈(부니)	
조 사 결 과					
해 삼					
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식				
저 서 생 물 / 해 조 류					
					
	저서생물	민꽃게, 돌기해삼, 오각광삼, 별불가사리, 아무르불가사리, 주름불가사리, 갯민숭달팽이, 갈색띠매물고둥, 막이끼벌레류, 방석고둥, 복합이끼벌레			
	해 조 류	앞꼬시래기, 미리오그라메, 파래류, 무절석회조류(흑돌잎), 산말, 붉은실류			
	판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

마. 정점 5

조사수심	11.5m		수 온	13 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 58.689' N	시 야	2 m
	경도	124° 39.523' E	퇴 적 물	암반/자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류	 돌기해삼		 둥근성게	
	 아말불가사리, 주름불가사리		 전복, 별불가사리	
	저서생물	돌기해삼, 둥근성게, 갯민숭달팽이, 이끼벌레류, 주름불가사리, 별불가사리, 피빨고둥, 히드라류, 해변해면류, 무쓰뿌리돌산호, 아말불가사리, 아무르불가사리, 빨물맛이게, 전복		
	해 조 류	지충이, 파래류, 붉은실류, 다시마, 미역, 갈록이고리매, 불레기말, 산말, 흑돌잎, 굵은마디산호말, 우뚝가사리, 작은구슬산호말, 툫		
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

바. 정점 6

조사수심	13.5m		수 온	13 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 59.095' N	시 야	2 m
	경도	124° 40.200' E	퇴 적 물	반원가지형어초, 자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	어초와 호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
				
	저서생물	돌기해삼, 숨털석회관갯지렁이, 별불가사리, 아팰불가사리, 등근성게, 빨강따개비, 주름불가사리, 해면류, 민꽃게, 무쓰뿌리돌산호, 갯고사리류, 매끈이고둥, 숨털깃히드라, 빨물맛이게, 방석고둥, 석회관갯지렁이, 부채빨산호, 갯민숭달팽이		
	해 조 류	없음		
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

사. 정점 7

조사수심	13.5m		수 온	13 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 59.130' N	시 야	2 m
	경도	124° 41.012' E	퇴 적 물	암반/자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
				
	저서생물	큰구슬우렁, 둥근성게, 별불가사리, 주름불가사리, 아무르불가사리, 갈색띠매물고둥, 홍합, 깃히드라, 돌기해삼, 바다조름, 전복, 도우손햇님불가사리, 톱니막이끼벌레, 빨물맞이게, 집게류, 방석고둥, 아팠불가사리, 무쓰뿌리돌산호, 깃히드라류, 검은띠불가사리, 해면류		
	해 조 류	산말, 붉은마디산호말, 미리오그라메		
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

아. 정점 8

조사수심	9.7m		수 온	13 °C	
조사위치 WGS-84	위도	37° 59.017' N	시 야	2 m	
	경도	124° 41.395' E	퇴 적 물	암반/자갈(부니)	
조 사 결 과					
해 삼					
	호박돌 사이에 산발적으로 해삼이 서식				
저 서 생 물 / 해 조 류					
	돌기해삼		민꽃게		
					
	전복		주름불가사리		
	저서생물	민꽃게, 돌기해삼, 아팠불가사리, 전복, 별불가사리, 주름불가사리, 말미잘류, 민꽃게, 해면류, 짝귀비단가리비, 자주빛이끼벌레, 막이끼벌레류, 무쓰뿌리 돌산호, 짝귀비단가리비, 둥근성게			
	해 조 류	다시마, 파래류, 산말, 무절석회조류(흑돌잎), 굵은마디산호말, 주름뼈 대그물말			
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨				

자. 정점 9

조사수심	12.3m		수 온	12 °C
조사위치 WGS-84	위도	37° 59.128' N	시 야	2 m
	경도	124° 42.211' E	퇴 적 물	암반/자갈(부니)
조 사 결 과				
해 삼				
	어초 호박동 사이에 산발적으로 해삼이 서식			
저 서 생 물 / 해 조 류				
	돌기해삼		숨털석회관갯지렁이	
				
	돌기해삼, 비단가리비		둥근성게	
저서생물	사가미스펀지이끼벌레, 부채빨산호, 돌산호류, 자주빛이끼벌레, 바다 대벌레류, 빨물맛이게, 돌기해삼, 둥근성게, 갈색띠매물고둥, 주름불가사리, 숨털석회관갯지렁이, 민꽃게, 무쓰뿌리돌산호, 해면류, 희드라류, 아무르불가사리, 아펠불가사리, 보리무룩, 방석고둥, 깃히드라류			
해 조 류	없음			
판정	기존에 해삼이 서식하고, 은신처로 이용되는 암반, 자갈이 존재하며, 먹이로 이용되는 부니들이 암반 사이에 있어 해삼이 서식하기에 적합할 것으로 판단됨			

IV 결론

1. 기존 면허어장 중복여부

진촌, 연지어촌계 해역의 조사정점 중 기존 면허어장과 중복 여부는 그림 48에 나타내었다. 연지어촌계 해역은 정점 9, 10, 22, 33번은 마을양식어장 제60호와 중복되며, 진촌어촌계 해역은 정점 112, 116, 121번이 패류양식어장 91번과 중복된다.

금번 해삼섬 조성사업은 기존 면허어장이 아닌 해역에 신규로 해삼 양식어장을 조성하는 것이므로 상기 정점들은 금번 사업지에서 제외해야 할 것으로 사료된다.



그림 48. 조사정점과 기존 면허어장 중복 여부 모식도

2. 해 황

진촌, 연지어촌계 해역의 수심별 최강유속은 창조류시 71.4~91.3 cm/s, 낙조류시 72.2~91.3 cm/s이며, 평균유속은 창조류시 33.3~35.6 cm/s, 낙조류시 27.6~30.9 cm/s로 인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013. 06. 25) 중 어초시설 적지조사 항목 및 판정조건 기준을 살펴 보면, 최고유속 200 cm/s 이하인 곳이 어초 설치 적지라고 규명되어 있으므로 해당 해역은 모두 어초를 시설하기에 적합한 조건이라고 할 수 있다.

3. 수질환경

진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 수질환경 측정값과 해삼양식적지 기준과의 비교를 통한 해삼 서식 적지판정은 표 32에 나타내었다. 화학적 산소요구량(COD)이 기준치보다 약간 높지만, 연안과 달리 오염원의 유입이 없으므로 해삼 서식에 큰 영향을 주지 않을 것으로 사료된다. 따라서, 조사해역은 해삼을 서식하기에 적합한 수질환경이라고 할 수 있겠다.

표 32. 진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 수질환경 및 적지 판정

조사항목	진촌어촌계 해역	연지어촌계 해역	해삼양식 적지기준	적합 판정
수온 ¹	3.2~21.8℃ (평균 13.2℃)	3.5~21.9℃ (평균 13.3℃)	2~26℃	적합
용존산소 ¹	6.2~11.7 mg/L (평균 8.5 mg/L)	6.8~11.5 mg/L (평균 8.7 mg/L)	5 mg/L 이상	적합
pH ¹	7.9~8.4 (평균 8.2)	7.9~8.4 (평균 8.2)	7.8~8.3	적합
염분 ¹	31.6~33.2 ppt (평균 32.6 ppt)	31.6~33.4 ppt (평균 32.7 ppt)	28~34 ppt	적합
화학적산소요구량 ² (COD)	0.71~2.33 mg/L (평균 1.60 mg/L)	0.71~2.49 mg/L (평균 1.62 mg/L)	3 mg/L 이하	적합
총인 ¹ (TP)	0.026~0.042 mg/L (평균 0.036 mg/L)	0.021~0.041 mg/L (평균 0.032 mg/L)	0.050 mg/L 이하	적합
총질소 ¹ (TN)	0.253~0.343 mg/L (평균 0.288 mg/L)	0.248~0.368 mg/L (평균 0.289 mg/L)	0.600 mg/L 이하	적합

* ¹ 태안군 해삼양식장 적지조사(국립수산과학원 서해수산연구소, 2013)

² 해삼양식산업 기술개발 연구사업(인하대학교, 2013)

4. 퇴적환경

진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 퇴적환경 측정값과 해삼양식적지 기준과의 비교를 통한 해삼 서식에 부적합한 정점을 표 33에 나타내었다. 해삼 서식에 부적합한 정점은 3, 11, 13, 21, 62, 88, 139번이다.

표 33. 진촌, 연지어촌계 해역의 각 항목별 퇴적환경 및 적지 판정

조사항목	해삼양식적지 기준*	서식조건에 부적합한 정점
입 도	평균입도 6 ϕ 이하로 분급이 불량한 곳	11, 13, 21, 88, 139
화학적산소요구량 (COD)	20 mg O ₂ /g.dry 이하	3, 11, 21, 62, 139
산취발성황화물 (AVS)	0.5 mg S/g.dry 이하	21, 62, 88, 139

* 해삼양식적지 기준 : 태안군 해삼양식장 적지조사(국립수산과학원 서해수산연구소, 2013. 3)

또한, 인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013. 06. 25) 중 어초시설 적지조사 항목 및 판정조건 기준을 살펴보면, 저질상 조건은 “니토 또는 니질퇴적물의 함량이 70% 이상”인 경우 어초투하 부적지로 판정하도록 규정하였다.

조사정점 중 니토 또는 니질퇴적물 함량이 70% 이상인 정점은 21, 62, 88, 139번이며 이곳은 석괴 등 어초시설을 투하하기에는 부적합한 것으로 사료된다.

또한, 태안군 해삼양식장 적지조사(태안군, 2013)에서 해삼 서식장 조성용 투석 가능 조건으로 자갈과 모래의 함량 70% 이상으로 제시하였으며, 이 조건에 맞는 정점과 맞지 않는 정점은 표 34, 그림 49에 정리하였다.

표 34. 자갈과 모래 함량이 70% 이상인 정점과 미만인 정점

	정 점	비 고
자갈+모래 함량이 70% 이상 (60)	1, 2, 6, 12, 14, 15, 16, 17, 23, 27, 28, 37, 39, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 89, 91, 96, 110, 111, 112, 113, 118, 120, 129, 132, 133, 137, 138, 141, 143, 145, 153	해삼 서식지 조성용 석괴 투석효과가 높은 해역
자갈+모래 함량이 70% 미만 (24)	3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 29, 30, 31, 36, 38, 44, 47, 62, 88, 139	해삼 서식지 조성용 석괴 투석효과가 낮은 해역 : 석괴 침하 가능성 높음 ※ 특히, 정점 21, 62, 88, 139번은 니질 함량이 70% 이상이므로 어초 시설 부적지
암 반 (71)	4, 10, 22, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 55, 56, 57, 58, 64, 73, 74, 75, 76, 78, 86, 87, 90, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 114, 115, 116, 117, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 134, 135, 136, 140, 142, 144, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 154, 155	자연적으로 형성된 암반지역으로 별도로 투석할 필요가 없는 해역

5. 해저 지형조사

해삼 수확 방법은 직접 잠수를 통해 채취하기 때문에 수심 10 m 내외가 적당하다고 할 수 있다. 진촌어촌계 해역의 경우, 만 안쪽에는 10 m 내외지만, 만 바깥쪽은 급격하게 수심이 깊어지므로, 만 안쪽에 시설하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 연지어촌계 해역의 경우, 전체적으로 수심이 10 m 내외이므로 전 해역이 적합하다고 판단된다.

등단면의 경우, 인공어초시설사업집행 및 관리규정(해양수산부훈령 제86호, 2013. 06. 25) 중 어초시설 적지조사 항목 및 판정조건 기준에서 경사도가 5/100 이하의 평탄한 곳에 시설하도록 규정하였다.

H라인은 해안으로부터 누가거리 520~620 m에서 1/13의 최대 기울기를 보였고, I라인은 해안으로부터 누가거리 220~440m 사이에서 1/20의 최대 기울기를 보여 어초시설 부적합지인데, 이에 해당하는 정점은 117, 122, 129번이다.

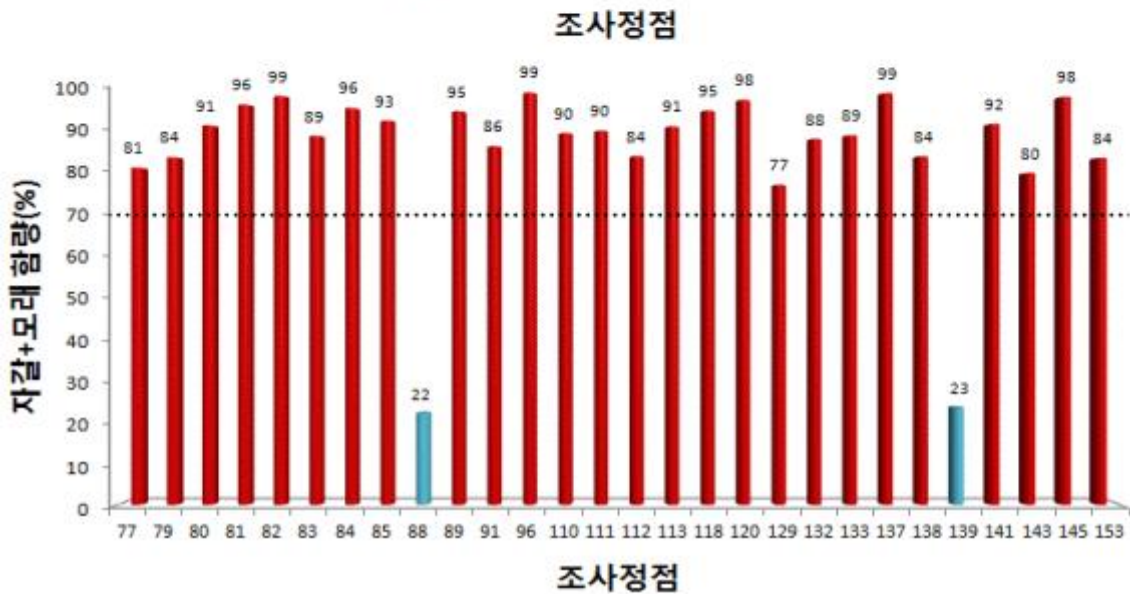
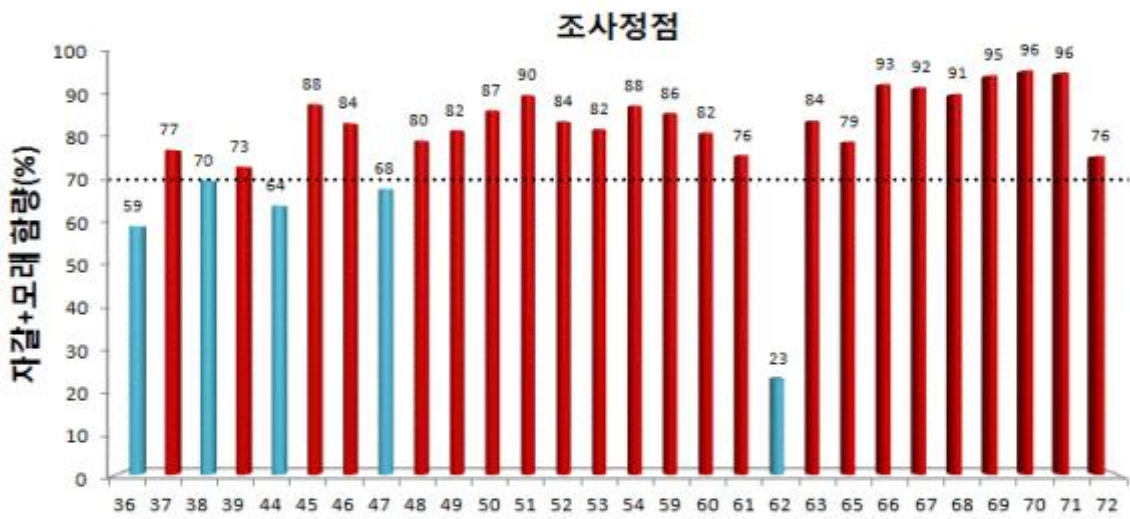
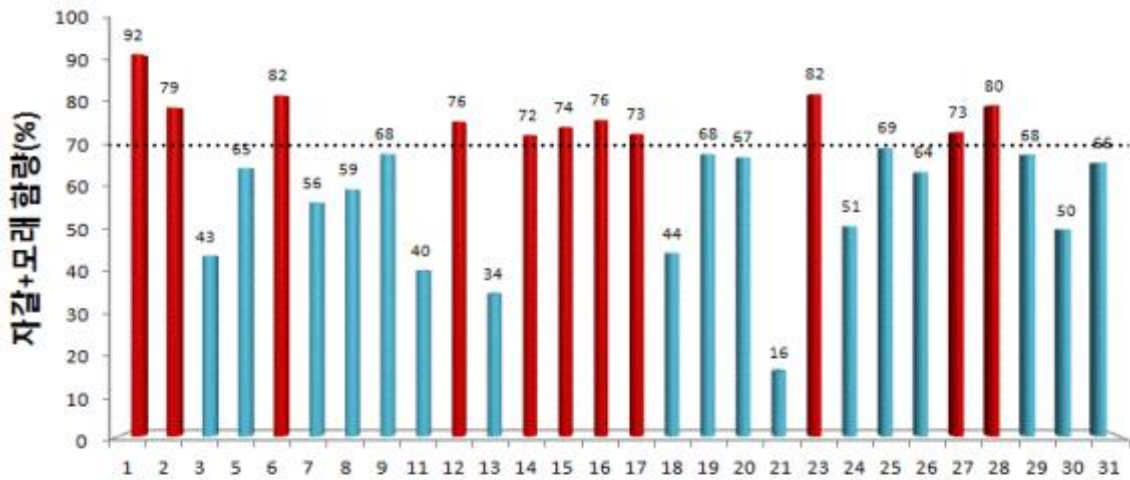


그림 49. 조사점별 표층퇴적물의 자갈+모래 함량 차이(70%)
 ※ 적색 : 자갈+모래 70% 함량 이상, 청색 : 자갈+모래 70% 함량 미만

6. 잠수 조사

해저면 형태, 해삼의 서식 유무 및 서식생물을 조사하기 위한 잠수조사 결과를 살펴보면, 모든 정점이 은신처로 사용하는 암반 및 자갈이 존재하고, 암반들 사이사이에 먹이가 되는 부니가 있어 해삼이 서식하기에 좋은 환경을 가지고 있는 것으로 사료된다.

7. 환경성 및 작업성 등이 고려된 등급 산정

퇴적환경 조사 결과를 근거로 진촌, 연지어촌계 해역 155개 정점에 대해 3가지 등급(A, B, C)으로 구분하였다(표 35, 그림 50).

A등급은 71개로 수심은 10 m 내외로 암반으로 구성되어 있어 은신처가 확보되어 있고, 먹이로 이용되는 부니가 암반사이에 존재하므로 해삼이 서식하기에 좋은 환경을 가지고 있어 별도로 석괴 투하가 필요하지 않은 해역이라고 할 수 있다.

B등급은 32개로 수심은 10 m 내외로 은신처로 이용되는 암반이 없으나, 해삼이 먹이로 선호하는 퇴적물 입자로 구성되어 있으며, “자갈+모래 함량 비율”이 70% 이상이어서 석괴, 어초를 투하해도 침하의 위험이 적으므로, 석괴 투하를 통해서 은신처를 확보한다면 새로운 해삼 서식 적지로 확장할 수 있을 것으로 판단된다.

C등급은 52개로 수심 10 m 이상이거나 연안에서 멀리 떨어져 기존 암반과 연계되지 않으며, “자갈+모래 함량”이 70% 미만이어서 석괴, 어초를 투하하면 침하가 우려되는 해역이므로 금번 사업지 선정에서 제외하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

표 35. 조사정점별 해삼 서식 환경 적합 여부에 따른 등급 분류

	정 점	등급별 환경 조건	비 고
A등급 (65)	4, 10, 22, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 43, 55, 56, 57, 58, 64, 73, 74, 75, 76, 78, 86, 87, 90, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 114, 116, 117, 119, 121, 122, 123, 125, 126, 127, 128, 130, 131, 134, 136, 140, 142, 144, 146, 147, 149, 150, 151, 152, 154, 155	① 수심 10m 내외 ② 먹이(부니) 충분 ③ 암반(은신처) 지역	서식장 조성용 석괴 또는 어초 투하 필요 없음

표 35. 계속

	정 점	등급별 환경 조건	비 고
B등급 (32)	6, 12, 23, 37, 39, 45, 46, 54, 59, 60, 61, 63, 65, 72, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 89, 96, 110, 111, 113, 120, 132, 133, 137, 138, 141, 145	① 수심 10m 내외 ② 먹이(부니) 충분 ③ “자갈+모래” 함량 70% 이상 - 석괴 침하 우려 미비 ④ 암반(은신처) 없음	서식장 조성용 석괴 또는 어초 투하 필요
C등급 (58)	1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 36, 38, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 62, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 82, 83, 88, 91, 100, 108, 112, 115, 118, 124, 129, 135, 139, 143, 148, 153	① 수심 10m 이상 ② 먹이(부니) 부족 ③ “자갈+모래” 함량 70% 미만 - 석괴 침하 우려 있음 ④ 암반(은신처) 없음 ⑤ 외해 : 기존 암반해역과 연계 없음 ⑥ 기존 면허어장과 중복	서식장 조성용 석괴 또는 어초 투하 부적합

8. 해삼 서식장 조성 적지 판정

위 결과들을 토대로 연지어촌계는 88 ha, 진촌어촌계는 총 40 ha가 해삼 서식장 조성을 위한 석괴 투하 적지로 판정되었다(그림 50).

동일한 해역에 시행 예정인 “수출양식단지 육성사업” 해역이 연지의 경우 16 ha (65, 72, 77, 79번 구역)이므로, 이 구역과 연계하여 54, 59, 60, 61번 구역에 서식장을 조성하는 것이 가장 효율적일 것으로 판단되며, 추후 서쪽 방향(23, 39, 45, 46번 구역)으로 서식장을 조성해 나간다면 해삼 서식장 확대를 통한 자원량 증대가 기대할 수 있을 것으로 사료된다(표 36)

또한, 진촌의 경우 16 ha (132, 133, 138, 139번 구역)가 “수출양식단지 육성사업” 해역이므로 이 구역과 연계하여 141, 145번 구역을 해삼 서식장으로 조성하고, 추후 110, 111, 113번 구역을 서식장으로 조성한다면 해삼 서식장 확대를 통한 자원량 증대가 기대할 수 있을 것으로 사료된다(표 36).

투석방법은 2가지 유형이 있다. 한가지는 돌무더기형으로 유속이 어느 정도 있는 지역에 투석하여 조류에 의해 분석되게 하는 형태이며, 다른 한가지는 조류가 안정되어 자연석을 편평하게 시설하는 형태이다.

조사해역은 최대유속이 약 1 m/s까지 흐르는 해역으로 2가지 투석방법 중 돌무더기 형태로 시설하는 것이 적절하다고 판단된다.

표 36. 연지,진촌어촌계 해역에 대한 해삼 서식장 조성 적합 정점 및 면적

어촌계	서식장 조성 구역		적지면적 (ha)	수출전락단지 조성사업지
	2013년	2014년~		
연 지	54,59,60,61번 (16ha)	6,12,23,37,39,45,46, 63,80,81,84,85,89 (52ha)	88	65,72,77,79번 (16ha)
진 촌	141,145번 (8ha)	110,111,113번 (12ha)	40	132,133,136,137번 (16ha)

V 참고 문헌

- 농림수산식품부, 2012. 수출양식단지 조성 타당성 분석 연구.
- 수산기술지 15호, 2006. 해삼종묘생산.
- 옹진군, 2008. 옹진군 도서별 양식어장 적지조사 및 바지락 폐사저감 대책. 128 pp.
- 인천광역시 중구청, 2008. 소무의도 마을어장 해삼 씨뿌림 시험양식, 31~39.
- 태안군, 2013. 태안군 해삼양식장 적지조사. 43~136.
- 해양수산부, 2010. 해양환경공정시험법.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphills's, Autsin, 170p.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. Jour. Sed. Petrol., 27: 3~26.



그림 50. 조사점별 해삼 서식환경 등급 산정 및 서식장 조성 필요 여부