

2019년
황도 갯벌생태계
모니터링 연구용역

최종보고서

2019. 12

제 출 문

충청남도지사 귀하

본 보고서를 『2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역』에 대한
최종 성과품으로 제출합니다.

2019년 12월

충 남 연 구 원

총괄연구책임자 : 윤 중 주

참 여 연 구 원 : 이 상 신

신 우 석

윤 영 관

이 상 우

요 약 문

제 1 장 과업의 개요

- 수행기관 : 충남연구원(서해안기후환경연구소)
- 용역기간 : 2019년 7월~2019년 12월(5개월)
- 연구목적 : 황도 연륙교 건설(2011년12월)이 주변 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 정량적 평가
- 연구내용
 - 충남 태안군 안면읍 황도리에 위치한 황도 인근 갯벌 등 8개 정점에 대한 수질, 퇴적물, 해양생물 조사 1회 수행('19. 6월: 퇴적물, 저서생물, 8월: 수질)
 - 문헌조사 및 현장조사 결과 분석을 통한 연륙교 건설 전·후의 황도 해역환경 시·공간적 변화 분석
- 황도교 연혁('82년 황도 연륙제방 건설 → 갯벌 기능 상실(IV구역) → '11년 황도 연륙교 건설)

【황도 연륙교 개통 현황】

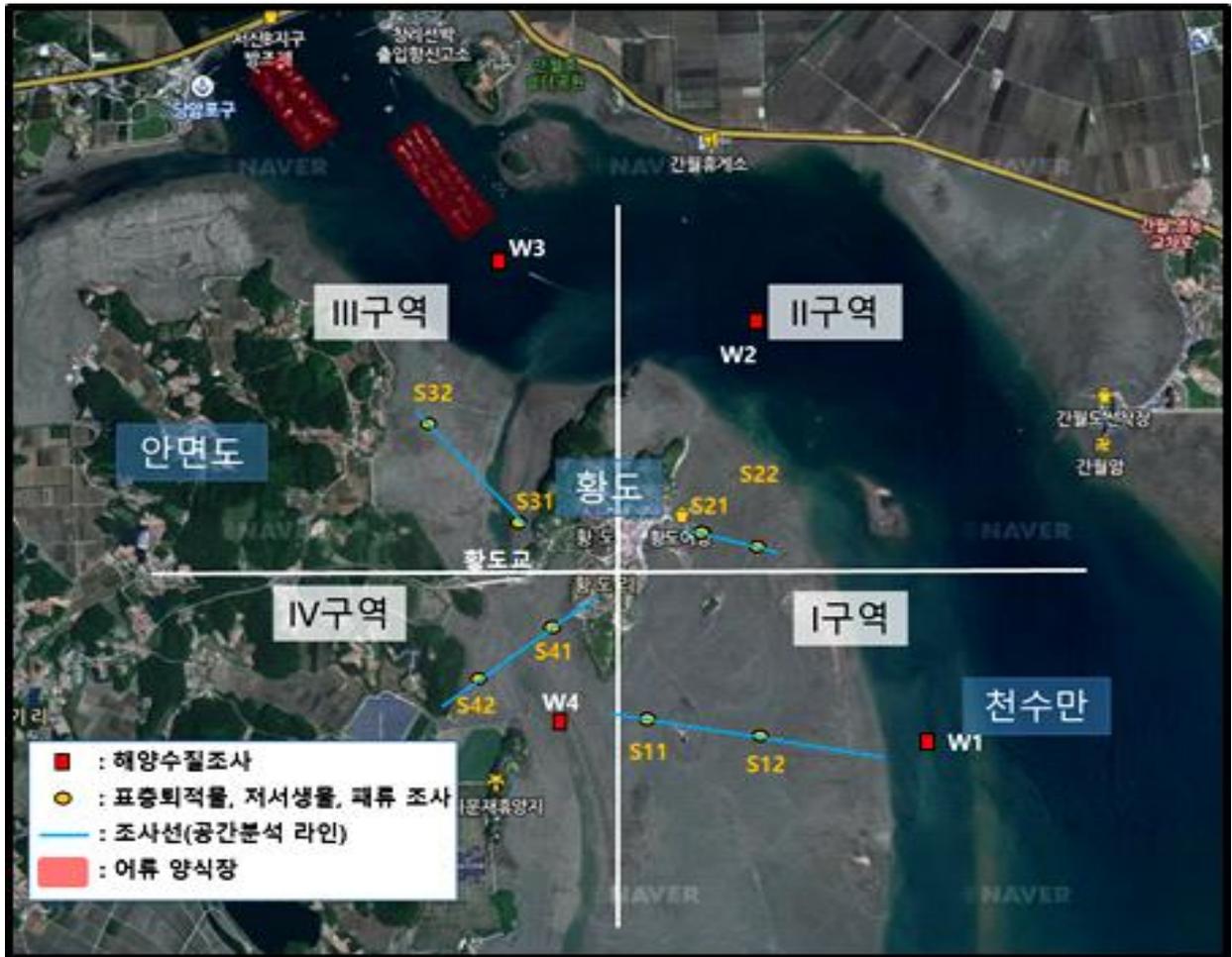
- 1982년 연도교(연륙제방) 설치(이전에는 풍어로 이용, 간조시 도보 왕복)
 - 황도 연륙교 개통 전(2011년 12월)까지 30년간 황도교 북쪽(III구역)과 남쪽(IV구역)의 해수의 유통을 막는 방조제 역할을 함
- 황도교 주변의 건강했던 갯벌이 연륙제방 건설 후 점차 뺄이 쌓이면서 황도교 남측(IV구역)에 죽빨(빨갯벌)화가 진행되었음
 - 주요 원인은 제방 건설에 따른 조류흐름 감소, 빨 퇴적, 영양염류 유입감소임
- 이런 이유로 IV구역에서는 패류(조개류)에서 지렁이류가 우점하는 오염된(갯벌 기능이 상실된) 저서 환경으로 변화되었고, 어업활동 지역에서 배제되고 있음
- 2011년 12월 연륙교 건설 완공 후 원활한 해수유통에 의해 갯벌 내 모래함량이 증가하고, 바지락 생산량이 증가하는 등 생산성 있는 갯벌로 변화가 진행되고 있음



<황도교 개통 전 연륙제방>



<황도 연륙교 개통 후 전경>



< 황도 주변 해역 조사 현황 및 공간 구분 >

【결론 요약】

- 연륙교 건설 후('11년 12월), 원활한 해수유통에 의한 갯벌 내 모래함량 증가 변화로 갯벌 저서 환경(특히 죽빨)이 개선되고 있는 것으로 나타남
 - '18년, '19년 조사 결과, 퇴적물 내 모래함량 비율이 높아지는 결과를 나타냄
 - I구역 : 81.1%, 75.3%, II구역 : 86.5%, 89.9%, III구역 : 69.4%, 59.7%, IV구역 : 44.5%, 25.4%
- 해수유통('11년) 후 대형 저서동물 역시 출현 종·생체량 증가 후, 지속 유지되고 있음
 - 출현 종 : 8종('10년) → 21종('15년), 17종('17년), 26종('18년), 18종('19년)
 - 저서 생물 건강도 지수 : '18년(3등급: 좋음), '19년(4등급: 보통) 양호한 상태
- 황도 연륙교 건설 전·후 패류(바지락) 생산량이 개선되고 있음
 - 황도 패류 평균 생산량 : 133톤/년(사업 전) → 187톤/년(사업 후), 평균 54톤 증가
- 황도 갯벌의 환경개선 현황에 대한 지속적인 정기 모니터링이 필요할 것으로 판단됨

제 2 장 황도 연륙교 건설 전·후 환경변화 비교

■ I구역(바지락 체험장 주변 갯벌)

- 갯벌 내 모래함량이 소폭 늘어남(바지락 성장환경 개선)
 - 연륙교 건설 전('10년, 73.7%) → 건설 후('19년, 75.3%)

■ II구역(바지락 양식장 주변 갯벌)

- 갯벌 내 모래함량이 대폭 늘어남(바지락 성장환경 개선)
 - 연륙교 건설 전('10년, 56.9%) → 건설 후('19년, 89.9%)
- 갯벌 내 저서생물의 출현종수, 서식밀도, 생체량이 연륙교 개통 후 지속적으로 늘어남

■ III구역(연륙교 북쪽 갯벌)

- 갯벌 내 모래함량이 소폭 늘어남(바지락 성장환경 개선)
 - 연륙교 건설 전('10년, 43.7%) → 건설 후('19년, 59.7%)

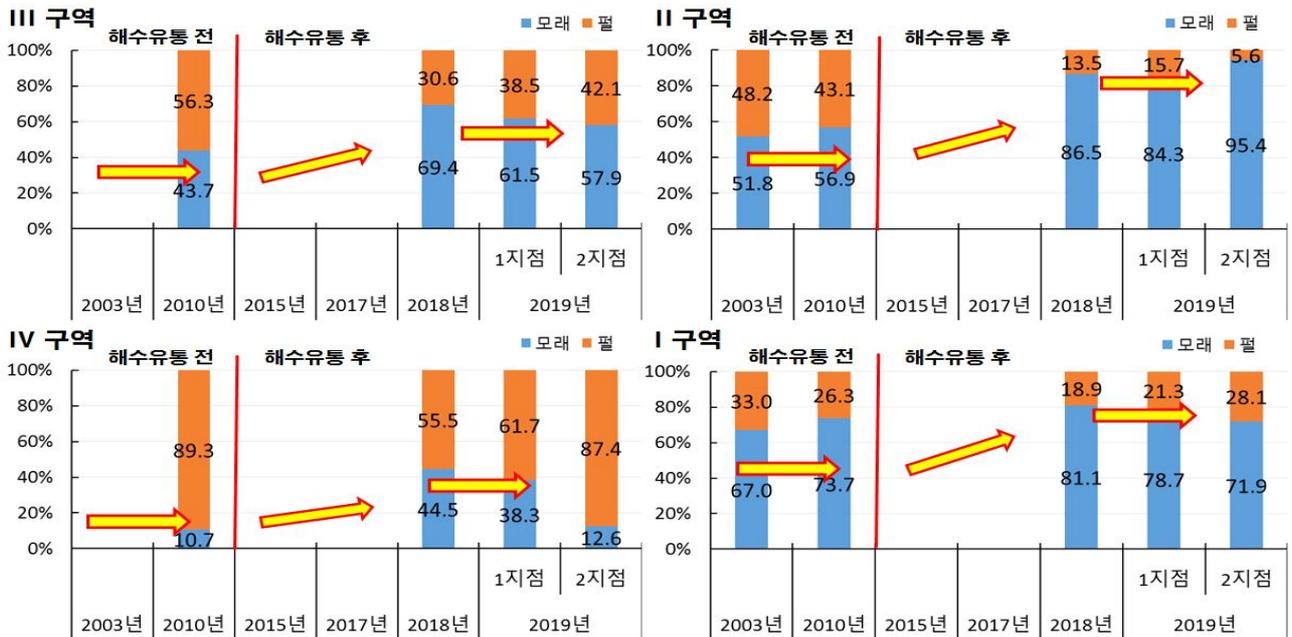
■ IV구역(연륙교 남쪽 갯벌) - 연륙교 영향을 가장 크게 받은 지역

- 연륙교 건설 전 연육돌제로 막혀 있어 조류 흐름 저하, 빨 침전 등에 의해 **죽빨화**되었음(갯지렁이류가 우점)
- 연륙교 개통 후 갯벌 내 모래 함량 증가
 - 연륙교 건설 전('10년, 10.7%) → 건설 후('19년, 38.3%)
 - 굴, 가무락(모시조개) 등 유용패류가 서식할 수 있는 퇴적상으로 회복 중

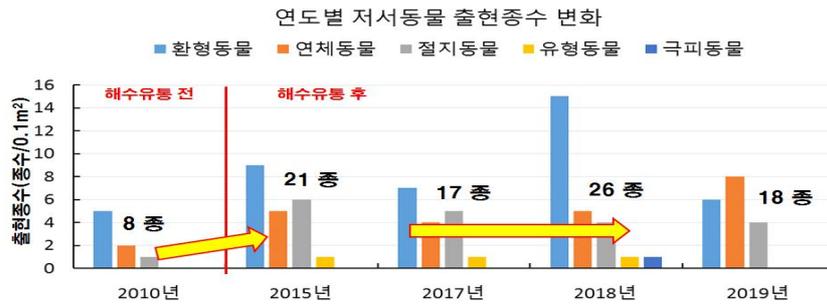
■ 종합평가

- 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌의 생산성 향상 효과가 크게 나타남
- 황도 연륙교 건설 전·후 패류(바지락) 생산량을 살펴보면, 건설 전('09년~'11년) 패류 평균 생산량은 133톤/년으로 건설 후('12년~'18년) 패류 평균 생산량은 187톤/년으로 54톤/년 증가한 것으로 나타남
- 바지락 밀집도 분석결과 모래 함량이 60~80% 이상일 경우 밀집도가 우세한 것으로 조사됨. 현재 연륙교 개통에 의한 모래 함량 증가 후 퇴적물 안정시기로 접어듬
 - 해수순환 단절로 죽빨화 된 IV구역 갯벌의 경우, 퇴적상이 빠르게 회복 후 안정기로 접어듬
 - IV구역 갯벌은 향후 4~5년 이후에는 연륙제방 건설('82년) 이전 수준의 갯벌퇴적상(모래 함량이 40~60%)으로의 회복이 예상되며, 이에 따른 IV구역 갯벌로의 굴, 가무락(모시조개)의 서식지 확대가 기대됨

황도 주변 갯벌의 모래/펄 비율 변화

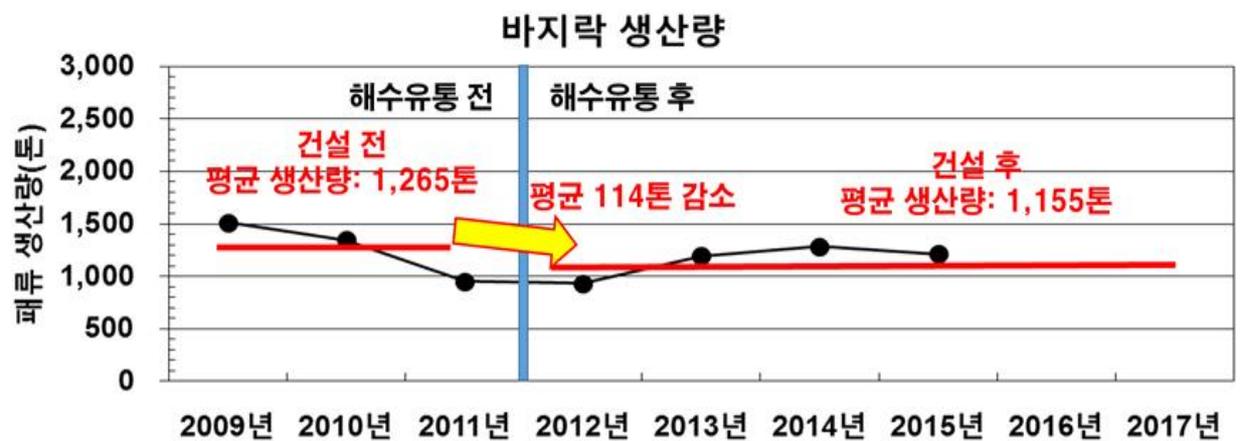


⇒ 연륙교 개통에 의한 모래 함량 비율 증가 후 최근 퇴적물 입도 안정기로 접어들고 있음 ('18, '19년 변화 유사)



⇒ 연륙교 개통 후, 갯벌생물의 출현종수가 증가하였고 서식밀도 및 생체량도 지속 증가추세
 ⇒ 생물 다양성 향상 및 생물량 증가로 이어지고 있음

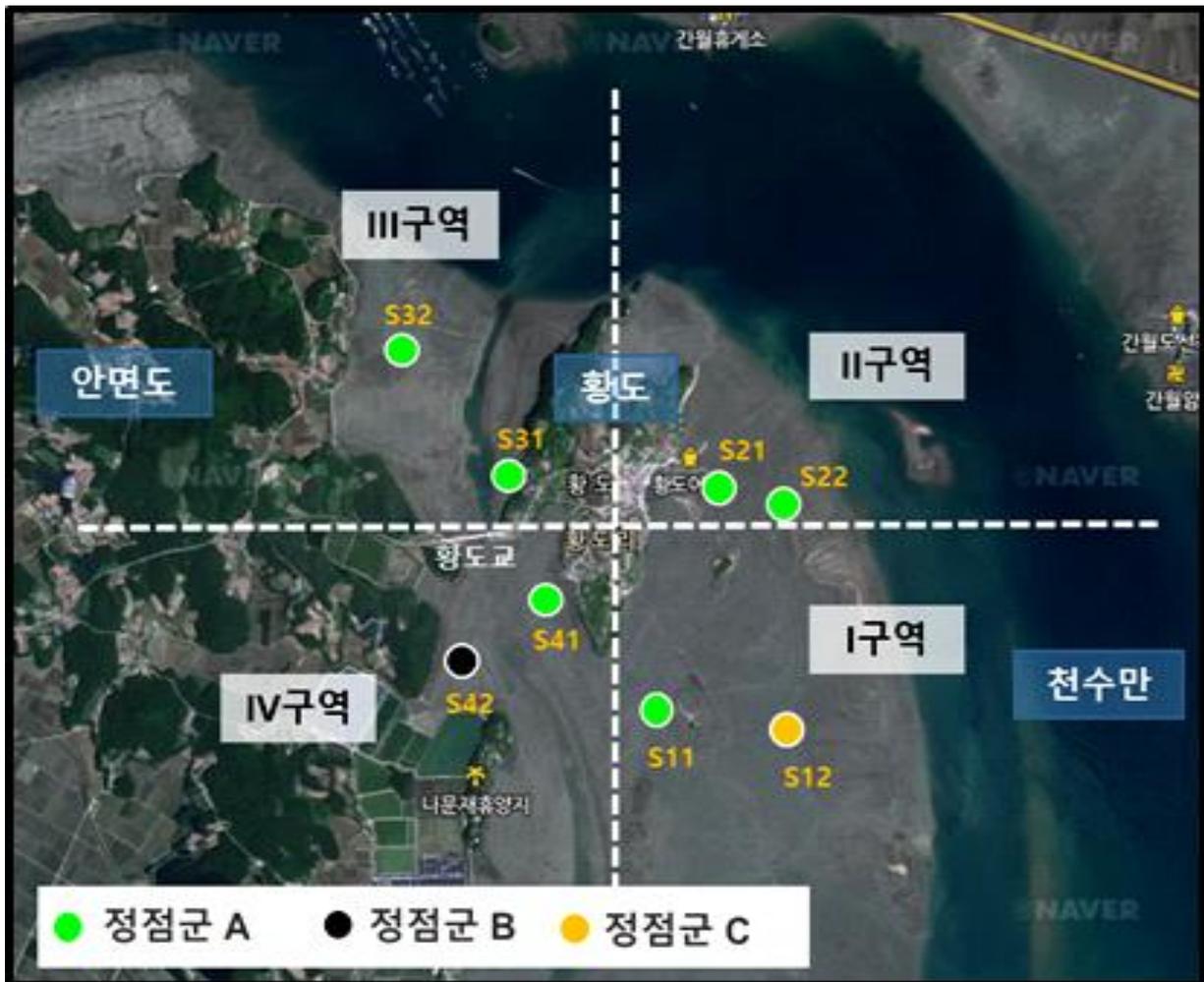
< 황도 주변 갯벌 퇴적상, 갯벌 저서생물, 바지락 생산량 변동 현황 >



충청남도 지역별 바지락 연생산량 변동

- ⇒ 지난 10년 간 충청남도 전체 및 태안군 바지락 연생산량은 소폭 감소 추세
- ⇒ 이에 비해 황도의 바지락 평균 생산량은 증가 추세로, 바지락 생산성이 잘 유지되고 있음

황도 갯벌 생체량 기준에 따른 구분(A, B, C 그룹)



- 저서동물 군집 분포는 3그룹(A, B, C그룹)
: 구역별 군집은 유의적 차이 없음($p > 0.05$)

1. 퇴적환경(모래함량) : $C > A > B$
2. 생물 다양성 : $A > B > C$

⇒ 서식밀도 기준 저서동물 군집은 구역에 따른 차이는 없었으며 퇴적환경(모래함량) 및 생물 다양성 차이로 군집 분포를 달리함

제 3 장 황도 주변 갯벌생태환경 변화에 대한 전문가 의견

- 갯벌의 모래함량이 늘어난 원인 및 모래 공급원 분석시 지반고 변화 관측 필요
 - 백사수로를 통한 천수만 외해역으로부터의 유입, 부남호 방류에 의한 호소내 퇴적물 일부 이동, 바지락 양식장 주변 모래살포 사업의 영향 가능성이 있음
 - IV구역 갯벌은 해수유통 실시에 따라 땀이 씻겨나감에 따른 모래 증가 가능성이 제기되었으나, 탐문조사 결과 땀 씻김에 따른 갯벌침하가 발생하지 않아 그 영향은 낮음
 - 갯벌의 지형단면 변화분석을 실시하면 갯벌 침퇴적(모래 유출입) 현황 조사가 가능
- 소득 종패(바지락 치패 및 종패 등) 및 모래 살포 사업 시행 등의 영향 분석 제안
 - 90년대 후반부터 바지락 양식장 조성을 위한 치패·종패 살포 사업을 실시 중
 - 바지락 치패·종패 살포 이후, 생산량이 급격히 증가한 효과가 나타났으며 이를 통한 황도 전체 지역으로의 바지락 서식지 확대를 기대할 수 있음
 - 일부 구역에서 가무락(모시조개)과 굴 군락지 확인됨에 따라 적절한 관리 필요
- 도내 타 지역 바지락 생산량과 비교 검토
 - 지난 10년 간 충남도 전체 및 태안군 바지락 연생산량은 소폭으로 감소 추세에 있음
 - 이에 반해 황도의 바지락 평균 생산량은 증가 추세에 있어, 바지락 생산성이 잘 유지되고 있음
- 부족한 과거 현황 자료 보완을 위한 주민 탐문조사 제안
 - 탐문조사 결과 현재 갯벌상이 이질적인 IV구역의 경우, 연륙제방 건설('82년) 후 땀갯벌로 바뀌었으나, 연륙교 개통('12년) 후 예전의 수준으로 갯벌상이 복원되고 있음이 확인됨
 - IV구역 갯벌 인근인 황도 남측갯벌에서는 땀이 많은 갯벌에서 서식하는 가무락이 매년 생산되어, 향후 IV구역으로의 서식지 확대를 기대할 수 있음
- 추가 정기조사가 필수적이며, 점 조사가 아닌 선·면 조사로 확대실시 방안을 검토
 - 보다 확대된 정점을 적용한 시공간적 조사를 지속 실시하여 갯벌복원 효과를 분석하겠음

제 4 장 결론 및 향후 계획

■ 결론

- 황도 연륙제방 건설(1982년)은 해수를 막는 방조제 역할을 함으로써 제방 주변 갯벌로의 영양염류 유입 감소, 퇴적성 변화(죽빨화), 저서생태계 악화가 유발됨
- 특히, 바지락 등 상업패류는 모래 함량이 70%이상인 모래펄갯벌(혼성갯벌)에서 서식하나 빨이 많아진 갯벌에는 패류가 살 수 없는 환경으로 변화됨(지렁이류만 우점)
- 연륙교 건설('11년 12월) 후에는 원활한 해수유통에 의한 모래 유입이 확대되어 황도 주변 갯벌환경이 개선되고 있는 것으로 나타남
 - 연륙교 개통 후 황도리 바지락 생산량이 연평균 54톤(29%) 증가함
 - 연륙제방 건설('82년) 이후 빨 갯벌로 바뀐 IV구역 갯벌이 혼성갯벌로 복원 중
- 연륙교 건설 전·후 저서대형동물의 다양성 및 건강도 등 빠르게 회복 적응 후 양호한 저서환경을 유지함
 - 저서 생물 건강도 지수 : '18년(3등급: 좋음), '19년(4등급: 보통)
- 현재 바지락, 가무락 등 상업패류가 생산되고 있지 않는 IV구역 갯벌의 경우, 퇴적상이 빠르게 회복중임(모래함량 '10년 10.7%→'19년 38.3%)
 - 현재 황도 갯벌 내 바지락, 가무락, 굴 등 상업패류 서식지 확대 진행
 - 향후 4~5년 후에는 IV구역 갯벌 저서환경 회복에 따른 가무락조개 및 굴(황도 남측 갯벌 일부에서 생산 중)의 서식지 확대가 가능할 것으로 예상됨

■ 향후계획

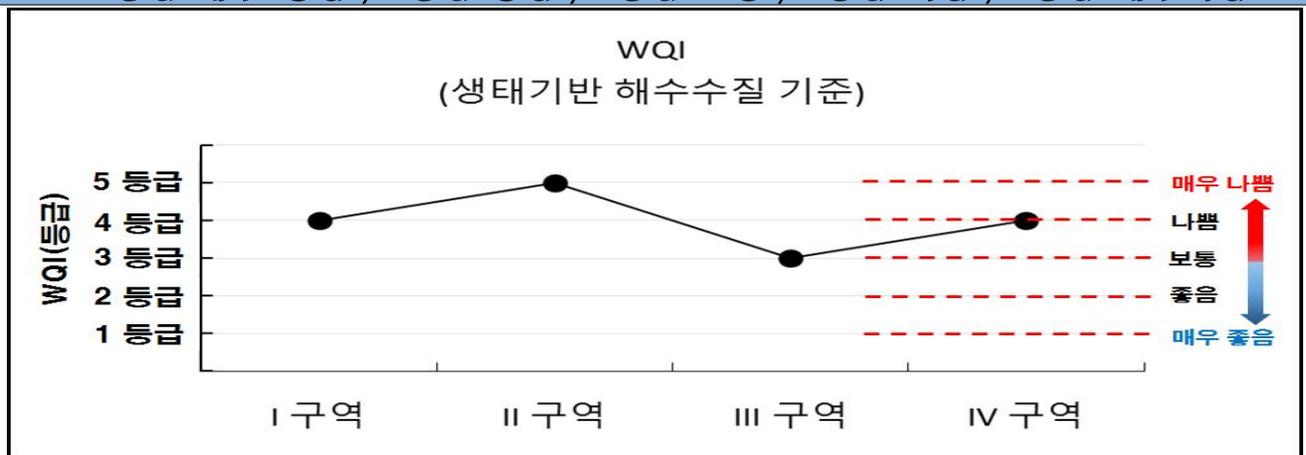
- 황도교 개통에 따른 갯벌생태 복원사업의 효과가 나타난 만큼, 황도 갯벌 생태 환경에 대한 현장 모니터링의 지속 실시(3년)가 필요
 - 갯벌생태계의 회복현황 및 상업 패류 성장환경 조성 가능 여부를 정량적으로 예측/판단 가능
- 향후 IV구역 갯벌에 대한 가무락 조개 종패 살포 및 굴 군락지 조성을 통한 갯벌 상업 패류자원 생산구역 확대를 유도하여, 지역주민의 소득향상 기대

제 5 장 2019년 주변 갯벌 환경조사 결과

1. 해수수질 분석 결과

- 2019년 황도 주변 해수 상태(수질평가지수, WQI)를 살펴보면, I 구역에서는 4등급(나쁨), II 구역에서는 5등급(매우 나쁨), III 구역에서는 3등급(보통), IV 구역에서는 4등급(나쁨)을 보임
- 공간적으로는 III구역을 제외한 구역에서 상대적으로 수질이 나쁜결과를 보임
- 수질악화는 여름철 수온상승에 의한 Chl-a 증식, 저층 용존산소(DO) 감소 등의 영향을 받은 것으로 판단됨
- ⇒ 특히, 8월에는 강우량 증가에 따른 부남호에서의 방류는 황도 주변 해양수질에 일부 영향을 주었음
- 해수 내 미량금속(중금속)은 모든 구역에서 해양생태계 보호기준 이하 수준으로 분포하여, 전반적으로 양호한 수준을 보임

해양수질등급:
1등급(매우 좋음), 2등급(좋음), 3등급(보통), 4등급(나쁨), 5등급(매우나쁨)



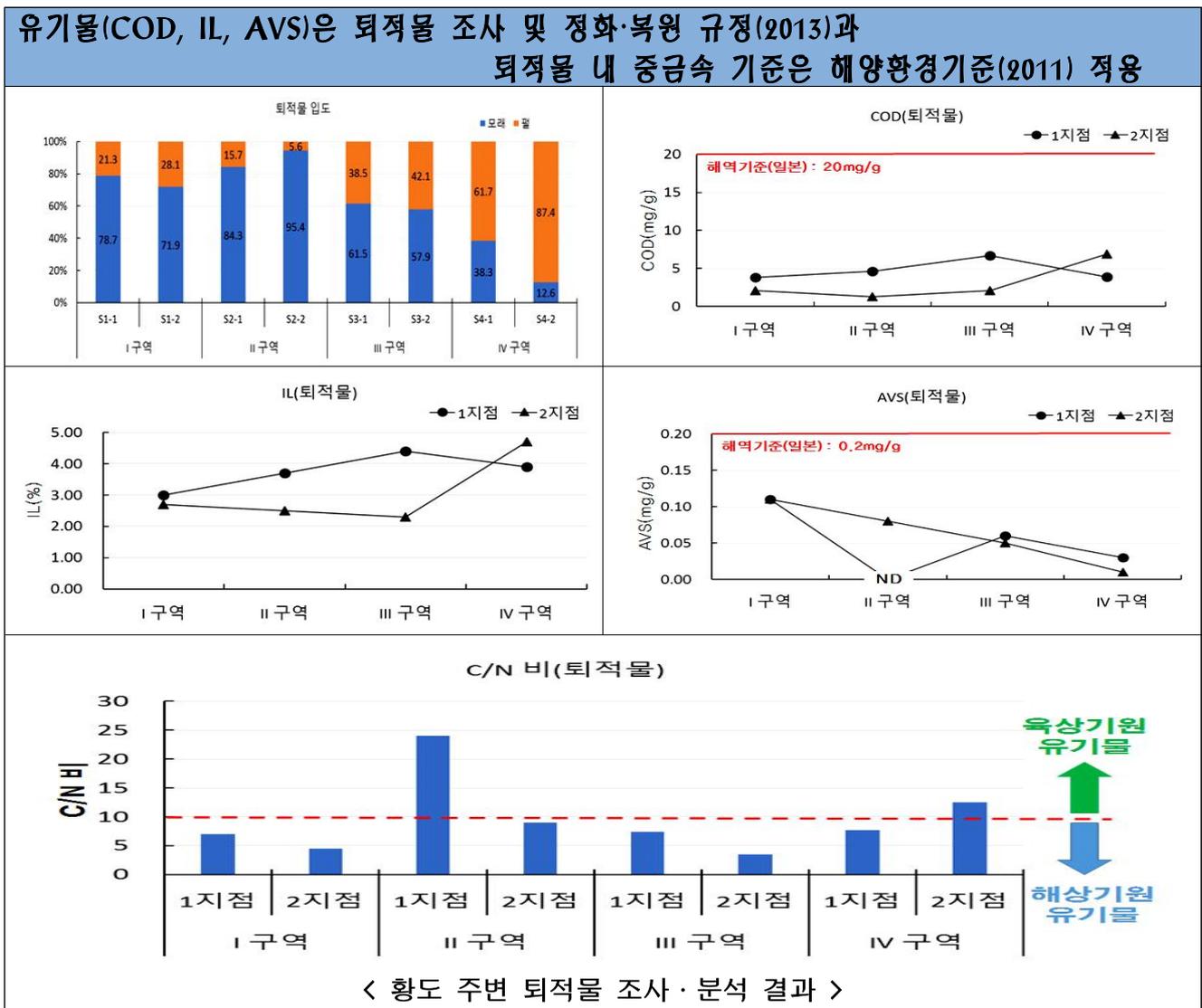
< 황도 주변 해역 수질 조사·분석 결과 >

2. 해저퇴적물 분석 결과

- 바지락 양식장(I구역), 바지락 체험장(II구역), 연륙교 북쪽(III구역)에서는 모래(자갈 포함) 함량(57.9%~95.4%)이 펄(실트 포함) 함량(5.6%~42.1%)보다 높은 편이나 연륙교 남쪽(IV구역)에서는 펄 함량(61.7%~87.4%)이 모래함량(12.6%~38.3%)보다 높게 조사되었음
- 퇴적물 내 유기물 오염지수인 화학적산소요구량(COD: 20mg/g 기준치)은 1.3~7.0mg/g, 강열감량(IL)은 2.3~4.7%, 산취발성황화물(AVS: 0.2mg/g 기준치)은 0.00~0.11mg/g로 조사 정점에서 모두 기준치 이하로 조사되어 해

저 퇴적물 내 유기물 오염은 양호한 상태로 판단되었음

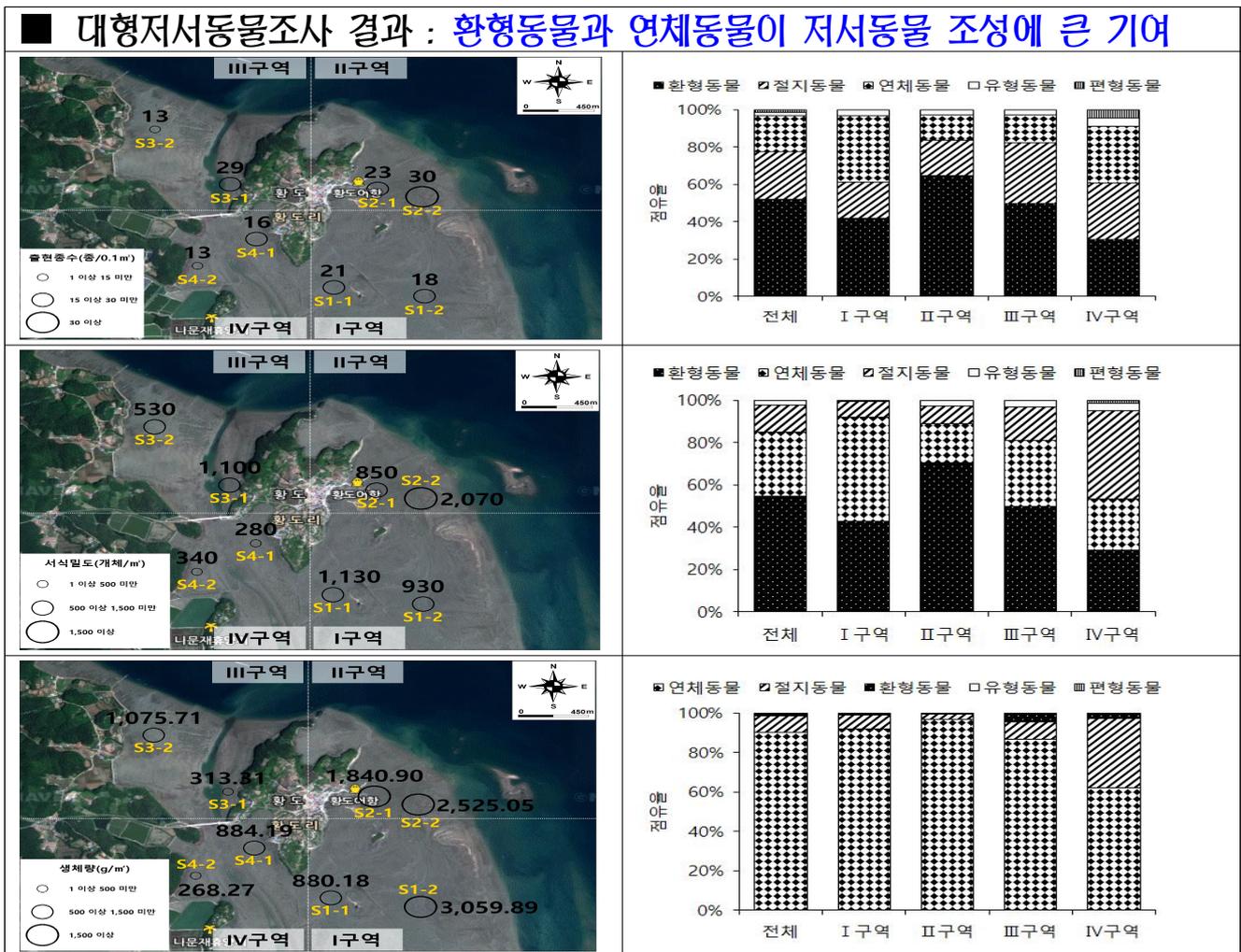
- 퇴적물 내 C/N비(10이상인 경우 육상기인 유기물로 판단)는 3.5~24.0의 값을 나타냈고 전반적으로 10 이하의 값을 보여 퇴적물 내 유기물이 해양 유래 기여도가 높은 것으로 나타남(II구역 일부, 부남호 전면은 육상기인 우세)
- 퇴적물 내 유기물의 양적인 면(농도)인 오염도에서도 양호하고 질적인 면(유기물 기원)에서도 해양유래 유기물의 기여가 높음
- 퇴적물 내 중금속 분포 결과는 대부분 중금속에서 국내외 기준(주의기준)을 하회하는 것으로 분석되었으나, 부남호의 방류에 따른 영향 가능성이 있음



갯벌퇴적물 내 유기물 오염지수는 양호한 수준이며, 황도 갯벌의 유기물은 부남호 등 육상에서 기원하는 것으로 일부 나타나고 있음

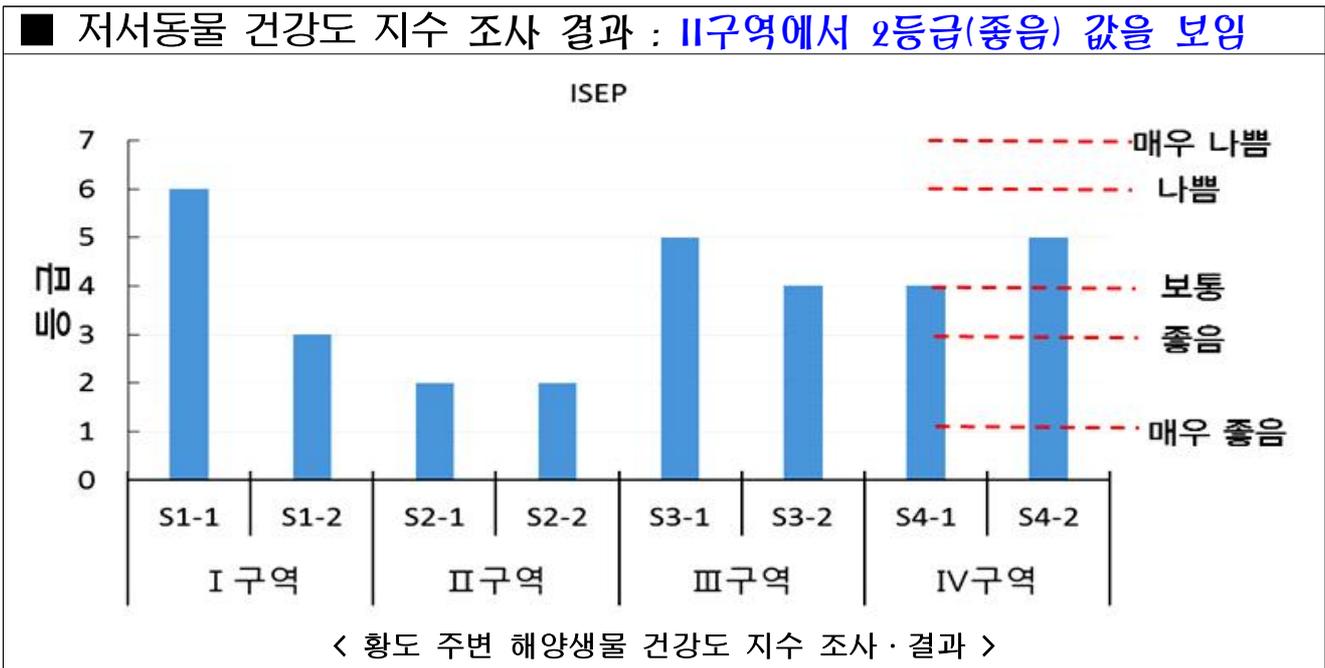
3. 해양생물 분석 결과

- 대형저서동물의 조사결과 출현종수는 II구역(27종) > III구역(21종) > I구역(20종) > IV구역(15종) 순으로 많았으며, 서식밀도와 생체량은 일부 종(환형동물과 연체동물)에서 높은 비율을 보임. 생물다양성은 구역별 차이를 나타냄
 - ⇒ 서식밀도에서는 환형동물(지렁이류), 생체량에서는 연체동물(조개류)의 기여가 큼
- 대형저서동물의 군집분포를 보면 크게 두 집단(A, B, C)으로 구분이 됨. 황도 갯벌은 퇴적환경(모래함량)과 생물다양성 차이로 군집분포를 달리함
- 2019년 조사결과를 보면 IV구역에서 출현종수, 서식밀도, 생체량이 다른 구역(I, II, III구역)에 비해 상대적으로 낮은 결과를 보여주고 있음
 - IV구역에도 패류(연체동물)가 서식하나 바지락 등 상업패류의 비중은 낮음



⇒ 대형저서동물인 경우 환형동물(지렁이류)과 연체동물(패류)이 모든 항목(출현종수, 서식밀도, 생체량 등)에서 큰 기여를 하고 있음

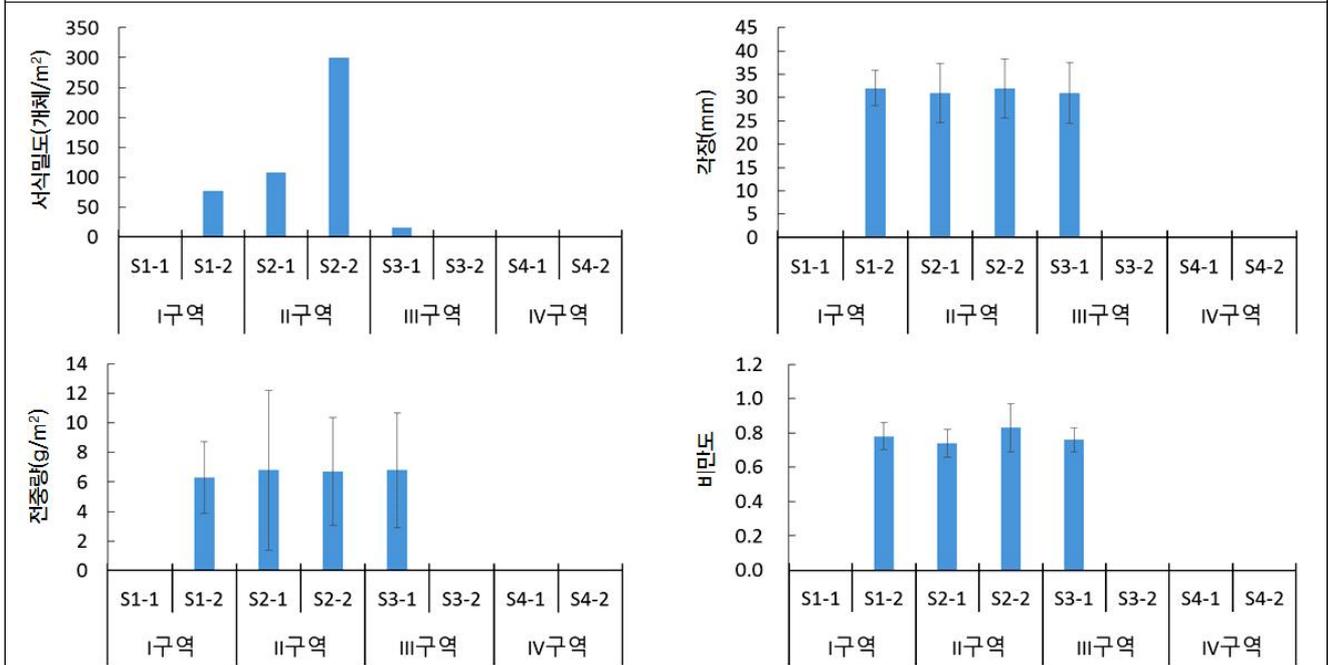
- 2019년 저서생물의 건강도 지수(ISEP) 등급은 정점별 평균 4등급(2~6등급)으로 정점 S2-1과 S2-2에서 가장 양호하고, 정점 S1-1에서 가장 낮은 건강도를 나타냄
- 구역별 평균 건강도 지수 등급은 2~5등급 범위로 II구역에서 가장 양호하고, 나머지 구역(I, III 및 IV구역)들은 “나쁨”에 해당되는 건강도를 보임



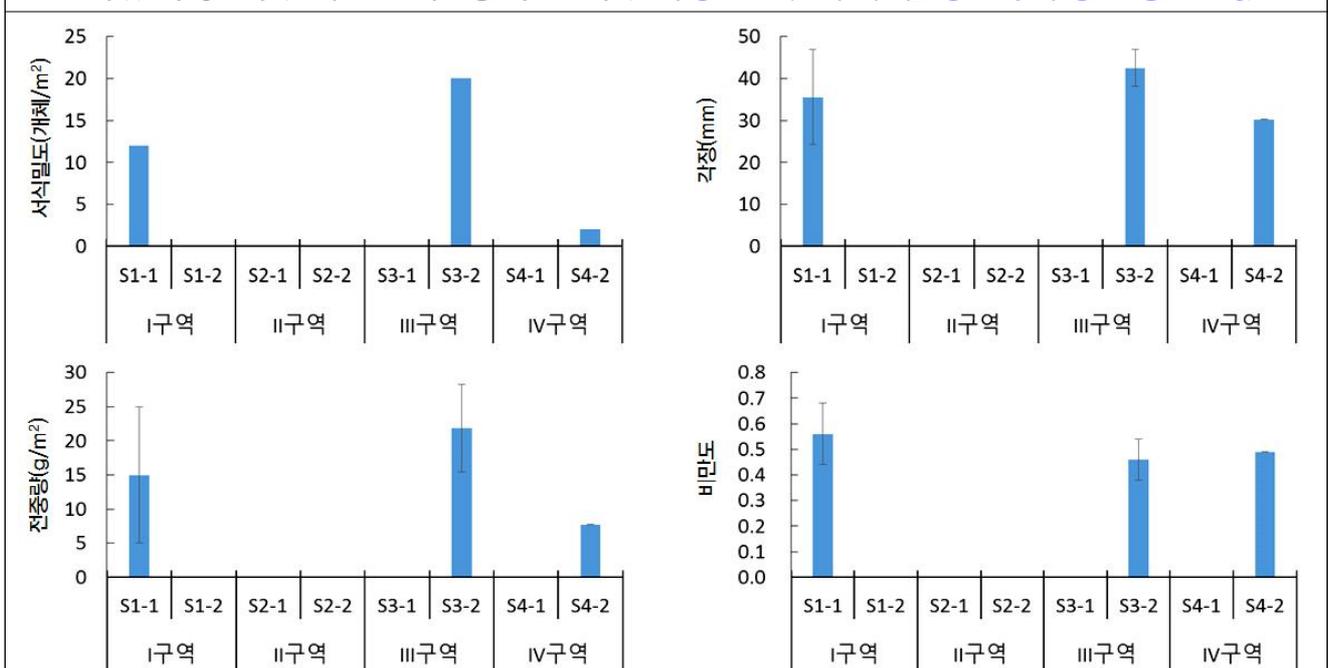
☞ 저서동물 건강도 지수(ISEP)조사에서는 II구역에서 2등급(좋음)을 나타내었고 그 외 I, III, IV구역에서는 “보통” 또는 “나쁨”의 건강도를 보임

- 패류 자원(바지락) 조성 조사결과, II구역에서 높은 서식밀도를 보였음
 - 평균 서식밀도(I구역: 78개체, II구역: 204개체, III구역: 16개체, IV구역: 바지락 조사 안됨), 비만도, 각장, 전중량은 조사정점에서 유사한 결과를 보임
- 패류 자원(가무락) 조성 조사결과, III구역에서 비교적 높은 서식밀도를 보였음
 - 평균 서식밀도(I구역: 12개체, II구역: 가무락 조사 안됨, III구역: 20개체, IV구역: 2개체), 비만도, 각장, 전중량 조사결과 또한 III구역에서 높은 결과를 보임
- ⇒ 갯벌 퇴적상 복원이 IV구역에서 지속적으로 진행되면, 패류 서식이 가능할 것으로 판단됨
- 연륙교 건설 후 해수 흐름 복원은 바지락 및 가무락 같은 상업 패류 성장환경에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단됨

■ 패류자원(바지락) 조사 결과 : 바지락은 II구역에서 높은 서식밀도를 보임



■ 패류자원(가무락) 조사 결과 : 가무락은 III구역에 높은 서식밀도를 보임



< 황도 주변 해양생물 조사 · 결과 >

👉 패류자원(바지락, 가무락)조사에서 바지락은 II구역에서, 가무락은 III구역에서 가장 높은 서식밀도를 보임.

목 차

요약문	1-13
목차	i
표목차	iii
그림목차	vi
제 1 장 과업의 개요	3
1. 과업 배경 및 필요성	3
1) 과업의 배경	3
2) 과업의 필요성	4
2. 과업의 목적	5
3. 과업의 범위	5
1) 공간적 범위	5
2) 시간적 범위	5
3) 내용적 범위	5
제 2 장 지역 현황 및 기초 조사	9
1. 지역 환경 특성	9
1) 입지	9
2) 지형 및 지세	10
3) 기후(태안군 중심으로)	10
4) 인구	14
5) 토지이용	15
2. 선행연구 조사	15
1) 황도 주변 수질 환경 특성	16
2) 황도 갯벌 퇴적물 환경특성	21
3) 황도 갯벌 저서동물 특성	25
제 3 장 현장조사 및 결과	33
1. 해양수질	33
1) 현장조사 개요	33

2) 현장조사 방법	34
3) 시료의 전처리 및 분석	35
4) 현장조사 결과	38
2. 퇴적물	52
1) 현장조사 개요	52
2) 현장조사 방법	53
3) 시료의 전처리 및 분석	54
4) 현장조사 결과	59
3. 저서동물	75
1) 현장조사 개요	75
2) 현장조사 방법	76
3) 시료의 전처리 및 분석	77
4) 현장조사 결과	80
4. 종합평가	104
1) 황도 구역별 수질 특성	104
2) 황도 구역별 퇴적물 특성	106
3) 황도 구역별 저서동물 특성	108
제 4 장 황도 연륙교 건설 전후 환경변화	117
1. 황도 연륙교 건설 전후 해양수질 변화	117
2. 황도 연륙교 건설 전후 퇴적물 변화	118
3. 황도 연륙교 건설 전후 저서생물 변화	119
1) 저서생물 변화	119
2) 수산업(바지락) 생산량 변화	120
3) 굴 생산량 확대(황도교 남측 IV구역)	121
제 5 장 결론 및 정책제언	127
1. 결론	127
2. 정책제언	129
참고문헌	133
부록 - 해양환경 기준	137

표 목 차

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준)	4
[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교(2014~2019.09)	15
[표 2-2] 황도리 토지이용 현황	15
[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 저서대형동물	25
[표 2-4] 황도갯벌 저서동물 우점종(밀도기준(개체/m ²), 2010, 2015, 2017년)	26
[표 2-5] 황도갯벌 저서동물 우점종(생체량(g/m ²)기준, 2010, 2015, 2017년)	26
[표 2-6] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준, 2010, 2015, 2017년)	27
[표 2-7] 황도갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/m ² , 2010, 2015, 2017년)	30
[표 3-1] 황도 해양수질조사 분석항목	34
[표 3-2] 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율	37
[표 3-3] 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과(2019년 8월)	40
[표 3-4] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO ₂ -Si 등 결과(2019년 8월)	43
[표 3-5] 해양 수질의 미량금속류 결과(2019년 8월)	46
[표 3-6] 해양환경기준-해양수산부고시 제 2013-186호	48
[표 3-7] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 8월)	49
[표 3-8] 해양환경기준(생태기반 해수수질 기준) - 해양수산부고시 제2013-186호	51
[표 3-9] 황도 주변 갯벌 퇴적물조사 분석항목	53
[표 3-10] 지수별 퇴적물의 입도 환산표	56
[표 3-11] 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale)	57
[표 3-12] 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율	59
[표 3-13] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2019년 6월)	60
[표 3-14] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2019년 6월)	62
[표 3-15] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2019년 6월)	67
[표 3-16] 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186)	68
[표 3-17] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리 기준	68
[표 3-18] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	71
[표 3-19] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2019년 6월)	72
[표 3-20] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준	73
[표 3-21] 해양퇴적물 내 농집지수(2019년 6월)	74
[표 3-22] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치	76
[표 3-23] ISEP 분포에 기초한 조간대 배점 기준	78

[표 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 출현종수(단위:종/0.1m ² , 평균±표준편차)	80
[표 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	81
[표 3-26] 황도 갯벌 저서동물의 생체량(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	82
[표 3-27] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	83
[표 3-28] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 우점종(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	85
[표 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종 다양성지수(평균±표준편차)	86
[표 3-30] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종 균등도지수(평균±표준편차)	86
[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 종 풍부도지수(평균±표준편차)	86
[표 3-32] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여중(서식밀도 기준)	88
[표 3-33] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(서식밀도 기준)	88
[표 3-34] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여중(생체량 기준)	90
[표 3-35] 황도 저서동물의 구역별 유사성 분석(생체량 기준)	90
[표 3-36] 황도 갯벌 저서동물과 퇴적환경요인간 상관관계(Speaman 상관분석)	91
[표 3-37] 황도 갯벌 저서동물의 건강도지수(단위:등급, 평균±표준편차)	91
[표 3-38] 황도 갯벌 저서동물의 과거자료 비교 분석	94
[표 3-39] 황도 갯벌 패류자원의 출현종수 및 서식밀도(단위:개체/m ² , 평균±표준편차)	95
[표 3-40] 황도 갯벌 패류자원의 생체량(단위:g/m ² , 평균±표준편차)	96
[표 3-41] 황도 갯벌 패류자원의 각장(단위:mm, 평균±표준편차)	97
[표 3-42] 황도 갯벌 패류자원의 각폭(단위:mm, 평균±표준편차)	97
[표 3-43] 황도 갯벌 패류자원의 각고(단위:mm, 평균±표준편차)	98
[표 3-44] 황도 갯벌 패류자원의 전중량(단위:g, 평균±표준편차)	99
[표 3-45] 황도 갯벌 패류자원의 비만도(평균±표준편차)	100
[표 3-46] 황도 갯벌 패류자원과 퇴적환경요인간 상관관계(Spearman 상관분석)	101
[표 3-47] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 과거자료 비교·분석	102
[표 3-48] 황도주변 해수수질평가지수(WQI) 및 COD 특성	104
[표 3-49] 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08)	105
[표 3-50] 황도 주변 퇴적물 내 입도, COD, C/N비 특성	107
[표 3-51] 황도 주변 바지락 살포 현황	114
[표 4-1] 황도 연륙교 개통 전·후 해수수질평가지수(WQI) 비교	117

그림 목 차

[그림 1-1] 본 연구 조사 정점 위치도	6
[그림 2-1] 충청남도 태안군 안면읍 황도	9
[그림 2-2] 지난 10년간 태안군 연평균 기온 변화	11
[그림 2-3] 지난 10년간 태안군 최고극값(최고기온) 변화	11
[그림 2-4] 지난 10년간 태안군의 연강수량	12
[그림 2-5] 황도 인근 천수만 정점 (어장환경모니터링)	13
[그림 2-6] 어장환경모니터링 천수만 두 정점의 연평균 수온변화	13
[그림 2-7] 지난 10년간 태안군의 연도별 습도 변화	14
[그림 2-8] 황도 현장조사 구역 구분 개념도	16
[그림 2-9] 천수만(황도) 주변 수질 환경 조사 정점도(2010년~2011년)	17
[그림 2-10] 천수만 수질(WQI) 변화 특성(2010년~2011년)	18
[그림 2-11] 태안해안국립공원 해양환경변화 조사정점도(2014년, 2017년)	19
[그림 2-12] 태안해안국립공원 해양환경변화 해양수질(WQI) 결과(2014, 2016)	20
[그림 2-13] 황도갯벌 조사정점 위치도(2003년)	21
[그림 2-14] 안면도(황도) 갯벌 조사 정점 위치도(2010년)	23
[그림 2-15] 황도갯벌 조사정점도(2015년, 2017년)	24
[그림 2-16] 황도갯벌 생물 조사정점도(2010년, 2015년, 2017년)	25
[그림 2-17] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화율	29
[그림 3-1] 황도 해양수질 조사도	33
[그림 3-2] 황도 해양수질 현장사진	34
[그림 3-3] 조사해역 수질 SPM, COD, TOC의 정점별 분포	41
[그림 3-4] 조사해역 수질 DIN, PO ₄ -P, SiO ₂ -Si의 계절 및 정점별 분포	44
[그림 3-5] 조사해역 수질 TN, TP, Chl-a의 정점별 분포	45
[그림 3-6] 조사해역 수질 내 미량금속의 정점별 분포	47
[그림 3-7] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2019년 8월)	49
[그림 3-8] 생태구역 구분도	50
[그림 3-9] 황도 퇴적물 조사도	52
[그림 3-10] 황도 퇴적물 현장사진	53
[그림 3-11] 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류	58
[그림 3-12] 함량비에 따른 퇴적상 분류(삼각다이아그램)	60
[그림 3-13] 조사해역 퇴적물 함수량, COD, TOC, TN, AVS의 정점별 분포	63

[그림 3-14] 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비	64
[그림 3-15] 조사해역 퇴적물 내 중금속의 정점별 분포	66
[그림 3-16] 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교	70
[그림 3-17] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농축계수	72
[그림 3-18] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농집지수	74
[그림 3-19] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사	75
[그림 3-20] 2019년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 채집(좌) 및 측정(우)	79
[그림 3-21] 황도 갯벌 저서동물군별 출현종수 비율 및 정점별 출현종수	80
[그림 3-22] 황도 갯벌 저서동물군별 서식밀도 비율 및 정점별 서식밀도	81
[그림 3-23] 황도 갯벌 저서동물군별 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	87
[그림 3-27] 다변량 분석을 통한 황도 갯벌 저서동물 군집 분포(서식밀도 기준)	88
[그림 3-28] 다변량 분석을 통한 황도 저서동물 군집 분포(생체량 기준)	89
[그림 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 현황 및 과거자료간 비교	93
[그림 3-30] 황도 갯벌 패류 자원의 서식밀도 및 생체량	96
[그림 3-31] 황도 갯벌 패류자원의 각장, 각폭 및 각고	98
[그림 3-32] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 전중량	99
[그림 3-33] 황도 갯벌 패류자원 정점별 비만도	100
[그림 3-34] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 현황 및 과거자료간 비교	103
[그림 3-35] 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 2018년 2019년 하계 히스토그램	103
[그림 3-36] 조사구역별 WQI 등급 변화(2019년 8월)	105
[그림 3-37] 조사구역별 COD 변화(2019년 8월)	105
[그림 3-38] 조사구역별 입도 성분 변화(2019년 6월)	107
[그림 3-39] 조사구역별 COD 변화(2019년 6월)	108
[그림 3-40] 조사구역별 C/N비 변화(2019년 6월)	108
[그림 3-41] 연도별 충청남도, 태안군 및 황도 바지락 생산량 추이	113
[그림 4-1] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화	118
[그림 4-2] 연륙교 건설 전후 퇴적물 입도 변화	119
[그림 4-3] 연륙교 건설 전후 저서동물 변화	120
[그림 4-4] 연도별 충청남도 및 황도 바지락 생산량 변화 특성	121
[그림 4-5] 황도 주변 주요 굴 생산지	122

[그림 4-6] 황도교 남측 갯벌 전경(굴이 생산되는 혼성갯벌로 천이) 123

[그림 4-7] 황도교 남측 갯벌 전경(굴이 생산되는 혼성갯벌로 천이) 123

[그림 4-8] 황도교 아래에서 굴, 바지락 채취하는 주민(혼성갯벌로의 천이) 124

[그림 4-9] 황도교 북측(III구역) 갯벌(암반 및 자갈 갯벌에서의 굴이 자라고 있는 모습) 124

제1장

과업의 개요

1. 과업의 배경 및 필요성
2. 과업의 목적
3. 과업의 범위

제 1 장 과업의 개요

1. 과업 배경 및 필요성

1) 과업의 배경

- 갯벌은 연안생태계의 핵심구역(hotspot)으로 수산자원의 보고이자 연안지역사회를 지탱하는 중요한 자 연자본 중 하나이다.
- 우리나라 현재 갯벌면적은 2,487km²로 국토면적의 2.5%에 해당하여, 고도 성장기인 1970년 이후 2015년까지 농지조성용 대규모 간척지 개발, 항만·임해산업단지 조성 등으로 일부의 갯벌이 매립 되면서 사라졌다.
- 특히, 매립에 의한 갯벌 훼손이 심각했던 시기는 1978년부터 1998년에 이르며, 1987년 이후에 상 실된 갯벌의 면적은 총 810.5km²로 경기 341km², 충남 130km², 전북 208km², 전남 125km², 경남 6.5km² 등으로 조사되고 있다.
- 하지만 농촌 고령화 및 WTO 체제에 따른 쌀 시장 개방으로 간척지의 농업적 이용에 대한 사회적 수요가 급감한 반면, 간척·매립된 갯벌의 복원에 대한 사회적 관심이 높아지고 있다.
- 이에 무리한 갯벌 매립 등으로 인한 부작용이 지속되는 등 활용성이 떨어진 구역의 해양 공간 복 원을 통한 해양생물 산란·부양공간의 확보와 함께, 연안지역의 생태적·경제적 활력 가치 증진이 중요하게 대두되고 있다.
- 전국 갯벌 현황 중 복원 대상지 조사 개요¹⁾를 보면 우리나라 단위갯벌²⁾은 총 3,769개이며 이 중 총 1,974개 복원대상 단위갯벌 모집단으로 추출되었다.
- 이 중 현재 전국적으로 갯벌 복원 사업이 활발하게 진행되고 있으며 서남해안에 위치한 7개 시· 군의 10개소에 대한 갯벌복원 사업이 완료되었다[표 1-1].

1) 국립해양조사원, 전국갯벌 면적조사, 2013

2) 단위갯벌 설정기준: 갯벌과 갯벌 사이에 육지 또는 바다가 놓여 있어 지리적 구분이 뚜렷할 것

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준)

위치	사업규모	사업기간	예산	주요 내용
인천 강화군 동검도 연륙교	0.2km ²	2014~2016	50억원	제방 교량화
전북 고창군 심원 폐양식장	0.96km ²	2010~2013	107억원	갯벌 복원
전남 무안군 현경면	0.2km × 50m	2013~2014	4.3억원	기수역 복원
전남 신안군 증도-화도	1.2km × 3.5m	2012~2014	19억원	노둑길 통수로 설치
전남 신안군 병풍도-대기점도	1.05km × 3.5m			
전남 신안군 대기점도-소기점도				
전남 신안군 소기점도-소약도	0.97km × 4m			
전남 고흥군 풍야면 매곡리지선	0.2km ²	2014~2015	4.2억원	폐양식장, 말목제거
전남 순천시 농주리 폐염전	0.12km ²	2010~2012	25억원	갯벌복원
경남 사천시 비토섬	0.56km 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.
- 그 효과는 바지락 생산량의 지속적인 증가로 나타나는데, 해수의 단절로 악화되었던 갯벌 퇴적환경이 개선되면서 바지락 캐기 등 어촌활동 체험 관광객이 늘어나는 등 갯벌복원의 효과가 지속되고 있는 것으로 나타나고 있다.
- 그러나 황도교 개통에 따른 갯벌복원효과의 정량적 분석을 위한 체계적인 사후 모니터링이 수행되지 않아, 사업 효과에 대한 검증에는 한계가 있었다.
- 본 연구에서는 황도교 개통에 따른 황도 서측해역 해수유통 재개 이 후, 인접해역 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 조사평가를 통해 사업시행 전·후의 해양환경 및 생태계 변화를 비교하여 사업 수행의 효과에 대한 분석을 수행하였다.

2. 과업의 목적

- 본 과업은 황도 연륙교 개통(2011년 12월) 이후 주변 갯벌 생태계에 미치는 영향 및 복원에 대한 정량적인 평가를 목적으로 하였다.
- 이를 위하여 당해지역의 과거의 상태를 파악하기 위한 기존문헌 분석 및 현장 탐문조사를 실시하고, 연륙교 개통 전후의 황도 주변 갯벌 환경 및 해양생태계 변화에 대한 시범 평가를 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 범위

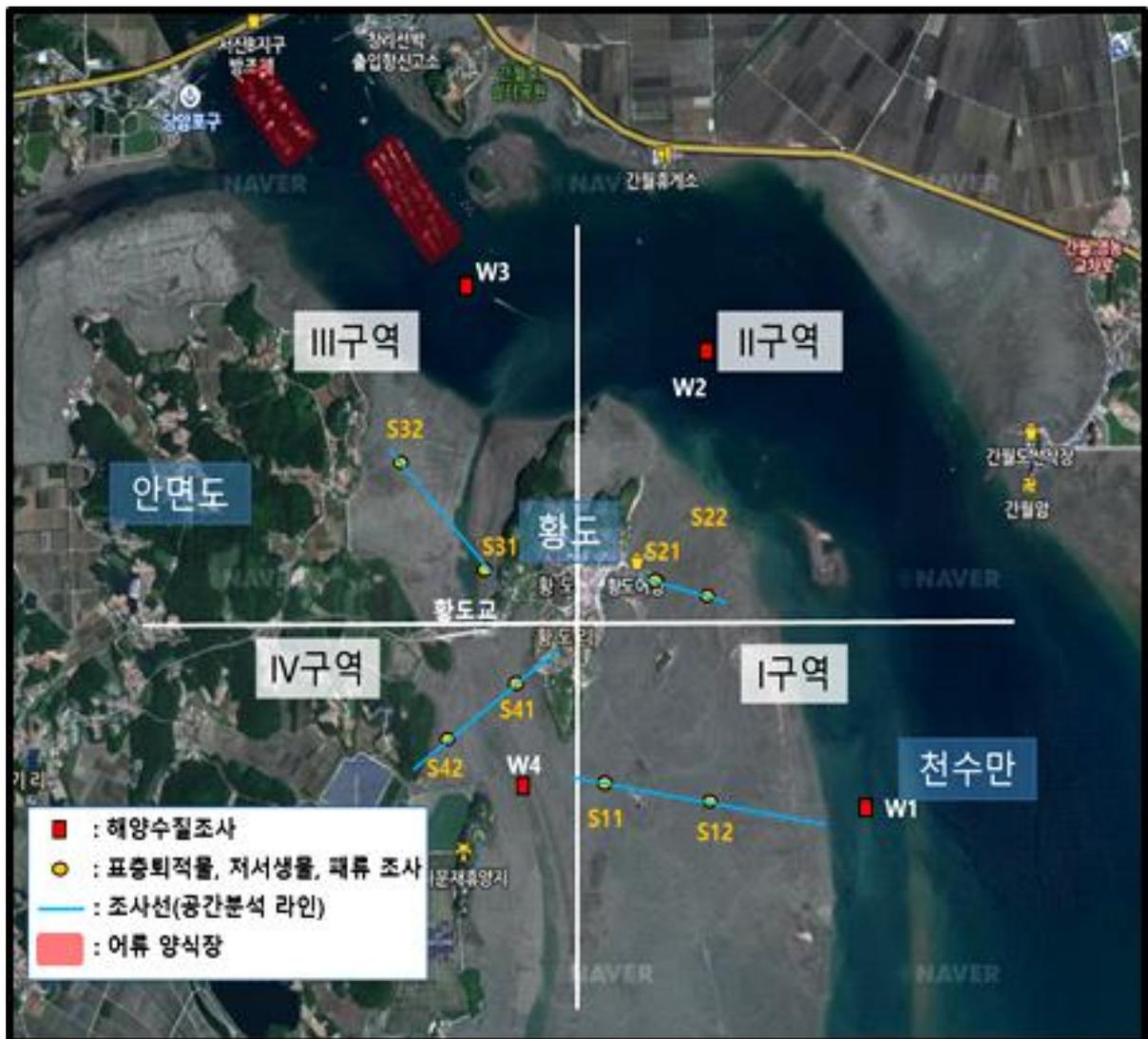
- 충남 태안군 안면읍 황도리에 위치한 황도교 인근 해역(천수만 내측에 위치)(그림 1-1)
 - 수질(4개소) 및 퇴적물(8개소)
 - 바지락 등 대형저서동물(8개소)

2) 시간적 범위

- 용역기간 : 2019년 7월 ~ 2019년 12월(5개월)

3) 내용적 범위

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



[그림 1-1] 본 연구 조사 정점 위치도

제2장

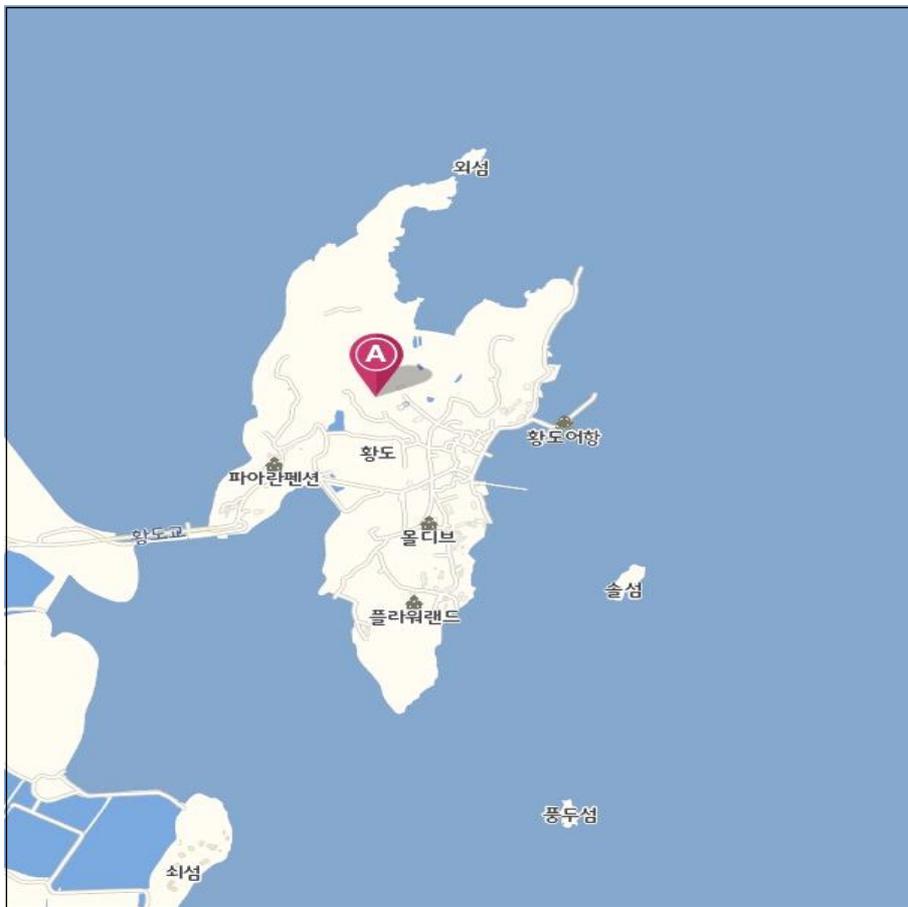
지역현황 및 기초조사

1. 지역 환경 특성
2. 선행연구 조사

제 2 장 지역 현황 및 기초 조사

1. 지역 환경 특성

1) 입지



[그림 2-1] 충청남도 태안군 안면읍 황도

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

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 42.7m로 섬 전체가 아주 낮고 평탄한 지형을 갖고 있다.

3) 기후(태안군 중심으로)

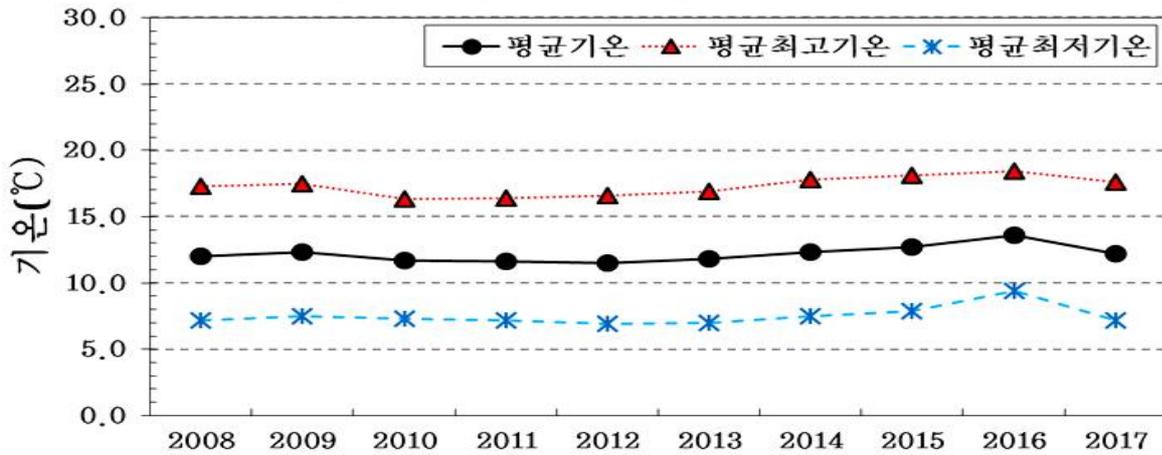
(1) 기온

① 최근 10년(2008~2017년) 연 평균, 최고 및 최저³⁾ 기온값

- 최근 10년간 태안군 연평균 기온 변화를 살펴보면 2008년부터 12.0℃ 대에서 2012년 11.5℃까지 감소하였다가 2013년도부터 증가하고 있는 경향을 보여주고 있다(그림 2-2).
- 가장 최근 2017년도의 평균 기온(12.2℃)은 최근 10년 중 가장 낮았던 2012년(11.5℃)에 비해 0.7℃ 만큼 상승하였다. 이러한 기온 상승은 주변 환경에도 다양한 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 태안군(황도 포함)은 바다의 영향을 많이 받아 해양성 기후로 기온차가 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.

3) 평균 최고(최저)기온 : 매일의 최고(최저)기온을 평균한 값.

태안군 평균기온(최근 10년)

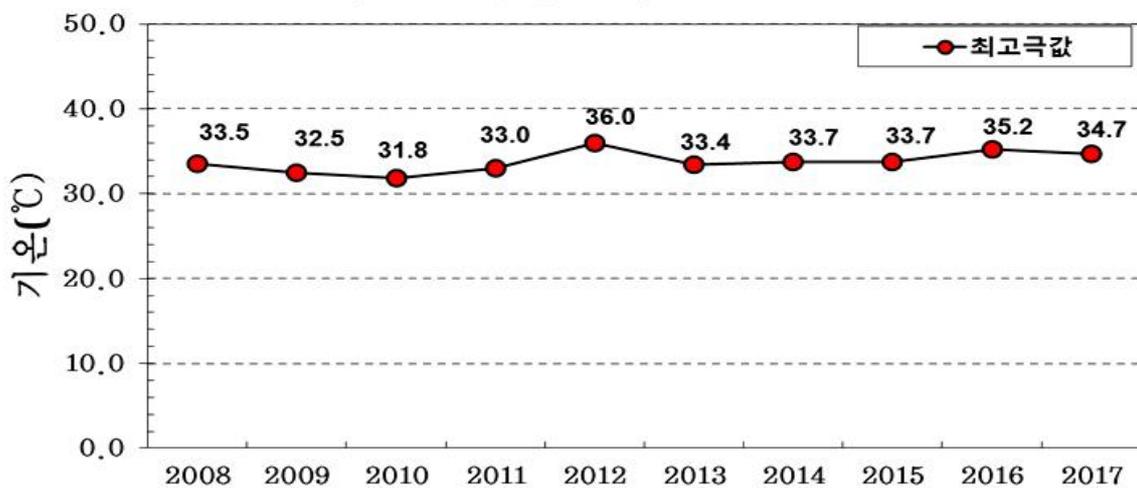


[그림 2-2] 지난 10년간 태안군 연평균 기온 변화

② 최근 10년(2008~2017년) 기온 최고극값⁴⁾

- 최근 10년간 최고극값은 일부 감소(2008년 ~ 2010년)를 보이다가, 이후 증가 경향을 보이고 있다(그림 2-3).
- 연평균 기온이 가장 낮았던 2012년에 가장 높은 극값(36.0°C)을 보였다.
- 최근 10년간 기온 최고극값의 증가 폭(1.2°C)은 연평균 기온상승(0.2°C)보다 1.0°C가 높게 나타났다.

태안군 극기온(최근 10년)

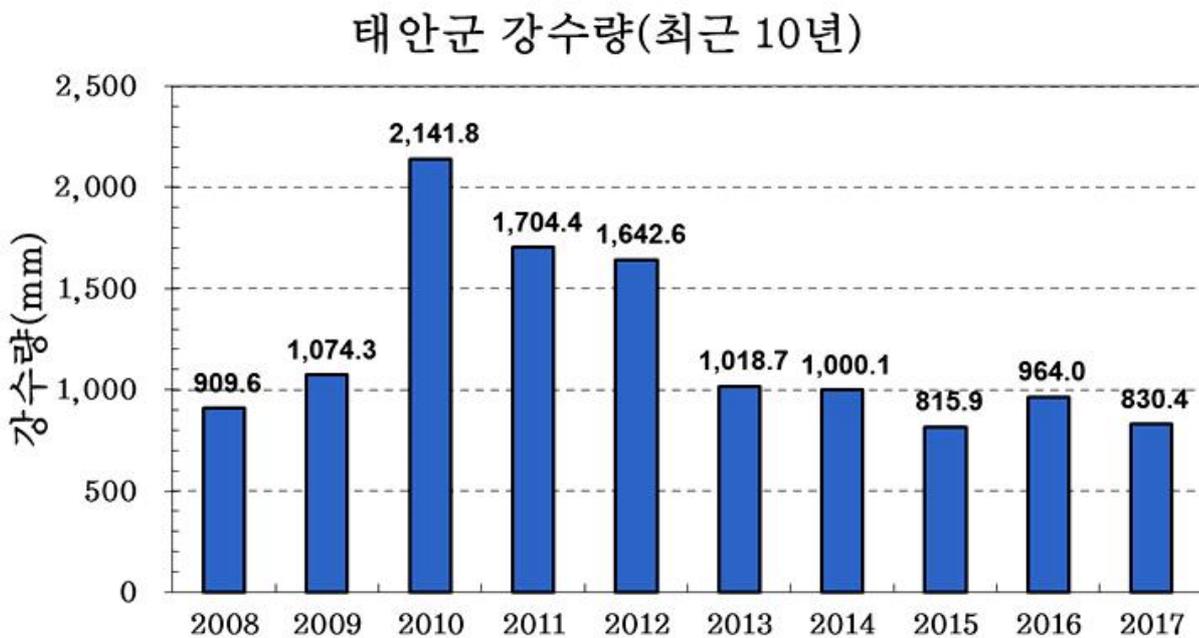


[그림 2-3] 지난 10년간 태안군 최고극값(최고기온) 변화

4) 최고극값 : 기온 · 강수량 · 풍속 등 기상요소에 대해, 일정 기간에 있어서의 최고(최대 · 최다) 기록값.

(2) 강수량

- 최근 10년(2008~2017년) 연 강수량의 변화를 (그림 2-4)에 나타내었다.
- 태안군의 강수량은 2010년에 2,141.8mm로 가장 많이 내렸으며, 2015년에는 815.9mm로 가장 낮은 강수량을 나타냈다.
- 가장 높았던 2010년부터 3년간 높은 강수량을 띄었으며, 2013년부터 낮은 추세를 보이고 있다.
- 전반적으로 태안군의 연 강수량은 완만하게 감소하는 패턴을 보여주고 있다.
- 이는 향후 태안군의 연 강수량이 더 감소할 수 있으며, 물을 필요로 하는 다양한 환경 및 생태계에 악영향을 미칠 요인으로 판단된다.

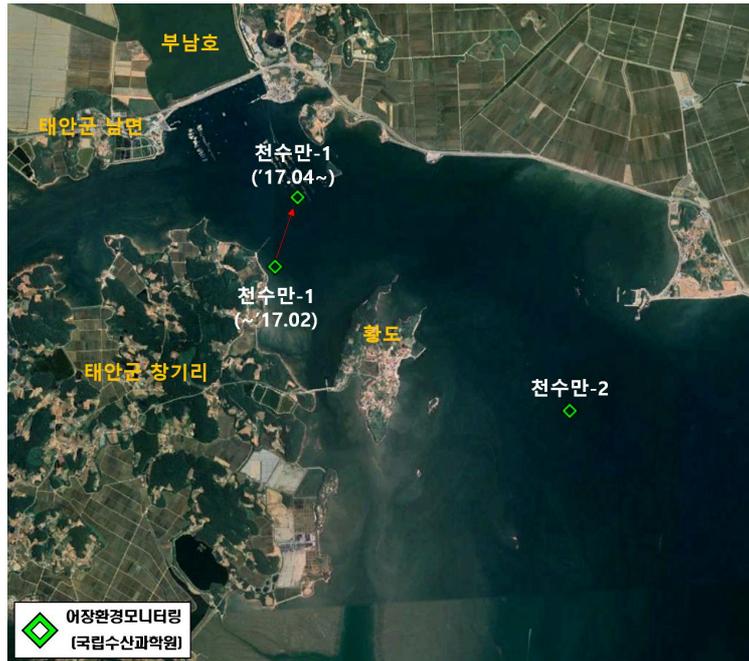


[그림 2-4] 지난 10년간 태안군의 연강수량

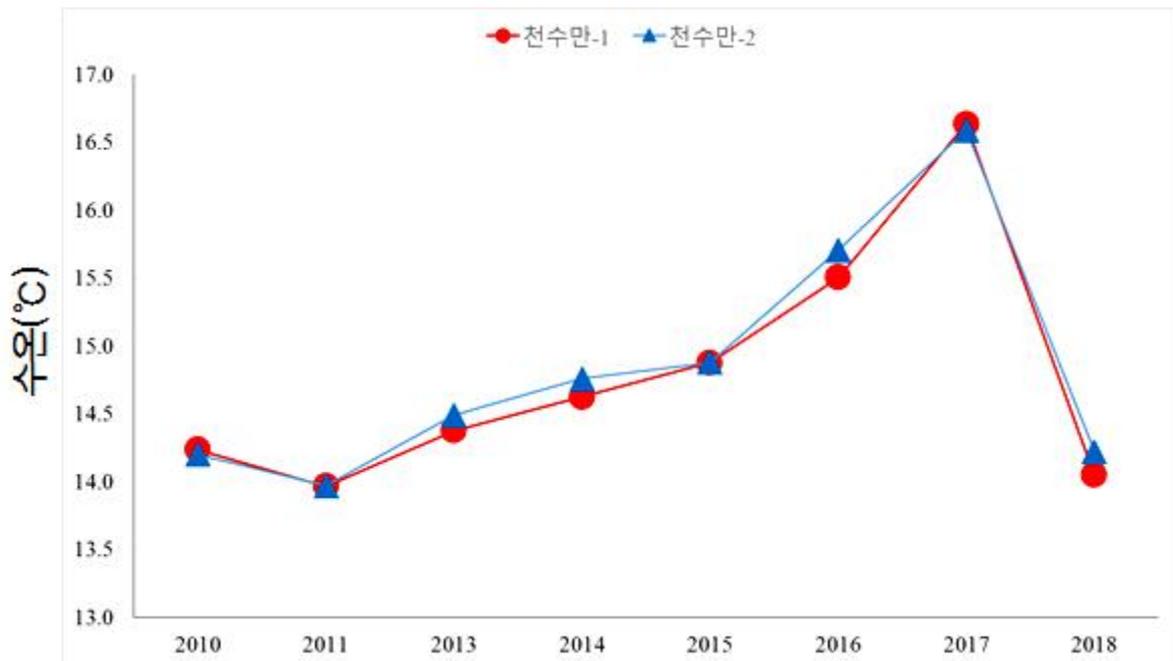
(3) 수온

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

- 국립수산과학원 어장환경모니터링 자료에서 지난 2017년 8월 두 정점 모두 수산물 피해가 우려되는 수치인 30℃를 초과하였다.



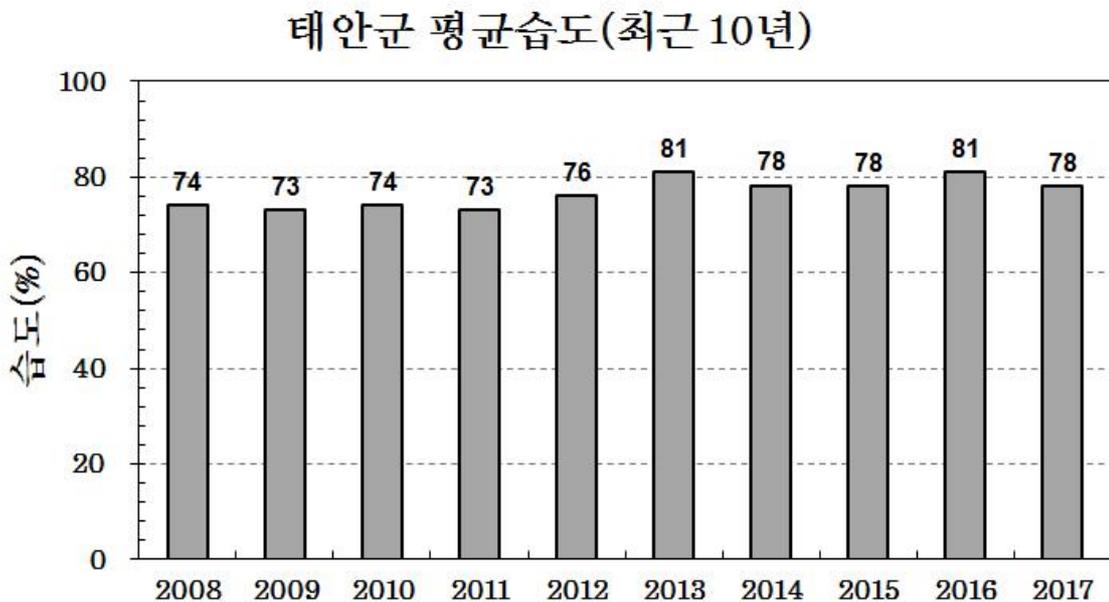
[그림 2-5] 황도 인근 천수만 정점 (어장환경모니터링)



[그림 2-6] 어장환경모니터링 천수만 두 정점의 연평균 수온변화

(4) 기타 요소

- 최근 10년(2008~2017년) 연평균 습도값을 [그림 2-7]에 나타내었다.
- 태안군(황도 포함)은 바다의 영향을 많이 받아 해양성 기후로 연중 습도가 높은 특성을 보이고 있다.
- 해양성 기후의 영향을 받아 연평균 습도는 70% 이상을 유지하고 있고 시계열 변화에서도 지속적으로 증가하는 결과를 보여주고 있다.



[그림 2-7] 지난 10년간 태안군의 연도별 습도 변화

4) 인구

- 최근 4년간(2014~2017년) 태안군의 총 인구는 점차 증가하다가 2018년도부터 감소 추세를 보이고 있고, 황도리 총 인구는 '14년 305명에서 '19년 9월말 현재 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 6년 사이에 고령비가 4.0% 증가한 반면, 황도리는 2018년 말까지는 5.4% 증가를 보였으나 2019년 9월말 현재는 6.7%가 감소하였다[표 2-1].

[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교(2014~2019.09)

구분		2014	2015	2016	2017	2018	2019.09
태안군	총인구(명)	62,574	63,484	63,900	63,932	63,238	62,983
	고령비	25.2%	25.8%	26.4%	27.4%	28.4%	29.2%
황도리	총인구(명)	306	305	297	290	284	279
	고령비	37.9%	38.0%	38.7%	43.4%	43.3%	31.2%

5) 토지이용

- 황도리의 전체면적은 638,675㎡(863 지번)로 전, 답 및 임야가 80% 이상이며, 대지 및잡종지는 약 12%를 차지하고 있는 것으로 조사되었다[표2-2].
- 도로와 제방은 전체면적의 약 3.2%를 차지하고 있으며, 제방은 북서쪽에 존재하는 1개소가 조사되었다.

[표 2-2] 황도리 토지이용 현황

	전	답	임야	대지	잡종지	도로	제방	기타	합계
면적(㎡)	265,333	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 4개 구역으로 나누고 황도 연륙교 개통 전·후 조사된 선행연구들을 정리·검토 하였다[그림 2-8].
 - I 구역: 황도 남동쪽 구역, II 구역: 황도 북동쪽 구역, III 구역: 황도 북서쪽 구역, IV 구역 : 황도 남서쪽 구역
- 먼저 I 구역은 황도를 중심으로 남동쪽 아래에 있는 구역으로 바지락 양식장 및 바지락 서식처가 넓게 분포하고 있다.
- II 구역은 황도를 중심으로 황도 연륙교 북동쪽에 위치한 구역으로 바지락 캐기 체험장과 바지락 양

식장이 위치하고 있다.

- III 구역은 황도를 중심으로 북서쪽 위에 위치하는 구역으로 황도 연륙교 북쪽에 속한다. 바지락 양식장이 있다.
- IV구역은 황도를 중심으로 북서쪽 아래에 위치하고 있는 구역으로 황도 연륙교 남쪽 구역에 속한다.



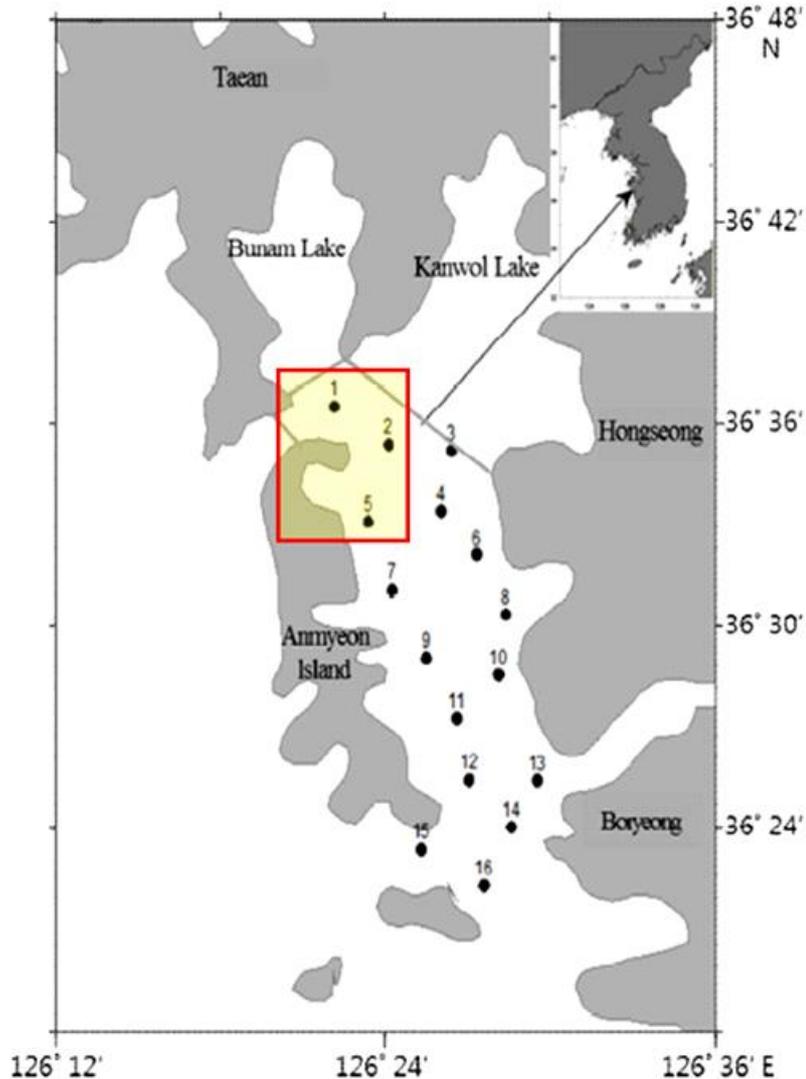
[그림 2-8] 황도 현장조사 구역 구분 개념도

1) 황도 주변 수질 환경 특성

- (1) 황도 연륙교 개통 전 천수만(황도) 주변 수질환경 관련 선행 연구

① “천수만 수질환경의 시·공간적 변동특성” 연구논문, 2010년~2011년

- 국립수산과학원 서해수산연구소에서 2010년부터 2011년까지 2년 동안 천수만(황도) 주변 수질환경을 조사하여 수질 특성을 분석하였다(그림 2-9).
- I구역 : 정점 5, II구역 : 정점 2, III구역 : 정점 1, IV구역 : 없음



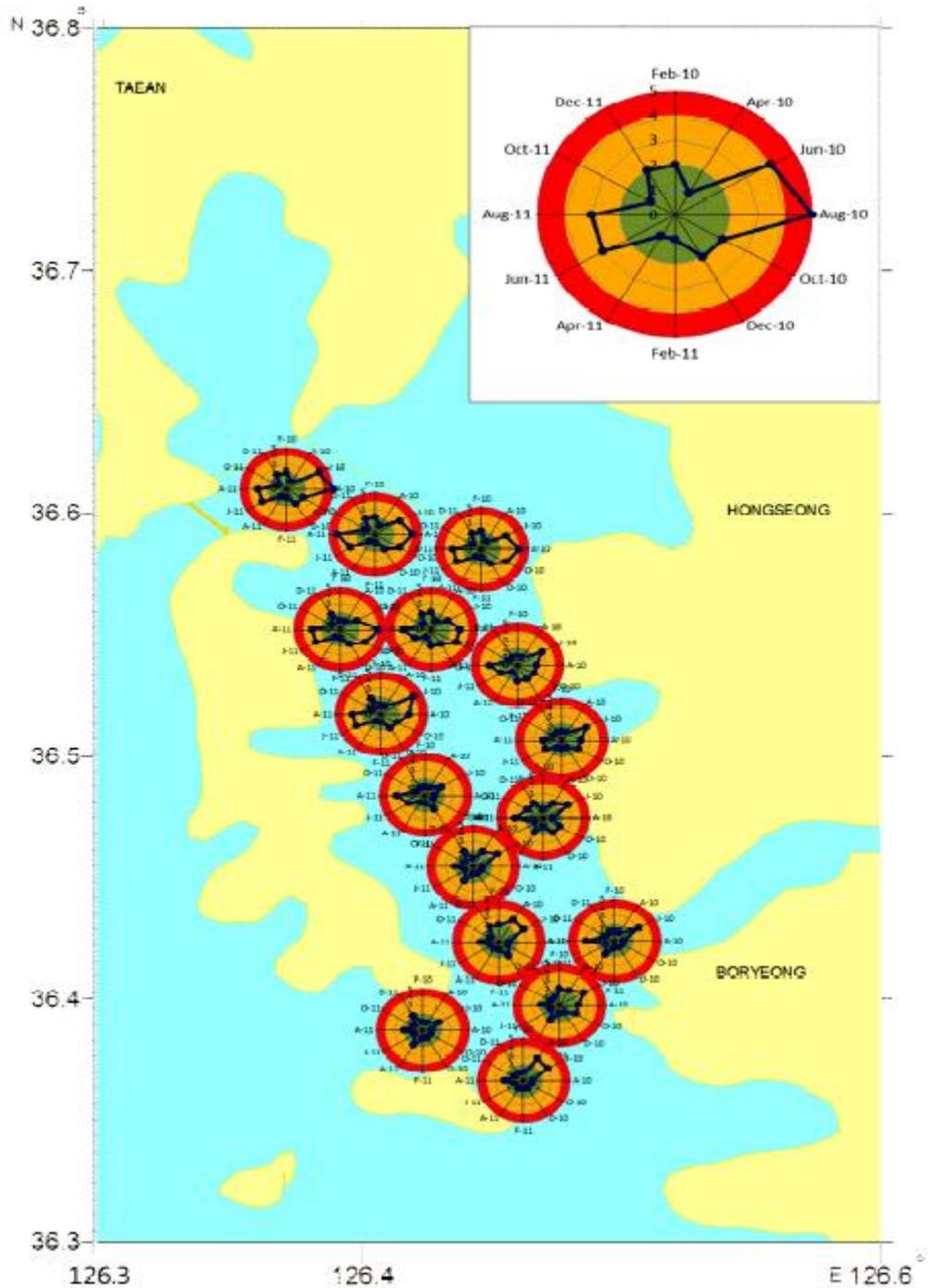
[그림 2-9] 천수만(황도) 주변 수질 환경 조사 정점도(2010년~2011년)

- 선행연구에서 조사된 결과들의 수질평가 지수 값을 생태기반 해수수질기준(WQI)으로 등급화한 결과를 보면, 2010년 및 2011년 춘계(4월)에서는 모든 정점에서 1등급(매우 좋음)을 보였다 [그림 2-10].
- 하지만 2010년 및 2011년 하계(8월)에서는 3등급(보통)~5등급(매우 나쁨)으로 조사되었다. 특히 2010

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

년 Ⅲ구역에서 5등급으로 가장 나쁜 수질 결과를 보였다.

- 2010년과 2011년 2년간 계절별 수질평가 지수 값을 보면 춘계보다 하계에서 변동폭이 크고 수질 악화를 보여주고 있으며 이러한 원인으로는 저층의 DO감소와 Chl-a증가에 따른 것으로 보고하고 있다.



[그림 2-10] 천수만 수질(WQI) 변화 특성(2010년~2011년)

(2) 황도 연륙교 개통(2011년 12월) 후 황도 주변 수질 환경 관련 선행 연구

① 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망 연구보고서(2014년, 2016년)

- 국립공원연구원에서는 태안해안국립공원 해양환경변화 측정망을 통해 태안해안의 조간대, 조하대, 백사수도를 조사하여 홈페이지에 공개하고 있다(그림 2-11).
- 해당 보고서의 2014년과 2016년 춘계와 하계의 백사수도 조사에서 정점 C1, 정점 C2, 정점 C3의 자료를 활용하여 연륙교 개통 후 황도 주변 수질 환경을 검토하였다.
- I구역 : 정점 1, II구역 : 정점 2, III구역 : 정점 3, IV구역 : 없음



[그림 2-11] 태안해안국립공원 해양환경변화 조사정점도(2014년, 2017년)

- 2014년 춘계 조사 결과에서는 I 구역~III구역까지 모든 정점에서 1 등급(매우 좋음)으로 조사되었으나, 하계에서는 I 구역 2등급(좋음), II구역과 III구역에서는 3등급(보통)으로 분석되었다(그림 2-12).

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

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



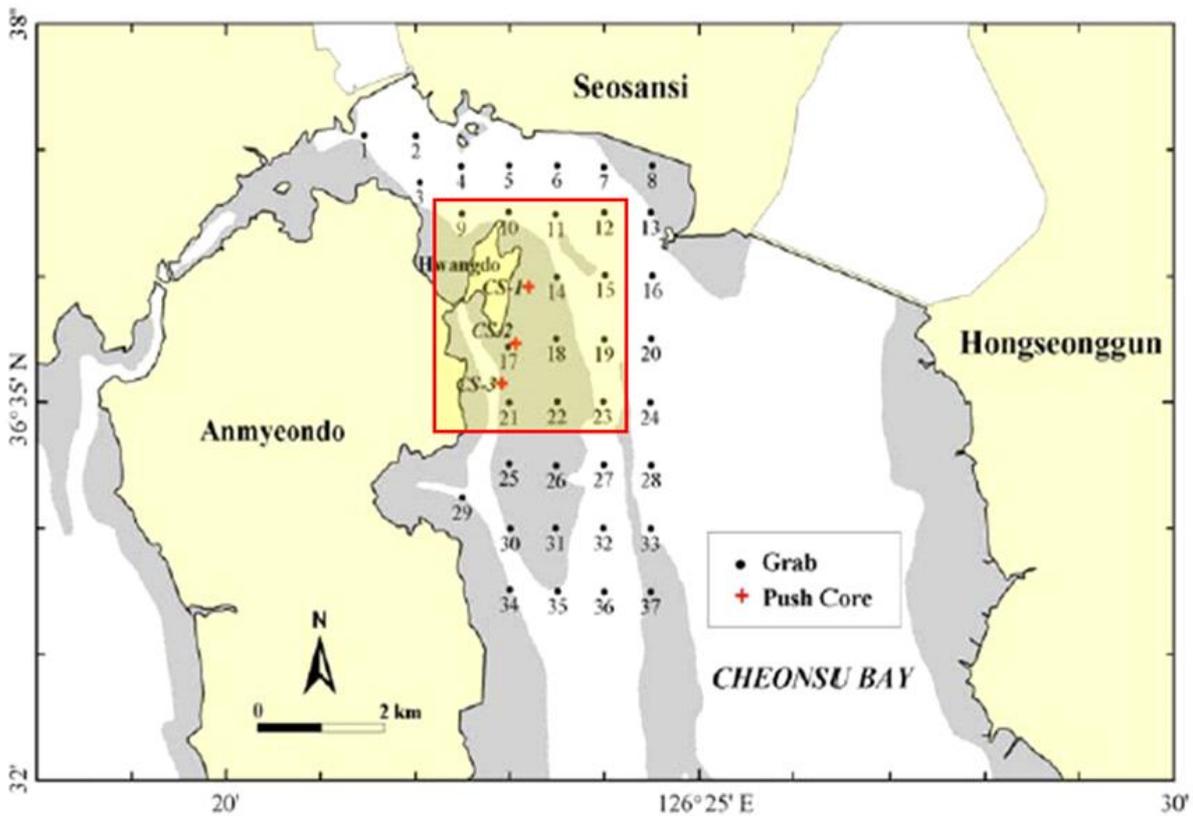
[그림 2-12] 태안해안국립공원 해양환경변화 해양수질(WQI) 결과(2014, 2016)

2) 황도 갯벌 퇴적물 환경특성

(1) 황도 연륙교 개통 전(2011년 이전) 황도 갯벌 퇴적물 관련 선행 연구

① “천수만 황도 갯벌의 퇴적특성” 연구논문(2003년)

- 한국해양과학기술원(구 한국해양연구원)에서 2003년에 황도 갯벌 퇴적물을 조사하여 계절별 입도 특성을 분석하였다(그림 2-13).



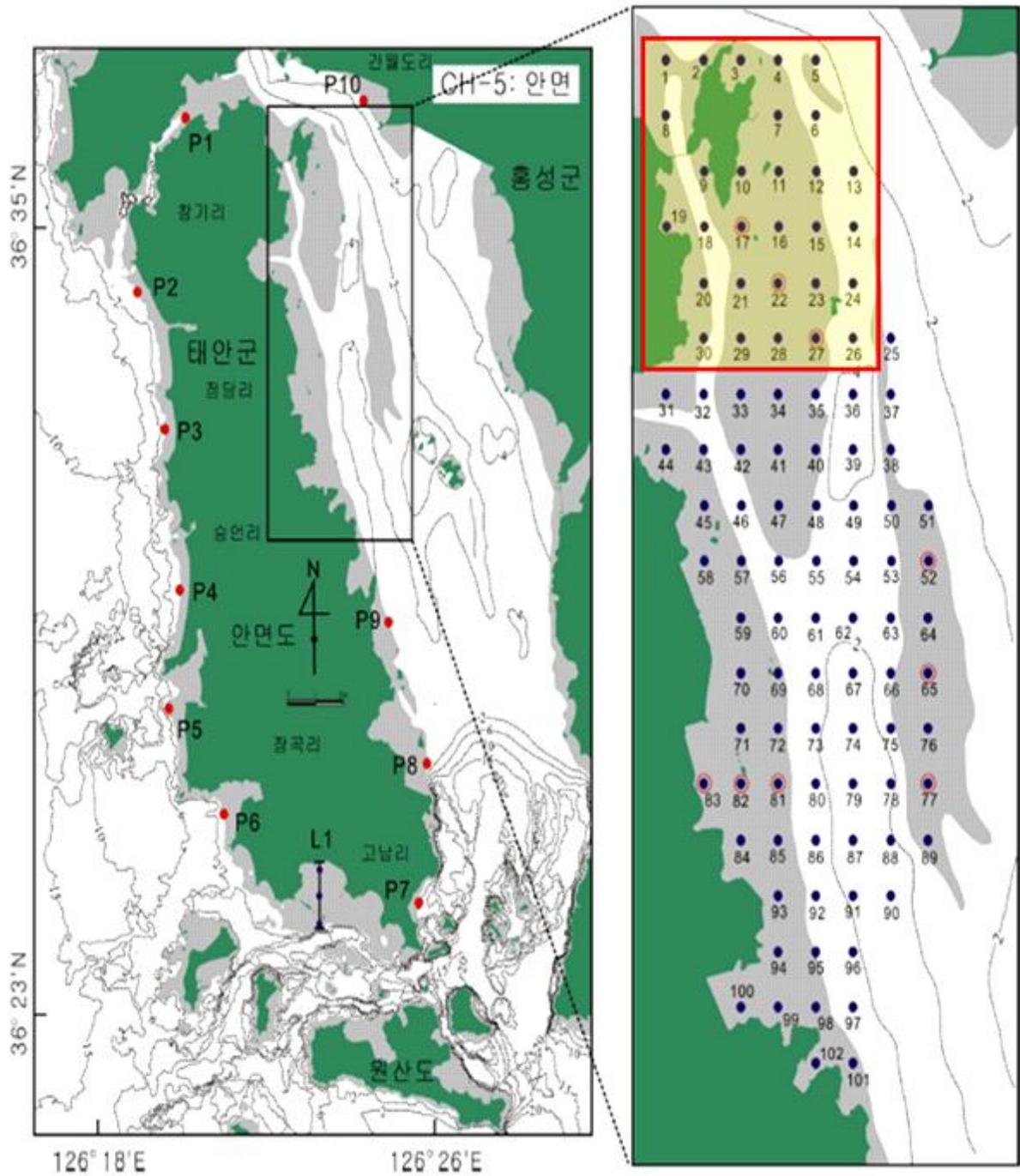
[그림 2-13] 황도갯벌 조사정점 위치도(2003년)

- 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.
 - I구역 : 정점 17, II구역 : 정점 14, III구역 : 없음, IV구역 : 없음
- 2003년 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.

② “제2차 연안습지 기초조사” 연구보고서

- 국립수산과학원 갯벌연구소에서 2010년에 안면도(황도) 갯벌 퇴적물을 조사하여 갯벌의 입도 특성을 분석하여 퇴적물 환경을 검토하였다(그림 2-14).
- 본 현장조사 구역과 비교하기 위해 4구역(I 구역: 황도 남동쪽 구역, II구역: 황도 북동쪽 구역, III구역: 황도 북서쪽 구역, IV구역: 황도 남서쪽 구역)으로 나누고 입도 분포를 나타내었다.
 - I 구역 : 정점 16, II구역 : 정점 4, III구역 : 정점 8, IV구역 : 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%로 조사되었다.
- IV구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비는 10.7%, 실트(silt-clay) 함량비는 89.3%로 조사 되었다.
- 2010년에 조사된 황도 갯벌 퇴적물의 입도 특성을 살펴보면 황도를 중심으로 오른쪽에 위치한 갯벌인 I, II구역은 대체로 모래함량비가 우세한 혼성 갯벌 특성을 보였지만 왼쪽에 위치한 III, IV구역에서는 펄의 함량비가 높은 혼성 갯벌 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 II구역인 경우 2003년과 2010년 선행 연구를 통해 황도 갯벌 퇴적물의 입도 변화를 보더라도 2003년보다 2010년에 일부 구간에서 모래 함량비가 증가되는 것으로 나타나고 있다.
- 즉, 황도 연륙교 반대편에 위치한 I 구역과 II구역의 갯벌에서는 연륙교 개통과 관계없이 모래함량비가 증가하는 것을 알 수 있었다.



[그림 2-14] 안면도(황도) 갯벌 조사 정점 위치도(2010년)

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

(2) 황도 연륙교 개통(2011년 12월) 후 황도 갯벌 퇴적물 관련 선행 연구

① “2015년 및 2017년 국가 해양생태계 종합조사” 연구보고서

- 해양환경공단(KOEM)에서 2015년과 2017년에 안면도(황도) 갯벌 퇴적물을 조사하여 갯벌의 입도 특성을 분석하여 퇴적물 환경을 검토하였다(그림 2-15).
- I 구역 : 조사지점, II구역 : 없음, III구역 : 없음, IV구역 : 없음



[그림 2-15] 황도갯벌 조사정점도(2015년, 2017년)

- 해양환경공단에서 2015년과 2017년도에 황도 갯벌 조사는 황도를 기준으로 남동쪽에 위치하고 있으며 이 구역은 본 현장조사 구역과 비교해 보면 I 구역에 해당하는 곳이다.
- 먼저, 2015년도 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, 2017년도 황도 갯벌 퇴적물 입도 분포 특성을 살펴보면 모래(sand)이상의 함량비는 64.4%의 결과를 보였고 펄(silt-clay) 함량비는 35.6%로 조사되었다.
- 2015년과 2017년도 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~IV구역의 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 2010년, 2015년, 2017년에 조사된 자료를 정리하였다(그림 2-16).
 - I 구역 : 조사지점, II 구역 : 없음, III 구역 : 없음, IV 구역 : 없음
- 황도 연륙교 개통 전인 2010년 황도 갯벌의 저서동물은 총 8종(환형 5, 연체 2, 절지 1)이 출현하였다.
- 이후 황도 연륙교 개통 후인 2015년과 2017년에 각각 35종(환형 20, 연체 5, 절지 9, 유형 1), 66종(환형 34, 연체 10, 절지 20, 유형 2)이 출현하여 점차 증가하고 있다.



[그림 2-16] 황도갯벌 생물 조사정점도(2010년, 2015년, 2017년)

- 저서동물 개체 수는 2010년 436개체/m²가 발견되었으며, 종수 증가와 비례하여 2015년 2,170개체/m², 2017년 4,090개체/m²로 점차 증가하고 있다[표 2-3].

[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 저서대형동물

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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

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

[표 2-4] 황도갯벌 저서동물 우점종(밀도기준(개체/m²), 2010, 2015, 2017년)

	2010년		2015년		2017년	
	분류군	국명	분류군	국명	분류군	국명
1위	연체	갯고동	환형	긴자락송곳지렁이	환형	버들갯지렁이류
2위	연체	왕좁쌀무늬고동	환형	버들갯지렁이류	환형	버들갯지렁이류
3위	절지	무늬발게	절지	칠게	연체	뿔가리
4위	환형	버들갯지렁이류	환형	남방백금갯지렁이	환형	얼굴갯지렁이류
5위	환형	짧은다리송곳지렁이	환형	버들갯지렁이류	연체	바지락
6위	환형	버들갯지렁이류	환형	짧은다리송곳지렁이	환형	투구갯지렁이
7위	환형	남방백금갯지렁이	연체	갯비틀이고동	절지	발성육질꼬리옆새우
8위	환형	삼각모자갯지렁이	환형	별난가시갯지렁이류	환형	별난가시갯지렁이류

[표 2-5] 황도갯벌 저서동물 우점종(생체량(g/m²)기준, 2010, 2015, 2017년)

	2010년		2015년		2017년	
	분류군	국명	분류군	국명	분류군	국명
1위	연체	갯고동	절지	칠게	연체	바지락
2위	연체	왕좁쌀무늬고동	연체	갯비틀이고동	연체	뿔가리
3위	환형	짧은다리송곳지렁이	연체	왕좁쌀무늬고동	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	왕좁쌀무늬고동

5) 본 보고서의 동물군 분류는 ‘동물군(문, 강: 출현종)’으로 작성하였으나, 실제 동물군 분류에서는 출현증명을 사용하지 않고 ‘동물군(문; 강; 목)’으로 표기함 - 부록 1. 참조

제 2 장 지역 현황 및 기초 조사

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

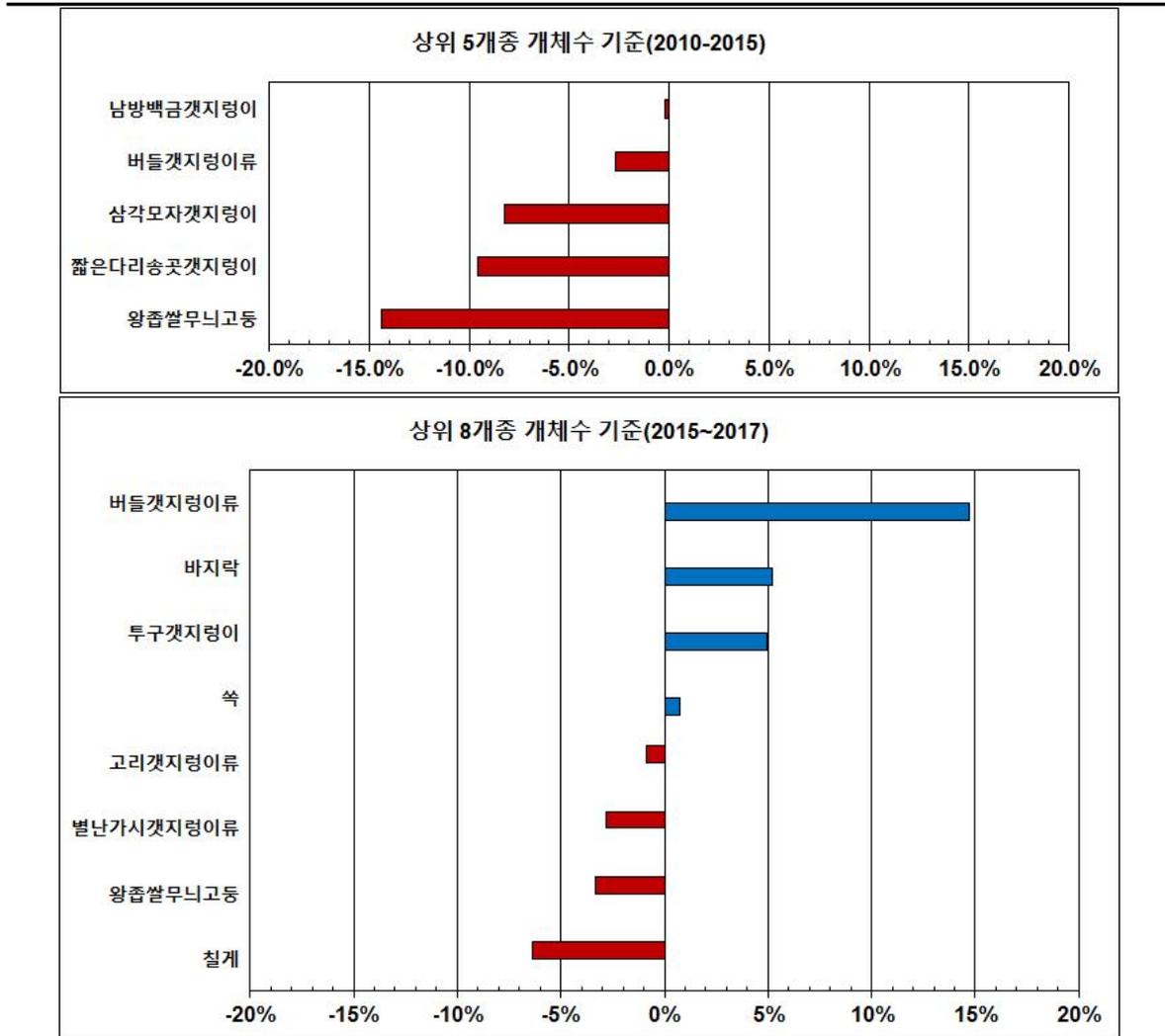
[표 2-6] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준, 2010, 2015, 2017년)

구분	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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 2-6] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준, 2010, 2015, 2017년)(계속)

구분 종수	2010년~2015년			2015년~2017년		
	국명	출현 개체수	분류군	국명	출현 개체수	분류군
1	긴자락송곳갯지렁이	260	환형	땡가리	280	연체
2	칠게	180	절지	얼굴갯지렁이류	280	환형
3	남방백금갯지렁이	160	환형	발성육질꼬리옆새우	170	절지
4	갯비틀이고둥	120	연체	빈모류	80	환형
5	별난가시갯지렁이류	120	환형	수염갯지렁이류	60	환형
6	펼털콩게	110	절지	얼굴갯지렁이류	60	환형
7	얼굴갯지렁이류	90	환형	얼룩참집게	60	절지
8	실타래갯지렁이류	50	환형	얼굴갯지렁이류	50	환형
9	고리갯지렁이류	40	환형	일본방게	50	절지
10	노랑볼록조개	40	연체	민챙이	40	연체
11	짧은빨안경옆새우	40	절지	갈색새알조개	30	절지
12	고랑따개비	30	절지	긴빨옆새우류	30	절지
13	바지락	30	연체	두가시육질꼬리옆새우	30	절지
14	백금갯지렁이류	30	환형	염주발갯지렁이류	30	환형
15	오뚜기갯지렁이	30	환형	유형동물류	30	기타
16	앞빛갯지렁이	30	환형	훗카이도볼은꼬리옆새우	30	절지
17	끈벌레류	20	기타	대나무갯지렁이류	20	환형
18	띠조개	20	연체	붉은집참갯지렁이	20	환형
19	갯모갯지렁이류	10	환형	쏙붙이	20	절지
20	광염백금갯지렁이	10	환형	옆새우류	20	절지
21	뚝대기새우	10	절지	종밧	20	연체
22	두갈래별난가시갯지렁이	10	환형	집게류	20	절지
23	민새우	10	절지	짧은가시송곳갯지렁이	20	환형
24	방게	10	절지	털보모래무지옆새우	20	절지
25	보통이형올챙이새우	10	절지	흰발농게	20	절지
26	쏙	10	절지	가는버들갯지렁이	10	환형
27	양손갯지렁이	10	환형	개털잔벌레	10	절지
28	얼굴갯지렁이류	10	환형	곤봉빛갯지렁이	10	환형
29	치로리미갑갯지렁이	10	환형	구슬수염갯지렁이류	10	환형
30	투구갯지렁이	10	환형	납작게	10	절지
31				노랑송털갯지렁이	10	환형
32				눈썹참갯지렁이	10	환형
33				둥근선녀얼굴갯지렁이	10	환형
34				멜리타옆새우류	10	절지
35				무딘빨볼은눈옆새우	10	절지
36				싸리버섯갯지렁이	10	환형
37				얼굴갯지렁이류	10	환형
38				연두끈벌레류	10	기타
39				작은사슴갯지렁이	10	환형
40				참갯지렁이	10	환형
41				청동미갑갯지렁이	10	환형
42				총알고둥	10	연체
43				침보석요정갯지렁이	10	환형
44				털보집갯지렁이	10	환형
45				풀게	10	절지



(그림 2-18) 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화율

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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 2-7] 황도갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/m², 2010, 2015, 2017년)

구분	분류군	국명	2010	2015	2017	변화량
생체량 증가종	연체	바지락		1.31	703.67	702.36
	연체	띠조개		0.420	14.510	14.09
	환형	버들갯지렁이류		0.484	14.520	14.04
	연체	왕좁쌀무늬고둥		26.6	36.56	9.96
	연체	왕좁쌀무늬고둥	20.07	26.60		6.53
	절지	고랑따개비		2.59	5.930	3.34
	절지	쏙		0.810	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		0.390	0.59	0.20
	환형	투구갯지렁이		0.010	0.2	0.19
	연체	노랑볼록조개		0.05	0.154	0.10
	환형	두갈래별난가시갯지렁이		0.01	0.060	0.05
절지	뚝대기새우		0.02	0.060	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		0.374	0.180	-0.19
	환형	남방백금갯지렁이		0.49	0.040	-0.45
	환형	긴자락송곳갯지렁이		1.38	0.21	-1.17
	환형	짧은다리송곳갯지렁이		2.59	0.480	-2.11
	연체	갯비틀이고둥		115.15	24.020	-91.13
절지	칠게		260.94	92.458	-168.48	

제3장

현장조사 및 결과

1. 해양수질
2. 퇴적물
3. 저서동물
4. 종합평가

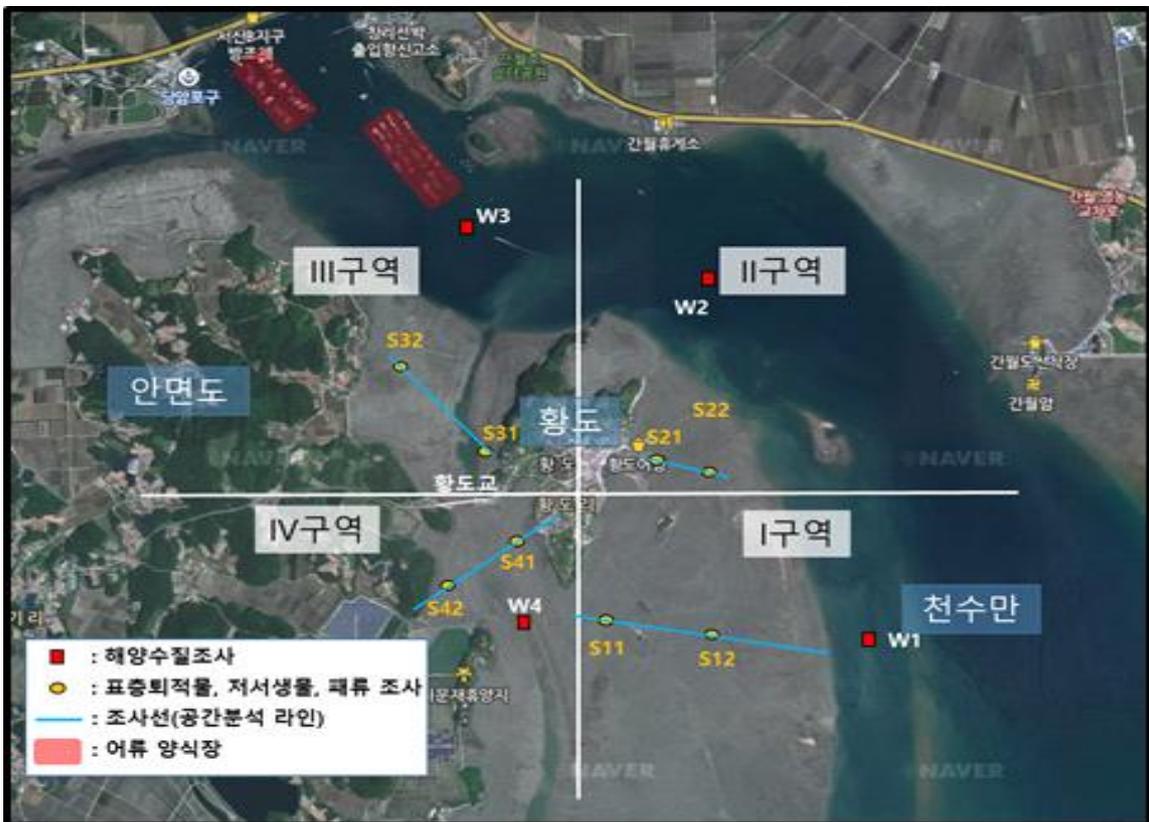
제 3 장 현장조사 및 결과

1. 해양수질

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

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



[그림 3-1] 황도 해양수질 조사도

(2) 시간적 범위

- 현장 조사는 2019년 8월 2일에 실시하였다.

(3) 내용적 범위

- 황도 주변 해역을 4개의 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

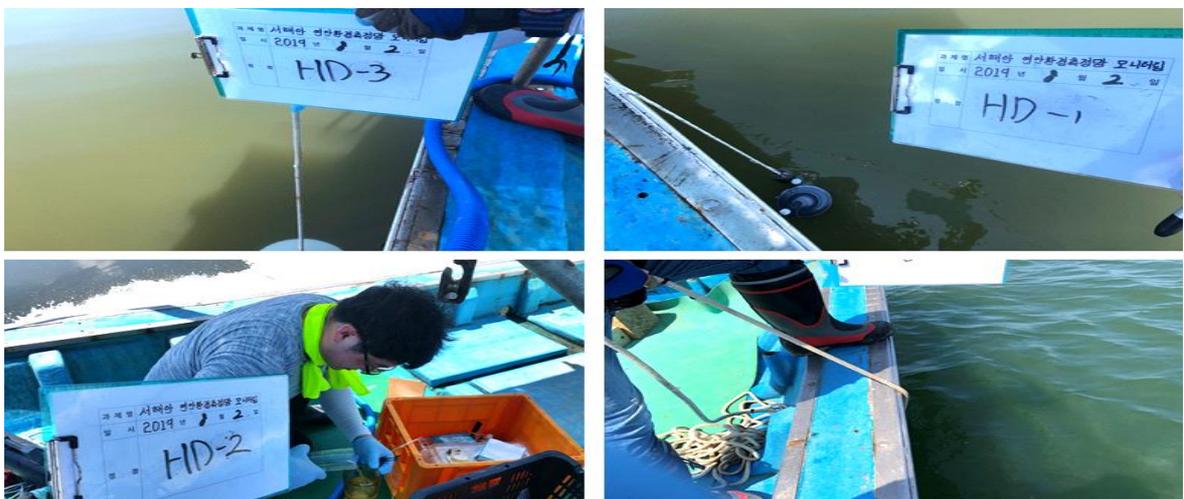
- 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행 하였다 [그림 3-2].

① 일반항목

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

② 미량금속 항목

- 해양 수질의 미량금속 채취 시 선박의 영향을 최소화하기 위해 채취 시 2 knot의 속도로 진행하는 선박의 선수에서 바람이 불어오는 방향 및 해류가 흘러오는 방향에서 채수 하였다.
- 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 해양수질 현장사진

3) 시료의 전처리 및 분석

(1) 해양 수질

① 수온, 염분, 수소이온농도(pH), 용존산소(DO)

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

② 투명도

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

③ 부유입자물질(SPM)

- 건조기로 건조시켜 무게를 측정한 GF/F 여과지에 해수시료 1L를 여과하여 105℃ 오븐에서 2시간 동안 건조 시킨 후 실온에서 식혀 측정된 무게로부터 여과지 무게를 뺀 값으로 계산하였다.

④ 화학적산소요구량(COD)

- 시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨(KMnO₄)를 넣고 100℃ 수용상에서 60분간 가열 반응시킨 후, 요오드화칼륨(KI) 및 황산(H₂SO₄)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

⑤ 용존무기질소(DIN : NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N)

■ 암모니아 질소(NH₄-N)

- 시료에 EDTA(C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·2H₂O)와 sodium nitroprusside(Na₂Fe(CN)₅NO·2H₂O)의 혼합 용액 및 alkaline phenol(C₆H₅OH)과 dichloroisocyanic acid (C₃Cl₂N₃NaO₃·2H₂O) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm에서 Quattro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

■ 아질산 질소(NO₂-N)

- 시료에 Sulfanilamide(C₆H₈O₂·N₂S)와 naphthylethylenediamine(C₁₂H₁₄N₂·2HCl) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 520 nm에서 Quattro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

■ 질산 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)

- 시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 다음 sulfanilamide와 naphthylethylenediamine 용액을 가하여 발색 시킨 후 파장 550nm에서 Quattro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다. column의 환원율을 구하여 보정한 후 아질산성 질소의 농도를 감하여 질산성 질소의 농도를 계산하였다.

⑥ 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 ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$)의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$)로 환원시켜 발색 시킨 후 파장 880 nm에서 Quattro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정 하였다.

⑦ 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 660nm에서 영양염 자동분석기(Quattro Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

⑧ 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(Quattro, Seal Analytical)를 이용하여 측정 하였다.

⑨ 총 인(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(Quattro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

⑩ 엽록소-a(Chl-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.

⑩ 미량금속

■ Cr⁶⁺, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb

- 시료를 0.45 μ m인 멤브레인 여과지(membrane filter paper)로 여과한 후 질산을 이용하여 pH를 2 부근으로 조절하였다. 이 후 유기착화제인 APDC/DDDC(ammonium pyroline dithiocarbamate /diethylammonium diethldithiocarbamate)를 이용하여 유기금속착화합물 형성 후 유기용매인 클로로포름(CHCl₃)을 이용하여 추출하였다.
- 추출된 유기용매는 증발시킨 다음 잔유물을 질산(ultrapure 등급)으로 분해시킨 후 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

■ As, Hg

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

(2) 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 3-2]에 제시하였다.

① 해양수질 미량금속 회수율

[표 3-2] 표준시료(CASS-6)에 대한 해수 내 중금속의 분석 결과 및 회수율

(mean \pm sd, n=3, 단위 : μ g/L)

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

4) 현장조사 결과

(1) 해양 수질

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

① 수온 및 염분

- 수온은 2019년 8월 조사시 표층은 27.1~30.0℃(평균 29.2℃), 저층은 26.0~27.3℃(평균 26.6℃)의 범위를 보였고, 염분은 표층 조사시 21.5~26.5psu(평균 24.8psu), 저층은 26.8~29.8psu(평균 28.7psu)의 범위로 조사되었다.
- 2019년 8월 조사시 조사대상 지점의 수심은 4.0~6.0m 정도로 조사 정점간 큰 차이를 보이지 않았다. 즉 수심이 낮을 경우 수직적인 혼합이 잘 이루어져 수온과 염분의 수직적인 차이가 적었다.
- 수온의 경우 높은 수온 분포를 보였으며, 이는 계절 변화에 따른 수온상승으로 판단된다. 한편 염분 농도가 낮은 이유로는 여름철 강우 또는 서산 연륙제방으로부터 유입되는 담수의 영향을 받은 것으로 판단된다.

② 수소이온농도(pH)

- 수소이온농도(pH)는 해수 중에서 일어나는 여러 가지 화학반응 및 생물의 성장과 활동에 영향을 미치는 것으로 알려져 있고, 해수에서 7.5~8.4의 범위를 보이며, 광합성 작용이 활발한 지역에서는 이보다 더 높은 값을 가진다.
- 수소이온농도는 8월 표층 조사시 8.0~8.5(평균 8.2), 저층은 7.9~8.1(평균 8.0)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 수소이온농도는 해양환경기준(해양수산부고시 제2013-186호)의 범위(6.5~8.5)를 만족하는 것으로 조사되었다.

③ 용존산소(DO)

- 대기중의 산소는 수표면에서 물속으로 분산 흡수되고 흡수된 산소는 기체분압에 의해 용존되며, 물의 온도와 기압, 불순물 및 염분도에 의해 영향을 받게 된다.
- 용존산소는 8월 표층 조사시 6.4~9.5mg/L(평균 7.6mg/L), 저층은 4.7~6.5mg/L(평균 5.5mg/L)이었다.
- 수중 용존산소 농도는 대기의 산소가 물속으로 녹아 들어가는 재포기 과정과 수중의 식물성 플랑크톤의 산소생산 및 박테리아의 분해과정에서의 소비 등에 의해 용존산소 농도가 결정된다.

- 수온이 올라갈수록 미생물에 의한 유기물 분해시 용존산소 소비 또한 증가하고 재 포기 효율 또한 낮아지므로 8월에 용존산소 농도가 다소 낮은 분포 특성을 보인 것으로 판단된다.

④ 부유입자물질(SPM)

- 해양에서의 부유입자물질은 연안개발 및 강우에 의해 해양으로 유입될 수 있으며, 탁도를 증가시킴으로써 광합성 작용을 방해하여 식물플랑크톤이나 해조류 등의 1차 생산력을 저하시키기도 한다.
- 부유입자물질은 8월 표층 조사시 20.9~25.0mg/L(평균 23.2mg/L), 저층은 14.2~43.7mg/L(평균 28.0mg/L)이었다.
- 조사해역은 비교적 수심이 낮고 강한 조석에 의한 재부유 현상으로 인해 부유입자 물질의 농도는 표층보다 저층에서 높게 조사되었다.

⑤ 화학적산소요구량(COD)과 총유기탄소(TOC)

- COD와 TOC는 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.
- 8월의 표층 COD와 TOC는 각각 6.20~10.10mg/L(평균 7.99mg/L), 2.46~3.281mg/L(평균 2.82mg/L)였으며 저층에서는 각각 3.63~7.27mg/L(평균 4.96mg/L), 1.48~2.37mg/L(평균 1.83mg/L)의 범위를 보였다.
- 8월 조사시 COD와 TOC의 높은 농도는 엽록소-a의 농도와 관련 있는 것으로 예상되며, COD와 TOC는 생물량 증가 및 다른 복합적인 요인에 의해 조절되는 것으로 판단된다.

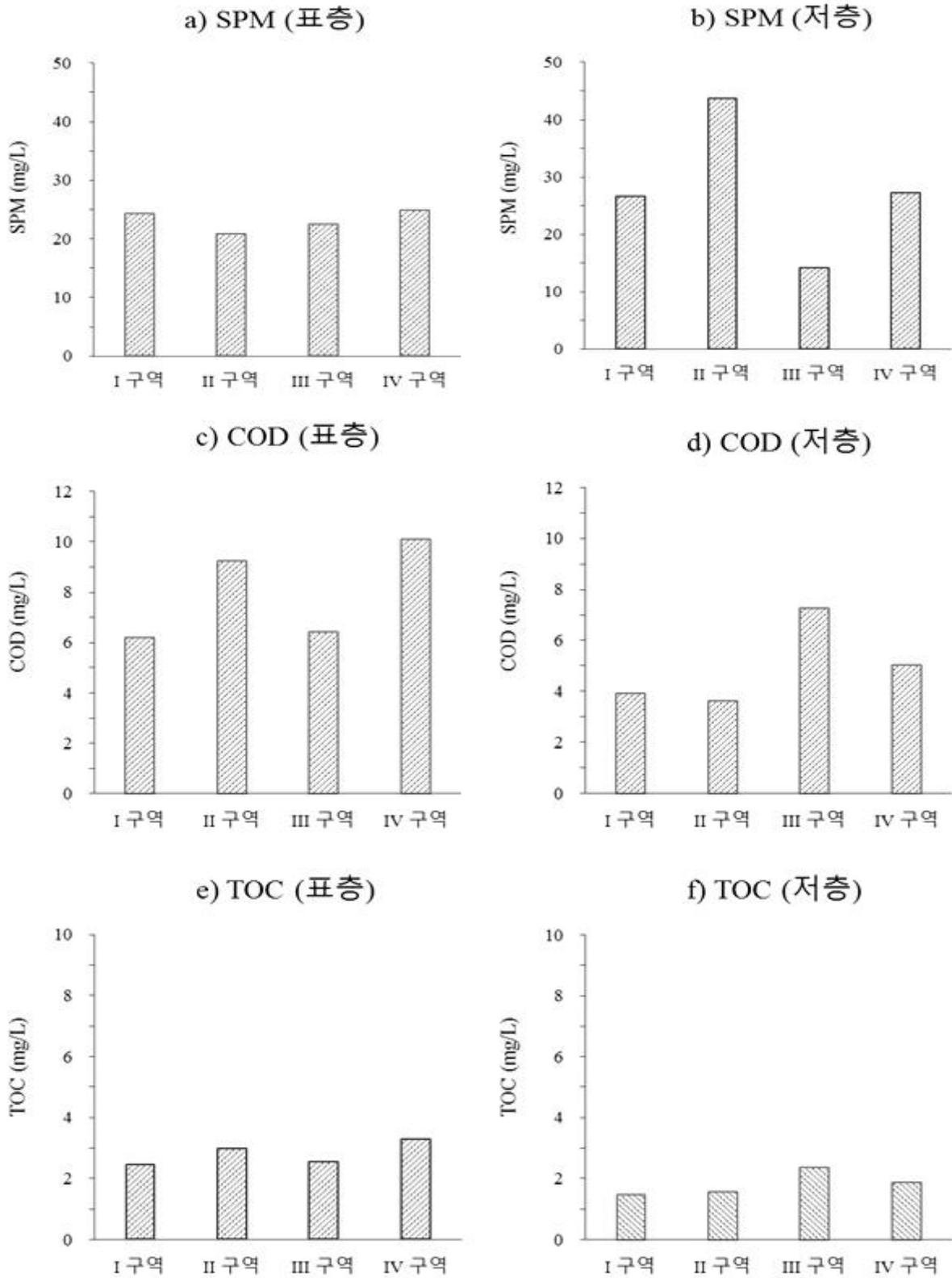
⑥ 클로로필-a(Chl-a)

- 클로로필-a는 8월 표층 조사시 2.7~10.5 μ g/L(평균 6.4 μ g/L), 저층은 6.5~12.7 μ g/L(평균 9.4 μ g/L)의 범위를 보였다.
- 8월에 비교적 높은 클로로필-a농도를 보인 이유는 천수만 내측의 반폐쇄적이고 해수 유속이 느린 지형적 특성과 주변 육상으로부터 유입되는 영양염류 등에 의해 식물성 플랑크톤이 성장할 수 있는 환경 여건이 조성되었기 때문이다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-3] 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과(2019년 8월)

구역	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	SPM	COD	TOC	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(mg/L)	(mg/L)			(µg/L)
I 구역	표층	6.0	0.6	29.7	26.1	8.1	6.5	24.4	6.2	2.46	2.7
	저층			26.0	29.8	7.9	5.2	26.7	3.9	1.48	6.5
II 구역	표층	4.0	0.5	30.0	21.5	8.5	9.5	20.9	9.2	2.99	6.4
	저층			26.1	29.8	8.0	4.7	43.7	3.6	1.58	10.3
III 구역	표층	4.0	0.6	27.1	26.5	8.0	6.4	22.6	6.4	2.55	6.0
	저층			27.3	26.8	8.1	6.5	14.2	7.3	2.37	12.7
IV 구역	표층	5.0	0.4	29.9	24.9	8.3	8.0	25.0	10.1	3.28	10.5
	저층			27.1	28.3	8.1	5.7	27.2	5.0	1.87	8.0
표층	최소			27.1	21.5	8.0	6.4	20.9	6.2	2.46	2.7
	최대			30.0	26.5	8.5	9.5	25.0	10.1	3.28	10.5
	평균			29.2	24.8	8.2	7.6	23.2	8.0	2.82	6.4
저층	최소			26.0	26.8	7.9	4.7	14.2	3.6	1.48	6.5
	최대			27.3	29.8	8.1	6.5	43.7	7.3	2.37	12.7
	평균			26.6	28.7	8.0	5.5	28.0	5.0	1.83	9.4
전체	최소			26.0	21.5	7.9	4.7	14.2	3.6	1.48	2.7
	최대			30.0	29.8	8.5	9.5	43.7	10.1	3.28	12.7
	평균			27.9	26.7	8.1	6.6	25.6	6.5	2.32	7.9



[그림 3-3] 조사해역 수질 SPM, COD, TOC의 정점별 분포

⑦ 총 질소(TN)

- 총 질소는 8월 표층 조사시 0.184~0.337mg/L(평균 0.250mg/L), 저층은 0.234~0.359mg/L(평균 0.282mg/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 총 질소는 표층보다 저층에서 비교적 높은 농도를 보였다.

⑧ 총 인(TP)

- 총인은 8월 표층 조사시 0.024~0.035mg/L(평균 0.027mg/L), 저층은 0.032~0.058mg/L(평균 0.046mg/L)의 범위를 보여, 표층보다 저층에 높은 총인 농도를 보이고 있다.

⑨ 영양염류

- 영양염류 분포 추이에 대한 특징을 살펴보면 표층보다 저층에 대부분의 영양염류가 높은 농도로 관측되고 있다.
- 이러한 이유는 수온이 상승하면서 이미 해저 퇴적물 내에 포함되어 있던 영양염류들이 재용출 되는 과정에서 영양염류 농도가 높아지고 있는 것으로 판단된다.

■ 용존무기질소(DIN)

- 용존무기질소(DIN)는 암모니아 질소(NH₄-N), 아질산 질소(NO₂-N), 질산 질소(NO₃-N)의 합으로 구성되며, 표층 조사시 0.008~0.054mg/L(평균 0.027mg/L), 저층은 0.034~0.168mg/L(평균 0.121mg/L)의 범위를 보였다.
- 암모니아 질소(NH₄-N)는 표층 조사시 0.002~0.022mg/L(평균 0.012mg/L), 저층은 0.020~0.148mg/L(평균 0.100mg/L)의 범위를 보였다. 금회 조사에서 용존 무기질소 중 암모니아성 질소의 비율이 높은 범위를 보였다. 이는 수계에 유입된 기간이 비교적 짧은 것을 의미한다.
- 아질산성 질소(NO₂-N)는 표층 조사시 0.001~0.016mg/L(평균 0.006mg/L), 저층은 0.003~0.007mg/L(평균 0.005mg/L)의 범위를 보였다.
- 질산성 질소(NO₃-N)는 표층 조사시 0.004~0.019mg/L(평균 0.009mg/L), 저층은 0.010~0.020mg/L(평균 0.017mg/L)의 범위를 보였다.

■ 인산 인(PO₄-P)

- 인산 인(PO₄-P)은 표층 조사시 0.012~0.028mg/L(평균 0.019mg/L), 저층은 0.026~0.056mg/L(평균 0.043mg/L)의 범위를 보였다.

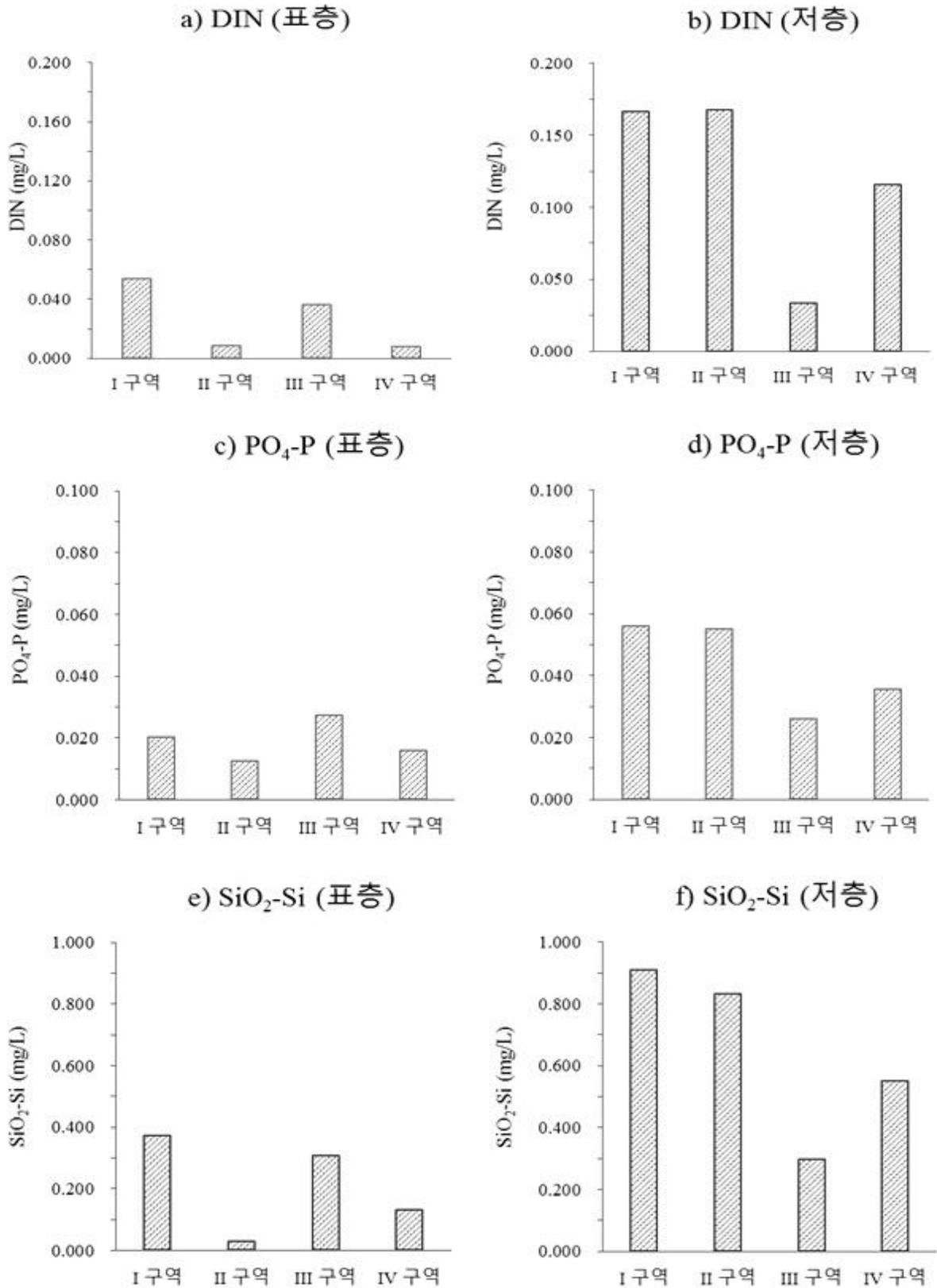
- 조사해역에서 인산 인은 표층보다 저층 조사시 높게 조사되었다.

■ 규산 규소(SiO₂-Si)

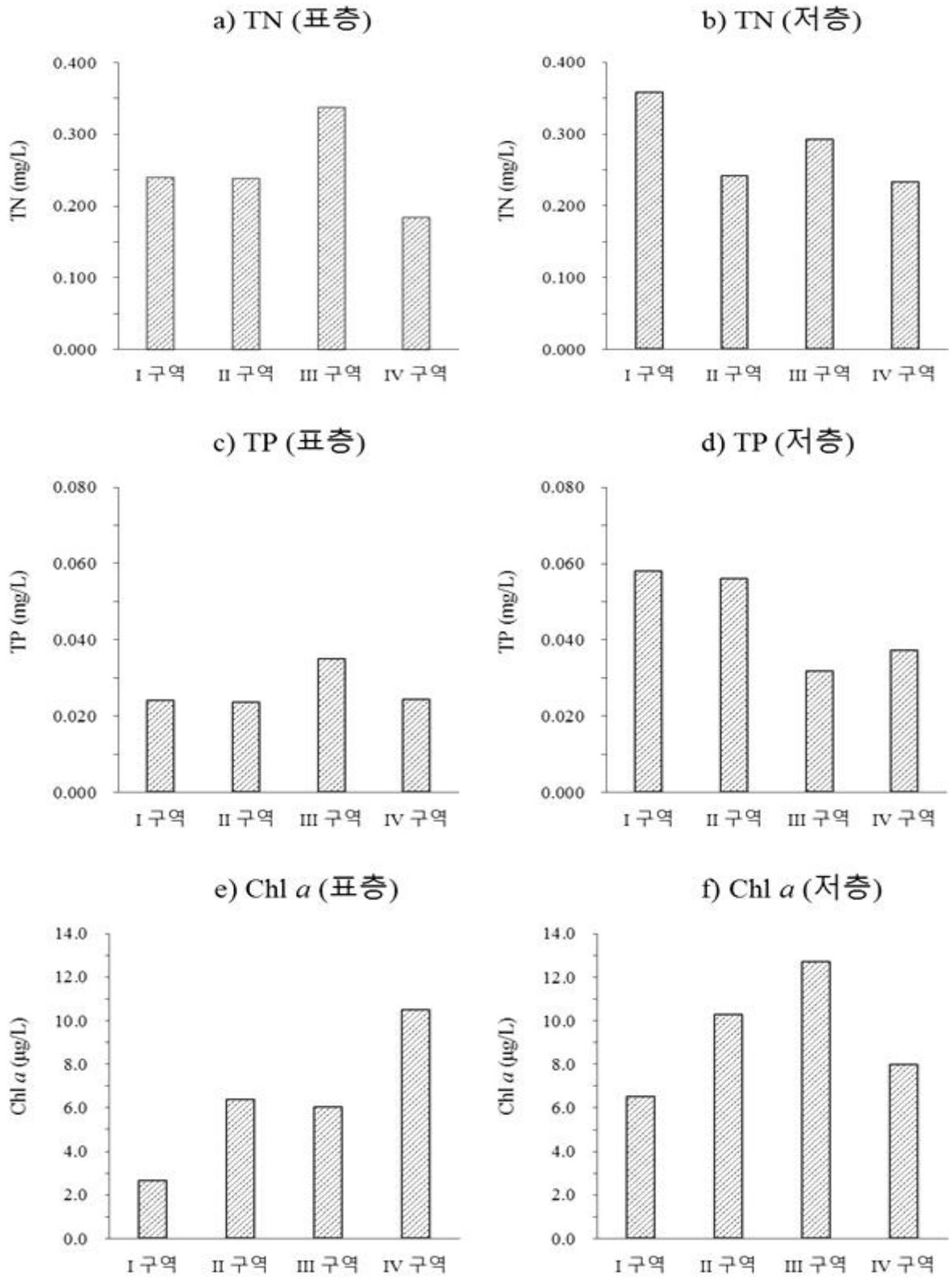
- 규산 규소(SiO₂-Si)는 표층 조사시 0.028~0.372mg/L(평균 210mg/L), 저층은 0.297~0.910mg/L(평균 0.647mg/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 규산 규소는 표층보다 저층에서 높은 농도 분포를 보였다.

[표 3-4] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO₂-Si 등 결과(2019년 8월)

구역	수층	TN	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	DIN	TP	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si
		(mg/L)							
I 구역	표층	0.239	0.019	0.016	0.019	0.054	0.024	0.020	0.372
	저층	0.359	0.142	0.004	0.020	0.166	0.058	0.056	0.910
II 구역	표층	0.239	0.004	0.001	0.004	0.009	0.024	0.012	0.028
	저층	0.242	0.148	0.003	0.017	0.168	0.056	0.055	0.831
III 구역	표층	0.337	0.022	0.005	0.010	0.036	0.035	0.028	0.306
	저층	0.292	0.020	0.004	0.010	0.034	0.032	0.026	0.297
IV 구역	표층	0.184	0.002	0.001	0.004	0.008	0.024	0.016	0.132
	저층	0.234	0.089	0.007	0.019	0.116	0.037	0.036	0.551
표층	최소	0.184	0.002	0.001	0.004	0.008	0.024	0.012	0.028
	최대	0.337	0.022	0.016	0.019	0.054	0.035	0.028	0.372
	평균	0.250	0.012	0.006	0.009	0.027	0.027	0.019	0.210
저층	최소	0.234	0.020	0.003	0.010	0.034	0.032	0.026	0.297
	최대	0.359	0.148	0.007	0.020	0.168	0.058	0.056	0.910
	평균	0.282	0.100	0.005	0.017	0.121	0.046	0.043	0.647
전체	최소	0.184	0.002	0.001	0.004	0.008	0.024	0.012	0.028
	최대	0.359	0.148	0.016	0.020	0.168	0.058	0.056	0.910
	평균	0.266	0.056	0.005	0.013	0.074	0.036	0.031	0.429



[그림 3-4] 조사해역 수질 DIN, PO₄-P, SiO₂-Si의 계절 및 정점별 분포



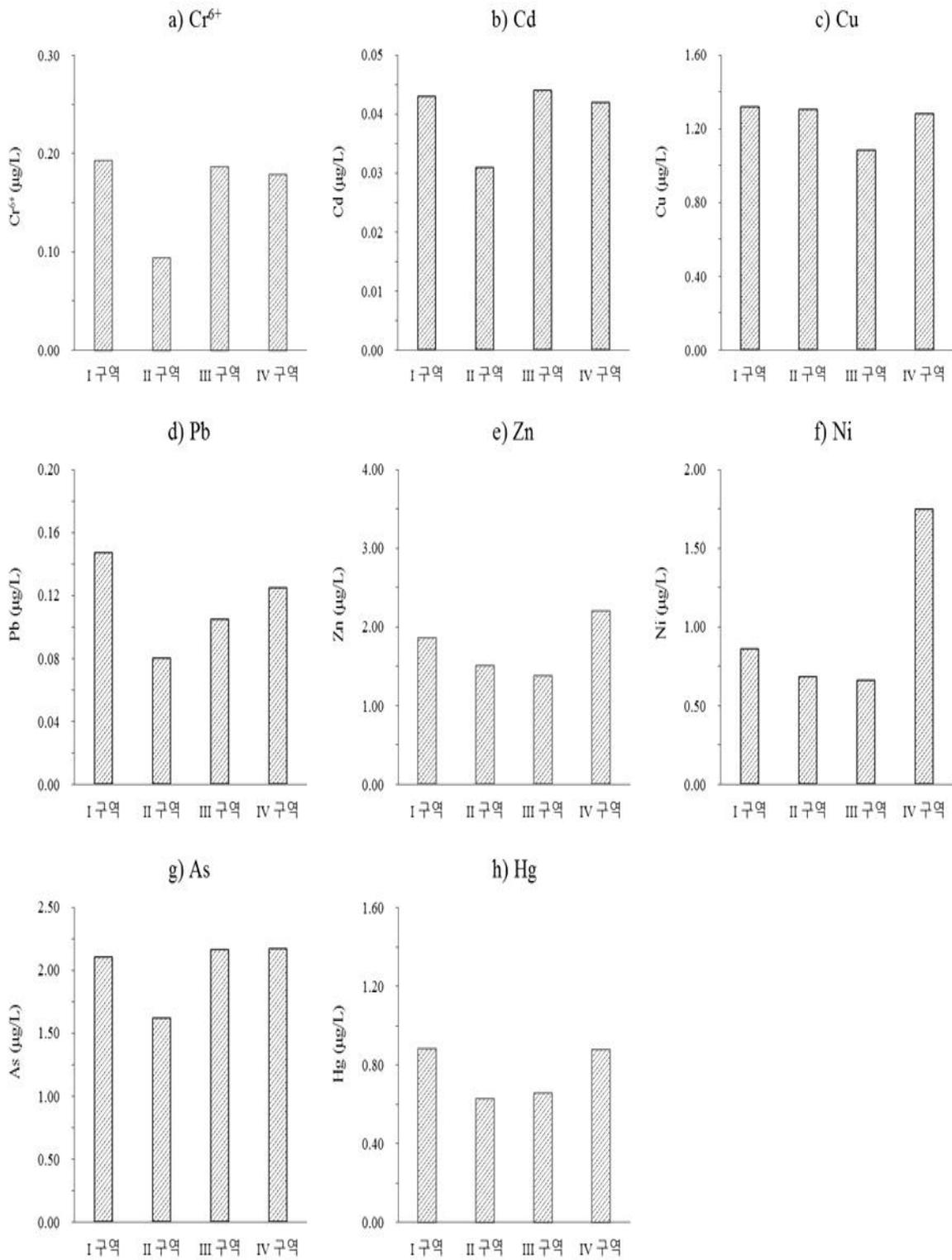
[그림 3-5] 조사해역 수질 TN, TP, Chl-a의 계절 및 정점별 분포

⑩ 미량금속류

- 해수 내 중금속 조사는 4개 구역의 표층에서 수행되었다.
- 5월 조사시 Cd는 0.02~0.02 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.02 $\mu\text{g/L}$), Cr⁶⁺은 0.02~0.04 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.03 $\mu\text{g/L}$), Cu는 0.30~0.57 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.39 $\mu\text{g/L}$), Pb는 0.01~0.03 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.02 $\mu\text{g/L}$), Zn는 0.31~0.55 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.38 $\mu\text{g/L}$), As는 0.55~0.63 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.59 $\mu\text{g/L}$), Ni는 0.23~0.32 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.26 $\mu\text{g/L}$), Hg는 3.53~5.34ng/L(평균 4.50ng/L)의 범위를 보였다.
- 7월 조사시 Cd는 0.02~0.03 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.03mg/L), Cr⁶⁺은 0.07~0.30 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.14 $\mu\text{g/L}$), Cu는 0.59~0.71 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.64 $\mu\text{g/L}$), Pb는 0.03~0.11 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.06 $\mu\text{g/L}$), Zn는 0.93~3.33 $\mu\text{g/L}$ (평균 2.00 $\mu\text{g/L}$), As는 1.49~2.27 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.78 $\mu\text{g/L}$), Ni는 0.41~0.49 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.44 $\mu\text{g/L}$), Hg는 0.45~3.40ng/L(평균 1.35ng/L)의 범위를 보였다.
- 조사해역에서 해수 내 중금속의 농도는 조사시기에 따른 농도 차이는 적었지만 7월에 비교적 높은 농도를 보였다. 모든 중금속 항목에서 해양환경기준인 사람의 건강보호 기준 및 해양 생태계 보호 기준(장기기준)보다 낮은 수준으로 조사되었다.

[표 3-5] 해양 수질의 미량금속류 결과(2019년 8월)

구역 (표층)	Cd	Cr ⁶⁺	Cu	Pb	Zn	As	Ni	Hg
	($\mu\text{g/L}$)							(ng/L)
I 구역	0.04	0.19	1.32	0.15	1.86	2.10	0.86	0.88
II 구역	0.03	0.09	1.31	0.08	1.51	1.62	0.68	0.63
III 구역	0.04	0.19	1.08	0.11	1.38	2.17	0.66	0.66
IV 구역	0.04	0.18	1.28	0.13	2.20	2.17	1.75	0.88
최소	0.03	0.09	1.08	0.08	1.38	1.62	0.66	0.63
최대	0.04	0.19	1.32	0.15	2.20	2.17	1.75	0.88
평균	0.04	0.16	1.25	0.11	1.74	2.01	0.99	0.76



[그림 3-6] 조사해역 수질 내 미량금속의 계절 및 정점별 분포

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-6] 해양환경기준-해양수산부고시 제 2013-186호

(생활기준)

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

(사람의 건강보호 기준)

등급	항목	기준 (µg/L)	
전 수 역	6가크롬 (Cr ⁶⁺)	50	
	비소 (As)	50	
	카드뮴 (Cd)	10	
	납 (Pb)	50	
	아연 (Zn)	100	
	구리 (Cu)	20	
	시안 (CN)	10	
	수은 (Hg)	0.5	
	폴리염화비페닐 (PCB)		0.5
	유기인계 농약	다이아지논	20
		파라티온	60
		말라티온	250
	휘발성 저급 염소화 탄화수소류	1,1,1-트리클로로에탄	100
		테트라클로로에틸렌	10
		트리클로로에틸렌	30
		디클로로메탄	20
	벤젠		10
	페놀		5
	음이온계면활성제 (ABS)		500

(해양생태계 보호 기준)

(단위 : µg/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

⑩ 생태기반 해수수질 기준(WQI)

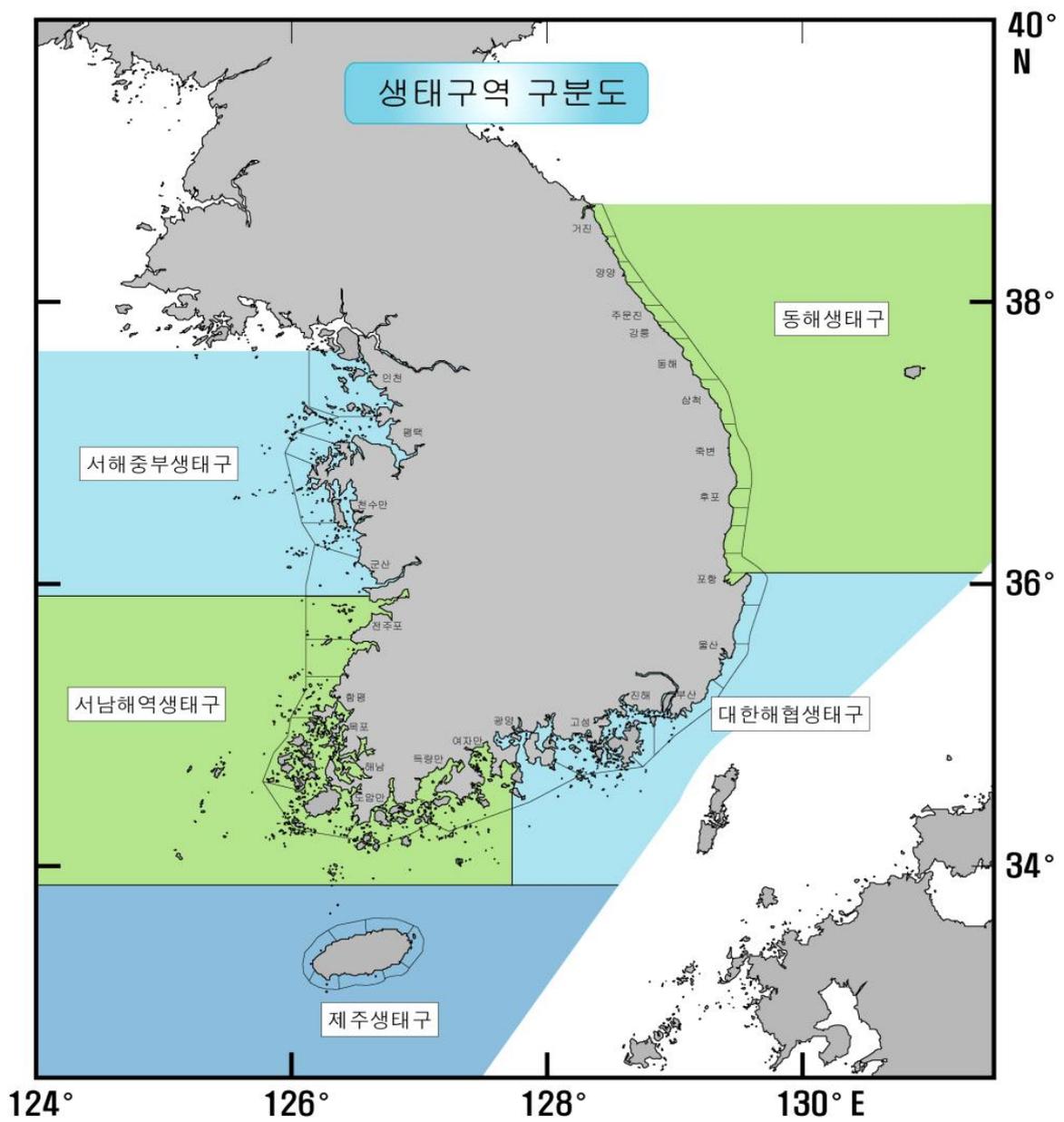
- 현지조사의 생태기반 해수수질 기준(그림 3-8), [표3-8]을 사용하여 조사 시기 및 구역별 생태기반 해수수질 기준 결과를 [표 3-7]와 [그림 3-7]에 제시하였다.
- 조사 결과 수질평가 지수는 41~64점으로 3등급(보통)~5등급(매우 나쁨)을 보였으며 조사지점인 I 구역에는 4등급(나쁨, 55점), II구역에서는 5등급(매우 나쁨, 64점), III구역에서는 3등급(보통, 41점), IV 구역에서는 4등급(나쁨, 54점)으로 조사되었다(표 3-7).
- 본 조사 결과 수질 등급이 낮은 원인으로서는 투명도와 클로로필-a 그리고 저층 DO포화도가 원인이며, 특히 8월에 수온이 올라가면서 클로로필-a뿐만 아니라 저층 DO포화도가 낮아지면서 수질의 악영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다(그림 3-7).

[표 3-7] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2019년 8월)

구역	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
I 구역	1	3	5	1	1	55	4
II 구역	5	2	5	1	1	64	5
III 구역	1	2	5	1	1	41	3
IV 구역	1	4	5	1	1	54	4



[그림 3-7] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2019년 8월)



(그림 3-8) 생태구역 구분도

[표 3-8] 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

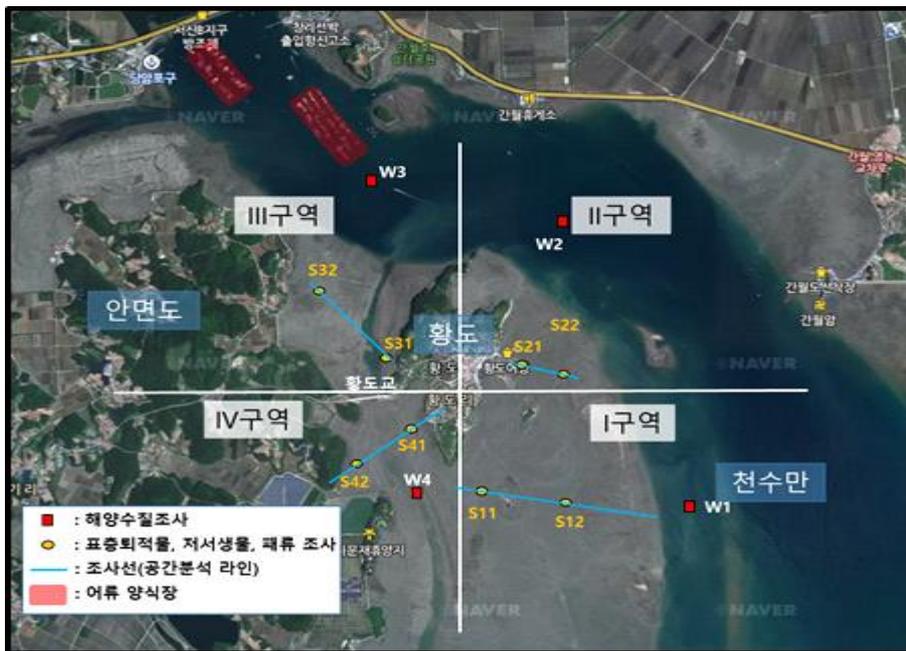
* 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1m 이내의 수층

2. 퇴적물

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

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



[그림 3-9] 황도 퇴적물 조사도

(2) 시간적 범위

- 조사는 2019년 6월 27일에 진행되었다.

(3) 내용적 범위

- 황도 주변 퇴적물 환경 조사를 수행하였다(표 3-9).

[표 3-9] 황도 주변 갯벌 퇴적물조사 분석항목

구분		조사항목	조사 구역
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) 해양 퇴적물 시료채취 방법 및 분석

- 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행 하였다.
- 표층 퇴적물 시료는 건조시 조사점점에 도бором 이동 후 채취하였다. 상층 부분(표층 2cm)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 퇴적물 현장사진

3) 시료의 전처리 및 분석

(1) 해양 퇴적물

① 입도

- 채취한 시료를 젖은 상태 그대로 약 20~30g을 취하여 500mL 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 [표3-10, 11]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 20~30g을 시료병에 담아 정확히 무게를 측정하여 110℃에서 24시간 이상 건조시킨 후 무게를 측정하여 건조 전·후 무게 차이로 계산하였다.

③ 강열감량(Ignition Loss)

- 건조된 시료 5g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550℃로 2시간 가열하여 가열 전과 후의 무게 차이로 계산하였다.

④ 화학적산소요구량(COD)

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

⑤ 산 휘발성 황화물(AVS: Acid Volatile Sulfide)

- 시료를 젖은 상태로 약 2g의 무게를 측정 하여 검지관 주입구에 넣은 후 기체발생관에 황산 2ml를 넣고 2~3초 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(HF + HNO₃ + HClO₄)을 이용하여 완전 분해하였다. 여기에 1% 질산(HNO₃, suprapure 등급)을 첨가하여 적정 농도로 희석 후 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 측정하였다.

■ Hg

- 동결 건조된 시료 1g을 1M 염산(HCl) 50mL로 산분해 후 환원 기화하여 냉증기 원자 흡광광도계(AAS : Fims100, PerkinElmer)로 분석하였다.

■ As

- 완전분해법: 퇴적물 내에 비소를 질산, 황산 및 불소산을 이용하여 완전 분해한 후 1N 염산 용액으로 재용해한 다음 KI 및 아스코르빅 용액으로 비소 5가를 3가로 환원시켜 원자흡광광도계(AAS)로 분석하였다.
- 용출법: 동결 건조된 시료 1g을 1M 질산(HNO₃) 50mL로 용출 후 유도결합플라즈마질량분석기(ICP-MS : iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific)로 분석하였다.

⑦ 원소분석(C, N)

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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-10] 지수별 퇴적물의 입도 환산표

Diameter (mm)	phi Scale (ϕ)	Wentworth Size Class	
4096 (212)	-12		
2048 (211)	-11		
1024 (210)	-10	Boulder	
512 (29)	-9		
256 (28)	-8		
128 (27)	-7	Cobble	Gravel
64 (26)	-6		
32 (25)	-5		
16 (24)	-4	Pebble	
8 (23)	-3		
4 (22)	-2	Granule	
2 (21)	-1	Very Coarse Sand	
1 (20)	0	Coarse Sand	
0.5 (2-1)	1	Medium Sand	Sand
0.25 (2-2)	2	Fine Sand	
0.125 (2-3)	3	Very Fine Sand	
0.063 (2-4)	4	Coarse Silt	
0.031 (2-5)	5	Medium Silt	
0.016 (2-6)	6	Fine Silt	
0.008 (2-7)	7	Very Fine Silt	
0.004 (2-8)	8		Mud
0.002 (2-9)	9		
0.00098 (2-10)	10	Clay	
0.00049 (2-11)	11		
0.00024 (2-12)	12		

[표 3-11] 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale)

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)

$$Sk_I = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

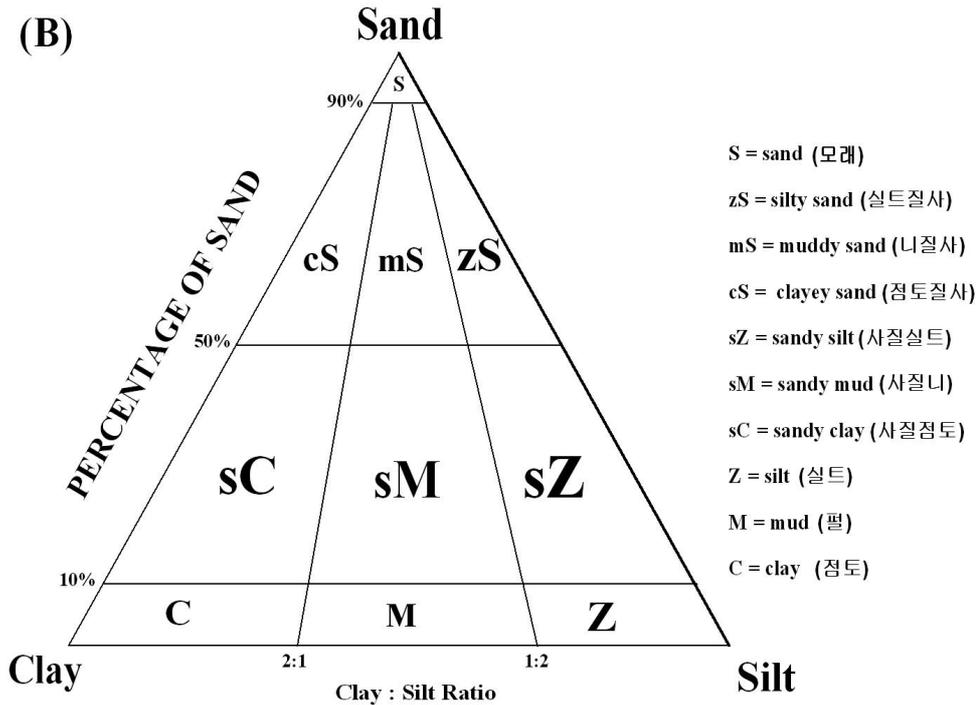
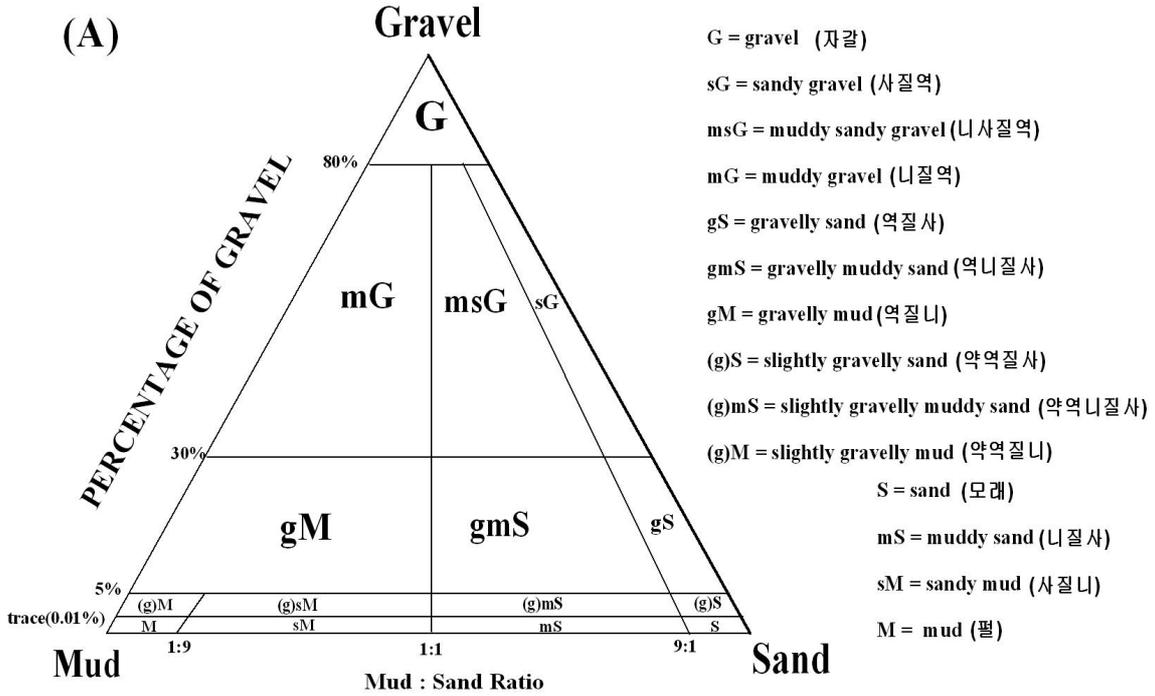
$$= \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5} \quad (\text{Warren, 1974})$$

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

(3) 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 3-12]에 제시하였다.

[표 3-12] 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율

(건중량, Mean±sd, n=3)

분석 항목	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Li	Al	Fe
	(mg/kg)						(%)	
함유 농도	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
분석 결과	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

(1) 해양 퇴적물

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

① 입도

■ 조성 및 퇴적상

- 조사에서 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.00~7.97%(평균 1.48%), 모래 12.63~95.01%(평균 61.12%), 실트 3.69~78.36%(평균 33.79%), 점토 0.87~9.01%(평균 3.62%)로 조사되었다.
- 퇴적상은 I구역에서 실트질사(zS), 약역니질사((g)mS), II구역에서는 약역니질사((g)mS)과 약역질사((g)S), III구역에서는 역니질사(gmS)와 약역니질사((g)mS, IV구역에서는 약역사질니((g)sM)과 사질실트(sZ)로 나타났다.
- 같은 조사 구역내에서도 조사 정점에 따라 퇴적물의 입도 조성은 차이를 보였으며, 비교적 I, II구역에서 모래 함량비가 높게 나타났다.

■ 조직변수

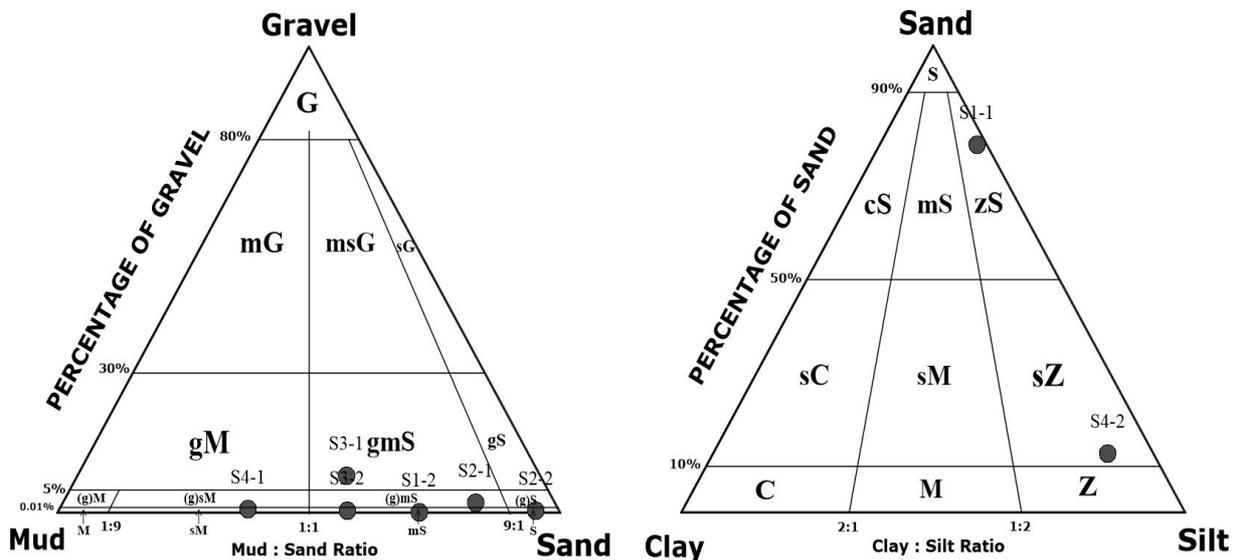
- 조직변수는 평균 입경이 1.04~5.70φ(평균 3.61φ)의 범위이고, 분급도는 0.97~2.93φ(평균 1.62φ)의 범위로 very fine sand로 poorly sorted(분량 분급)한 분포를 보였고, 왜도는 -0.06~0.49(평균

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

0.27)의 범위로 fine-skewed(양호왜도)한 분포를 나타냈으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.94~2.95(평균 1.42)으로 leptokurtic(극점)한 분포를 보였다.

[표 3-13] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2019년 6월)

구역	구역	조성비				조직변수				퇴적상
		자갈	모래	실트	점토	평균입경	분급도	왜도	첨도	
		(%)				(ϕ)				
I 구역	S1-1	0.00	78.72	19.31	1.97	3.41	1.35	0.49	1.44	zS
	S1-2	0.08	71.89	26.09	1.93	3.65	1.37	0.33	1.33	(g)mS
II 구역	S2-1	2.13	82.17	13.71	1.99	2.67	1.61	0.27	2.95	(g)mS
	S2-2	0.43	95.01	3.69	0.87	1.04	0.97	0.21	1.29	(g)S
III 구역	S3-1	7.97	53.53	34.28	4.22	3.41	2.93	-0.06	0.99	gmS
	S3-2	0.50	57.38	38.99	3.13	4.15	1.33	0.43	1.42	(g)mS
IV 구역	S4-1	0.71	37.63	55.85	5.81	4.86	1.72	0.30	0.94	(g)sM
	S4-2	0.00	12.63	78.36	9.01	5.70	1.65	0.17	0.99	sZ
	최소	0.00	12.63	3.69	0.87	1.04	0.97	-0.06	0.94	-
	최대	7.97	95.01	78.36	9.01	5.70	2.93	0.49	2.95	-
	평균	1.48	61.12	33.79	3.62	3.61	1.62	0.27	1.42	-



[그림 3-12] 함량비에 따른 퇴적상 분류(삼각다이아그램)

② 함유율

- 함유율은 조사시 20.6~32.5%(평균 26.5%)였으며, 조사 구역 간 큰 차이는 보이지 않았다.

③ 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

- 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표성분으로, IL은 조사시 2.28~4.68%(평균 3.38%) COD는 1.29~6.95mg/g(평균 3.92mg/g)의 범위를 보였다.
- 특히 조사 지점 중 Ⅲ구역과 Ⅳ구역의 퇴적물에서 IL과 COD가 비교적 다른 조사 구역보다 높은 농도를 보였다.
- 이 이유로는 펄(실트+점토) 함량이 I, II구역보다 많아 유기물 양 또한 차이를 보이는 것으로 판단된다.

④ 산화발성황화물(AVS)

- 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산화발성황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경 악화지표 항목으로 이용되고 있다.
- 산화발성황화물(AVS)이 0.2mg/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로 산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경을 보이고 있다는 것을 의미한다.
- 산화발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01mg/g으로, 조사에서 0.01~0.11mg/g(평균 0.06mg/g)의 범위를 보였다.
- 대부분의 조사 지점에서 0.1mg/g 이하로 검출되어 기준치 0.2mg/g이하로 조사되었으며, I구역에서 IV구역으로 갈수록 농도 차이를 보였다.

⑤ 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

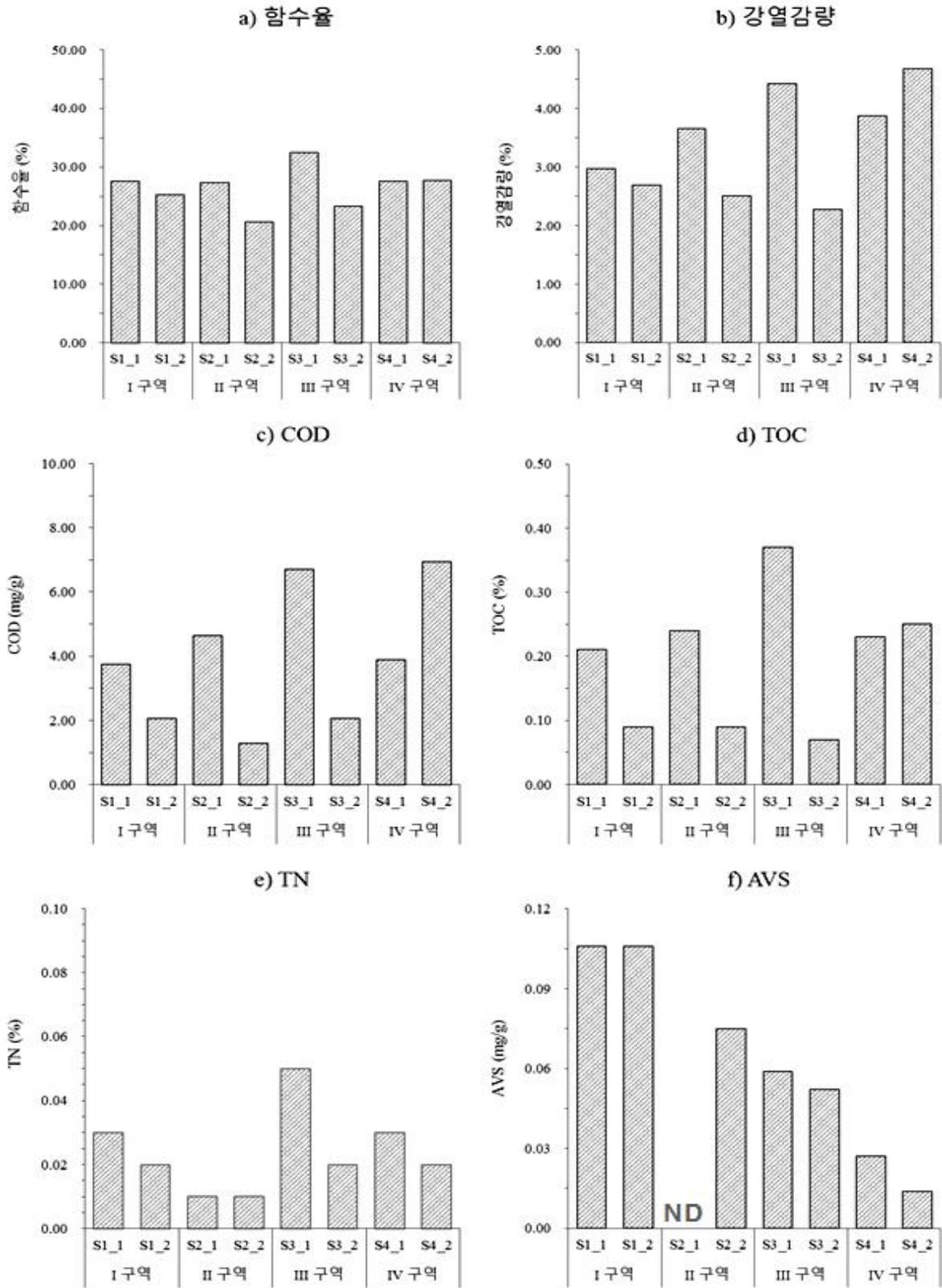
- 총유기탄소(TOC) 조사시 0.07~0.37%(평균 0.19%), 총질소(TN)은 0.01~0.05%(평균 0.02%)으로 조사되었다.
- 조사 지점 간 TOC와 TN의 평균 농도는 큰 차이를 보이지 않고 유사한 수준으로 조사되었다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-14] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2019년 6월)

구역		함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN	C/N
		(%)		(mg/g)		(%)		
I 구역	S1-1	27.5	3.0	3.8	0.11	0.21	0.03	7.0
	S1-2	25.3	2.7	2.1	0.11	0.09	0.20	4.5
II 구역	S2-1	27.3	3.7	4.6	ND	0.24	0.01	24.0
	S2-2	20.6	2.5	1.3	0.08	0.09	0.01	9.0
III 구역	S3-1	32.4	4.4	6.7	0.06	0.37	0.05	7.4
	S3-2	23.3	2.3	2.1	0.05	0.07	0.02	3.5
IV 구역	S4-1	27.5	3.9	3.9	0.03	0.23	0.03	7.7
	S4-2	27.7	4.7	6.9	0.01	0.25	0.02	12.5
최소		20.6	2.3	1.3	0.01	0.07	0.01	3.5
최대		32.5	4.7	7.0	0.11	0.37	0.05	24.0
평균		26.5	3.4	3.9	0.06	0.19	0.02	9.5

ND: not determined



[그림 3-13] 조사해역 퇴적물 含水율, COD, TOC, TN, AVS의 정점별 분포 (ND: Not Determined)

⑥ C/N 비

- 일반적으로 C/N비는 퇴적물에 포함된 유기물의 기원을 규명하는데 많이 사용되고 있다. C/N비가 12 이상인 유기물은 육상기원 유기물을 나타내고(Greaves and Schwartz, 1952), 6~9는 식물플랑크톤의 범위이며(Holligan et al., 1984), 5~12의 C/N비를 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).
- 해양 및 호소 퇴적물에 있어서 총유기탄소와 총질소간의 비를 나타내는 C/N비 값이 일반적으로 10 이상일 경우에는 육상유래 유기물의 퇴적 가능성이 크고, 10 이하일 경우는 해양 유래(식물성 플랑크톤) 유기물의 퇴적 가능성이 높다.
- C/N비는 3.5~24.0(평균 9.45)의 범위를 보였다. 전체적으로 육상유래 유기물보다 해양 유래 유기물이 퇴적하고 있음을 알 수 있다.
- 단, 부남호 전면해역에 위치한 II구역 일부 지역에서는 육상기원 유기물이 주로 퇴적되는 것으로 추정되었다.

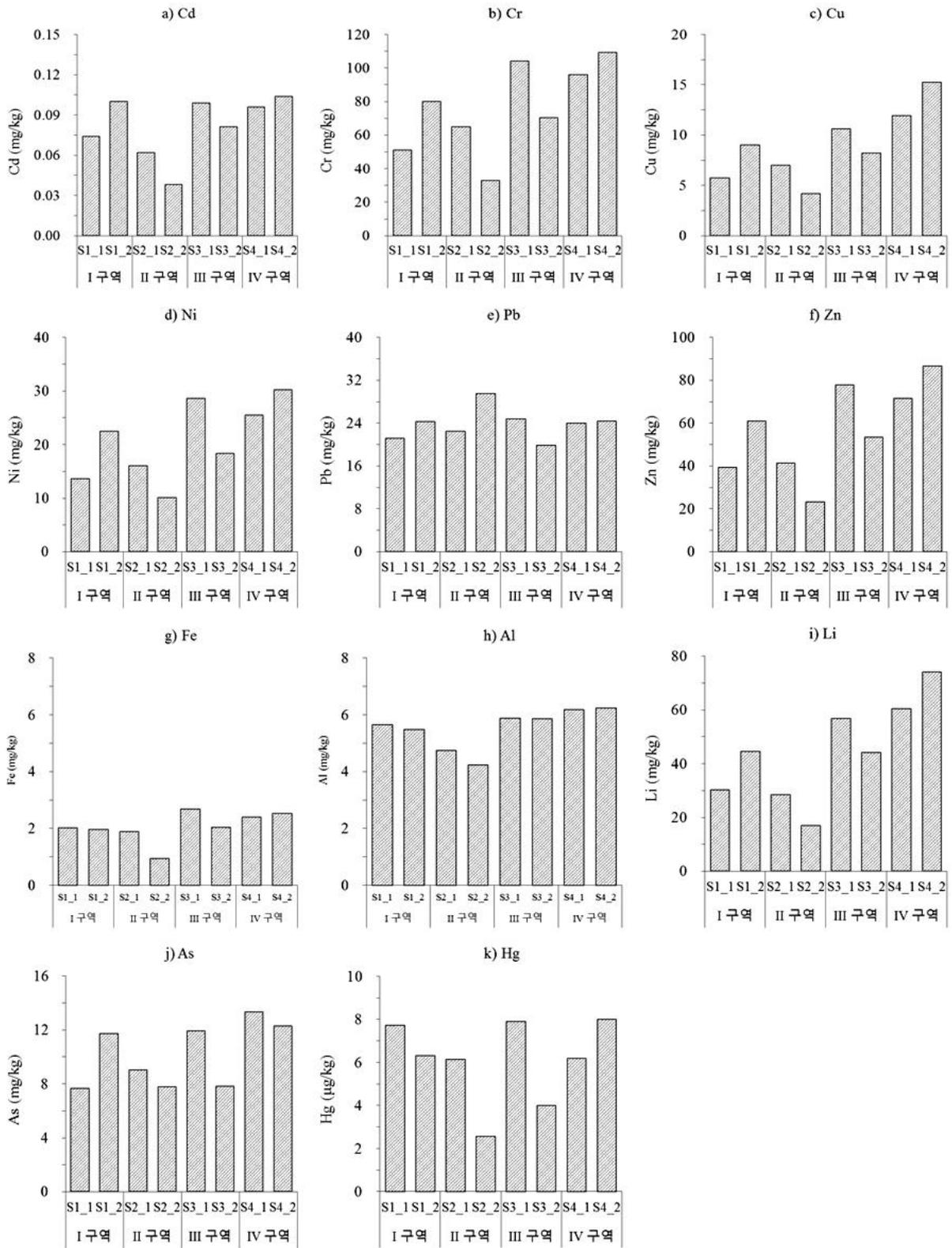


[그림 3-14] 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비

⑦ 중금속류

- 퇴적물 내 중금속 조사는 4개 구역에서 8개 정점의 표층 퇴적물을 대상으로 수행되었다.
- 퇴적물 중금속 Cd는 0.04~0.10mg/kg(평균 0.08mg/kg), Cr은 32.95~109.21mg/kg(평균 76.14mg/kg), Cu는 4.18~15.26mg/kg(평균 8.99mg/kg), Pb는 19.85~29.54mg/kg(평균 23.82mg/kg), Zn는 23.26~86.64 mg/kg(평균 56.78mg/kg), As는 7.68~13.35mg/kg(평균 10.21mg/kg), Ni는 10.10~30.27mg/kg(평균 20.63 mg/kg), Al는 4.23~7.03%(평균 5.53%), Fe은 0.94~2.68%(평균 2.05%), Hg는 2.58~8.00 μ g/kg(평균 6.10 μ g/kg)의 범위를 보였다.
- 퇴적물 내 중금속의 오염도를 살펴보기 위해 미국해양대기청(NOAA)의 환경 기준(Buchman, 2008)과 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부, 2013)과 비교 하였다.
- 미국해양대기청의 환경기준은 연안퇴적물 중 중금속 자료를 바탕으로 지각물질의 주요 원소인 Al과 Fe를 제외한 총 9개의 원소에 대하여 퇴적물 내 중금속에 의한 생물 영향을 고려한 기준이다.
- 또한 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준은 총 6개의 중금속에 대하여 연안퇴적물의 배경농도 및 생물영향 등을 고려하여 퇴적물 오염기준인 주의기준과 관리기준을 설정 하였다.
- 비소(As), 카드뮴(Cd), 납(Pb), 수은(Hg)은 측정된 퇴적물 내 중금속 원소의 농도를 직접 비교 하지만, 구리(Cu)와 아연(Zn)은 입도보정을 위하여 리튬(Li)으로 입도에 의한 영향을 보정한 뒤 평가하도록 되어 있다.
- 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, Ni, As에서 미국해양대기청(NOAA)의 저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도(ERL)기준을 초과하였다.
- 구역별로는 I구역 S1-2정점에서 Ni(22.5mg/kg), As(11.7mg/kg) 값이 초과하였고, II구역 S2-1정점에서 As(9.0mg/kg), III구역 S3-1정점에서 Cr(104.2mg/kg), Ni(28.6mg/kg), As(11.9mg/kg), IV 구역 S4-1과 S4-2정점에서 Cr(96.1mg/kg, 109.2mg/kg), Ni(25.5mg/kg, 30.3mg/kg), As(13.3mg/kg, 12.3mg/kg)에서 각각 초과하였다.
- 본 조사에서 황도 주변 퇴적물 중 중금속 일부 항목이 기준치에 초과하는 결과를 보여주고 있다. 중금속 유입에 대한 좀 더 다양한 연구가 필요한 실정이다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역



(그림 3-15) 조사해역 퇴적물 내 중금속의 정점별 분포

[표 3-15] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2019년 6월)

구역		Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Li	As	Al	Fe	Hg
		(mg/kg)								(%)		(ug/kg)
I구역	S1-1	0.07	51.0	5.8	13.6	21.2	39.3	30.3	7.7	5.65	2.02	7.7
	S1-2	0.10	80.0	9.0	22.5	24.3	60.9	44.5	11.7	5.49	1.96	6.3
II구역	S2-1	0.06	65.1	7.0	16.1	22.5	41.5	28.6	9.0	4.75	1.89	6.1
	S2-2	0.04	32.9	4.2	10.1	29.5	23.3	17.1	7.8	4.23	0.94	2.6
III구역	S3-1	0.10	104.2	10.6	28.6	24.8	77.8	56.8	11.9	5.87	2.68	7.9
	S3-2	0.08	70.5	8.2	18.4	19.9	53.4	44.2	7.8	5.85	2.03	4.0
IV구역	S4-1	0.10	96.1	11.9	25.5	23.9	71.5	60.5	13.3	6.17	2.40	6.2
	S4-2	0.10	109.2	15.3	30.3	24.4	86.6	74.2	12.3	6.25	2.52	8.0
최소		0.04	33.0	4.2	10.1	19.9	23.3	17.1	7.7	4.23	0.94	2.6
최대		0.10	109.2	15.3	30.3	29.5	86.6	74.2	13.4	6.25	2.68	8.0
평균		0.08	76.1	9.0	20.6	23.8	56.8	44.5	10.2	5.53	2.05	6.1

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-16] 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, Zn는 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 주의기준 과 관리기준에 직접 비교

[표 3-17] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리 기준

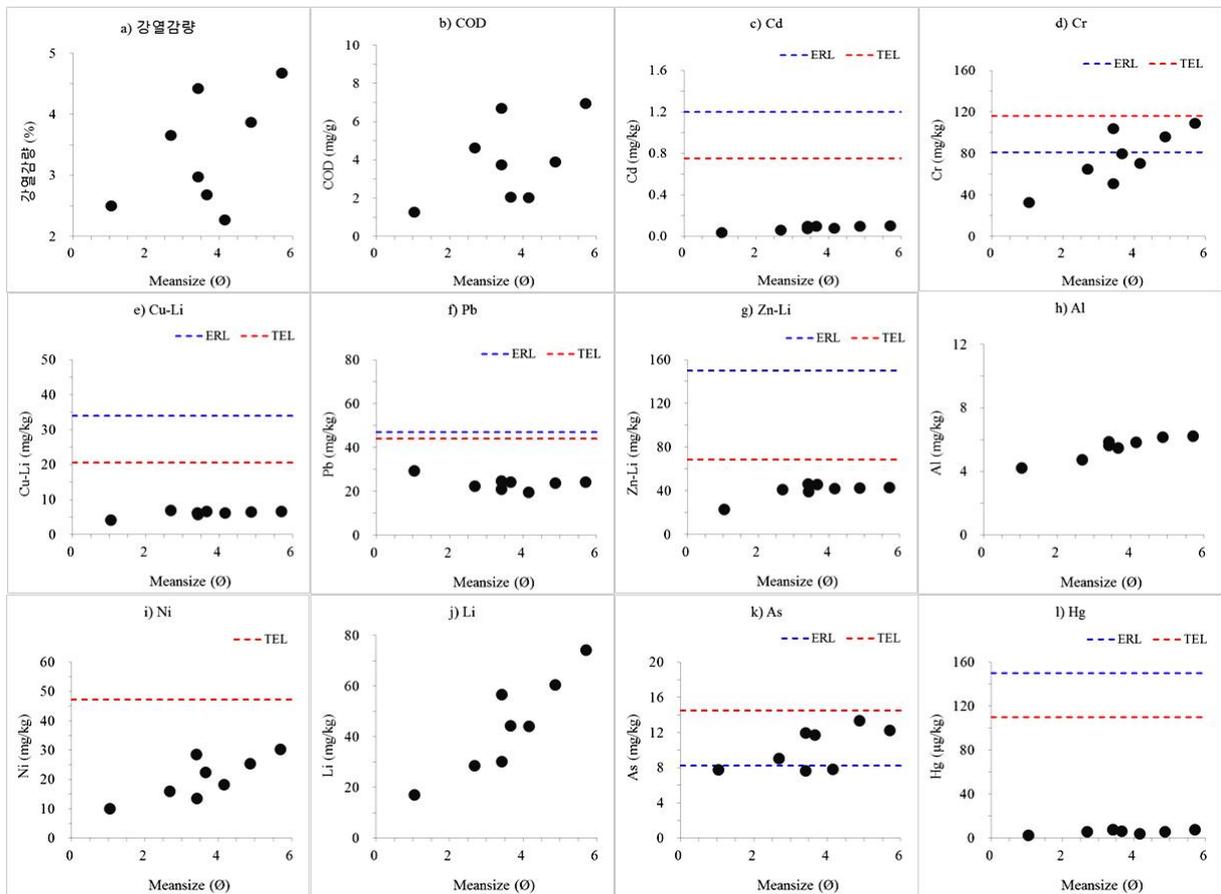
항목 (mg/kg)	미국해양대기청(NOAA)	
	ERL(effect range low)*	ERM(effect range median)**
As	8.2	70
Cd	1.2	9.6
Cu	34	270
Cr	81	370
Hg	0.15	0.71
Pb	47	218
Zn	150	410
총 PCBs	0.023	0.180

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

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

⑧ 상관성 분석 및 국내·외 환경 기준과의 비교

- 조사해역의 퇴적물의 평균입경과 미량금속의 공간적 분포 특성과의 상관성을 파악 하였고, 그 결과를 [그림 3-16]에 제시하였으며, 해양 퇴적물의 국내 및 국외 환경 기준을 [표 3-16]과 [표 3-17]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 환경 기준(Buchman, 2008)과 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부, 2013)과 비교 하였다.
- 미국해양대기청의 환경기준은 연안퇴적물 중 중금속 자료를 바탕으로 지각물질의 주요 원소인 Al과 Fe를 제외한 총 9개의 원소에 대하여 퇴적물 내 중금속에 의한 생물 영향을 고려한 기준이다.
- 또한 국내 해양환경관리법에 따른 해양환경기준은 총 6개의 중금속에 대하여 연안퇴적물의 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, As였고, 국내 해양환경기준의 TEL(주의기준: 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위) 기준을 초과한 중금속 항목은 없었다.
- 본 조사에서 황도 주변 갯벌에서 중금속 중 일부 항목이 기준치에 초과하는 결과를 보여주고 있다. 중금속 유입에 대한 좀 더 다양한 연구가 필요한 실정이다.



[그림 3-16] 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교

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 Fe을 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 Al에 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 1.5보다 클 경우 다른 오염원에 의한 오염이 있음을 의미 한다(Zhang and Lui, 2002). 최근에는 농축계수의 값을 세분화 하여 오염을 평가 하였으며, 평가 기준은 [표 3-18]에 제시하였다(Birth, 2003; Chen *et al.*, 2007).
- 조사에서 농축계수는 0~1 범위를 보였으며, 오염되지 않은 상태(no enrichment)에서 약간오염 상태(minor enrichment)로 나타났다[표 3-19].
- 농축계수로 퇴적물 내 중금속의 오염도를 평가 한 결과 대부분의 구역에서 약간 오염 및 오염되지 않은 상태를 보여 조사 해역의 오염도 낮은 것으로 조사되었다.[그림 3-17]

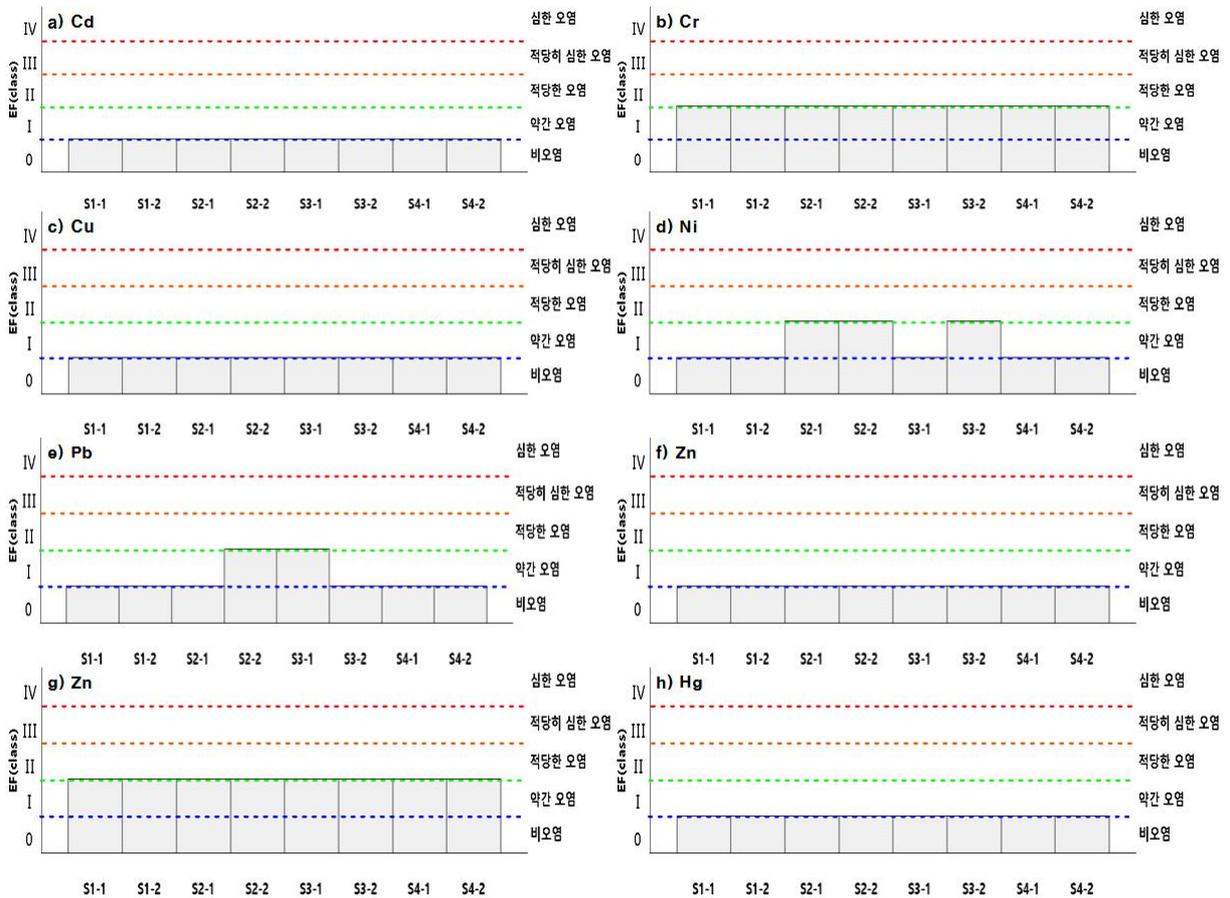
[표 3-18] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

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)

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-19] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2019년 6월)

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	0	0	0	0
5-10	3	0	0	0	0	0	0	0	0
3-5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
1-3	1	0	8	0	3	2	0	8	0
< 1	0	8	0	8	5	6	8	0	8



[그림 3-17] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농축계수

■ 농집지수(geoaccumulation index: I_{geo})

- 농집지수는 퇴적물 내 금속의 오염도를 평가하기 위하여 Müller(1979)가 제안하였으며, 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 7개의 class로 구분하여 오염여부를 세분화 되어있다[표 3-20].
- 조사에서는 비오염(Practically unpolluted)에서 약간/비오염 수준(Practically unpolluted/moderately polluted)으로 조사되었다[표3-21].
- 금회 조사에서는 크롬(Cr)과 Ni(니켈), 납(Pb)에서 약간/비오염 수준으로 조사되었다[그림 3-18].

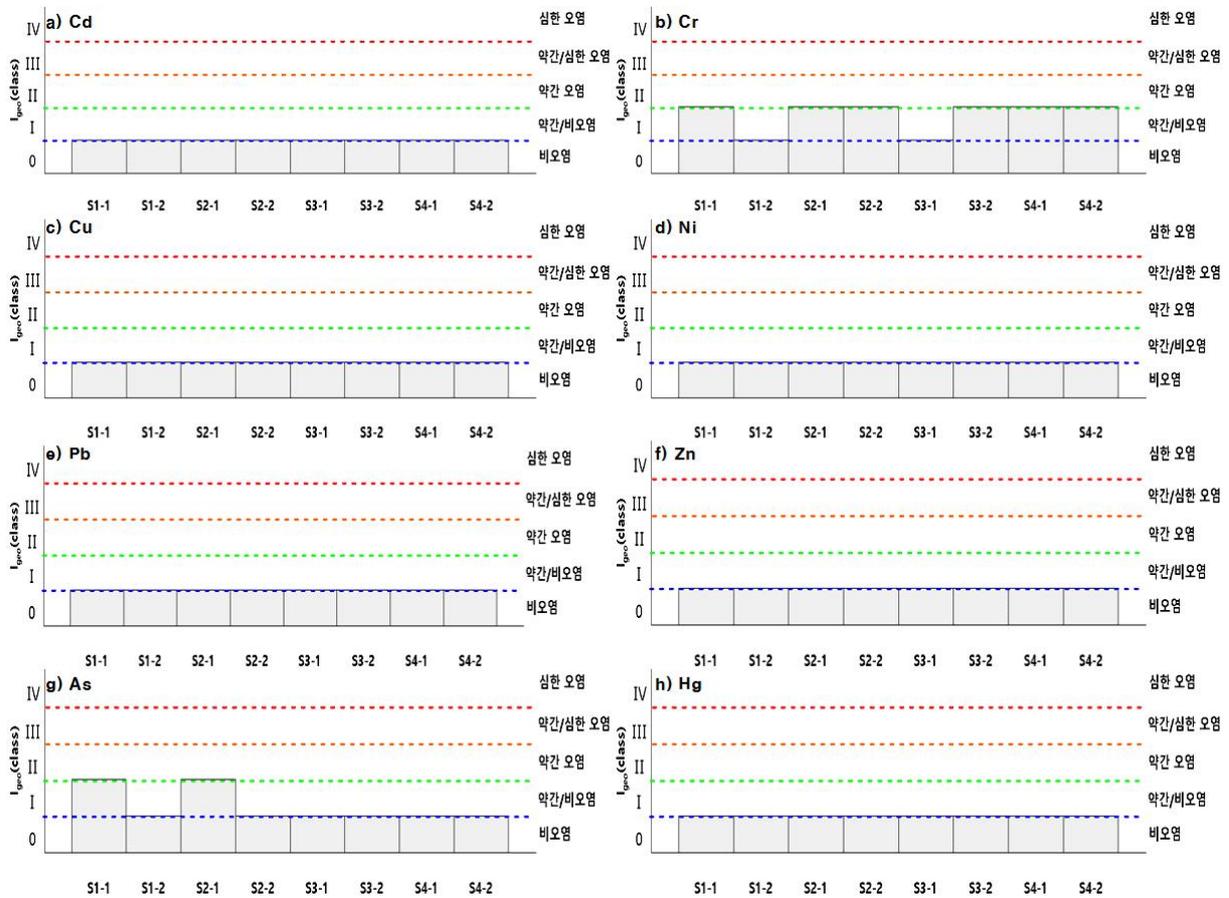
[표 3-20] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

I_{geo}	Class	등급
>5	7	매우 심한 오염 (Very Strong polluted)
4-5	6	심한 오염/매우 심한 오염 (Strong/Very strong polluted)
3-4	5	심한 오염 수준 (Strong polluted)
2-3	4	약간 오염/심한 오염 수준 (Moderately/strongly polluted)
1-2	3	약간 오염 수준 (Moderately polluted)
0-1	2	약간 오염/ 비오염 수준 (Practically unpolluted/moderately polluted)
0	1	비오염 수준 (Practically unpolluted)

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-21] 해양퇴적물 내 농집지수(2019년 6월)

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	0	0	0	0
0-1	1	0	6	0	0	0	0	2	0
0	0	8	2	8	8	8	8	6	8



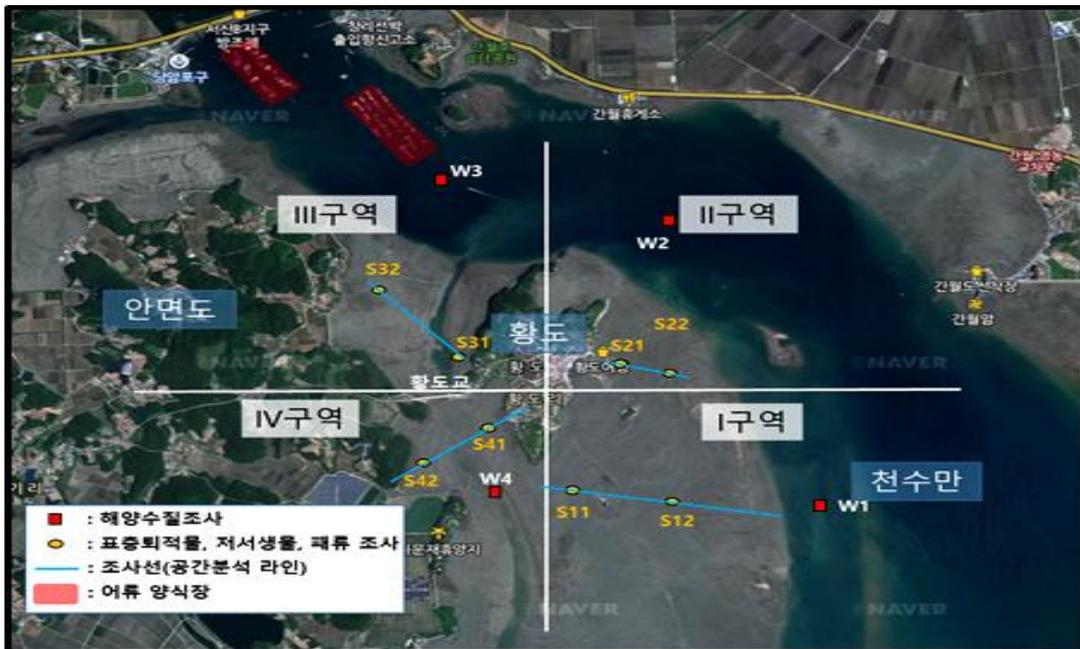
[그림 3-18] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농집지수

3. 저서동물

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

- 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(I 구역~IV구역) 저서동물 조사를 수행하였다(그림 3-19).



[그림 3-19] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사

(2) 시간적 범위

- 조사는 2019년 6월 27일에 저서동물 및 패류자원을 조사하였다.

(3) 내용적 범위

- 황도 주변 저서동물 및 패류자원(바지락) 조사를 수행하였다(표 3-22).

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-22] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치

구 분	정점	조사좌표(WGS84)		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) 시료 채취 방법

① 대형저서동물 현장채집 방법

- 각 정점은 도보로 접근하여 표면적 0.1 m²이 되도록 상자형 코어 채취기(Box corer)를 이용하여 정점별로 반복 채집하였다.
- 채집된 저질퇴적물은 현장에서 1mm 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 생체량(습중량 gWwt., 이후 g로 표기)을 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) 저서동물 분석 방법

■ 군집생태지수

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

■ 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.

■ 저서동물과 환경요인간 상관관계 분석

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

■ 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' (biomass)) 또는 다양도 지수(H' (biomass))와 서식밀도 기준의 균등도(J' (abundance)) 또는 다양도 지수(H' (abundance))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 3-23).

[표 3-23] ISEP 분포에 기초한 조건대 배점 기준

등급	Percentile (%)	ISEP index (조건대)				
		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
좋음	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 분석 방법

- 현장에서 채집된 바지락은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후, 각장, 각고와 각폭을 디지털 캘리퍼스로 소수점 이하 둘째자리까지 mm단위로 측정하였으며, 전 중량을 측정한 후 육질 중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 첫째자리까지 g 단위로 측정하였다(그림 3-20).
- 이 자료를 바탕으로 비만도지수(Condition Index) 를 다음과 같은 식으로 산출하였다.

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



[그림 3-20] 2019년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 채집(좌) 및 측정(우)

(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 5mm 체로 걸러서 2회 반복하여 패류자원(유용수산생물)을 선별한 후 서식밀도를 단위 면적(m²)으로 환산하였다(그림 3-20).

② 분석 내용

■ 개체군 현황

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

■ 비만도

- 이 자료를 바탕으로 비만도지수(Condition Index, CI)를 다음과 같은 식으로 산출하였다.
- 비만도(CI) = 체조직 습중량 / 패각 건중량

■ 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

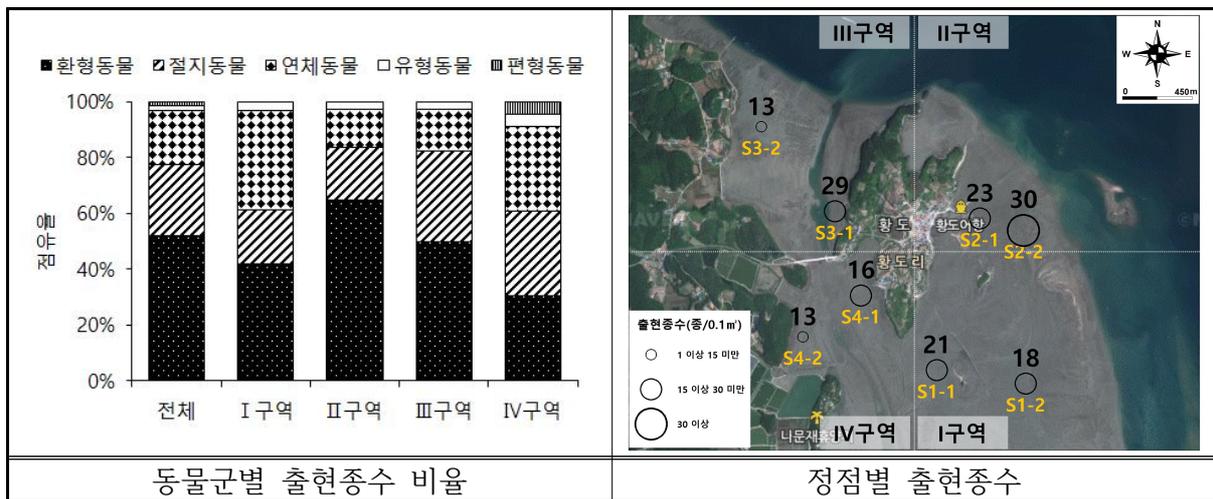
(1) 대형저서동물

① 종 조성

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물은 총 67종/0.8m²이 출현하였다.
- 정점별 평균 출현종수는 20±7종/0.1m²(13~30종/0.1m²)으로 정점 S2-2에서 가장 높고, 정점 S3-2와 S4-2에서 가장 낮았으며, 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다(표 3-24, 그림 3-21).
- 구역별 평균 출현종수는 15±2~27±5종/0.1m² 범위로 II구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았으며, I 구역, II구역과 III구역에서 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였고 IV구역에서는 환형동물, 절지동물과 연체동물이 모두 동일한 점유율을 나타내었다.

[표 3-24] 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	10	6	11	21	17	5	7	3	35
절지동물	4	4	6	4	8	3	4	4	17
연체동물	6	8	5	4	3	4	4	4	13
유형동물	1	-	1	1	1	1	1	1	1
편형동물	-	-	-	-	-	-	-	1	1
합계	21	18	23	30	29	13	16	13	67
평균	20±2		27±5		21±11		15±2		20±7



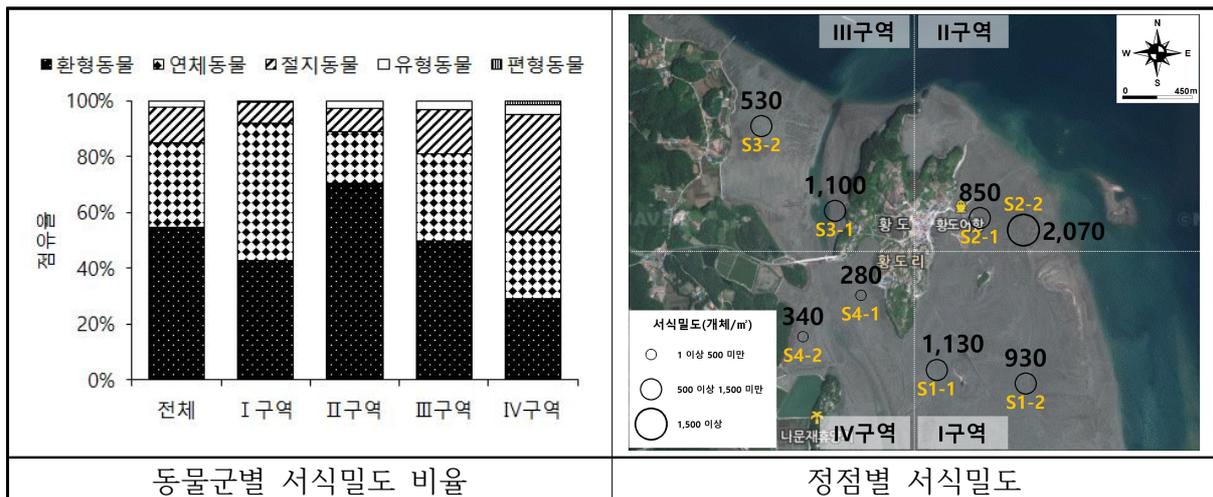
[그림 3-21] 황도 갯벌 저서동물의 동물군별 출현종수 비율 및 정점별 출현종수

② 서식밀도

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 서식밀도는 904 ± 573 개체/ m^2 (280~2,070개체/ m^2)으로 정점 S2-2에서 가장 높고, 정점 S4-1에서 가장 낮았으며, 모든 정점에서 환형동물이 주요 동물군으로 출현하였다[표 3-25, 그림 3-22].
- 구역별 평균 서식밀도는 $310 \pm 42 \sim 1,460 \pm 863$ 개체/ m^2 범위로 II구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았으며, I 구역은 연체동물이, II구역과 III구역은 환형동물이, IV구역에서는 절지동물이 주요 동물군으로 출현하였다.

[표 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 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	
환형동물	760	120	490	1,570	710	100	90	90	3,930
연체동물	270	750	190	340	180	330	100	50	2,210
절지동물	90	60	160	90	180	80	80	180	920
유형동물	10	-	10	70	30	20	10	10	160
편형동물	-	-	-	-	-	-	-	10	10
합계	1,130	930	850	2,070	1,100	530	280	340	7,230
평균	$1,030 \pm 141$		$1,460 \pm 863$		815 ± 403		310 ± 42		904 ± 573



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

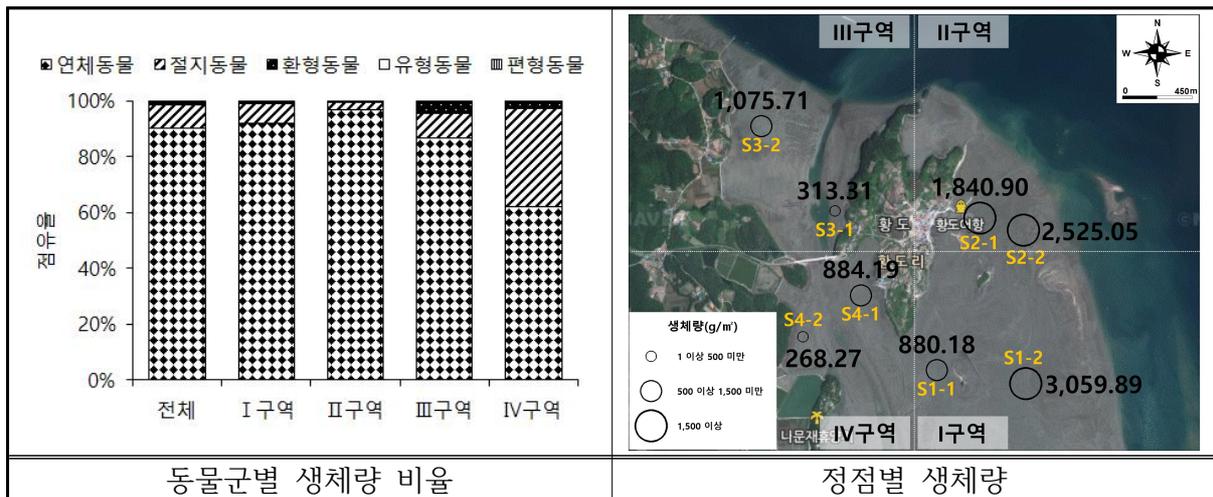
2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

③ 생체량

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물 정점별 평균 생체량은 $1,355.94 \pm 1,021.41 \text{g/m}^2$ ($268.27 \sim 3,059.89 \text{g/m}^2$)으로 정점 S1-2에서 가장 높고, 정점 S4-2에서 가장 낮았으며, 모든 정점에서 연체동물이 주요 동물군으로 출현하였다(표 3-26, 그림 3-23).
- 구역별 평균 생체량은 $576.23 \pm 435.52 \sim 2,182.98 \pm 483.77 \text{g/m}^2$ 범위로 II구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았으며, 모든 구역에서 연체동물이 주요 동물군으로 출현하였다.

[표 3-26] 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	705.25	2,926.77	1,729.55	2,495.68	208.28	998.33	661.69	51.61	9,777.16
절지동물	141.70	129.04	98.85	18.12	45.71	74.90	200.38	204.92	913.62
환형동물	33.08	4.08	8.29	10.94	58.58	2.40	21.78	8.80	147.95
유형동물	0.15	-	4.21	0.31	0.74	0.08	0.34	1.28	7.11
편형동물	-	-	-	-	-	-	-	1.66	1.66
합계	880.18	3,059.89	1,840.90	2,525.05	313.31	1,075.71	884.19	268.27	10,847.50
평균	$1,970.04 \pm 1,541.29$		$2,182.98 \pm 483.77$		694.51 ± 539.10		576.23 ± 435.52		$1,355.94 \pm 1,021.41$



[그림 3-23] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량

④ 우점종

■ 서식밀도 기준 우점종

- 조사지역에서 출현한 저서동물의 서식밀도를 기준으로 상위 5위까지 우점종으로 선정하였다(표 3-27, 그림 3-24).
- 2019년 6월 조사결과, 환형동물에 속하는 다모류인 버들갯지렁이류(*Mediomastus californiensis*)가 전체 서식밀도의 14.4%(130±215개체/m²)를 차지하며 최우점하였고, 그 다음으로 다모류인 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)가 13.2%(119±162개체/m²), 연체동물에 속하는 이매패류인 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 10.6%(96±167개체/m²), 복족류인 갯비틀이고동류(*Cerithideopsilla* sp.)가 9.3%(84±85개체/m²), 왕좁쌀무늬고둥(*Hima festiva*)이 6.4%(58±63개체/m²)의 점유율을 나타냈다.
- 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)는 모든 정점에서 관찰되었으며, 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*), 갯비틀이고동류(*Cerithideopsilla* sp.)와 왕좁쌀무늬고둥(*H. festiva*)은 대부분 정점에서 관찰되었다.
- 바지락(*R. philippinarum*)은 I 구역과 II 구역에서 주로 분포하였으며, 특히 조간대 하부에 속하는 정점 S1-2과 S2-2에서 높은 서식밀도를 나타냈다.

[표 3-27] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(단위:개체/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	
버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i>)	200	30	20	640	60	10	20	60	130±215 (14.4%)
고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i>)	410	30	100	10	340	40	20	-	119±162 (13.2%)
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	10	460	60	230	10	-	-	-	96±167 (10.6%)
갯비틀이고동류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.)	140	-	80	20	90	260	60	20	84±85 (9.3%)
왕좁쌀무늬고둥 (<i>Hima festiva</i>)	70	190	20	80	80	10	10	-	58±63 (6.4%)



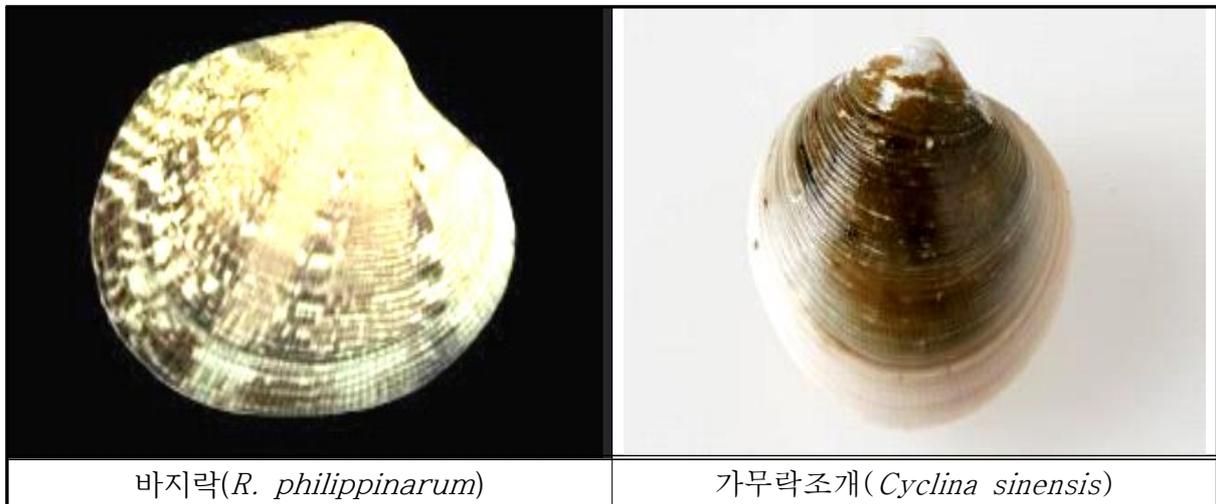
[그림 3-24] 황도 갯벌 저서동물의 서식밀도기준 주요 우점종

■ 생체량 기준 우점종

- 조사지역에서 출현한 저서동물의 생체량을 기준으로 상위 5위까지 우점종으로 선정하였다(표 3-28, 그림 3-25).
- 2019년 6월 조사결과, 바지락(*R. philippinarum*)이 전체 생체량의 64.5%(874.45±1,206.51g/m²)를 차지하며 최우점하였고, 그 다음으로 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개(*C. sinensis*)가 14.7%(198.67±274.81g/m²), 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)가 7.3%(98.98±130.15g/m²), 절지동물에 속하는 게류인 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 2.4%(32.57±38.83g/m²), 수동방게(*Helice tridens wuana*)가 1.5%(20.52±35.77g/m²)의 점유율을 나타냈다.
- 바지락(*R. philippinarum*)은 I구역, II구역 및 III구역에서 분포하며, 특히 조간대 하부에 속하는 정점 S1-2에서 높은 생체량을 나타냈다.
- 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)와 칠게(*M. japonicus*)는 모든 구역에서 관찰되었지만, 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)가 상대적으로 더 많은 정점에서 출현하였다.
- 가무락조개(*C. sinensis*)와 수동방게(*H. wuana*)는 I구역, III구역과 IV구역에서 출현하였다.

[표 3-28] 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>)	25.91	2,816.96	1,608.88	2,400.41	143.45	-	-	-	874.45±1,206.51 (64.5%)
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	489.73	-	-	-	-	548.16	551.45	-	198.67±274.81 (14.7%)
갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp.)	75.82	-	96.40	34.70	44.53	411.68	86.16	42.54	98.98±130.15 (7.3%)
칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	73.07	28.25	-	7.48	-	50.13	101.66	-	32.57±38.83 (2.4%)
수동방개 (<i>Helice tridens wuana</i>)	38.13	-	-	-	-	24.76	-	101.29	20.52±35.77 (1.5%)



[그림 3-25] 황도 갯벌 저서동물의 생체량 기준 주요 우점종

⑤ 생태학적 제지수

■ 종다양성 지수

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 종다양성지수는 2.30±0.36(1.83~2.73)으로 정점 S3-1에서 가장 높고, 정점 S1-2에서 가장 낮았다(표 3-29, 그림 3-26).
- 구역별 평균 종다양성지수는 2.01±0.25~2.58±0.17 범위로 II구역에서 가장 높고, I 구역이 가장 낮았다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 중 다양성지수(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	2.19	1.83	2.70	2.46	2.73	1.85	2.55	2.09	2.30
	2.01±0.25		2.58±0.17		2.29±0.62		2.32±0.33		±0.36

■ **종균등도지수**

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 정점별 평균 종균등도지수는 $0.78 \pm 0.09 (0.63 \sim 0.92)$ 로 정점 S4-1에서 가장 높고, 정점 S1-2에서 가장 낮았다[표 3-30, 그림 3-26].
- 구역별 평균 종균등도지수는 $0.68 \pm 0.06 \sim 0.87 \pm 0.08$ 범위로 IV구역에서 가장 높고, I 구역이 가장 낮았다.

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

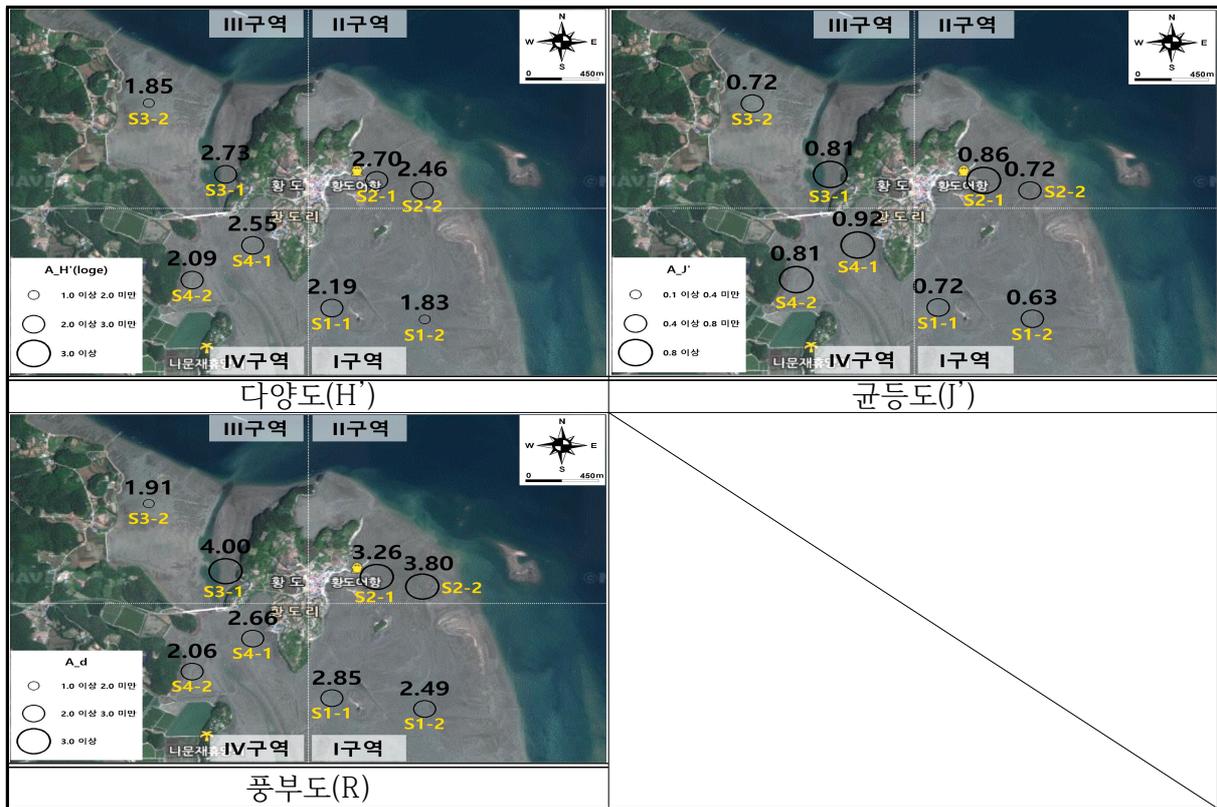
구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
종균등도지수	0.72	0.63	0.86	0.72	0.81	0.72	0.92	0.81	0.78
	0.68 ± 0.06		0.79 ± 0.10		0.76 ± 0.06		0.87 ± 0.08		± 0.09

■ **종풍부도 지수**

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 출현한 저서동물 구역별 평균 종 풍부도 지수는 $2.36 \pm 0.43 \sim 3.53 \pm 0.38$ 범위로 II구역에서 가장 높고, IV구역이 가장 낮았다[표 3-31, 그림 3-26].

[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물의 정점별 중 풍부도지수(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	2.85	2.49	3.26	3.80	4.00	1.91	2.66	2.06	2.88
	2.67 ± 0.25		3.53 ± 0.38		2.96 ± 1.47		2.36 ± 0.43		± 0.76



(그림 3-26) 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교

⑥ 군집 및 MDS 분석

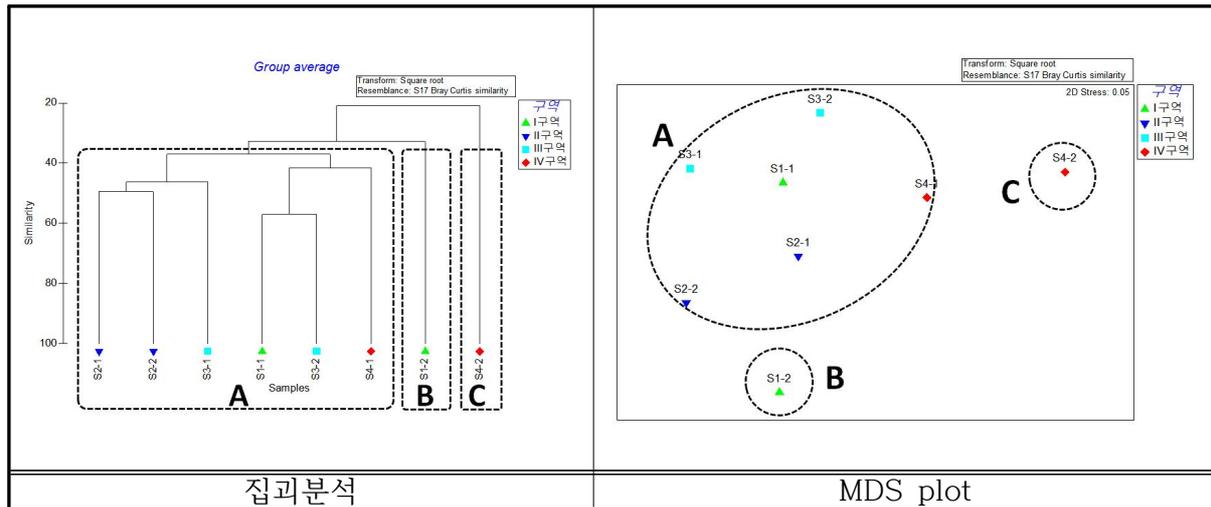
- 황도 갯벌 저서동물 군집의 공간적인 분포 특성을 파악하기 위해서 2019년 6월에 조사된 증별 서식밀도 및 생체량 자료를 바탕으로 집괴분석(Cluster analysis)과 다차원척도법(non-metric multi-dimensional scaling)분석을 각각 실시하였다. 구분된 군집의 기여종(특징종)을 파악하기 위해 SIMPER(similarity percentage) 분석하였다. 더불어 구역에 따른 군집의 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 이용하였다.

■ 서식밀도 기준 분석

- 서식밀도 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 정점군 3개(A, B, C)로 구분되었다[표 3-33, 그림 3-27].
- 정점군별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 정점군 A의 경우, 정점 S1-1, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2와 S4-1로 이루어졌으며, 기여종(학명, 기여율)은 갯비틀이고동류(*Cerithideopsis* sp., 16.3%), 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*, 12.6%)와 버들갯지렁이류(*M. californiensis*, 10.0%) 등이 선정되었다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- 정점군 B는 정점 S1-2, 정점군 C는 정점 S4-2로 각각 구분되었으며, 정점군 B와 C는 정점군에 하나 정점만 포함되어 기여종 선정이 불가능하였다.
- 서식밀도 기준 저서동물 군집은 구역에 따른 차이는 없었으며, 이는 ANOSIM test 결과에서도 유의하지 않은 것으로 분석되었다($p>0.05$)(표 3-33).



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

[표 3-32] 황도 갯벌 저서동물의 정점군별 군집 기여종(서식밀도 기준)

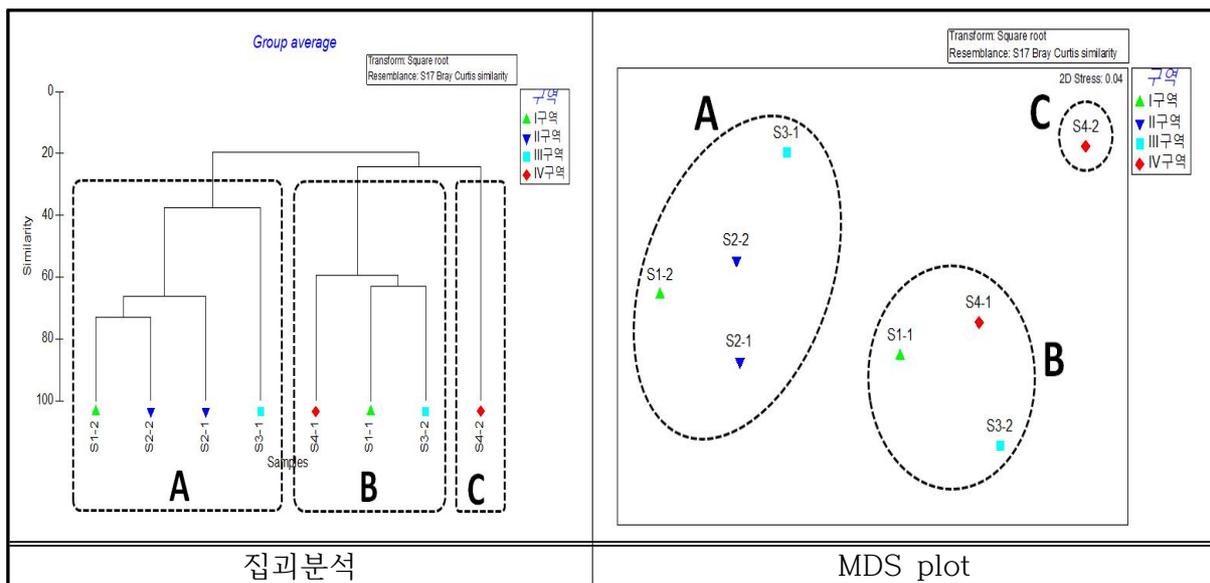
정점군	A	B	C
정점	S1-1, S2-1, S2-2, S3-1, S3-2, S4-1	S1-2	S4-2
기여종 (기여율)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp., 16.3%)	-	-
	고리버들갯지렁이 (<i>Heteromastus filiformis</i> , 12.6%)	-	-
	버들갯지렁이류 (<i>Mediomastus californiensis</i> , 10.0%)	-	-

[표 3-33] 황도 갯벌 저서동물의 구역별 유사성 분석(서식밀도 기준)

ANOSIM	항 목	R statistic	Significance(p)
구역간(I 구역, II 구역, III 구역, IV 구역)	서식밀도	0.292	$p>0.05$

■ 생체량 기준 분석

- 생체량 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 정점군 3개(A, B, C)로 구분되었다(표 3-34, 그림 3-28).
- 정점군별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 정점군 A의 경우, 정점 S1-2, S2-1, S2-2와 S3-1로 이루어졌으며, 기여종(학명, 기여율)은 바지락(*R. philippinarum*, 60.7%), 왕좁쌀무늬고둥(*H. festiva*, 8.9%)과 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp., 7.7%) 등이 선정되었다.
- 정점군 B의 경우, 정점 S1-1, S3-2와 S4-1로 이루어졌으며, 기여종(학명, 기여율)은 가무락조개 (*C. sinensis*, 50.8%), 갯비틀이고둥류 (*Cerithideopsilla* sp., 20.0%)와 칠게(*M. japonicus*, 17.0%) 등이 선정되었다.
- 정점군 C는 정점 S4-2로 구분되어졌으며, 정점군에 하나 정점만 포함되어 기여종 선정이 불가능 하였다.
- 생체량 기준 저서동물 군집은 구역에 따른 차이는 없었으며(Global R: 0.146, $p > 0.05$)(표 3-35), 단일 개체당 생체량이 높은 바지락(*R. philippinarum*)과 가무락조개(*C. sinensis*) 출현 양상에 따라 군집 차이를 보인 것으로 판단되었다.



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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-34] 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> , 60.7%)	가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i> , 50.8%)	-
	왕좁쌀무늬고둥 (<i>Hima festiva</i> , 8.9%)	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp., 20.0%)	-
	갯비틀이고둥류 (<i>Cerithideopsilla</i> sp., 7.7%)	칠게 (<i>Macrophthalmus japonicus</i> , 17.0%)	-

“-” : Less than 2 samples in group

[표 3-35] 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	0.146	p>0.05

⑦ 저서동물과 퇴적환경용인간의 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 3-36).
- 출현종수는 평균입경(ϕ)과 유의한 음의 상관성을 나타내었다($p<0.01$).
- 서식밀도는 모래함량과 유의한 양의 상관성을 보인 반면, 평균입경(ϕ), Cu(mg/kg)와 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 분석되었다($p<0.05$).
- 생체량은 함수율, TOC와 유의한 음의 상관성을 나타내었으며($p<0.01$), 또한 강열함량, COD 및 Hg($\mu\text{g}/\text{kg}$)와 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 분석되었다($p<0.05$).
- 종다양성지수는 퇴적환경요인과 통계적으로 유의한 상관성이 없는 것으로 분석되었다($p>0.05$).
- 평균입경(ϕ)이 조립할수록 출현종수와 서식밀도는 증가하고, 모래함량이 높아질수록 서식밀도는 증가하나, 중금속인 Cu(mg/kg)가 높아질수록 서식밀도는 감소하는 것으로 분석되었다.
- 함수율, 강열감량, TOC, COD 및 중금속인 Hg($\mu\text{g}/\text{kg}$)가 높아질수록 생체량이 감소하는 것으로 분석되었다.

[표 3-36] 황도 갯벌 저서동물과 퇴적환경요인 간 상관관계(Spearman 상관분석)

구분	출현종수	서식밀도	생체량	종다양성지수	
모래함량(%)	0.683	0.738*	0.690	0.071	
평균입경(Φ)	-0.916**	-0.826*	-0.467	-0.431	
분급도(Φ)	-0.096	-0.476	-0.571	0.524	
함수율(%)	-0.108	-0.263	-0.850**	0.431	
AVS(mg/g)	0.301	0.695	0.299	-0.371	
강열감량(%)	-0.084	-0.381	-0.738*	0.476	
TOC(%)	0.038	-0.200	-0.851**	0.601	
COD(mg/g)	-0.199	-0.455	-0.778*	0.443	
중금속	Cr(mg/kg)	-0.503	-0.643	-0.595	0.024
	Cu(mg/kg)	-0.599	-0.762*	-0.548	-0.024
	Cd(mg/kg)	-0.517	-0.558	-0.419	-0.152
	Pb(mg/kg)	0.515	0.333	-0.024	0.286
	Zn(mg/kg)	-0.503	-0.643	-0.595	0.024
	Ni(mg/kg)	-0.503	-0.643	-0.595	0.024
	Li(mg/kg)	-0.623	-0.690	-0.619	-0.095
	As(mg/kg)	-0.307	-0.683	-0.335	0.228
	Hg(μg/kg)	-0.240	-0.167	-0.738*	0.024

* p < 0.05, ** p < 0.01

⑧ 건강도 지수(ISEP)

- 2019년 6월 황도 갯벌의 건강도 지수(ISEP) 등급은 정점별 평균 4±1등급(2~6등급)으로 정점 S2-1와 S2-2에서 가장 양호하고, 정점 S1-1에서 가장 낮은 건강도로 추정되었다(3-37).
- 구역별 평균 건강도 지수 등급은 2±0~5±2등급 범위로 II구역에서 가장 양호하고, 나머지 구역(I, III 및 IV구역)들은 “나쁨”에 해당되는 건강도로 추정되었다.

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

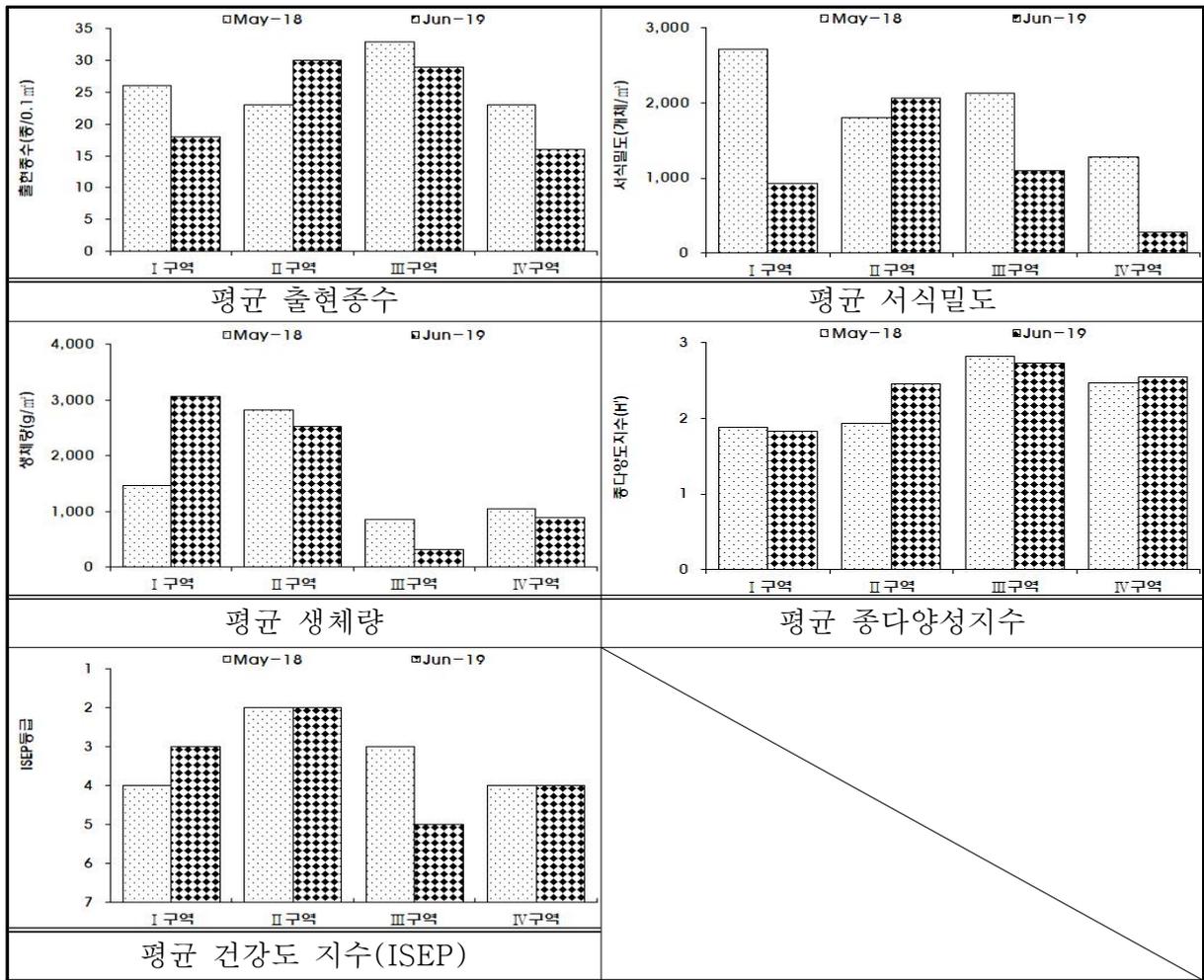
구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
건강도 지수	6(나쁨)	3(좋음)	2(좋음)	2(좋음)	5(나쁨)	4(보통)	4(보통)	5(나쁨)	4±1 (보통)
	5±2(나쁨)		2±0(좋음)		5±1(나쁨)		5±1(나쁨)		

⑨ 2018년 자료와의 비교 분석

- 황도 갯벌 저서동물을 대상으로 동일 지점(S1-2, S2-2, S3-1, S4-1)에서 조사된 2018년 5월과 본 조사 결과(2019년 6월)를 비교·분석하였다(표 3-38, 그림 3-29).
- 평균 출현종수는 2018년도 26±5종/0.1m²으로 2019년도 23±7종/0.1m²과 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 살펴보면, II구역은 2019년도에 증가하였으나, 나머지 구역에서는 2018년도보다 감소하였다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- 평균 서식밀도는 2018년도가 $1,985 \pm 602$ 개체/ m^2 으로 2019년도 $1,095 \pm 740$ 개체/ m^2 보다 높은 서식밀도를 보였으며, 구역별로 살펴보면, II구역은 2019년도에 증가하였으나, 나머지 구역에서는 2018년도보다 감소하였다.
- 평균 생체량은 2018년도가 $1,547.57 \pm 887.57g/m^2$ 으로 2019년도 $1,695.61 \pm 1,306.19g/m^2$ 보다 상대적으로 낮은 값을 나타냈으며, 구역별로 살펴보면, I 구역은 2019년도에 증가하였으나, 나머지 구역에서는 2018년도보다 감소하였다.
- 평균 종다양성지수는 2018년도에 2.28 ± 0.45 로 2019년도 2.39 ± 0.39 와 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 살펴보면, II구역은 2019년도에 증가하였으나, 나머지 구역에서는 2018년도와 유사한 수준을 보였다.
- 건강도 지수(ISEP)는 2018년에 3 ± 1 등급(좋음)으로 2019년도 4 ± 1 등급(보통)보다 상대적으로 높은 건강성을 지닌 것으로 추정되었으며, 구역별로 살펴보면, I 구역은 2019년도에 증가(4등급: 보통)→3등급: 좋음)하였고, III구역에서는 2018년도보다 감소(3등급: 좋음→5등급: 나쁨), II구역과 IV구역은 조사시기 간 동일한 건강도로 평가되었다.
- 시기적인 건강도 등급 변화는 바지락 증감 폭에 따라 좌우되는 것으로 분석되었다.
- III구역의 경우, 바지락의 생체량 우점율이 2018년도 77.8%에서 2019년도 45.8%로 대폭 감소하여 건강도 등급이 낮아졌으며, I 구역은 바지락의 생체량 우점율이 2018년도 75.7%에서 2019년도 92.1%로 증가하여 건강도 등급이 높아졌다.
- 조사시기간 상위우점종을 살펴보면, 먼저 서식밀도의 경우 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 모든 조사시기에서 최우점종을 차지하였으며, 그 나머지 우점종들도 조사시기간 유사하였다. 다만 종들의 서식밀도 및 우점율은 2019년도에 감소하는 경향이 나타났다.
- 생체량 상위우점종은 바지락(*R. philippinarum*)이 모든 조사시기에서 최우점종을 차지하였으며, 그 나머지 우점종들도 조사시기간 동일하게 상위우점종으로 선정되었다.



[그림 3-29] 황도 갯벌 저서동물의 현황 및 과거자료간 비교

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-38] 황도 갯벌 저서동물의 과거자료 비교·분석

구분	황도 갯벌	
	2018년	2019년(본 조사)
조사시기	5월	6월
평균 출현종수 (종/0.1m ²)	26±5	23±7
평균 서식밀도 (개체/m ²)	1,985±602	1,095±740
평균 생체량 (g/m ²)	1,547.57±887.57	1,695.61±1,306.19
평균 종다양성지수 (H')	2.28±0.45	2.39±0.39
평균 건강도 지수 (ISEP)	3±1등급(좋음)	4±1등급(보통)
서식밀도 상위우점종 (평균, 우점율)	버들갯지렁이류(<i>Mediomastus californiensis</i>) 550개체/m ² (27.7%)	버들갯지렁이류(<i>Mediomastus californiensis</i>) 188개체/m ² (17.2%)
	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>) 178개체/m ² (8.9%)	고리버들갯지렁이(<i>Heteromastus filiformis</i>) 100개체/m ² (9.1%)
	남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>) 160개체/m ² (8.1%)	왕좁쌀무늬고둥(<i>Hima festiva</i>) 90개체/m ² (8.2%)
	숨털별난가시갯지렁이(<i>Aricidea assimilis</i>) 103개체/m ² (5.2%)	숨털별난가시갯지렁이(<i>Aricidea assimilis</i>) 70개체/m ² (6.4%)
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%)
	가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>) 143.47g/m ² (9.3%)	가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>) 137.86g/m ² (8.1%)
	굴(<i>Crassostrea gigas</i>) 118.28g/m ² (7.6%)	갯비틀이고둥류(<i>Cerithideopsisilla</i> sp.) 41.35g/m ² (2.4%)
	갯비틀이고둥류(<i>Cerithideopsisilla</i> sp.) 34.65g/m ² (2.2%)	칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>) 34.35g/m ² (2.0%)
	돌고부지(<i>Trapezium liratum</i>) 19.31g/m ² (1.2%)	풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>) 25.84g/m ² (1.5%)

(2) 패류자원

① 출현종수, 서식밀도 및 생체량

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원은 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개(*Cyclina sinensis*)와 바지락(*Ruditapes philippinarum*)으로 총 2종이 채집되었다.
- I 구역과 III구역에서는 가무락조개(*C. sinensis*)와 바지락(*R. philippinarum*)이 모두 출현하였지만, II구역에는 바지락(*R. philippinarum*)만, IV구역에서는 가무락조개(*C. sinensis*)만 출현하였다.
- 패류자원 서식밀도는 정점별 평균 67 ± 102 개체/ m^2 으로 정점 S2-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, 구역별 평균은 $1 \pm 1 \sim 204 \pm 136$ 개체/ m^2 범위로 II구역에서 가장 높은 서식밀도를 나타내었다(표 3-39, 그림 3-30).
- 가무락조개(*C. sinensis*)는 정점별 평균 4 ± 8 개체/ m^2 로 정점 S3-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, III구역에서 가장 높은 서식밀도를 나타내었다(표 18; 그림 12).
- 바지락(*R. philippinarum*)은 정점별 평균 63 ± 105 개체/ m^2 로 정점 S2-2에서 가장 높은 서식밀도를 보였으며, II구역에서 가장 높은 출현빈도와 서식밀도를 나타내었다.

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

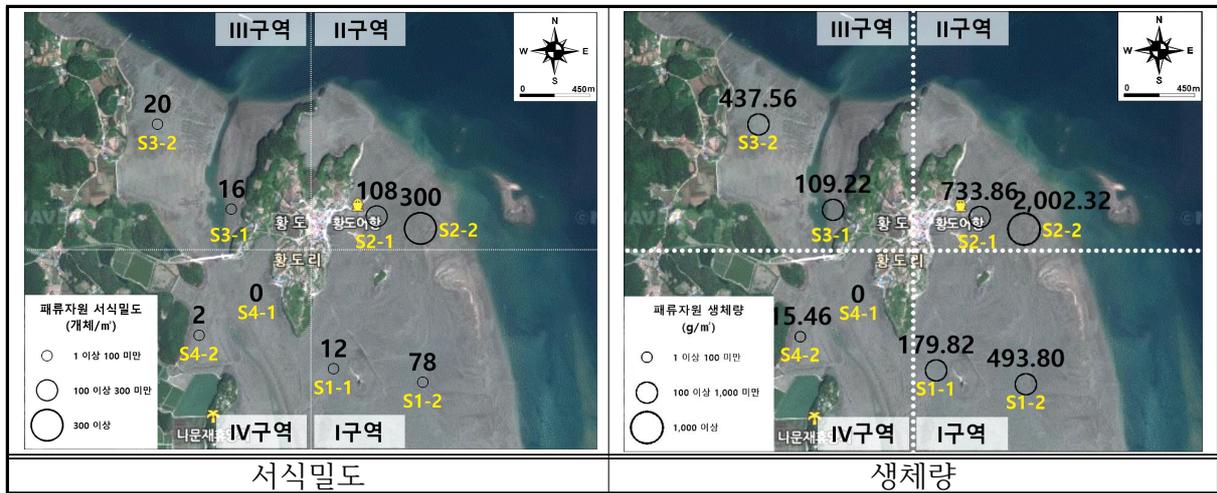
구분	I 구역		II구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	12	-	-	-	-	20	-	-2	4 ± 8
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	78	108	300	16	-	-	-	63 ± 105
평균 서식밀도	45 ± 47		204 ± 136		18 ± 3		1 ± 1		67 ± 102
총 출현종수	1	1	1	1	1	1	0	1	2

- 패류자원 생체량은 정점별 평균 $496.51 \pm 660.68g/m^2$ 으로 S2-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, 구역별 평균은 $7.73 \pm 10.93 \sim 1,368.09 \pm 896.94g/m^2$ 범위로 II구역에서 가장 높은 생체량을 나타냈다(표 3-40, 그림 3-30).
- 가무락조개(*C. sinensis*)는 정점별 평균 $79.11 \pm 157.65g/m^2$ 로 정점 S3-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, III구역에서 가장 높은 생체량을 보였다.
- 바지락(*R. philippinarum*)은 정점별 평균 $417.40 \pm 697.94g/m^2$ 로 정점 S2-2에서 가장 높은 생체량을 보였으며, II구역에서 가장 높은 생체량을 기록하였다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[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>)	179.82	-	-	-	-	437.56	-	15.46	79.11± 157.65
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	493.80	733.86	2,002.32	109.22	-	-	-	417.40 ±697.94
평균 생체량	336.81±222.02		1,368.09±896.94		273.39±232.17		7.73±10.93		496.51 ±660.68



[그림 3-30] 황도 갯벌 패류자원의 서식밀도 및 생체량

② 개체특성

■ 각장, 각고, 각폭

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 형태적 특성을 파악하기 위하여 각장, 각폭 및 각고를 분석하였으며, 각 종별로 제시하였다.
- 가무락조개(*C. sinensis*) 각장은 정점별 평균 39.37±8.28mm(30.23~42.54±4.46mm)로 정점 S3-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 30.23±0.00~42.54±4.46mm 범위로 III구역에서 가장 크게 나타났다[표 3-41, 그림 3-31].
- 바지락(*R. philippinarum*) 각장은 정점별 평균 31.97±5.98mm(31.12±6.29~32.46±3.82mm)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 31.40±6.54~32.46±3.82mm 범위로 구역간 유사하였다.

[표 3-41] 황도 갯벌 패류자원의 각장(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>)	35.60 ±11.39	-	-	-	-	42.54 ±4.46	-	30.23	39.37 ±8.28
	35.60±11.39		-		42.54±4.46		30.23±0.00		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	32.46 ±3.82	31.12 ±6.29	32.19 ±6.31	31.40 ±6.54	-	-	-	31.97 ±5.98
	32.46±3.82		31.90±6.31		31.40±6.54		-		

- 가무락조개(*C. sinensis*) 각폭은 정점별 평균 24.68±5.51mm(16.81~26.81±3.00mm)로 정점 S3-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 16.81±0.00~26.81±3.00mm 범위로 III구역에서 가장 크게 나타났다[표 3-42, 그림 3-31].
- 바지락(*R. philippinarum*) 각폭은 정점별 평균 14.91±3.20mm(14.69±3.29~15.27±3.61mm)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 14.84±3.38~15.20±2.08mm 범위로 구역간 유사하였다.

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

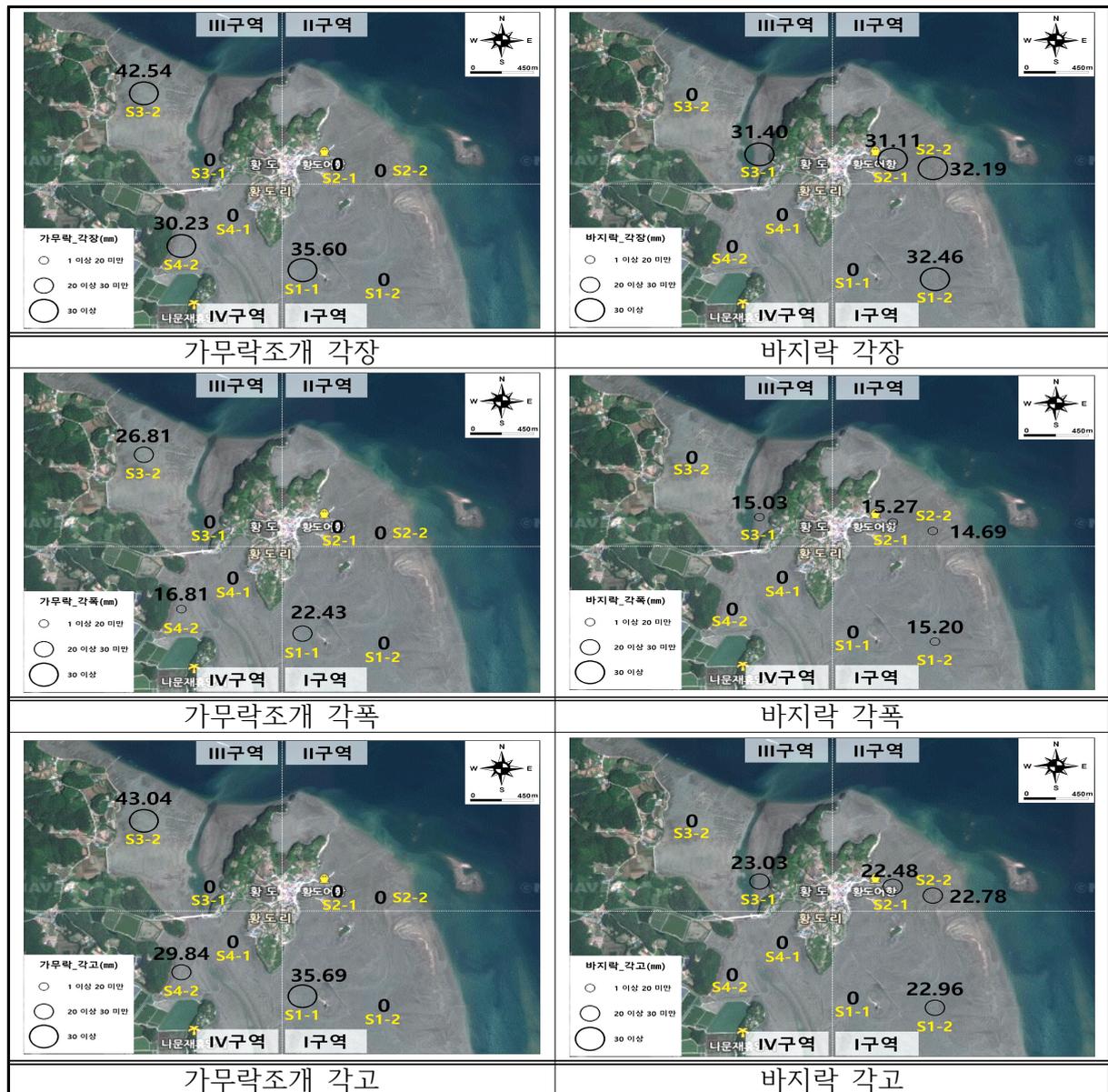
구분	I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	22.44 ±7.31	-	-	-	-	26.81 ±3.00	-	16.81	24.68 ±5.51
	22.44±7.31		-		26.81±3.00		16.81±0.00		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	15.20 ±2.08	15.27 ±3.61	14.69 ±3.29	15.03 ±3.44	-	-	-	14.91 ±3.20
	15.20±2.08		14.84±3.38		15.03±3.44		-		

- 가무락조개(*C. sinensis*) 각고는 정점별 평균 39.67±8.76mm(29.84~43.04±4.82mm)로 정점 S3-2에서 가장 컸으며, 구역별 평균은 29.84±0.00~43.04±4.82mm 범위로 III구역에서 가장 크게 나타났다[표 3-43, 그림 3-31].
- 바지락(*R. philippinarum*) 각고는 정점별 평균 22.75±4.34mm(22.48±4.88~23.03±4.86mm)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 22.70±4.57~23.03±4.86mm 범위로 구역간 유사하였다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

[표 3-43] 황도 갯벌 패류자원 각고(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>)	35.69 ±11.94	-	-	-	-	43.04 ±4.82	-	29.84	39.67 ±8.76
	35.69±11.94		-		43.04±4.82		29.84±0.00		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	22.96 ±2.74	22.48 ±4.88	22.78 ±4.47	23.03 ±4.86	-	-	-	22.75 ±4.34
	22.96±2.74		22.70±4.57		23.03±4.86		-		



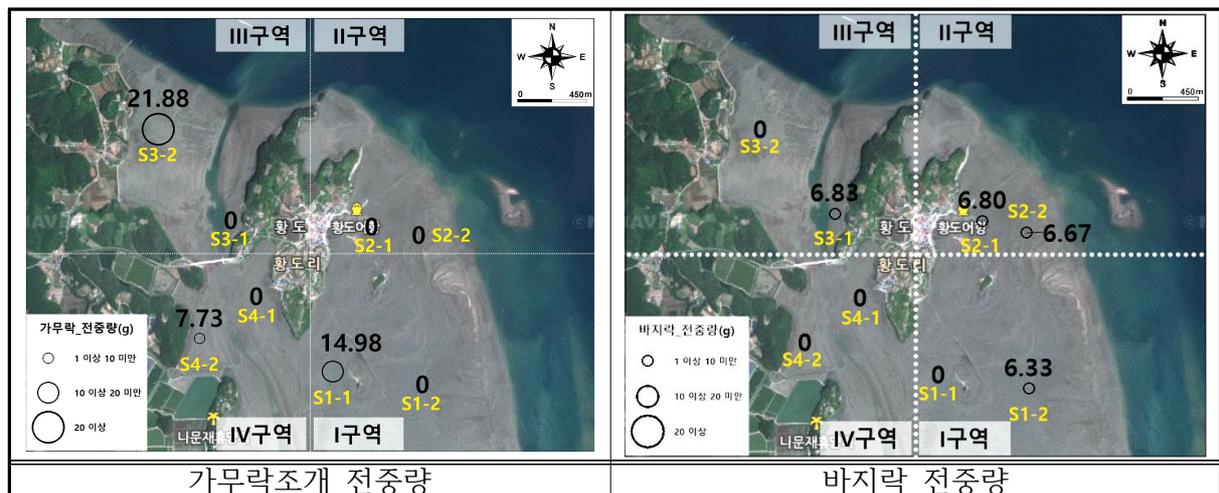
(그림 3-31) 황도 갯벌 패류자원의 각장, 각폭 및 각고

■ 전중량

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 전중량을 측정하여 분석하였으며, 각 종별로 제시하였다(표 3-44, 그림 3-32).
- 2019년 6월 황도 갯벌의 가무락조개(*C. sinensis*) 전중량은 정점별 평균 $18.61 \pm 8.55\text{g}$ ($7.73 \sim 21.88 \pm 6.43\text{g}$)로 정점 S3-2에서 가장 높고, 구역별 평균은 $7.73 \pm 0.00 \sim 21.88 \pm 6.43\text{g}$ 범위로 III구역에서 가장 높았다.
- 바지락(*R. philippinarum*) 전중량은 정점별 평균 $6.65 \pm 3.94\text{g}$ ($6.33 \pm 2.42 \sim 6.83 \pm 3.89\text{g}$)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 $6.33 \pm 2.42 \sim 6.83 \pm 3.89\text{g}$ 범위로 구역간 유사하였다.

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

구분	I 구역		II 구역		III구역		IV구역		전체
	S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2	
가무락조개 (<i>Cyclina sinensis</i>)	14.99 ±9.95					21.88 ±6.43		7.73	18.61 ±8.55
	14.99±9.95		-		21.88±6.43		7.73±0.00		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)		6.33 ±2.42	6.80 ±5.43	6.67 ±3.66	6.83 ±3.89	-	-	-	6.65 ±3.94
	6.33±2.42		6.71±4.18		6.83±3.89		-		



[그림 3-32] 황도 갯벌 패류자원의 정점별 전중량

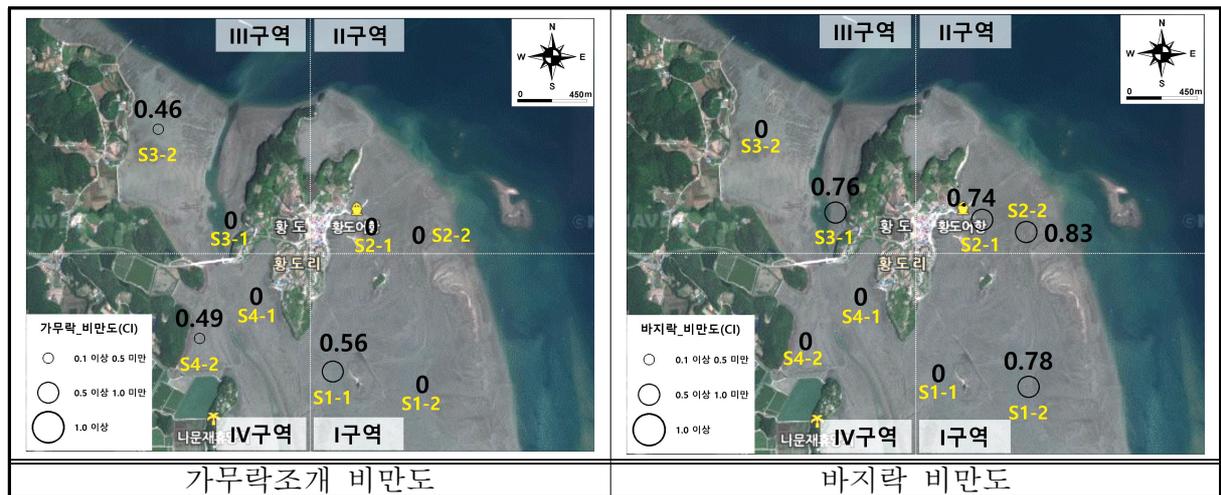
2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

③ 비만도

- 2019년 6월 황도 갯벌에서 채집된 패류자원의 비만도를 산출하였으며, 각 종별로 제시하였다(표 3-45, 그림 3-33).
- 가무락조개(*C. sinensis*) 비만도는 정점별 평균 0.50 ± 0.10 ($0.46 \pm 0.08 \sim 0.56 \pm 0.12$)으로 정점 S1-1에서 가장 높고, 구역별 비만도는 평균은 $0.46 \pm 0.08 \sim 0.56 \pm 0.12$ 범위로 I 구역에서 가장 높았다.
- 바지락(*R. philippinarum*) 비만도는 정점별 평균 0.80 ± 0.12 ($0.74 \pm 0.08 \sim 0.83 \pm 0.14$)로 정점별로 유사하였으며, 구역별 평균은 $0.76 \pm 0.07 \sim 0.81 \pm 0.13$ 범위로 구역간 유사하였다.

[표 3-45] 황도 갯벌 패류자원 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>)	0.56 ± 0.12	-	-	-	-	0.46 ± 0.08	-	0.49	0.50 ± 0.10
	0.56 ± 0.12		-		0.46 ± 0.08		0.49 ± 0.00		
바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	-	0.78 ± 0.08	0.74 ± 0.08	0.83 ± 0.14	0.76 ± 0.07	-	-	-	0.80 ± 0.12
	0.78 ± 0.08		0.81 ± 0.13		0.76 ± 0.07		-		



[그림 3-33] 황도 갯벌 패류자원 정점별 비만도

④ 패류자원과 퇴적환경요인간의 상관관계

- 황도 갯벌 패류자원(중별 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).
- 가무락조개(*C. sinensis*)는 퇴적환경요인과 통계적으로 유의한 상관성을 나타내지 않은 것으로 분석되었다($p > 0.05$).
- 바지락(*R. philippinarum*)은 모래함량(%)과 유의한 양의 상관성을 나타냈지만, 평균입경(Φ)과 유의한 음의 상관성이 있는 것으로 분석되었다($p < 0.05$).
- 모래함량(%)이 높고 평균입경(Φ)이 조립할수록 바지락(*R. philippinarum*)의 서식밀도 및 생체량은 증가하는 것으로 분석되었다.

[표 3-46] 황도 갯벌 패류자원과 퇴적환경요인간 상관관계(Spearman 상관분석)

구 분	가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>)	바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	
모래함량(%)	-0.191	0.723*	
평균입경(Φ)	0.384	-0.797*	
분급도(Φ)	-0.382	-0.254	
함수율(%)	-0.027	-0.459	
AVS(mg/g)	0.055	0.108	
강열감량(%)	-0.245	-0.266	
TOC(%)	-0.086	-0.307	
COD(mg/g)	-0.041	-0.338	
중금속	Cr(mg/kg)	-0.055	-0.457
	Cu(mg/kg)	-0.055	-0.520
	Cd(mg/kg)	-0.073	-0.500
	Pb(mg/kg)	-0.627	0.520
	Zn(mg/kg)	-0.055	-0.457
	Ni(mg/kg)	-0.055	-0.457
	Li(mg/kg)	0.055	-0.634
	As(mg/kg)	-0.453	-0.198
Hg(μ g/kg)	0.109	-0.457	

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

⑤ 2018년 자료와의 비교 분석

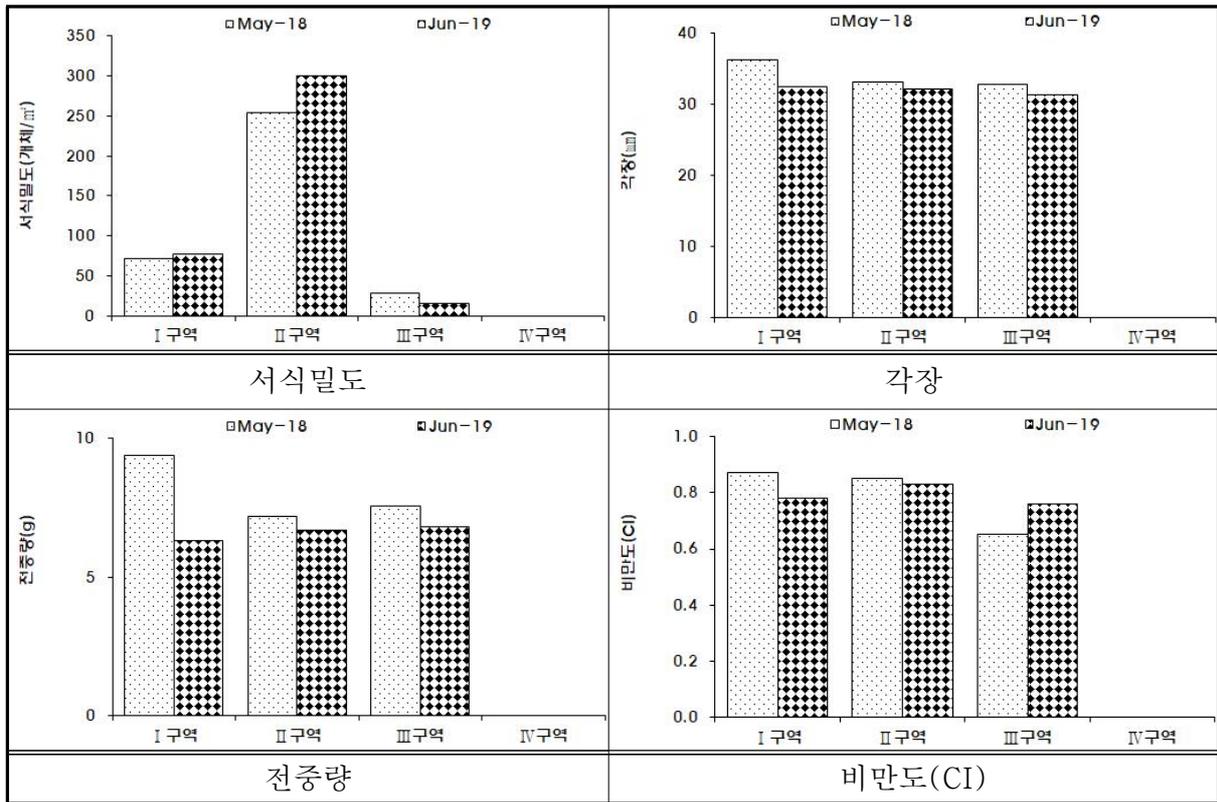
- 황도 갯벌 패류자원을 대상으로 동일 지점에서 조사된 2018년과 본 조사 결과를 비교·분석하였다(표 3-47, 그림 3-34, 35).
- 패류자원은 2018년도와 2019년도 모두 연체동물에 속하는 이매패류인 바지락(*R. philippinarum*) 1종만 채집되었다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

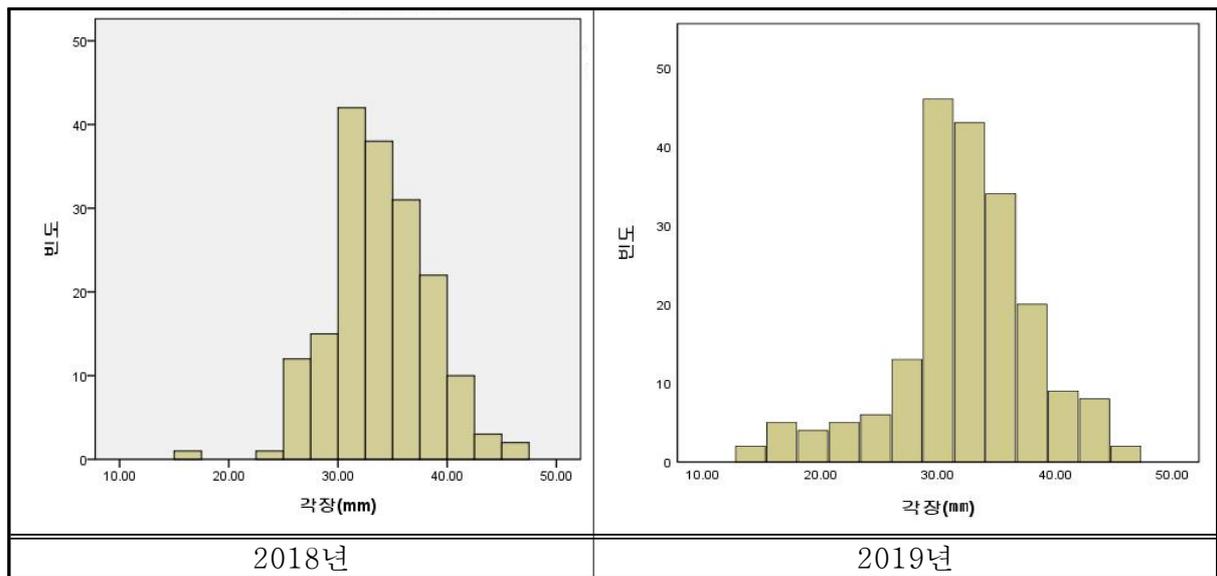
- 평균 서식밀도는 2018년도에 118 ± 120 개체/ m^2 , 2019년도에 131 ± 149 개체/ m^2 로 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 살펴보면, II구역에서 가장 높은 개체가 출현하였으며, 2019년도에 증가하였다.
- 평균 각장은 2018년도가 34.12 ± 1.92 mm로 2019년도 32.02 ± 0.55 mm보다 높았으며, 구역별로 살펴보면, 구역별로 유사한 크기를 나타냈다.
- 평균 전중량은 2018년도가 8.03 ± 1.19 g으로 2019년도 6.61 ± 0.26 g보다 높았으며, 구역별로 살펴보면, I구역의 조사시기별 차이가 가장 컸다.
- 평균 비만도는 2018년도가 0.79 ± 0.12 로 2019년도 0.79 ± 0.04 와 유사한 수준을 보였으며, 구역별로 서로 다른 경향성이 관찰되었다.
- 채집된 바지락(*R. philippinarum*) 각장(mm)에 대한 히스토그램(출현빈도)을 살펴보면, 약 10~20mm 범위에 해당되는 개체가 2019년도에 다량 출현하는 양상이 나타났다<그림 18>.

[표 3-47] 황도 갯벌 패류자원(바지락) 과거자료 비교·분석

구분	황도 갯벌 하계	
	2018년	2019년(본 조사)
조사시기	5월	6월
출현종	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	바지락 (<i>Ruditapes philippinarum</i>)
서식밀도 (개체/ m^2)	118 ± 120	131 ± 149
각장(mm)	34.12 ± 1.92	32.02 ± 0.55
전중량(g)	8.03 ± 1.19	6.61 ± 0.26
비만도	0.79 ± 0.12	0.79 ± 0.04



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



[그림 3-35] 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 2018년과 2019년 하계 히스토그램

4. 종합평가

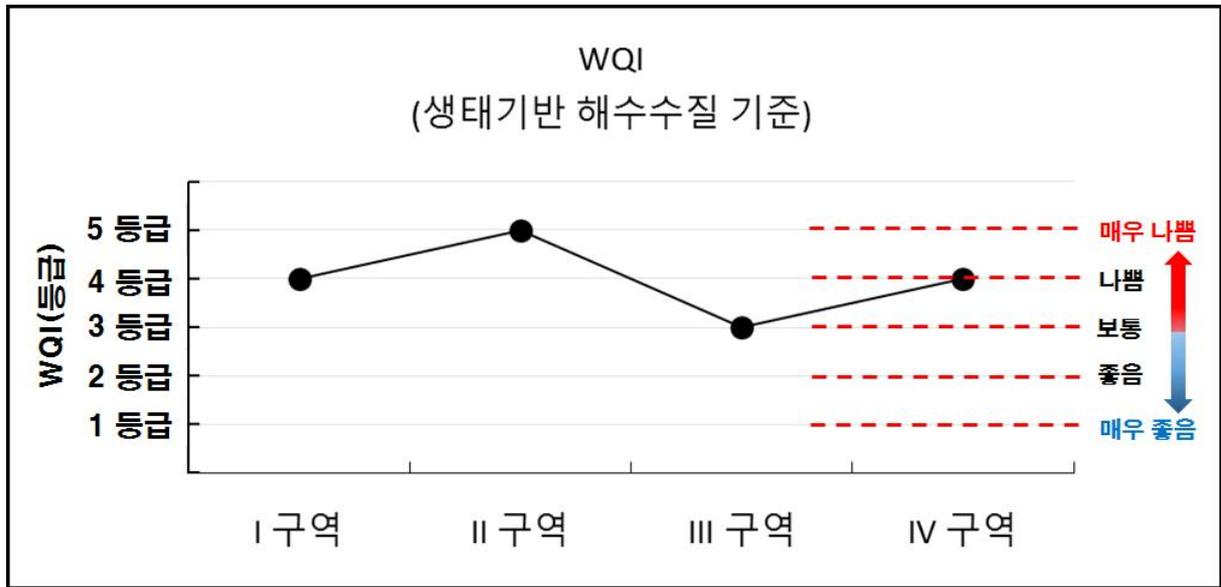
1) 황도 구역별 수질 특성

(1) 현장 조사 구역별 생태기반 해수수질기준(WQI) 특성

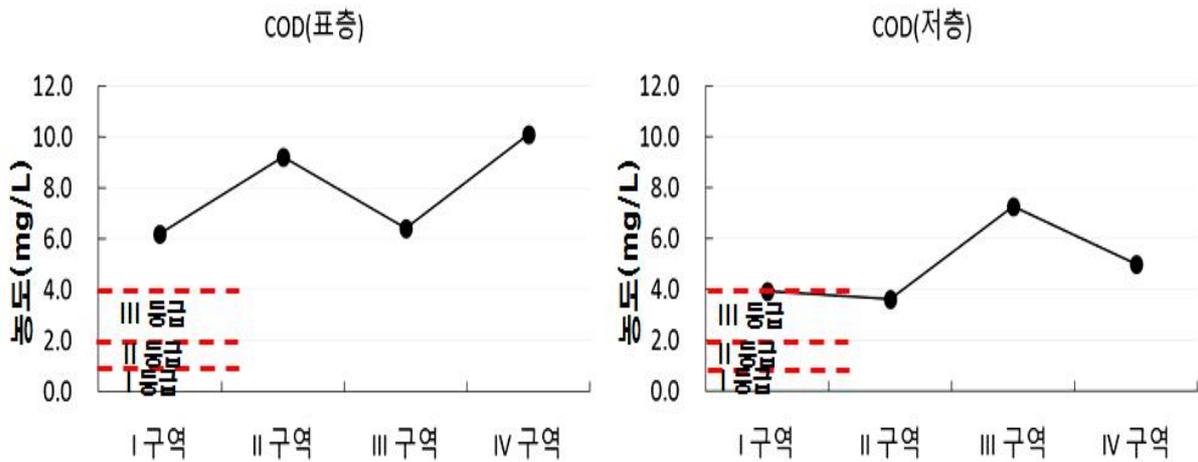
- 2019년 황도 주변 생태기반 해수수질등급(WQI)를 살펴보면 3등급(보통)~5등급(매우 나쁨)을 보여 계절적 특성 및 집중 강우에 따른 하구호 방류에 의해 수질도 악화되고 있음을 알 수 있었다(표 3-48, 그림 3-36).
- 현재 해양(연안)의 수질등급을 판단할 때에는 해양수질평가지수(WQI)를 사용하지만 WQI지수가 시행되기 전에 화학적산소요구량(COD)기준을 사용되었으며, COD기준은 1등급~3등급으로 구분된다(표 3-48, 그림 3-37).
- 황도 주변 해수 수질을 화학적산소요구량(COD)기준(표 3-49)으로 볼 때, 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 수온 상승 등에 의해 클로로필-a 증식, 낮은 저층 DO 포화도 등에 의해 WQI 지수에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.
- 수질에 영향을 주는 인자는 대부분 유기물 및 영양염류와 관련이 있기 때문에 향후 이 부분에 대해서 지속적인 관심과 조사가 필요하다고 판단된다.

[표 3-48] 황도 주변 해수수질평가지수(WQI) 및 COD 특성

	2019년 8월		
	WQI지수	등급	표층 COD mg/L (저층 COD)
I 구역	55	IV	6.2 (3.9)
II 구역	64	V	9.2 (3.6)
III 구역	41	III	6.4 (7.3)
IV 구역	54	IV	10.1 (5.0)



[그림 3-36] 조사구역별 WQI 등급 변화(2019년 8월)



[그림 3-37] 조사구역별 COD 변화(2019년 8월)

[표 3-49] 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08)

등급	기준			비고
	화학적산소 요구량 (COD) (mg/L)	총질소 (mg/L)	총인 (mg/L)	
I	1 이하	0.3 이하	0.03 이하	수산생물(참돔,방어,미역)의 서식 및 해수욕에 적합
II	2 이하	0.6 이하	0.05 이하	수산생물(I 등급 외)의 서식·양식에 적합
III	4 이하	1.0 이하	0.09 이하	공업용 냉각수 등 기타용으로 이용

2) 황도 구역별 퇴적물 특성

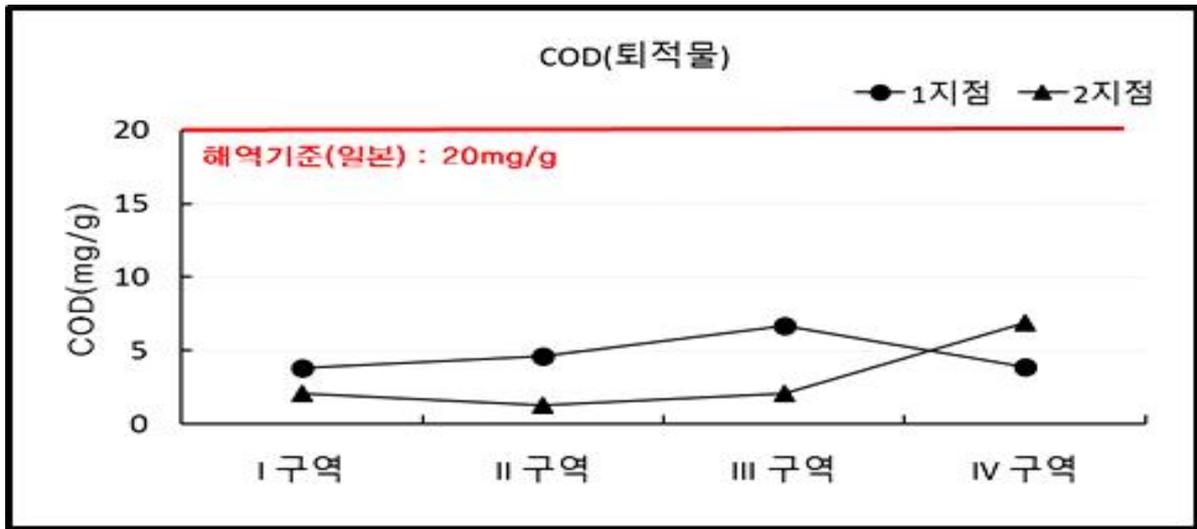
- 2019년 퇴적물의 입도를 보면 약역니질사(gmS), 역니질사(gmS), 실트질사(zS), 사질실트(sZ)의 특성을 보여주고 있다. 조사정점 간 입도 차이를 나타냈다[표 3-50, 그림 3-38].
- 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 유기물오염정도를 나타내는 척도로서 국내 기준이 제시되어 있지 않아, 일본 수산자원협회 기준(환경기준: 20mg/g)을 사용 하였다.
- 황도 주변 갯벌 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)을 구역별로 살펴보면 공간적 큰 차이를 보이지 않고 있고 일본 수산자원협회에서 설정한 기준(환경기준: 20mg/g)보다는 매우 낮은 농도를 보여 유기물에 대한 오염은 없는 것으로 판단된다(그림 3-39).
- C/N비 결과로부터 조사 지역의 퇴적물에 육상 유래 유기물보다 해양 유래 유기물이 퇴적하고 있는 것을 알 수 있었다(그림 3-40).
- 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, Ni, As에서 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 니켈(Ni), 납(Pb), 아연(Zn)에서 약간오염 상태를 보였고 그 외는 비오염으로 비교적 양호한 상태를 보였다.
- 농집지수(I_{geo})에서는 하계에 크롬(Cr), 니켈(Ni), 납(Pb)이 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.

[표 3-50] 황도 주변 퇴적물 내 입도, COD, C/N비 특성

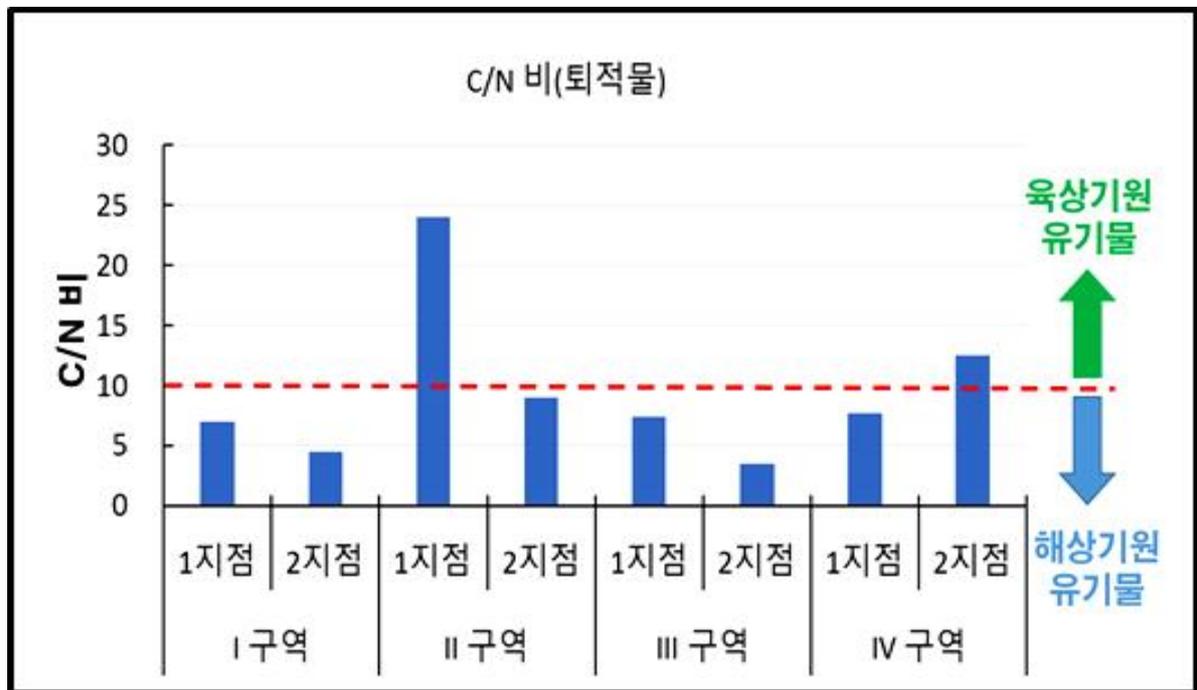
		I 구역		II 구역		III 구역		IV 구역	
		S1-1	S1-2	S2-1	S2-2	S3-1	S3-2	S4-1	S4-2
6 월	입도	모래:78.7% 펄:21.3%	모래:71.9% 펄:28.1%	모래:84.3% 펄:15.7%	모래:95.4% 펄:5.6%	모래:61.5% 펄:38.5%	모래:57.9% 펄:42.1%	모래:38.3% 펄:61.7%	모래:12.6% 펄:87.4%
	COD (mg/kg)	3.8	2.1	4.6	1.3	6.7	2.1	3.9	6.9
	C/N비	7.0	4.5	24.0	9.0	7.4	3.5	7.7	12.5



[그림 3-38] 조사구역별 입도 성분 변화(2019년 6월)



[그림 3-39] 조사구역별 COD 변화(2019년 6월)



[그림 3-40] 조사구역별 C/N비 변화(2019년 6월)

3) 황도 구역별 저서동물 특성

(1) 현장 조사 구역별 대형저서동물 특성

- 2019년 6월 황도 갯벌 조사 결과를 바탕으로 저서동물 군집의 분포 특성을 파악하였다.
- 황도 갯벌 저서동물의 평균 출현종수는 20 ± 7 종/0.1m², 평균 서식밀도는 904 ± 573 개체/m², 평균

생체량은 $1,355.94 \pm 1,021.41 \text{g/m}^2$ 으로 조사되었으며, 출현종수, 서식밀도 및 생체량은 II구역에서 가장 높았고, IV구역에서 가장 낮게 나타났다.

- 우점종의 경우, 서식밀도 기준으로 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 모든 정점에서 분포를 보이며 최우점하였으며, 바지락(*R. philippinarum*)은 I 구역과 II구역 조간대 하부에서 높은 서식밀도가 나타났다.
- 생체량 기준 우점종은 바지락(*R. philippinarum*)이 I 구역과 II구역 조간대 하부에서 높은 생체량을 보이며 최우점하였으며, 이 외에도 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsisilla* sp.)와 칠게(*M. japonicus*)가 모든 구역에서 관찰되었다.
- 생태학적 제지수를 산출한 결과, 종다양성지수는 평균 2.30 ± 0.36 , 종균등도지수는 평균 0.78 ± 0.09 , 종풍부도지수는 평균 2.88 ± 0.76 으로 종다양성지수와 종풍부도지수는 II구역에서 가장 높고, 종균등도지수는 IV구역에서 가장 높았다.
- 군집분석(MDS) 결과, 퇴적환경 또는 생물 다양성 차이로 군집 분포가 좌우되는 것으로 분석되었다.
- 저서동물 군집구조가 퇴적물 입도조성에 의하여 일차적으로 결정되는 것으로 알려져있는 만큼 (Levinton, 1995), 저서동물과 퇴적환경요인간 상관분석 결과, 평균입경(ϕ)이 조립할수록 출현종수와 서식밀도는 증가하였으며, 함수율, 강열감량, TOC 및 COD가 낮을수록 생체량은 증가하는 것으로 분석되었다.
- 이러한 결과를 종합해보면, II구역은 다른 구역에 비해 가장 다양하고 풍부한 생물상을 지닌 원인으로 평균입경이 조립하고 모래함량이 높고, 유기물에 따른 환경교란이 적은 지역인 것으로 판단된다.
- 황도 갯벌에서 조사된 2018년도와 2019년도 조사자료를 대상으로 시기적인 변동양상을 분석한 결과, 2019년도 평균 출현종수와 종다양성지수는 2018년도와 유사하였지만, 평균 서식밀도는 2018년도보다 감소하였으며, 평균 생체량은 2018년도보다 증가하였다.
- 건강도 지수(ISEP)는 2019년도는 4 ± 1 등급(“보통”)으로 2018년도(3 ± 1 등급(“좋음”)보다 낮은 건강성으로 평가되었다.
- 조사시기별 상위우점종을 살펴보면, 우리나라 서해안 갯벌에서 흔히 분포하는 버들갯지렁이류(*M. californiensis*), 고리버들갯지렁이(*H. filiformis*)와 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsisilla* sp.)가 꾸준히 관찰되었으며(신 등. 2004, 정 등. 2014, Hong et al., 2006), 특히 바지락(*R. philippinarum*)은 생체량 기준 최상위 우점종으로 출현하였다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- II구역은 과거에 비해 높은 출현종수, 서식밀도 및 종다양성지수를 보여, 양질에 생물상을 보인 반면, 연륙교에 인접해 있는 III구역은 과거보다 바지락 출현량이 감소하여 건강도 등급이 하락되는 양상을 나타냈다.
- 결론적으로 황도 갯벌의 저서동물은 구역별로 조사시기에 따라 출현종수, 서식밀도, 생체량 및 종다양도 지수의 변동양상을 달리하지만, 상위우점종의 종 구성 측면에서는 전반적으로 안정적인 형태가 관찰되었다.
- 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 연륙교로 교체하였다(2011년 12월).
- 이와 유사한 사례로 경기도 안산에 위치한 시화호의 경우, 해수를 막는 방조제를 건설한 이후에 유기물 오염물질 농도 및 빈산소 수괴 출현빈도가 증가하여, 결국엔 무생물 상태까지 경험하였다.
- 이후에 막혔던 해수를 유통시킨 결과, 저서환경이 크게 개선되어 점차 인근 해역의 저서동물 생물상과 유사해지는 긍정적인 효과를 가져왔다(황, 2008; 한국수자원공사, 2013).
- 황도 갯벌 저서동물을 대상으로 2018년과 2019년을 비교한 결과, 연륙교에 인접한 III구역의 저서동물 군집이 다른 구역과 유사한 수준을 보여주는 것은 해수의 흐름 통제(연도교)로 발생된 해양오염에서 벗어나 회복 단계인 것으로 평가할 수 있다.

(2) 현장조사 구역별 패류자원 특성

- 황도 갯벌에서 수행된 2019년 6월 조사 결과를 바탕으로 패류자원의 분포 특성을 살펴보았다.
- 황도 갯벌의 패류자원은 총 2종으로 연체동물에 속하는 이매패류인 가무락조개(*C. sinensis*)와 바지락(*R. philippinarum*)이 채집되었다.
- 패류자원의 평균 서식밀도는 67 ± 102 개체/ m^2 , 평균 생체량이 $496.51 \pm 660.68g/m^2$ 을 보였으며, II구역에서 서식밀도 및 생체량이 가장 높게 나타났다.
- 종별로 살펴보면, 가무락조개(*C. sinensis*)는 평균 서식밀도가 4 ± 8 개체/ m^2 , 평균 생체량은 $79.11 \pm 157.65g/m^2$ 으로 III구역에서 가장 높게 나타났으며, 바지락(*R. philippinarum*)은 평균 서식밀도가 63 ± 105 개체/ m^2 , 평균 생체량이 $417.40 \pm 697.94g/m^2$ 으로 II구역에서 가장 높게 나타났다.
- 종별 개체특성 및 비만도를 살펴보면, 먼저 가무락조개(*C. sinensis*)의 경우, 평균 각장이 39.37 ± 8.28 mm, 평균 각폭은 24.68 ± 5.51 mm, 평균 각고는 39.67 ± 8.76 mm, 평균 전중량은 18.61 ± 8.55 g, 평균 비만도는 0.50 ± 0.10 을 보였다.

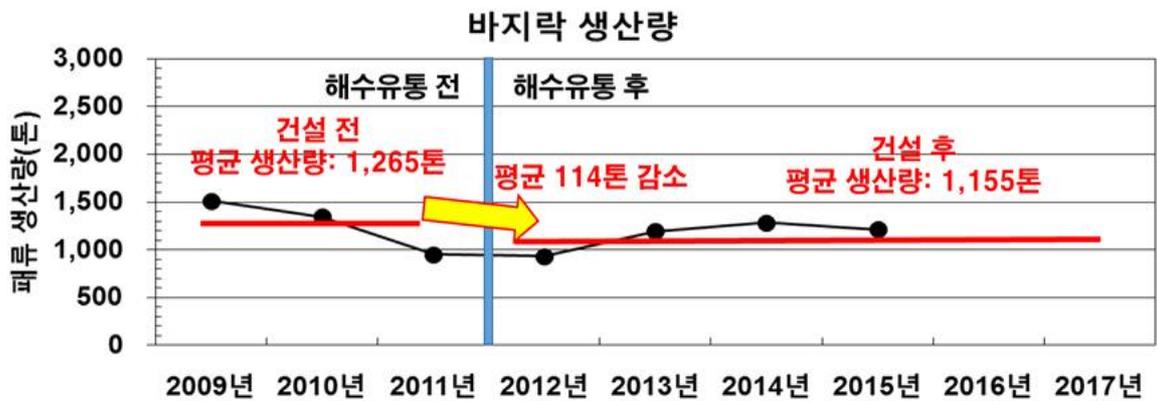
- 바지락(*R. philippinarum*)의 평균 각장은 $31.97 \pm 5.98\text{mm}$, 평균 각폭이 $14.91 \pm 3.20\text{mm}$, 평균 각고는 $22.75 \pm 4.34\text{mm}$, 평균 전중량은 $6.65 \pm 3.94\text{g}$, 평균 비만도는 0.80 ± 0.12 를 보였으며, 가무락조개(*C. sinensis*) 및 바지락(*R. philippinarum*)은 구역별로 유사한 수준을 나타냈다.
- 황도 갯벌 패류자원의 종별 서식밀도 및 생체량과 퇴적환경요인간 상관분석 결과, 모래함량(%)이 높고 평균입경(ϕ)이 조립할수록 바지락(*R. philippinarum*)의 서식밀도 및 생체량은 증가하는 것으로 분석되었다.
- 바지락(*R. philippinarum*)이 많이 출현한 II구역의 퇴적환경을 살펴본 결과, 다른 구역들($3.41 \sim 5.70 \phi$)에 비해 상대적으로 조립한 평균입경($1.04 \sim 2.67 \phi$)을 나타내었으며, 모래함량이 80% 이상으로 높은 함량을 보였다.
- 바지락(*R. philippinarum*)에게 적합한 퇴적환경은 모래함량이 60~70%, 평균입경이 $1.0 \sim 4.0 \phi$ 인 곳으로 알려져 있으며(해양수산부, 2013; Park et al., 2013), II구역은 이러한 조건을 충족하는 곳으로 평가되었다.
- 가무락조개(*C. sinensis*)에게 적합한 퇴적환경은 모래함량 0.3~41.6%, 평균입경 $3.6 \sim 8.6 \phi$ 로(해양수산부, 2016), 황도 갯벌에서 높은 서식밀도를 보인 지역(정점 S3-2, 모래함량 57.4%, 평균입경 4.15ϕ)은 다소 높은 모래함량을 보였지만 평균입경에서는 적합한 환경을 보였다.
- 따라서 가무락조개(*C. sinensis*)와 바지락(*R. philippinarum*)간 퇴적환경 조건의 차이로 인하여, 황도 갯벌 내에서 종별 분포 양상을 달리한 것으로 판단된다.
- 황도 갯벌에서 조사된 2018년도와 2019년도 자료를 대상으로 패류자원의 조사시기간 변동양상을 분석한 결과, 모든 시기에서 바지락(*R. philippinarum*) 1종만 채집되었으며, 서식밀도와 비만도(CI)는 조사시기간 유사하였지만, 각장(mm) 및 전중량(g)은 2018년도 대비 2019년도에 감소하였다.
- 이러한 각장(mm) 및 전중량(g) 감소는 2019년도에 각장 $10 \sim 20\text{mm}$ 범위에 해당되는 개체군들이 대량 출현에 기인하였다.
- 소형(각장 $10 \sim 20\text{mm}$) 크기의 바지락은 2018년도 하계 또는 추계에 산란되어, 착저 후 안정적으로 성장하여 2019년도에는 각장 $10 \sim 20\text{mm}$ 범위에 해당되는 연령군으로 가입된 것으로 추정된다.
- 2019년도에 소형 크기의 바지락이 대량 출현한 현상은 황도 갯벌에서 바지락 자원가입이 일어나는 것을 의미(산란장 및 성육장)하며, 이러한 현상이 지속될 경우 향후 바지락 생산력 증대에 크게 기여할 것으로 판단된다.
- 일반적으로 바지락(*R. philippinarum*) 개체수가 감소하는 현상은 자연사망 또는 인간의 어획 활동에 의해서 발생되며, 자연사망의 원인으로는 대량 폐사(고수온, 저염분 등), 퇴적물 조성의 악화 및 기생충 감염 등으로 알려져 있다(Park et al., 1999; Park and Choi, 2001).

- 이와 반대로 퇴적환경 및 수질 개선 또는 어획 활동 강도가 감소하게 되면 바지락 서식밀도가 증가할 수 있다는 것을 예상할 수 있다.
- 본 연구 기간 및 조사 항목으로 소형 크기의 바지락 서식밀도가 증가한 원인을 명확히 규명하기에는 한계가 존재하지만, 해수 소통(복원)에 따른 갯벌생태계 환경 개선에 대한 긍정적인 신호일 것으로 판단된다.
- 향후 복원된 해수 흐름이 유지 또는 개선된다면, 바지락 생태 및 생산력에 긍정적인 요인으로 작용할 것으로 판단된다.

(2) 충청남도, 보령시, 태안군 및 황도 패류(바지락) 년 생산량 비교

- 황도의 연륙교 개통 전후 황도에서의 바지락 생산량과 주변 지역들 즉, 충청남도, 태안군에서의 바지락 생산량을 비교·조사하였다(그림 3-41).
- 충청남도 전체 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 10,073톤/년이었지만 2012년~2018년 사이 평균 9,190톤/년을 생산하여 평균 883톤/년이 감소하였다.
- 태안군 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 1,265톤/년이었지만 2012년~2017년 사이 평균 1,155톤/년을 생산하여 평균 114톤/년이 감소하였다.
- 황도 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 133톤/년이었지만 2012년~2018년 사이 평균 187톤/년을 생산하여 평균 54톤/년이 증가하였다.
- 황도와 주변 지역들 간의 바지락 생산량 변화 추이를 보면 밀접한 상관관계는 나타나지 않는 것으로 보인다.
- 황도의 바지락 연도별 바지락 생산 변동성은 상대적으로 크게 나타나는데, 10년 아래에는 2011, 2014년도에 특히 바지락 생산량의 감소가 두드러지게 나타났다. 이는 태풍이나 겨울철 한파의 지속 등의 영향이 있었을 것으로 보이나, 추가적인 정밀 분석은 필요해 보인다.
- 그러나 충청남도 전체의 바지락 생산량 연도별 비교에 따른 결과에서는 2009, 2013, 2017년도에 평균치를 하회하는 수준으로 나타나 황도의 연 생산량 추이와는 상당히 다른 결과가 나타났다.
- 태안군 바지락 연생산량 추이 역시 큰 변동성은 보이지 않으나 완만한 감소세를 보이거나 정체하고 있는 수준으로 나타났다. 이는 태안군 바지락 생산량의 80% 이상을 차지하고 있는 근소만 내 마금어촌계, 의항어촌계 등의 연 생산량 변동성이 크지 않기 때문으로 분석되었다.
- 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(표 3-51).

- 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 시공간적 모니터링이 지속 필요하다고 판단된다.



[그림 3-41] 연도별 충청남도, 태안군 및 황도 바지락 생산량 추이

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- 표3-54 에는 황도 바지락 양식장에 시행된 바지락 종패 보급 사업 내역을 제시하였다. 문헌에 따르면 태안군에서는 90년대 후반부터 황도 갯벌 주변에 바지락 양식장을 도입하여 바지락 생산량을 늘리기 위한 모래살포, 바지락 종패·치패 이식 사업 등을 지속 추진해왔다.
- 황도의 경우 지난 2014년에 평년의 1/3 수준의 바지락 생산량을 보여, 이듬해부터 바지락 종패 보급 사업을 지속 추진해 오고 있다. 이러한 영향에 따라 2016년부터 바지락 생산량이 지속적으로 늘고 있으며, 2018년도 역시 바지락이 꾸준히 생산되고 있다.
- 이러한 바지락 종패 보급 사업과 함께 황도 연륙교 개통 효과가 어우러져 바지락 등 유용패류의 생산은 당분간 지속될 수 있을 것으로 예상되며, 황도 남측갯벌에 주로 서식하는 가무락 조개의 IV 구역으로의 서식지 확장도 기대해 볼 수 있다.

[표 3-51] 황도 주변 바지락 살포 현황



제4장

황도 연륙교 건설 전후 환경변화

1. 황도 연륙교 건설 전후 해양수질 변화
2. 황도 연륙교 건설 전후 퇴적물 변화
3. 황도 연륙교 건설 전후 저서생물 변화

제 4 장 황도 연륙교 건설 전후 환경변화

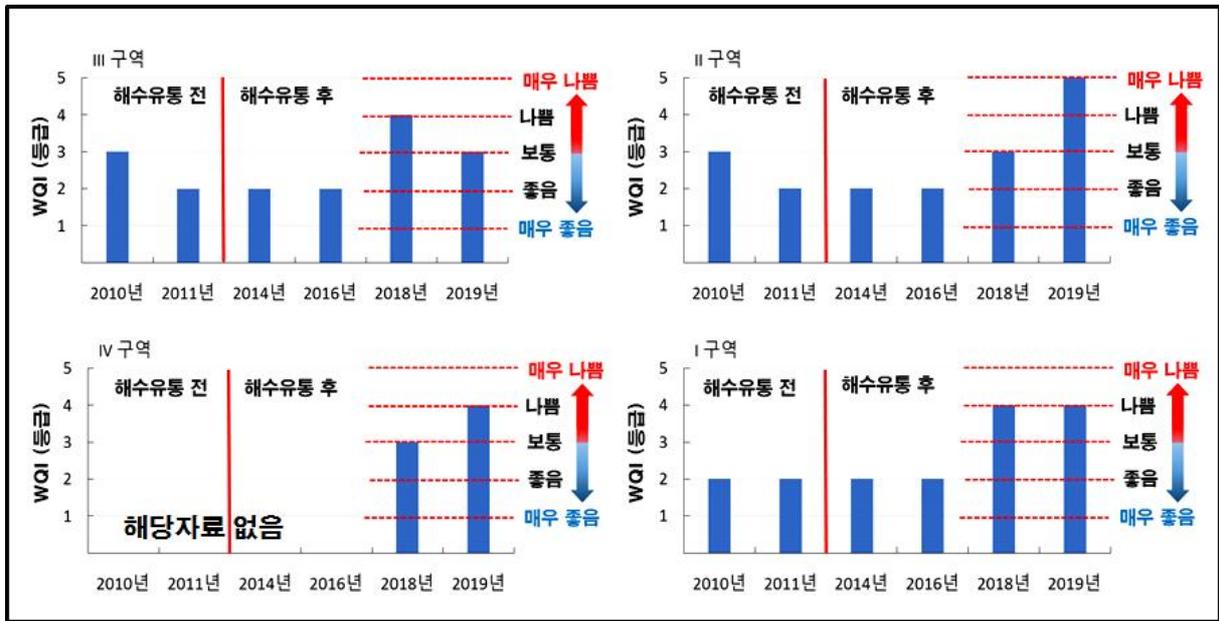
1. 황도 연륙교 건설 전후 해양수질 변화

- 황도 연륙교 건설 전·후의 수질 변화를 생태기반 해수수질평가지수(WQI) 값을 비교하였다(표 4-1, 그림 4-1).
- 황도 연륙교 건설 전 연구 결과를 보면 WQI 자수가 모든 구역에서 1등급(매우 좋음)~5등급(매우 나쁨)까지 편차가 크게 나타나고 있다(IV구역 제외: 선행 조사연구가 없다).
- 그러나 황도 연륙교 건설 후 조사된 2014년 및 2016년 조사에서는 모든 구역에서 1등급(매우 좋음)~3등급(보통)을 보였다.
- 2019년도 본 연구 조사에서는 3등급(좋음)~5등급(매우 나쁨)의 수질조사 결과 편차가 나타나고 있다. 계절적 특성으로 수질이 악화되고 있는 특성을 보인다.
- 선행 연구에 의하면 연륙교 건설 전·후 황도 주변 수질은 비슷한 결과를 보여주고 있다. 하지만 본 연구에서 조사된 2019년 수질결과에서는 선행연구에 비해 다소 나쁜 등급이 나타남
- 부남호 전면에 위치한 황도해역의 수질은 계절적 해양환경 특성 및 하구호 방류의 영향에 직접적인 영향을 받고 있으므로, 이에 대한 장기적인 모니터링을 필요해 보인다.

[표 4-1] 황도 연륙교 개통 전·후 해수수질평가지수(WQI) 비교

	연륙교 개통 전		연륙교 개통 후			
	2010년 연구	2011년 연구	2014년 연구	2016년 연구	2018년 연구	본연구 (2019년)
I 구역	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	II 등급(중계)	IV 등급
	IV 등급(하계)	III 등급(하계)	II 등급(하계)	II 등급(하계)	IV 등급(하계)	
II 구역	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	IV 등급(중계)	V 등급
	IV 등급(하계)	IV 등급(하계)	III 등급(하계)	II 등급(하계)	IV 등급(하계)	
III 구역	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	I 등급(중계)	III 등급(중계)	III 등급
	V 등급(하계)	III 등급(하계)	III 등급(하계)	II 등급(하계)	V 등급(하계)	
IV 구역	-	-	-	-	II 등급(중계)	IV 등급
	-	-	-	-	III 등급(하계)	

- : 자료 데이터가 없음

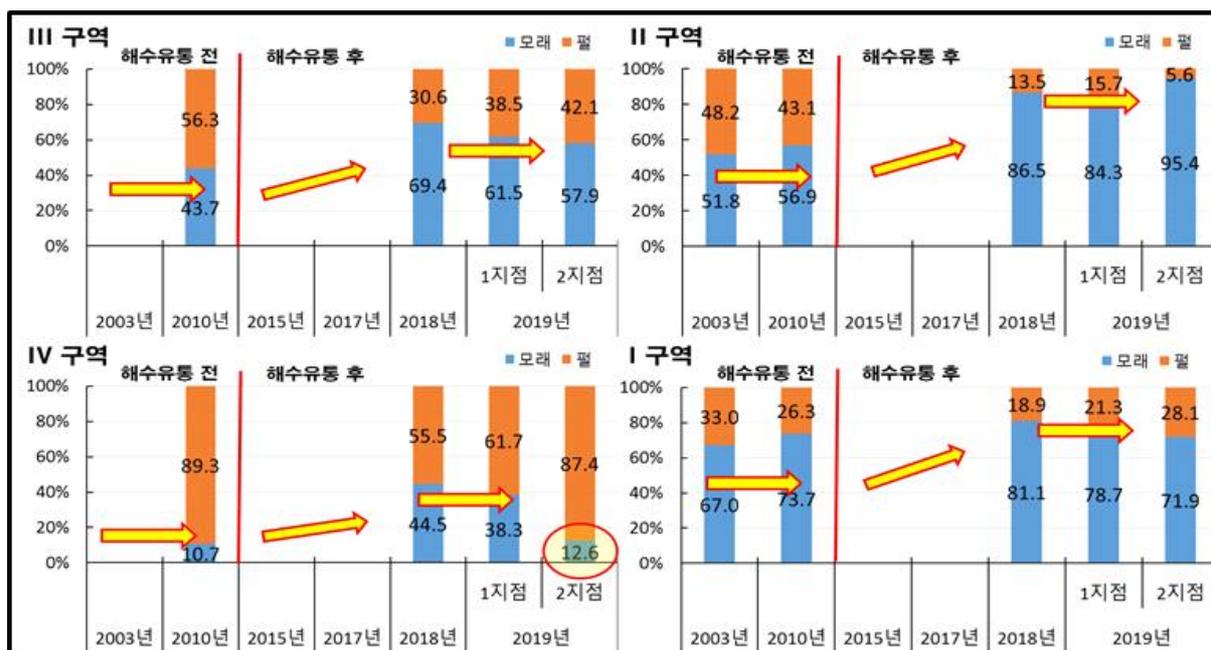


[그림 4-1] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화

2. 황도 연륙교 건설 전후 퇴적물 변화

- 연륙교 건설 전·후 퇴적물 변화에 대해 입도 특성을 비교하였다(그림 4-2).
- 연륙교 건설 전(2003년~2010년) 선행연구를 보면 I 구역에서는 모래함량이 67.0%~73.7%였고, 펄 함량은 26.3%~33.0%였다. II 구역에서는 모래함량이 51.6%~56.9%였고, 펄 함량은 43.1%~48.2%였다. III 구역에서는 모래함량이 43.7%였고, 펄 함량은 56.3%였다. IV 구역에서는 모래함량이 10.7%였고, 펄 함량은 89.3%였다.
- 연륙교 건설 후(2018년, 2019년) 연구를 보면 I 구역에서는 모래함량이 71.9%~81.1%였고, 펄 함량은 18.9%~28.1%였다. II 구역에서는 모래함량이 84.3%~95.4%였고, 펄 함량은 5.6%~15.7%였다. III 구역에서는 모래함량이 57.9%~69.4%였고, 펄 함량은 30.6%~42.1%였다. IV 구역에서는 모래함량이 12.6%~44.5%였고, 펄 함량은 55.5%~87.4%였다.
- 전체적으로 연륙교 건설 전보다 후에 퇴적물 입도 변화가 큰 것으로 나타났다. 즉, 연륙교 개통 후 입도 함량비에서 모래 함량비가 늘어나고 있는 것으로 판단된다.
- 다만, 조사 정점 간 차이를 보이고 있어 지속적인 추적 조사할 필요가 있다. 급속한 퇴적환경의 변화는 저서생태계에 불리하게 작용하므로 시공간적 변화를 추적하여 적합한 대응방안을 수립해야 할 것이다.
- 갯벌에 모래함량이 높아지는 것은 모래의 유입이 지속됨을 나타내는데, 모래의 공급원이 어디인지는 명확치 않다. 백시수로를 통한 유입, 부남호 등 하구호 방류의 영향 등의 가능성이 있다.

- 특히 2018년도와 2019년도를 보면 퇴적물 내 입도 변화 차이가 거의 없는 것으로 나타나는데, 현재 황도 갯벌의 물리적인 환경이 안정되어 있어 입도 또한 안정된 결과를 보여주고 있는 것으로 판단된다.



[그림 4-2] 연륙교 건설 전후 퇴적물 입도 변화

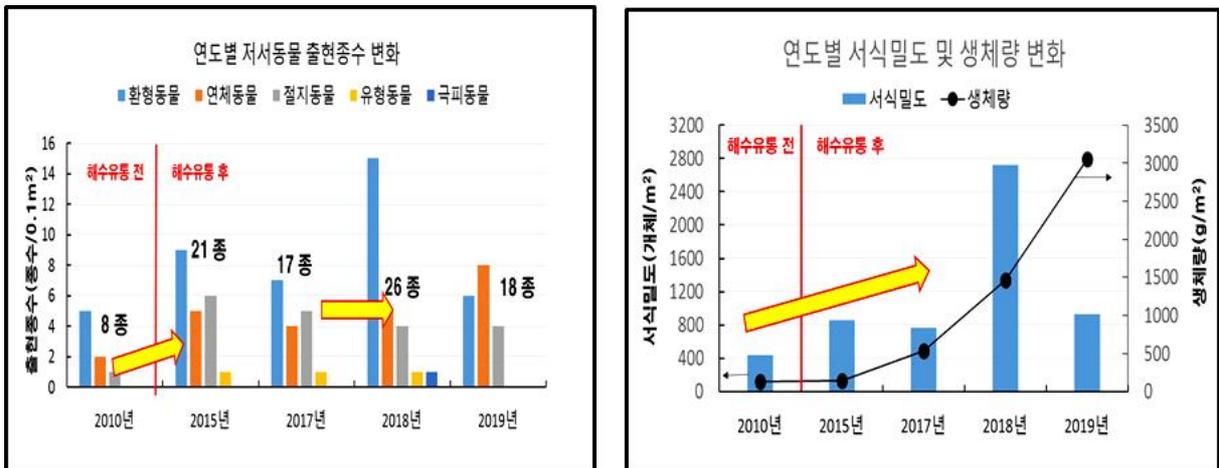
3. 황도 연륙교 건설 전후 저서생물 변화

1) 저서생물 변화

- 황도 연륙교 건설 전·후 저서동물 선행연구 조사(2010년, 2015년, 2017년)가 진행된 지역은 본 현장 조사 구역인 I 구역에서만 조사가 되었다(그림 4-3).
- 황도 연륙교가 건설되기 전(2010년) 출현 종수(종수/m²) 저서동물의 우점종을 살펴보면 환형동물(다모류 : 지렁이), 연체동물(복족류 : 고둥 등), 절지동물(갑각류 : 게) 순으로 우점하였고, 서식밀도(개체/m²)는 436개체/m²였으며, 생체량(g/m²)은 129g/m²였다.
- 한편 연륙교 건설 후(2015년, 2017년, 2018년, 2019년) 출현 종수(종수/m²) 저서동물의 우점종을 살펴보면 대체로 환형동물(다모류 : 지렁이), 연체동물(복족류 : 바지락 등), 절지동물(갑각류 : 게) 순으로 우점하였고, 서식밀도(개체/m²)는 770~1750개체/m²였으며, 생체량(g/m²)은 147~3,060g/m²였다.

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- 즉, 연륙교 건설 후 저서동물 출현 종수가 개통 전 보다 늘어난 경향을 보였으며, 서식밀도와 생체량도 연륙교 개통 전보다 지속적으로 증가하고 있는 것을 알 수 있었다.
 - 선행 연구 조사지역(2010년, 2015년, 2017년)과 본 연구(2018년, 2019년) 조사지역(I 구역)은 바지락 양식지역을 인접하고 있기 때문에 연체동물(바지락)의 증감 경향은 연륙교 건설에 의한 영향뿐만 아니라 그 해 바지락 종패 살포 및 모래 살포 등 인위적인 영향도 포함된 것으로 판단된다.



[그림 4-3] 연륙교 건설 전후 저서동물 변화

2) 수산업(바지락) 생산량 변화

- 충청도 전체 바지락 생산량은 연륙교 건설 전 평균 10,073톤/년에서 건설 후 평균 9,910톤/년으로 약 883톤/년이 감소하였는데, 3~4년 주기의 생산량 등락이 나타나는 특징을 보이며 대체로 완만한 감소 추세가 나타나고 있다(그림 4-4).
- 이에 비해 황도의 바지락생산량을 황도 연륙교가 건설되기 전·후로 살펴보면, 해수유통 전(2009~2011년)에는 평균 133톤/년의 생산량을 보였고 해수유통 후(2012~2018년)에는 187톤/년 생산량을 보여 평균 54톤/년의 바지락 생산량 증가 경향이 나타나고 있다(그림 4-4).
- 이는 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌 생태계 복원 효과 입증하는 것으로서 갯벌의 생산성이 향상되었음을 나타내준다.
- 2011년과 2014년도에 황도 바지락 생산량이 크게 감소한 결과를 보여주고 있다.
 - 2011년 감소 영향: 2010년 태풍 “곶파스” 로 인한 폭우에 따른 담수영향에 의한 바지락 폐사에 의해 바지락 생산량에 영향을 준 것으로 판단된다.

- 특히 선행 참고문헌을 통해 황도 바지락 폐사 원인으로 지적되고 있는 것으로는 강수 및 서산 AB 지구 담수 방류에 따른 저염분화 영향, 퍼킨수스 기생충 감염, 겨울철 한파 및 여름철 고수온에 따른 영향 등이 있다.



[그림 4-4] 연도별 충청남도 및 황도 바지락 생산량 변화 특성

3) 굴 생산량 확대(황도교 남측 IV구역)

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

2019년 황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

- 과거 30년 전 IV 구역은 뿔과 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 뿔층이 지속적으로 퇴적되게 되면서 굴이 성장할 수 있는 자갈층이 서서히 없어지면서 황도교 남측 해안가에서 굴이 사라지게 된 것으로 판단된다.
- 연륙교 건설이후, 해수순환이 이루어지면서 뿔층이 일부 견히게 되었는데 그 아래에 자갈층이 드러나면서 굴이 생산되는 환경이 조성되었다.
- 굴의 유생 및 치패는 현재 대규모 굴 생산지인 창기리 북측(III구역) 갯벌과 황도의 서북측 갯벌에서 황도교 남측 갯벌(IV구역)로 유입되고 있다.
- 이는 황도교를 통한 해수유통이 있기에 가능한 굴생산지 확대를 나타내며, 갯벌복원의 직접적인 효과를 증명해주고 있는 것이다.



[그림 4-5] 황도 주변 주요 굴 생산지



[그림 4-6] 황도교 남측 갯벌 전경(굴이 생산되는 혼성갯벌로 천이)



[그림 4-7] 황도교 남측 갯벌 전경(굴이 생산되는 혼성갯벌로 천이)



[그림 4-8] 황도교 아래에서 굴, 바지락 채취하는 주민(훈성갯벌로의 천이)



[그림 4-9] 황도교 북측(III구역) 갯벌(암반 및 자갈 갯벌에서의 굴이 자라고 있는 모습)

제5장

결론 및 정책제언

1. 결 론
2. 정책제언

제 5 장 결론 및 정책제언

1. 결론

- 안면도와 황도를 잇는 연륙제방(1982년 준공)을 허물고, 해수유통이 가능한 연륙교 건설(2011년 12월) 후 주변 갯벌 환경 개선과 더불어 관련 어촌체험 활동이 급격히 늘어나는 등 갯벌 복원 효과가 나타나고 있다.
- 본 연구에서는 2011년 11월 황도 연륙교 건설에 따른 해수유통 효과가 인접 해역 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 정량적 평가를 2년차 실시하였다. 이를 통하여 사업시행 전·후의 해양 환경 및 저서생태계 개선 효과에 대해 살펴보았다.
- 황도 주변 갯벌에 대한 과거 연구자료 수집과 함께, 현장조사를 통한 해양수질, 갯벌퇴적물, 갯벌저서생태계 현황을 분석하였다. 이를 통해 황도 연륙제방 건설 전·후의 갯벌환경 변화에 대하여 살펴보았다.
- 본 연구 결과, 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌의 생산성 향상 효과는 매우 크게 나타나고 있었다.
- 황도 연륙제방 건설(1982년)은 준공 후 약 30년간('82년~'10년) 해수의 소통을 막는 독 역할을 함으로써, 연륙제방 주변 갯벌로의 영양염류 유입 감소, 치패 및 유생 이동로 차단, 퇴적상 변화(죽빨화), 저서생태계 악화를 유발하였다.
- 특히, 바지락 등 상업패류는 모래 함량이 70% 이상인 모래펄갯벌(훈성갯벌)에서 서식하나 빨이 많아진 갯벌(IV 구역)에는 패류가 살 수 없는 환경(지렁이류만 우점)으로 변화되었다.
- 그러나 연륙교 건설 후('11년 12월), 원활한 해수유통에 의한 갯벌로의 모래 유입이 활발해져 갯벌 저서 환경(특히 죽빨)이 개선되고 있는 것으로 나타났다.
 - I구역 모래함량 비율('10년→'18년→'19년) : 73.7→81.1→75.3%, II구역 모래함량 비율 : 56.9→86.5→89.9%, III구역 모래함량 비율 : 43.7→69.4→59.7%, IV구역 모래함량 비율 : 10.7→44.5→38.3%
- 특히 황도교 남측 갯벌환경이 빠르게 개선(빨 함량이 줄어듬)되었으며, 황도교 주변 다른 지역도 갯벌의 모래 함유량이 서서히 높아지는 것으로 조사되었다.
- 물리환경이 바뀐에 따라 그곳에 서식하는 대형저서동물들의 다양성 등 저서생태환경 또한 빠르게 개선된 후 양호하게 유지되고 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 지속적으로 늘어나고 있어 바지락의 성장환경에도 유리하게 작용하고 있는 것으로 나타났다.
- 해수순환 단절로 죽빨화 되었던 IV구역은 모래 함량이 약 38%로 나타나 빨갯벌에서 혼성갯벌로 변화되고 있는데, 이에 일부 지역에서의 가무락(모시조개) 서식지 회귀도 기대된다.
- '18년도와 '19년도 조사를 통해 황도 갯벌에서의 바지락과 가무락 조개가 분포하는 서식공간의 차이를 확인할 수 있었으며, 향후 어민 소득 증대를 위한 각 패류종마다의 적절한 관리방안 마련이 필요하다.
- 황도 연륙교 건설 전·후 패류(바지락) 생산량을 살펴보면, 건설 전('09년~'11년) 패류 평균 생산량은 133톤/년으로 건설 후('12년~'18년) 패류 평균 생산량은 187톤/년으로 54톤/년 증가한 것으로 나타났다.
- 충청도 전체 바지락 생산량은 연륙교 건설 전 평균 10,073톤/년에서 건설 후 평균 9,910톤/년으로 약 883톤/년이 감소하였는데 반해, 황도의 바지락생산량을 황도교 해수유통 전(2009~2011년) 평균 133톤/년에서 해수유통 후(2012~2018년) 187톤/년으로 평균 54톤/년 증가하는 것으로 나타났다.
- 이는 황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌 생태계 복원 효과 입증하는 것으로서 갯벌의 생산성이 향상되었음을 나타내준다.
- 또한 황도교 남측의 IV구역 갯벌에서는 2017년부터 굴이 생산되기 시작하였으며, 그 생산량은 지속적으로 증가하여 황도주민의 겨울철 소득원의 일부로 자리잡을 정도로 나타나고 있다.
- 연륙교 건설이후, 해수순환이 이루어지면서 빨층이 일부 견히게 되었는데 그 아래에 자갈층이 드러나면서 굴이 자랄 수 있는 환경이 조성되었다.
- 굴의 유생 및 치패는 현재 대규모 굴 생산지인 창기리 북측(III구역) 갯벌과 황도의 서북측 갯벌에서 황도교 남측 갯벌(IV구역)로 유입되고 있는 것으로 볼 수 있는데, 이는 황도교를 통한 해수유통이 있기에 가능한 굴생산지 확대를 나타내며, 갯벌복원의 직접적인 효과를 증명해주고 있는 것이다.
- 향후 황도 주변 갯벌 환경을 잘 관리할 경우, 지속적인 바지락·가무락·굴 등의 유용패류의 생산범위 확대에 따른 주민 어가소득의 확대가 기대된다.
- 이번 황도 갯벌 생태계 모니터링을 시작으로 갯벌 복원 사업 추진에 대한 효과를 체계적으로 시공간적 분석하기 위한 추가적인 정기 모니터링은 반드시 필요할 것으로 보인다.

2. 정책제언

■ 지속적인 현장 모니터링 수행 필요

- 황도 연륙교 개통에 따른 갯벌 생태 복원사업의 효과가 나타난 만큼 황도 갯벌 생태환경에 대한 현장 모니터링의 지속적인 수행이 필요하다
- 황도 갯벌 생태계의 회복에 큰 영향을 미치는 물리적 환경특성에 대한 DB(구체적인 데이터)의 구축은 필수적이다.
- 추가로 필요한 조사는 황도갯벌의 갯벌표고(DEM)에 대한 공간 조사를 연차별로 실시하여, 황도 주변 갯벌의 침퇴적 양상에 대하여 시공간적으로 분석할 필요가 있다.
- 이를 위해 좀 더 정밀하고 세심한 시공간적 현장 모니터링의 기획이 필요하며, 주변 갯벌환경에 악영향을 줄 수 있는 오염원의 유입원에 대한 관리 및 지도 역시 필요할 것이다.

■ 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
- I, II구역 : 갯벌생산구역 및 갯벌 체험구역, III구역 : 갯벌 휴식구역, IV구역 : 갯벌 보전구역으로 구분해 그 갯벌 특성에 맞게 효율적으로 관리·이용 할 필요성이 있다.

■ 갯벌 생태계 복원 사업 단계적 추진을 통한 유용패류 생산 지역 확대

- 향후 황도 연륙교 남측 갯벌 (III 구역)에 가무락, 바지락, 굴 등 유용패류에 대한 종패 살포 시범 실시를 통한 갯벌 패류자원 생산구역 확대를 유도하는 정책의 도입이 필요하다.
- 바지락의 생산량 증대를 위한 기존의 종패 및 치패 이식, 종패발생장 조성, 모래경운 등의 사업과 병행하여 유용패류의 생산지를 황도 전체 갯벌로 확대추진이 가능할 것이다.
- 이를 통하여 황도를 포함한 천수만 주변 해역에서의 어촌 주민의 지속적인 소득향상, 어촌체험(생태체험) 활성화, 주민복지 확대 및 귀어귀촌을 통한 청장년층 인구유입 등의 지역 활성화 효과를 기대할 수 있다.

참고문헌



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
- 조영원, 1990년, 한국 백사장산 단각류(갑각강)의 분류 및 생물 지리학적 연구, 박사논문
- 최병래, 1992년, 한국동식물도감, 제33권 연체동물Ⅱ, 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, 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.
- 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.
- 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
- 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)

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

● 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)	화학적산 소요구량 (COD) (mg/L)	용존 산소량 (DO) (mg/L)	총대장균군 (총대장균군 수/100mL)	용매추출유 분 (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 산취발성황화물)	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)