

황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역(3차년도)

2020. 12



황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역 (3차년도)

2020. 12



충청남도

제 출 문

충청남도지사 귀하

본 보고서를 『황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역(3차년도)』에 대한
최종 성과품으로 제출합니다.

2020 년 12 월

충 남 연 구 원

총괄연구책임자 : 윤 종 주

참여연구원 : 이 상 신

윤 영 관 이 상 우

목차

I 과업의 개요	1. 과업의 배경 및 필요성	1) 과업의 배경	03
		2) 과업의 필요성	04
	2. 과업의 목적		05
	3. 과업의 범위	1) 공간적 및 시간적 범위	06
		2) 내용적 범위	06
II 지역현황 및 기초조사	1. 지역환경 특성	1) 지리적 위치	09
		2) 지형 및 지세	10
		3) 기후	10
		4) 인구	14
		5) 토지이용	14
	2. 선행연구 조사	1) 황도 주변 수질 환경특성	16
		2) 황도 갯벌 퇴적물 환경특성	20
		3) 황도 갯벌 저서동물 특성	26
III 현장조사 및 결과	1. 해양수질	1) 현장조사 개요	33
		2) 현장조사 방법	34
		3) 시료의 전처리 및 분석	35
		4) 현장조사 결과	39

	2. 퇴적물	1) 현장조사 개요 51
		2) 현장조사 방법 52
		3) 시료의 전처리 및 분석 53
	3. 저서동물	4) 현장조사 결과 58
		1) 현장조사 개요 73
		2) 현장조사 방법 74
	3. 종합평가	3) 시료의 전처리 및 분석 75
		4) 현장조사 결과 79
		1) 황도 구역별 수질 특성 109
IV		2) 황도 구역별 퇴적물 특성 110
		3) 황도 구역별 저서동물 특성 112
	황도 주상퇴적물 조사 및 분석	
	1. 입도 및 유기물 분석	1) 현장조사 개요 119
		2) 현장조사 방법 120
		3) 조사 결과 121
	2. X-ray 분석	1) 분석 방법 139
		2) 분석 결과 139
	3. 방사성 동위원소 분석	1) 분석 방법 145
		2) 분석 결과 145
	4. 퇴적속도 및 연대추정	1) 방사성 동위원소 개요 152
		2) 퇴적속도 산정 방법 153
		3) 퇴적속도 및 연대산정 결과 153
V	황도 연륙교 건설 전·후 환경변화	
	1. 황도 연륙교 건설 전·후 해양수질 변화	161
	2. 황도 연륙교 건설 전·후 해양퇴적 변화	163

	3. 황도 연륙교 건설 전 · 후 저서생물 변화	1) 출현종수, 생물량 및 생체량 변화 165 2) 바지락 생산량 변화 166 3) 굴 생산량 확대 168
VI	황도 연륙교 건설 전 · 후 지역인식 조사	1. 설문조사 개요 2. 설문조사 결과
		1) 설문조사 방법 175 2) 설문조사 내용 175 1) 응답자 특성 177 2) 황도 연륙제방 건설 이전 현황 178 3) 황도 연륙제방 건설 이후 문제점 179 4) 황도교 건설 이후 효과 및 현황 180 5) 유사사업의 필요성 및 효과 182
VII	결론 및 정책 제언	1. 결론 187 2. 정책제언 190
	참고문헌	193
	부록 해양환경기준	199

표 목차

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준)	4
[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교	14
[표 2-2] 황도리 토지이용 현황	14
[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 대형저서동물	27
[표 2-4] 황도 갯벌 저서동물 우점종(밀도기준 ; 개체/m ²)	27
[표 2-5] 황도 갯벌 저서동물 우점종(생체량기준 ; g/m ²)	28
[표 2-6] 황도 갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준 ; 개체/m ²)	29
[표 2-7] 황도 갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/m ²)	30
[표 3-1] 황도 해양수질조사 분석항목	34
[표 3-2] 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율	38
[표 3-3] 황도 인근 해역 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과	41
[표 3-4] 황도 인근 해역 영양염류 측정결과	45
[표 3-5] 황도 인근 해역 수질평가지수(WQI) 및 등급	48
[표 3-6] 해양환경기준(생태기반 해수수질 기준)-해양수산부고시 제2013-186호	50
[표 3-7] 황도 갯벌 퇴적물 조사 분석항목	52
[표 3-8] 입도 환산표	55

[표 3-9] 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도	56
[표 3-10] 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율	58
[표 3-11] 황도 갯벌 퇴적물 입도 분석 결과	59
[표 3-12] 황도 갯벌 퇴적물 입도 분석 결과	61
[표 3-13] 황도 갯벌 퇴적물 중금속 분석 결과	65
[표 3-14] 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186)	67
[표 3-15] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리기준	67
[표 3-16] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	69
[표 3-17] 해양퇴적물 내 중금속 농축계수	69
[표 3-18] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	71
[표 3-19] 해양퇴적물 내 농집지수	71
[표 3-20] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치	74
[표 3-21] ISEP 분포에 기초한 조간대 배점 기준	77
[표 3-22] 황도 갯벌 저서동물의 출현종수(단위:종/0.1m ² , 평균±표준편차)	79
[표 3-23] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	81
[표 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 생체량(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	82
[표 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	83
[표 3-26] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 우점종(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	85
[표 3-27] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종다양성지수(평균±표준편차)	86
[표 3-28] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종균등도지수(평균±표준편차)	86
[표 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종풍부도지수(평균±표준편차)	87
[표 3-30] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종풍부도지수(평균±표준편차)	87
[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여종(서식밀도 기준)	90
[표 3-32] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(서식밀도 기준)	90
[표 3-33] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여종(생체량 기준)	91

[표 3-34] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(생체량 기준)	91
[표 3-35] 황도 갯벌 저서동물과 퇴적환경요인 간 상관관계	92
[표 3-36] 황도 갯벌 저서동물의 건강도 지수(단위:등급, 평균±표준편차)	93
[표 3-37] 황도 갯벌 저서동물의 저서오염지수(단위:등급, 평균±표준편차)	93
[표 3-38] 황도 갯벌 저서동물의 과거자료 비교·분석	96
[표 3-39] 황도 갯벌 패류자원의 출현종수 및 서식밀도(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	97
[표 3-40] 황도 갯벌 패류자원의 생체량(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	99
[표 3-41] 황도 갯벌 패류자원의 각장(단위:mm, 평균±표준편차)	100
[표 3-42] 황도 갯벌 패류자원의 각폭(단위:mm, 평균±표준편차)	100
[표 3-43] 황도 갯벌 패류자원의 각고(단위:mm, 평균±표준편차)	102
[표 3-44] 황도 갯벌 패류자원의 전중량(단위:g, 평균±표준편차)	102
[표 3-45] 황도 갯벌 패류자원의 비만도(평균±표준편차)	104
[표 3-46] 황도 갯벌 패류자원과 퇴적환경요인 간 상관관계	105
[표 3-47] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 과거자료 비교·분석	107
[표 4-1] 황도 주상퇴적물 조사 분석항목	120
[표 4-2] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T1 정점)	122
[표 4-3] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T2 정점)	123
[표 4-4] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T3 정점)	125
[표 4-5] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T4 정점)	126
[표 4-6] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T5 정점)	127
[표 4-7] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T1 정점)	133
[표 4-8] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T2 정점)	133
[표 4-9] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T3 정점)	134
[표 4-10] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T4 정점)	134
[표 4-11] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T5 정점)	135

[표 4-12] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T1 정점)	146
[표 4-13] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T2 정점)	147
[표 4-14] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T3 정점)	148
[표 4-15] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T4 정점)	150
[표 4-16] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T5 정점)	151
[표 4-17] 황도 갯벌 주상퇴적물의 퇴적속도 및 연대추정 결과	154
[표 5-1] 황도 연륙교 개통 전·후 해수수질평가지수(WQI) 비교	161
[표 5-2] 황도 주변 바지락 살포 현황	168
[표 6-1] 황도 지역주민 설문조사 응답자 특성	177
[표 6-2] 황도 연륙제방 건설 이전 현황	178
[표 6-3] 황도 연륙제방 건설 이후 문제점	179
[표 6-4] 황도교 건설 이후 효과 및 현황	181
[표 6-5] 유사 갯벌복원(역간척) 사업의 필요성 및 기대효과	183

그림 목차

[그림 1-1] 본 연구 조사 정점 위치도	6
[그림 2-1] 충청남도 태안군 안면읍 황도	9
[그림 2-2] 황도교 건설 전 연륙제방(1982~2011, 좌) 및 연륙교 개통 후 전경(우)	10
[그림 2-3] 지난 10년간 태안군 연평균 기온 변화	11
[그림 2-4] 지난 10년간 태안군의 연 강수량	12
[그림 2-5] 황도 인근 천수만 정점 (어장환경모니터링)	13
[그림 2-6] 황도 인근 천수만 정점의 연간 수온 변화	13
[그림 2-7] 황도 현장조사 구역 구분 개념도	15
[그림 2-8] 천수만(황도) 주변 수질 환경 조사 정점도(2010년 ~ 2011년)	16
[그림 2-9] 천수만 수질(WQI) 변화 특성(2010년 ~ 2011년)	17
[그림 2-10] 태안해안국립공원 해양환경변화 조사정점도(2014년, 2016년)	18
[그림 2-11] 태안해안국립공원 해양환경변화 해양수질(WQI) 결과(2014, 2016년)	19
[그림 2-12] 황도 갯벌 조사정점 위치도(2003년)	20
[그림 2-13] 안면도(황도) 갯벌 조사 정점 위치도(2010년)	23
[그림 2-14] 황도 갯벌 조사 정점도(2015년, 2017년)	24
[그림 2-15] 황도 갯벌 생물 조사정점도(2010년, 2015년, 2017년)	26

[그림 2-16] 황도 갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화율	29
[그림 3-1] 황도 해양수질 조사정점	33
[그림 3-2] 황도 인근 해역 수질조사 현장사진	35
[그림 3-3] 황도 인근 해역 수온, 염분, pH, DO 농도	42
[그림 3-4] 황도 인근 해역 수온, 염분, pH, DO 농도	43
[그림 3-5] 황도 인근 해역 DIN(암모늄, 아질산염, 질산염) 농도	46
[그림 3-6] 황도 인근 해역 용존무기인, 규산염, TN, TP 농도	47
[그림 3-7] 황도 인근 해역 수질평가지수 결정 요인	48
[그림 3-8] 생태구역 구분도	49
[그림 3-9] 황도 갯벌 퇴적물 조사정점	51
[그림 3-10] 황도 갯벌 퇴적물 조사 현장사진	53
[그림 3-11] 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류	57
[그림 3-12] 함량비에 따른 퇴적상 분류 (삼각다이어그램)	60
[그림 3-13] 황도 갯벌 퇴적물 함수율, 강열감량, AVS, COD, TOC, TN 농도	62
[그림 3-14] 황도 갯벌 퇴적물 유기물의 C/N 비	63
[그림 3-15] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농도	64
[그림 3-16] 입도와 중금속과의 상관성 및 퇴적물 환경기준	66
[그림 3-17] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농축계수	70
[그림 3-18] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농집지수	72
[그림 3-19] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락) 조사정점	73
[그림 3-20] 황도 갯벌 저서동물 채집 및 측정 사진	77
[그림 3-21] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 출현종수 비율 및 정점별 출현종수	80
[그림 3-22] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 서식밀도 비율 및 정점별 서식밀도수	81
[그림 3-23] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량	82
[그림 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 주요 우점종	84

[그림 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 주요 우점종	85
[그림 3-26] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교	88
[그림 3-27] 다변량 분석을 통한 황도 갯벌 저서동물 군집 분포(서식밀도 기준)	89
[그림 3-28] 다변량 분석을 통한 황도 갯벌 저서동물 군집 분포(생체량 기준)	91
[그림 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 현황 및 과거자료간 비교	95
[그림 3-30] 황도 갯벌 패류자원의 서식밀도 및 생체량	98
[그림 3-31] 황도 갯벌 패류자원의 각장, 각폭 및 각고	101
[그림 3-32] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 전중량	103
[그림 3-33] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 비만도	104
[그림 3-34] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 현황 및 과거자료와의 비교	107
[그림 3-35] 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 조사연도별 히스토그램	108
[그림 3-36] 조사구역별 WQI 등급 변화(2018~2020년)	109
[그림 3-37] 조사구역별 수질등급(WQI) 항목별 분포	110
[그림 3-38] 조사구역별 갯벌퇴적물 입도 분석 결과(2020년 7월)	111
[그림 3-39] 조사구역별 갯벌퇴적물 C/N비 비교(2020년 7월)	112
[그림 4-1] 황도 갯벌 주상퇴적물 조사정점	119
[그림 4-2] 황도 갯벌 주상퇴적물 사진(T1~T5)	120
[그림 4-3] 정점별 퇴적물 입도 조성 비교(화살표는 유의미한 변곡점을 표시)	121
[그림 4-4] 삼각다이어그램 (T1 정점)	123
[그림 4-5] 삼각다이어그램 (T2 정점)	124
[그림 4-6] 삼각다이어그램 (T3 정점)	125
[그림 4-7] 삼각다이어그램 (T4 정점)	126
[그림 4-8] 삼각다이어그램 (T5 정점)	127
[그림 4-9] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T1 정점)	128
[그림 4-10] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T2 정점)	129

[그림 4-11] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T3 정점)	129
[그림 4-12] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T4 정점)	130
[그림 4-13] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T5 정점)	131
[그림 4-14] 주상퇴적물 함수율	135
[그림 4-15] 주상퇴적물 강열감량(IL)	136
[그림 4-16] 주상퇴적물 화학적산소요구량(COD)	136
[그림 4-17] 주상퇴적물 총유기탄소(TOC)	137
[그림 4-18] 주상퇴적물 총질소(TN)	137
[그림 4-19] 주상퇴적물 C/N 비	138
[그림 4-20] 주상퇴적물 단층 사진	139
[그림 4-21] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T1 정점)	140
[그림 4-22] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T2 정점)	141
[그림 4-23] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T3 정점)	142
[그림 4-24] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T4 정점)	143
[그림 4-25] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T5 정점)	144
[그림 4-26] 방사성 동위원소 분석결과 (T1 정점)	146
[그림 4-27] 방사성 동위원소 분석결과 (T2 정점)	147
[그림 4-28] 방사성 동위원소 분석결과 (T3 정점)	149
[그림 4-29] 방사성 동위원소 분석결과 (T4 정점)	150
[그림 4-30] 방사성 동위원소 분석결과 (T5 정점)	151
[그림 4-31] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T1, T2 정점)	155
[그림 4-32] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T3, T4 정점)	156
[그림 4-33] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T5 정점)	157
[그림 5-1] 연륙교 건설 전·후 해양수질(WQI) 변화	162
[그림 5-2] 연륙교 건설 전·후 퇴적물 입도 변화	164

[그림 5-3] 연륙교 건설 전·후 출현종수, 생물량 및 생체량 변화	166
[그림 5-4] 연도별 충청남도 및 황도 바지락 생산량 변화	167
[그림 5-5] 황도 주변 주요 굴 생산지	169
[그림 5-6] 황도교 남측 갯벌 전경(2019년 사진)	170
[그림 5-7] 황도교 아래에서 굴, 바지락 채취하는 주민(2019년 사진)	171
[그림 5-8] 황도교 북측(III구역) 갯벌(2019년 사진)	171
[그림 6-1] 설문조사 주요 내용	176
[그림 6-2] 황도 지역주민 설문조사 응답자 특성	178
[그림 6-3] 황도 연륙제방 건설 이전 현황	179
[그림 6-4] 황도 연륙제방 건설 이후 문제점	179
[그림 6-5] 황도교 건설 이후 효과 및 현황	182
[그림 6-6] 유사 갯벌복원(역간척) 사업의 필요성 및 기대효과	184

과업의 개요

1. 과업의 배경 및 필요성
2. 과업의 목적
3. 과업의 범위

1

과업의 배경 및 필요성

1) 과업의 배경

- 갯벌(연안습지)의 생태적 가치는 농경지에 비해 약 100 배 이상으로 평가되고 있다.
 - 1 km²당 가치(US\$) : 하구 2,283,200, 갯벌 990,000, 농경지 9,200
- 우리나라 갯벌의 연간 경제적 가치는 약 16조원에 이르며, 1 km² 단위면적당 연간 제공(서비스) 가치는 약 63억원에 달하는 것으로 평가된다(2013, 해양수산부).
- 갯벌은 연안생태계의 핵심구역(hotspot)으로 수산자원의 보고일 뿐 아니라 어촌 등 지역 연안사회의 중요한 경제적 기반의 하나이다.
- 우리나라의 갯벌면적은 2,482 km²로 국토면적의 2.5%에 해당하나, 1970 년 이후 농지조성용 대규모 간척지 개발로 지속적으로 축소되었고, 최근까지 항만·임해 산업단지 조성 등 공유수면 매립으로 여전히 그 면적이 줄어들고 있다.
- 특히, 매립에 의한 갯벌 훼손이 심각했던 시기는 1978 년부터 1998 년에 이르며, 1987 년 이후에 상실된 갯벌의 면적은 총 810.5 km²로 경기 341 km², 충남 130 km², 전북 208 km², 전남 125 km², 경남 6.5 km² 등으로 조사되고 있다.
- 하지만 쌀 수요 감소가 지속됨에 따라 간척지의 농업적 이용에 대한 사회적 수요가 급감하고 있으며, 이에 따라 간척·매립된 갯벌의 복원을 통한 생태적 공간활용의 사회적 관심이 높아지고 있다.
- 이에 무리한 갯벌 매립 등으로 인한 부작용이 지속되는 등 활용성이 떨어진 구역의 해양 공간 복원을 통한 해양생물 산란·부양공간의 확보와 함께, 연안지역의 생태적·경제적 활력 가치 증진이 중요하게 대두되고 있다.
- 2010 년대 초반부터 시작된 전국의 갯벌복원 시범사업은 연안지역의 생태적·경제적 활력 가치 증진의 효과를 직접적으로 나타내고 있다.
- 현재 전국적으로 갯벌 복원 사업이 활발하게 진행되고 있으며 서남해안에 위치한 7 개 시·군의 10 개소에 대한 갯벌복원 사업이 완료되었다[표 1-1].

- 충청남도에서는 2011년 12월 태안 안면도와 황도 사이를 연결하기 위해 건설 (1982년)되었던 연륙제방을 제거하고, 연륙교를 개통하였다.
- 연륙교 개통 이후의 해양환경의 다양한 측면에서의 변화를 분석하기 위한 조사 연구의 필요성이 제기됨에 따라 본 연구를 수행하게 되었으며, 본 연구는 2018년부터 3년간에 걸쳐 수행되었다.
- 해양생태환경의 변화는 년 변동성이 상대적으로 크게 나타남에 따라, 일회성 조사가 아닌 3년간의 연속된 연구수행을 통해 변화의 특징 및 원인을 살펴보고자 하였다.

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준)

위치	사업규모	사업기간	예산	주요 내용
인천 강화군 동검도 연륙교	0.2 km ²	2014~2016	50억원	제방 교량화
전북 고창군 심원 폐양식장	0.96 km ²	2010~2013	107억원	갯벌 복원
전남 무안군 현경면	0.2 km×50 m	2013~2014	4.3억원	기수역 복원
전남 신안군 증도-화도	1.2 km×3.5 m	2012~2014	19억원	노둣길 통수로 설치
전남 신안군 병풍도-대기점도	1.05 km×3.5 m			
전남 신안군 대기점도-소기점도				
전남 신안군 소기점도-소약도	0.97 km×4 m			
전남 고흥군 풍야면 매곡리지선	0.2 km ²	2014~2015	4.2억원	폐양식장, 말목제거
전남 순천시 농주리 폐염전	0.12 km ²	2010~2012	25억원	갯벌복원
경남 사천시 비토섬	0.56 km ²	2010~2012	20억원	제방 교량화

2) 과업의 필요성

- 충청남도에서는 2011년 12월, 안면도와 황도를 잇는 연륙제방을 허물고 해수유통이 가능한 연륙교를 건설한 이 후, 연륙교 주변 갯벌 환경 개선에 따른 저서 생태계의 변화가 나타나고 있다.
- 일차적으로는 바지락 생산량의 증가추세로 나타나는데, 이는 해수의 단절로 악화되었던 황도교 주변 갯벌의 퇴적환경이 개선되면서 종패 및 치패의 유입이 늘어난 것으로 평가 되고 있다.

- 이에 따라 바지락 생산량 증가 이외에도 바지락 캐기 등 어촌체험 활동을 위한 관광객이 늘어나는 등 갯벌복원의 부가적 효과가 지속적으로 나타나고 있다.
- 본 연구에서는 황도교 개통으로 인한 갯벌복원 효과를 물리적, 퇴적학적, 생태학적인 관점에서 모니터링을 통해 정량적 분석하였다.
- 황도교 복원 사업 전후로 체계적인 모니터링이 수행되지 않은 점이 아쉬운 부분이나, 향후 유사 사업 추진에 있어 사업 효과에 대한 검증을 위한 사업 전후의 환경변화 모니터링은 필수적이라고 할 수 있다.
- 본 연구에서는 황도교 개통에 따른 황도교 주변 해역의 해수유통 재개 이후, 인접 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 조사를 수행하였다. 이를 통해 사업시행 전·후의 해양환경과 생태계의 변화를 정량적으로 비교하도록 하였다.
- 황도교 준공 이 후 약 7 년이 지났지만, 기존 자료와 조사연구의 성과를 바탕으로 사업 수행의 효과에 대한 분석을 수행하였다.
- 충남도는 향후 유사한 갯벌복원사업을 10 년간 5 개소 이상 추진할 계획을 세우고 있으며, 황도교 복원의 효과를 바탕으로 지속적인 갯벌환경 관리방안을 수립할 예정이다.

2

과업의 목적

- 본 과업은 황도 연륙교 개통(2011 년 12 월) 이후 주변 갯벌 생태계에 미치는 영향 및 복원에 대한 정량적인 평가를 목적으로 하였다.
- 이를 위하여 당해 지역의 과거의 상태를 파악하기 위한 기존문헌 분석 및 현장 탐문조사(주민 설문조사 포함)를 실시하고, 연륙교 개통 전후의 황도 주변 갯벌 환경 및 해양생태계 변화에 대한 평가를 3 년에 걸쳐 수행하였다.
- 본 과업을 통하여 갯벌복원사업 추진에 따른 효과를 분석하고, 갯벌 생산성 향상 및 관리를 위한 개선방안을 도출하여 향후 유사 사업 추진에 있어서의 정책 추진을 위한 체계적인 근거 마련을 기대할 수 있다.

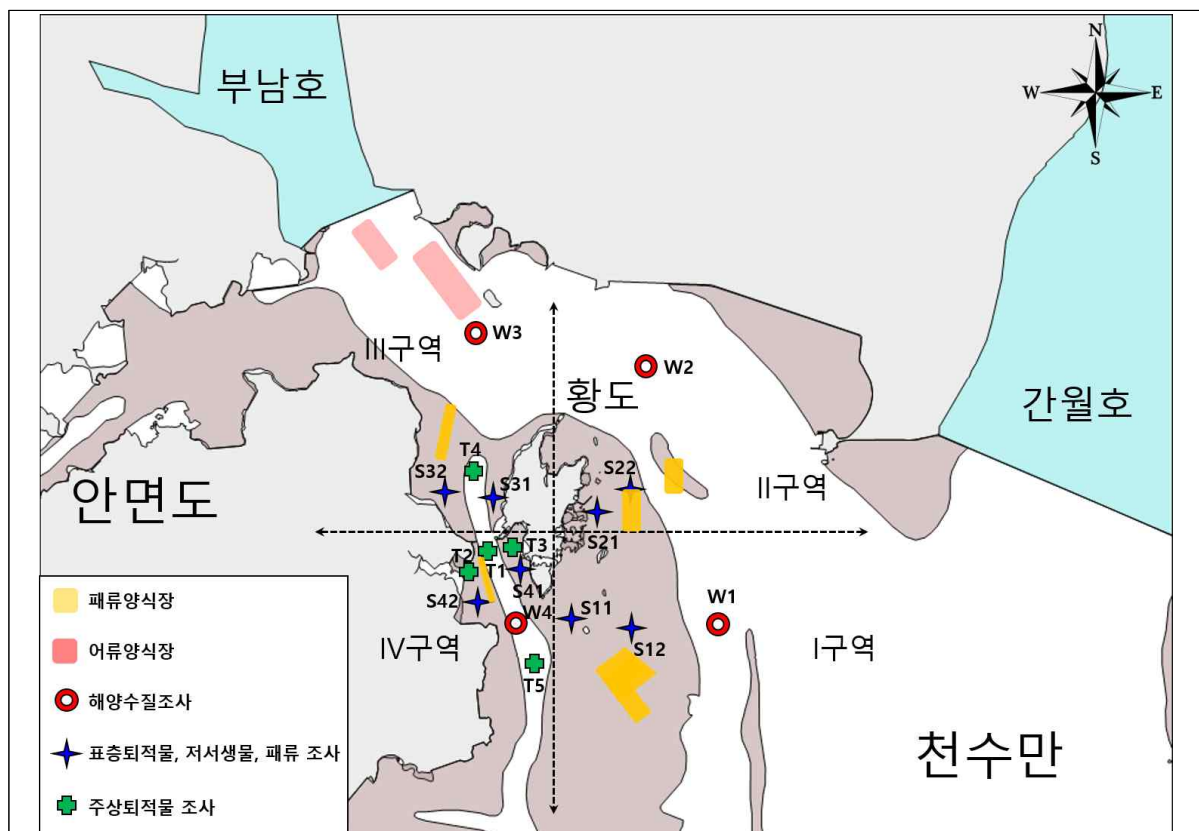
3 과업의 범위

1) 공간적 및 시간적 범위

- 충남 태안군 안면읍 황도리에 위치한 황도교 인근 해역(천수만 내측에 위치)[그림 1-1]
 - 수질(4 개소) 및 퇴적물(8 개소)
 - 바지락 등 대형저서동물(8 개소)
- 용역기간 : 2020 년 6 월 ~ 2020 년 12 월(6 개월)

2) 내용적 범위

- 황도 주변 갯벌 환경 및 생태자료 문헌 및 탐문 조사(황도교 건설 전후 과거 자료)
- 해양환경 조사(수질, 퇴적물, 1 회조사)
- 갯벌 생태조사(대형저서동물 군집구조 및 패류자원, 1 회조사))
- 주민 설문조사를 통한 황도 연륙교 건설 전후의 해역 환경변화 분석



[그림 1-2] 본 연구 조사 정점 위치도

지역현황 및 기초조사

1. 지역 환경 특성
2. 선행 연구 조사

1

지역환경 특성

1) 지리적 위치



[그림 2-1] 충청남도 태안군 안면읍 황도

- 황도는 충청남도 태안군 안면읍 황도리를 이루는 섬으로 약 2.5 km²의 면적을 가지고 있다[그림 2-1].
- 육역으로는 안면도의 북동쪽 끝자락, 해역으로는 천수만의 북서측 가장자리에 위치하고 있다.
- 1982 년 황도교(연륙제방)가 완공됨으로서 안면읍과 황도리가 연결(연륙)되었고, 2011 년 12 월에 해수순환이 단절된 기존 연륙제방을 허물고 해수유통 가능한 연륙교를 완공하여 현재에 이르고 있다[그림 2-2].



[그림 2-2] 황도교 건설 전 연륙제방(1982~2011, 좌) 및 연륙교 개통 후 전경(우)

2) 지형 및 지세

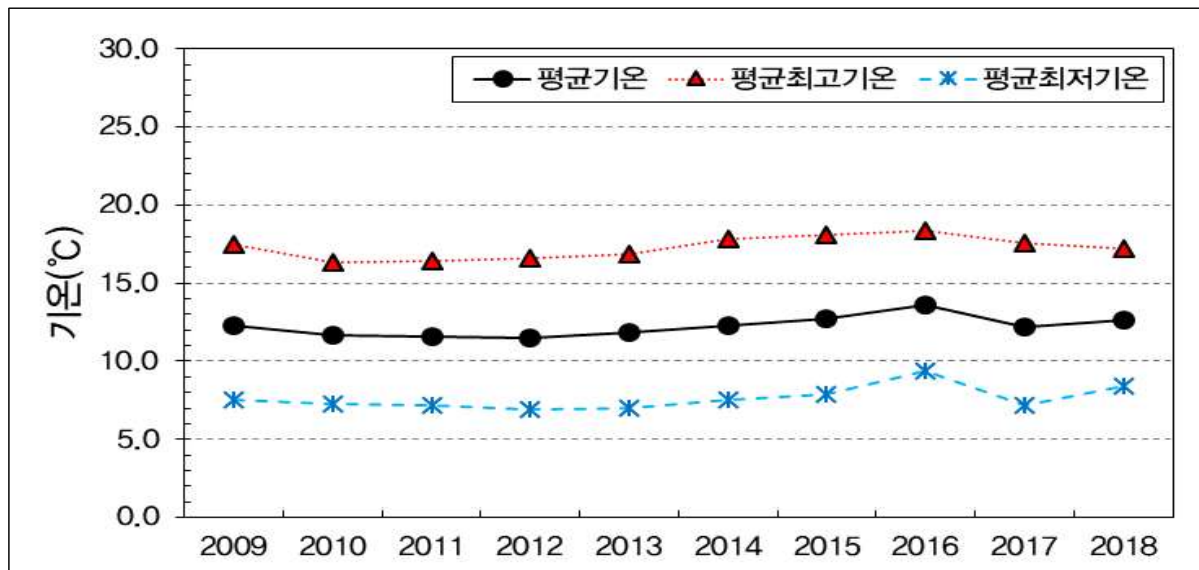
- 섬의 서북쪽과 남단이 약간 높은 구릉으로 이루어진 지형이다.
 - 산지 외 나머지 지형은 평지로 이루어져 농경지나 취락의 입지로 이용된다.
- 남서쪽과 동북쪽에 만입부가 형성되어 있고, 이외의 동쪽과 서쪽해안은 단조로운 해안선을 이루고 있다.
- 섬에서 가장 높은 최고점은 42.7 m로 섬 전체가 아주 낮고 평탄한 지형을 갖고 있다.

3) 기후

[1] 기온

- 최근 10년간 태안군 연평균 기온 변화를 살펴보면 2008년부터 12.3℃에서 2012년 11.5℃까지 감소하였다가 이후 증가하여 경향을 보여주고 있다[그림 2-3].
- 가장 최근 2018 년도의 평균 기온(12.6℃)은 최근 10년 중 가장 낮았던 2012년(11.5℃)에 비해 1.1℃만큼 상승하였다. 이러한 기온 상승은 주변 환경에도 다양한 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 태안군(황도 포함)은 바다의 영향을 많이 받아 해양성 기후로 기온 차가 적은 특징을 가지고 있으며, 최고기온 평균치와 최저기온 평균치의 차이가 10℃ 안팎으로 크지 않은 결과를 보여주고 있다.

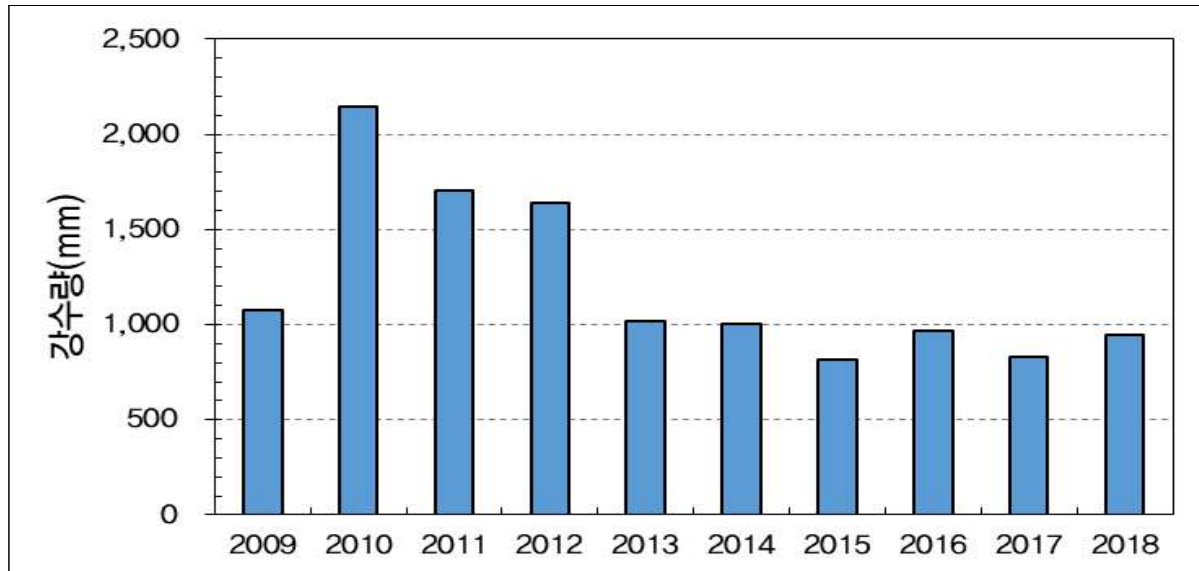
- 한편 최근 10년간 변화 패턴을 보면 일부 구역을 제외하면 평균 최고기온은 느리지만 지속적인 증가 경향을 보여주고 있다.
- 평균 최저기온도 평균 최고기온처럼 느리지만 증가하는 경향을 보여주고 있어 향후 전체적으로 기온은 상승할 것으로 판단된다.
- 태안군(황도 포함) 주변 해수온의 상승은 주변 해양환경 및 해양생태계에 큰 영향을 줄 것으로 예상되며 이는 양식장(바지락 및 가두리 등)에도 영향을 미쳐 결국 어민들의 소득에도 악영향을 줄 것으로 판단된다.



[그림 2-3] 지난 10년간 태안군 연평균 기온 변화

[2] 강수량

- 최근 10년(2009~2018년) 연 강수량의 변화를 [그림 2-4]에 나타내었다.
- 태안군의 강수량은 2010년에 2,141.8 mm로 가장 많이 내렸으며, 2015년에는 815.9 mm로 가장 낮은 강수량을 나타냈다.
- 가장 높았던 2010년부터 3년간 높은 강수량을 띄었으며, 2013년부터 낮은 추세를 보이고 있다.
- 전반적으로 태안군의 연 강수량은 계속 감소하는 패턴을 보여주고 있다.



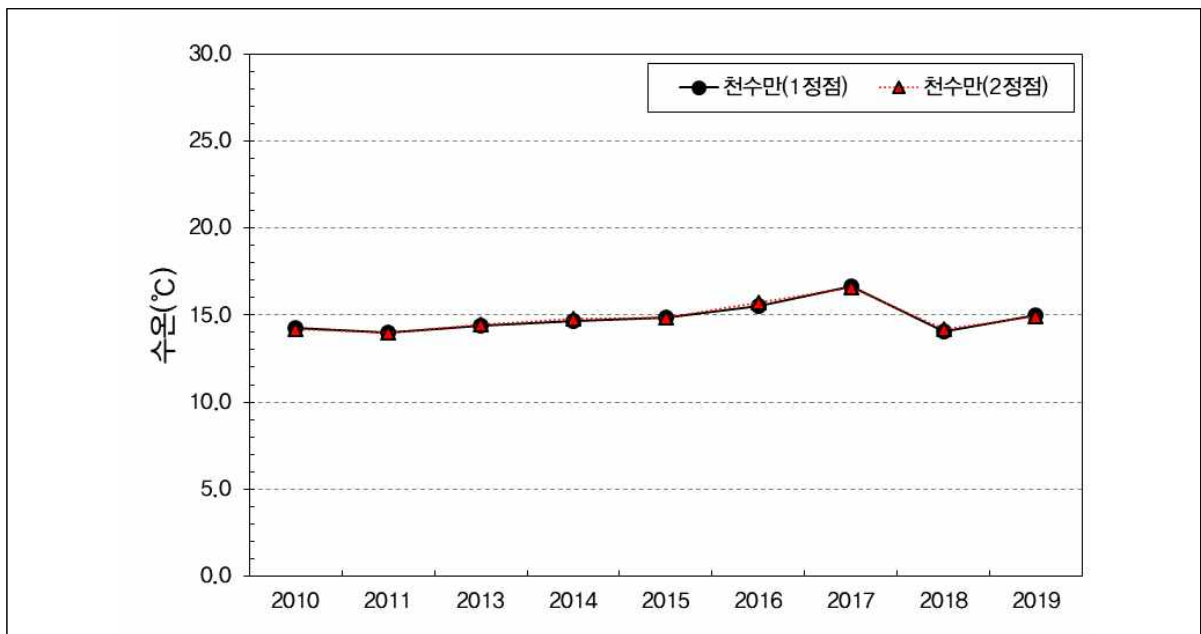
[그림 2-4] 지난 10년간 태안군의 연 강수량

[3] 수온

- 최근 (2010~2019 년) 황도 인근 천수만의 수온 측정 조사정점을 [그림 2-5]에 나타내었다.
- 태안군 황도 인근 천수만 2 개의 정점(국립수산물연구원 어장환경모니터링 참고)에서 2010 년부터 2018 까지 (2012 년 제외) 2 월, 4 월, 6 월, 8 월, 10 월, 12 월의 평균 수온 변화를 그래프로 나타냈다[그림 2-6].
- 두 정점 모두 평균 수온이 증가하는 추세를 보이며, 수온이 가장 낮게 나타난 2011 년과 가장 높았던 2017 년도를 비교하였을 때 약 2.6℃ 증가하였다.



[그림 2-5] 황도 인근 천수만 정점 (어장환경모니터링)



[그림 2-6] 황도 인근 천수만 정점의 연간 수온 변화

4) 인구

- 최근 5년간(2015~2019년) 태안군의 총 인구는 점차 증가하는 추세를 보이고 있고, 황도리 총 인구는 '15년 305명에서 '19년 279명으로 최근 6년간 완만한 감소 추세를 보이고 있다 [표 2-1].
- 최근 6년간 주민들의 고령비(전체인구에 대한 65세 이상 비율)를 살펴보면 태안군과 황도리는 이미 오래전부터 초고령화 사회(고령비가 20% 이상)에 진입한 상태이다.
 - 태안군은 최근 5년 사이에 고령비가 3.6% 증가한 반면, 황도리는 2018년 말까지는 5.4% 증가를 보였으나 2019년에는 12.1%가 감소하였다[표 2-1].

[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교

구분		2015	2016	2017	2018	2019
태안군	총인구(명)	60,974	62,001	62,761	62,745	62,777
	고령비	27.5%	28.0%	29.1%	30.2%	31.1%
황도리	총인구(명)	305	297	290	284	279
	고령비	38.0%	38.7%	43.4%	43.3%	31.2%

5) 토지이용

- 황도리의 전체면적은 638,675 m²(863 지번)로 전, 답 및 임야가 80% 이상이며, 대지 및 잡종지는 약 12%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다[표 2-2].
- 도로와 제방은 전체면적의 약 3.2%를 차지하고 있으며, 제방은 북서쪽에 존재하는 1 개소가 조사되었다.

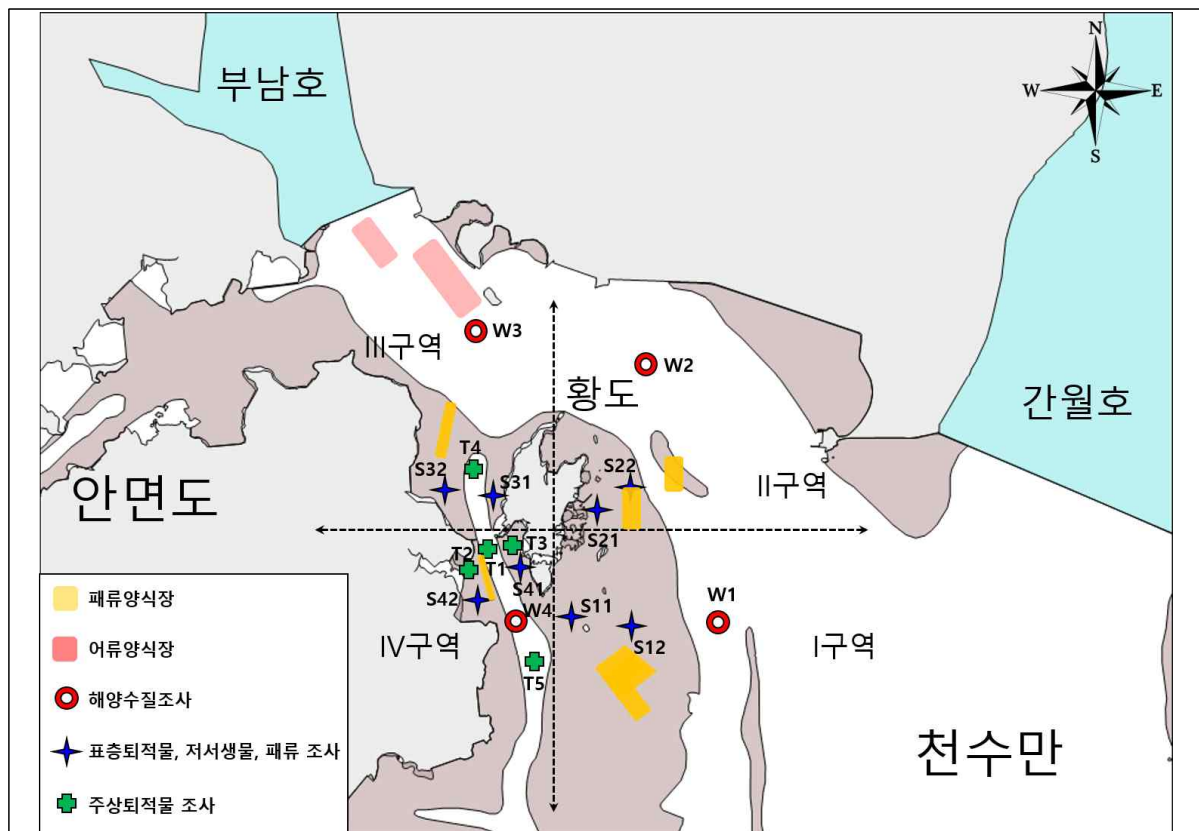
[표 2-2] 황도리 토지이용 현황

	전	답	임야	대지	잡종지	도로	제방	기타	합계
면적(m ²)	265,33	50,750	198,424	75,821	6,976	19,759	1,272	20,340	638,675
비율(%)	41.5%	7.9%	31.1%	11.9%	1.1%	3.1%	0.2%	3.2%	100.0%
지번수	489	33	62	219	11	36	1	12	863

2

선행연구 조사

- 본 연구에서는 황도를 4 개 구역으로 나누고 황도 연륙교 개통 전·후 조사된 선행 연구들을 정리·검토하였다[그림 2-7].
- I 구역은 바지락 양식장 및 바지락 서식처가 넓게 분포하고 있다.
- II 구역은 바지락 캐기 체험장과 바지락 양식장이 위치하고 있다.
- III 구역은 황도를 중심으로 북서쪽 위에 위치하는 구역으로 황도 연륙교 북쪽에 속한다. 바지락 양식장이 있다.
- IV 구역은 연륙교 남쪽 구역에 속한다.



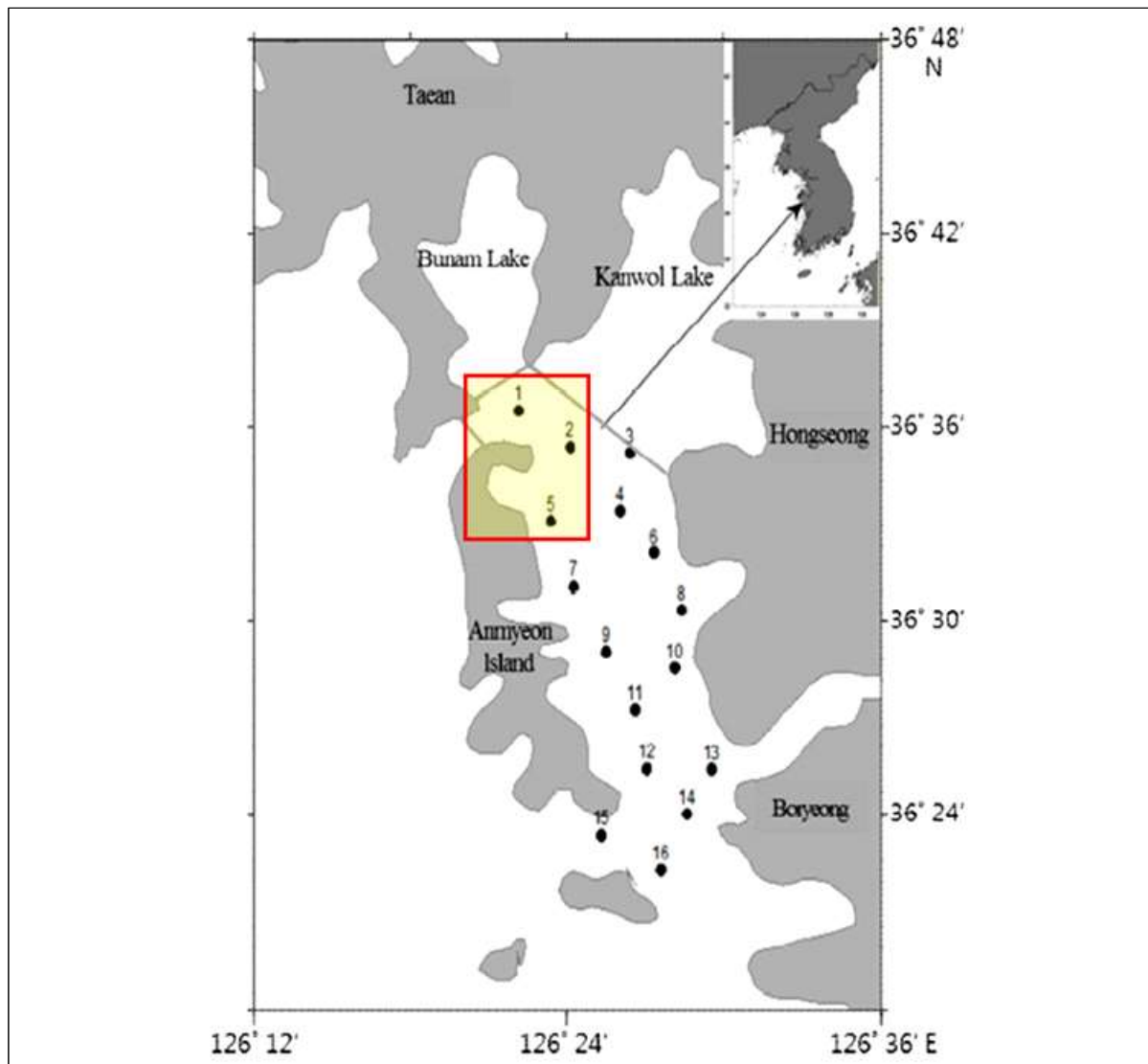
[그림 2-7] 황도 현장조사 구역 구분 개념도

1) 황도 주변 수질 환경 특성

(1) 황도 연륙교 개통 전(2011년 이전)

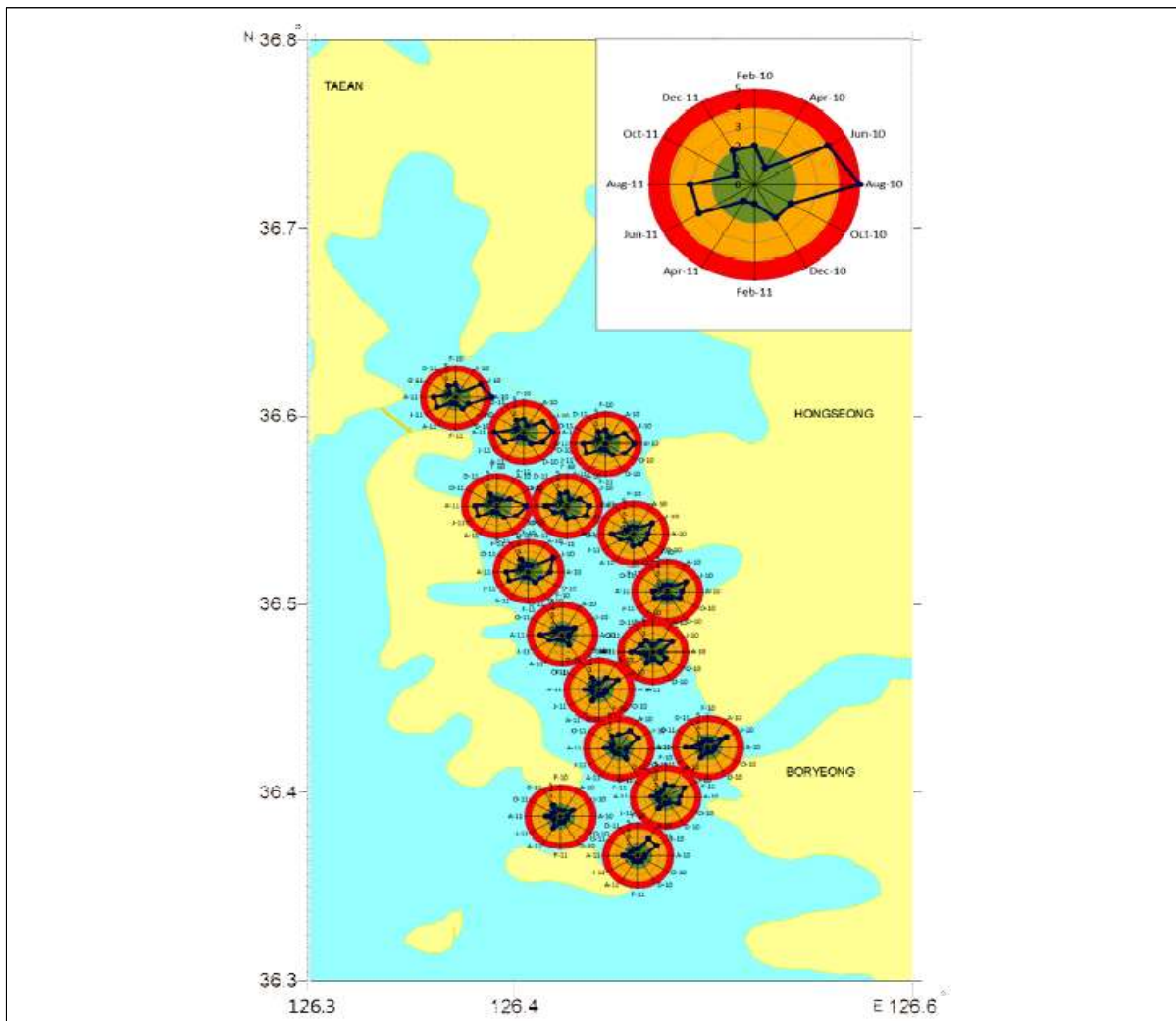
■ “천수만 수질환경의 시·공간적 변동특성” 연구논문

- 국립수산물과학원 서해수산연구소에서 2010년부터 2011년까지 2년 동안 천수만(황도) 주변 수질환경을 조사하여 수질 특성을 분석하였다[그림 2-8].
- I 구역 : 정점 5, II 구역 : 정점 2, III 구역 : 정점 1, IV 구역 : 없음



[그림 2-8] 천수만(황도) 주변 수질 환경 조사 정점도(2010년~2011년)

- 선행연구에서 조사된 결과들의 수질평가 지수 값을 생태기반 해수수질기준(WQI)으로 등급화한 결과를 보면, 2010 년 및 2011 년 춘계(4 월)에서는 모든 정점에서 1 등급(매우 좋음)을 보였다[그림 2-9].
- 하지만 2010 년 및 2011 년 하계(8 월)에서는 3 등급(보통)~5 등급(매우 나쁨)으로 조사되었다. 특히 2010 년 Ⅲ구역에서 5 등급으로 가장 나쁜 수질 결과를 보였다.
- 2010 년과 2011 년 2 년간 계절별 수질평가 지수 값을 보면 춘계보다 하계에서 변동폭이 크고 수질 악화를 보여주고 있으며 이러한 원인으로는 저층의 DO 감소와 Chl-a 농도 증가에 따른 것으로 보고하고 있다.



[그림 2-9] 천수만 수질(WQI) 변화 특성(2010년~2011년)

[2] 황도 연륙교 개통 후(2011년 12월)

■ 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망 연구보고서(2014 년, 2016 년)

- 국립공원연구원에서는 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망을 통해 태안해안의 조간대, 조하대, 백사수도를 조사하여 홈페이지에 공개하고 있다[그림 2-10].
- 해당 보고서의 2014 년과 2016 년 춘계와 하계의 백사수도 조사에서 정점 C1, 정점 C2, 정점 C3 의 자료를 활용하여 연륙교 개통 후 황도 주변 수질 환경을 검토하였다.
 - I 구역 : 정점 1, II 구역 : 정점 2, III 구역 : 정점 3, IV 구역 : 없음



[그림 2-10] 태안해안국립공원 해양환경변화 조사정점도(2014년, 2016년)

- 2016 년의 조사결과에서 춘계에는 I 구역~Ⅲ구역에서 모두 1 등급(매우 좋음)으로 조사되었고, 하계의 I 구역~Ⅲ구역에서 모두 2 등급(좋음)으로 조사되었다[그림 2-11].
- 2014 년과 2016 년 선행연구를 보면 춘계보다 하계에서 수질이 악화되고 있고, 이러한 계절적인 변화의 원인으로는 저층 DO 감소와 Chl-a 농도 등의 영향을 받은 것으로 판단된다.
- 본 선행조사 결과로부터 천수만 내만 즉 황도 부근의 수질은 춘계보다 하계에 보다 수질이 악화되고 있는 것으로 판단된다.



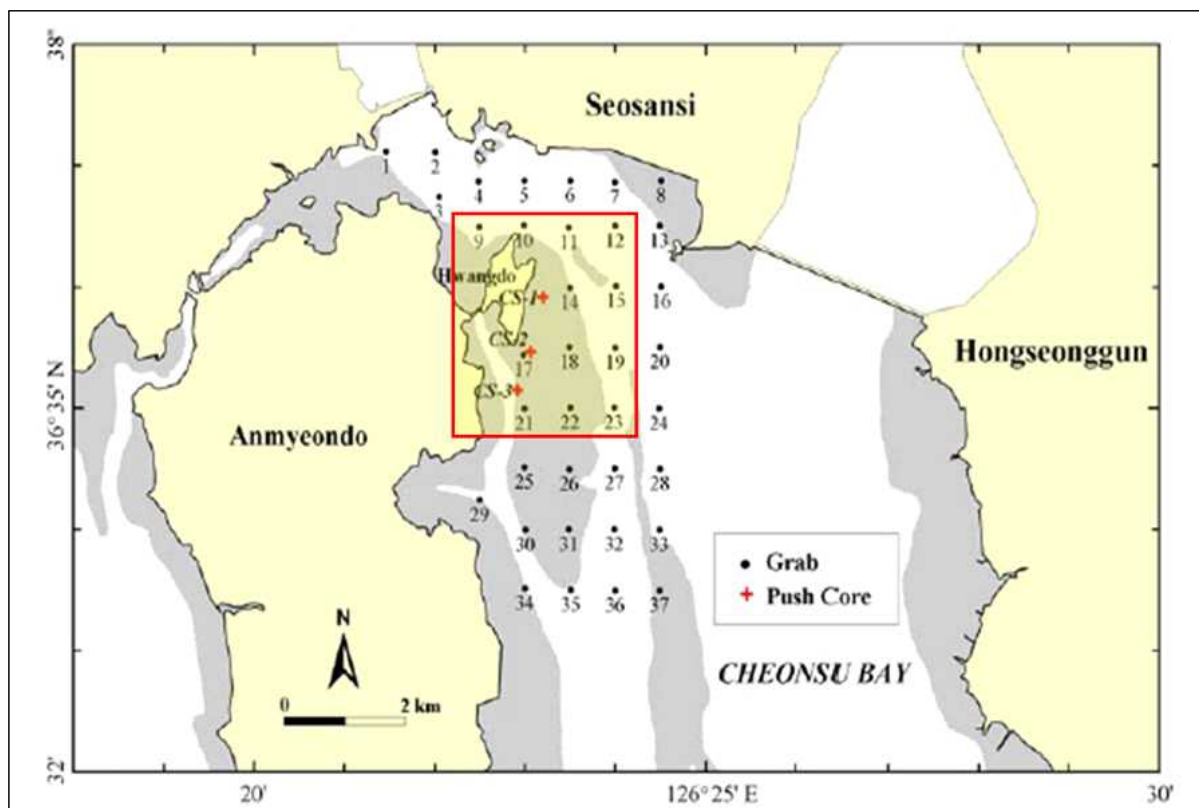
[그림 2-11] 태안해안국립공원 해양환경변화 해양수질(WQI) 결과(2014, 2016년)

2) 황도 갯벌 퇴적물 특성

[1] 황도 연륙교 개통 전(2011년 이전)

■ “천수만 황도 갯벌의 퇴적특성” 연구논문

- 한국해양과학기술원에서 2003 년에 황도 갯벌 퇴적물을 조사하여 계절별 입도 특성을 분석하였다[그림 2-12].



[그림 2-12] 황도 갯벌 조사정점 위치도(2003년)

- 본 현장조사 구역과 비교하기 위해 네 구역(I구역: 황도 남동쪽 구역, II구역: 황도 북동쪽 구역, III구역: 황도 북서쪽 구역, IV구역: 황도 남서쪽 구역)으로 나누고 입도 분포를 나타내었다.
 - I 구역 : 정점 17, II 구역 : 정점 14, III 구역 : 없음, IV 구역 : 없음
- 2003 년 I 구역에서는 모래(sand)이상의 함량비가 67.0%, 펄(silt-clay) 함량비가 33.0%로 조사되었다.

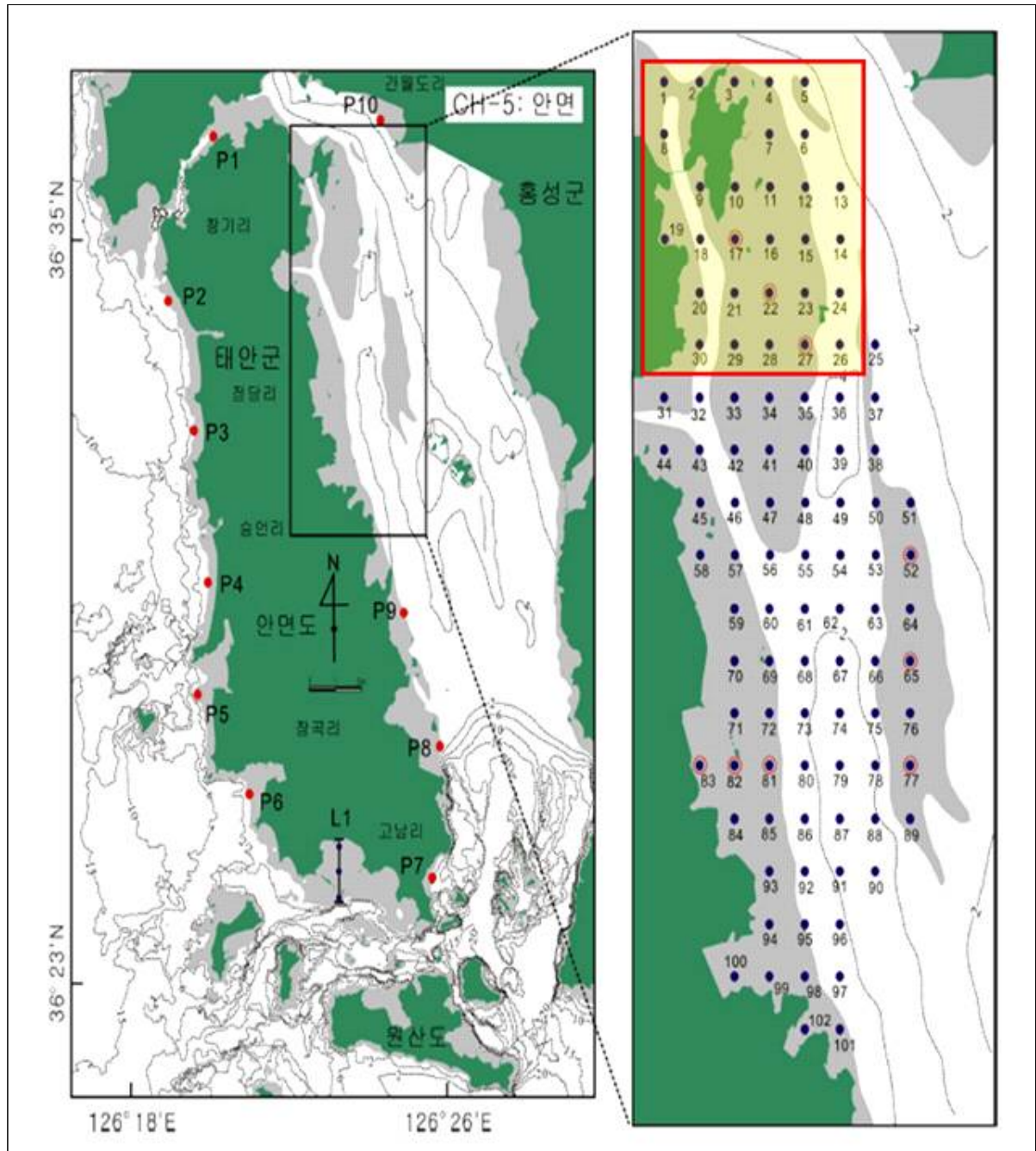
- II구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비가 51.8%, 펄(silt-clay) 함량비가 48.2%로 조사되었다.
- III구역과 IV구역 조사는 이루어지지 않아 비교할 수 없었다.
- 2003년 조사된 황도 갯벌 퇴적물의 입도 특성을 살펴보면 상대적으로 조립한 펄 모래 퇴적물이 갯벌의 중앙부에 분포하였으며, 계절적인 변화로는 봄철 이후에 수로를 통하여 모래가 갯벌로 유입된 것으로 선행연구에서는 보고하고 있다.

■ “제 2 차 연안습지 기초조사” 연구보고서

- 국립수산물자원연구소 갯벌연구소에서 2010년에 안면도(황도) 갯벌 퇴적물을 조사하여 갯벌의 입도 특성을 분석하여 퇴적물 환경을 검토하였다[그림 2-13].
- 본 현장조사 구역과 비교하기 위해 4구역(I구역: 황도 남동쪽 구역, II구역: 황도 북동쪽 구역, III구역: 황도 북서쪽 구역, IV구역: 황도 남서쪽 구역)으로 나누고, 각 구역별 비교에 활용된 정점을 다음과 같이 선정하였다.
 - I 구역 : 정점 16, II 구역 : 정점 4, III 구역 : 정점 8, IV 구역 : 정점 9
- 연안습지 기초조사에 따르면 황도를 중심으로 북서쪽에 위치하고 있는 I 구역의 갯벌 퇴적물 입도 특성을 살펴보면, 모래(sand) 이상의 함량비가 73.7%, 펄(silt-clay)은 26.3%로 조사되었다.
- II구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비는 56.9%, 펄(silt-clay) 함량비는 43.1%로 조사되었다. 이러한 입도 분포는 전체적으로 실트질사(zS)의 특성을 보여주고 있다.
- III구역 퇴적물의 입도 특성을 보면 모래(sand) 이상의 함량비는 43.7%를 보였고 실트(silt-clay) 함량비는 56.3%으로 조사되었다.
- IV구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비는 10.7%, 실트(silt-clay) 함량비는 89.3%로 조사되었다.
- 2010년에 조사된 황도 갯벌 퇴적물의 입도 특성을 살펴보면 황도를 중심으로 오른쪽에 위치한 갯벌인 I, II 구역은 대체로 모래함량비가 우세한 혼성갯벌 특성을 보였지만 왼쪽에 위치한 III, IV구역에서는 펄의 함량비가 높은 특성을 보여주고 있다.
- 선행연구를 통해 알 수 있었던 것은 황도 연륙교가 개통하기 전(2011년 이전) 갯벌

퇴적물의 계절적 입도 분포 변화특성은 미약하지만 봄철에서 가을철에 들어서면서 일부 모래함량비가 변화는 특성을 보여주고 있었다.

- 이러한 변화는 계절적으로 물리적 환경 변화에 의해 퇴적상이 변화되고 있는 것으로 판단된다.
- 게다가, I 구역과 II 구역인 경우 2003 년과 2010 년 선행 연구를 통해 황도 갯벌 퇴적물의 입도 변화를 보더라도 2003 년보다 2010 년에 일부 구간에서 모래 함량비가 증가되는 것으로 나타나고 있다.
- 즉, 황도 연륙교 반대편에 위치한 I 구역과 II 구역의 갯벌에서는 연륙교 개통과 관계없이 모래함량비가 소폭 증가하고 있는 것을 알 수 있었다.



[그림 2-13] 안면도(황도) 갯벌 조사 정점 위치도(2010년)

[2] 황도 연륙교 개통 후(2011년 12월)

■ “국가 해양생태계 종합조사 (2015 년, 2017 년)” 연구보고서

- 해양환경공단(KOEM)에서 2015 년과 2017 년에 안면도(황도) 갯벌 퇴적물을 조사하여 갯벌의 입도 특성을 분석하여 퇴적물 환경을 검토하였다[그림 2-14].
- I 구역 : 조사지점, II 구역 : 없음, III 구역 : 없음, IV 구역 : 없음



[그림 2-14] 황도 갯벌 조사 정점도(2015년, 2017년)

- 해양환경공단에서 2015 년과 2017 년도에 황도 갯벌 조사는 황도를 기준으로 남동쪽에 위치하고 있으며 이 구역은 본 현장조사 구역과 비교해 보면 I 구역에 해당하는 곳이다.
- 먼저, 2015 년도 황도 갯벌 퇴적물 입도 분포 특성을 살펴보면 모래(sand)이상의 함량비는 59.9%의 조사 결과를 보였고 펄(silt-clay) 함량비는 40.1%로 조사되었다.
- 또한, 2017 년도 황도 갯벌 퇴적물 입도 분포 특성을 살펴보면 모래(sand)이상의 함량비는 64.4%의 결과를 보였고 펄(silt-clay) 함량비는 35.6%로 조사되었다.
- 2015 년과 2017 년도 황도 갯벌 조사 결과에서는 퇴적물 입도조성 함량비의 차이가 적은

특성을 보였으며 모래 이상의 함량비가 우세한 혼성 갯벌 퇴적환경 특성을 보여주고 있다.

- 선행 연구 자료를 종합해 보면 연도별 I 구역~IV 구역의 퇴적물 변화 패턴을 정확하게 비교하기는 어렵지만 현재 자료 결과로 보면 각 구역에서 모래 이상의 함량비가 지속적으로 증가하는 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있었다.

3) 황도 갯벌 저서동물 특성

- 황도 갯벌 저서동물 조사에 대한 선행연구는 I 구역에서 2010 년, 2015 년, 2017 년에 조사된 자료를 정리하였다[그림 2-15].
 - I 구역 : 조사지점, II 구역 : 없음, III 구역 : 없음, IV 구역 : 없음
- 황도 연륙교 개통 전인 2010 년 황도 갯벌의 저서동물은 총 8 종(환형 5, 연체 2, 절지 1)이 출현하였다.
- 이후 황도 연륙교 개통 후인 2015 년과 2017 년에 각각 35 종(환형 20, 연체 5, 절지 9, 유형 1), 66 종(환형 34, 연체 10, 절지 20, 유형 2)이 출현하여 점차 증가하고 있다.
- 저서동물 개체 수는 2010 년 436 개체/m² 가 발견되었으며, 종수 증가와 비례하여 2015 년 2,170 개체/m², 2017 년 4,090 개체/m² 로 점차 증가하고 있다[표 2-3].



[그림 2-15] 황도 갯벌 생물 조사정점도(2010년, 2015년, 2017년)

[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 대형저서동물

구분	출현종수 (종, 개체/m ²)	출현 동물군(I 구역, 정점 1)
2010년	8종, 436개체	
2015년	21종, 860개체	
2017년	17종, 770개체	

- 우점종을 밀도 기준(개체/m²)으로 살펴보면 2010 년 연체동물 (복족류: 고둥), 절지동물 (갑각류: 게), 환형동물 (다모류: 지렁이)에서 2015 년, 2017 년에 환형동물 (다모류: 지렁이), 연체동물 (복족류: 땡가리, 이매패류: 바지락), 절지동물 (갑각류: 새우)이 우점하고 있다[표 2-4, 5].
- 생체량 기준(g/m²)으로는 연체동물 (복족류: 고둥), 절지동물 (갑각류: 게), 환형동물 (다모류: 지렁이)에서 연체동물 (이매패류: 바지락, 복족류: 땡가리), 절지동물 (갑각류: 게)로 변화였다.
- 2010 년은 기준별 우점종 순위가 비슷하지만 2015 년과 2017 년에 다른 이유는 환형동물의 평균무게가 연체동물과 절지동물에 비해 가볍고, 2010 년에 비해 연체, 절지동물이 많이 출현하여 발생한 현상으로 추정된다.

[표 2-4] 황도 갯벌 저서동물 우점종(밀도기준 ; 개체/m²)

순위	2010년		2015년		2017년	
	분류군	국명	분류군	국명	분류군	국명
1위	연체	갯고둥	환형	긴자락송곳갯지렁이	환형	버들갯지렁이류
2위	연체	왕좁쌀무늬고둥	환형	버들갯지렁이류	환형	버들갯지렁이류
3위	절지	무늬발게	절지	칠게	연체	땡가리
4위	환형	버들갯지렁이류	환형	남방백금갯지렁이	환형	얼굴갯지렁이류
5위	환형	짧은다리송곳갯지렁이	환형	버들갯지렁이류	연체	바지락
6위	환형	버들갯지렁이류	환형	짧은다리송곳갯지렁이	환형	투구갯지렁이
7위	환형	남방백금갯지렁이	연체	갯비틀이고둥	절지	발성육질꼬리옆새우
8위	환형	삼각모자갯지렁이	환형	별난가시갯지렁이류	환형	별난가시갯지렁이류

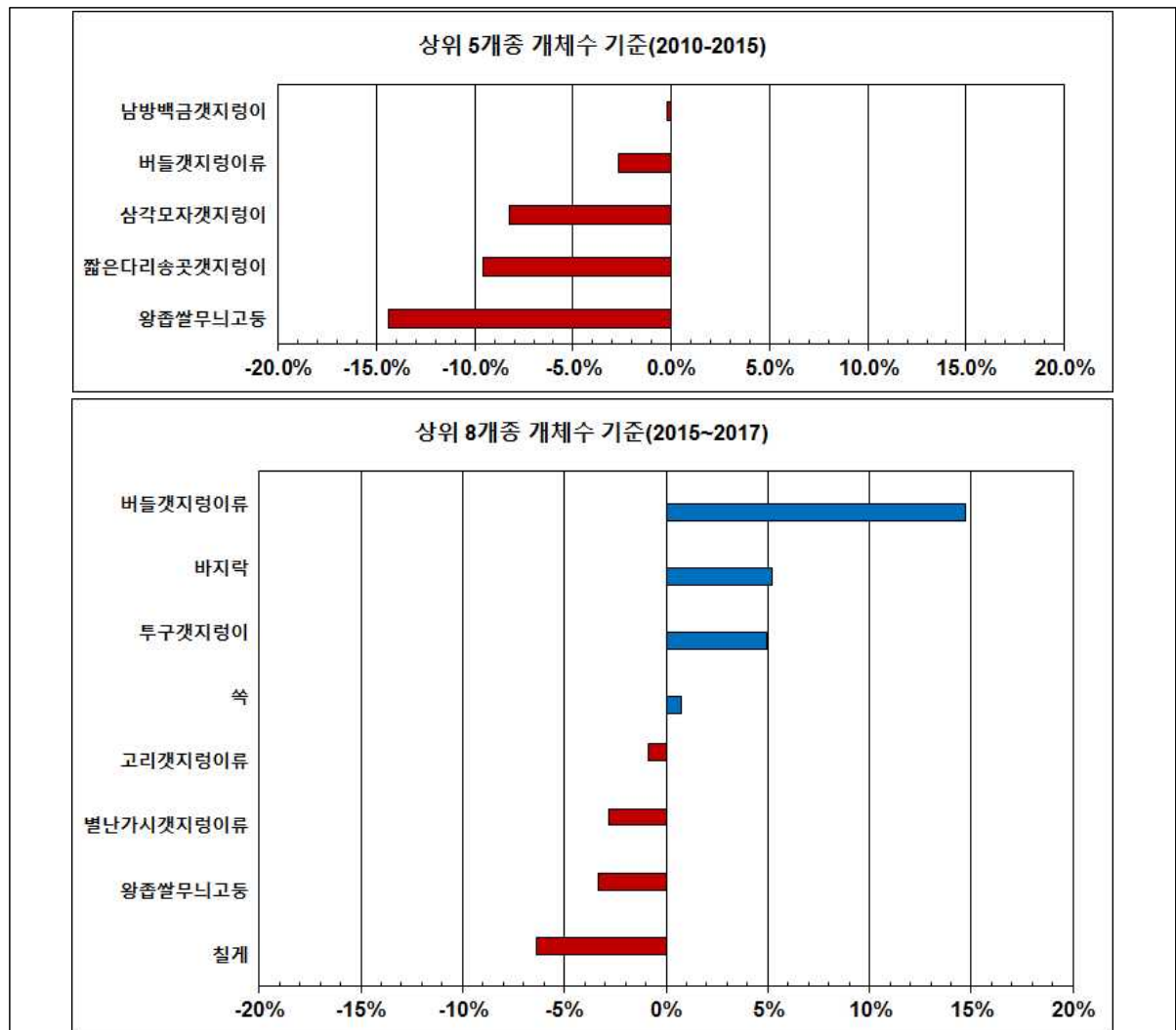
[표 2-5] 황도 갯벌 저서동물 우점종(생체량기준 ; g/m²)

순위	2010년		2015년		2017년	
	분류군	국명	분류군	국명	분류군	국명
1위	연체	갯고둥	절지	칠게	연체	바지락
2위	연체	왕좁쌀무늬고둥	연체	갯비틀이고둥	연체	망가리
3위	환형	짧은다리송곳지렁이	연체	왕좁쌀무늬고둥	연체	민챙이
4위	환형	삼각모자갯지렁이	절지	방게	절지	칠게
5위	절지	무늬발게	환형	짧은다리송곳지렁이	절지	썩붙이
6위	환형	버들갯지렁이류	절지	고랑따개비	절지	일본방게
7위	환형	남방백금갯지렁이	환형	긴자락송곳지렁이	절지	납작게
8위	환형	버들갯지렁이류	연체	바지락	연체	왕좁쌀무늬고둥

- 2010 년과 2015 년에 중복 출현한 저서동물 5 종을 대상으로 개체수 변화율을 비교한 결과 저질이 펄 갯벌과 혼성갯벌에서 서식하는 5 종의 개체수 변화율이 모두 감소하였고, 그 중 연체동물 (복족류)의 감소량이 가장 크게 나타났다.
- 한편, 2015 년 2017 년에 중복 출현한 저서동물 19 종 중 상위 8 개종을 대상으로 개체수 변화율을 비교한 결과를 [표 2-6]에 나타냈다.
- 그 결과를 보면 펄 갯벌에서 서식하는 환형동물 (다모류: 버들갯지렁이)과 연체동물 (이매패류: 바지락), 절지동물 (갑각류: 썩)류가 증가하였다.
- 한편 펄 갯벌에서 사는 절지동물 (갑각류: 게), 연체동물 (복족류: 고둥), 환형동물 (다모류: 지렁이류)등은 감소하는 경향을 보였다.
- 2010 년을 기준으로 2015 년에 새로 출현한 종은 총 30 종으로 환형동물 (다모류: 지렁이류) 16 종, 절지동물 (게류, 새우류 등) 9 종, 연체동물 (고둥, 바지락 등) 4 종, 유형동물 1 종이 출현하였다.
- 2015 년을 기준으로 2017 년에 새로 출현한 종은 총 45 종으로 환형동물 (다모류: 지렁이) 22 종, 절지동물 (새우, 게류 등) 16 종, 연체동물 (망가리, 민챙이 등) 5 종, 유형동물 2 종이 출현하였다.
- 황도갯벌의 저서동물 증감을 살펴보면 펄 갯벌에서 우점하는 지렁이류의 개체수 변화와 출현 종수가 증가하고 있으나, 연륙교 개통 후 모래갯벌에서 우점하는 연체동물 (바지락, 망가리 등)의 개체수와 출현 종수가 증가하고 있는 것으로 분석되었다.

[표 2-6] 황도 갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준 ; 개체/m²)

순위	2010년~2015년			2015년~2017년		
	국명	개체수 변화율	분류군	국명	개체수 변화율	분류군
1위	왕좁쌀무늬고둥	-14.4%	연체	버들갯지렁이류	14.7%	환형
2위	짧은다리송곳갯지렁이	-9.6%	환형	바지락	5.2%	연체
3위	삼각모자갯지렁이	-8.3%	환형	투구갯지렁이	4.9%	환형
4위	버들갯지렁이류	-2.7%	환형	썩	0.8%	절지
5위	남방백금갯지렁이	-0.2%	환형	고리갯지렁이류	-0.9%	환형
6위				별난가시갯지렁이류	-2.8%	환형
7위				왕좁쌀무늬고둥	-3.3%	연체
8위				칠게	-6.3%	절지



[그림 2-16] 황도 갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화율

- 2010 년 대비 2015 년 중복 출현한 저서동물 5 종의 생체량 변화는 4 종이 증가하였으며, 1 종이 감소하였다[표 2-7].
- 2015 년 대비 2017 년 중복 출현한 저서동물 19 종의 생체량 변화는 11 종이 증가하였으며, 8 개종이 감소하였다. 특히 바지락의 생체량이 대폭 증가했는데, 이는 바지락의 성장시기와 관련이 있는 것으로 판단된다.
- 평균적으로 바지락은 4~7 월까지 산란하게 되는데, 산란시기에는 지역적인 편차가 있고 산란 전후로 서실밀도와 비만도가 차이가 크게 나타남에 따른 차이가 있을 수 있다.

[표 2-7] 황도 갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/m²)

구분	분류군	국명	2010	2015	2017	변화량
생체량 증가종	연체	바지락		1.31	703.67	702.36
	연체	띠조개		0.42	14.51	14.09
	환형	버들갯지렁이류		0.48	14.52	14.04
	연체	왕좁쌀무늬고둥		26.60	36.56	9.96
	연체	왕좁쌀무늬고둥	20.07	26.60		6.53
	절지	고랑따개비		2.59	5.93	3.34
	절지	썩		0.81	3.02	2.21
	환형	짧은다리송곳갯지렁이	1.09	2.59		1.50
	환형	남방백금갯지렁이	0.04	0.49		0.45
	환형	버들갯지렁이류	0.09	0.48		0.39
	환형	치로리미갑갯지렁이		0.39	0.59	0.20
	환형	투구갯지렁이		0.01	0.20	0.19
	연체	노랑볼록조개		0.05	0.15	0.10
	환형	두갈래별난가시갯지렁이		0.01	0.06	0.05
	절지	돛대기새우		0.02	0.06	0.04
생체량 감소종	환형	삼각모자갯지렁이		0.05	0.004	-0.05
	환형	고리갯지렁이류		0.29	0.21	-0.08
	환형	삼각모자갯지렁이	0.24	0.05		-0.19
	환형	별난가시갯지렁이류		0.37	0.18	-0.19
	환형	남방백금갯지렁이		0.49	0.04	-0.45
	환형	긴자락송곳갯지렁이		1.38	0.21	-1.17
	환형	짧은다리송곳갯지렁이		2.59	0.48	-2.11
	연체	갯비틀이고둥		115.15	24.02	-91.13
	절지	칠게		260.94	92.46	-168.48

현장조사 및 결과

1.	해	양	수	질
2.	퇴	적		물
3.	저	서	동	물
4.	종	합	평	가

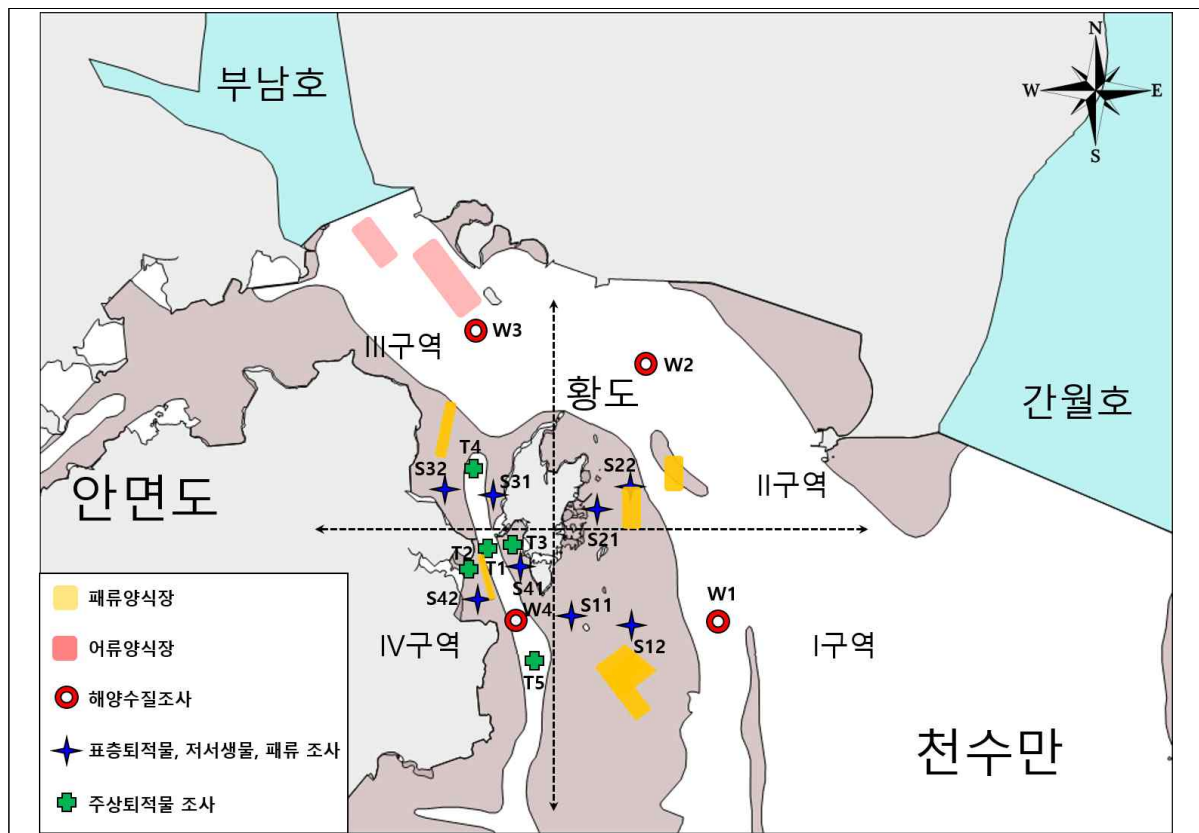
1

해양수질

1) 현장조사 개요

[1] 공간적 범위

- 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 해역에 대해 조사를 수행하였다 [그림 3-1].



[그림 3-1] 황도 해양수질 조사정점

[2] 시간적 범위

- 현장 조사는 2020년 8월 24일에 실시하였다.

[3] 내용적 범위

- 황도 주변 해역을 4 개의 구역으로 구분하여 해수의 표층 및 저층의 수질을 분석하였다.

[표 3-1] 황도 해양수질조사 분석항목

구분		조사항목	조사구역
해수	일반항목(15)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO ₂ -N, NH ₄ -N, NO ₃ -N), TP, DIP(PO ₄ -P), SIO ₂ -SI, SPM, 투명도, Chlorophyll-a	4개 구역
	미량금속(8)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, CN	4개 구역

2) 현장조사 방법

[1] 해양수질 시료채취 방법 및 분석

- 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다[그림 3-2].

[2] 일반 항목

- 해양 수질 시료는 니스킨 채수기(Niskin-X sampler)를 이용하였으며 채수기는 현장 해수로 3 회 이상 세척한 다음 사용하였다. 표층과 저층 2 개 층에서 시료를 각각 채취하였으며 표층은 수면하 0.5 m, 저층은 바닥으로 부터 1 m 상부 수층에서 채수하였다.

[3] 미량금속 항목

- 해양 수질의 미량금속 채취 시 선박의 영향을 최소화하기 위해 채취 시 2 knot 의 속도로 진행되는 선박의 선수에서 바람이 불어오는 방향 및 해류가 흘러오는 방향에서 채수하였다.
- 채수는 PVC 장대 혹은 카본 재질의 폴 샘플러(Pole sampler)를 이용하였고, 미리 염산으로 세척된 채수병에 담에 냉장 보관 후 실험실로 운반하였다.



[그림 3-2] 황도 인근 해역 수질조사 현장사진

3) 시료의 전처리 및 분석

[1] 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)

- 현장에서 간이측정기 RBR CTD(Maestro)를 이용하여 측정하였다.

[2] 투명도

- 현장에서 지름이 30 cm 하얀색 원형 투명도 판(Secchi disk)을 이용하여 측정하였다.

[3] 부유물질(SPM)

- 건조기로 건조시켜 무게를 측정한 GF/F 여과자에 해수시료 1 L를 여과하여 105℃ 오븐에서 2 시간

동안 건조 시킨 후 실온에서 식혀 측정한 무게로부터 여과지 무게를 뺀 값으로 계산하였다.

[4] 화학적 산소요구량(COD)

- 시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨(KMnO_4)를 넣고 100°C 수욕상에서 60 분간 가열 반응시킨 후, 요오드화칼륨(KI) 및 황산(H_2SO_4)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

[5] 암모니아 질소($\text{NH}_4\text{-N}$)

- 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 nm 에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[6] 아질산 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)

- 시료에 Sulfanilamide($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_2\text{N}_2\text{S}$)와 naphthylethylenediamine($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{N}_2 \cdot 2\text{HCl}$) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 520 nm 에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[7] 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

- 시료를 Cu-Cd column 에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 다음 sulfanilamide 와 naphthylethy lenediamine 용액을 가하여 발색 시킨 후 파장 550nm에서 Quaatro SFA Analyzer (Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다. column 의 환원율을 구하여 보정한 후 아질산성 질소의 농도를 감하여 질산성 질소의 농도를 계산하였다.

[8] 인산 인($\text{PO}_4\text{-P}$)

- 시료에 sodium molybdate($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 황산(H_2SO_4), antimony potassium tartrate ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_7 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)로 환원시켜 발색시킨 후 파장 880 nm에서 Quaatro SFA Analyzer (Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[9] 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 시료에 Sodium Molybdate($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)를 가하여 Silicomolybdate Complex를 만든 후, Oxalic Acid($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)와 Ascorbic acid($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)를 가하여 발색시켜 파장 660 nm에서 영양염 자동분석기(QuAATRO Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[10] 총질소(TN)

- 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)을 가하여 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과 시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 영양염 자동분석기 (Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[11] 총인(TP)

- 시료에 과황산칼륨($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)을 가하여 시료 중의 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 산화 분해하여 무기 인산 인 형태로 변화시킨 다음, ascorbic acid로 환원시켜, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

[12] 엽록소 a (chlorophyll a)

- 현장에서 GF/F를 이용하여 여과한 여과지를 드라이아이스에 냉동 보관하여 실험실로 운반한 후, 90% 아세톤에 넣어 하루 동안 추출하여 fluorometric method (Parsons et al., 1984)에 따라 측정하였다.

[13] 미량금속(Cr^{6+} , Cu, Ni, Zn, Cd, Pb)

- 시료를 $0.45\ \mu\text{m}$ 인 멤브레인 여과지(membrane filter paper)로 여과한 후 질산을 이용하여 pH를 2 부근으로 조절하였다. 이 후 유기착화제인 APDC/DDDC(ammonium pyrrolidine dithiocarbamate /diethylammonium diethyldithiocarbamate)를 이용하여 유기금속착화합물 형성 후 유기용매인 클로로포름(CHCl_3)을 이용하여 추출하였다.
- 추출된 유기용매는 증발시킨 다음 잔유물을 질산(ultrapure 등급)으로 분해시킨 후 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

[14] 미량금속(As, Hg)

- 해수를 환원기화장치를 이용하여 환원 시킨 후 포집장치에 포집하여 수은비소분석기(Millennium Excalibur Satellite, PSA)로 분석하였다.

[15] 회수율

- 분석 자료의 정확도를 검증하기 위해 캐나다 NRC(National Research Council, Canada)의 MOOS-3, CASS-5, MESS-3 과 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 사용하였고, 각 항목별 회수율을 [표 3-2]에 제시하였다.

[표 3-2] 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율
(mean \pm sd, n=3, 단위 : $\mu\text{g/L}$)

분석항목	Cd	Cu	Pb	Zn	As
함유농도	0.0217 ± 0.0018	0.530 ± 0.032	0.0106 ± 0.0040	1.27 ± 0.18	0.418 ± 0.040
분석결과	0.0232 ± 0.0026	0.558 ± 0.039	0.0110 ± 0.0006	1.19 ± 0.03	0.404 ± 0.032
회수율(%)	107	105	104	93	97

4) 현장조사 결과

[1] 해양수질

- 해양 수질 조사는 1 회(2019 년 8 월)에 걸쳐 수행하였으며, 조사결과를 [표 3-3]~[표 3-5]과 [그림 3-3]~[그림 3-6]에 제시하였고, 해양환경기준을 [표 3-6]에 제시하였다.

[2] 수온 및 염분

- 조사대상 지점의 수심은 5.0~15.0 m 였다.
- 수온은 표층에서 26.8~28.3℃(평균 27.6℃), 저층은 26.4~27.0℃(평균 26.8℃)의 범위를 보였고, 염분은 표층 22.7~23.1 psu(평균 22.9 psu), 저층은 23.3~23.6 psu(평균 23.5 psu)의 범위로 조사되었다[표 3-3, 그림 3-3].
- 염분 농도가 낮은 이유는 여름철 강우 또는 간월호 및 부남호로부터 유입되는 담수의 영향을 받은 것으로 판단된다.

[3] 수소이온농도(pH)

- 수소이온농도(pH)는 해수 중에서 일어나는 여러 가지 화학반응 및 생물의 성장과 활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 해수에서 7.5~8.4 의 범위를 보이며, 광합성 작용이 활발한 지역에서는 이보다 더 높은 값을 가진다.
- 수소이온농도는 표층에서 8.0~8.2(평균 8.1), 저층은 8.0~8.1(평균 8.0)의 범위를 보였다[표 3-3, 그림 3-3].
- 조사해역에서 수소이온농도는 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186 호)의 범위(6.5~8.5)를 만족하는 것으로 조사되었다.

[4] 용존산소(DO)

- 용존산소는 표층에서 4.5~6.4 mg/L(평균 5.4 mg/L), 저층은 4.2~4.7 mg/L(평균 4.5 mg/L)였다[표 3-3, 그림 3-3].

- 수중 용존산소 농도는 대기의 산소가 물속으로 녹아 들어가는 재포기 과정과 수중의 식물성 플랑크톤의 산소생산 및 박테리아의 분해과정에서의 소비 등에 의해 용존 산소 농도가 결정된다.
- 수온이 올라갈수록 미생물에 의한 유기물 분해시 용존산소 소비가 증가하여 용존 산소 농도가 다소 낮은 분포 특성을 보인 것으로 판단된다.

[5] 부유물질(SPM)

- 해양에서의 부유물질은 연안개발 및 하천 유입 등에 의해 해양으로 유입될 수 있으며, 탁도를 증가시킴으로써 광합성 작용을 방해하여 식물플랑크톤이나 해조류 등의 1 차 생산력을 저하시키기도 한다.
- 부유물질은 표층에서 6.3~12.3 mg/L(평균 9.6 mg/L), 저층은 8.2~13.6 mg/L(평균 9.8 mg/L)이었다[표 3-3, 그림 3-4].
- 조사해역은 비교적 수심이 낮고 강한 조석에 의한 재부유 현상으로 인해 부유물질의 농도는 표층보다 저층에서 높게 조사되었다.

[6] 화학적 산소요구량(COD)

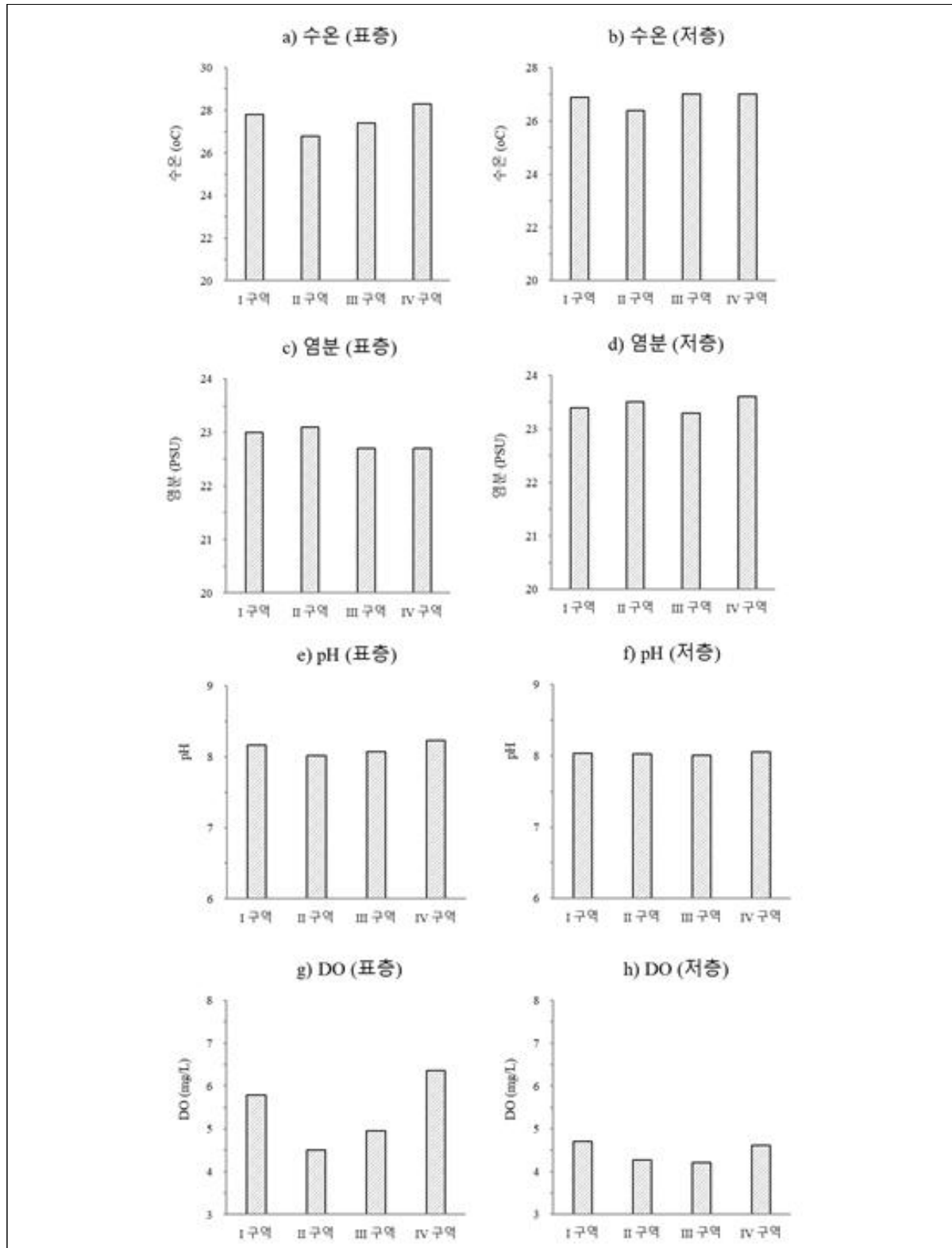
- COD는 해수중의 유기물 농도의 간접적인 지표로 이용되고 있으며, 담수(육상)로부터 공급되는 유기물과 해양에서 식물플랑크톤에 의해 생성되는 유기물, 그리고 저층에서 재부유나 용출되는 물질 등에 의해 조절된다.
- 표층 COD는 4.1~5.7 mg/L(평균 4.9 mg/L)였으며 저층에서는 3.4~4.4 mg/L(평균 3.8 mg/L)의 범위를 보였다[표 3-3, 그림 3-4].

[7] 엽록소 a (chlorophyll a)

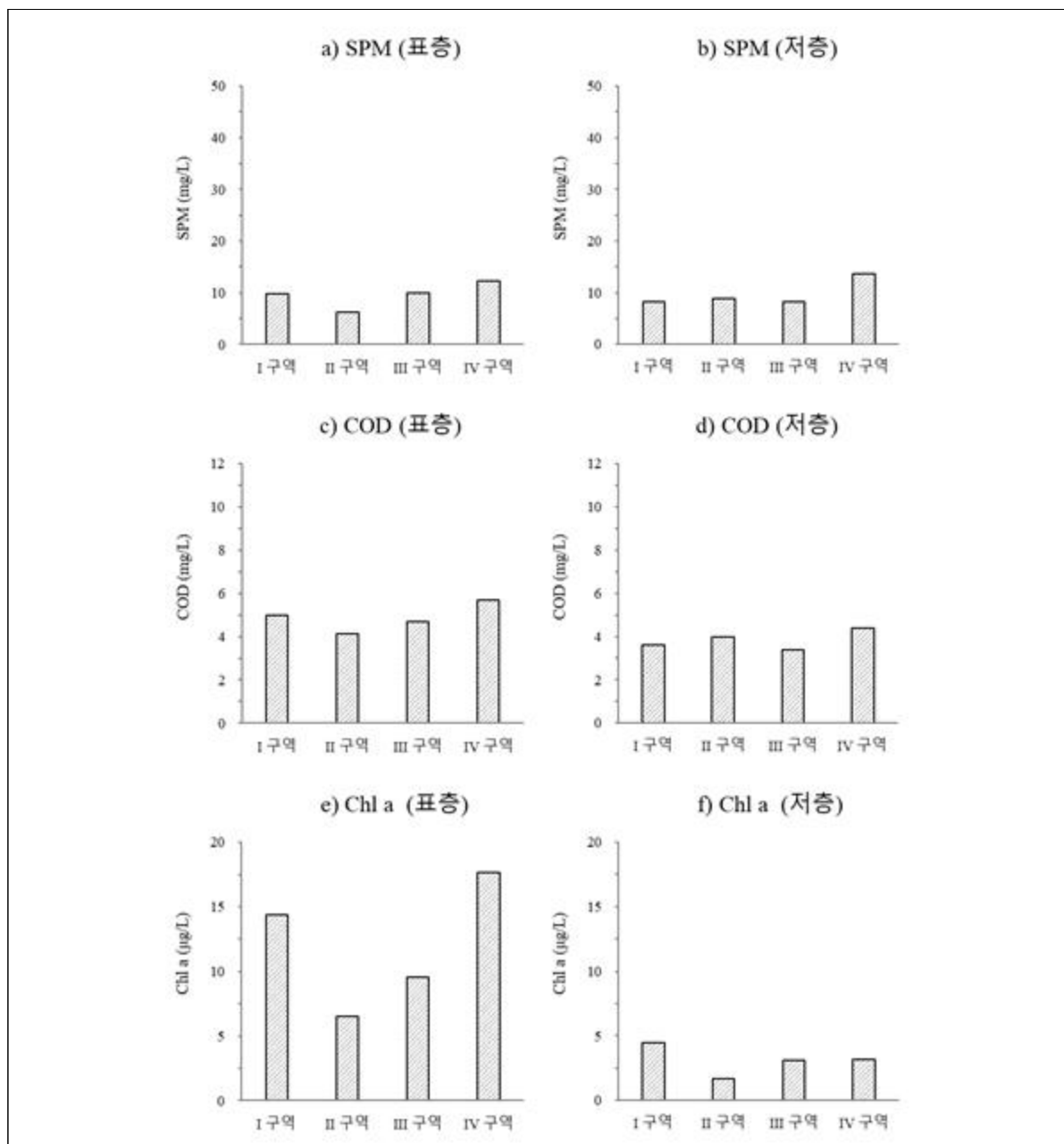
- 엽록소 a 농도는 표층에서 6.5~17.6 $\mu\text{g/L}$ (평균 12.0 $\mu\text{g/L}$), 저층은 1.7~4.5 $\mu\text{g/L}$ (평균 3.1 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다[표 3-3, 그림 3-4].
- 8월에 비교적 높은 엽록소 a 농도를 보인 이유는 천수만 내측의 반폐쇄적이고 해수 유속이 느린 지형적 특성과 부남호 및 간월호로부터 유입되는 영양염류 등에 의해 식물플랑크톤이 성장할 수 있는 환경 여건이 조성되었기 때문이다.

[표 3-3] 황도 인근 해역 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과

구역	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	SPM	COD	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)			(μg/L)
Ⅰ구역	표층	5	1.2	27.8	23.0	8.2	5.8	9.8	5.0	14.4
	저층			26.9	23.4	8.0	4.7	8.3	3.6	4.5
Ⅱ구역	표층	15	1.4	26.8	23.1	8.0	4.5	6.3	4.1	6.5
	저층			26.4	23.5	8.0	4.3	8.9	4.0	1.7
Ⅲ구역	표층	8	1.3	27.4	22.7	8.1	5.0	10.0	4.7	9.6
	저층			27.0	23.3	8.0	4.2	8.2	3.4	3.1
Ⅳ구역	표층	10	0.9	28.3	22.7	8.2	6.4	12.3	5.7	17.6
	저층			27.0	23.6	8.1	4.6	13.6	4.4	3.2
표층		최소		26.8	22.7	8.0	4.5	6.3	4.1	6.5
		최대		28.3	23.1	8.2	6.4	12.3	5.7	17.6
		평균		27.6	22.9	8.1	5.4	9.6	4.9	12.0
저층		최소		26.4	23.3	8.0	4.2	8.2	3.4	1.7
		최대		27.0	23.6	8.1	4.7	13.6	4.4	4.5
		평균		26.8	23.5	8.1	4.5	9.8	3.8	3.1
전체		최소		26.4	22.7	8.0	4.2	6.3	3.4	1.7
		최대		28.3	23.6	8.2	6.4	13.6	5.7	17.6
		평균		27.2	23.2	8.1	4.9	9.7	4.4	7.6



[그림 3-3] 황도 인근 해역 수온, 염분, pH, DO 농도



[그림 3-4] 황도 인근 해역 수온, 염분, pH, DO 농도

[8] 용존무기질소(DIN)

- 용존무기질소는 암모니아 질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 아질산 질소($\text{NO}_2\text{-N}$), 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)의 합으로 구성되며, 표층은 0.197~0.339 mg/L(평균 0.257 mg/L), 저층은 0.260~0.315 mg/L(평균 0.296 mg/L)의 범위를 보였다.

[9] 용존무기인(DIP)

- 용존무기인은 표층에서 0.008~0.038 mg/L(평균 0.020 mg/L), 저층은 0.030~0.036 mg/L(평균 0.033 mg/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 인산 인은 표층보다 저층 조사 시, 높게 조사되었다.

[10] 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

- 규산 규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)는 표층에서 0.440~0.679 mg/L(평균 0.551 mg/L), 저층은 0.571~0.663 mg/L(평균 0.627 mg/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 규산 규소는 표층보다 저층에서 높은 농도 분포를 보였다.

[11] 총질소(TN)

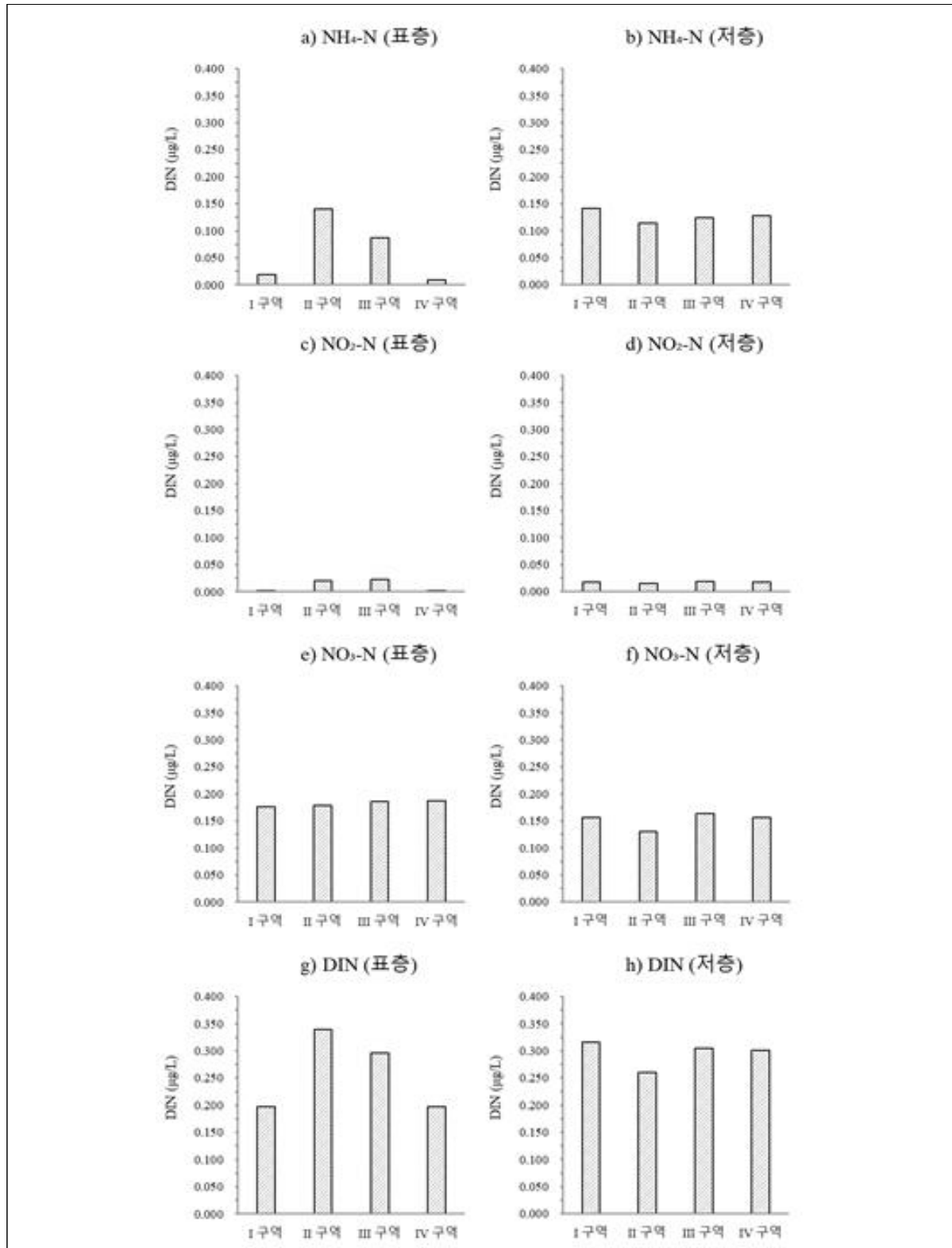
- 총질소는 표층에서 0.524~0.650 mg/L(평균 0.590 mg/L), 저층은 0.547~0.639 mg/L(평균 0.606 mg/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 총질소는 표층보다 저층에서 비교적 높은 농도를 보였다.

[12] 총인(TP)

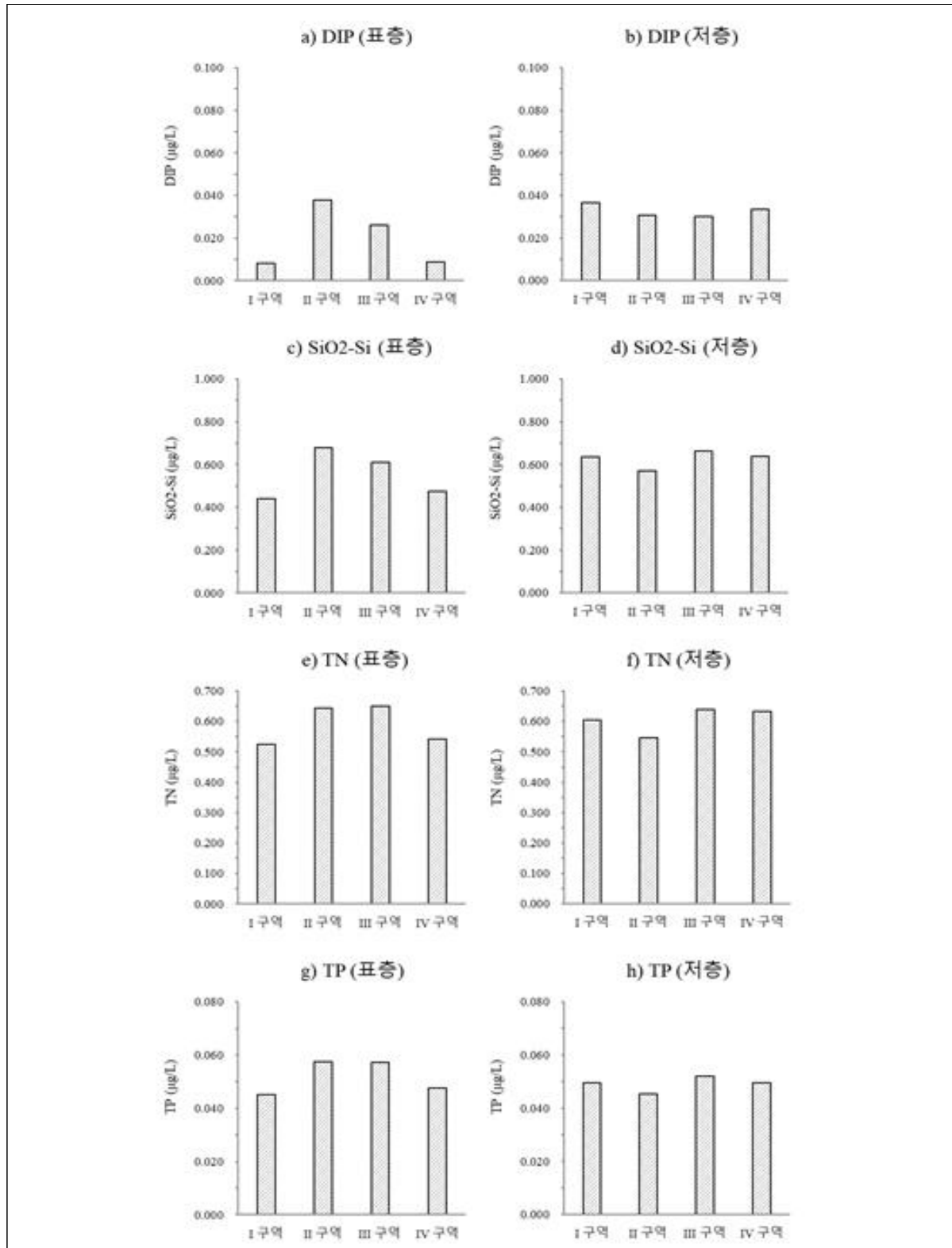
- 총인은 표층에서 0.045~0.058 mg/L(평균 0.052 mg/L), 저층은 0.045~0.052 mg/L(평균 0.049 mg/L)의 범위를 보여, 표층보다 저층에 높은 총인 농도를 보이고 있다.

[표 3-4] 황도 인근 해역 영양염류 측정결과

구역	수층	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	DIP	SiO ₂ -Si	TN	TP
		(mg/L)							
Ⅰ 구역	표층	0.019	0.002	0.176	0.197	0.008	0.440	0.524	0.045
	저층	0.141	0.018	0.156	0.315	0.036	0.636	0.605	0.049
Ⅱ 구역	표층	0.140	0.020	0.179	0.339	0.038	0.679	0.643	0.058
	저층	0.115	0.015	0.130	0.260	0.031	0.571	0.547	0.045
Ⅲ 구역	표층	0.087	0.023	0.187	0.297	0.026	0.609	0.650	0.057
	저층	0.124	0.018	0.163	0.305	0.030	0.663	0.639	0.052
Ⅳ 구역	표층	0.009	0.002	0.187	0.197	0.009	0.474	0.542	0.048
	저층	0.128	0.017	0.156	0.302	0.034	0.639	0.633	0.050
표층	최소	0.009	0.002	0.176	0.197	0.008	0.440	0.524	0.045
	최대	0.140	0.023	0.187	0.339	0.038	0.679	0.650	0.058
	평균	0.064	0.012	0.182	0.257	0.020	0.551	0.590	0.052
저층	최소	0.115	0.015	0.130	0.260	0.030	0.571	0.547	0.045
	최대	0.141	0.018	0.163	0.315	0.036	0.663	0.639	0.052
	평균	0.127	0.017	0.151	0.296	0.033	0.672	0.606	0.049
전체	최소	0.009	0.002	0.130	0.197	0.008	0.440	0.524	0.045
	최대	0.141	0.023	0.187	0.339	0.038	0.679	0.650	0.058
	평균	0.095	0.014	0.167	0.227	0.026	0.589	0.598	0.050



[그림 3-5] 황도 인근 해역 DIN(암모늄, 아질산염, 질산염) 농도



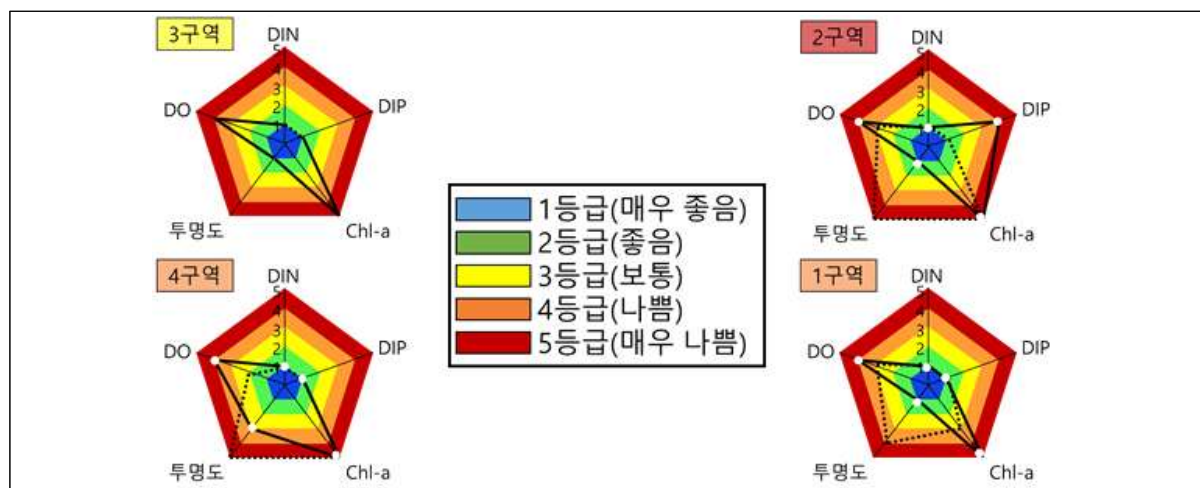
[그림 3-6] 황도 인근 해역 용존무기인, 규산염, TN, TP 농도

[13] 수질평가지수(WQI)

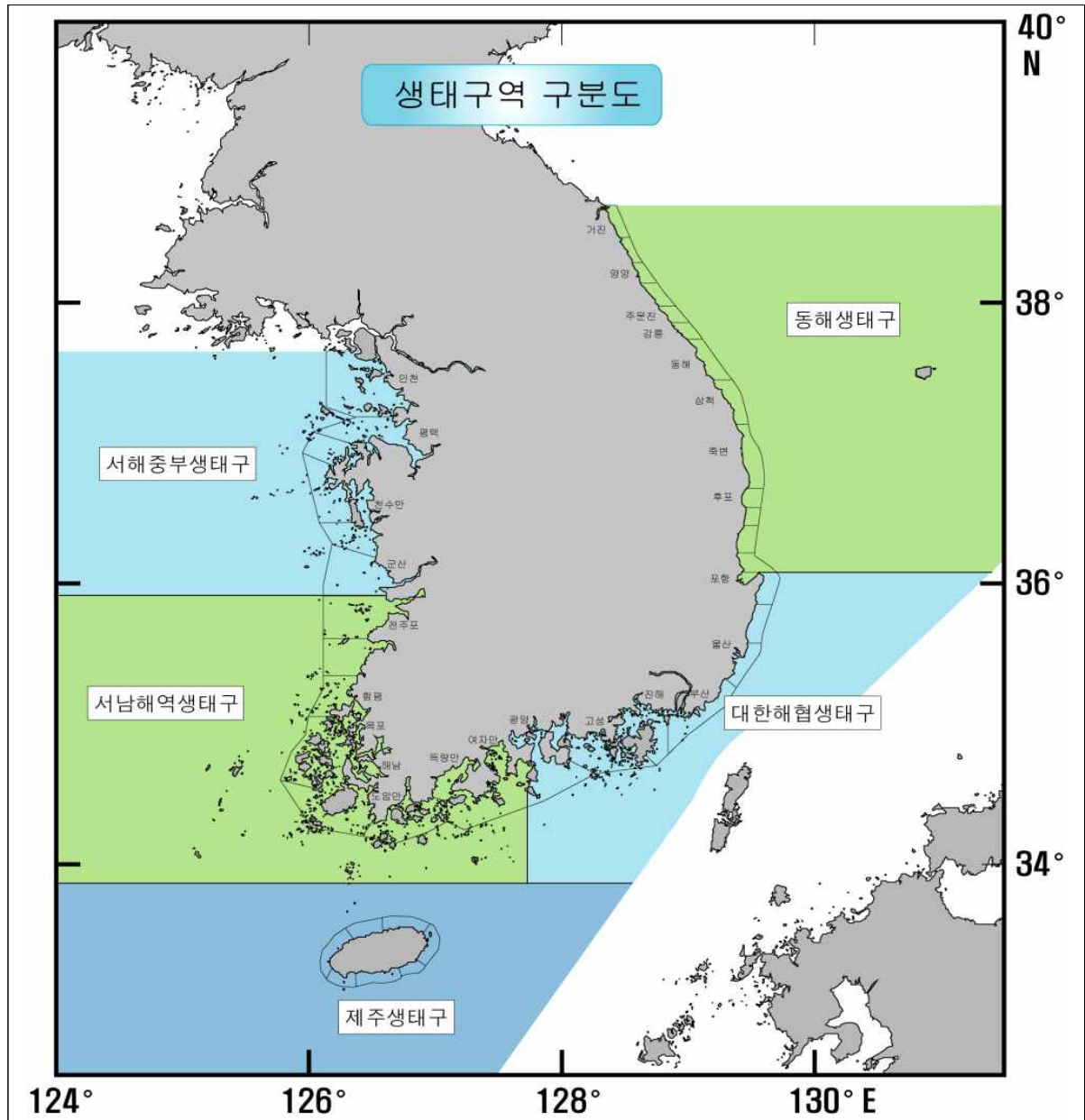
- 현장조사의 생태기반 해수수질 기준[그림 3-8], [표 3-6]을 사용하여 조사시기 및 구역별 생태기반 해수수질 기준 결과를 [표 3-5]와 [그림 3-7]에 제시하였다.
- 조사 결과 수질평가지수(WQI)는 62~68 점으로 5 등급(매우 나쁨)을 보였으며, 조사 지점인 I 구역에는 5 등급(매우 나쁨, 62 점), II 구역에서는 5 등급(매우 나쁨, 68 점), III 구역에서는 5 등급(매우 나쁨, 62 점), IV 구역에서는 5 등급(매우 나쁨, 68 점)으로 조사되었다[표 3-5].
- 본 조사 결과 수질 등급이 낮은 원인으로서는 엽록소 a 그리고 저층 DO 포화도가 원인이며, 특히 8월에 수온이 올라가면서 엽록소 a 뿐만 아니라 저층 DO 포화도가 낮아지면서 수질의 악영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다[그림 3-7].

[표 3-5] 황도 인근 해역 수질평가지수(WQI) 및 등급

구역	항목별 점수					수질평가 지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
I 구역	1	4	5	1	1	62	5
II 구역	1	4	5	1	4	68	5
III 구역	1	4	5	1	1	62	5
IV 구역	3	4	5	1	1	68	5



[그림 3-7] 황도 인근 해역 수질평가지수 결정 요인



[그림 3-8] 생태구역 구분도

[표 3-6] 해양환경기준(생태기반 해수수질 기준)-해양수산부고시 제2013-186호

(생태기반 해수수질 기준)

등급	수질평가 지수값(Water Quality Index)
I (매우 좋음)	23 이하
II (좋음)	24 - 33
III (보통)	34 - 46
IV (나쁨)	47 - 59
V (아주 나쁨)	60 이상

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

$$\text{수질평가지수(WQI, Water Quality Index)} \\ = 10 \times [\text{저층산소포화도(DO)}] + 6 \times [(\text{식물플랑크톤 농도(Chl-a)} + \text{투명도(SD)}) / 2] + 4 \\ \times [(\text{용존무기질소 농도(DIN)} + \text{용존무기인 농도(DIP)}) / 2]$$

- 수질평가지수 항목별 점수

항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(μg/L), DIN(μg/L), DIP(μg/L)	DO(포화도, %), SD(m)
1	기준값 이하	기준값 이상
2	< 기준값 + 0.10×기준값	> 기준값 - 0.10×기준값
3	< 기준값 + 0.25×기준값	> 기준값 - 0.25×기준값
4	< 기준값 + 0.50×기준값	> 기준값 - 0.50×기준값
5	> 기준값 + 0.50×기준값	< 기준값 - 0.50×기준값

* 항목별 기준값은 수질평가지수 항목의 해역별 기준값을 적용

- 수질평가지수 항목의 해역별 기준값

생태구역 \ 대상항목	Chl-a (μg/L)	저층 DO (포화도, %)	표층DIN (μg/L)	표층DIP (μg/L)	투명도 (m)
동해	2.1	90	140	20	8.5
대한해협	6.3		220	35	2.5
서남해역	3.7		230	25	0.5
서해중부	2.2		425	30	1.0
제주	1.6		165	15	8.0

* 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1m 이내의 수층

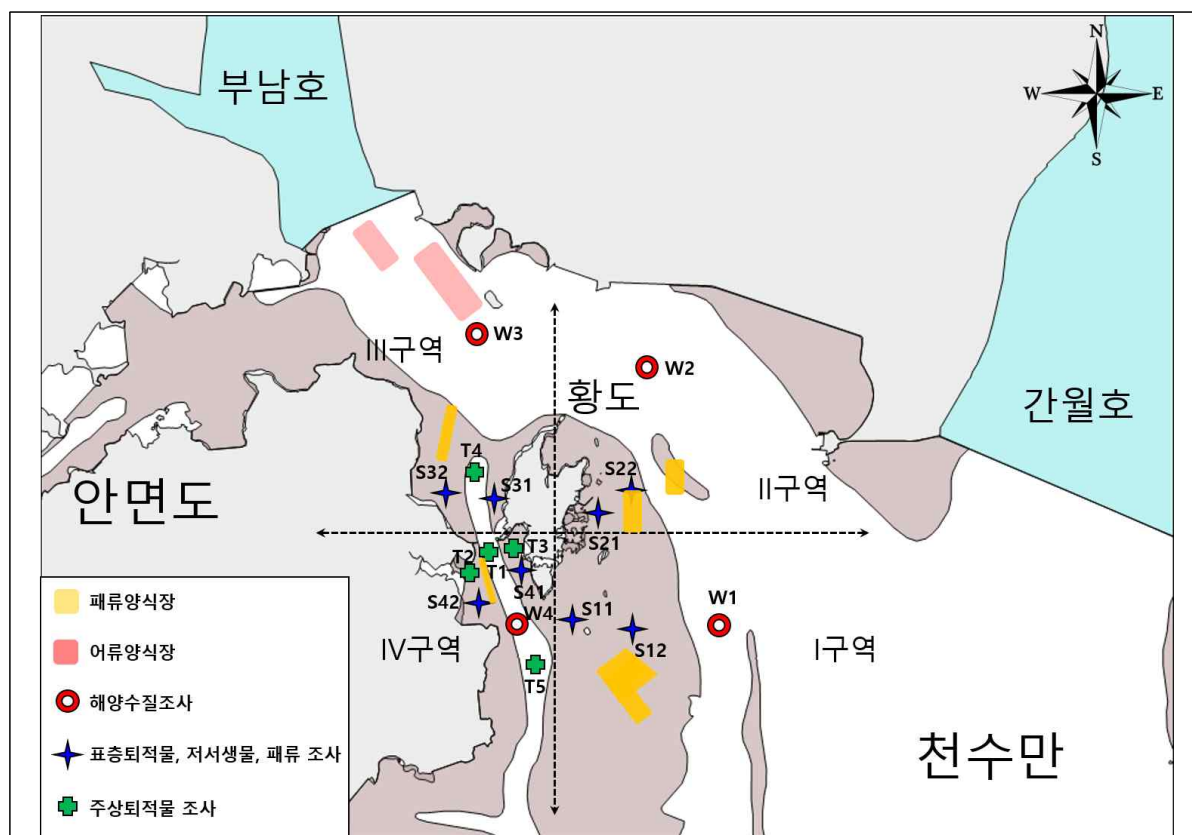
2

퇴적물

1) 현장조사 개요

[1] 공간적 범위

- 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 퇴적물 조사를 수행하였다[그림 3-9].



[그림 3-9] 황도 갯벌 퇴적물 조사정점

[2] 시간적 범위

- 현장 조사는 2020 년 7 월 7~8 일에 실시하였다.

[3] 내용적 범위

- 황도 주변 퇴적물 환경 조사를 수행하였다[표 3-7].

[표 3-7] 황도 갯벌 퇴적물 조사 분석항목

구분		조사항목	조사구역
해저 퇴적물	일반항목(7)	입도, 강열감량, 함수율, 황화물, COD, 원소분석(TOC, TN)	4개 구역 (8개 정점)
	중금속(11)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, Ni, Al, Li, Fe	4개 구역 (8개 정점)

2) 현장조사 방법

[1] 시료채취 방법 및 분석

- 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.
- 표층 퇴적물 시료는 간조시 조사점점에 도보로 이동 후 채취하였다. 상층 부분(표층 2 cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료봉투에 담고 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동하였다. 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법으로 건조하였다[그림 3-10].



[그림 3-10] 황도 갯벌 퇴적물 조사 현장사진

3) 시료의 전처리 및 분석

(1) 입도

- 채취한 시료를 젖은 상태 그대로 약 20~30 g을 취하여 500 mL 비이커에 담아 10% 과산화수소(H_2O_2)와 0.1N 염산(HCl)으로 탄산염과 유기물을 제거한 후, 증류수로 희석하여 염분을 제거하였다.
- 퇴적물 입도는 4 ϕ 체를 이용한 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리한 후, 4 ϕ 보다 조립질 시료는 진탕기를 이용하여 1 ϕ 간격으로 분석하였으며, 4 ϕ 보다 세립질 시료는 자동입도분석기(Mastersizer 2000, Malvan, UK)를 이용하여 1 ϕ 간격으로 분석하였다.
- Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 적용하여 퇴적물의 조직변수를 산출하였다. 지수별 퇴적물의 입도 환산표와 조직 표준치의 산정 공식 및 언어표기 척도를 [표3-8, 9]에 제시하였으며 자갈, 모래, 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류를 [그림 3-11]에 제시하였다.

[2] 함수율(Water Content)

- 채취한 시료를 젖은 상태로 약 20~30 g 을 시료병에 담아 정확히 무게를 측정하여 110℃에서 24 시간 이상 건조시킨 후 무게를 측정하여 건조 전·후 무게 차이로 계산하였다.

[3] 강열감량(Ignition Loss)

- 건조된 시료 5 g 을 도가니에 담아 muffle furnace 에서 550℃로 2 시간 가열하여 가열 전과 후의 무게차이로 계산하였다.

[4] 화학적 산소요구량(COD)

- 퇴적물 시료를 황산 산성으로 하여 과망간산칼륨 일정량을 넣고 30 분간 수욕상에서 가열 반응시킨 후 소비된 과망간산칼륨량으로부터 이에 상당하는 산소량을 측정하였다.

[5] 산 휘발성 황화물(AVS: Acid Volatile Sulfide)

- 시료를 젖은 상태로 약 2g 의 무게를 측정 하여 검지관 주입구에 넣은 후 기체발생관에 황산 2 ml 를 넣고 2~3 초 기다린 후 펌프를 당겨 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수한 지점의 눈금을 읽어 측정하였다.

[6] 중금속(Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Al, Fe)

- 퇴적물 중의 금속 분석을 위해 동결건조 후 혼합산($\text{HF} + \text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$)을 이용하여 완전 분해하였다. 여기에 1% 질산(HNO_3 , suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

[7] 원소분석

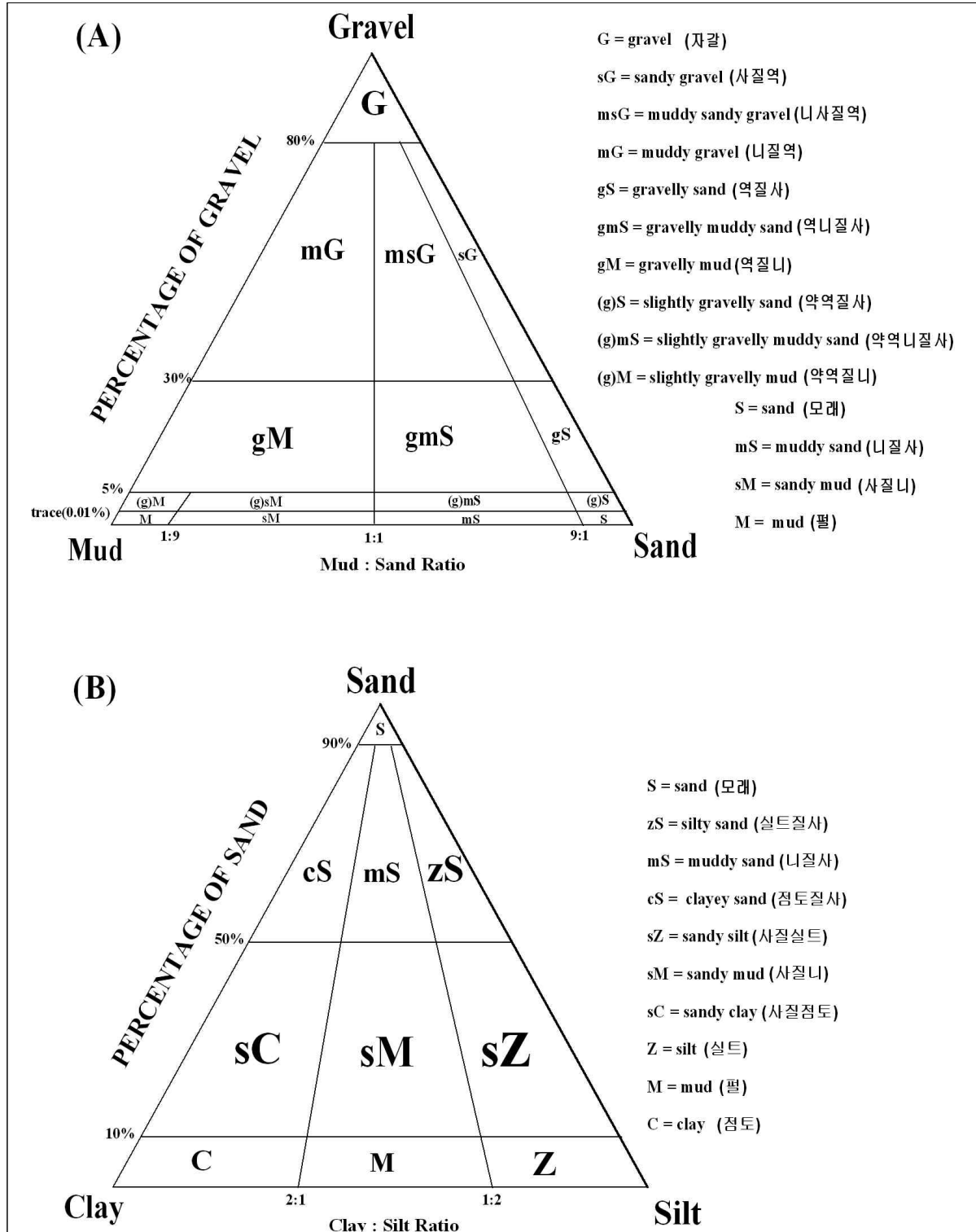
- 원소분석은 퇴적물을 동결건조 후 원소분석기를 이용해서 분석하였으며, TOC 및 TN 값을 산정하는데 사용하였다.

[표 3-8] 입도 환산표

Diameter (mm)		phi Scale (ϕ)	Wentworth Size Class	
4096	(2^{12})	−12	Boulder	Gravel
2048	(2^{11})	−11		
1024	(2^{10})	−10		
512	(2^9)	−9		
256	(2^8)	−8	Cobble	
128	(2^7)	−7		
64	(2^6)	−6		
32	(2^5)	−5	Pebble	
16	(2^4)	−4		
8	(2^3)	−3		
4	(2^2)	−2	Granule	
2	(2^1)	−1		
1	(2^0)	0	Very Coarse Sand	
0.5	(2^{-1})	1	Coarse Sand	Sand
0.25	(2^{-2})	2	Medium Sand	
0.125	(2^{-3})	3	Fine Sand	
0.063	(2^{-4})	4	Very Fine Sand	
0.031	(2^{-5})	5	Coarse Silt	Mud
0.016	(2^{-6})	6	Medium Silt	
0.008	(2^{-7})	7	Fine Silt	
0.004	(2^{-8})	8	Very Fine Silt	
0.002	(2^{-9})	9	Clay	
0.00098	(2^{-10})	10		
0.00049	(2^{-11})	11		
0.00024	(2^{-12})	12		

[표 3-9] 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도

Graphic mean : 평균입도		
$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$		
Inclusive Graphic Standard Deviation : 분급도 (입도의 균일성)		
$\sigma_1(\phi) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$		
0.35 >	Very well sorted	극양호분급
0.35 ~ 0.50	Well sorted	양호분급
0.50 ~ 0.71	Moderately well sorted	중간양호분급
0.71 ~ 1.00	Moderately sorted	중간분급
1.00 ~ 2.00	Poorly sorted	불량분급
2.00 ~ 4.00	Very poorly sorted	극불량분급
4.00 <	Extremely poorly sorted	최극불량분급
Inclusive Graphic Skewness : 왜도 (입도의 대칭성)		
$Sk_I = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$ $= \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5} \quad (\text{Warren, 1974})$		
0.3 <	Strongly fine-skewed	최극양호왜도
0.1 ~ 0.3	Fine-skewed	양호왜도
-0.1 ~ 0.1	Near-symmetrical	대칭왜도
-0.3 ~ -0.1	Coarse-skewed	불량왜도
-0.3 >	Strongly coarse-skewed	최극불량왜도
Graphic Kurtosis : 첨도 (입도의 편평성)		
$K_r = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$		
0.67 >	Very platykurtic	매우저첨
0.67 ~ 0.9	Platykurtic	저첨
0.90 ~ 1.11	Mesokurtic	중첨
1.11 ~ 1.50	Leptokurtic	극첨
1.50 ~ 3.00	Very leptokurtic	매우극첨
3.00 <	Extremely leptokurtic	최극첨



[그림 3-11] 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류

[8] 회수율

- 분석 자료의 정확도를 검증하기 위해 캐나다 NRC(National Research Council, Canada)의 MOOS-3, CASS-5, MESS-3과 한국표준과학연구원(KRISS)의 굴 조직 분말 표준인증물질(CRM)을 사용하였고, 각 항목별 회수율을 [표 3-10]에 제시하였다.

[표 3-10] 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율
(건중량, Mean \pm sd, n=3)

분석항목	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Li	Al	Fe
	(mg/kg)						(%)	
함유농도	0.29 ± 0.00	32.9 ± 1.8	21.5 ± 1.2	147 ± 6	42.8 ± 1.6	65.3 ± 6.8	7.91 ± 0.00	3.79 ± 0.16
분석결과	0.29 ± 0.00	33.5 ± 0.73	20.1 ± 0.22	143.4 ± 2.5	41.6 ± 0.39	65.4 ± 1.13	7.60 ± 0.00	3.90 ± 0.00
회수율(%)	104	102	93	98	97	100	96	102

4) 현장조사 결과

- 해양 퇴적물 조사 결과를 [표 3-11~13]과 [그림 3-12~15]에 제시하였다.

[1] 입도

■ 조성 및 퇴적상

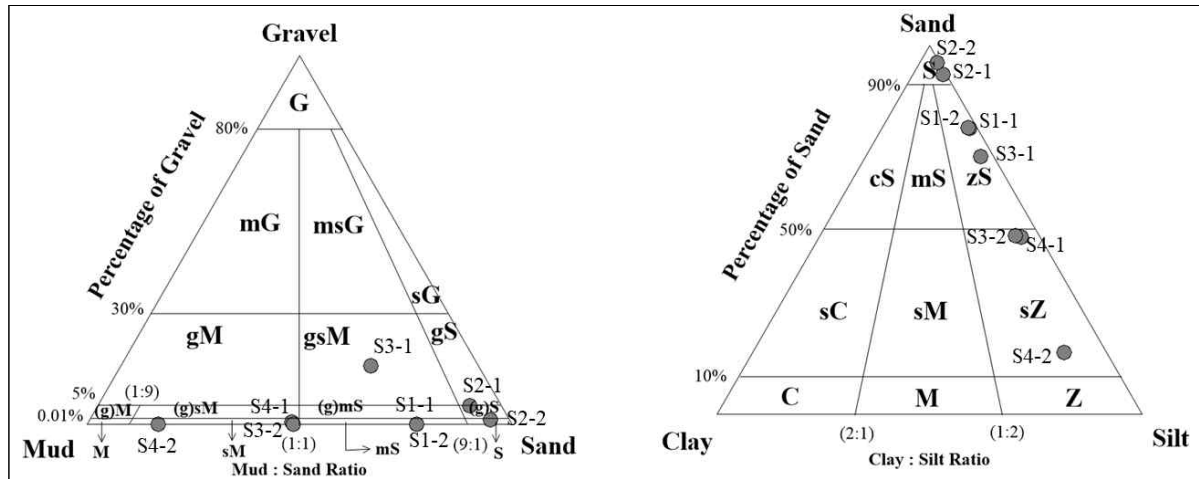
- 조사에서 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.0~16.0%(평균 2.8%), 모래 16.8~94.3%(평균 63.6%), 실트 4.0~73.3%(평균 30.2%), 점토 0.5~10.0%(평균 3.4%)로 조사되었다.
- 퇴적상은 I 구역에서 약역니질사((g)mS), 실트질사(zS), II 구역에서는 역질사(gS), 약역질사((g)S), III 구역에서는 역니질사(gmS)와 사질실트(sZ), IV 구역에서는 약역사질니((g)sM)과 사질실트(sZ)로 나타났다.
- 같은 조사 구역내에서도 조사 정점에 따라 퇴적물의 입도 조성은 차이를 보였으며, 비교적 I, II 구역에서 모래 함량비가 높게 나타났다.

■ 조직변수

- 조직변수는 평균 입경이 1.50~5.72 ϕ (평균 3.52 ϕ)의 범위이고, 분급도는 0.97~2.93 ϕ (평균 1.62 ϕ)의 범위로 very fine sand 로 poorly sorted(분량 분급)한 분포를 보였고, 왜도는 -0.21~0.56(평균 0.19)의 범위로 fine-skewed(양호왜도)한 분포를 나타냈으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.94~2.55(평균 1.49)으로 leptokurtic(극첨)한 분포를 보였다.

[표 3-11] 황도 갯벌 퇴적물 입도 분석 결과

구역		조성비				조직변수				퇴적상
		자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
		(%)				(φ)				
I 구역	S1-1	0.1	77.4	20.7	1.8	3.53	1.26	0.29	1.65	약역 니질사
	S1-2	0.0	77.6	20.4	2.0	3.71	1.17	0.36	2.24	실트 질사
II 구역	S2-1	5.1	87.5	6.8	0.7	2.27	1.46	-0.21	2.55	역질사
	S2-2	1.1	94.3	4.0	0.5	1.50	1.20	0.05	1.48	약역 질사
III 구역	S3-1	16.0	58.8	22.8	2.5	2.28	3.00	-0.11	0.95	역니 질사
	S3-2	0.0	48.5	46.0	5.6	4.66	1.61	0.56	0.95	사질 실트
IV 구역	S4-1	0.5	47.8	47.3	4.3	4.47	1.45	0.48	1.12	약역 사질니
	S4-2	0.0	16.8	73.3	10.0	5.72	1.79	0.12	0.94	사질 실트
최소		0.0	16.8	4.0	0.5	1.50	0.97	-0.21	0.94	-
최대		16.0	94.3	73.3	10.0	5.72	2.93	0.56	2.55	-
평균		2.8	63.6	30.2	3.4	3.52	1.62	0.19	1.49	-



[그림 3-12] 함량비에 따른 퇴적상 분류 (삼각다이어그램)

[2] 함수율

- 함수율은 조사지 18.5~28.0%(평균 22.9%)였으며, 조사 구역 간 큰 차이는 보이지 않았다.

[3] 강열감량(IL) 및 화학적 산소요구량(COD)

- 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표 성분으로, IL 은 조사지 2.4~4.7%(평균 3.0%) COD는 1.5~3.6 mg/g(평균 2.3 mg/g)의 범위를 보였다.
- 특히, 조사 지점 중 Ⅲ구역과 Ⅳ구역의 퇴적물에서 IL 과 COD 가 비교적 다른 조사 구역보다 높은 농도를 보였다.
- 이 이유로는 펄(실트+점토) 함량이 I, II 구역보다 많아 유기물 양 또한 차이를 보이는 것으로 판단된다.

[4] 산 휘발성 황화물(AVS)

- 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산취발성 황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경 악화지표 항목으로 이용되고 있다.
- 산취발성황화물(AVS)이 0.2 mg/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로

산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경을 보이고 있다는 것을 의미한다.

- 산화발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01 mg/g 으로 조사에서 0.01~0.08 mg/g(평균 0.03 mg/g)의 범위를 보였다.

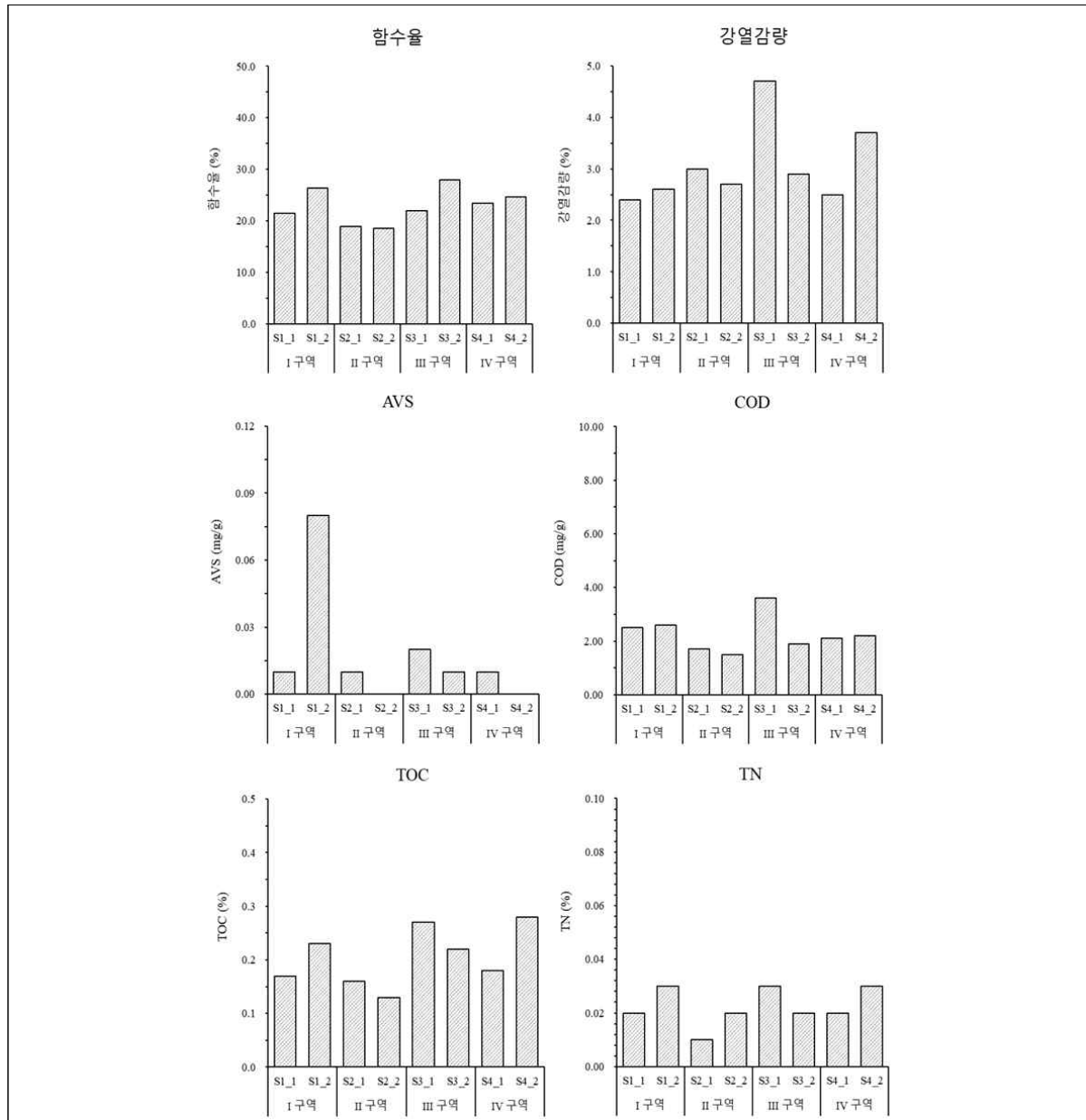
[5] 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

- 총유기탄소(TOC) 조사시 0.13~0.28%(평균 0.21%), 총질소(TN)은 0.01~0.03%(평균 0.02%)으로 조사되었다.
- 조사 지점 간 TOC와 TN의 평균 농도는 큰 차이를 보이지 않고 유사한 수준으로 조사되었다.

[표 3-12] 황도 갯벌 퇴적물 입도 분석 결과

구역		함수율	강열 감량	COD	AVS	TOC	TN	C/N
		(%)		(mg/g)		(%)		
I 구역	S1-1	21.5	2.4	2.5	0.01	0.17	0.02	9.9
	S1-2	26.4	2.6	2.6	0.08	0.23	0.03	8.9
II 구역	S2-1	18.9	3.0	1.7	0.01	0.16	0.01	18.7
	S2-2	18.5	2.7	1.5	ND	0.13	0.02	7.6
III 구역	S3-1	21.9	4.7	3.6	0.02	0.27	0.03	10.5
	S3-2	28.0	2.9	1.9	0.01	0.22	0.02	12.8
IV 구역	S4-1	23.4	2.5	2.1	0.01	0.18	0.02	10.5
	S4-2	24.7	3.7	2.2	ND	0.28	0.03	10.9
최소		18.5	2.4	1.5	0.01	0.16	0.01	7.6
최대		28.0	4.7	3.6	0.08	0.28	0.03	18.7
평균		22.9	3.0	2.3	0.03	0.21	0.02	11.2

ND: not determined

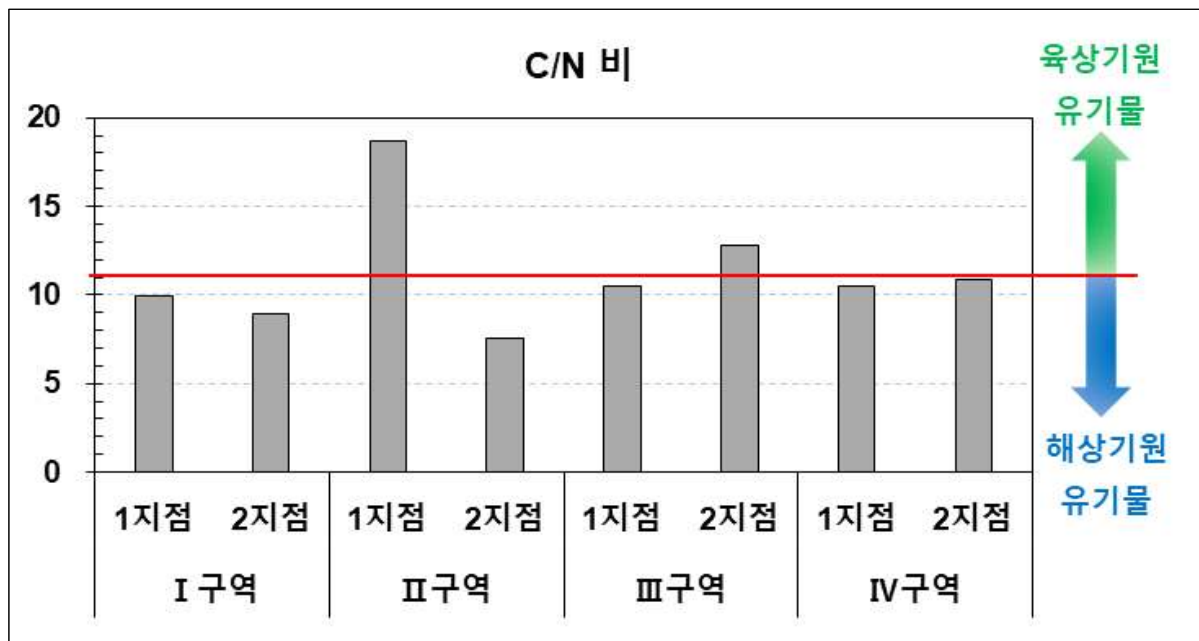


[그림 3-13] 황도 갯벌 퇴적물 함수율, 강열감량, AVS, COD, TOC, TN 농도

[6] C/N 비

- 일반적으로 C/N 비는 퇴적물에 포함된 유기물의 기원을 규명하는데 많이 사용되고 있다. C/N 비가 12 이상인 유기물은 육상기원 유기물을 나타내고(Greaves and Schwartz, 1952), 6~9는 식물플랑크톤의 범위이며(Holligan et al., 1984), 5~12의 C/N 비를 가질 경우 해양기원 유기물을 의미한다(Stein, 1991).

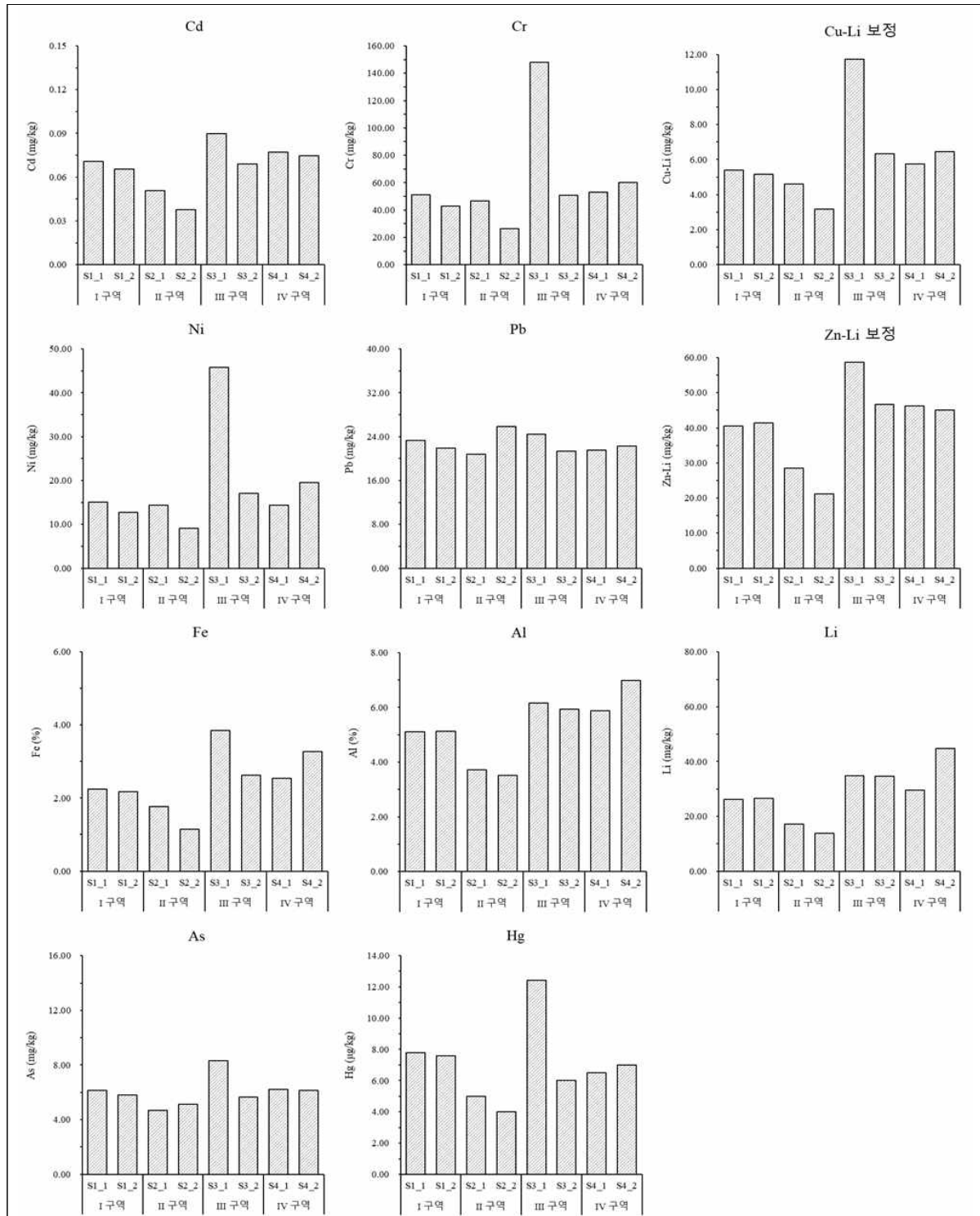
- 한편 2.6 ~ 4.3의 낮은 C/N비는 질소가 풍부한 박테리아에서 흔히 나타나는 값으로 5 이하에 해당하는 낮은 C/N비는 퇴적유기물 중 박테리아 기원을 나타내는 지표로 이용된다 (Lee and Fuhrman, 1987).
- C/N 비는 7.6~18.7(평균 11.2)의 범위를 보였다. 전체적으로 육상기원 유기물보다 해양기원 유기물이 퇴적되고 있음을 알 수 있다.
- 단, 부남호 전면해역에 위치한 II구역 일부 지역에서는 육상기원 유기물이 주로 퇴적되는 것으로 추정되었는데, 부남호 방류에 의한 간접적 영향을 나타내준다.



[그림 3-14] 황도 갯벌 퇴적물 유기물의 C/N 비

[7] 중금속류

- 퇴적물 중금속 Cd는 0.04~0.09 mg/kg(평균 0.07 mg/kg), Cr은 26.5~147.9 mg/kg(평균 59.9 mg/kg), Cu(Li 보정)는 3.2~11.7 mg/kg(평균 6.1 mg/kg), Pb는 20.8~25.8 mg/kg(평균 22.7 mg/kg), Zn(Li 보정)는 21.2~58.7 mg/kg(평균 41.0 mg/kg), As는 4.7~8.3 mg/kg(평균 6.0 mg/kg), Ni는 9.1~45.7 mg/kg(평균 18.5 mg/kg), Al은 3.5~7.0%(평균 5.3%), Fe은 1.1~3.8%(평균 2.5%), Hg는 4.0~12.4 µg/kg(평균 7.0 µg/kg)의 범위를 보였다.



[그림 3-15] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농도

[표 3-13] 황도 갯벌 퇴적물 중금속 분석 결과

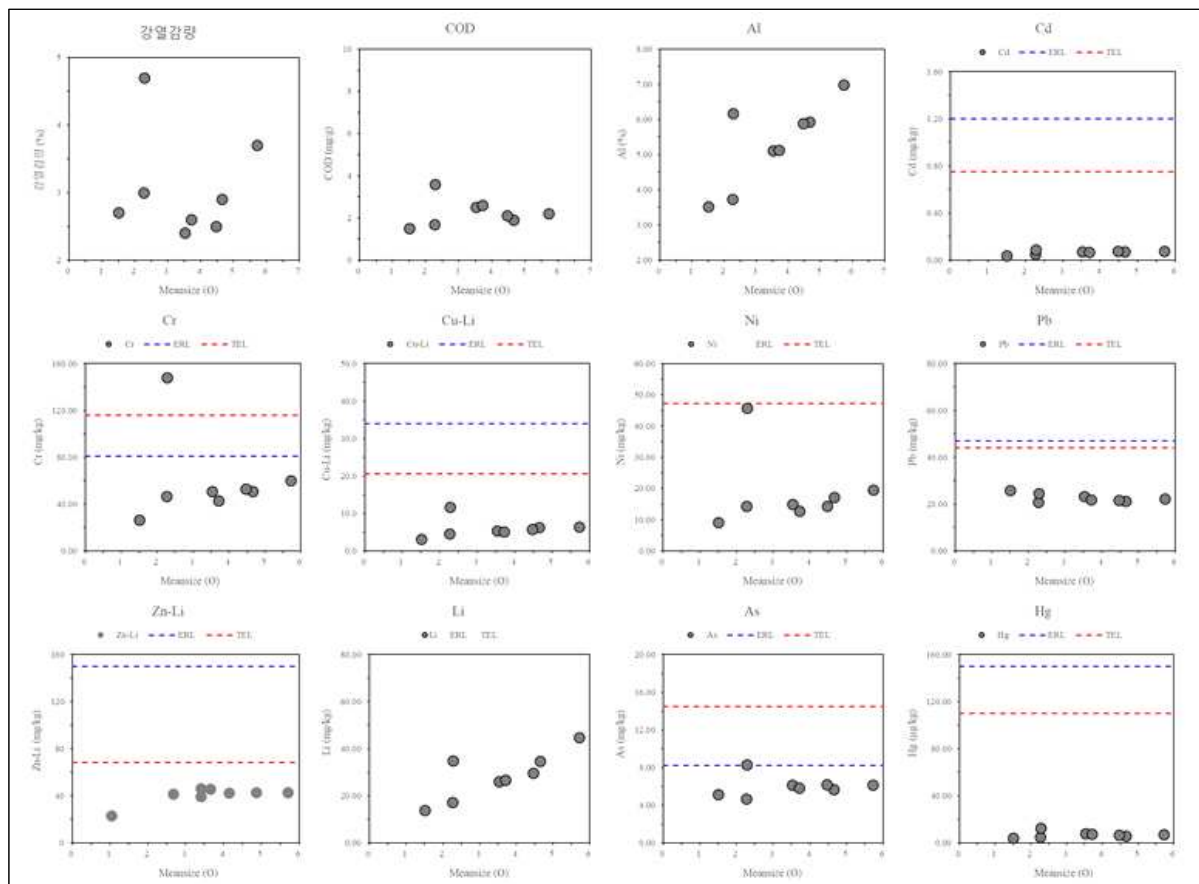
구역		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Li	As	Al	Fe	Hg
		(mg/kg)								(%)		(μ g/kg)
I구역	S1-1	0.07	51.1	5.4	40.5	23.3	40.5	26.2	6.1	5.1	2.2	7.8
	S1-2	0.07	42.9	5.2	41.3	21.9	41.3	26.6	5.8	5.1	2.2	7.6
II구역	S2-1	0.05	46.6	4.6	28.6	20.8	28.6	17.2	4.7	3.7	1.8	5.0
	S2-2	0.04	26.5	3.2	21.2	25.8	21.2	13.8	5.1	3.5	1.1	4.0
III구역	S3-1	0.09	147.9	11.7	62.8	24.5	58.7	34.8	8.3	6.2	3.8	12.4
	S3-2	0.07	50.9	6.3	48.9	21.3	46.7	34.7	5.7	5.9	2.6	6.0
IV구역	S4-1	0.08	53.1	5.7	46.3	21.6	46.3	29.6	6.2	5.9	2.5	6.5
	S4-2	0.07	60.1	6.5	59.3	22.3	45.0	44.7	6.1	7.0	3.3	7.0
최소		0.04	26.5	3.2	21.2	20.8	21.2	13.8	4.7	3.5	1.1	4.0
최대		0.09	147.9	11.7	62.8	25.8	58.7	44.7	8.3	7.0	3.8	12.4
평균		0.07	59.9	6.1	18.5	22.7	41.0	28.4	6.0	5.3	2.5	7.0

[8] 상관성 분석 및 국내·외 환경기준과의 비교

- 조사해역의 퇴적물의 평균입경과 미량금속의 공간적 분포 특성과의 상관성을 파악하였고, 그 결과를 [그림 3-16]에 제시하였으며, 해양 퇴적물의 국내 및 국외 환경기준을 [표 3-14]과 [표 3-15]에 제시하였다.
- 금회 조사에서 평균 입도와 중금속과의 상관성을 살펴 본 결과 대부분의 중금속이 평균 입도와 상관성이 낮은 결과를 보였다.
- 퇴적물 내 중금속의 오염도를 살펴보기 위해 미국해양대기청(NOAA)의 환경기준(Buchman, 2008)과 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부, 2013)과 비교하였다.
- 미국해양대기청의 환경기준은 연안퇴적물 중 중금속 자료를 바탕으로 지각물질의 주요 원소인 Al 과 Fe 를 제외한 총 9 개의 원소에 대하여 퇴적물 내 중금속에 의한 생물 영향을 고려한 기준이다.
- 또한, 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준은 총 6 개의 중금속에 대하여 연안 퇴적물의 배경농도 및 생물영향 등을 고려하여 퇴적물 오염기준인 주의기준과

관리기준을 설정하였다.

- 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)은 측정된 퇴적물 내 중금속 원소의 농도를 직접 비교하지만, 구리(Cu)와 아연(Zn)은 입도보정을 위하여 리튬(Li)으로 입도에 의한 영향을 보정한 뒤 평가하도록 되어 있다.
- 금회 조사에서 미국해양대기청(NOAA)의 ERL(저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도) 기준을 초과한 중금속 항목은 Cr, As 였고, 국내 해양환경기준의 TEL(주의기준: 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위) 기준을 초과한 중금속 항목은 Cr 이었다.
- 본 조사에서 황도 주변 갯벌에서 중금속 중 일부 항목이 기준치에 초과하는 결과를 보여주고 있으나, 국내 TEL 기준지표는 1 회성 조사에 직접 적용하는 것이 아니므로 그 추세의 지속성을 확인하는 것이 중요하다고 할 수 있다.



[그림 3-16] 입도와 중금속과의 상관성 및 퇴적물 환경기준

[표 3-14] 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186)

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
	(mg/kg)							
주의기준 (TEL)	14.5	0.75	116	20.6	0.11	47.2	44.0	68.4
관리기준 (PEL)	75.5	2.72	181	64.4	0.62	80.5	119	157

(1) 주의기준 (Threshold Effects Level, TEL): 부정적인 생태 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도

(2) 관리기준 (Probable Effects Level, PEL): 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도

(3) 적용 방법 : 금속 농도가 입자 크기에 따라 변화하므로 입자 크기의 변화를 나타낼 수 있는 금속 (Li)을 사용하여 보정된 금속 농도를 사용

- As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb는 시료와 각 기준 농도를 직접 비교

- Cu, Zn은 시료의 Li으로 측정 농도를 입도 보정하여 기준 농도와 비교

$$\text{입도보정한 Cu 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 Cu 농도} - 4.10}{\text{시료의 Li 농도} - 21.2} \right) \times 11.9 \right) + 4.10$$

$$\text{입도보정한 Zn 농도} = \left(\left(\frac{\text{시료의 Zn 농도} - 30.4}{\text{시료의 Li 농도} - 21.2} \right) \times 11.9 \right) + 30.4$$

- 만일 시료의 Li이 33.1 ppm 이하이거나 입도보정 농도가 음의 값을 보일 경우 별도의 입도보정 없이 주의기준과 관리기준에 직접 비교

[표 3-15] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리기준

항목 (mg/kg)	미국해양대기청(NOAA)	
	ERL(effect range low)*	ERM(effect range median)**
As	8.2	70
Cd	1.2	9.6
Cu	34	270
Cr	81	370
Hg	0.15	0.71
Pb	47	218
Zn	150	410
총 PCBs	0.023	0.180

* ERL : 통계적으로 저서생물에 10%의 악영향이 나타날 수 있는 농도

** ERM : 통계적으로 저서생물에 50%의 악영향이 나타날 수 있는 농도

[9] 오염도 평가

■ 농축계수(Enrichment Factor ; EF)

- 일반적으로 오염은 환경 내 매질 중 구성성분의 농도가 자연 상태에 존재하는 농도보다 높아져 있거나 생물에 악영향을 미치는 상태를 의미한다.
- 농축계수는 지각물질 중에 풍부하고 보전적인 성질을 가진 원소인 Al 혹은 Fe 을 표준화 성분으로 사용하여 점토광물의 구성비율과 연구지역내 미량금속의 구성비를 이용하여 각 중금속의 농축정도를 평가하는 방법이다(Choi et al., 2010, Hwang and Kim, 2011).

$$EF = \frac{(Metal/Al)_{sample}}{(Metal/Al)_{background}}$$

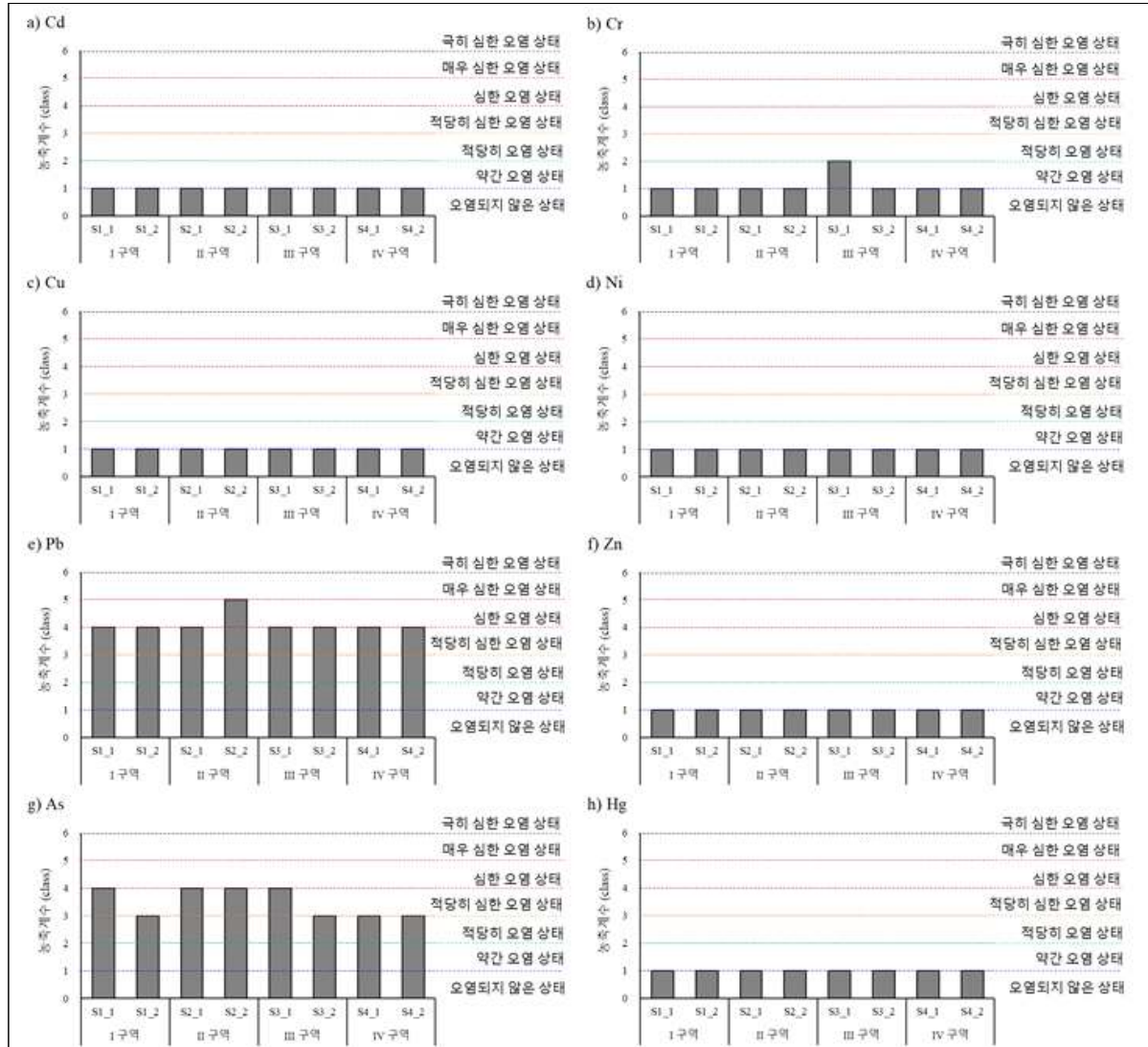
- 여기서 $(Metal/Al)_{sample}$ 는 연구 지역 내 퇴적물 중 Al 에 대한 각 미량금속의 농도비, $(Metal/Al)_{background}$ 는 지각 내 알루미늄(Al)에 대한 각 미량금속의 농도비를 의미한다. 금회 조사에서는 Back ground 값을 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995)이 보고한 전 세계 연안 대륙붕지역의 퇴적물 내 중금속의 농도를 이용했다.
- 일반적으로 농축계수의 값에 대한 오염도의 평가는 0.5~1.5 범위일 경우 오염되지 않은 자연적인 농도임을 의미하고 1.5 보다 클 경우 다른 오염원에 의한 오염이 있음을 의미한다 (Zhang and Lui, 2002). 최근에는 농축계수의 값을 세분화하여 오염을 평가하였으며, 평가기준은 [표 3-16]에 제시하였다(Birth, 2003; Chen et al., 2007).
- 조사에서 납(Pb)과 비소(As)를 제외한 나머지 미량금속은 농축계수는 0~1 범위를 보였으며, 오염되지 않은 상태에서 약간오염 상태로 나타났다[표 3-17, 그림 3-17].
- 납(Pb)과 비소(As)는 3.8~12.9 범위의 농축계수를 보였으며, 적당히 오염된 상태에서 심한 오염상태 수준으로 평가되었다[그림 3-17].

[표 3-16] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

EF	Class	등급
> 50	6	극히 심한 오염 상태 (Extremely severe enrichment)
25-50	5	매우 심한 오염 상태 (Very severe enrichment)
10-25	4	심한 오염 상태 (Severe enrichment)
5-10	3	적당히 심한 오염 상태 (moderately severe enrichment)
3-5	2	적당한 오염 상태 (moderate enrichment)
1-3	1	약간 오염 상태 (minor enrichment)
< 1	0	오염되지 않은 상태 (no enrichment)

[표 3-17] 해양퇴적물 내 중금속 농축계수

EF	Class	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg
> 50	6	0	0	0	0	0	0	0	0
25-50	5	0	0	0	0	0	0	0	0
10-25	4	0	0	0	0	1	0	0	0
5-10	3	0	0	0	0	7	0	4	0
3-5	2	0	0	0	0	0	0	4	0
1-3	1	0	1	0	0	0	0	0	0
< 1	0	8	7	8	8	0	8	0	8



[그림 3-17] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농축계수

■ 농집지수(Geoaccumulation Index ; I_{geo})

- 농집지수는 퇴적물 내 금속의 오염도를 평가하기 위하여 Müller(1979)가 제안 하였으며, 다음과 같은 식에 의하여 계산된다.

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{B_n \times 1.5}$$

- 여기서 C_n 은 측정된 퇴적물 내 중금속의 농도이며, 지수 1.5는 지각 기원에 의한 영향을

보정하기 위해 사용되었고, B_n 은 미량 금속의 바탕농도(background)이다. 금회 조사에서는 Background 값을 Taylor(1964)와 Taylor and McLennan(1995)이 보고한 전 세계 연안 대륙붕 지역의 퇴적물 내 중금속의 농도를 이용했다. 농집지수는 각 중금속 원소에 대하여 총 7 개의 class 로 구분하여 오염여부를 세분화되어 있다[표 3-18].

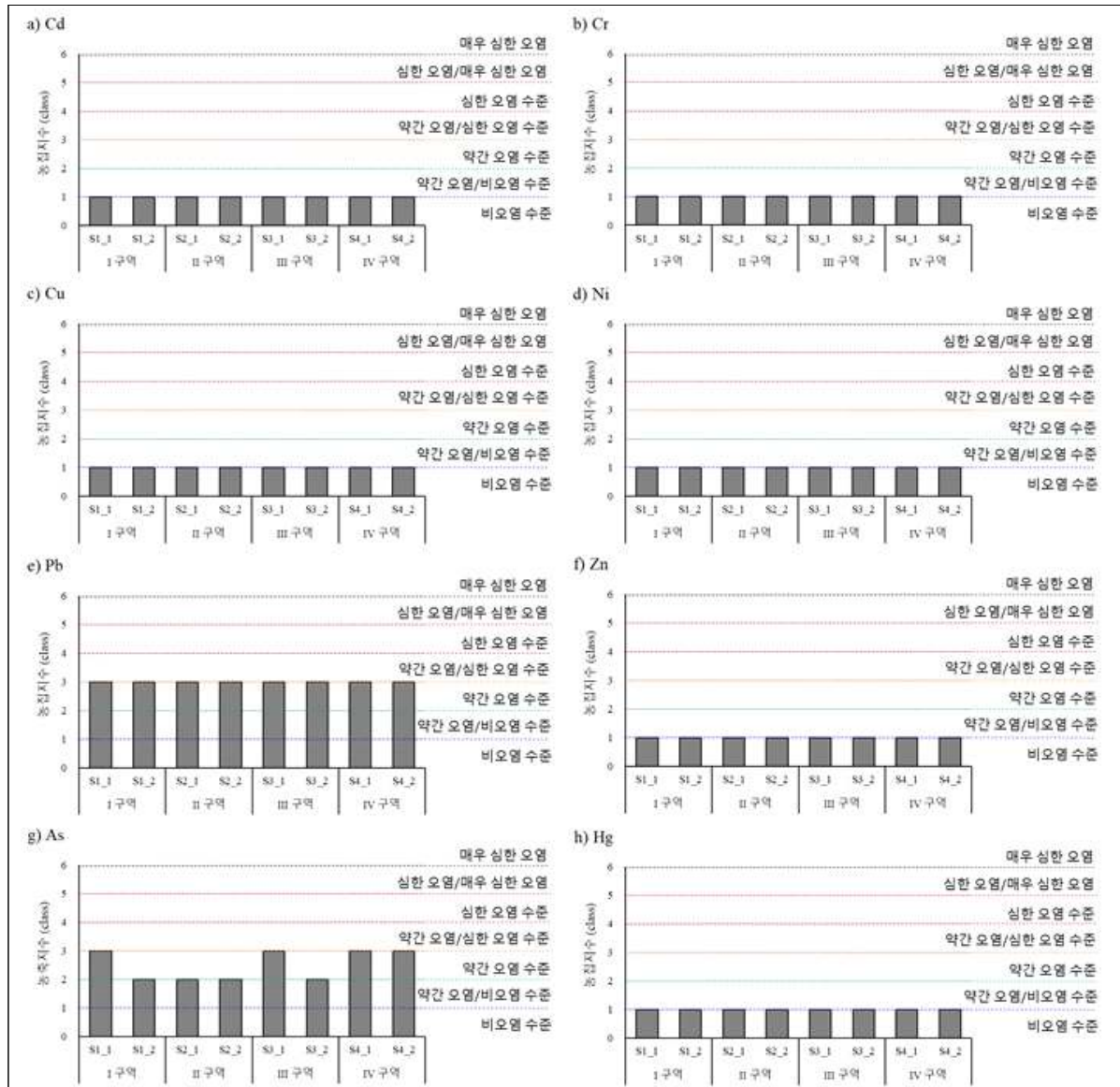
- 조사에서는 비오염에서 약간 오염 수준으로 조사되었다[표 3-19, 그림 3-18].
- 금회 조사에서는 납(Cr)과 비소(As)에서 약간 또는 약간/비오염 수준으로 조사되었다[그림 3-19].

[표 3-18] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

I_{geo}	Class	등급
>5	6	매우 심한 오염 (Very Strong polluted)
>4-5	5	심한 오염/매우 심한 오염 (Strong/Very strong polluted)
>3-4	4	심한 오염 수준 (Strong polluted)
>2-3	3	약간 오염/심한 오염 수준 (Moderately/strongly polluted)
>1-2	2	약간 오염 수준 (Moderately polluted)
>0-1	1	약간 오염/ 비오염 수준 (Practically unpolluted/moderately polluted)
<0	0	비오염 수준 (Practically unpolluted)

[표 3-19] 해양퇴적물 내 농집지수

I_{geo}	Class	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	As	Hg
>5	6	0	0	0	0	0	0	0	0
4-5	5	0	0	0	0	0	0	0	0
3-4	4	0	0	0	0	0	0	0	0
2-3	3	0	0	0	0	0	0	0	0
1-2	2	0	0	0	0	8	0	4	0
0-1	1	0	0	0	0	0	0	4	0
0	0	8	8	8	8	0	8	0	8



[그림 3-18] 황도 갯벌 퇴적물 내 중금속 농집지수

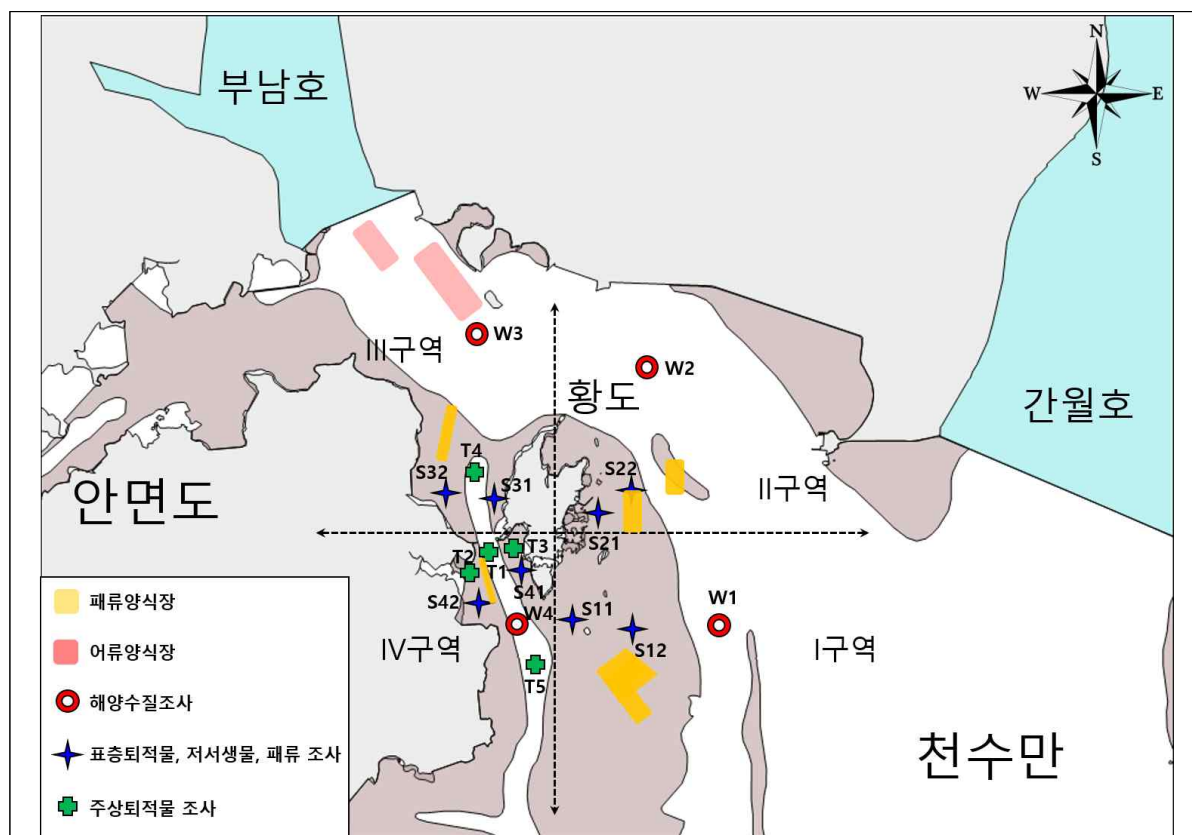
3

저서동물

1) 현장조사 개요

[1] 공간적 범위

- 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 갯벌 내 저서동물 조사를 수행하였다[그림 3-19].



[그림 3-19] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락) 조사정점

[2] 시간적 범위

- 조사는 2020년 7월 7~8일에 저서동물 및 패류자원을 조사하였다.

[3] 내용적 범위

- 황도 주변 갯벌에서의 저서동물 및 패류자원(바지락) 조사를 수행하였다 [표 3-20].

[표 3-20] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치

구 분	정점	조사좌표		2018년도 정점과 비교
		위도	경도	
I 구역	S1-1	36° 35'26.10"N	126° 23'01.00"E	I 구역 정점
	S1-2	36° 35'17.20"N	126° 23'23.60"E	
II 구역	S2-1	36° 35'54.07"N	126° 23'11.50"E	II 구역 정점
	S2-2	36° 35'50.10"N	126° 23'26.40"E	
III 구역	S3-1	36° 35'58.80"N	126° 22'32.10"E	III 구역 정점
	S3-2	36° 36'15.71"N	126° 22'13.92"E	
IV 구역	S4-1	36° 35'34.80"N	126° 22'40.70"E	IV 구역 정점
	S4-2	36° 35'27.39"N	126° 22'23.83"E	

2) 현장조사 방법

[1] 시료채취 방법

① 대형저서동물 현장채집 방법

- 각 정점은 도보로 접근하여 표면적 0.1 m²이 되도록 상자형 코아 채취기(Box corer)를 이용하여 정점별로 반복 채집하였다.
- 채집된 저질퇴적물은 현장에서 1 mm 망목의 체로 걸러내어 대형저서동물을 분리한 후, 10% 포르말린 용액으로 고정하여 실험실로 운반하였다.
- 실험실에서는 생물을 골라내는 선별작업을 거친 후, 해부 현미경과 고배율 현미경을 이용하여 종 수준까지 동정하였다.
- 동정된 각각의 종들에 대하여 개체수를 계수하고 생체량을 측정하였으며, 이 값들을 1 m² 단위 면적당 값으로 환산하여 저서동물군집의 생태학적 분석에 이용하였다.

② 패류자원 현장채집 방법

- 황도의 패류자원 중 바지락을 대상으로 총 4개의 구역을 선정하여 2019년 6월에 현장조사를 수행하였다.
- 각 정점은 도보로 접근하여 50×50 cm 크기의 방형구를 이용하여 표층부터 바지락이 서식하지 않는 층까지 퇴적물과 바지락을 채집하여 5 mm 체로 걸러서 2회 반복하여 바지락만을 채집한 후 평균 서식밀도를 1 m² 단위 면적당 값으로 환산하였다.

3) 시료의 전처리 및 분석

[1] 통계분석 방법

① 군집생태지수

종 다양도 지수 (Shannon and Wiener, 1963)	종 균등도 지수 (Pielou, 1969)	종 풍부도 지수 (Margalef, 1958)
$H = -\sum_{i=1}^s P_i \times \ln P_i$	$J = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$	$D = (S-1)/\ln N$
여기서, S : 출현종수 Pi : 총 출현 개체수(N)에 대한 i번째 종의 개체수(ni)의 비율 (ni/N)	여기서, S : 출현종수 H' : 다양도 지수	여기서, S : 출현종수

② 다변량 분석

- 저서동물 군집의 시·공간적인 분포 특성을 요약하기 위해 다변량 분석 기법인 집괴분석(Cluster analysis)과 다차원척도법(non-metric multi-dimensional scaling)을 실시하였다. 종별 서식밀도와 생체량 자료를 각각 변환하여 이를 바탕으로 정점 간 유사도의 측정(Bray-Curtis similarity) 후, 유사도 지수 행렬로부터 각 그룹을 연결(group average method)하였다.
- 구분되어진 정점군의 특징종(기여종)을 파악내기 위해서 SIMPER(similarity percentage) 분석을 실시하였다.
- 구분된 각 군집의 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 이용하였다. 분석 결과 중 R 값(R statistic)은 -1 ~ 1 의 범위를 가지며, 양수는 군집

내 유사성이 군집 간 유사성보다 크다는 것을 의미하며, 음수는 군집 내 보다 군집 간 유사성이 높음(생태적으로 발생할 가능성이 적음)을 의미한다. 또한, R 값이 1에 가까워질수록 군집 간 유사성 차이가 커지며, 반면 0에 가까울수록 군집 내와 군집 간 유사성 차이가 없음을 뜻한다.

③ 저서동물과 환경요인 간 상관관계 분석

- 황도 갯벌 저서동물(출현종수, 서식밀도, 생체량, 종 다양성 지수)과 퇴적환경요인(평균 입경, 모래함량, 분급도, 유기물 함량 등)간 상관관계를 파악하기 위해 비모수통계에 의한 Spearman rank correlation을 실시하였다.
- 상관분석은 SPSS 25 통계프로그램을 이용하여 분석을 수행하였다.

④ 건강도 지수(ISEP)

- ISEP(Inverse function of Shannon–Wiener evenness proportion) 지수는 대형 저서동물군집에 반영된 스트레스의 정도를 나타내는 지수이며(Yoo et al., 2010), 대형저서동물을 대상으로 생체량 기준의 균등도(J') 또는 다양도 지수(H')와 서식밀도 기준의 균등도(J') 또는 다양도 지수(H')를 이용하여 계산하였다.

$$ISEP = \log_{10}(1/SEP + 1)$$

$$SEP = E(Biomass)/E(abundance) = H'(biomass)/H'(abundance)$$

- 각 정점별 ISEP 지수 분포에 기초한 배점 기준은 채집방법(원통주상채니기)과 정점별 조위에 따른 기준을 적용하였으며, 지수 결과값에 따라 ISEP등급으로 구분하였다.
- ISEP 등급은 1등급에서 7등급까지의 총 7등급으로 나뉘며, 1등급으로 갈수록 저서생태계의 건강도가 양호함을 의미하며, 1등급은 “매우 좋음”, 2~3등급은 “좋음”, 4등급은 “보통”, 5~6등급은 “나쁨”, 7등급은 “매우 나쁨” 으로 표현하였다[표 3-21].

[표 3-21] ISEP 분포에 기초한 조간대 배점 기준

등 급		Percentile (%)	ISEP index (조간대)			
			Tidal level 1		Tidal level 1.5-3	
			MGS≤2,660 or>3,632	>2,660~≤3,632	MGS≤2,660 or>3,632	>2,660~≤3,632
매우 좋음	1	>90	>0.75	>0.91	>1.02	>0.98
좋은	2	>80 ~ ≤90	>0.59 ~ ≤0.75	>0.64 ~ ≤0.91	>0.72 ~ ≤1.02	>0.70 ~ ≤0.98
	3	>60 ~ ≤80	>0.48 ~ ≤0.59	>0.46 ~ ≤0.64	>0.52 ~ ≤0.72	>0.56 ~ ≤0.70
보통	4	>40 ~ ≤60	>0.39 ~ ≤0.48	>0.44 ~ ≤0.46	>0.42 ~ ≤0.52	>0.48 ~ ≤0.56
나쁨	5	>20 ~ ≤40	>0.32 ~ ≤0.39	>0.35 ~ ≤0.44	>0.34 ~ ≤0.42	>0.39 ~ ≤0.48
	6	>10 ~ ≤20	>0.26 ~ ≤0.32	>0.23 ~ ≤0.35	>0.29 ~ ≤0.34	>0.33 ~ ≤0.39
매우 나쁨	7	≤10	≤0.26	≤0.23	≤0.29	≤0.33

[2] 저서동물 분석방법

- 현장에서 채집된 바지락은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후, 각장, 각고와 각폭을 디지털 캘리퍼스로 소수점 이하 둘째자리까지 mm 단위로 측정하였으며, 전 중량을 측정한 후 육질 중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 측정하였다[그림 3-21].
- 이 자료를 바탕으로 비만도지수(Condition Index) 를 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{비만도 (CI)} = \text{체조직 습중량} / \text{건중량}$$



[그림 3-20] 황도 갯벌 저서동물 채집 및 측정 사진

[3] 패류자원

① 패류 현장채집 방법

- 황도 갯벌을 대상으로 4개 구역(I 구역~IV구역)으로 구획하여, 각 구역마다 2개 정점을 각각 선정하여 2019년 6월에 현장조사를 수행하였다.
- 각 정점은 도보로 접근하여 50cm×50cm 크기의 방형구를 이용하여 퇴적물을 채집하여 5 mm 체로 걸러서 2회 반복하여 패류자원(유용수산물)을 선별한 후 서식밀도를 단위 면적(m²)으로 환산하였다[그림 3-20].

② 개체군 현황

- 현장에서 채집된 패류자원은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후, 각장, 각고와 각폭을 디지털 캘리퍼스로 소수점 이하 둘째자리까지 mm 단위로 측정하였으며, 전중량을 측정한 후 육중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 소수점 첫째자리까지 g 단위로 측정하였다.

③ 비만도

- 이 자료를 바탕으로 비만도지수(Condition Index, CI)를 다음과 같은 식으로 산출하였다.

$$\text{비만도(CI)} = \text{체조직 습중량} / \text{패각 건중량}$$

④ 패류자원과 환경요인간 상관관계 분석

- 패류자원 중별 서식밀도와 퇴적환경요인(평균입경, 모래함량, 분급도, 유기물 함량 등) 간 상관관계를 파악하기 위해 비모수통계에 의한 Spearman rank correlation을 실시하였다.
- 상관분석은 SPSS 25 통계프로그램을 이용하여 분석을 수행하였다.

4) 현장조사 결과

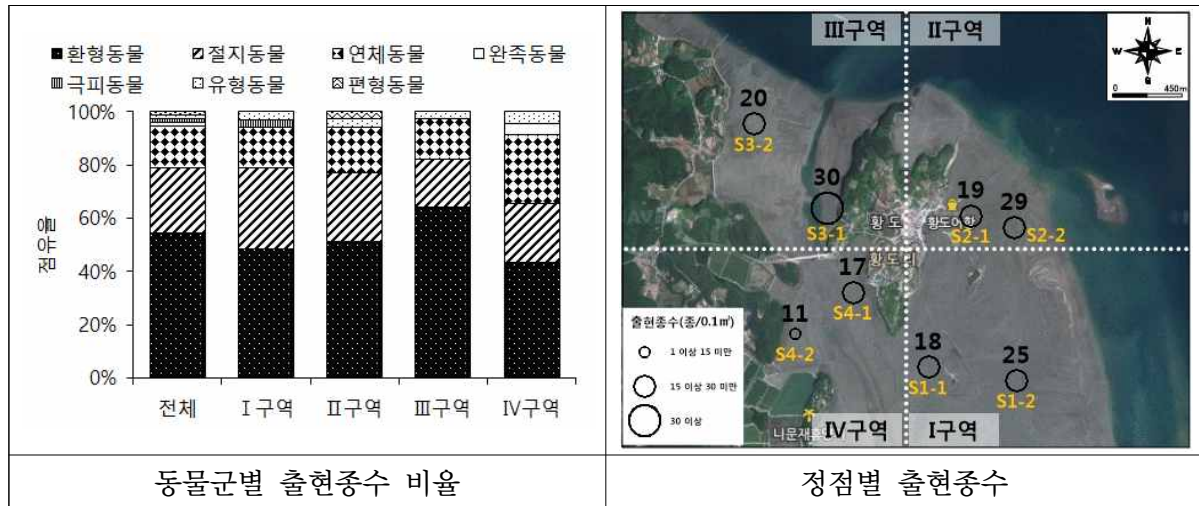
[1] 대형저서동물

① 종 조성

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물은 총 70종/0.8 m²이 출현하였다.
- 정점별 평균 출현종수는 21±6종/0.1 m² (11~30종/0.1 m²)으로 정점 S3-1에서 가장 높고, 정점 S4-2에서 가장 낮았으며, 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다 [표 3-22, 그림 3-21].
- 구역별 평균 출현종수는 14±4~25±7종/0.1 m² 범위로 Ⅲ구역에서 가장 높고, Ⅳ구역이 가장 낮았으며, 모든 구역에서 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다[표 3-22, 그림 3-21].

[표 3-22] 황도 갯벌 저서동물의 출현종수(단위:종/0.1m², 평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
환형동물	12	11	8	17	22	10	8	4	38
절지동물	5	8	6	6	3	4	3	3	17
완족동물	—	—	—	—	—	—	1	—	1
극피동물	—	1	—	—	—	—	—	—	1
연체동물	1	4	4	5	4	6	4	3	11
유형동물	—	1	1	—	1	1	1	1	1
편형동물	—	—	—	1	—	—	—	—	1
합계	18	25	19	29	30	20	17	11	70
평균	22±5		24±7		25±7		14±4		21±6



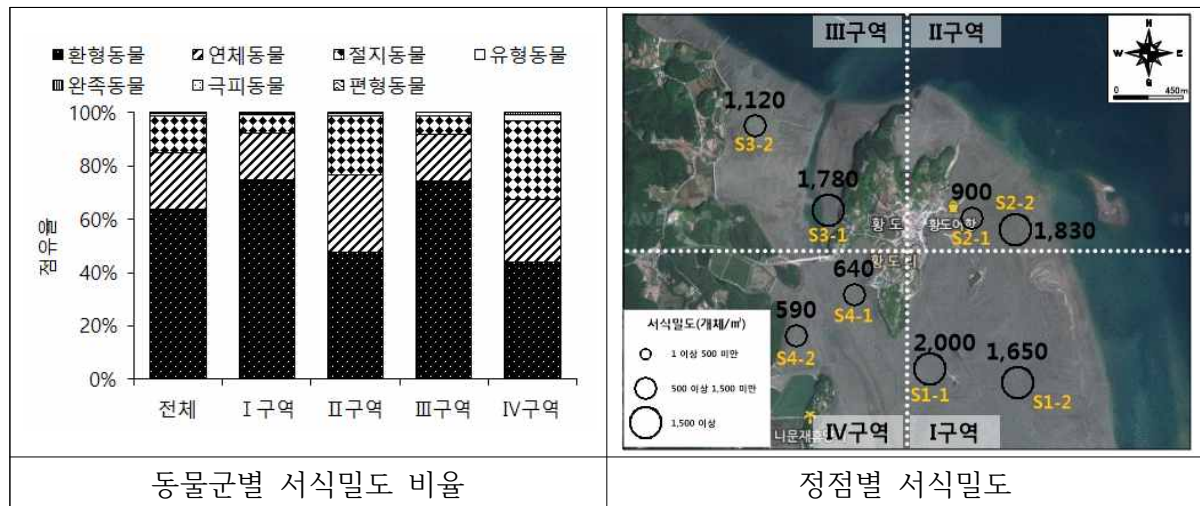
[그림 3-21] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 출현종수 비율 및 정점별 출현종수

② 서식밀도

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 서식밀도는 $1,314 \pm 567$ 개체/ m^2 ($590 \sim 2,000$ 개체/ m^2)으로 정점 S1-1에서 가장 높고, 정점 S4-2에서 가장 낮았으며, 모든 정점에서 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다[표 3-23, 그림 3-22].
- 구역별 평균 서식밀도는 $615 \pm 35 \sim 1,825 \pm 247$ 개체/ m^2 범위로 I구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았으며, 모든 구역에서 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다[표 3-23, 그림 3-22].

[표 3-23] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도(단위:개체/m², 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
환형동물	1,840	890	430	870	1,430	730	270	270	6,730
연체동물	50	590	260	540	250	250	160	130	2,230
절지동물	110	150	190	410	90	110	190	170	1,420
유형동물	—	10	20	—	10	30	10	20	100
완족동물	—	—	—	—	—	—	10	—	10
극피동물	—	10	—	—	—	—	—	—	10
편형동물	—	—	—	10	—	—	—	—	10
합계	2,000	1,650	900	1,830	1,780	1,120	640	590	10,510
평균	1,825 ± 247		1,365 ± 658		1,450 ± 467		615 ± 35		1,314 ± 567



[그림 3-22] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 서식밀도 비율 및 정점별 서식밀도수

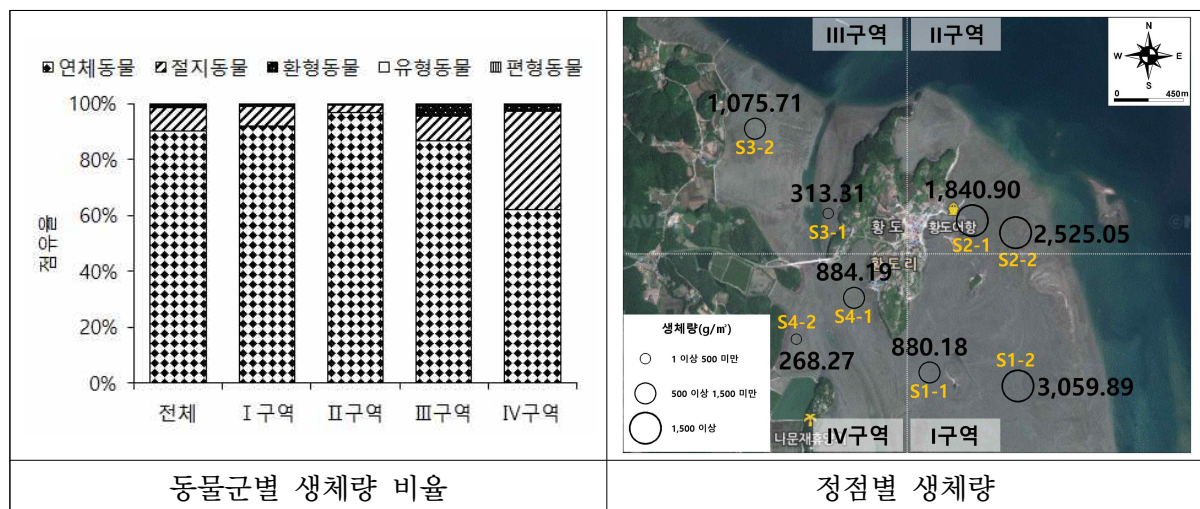
③ 생체량

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물 정점별 평균 생체량은 $860.1 \pm 650.2 \text{ g/m}^2$ ($122.1 \sim 2,178.4 \text{ g/m}^2$)으로 정점 S2-2에서 가장 높고, 정점 S1-1에서 가장 낮았으며, 모든 정점에서 연체동물이 주요 동물군으로 출현하였다[표 3-24, 그림 3-23].

- 구역별 평균 생체량은 $444.5 \pm 112.6 \sim 1,639.2 \pm 762.5 \text{ g/m}^2$ 범위로 II구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았으며, 모든 구역에서 연체동물이 주요 동물군으로 출현하였다.

[표 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 생체량(단위: g/m^2 , 평균 \pm 표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
연체동물	44.7	955.1	1,020.7	2,133.6					
절지동물	53.4	138.8	49.5	27.5					
환형동물	24.0	20.0	29.8	27.3					
극피동물	—	20.7	—	—					
유형동물	—	12.0	0.1	—					
완족동물	—	—	—	—					
편형동물	—	—	—	< 0.1					
합계	122.1	1,146.5	1,100.1	2,178.4					
평균	634.3 ± 724.4		$1,825 \pm 247$		$1,825 \pm 247$		$1,825 \pm 247$		$1,825 \pm 247$



[그림 3-23] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량

④ 우점종

■ 서식밀도 기준 우점종

- 조사지역에서 출현한 저서동물의 서식밀도를 기준으로 상위 5위까지 우점종으로 선정하였다[표 3-25, 그림 3-24].
- 2020년 7월 조사결과, 환형동물에 속하는 다모류인 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*)가 전체 서식밀도의 21.2% (273 ± 232 개체/ m^2)를 차지하며 최우점하였고, 그 다음으로 다모류인 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)가 14.1% (185 ± 215 개체/ m^2), 연체동물에 속하는 이매패류인 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 10.4% (136 ± 197 개체/ m^2), 복족류인 갯비틀이고동류(*Cerithideopsilla* sp.)가 7.2% (94 ± 50 개체/ m^2), 다모류인 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 5.9%(78 ± 48 개체/ m^2)의 점유율을 나타냈다.
- 버들갯지렁이류와 고리버들갯지렁이는 모든 정점에서 관찰되었으며, 바지락, 갯비틀이고동류와 짧은다리송곳갯지렁이는 대부분 정점에서 관찰되었다.
- 바지락은 I 구역과 II 구역에서 주로 분포하였으며, 특히 조간대 하부에 속하는 정점 S1-2과 S2-2에서 높은 서식밀도를 나타냈다.

[표 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(단위:개체/ m^2 , 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		평균 (우점율)
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i>)	680	490	70	160	460	120	70	170	278 ± 232 (21.2%)
고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i>)	640	110	70	10	320	250	70	10	185 ± 215 (14.1%)
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	—	530	130	340	80	—	—	10	136 ± 197 (10.4%)
갯비틀이고동류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.)	50	—	100	140	130	130	130	70	94 ± 50 (7.2%)
왕좁쌀무늬고동 (<i>Hima festiva</i>)	160	110	80	100	40	70	60	—	78 ± 48 (5.9%)



버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*)

고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)

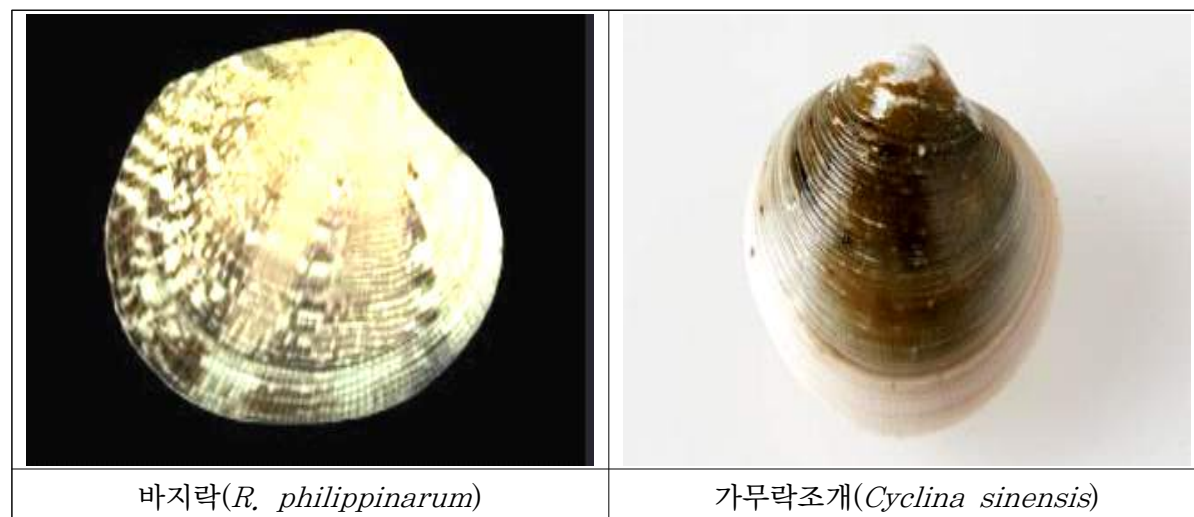
[그림 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 주요 우점종

■ 생체량 기준 우점종

- 조사지역에서 출현한 저서동물의 생체량을 기준으로 상위 5위까지 우점종으로 선정하였다[표 3-26, 그림 3-25].
- 2020년 7월 조사결과, 바지락(*R. philippinarum*)이 전체 생체량의 68.8% (506.0 ± 703.6 g/m²)를 차지하며 최우점하였고, 그 다음으로 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개(*C. sinensis*)가 13.2% (113.9 ± 225.4 g/m²), 갯비틀이고동류(*Cerithideopsilla* sp.)가 13.1% (112.4 ± 65.2 g/m²), 절지동물에 속하는 게류인 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 5.2% (44.8 ± 57.4 g/m²), 농게(*Uca arcuata*)가 2.1% (18.3 ± 48.9 g/m²)의 점유율을 나타냈다.
- 바지락은 I 구역, II 구역에 주로 분포하였으며, 특히 조간대 하부에 속하는 정점 S2-2에서 높은 생체량을 나타냈다.
- 가무락조개와 갯비틀이고동류는 모든 구역에서 관찰되었으며 가무락조개는 III구역, 갯비틀이고동류는 IV구역에서 높은 생체량을 나타냈다.
- 칠게는 I 구역, III구역과 IV구역에서 출현하여 I 구역에서 높은 생체량을 나타냈으며, 농게는 IV구역에서만 출현하였다.

[표 3-26] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 우점종(단위:g/m², 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		평균 (우점율)
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	—	932.6	899.9	1,939.6	271.4	—	—	5.3	506.0± 703.1 (58.8%)
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	—	11.9	—	19.7	39.3	648.3	192.0	—	113.9± 225.4 (13.2%)
갯비틀이고둥류 (<i>Cerithiideopsilla</i> sp.)	44.7	—	114.9	149.3	84.2	163.1	192.3	150.6	112.4± 62.2 (13.1%)
칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	19.9	125.6	—	—	—	94.3	118.3	—	44.8± 57.4 (5.2%)
농게 (<i>Uca arcuata</i>)	—	—	—	—	—	—	7.4	139.1	18.3± 48.9 (2.1%)



[그림 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 주요 우점종

⑤ 생태학적 지수

■ 종다양성지수

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 종다양성지수는 2.36 ± 0.32 (1.90~2.73)으로 정점 S2-2에서 가장 높고, 정점 S1-1에서 가장 낮았다[표 3-27, 그림 3-27].
- 구역별 평균 종다양성지수는 $2.01 \pm 0.15 \sim 2.68 \pm 0.07$ 범위로 II 구역에서 가장 높고, I 구역이 가장 낮았다.

[표 3-27] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종다양성지수(평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
종다양성지수	1.90	2.12	2.63	2.73	2.69	2.44	2.40	2.00	2.36
	2.01±0.15		2.68±0.07		2.57±0.18		2.20±0.28		±0.32

■ 종균등도지수

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 종균등도지수는 0.79 ± 0.09 (0.66~0.89)로 정점 S2-1에서 가장 높고, 정점 S1-1, S2-2에서 가장 낮았다[표 3-28, 그림 3-26].
- 구역별 평균 종균등도지수는 $0.66 \pm 0.00 \sim 0.85 \pm 0.06$ 범위로 II 구역에서 가장 높고, I 구역이 가장 낮았다.

[표 3-28] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종균등도지수(평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
종균등도지수	0.66	0.66	0.89	0.81	0.79	0.81	0.85	0.84	0.79 ±0.09
	0.66±0.00		0.85±0.06		0.80±0.02		0.84±0.01		

■ 종풍부도지수

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물 구역별 평균 종 풍부도지수는 $2.81 \pm 0.77(1.57 \sim 3.88)$ 로 정점 S3-1에서 가장 높고, 정점 S4-2에서 가장 낮았다[표 3-29, 그림 3-26].
- 구역별 평균 종풍부도지수는 $2.02 \pm 0.64 \sim 3.29 \pm 0.83$ 범위로 Ⅲ구역에서 가장 높고, Ⅳ구역이 가장 낮았다.

[표 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종풍부도지수(평균±표준편차)

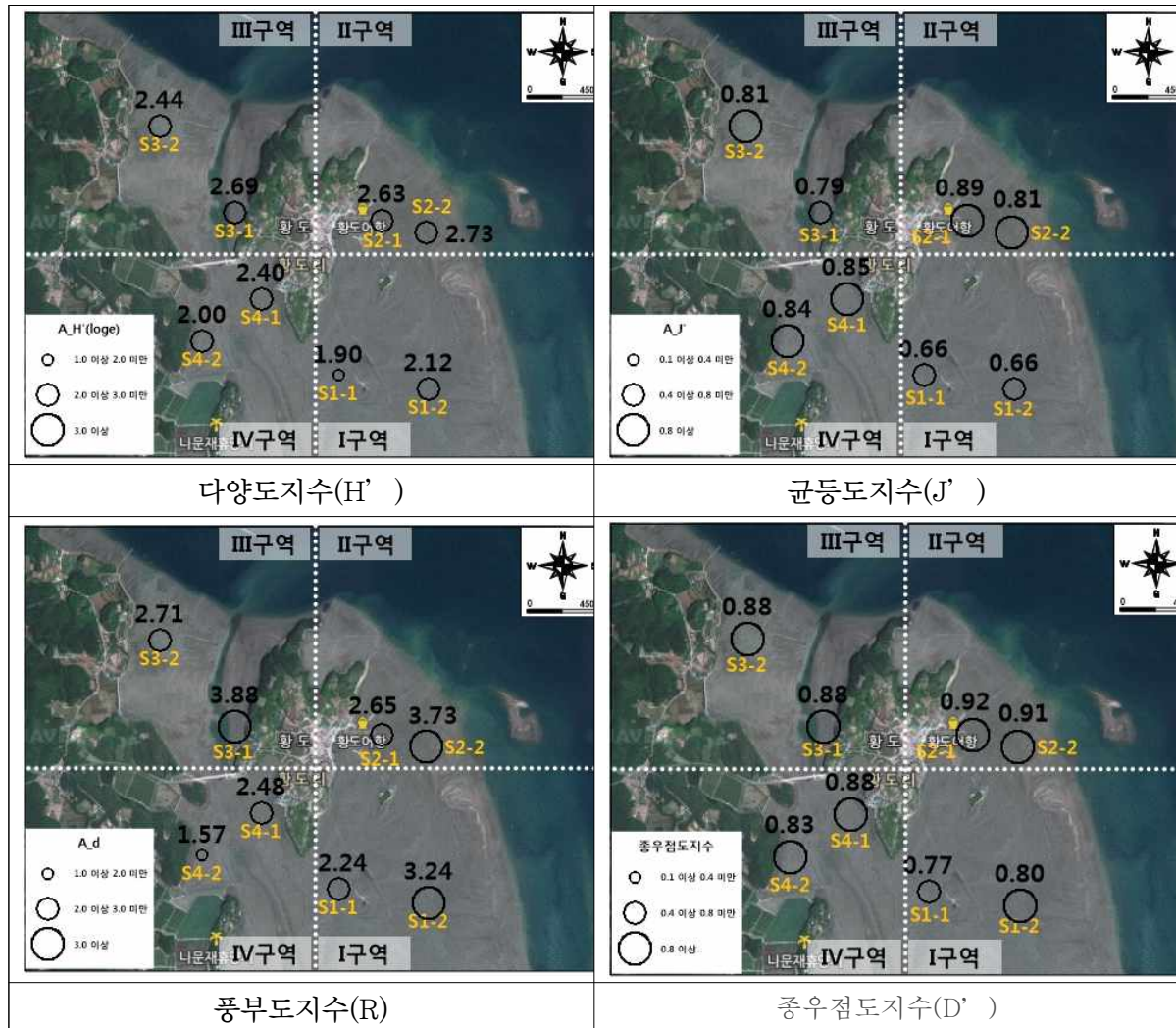
구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
종풍부도지수	2.24	3.24	2.65	3.73	3.88	2.71	2.48	1.57	2.81 ±0.77
	2.74±0.71		3.19±0.76		3.29±0.83		2.02±0.64		

■ 종우점도지수

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물 구역별 평균 종 우점도지수는 $0.86 \pm 0.05(0.77 \sim 0.92)$ 로 정점 S2-1에서 가장 높고, 정점 S1-1에서 가장 낮았다[표 3-30, 그림 3-26].
- 구역별 평균 종우점도지수는 $0.78 \pm 0.02 \sim 0.91 \pm 0.00$ 범위로 Ⅱ 구역에서 가장 높고, Ⅰ 구역이 가장 낮았다.

[표 3-30] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종우점도지수(평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
종풍부도지수	0.77	0.80	0.92	0.91	0.88	0.88	0.88	0.83	0.86
	0.78±0.02		0.91±0.00		0.88±0.00		0.86±0.04		±0.05



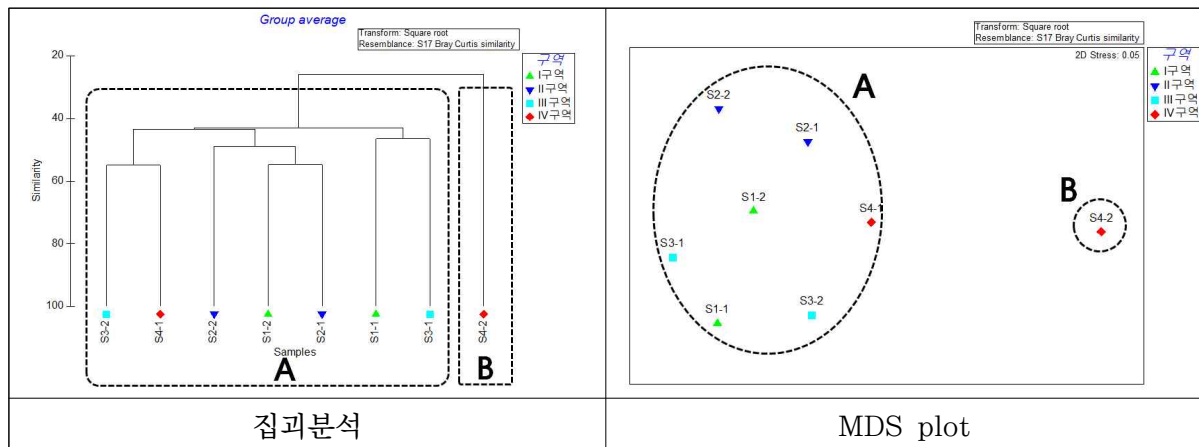
[그림 3-26] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교

⑥ 군집 및 MDS 분석

- 황도 갯벌 저서동물 군집의 공간적인 분포 특성을 파악하기 위해서 2020년 7월에 조사된 종별 서식밀도 및 생체량 자료를 바탕으로 집괴분석(Cluster analysis)과 다차원척도법(non-metric multi-dimensional scaling)분석을 각각 실시하였다. 구분된 군집의 기여종(특징종)을 파악하기 위해 SIMPER(similarity percentage) 분석하였다. 더불어 구역에 따른 군집의 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 이용하였다.

■ 서식밀도 기준

- 서식밀도 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 정점군 2개(A, B)로 구분되었다 [그림 3-27, 표 3-31].
- 정점군별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 정점군 A의 경우, 정점 S1-1, S1-2, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2와 S4-1로 이루어졌으며, 기여종은 버들갯지렁이류(*M. californiensis*, 17.1%), 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*, 13.1%), 짧은다리송곳갯지렁이(*L. nipponica*, 12.4%) 등이 선정되었다.
- 정점군 B는 정점 S4-2로 단일 정점으로 이루어졌으며, 이에 따라 기여종 선정이 불가능하였다.
- 서식밀도 기준 저서동물 군집은 구역에 따른 차이는 없었으며(Global R: 0.313, $p>0.05$), 환경동물에 속하는 다모류의 출현 양상에 따라 군집 차이를 보인 것으로 판단되었다[표 3-32].



[그림 3-27] 다변량 분석을 통한 황도 갯벌 저서동물 군집 분포(서식밀도 기준)

[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여종(서식밀도 기준)

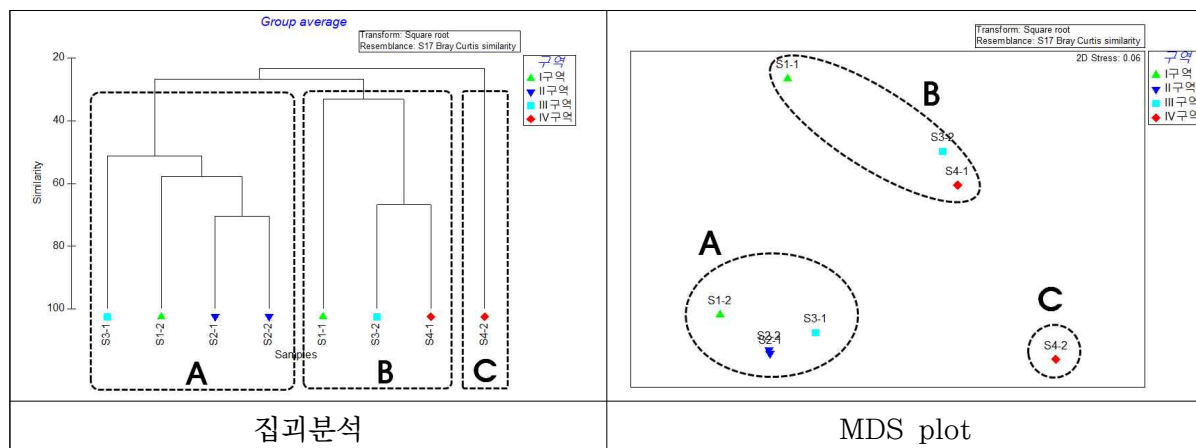
정점군	A	B
정점	S1-1, S1-2, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2, S4-1	S4-2
기여종 (기여율)	버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i> , 17.1%)	—
	고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i> , 13.1%)	—
	짧은다리송곳갯지렁이 (<i>Lumbrineris nipponica</i> , 12.4%)	—

[표 3-32] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(서식밀도 기준)

ANOSIM	항 목	R statistic	Significance(p)
구역간(I구역, II구역, III구역, IV구역)	서식밀도	0.313	p>0.05

■ 생체량 기준

- 생체량 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 정점군 3개(A, B, C)로 구분되었다 [그림 3-28, 표 3-33].
- 정점군별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 정점군 A의 경우, 정점 S1-2, S2-1, S2-2와 S3-1로 이루어졌으며, 기여종은 바지락(*R. philippinarum*, 57.6%), 갯바틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp., 12.3%)와 왕좁쌀무늬고둥(*H. festiva*, 7.0%) 등이 선정되었다.
- 정점군 B의 경우, 정점 S1-1, S3-2와 S4-1로 이루어졌으며, 기여종은 갯바틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp., 38.8%), 칠게(*M. japonicus*, 27.4%)와 가무락조개(*C. sinensis*, 17.6%) 등이 선정되었다.
- 정점군 C는 정점 S4-2로 구분되어졌으며, 정점군에 하나 정점만 포함되어 기여종 선정이 불가능하였다.
- 생체량 기준 저서동물 군집은 구역에 따른 차이는 없었으며(Global R: 0.333, p>0.05) [표 3-34], 단일 개체당 생체량이 높은 바지락과 가무락조개 출현 양상에 따라 군집 차이를 보인 것으로 판단되었다.



[그림 3-28] 다변량 분석을 통한 황도 갯벌 저서동물 군집 분포(생체량 기준)

[표 3-33] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여종(생체량 기준)

정점군	A	B	C
정점	S1-2, S2-1, S2-2, S3-1	S1-1, S3-2, S4-1	S4-2
기여종 (기여율)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i> , 57.6%)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp., 38.8%)	—
	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp., 12.3%)	칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i> , 27.4%)	—
	왕좁쌀무늬고둥 (<i>Hima festiva</i> , 7.0%)	가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i> , 17.6%)	—

[표 3-34] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(생체량 기준)

ANOSIM	항 목	R statistic	Significance(p)
구역간(I 구역, II 구역, III 구역, IV 구역)	생체량	0.333	p>0.05

⑦ 저서동물과 퇴적환경요인 간의 상관관계

- 황도 갯벌 저서동물(출현종수, 서식밀도, 생체량, 종다양도지수)과 퇴적환경요인(평균입경, 모래함량, 분급도, 유기물 함량, 중금속 등)간의 개별적 상관성을 알아보기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 분석하였다[표 3-35].
- 생체량은 중금속 중 Cr, Co, Ni, Cd과 유의한 음의 상관성을 나타내어($p < 0.05$), 이는 중금속 농도가 높아질수록 생체량이 감소하는 것으로 분석되었다.

[표 3-35] 황도 갯벌 저서동물과 퇴적환경요인 간 상관관계

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

구 분		출현종수	서식밀도	생체량	종다양성지수
모래함량(%)		0.595	0.619	0.667	0.476
평균입경(ϕ)		-0.619	-0.619	-0.452	-0.643
분급도(ϕ)		-0.095	-0.405	-0.524	0.143
함수율(%)		-0.190	-0.429	-0.143	-0.429
AVS(mg/g)		0.778	0.372	0.338	0.068
강열감량(%)		0.262	-0.333	-0.024	0.452
TOC(%)		0.119	0.167	-0.524	-0.429
COD(mg/g)		-0.119	-0.405	-0.452	-0.357
중금속	Cr(mg/kg)	-0.238	-0.500	-0.571	-0.286
	Cu(mg/kg)	-0.310	-0.310	-0.833*	-0.262
	Cd(mg/kg)	-0.214	-0.357	-0.714*	-0.238
	Pb(mg/kg)	-0.119	-0.190	-0.738*	-0.167
	Zn(mg/kg)	-0.143	-0.310	-0.690	-0.214
	Ni(mg/kg)	-0.071	-0.381	-0.548	-0.167
	Li(mg/kg)	-0.095	0.048	-0.690	-0.310
	As(mg/kg)	-0.238	-0.238	-0.762*	-0.286
	Hg(μ g/kg)	0.405	0.619	-0.119	0.167

⑧ 건강도 지수(ISEP)

- 2020년 7월 황도 갯벌의 건강도 지수(ISEP) 등급은 정점별 평균 4 ± 2 등급(2~7등급)으로 정점 S2-2에서 가장 양호하고, 정점 S1-1에서 가장 낮은 건강도로 추정되었다 [표 3-36].
- 구역별 평균 건강도 지수 등급은 $3 \pm 1 \sim 5 \pm 3$ 등급 범위로 II구역에서 가장 양호하고, I, IV구역은 “나쁨”에 해당되는 건강도로 추정되었다.

[표 3-36] 황도 갯벌 저서동물의 건강도 지수(단위:등급, 평균±표준편차)

구분	I구역		II구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
건강도지수	7	3	3	2	4	4	4	5	4±2 (보통)
	(아주나쁨)	(중음)	(중음)	(중음)	(보통)	(보통)	(보통)	(나쁨)	
	5±3 (나쁨)		3±1 (중음)		4±0 (보통)		5±1 (나쁨)		

⑨ 저서오염지수(Benthic Pollution Index)

- 2020년 7월 황도 갯벌의 저서오염지수(Benthic Pollution Index)는 정점별 평균 50 ± 14 (중간 오염)으로 정점 S2-2에서 가장 높고, 정점 S1-1에서 가장 낮았다[표 3-37].
- 구역별 평균 저서오염지수는 $39 \pm 23 \sim 65 \pm 0$ 등급 범위로 II구역에서 “정상”을 나타냈으며, I구역은 “심한 오염”에 해당되는 건강도로 평가되었다.
- II구역을 제외한 나머지 구역은 정상 범위에 벗어난 오염상태를 보인 것은 펼함량이 높은 지역에서 유기물이 축적되는 경우, 고밀도로 출현하는 기회종인 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)와 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)가 높은 출현량을 보였기 때문이다.

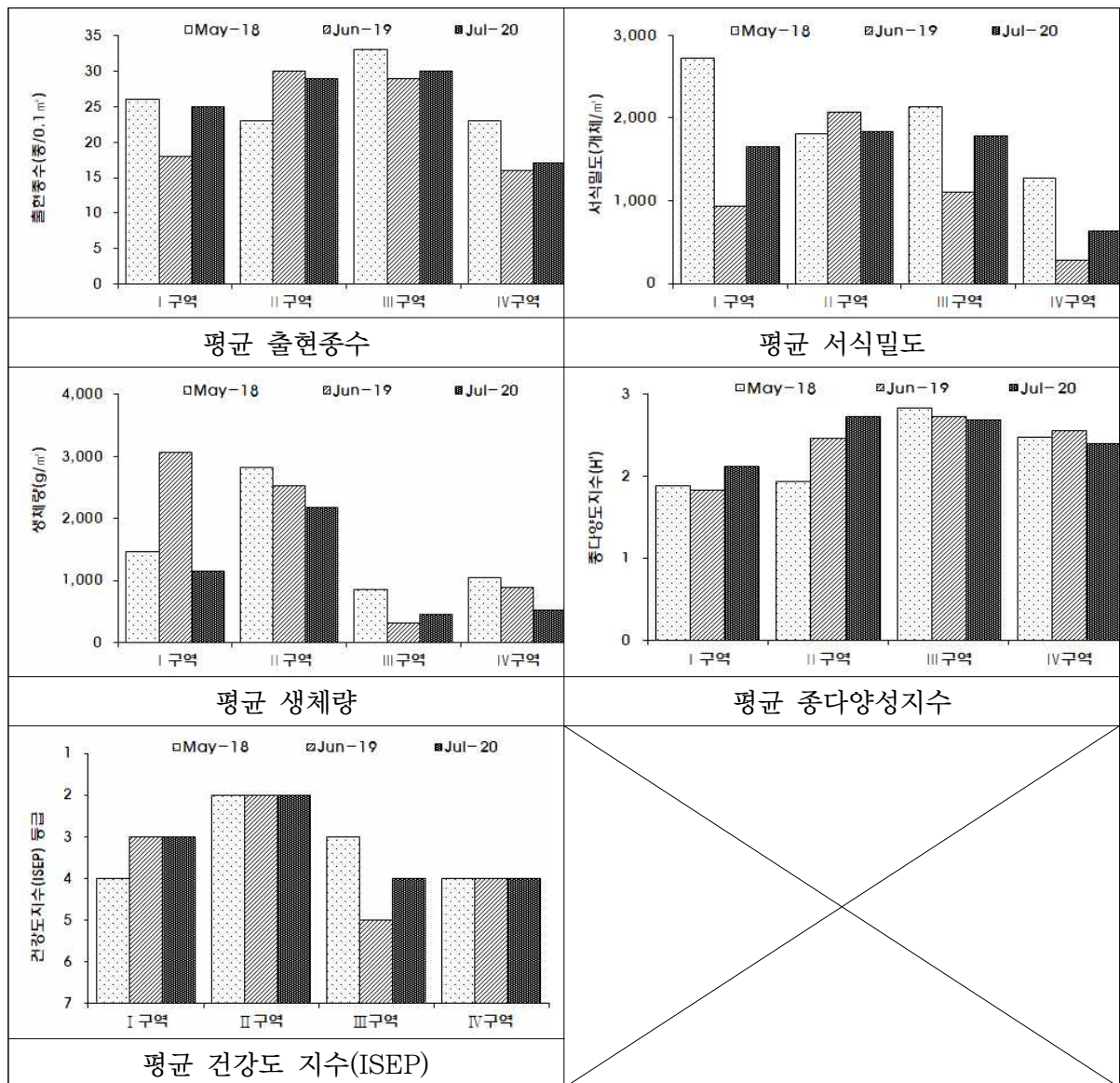
[표 3-37] 황도 갯벌 저서동물의 저서오염지수(단위:등급, 평균±표준편차)

구분	I구역		II구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
건강도지수	23 (극심한오염)	55 (약간 오염)	64 (정상)	65 (정상)	37 (심한 오염)	46 (중간 오염)	57 (약간 오염)	51 (약간 오염)	50 ± 14 (중간 오염)
	39 ± 23 (심한 오염)		65 ± 0 (정상)		42 ± 7 (중간 오염)		54 ± 4 (약간 오염)		

⑩ 과거 자료와의 비교 분석

- 황도 갯벌 저서동물을 대상으로 동일 지점(S1-2, S2-2, S3-1, S4-1)에서 조사된 2018년 5월, 2019년 6월과 본 조사 결과(2020년 7월)를 비교·분석하였다[그림 3-29, 표 3-38].
- 평균 출현종수는 2018년도가 26 ± 5 종/ 0.1m^2 , 2019년 23 ± 7 종/ 0.1m^2 으로 2020년도 25 ± 6 종/ 0.1m^2 과 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 살펴보면, IV구역에서 2018년도에 비해 감소한 것으로 보이나, 그 외의 구역은 증감 폭이 크지 않은 것으로 나타났다.
- 평균 서식밀도는 2018년도가 $1,985 \pm 602$ 개체/ m^2 , 2019년도 $1,095 \pm 740$ 개체/ m^2 , 2020년도에는 $1,475 \pm 562$ 개체/ m^2 로 감소 후 다시 증가하였다.
- 평균 생체량은 2018년도가 $1,547.6 \pm 887.6$ g/ m^2 , 2019년도 $1,695.6 \pm 1,306.2$ g/ m^2 , 2020년도 $1,076.5 \pm 797.5$ g/ m^2 으로 2020년도에 상대적으로 낮은 값을 나타냈다.
- 평균 종다양성지수는 2018년도 2.28 ± 0.45 로 2019년도 2.39 ± 0.39 , 2020년도에 2.48 ± 0.28 로 유사한 수준을 보였다.
- 건강도 지수(ISEP)는 2018년에 3 ± 1 등급(좋음), 2019년도 4 ± 1 등급(보통), 2020년 4 ± 2 등급(보통)으로 2018년에 비해 상대적으로 건강도가 하락하였으나, 유의미한 결과로 보여지지 않는다.
- 시기적인 건강도 등급 변화는 바지락 증감 폭에 따라 좌우되는 것으로 분석되었다.
- I 구역은 바지락의 생체량 우점율이 2018년도 75.7%에서 2019년도 92.1% 및 2020년도 81.3%로 2018년에 비해 건강도가 높게 평가되었다.
- III구역의 경우, 바지락의 생체량 우점율이 2018년도 77.8%에서 2019년도 45.8%로 대폭 감소하였지만 2020년도에 59.4%로 다시 높아졌는데 이는 조사시기가 각각 다름을 고려하면 바지락의 번식시기, 성장나이 등이 작용한 결과로 해석된다.
- 조사시기 간 상위우점종을 살펴보면, 먼저 서식밀도의 경우 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 모든 조사시기에서 최우점종을 차지하였으며, 그 나머지 우점종들도 조사시기 간 유사하였다.
- 생체량 상위우점종은 바지락(*R. philippinarum*)이 모든 조사시기에서 최우점종을 차지하였으며, 그 나머지 우점종들도 조사시기간 동일하게 상위우점종으로 선정되었다.

- 각 연차별 분석 결과의 차이는 생물학적 특성 및 기후적 요인에 의한 종패/치패의 갯벌내 유입특성의 년 변화와 함께 조사시기의 차이(5~7월까지의 산란기)와 장마 시작 전후에 따른 주변 하구호(부남호, 간월호)의 방류영향 등에 따라 나타난 것으로 분석된다.



[그림 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 현황 및 과거자료간 비교

[표 3-38] 황도 갯벌 저서동물의 과거자료 비교 · 분석

구분	황도 갯벌		
	2018년	2019년	2020년(본 조사)
조사시기	5월	6월	7월
평균 출현종수 (중/0.1m ²)	26 ± 5	23 ± 7	25 ± 6
평균 서식밀도 (개체/m ²)	1,985 ± 602	1,095 ± 740	1,475 ± 562
평균 생체량 (g/m ²)	1,547.57 ± 887.57	1,695.61 ± 1,306.19	1,076.46 ± 797.53
평균 종다양성지수 (H')	2.28 ± 0.45	2.39 ± 0.39	2.48 ± 0.28
평균 건강도 지수 (ISEP)	3 ± 1등급(좋음)	4 ± 1등급(보통)	3 ± 1등급(좋음)
서식밀도 상위우점종 (평균, 우점율)	버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i>) 550개체/m ² (27.7%)	버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i>) 188개체/m ² (17.2%)	버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i>) 343개체/m ² (21.9%)
	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 315개체/m ² (15.9%)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 175개체/m ² (16.0%)	고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i>) 260개체/m ² (16.6%)
	고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i>) 178개체/m ² (8.9%)	고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i>) 100개체/m ² (9.1%)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.) 113개체/m ² (7.2%)
	남방백금갯지렁이 (<i>Nephtys polybranchia</i>) 160개체/m ² (8.1%)	왕좁쌀무늬고둥 (<i>Hima festiva</i>) 90개체/m ² (8.2%)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 105개체/m ² (6.7%)
	숨털별난가시갯지렁이 (<i>Aricidea assimilis</i>) 103개체/m ² (5.2%)	숨털별난가시갯지렁이 (<i>Aricidea assimilis</i>) 70개체/m ² (6.4%)	짧은다리송곳갯지렁이 (<i>Lumbrineris nipponica</i>) 90개체/m ² (5.8%)
생체량 기준 상위우점종 (평균, 우점율)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 1,120.09g/m ² (72.4%)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 1,340.21g/m ² (79.0%)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>) 552.68g/m ² (67.4%)
	가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>) 143.47g/m ² (9.3%)	가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>) 137.86g/m ² (8.1%)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.) 117.63g/m ² (14.3%)
	굴 (<i>Crassostrea gigas</i>) 118.28g/m ² (7.6%)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.) 41.35g/m ² (2.4%)	가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>) 62.74g/m ² (7.6%)
	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.) 34.65g/m ² (2.2%)	칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i>) 34.35g/m ² (2.0%)	칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i>) 34.55g/m ² (4.2%)
	돌고부지 (<i>Trapezium liratum</i>) 19.31g/m ² (1.2%)	풀게 (<i>Hemigrapsus penicillatus</i>) 25.84g/m ² (1.5%)	썩붙이 (<i>Callianassa japonica</i>) 25.84g/m ² (1.5%)

[2] 패류

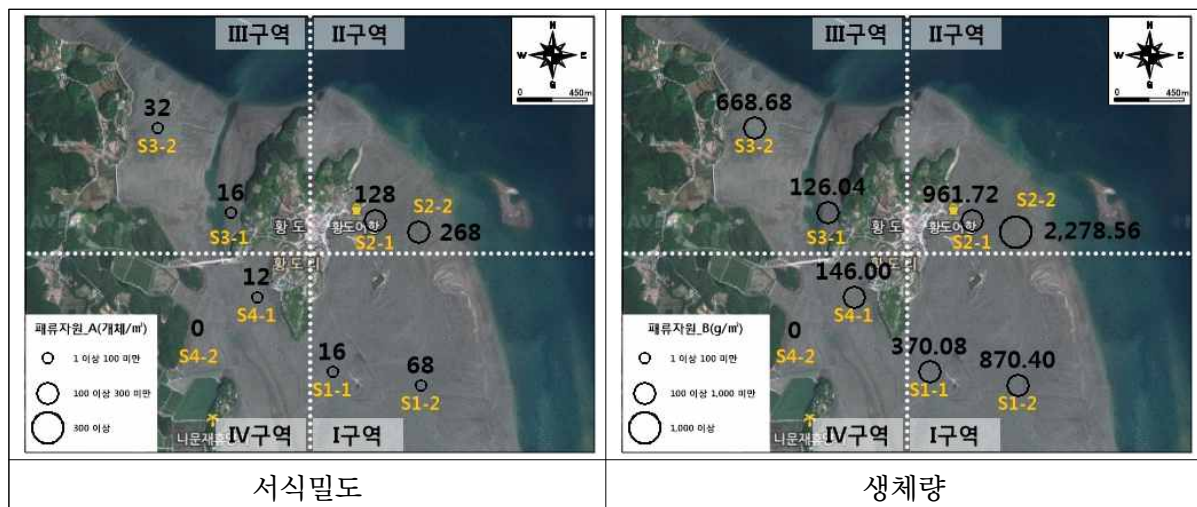
① 출현종수, 서식밀도 및 생체량

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원은 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개 (*Cyclina sinensis*)와 동죽(*M. quadrangularis*), 바지락(*Ruditapes philippinarum*)으로 총 3종이 채집되었다[표 3-39, 그림 3-30].
- 가무락조개는 I, III구역에서, 동죽은 I, IV구역에서 출현하였으며, 바지락은 IV구역을 제외한 모든 구역에서 출현하였다.
- 패류자원 서식밀도는 정점별 평균 68 ± 91 개체/ m^2 으로 정점 S2-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 구역별 평균은 $6 \pm 8 \sim 198 \pm 99$ 개체/ m^2 범위로 II구역에서 가장 높은 서식밀도를 나타내었다.
- 가무락조개는 정점별 평균 5 ± 11 개체/ m^2 로 정점 S3-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, III구역에서 가장 높은 서식밀도를 나타내었다.
- 동죽은 정점별 평균 4 ± 5 개체/ m^2 로 정점 S1-2, S4-1에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, I 구역에서 가장 높은 서식밀도를 나타내었다.
- 바지락은 정점별 평균 59 ± 95 개체/ m^2 로 정점 S2-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, II 구역에서 가장 높은 출현빈도와 서식밀도를 나타내었다.

[표 3-39] 황도 갯벌 패류자원의 출현종수 및 서식밀도(단위:개체/ m^2 , 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	8	—	—	—	—	32	—	—	5 ± 11
동죽 (<i>Macra quadrangularis</i>)	4	12	—	—	—	—	12	—	4 ± 5
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	4	56	128	268	16	—	—	—	59 ± 95
평균 서식밀도	42 ± 37		198 ± 99		24 ± 11		6 ± 8		68 ± 91
총 출현종수	3	2	1	1	1	1	1	0	3

- 패류자원 생체량은 정점별 평균 $477.7 \pm 738.9 \text{ g/m}^2$ 으로 S2-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, 구역별 평균은 $73.0 \pm 103.2 \sim 1,620.1 \pm 931.2 \text{ g/m}^2$ 범위로 II 구역에서 가장 높은 생체량을 나타냈다[표 3-40, 그림 3-30].
- 가무락조개(는 정점별 평균 $121.6 \pm 245.3 \text{ g/m}^2$ 로 정점 S3-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, III 구역에서 가장 높은 생체량을 보였다.
- 동죽은 정점별 평균 $45.1 \pm 70.9 \text{ g/m}^2$ 로 정점 S1-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, I 구역에서 가장 높은 생체량을 보였다.
- 바지락은 정점별 평균 $511.0 \pm 805.3 \text{ g/m}^2$ 로 정점 S2-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, II 구역에서 가장 높은 생체량을 기록하였다.



[그림 3-30] 황도 갯벌 패류자원의 서식밀도 및 생체량

[표 3-40] 황도 갯벌 패류자원의 생체량(단위:g/m², 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	304.0	—	—	—	—	668.7	—	—	121.6 ±245.3
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	48.1	166.7	—	—	—	—	146.0	—	45.1 ±70.9
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	18.0	703.7	961.7	2,278.6	126.0	—	—	—	511.0 ±805.3
평균 생체량	620.2 ±353.8		1,620.1 ±931.2		397.4 ±383.7		73.0 ±103.2		677.7 ±738.9

② 개체특성

■ 각장, 각폭, 각고

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 형태적 특성을 파악하기 위하여 각장, 각폭 및 각고를 분석하였으며, 각 종별로 제시하였다[표 3-41~43, 그림 3-31].
- 가무락조개 각장은 정점별 평균 42.04 ± 5.55 mm ($40.50 \pm 5.13 \sim 48.23 \pm 1.01$ mm)로 정점 S1-1에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 $40.50 \pm 5.13 \sim 48.23 \pm 1.01$ mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.
- 동죽 각장은 정점별 평균 36.47 ± 2.38 mm ($34.53 \pm 1.77 \sim 38.79 \pm 0.69$ mm)로 정점 S1-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 $34.53 \pm 1.77 \sim 37.93 \pm 1.61$ mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.
- 바지락 각장은 정점별 평균 35.70 ± 4.28 mm ($32.09 \pm 0.00 \sim 40.09 \pm 2.63$ mm)로 정점 S1-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 $33.40 \pm 3.30 \sim 39.56 \pm 3.23$ mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.

[표 3-41] 황도 갯벌 패류자원의 각장(단위:mm, 평균±표준편차)

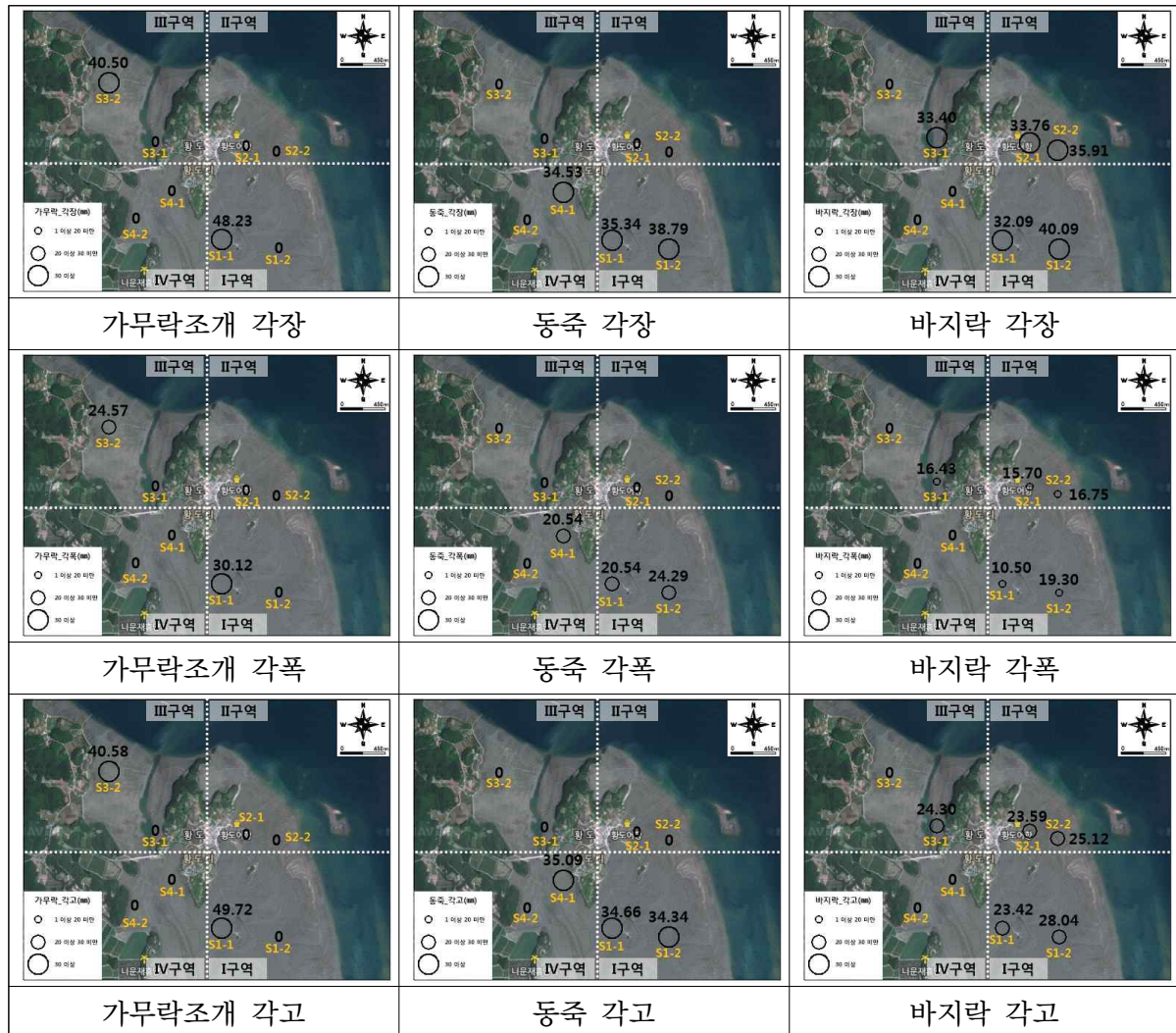
구분	I구역		II구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	48.23 ±1.01	—	—	—	—	40.50 ±5.13	—	—	42.04 ±5.55
	48.23±1.01		—		40.50±5.13		—		
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	35.34 ±0.00	38.79 ±0.69	—	—	—	—	34.53 ±1.77	—	36.47 ±2.38
	37.93±1.61		—		—		34.53±1.77		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	32.09 ±0.00	40.09 ±2.63	33.76 ±4.54	35.91 ±3.73	33.40 ±3.30	—	—	—	35.70 ±4.28
	39.56±3.23		35.21±4.14		33.40±3.30		—		

- 가무락조개 각쪽은 정점별 평균 25.68±3.70 mm (24.57±3.29~30.12±0.79 mm)로 정점 S1-1에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 24.57±3.29~30.12±0.79 mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.
- 동죽 각쪽은 정점별 평균 22.15±2.29 mm (20.54±0.00~24.29±1.34 mm)로 정점 S1-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 20.54±0.00~24.29±1.34 mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.
- 바지락 각쪽은 정점별 평균 16.70±2.49 mm (10.50±0.00~19.30±2.76 mm)로 정점 S1-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 16.41±2.17~18.71±3.45 mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.

[표 3-42] 황도 갯벌 패류자원의 각폭(단위:mm, 평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	30.12 ±0.79	—	—	—	—	24.57 ±3.29	—	—	25.68 ±3.70
	30.12±0.79		—		24.57±3.29		—		
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	20.54 ±0.00	24.29 ±1.34	—	—	—	—	20.54 ±1.56	—	22.15 ±2.29
	23.36±1.99		—		—		20.54±1.56		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	10.50 ±0.00	19.30 ±2.76	15.7± 2.17	16.75 ±2.09	16.43 ±1.85	—	—	—	16.70 ±2.49
	18.71±3.45		16.41±2.17		16.43±1.85		—		

- 가무락조개 각고는 정점별 평균 42.41 ± 6.26 mm ($40.58 \pm 5.67 \sim 49.72 \pm 0.60$ mm)로 정점 S1-1에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 $40.58 \pm 5.67 \sim 49.72 \pm 0.60$ mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.
- 동죽 각고는 정점별 평균 34.71 ± 2.11 mm ($34.34 \pm 1.81 \sim 35.09 \pm 2.62$ mm)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 $34.42 \pm 1.58 \sim 35.09 \pm 2.62$ mm 범위로 구역간 유사하였다.
- 바지락 각고는 정점별 평균 25.01 ± 3.04 mm ($23.42 \pm 0.00 \sim 28.04 \pm 1.61$ mm)로 정점 S1-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 $24.30 \pm 2.34 \sim 27.73 \pm 1.94$ mm 범위로 I 구역에서 가장 크게 나타났다.



[그림 3-31] 황도 갯벌 패류자원의 각장, 각폭 및 각고

[표 3-43] 황도 갯벌 패류자원의 각고(단위:mm, 평균±표준편차)

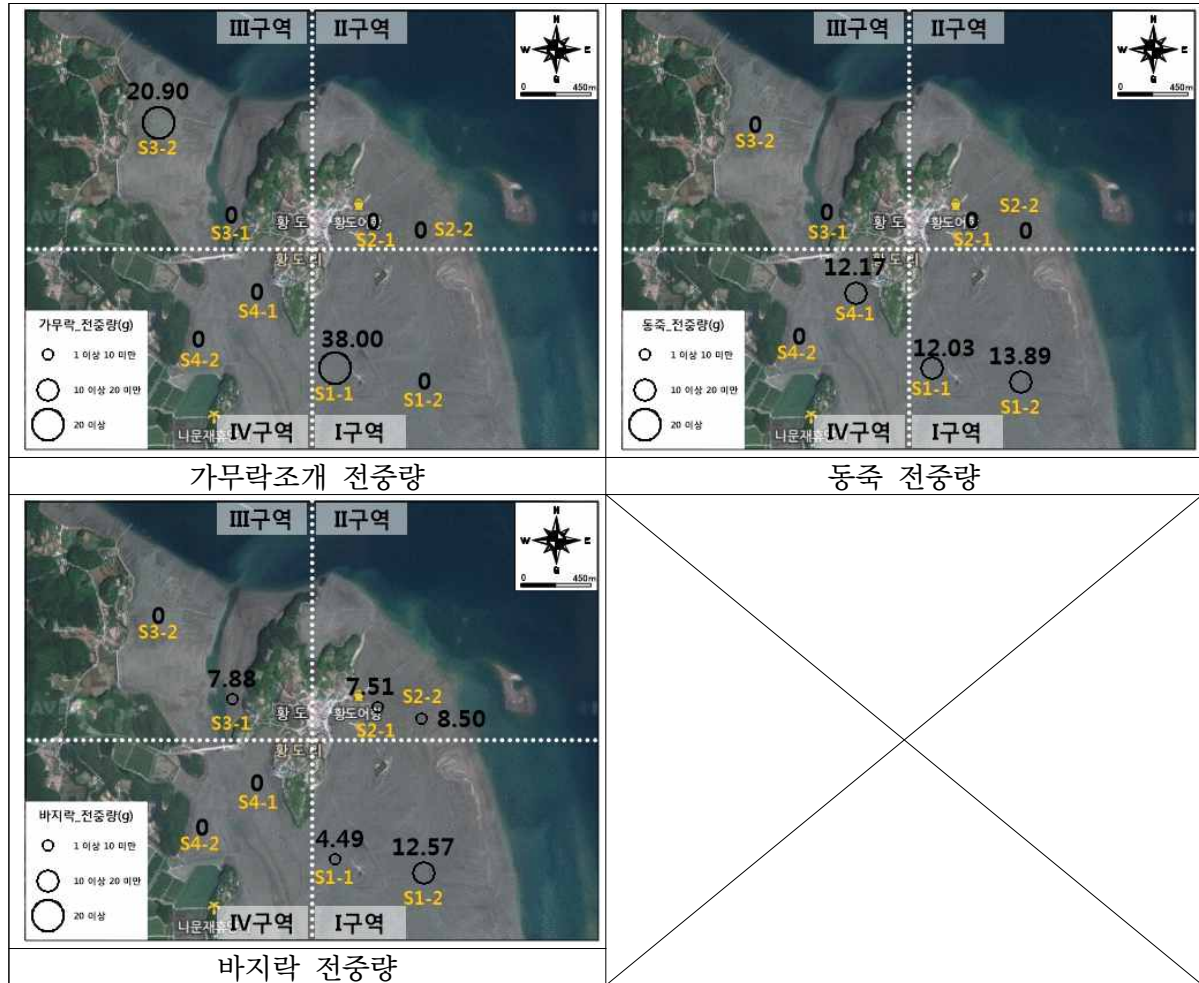
구분	I구역		II구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	30.12 ±0.79	—	—	—	—	24.57 ±3.29	—	—	25.68 ±3.70
	30.12±0.79		—		24.57±3.29		—		
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	20.54 ±0.00	24.29 ±1.34	—	—	—	—	20.54 ±1.56	—	22.15 ±2.29
	23.36±1.99						20.54±1.56		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	10.50 ±0.00	19.30 ±2.76	15.7± 2.17	16.75 ±2.09	16.43 ±1.85	—	—	—	16.70 ±2.49
	18.71±3.45		16.41±2.17		16.43±1.85		—		

■ 전중량

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 전중량을 측정하여 분석하였으며, 각 종별로 제시하였다[표 3-44, 그림 3-32].
- 가무락조개 전중량은 정점별 평균 24.3±10.5 g (20.9±8.9~38.0±0.9 g)로 정점 S1-1에서 가장 높고, 구역별 평균은 20.9±8.9~38.0±0.9 g 범위로 I구역에서 가장 높았다.
- 동죽 전중량은 정점별 평균 12.9±2.0 g (12.0±0.0~13.9±1.2 g)로 정점 S1-2에서 가장 높고, 구역별 평균은 12.2±2.6~13.4±1.3 g 범위로 I구역에서 가장 높았다.
- 바지락전중량은 정점별 평균 8.7±3.4 g (4.5±0.0~12.6±2.6 g)로 정점 S1-2에서 가장 높고, 구역별 평균은 7.9±2.5~12.0±3.2 g 범위로 I구역에서 가장 높았다.

[표 3-44] 황도 갯벌 패류자원의 전중량(단위:g, 평균±표준편차)

구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	38.0±0.9	—	—	—	—	20.9±8.9	—	—	24.3±10.5
	38.0±0.9				20.9±8.9				
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	12.0±0.0	13.9±1.2	—	—	—	—	12.2±2.6	—	12.9±2.0
	13.4±1.3		—		—		12.2±2.6		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	4.5±0.0	12.6±2.6	7.5±3.2	8.5±3.0	7.9±2.5	—	—	—	8.7±3.4
	12.0±3.2		8.2±3.1		7.9±2.5		—		



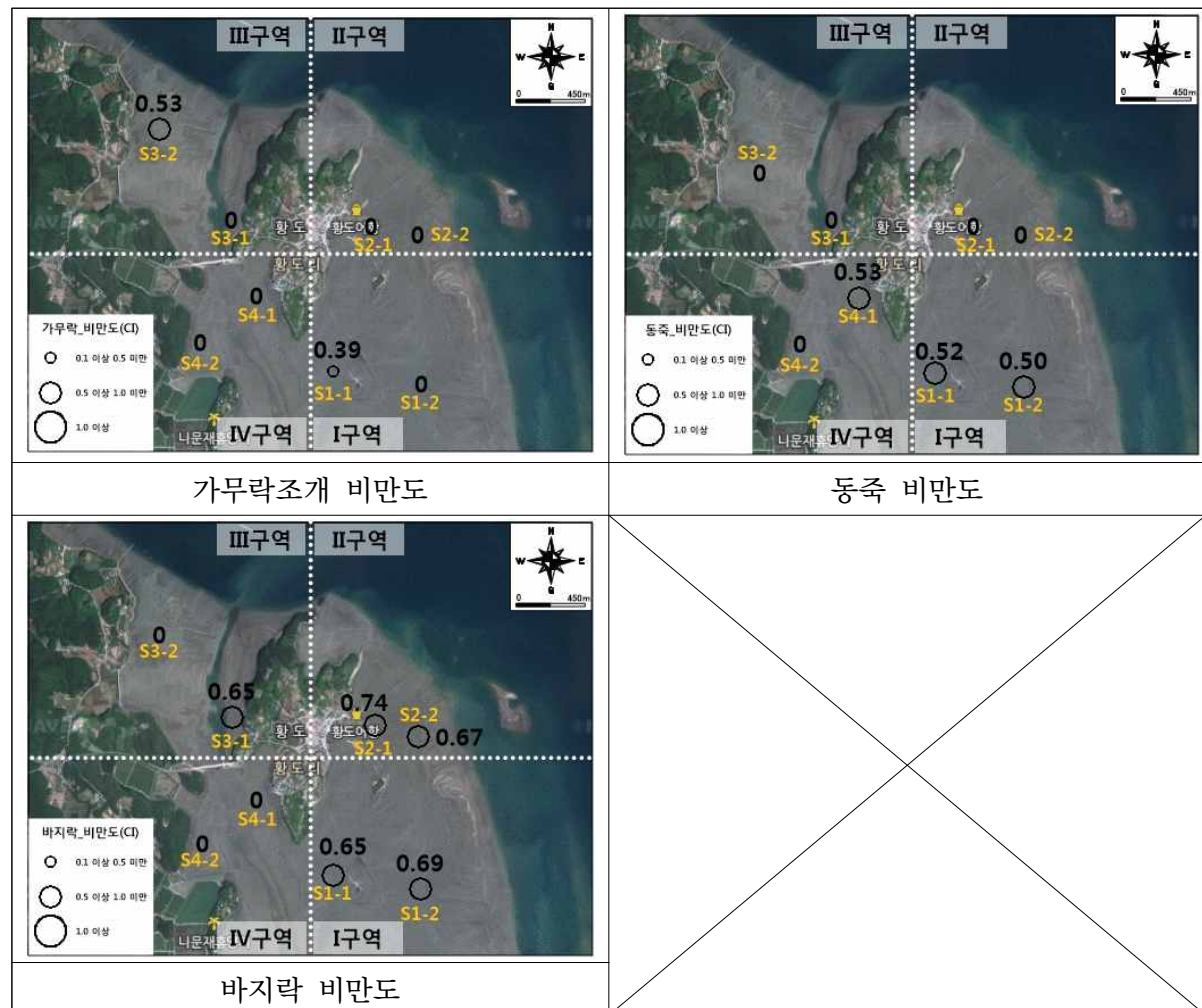
[그림 3-32] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 전중량

③ 비만도

- 2020년 7월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 비만도를 산출하였으며, 각 종별로 제시하였다[표 3-45, 그림 3-33].
- 가무락조개 비만도는 정점별 평균 0.50 ± 0.07 ($0.39 \pm 0.02 \sim 0.53 \pm 0.06$)으로 정점 S3-2에서 가장 높고, 구역별 비만도는 평균은 $0.39 \pm 0.02 \sim 0.53 \pm 0.06$ 범위로 III구역에서 가장 높았다.
- 동죽 비만도는 정점별 평균 0.51 ± 0.05 ($0.50 \pm 0.05 \sim 0.53 \pm 0.05$)으로 정점별로 유사하였으며, 구역별 비만도는 평균은 $0.51 \pm 0.05 \sim 0.53 \pm 0.05$ 범위로 구역간 유사하였다.
- 바지락 비만도는 정점별 평균 0.69 ± 0.09 ($0.65 \pm 0.00 \sim 0.74 \pm 0.11$)로 정점 S2-1에서 가장 높고, 구역별 평균은 $0.65 \pm 0.08 \sim 0.69 \pm 0.06$ 범위로 II구역에서 가장 높았다.

[표 3-45] 황도 갯벌 패류자원의 비만도(평균±표준편차)

구분	Ⅰ 구역		Ⅱ 구역		Ⅲ 구역		Ⅳ 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	0.39 ±0.02					0.53 ±0.06			0.50 ±0.07
	0.39 ± 0.02				0.53 ± 0.06				
동죽 (<i>Mactra quadrangularis</i>)	0.52 ±0.00	0.50 ±0.05					0.53 ±0.05		0.51 ±0.05
	0.51 ± 0.05						0.53 ± 0.05		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.65 ±0.00	0.69 ±0.07	0.74 ±0.11	0.67 ±0.08	0.65 ±0.08				0.69 ±0.09
	0.69 ± 0.06		0.69 ± 0.10		0.65 ± 0.08				



[그림 3-33] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 비만도

④ 패류자원과 퇴적환경 간의 상관관계

- 황도 갯벌 패류자원(종별 서식밀도 또는 생체량)과 퇴적환경요인(평균입경, 모래함량, 분급도, 유기물 함량, 중금속 등)간의 개별적 상관성을 알아보기 위해 Spearman rank correlation coefficient를 분석하였다[표 3-46].
- 패류자원 중 가무락조개(*C. sinensis*) 및 동죽(*M. quadrangularis*)은 출현빈도 및 개체가 적어 통계적으로 유의미한 결과를 얻기에는 한계가 있어 분석에서 제외하였다.
- 바지락(*R. philippinarum*)은 모래함량(%)과 유의한 양의 상관성을 나타냈지만, 중금속 중 Co, Cu, Cd, Fe 및 Hg와 음의 상관성이 있는 것으로 분석되었다($p < 0.05$).
- 모래함량(%)이 높고 중금속 농도가 낮을수록 바지락(*R. philippinarum*)의 서식밀도가 증가하는 것으로 분석되었다.

[표 3-46] 황도 갯벌 패류자원과 퇴적환경요인 간 상관관계

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

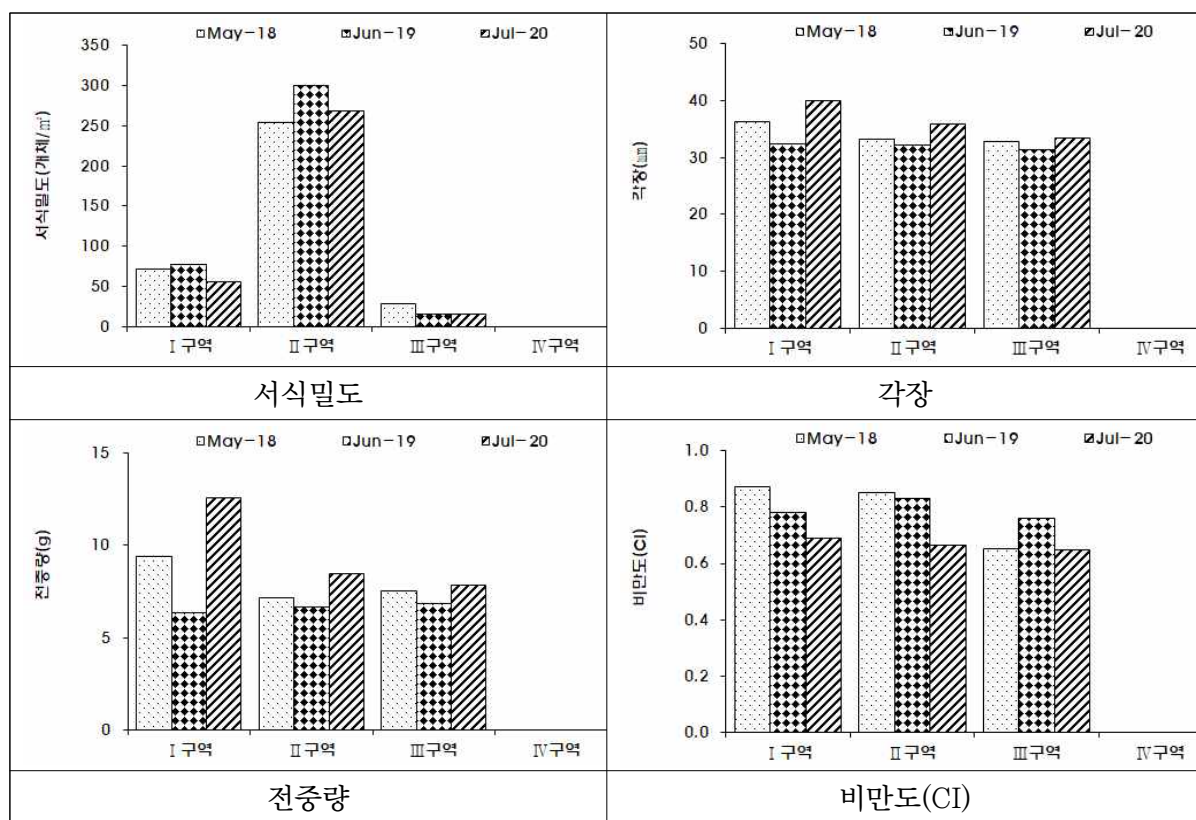
구 분		바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)
모래함량(%)		0.900*
평균입경(ϕ)		-0.700
분급도(ϕ)		-0.300
함수율(%)		-0.600
AVS(mg/g)		0.105
강열감량(%)		0.300
TOC(%)		-0.700
COD(mg/g)		-0.700
중금속	Cr(mg/kg)	-0.700
	Cu(mg/kg)	-0.800
	Cd(mg/kg)	-.900*
	Pb(mg/kg)	-0.800
	Zn(mg/kg)	-.900*
	Ni(mg/kg)	-0.700
	Li(mg/kg)	-0.800
	As(mg/kg)	-.900*
	Hg(μ g/kg)	0.100

⑤ 과거 자료와의 비교 분석

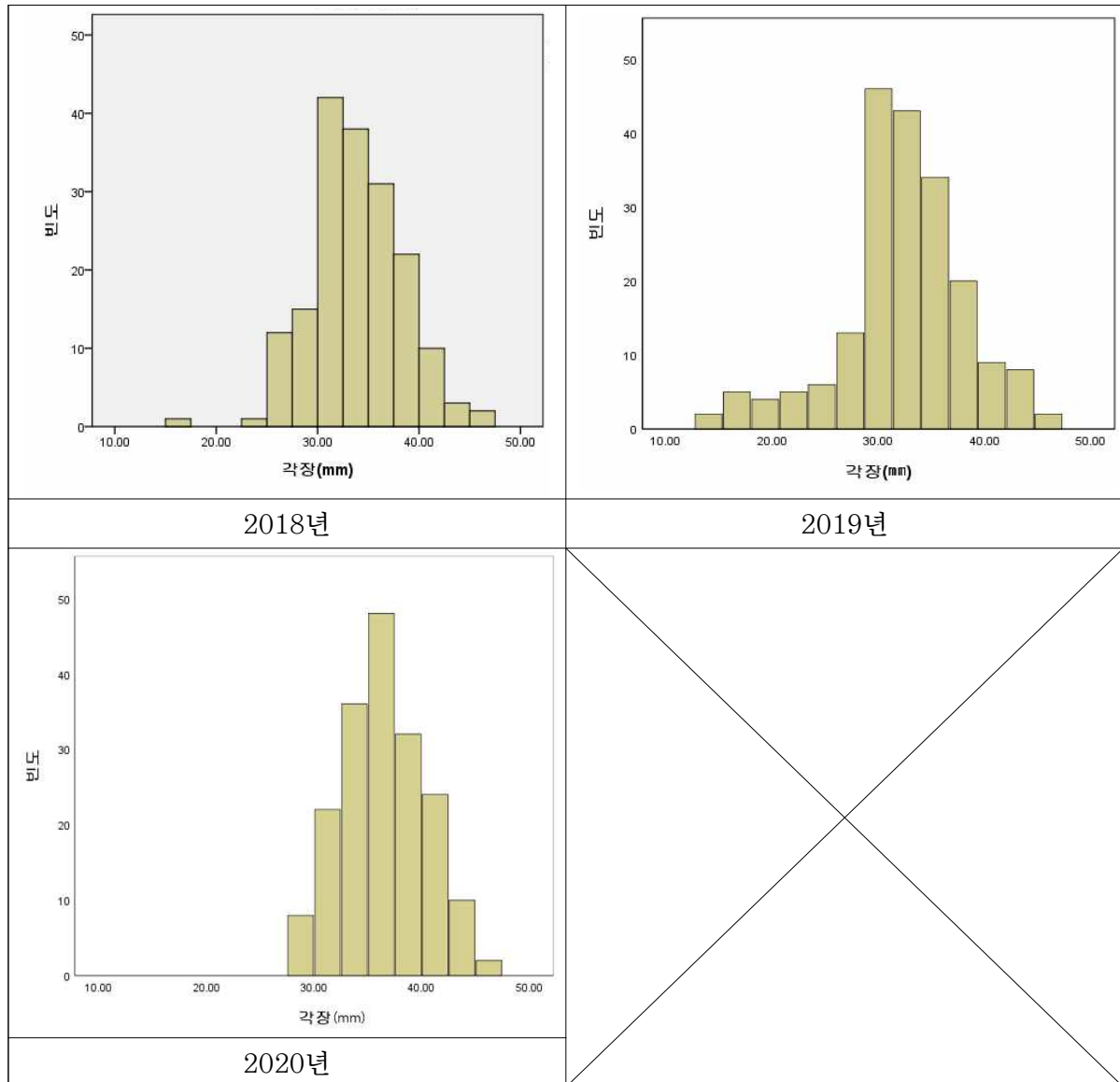
- 황도 갯벌 패류자원을 대상으로 동일 지점에서 조사된 2018년, 2019년과 본 조사 결과를 비교·분석하였다[표 3-47, 그림 3-34, 35].
- 패류자원은 2018년도, 2019년도와 2020년도 모두 연체동물에 속하는 이매패류인 바지락(*R. philippinarum*)을 대상으로 비교 및 분석을 실시하였다.
- 평균 서식밀도는 2018년도에 118 ± 120 개체/ m^2 , 2019년도에 131 ± 149 개체/ m^2 , 2020년도에 113 ± 135 개체/ m^2 로 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 살펴보면, II 구역에서 꾸준히 많은 개체수가 출현하였다.
- 평균 각장은 2018년 34.12 ± 1.92 mm, 2019년도 32.02 ± 0.55 mm, 2020년에 36.47 ± 3.38 mm로 점차 증가하였으며, 구역별로 살펴보면 I 구역에서 다소 높은 각장 크기를 나타냈다.
- 평균 전중량은 2018년 8.03 ± 1.19 g으로 2019년도 6.61 ± 0.26 g, 2020년에 9.65 ± 2.55 g으로 2020년에 가장 높았으며, 구역별로 살펴보면 I 구역에서 높은 전중량을 보였다.
- 평균 비만도는 2018년 0.79 ± 0.12 , 2019년 0.79 ± 0.04 , 2020년 0.67 ± 0.02 로 2020년에 다소 낮은 수준을 보였으며, 조사시기가 각각 달랐기 때문에 해석된다. (2020년은 산란기 이후인 7월에 조사함으로써 비만도가 다소 낮은 결과를 보임)
- 채집된 바지락(*R. philippinarum*) 각장(mm)에 대한 히스토그램(출현빈도)을 살펴보면, 약 10~20 mm 범위에 해당되는 개체가 2019년도에 다량 출현하였지만, 2020년에는 발견되지 않았다.
- 각 연차별 분석 결과의 차이는 패류의 생물학적 특성(산란시기) 및 기후적 요인에 의한 종패/치패의 갯벌내 유입특성에 따라 매년 다르게 나타난다.
- 이와 함께 연차별 조사시기의 차이(5~7월)에 따른 장마의 영향과 주변 하구호(부남호, 간월호)의 방류가 패류의 성장환경에 영향을 준 것으로 분석된다.
- 이러한 저서생물의 출현특성의 변동성 분석을 위해서는 장기간의 조사를 통한 추세를 살펴보는 것이 중요하므로, 향후 지속적인 모니터링 자료의 축적이 반드시 필요하다.

[표 3-47] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 과거자료 비교·분석

구분	황도 갯벌		
	2018년	2019년	2020년(본 조사)
조사시기	5월	6월	7월
대상종	바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)		
서식밀도 (개체/m ²)	118 ± 120	131 ± 149	113 ± 135
각장(mm)	34.12 ± 1.92	32.02 ± 0.55	36.47 ± 3.38
전중량(g)	8.03 ± 1.19	6.61 ± 0.26	9.65 ± 2.55
비만도	0.79 ± 0.12	0.79 ± 0.04	0.67 ± 0.02



[그림 3-34] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 현황 및 과거자료와의 비교



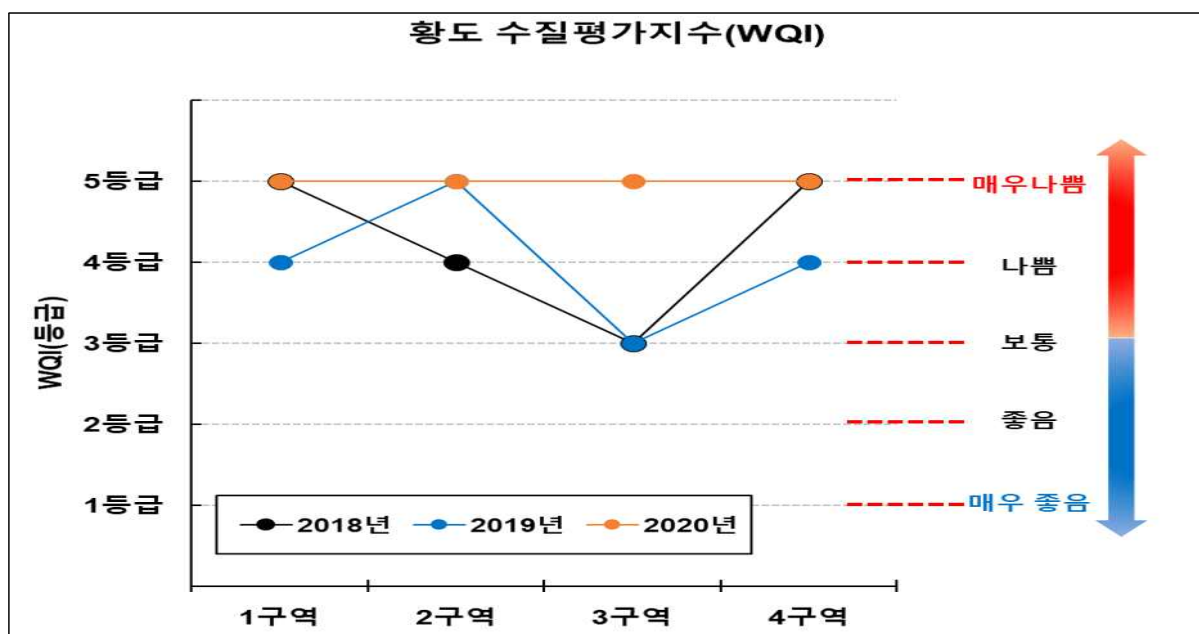
[그림 3-35] 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 조사연도별 히스토그램

4

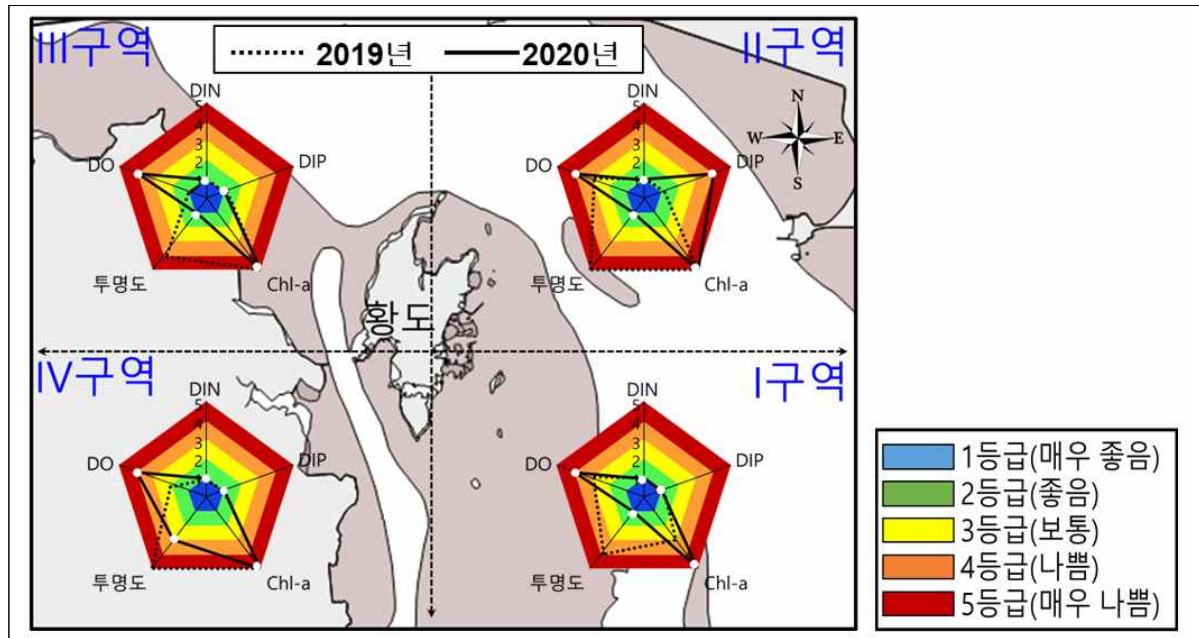
종합평가

1) 황도 구역별 수질 특성

- 2020년 황도 주변 생태기반 해수수질등급(WQI)를 살펴보면 5등급(매우 나쁨)을 보였으며, 집중 강우에 따른 하구호의 대량 방류로 인해 수질이 악화되었다 [그림 3-36].
- 황도 주변 해수 수질을 화학적산소요구량(COD)기준으로 볼 때, 3등급 이상의 나쁜 결과를 보여주고 있다.
- 그 원인으로는 서산연륙제방과 가장 가까운 위치에 있어 연륙제방 내측으로부터 오염물질이 불규칙적으로 유입되어 수질에 영향을 미치는 것으로 판단되며 계절적으로는 하계로 계절이 변화면서 수온상승 등에 의해 식물플랑크톤의 증식, 낮은 저층 DO 포화도 등에 의해 WQI 지수에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다 [그림3-37].
- 수질에 영향을 주는 인자는 대부분 유기물 및 영양염류와 관련이 있기 때문에 향후 이 부분에 대해서 지속적인 관심과 조사가 필요하다고 판단된다.



[그림 3-36] 조사구역별 WQI 등급 변화(2018~2020년)



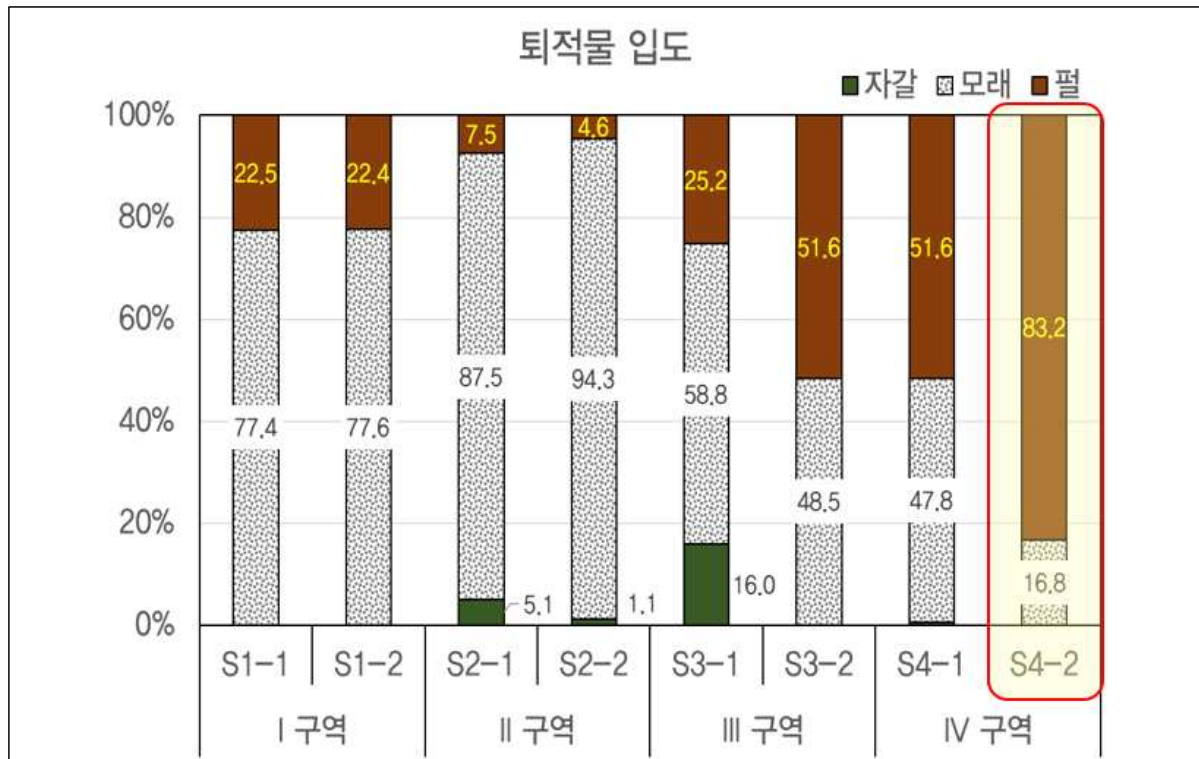
[그림 3-37] 조사구역별 수질등급(WQI) 항목별 분포

2) 황도 구역별 퇴적물 특성

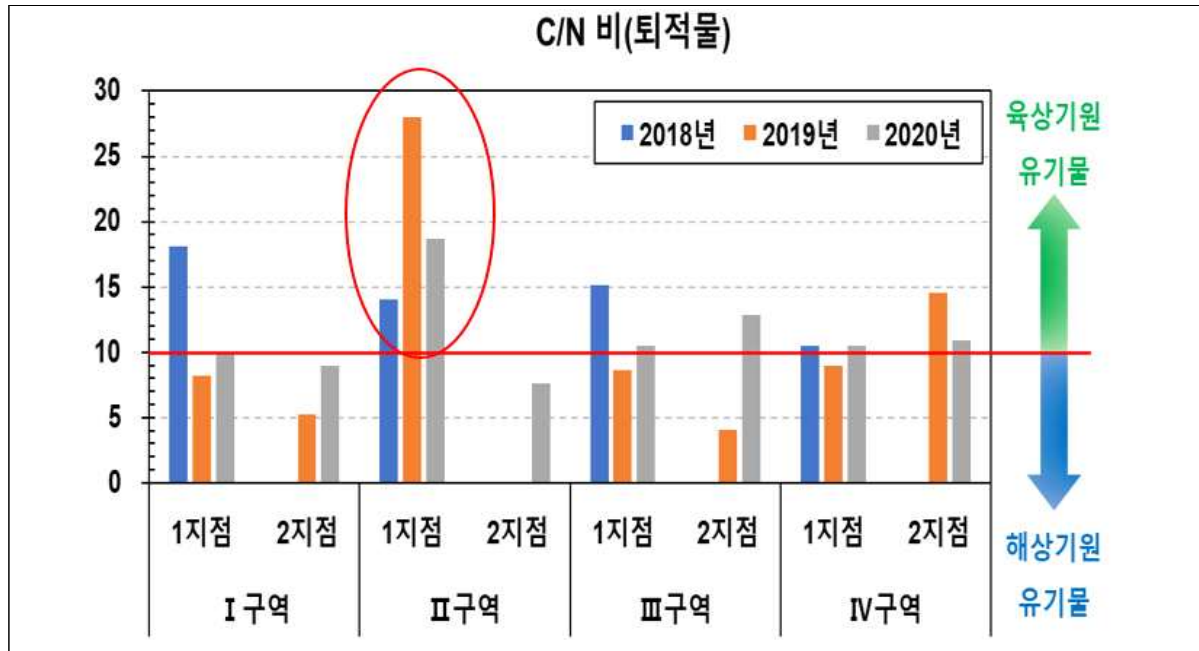
- 2020년 퇴적물의 입도를 보면 약역니질사(g)mS, 실트질사(zS), 역니질사(gmS), 역질사(gS), 실트질사(zS), 사질실트(sZ) 등 조사정점 간 서로 다른 입도 차이를 나타냈다[그림 3-38].
- 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 유기물오염정도를 나타내는 척도로서 국내 기준이 제시되어 있지 않아, 일본 수산자원협회 기준(환경기준: 20 mg/g)을 사용하였다.
- 황도 주변 갯벌 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)를 구역별로 살펴보면 공간적 큰 차이를 보이지 않고 있고 일본 수산자원협회에서 설정한 기준(환경기준: 20 mg/g) 보다는 매우 낮은 농도를 보여 유기물에 대한 오염은 없는 것으로 판단된다.
- C/N비 결과로부터 조사 지역의 퇴적물에 육상 유래 유기물보다 해양 유래 유기물이 갯벌내 유기물 퇴적에 더 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 부남호 전면에 분포한 갯벌에서는 육상기인 유기물 퇴적이 우세한 것으로 나타났다[그림 3-39].
- 금회 조사에서 대부분의 중금속 항목이 미국해양대기청(NOAA)의 ERL(저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도) 기준 및 국내 해양환경기준의 주의기준(부정적인 영향이

거의 없을 것으로 예측되는 범위)을 적용한 결과를 보면 다음과 같다.

- Cr, As는 미국해양대기청(NOAA)의 저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도(ERL)기준을 초과하였다.
- 이러한 원인으로는 해당 지역의 광물특성에 기인한 요인이 있을 것으로 보이며, 규산계 비료 성분이 일부 잔류할 수 있는 가능성이 있어 지속 모니터링이 필요할 것으로 보인다.
- 퇴적물의 중금속 오염정도를 나타내는 농축계수(EF)지수 결과를 보면 납(Pb), 비소(As)에서 약간오염 상태를 보였고 그 외는 비오염으로 비교적 양호한 상태를 보였다.
- 농집지수(I_{geo})에서는 납(Pb), 비소(As)에서 약간/ 비오염 상태를 보였고, 그 외 중금속은 비오염의 상태를 보였다.
- 현재 상태의 퇴적물 내 일부 중금속의 높은 수치는 크게 유의한 수준이 아니며, 광물적 특성에 의한 요인을 분석하여 그 원인을 규명할 필요가 있다.



[그림 3-38] 조사구역별 갯벌퇴적물 입도 분석 결과(2020년 7월)



[그림 3-39] 조사구역별 갯벌퇴적물 C/N비 비교(2020년 7월)

3) 황도 구역별 저서동물 특성

(1) 현장조사 구역별 대형저서동물 특성

- 2020년 7월 황도 갯벌 조사 결과를 바탕으로 저서동물 군집의 분포 특성을 파악하였다.
- 황도 갯벌 저서동물의 평균 출현종수는 21 ± 6 종/0.1m², 평균 서식밀도는 $1,314 \pm 567$ 개체/m², 평균 생체량은 860.1 ± 650.2 g/m²으로 조사되었으며, 출현 종수는 III구역, 서식밀도는 I구역에서 가장 높았고, IV구역에서 모든 항목이 낮게 나타났다.
- 우점종의 경우, 서식밀도 기준으로 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 모든 정점에서 분포를 보이며 최우점하였으며, 바지락(*R. philippinarum*)은 I 구역과 II 구역 조간대 하부에서 높은 서식밀도가 나타났다.
- 생체량 기준 우점종은 바지락이 I 구역과 II 구역 조간대 하부에서 높은 생체량을 보이며 최우점하였으며, 이 외에도 가무락조개(*C. sinensis*)와 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsis* sp.)가 13.0% 이상의 높은 점유율을 나타내었다.
- 생태학적 제지수를 산출한 결과, 종다양성지수는 평균 2.36 ± 0.32 , 종균등도지수는

평균 0.79 ± 0.09 , 종풍부도지수는 평균 2.81 ± 0.77 , 종우점도지수는 평균 0.86 ± 0.05 로 대부분 II구역에서 가장 높았다.

- 군집분석(MDS) 결과, 구역간 군집 차이가 없었으며, 퇴적환경 또는 생물 다양성 차이로 군집 분포가 좌우되는 것으로 분석되었다.
- 저서동물과 퇴적환경 요인간 상관분석 결과, 중금속 농도가 높아질수록 생체량이 감소하는 것으로 분석되었다.
- 갯벌 건강도(건강도 지수; ISEP), 저서오염지수(Benthic Pollution Index) 평가 결과, 구역 중 II구역이 가장 건강한 갯벌 환경을 지닌 것으로 평가되었지만, I 구역이 가장 열악한 갯벌 환경인 것으로 평가되었다.
- 과거자료와 비교 및 분석한 결과, 조사시기 간(2018~2020년) 출현종수, 서식밀도, 생체량, 종다양성지수 및 건강도 지수(ISEP)가 유사한 수준을 보여 연간 변동성은 크지 않은 것으로 판단되었다.
- 또한, 우리나라 서해안 갯벌에서 흔히 분포하는 버들갯지렁이류, 고리버들갯지렁이, 갯비틀이고둥류가 꾸준히 관찰되었으며(신 등, 2004; 정 등, 2014; Hong et al., 2006), 특히 바지락은 생체량 기준 최상위 우점종으로 출현하였다.
- II구역은 과거에 비해 높은 출현종수, 서식밀도, 종다양성지수 및 건강도를 보여 양질의 생물상을 보인 반면, 연륙교에 인접해 있는 IV구역은 상대적으로 열악한 생물상을 나타내었다.
- 과거 황도는 육지와 연결하기 위해 해수의 흐름을 막는 형태의 연도교 건설(1982년)로 해양오염 문제가 꾸준히 제기됨에 따라 기존 방조제를 철거하고 해수의 유통을 자유롭게 할 수 있는 연륙교를 개통하였다(2011년 12월).
- 이와 유사한 사례로 경기도 안산에 위치한 시화호의 경우, 방조제를 건설한 이후 해수유통이 차단되어 유기물 오염물질 농도 및 빈산소 수괴 출현빈도 증가로 무생물 상태까지 경험하였다.
- 이후에 조력발전소 건설로 인하여 막혔던 해수를 유통시킨 결과, 저서환경이 크게 개선되어 인근 해역의 저서동물 생물상과 유사해지는 긍정적인 효과를 가져왔다(황, 2008; 한국수자원공사, 2013).

- 황도 갯벌 저서동물을 대상으로 조사시기별로 비교한 결과, 연륙교에 인접한 Ⅲ구역(S3-1, S3-2) 및 Ⅳ구역(S4-1)의 저서동물 군집이 다른 구역과 유사한 수준을 보여주는 것은 해수의 흐름 통제로 발생된 해양오염에서 벗어나 회복단계인 것으로 해석된다.
- 이와 더불어, 갯벌 건강도 측면에서 Ⅰ구역이 가장 열악한 갯벌 환경인 것으로 평가됨에 따라, 지속적인 모니터링을 통한 정보 수집과 축적이 반드시 요구된다.

[2] 현장조사 구역별 패류자원 특성

- 황도 갯벌에서 수행된 2020년 7월 조사 결과를 바탕으로 패류자원의 분포 특성을 살펴보았다.
- 황도 갯벌의 패류자원은 총 3종으로 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개(*C. sinensis*), 동죽(*M. quadrangularis*)과 바지락(*R. philippinarum*)이 발견되었다.
- 패류자원의 평균 서식밀도는 68 ± 91 개체/ m^2 , 평균 생체량이 677.7 ± 738.9 g/ m^2 을 보였으며, Ⅱ구역에서 서식밀도 및 생체량이 가장 높게 나타났다.
- 종별로 살펴보면, 가무락조개는 평균 서식밀도가 5 ± 11 개체/ m^2 , 평균 생체량은 121.6 ± 245.3 g/ m^2 으로 Ⅲ구역에서 가장 높게 나타났고, 동죽은 평균 서식밀도가 4 ± 5 개체/ m^2 , 평균 생체량은 45.1 ± 70.9 g/ m^2 으로 Ⅰ구역에서 가장 높게 나타났으며, 바지락은 평균 서식밀도가 50 ± 95 개체/ m^2 , 평균 생체량이 511.0 ± 805.3 g/ m^2 으로 Ⅱ구역에서 가장 높게 나타났다.
- 종별 개체특성 및 비만도를 살펴보면, 먼저 가무락조개의 경우, 평균 각장이 40.04 ± 5.55 mm, 평균 각폭은 25.68 ± 3.70 mm, 평균 각고는 42.41 ± 6.26 mm, 평균 전중량은 24.32 ± 10.52 g, 평균 비만도는 0.50 ± 0.07 을 보였다.
- 동죽은 평균 각장이 36.47 ± 2.38 mm, 평균 각폭은 22.15 ± 2.29 mm, 평균 각고는 34.71 ± 2.11 mm, 평균 전중량은 12.81 ± 2.03 g, 평균 비만도는 0.51 ± 0.05 를 보였다.
- 바지락의 평균 각장은 35.70 ± 4.28 mm, 평균 각폭이 16.70 ± 2.49 mm, 평균 각고는 25.01 ± 3.04 mm, 평균 전중량은 8.66 ± 3.35 g, 평균 비만도는 0.69 ± 0.09 를 보였다.
- 황도 갯벌 패류자원의 종별 서식밀도 및 생체량과 퇴적환경 요인간 상관분석 결과,

모래함량(%)이 높고 중금속 농도가 낮을수록 서식밀도는 증가하는 것으로 나타났다.

- 바지락이 많이 출현한 Ⅱ구역의 퇴적환경 중 모래함량을 살펴본 결과, 다른 구역들(16.7~77.6%)에 비해 상대적으로 높은 모래함량(87.5~94.3%)을 보였다.
- 바지락에게 적합한 퇴적환경은 모래함량이 60~70%, 평균입경이 1.0~4.0 ϕ 인 곳으로 알려져 있으며(해양수산부, 2013; Park et al., 2013), Ⅱ구역은 이러한 조건을 충족하는 곳으로 평가되었다.
- 본 조사에서 바지락 분포가 달리하는 것은 구역간 퇴적환경 조건의 차이로 인한 결과로 해석된다.
- 또한, 바지락의 경우, 소형(각장 10~20 mm) 범위에 해당되는 개체군들이 2019년에는 대량 출현하였으나, 2020년에 발견되지 않은 것은 2019년의 개체들이 성장한 결과로 보여진다.
- 즉, 2019년에 확인된 소형 크기의 바지락이 대량 출현한 현상은 황도 갯벌에서 바지락 자원의 가입이 일어나는 것을 의미(산란장 및 성육장)하며, 이러한 현상이 지속될 경우, 향후 바지락 생산력 증대에 크게 기여할 것으로 판단된다.
- 따라서 퇴적환경 및 수질 개선, 어획 활동 강도 조절 등과 같은 관리방안을 마련하고, 복원된 해수 흐름이 유지 및 개선된다면 바지락 생태 및 생산력에 긍정적인 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

황도 주상퇴적물 조사 및 분석

1. 입도 및 유기물 분석
2. X - r a y 분 석
3. 방사성 동위원소 분석
4. 퇴적속도 및 연대추정

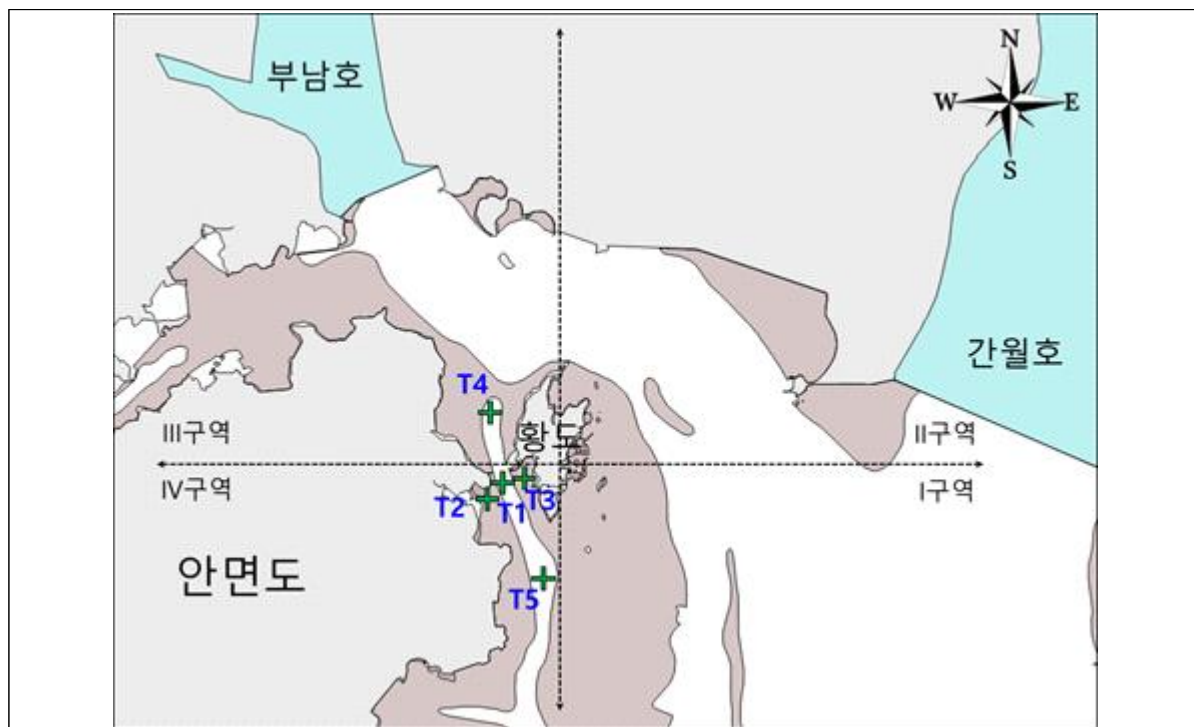
1

입도 및 유기물 분석

1) 현장조사 개요

[1] 시간 및 공간적 범위

- 현장 조사는 2019년 8월 29일에 실시하였다.
- 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(I 구역~IV구역) 퇴적물 조사를 수행하였다[그림 4-1].



[그림 4-1] 황도 갯벌 주상퇴적물 조사정점

[2] 내용적 범위

- 황도 주변 퇴적물 환경 조사를 수행하였다[표 4-1].

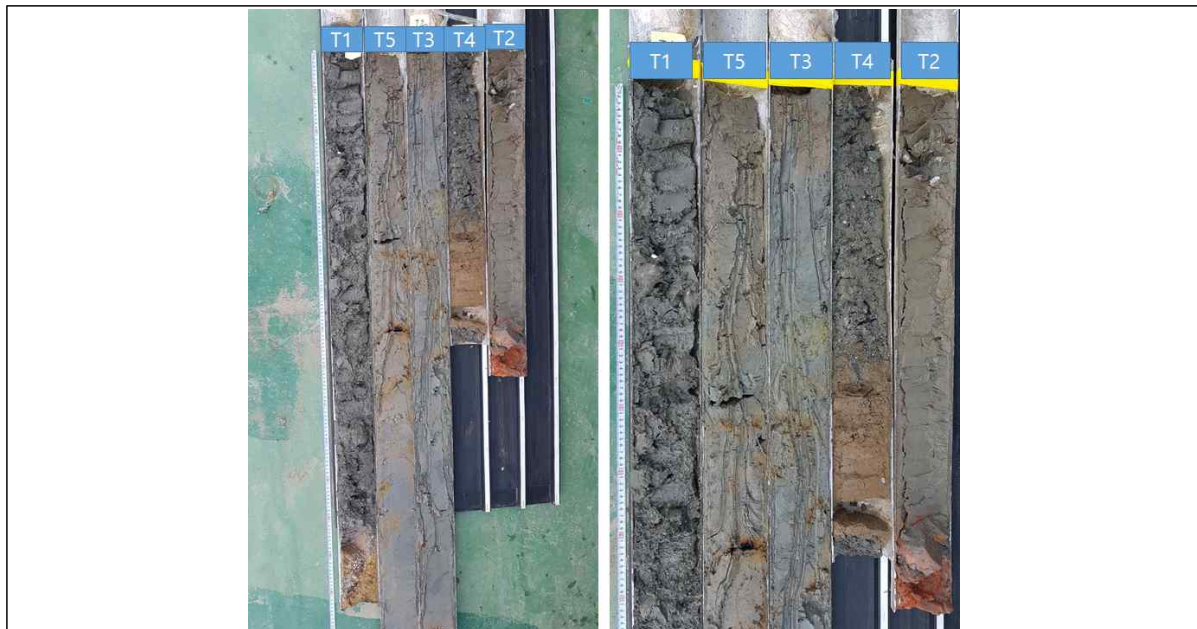
[표 4-1] 황도 주상퇴적물 조사 분석항목

구분		조사항목	조사구역
주상 퇴적물	일반항목(6)	입도, 강열감량, 함수율, COD, 원소분석(TOC, TN)	5개 정점

2) 현장조사 방법

[1] 시료채취 방법

- 주상 퇴적물 시료는 주상시료 채취기를 이용하여 취득하였다[그림 4-2].
- 시료는 실험실로 운반 후, 절단기를 이용하여 수직방향으로 절단, 냉동보관하였다.



[그림 4-2] 황도 갯벌 주상퇴적물 사진(T1~T5)

[2] 분석 방법

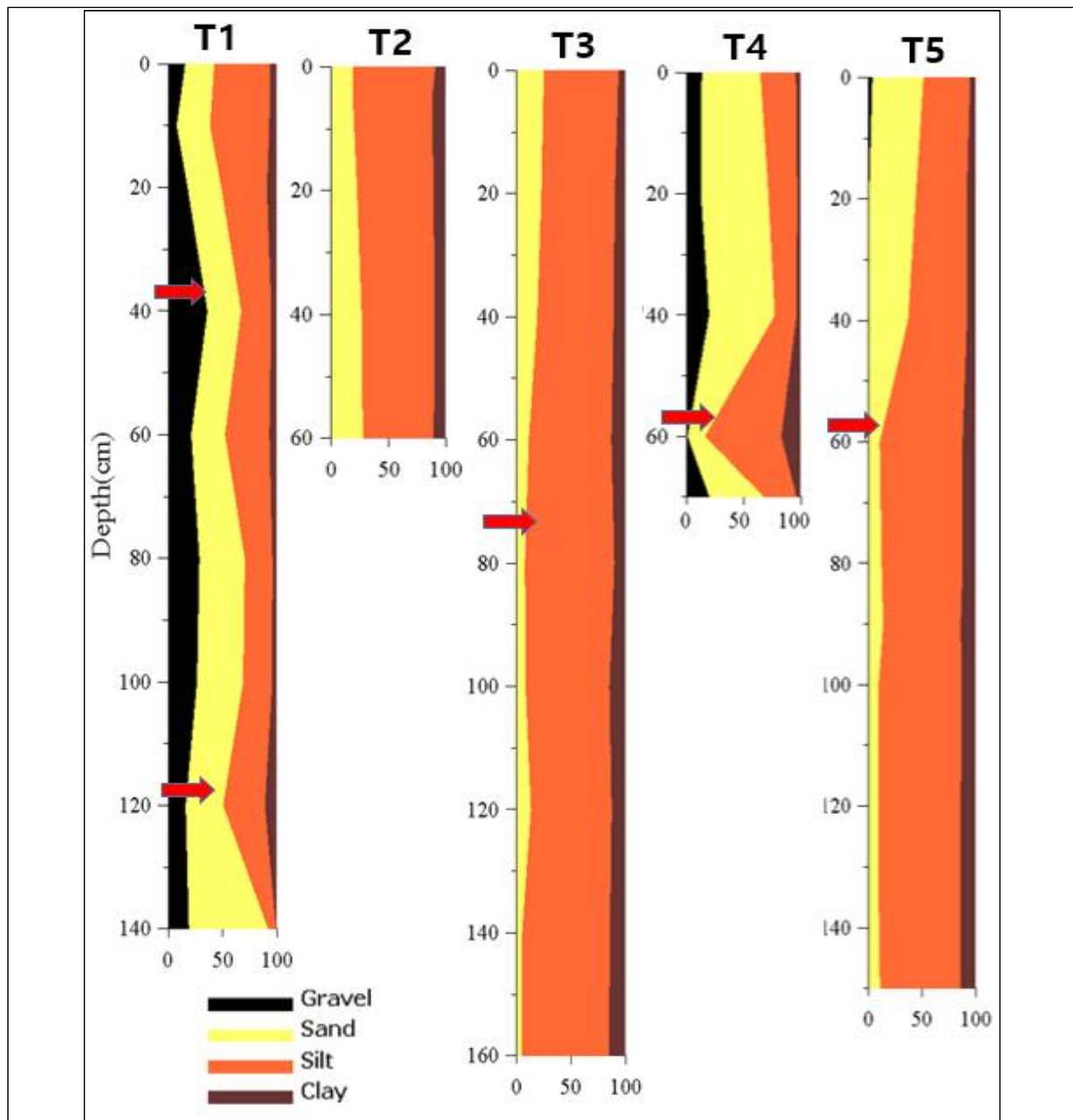
- 입도, 강열감량, 함수율, COD, 총유기탄소(TOC), 총질소(TN) 분석 방법은 앞서 3 장에서 언급한 방법과 동일함.

3) 조사 결과

- 주상 퇴적물 조사 결과를 [표 4-2~11, 그림 4-3~19]에 제시하였다.

[1] 입도

① 조성 및 퇴적상



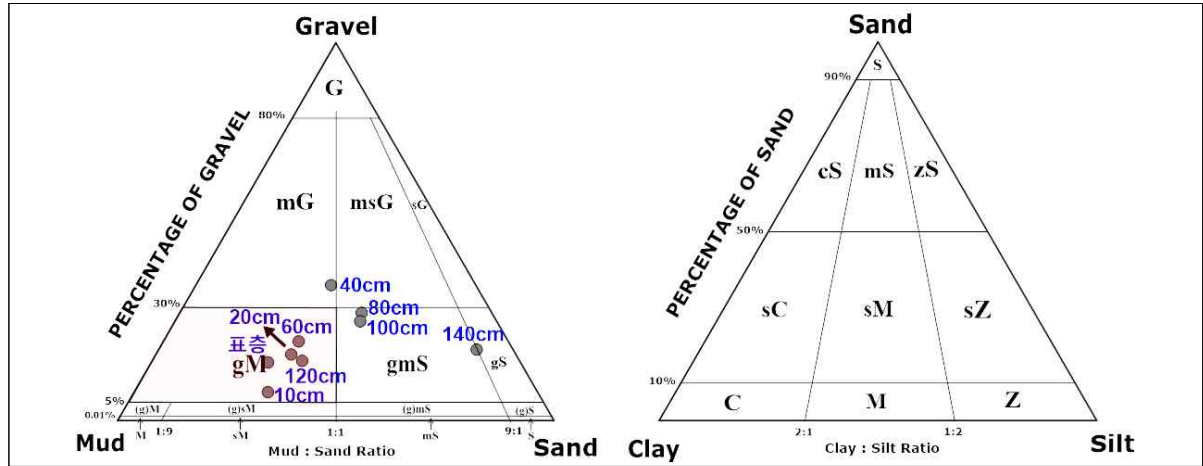
[그림 4-3] 정점별 퇴적물 입도 조성 비교(화살표는 유의미한 변곡점을 표시)

■ T1 정점

- 정점 T1 의 입도 조성은 자갈 7.6~35.9%(평균 20.8%), 모래 26.7~72.9%(평균 38.0%), 실트 7.3~54.7%(평균 34.9%), 점토 1.0~11.3%(평균 6.3%)로 조사되었다.
- 전반적으로 모래와 실트가 우세하게 나타났고, 자갈은 모든 깊이에서 나타났으며, 점토는 상대적으로 낮은 함량을 보였다.
- 퇴적상은 역질니(gM), 니질역(mG)과 역니질사(gmS)의 퇴적상으로 구분되었으며, 이 중 역질니의 퇴적상이 우세하게 나타났다.

[표 4-2] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T1 정점)

정점(깊이)	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
T1(표층)	15.4	26.7	51.1	6.7	3.52	3.61	-0.33	1.21	gM
T1(10cm)	7.6	30.7	54.7	7.1	4.62	2.69	-0.13	1.34	gM
T1(20cm)	17.5	31.0	42.1	9.4	3.42	3.86	-0.21	0.92	gM
T1(40cm)	35.9	31.0	27.9	5.3	1.73	3.90	0.33	0.59	mG
T1(60cm)	21.0	31.0	40.8	7.2	3.08	3.82	-0.20	0.69	gM
T1(80cm)	28.5	41.7	25.4	4.4	2.16	3.61	0.18	0.68	gmS
T1(100cm)	26.3	42.4	26.7	4.6	2.36	3.58	0.07	0.67	gmS
T1(120cm)	15.8	34.4	38.5	11.3	3.53	3.87	-0.13	0.71	gM
T1(140cm)	18.8	72.9	7.3	1.0	0.76	2.20	0.12	1.21	gmS
최소	7.6	26.7	7.3	1.0	0.76	2.20	-0.33	0.59	-
최대	35.9	72.9	54.7	11.3	4.62	3.90	0.33	1.34	-
평균	20.8	38.0	34.9	6.3	2.80	3.46	-0.03	0.89	-



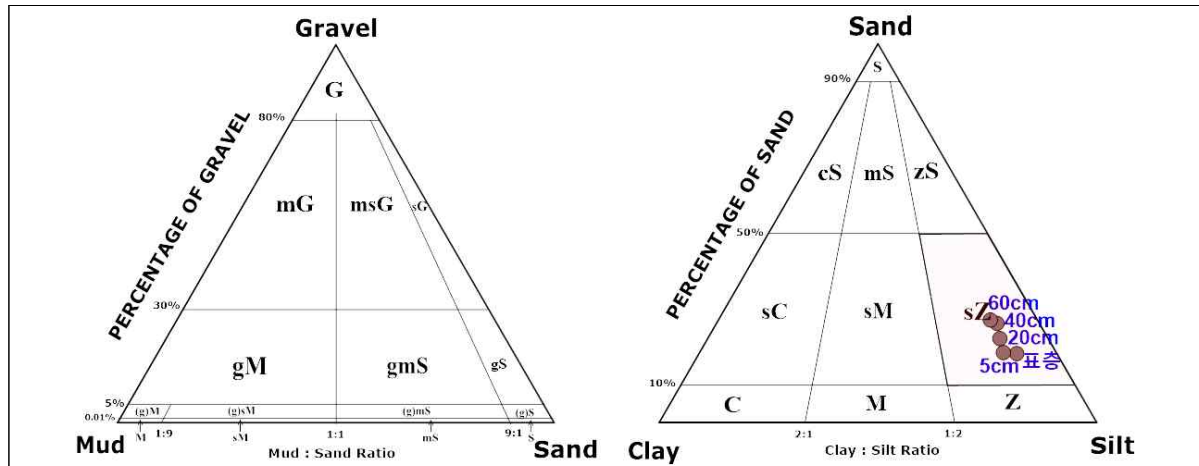
[그림 4-4] 삼각다이어그램 (T1 정점)

■ T2 정점

- 정점 T2의 입도 조성은 자갈 0%, 모래 18.2~27.1%(평균 22.4%), 실트 62.2~72.6%(평균 67.0%), 점토 9.2~12.1%(평균 10.6%)로 조사되었다.
- 전반적으로 실트의 함량이 우세하게 나타났고, 모래와 점토는 상대적으로 낮은 함량을 보였다.
- 퇴적상은 모든 퇴적층에서 사질실트(sZ)로 분석되었다.

[표 4-3] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T2 정점)

정점(깊이)	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
T2(표층)	0.0	18.2	72.6	9.2	5.79	1.81	-0.06	0.96	sZ
T2(5cm)	0.0	18.5	69.4	12.1	5.77	1.91	0.07	0.97	sZ
T2(20cm)	0.0	22.2	66.8	11.1	5.70	1.94	0.01	0.90	sZ
T2(40cm)	0.0	26.2	64.1	9.7	5.51	1.94	0.05	0.88	sZ
T2(60cm)	0.0	27.1	62.2	10.8	5.49	1.98	0.14	0.84	sZ
최소	0.0	18.2	62.2	9.2	5.49	1.81	-0.06	0.84	-
최대	0.0	27.1	72.6	12.1	5.79	1.98	0.14	0.97	-
평균	0.0	22.4	67.0	10.6	5.65	1.91	0.04	0.91	-



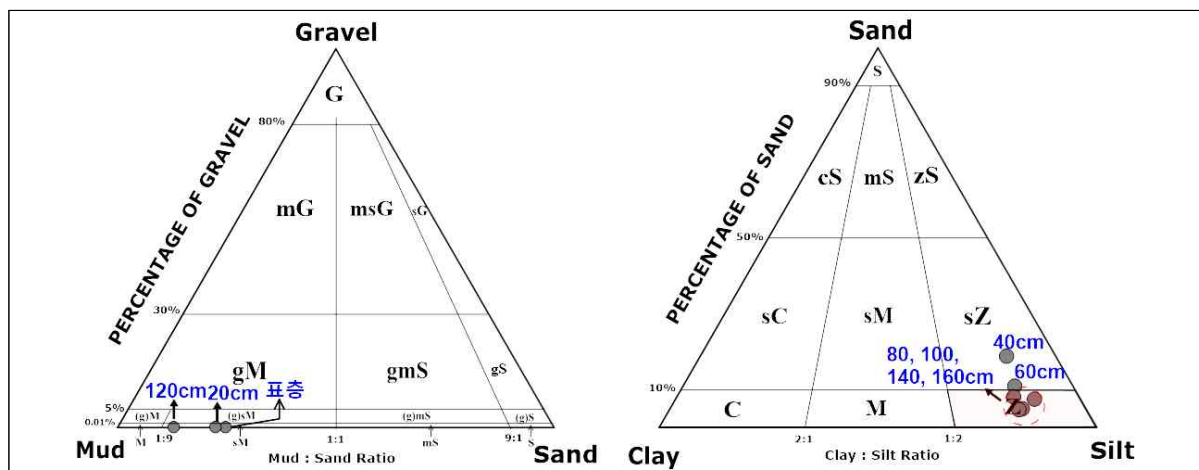
[그림 4-5] 삼각다이어그램 (T2 정점)

■ T3 정점

- 정점 T3의 입도 조성은 자갈 0~0.1%, 모래 4.7~24.7%(평균 12.7%), 실트 67.4~82.1%(평균 75.0%), 점토 6.6~15.5%(평균 12.2%)로 조사되었다.
- 전반적으로 실트의 함량이 우세하게 나타났고, 모래와 점토는 상대적으로 낮은 함량을 보였으며, 자갈은 일부 깊이(표층, 20 cm, 120 cm)에서만 매우 낮게 있었다.
- 퇴적상은 약역사질니((g)sM), 사질실트(sZ), 실트(Z)로 구분되었으며, 실트(Z)가 우세하였다.

[표 4-4] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T3 정점)

정점(깊이)	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
T3(표층)	0.1	24.7	68.6	6.6	5.33	1.68	0.06	0.87	(g)sM
T3(20cm)	0.1	22.4	67.4	10.1	5.54	1.85	0.19	0.87	(g)sM
T3(40cm)	0.0	18.8	70.0	11.2	5.66	1.84	0.18	0.89	sZ
T3(60cm)	0.0	10.9	75.8	13.3	6.10	1.78	0.02	0.95	sZ
T3(80cm)	0.0	7.4	82.1	10.5	6.12	1.58	0.06	1.21	Z
T3(100cm)	0.0	8.0	77.0	15.0	6.11	1.76	0.15	0.98	Z
T3(120cm)	0.1	12.8	74.0	13.0	6.05	1.79	-0.01	0.86	(g)sM
T3(140cm)	0.0	4.9	80.5	14.6	6.40	1.60	0.06	1.07	Z
T3(160cm)	0.0	4.7	79.9	15.5	6.35	1.65	0.10	1.02	Z
최소	0.0	4.7	67.4	6.6	5.33	1.58	-0.01	0.86	-
최대	0.1	24.7	82.1	15.5	6.40	1.85	0.19	1.21	-
평균	0.0	12.7	75.0	12.2	5.96	1.72	0.09	0.97	-



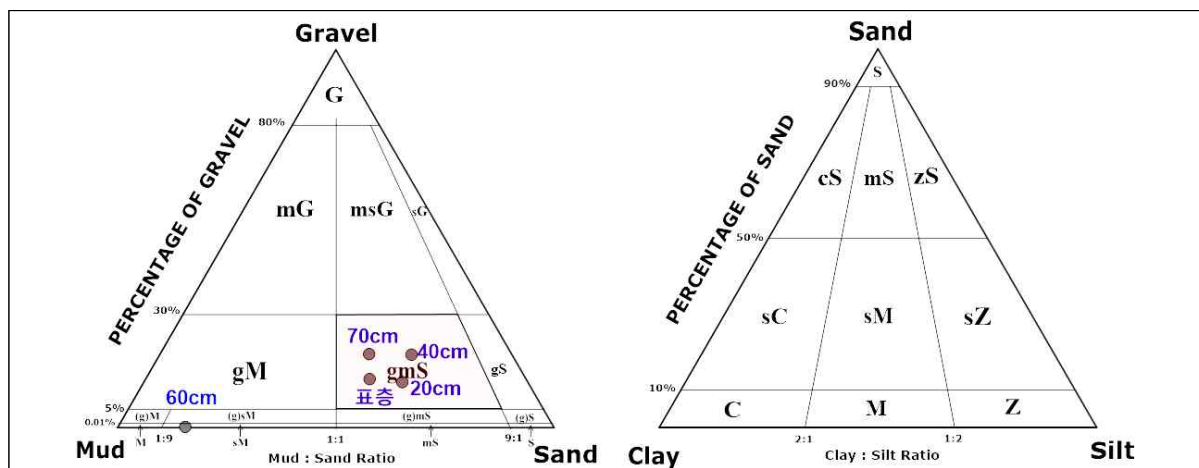
[그림 4-6] 삼각다이어그램 (T3 정점)

■ T4 정점

- 정점 T4의 입도 조성은 자갈 0.2~19.5%(평균 12.8%), 모래 15.4~59.2%(평균 46.3%), 실트 19.2~67.1%(평균 34.3%), 점토 3.4~17.3%(평균 6.6%)로 조사되었다.
- 전반적으로 모래와 실트가 우세하게 나타났고, 자갈은 모든 깊이에서 나타났으며, 점토는 상대적으로 낮은 함량을 보였다.
- 퇴적상은 역니질사(gmS)와 약역사질니((g)sM)의 퇴적상이 나타났으며, 이 중 역니질사(gmS)가 우세하였다.

[표 4-5] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T4 정점)

정점(깊이)	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(φ)				
T4(표층)	12.9	51.3	31.4	4.5	2.84	3.11	-0.15	0.92	gmS
T4(20cm)	12.1	59.2	25.4	3.4	2.36	2.99	0.10	0.86	gmS
T4(40cm)	19.3	57.7	19.2	3.8	1.64	3.19	0.31	0.95	gmS
T4(60cm)	0.2	15.4	67.1	17.3	6.04	2.22	0.01	1.12	(g)sM
T4(70cm)	19.5	47.9	28.7	3.9	2.32	3.38	0.04	0.79	gmS
최소	0.2	15.4	19.2	3.4	1.64	2.22	-0.15	0.79	-
최대	19.5	59.2	67.1	17.3	6.04	3.38	0.31	1.12	-
평균	12.8	46.3	34.3	6.6	3.04	2.98	0.06	0.93	-



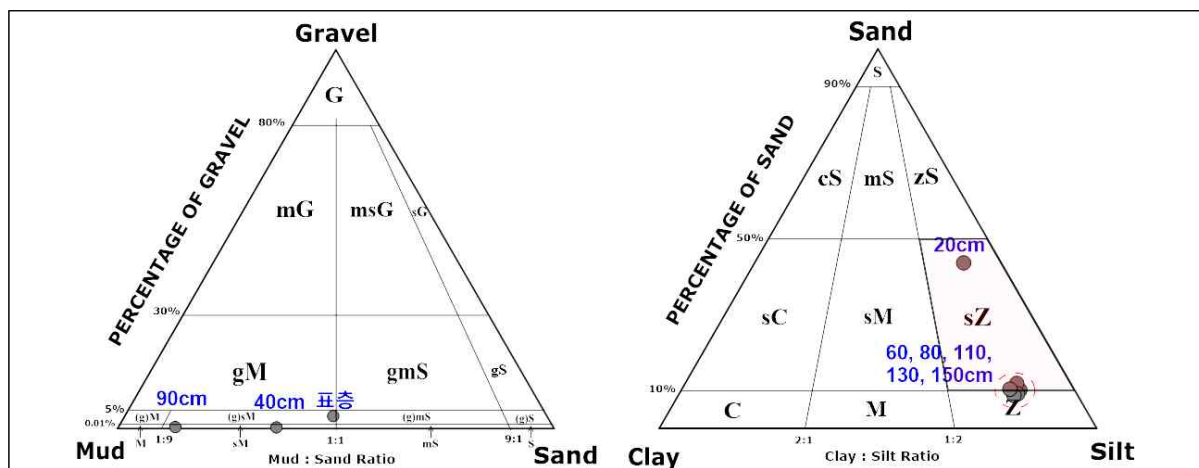
[그림 4-7] 삼각다이어그램 (T4 정점)

■ T5 정점

- 정점 T3의 입도 조성은 자갈 0~3.3%(평균 0.4%), 모래 8.7~47.8%(평균 21.2%), 실트 43.5~77.4%(평균 66.8%), 점토 5.4~14.7%(평균 11.6%)로 조사되었다.
- 전반적으로 실트의 함량이 우세하게 나타났고, 모래와 점토는 상대적으로 낮은 함량을 보였으며, 자갈은 일부 깊이(표층, 40 cm, 90 cm)에서만 낮게 있었다.
- 퇴적상은 약역사질니((g)sM), 사질실트(sZ) 및 실트(Z)로 구분되었으며, 사질실트(sZ)가 우세하였다.

[표 4-6] 주상퇴적물 입도 분석 결과 (T5 정점)

정점(깊이)	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균 입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(φ)				
T5(표층)	3.3	47.8	43.5	5.4	4.38	1.99	0.34	0.81	(g)sM
T5(20cm)	0.0	43.6	47.8	8.6	4.95	1.86	0.50	0.86	sZ
T5(40cm)	0.3	36.2	55.0	8.4	5.13	1.89	0.33	0.81	(g)sM
T5(60cm)	0.0	10.1	77.4	12.5	5.96	1.74	0.15	1.06	sZ
T5(80cm)	0.0	11.9	75.8	12.4	5.89	1.77	0.15	1.04	sZ
T5(90cm)	0.4	13.0	72.3	14.3	6.01	1.86	0.07	0.92	(g)sM
T5(110cm)	0.0	9.1	77.4	13.5	6.13	1.76	0.06	0.98	Z
T5(130cm)	0.0	8.7	76.8	14.6	6.15	1.77	0.08	0.97	Z
T5(150cm)	0.0	10.4	75.0	14.7	6.05	1.81	0.13	0.93	sZ
최소	0.0	8.7	43.5	5.4	4.38	1.74	0.06	0.81	—
최대	3.3	47.8	77.4	14.7	6.15	1.99	0.50	1.06	—
평균	0.4	21.2	66.8	11.6	5.63	1.83	0.20	0.93	—

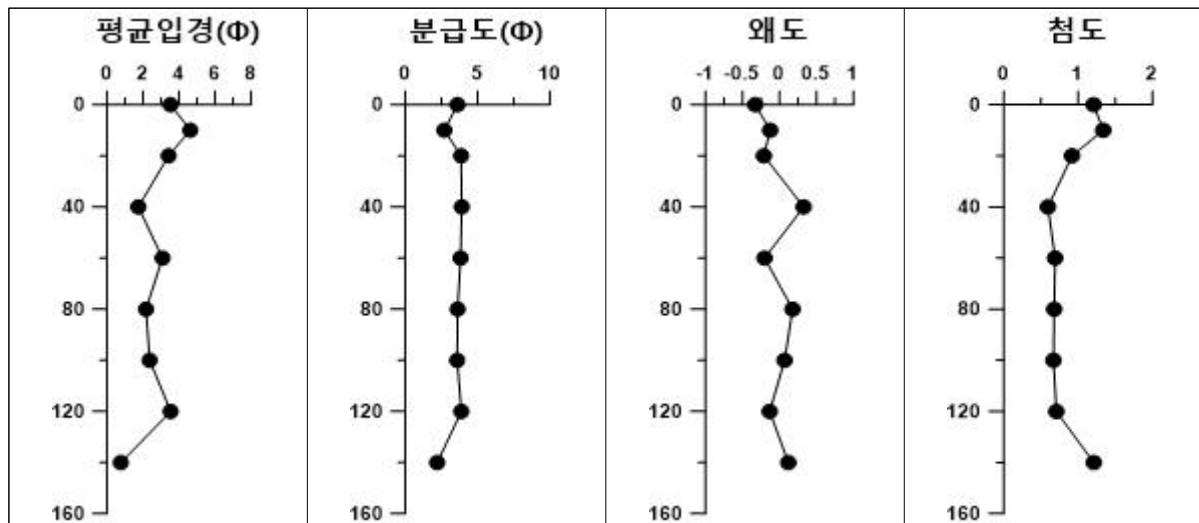


[그림 4-8] 삼각다이아그램 (T5 정점)

② 조직변수

■ T1 정점

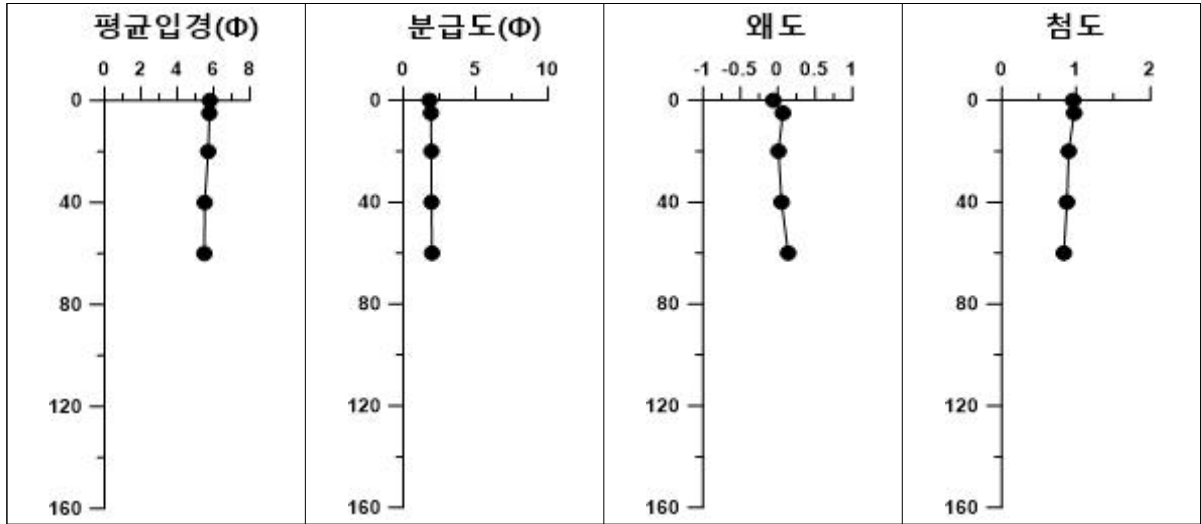
- 정점 T1의 조직변수는 평균 입경이 $0.76 \sim 4.62\phi$ (평균 2.8ϕ)의 범위로 나타났으며, 깊이 40 cm 층과 가장 아래층(140 cm)에서 상대적으로 조립하였다.
- 분급도는 $2.20 \sim 3.90\phi$ 의 범위로 Very poorly sorted 한 분포를 보였고, 왜도는 $-0.33 \sim 0.33$ 의 범위로 Strongly coarse-skewed 에서 Strongly fine-skewed 한 분포를 나타냈으며 전반적으로 음의 왜도가 우세한 분포를 보였다.
- 첨도는 $0.59 \sim 1.34$ 로 Very platykurtic 에서 Leptokurtic 한 분포를 보였다.



[그림 4-9] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T1 정점)

■ T2 정점

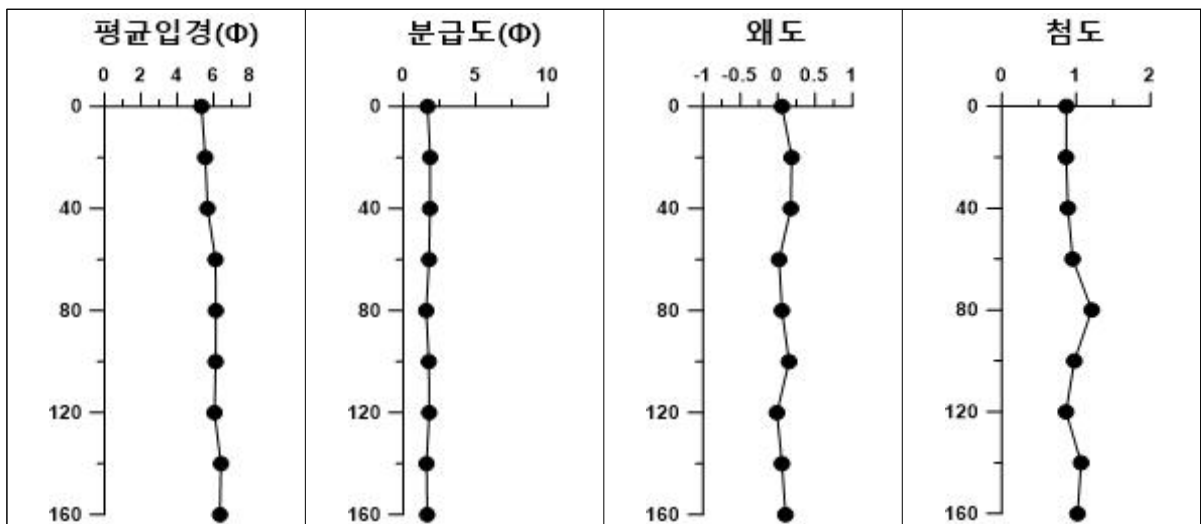
- 정점 T2의 조직변수는 평균 입경이 $5.49 \sim 5.79\phi$ (평균 5.65ϕ)의 범위로 나타났으며, 모든 층에서 유사한 입도 분포를 보였다.
- 분급도는 $1.81 \sim 1.98\phi$ 의 범위로 Poorly sorted 한 분포를 보였고, 왜도는 $-0.06 \sim 0.14$ 의 범위로 Near-symmetrical 에서 Fine-skewed 한 분포를 나타냈으며 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다.
- 첨도는 $0.84 \sim 0.97$ 로 Platykurtic 에서 Mesokurtic 한 분포를 보였다.



[그림 4-10] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T2 정점)

■ T3 정점

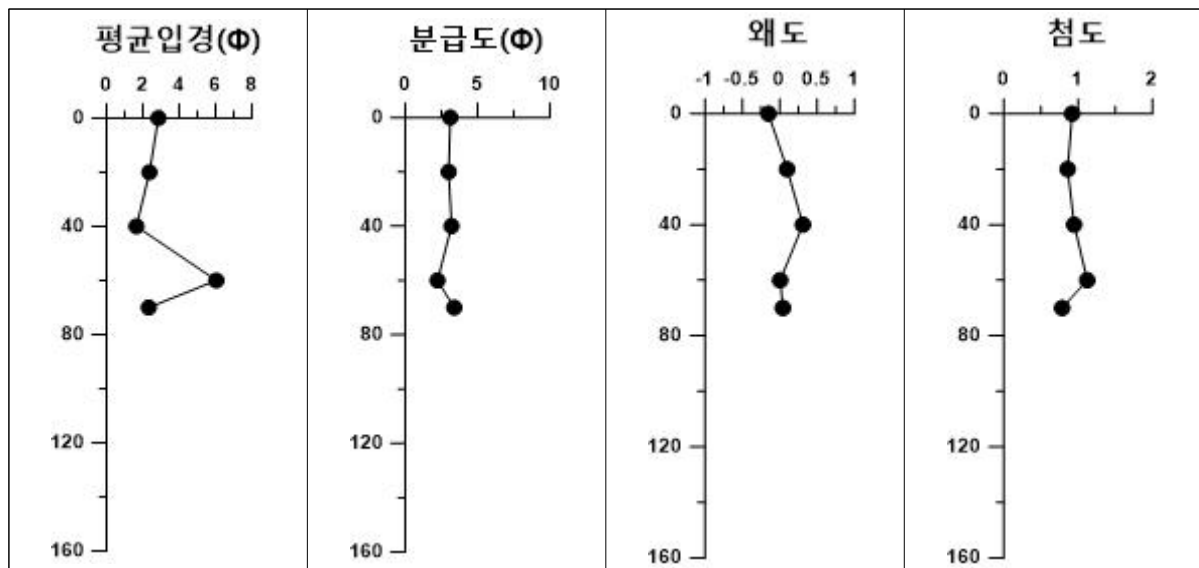
- 정점 T3의 조직변수는 평균 입경이 5.33~6.40 Φ (평균 5.96 Φ)의 범위로 나타났으며, 표층보다 저층에서 상대적으로 조립한 특성을 보였다.
- 분급도는 1.58~1.85 Φ 의 범위로 Poorly sorted 한 분포를 보였고, 왜도는 -0.01~0.19의 범위로 Near-symmetrical 에서 Fine-skewed 한 분포를 나타냈으며 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다.
- 첨도는 0.86~1.21로 Platykurtic 에서 Leptokurtic 한 분포를 보였다.



[그림 4-11] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T3 정점)

■ T4 정점

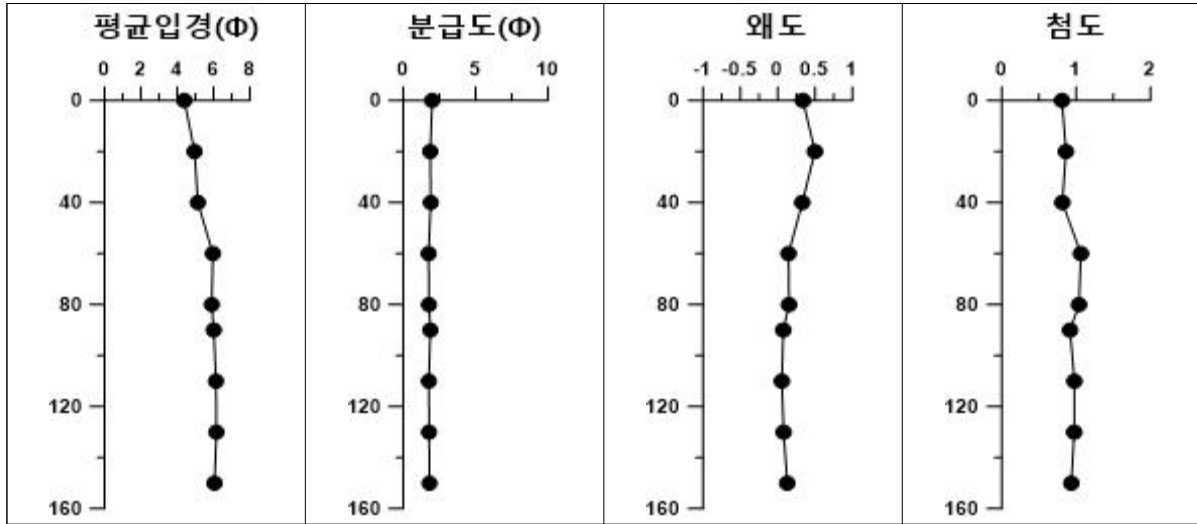
- 정점 T4의 조직변수는 평균 입경이 1.64~6.04 ϕ (평균 3.04 ϕ)의 범위로 나타났으며, 40 cm와 60 cm 층을 제외하면 유사한 입도를 보였다.
- 분급도는 2.22~3.38 ϕ 의 범위로 Very poorly sorted 한 분포를 보였고, 왜도는 -0.15~0.31의 범위로 Coarse-skewed 에서 Strongly fine-skewed 한 분포를 나타냈으며 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다.
- 첨도는 0.79~1.12로 Platykurtic 에서 Leptokurtic 한 분포를 보였다.



[그림 4-12] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T4 정점)

■ T5 정점

- 정점 T5의 조직변수는 평균 입경이 4.38~6.15 ϕ (평균 5.63 ϕ)의 범위로 나타났으며, 표층에서 저층으로 갈수록 세립해지는 특성을 보였다.
- 분급도는 1.74~1.99 ϕ 의 범위로 Poorly sorted 한 분포를 보였고, 왜도는 0.06~0.50의 범위로 Near-symmetrical 에서 Strongly fine-skewed 한 분포를 나타냈으며 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다.
- 첨도는 0.81~1.06으로 Platykurtic 에서 Mesokurtic 한 분포를 보였다.



[그림 4-13] 주상퇴적물 평균입경, 분급도, 왜도, 첨도 (T5 정점)

[2] 함수율

- 함수율은 정점 T1 에서 12.7~29.3%(평균 24.6%), 정점 T2 에서 30.6~34.1%(평균 32.4%), 정점 T3 에서 22.7~30.5%(평균 28.1%), 정점 T4 에서 14.6~19.3%(평균 17.4%), 정점 T5 에서 22.4~29.5%(평균 26.9%)의 범위를 보였다.
- 금회 조사에서 함수율은 입도가 세립한 층에서 상대적으로 높게 나타났으며, T2 에서 다소 높고, T4 에서 상대적으로 낮은 결과를 보였다.

[3] 강열감량(LL) 및 화학적 산소요구량(COD)

- 강열감량은 정점 T1 에서 2.9~6.5%(평균 5.1%), 정점 T2 에서 4.5~5.0%(평균 4.7%), 정점 T3 에서 2.9~3.9%(평균 3.4%), 정점 T4 에서 3.1~4.1%(평균 3.4%), 정점 T5 에서 2.4~4.1%(평균 3.4%)의 범위를 보였다.
- 화학적산소요구량은 정점 T1 에서 2.9~9.8%(평균 7.6%), 정점 T2 에서 4.8~8.6%(평균 6.4%), 정점 T3 에서 2.7~5.4%(평균 3.8%), 정점 T4 에서 2.2~6.7%(평균 3.9%), 정점 T5 에서 2.6~5.1%(평균 3.7%)의 범위를 보였다.
- 강열감량 및 화학적산소요구량은 정점 T1 과 T2 에서 상대적으로 높았다.

[4] 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

- 총유기탄소는 정점 T1 에서 0.13~0.71%(평균 0.52%), 정점 T2 에서 0.36~0.66%(평균 0.52%), 정점 T3 에서 0.28~0.36%(평균 0.31%), 정점 T4 에서 0.20~0.31%(평균 0.25%), 정점 T5 에서 0.24~0.80%(평균 0.37%)의 범위를 보였다.
- 총질소는 정점 T1 에서 0.02~0.08%(평균 0.05%), 정점 T2 에서 0.02~0.09%(평균 0.06%), 정점 T3 에서 0.02~0.03%(평균 0.03%), 정점 T4 에서 0.02~0.03%(평균 0.02%), 정점 T5 에서 0.02~0.03%(평균 0.02%)의 범위를 보였다.
- 총유기탄소와 총질소는 T1 과 T2 정점에서 다소 높고 T4 정점에서 다소 낮았다.
- 총유기탄소에 의한 총질소의 비율(C/N Ratio)은 유기물질의 기원을 밝히는데 이용되고 있다(Choi et al., 2000).
- C/N 비율은 정점 T1 6.5~14.0(평균 10.5), 정점 T2 7.3~18.0(평균 11.2), 정점 T3 9.3~16.0(평균 12.1), 정점 T4 10.0~13.5(평균 11.5), 정점 T5 11.0~40.0(평균 17.3)으로 조사되었다.
- 일반적으로 해양퇴적물에서 생물의 기초생산에 의해 형성된 유기물질은 C/N 비율이 10 이하의 값이 나타나고 주변 육지에서 공급된 육상기원 유기물질인 경우 10 이상의 값을 나타내는 것으로 알려져 있다(Muller, 1997; Sampei and Matsumoto, 2001).
- 기존 연구에서 황도 주변 주상퇴적물의 C/N 비율은 대부분 7.0~11.5 의 범위를 보였으며, 일부 깊이(22 cm)에서는 상대적으로 높은 값(24.9)을 나타낸 것으로 보고되었다(이 등, 2014).
- 금회 조사에서 주상퇴적물의 C/N 비율은 7.6~46.7(평균 14.9)의 범위를 보였다.
- 정점 T1 의 10 cm 와 140 cm 층, 정점 T2 의 5 cm 와 20 cm 층에서만 10 미만으로 나타났고, 그 외에는 모두 10 이상의 값을 보여, 황도 주변 퇴적물은 대부분 퇴적 과정에서 육상기원 유기물질의 영향을 받았을 것으로 판단된다.

[표 4-7] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T1 정점)

정점(깊이)	함수율	강열감량	TOC	TN	COD
	(%)				(mg/g)
T1(표층)	28.7	4.8	0.62	0.05	9.2
T1(10cm)	29.3	4.9	0.56	0.07	8.3
T1(20cm)	27.6	4.8	0.65	0.06	9.1
T1(40cm)	23.5	6.4	0.71	0.06	9.8
T1(60cm)	25.8	6.5	0.69	0.08	9.3
T1(80cm)	25.9	6.2	0.52	0.05	8.0
T1(100cm)	26.5	6.0	0.56	0.04	7.9
T1(120cm)	21.7	3.7	0.23	0.02	2.9
T1(140cm)	12.7	2.9	0.13	0.02	3.6
최소	12.7	2.9	0.13	0.02	2.9
최대	29.3	6.5	0.71	0.08	9.8
평균	24.6	5.1	0.52	0.05	7.6

[표 4-8] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T2 정점)

정점(깊이)	함수율	강열감량	TOC	TN	COD
	(%)				(mg/g)
T2(표층)	34.1	5.0	0.63	0.07	8.6
T2(5cm)	32.4	4.7	0.56	0.07	7.1
T2(20cm)	33.8	4.6	0.66	0.09	5.9
T2(40cm)	30.9	4.5	0.37	0.03	4.8
T2(60cm)	30.6	4.8	0.36	0.02	5.6
최소	30.6	4.5	0.36	0.02	4.8
최대	34.1	5.0	0.66	0.09	8.6
평균	32.4	4.7	0.52	0.06	6.4

[표 4-9] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T3 정점)

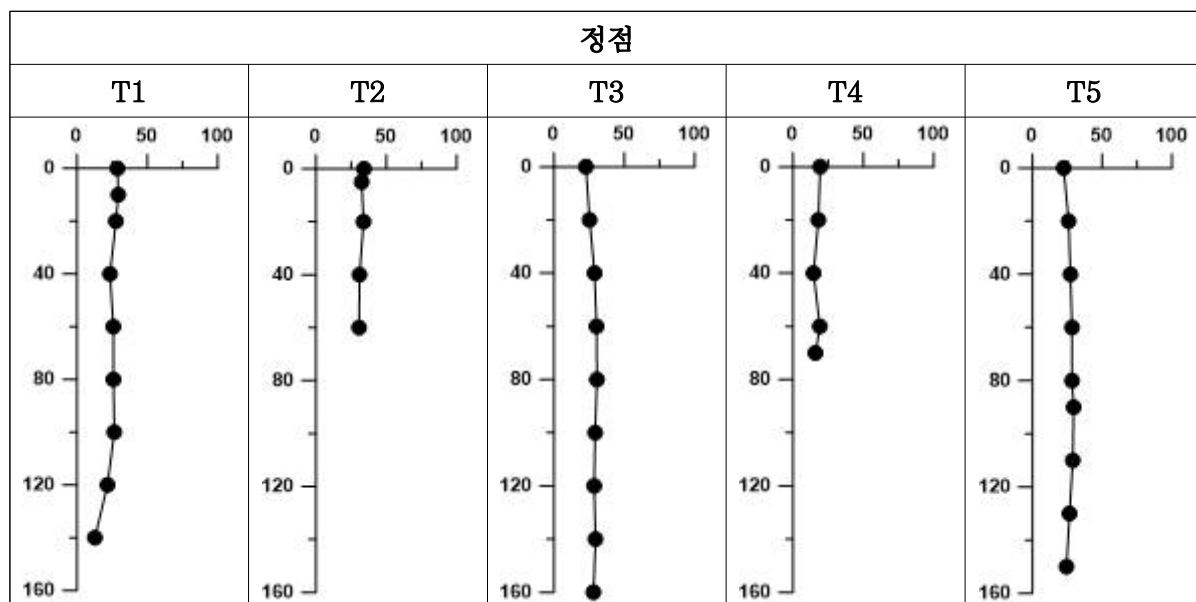
정점	함수율	강열감량	TOC	TN	COD
	(%)				(mg/g)
T3(표층)	22.7	3.1	0.28	0.03	4.3
T3(20cm)	25.3	2.9	0.33	0.03	4.4
T3(40cm)	28.8	3.4	0.32	0.03	2.7
T3(60cm)	30.2	3.3	0.31	0.02	3.0
T3(80cm)	30.5	3.5	0.29	0.02	3.3
T3(100cm)	29.3	3.4	0.32	0.03	3.4
T3(120cm)	28.6	3.6	0.32	0.02	3.8
T3(140cm)	29.5	3.9	0.29	0.03	5.4
T3(160cm)	28.1	3.5	0.36	0.03	4.3
최소	22.7	2.9	0.28	0.02	2.7
최대	30.5	3.9	0.36	0.03	5.4
평균	28.1	3.4	0.31	0.03	3.8

[표 4-10] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T4 정점)

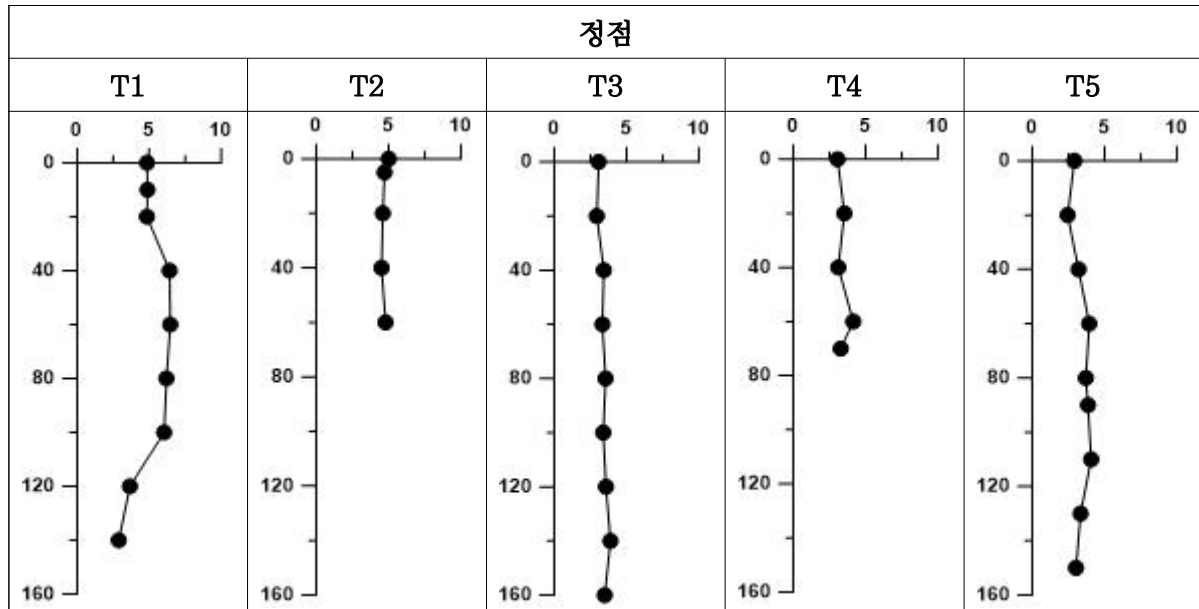
정점	함수율	강열감량	TOC	TN	COD
	(%)				(mg/g)
T4(표층)	19.3	3.1	0.31	0.03	6.7
T4(5cm)	18.0	3.5	0.23	0.02	4.1
T4(20cm)	14.6	3.1	0.20	0.02	2.5
T4(40cm)	19.1	4.1	0.27	0.02	2.2
T4(60cm)	15.9	3.3	0.24	0.02	4.3
최소	14.6	3.1	0.20	0.02	2.2
최대	19.3	4.1	0.31	0.03	6.7
평균	17.4	3.4	0.25	0.02	3.9

[표 4-11] 주상퇴적물 일반 및 유기물 항목 분석 결과 (T5 정점)

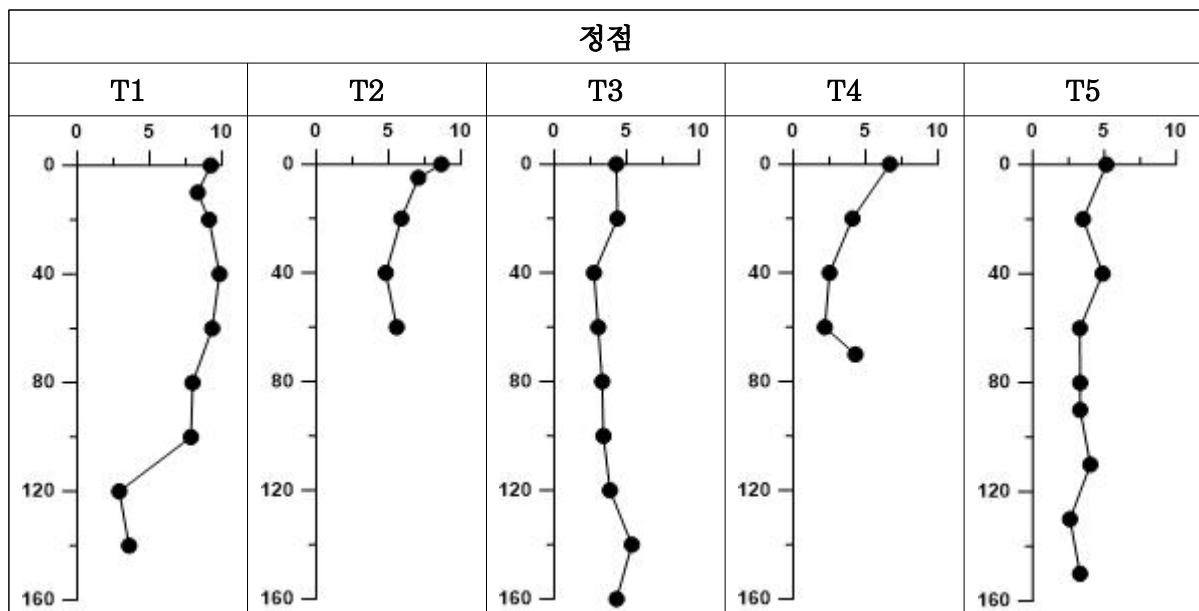
정점	함수율	강열감량	TOC	TN	COD
	(%)				(mg/g)
T5(표층)	22.4	2.9	0.29	0.02	5.1
T5(20cm)	25.9	2.4	0.33	0.03	3.5
T5(40cm)	27.2	3.2	0.80	0.02	4.9
T5(60cm)	28.4	3.9	0.38	0.02	3.3
T5(80cm)	28.4	3.7	0.33	0.02	3.3
T5(90cm)	29.5	3.8	0.24	0.02	3.3
T5(110cm)	28.9	4.1	0.34	0.02	4.0
T5(130cm)	26.5	3.3	0.28	0.02	2.6
T5(150cm)	24.4	3.0	0.35	0.03	3.3
최소	22.4	2.4	0.24	0.02	2.6
최대	29.5	4.1	0.80	0.03	5.1
평균	26.9	3.4	0.37	0.02	3.7



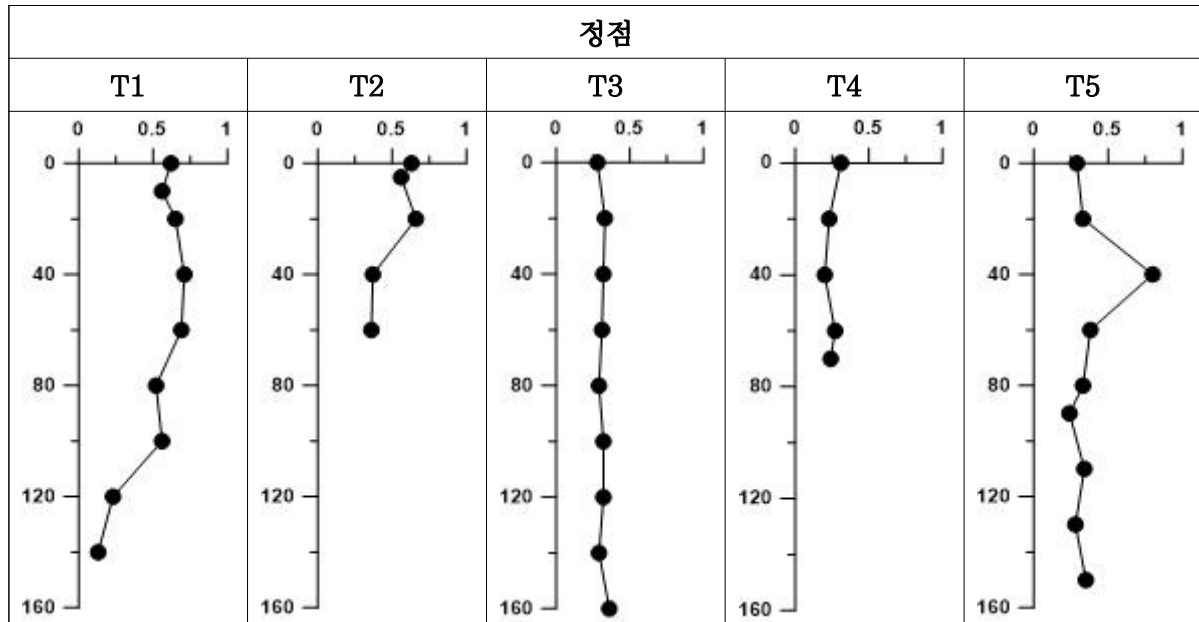
[그림 4-14] 주상퇴적물 함수율



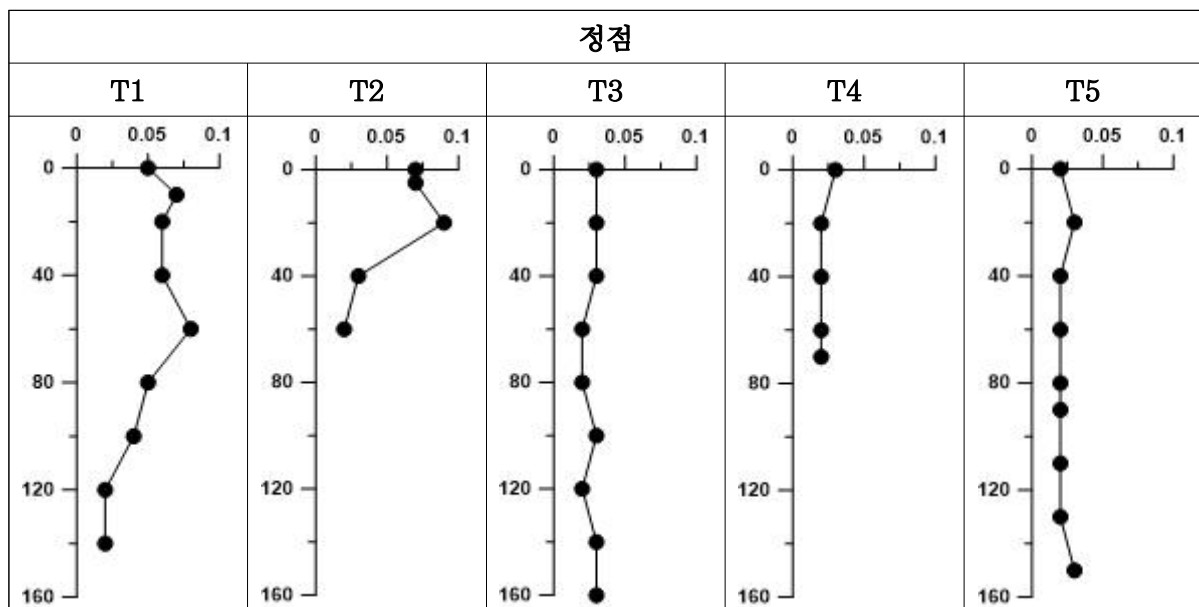
[그림 4-15] 주상퇴적물 강열감량(IL)



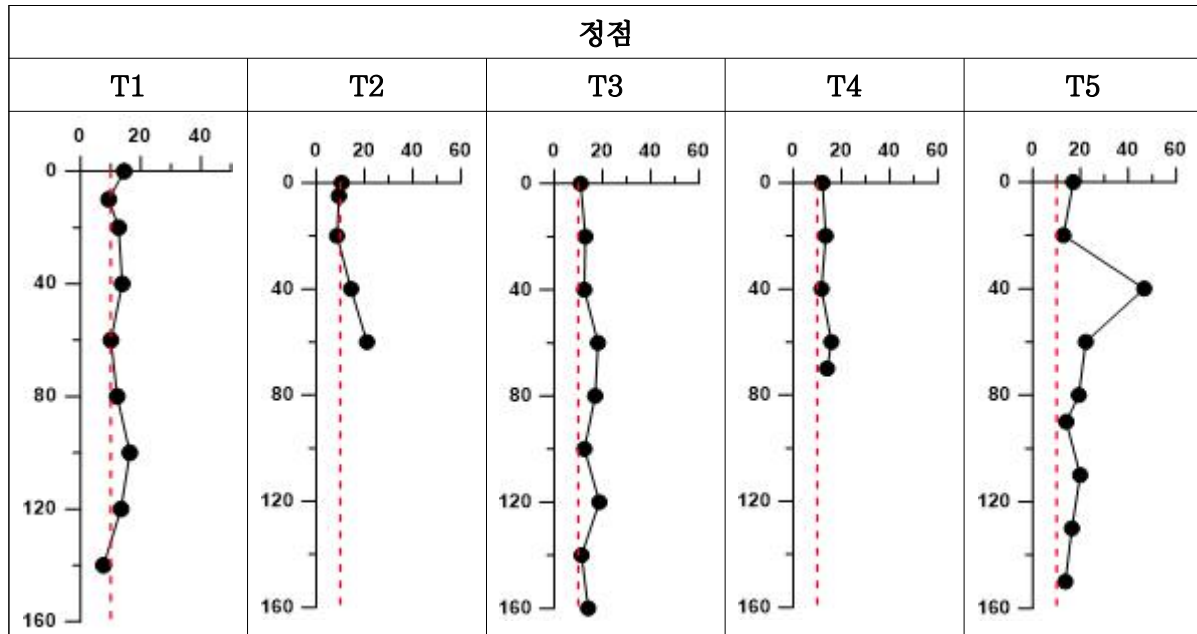
[그림 4-16] 주상퇴적물 화학적산소요구량(COD)



[그림 4-17] 주상퇴적물 총유기탄소(TOC)



[그림 4-18] 주상퇴적물 총질소(TN)



[그림 4-19] 주상퇴적물 C/N 비

2

X-ray 분석

1)

분석 방법

- 앞서 절단한 주상퇴적물을 입도 분리 또는 화학적 처리를 거치지 않은 원시료 자체를 분말 상태로 분쇄하여 X 선 회절분석기를 이용하여 정량분석하였다[그림 4-20].



[그림 4-20] 주상퇴적물 단층 사진

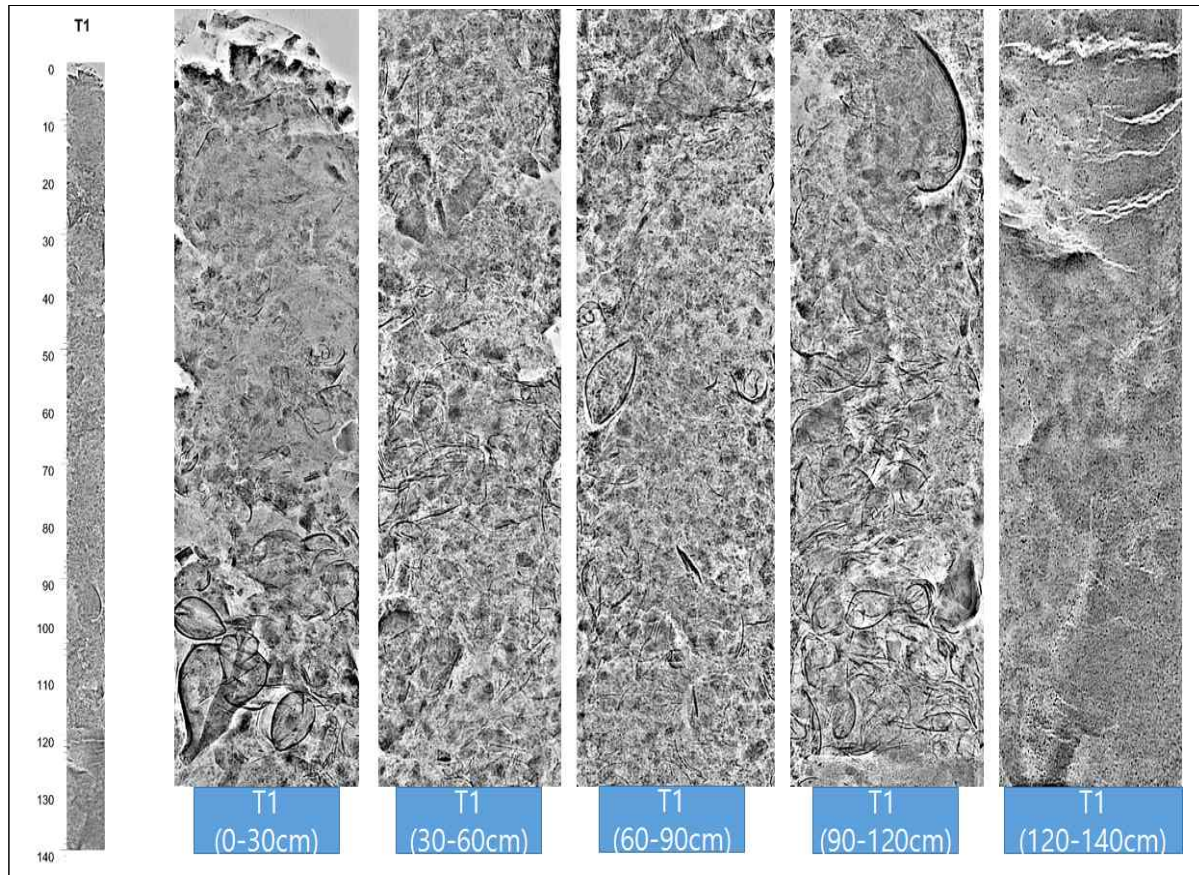
2)

분석 결과

[1]

T1 정점

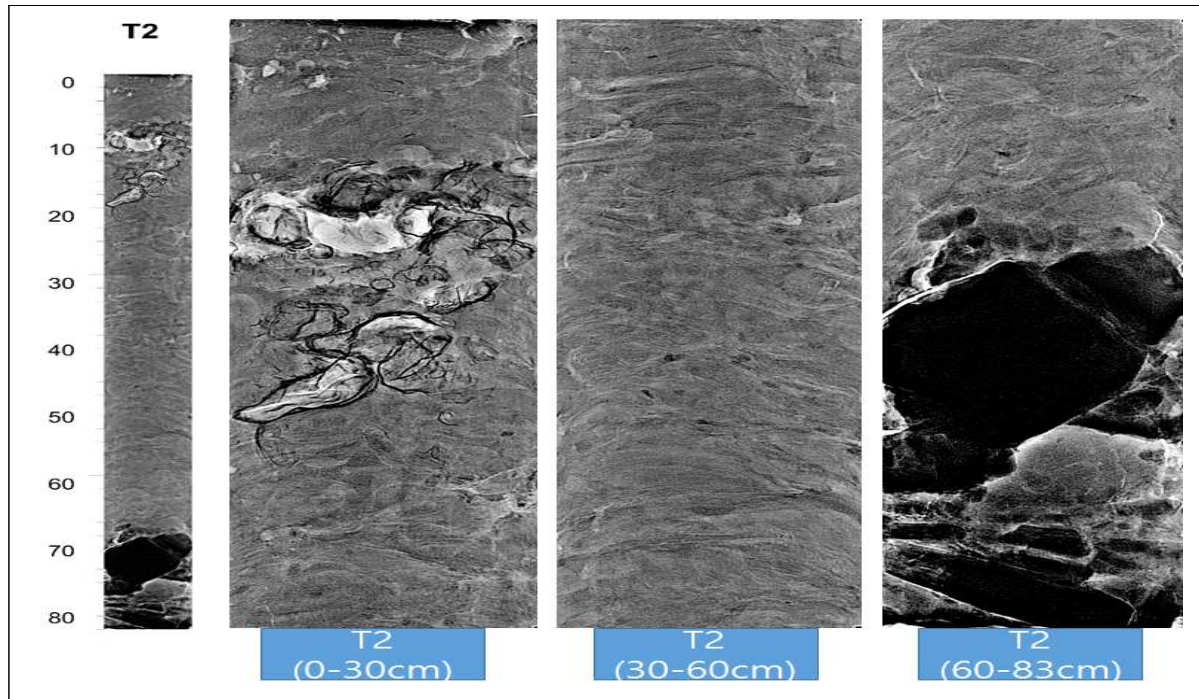
- T1 정점의 X-ray 촬영 결과는 [그림 4-21]과 같이 나왔다.
- 최상부층(0~20 cm), 중간층(20~128 cm), 하부층(128 cm 이하)의 3 개층으로 구분되었다.
- 최상부층인 약 20 cm 부터 정상적인 조간대층으로 변하고 있음을 확인할 수 있었다.
- 중간층인 20~128 cm 사이는 급격한 퇴적작용의 결과로 조개껍질, 모래와 펄이 무질서하게 섞여있는 층으로 정상적인 조간대 퇴적작용에 의해 형성된 것으로 해석되지 않았다.
- 128 cm 하부는 풍화토층, 그 상부는 조간대층이기는 하나 매우 무질서한 사질 펄층으로 보여진다.



[그림 4-21] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T1 정점)

[2] T2 정점

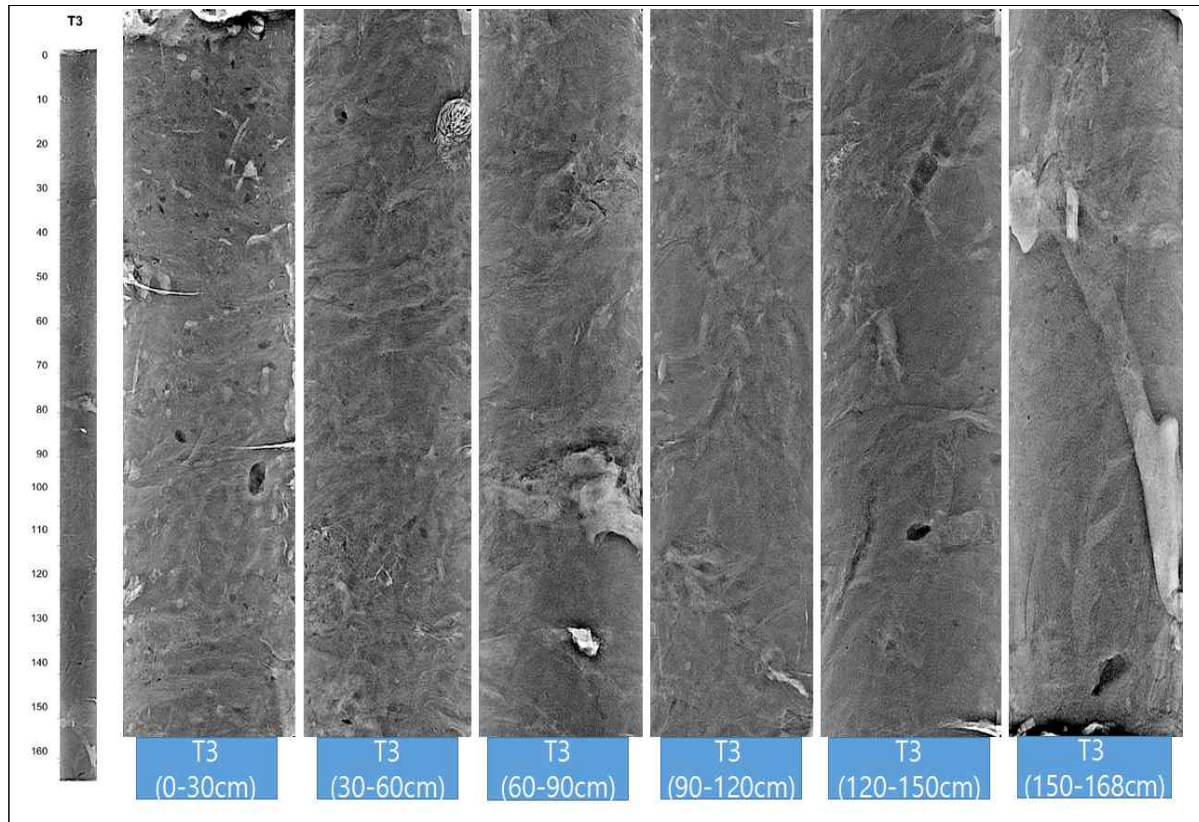
- T2 정점의 X-ray 촬영 결과는 [그림 4-22]과 같이 나왔다.
- 상부층(0~72 cm), 하부층(72 cm 이하)의 2 개층으로 구분되었다.
- 상부는 조간대층으로 생흔구조로 보이는 엽층리 펄층 구조를 보였으며, 급격한 퇴적작용을 받지 않은 정상적인 조간대층으로 해석되었다.
- 그러나, 최상부층인 0~17 cm 구간에 나타나는 조개껍질은 굴껍질의 형태를 가지고 있으며, 이 시기에 펄 조간대 상부에 빠르게 형성된 굴발의 잔재로 해석되었다.
- 하지만 공사의 영향을 받아 급격히 퇴적된 층으로 보여지지 않았다.
- 72 cm 하부는 풍화토층이며 붉은색 토양을 기반으로 구성되어 있는데, 이는 유라기 범람원 퇴적층에서 풍화침식된 토양의 공급에 의한 것으로 해석되었다.



[그림 4-22] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T2 정점)

[3] T3 정점

- T3 정점의 X-ray 촬영 결과는 [그림 4-23]과 같이 나왔다.
- 전체가 정상적인 조건대 펄 퇴적층으로 보였다.
- 일부 구간에 풍화토의 영향을 받은 것으로 판단되나, 이러한 현상은 강우시에 조건대로 유입된 토양의 잔재로 해석되었다.
- 전층이 심한 생흔작용에 의해 엽층리 퇴적구조가 모두 섞여버린 생흔무구조 펄층에 해당된다.
- 황도교 건설이나 그 전의 노둑길에 의한 영향이 퇴적 구조상으로 보존될 수 없는 곳으로 판단된다.

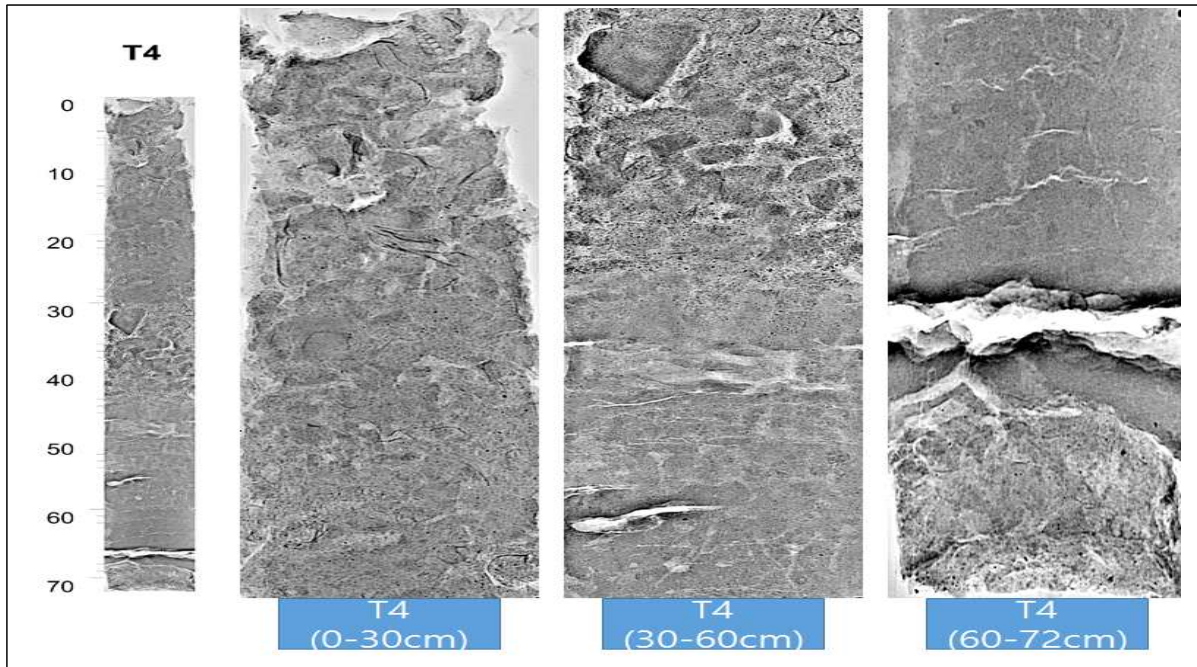


[그림 4-23] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T3 정점)

[4] T4 정점

- T4 정점의 X-ray 촬영 결과는 [그림 4-24]과 같이 나왔다.
- 상부층(0~43 cm), 중간층(43~70 cm), 하부층(72 cm 이하)을 경계로 3 개층으로 구분되었다.
- 상부층은 급격한 퇴적역학적 특성이 바뀌어 무질서하게 퇴적이 되고 있는 사질 펄층이며 현재까지도 황도교 공사 이후 안정상태에 이르지 못한 조건대 퇴적층으로 판단된다.
- 중간층은 산화된 펄층으로 다량의 펄질 토양이 섞여있는 것으로 판단되었으며, 정상적인 조건대 퇴적구조 또는 생흔구조가 발견되지 않았기에 무구조 산화펄층으로 분류하였다.
- 해당 층은 공사기간 중에 발생한 산화토가 주변지역에 부유하였다가 만조시에 빠르게 퇴적된 층으로 해석된다.

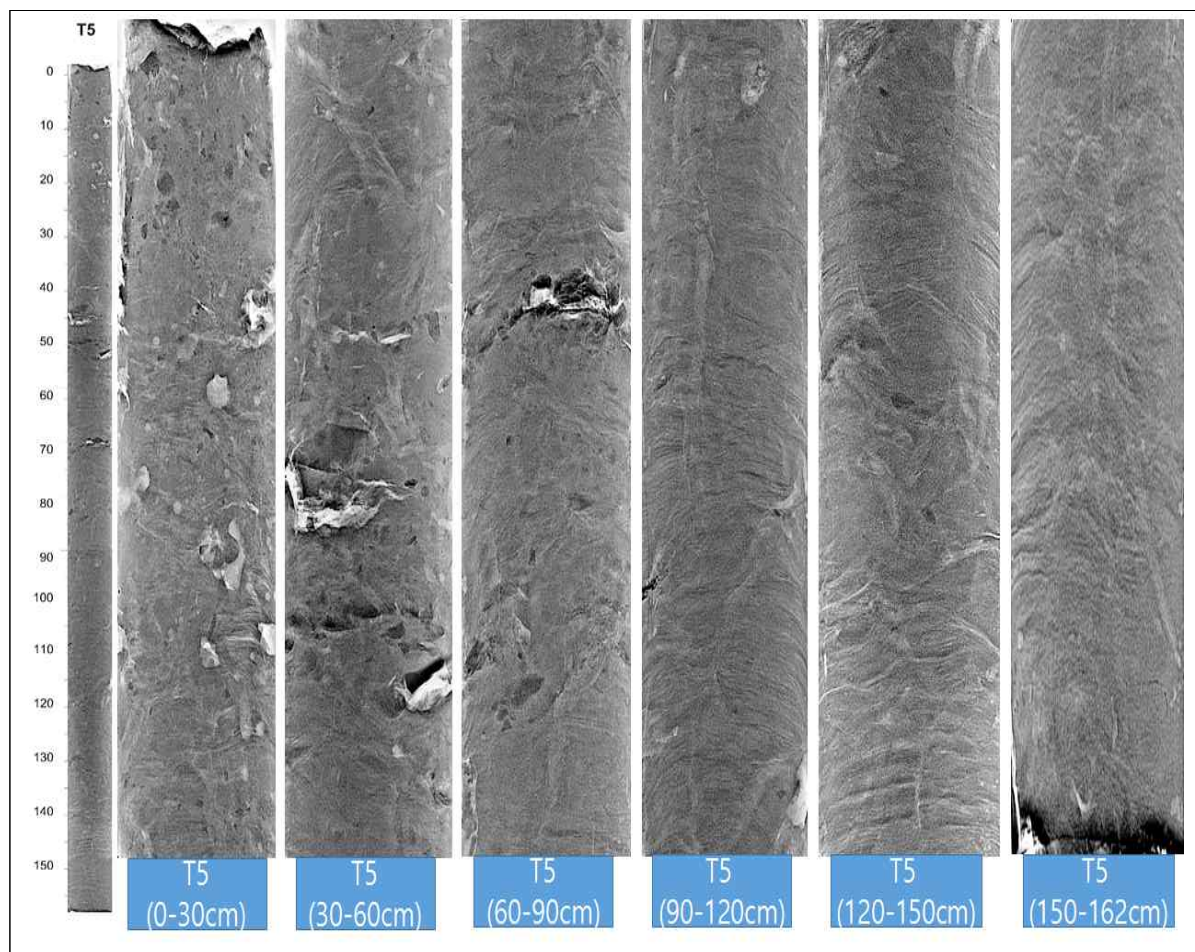
- 하부층은 상부층에 나타나는 퇴적층과 동일한 퇴적학적 특성을 보였다.
- 이러한 퇴적층의 구성은 자연적인 조류에 의해 조간대층이 형성되지 않았음을 의미하기에 보다 정밀한 조사가 필요하다.



[그림 4-24] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T4 정점)

[5] T5 정점

- T5 정점의 X-ray 촬영 결과는 [그림 4-25]과 같이 나왔다.
- 전반적으로 T3 정점과 같이 정상적인 조간대 펄퇴적층으로 보여진다.
- 일부 구간에 풍화토의 영향을 받은 것으로 판단되나, X-ray 사진상에서는 모두 동일한 조간대층으로 보여진다.
- 전층이 심한 생흔작용에 의해 엽층리 퇴적구조가 모두 섞여있다.
- 85 cm 상부층은 생흔무구조 펄층으로 보여지며, 85 cm 이하에서는 X-ray 사진 상에서 잘 관찰이 되기 때문에 엽층리 펄층으로 해석되었다.



[그림 4-25] 주상퇴적물 X-ray 사진 (T5 정점)

3

방사성 동위원소 분석

1)

분석 방법

- 주상시료를 시료간의 교란이 일어나지 않도록 주의하여 정점시료별 구간마다 절단하여 밀봉 비닐백에 넣어 보관하였고 분석 시 분취하여 사용하였다.
- 분취한 퇴적물은 건조 후, 전동분쇄기와 막자를 이용하여 고운 입자가 될 때까지 뿜어준 후 플라스틱 용기에 5 g 씩 보관하였다.
- 전처리를 거친 퇴적물 시료는 우물형 감마계수기를 사용, 감사선을 계측하여 ^{210}Pb (납), ^{226}Ra (라듐), ^{137}Cs (세슘)을 측정하였다.

2)

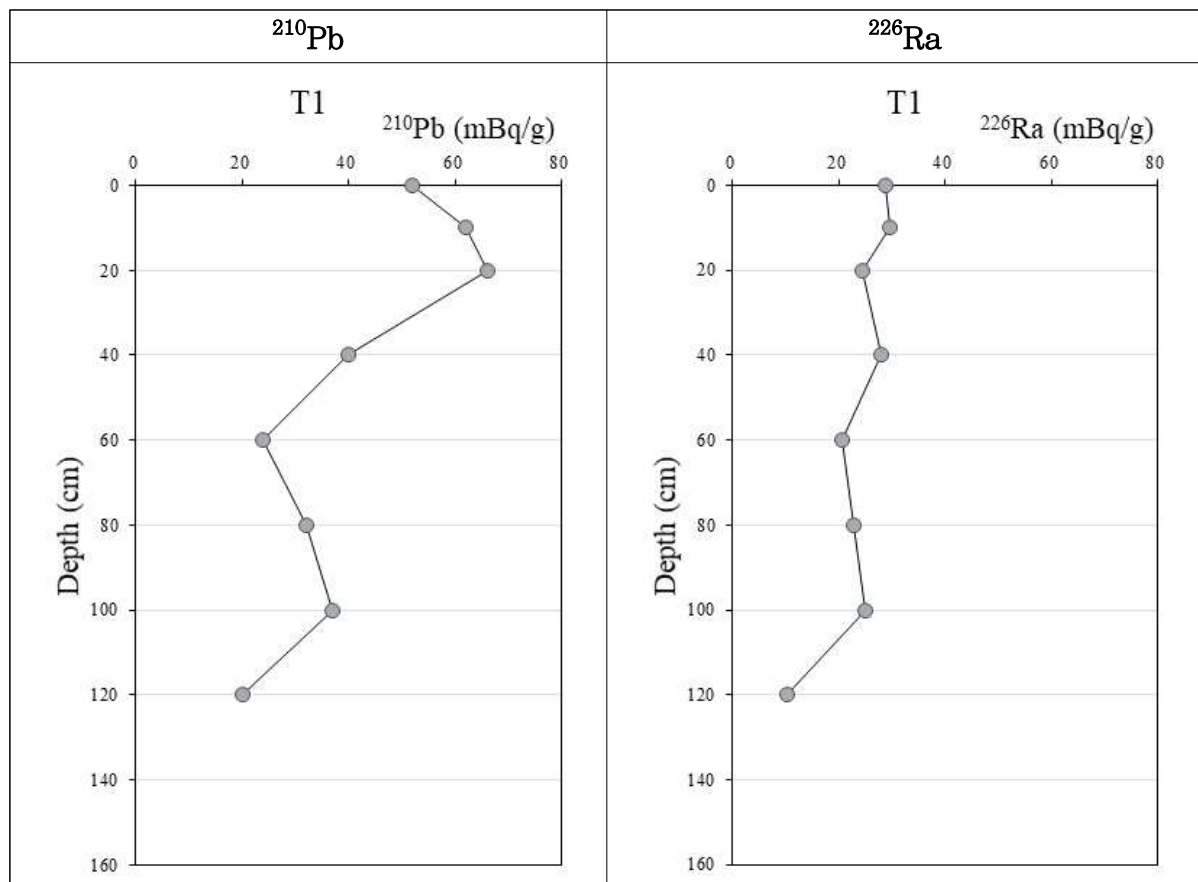
분석 결과

[1] T1 정점

- T1 정점의 방사성 동위원소 ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs 을 분석한 결과는 [표 4-12, 그림 4-26]에 제시하였다.
- ^{210}Pb 의 방사능 활동도(activity)는 $24 \pm 5 \sim 66 \pm 6$ mBq/g 의 범위를 보였고, 표층~20 cm 구간에서 증가 후, 감소하는 경향을 보였으며, 60~100 cm 구간에서 다시 증가 후, 감소하는 양상을 보였다.
- ^{226}Ra 의 방사능 활동도는 $10 \pm 1 \sim 30 \pm 2$ mBq/g 의 범위를 보였다.
- ^{226}Ra 의 경우는 수직적으로 일정한 분포 패턴을 보여야 하나, ^{210}Pb 의 수직분포와 유사하게 나타났으며, 이는 인근 담수호(부남호 및 간월호)로부터 유입되는 입자의 영향(탈착)을 받았을 것으로 해석된다.
- ^{137}Cs 는 4 mBq/g 의 매우 낮은 방사능 활동도를 가지고 있었고, 수직적으로 특별한 경향성을 파악할 수 없었다.

[표 4-12] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T1 정점)

정점	총 코어길이	시료 깊이	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs
	cm	cm	mBq/g		
T1	140	0	52 ± 6	29 ± 1	<4
		10	62 ± 7	30 ± 2	<4
		20	66 ± 6	25 ± 2	<4
		40	40 ± 7	28 ± 2	<4
		60	24 ± 5	21 ± 2	<4
		80	32 ± 6	23 ± 2	<4
		100	37 ± 5	25 ± 1	<4
		120	20 ± 6	10 ± 1	<4



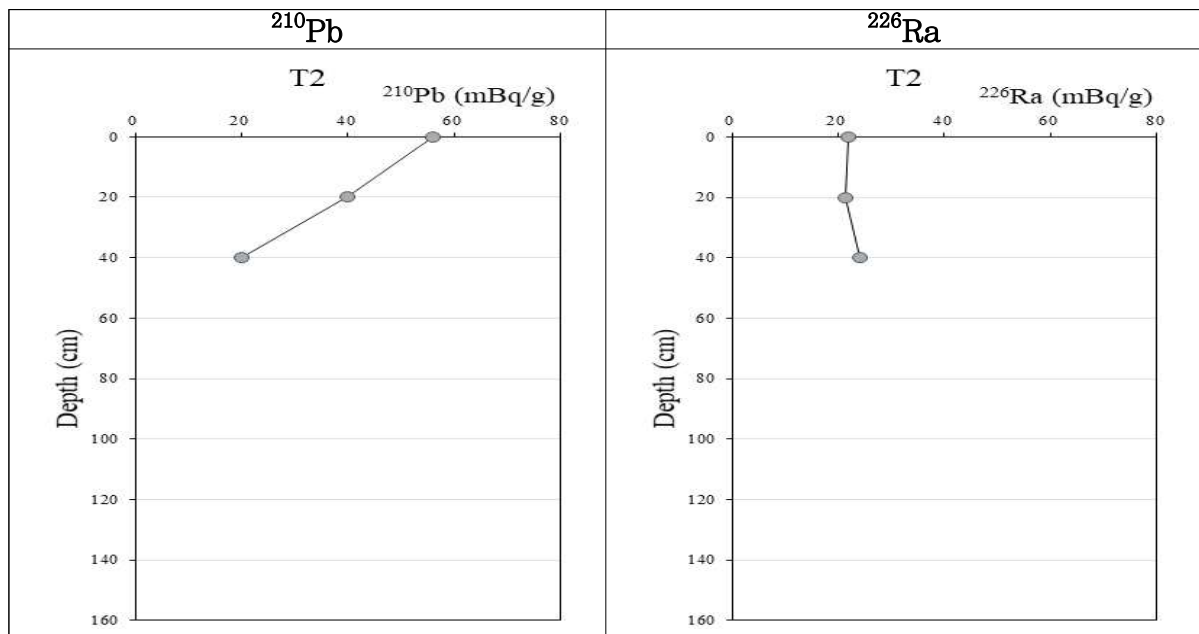
[그림 4-26] 방사성 동위원소 분석결과 (T1 정점)

[2] T2 정점

- T2 정점의 방사성 동위원소 ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs 을 분석한 결과는 [표 4-13, 그림 4-27]에 제시하였다.
- ^{210}Pb 의 방사능 활동도는 $20 \pm 6 \sim 56 \pm 8$ mBq/g 의 범위를 보였고, 표층부터 일정하게 감소하는 양상을 보였다.
- ^{226}Ra 의 방사능 활동도는 $21 \pm 1 \sim 24 \pm 2$ mBq/g 의 범위를 보였다.
- ^{226}Ra 의 경우는 수직적으로 일정한 분포 패턴을 보였는데, 이는 인근 담수호(부남호 및 간월호)로부터 유입되는 입자의 영향(탈착)을 받지 않는 안정된 상태로 해석되었다.
- ^{137}Cs 는 4 mBq/g 의 매우 낮은 방사능 활동도를 가지고 있었고, 수직적으로 특별한 경향성을 파악할 수 없었다.

[표 4-13] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T2 정점)

정점	총 코어길이	시료 깊이	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs
	cm	cm	mBq/g		
T2	83	0	56 ± 8	22 ± 2	<4
		20	40 ± 5	21 ± 1	<4
		40	20 ± 6	24 ± 2	<4

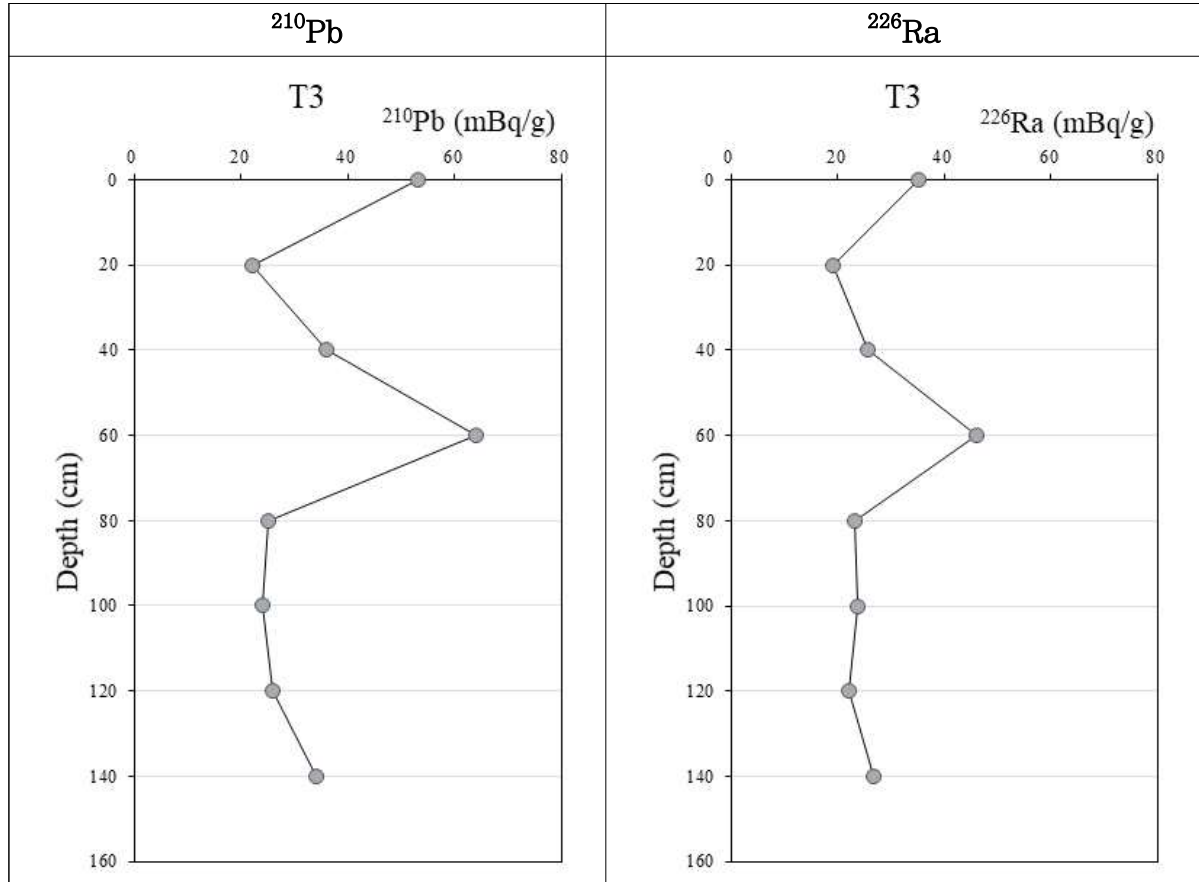
**[그림 4-27] 방사성 동위원소 분석결과 (T2 정점)**

(3) T3 정점

- T3 정점의 방사성 동위원소 ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs 을 분석한 결과는 [표 4-14, 그림 4-28]에 제시하였다.
- ^{210}Pb 의 활동도는 $24 \pm 6 \sim 64 \pm 8$ mBq/g 의 범위를 보였고, 표층~20 cm 까지 감소, 20~60 cm 부터 증가, 60~80 cm 구간 감소, 80 cm 이하에서 일정한 분포를 보였다.
- ^{226}Ra 의 활동도는 $19 \pm 2 \sim 46 \pm 2$ mBq/g 의 범위를 보였고, ^{210}Pb 의 수직적 분포 패턴과 유사하였다.
- ^{137}Cs 는 4 mBq/g 의 매우 낮은 방사능 활동도를 가지고 있었고, 수직적으로 특별한 경향성을 파악할 수 없었다.

[표 4-14] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T3 정점)

정점	총 코어길이	시료 깊이	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs
	cm	cm	mBq/g		
T3	168	0	53 ± 6	35 ± 2	<4
		20	22 ± 6	19 ± 2	<4
		40	36 ± 6	26 ± 2	<4
		60	64 ± 8	46 ± 2	<4
		80	25 ± 6	23 ± 1	<4
		100	24 ± 6	24 ± 2	<4
		120	26 ± 5	22 ± 1	<4
		140	36 ± 7	27 ± 2	<4



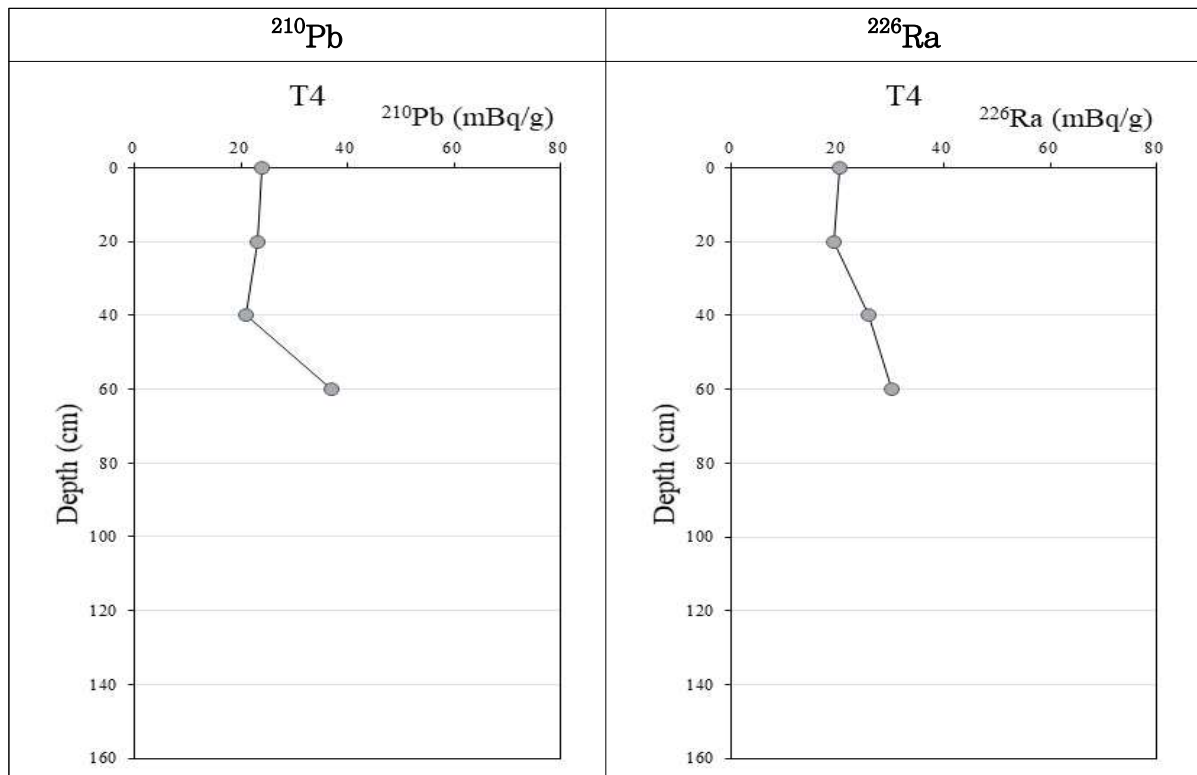
[그림 4-28] 방사성 동위원소 분석결과 (T3 정점)

[4] T4 정점

- T4 정점의 방사성 동위원소 ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs 을 분석한 결과는 [표 4-15, 그림 4-29]에 제시하였다.
- ^{210}Pb 의 활동도는 $21 \pm 5 \sim 37 \pm 4$ mBq/g의 범위를 보였고, 표층~40 cm까지 약간 감소하는 양상을 보인 후, 증가하는 결과를 보였다.
- ^{226}Ra 의 활동도는 $19 \pm 1 \sim 37 \pm 1$ mBq/g의 범위를 보였고, 20 cm부터 다소 증가하는 양상을 보였다.
- ^{137}Cs 는 4 mBq/g의 매우 낮은 방사능 활동도를 가지고 있었고, 수직적으로 특별한 경향성을 파악할 수 없었다.

[표 4-15] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T4 정점)

정점	총 코어길이	시료 깊이	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs
	cm	cm	mBq/g		
T4	72	0	24 ± 6	20 ± 1	<4
		20	23 ± 6	19 ± 1	<4
		40	21 ± 5	26 ± 1	<4
		60	37 ± 4	30 ± 1	<4



[그림 4-29] 방사성 동위원소 분석결과 (T4 정점)

[5] T5 정점

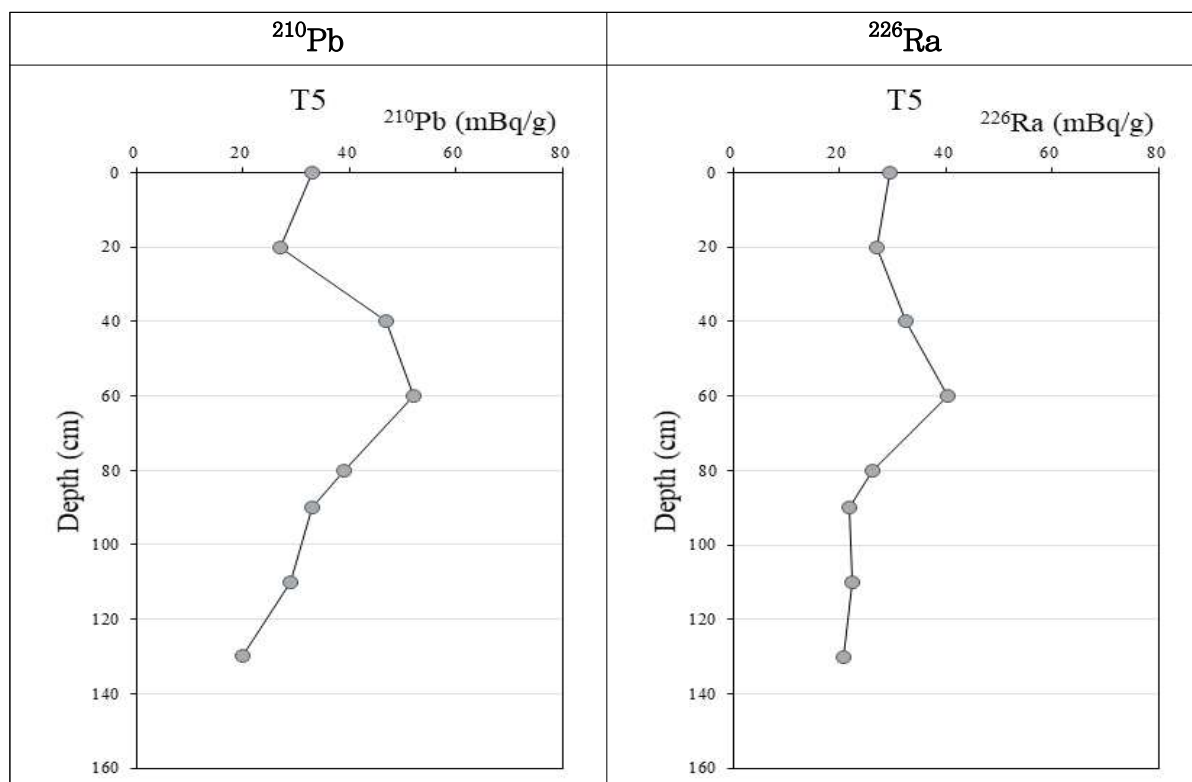
- T5 정점의 방사성 동위원소 ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{137}Cs 을 분석한 결과는 [표 4-16, 그림 4-30]에 제시하였다.
- ^{210}Pb 의 활동도는 $20 \pm 7 \sim 52 \pm 7$ mBq/g의 범위를 보였고, 표층~20 cm까지 감소, 20~60 cm부터 증가, 60 cm 이하에서 점차적으로 감소하는 분포를 보였다.
- ^{226}Ra 의 활동도는 $21 \pm 2 \sim 40 \pm 2$ mBq/g의 범위를 보였고, ^{210}Pb 의 수직적 분포

패턴과 유사하였다.

- ^{137}Cs 는 4 mBq/g 의 매우 낮은 방사능 활동도를 가지고 있었고, 수직적으로 특별한 경향성을 파악할 수 없었다.

[표 4-16] 주상퇴적물 방사성 동위원소 분석 결과 (T5 정점)

정점	총 코어길이	시료 깊이	^{210}Pb	^{226}Ra	^{137}Cs
	cm	cm	mBq/g		
T5	168	0	33 ± 6	30 ± 2	<4
		20	27 ± 5	27 ± 2	<4
		40	47 ± 8	32 ± 2	<4
		60	52 ± 7	40 ± 2	<4
		80	39 ± 5	26 ± 1	<4
		90	33 ± 7	22 ± 2	<4
		110	29 ± 6	22 ± 2	<4
		130	20 ± 7	21 ± 2	<4



[그림 4-30] 방사성 동위원소 분석결과 (T5 정점)

4

퇴적속도 및 연대추정

1) 방사성 동위원소 개요

- 자연 방사성 동위원소인 ^{210}Pb (납)은 반감기가 22.3 년으로 퇴적물의 퇴적속도를 측정하는데 널리 이용되고 있다.
- 지각에 많이 존재하는 ^{238}U (우라늄)의 붕괴계열의 핵종인 ^{222}Rn (라돈)은 육지로부터 대기 중으로 지속적으로 공급되고, 이는 대기중에서 붕괴하여 ^{210}Pb (납)의 형태로 해양으로 유입되어 해저면에 공급되게 된다.
- 이렇게 해저면에 퇴적되는 과잉된 ^{210}Pb 는 약 100 년 규모의 퇴적과정 연구에 사용되며, 퇴적물 내의 수직 분포를 통해 퇴적속도를 계산할 수 있다.
- U-Th 붕괴계열의 자연 방사성 핵종인 라듐(Ra)은 다양한 반감기를 가지고 있는데, 이 중 ^{226}Ra 은 반감기가 1,600 년으로 안정된 상태로 존재하게 된다.
- 따라서 ^{210}Pb 의 방사능 활동도(activity)에서 ^{226}Ra 의 방사능 활동도를 보정해줌으로써 과잉공급된 납($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$)의 양을 파악할 수 있고, 퇴적과정이나 퇴적물 내의 수직 분포를 통해 퇴적속도를 계산하는데 이용된다.
- 자연적으로 존재하는 자연 방사성 동위원소와는 달리 인공 방사성 동위원소는 1950 년대 대기 중에서의 핵실험을 통해 전 지구적으로 유입되었다.
- 인공 방사성 동위원소 중 ^{137}Cs (세슘)이 널리 이용되는데 핵실험금지조약(1963 년)이 발효되면서 공급이 감소하게 되었으며, 체르노빌 원전사고(1963 년), 후쿠시마 원전사고(2011 년) 등과 같이 절대연도를 보정하는데 사용된다.

2) 퇴적속도 산정 방법

- 퇴적속도는 다음의 식을 통해 계산할 수 있다.

$$A = A_0 e^{-\frac{\lambda}{S}z}$$

- A_0 와 A 는 표층과 깊이 z 에서의 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 농도, λ 는 ^{210}Pb 의 붕괴상수, S 는 퇴적속도이다.
- 여기서 과잉공급된 납($^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$)는 아래와 같은 식으로 계산된다.

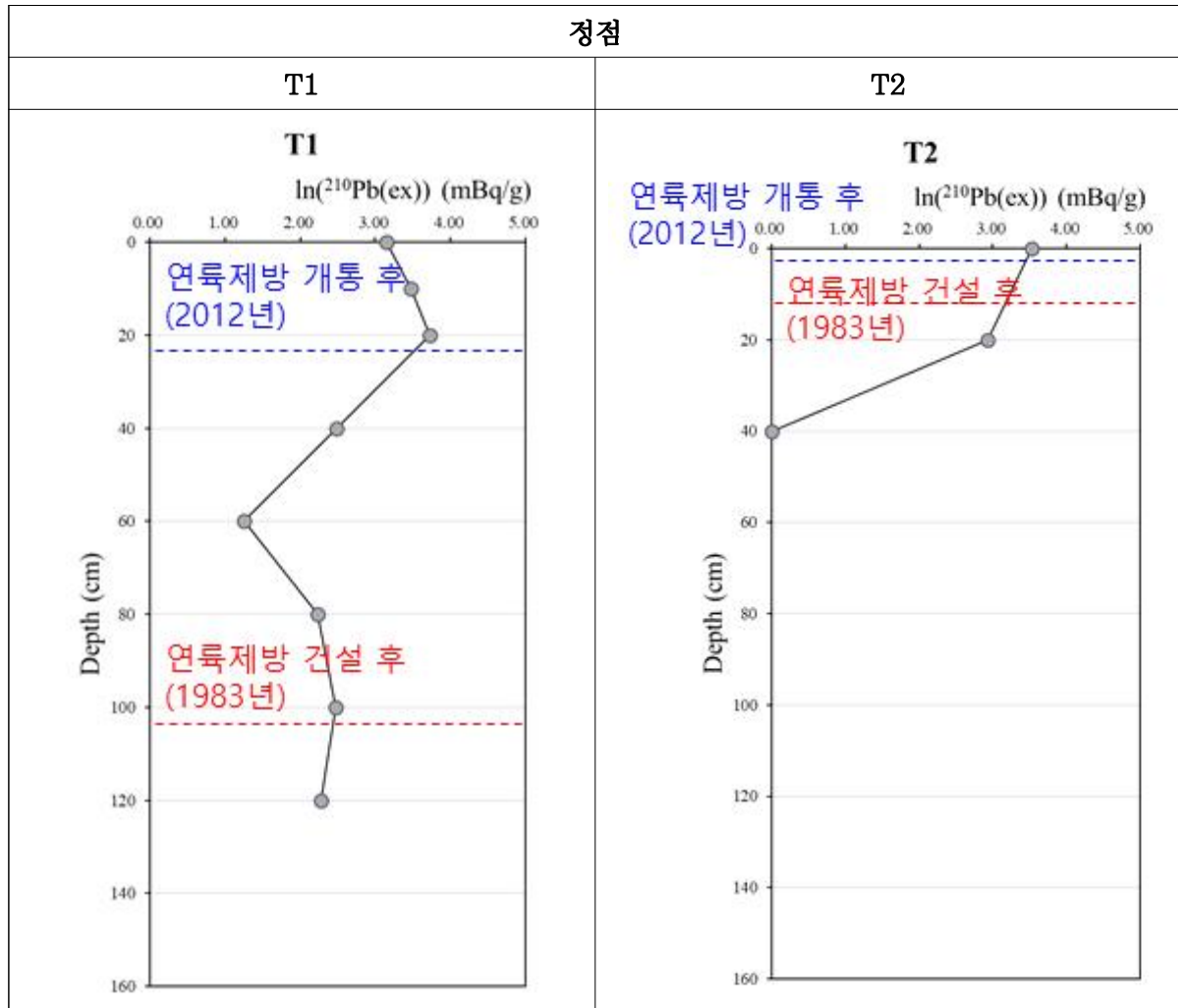
$$^{210}\text{Pb}_{\text{ex}} = ^{210}\text{Pb} - ^{226}\text{Ra}$$

3) 퇴적속도 및 연대산정 결과

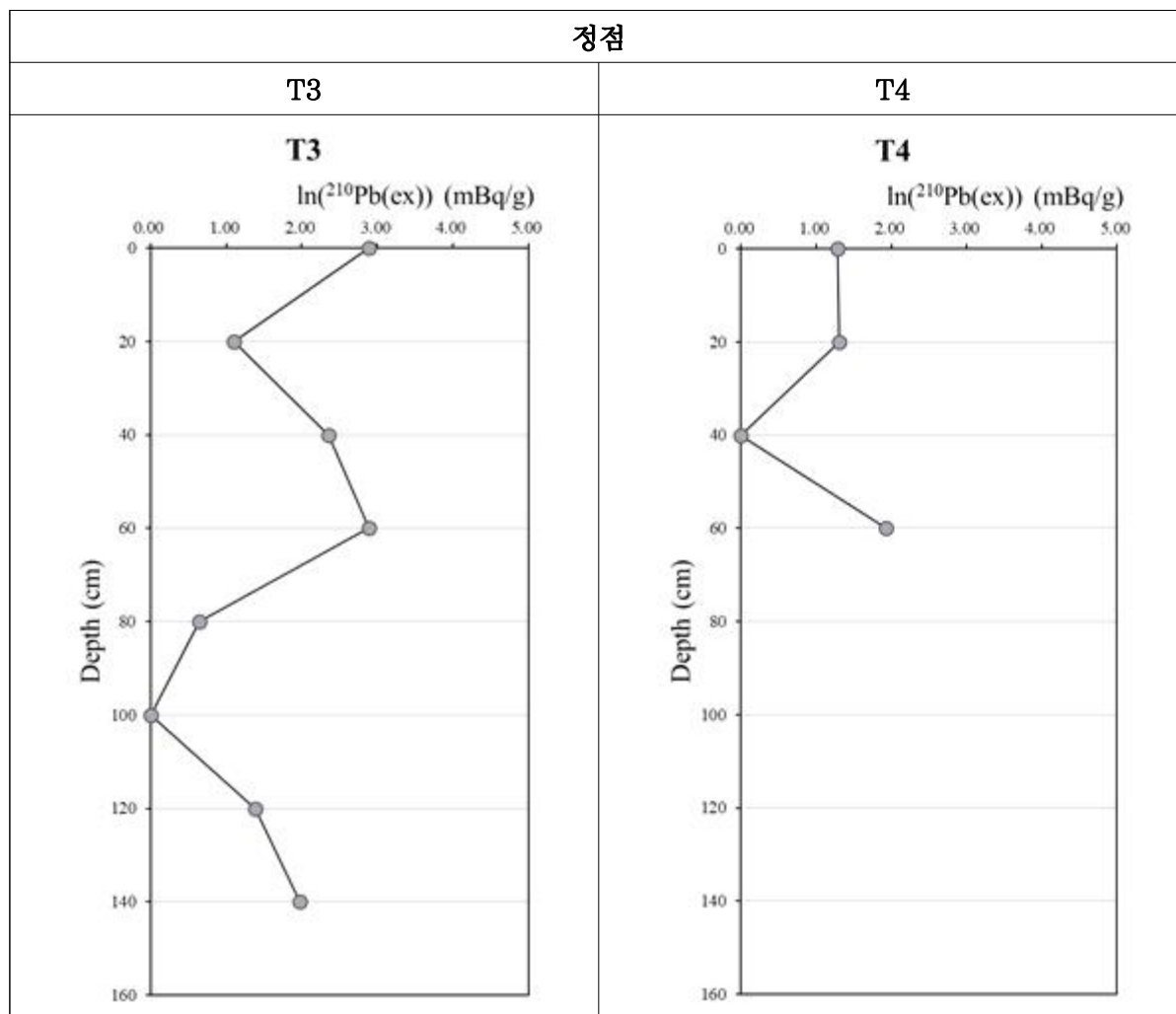
- 총 5 개 정점(T1~T5)을 대상으로 퇴적률(속도) 및 연대를 추정한 결과는 [표 4-17, 그림 4-31~33]과 같았다.
- 정점 T3 과 T4 의 경우는 퇴적물의 교란(저서생물 교란, 인간활동, 무질서한 퇴적작용 등)이 심하여 퇴적률을 산정할 수 없었다.
- T1 정점의 경우, 퇴적률이 약 2.77cm/년으로 산정되었고, 연륙제방 건설 후 현재까지 약 1 m 의 퇴적물이 급격히 퇴적되었음을 알 수 있었다.
- 또한, 앞서 살펴본 바와 같이 유기물 관련 항목(함수율, 강열감량, 화학적 산소요구량, 총유기탄소, 총질소)의 농도가 위 구간(1~1.2 m)에서 급격히 증가하는 양상을 볼 수 있었다 [표 4-7, 그림 4-14~18].
- T2 정점의 경우, 퇴적률이 약 0.35 cm/년으로 산정되었고, 연륙제방 건설 후 현재까지 약 13 cm 의 퇴적물이 쌓인 것으로 나타났다.
- 이는 유기물 관련 항목(함수율, 강열감량, 화학적 산소요구량, 총유기탄소, 총질소) 농도의 수직 분포에서도 알 수 있듯이 약 20 cm 깊이 전후로 농도가 급격히 변화하였다[표 4-8, 그림 4-14~18].
- T5 정점의 경우, 연간 약 1.23 cm 의 퇴적물이 쌓이는 것으로 추정되었으며, 연륙제방 건설 후 현재까지 약 45 cm 의 퇴적물이 퇴적된 것으로 나타났다.

[표 4-17] 황도 갯벌 주상퇴적물의 퇴적속도 및 연대추정 결과

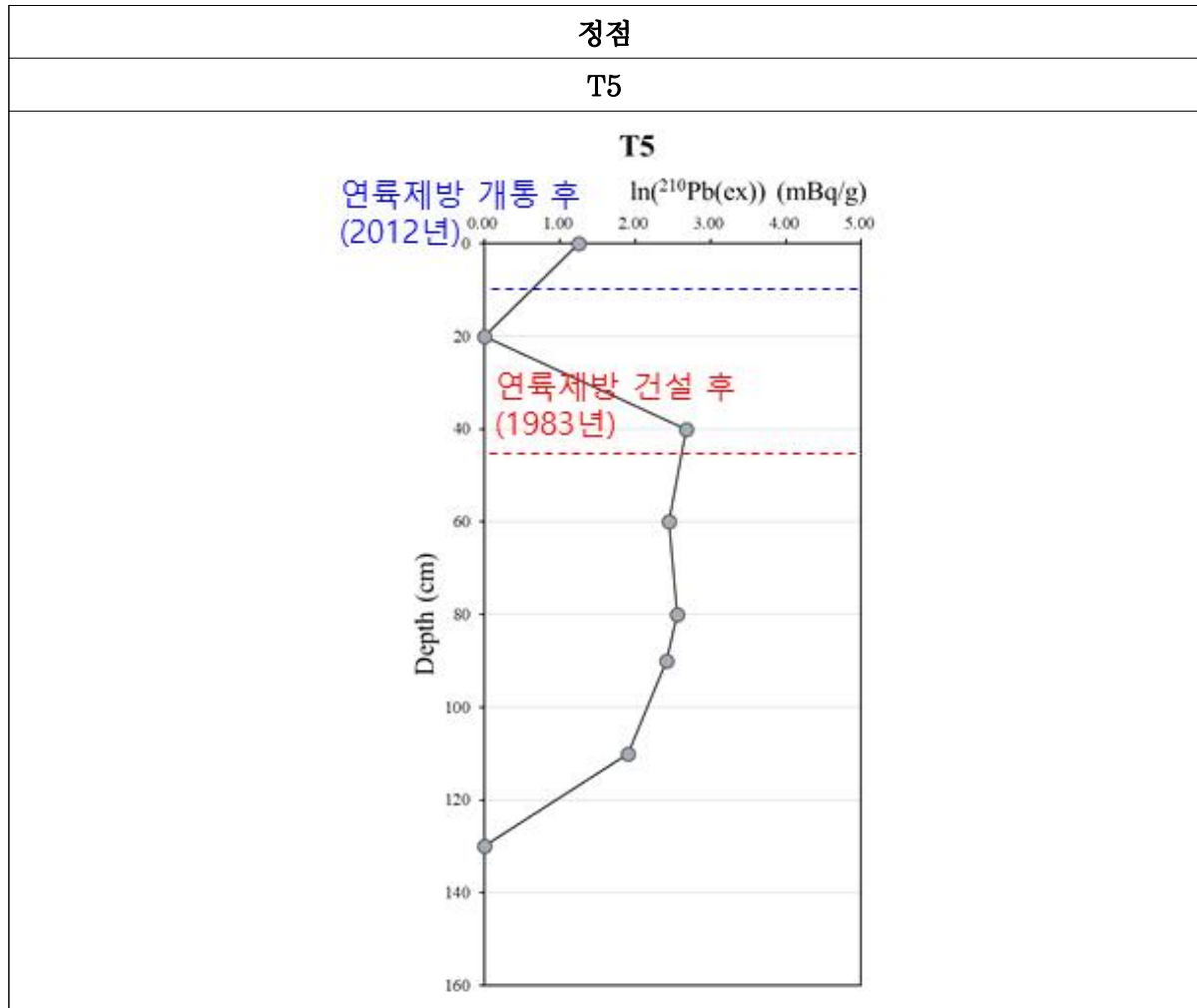
정점	구분	결 과									퇴적속도 (cm/년)
T1	총 코어길이(cm)	140									2.77
	시료깊이(cm)	0	10	20	40	60	80	100	120	—	
	연대	2020	2016	2013	2006	1998	1991	1984	1977	—	
T2	총 코어길이(cm)	83									0.35
	시료깊이(cm)	0	20	40	—	—	—	—	—	—	
	연대	2020	1963	1906	—	—	—	—	—	—	
T3	총 코어길이(cm)	168									추정불가
	시료깊이(cm)	0	10	20	40	60	80	100	120	140	
	연대	추정불가									
T4	총 코어길이(cm)	72									추정불가
	시료깊이(cm)	0	20	40	60	—	—	—	—	—	
	연대	추정불가									
T5	총 코어길이(cm)	162									1.23
	시료깊이(cm)	0	20	40	60	80	90	110	130	—	
	연대	2020	2004	1987	1971	1955	1947	1930	1914	—	



[그림 4-31] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T1, T2 정점)



[그림 4-32] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T3, T4 정점)



[그림 4-33] 황도 갯벌 주상퇴적물 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 의 수직 분포 (T5 정점)

황도 연륙교 건설 전 · 후 환경변화

1. 해 양 수 질 변 화
2. 퇴 적 물 변 화
3. 저 서 생 물 변 화

1

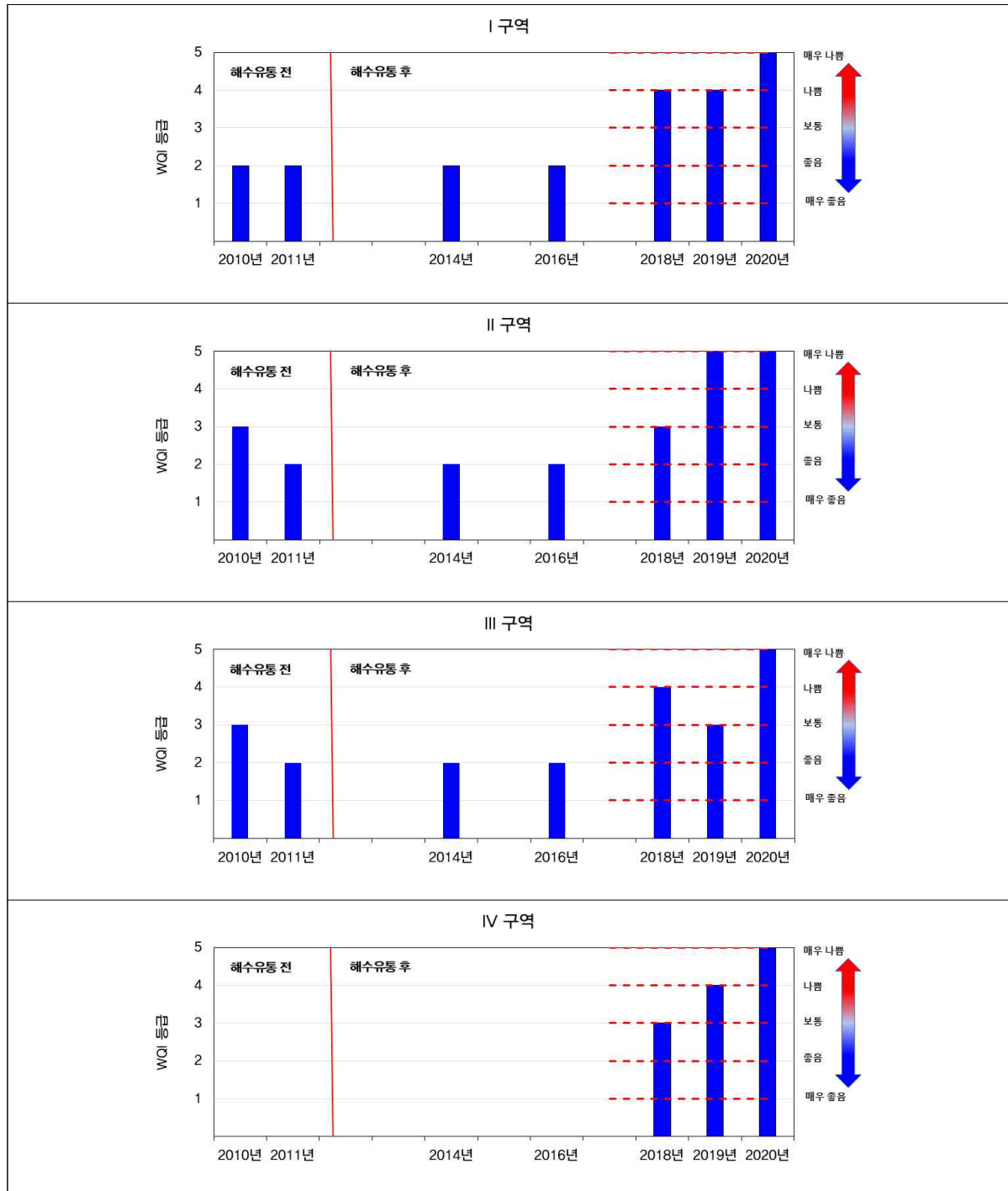
황도 연륙교 건설 전·후 해양수질 변화

- 황도 연륙교 건설 전·후의 수질 변화를 생태기반 해수수질평가지수(WQI)를 이용하여 비교분석하였다[표 5-1, 그림 5-1].
- 황도 연륙교 건설 전 연구 결과를 보면 WQI 지수가 Ⅱ~Ⅲ등급 범위를 보이고 있었다(Ⅳ구역 제외: 선행 조사연구 자료 없음).
- 그러나 황도 연륙교 건설 후 조사된 2014년 및 2016년 조사에서 Ⅱ등급을 보였다.
- 선행 연구에 의하면 연륙교 건설 전·후 황도 주변 수질은 비슷한 결과를 보여주고 있다. 하지만 2018년 이후 조사된 수질결과에서는 선행연구에 비해 다소 나쁜 등급이 나타났다(Ⅲ~Ⅴ등급).
- 2020년의 경우에는, 긴 장마기간(약 54일)으로 인해 부남호로부터 대량의 담수가 방류되면서 황도 주변 해역의 수질이 모두 Ⅴ등급을 보였다.
- 황도해역의 수질은 부남호 뿐만 아니라 간월호 방류에도 직접적인 영향을 받고 있기 때문에 해역을 관리하는 차원에서 이에 대한 장기적인 모니터링을 필요할 것으로 보인다. 현재 충남도에서 운영 중인 서해안 연안환경측정망 모니터링의 조사 결과를 활용이 가능하다.

[표 5-1] 황도 연륙교 개통 전·후 해수수질평가지수(WQI) 비교

	연륙교 개통 전		연륙교 개통 후				
	2010년	2011년	2014년	2016년	2018년	2019년	2020년
I 구역	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅳ 등급	Ⅳ 등급	Ⅴ 등급
Ⅱ 구역	Ⅲ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅲ 등급	Ⅴ 등급	Ⅴ 등급
Ⅲ 구역	Ⅲ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅱ 등급	Ⅳ 등급	Ⅲ 등급	Ⅴ 등급
Ⅳ 구역	-	-	-	-	Ⅲ 등급	Ⅳ 등급	Ⅴ 등급

- : 자료 데이터가 없음



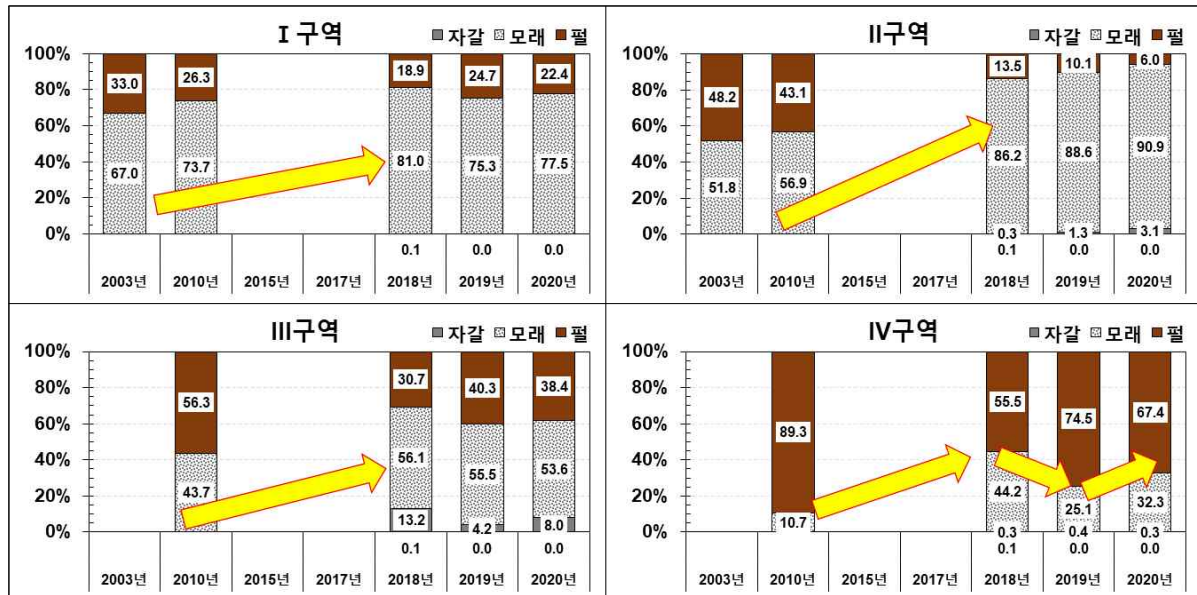
[그림 5-1] 연륙교 건설 전·후 해양수질(WQI) 변화

2

황도 연륙교 건설 전·후 퇴적물 변화

- 연륙교 건설 전·후 퇴적물 변화에 대해 입도 특성을 비교하였다[그림 5-2].
- 연륙교 건설 전(2003년~2010년) 선행연구를 보면 I구역에서는 모래함량이 67.0~73.7%였고, 펄 함량은 26.3~33.0%였다. II구역에서는 모래함량이 51.8~56.9%였고, 펄 함량은 43.1~48.2%였다. III구역에서는 모래함량이 43.7%였고, 펄 함량은 56.3%였다. IV구역에서는 모래함량이 10.7%였고, 펄 함량은 89.3%였다.
- 연륙교 건설 후(2018~2020년) 연구를 보면 I구역에서는 모래함량이 75.3~81.0%였고, 펄 함량은 18.9~24.7%였다. II구역에서는 모래함량이 86.2~90.9%였고, 펄 함량은 10.1~22.4%였다. III구역에서는 모래함량이 53.36~56.1%였고, 펄 함량은 30.7~40.3%였다. IV구역에서는 모래함량이 25.1%~44.2%였고, 펄 함량은 55.5%~74.5%였다.
- 전체적으로 연륙교 건설 전보다 후에 퇴적물 입도 변화가 큰 것으로 나타났다. 즉, 연륙교 개통 후 입도 함량비에서 모래 함량비가 늘어나고 있는 것으로 판단된다.
- 특히, II구역과 IV구역에서 모래함량비가 증가하였다.
- 다만, 조사 정점 간 차이를 보이고 있어 지속적인 추적 조사할 필요가 있다. 급속한 퇴적환경의 변화는 저서생태계에 불리하게 작용하므로 시·공간적 변화를 추적하여 적합한 대응방안을 수립해야 할 것이다.
- 갯벌에 모래함량이 높아지는 것은 모래의 유입이 지속됨을 나타내는데, 모래의 공급원이 어디인지는 명확치 않다. 백사수로를 통한 유입, 부남호 등 하구호 방류의 영향 등의 가능성이 있다.
- 황도교 남측에 위치한 IV구역 갯벌은 해수유통이 단절된 이후로 쌓인 뿔이 서서히 침식되면서 모래의 비중이 점차 높아지고 있는 것으로 판단된다.
- 본격적인 황도 주변 퇴적물 조사가 이루어진 시점인 2018년도부터 IV구역을 제외한 나머지 구역에서 퇴적물 내 입도 변화 차이가 거의 없는 것으로 나타나는데, 현재 황도 갯벌의 물리적인 환경이 안정되어 가고 있는 과정으로 해석된다.
- 이에 반해 IV구역의 경우에는 연륙교 개통 대비 평균 약 20% 이상 모래함량비가

증가한 추세이지만 입도 변화가 매년 증감을 반복하고 있다는 점에서 지속적인 모니터링을 통한 추세확인이 필요할 것으로 판단된다.



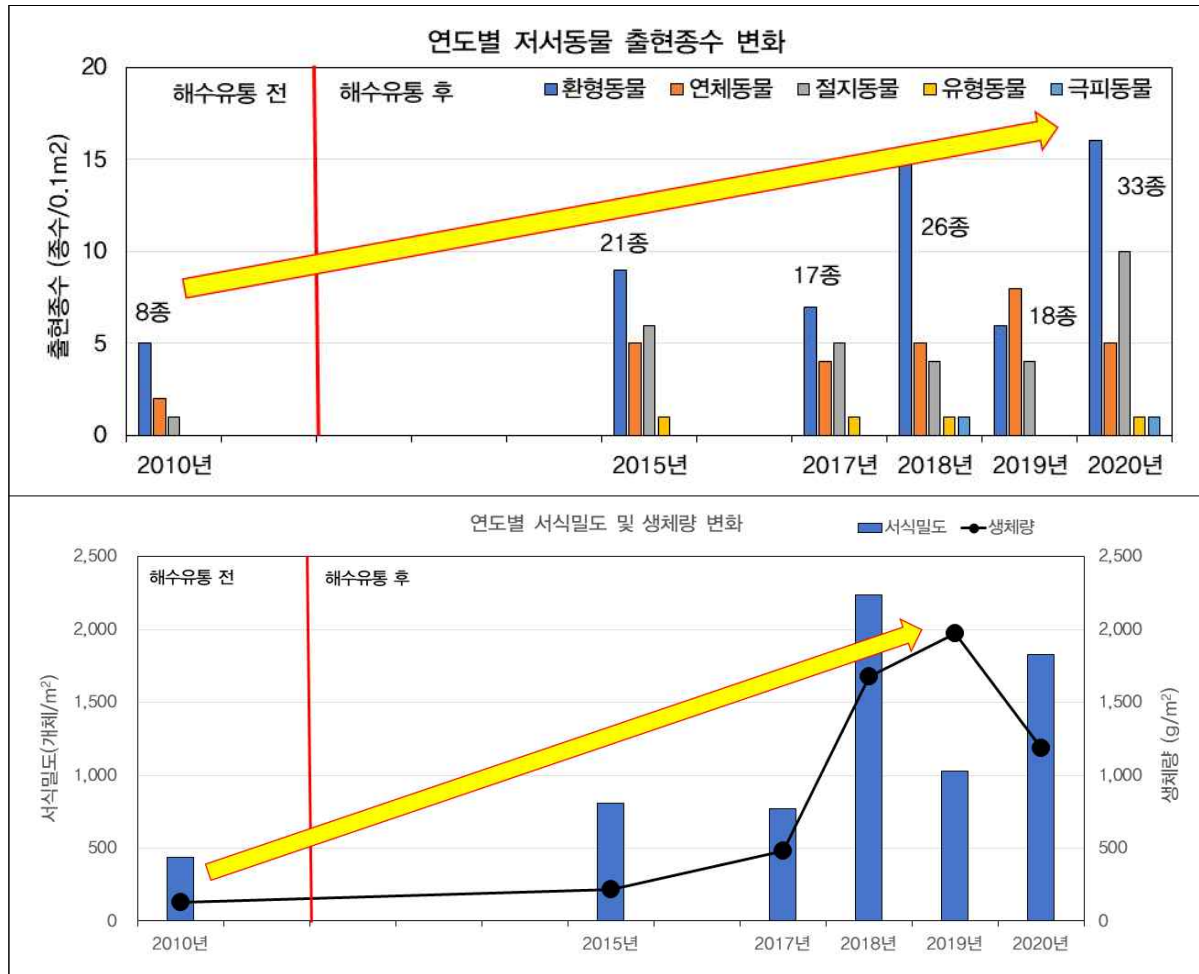
[그림 5-2] 연륙교 건설 전·후 퇴적물 입도 변화

3

황도 연륙교 건설 전·후 저서생물 변화

1) 출현종수, 생물량 및 생체량 변화

- 황도 연륙교 건설 전·후 저서동물 선행연구 조사(2010년, 2015년, 2017년)가 진행된 지역은 본 현장 조사 구역인 I 구역에서만 조사가 되었다[그림 5-3].
- 황도 연륙교가 건설되기 전(2010년), 출현 종수는 8종이 었으나, 해수유통 이후 평균 23종으로 증가한 결과를 보였다.
- 황도 연륙교가 건설되기 전(2010년), 서식밀도(개체/m²)는 436개체/m²였으며, 생체량(g/m²)은 129 g/m²였다.
- 연륙교 건설 후(2015~2020년) 서식밀도(개체/m²)는 770~2,235개체/m²였으며, 생체량(g/m²)은 220~1,970 g/m²였다.
- 해수유통 이후, 출현종수, 생물량, 생체량이 다소 증가와 감소를 보이는 이유는 생물들의 경쟁, 생활사(가입, 생식, 사망) 등 생물학적 요인이 작용한 것으로 판단된다.
- 그러나 분명한 점은 저서동물의 출현 종수가 연륙교 건설 전·후로 약 15종이 더 증가함에 따라 다양한 생물이 서식하게 된 것이며, 생물량(서식밀도)은 약 3.1배 증가, 생체량은 약 8.6배 증가하였다는 것이다.
- 년 변화를 세부적으로 살펴보면 ‘18, ‘20년에는 작은 크기의 바지락 개체수가 많이 출현(서식밀도가 높음)한 반면에, ‘19년에는 생체량(조개살)은 크나 서식밀도(개체수)는 다소 감소한 특성이 나타났다.
- 황도교 주변 갯벌 생태계는 현재 완전히 복원된 단계가 아닌 회복단계에 있기 때문에, 변화추세에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.



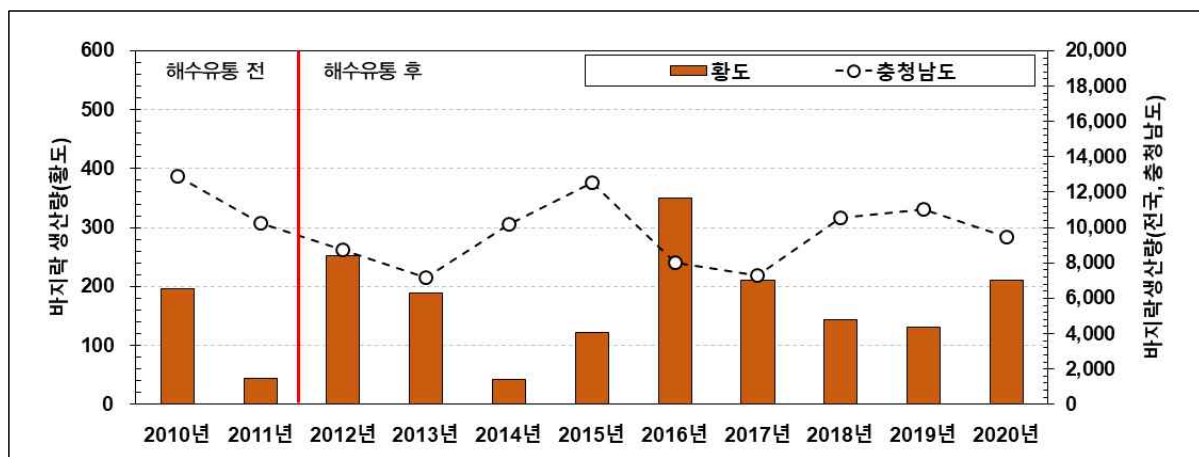
[그림 5-3] 연륙교 건설 전·후 출현종수, 생물량 및 생체량 변화

2) 바지락 생산량 변화

- 충남도 전체 바지락 생산량은 연륙교 건설 전 평균 11,578톤/년에서 건설 후 평균 9,440톤/년으로 약 2,138톤/년이 감소하였는데, 3~4년 주기의 생산량 등락이 나타나는 특징을 보이며 대체로 완만한 감소 추세가 나타나고 있다[그림 5-4].
- 이에 비해 황도의 바지락생산량을 황도 연륙교가 건설되기 전·후로 살펴보면, 해수유통 전(2010~2011년)에는 평균 120톤/년의 생산량을 보였고 해수유통 후(2012~2020년)에는 183톤/년 생산량을 보여 평균 64톤/년의 바지락 생산량 증가 경향이 나타나고 있다[그림 5-4].
- 이는 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌 생태계 복원 효과 입증하는 것으로써

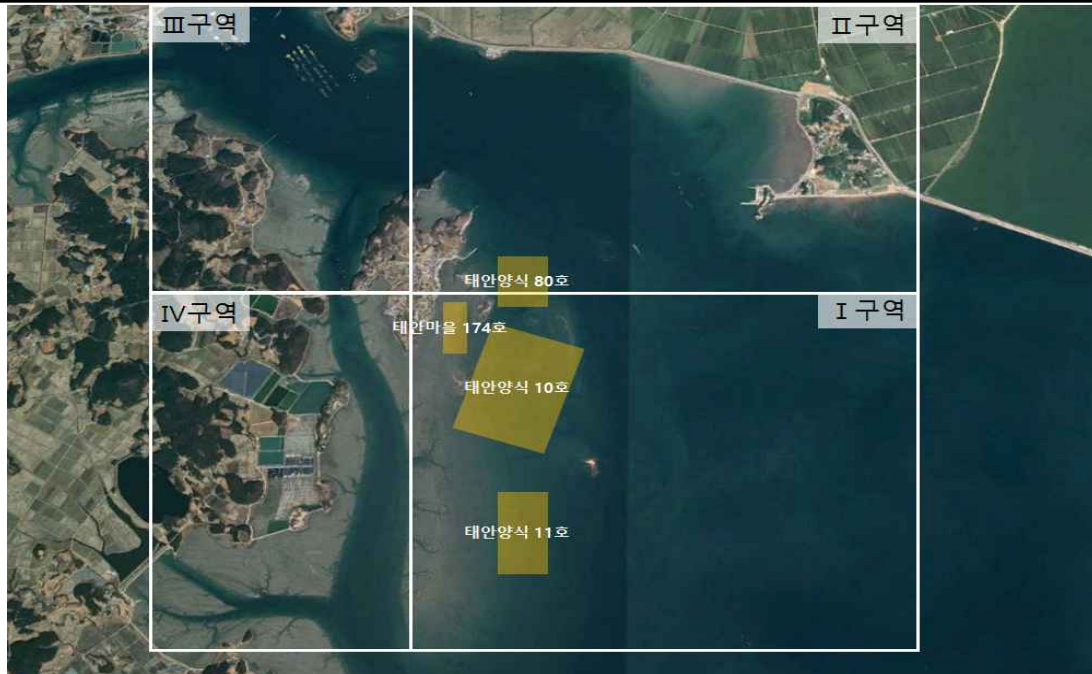
갯벌의 생산성이 향상되었음을 나타내준다.

- 황도의 바지락 연도별 바지락 생산 변동성은 상대적으로 크게 나타나는데, 10년 이래에는 2011, 2014년도에 특히 바지락 생산량의 감소가 두드러지게 나타났다. 이는 태풍이나 겨울철 한파의 지속 등의 영향이 있었을 것으로 보이나, 추가적인 정밀 분석은 필요해 보인다.
- 선행 참고문헌을 통해 황도 바지락 폐사 원인으로 지적되고 있는 것으로는 강수 및 서산 A, B지구 담수 방류에 따른 저염분화 영향, 퍼킨수스 기생충 감염, 겨울철 한파 및 여름철 고수온에 따른 영향 등이 있다.
- 바지락 생산은 자율적으로 생산에 의한 것이나, 주요 바지락 생산지를 중심으로 바지락 생산량 증대를 위한 각종 사업들이 진행(모래 살포, 갯벌 경운, 종패 및 치패 살포 등)됨에 따라 그 변동성이 크게 나타날 수 있다.
- 따라서 황도에서의 연륙교 개통 후 바지락 생산량의 증가 분석에는 연륙교 개통에 따른 원활한 해수순환의 자연적인 영향도 있지만, 어촌계에서의 인위적인 영향(모래살포, 종패살포 등)도 포함되어 있어 세밀한 시·공간적 모니터링이 필요하다고 판단된다[표 5-2].



[그림 5-4] 연도별 충청남도 및 황도 바지락 생산량 변화

[표 5-2] 황도 주변 바지락 살포 현황



년도	양식장	바지락 종패 살포량	주관부서
2015년	태안양식 10호 태안양식 11호	16,000 kg	수산산업팀
	태안양식 174호 태안마을 80호	10,110 kg	수산자원관리팀
2016년	태안양식 174호 태안마을 80호	8,820 kg	수산자원관리팀
2017년	태안양식 174호 태안마을 80호	9,440 kg	수산자원관리팀
2018년	황도주변(황도어촌계)	15,256 kg	수산산업팀
2019년	황도주변(황도어촌계)	20,000 kg	수산산업팀
2020년	황도주변(황도어촌계)	10,000 kg	수산산업팀

3) 굴 생산량 확대 (황도교 남측 IV구역)

- 주민 탐문조사 결과, 황도교 남측의 IV구역 갯벌에서는 2017년부터 굴이 생산되기 시작하였다고 한다[그림 5-5].
- 그 생산량은 지속적으로 증가하여 황도주민의 겨울철 소득원의 일부로 자리잡을 정도로 나타나고 있다.

- 과거 30년 전 IV구역은 뺨과 자갈이 혼재된 혼성갯벌의 특성이 있었으며, 그 당시에도 자갈에 굴이 많이 형성되고 자라는 환경적 특성이 있었다고 한다.
- 현재도 약 1m 이상 갯벌을 파들어가면 과거의 굴 패각 층이 발견되고 있다. 이는 과거에 굴이 많이 서식하는 혼성갯벌 층이 존재하였다는 것을 나타내주고 있다.
- 그러나 연륙제방으로 해수순환이 단절되면서, 세립한 뺨층이 지속적으로 퇴적되게 되면서 굴이 성장할 수 있는 자갈층이 서서히 없어지면서 황도교 남측 해안가에서 굴이 사라지게 된 것으로 판단된다.
- 연륙교 건설 이후, 해수순환이 이루어지면서 뺨층이 일부 견히게 되었는데 그 아래에 자갈층이 드러나면서 굴이 생산되는 환경이 조성되었다[그림 5-6].
- 굴의 유생 및 치패는 현재 대규모 굴 생산지인 창기리 북측(Ⅲ구역) 갯벌과 황도의 서북측 갯벌에서 황도교 남측 갯벌(Ⅳ구역)로 유입되고 있다[그림 5-7, 8].
- 이는 황도교를 통한 해수유통이 있기에 가능한 굴생산지 확대를 나타내며, 갯벌 복원의 직접적인 효과를 증명해주고 있는 것이다.



[그림 5-5] 황도 주변 주요 굴 생산지



[그림 5-6] 황도교 남측 갯벌 전경(2019년 사진)



[그림 5-7] 황도교 아래에서 굴, 바지락 채취하는 주민(2019년 사진)



[그림 5-8] 황도교 북측(III구역) 갯벌(2019년 사진)

황도 연륙교 건설 전·후 지역인식 조사

1. 설 문 조 사 개 요
2. 설 문 조 사 결 과

1

설문조사 개요

1) 설문조사 방법

[1] 설문조사 일시

- 설문조사는 2020년 7월 7일에 실시하였다.

[2] 설문조사 대상

- 설문조사 대상은 황도 어촌계 및 창기7리 주민 27명을 대상으로 하였다.

[3] 설문조사 방법

- 설문조사는 코로나19 여파로 인해 모임 및 집합활동 금지, 사회적 거리두기 시행 등으로 인해 직접 1:1 면담을 통해 설문을 진행하였다.

2) 설문조사 내용

- 설문내용은 크게 황도 연륙제방 건설 이전 현황 및 건설로 인한 문제점, 황도교 개통으로 인한 효과, 향후 유사 사업시 기대 방향에 대해 조사하였다[그림 6-1].

설문지

No.

황도 갯벌생태복원에 따른 해양환경 개선효과 설문조사

안녕하십니까?

충남연구원에서는 충청남도과 공동으로 황도 갯벌생태복원에 따른 해양환경 개선효과에 대한 설문조사를 시행하고 있습니다. 여의 일환으로 충남 태안군 황도 지역의 주민을 대상으로 다양한 의견을 주렴하고 있습니다.

본 설문을 통해 수집되는 정보는 향후 충남의 갯벌생태계 복원사업을 위한 정책방향을 설정하는데 중요하게 활용될 예정입니다.

귀하께서 응답하신 모든 내용은 연구 목적 이외의 다른 용도로는 사용되지 않으며, 응답자의 개인정보(성명, 전화번호, 주민번호, 주소 등)는 설문항목에 전혀 포함하고 있지 않습니다. 감사합니다.

〈황도교 개통 연혁〉

○ 황도 해수욕장 연륙교 개통 현황

: '82년 황도 연륙제방 건설 → 갯벌 기능 상실(황도교 남측) → '11년 황도 연륙교 개통



충남 태안군 용북읍 용매로390 서해안기후환경연구소

책임연구원 윤 종 주

전화 : 041-630-3922 / e-mail : jyyoon@cni.re.kr

충 남 연 구 원

- 1 -

5. 황도교 개통(2011.12) 이후, 해양환경 및 어족자원이 회복되었다고 생각하십니까?
① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 비슷하다 ④ 그렇지 않다 ⑤ 전혀 그렇지 않다

6. 황도교 주변의 해양환경 및 어족자원이 회복된 이유는 무엇일까요?
① 바닷물의 흐름 회복 ② 종래 상포 ③ 자연적 현상 ④ 어업활동 감소 ⑤ 기타()

7. 귀하께서는 바닷물이 흐름이 있는 황도교의 건설이 수산자원회복에 도움이 되었다고 생각하십니까?
① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 그렇지 않다 ⑤ 전혀 그렇지 않다

8. 귀하께서는 황도교 사업과 같은 갯벌복원(역간척) 사업이 계속될 필요가 있다고 생각하십니까?
① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 그렇지 않다 ⑤ 전혀 그렇지 않다

9. 황도교 개통(2011.12) 이후, 지속적으로 기대되는 점은 무엇이라고 생각하십니까?
① 어족자원 증가 ② 방문객 증가로 소득증가 ③ 일자리 창출 ④ 마을경제 발전 ⑤ 기타()

10. 향후 황도교 복원과 유사한 사업 시, 가장 중점을 두어야 할 부분은 무엇이라고 생각하십니까?
① 수질개선 ② 어족자원 증대 ③ 지역소득 증대 ④ 체험프로그램 및 생태관광 확충 ⑤ 기타()

11. 현재 황도 주변해역의 어업활동에 가장 큰 위협요인은 무엇이라고 생각하십니까?
① 가두리양식장 ② 부남호(서산B지구) 방류 ③ 간월호(서산A지구) 방류 ④ 불법어로활동
⑤ 해양오염사고 ⑥ 낚시객 증가 ⑦ 기타()

12. 현재 충남도가 추진하고 있는 부남호 역간척 사업에 대해 알고 계십니까?
① 매우 잘 알고 있다 ② 알고 있다 ③ 보통이다 ④ 모른다 ⑤ 전혀 모른다

13. 부남호 역간척 사업이 황도 주변 어장 및 수산자원 회복에 도움이 될 것으로 생각하십니까?
① 매우 그렇다 ② 그렇다 ③ 보통이다 ④ 그렇지 않다 ⑤ 전혀 그렇지 않다

※ 그 외 황도교 갯벌복원사업과 관련하여 귀하의 의견을 자유롭게 제시하여 주시기 바랍니다.

※ 과목의 성실한 답변에 감사드립니다.

- 3 -

[그림 6-1] 설문조사 주요 내용

2

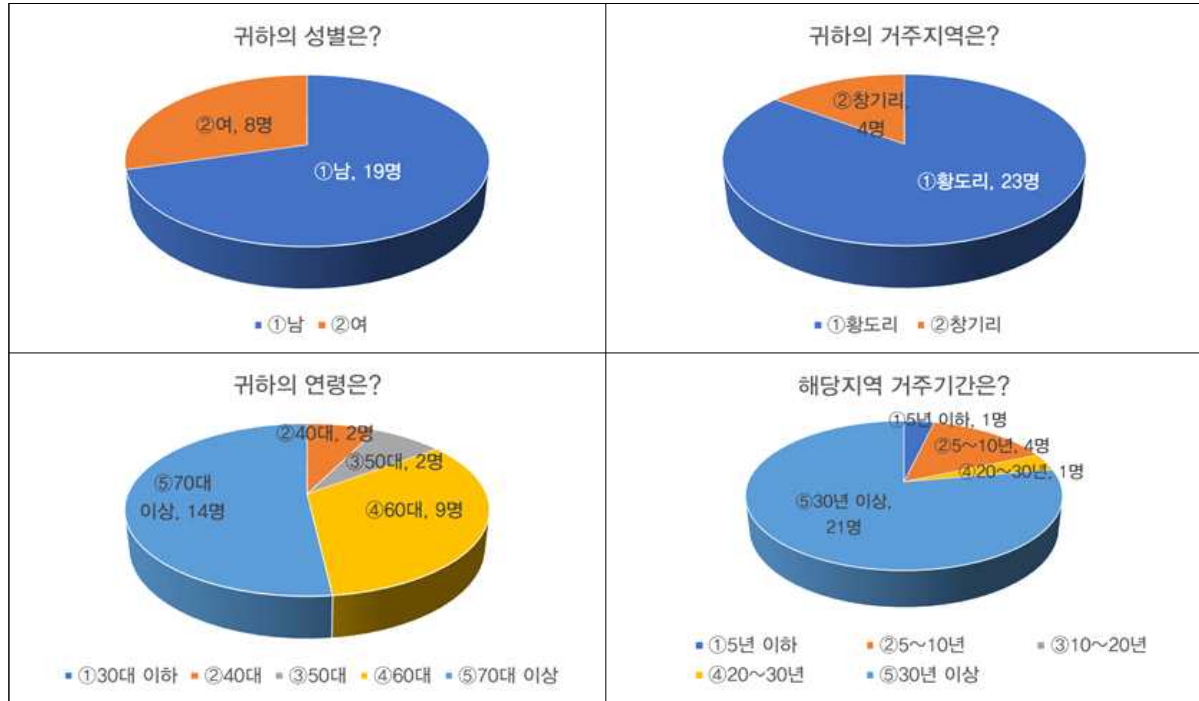
설문조사 결과

1) 응답자 특성

- 응답자의 성별은 남성 70%, 여성 30%로 남성이 다소 높았다.
- 전반적인 연령대는 70대 이상(51.9%)이었다.
- 지역거주 기간은 30년 이상이 77.8%로 가장 많고, 다음으로는 5~10년이 14.8%, 20~30년과 5년 이하가 각각 3.7%였다.
- 즉, 20년 이상의 거주자가 81.5%로 황도교 건설 전·후의 해양환경 변화를 직·간접적으로 경험하였다고 판단하였다.

[표 6-1] 황도 지역주민 설문조사 응답자 특성

구분		응답수(명)	응답비율(%)
성별	남성	19	70.4
	여성	8	29.6
거주지역	황도리	23	85.2
	창기리	4	14.8
연령대	30대 이하	—	0.0
	40대	2	7.4
	50대	2	7.4
	60대	9	33.3
	70대	14	51.9
거주기간	5년 이하	1	3.7
	5~10년	4	14.8
	10~20년	—	0.0
	20~30년	1	3.7
	30년 이상	21	77.8



[그림 6-2] 황도 지역주민 설문조사 응답자 특성

2) 황도 연륙제방 건설 이전 현황

- 모든 응답자가 연륙제방으로 바닷물 흐름이 단절되었던 사실을 알고 있었다.
- 황도 연륙제방(1982년) 이전, 황도교 주변 어장에서 주로 잡혔던 수산자원을 문의한 결과, 어류(망둥어, 장대, 농어 감성돔 등), 조개류(바지락, 굴, 소라 등), 해초류(청각, 파래, 김 등), 기타로 꽃게, 낙지, 쭈꾸미, 오징어 등이 있었다.

[표 6-2] 황도 연륙제방 건설 이전 현황

구분		응답수(명)	응답비율(%)
연륙제방 건설로 인한 바닷물 흐름 단절 인식	알고있다	27	100.0
	모르겠다	0	0.0
연륙제방 건설 이전 잡혔던 수산자원	어류	망둥어, 장대, 농어, 감성돔 등	
	조개류	바지락, 굴, 소라 등	
	해초류	청각, 파래, 김 등	
	기타	꽃게, 낙지, 쭈꾸미, 오징어 등	



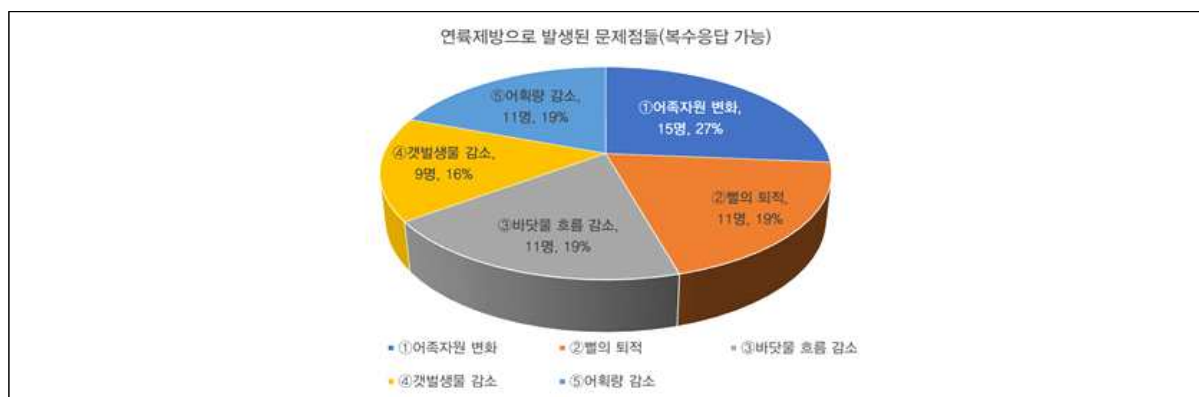
[그림 6-3] 황도 연륙제방 건설 이전 현황

3) 황도 연륙제방 건설 이후 문제점

- 연륙제방 건설로 인해 발생한 문제점은 어족자원 변화(26.3%)가 가장 많았고, 그 다음으로는 뱀의 퇴적(19.3%), 바닷물 흐름 감소(19.3%), 어획량 감소(19.3%), 갯벌 생물 감소(15.8%)였다.

[표 6-3] 황도 연륙제방 건설 이후 문제점

구분		응답수(명)	응답비율(%)
연륙제방 건설로 인해 발생된 문제점 (복수 응답 가능)	어족자원 변화	15	26.3
	뱀의 퇴적	11	19.3
	바닷물 흐름 감소	11	19.3
	갯벌생물 감소	9	15.8
	어획량 감소	11	19.3



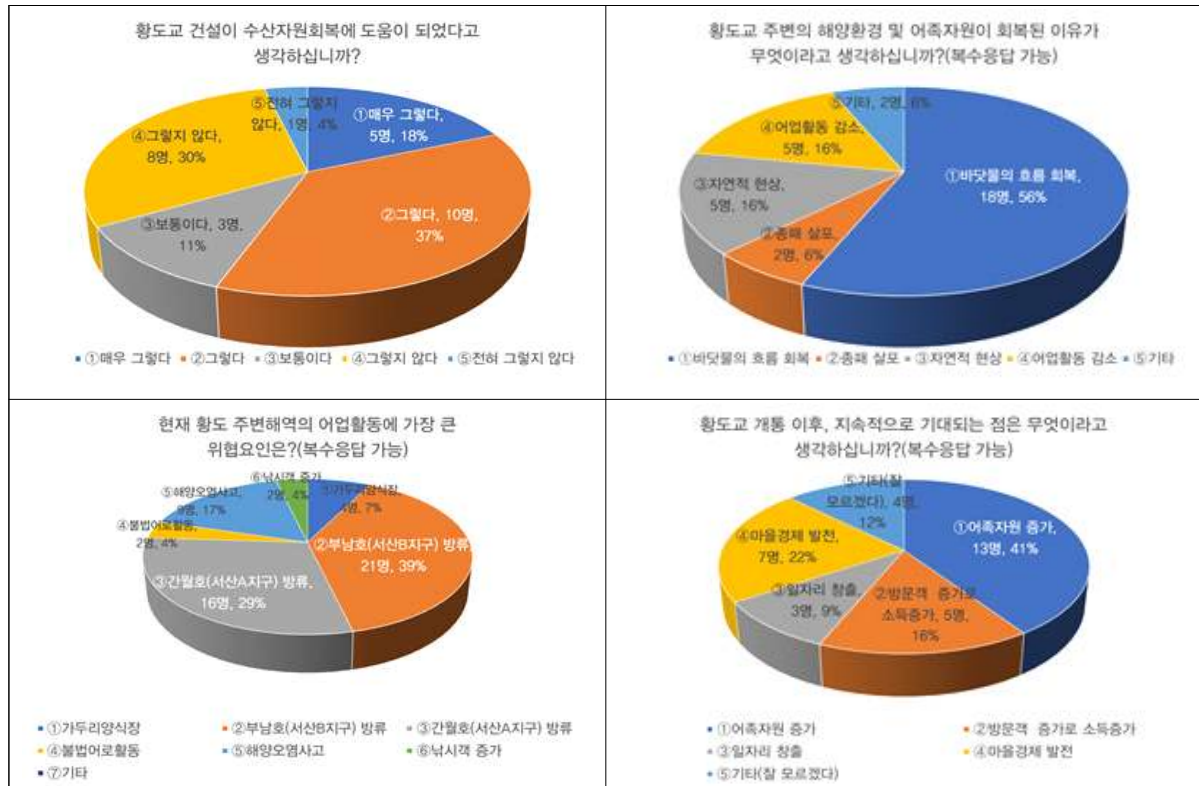
[그림 6-4] 황도 연륙제방 건설 이후 문제점

4) 황도교 건설 이후 효과 및 현황

- 황도교 개통(2011년 12월) 이후, 황도교 주변 어장에서 사라졌다가 다시 잡히고 있는 수산자원을 문의한 결과, 어류(망둥어, 장대, 농어 감성돔 등), 조개류(바지락, 굴, 소라 등), 해초류(청각, 파래, 김 등), 기타로 꽃게, 낙지, 쭈꾸미, 오징어 등이 라고 응답하였다.
- 연륙제방 건설 이전에 주로 잡혔던 수산자원이 다시 돌아오고 있음을 보여준다.
- 황도교 개통 이후, 대부분의 응답자(55.5%)가 해양환경 및 수산자원이 회복되고 있다고 응답하였다.
- 이러한 이유로는 바닷물의 흐름 회복이 56.3%이 가장 많았고, 그 다음으로는 어업활동 감소가 15.6%, 자연적 현상 15.6%, 종패 살포 6.3%, 기타 6.3% 순이었다.
- 그러나 황도교 개통 이후, 해양환경 및 수산자원이 회복되지 않았다고 답변한 이유로는 서산 A, B지구로부터의 담수 방류(68.5%), 해양오염사고(16.7%), 가두리양식장 (7.4%), 불법어로활동(3.7%), 기타 낚시객(3.7%) 등이 현재에도 황도 주변 어장 및 환경에 큰 위협이 되고 있기 때문이었다.
- 또한, 황도 지역주민들은 지속적으로 어족자원 증가(41%), 방문객 증가로 인한 소득증가(16%), 일자리 창출(9%), 마을경제 발전(22%), 기타(4%) 등의 효과를 기대 하고 있다.

[표 6-4] 황도교 건설 이후 효과 및 현황

구분		응답수(명)	응답비율(%)
황도교 개통 이후 다시 잡히고 있는 수산자원	어류	망둥어, 장대, 농어, 감성돔 등	
	조개류	바지락, 굴, 소라 등	
	해초류	청각, 파래, 김 등	
	기타	꽃게, 낙지, 쭈꾸미, 오징어 등	
황도교 개통 이후 해양환경 및 수산자원 회복 체감 정도	매우 그렇다	5	18.5
	그렇다	10	37.0
	보통이다	3	11.1
	그렇지 않다	8	29.6
	전혀 그렇지 않다	1	3.7
해양환경 및 수산자원이 회복된 이유 (복수 응답 가능)	바닷물의 흐름 회복	18	56.3
	종패 살포	2	6.3
	자연적 현상	5	15.6
	어업활동 감소	5	15.6
	기타	2	6.3
황도 주변해역에 작용하고 있는 위협요인 (복수 응답 가능)	가두리양식장	4	7.4
	부남호(서산B지구) 방류	21	38.9
	간월호(서산A지구) 방류	16	29.6
	불법어로활동	2	3.7
	해양오염사고	9	16.7
	낚시객 증가	2	3.7
	기타	-	0.0
지속적으로 기대되는 점 (복수 응답 가능)	어족자원 증가	13	40.6
	방문객 증가로 인한 소득증가	5	15.6
	일자리창출	3	9.4
	마을경제 발전	7	21.9
	기타	4	12.5



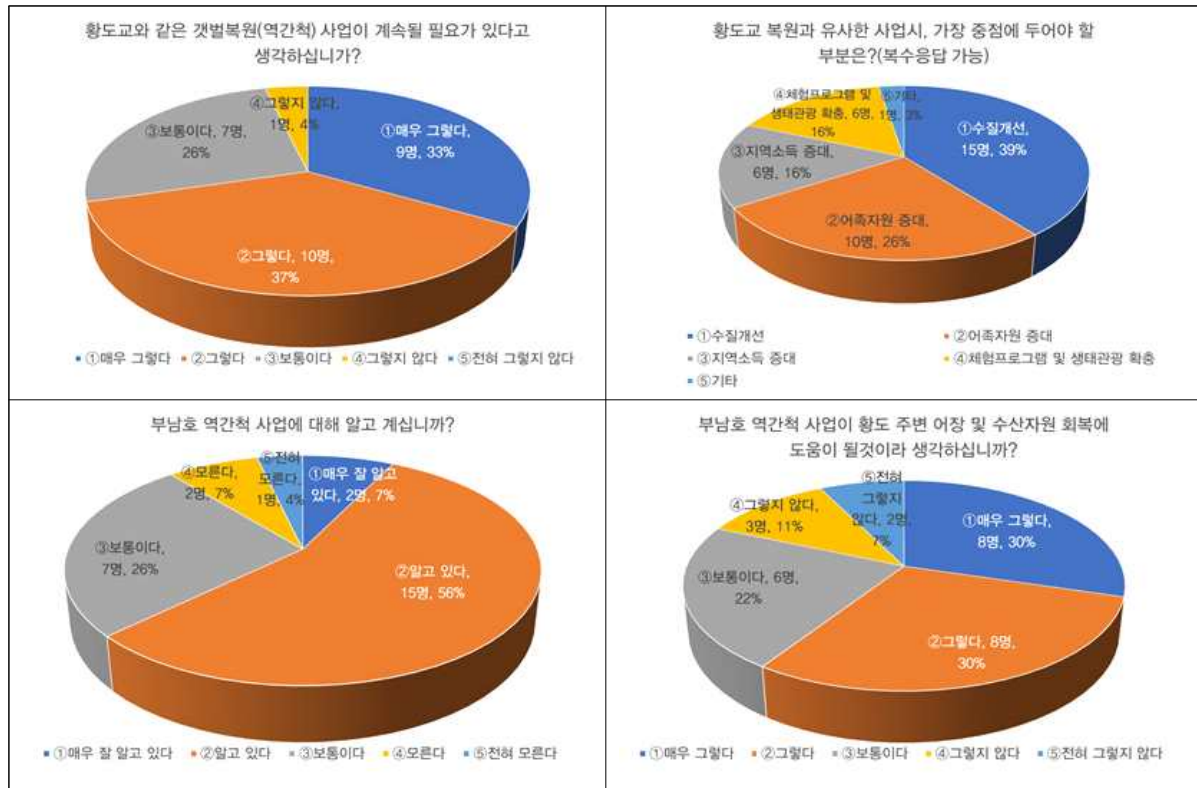
[그림 6-5] 황도교 건설 이후 효과 및 현황

5) 유사 사업(갯벌복원, 역간척)의 필요성 및 효과

- 본 설문조사에서 황도교 개통과 같이 유사 갯벌복원(역간척) 사업이 계속될 필요성이 있는지 파악해본 결과, 응답자의 약 70% 이상이 필요하다고 답하였다.
- 또한, 이러한 복원사업을 수행하기 위해서 수질개선에 가장 초점을 맞추어야 한다 (39.5%)고 응답하였다.
- 황도 주변 부남호(서산B지구) 역간척 사업에 대해서 절반이 넘는 약 63%가 해당 사업에 대해 인지하고 있었으며, 위 사업으로 인해 황도 주변 어장 및 수산자원 회복에 도움이 될 것이라고 긍정적으로 답하였다(59.2%).

[표 6-5] 유사 갯벌복원(역간척) 사업의 필요성 및 기대효과

구분		응답수(명)	응답비율(%)
항도교 사업과 같은 갯벌복원(역간척) 사업의 필요성 인식	매우 그렇다	9	33.3
	그렇다	10	37.0
	보통이다	7	25.9
	그렇지 않다	1	3.7
	전혀 그렇지 않다	—	0.0
항도교 복원과 같은 유사 사업시, 가장 중점을 두어야 할 부분 (복수 응답 가능)	수질개선	15	39.5
	어족자원 증대	10	26.3
	지역소득 증대	6	15.8
	체험프로그램 및 생태관광 확충	6	15.8
	기타	1	2.6
부남호 역간척 사업 인지 여부	매우 잘 알고 있다	2	7.4
	알고 있다	15	55.6
	보통이다	7	25.9
	모른다	2	7.4
	전혀 모른다	1	3.7
부남호 역간척 사업이 항도 주변 어장 및 수산자원 회복에 도움이 될 것인가	매우 그렇다	8	29.6
	그렇다	8	29.6
	보통이다	6	22.2
	그렇지 않다	3	11.1
	전혀 그렇지 않다	2	7.4



[그림 6-6] 유사 갯벌복원(역간척) 사업의 필요성 및 기대효과

결론 및 정책제언

1. 결
2. 정
- 책
- 제
- 론
- 언

1

결론

- 안면도와 황도 사이의 연륙제방(1982년 준공) 철거 후, 해수유통이 가능한 연륙교 건설(2011년 12월)로 인해 **황도교 주변 갯벌의 생태환경 개선과 함께 어촌체험 활동이 급격히 늘어나는 등 갯벌 복원 효과가 나타나고 있다.**
- 본 연구에서는 2011년 11월 황도 연륙교 건설에 따른 해수유통 효과가 황도교 인접 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 정량적 평가를 3년차 실시하였다.
- 이를 통하여 사업시행 전·후의 해양환경 및 저서생태계 개선 효과에 대해 3년간의 조사를 통해 살펴보았다.
- 황도교 주변 갯벌에 대한 과거 관측자료 수집과 함께, 3년에 걸친 현장조사를 통해 해양수질, 갯벌퇴적물, 갯벌저서생태계 변화를 분석하였다.
- 연구 결과, **황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌의 생산성 향상 효과는 매우 크게 나타나고 있으며, 완만한 지속세를 유지하는 것으로 분석되었다.**
- **황도 연륙제방 건설(1982년)은 준공 후 약 30년간('82년~'10년) 해수의 소통을 막는 독 역할을 함으로써, 연륙제방 주변 갯벌로의 부영양화, 치패 및 유생 이동로 차단, 퇴적상 변화(죽빨화), 저서생태계 악화를 유발하였다.**
- 특히, 바지락 등 상업패류는 모래 함량이 높은 모래필갯벌(혼성갯벌)에서 서식하나, **빨의 비율이 높아진 갯벌(Ⅳ구역)에는 패류가 살 수 없는 환경(지렁이류만 우점)으로 변화되었다(1982~2011년 사이).**
- **Ⅳ구역의 경우, 연륙제방 건설(1982년) 후 약 1 m가 넘는 퇴적물(빨)이 쌓이면서 생태계에 막대한 악영향을 끼친 것으로 탐문조사 되었다. 연륙교 건설 당시 상당한 양의 준설이 이루어진 것으로 보인다.**
- 연륙교 건설 후('11년 12월), 원활한 해수유통에 의한 갯벌로의 모래 유입 및 빨 침식이 활발해져 갯벌 저서 환경(특히 죽빨)이 개선되고 있는 것으로 나타났다.
 - Ⅰ구역 모래함량 비율('10년→'18년→'19년→'20년) : 73.7→81.0→75.3→77.5%
 - Ⅱ구역 모래함량 비율 : 56.9→86.5→89.9→94.0%

- III구역 모래함량 비율 : 43.7→69.4→59.7→61.7%
- IV구역(황도측) 모래함량 비율 : 10.7→44.2→38.3→48.4%
(IV구역은 증감을 반복하고 있음)
- 특히, **황도교 남측(황도측) 갯벌환경이 빠르게 개선(뺨 함량이 줄어듬)되었으며**, 황도교 주변 다른 지역도 갯벌의 **모래 함유량이 완만한 증가세로** 조사되었다.
- 물리환경이 바뀔에 따라 그곳에 서식하는 대형저서동물들의 다양성, 생물량 등 저서 생태환경 또한 빠르게 개선되고 있다.
- 황도의 주요 갯벌어업 자원인 바지락의 경우, 밀집도 분석결과 모래 함량이 60~80% 이상일 경우 밀집도가 우세한 것으로 조사되었는데, 현재 **연륙교 개통 후 황도 주변 모든 갯벌에서 갯벌 내 모래함량이 서서히 늘어나고 있어 바지락의 성장 환경에도 유리하게 작용하고 있는 것으로** 나타났다.
- 다만 바지락의 우점도가 높아지는 점은 주민의 소득과 연결되어 있어 긍정적이거나, 생태환경적인 측면에서의 특정종의 비중이 높아지는 탓에 갯벌건강도는 다소 불량하게 나타나고 있다.
- 황도주변 갯벌의 패류 생산성이 높게 유지되고 있는 것은 육지로부터의 지속적인 영양염의 유입에 기반한 것으로서, 향후 부남호 갯벌복원사업의 가장 직접적인 수혜지역으로 작용할 것으로도 기대된다.
- 해수순환 단절로 **죽뺨화** 되었던 IV구역은 모래 함량이 약 40% 이상으로 나타났는데, 이는 과거의 뺨갯벌에서 혼성갯벌로 변화되고 있는 것을 보여주는 것이다. 향후 황도측 IV구역 갯벌에는 **가무락(모시조개)의 서식지 확대가 가능할 것으로** 보인다.
- 황도 연륙교 건설 전·후 패류(바지락) 생산량을 살펴보면, **건설 전('10년~'11년) 패류 평균 생산량은 120톤/년으로 건설 후('12년~'20년) 패류 평균 생산량은 183톤/년으로 64톤/년 증가한 것으로** 나타났다.
- 이는 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌 생태계 복원 효과 입증하는 것으로서 갯벌의 생산성이 향상되었음을 나타내준다.
- 또한, **황도 주민을 대상으로 설문조사**를 실시한 결과에서도 **바닷물의 흐름이 회복되면서부터 황도 갯벌이 다시 살아나고 있다는** 긍정적인 반응을 볼 수 있었다.

- 게다가 황도교 남측의 IV구역 갯벌에서는 2017년부터 굴이 생산되기 시작하였으며, 그 생산량은 지속적으로 증가하여 황도주민의 겨울철 소득원의 일부로 자리잡을 정도로 나타나고 있다.
- 연륙교 건설이후, 해수순환이 이루어지면서 뺨층이 일부 견히게 되었는데 그 아래에 자갈층이 드러나면서 굴이 자랄 수 있는 환경이 조성되었다.
- 굴의 유생 및 치패는 현재 대규모 굴 생산지인 창기리 북측(백사수로 입구) 갯벌과 황도의 서북측(Ⅲ구역 안면도측) 갯벌에서 황도교 남측 갯벌(IV구역 황도측)로 유입되고 있는 것으로 볼 수 있다.
- 이는 황도교를 통한 해수유통이 있기에 가능한 굴생산지 확대를 나타내며, 갯벌복원의 직접적인 효과를 증명해주고 있는 것이다.
- 작은 규모의 황도교를 통한 해수유통구이지만 천수만 전체로는, 백사수로를 통해 유입되는 다양한 패류 유생 및 치어의 이동경로로서의 역할이 매우 클 수 있음을 보여주고 있다.
- 향후 황도 주변 갯벌 환경을 잘 관리할 경우, 지속적인 바지락·가무락·굴 등의 유용패류의 생산범위 확대에 따른 주민 어가소득의 확대가 기대된다.
- 그러나, 황도 갯벌은 완전히 회복된 것은 아니다.
- 황도 주변 해역은 특히, 부남호(서산B지구)의 지속적인 담수유입은 투명도 저하, 적조유발, 저층산소 고갈 등 III(보통)~V등급(매우나쁨)의 수질을 만드는 주요 원인 중 하나로 작용하고 있으며 연쇄적으로 저서생태계에 악영향을 끼치고 있다.
- 또한, 황도는 해수 유통이 완전히 이루어진 것이 아니기에 침퇴적 작용이 매우 복잡하게 나타나 저서환경이 불안정한 상태이며, 부남호 담수로부터의 영양염(유기물)의 일시적 과다유입은 오히려 해로운 결과를 초래하고 있다.
- 위와 같은 결과로 인해 황도 갯벌의 건강도는 보통에서 나쁨단계를 보이고 있으며, 저서오염지수도 정상에서 심한오염 상태에 있다.
- 이러한 환경에서 서식하고 있는 저서생물은 벼들갯지렁이, 고리벼들갯지렁이와 같은 유기물 오염지표종이 우점하고 있어 이는 황도 갯벌이 일부 오염된 상태라는 것을 증명해주고 있다.

- 따라서 황도 갯벌생태계 모니터링을 시작으로 갯벌 복원 사업 추진에 대한 효과를 체계적으로 시·공간적 분석하기 위한 지속적인 정기 모니터링은 반드시 필요할 것으로 보인다.

2

정책제언

1) 지속적인 현장 모니터링 수행 필요

- 황도 연륙교 개통에 따른 갯벌 생태 복원사업의 효과가 나타난 만큼 황도 갯벌 생태 환경에 대한 현장 모니터링의 지속적인 수행이 필요하다.
- 황도 갯벌 생태계의 회복에 큰 영향을 미치는 물리적 환경특성에 대한 DB(구체적인 데이터)의 구축은 필수적이다.
- 충청남도 수산자원연구소에서 수행하고 있는 도내 주요 갯벌환경조사 사업과 연계하여, 황도교 주변 갯벌에 대한 생태환경 변화에 대한 지속 조사가 가능할 것이다.
- 향후 시행이 필요한 조사는 부남호 역간척 사업과 연계한 황도갯벌의 갯벌수치표고(DEM)에 대한 공간 조사를 연차별로 실시하여, 황도 주변 갯벌의 침퇴적 변화에 대한 시·공간적 분석이 필요하다.
- 여기에는 최근에 많이 활용되고 있는 드론 촬영영상을 이용한 분석이 가능하므로, 접목이 필요할 것으로 보인다.
- 이와 함께 주변 갯벌환경에 악영향을 줄 수 있는 오염원의 유입원에 대한 관리 및 지도 역시 필요할 것이다.

2) 황도 갯벌의 지속가능한 이용을 위한 종합관리체계 구축 필요

- 황도 내 조사구역(I~IV구역) 내 갯벌은 서로 물리·생물학적 차이를 보여주고 있다. 따라서 이를 바탕으로 갯벌 기능을 강화할 수 있도록 정책 도입이 필요하다

- 부남호 역간척 사업과 연계하여 황도갯벌을 해양보호구역으로의 지정을 추진하는 것도 가능하며, 이를 통해 어촌뉴딜300 사업 등의 어촌재개발 사업과 연계한 체계적인 종합관리시스템의 구축이 가능하다.
- 향후 Ⅰ, Ⅱ구역 : 갯벌생산구역 및 갯벌 체험구역, Ⅲ구역 : 갯벌 휴식구역, Ⅳ구역 : 갯벌 보전구역으로 구분해 그 갯벌 특성에 맞게 효율적으로 관리·이용할 필요성이 있다.

3) 부남호 역간척 (갯벌 생태계 복원) 사업 연계를 통한 유용패류 생산지역 확대

- 황도교는 현재 연륙제방의 일부가 남아있고, 선박의 계류장으로 활용이 되고 있다. 즉 완벽한 황도 해역의 해수유통구가 열린 것이 아닌 상태이다.
- 다양한 어류 및 치어·치패의 이동경로로서의 역할이 크다면 남은 연륙제방의 완전한 제거도 중장기적으로는 검토할 필요가 있다.
- 향후 황도 연륙교 남측 갯벌 (Ⅲ구역)의 퇴적환경 변화를 모니터링 후, 패류의 생산지 확대를 위해 가무락, 바지락, 굴 등 유용패류의 종패 살포 시범사업의 추진도 가능하다. 이는 갯벌 패류자원 생산구역 확대를 유도하는 정책으로서 어업생산성 확대와 연계가 가능하다.
- 이를 위해 바지락의 생산량 증대를 위한 기존의 종패 및 치패 이식, 종패발생장 조성, 모래경운 등의 사업과 병행하여 유용패류의 생산지를 황도 전체 갯벌로 확대추진이 가능할 것이다.
- 향후 충남도에서 추진중인 부남호 역간척 사업과 연계하여 황도를 포함한 천수만 주변 해역의 어촌 주민의 지속적인 소득향상, 어촌체험(생태체험) 활성화, 주민 복지 확대 및 귀어귀촌을 통한 청장년층 인구유입 등의 지역 활성화 효과를 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- 권오길 등, 1993년, 원색한국패류도감, 아카데미서적
- 국립공원관리공단, 2014년, 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망
- 국립공원관리공단, 2016년, 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망
- 국토해양부, 2010년, 연안습지 기초조사
- 김훈수, 1973년, 한국동식물도감, 제14권 집계·계류, 삼화출판사
- 김훈수, 1977년, 한국동식물도감, 제19권 새우류·삼화출판사
- 노분조, 1977년, 한국동식물도감, 제20권 해면·히드라·해초류, 삼화출판사
- 박승운 등, 2012년, 천수만 수질환경의 시공간적 변동특성, 해양환경안전학회지, 19(5), 439-458
- 백의인, 1989년, 한국동식물도감, 제31권 갯지렁이류, 국정교과서주식회사
- 우한준 등, 2003년, 천수만 황도 갯벌의 퇴적환경, 한국습지학회, 7(2), 53-67
- 유종생, 1976년, 원색한국패류도감, 일지사
- 이동현, 이준호, 정갑식, 우한준, 강정원, 신경훈, 하선용, 2014, 생지화학적 지표를 이용한 서해안 갯벌 퇴적층에서의 유기물 순환에 관한 연구, Ocean and Polar Research, Vol. 36(1): 25-37.
- 조영원, 1990년, 한국 백사장산 단각류(갑각강)의 분류 및 생물 지리학적 연구, 박사논문
- 최병래, 1992년, 한국동식물도감, 제33권 연체동물 II, 국정교과서주식회사
- 충청남도, 2018년, 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역
- 한국동물분류학회, 1997년, 한국동물명집(곤충제외), 아카데미서적
- 한국해양학회, 2005년, 해양과학용어사전, 아카데미서적
- 황인서, 2008년, 주기적인 빈산소 환경 발생하의 시화호 저서생물군집의 장기변동, 박사 논문
- 해양환경공단, 2015년, 국가해양생태계 종합조사
- 해양환경공단, 2017년, 국가해양생태계 종합조사
- Borja et al., 2000, A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos with in european estuarine and coastal environments. Mar. Pollut. Bull., 40: 1100-1114.
- Buchman MF, 2008, NOAA screening quick reference tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of response and restoration division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34.
- Birth G, 2003, A scheme for assessing human impacts on coastal aquatic environments

- using sediments. In: Proceedings of Coastal GIS 2003. Woodcoffe CD and Fumess RA, eds. Wollongong University Papers in Center for Maritime Policy, New South Wales, Australia, 14.
- Chen et al., 2007. Distribution and accumulation of heavy metals in the sediments of Kaohsiung Harbor, Taiwan. *Chemosphere* 66, 1431–1440.
- Choi, J.H., J.W., Kang, D.B., Hong, Y.A., Park, 2000. Distribution of Organic Carbon, Organic Nitrogen, and Heavy Metals in Lake Shihwa Sediments, *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 5(4), pp. 276–284.
- Choi, et al., 2010. Sedimentary environments and geochemistry characteristics of tidal flat sediments in semi-enclosed Cheonggye Bay, Korea. *J Kor Island* 22, 175–187.
- Dauvin et al., 2007. Paradox of estuarine quality: benthic indicators and indices, consensus or debate for the future. *Mar Pollut Bull* 55:271–281.
- Folk R.L., W.C. Ward, 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27: 3–26.
- Giangrande et al., 2005. Polychaetes as environmental indicators revisited. *Mar. Pollut. Bull.*, 50:1153–1162.
- Greaves, C., Schwartz, H., 1952, The chemical utilization of wood. Department of Resource Development, Forest Branch, Ottawa, 28.
- Holligan, P. M., Harris, R. P., Newell, R. C., Harbour, D. S., Head, R. N., Linley E. A. S., Lucas, M. I., Tranter, P. R. G., Weekley, C. M., 1984, Vertical distribution and partitioning of organic carbon in mixed, frontal and stratified waters of the English Channel. *Mar. Ecol*, 14(2), 111–127.
- Hong et al., 2006, Marine Invertebrates in Korean Coasts. Academy Publishing Company, Seoul, Korea, 1–479.
- Hwang et al., 2011. Assessment of the pollution levels of organic matter and metallic elements in the intertidal surface sediments of Aphae Island. *Kor J Fish Aquat Sci* 44, 759–771.
- Kang et al., 2000, Growth comparison of short neck clam, *Tapes philippinarum* between the two culturing areas. *Korean J. Malacol.*, 16: 49–54.
- Levinton, 1995, Marine Biology–Function, Biodiversity Ecology. Oxford

- University Press Inc. New York, USA, 420pp.
- Lee, et al., 1987, Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton, Appl. Environ. Microbiol, 53, 1298 -1303.
- Lim, 2016, Growth of the manila clam (*Ruditapes philippinarum*) cultured in Gomso tidal flat, Korea. The Korean Journal of Malacology, 32(3): 189-195.
- Llanos et al, 2003, Application of the benthic index of biotic integrity to environmental monitoring in Chesapeake Bay. Env. Mon. Ass., 81:163-174.
- Margalef, 1958, Information theory in ecology. Gen. Syst. 3:6-71.
- Muller, P. J. 1997. C/N Ratio in Pacific Deep-sea Sediment: Effect of Inorganic Ammonium and Organic Nitrogen Compounds Sorbed by Clays, Geochimica et cosmochimica Acta., 41, pp. 765-776.
- Park et al., 2001, Spatial distribution of the protozoan parasite *Perkinsus* sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Korea. Aquaculture, 203: 9-22.
- Park et al., 1999, Epizootiology of *Perkinsus* sp. found in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum* in Komsoe bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 32: 303-309.
- Pearson et al., 1978, Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 16:229-311.
- Pielou EC, 1969, An introduction to Mathematical Ecology. Wiley, New York, USA. 286pp.
- Poggiale et al., 2001, Long-term dynamics of three benthic *Ampelisca* (Crustacea- Amphipoda) populations from the bay of Morlaix (western English Channel) related to their disappearance after the 'Amoco Cadiz' oil spill. Marine Ecology Progress Series, 214:201-209.
- Rosenberg et al., 2005, Deterioration of soft-bottom benthos along the Swedish Skagerrak coast. J. Sea Res., 54:231-242
- Sampei, Y., E. Matsumoto, 2001. C/N Ratios in a sediment core from Nakaumi Lagoon, Southwest Japan-usefulness as an Organic Source Indicator, Journal of Geochemical, 35, pp. 189-205.

- Seo, I.S., 2003, Community structure and trophic relationships of macro- and megabenthic assemblages on Incheon macrotidal flat of the Yellow Sea. Ph. D. Thesis Inha Univ., 273pp.
- Shannon et al., 1963, The mathematical theory of communication. Univ. Illinois Press, 117pp.
- Shin et al., 1999, Population biology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*: Bivalvia) in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. II. Population dynamics and secondary production. Korean J. Malacol., 15: 31–39.
- Stein, R., 1991, Accumulation of Organic Carbon in Marine Sediments. Springer Verlag, Berlin, 1–217.
- Taylor SR, 1964, Abundance of chemical elements in the continental crust: A new table. *Geochem Cosmochim Acta* 28, 1273–1285.
- Taylor et al., 1995, The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophys* 33, 241–265.
- Weisberg et al., 1997, An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for Chesapeake Bay. *Estuaries*, 20:149–158.
- Wildsmith et al., 2009, Changes in the benthic macroinvertebrate fauna of a large macrotidal estuary following extreme modifications aimed at reducing eutrophication. *Mar. Pollut. Bull.*, 58: 1250–1262.
- Won et al., 1993, Fatness index and spat occurrence of the Shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*. *Journal of Aquaculture*, 6: 133–146.
- Yoo et al., 2010, Environmental quality of Korean coasts as determined by modified Shannon–Wiener evenness proportion. *Environ. Monit. Assess.*, 170: 141–157.

부록 해양환경 기준

1 해양환경 기준(해양환경관리법 제8조, 2011.12)

□ 해수수질

● 생활환경 기준

항목	수소이온농도 (pH)	총대장균군 (총대장균군수/100mL)	용매추출유분 (mg/L)
기준	6.5-8.5	1,000 이하	0.01 이하

● 생태기반 해수수질 기준

등급	수질평가 지수값(Water Quality Index)
I (매우 좋음)	23 이하
II (좋음)	24 - 33
III (보통)	34 - 46
IV (나쁨)	47 - 59
V (아주 나쁨)	60 이상

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

$$\begin{aligned} & \text{수질평가지수(WQI, Water Quality Index)} \\ &= 10 \times [\text{저층산소포화도(DO)}] + 6 \times [(\text{식물플랑크톤 농도(Chl-a)} + \text{투명도(SD)})/2] + 4 \times \\ & \quad [(\text{용존무기질소 농도(DIN)} + \text{용존무기인 농도(DIP)})/2] \end{aligned}$$

● 해양생태계 보호 기준

(단위 : $\mu\text{g/L}$)

중금속류	구리	납	아연	비소	카드뮴	크롬 (6가)	수은	니켈
단기기준*	3.0	7.6	34	9.4	19	200	1.8	11
장기기준**	1.2	1.6	11	3.4	2.2	2.8	1.0	1.8

* : 단기기준 : 1회성 관측값과 비교 적용

** : 연간평균값 (최소 사계절 조사 자료)과 비교 적용

□ 해저퇴적물

해양환경기준	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
주의기준 (TEL)	14.5	0.75	116	20.6	0.11	47.2	44.0	68.4
관리기준 (PEL)	75.5	2.72	181	64.4	0.62	80.5	119	157

(1) 주의기준 (Threshold Effects Level, TEL): 부정적인 생태 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 농도

(2) 관리기준 (Probable Effects Level, PEL): 부정적인 생태영향이 발현될 개연성이 매우 높은 농도

② 환경부 해역 생활환경 수질 기준(환경부, 2000.8)

(1) 생활환경

등급	기준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총대장균군 (총대장균군수/1 00mL)	용매추출유분 (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)
I	7.8-8.3	1 이하	7.5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.3 이하	0.03 이하
II	6.5-8.5	2 이하	5 이상	1,000 이하	0.01 이하	0.6 이하	0.05 이하
III	6.5-8.5	4 이하	2 이상			1.0 이하	0.09 이하

비고

1. 등급 I 은 참돔 · 방어 및 미역 등 수산생물의 서식 · 양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.
2. 등급 II 는 해양에서의 관광 및 여가선용과 송어 및 김 등 등급 I 의 해역에서 서식 · 양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식 · 양식에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급 III 은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

3 주요 해양환경 용어

주요 해양환경 용어	정의
용존산소 (DO, Dissolved oxygen)	물속에 녹아 있는 산소의 양 (DO값이 2mg/L이하이면 빈산소상태임)
강열감량 (IL, ignition loss)	강열(550℃)에 의해 퇴적물에 포함된 휘발성분(유기물)이 제거되어 시료질량에 대한 백분율 (유기물 오염도의 지표)
AVS (Acid Volatile Sulfide 산휘발성황화물)	퇴적물 내에 존재하는 황화물의 양 (값이 높으면 퇴적물 내 산소가 적은 상태를 말함)
TOC (Total organic carbon 총 유기탄소)	대상에 함유된 유기물을 구성하는 탄소의 총량 (수중 유기물 오염도를 나타내는 지표)
COD (Chemical oxygen demand 화학적산소요구량)	대상을 화학적으로 산화시키는 데에 필요한 산소의 양 (수중 유기물 오염도를 나타내는 지표)
클로로필 a (Chl-a)	세균을 제외한 모든 광합성 생물에 존재하며, 특히 수계환경 내의 식물플랑크톤 세포에서 가장 보편적이고 많이 분포함 (수중 유기물 오염도를 나타내는 지표)
C/N 비 (Total Organic Carbon/Total Nitrogen 비)	총유기탄소 대 총질소의 비율을 말함. 일반적으로 육상유래유기물은 10이상의 C/N비를 나타냄 (유기물의 기원 해석에 사용하는 지표)
환형동물	후생동물의 한문으로 좌우 대칭, 열체강성의 진체강이 있는 선구동물 (갯지렁류:마모류, 지렁이류: 빈모류, 거머리류: 질류)
연체동물	동물계에서 절지동물문 다음으로 많은 종을 포함하는 동물문 (패류, 굴류, 고둥, 오징어, 문어 등이 포함됨)
절지동물	등뼈가 없는 무척추동물 중 몸이 딱딱한 외골격으로 싸여 있으며, 몸과 다리에 마디가 있는 동물무리 (게, 새우류 등 갑각류가 포함됨)