황도 갯벌생태계 모니터링 연구용역

최종보고서

2018. 10

충청남도

제 출 문

충청남도지사 귀하

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

2018년 10월

충 남 연 구 원

총괄연구책임자 : 윤 종 주

참 여 연 구 원 : 이 상 신
신 우 석
윤 영 관
임 지 윤

위 탁 연 구 기 관 :
㈜지오시스템리서치(수질 및 퇴적물)
㈜이엔씨기술(갯벌저서생물)

요 약 문

제 1 장 과업의 개요

□ 수행기관 : 충남연구원(서해안기후환경연구소)

□ 용역기간 : 2018년 5월～2018년 10월(6개월)

□ 연구목적 : 황도 연륙교 건설(2011년12월)이 주변 갯벌 생태계에 미치는 영향에 대한 정량적 평가

□ 연구내용

- 충남 태안군 안면읍 황도리에 위치한 황도 인근 갯벌 등 4개 정점에 대한 해양 수질, 해저퇴적물, 해양생물 조사 수행('18. 5월, 7월 2회)
- 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 펄이 쌓이면서 황도교 남측(IV구역)에 죽뻘(뻘갯벌)화가 진행되었음**

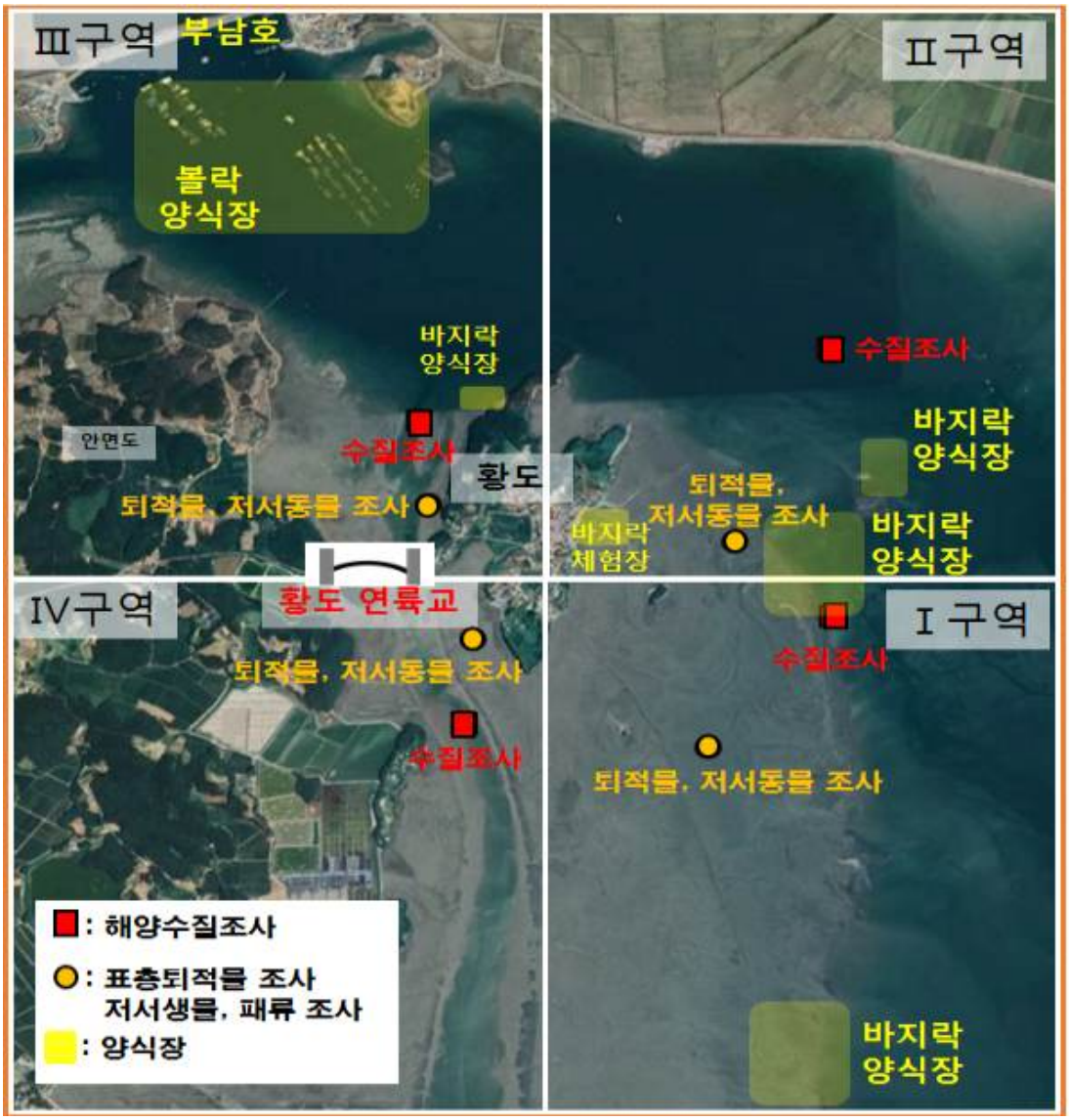
- 주요 원인은 제방 건설에 따른 조류흐름 감소, 뻘 퇴적, 영양염류 유입감소임

□ **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 갯벌로의 모래유입으로 갯벌 저서 환경(특히 죽뻘)이 개선되고 있는 것으로 나타남

- 특히 황도교 남측 갯벌환경이 빠르게 개선(뻘 함량이 줄어듬)되고 있으며, 황도교 주변 다른 지역도 갯벌의 모래 함유량이 서서히 높아지는 것으로 조사됨
- Ⅰ구역 : 73.7→81.1%, Ⅱ구역 : 56.9→86.5%, **Ⅲ구역 : 43.7→69.4%**, Ⅳ구역 : **10.7→44.5%**
- 이에 따라 저서 생태계의 개선이 진행되고 있음

□ 황도 연륙교 건설 전·후 패류(바지락) 생산량이 개선되고 있음

- 황도 패류 평균 생산량 : 133톤/년(사업 전) → 194톤/년(사업 후), 평균 61톤(46%) 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 대폭 늘어남(바지락 생장환경 개선)

- 연륙교 건설 전('10년, 73.7%) → 건설 후('18년, 81.1%)

■ II구역(바지락 양식장 주변 갯벌)

□ 갯벌 내 모래함량이 소폭 늘어남(바지락 생장환경 개선)

- 연륙교 건설 전('10년, 56.9%) → 건설 후('18년, 86.5%)

□ 갯벌 내 저서생물의 출현종수, 서식밀도, 생체량이 연륙교 개통 후 지속적으로 늘어남

■ III구역(연륙교 북쪽 갯벌)

□ 갯벌 내 모래함량이 소폭 늘어남(바지락 생장환경 개선)

- 연륙교 건설 전('10년, 43.7%) → 건설 후('18년, 69.4%)

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

□ **연륙교 건설 전** 연육돌제로 막혀 있어 조류 흐름 저하, 뻘 침전 등에 의해 **죽뻘(죽은 뻘)화** 되었음(바지락이 사라지고 갯지렁이류가 우점)

□ **연륙교 개통 후 갯벌 내 모래 함량 대폭 증가**

- 연륙교 건설 전('10년, 10.7%) → 건설 후('18년, 44.5%)
- 가무락(모시조개) 등 유용패류가 서식할 수 있는 퇴적상으로 회복 중

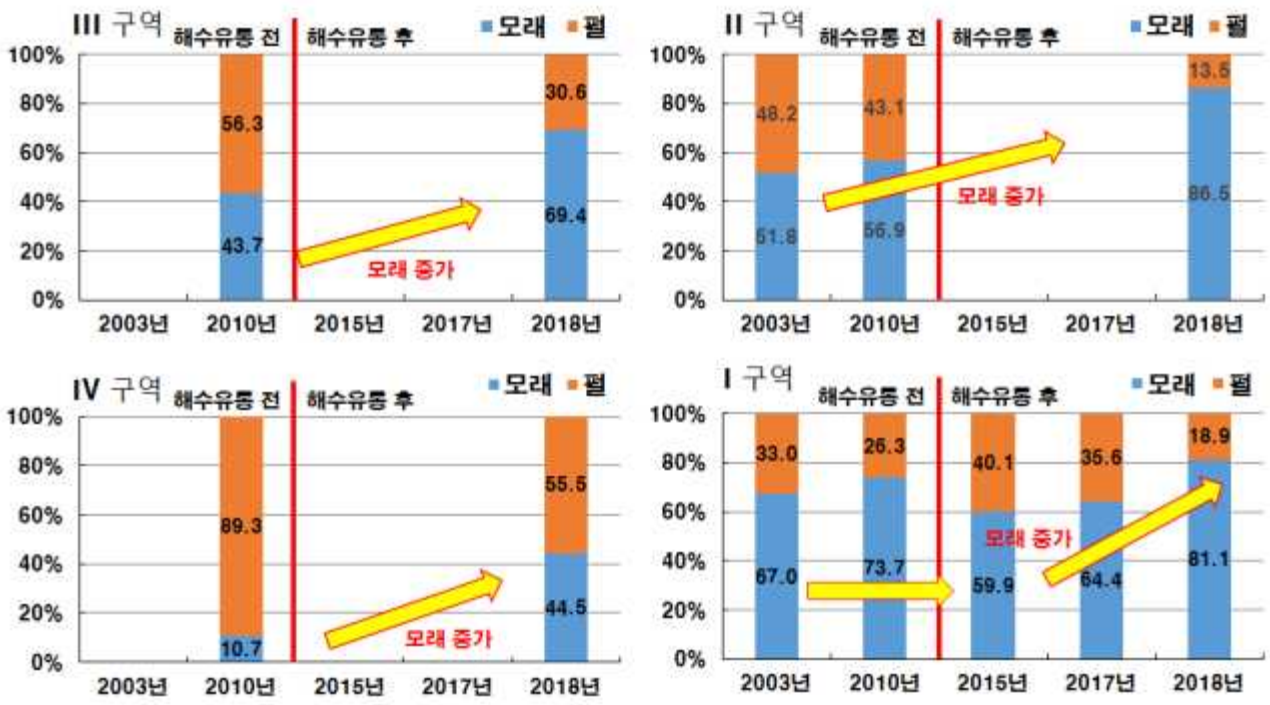
■ 종합평가

□ 황도 연륙교 개통에 따른 **황도 주변 갯벌의 생산성 향상 효과가 매우 크게 나타남**

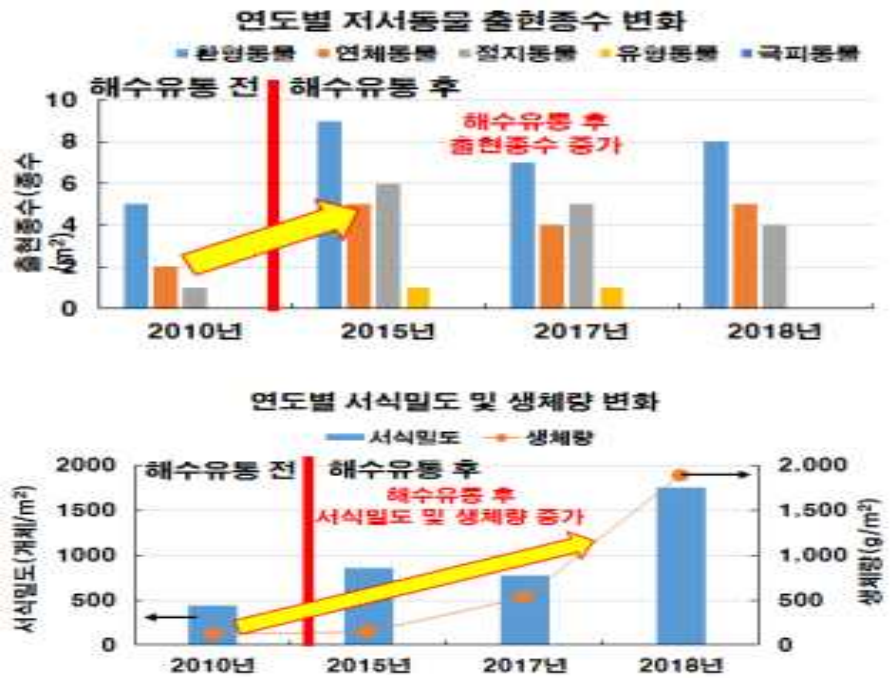
□ 황도 연륙교 **건설 전·후 패류(바지락) 생산량**을 살펴보면, **건설 전('09년~'11년)** 패류 평균 생산량은 **133톤/년**으로 **건설 후('12년~'17년)** 패류 평균 생산량은 **194톤/년**으로 **61톤/년 증가**한 것으로 나타남

□ 바지락 밀집도 분석결과 모래 함량이 **60~80%** 이상일 경우 밀집도가 우세한 것으로 조사됨. 현재 연륙교 개통 후 황도 주변 모든 갯벌에서 갯벌 내 모래함량이 지속적으로 늘어나고 있음

- **해수순환 단절로 죽뻘화 된 IV구역 갯벌의 경우, 퇴적상이 빠르게 회복중임**
- IV구역 갯벌은 **향후 4~5년 이후에는 연륙제방 건설('82년) 이전 수준의 갯벌퇴적상(모래 함량이 40~60%)으로의 회복이 예상**되며, 이에 따른 IV구역 갯벌로의 가무락(모시조개)의 서식지 확대가 기대됨



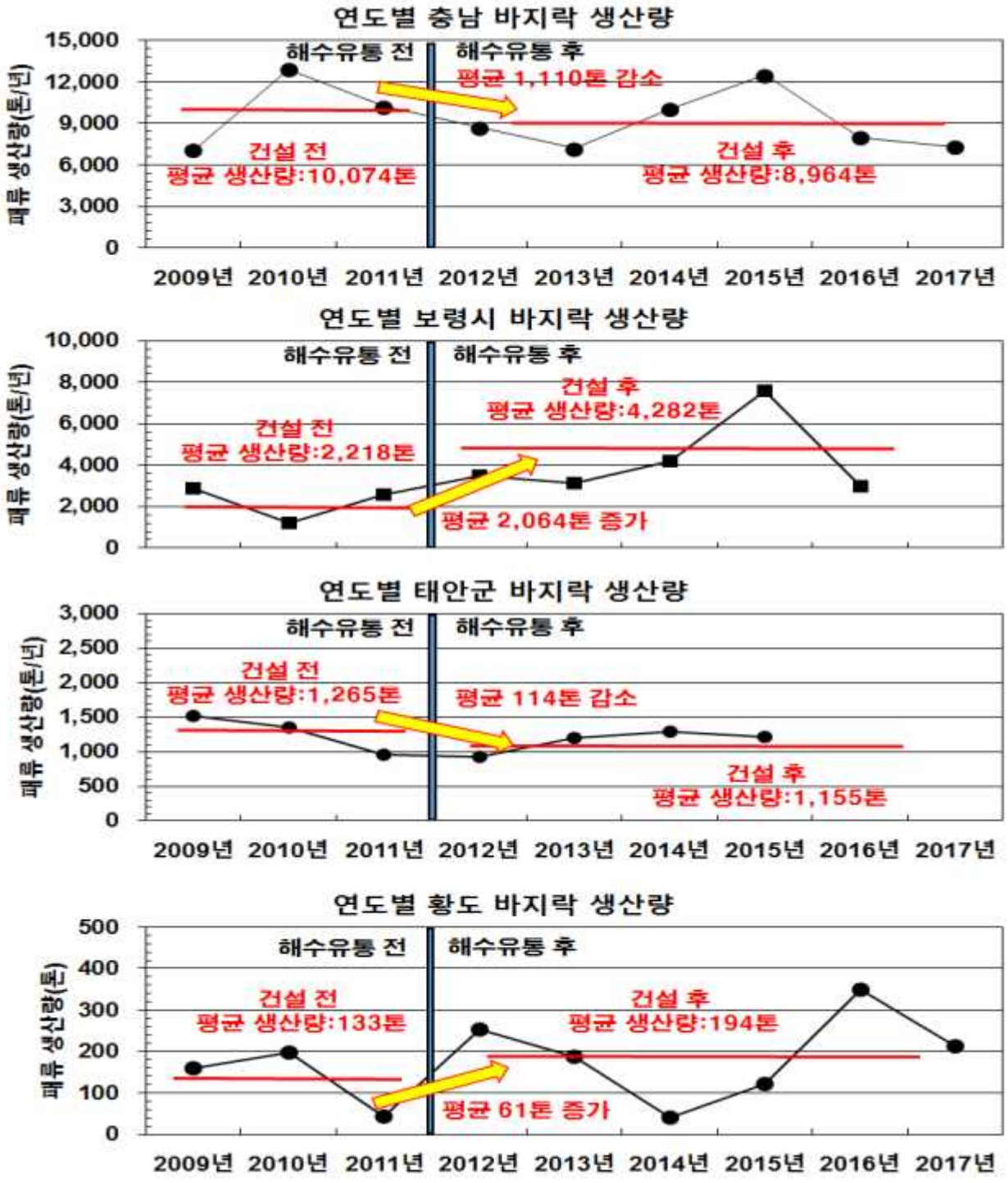
□ 갯벌 퇴적상 모래 비율이 지속적으로 증가하고 있음, 바지락 생장환경에 긍정적으로 작용



□ 연륙교 개통 후, 갯벌생물의 출현종수가 증가하였고 서식밀도 및 생체량도 지속 증가추세
□ 바지락 생산량 증가로 이어지고 있음

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

충청남도 지역별 바지락 연생산량 변동



□ 지난 **10**년 간 충남도 전체 및 태안군 바지락 연생산량은 소폭으로 감소 추세

□ 이에 비해 황도의 바지락 평균 생산량은 증가 추세로, 바지락 생산성이 잘 유지되고 있음

황도 갯벌 환경에 따른 구분(A, B 그룹)

정점군		A 그룹	B 그룹
정점		정점 4	정점 1, 2, 3
기여종 (기여율)	서식밀도	버들갯지렁이류 *M. Californiensis* (16.7%)	버들갯지렁이류 *M. Californiensis* (21.8%)
	생체량	동다리류 *Cerithideopsilla sp.* (24.1%)	바지락 *R. philippinarum* (58.3%)

□ **A**그룹 지역에서는 동다리(갯고둥)류가 우점하며 상업패류가 서식하지 않음, **B**그룹 지역에서는에서 바지락 등 상업패류가 우점하고 있어, 두 지역 간의 차이가 뚜렷함

□ **A**그룹과 **B**그룹 지역 사이에 가무락 서식지가 분포하고 있어, 향후 **A**그룹 저질환경 개선에 따른 가무락조개 서식지 확대가 기대됨

제 3 장 황도 주변 갯벌생태환경 변화에 대한 전문가 의견

■ **갯벌의 모래함량이 늘어난 원인 및 모래 공급원 분석 필요**

□ 예상되는 모래 공급원은 **백사수로를 통한 천수만 외해역으로부터의 유입, 부남호 방류에 의한 호소내 퇴적물 일부 이동, 바지락 양식장 주변 모래살포 사업의 영향 가능성**이 있음

□ **IV구역 갯벌은 해수유통 실시에 따라 뻘이 씻겨나감에 따른 모래 증가 가능성이 제기**되었으나, **탐문조사 결과 뻘 씻김에 따른 갯벌침하가 발생하지 않아 그 영향은 낮음**

□ 갯벌의 지형단면 변화분석을 실시하면 갯벌 침퇴적(모래 유출입) 현황 조사가 가능

■ **바지락 종패 및 모래 살포 사업 시행 등의 영향 분석 제안**

□ 90년대 후반부터 바지락 양식장 조성을 위한 종패 살포 사업을 실시 중

□ **바지락 종패 살포 이후, 생산량이 급격히 증가한 효과가 나타났으며** 이를 통한 **황도 전체 지역으로의 바지락 서식지 확대를 기대**할 수 있음

■ **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 추세**에 있어, **바지락 생산성이 잘 유지**되고 있음

■ **부족한 과거 현황 자료 보완을 위한 주민 탐문조사 제안**

□ 탐문조사 결과 현재 갯벌상이 이질적인 IV구역의 경우, 연륙제방 건설('82년) 후 뻘갯벌로 바뀌었으나, **연륙교 개통('12년) 후 예전의 수준으로 갯벌상이 복원되고 있음이 확인됨**

□ IV구역 갯벌 인근인 **황도 남측갯벌에서는 뻘이 많은 갯벌에서 서식하는 가무락이 매년 생산되어, 향후 IV구역으로의 서식지 확대를 기대**할 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 황도 주민 탐문조사 결과

■ 황도 갯벌 주요 양식 수산물

□ 80년대에는 김양식 중심이었으나, 90년대 후반부터 바지락 양식장을 조성하면서 바지락 종패 살포 및 모래 살포를 실시

- 사업결과 바지락 생산량이 급증하여, '02~'03년에 가장 많은 생산량 기록됨

□ '82년 연륙제방 건설 이후, 황도 서측 지역(III, IV구역)의 패류생산이 급격히 감소함

■ 황도 갯벌 퇴적상

□ 80년대에는 전반적으로 모래함량비가 우세한 혼성갯벌이었으며, IV구역의 일부 내만에서만 뻘함량이 높았음

□ '82년 연륙제방 건설 이 후, 해수유통이 단절되면서 IV구역은 지속적으로 뻘이 침적하여 뻘갯벌로 천이(모래가 줄어들고 뻘이 늘어남)됨

□ '12년 연륙교 개통 이 후, 원활한 해수유통에 의해 전반적인 모래함량이 증가하고 있으며, 특히 IV 구역이 뻘갯벌에서 모래가 섞인 혼성갯벌로 복원이 진행됨

□ 연륙교 건설 후, IV구역 갯벌에서의 뻘의 급격한 빠짐에 따른 갯벌침하는 크게 두드러지지 않음

■ 황도 연륙교 개통 이후 변화 특징

□ '82년 황도 연륙교량 건설 이 후, 황도 연륙교량 남측(IV구역) 갯벌이 빠르게 뻘갯벌로 변화되었음

□ '11년 황도 연륙교 개통 이 후, 남측(IV구역) 갯벌 저질특성이 가장 두드러지게 변화중임(모래가 늘어남)

□ 황도 남측 갯벌에 가무락조개 서식지가 넓게 분포하고 있으며, 향후 IV구역 갯벌로의 가무락 서식지 확대를 기대함

< 황도 주변 갯벌 변화에 대한 황도 주민 탐문조사 결과>

성명	송**(남)	나이	만 68세	황도거주기간	68년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)		• Ⅰ구역과 Ⅱ구역의 갯벌은 모래가 우세한 갯벌이었음 • Ⅲ구역 일부에서는 모래톱이 있었음 • Ⅳ구역의 일부구역에서는 펄 갯벌 특성을 보임 - 황도쪽 연륙교 근처 만처럼 오목하게 들어간 지역 • 자연적인 바지락 개체수 및 생산량은 많지 않았음			
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)		• Ⅳ구역 갯벌 저질이 펄로 급격하게 변하기 시작하였음 • Ⅰ지역과 Ⅱ지역에서 1990년대 후반 ~ 2000년 초반에 모래살포와 더불어 바지락 종패 살포로 인해 2000년 초반에 바지락 생산량이 최대였음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역에서는 패류가 감소함			
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)		• Ⅳ구역 갯벌 저질이 가장 많이 변화고 있음			

성명	송**(남)	나이	만 61세	황도거주기간	40년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)		• Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ구역의 갯벌은 대부분 모래가 많이 있는 갯벌이었음 • Ⅳ구역 일부 만(bay)지형은 펄 갯벌이 있었음 • 바지락 생산량은 적었음			
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)		• 1990년 후반부터 태안군에서 종패와 모래를 살포하면서 바지락 생산량이 증가하였음 • Ⅰ, Ⅱ구역에 바지락 양식장이 생기기 시작하였음			
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)		• Ⅲ구역 좌측(창기리)은 소규모 바지락과 굴 양식이 존재함 • Ⅳ구역 좌측(창기리)은 굴이 많이 서식함			

성명	우**(남)	나이	만 57세	황도거주기간	57년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)		• Ⅰ, Ⅱ구역 대부분의 갯벌은 모래가 우세한 갯벌이었음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역은 모래가 우세한 혼성 갯벌이었음 - Ⅳ구역 일부에서는 펄 형태의 혼성 갯벌도 존재했음 • 단, Ⅲ, Ⅳ구역의 수로에는 빠른 흐름으로 인해 바위가 많이 있었음 • Ⅰ구역과 Ⅱ구역에서 김 양식(지주식)을 하였기 때문에 바지락 생산지역은 외곽(조하대)에 위치해 있었음			
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)		• Ⅰ, Ⅱ구역의 김 양식장에 모래를 살포하기 시작하면서 바지락 양식장으로 변화기 시작하였음 - 군에서 모래살포와 바지락 종묘 살포를 주기적으로 시행하였음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역에서 굴 서식처가 생겨났음 • Ⅳ구역 갯벌이 펄로 빠르게 변화하기 시작하였음			
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)		• Ⅳ구역에 예전처럼 펄이 쌓이진 않는 것 같음 • Ⅲ구역 좌측(창기리)는 어촌계 굴 양식장에서 최근 개인이 운영하는 바지락 양식장으로 변화되고 있음 • Ⅰ구역과 Ⅳ구역이 만나는 구역에 가무락 서식지가 넓게 분포하고 있음 • 4월~6월에는 바지락 채취, 8월~10월은 가무락 채취			

제 5 장 결론 및 향후 계획

■ 결론

□ 황도 연륙제방 건설(1982년)은 해수를 막는 방조제 역할을 함으로써 제방 주변 갯벌로의 영양염류 유입 감소, 퇴적성 변화(죽뻘화), 저서생태계 악화가 유발됨

□ 특히, 바지락 등 상업패류는 모래 함량이 70%이상인 모래펄갯벌에서 서식하나 뻘이 많아진 갯벌에는 패류가 살 수 없는 환경으로 변화됨(지렁이류만 우점)

□ **연륙교 건설('11년 12월) 후**에는 원활한 **해수유통에 의한 모래 유입이 확대**되어 **황도 주변 갯벌환경이 개선되고 있는 것으로 나타남**

- 연륙교 개통 후 황도리 바지락 생산량이 연평균 61톤(46%) 증가함
- 연륙제방 건설('82년) 이후 뻘갯벌로 바뀐 Ⅳ구역 갯벌이 혼성갯벌로 복원 중

□ **현재 바지락, 가무락 등 상업패류가 생산되고 있지 않는 Ⅳ구역 갯벌의 경우, 퇴적상이 빠르게 회복중**임(모래함량 '10년 10.7%→ '18년 44.5%)

- 황도 갯벌 전체로 바지락, 가무락 등 상업패류 서식지 확대를 기대할 수 있음
- 향후 4~5년 후에는 Ⅳ구역 갯벌 저서환경 회복에 따른 가무락조개(황도 남측 갯벌 일부에서 생산 중)의 서식지 확대가 가능할 것으로 예상됨

■ 향후계획

□ 황도교 개통에 따른 갯벌생태 복원사업의 효과가 나타난 만큼, **황도 갯벌 생태환경에 대한 현장 모니터링의 지속 실시(3년)**가 필요

- 갯벌생태계의 회복현황 및 바지락 생장환경 조성 가능 여부를 정량적으로 예측/판단 가능

□ **향후 Ⅳ구역 갯벌에 대한 가무락 조개 등 종패 살포를 통한 갯벌 패류자원 생산구역 확대를 유도하여, 지역주민의 소득향상 기대**

제 6 장 2018년 5월, 7월 주변 갯벌 환경조사 결과

1. 해수수질 분석 결과

□ 2018년 황도 주변 **해수 상태(수질평가지수, WQI)를** 살펴보면, **5월** 조사정점(I구역~IV구역)에서는 **2등급(좋음) ~ 4등급(나쁨)**, **7월**에는 **3등급(보통)~5등급(아주 나쁨)**을 보임

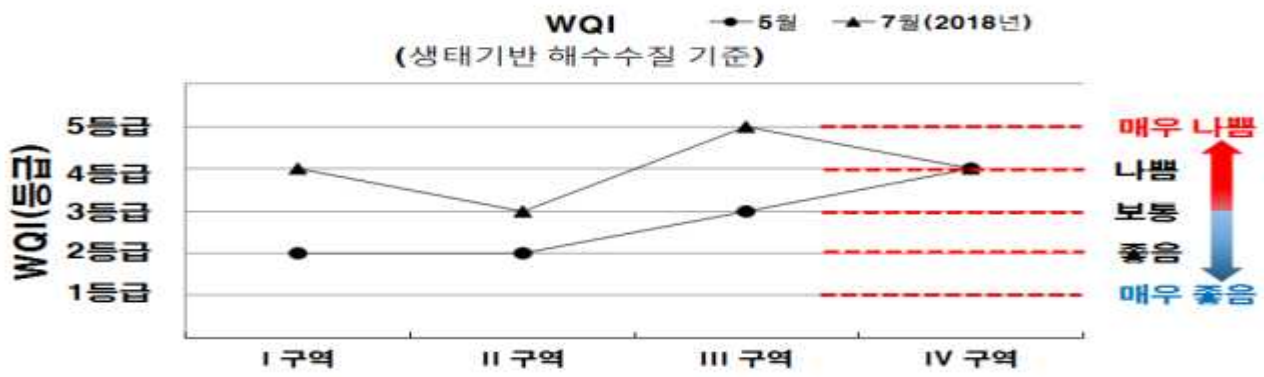
□ 공간적으로는 **5월과 7월 모두 III구역과 IV구역**에서 상대적으로 수질이 나빠진 것으로 나타남

□ 춘계(5월)보다 **하계(7월)의 수질악화**는 여름철 **수온상승**에 의한 **Chl-a 증식, 저층 용존산소(DO) 감소** 등의 영향을 받은 것으로 판단됨

□ 특히, 7월에는 강우량 증가에 따른 부남호에서의 방류는 황도 주변 해양수질에 일부 영향을 주었음

□ 해수 내 **미량금속(중금속)**은 **계절(5월, 7월) 및 공간적(4개 조사정점)**으로 **해양생태계 보호기준 이하** 수준으로 분포하여, **전반적으로 양호한 수준**을 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 체험장(I구역), 바지락 양식장(II구역), 연륙교 북쪽(III구역)**에서는 모래(자갈 포함) 함량(63.8%~87.5%)이 펄(실트 포함) 함량(12.5%~36.2%)보다 높은 편이나 **연륙교 남쪽**(IV구역)에서는 펄 함량(50.4%~60.6%)이 모래함량(39.4%~49.6%)보다 높게 조사되었음

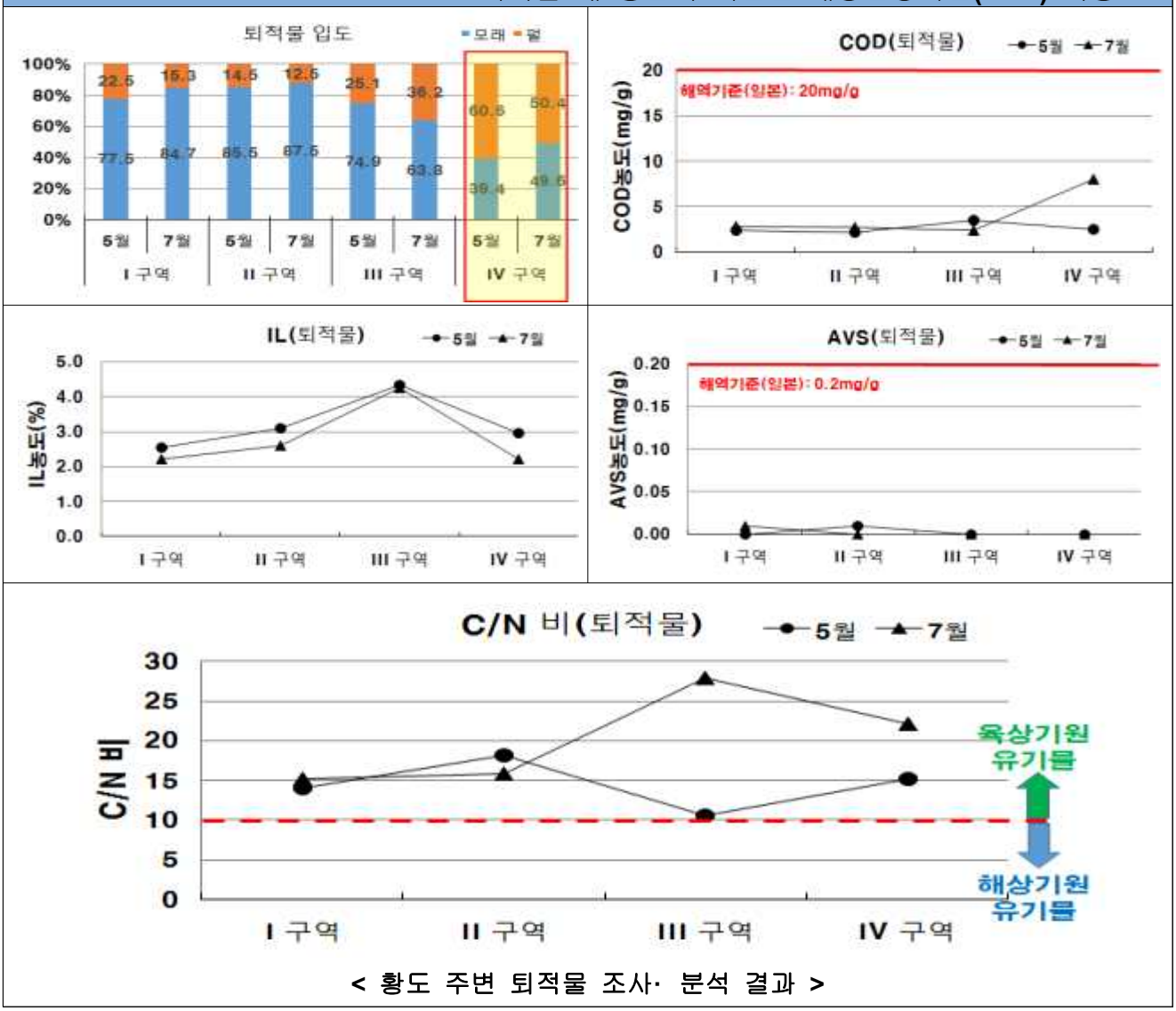
□ 퇴적물 내 유기물 오염지수인 **화학적산소요구량**(COD: 20mg/g 기준치)은 2.16~7.96mg/g, **강열감량**(IL)은 2.22~4.33%, **산휘발성황화물**(AVS: 0.2mg/g 기준치)은 0~0.01mg/g로 조사 정점에서 모두 **기준치 이하**로 조사되어 해저퇴적물 내 유기물 오염은 **양호한 상태**로 판단되었음

□ **퇴적물 내 C/N비**(10이상인 경우 육상기인 유기물로 판단)는 **춘계**(5월: 10.5～18.1) 및 **하계**(7월: 15.2～22.2)에 전체적으로 **10 이상**의 값을 보여 퇴적물 내 유기물이 **육상유래 기여도가 높은 것으로 나타남**

□ 퇴적물 내 **유기물의 양적인 면(농도)**에서 오염도는 **양호**하나 **질적인 면(유기물 기원)**에서는 **육상유래 유기물의 기여**가 높아 **주변 육상 오염원의 영향을 받고 있음**

□ **퇴적물 내 중금속** 분포 결과는 대부분 중금속에서 **국내외 기준(주의기준)을 하회**하는 것으로 분석되었으나, 부남호의 방류에 따른 영향 가능성이 있음

유기물(COD, IL, AVS)은 퇴적물 조사 및 정화·복원 규정(2013)과
퇴적물 내 중금속 기준은 해양환경기준(2011) 적용



< 황도 주변 퇴적물 조사· 분석 결과 >

☞ 갯벌퇴적물 내 유기물 오염지수는 양호한 수준이며, 황도 갯벌의 유기물 기원은 육상에서 영향을 많이 받고 있음

3. 해양생물 분석 결과

□ 대형저서동물의 조사결과 **출현종수**는 **5월(27종)이 7월(20종)**보다 많았으며, **서식밀도와 생체량**은 **일부 종(환형동물과 연체동물)**에서 **시기적인 변동 폭을 보임.** 생물다양성은 5월과 7월에서 비슷한 경향을 보임

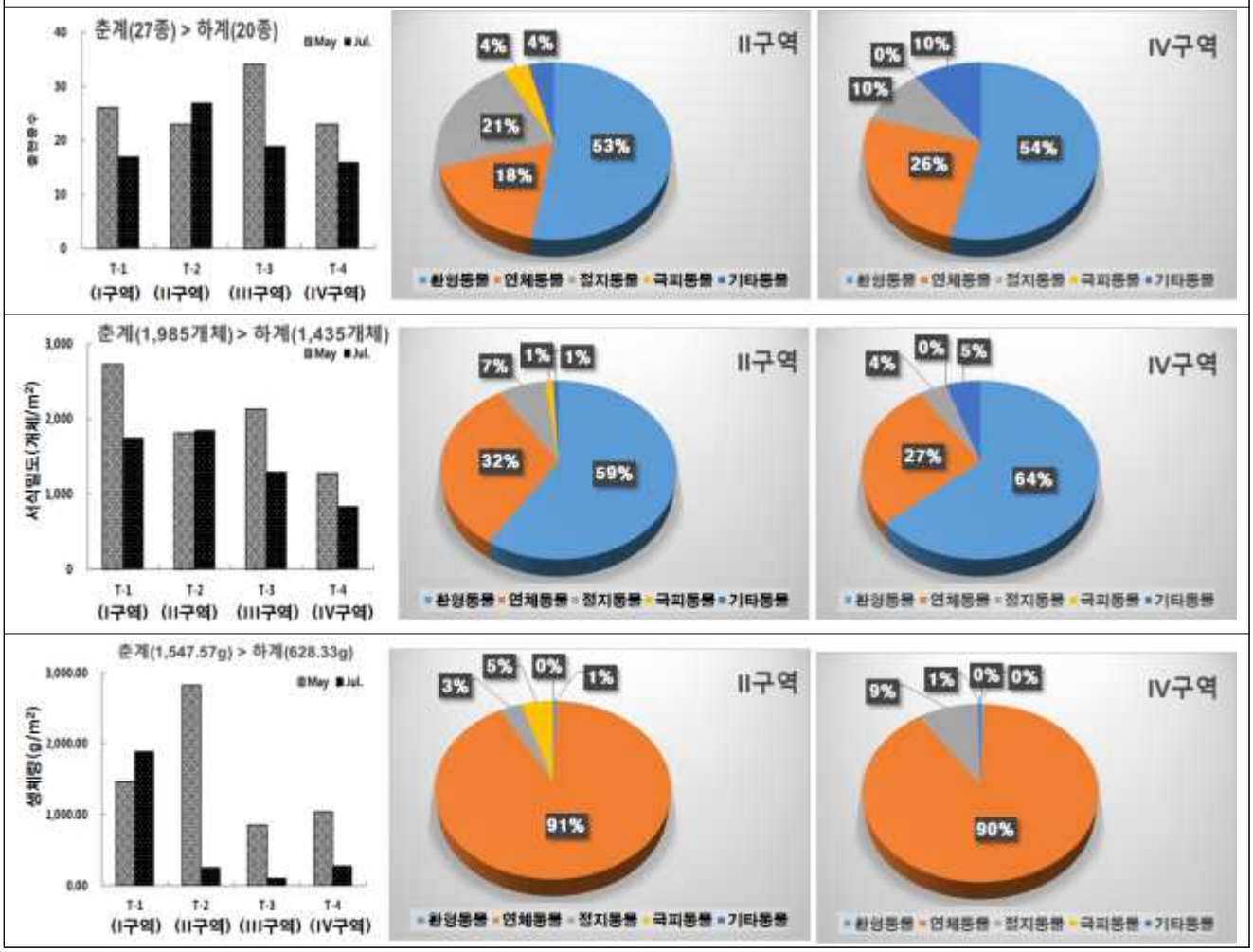
□ 서식밀도에서는 환형동물이, 생체량에서는 연체동물의 기여가 큼

□ 대형저서동물의 군집분포를 보면 크게 두 집단(A, B)으로 구분이 됨. **A 집단(IV구역)과 B집단(I, II, III구역)으로 나뉨**

□ **2018년 조사결과를** 보면 **IV구역**에서 **출현종수, 서식밀도, 생체량**이 **다른 구역(I, II, III구역)에 비해** 상대적으로 **낮은 결과**를 보여주고 있음

- IV구역에도 패류(연체동물)가 서식하나 바지락 등 상업패류의 비중은 낮음

■ 대형저서동물조사 결과: 환형동물과 연체동물이 저서동물 조성에 큰 기여



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

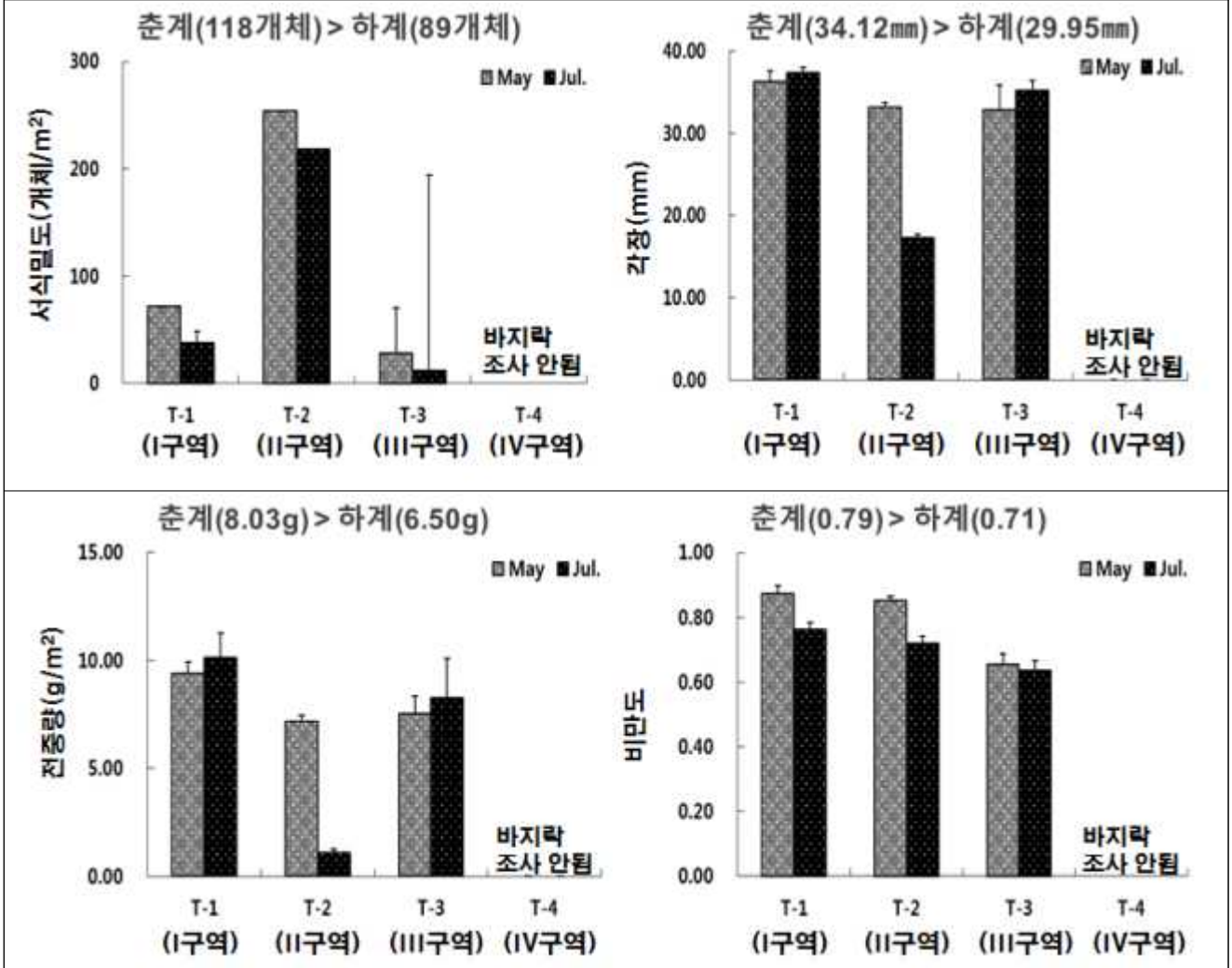
□ **패류 자원(바지락) 조성** 조사결과, Ⅳ구역에서만 바지락이 생존하지 않았음

- 기타 지역에서는 바지락이 우점하는 분포특성이 나타나며, 서식밀도(5월: 118개체〉 7월: 89개체), 비만도(5월: 0.79 〉 7월: 0.71), 각장(5월: 34.12mm 〉 7월: 29.95mm), 전중량(5월: 8.03g 〉 7월: 6.50g) 모두 **7월보다 5월에서 높게 나타남**

□ **갯벌 퇴적상 복원이 Ⅳ구역에서 지속적으로 진행되면, 패류 서식이 가능할 것으로 판단됨**

□ **연륙교 건설 후 해수 흐름 복원은 바지락 생장환경에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단됨**

■ 패류자원(바지락) 조사 결과: 바지락은 하계(7월)보다 춘계(5월)에 높은 값을 보임



< 황도 주변 해양생물 조사· 결과 >

☞ 패류자원(바지락)조사에서는 Ⅳ구역(바지락 없음)을 제외한 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ구역에서 공간적·계절적 일부 차이를 보였으며, 이는 바지락의 생리·생태적 특성(산란, 먹이활동 등)에 의한 결과로 판단됨

목 차

요약문 ····· 1-14
목차 ····· i
표목차 ····· iii
그림목차 ····· v

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 ····· 56
1) 현장조사 개요 ····· 56
2) 현장조사 방법 ····· 57
3) 시료의 전처리 및 분석 ····· 58
4) 현장조사 결과 ····· 63
3. 저서동물 ····· 81
1) 현장조사 개요 ····· 81
2) 현장조사 방법 ····· 82
3) 시료의 전처리 및 분석 ····· 82
4) 현장조사 결과 ····· 84
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 ····· 119
1. 황도 연륙교 건설 전후 해양수질 변화 ····· 119
2. 황도 연륙교 건설 전후 퇴적물 변화 ····· 121
3. 황도 연륙교 건설 전후 저서생물 변화 ····· 122
1) 저서생물 변화 ····· 122
2) 수산업(바지락) 생산량 변화 ····· 123
4. 황도 주변 갯벌 환경 탐문조사 ····· 124

제 5 장 결론 및 정책제언 ····· 131
1. 결론 ····· 131
2. 정책제언 ····· 132

참고문헌 ····· 135

부록 – 해양환경 기준 ····· 139

표 목 차

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준) ····· 4
[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교(2014~2018.07) ····· 14
[표 2-2] 황도리 토지이용 현황 ····· 15
[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 저서대형동물 ····· 25
[표 2-4] 황도갯벌 저서동물 우점종(밀도기준(개체/㎡), 2010, 2015, 2017년) ····· 26
[표 2-5] 황도갯벌 저서동물 우점종(생체량(g/㎡)기준, 2010, 2015, 2017년) ····· 27
[표 2-6] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준, 2010, 2015, 2017년) ····· 28
[표 2-7] 황도갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/㎡, 2010, 2015, 2017년) ····· 30
[표 3-1] 황도 해양수질조사 분석항목 ····· 33
[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(2018년 5월) ····· 40
[표 3-4] 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과(2018년 7월) ····· 41
[표 3-5] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO2-Si 등 결과(2018년 5월) ····· 45
[표 3-6] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO2-Si 등 결과(2018년 7월) ····· 45
[표 3-7] 해양 수질의 미량금속류 결과(2018년 5월) ····· 48
[표 3-8] 해양 수질의 미량금속류 결과(2018년 7월) ····· 49
[표 3-9] 해양환경기준-해양수산부고시 제 2013-186호 ····· 51
[표 3-10] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2018년 5월) ····· 52
[표 3-11] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2018년 7월) ····· 52
[표 3-12] 해양환경기준(생태기반 해수수질 기준) - 해양수산부고시 제2013-186호 ····· 55
[표 3-13] 황도 주변 갯벌 퇴적물조사 분석항목 ····· 56
[표 3-14] 지수별 퇴적물의 입도 환산표 ····· 60
[표 3-15] 조직 표준치의 산정공식 및 언어표기 척도(Verbal scale) ····· 61
[표 3-16] 퇴적물 표준시료(MESS-4)를 이용한 분석 결과 및 회수율 ····· 63
[표 3-17] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2018년 5월) ····· 64
[표 3-18] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2018년 7월) ····· 65
[표 3-19] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2018년 5월) ····· 67
[표 3-20] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2018년 7월) ····· 67
[표 3-21] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2018년 5월) ····· 72
[표 3-22] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2018년 7월) ····· 72
[표 3-23] 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186) ····· 73
[표 3-24] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리 기준 ····· 73

[표 3-25] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준 ····· 76
[표 3-26] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2018년 5월) ····· 77
[표 3-27] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2018년 7월) ····· 77
[표 3-28] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준 ····· 79
[표 3-29] 해양퇴적물 내 농집지수(2018년 5월) ····· 79
[표 3-30] 해양퇴적물 내 농집지수(2018년 7월) ····· 80
[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치 ····· 81
[표 3-32] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 출현종수 비율(2018년 5월) ····· 84
[표 3-33] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 출현종수 비율(2018년 7월) ····· 85
[표 3-34] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 서식밀도 비율(2018년 5월) ····· 86
[표 3-35] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 서식밀도 비율(2018년 7월) ····· 87
[표 3-36] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생체량 비율(2018년 5월) ····· 88
[표 3-37] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생체량 비율(2018년 7월) ····· 89
[표 3-38] 황도갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(개체/㎡)(2018년 5월) ····· 90
[표 3-39] 황도갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(개체/㎡)(2018년 7월) ····· 91
[표 3-40] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 우점종(g/㎡)(2018년 5월) ····· 92
[표 3-41] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 우점종(g/㎡)(2018년 7월) ····· 93
[표 3-42] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생태지수(2018년 5월) ····· 94
[표 3-43] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생태지수(2018년 7월) ····· 95
[표 3-44] 2018년 황도 저서동물의 구역별 군집 기여종(서식밀도 기준) ····· 97
[표 3-45] 2018년 황도 저서동물의 구역별 군집 기여종(생체량 기준) ····· 98
[표 3-46] 2018년 황도 저서동물의 해역별 유사성 분석 ····· 98
[표 3-47] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 서식밀도 ····· 99
[표 3-48] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각장 ····· 100
[표 3-49] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각폭 ····· 101
[표 3-50] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각고 ····· 101
[표 3-51] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 전중량 ····· 102
[표 3-52] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 비만도 ····· 103
[표 3-53] 황도 주변 해수수질평가지수(WQI) 및 COD 특성 ····· 104
[표 3-54] 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08) ····· 105
[표 3-55] 황도 주변 퇴적물 내 입도, COD, C/N비 특성 ····· 107
[표 3-56] 황도 주변 바지락 살포 현황 ····· 116
[표 4-1] 황도 연륙교 개통 전· 후 해수수질평가지수(WQI) 비교 ····· 119
[표 4-2] 황도 주변 갯벌 변화에 대한 황도 주민 탐문조사 결과 ····· 128

그 림 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 비교 ····· 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 계절 및 정점별 분포 ····· 42
[그림 3-4] 조사해역 수질 DIN, PO4-P, SiO2-Si의 계절 및 정점별 분포 ····· 46
[그림 3-5] 조사해역 수질 TN, TP, Chl-a의 계절 및 정점별 분포 ····· 47
[그림 3-6] 조사해역 수질 내 미량금속의 계절 및 정점별 분포 ····· 50
[그림 3-7] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2018년 5월) ····· 53
[그림 3-8] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2018년 7월) ····· 53
[그림 3-9] 생태구역 구분도 ····· 54
[그림 3-10] 황도 퇴적물 조사도 ····· 56
[그림 3-11] 황도 퇴적물 현장사진 ····· 57
[그림 3-12] 자갈, 모래 및 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류 ····· 62
[그림 3-13] 함량비에 따른 퇴적상 분류(삼각다이아그램) ····· 65
[그림 3-14] 조사해역 퇴적물 함수량, COD, TOC, TN, AVS의 계절 및 정 ····· 68
[그림 3-15] 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비 ····· 69
[그림 3-16] 조사해역 퇴적물 내 중금속의 계절 및 정점별 분포 ····· 71
[그림 3-17] 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교 ····· 75

[그림 3-18] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농축계수 ····· 78
[그림 3-19] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농집지수 ····· 80
[그림 3-20] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사도 ····· 81
[그림 3-21] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 채집(좌) 및 측정(우) ····· 83
[그림 3-22] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 출현종수 비율 및 구역별 출현종수 ····· 84
[그림 3-23] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 출현종수 비율 및 구역별 출현종수 ····· 85
[그림 3-24] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 서식밀도 비율 및 구역별 서식밀도 ····· 86
[그림 3-25] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 서식밀도 비율 및 구역별 서식밀도 ····· 87
[그림 3-26] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량 ····· 88
[그림 3-27] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량 ····· 89
[그림 3-28] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 주요 우점종 ···· 91
[그림 3-29] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 주요 우점종 ····· 93
[그림 3-30] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교 ····· 94
[그림 3-31] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교 ····· 95
[그림 3-32] 다변량 분석을 통한 2018년 황도 저서동물군집 분포(서식밀도 기준) ····· 96
[그림 3-33] 다변량 분석을 통한 2018년 황도 저서동물군집 분포(생체량 기준) ····· 97
[그림 3-34] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 서식밀도 ····· 99
[그림 3-35] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각장, 각폭 및 각고 ····· 100
[그림 3-36] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 전중량 ····· 102
[그림 3-37] 조사구역별 WQI 등급 변화(2018년 5월, 7월) ····· 105
[그림 3-38] 조사구역별 COD 변화(2018년 5월, 7월) ····· 105
[그림 3-39] 조사구역별 입도 성분 변화(2018년 5월, 7월) ····· 107
[그림 3-40] 조사구역별 COD 변화(2018년 5월, 7월) ····· 108
[그림 3-41] 조사구역별 C/N비 변화(2018년 5월, 7월) ····· 108
[그림 3-42] 2018년 황도 저서동물군집의 시· 공간적 분포 ····· 110
[그림 3-43] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 시· 공간적 분포 ····· 113
[그림 3-44] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 각장 히스토그램 ····· 113
[그림 3-45] 연도별 충청남도, 보령시, 태안군 및 황도 바지락 생산량 추이 ····· 115
[그림 4-1] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화(춘계) ····· 120
[그림 4-2] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화(하계) ····· 120
[그림 4-3] 연륙교 건설 전후 퇴적물 입도 변화 ····· 121
[그림 4-4] 연륙교 건설 전후 저서동물 변화 ····· 122
[그림 4-5] 연도별 황도 바지락 생산량 변화 특성 ····· 123
[그림 4-6] 황도 주변 갯벌 구역도와 황도 연륙제방 및 연륙교 전경 ····· 124
[그림 4-7] 황도 갯벌 환경에 따른 구분(A, B 그룹) ····· 126
[그림 4-8] 황도 연륙교 밑(Ⅳ구역 맞은편 갯벌) 바지락 채취 모습(위)과 Ⅳ구역 펄 갯벌 사진(아래) ····· 126

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 자연자본 중 하나이다.

◦ 우리나라 현재 갯벌면적은 2,487㎢로 국토면적의 2.5%에 해당하여, 고도 성장기인 1970년 이후 2015년까지 농지조성용 대규모 간척지 개발, 항만· 임해산업단지 조성 등으로 일부의 갯벌이 매립되면서 사라졌다.

◦ 특히, 매립에 의한 갯벌 훼손이 심각했던 시기는 1978년부터 1998년에 이르며, 1987년 이후에 상실된 갯벌의 면적은 총 810.5㎢로 경기 341㎢, 충남 130㎢, 전북 208㎢, 전남 125㎢, 경남 6.5㎢ 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 해양공간 복원을 통한 해양생물 산란· 부양공간의 확보와 함께, 연안지역의 생태적· 경제적 활력 가치 증진이 중요하게 대두되고 있다.

◦ 전국 갯벌 현황 중 복원 대상지 조사 개요[1]를 보면 우리나라 단위갯벌[2]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

[표 1-1] 완료된 갯벌 복원 사업 현황(2016년 기준)

위치	사업규모	사업기간	예산	주요 내용
인천 강화군 동검도 연륙교	0.2㎢	2014～2016	50억원	제방 교량화
전북 고창군 심원 폐양식장	0.96㎢	2010～2013	107억원	갯벌 복원
전남 무안군 현경면	0.2㎞×50m	2013～2014	4.3억원	기수역 복원
전남 신안군 증도-화도	1.2㎞×3.5m	2012～2014	19억원	노둣길 통수로 설치
전남 신안군 병풍도-대기점도	1.05㎞×3.5m			
전남 신안군 대기점도-소기점도				
전남 신안군 소기점도-소약도	0.97㎞×4m			
전남 고흥군 풍야면 매곡리지선	0.2㎢	2014～2015	4.2억원	폐양식장, 말목제거
전남 순천시 농주리 폐염전	0.12㎢	2010～2012	25억원	갯벌복원
경남 사천시 비토섬	0.56㎢	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)

2) 시간적 범위

◦ 용역기간 : 2018년 5월 ~ 2018년 10월(6개월)

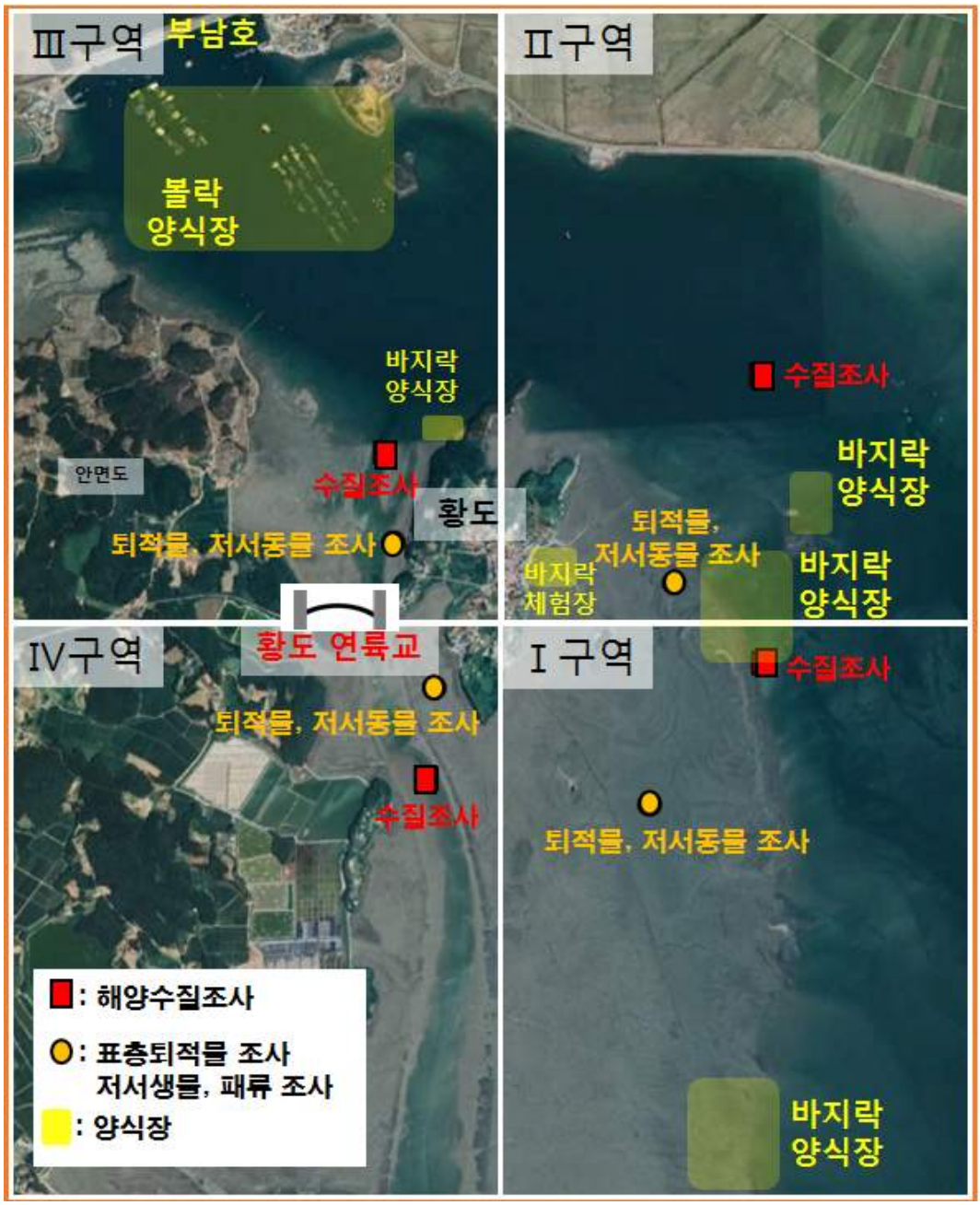
3) 내용적 범위

◦ 황도 주변 갯벌 환경 및 생태자료 문헌 및 탐문 조사(황도교 건설 전후 과거 자료)

◦ 해양환경 조사(수질, 퇴적물 등)

◦ 갯벌 생태조사(대형저서동물 군집구조 및 패류 자원조성)

◦ 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 섬이다 [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(2006～2016년) 연 평균, 최고 및 최저[3] 기온값

◦ 최근 10년간 태안군 연평균 기온 변화를 살펴보면 2006년부터 12℃ 대에서 2012년 11.5℃까지 감소하였다가 2013년도부터 증가하고 있는 경향을 보여주고 있다[그림 2-2].

◦ 가장 최근 2016년도의 평균 기온(13.6℃)은 최근 10년 중 가장 낮았던 2012년(11.5℃)에 비해 2.1℃ 만큼 상승하였다. 이러한 기온 상승은 주변 환경에도 다양한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

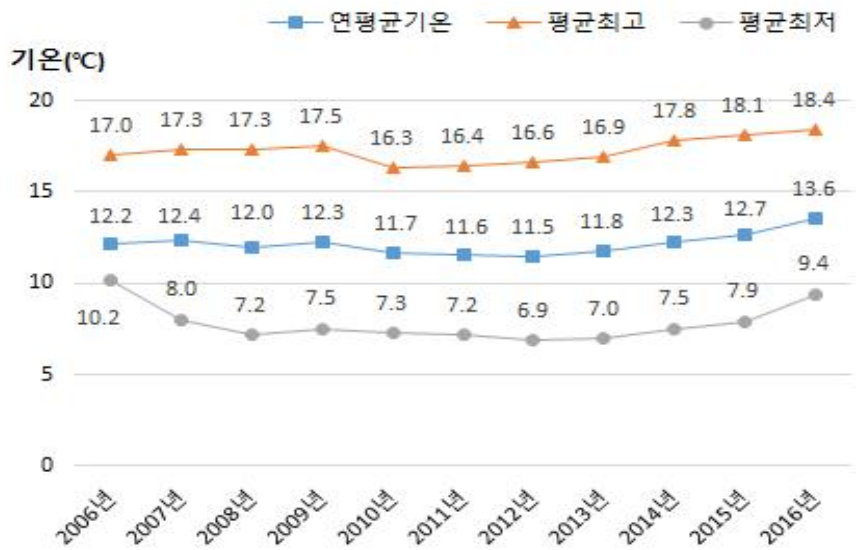
◦ 태안군(황도 포함)은 바다의 영향을 많이 받아 해양성 기후로 기온차가 적은 특징을 가지고 있으며, 최고기온 평균치와 최저기온 평균치의 차이가 10℃ 안팎으로 크지 않은 결과를 보여주고 있다.

◦ 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.



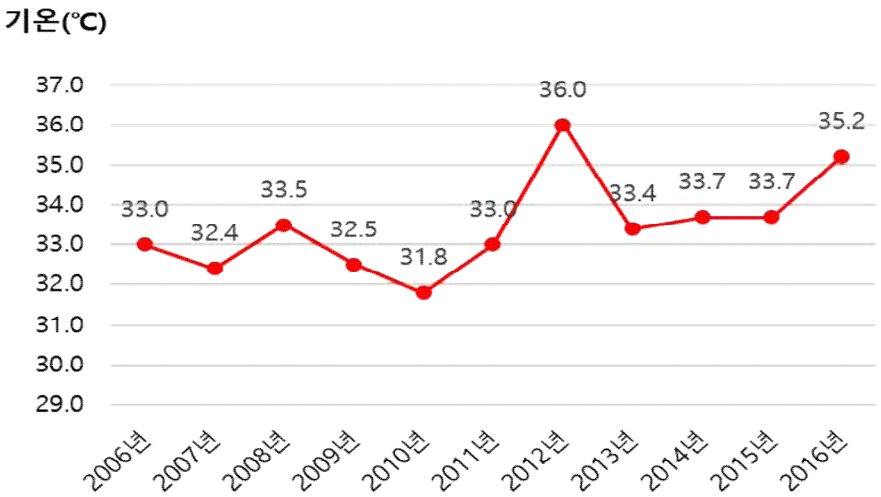
[그림 2-2] 지난 10년간 태안군 연평균 기온 변화

② 최근 10년(2006～2016년) 기온 최고극값[4)]

◦ 최근 10년간 최고극값은 일부 감소(2006년 ~ 2010년)를 보이다가, 이후 증가 경향을 보이고 있다[그림 2-3].

◦ 연평균 기온이 가장 낮았던 2012년에 가장 높은 극값(36.0℃)을 보였다.

◦ 최근 10년간 기온 최고극값의 증가 폭(2.2℃)은 연평균 기온상승(1.4℃)보다 0.8℃가 높게 나타났다.



[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

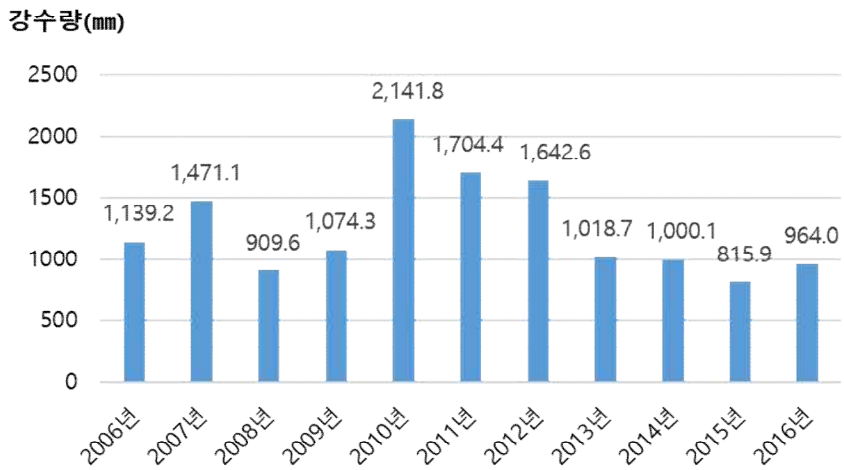
◦ 최근 10년(2006~2016년) 연 강수량의 변화를 [그림 2-4]에 나타내었다.

◦ 태안군의 강수량은 2010년에 2,141.8㎜로 가장 많이 내렸으며, 2015년에는 815.9㎜로 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

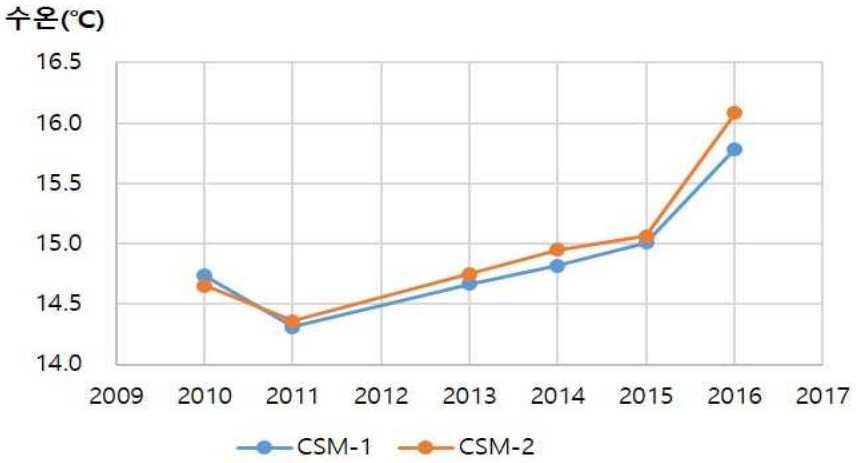
◦ 최근 (2010~2016년) 황도 인근 천수만의 수온 변화를 [그림 2-6]에 나타내었다.

◦ 태안군 황도 인근 천수만 2개의 정점(국립수산과학원 어장환경모니터링 참고)에서 2010년부터 2016년까지 (2012년 제외) 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월의 평균 수온변화를 그래프로 나타냈다[그림 2-5].

◦ 두 정점 모두 평균 수온이 증가하는 추세를 보이며, 수온이 가장 낮게 나타난 2011년과 비교하였을 때 2016년도에 각각 약 1.5℃, 1.7℃씩 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)



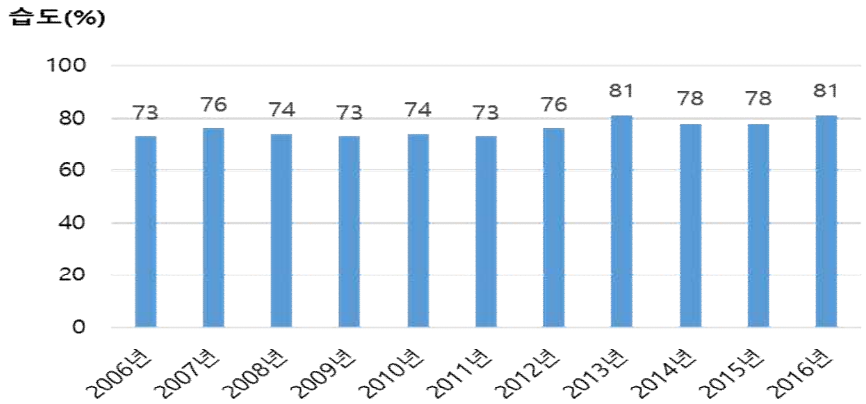
[그림 2-6] 어장환경모니터링 천수만 두 정점의 연평균 수온변화 비교

(4) 기타 요소

◦ 최근 10년(2006~2016년) 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 5년간 태안군의 총 인구는 점차 증가 추세를 보이고 있으나, 황도리 총 인구는 ´ 14년 305명에서 ´ 18년 291명으로 최근 5년간 완만한 감소 추세를 보이고 있다[표 2-1].

◦ 최근 5년간 주민들의 고령비(전체인구에 대한 65세 이상 비율)를 살펴보면 태안군과 황도리는 이미 오래전부터 초고령화 사회(고령비가 20% 이상)에 진입한 상태이다.

□태안군은 최근 5년 사이에 고령비가 2.8% 증가한 반면, 황도리는 5.4% 증가를 보여 태안군의 약 2배의 증가율을 보였다.

□황도리는 고령화 비율이 특히 높은 수준(43.3%)으로, 주민들의 노령화가 지속됨과 함께 젊은 어촌인구의 유입이 따르지 않은 원인으로 판단된다.

◦ 황도지역의 고령비 증가는 황도 어촌계원수(115명, 2018.07월 기준) 및 어업생산량의 감소로 이어질 것으로 예상된다.

[표 2-1] 태안군 및 황도리 인구변화와 고령비 비교(2014~2018.07)

구분		2014	2015	2016	2017	2018.07
태안군	총인구(명)	62,574	63,484	63,900	63,932	63,744
	고령비	25.2%	25.8%	26.4%	27.4%	28.0%
황도리	총인구(명)	306	305	297	290	291
	고령비	37.9%	38.0%	38.7%	43.4%	43.3%

5) 토지이용

◦ 황도리의 전체면적은 638,675㎡(863 지번)로 전, 답 및 임야가 80% 이상이며, 대지 및 잡종지는 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· 검토하였다[그림 2-8].

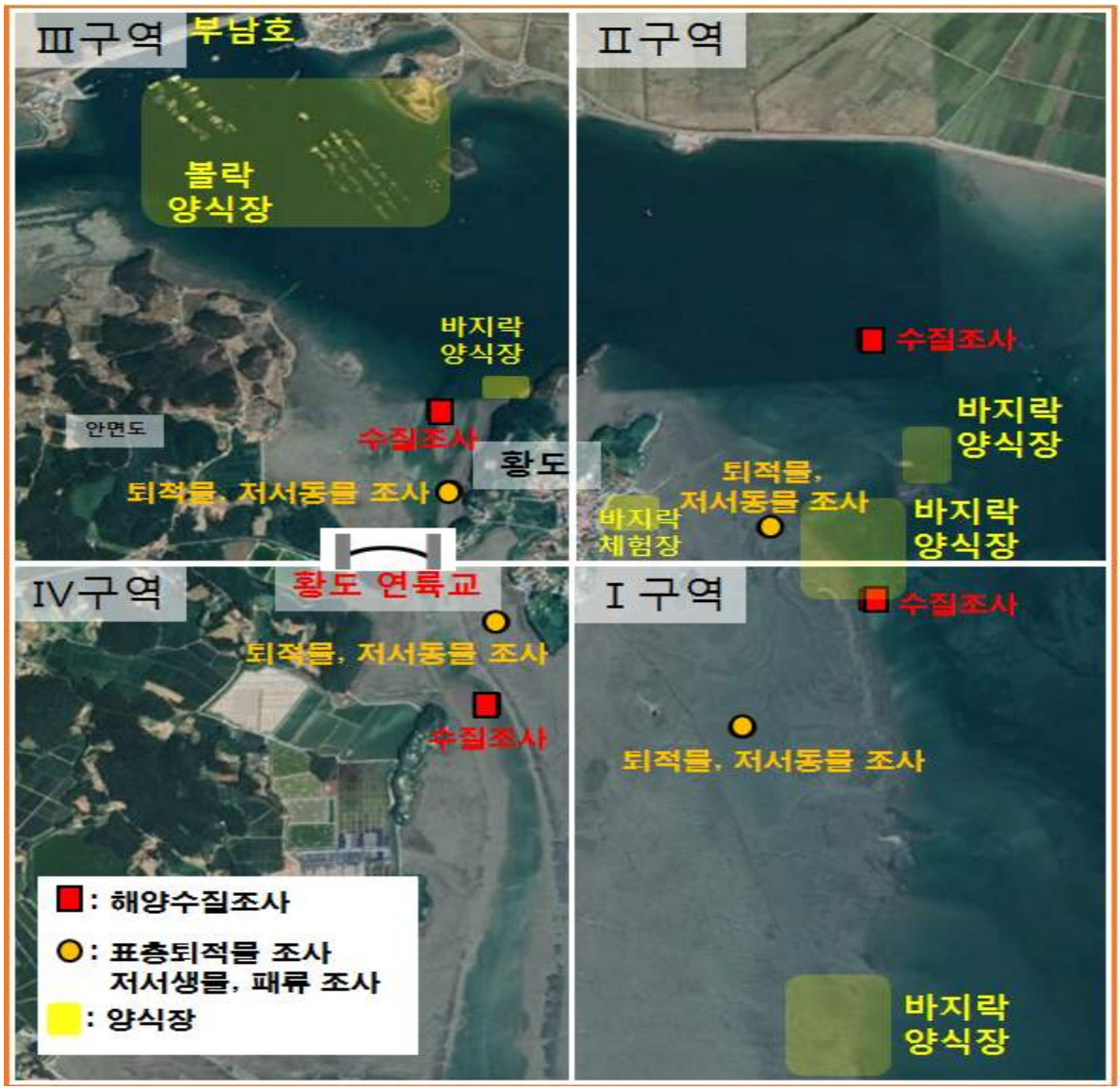
□ Ⅰ구역: 황도 남동쪽 구역, Ⅱ구역: 황도 북동쪽 구역, Ⅲ구역: 황도 북서쪽 구역, Ⅳ구역 : 황도 남서쪽 구역

◦ 먼저 Ⅰ구역은 황도를 중심으로 남동쪽 아래에 있는 구역으로 바지락 양식장 및 바지락 서식처가 넓게 분포하고 있다.

◦ Ⅱ구역은 황도를 중심으로 황도 연륙교 북동쪽에 위치한 구역으로 바지락 캐기 체험장과 바지락 양식장이 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

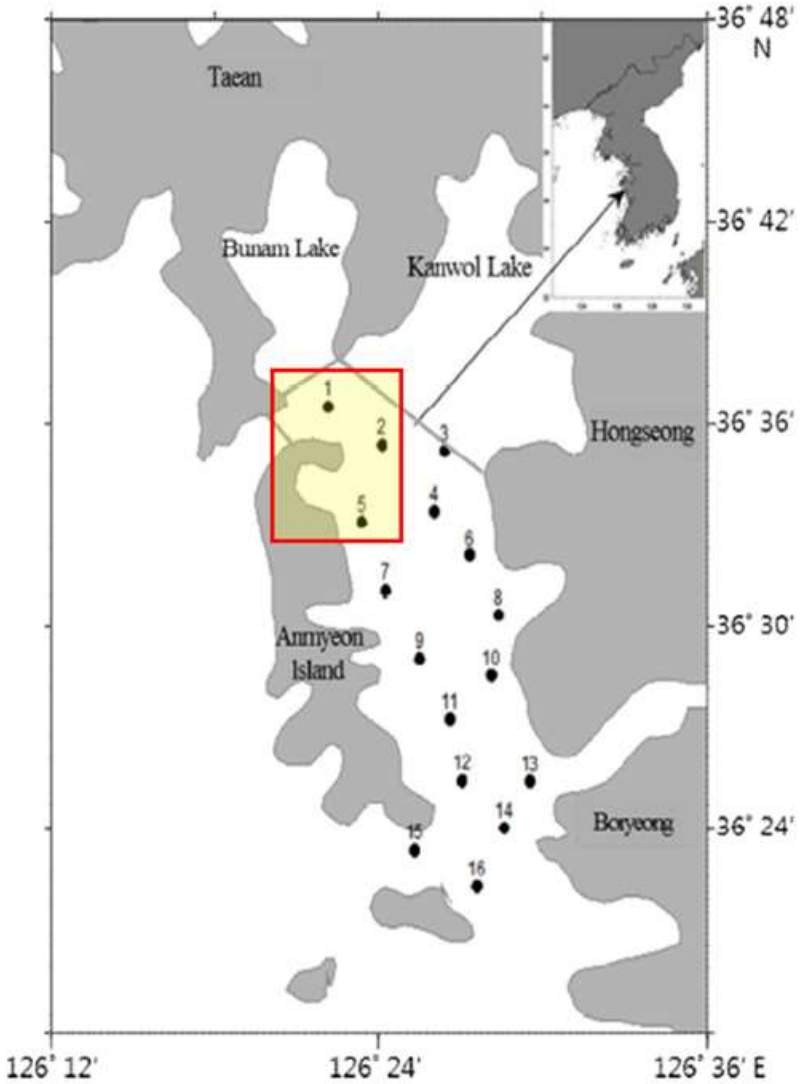
1) 황도 주변 수질 환경 특성

(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

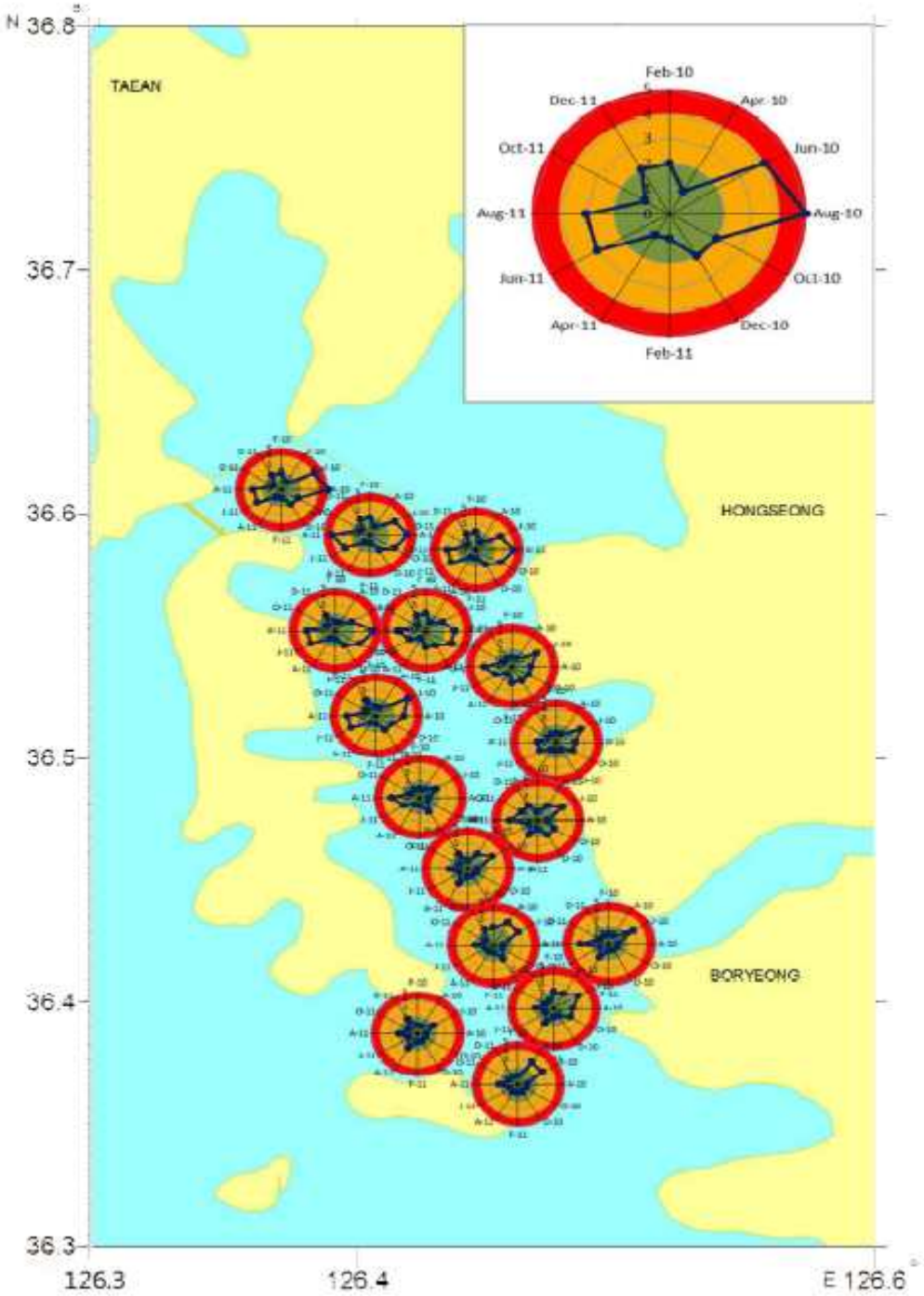


[그림 2-9] 천수만(황도) 주변 수질 환경 조사
정점도(2010년～2011년)

◦ 선행연구에서 조사된 결과들의 수질평가 지수 값을 생태기반 해수수질기준(WQI)으로 등급화한 결과를 보면, 2010년 및 2011년 춘계(4월)에서는 모든 정점에서 1등급(매우좋음)을 보였다[그림 2-10].

◦ 하지만 2010년 및 2011년 하계(8월)에서는 3등급(보통)~5등급(매우나쁨)으로 조사되었다. 특히 2010년 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)

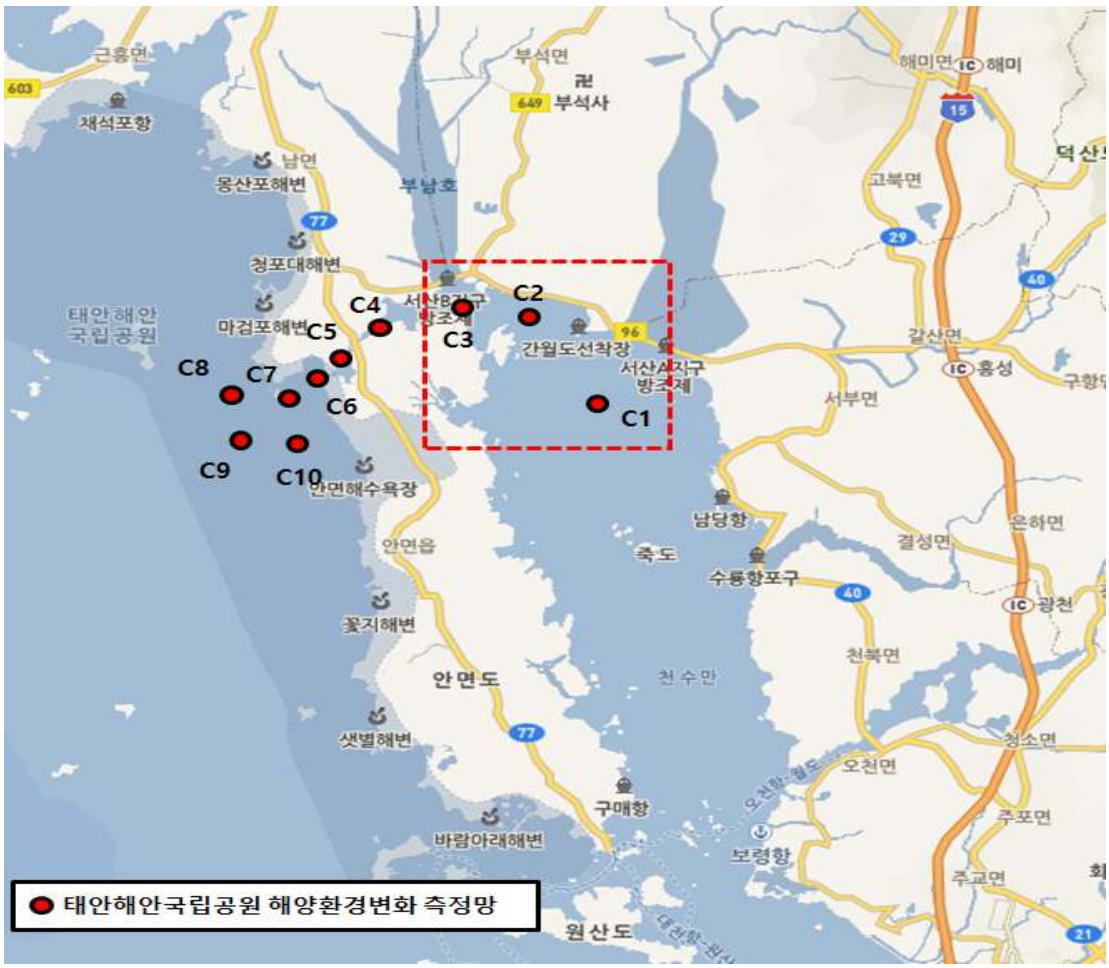
(2) 황도 연륙교 개통(2011년 12월) 후 황도 주변 수질 환경 관련 선행 연구

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 Ⅰ구역~Ⅲ구역까지 모든 정점에서 1 등급(매우 좋음)으로 조사되었으나, 하계에서는 Ⅰ구역 2등급(좋음), Ⅱ구역과 Ⅲ구역에서는 3등급(보통)으로 분석되었다[그림 2-12].

◦ 2016년의 조사결과에서 춘계에는 Ⅰ구역~Ⅲ구역에서 모두 1 등급(매우 좋음)으로 조사되었고, 하계의 Ⅰ구역~Ⅲ구역에서 모두 2 등급(좋음)으로 조사되었다.

◦ 2014년과 2016년 선행연구를 보면 춘계보다 하계에서 수질이 악화되고 있고, 이러한 계절적인 변화의 원인으로는 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.

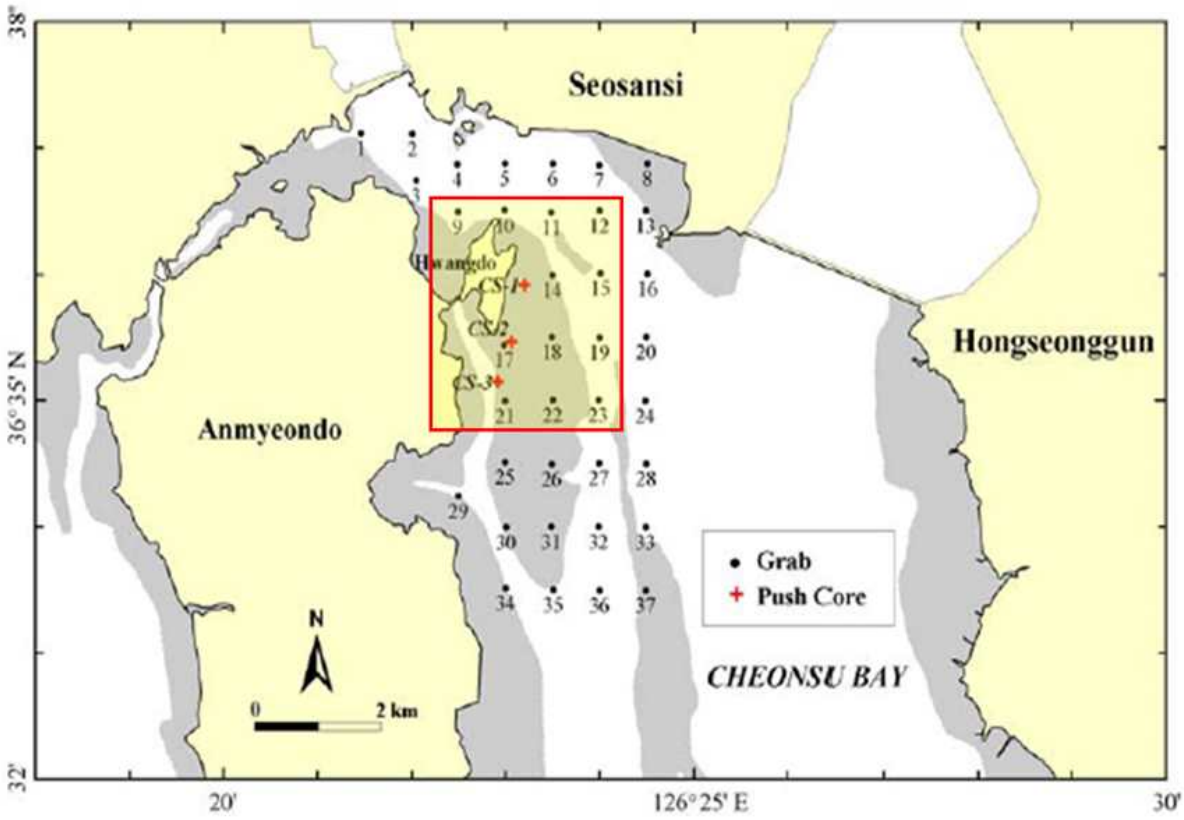
[그림 2-12] 태안해안국립공원 해양환경변화 해양수질(WQI) 결과(2014, 2016)

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 Ⅰ구역에서는 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(Ⅰ구역: 황도 남동쪽 구역, Ⅱ구역: 황도 북동쪽 구역, III구역: 황도 북서쪽 구역, IV구역: 황도 남서쪽 구역)으로 나누고 입도 분포를 나타내었다.,

□ Ⅰ구역 : 정점 16, Ⅱ구역 : 정점 4, III구역 : 정점 8, IV구역 : 정점 9

◦ 연안습지 기초조사에 따르면 황도를 중심으로 북서쪽에 위치하고 있는 Ⅰ구역의 갯벌 퇴적물 입도 특성을 살펴보면, 모래(sand) 이상의 함량비가 73.7%, 펄(silt-clay)은 26.3%로 조사되었다.

◦ Ⅱ구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비는 56.9%, 펄(silt-clay) 함량비는 43.1%로 조사되었다. 이러한 입도 분포는 전체적으로 실트질사(zS)의 특성을 보여주고 있다.

◦ III구역 퇴적물의 입도 특성을 보면 모래(sand) 이상의 함량비는 43.7%를 보였고 실트(silt-clay) 함량비는 56.3%으로 조사되었다.

◦ IV구역에서는 모래(sand) 이상의 함량비는 10.7%, 실트(silt-clay) 함량비는 89.3%로 조사되었다.

◦ 2010년에 조사된 황도 갯벌 퇴적물의 입도 특성을 살펴보면 황도를 중심으로 오른쪽에 위치한 갯벌인 Ⅰ, Ⅱ구역은 대체로 모래함량비가 우세한 혼성 갯벌 특성을 보였지만 왼쪽에 위친한 III, IV구역에서는 펄의 함량비가 높은 혼성 갯벌 특성을 보여주고 있다.

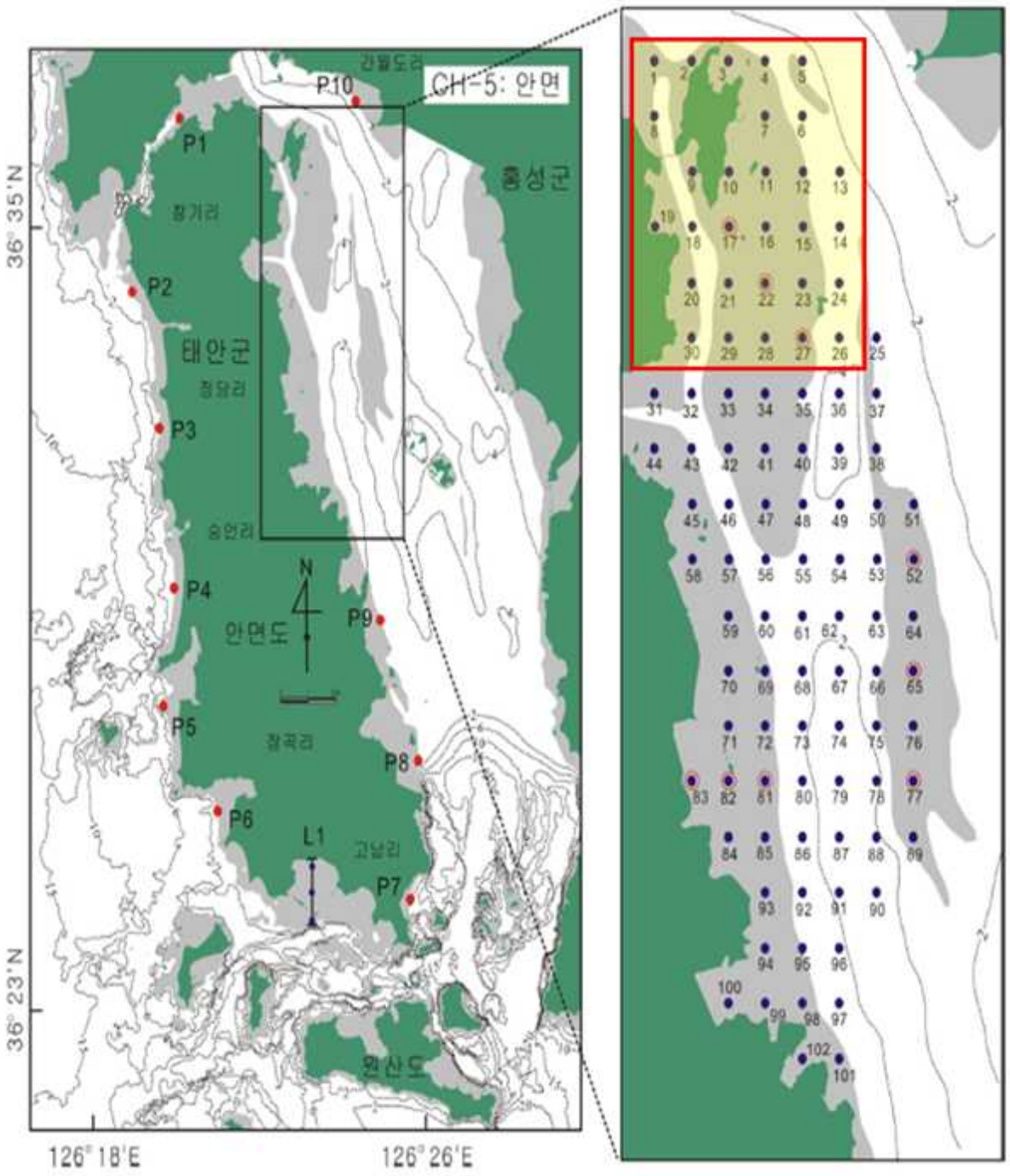
◦ 선행연구를 통해 알 수 있었던 것은 황도 연륙교가 개통하기 전(2011년 이전) 갯벌 퇴적물의 계절적 입도 분포 변화특성은 미약하지만 봄철에서 가을철에 들어서면서 일부 모래 함량비가 변화는 특성을 보여주고 있었다.

◦ 이러한 변화는 계절적으로 물리적 환경 변화에 의해 퇴적상이 변화되고 있는 것으로 판단된다.

◦ 게다가, Ⅰ구역과 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 Ⅰ구역과 Ⅱ구역의 갯벌에서는 연륙교 개통과 관계없이 모래함량비가 증가하는 것을 알 수 있었다.



[그림 2-14] 안면도(황도) 갯벌 조사 정점 위치도(2010년)

(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].

□ Ⅰ구역 : 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 Ⅰ구역에 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 Ⅰ구역~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 Ⅰ구역에서 2010년, 2015년, 2017년에 조사된 자료를 정리하였다[그림 2-16].

□ Ⅰ구역 : 조사지점, Ⅱ구역 : 없음, Ⅲ구역 : 없음, Ⅳ구역 : 없음

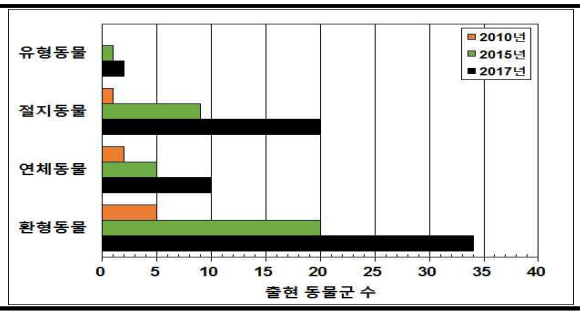
◦ 황도 연륙교 개통 전인 2010년 황도 갯벌의 저서동물은 총 8종(환형 5, 연체2, 절지1)이 출현 하였다.

◦ 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/㎡가 발견되었으며, 종수 증가와 비례하여 2015년 2,170개체/㎡, 2017년 4,090개체/㎡로 점차 증가하고 있다[표 2-3].

[표 2-3] 황도 갯벌 연도별 출현 저서대형동물

구분	출현종수 (종, 개체/㎡)	출현 동물군
2010년	8종 436개체	
2015년	35종 2,170개체	
2017년	66종 4,090개체	

◦ 우점종을 밀도 기준(개체/㎡)으로 살펴보면 2010년 연체동물 (복족류: 고동)[5], 절지동물 (갑각류: 게), 환형동물 (다모류: 지렁이)에서 2015년, 2017년에 환형동물 (다모류: 지렁이), 연체동물 (복족류: 댕가리, 이매패류: 바지락), 절지동물 (갑각류: 새우)이 우점하고 있다[표 2-4, 5].

◦ 생체량 기준(g/㎡)으로는 연체동물 (복족류: 고동), 절지동물 (갑각류: 게), 환형동물 (다모류: 지렁이)에서 연체동물 (이매패류: 바지락, 복족류: 댕가리), 절지동물 (갑각류: 게)로 변하였다.

◦ 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/㎡), 2010, 2015, 2017년)

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

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

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

	2010년		2015년		2017년	
	분류군	국명	분류군	국명	분류군	국명
1위	연체	갯고둥	절지	칠게	연체	바지락
2위	연체	왕좁쌀무늬고둥	연체	갯비틀이고둥	연체	댕가리
3위	환형	짧은다리송곳갯지렁이	연체	왕좁쌀무늬고둥	연체	민챙이
4위	환형	삼각모자갯지렁이	절지	방게	절지	칠게
5위	절지	무늬발게	환형	짧은다리송곳갯지렁이	절지	쏙붙이
6위	환형	버들갯지렁이류	절지	고랑따개비	절지	일본방게
7위	환형	남방백금갯지렁이	환형	긴자락송곳갯지렁이	절지	납작게
8위	환형	버들갯지렁이류	연체	바지락	연체	왕좁쌀무늬고둥

◦ 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: 쏙)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 (댕가리, 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, 댕가리 등)의 개체수와 출현 종수가 증가하고 있는 것으로 분석되었다.

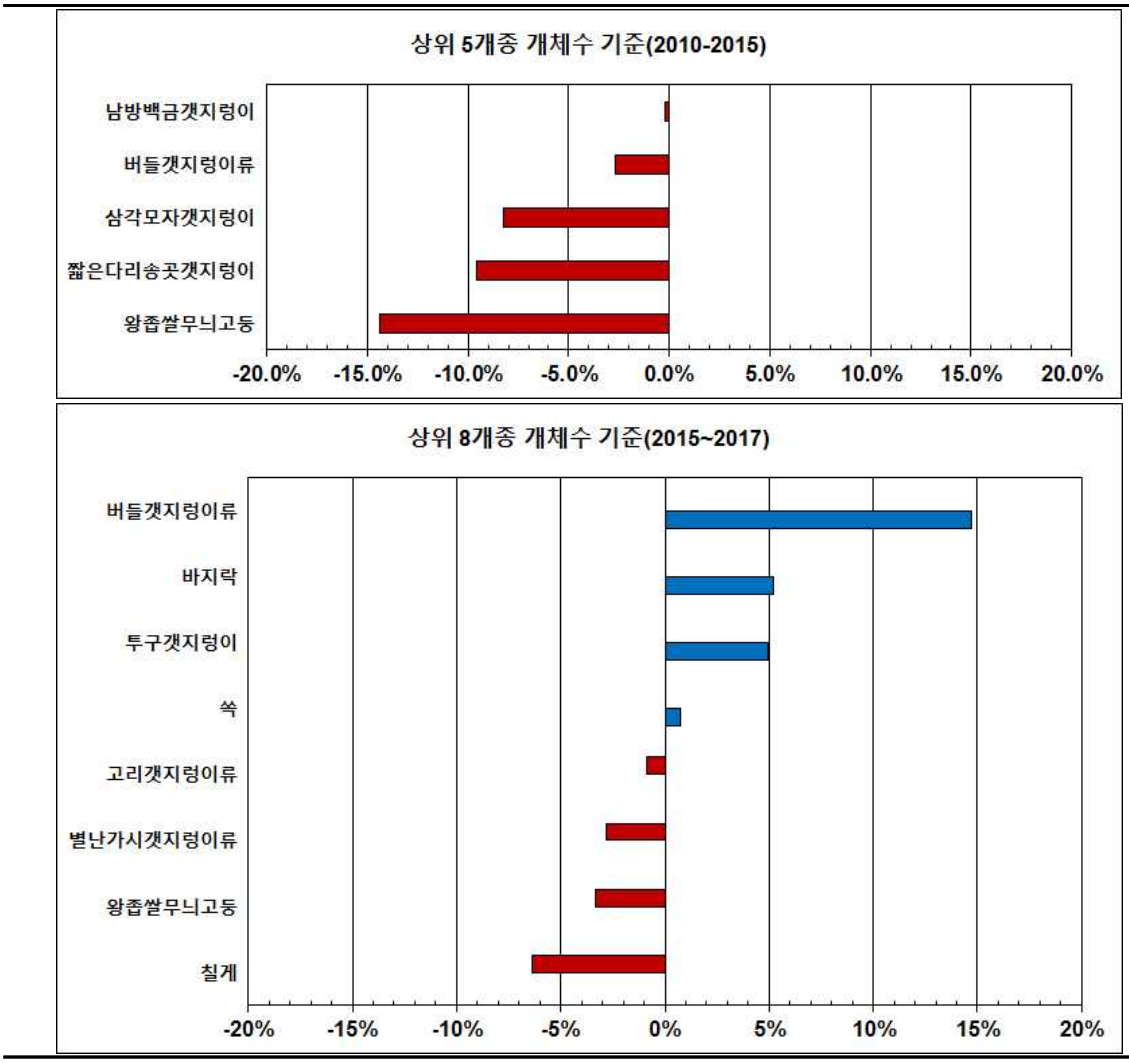
[표 2-6] 황도갯벌 저서동물 개체수 연도별 변화(밀도기준, 2010, 2015, 2017년)

구분	2010년~2015년			2015년~2017년		
순위	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	쏙	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

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

구분	2010년~2015년			2015년~2017년		
종수	국명	출현 개체수	분류군	국명	출현 개체수	분류군
1	긴자락송곳갯지렁이	260	환형	댕가리	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	펄털콩게	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	짧은뿔안경옆새우	40	절지	갈색새알조개	30	절지
12	고랑따개비	30	절지	긴뿔옆새우류	30	절지
13	바지락	30	연체	두가시육질꼬리옆새우	30	절지
14	백금갯지렁이류	30	환형	염주발갯지렁이류	30	환형
15	오뚜기갯지렁이	30	환형	유형동물류	30	기타
16	잎빗갯지렁이	30	환형	홋카이도붙은꼬리옆새우	30	절지
17	끈벌레류	20	기타	대나무갯지렁이류	20	환형
18	띠조개	20	연체	붉은집참갯지렁이	20	환형
19	갓모갯지렁이류	10	환형	쏙붙이	20	절지
20	광염백금갯지렁이	10	환형	옆새우류	20	절지
21	돗대기새우	10	절지	종밋	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	개펄잔벌레	10	절지
28	얼굴갯지렁이류	10	환형	곤봉빗갯지렁이	10	환형
29	치로리미갑갯지렁이	10	환형	구슬수염갯지렁이류	10	환형
30	투구갯지렁이	10	환형	납작게	10	절지
31				노랑솜털갯지렁이	10	환형
32				눈썹참갯지렁이	10	환형

구분	2010년~2015년			2015년~2017년		
종수	국명	출현 개체수	분류군	국명	출현 개체수	분류군
33				둥근선녀얼굴갯지렁이	10	환형
34				멜리타옆새우류	10	절지
35				무딘뿔붙은눈옆새우	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 2-17] 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 출현항 저서동물 19종의 생체량 변화는 11종이 증가하였으며, 8개종이 감소하였다. 특히 바지락의 생체량이 대폭 증가했는데, 이는 바지락의 생장시기와 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.

[표 2-7] 황도갯벌 저서동물 생체량 연도별 변화(g/㎡, 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	돗대기새우		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

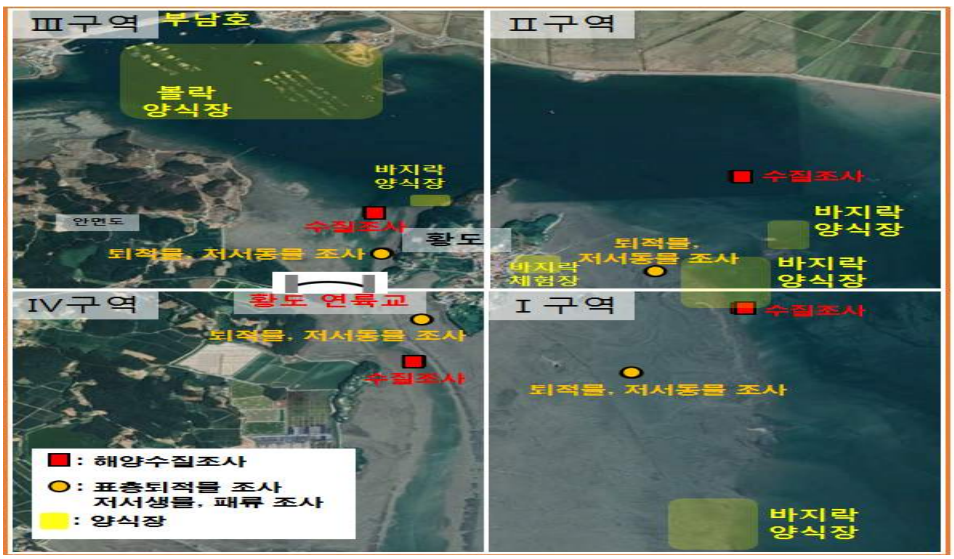
제 3 장 현장조사 및 결과

1. 해양수질

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

◦ 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 해양수질을 조사 수행하였다.



[그림 3-1] 황도 해양수질 조사도

(2) 시간적 범위

◦ 1차 및 2차 조사는 2018년 5월 11일, 8월 1일에 각각 조사하였다.

(3) 내용적 범위

◦ 황도 주변 4 구역에서 해수의 표층 및 저층의 수질을 분석하였다.

[표 3-1] 황도 해양수질조사 분석항목

구분		조사항목	조사구역
해수	일반항목(15)	수온, 염분, pH, DO, COD, TN, DIN(NO_2-N, NH_4-N, NO_3-N), TP, DIP(PO_4-P), SIO_2-SI, SPM, 투명도, Chlorophyll-a	4개 구역
	미량금속(8)	Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, 총수은, As, CN	4개 구역

2) 현장조사 방법

(1) 해양수질 시료채취 방법 및 분석

◦ 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.

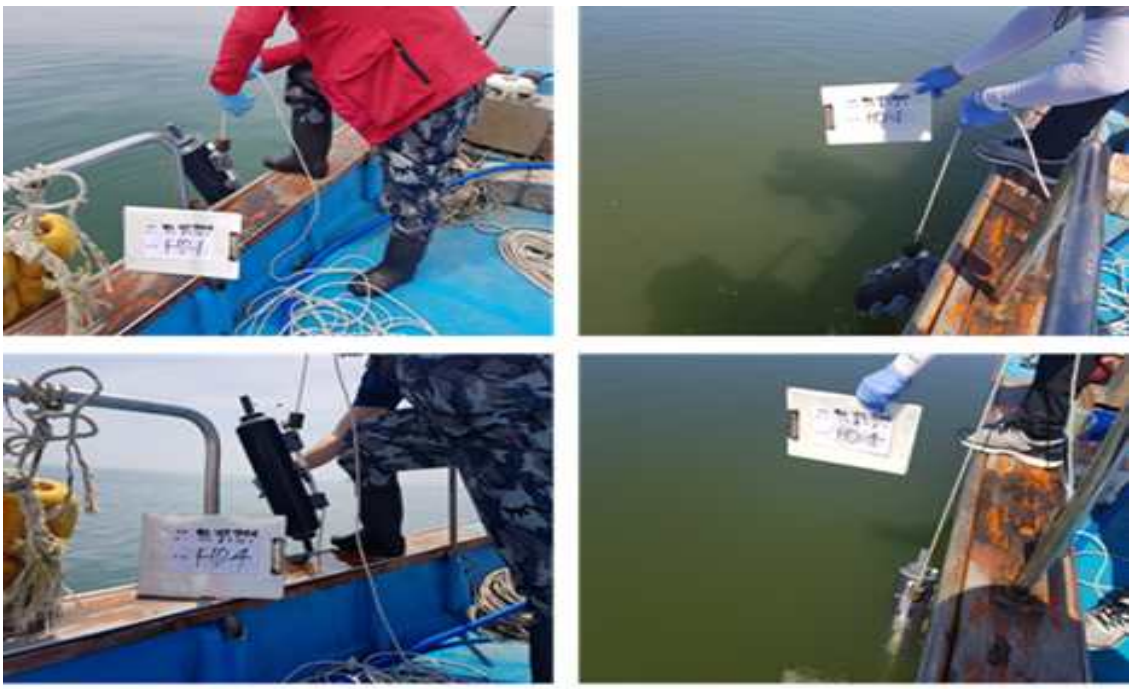
① 일반항목

◦ 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 바닥으로 부터 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 채수하였다.

◦ 채수는 PVC 장대 혹은 카본 재질의 폴 샘플러(Pole sampler)를 이용하였고, 미리 염산으로 세척된 채수병에 담에 냉장 보관 후 실험실로 운반하였다.



[그림 3-2] 황도 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 측정한 무게로부터 여과지 무게를 뺀 값으로 계산하였다.

④ 화학적산소요구량(COD)

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

⑤ 용존무기질소(DIN : NH_4- N, NO_2- N, NO_3- N)

▌암모니아 질소(NH_4-N)

◦ 시료에 EDTA($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8·2H_2O$)와 sodium nitroprusside($Na_2Fe(CN)_5NO·2H_2O$)의 혼합 용액 및 alkaline phenol(C_6H_5OH)과 dichloroisocyanic acid ($C_3Cl_2N_3NaO_3·2H_2O$) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

▌아질산 질소(NO_2-N)

◦ 시료에 Sulfanilamide($C_6H_8O_2N_2S$)와 naphtylethylenediamine($C_{12}H_{14}N_2·2HCl$) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 520 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

▌질산 질소(NO_3-N)

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

⑥ 인산 인(PO4-P)

◦ 시료에 sodium molybdate($Na_2MoO_4.2H_2O$), 황산(H_2SO_4), antimony potassium tartrate ($K(SbO)C_4H_4O_6\frac{1}{2}H_2O$)의 혼합시약을 가하고, ascorbic acid($C_6H_8O_6$)로 환원시켜 발색 시킨 후 파장 880 nm에서 Quaatro SFA Analyzer(Seal Analytical)를 이용하여 측정 하였다.

⑦ 규산 규소(SiO2-Si)

◦ 시료에 Sodium Molybdate($Na_2MoO_4\cdot 2H_2O$)를 가하여 Silicomolybdate Complex를 만든 후, Oxalic Acid($H_2C_2O_4\cdot 2H_2O$)와 Ascorbic acid($C_6H_8O_6$)를 가하여 발색시켜 파장 660㎚에서 영양염 자동분석기(QuAATRO Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

⑧ 총질소(TN)

◦ 시료에 과황산칼륨($K_2S_2O_8$)을 가하여 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과 시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정 하였다.

⑨ 총 인(TP)

◦ 시료에 과황산칼륨($K_2S_2O_8$)을 가하여 시료 중의 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 산화 분해하여 무기 인산 인 형태로 변화시킨 다음, ascorbic acid로 환원시켜, 영양염 자동분석기(Quaatro, Seal Analytical)를 이용하여 측정하였다.

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.

⑪ 미량금속

▌Cr^{6+}, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb

◦ 시료를 0.45㎛인 멤브레인 여과지(membrane filter paper)로 여과한 후 질산을 이용하여 pH를 2 부근으로 조절하였다. 이 후 유기착화제인 APDC/DDDC(ammonium pyrolidine dithiocarbamate/diethylammonium diethldithiocarbamate)를 이용하여 유기금속착화합물 형성 후 유기용매인 클로로포름($CHCl_3$)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 수은ㆍ비소분석기(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± sd, n=3, 단위 : ㎍/L)

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

4) 현장조사 결과

(1) 해양 수질

◦ 해양 수질 조사는 2회(2018년 5월, 7월)에 걸쳐 수행하였으며, 조사결과를 [표 3-3]~[표 3-8]과 [그림 3-3]~[그림 3-6]에 제시하였고, 해양환경기준을 [표 3-9]에 제시하였다.

① 수온 및 염분

◦ 수온은 2018년 5월 조사시 표층은 14.9~16.3℃(평균 15.9℃), 저층은 13.9~15.1℃(평균 14.4℃)의 범위를 보였고, 염분은 표층 조사시 29.8~30.2psu(평균 29.9psu), 저층은 30.0~30.1psu(평균 30.1psu)의 범위로 조사되었다.

◦ 2018년 7월 표층 수온은 27.8~28.8℃(평균 28.3℃), 저층은 26.6~28.3℃(평균 27.7℃)의 범위를 보였고, 염분은 표층 조사시 28.7~29.0psu(평균 28.8psu), 저층은 28.7~28.8psu(평균 28.7psu)의 범위로 조사되었다.

◦ 2018년 5월과 7월 조사시 조사대상 지점의 수심은 3.5～20m 정도로 조사 정점간 큰 차이를 보였다. 이러한 수심의 차이, 즉 수심이 낮을 경우 수직적인 혼합이 잘 이루어져 수온과 염분의 수직적인 차이가 적었다.

◦ 수온의 경우 5월보다 7월에서 상대적으로 높은 분포를 보였으며, 이는 계절 변화에 따른 수온상승으로 판단된다. 한편 5월보다 7월에서 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 5월 표층 조사시 8.0~8.1(평균 8.1), 저층은 8.0~8.1(평균 8.1)의 범위를 보였다. 또한 7월 표층 조사시 7.9~8.1(평균 8.0), 저층은 7.7~8.0(평균 7.8)의 범위를 보였다. 5월보다 7월에서 상대적으로 낮은 값을 보여, 계절적 차이를 보여주고 있다.

◦ 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 5월 표층 조사시 6.66~7.85㎎/L(평균 7.39㎎/L), 저층은 6.91~7.29㎎/L(평균 7.10㎎/L)이였으며, 7월 표층 조사시 5.41~7.63㎎/L(평균 6.33㎎/L), 저층은 3.66~5.80㎎/L(평균 4.92㎎/L)의 범위로, 수온이 낮은 5월에 상대적으로 높았다.

◦ 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 재표기 효율 또한 낮아지므로 5월보다 7월에 용존산소 농도가 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 5월 표층 조사시 8.6~18.6㎎/L(평균 12.6㎎/L), 저층은 12.2~30.1㎎/L(평균 17.6㎎/L)이었으며, 7월 표층 조사시 8.1~17.3㎎/L(평균 12.4㎎/L), 저층은 9.1~23.9㎎/L(평균 18.0㎎/L)의 범위로 5월과 7월에 비슷한 값을 나타내고 있다.

◦ 조사해역은 비교적 수심이 낮고 강한 조석에 의한 재부유 현상으로 인해 부유입자물질의 농도는 표층보다 저층에서 높게 조사되었다.

⑤ 화학적산소유구량(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.

◦ 5월의 표층 COD와 TOC는 각각 0.80~2.24㎎/L(평균 1.61㎎/L), 1.55~1.71㎎/L(평균 1.64㎎/L)였으며 저층에서는 각각 1.24~2.04㎎/L(평균 1.64㎎/L), 1.56~1.65㎎/L(평균 1.62㎎/L)의 범위를 보였다.

◦ 7월의 표층 COD와 TOC는 각각 2.69~5.67㎎/L(평균 4.12㎎/L), 1.20~1.99㎎/L(평균 1.49㎎/L)였으며 저층에서는 각각 3.31~5.86㎎/L(평균 4.24㎎/L), 1.06~1.83㎎/L(평균 1.46㎎/L)의 범위를 보여 5월보다 7월 조사시 상대적으로 높은 평균 농도를 나타냈다.

◦ 7월 조사시 COD와 TOC의 높은 농도는 엽록소-a의 농도와 관련 있는 것으로 예상되며, COD와 TOC은 생물량 증가 및 다른 복합적인 요인에 의해 조절되는 것으로 판단된다.

⑥ 클로로필-a(Chl-a)

◦ 클로로필-a는 5월 표층 조사시 1.3~4.6㎍/L(평균 2.9㎍/L), 저층은 5.2~6.3㎍/L(평균 5.6㎍/L), 7월 표층 조사시 5.1~11.1㎍/L(평균 8.7㎍/L), 저층은 6.8~12.2㎍/L(평균 9.6㎍/L)의 범위를 보였다.

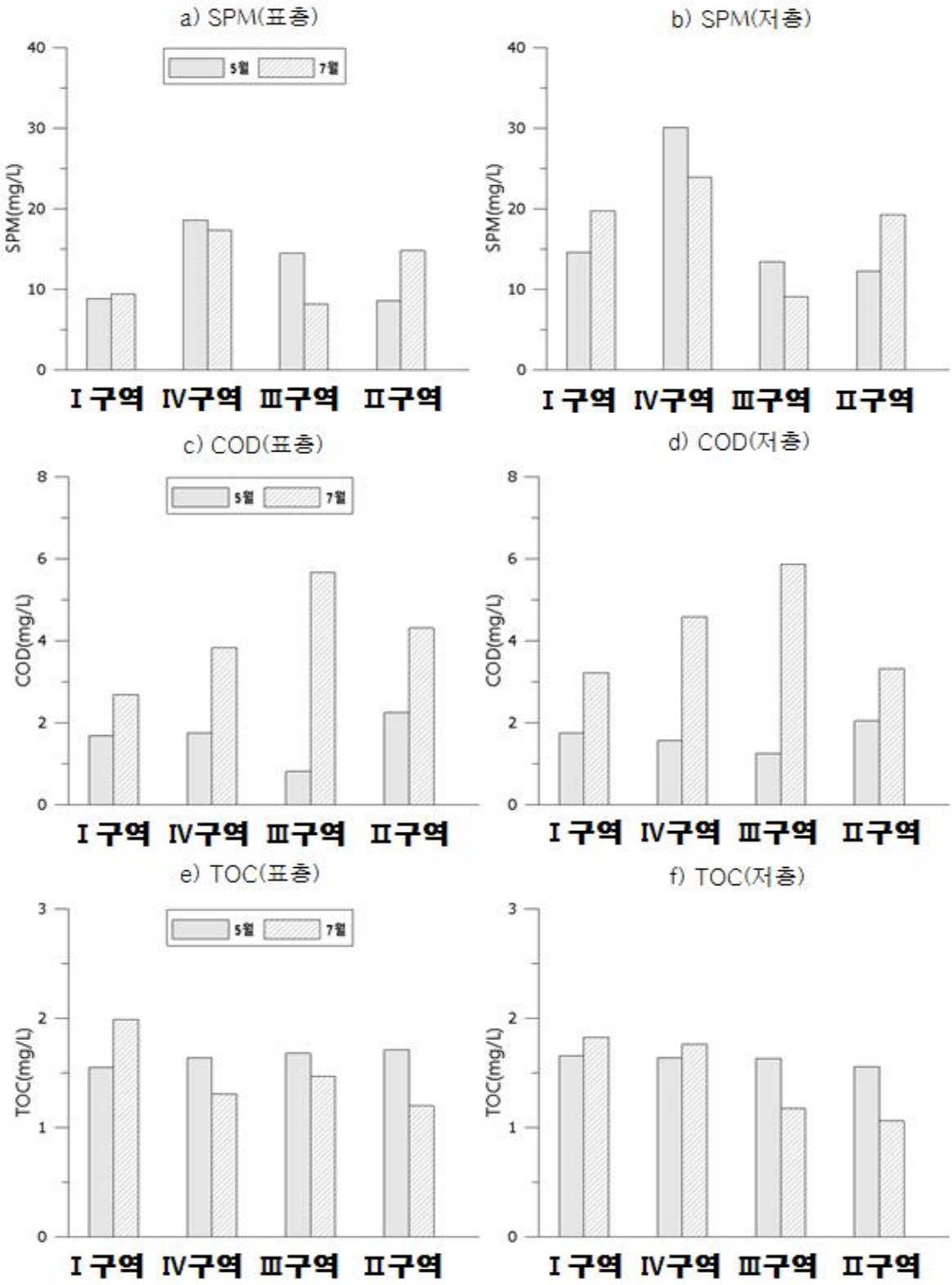
◦ 7월에 비교적 높은 클로로필-a농도를 보인 이유는 천수만 내측의 반폐쇄적이고 해수 유속이 느린 지형적 특성과 주변 육상으로부터 유입되는 영양염류 등에 의해 식물성 플랑크톤이 성장 할 수 있는 환경 여건이 조성되었기 때문이다.

[표 3-3] 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과(2018년 5월)

구역	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	SPM	COD	TOC	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(㎎/L)			(㎍/L)
Ⅰ구역	표층	6.0	2.0	16.0	29.9	8.1	7.85	8.8	1.68	1.55	1.3
	저층			14.0	30.1	8.1	7.19	14.5	1.74	1.65	5.2
Ⅱ구역	표층	20.0	1.8	16.3	29.8	8.1	7.80	8.6	2.24	1.71	1.8
	저층			13.9	30.2	8.1	7.02	12.2	2.04	1.56	6.3
Ⅲ구역	표층	4.0	1.2	14.9	30.2	8.1	7.25	14.5	0.80	1.68	4.6
	저층			14.5	30.1	8.1	7.29	13.4	1.24	1.63	5.2
Ⅳ구역	표층	4.0	0.5	16.2	29.8	8.0	6.66	18.6	1.74	1.64	4.1
	저층			15.1	30.0	8.0	6.91	30.1	1.56	1.64	5.7
표층		최소		14.9	29.8	8.0	6.66	8.6	0.80	1.55	1.3
		최대		16.3	30.2	8.1	7.85	18.6	2.24	1.71	4.6
		평균		15.9	29.9	8.1	7.39	12.6	1.61	1.64	2.9
저층		최소		13.9	30.0	8.0	6.91	12.2	1.24	1.56	5.2
		최대		15.1	30.1	8.1	7.29	30.1	2.04	1.65	6.3
		평균		14.4	30.1	8.1	7.10	17.6	1.64	1.62	5.6
전체		최소		13.9	29.8	8.0	6.66	8.6	0.80	1.55	1.3
		최대		16.3	30.2	8.1	7.85	30.1	2.24	1.71	6.3
		평균		15.1	30.0	8.1	7.25	15.1	1.63	1.63	4.3

[표 3-4] 해양 수질 현장 관측 결과 및 SPM, COD, Chl-a 등 결과(2018년 7월)

구역	수층	수심	투명도	수온	염분	pH	DO	SPM	COD	TOC	Chl-a
		(m)		(℃)	(psu)		(㎎/L)	(㎎/L)			(㎍/L)
Ⅰ구역	표층	5.0	0.5	28.5	28.7	7.9	5.41	9.40	2.69	1.99	7.81
	저층			28.0	28.8	7.8	4.76	19.77	3.21	1.83	9.08
Ⅱ구역	표층	16.0	1.0	28.2	28.8	8.0	6.55	14.78	4.31	1.20	10.60
	저층			26.6	28.8	7.7	3.66	19.27	3.31	1.06	6.78
Ⅲ구역	표층	3.6	1.5	28.8	29.0	8.1	7.63	8.14	5.67	1.47	5.09
	저층			28.3	28.7	8.0	5.80	9.06	5.86	1.17	10.10
Ⅳ구역	표층	3.5	0.5	27.8	28.8	8.0	5.73	17.28	3.83	1.31	11.12
	저층			28.0	28.8	7.9	5.44	23.87	4.59	1.76	12.23
표층		최소		27.8	28.7	7.9	5.41	8.14	2.69	1.20	5.09
		최대		28.8	29.0	8.1	7.63	17.28	5.67	1.99	11.12
		평균		28.3	28.8	8.0	6.33	12.40	4.12	1.49	8.66
저층		최소		26.6	28.7	7.7	3.66	9.06	3.31	1.06	6.78
		최대		28.3	28.8	8.0	5.80	23.87	5.86	1.83	12.23
		평균		27.7	28.8	7.8	4.92	17.99	4.24	1.46	9.55
전체		최소		26.6	28.7	7.7	3.66	8.14	2.69	1.06	5.09
		최대		28.8	29.0	8.1	7.63	23.87	5.86	1.99	12.23
		평균		28.0	28.8	7.9	5.62	15.20	4.18	1.47	9.10



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

⑦ 총질소(TN)

◦ 총질소는 5월 표층 조사시 0.160~0.253㎎/L(평균 0.189㎎/L), 저층은 0.158~0.190㎎/L(평균 0.180㎎/L), 7월 표층 조사시 0.157~0.304㎎/L(평균 0.184㎎/L), 저층은 0.189~0.304㎎/L(평균 0.226㎎/L)의 범위를 보였다.

◦ 조사해역에서 총질소는 5월과 7월에 비슷한 농도를 보여 계절적인 차이가 없었다.

⑧ 총인(TP)

◦ 총인은 5월 표층 조사시 0.003~0.004㎎/L(평균 0.003㎎/L), 저층은 0.003~0.008㎎/L(평균 0.004㎎/L), 7월 표층 조사시 0.023~0.032㎎/L(평균 0.028㎎/L), 저층은 0.027~0.077㎎/L(평균 0.043㎎/L)의 범위를 보여, 5월보다 7월에 높은 총인 농도를 보이고 있다.

⑨ 영양염류

◦ 영양염류 분포 추이에 대한 특징을 살펴보면 5월보다 7월에 대부분의 영양염류가 높은 농도로 관측되고 있다.

◦ 이러한 이유는 크게 두가지 원인으로 첫째로는 불규칙적으로 서산 연륙제방에서 오염된 호소수가 방류되면서 천수만 내측인 조사지점에 영향을 미치고 있는 것이다

◦ 둘째로는 수온이 상승하면서 이미 해저 퇴적물 내에 포함되어 있던 영양염류들이 재용출되는 과정에서 영양염류 농도가 높아지고 있는 것으로 판단된다.

▌용존무기질소(DIN)

◦ 용존무기질소는 암모니아 질소(NH_4-N), 아질산 질소(NO_2-N), 질산 질소(NO_3-N)의 합으로 구성되며, 5월 표층 조사시 0.013~0.018㎎/L(평균 0.015㎎/L), 저층은 0.015~0.038㎎/L(평균 0.026㎎/L), 7월 표층 조사시 0.002~0.051㎎/L(평균 0.024㎎/L), 저층은 0.030~0.192㎎/L(평균 0.094㎎/L)의 범위를 보였다.

◦ 암모니아 질소(NH_4-N)는 5월 표층 조사시 0.009~0.015㎎/L(평균 0.011㎎/L), 저층은 0.012~0.034㎎/L(평균 0.020㎎/L), 7월 표층 조사시 0.000~0.044㎎/L(평균 0.018㎎/L), 저층은 0.024~0.176㎎/L(평균 0.083㎎/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(NO_2-N)는 5월 표층 조사시 0.002~0.003㎎/L(평균 0.002㎎/L), 저층은 0.001~0.003㎎/L(평균 0.002㎎/L), 7월 표층 조사시 0.000~0.002㎎/L(평균 0.001㎎/L), 저층은 0.001~0.004㎎/L(평균 0.002㎎/L)의 범위를 보였다.

◦ 질산성 질소(NO_3-N)는 5월 표층 조사시 0.001~0.002㎎/L(평균 0.002㎎/L), 저층은 0.001~0.006㎎/L(평균 0.004㎎/L), 7월 표층 조사시 0.002~0.006㎎/L(평균 0.004㎎/L), 저층은 0.005~0.013㎎/L(평균 0.008㎎/L)의 범위를 보였다.

▌인산 인(PO_4-P)

◦ 인산 인(PO_4-P)은 5월 표층 조사시 0.001~0.003㎎/L(평균 0.002㎎/L), 저층은 0.003~0.006㎎/L(평균 0.004㎎/L), 7월 표층 조사시 0.007~0.025㎎/L(평균 0.017㎎/L), 저층은 0.019~0.070㎎/L(평균 0.037㎎/L)의 범위를 보였다.

◦ 조사해역에서 인산 인은 5월보다 7월 조사시 높았고, 대체로 표층보다 저층에서 상대적으로 높게 조사되었다.

▌규산 규소(SiO_2-Si)

◦ 규산 규소(SiO_2-Si)는 5월 표층 조사시 0.027~0.117㎎/L(평균 0.055㎎/L), 저층은 0.051~0.097㎎/L(평균 0.074㎎/L), 7월 표층 조사시 0.099~0.603㎎/L(평균 0.371㎎/L), 저층은 0.351~1.258㎎/L(평균 0.677㎎/L)의 범위를 보였다.

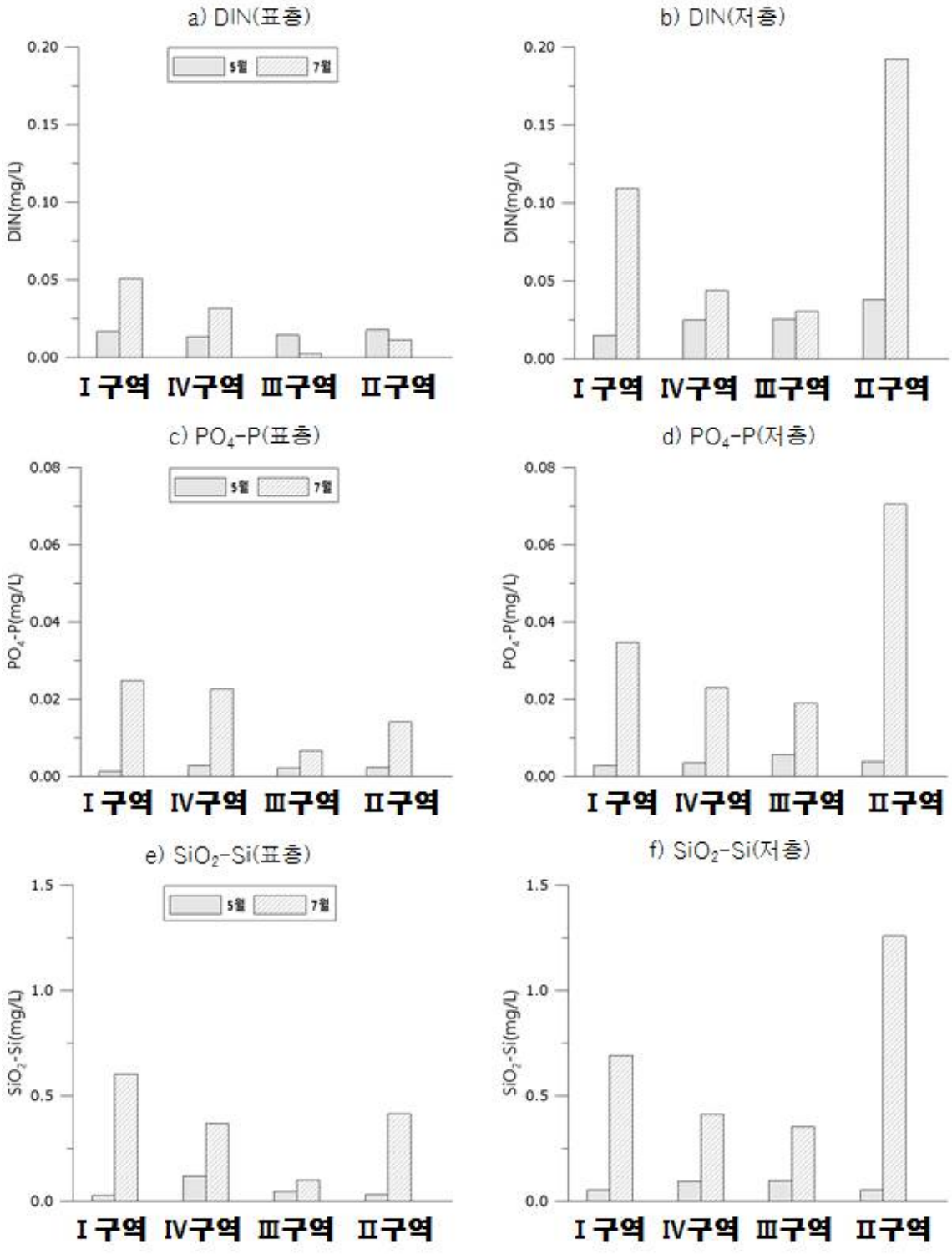
◦ 조사해역에서 규산 규소는 5월보다 7월에 높았으며, 표층보다 저층에서 높은 농도 분포를 보였다.

[표 3-5] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO2-Si 등 결과(2018년 5월)

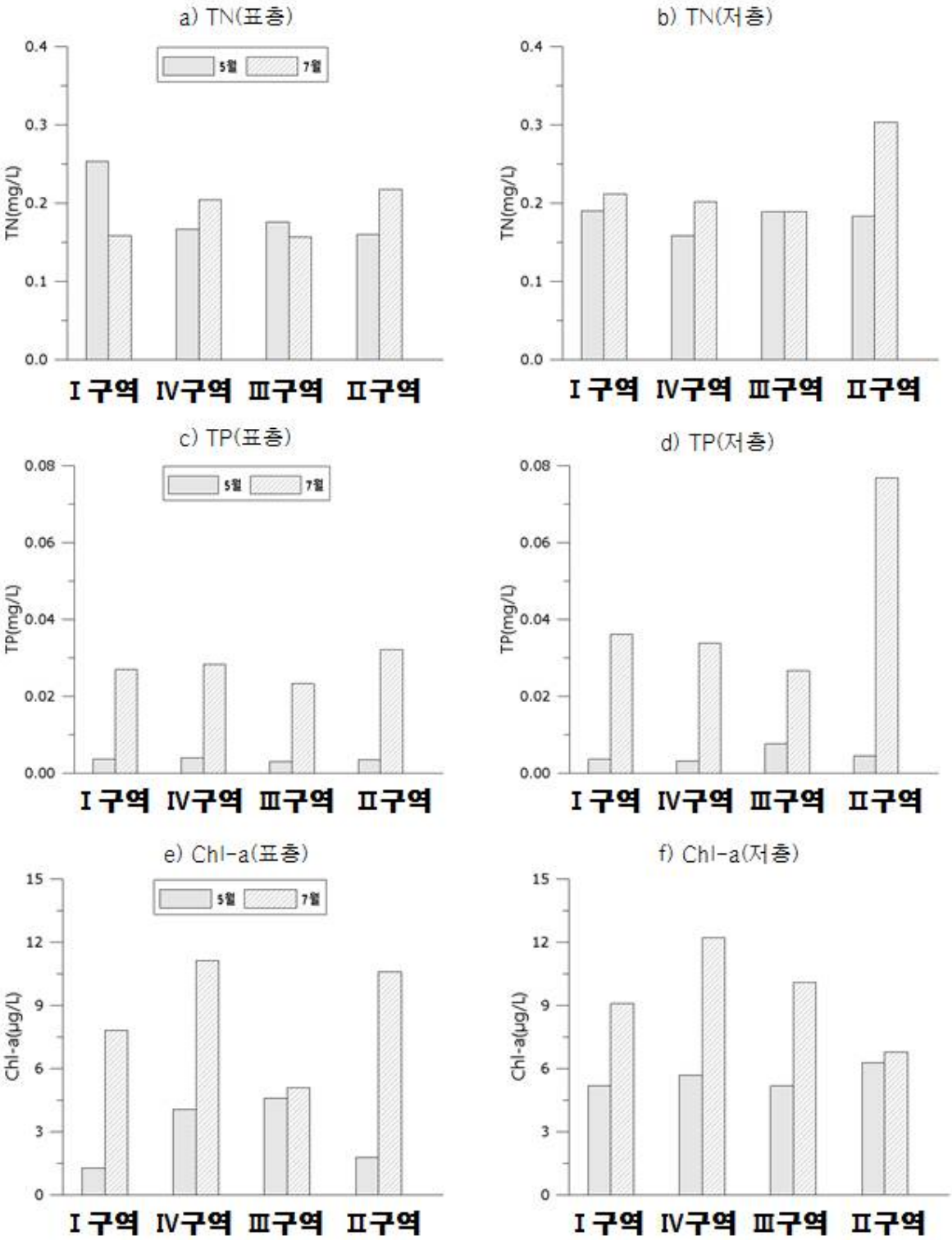
구역	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎎/L)							
Ⅰ구역	표층	0.253	0.013	0.003	0.001	0.017	0.004	0.001	0.027
	저층	0.190	0.012	0.002	0.001	0.015	0.004	0.003	0.053
Ⅱ구역	표층	0.160	0.015	0.002	0.001	0.018	0.003	0.002	0.029
	저층	0.183	0.034	0.001	0.003	0.038	0.004	0.004	0.051
Ⅲ구역	표층	0.176	0.010	0.002	0.002	0.014	0.003	0.002	0.047
	저층	0.189	0.018	0.002	0.005	0.025	0.008	0.006	0.097
Ⅳ구역	표층	0.167	0.009	0.002	0.002	0.013	0.004	0.003	0.117
	저층	0.158	0.016	0.003	0.006	0.025	0.003	0.003	0.094
표층	최소	0.160	0.009	0.002	0.001	0.013	0.003	0.001	0.027
	최대	0.253	0.015	0.003	0.002	0.018	0.004	0.003	0.117
	평균	0.189	0.011	0.002	0.002	0.015	0.003	0.002	0.055
저층	최소	0.158	0.012	0.001	0.001	0.015	0.003	0.003	0.051
	최대	0.190	0.034	0.003	0.006	0.038	0.008	0.006	0.097
	평균	0.180	0.020	0.002	0.004	0.026	0.004	0.004	0.074
전체	최소	0.158	0.009	0.001	0.001	0.013	0.003	0.001	0.027
	최대	0.253	0.034	0.003	0.006	0.038	0.008	0.006	0.117
	평균	0.180	0.020	0.002	0.003	0.021	0.004	0.003	0.064

[표 3-6] 해양 수질의 영양염류(TN, TP) 및 SiO2-Si 등 결과(2018년 7월)

구역	수층	TN	NH_4-N	NO_2-N	NO_3-N	DIN	TP	PO_4-P	SiO_2-Si
		(㎎/L)							
Ⅰ구역	표층	0.158	0.044	0.002	0.005	0.051	0.027	0.025	0.603
	저층	0.211	0.099	0.002	0.008	0.109	0.036	0.035	0.690
Ⅱ구역	표층	0.217	0.006	0.001	0.004	0.011	0.032	0.014	0.413
	저층	0.304	0.176	0.004	0.013	0.192	0.077	0.070	1.258
Ⅲ구역	표층	0.157	0.000	0.000	0.002	0.002	0.023	0.007	0.099
	저층	0.189	0.024	0.001	0.005	0.030	0.027	0.019	0.351
Ⅳ구역	표층	0.204	0.024	0.002	0.006	0.032	0.028	0.023	0.369
	저층	0.201	0.034	0.002	0.008	0.044	0.034	0.023	0.410
표층	최소	0.157	0.000	0.000	0.002	0.002	0.023	0.007	0.099
	최대	0.304	0.044	0.002	0.006	0.051	0.032	0.025	0.603
	평균	0.184	0.018	0.001	0.004	0.024	0.028	0.017	0.371
저층	최소	0.189	0.024	0.001	0.005	0.030	0.027	0.019	0.351
	최대	0.304	0.176	0.004	0.013	0.192	0.077	0.070	1.258
	평균	0.226	0.083	0.002	0.008	0.094	0.043	0.037	0.677
전체	최소	0.157	0.000	0.000	0.002	0.002	0.023	0.007	0.099
	최대	0.217	0.176	0.004	0.013	0.192	0.077	0.070	1.258
	평균	0.205	0.051	0.002	0.006	0.059	0.035	0.027	0.524



[그림 3-4] 조사해역 수질 DIN, PO_4-P, SiO_2-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㎍/L(평균 0.02㎍/L), Cr^{6+}은 0.02~0.04㎍/L(평균 0.03㎍/L), Cu는 0.30~0.57㎍/L(평균 0.39㎍/L), Pb는 0.01~0.03㎍/L(평균 0.02㎍/L), Zn는 0.31~0.55㎍/L(평균 0.38㎍/L), As는 0.55~0.63㎍/L(평균 0.59㎍/L), Ni는 0.23~0.32㎍/L(평균 0.26㎍/L), Hg는 3.53~5.34ng/L(평균 4.50ng/L)의 범위를 보였다.

◦ 7월 조사시 Cd는 0.02~0.03㎍/L(평균 0.03㎎/L), Cr^{6+}은 0.07~0.30㎍/L(평균 0.14㎍/L), Cu는 0.59~0.71㎍/L(평균 0.64㎍/L), Pb는 0.03~0.11㎍/L(평균 0.06㎍/L), Zn는 0.93~3.33㎍/L(평균 2.00㎍/L), As는 1.49~2.27㎍/L(평균 1.78㎍/L), Ni는 0.41~0.49㎍/L(평균 0.44㎍/L), Hg는 0.45~3.40ng/L(평균 1.35ng/L)의 범위를 보였다.

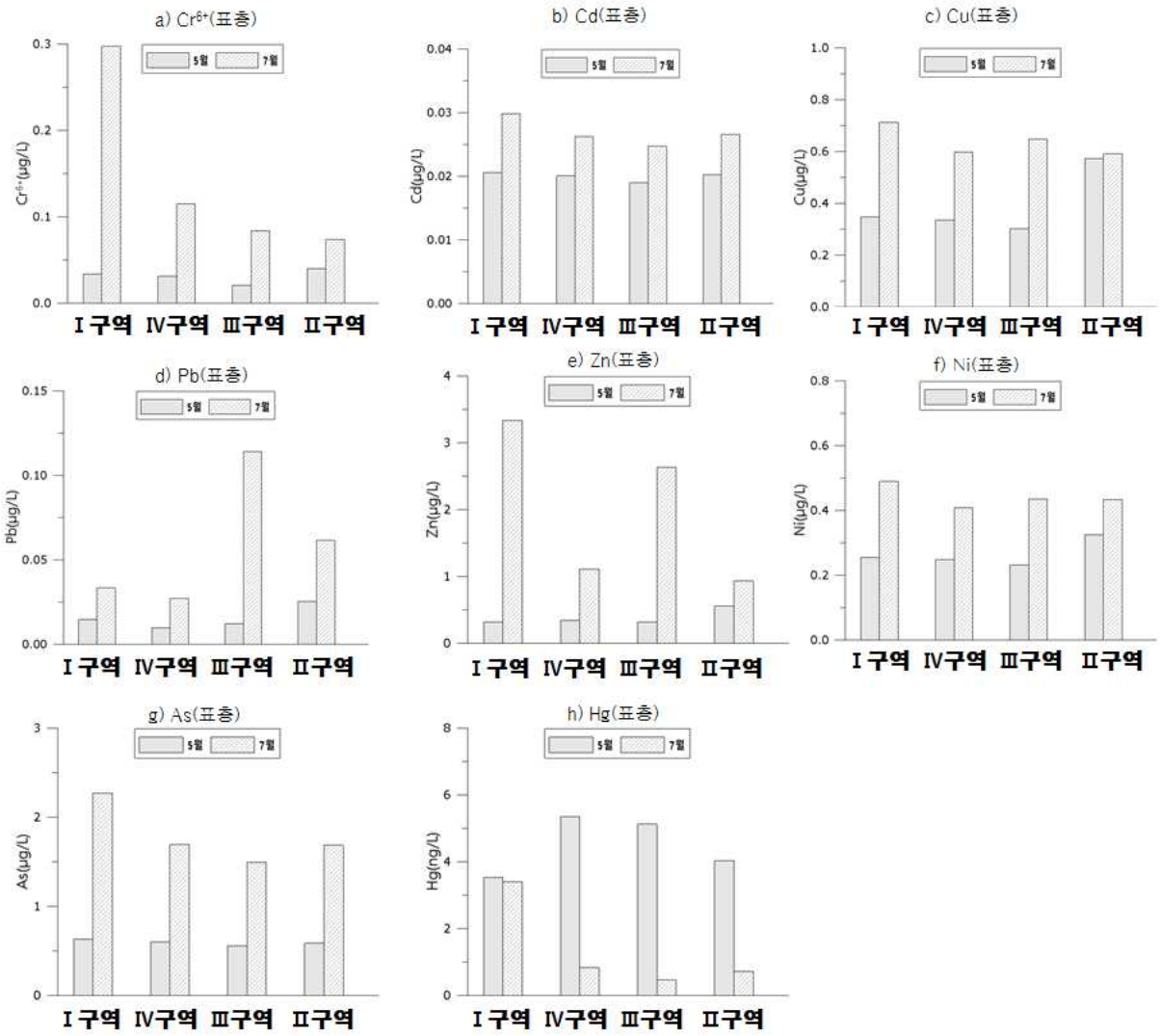
◦ 조사해역에서 해수 내 중금속의 농도는 조사시기에 따른 농도 차이는 적었지만 7월에 비교적 높은 농도를 보였다. 모든 중금속 항목에서 해양환경기준인 사람의 건강보호 기준 및 해양생태계 보호 기준(장기기준)보다 낮은 수준으로 조사되었다.

[표 3-7] 해양 수질의 미량금속류 결과(2018년 5월)

구역 (표층)	Cd	Cr^{6+}	Cu	Pb	Zn	As	Ni	Hg
	(㎍/L)							(ng/L)
Ⅰ구역	0.02	0.03	0.35	0.01	0.32	0.63	0.25	3.53
Ⅱ구역	0.02	0.04	0.57	0.03	0.55	0.58	0.32	4.03
Ⅲ구역	0.02	0.02	0.30	0.01	0.31	0.55	0.23	5.12
Ⅳ구역	0.02	0.03	0.33	0.01	0.33	0.60	0.25	5.34
최소	0.02	0.02	0.30	0.01	0.31	0.55	0.23	3.53
최대	0.02	0.04	0.57	0.03	0.55	0.63	0.32	5.34
평균	0.02	0.03	0.39	0.02	0.38	0.59	0.26	4.50

[표 3-8] 해양 수질의 미량금속류 결과(2018년 7월)

구역 (표층)	Cr	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Hg
	(㎍/L)							(ng/L)
Ⅰ구역	0.30	0.03	0.71	0.03	3.33	0.49	2.27	3.40
Ⅱ구역	0.07	0.03	0.59	0.06	0.93	0.43	1.68	0.72
Ⅲ구역	0.08	0.02	0.65	0.11	2.63	0.43	1.49	0.45
Ⅳ구역	0.12	0.03	0.60	0.03	1.11	0.41	1.69	0.83
최소	0.07	0.02	0.59	0.03	0.93	0.41	1.49	0.45
최대	0.30	0.03	0.71	0.11	3.33	0.49	2.27	3.40
평균	0.14	0.03	0.64	0.06	2.00	0.44	1.78	1.35



[그림 3-6] 조사해역 수질 내 미량금속의 계절 및 정점별 분포

[표 3-9] 해양환경기준-해양수산부고시 제 2013-186호

(생활기준)

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

(사람의 건강보호 기준)

등 급	항 목		기준 (㎍/L)
전수역	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 : μ 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

⑪ 생태기반 해수수질 기준(WQI)

◦ 현지조사의 생태기반 해수수질 기준[그림 3-9], [표3-12]을 사용하여 조사 시기 및 구역별 생태기반 해수수질 기준 결과를 [표 3-10, 11]와 [그림 3-7, 8]에 제시하였다.

◦ 춘계의 전체적인 수질평가 지수는 30~54점으로 2등급(좋음)~4등급(나쁨)을 보였으며 조사지점인 Ⅰ구역에는 2등급(좋음, 30점), Ⅱ구역에서는 2등급(좋음, 30점), Ⅲ구역에서는 3등급(보통, 42점), Ⅳ구역에서는 4등급(나쁨, 54점)으로 조사되었다.

◦ 하계의 전체적인 수질평가 지수는 42~65점으로 3등급(보통좋음)~5등급(아주나쁨)을 보였으며 조사지점인 Ⅰ구역에는 4등급(나쁨, 52점), Ⅱ구역에서는 5등급(매우 나쁨, 65점), Ⅲ구역에서는 3등급(보통, 42점), Ⅳ구역에서는 4등급(나쁨, 54점)으로 조사되었다.

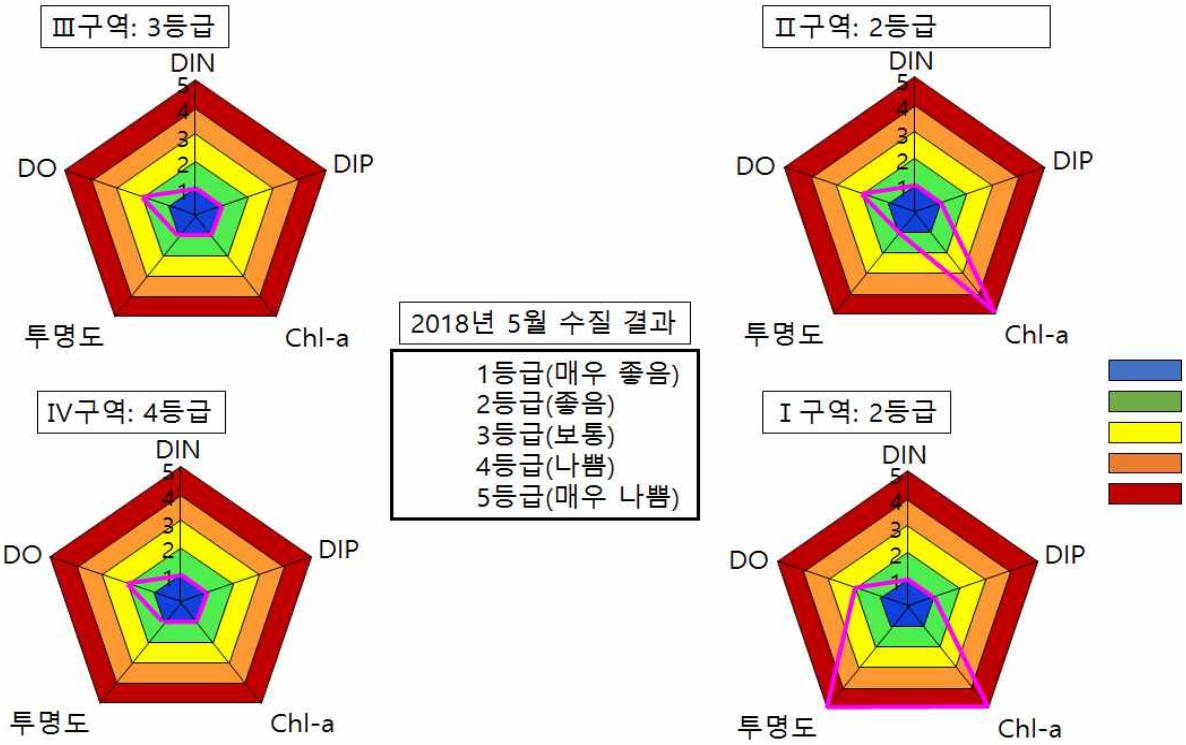
◦ 춘계와 하계 조사시 등급이 낮은 원인으로는 투명도와 클로로필-a 그리고 저층 DO 포화도가 원인이며, 특히 7월에는 수온이 올라가면서 클로로필-a뿐만 아니라 저층 DO포화도가 낮아지면서 수질의 악영향을 미치고 있는 것을 알 수 있었다.

[표 3-10] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2018년 5월)

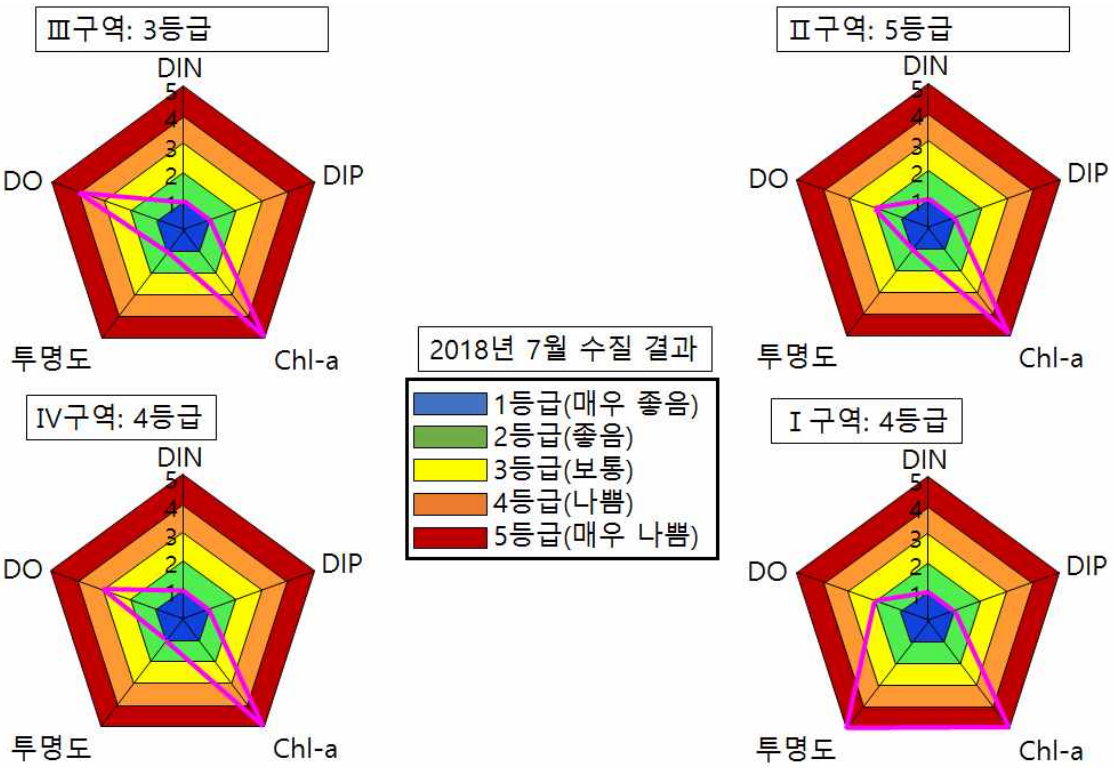
구역	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
Ⅰ구역	1	2	1	1	1	30	II
Ⅱ구역	1	2	1	1	1	30	II
Ⅲ구역	1	2	5	1	1	42	III
Ⅳ구역	5	2	5	1	1	54	IV

[표 3-11] 수질평가지수(WQI) 및 등급(2018년 7월)

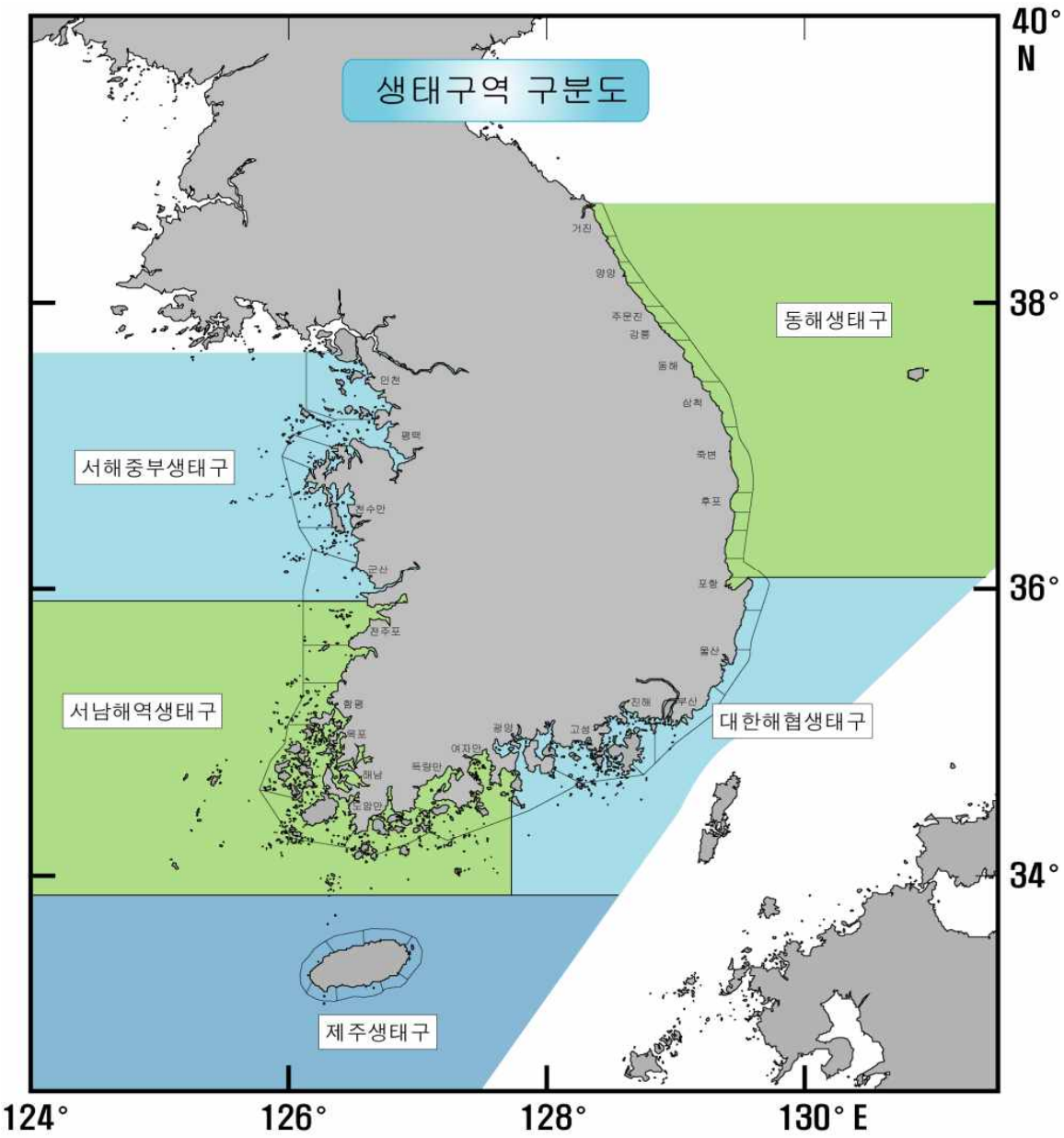
구역	항목별 점수					수질평가지수 (WQI)	등급
	투명도	저층 DO 포화도	표층 Chl-a	표층 DIN	표층 DIP		
Ⅰ구역	1	3	5	1	1	52	IV
Ⅱ구역	1	4	5	1	1	65	V
Ⅲ구역	1	2	5	1	1	42	III
Ⅳ구역	5	2	5	1	1	54	IV



[그림 3-7] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2018년 5월)



[그림 3-8] 조사해역의 WQI 악화 요인 특성(2018년 7월)



[그림 3-9] 생태구역 구분도

[표 3-12] 해양환경기준(생태기반 해수수질 기준) - 해양수산부고시 제2013-186호

(생태기반 해수수질 기준)

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

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

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

- 수질평가지수 항목별 점수

항목별 점수	대상항목	
	Chl-a(㎍/L), DIN(㎍/L), DIP(㎍/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

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

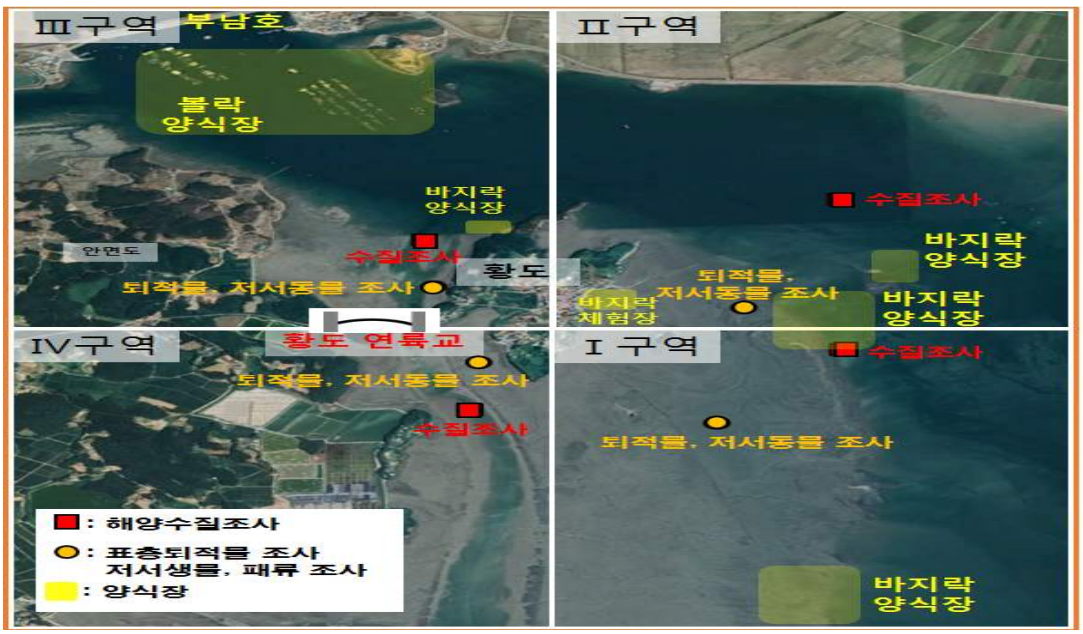
* 저층 : 해저 바닥으로부터 최대 1m 이내의 수층

2. 퇴적물

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

◦ 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 퇴적물 조사를 수행하였다.



[그림 3-10] 황도 퇴적물 조사도

(2) 시간적 범위

◦ 1차 및 2차 조사는 2018년 5월 29일, 7월 16일에 각각 조사하였다.

(3) 내용적 범위

◦ 황도 주변 퇴적물 환경 조사를 수행하였다.

[표 3-13] 황도 주변 갯벌 퇴적물조사 분석항목

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

2) 현장조사 방법

(1) 해양 퇴적물 시료채취 방법 및 분석

◦ 시료의 전처리 및 분석 방법은 해양환경공정시험기준(해양수산부, 2013)에 따라 수행하였다.

◦ 표층 퇴적물 시료는 간조시 조사점점에 도보로 이동 후 채취하였다. 상층 부분(표층 2cm)을 플라스틱 주걱으로 취하여 시료봉투에 담고 드라이아이스로 냉동 보관하여 실험실로 이동하였다. 건조 시료가 필요한 항목은 분석 전 동결건조법으로 건조하였다.

[그림 3-11] 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 4ϕ체를 이용한 습식체질(wet sieving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리한 후, 4ϕ보다 조립질 시료는 진탕기를 이용하여 1ϕ간격으로 분석하였으며, 4ϕ보다 세립질 시료는 자동입도분석기(Mastersizer 2000, Malvan, UK)를 이용하여 1ϕ간격으로 분석하였다.

◦ Folk and Ward(1957)의 그래픽 방법을 적용하여 퇴적물의 조직변수를 산출하였다. 지수별 퇴적물의 입도 환산표와 조직 표준치의 산정 공식 및 언어표기 척도를 [표3-14, 15]에 제시하였으며 자갈, 모래, 펄(실트 및 점토) 함량비에 의한 퇴적물 유형 분류를 [그림 3-12]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 무게차이로 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 + HNO_3 + $HClO_4$)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 원자흡광광도계(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(HNO_3) 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.

[표 3-14] 지수별 퇴적물의 입도 환산표

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

[표 3-15] 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)

$$\sigma_I(\phi) = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

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 <	Extermely pooly sorted	최극불량분급

Inclusive Graphic Skewness : 왜도 (입도의 대칭성)

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

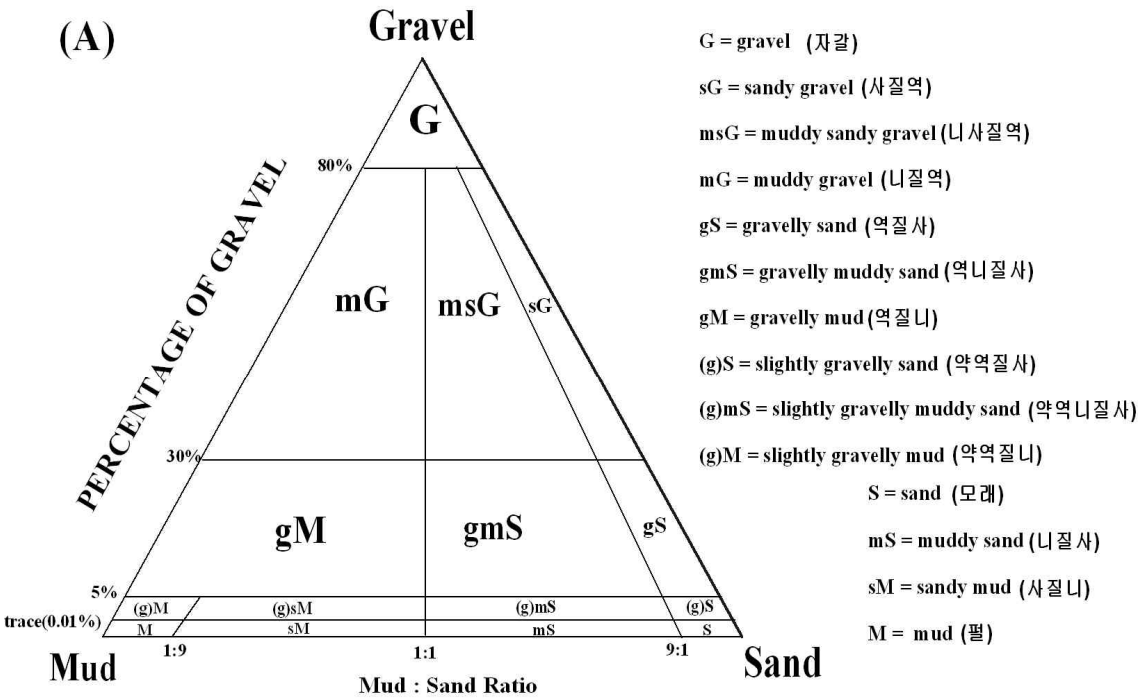
$$= \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5} \quad \text{(Warren, 1974)}$$

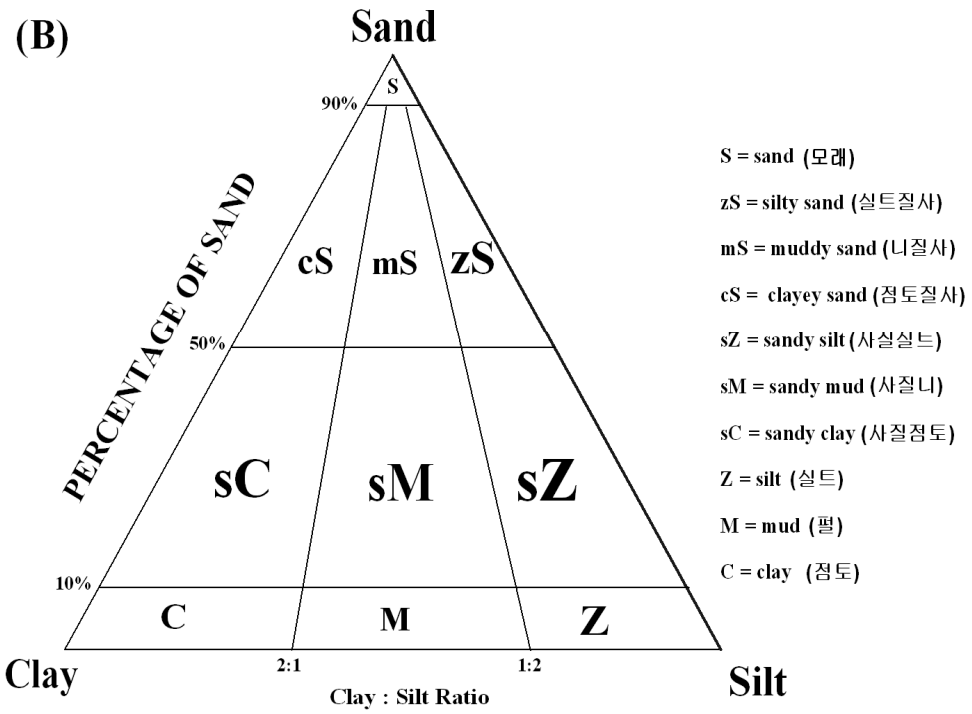
0.3 <	Strongly fine-skewed	최극양호왜도
0.1 ~ 0.3	Fine-skewed	양호왜도
-0.1 ~ 0.1	Near-symmetrical	대칭왜도
-0.3 ~ -0.1	Coarse-skewed	불량왜도
-0.3 >	Strongly coarse-skewed	최극불량왜도

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 3-12] 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 3-16]에 제시하였다.

[표 3-16] 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
	(㎎/㎏)						(%)	
함유 농도	0.28 ±0.04	32.9 ±1.8	21.5 ±1.2	147 ±6	42.8 ±1.6	65.3 ±6.8	7.91 ±0.20	3.79 ±0.16
분석 결과	0.32 ±0.02	35.9 ±2.0	23.1 ±0.9	149 ±5	41.0 ±0.9	70.5 4.0	7.51 ±1.04	3.88 ±0.17
회수율 (%)	116	109	107	102	96	108	95	102

4) 현장조사 결과

(1) 해양 퇴적물

◦ 해양 퇴적물 조사 결과를 [표 3-17～22]과 [그림 3-13~16]에 제시하였다.

① 입도

▌조성 및 퇴적상

◦ 춘계 조사에서 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.0~15.0%(평균 4.0%), 모래 59.9~85.2%(평균 65.3%), 실트 12.6~55.7%(평균 27.7%), 점토 1.9~4.9%(평균 3.0%)로 조사되었고, 퇴적상은 역니질사(gmS), 실트질사(zS), 약역니질사((g)mS)로 나타났다.

◦ 하계 조사에서 퇴적물의 입도 조성은 자갈 0.0~11.5%(평균 3.0%), 모래 49.6~87.2%(평균 68.4%), 실트 11.0~47.6%(평균 26.4%), 점토 1.2~3.3%(평균 2.2%)로 조사되었고, 퇴적상은 역니질사(gmS), 실트질사(zS), 약역니질사((g)mS)로 나타났다.

◦ 춘계와 하계 사이에 퇴적물의 입도 조성은 비슷한 경향을 보였으며, 하계에 일부 모래 함량비가 평균에서 조금 높게 나타났다.

▌조직변수

◦ 춘계 조사에서 조직변수는 평균 입경이 2.02~4.70Φ(평균 3.12Φ)의 범위이고, 분급도는 1.17~2.94Φ(평균 1.86Φ)의 범위로 very fine sand로 poorly sorted(분량 분급)한 분포를 보였고, 왜도는 0.06~0.38(평균 0.28)의 범위로 fine-skewed(양호왜도)한 분포를 나타냈으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.94~2.19(평균 1.50)으로 Very platykurtic(매우극첨)한 분포를 보였다.

◦ 하계 조사에서 조직변수는 평균 입경이 2.59~4.32Φ(평균 3.25Φ)의 범위이고, 분급도는 0.94~2.94Φ(평균 1.61Φ)의 범위로 very fine sand로 poorly sorted(분량 분급)한 분포를 보였고, 왜도는 -0.16~0.47(평균 0.17)의 범위로 fine-skewed(양호왜도)한 분포를 나타냈으며, 전반적으로 양의 왜도가 우세한 분포를 보였다. 첨도는 0.96~1.83(평균 1.30)으로 platykurtic(극첨)한 분포를 보였다.

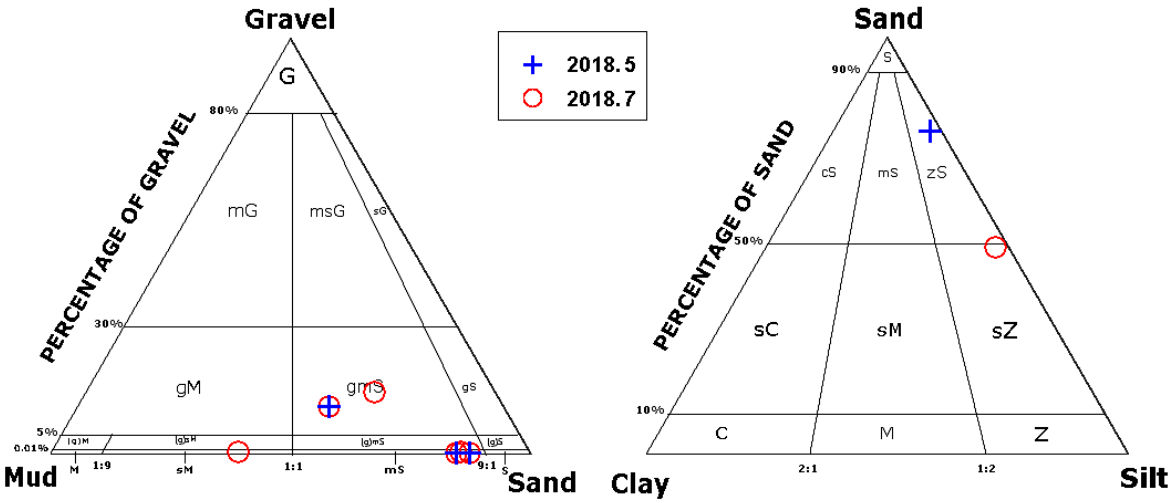
◦ 금회 조사에서 평균 입경은 유사하였으며, 분급도, 왜도, 첨도 또한 유사한 범위를 보여 계절에 따른 변화는 작은 것으로 조사되었다.

[표 3-17] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2018년 5월)

구역	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
Ⅰ구역	0.0	77.5	20.3	2.3	3.63	1.17	0.32	2.19	zS
Ⅱ구역	0.4	85.1	12.6	1.9	2.13	1.76	0.38	1.77	(g)mS
Ⅲ구역	15.0	59.9	22.1	3.0	2.02	2.94	0.06	0.94	gmS
Ⅳ구역	0.6	38.8	55.7	4.9	4.70	1.57	0.35	1.08	(g)mS
최소	0.0	59.9	12.6	1.9	2.02	1.17	0.06	0.94	
최대	15.0	85.1	55.7	4.9	4.70	2.94	0.38	2.19	
평균	4.0	65.3	27.7	3.0	3.12	1.86	0.28	1.50	

[표 3-18] 해양 퇴적물 입도 분석 결과(2018년 7월)

구역	조성비				조직변수				퇴적상
	자갈	모래	실트	점토	평균입경	분급도	왜도	첨도	
	(%)				(Φ)				
Ⅰ구역	0.3	84.4	14.1	1.2	3.19	0.94	0.09	1.21	(g)mS
Ⅱ구역	0.3	87.2	11.0	1.6	2.59	1.31	0.28	1.83	(g)mS
Ⅲ구역	11.5	52.3	32.9	3.3	2.90	2.94	-0.16	0.96	gmS
Ⅳ구역	0.0	49.6	47.6	2.8	4.32	1.25	0.47	1.21	sZ
최소	0.0	49.6	11.0	1.2	2.59	0.94	-0.16	0.96	
최대	11.5	87.2	47.6	3.3	4.32	2.94	0.47	1.83	
평균	3.0	68.4	26.4	2.2	3.25	1.61	0.17	1.30	



[그림 3-13] 함량비에 따른 퇴적상 분류(삼각다이아그램)

② 함수율

◦ 함수율은 춘계 조사시 22.9~26.9%(평균 24.4%)였으며, 하계 조사시에는 19.3~25.6%(평균 21.4%)의 범위를 보였다.

◦ 춘계와 하계 조사에서 함수율은 계절에 따른 차이가 작았지만, 전반적으로 춘계에 높고 하계에 상대적으로 낮은 경향을 보였다.

③ 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)

◦ 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)은 해양 퇴적물 내 유기물 오염도를 나타내는 지표성분으로, IL은 춘계 조사시 2.54~4.33%(평균 3.20%) COD는 2.16~3.45㎎/g(평균 2.60㎎/g)의 범위를 보였다.

◦ 한편, 하계 조사에서 IL은 2.22~4.25%(평균 2.80%) COD는 2.35~7.96㎎/g(평균 4.00㎎/g)의 범위를 보였다.

◦ 특히 조사 지점 중 III구역과 IV구역의 퇴적물에서 IL과 COD가 상대적으로 다른 조사 구역보다 높은 농도를 보였다.

◦ 춘계와 하계간 계절별 조사에서 IL과 COD는 계절에 따른 차이가 작은 것으로 나타났다.

④ 산휘발성황화물(AVS)

◦ 퇴적물 속 황화수소 함량은 생물에 큰 영향을 미치기 때문에 퇴적물에서의 산휘발성 황화물(AVS)의 농도는 퇴적물 환경 악화지표 항목으로 이용되고 있다.

◦ 산휘발성황화물(AVS)이 0.2㎎/g 이상의 농도를 보이면, 유기물의 분해 작용으로 산소가 고갈되고 황화수소가 발생하는 환경을 보이고 있다는 것을 의미한다.

◦ 산휘발성황화물(AVS)의 검출한계는 0.01㎎/g으로, 춘계 조사에서 Ⅰ구역, III구역, IV구역에서 불검출 되었으며, 그 외 II구역에서는 0.01㎎/g의 농도를 보였다. 하계 조사에서 II구역, III구역, IV구역에서 불검출 되었으며, 그 외 Ⅰ구역에서는 0.01㎎/g의 농도를 보였다.

◦ 대부분의 조사 지점에서 불검출되거나 0.01mg/g으로 검출되어 기준치 0.2㎎/g이하로 조사되었으며, 춘계와 하계간 비슷한 경향을 보였다.

⑤ 총유기탄소(TOC) 및 총질소(TN)

◦ 춘계 총유기탄소(TOC) 조사시 0.24~0.39%(평균 0.30%), 총질소(TN)은 0.02~0.03%(평균 0.03%)으로 조사되었고, 하계 조사시 TOC는 0.24~0.38%(평균 0.30%), TN은 0.01~0.02%(평균 0.02%)의 범위를 보였다.

◦ 조사 지점 및 계절적(춘계와 하계)으로 TOC와 TN의 평균 농도는 큰 차이를 보이지 않고 유사한 수준으로 조사되었다.

[표 3-19] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2018년 5월)

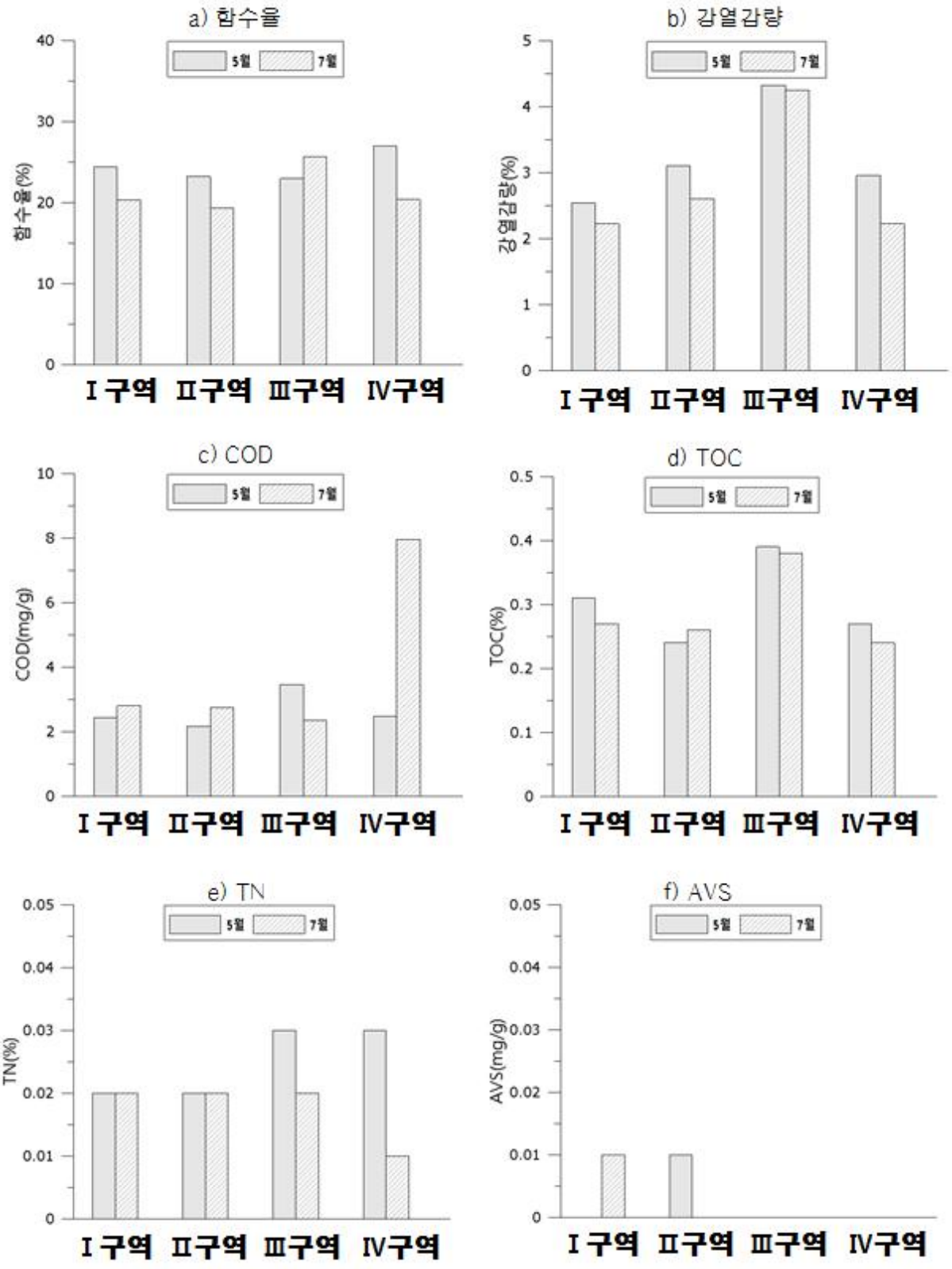
구역	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN	C/N
	(%)		(㎎/g)		(%)		
Ⅰ구역	24.4	2.54	2.44	ND	0.31	0.02	18.1
Ⅱ구역	23.2	3.10	2.16	0.01	0.24	0.02	14.0
Ⅲ구역	22.9	4.33	3.45	ND	0.39	0.03	15.2
Ⅳ구역	26.9	2.95	2.47	ND	0.27	0.03	10.5
최소	22.9	2.54	2.16	ND	0.24	0.02	10.5
최대	26.9	4.33	3.45	0.01	0.39	0.03	18.1
평균	24.4	3.20	2.60	0.0025	0.30	0.03	14.1

ND: not determined

[표 3-20] 해양 퇴적물의 일반 항목 분석 결과(2018년 7월)

구역	함수율	강열감량	COD	AVS	TOC	TN	C/N
	(%)		(㎎/g)		(%)		
Ⅰ구역	20.3	2.22	2.80	0.01	0.27	0.02	15.8
Ⅱ구역	19.3	2.61	2.73	ND	0.26	0.02	15.2
Ⅲ구역	25.6	4.25	2.35	ND	0.38	0.02	22.2
Ⅳ구역	20.4	2.22	7.96	ND	0.24	0.01	18.0
최소	19.3	2.22	2.35	ND	0.24	0.01	15.2
최대	25.6	4.25	7.96	0.01	0.38	0.02	22.2
평균	21.4	2.80	4.00	0.0025	0.30	0.02	19.2

ND: not determined



[그림 3-14] 조사해역 퇴적물 함수량, COD, TOC, TN, AVS의 계절 및 정

⑥ C/N 비

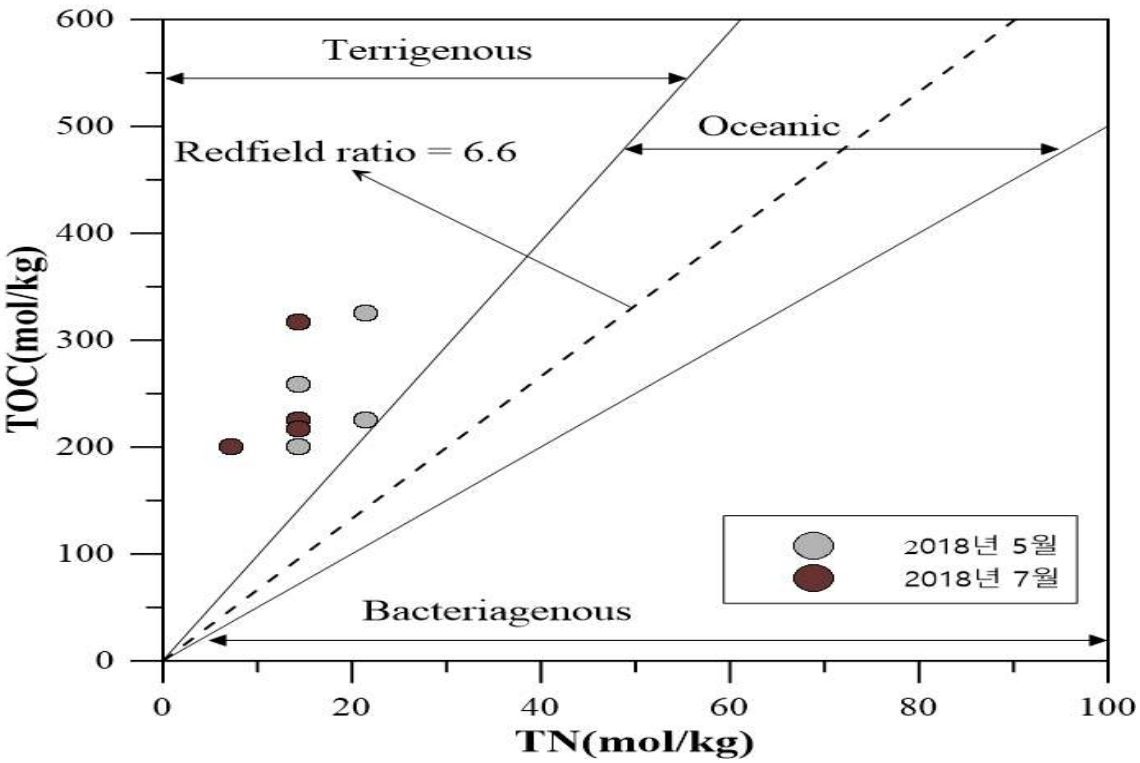
◦ 일반적으로 C/N비는 퇴적물에 포함된 유기물의 기원을 규명하는데 많이 사용되고 있다. C/N비가 12 이상인 유기물은 육상 기원 유기물을 나타내고(Greaves and Schwartz, 1952), 6~9는 식물플랑크톤의범위이며(Holligan et al., 1984), 5~12의 C/N비를 가질 경우 해양 기원 유기물을 의미한다(Stein, 1991).

◦ 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 춘계 조사 10.5~18.1(평균 14.1), 7월 조사 15.2~28.0%(평균 19.2)의 범위를 보였다. 전체적으로 춘계와 하계에 육상유래 유기물이 퇴적하고 있음을 알 수 있다.

◦ C/N비의 계절별(춘계와 하계) 변화를 보면, 춘계보다 하계에 좀 더 C/N비가 높게 조사되어7월에 보다 많은 육상유래 유기물 퇴적 가능성을 보여주고 있다.



[그림 3-15] 해양 퇴적물 유기물의 C/N 비

⑦ 중금속류

◦ 퇴적물 내 중금속 조사는 4개 구역의 표층 퇴적물을 대상으로 수행되었다.

◦ 춘계 조사시 Cd는 0.08~0.10㎎/㎏(평균 0.08㎎/㎏), Cr은 34.38~167.4㎎/㎏(평균 80.79㎎/㎏), Cu는 5.87~17.95㎎/㎏(평균 9.51㎎/㎏), Pb는 21.77~79.83㎎/㎏(평균 37.06㎎/㎏), Zn는 37.89~67.18㎎/㎏(평균 51.36㎎/㎏), As는 1.65~2.75㎎/㎏(평균 1.99㎎/㎏), Ni는 10.42~50.20㎎/㎏(평균 22.73㎎/㎏), Al는 4.68~7.05%(평균 5.85%), Fe은 1.29~3.68%(평균 2.34%), Hg는 4.13~7.86㎍/㎏(평균 5.52㎍/㎏)의 범위를 보였다.

◦ 하계 조사시 Cd는 0.06~0.10㎎/㎏(평균 0.07㎎/㎏), Cr은 38.38~248.16㎎/㎏(평균 98.17㎎/㎏), Cu는 4.66~17.86㎎/㎏(평균 8.42㎎/㎏), Pb는 20.36~65.98㎎/㎏(평균 43.73㎎/㎏), Zn는 29.99~65.98㎎/㎏(평균 43.73㎎/㎏), As는 0.94~2.44㎎/㎏(평균 1.64㎎/㎏), Ni는 10.63~50.93㎎/㎏(평균 21.50㎎/㎏), Al는 4.46~6.99%(평균 5.61%), Fe은 1.84~5.45%(평균 2.87%), Hg는 5.41~11.37㎍/㎏(평균 7.70㎍/㎏)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 비교하지만, 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) 이하로 조사되었다.

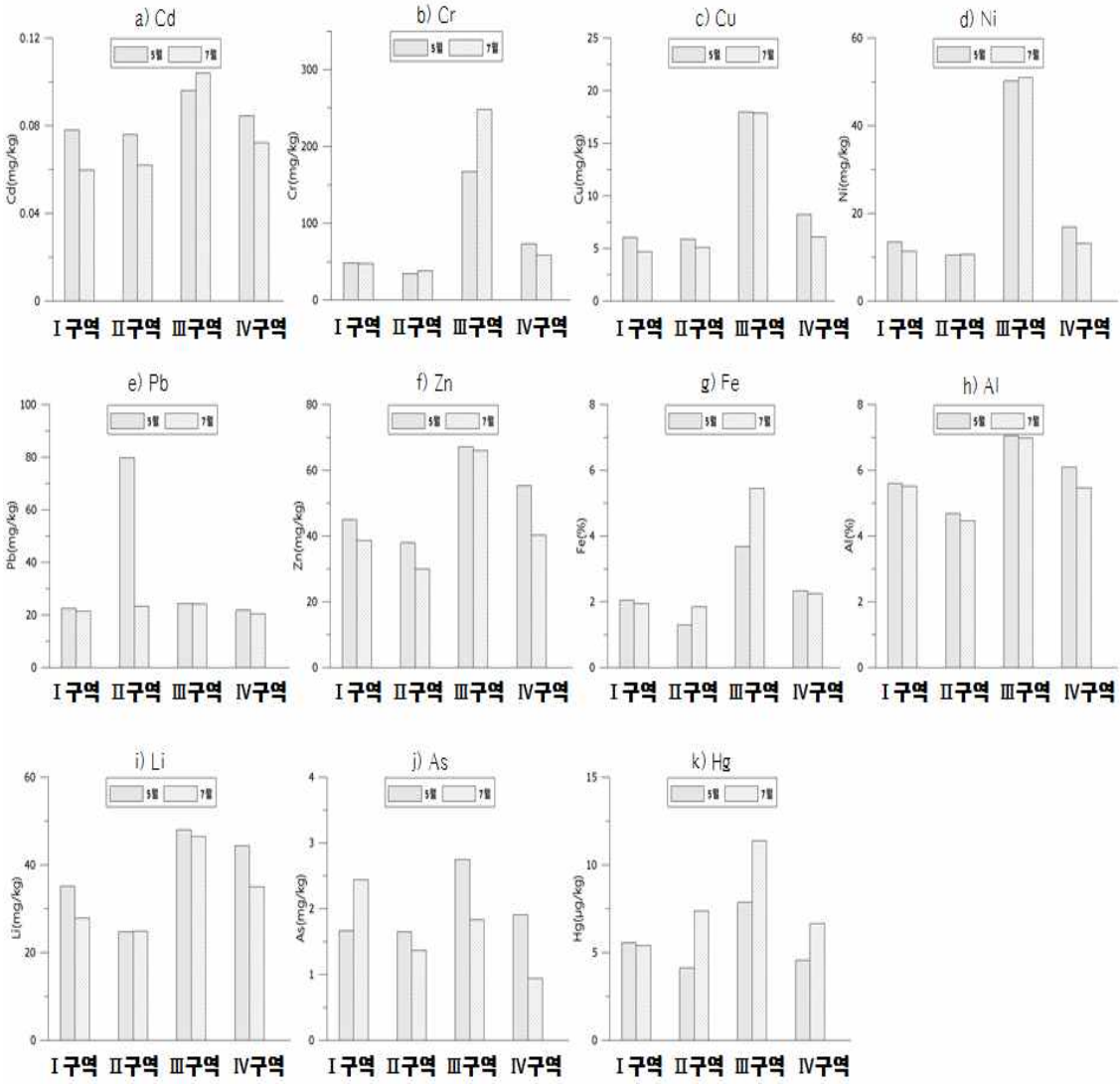
◦ 그러나 춘계와 하계에 일부 구역(II, III구역)에서 중금속 항목 기준치를 초과 하였다.

□춘계: II구역의 Pb, III구역의 Cr, Ni에서 해양환경기준의 주의기준(TEL) 초과 하였으며 특히 III구역의 Cr은 미국해양대기청(NOAA)의 저서생물에 독성을 보이는 초기

10% 농도(ERL)기준을 초과하였다.

□하계: III구역의 Cr, Ni에서 해양환경기준의 주의기준(TEL) 초과하였으며 Cr은 미국 해양대기청(NOAA)의 저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도(ERL)기준을 초과하였다.

◦ 본 조사에서 황도 주변 퇴적물 중 중금속 일부 항목이 기준치에 초과하는 결과를 보여주고 있다. 중금속 유입에 대한 좀 더 다양한 연구가 필요한 실정이다.



[그림 3-16] 조사해역 퇴적물 내 중금속의 계절 및 정점별 분포

[표 3-21] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2018년 5월)

구역		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	최소	최대	평균
Cd	(㎎/㎏)	0.08	0.08	0.10	0.08	0.08	0.10	0.08
Cr		48.40	34.38	**167.4**	72.99	34.38	167.4	80.79
Cu		6.00	5.87	17.95	8.20	5.87	17.95	9.51
Ni		13.42	10.42	**50.20**	16.89	10.42	50.20	22.73
Pb		22.31	**79.83**	24.32	21.77	21.77	79.83	37.06
Zn		45.01	37.89	67.18	55.36	37.89	67.18	51.36
Li		35.04	24.69	48.03	44.41	24.69	48.03	38.04
As		1.67	1.65	2.75	1.91	1.65	2.75	1.99
Al	(%)	5.59	4.68	7.05	6.11	4.68	7.05	5.85
Fe		2.04	1.29	3.68	2.33	1.29	3.68	2.34
Hg	(㎍/㎏)	5.56	4.13	7.86	4.55	4.13	7.86	5.52

[표 3-22] 해양 퇴적물 중금속 항목 분석 결과(2018년 7월)

구역		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	최소	최대	평균
Cd	(㎎/㎏)	0.06	0.06	0.10	0.07	0.06	0.10	0.07
Cr		47.83	38.38	**248.16**	58.33	38.38	248.16	98.17
Cu		4.66	5.07	17.86	6.09	4.66	17.86	8.42
Ni		11.32	10.63	**50.93**	13.10	10.63	50.93	21.50
Pb		21.32	23.34	24.00	20.36	20.36	24.00	22.25
Zn		38.70	29.99	65.98	40.24	29.99	65.98	43.73
Li		27.88	24.89	46.48	34.96	24.89	46.48	33.55
As		2.44	1.37	1.83	0.94	0.94	2.44	1.64
Al	(%)	5.51	4.46	6.99	5.47	4.46	6.99	5.61
Fe		1.95	1.84	5.45	2.24	1.84	5.45	2.87
Hg	(㎍/㎏)	5.41	7.37	11.37	6.66	5.41	11.37	7.70

[표 3-23] 해양환경관리법에 따른 해양환경기준(해양수산부고시 제 2013-186)

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

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

- As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb는 시료와 각 기준 농도를 직접 비교
- Cu, Zn은 시료의 Li으로 측정 농도를 입도 보정하여 기준 농도와 비교

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

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

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

[표 3-24] 미국해양대기청(NOAA)의 퇴적물 중금속 관리 기준

항목 (㎎/㎏)	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 3-17]에 제시하였으며, 해양 퇴적물의 국내 및 국외 환경 기준을 [표 3-23]과 [표 3-24]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 비교하였다.

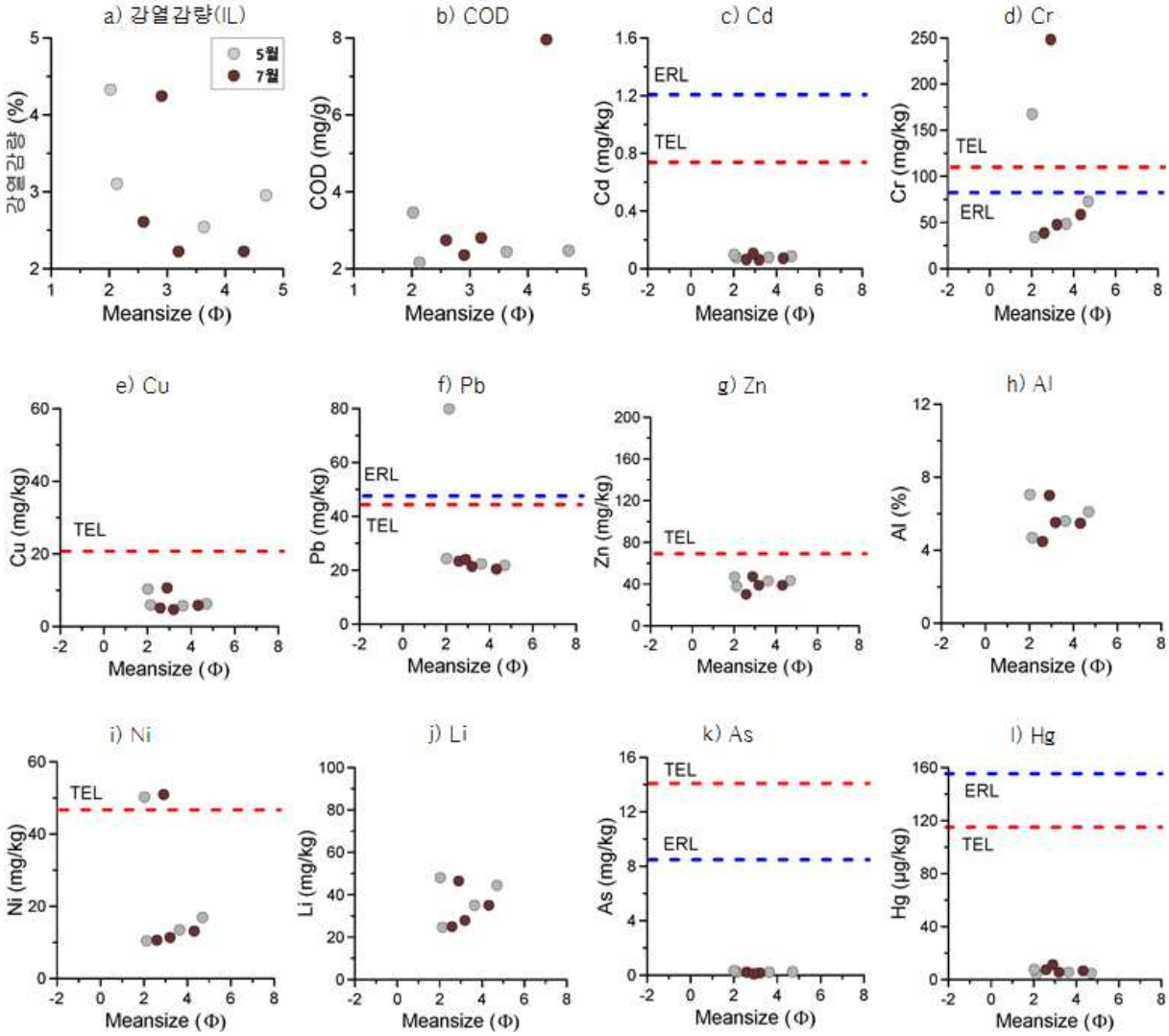
◦ 미국해양대기청의 환경기준은 연안퇴적물 중 중금속 자료를 바탕으로 지각물질의 주요 원소인 Al과 Fe를 제외한 총 9개의 원소에 대하여 퇴적물 내 중금속에 의한 생물 영향을 고려한 기준이다.

◦ 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 대부분의 중금속 항목이 미국해양대기청(NOAA)의 ERL(저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도) 기준을 초과한 중금속 항목은 Cr(춘계, 하계), Pb(춘계)였고, 국내 해양환경기준의 TEL(주의기준: 부정적인 영향이 거의 없을 것으로 예측되는 범위) 기준을 초과한 중금속 항목은 Cr(춘계, 하계), Pb(춘계), Ni(춘계, 하계)로 조사되었다.

◦ 본 조사에서 황도 주변 갯벌에서 중금속 중 일부 항목이 기준치에 초과하는 결과를 보여주고 있다. 중금속 유입에 대한 좀 더 다양한 연구가 필요한 실정이다.



[그림 3-17] 입도, 중금속 항목의 상관성 및 퇴적물 환경 기준과 비교

⑨ 오염도 평가

▌농추계수(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 Background 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 의미한다(Zhang and Lui, 2002). 최근에는 농축계수의 값을 세분화 하여 오염을 평가 하였으며, 평가 기준은 [표 3-25]에 제시하였다(Birth, 2003; Chen ***et al***., 2007).

◦ 5월 조사에서 농축계수는 0~3 범위를 보였으며, 오염되지 않은 상태(no enrichment)에서 적당히 심한 오염 상태(moderately severe enrichment)로 나타났다.

◦ 7월 조사에서도 0~3 범위를 보여, 오염되지 않은 상태(no enrichment)에서 적당히 심한 오염 상태(moderately severe enrichment)로 나타났다.

◦ 농축계수로 퇴적물 내 중금속의 오염도를 평가 한 결과 대부분의 구역에서 약간 오염 및 오염되지 않은 상태를 보여 조사 해역의 오염도는 일부 구역을 제외하면 낮은 것으로 조사되었다.

◦ 하지만, 크롬(Cr)과 납(Pb)의 경우 일부 구역에서 적당히 심한 오염 상태로 나타났다.

[표 3-25] 농축계수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

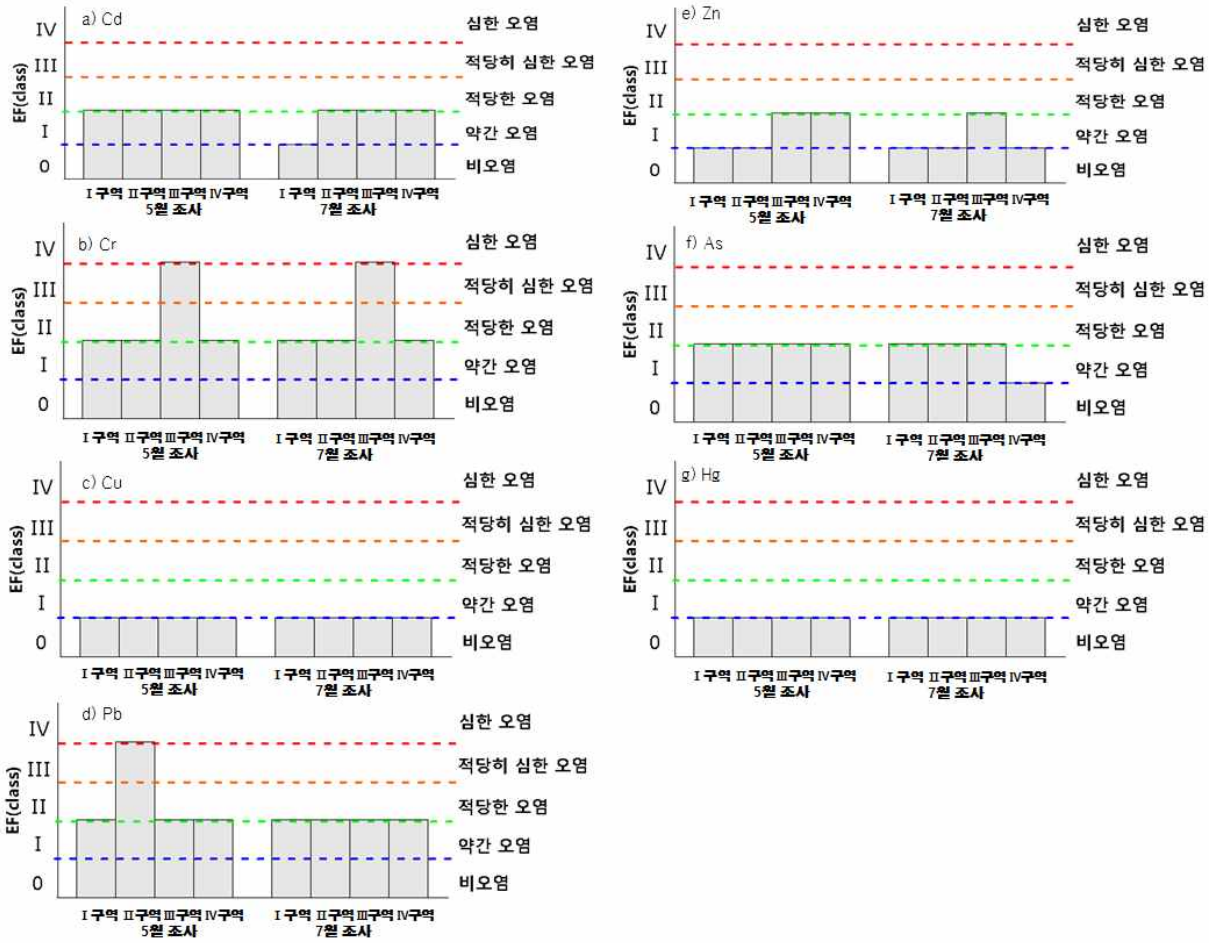
EF	Class	등급
> 50	6	극히 심한 오염 상태 (Extremely severe enrichment)
25-50	5	매우 심한 오염 상태 (Very severe enrichment)
10-25	4	심한 오염 상태 (Severe enrichment)
5-10	3	적당히 심한 오염 상태 (moderately severe enrichment)
3-5	2	적당한 오염 상태 (moderate enrichment)
1-3	1	약간 오염 상태 (minor enrichment)
< 1	0	오염되지 않은 상태 (no enrichment)

[표 3-26] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2018년 5월)

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

[표 3-27] 해양 퇴적물 내 중금속 농축계수(2018년 7월)

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



[그림 3-18] 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_n은 측정된 퇴적물 내 중금속의 농도이며, 지수 1.5는 지각 기원에 의한 영향을 보정하기 위해 사용되었고, B_n은 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 3-28].

◦ 춘계 조사에서는 비오염(Practically unpolluted)에서 약간 오염 수준(Moderately polluted)으로 조사되었다.

◦ 하계 조사에서는 비오염(Practically unpolluted)에서 약간 오염/심한 오염 수준(Moderately/strongly polluted)으로 조사되었다.

◦ 금회 조사에서는 크롬(Cr)과 납(Pb)에서 약간 오염 수준에서 약간 오염/심한 오염 수준을 보였으며, 나머지 항목에서는 비오염에서 약간오염/비오염 수준으로 조사되었다.

[표 3-28] 농집지수를 이용한 해양퇴적물 내 중금속 오염도 평가 기준

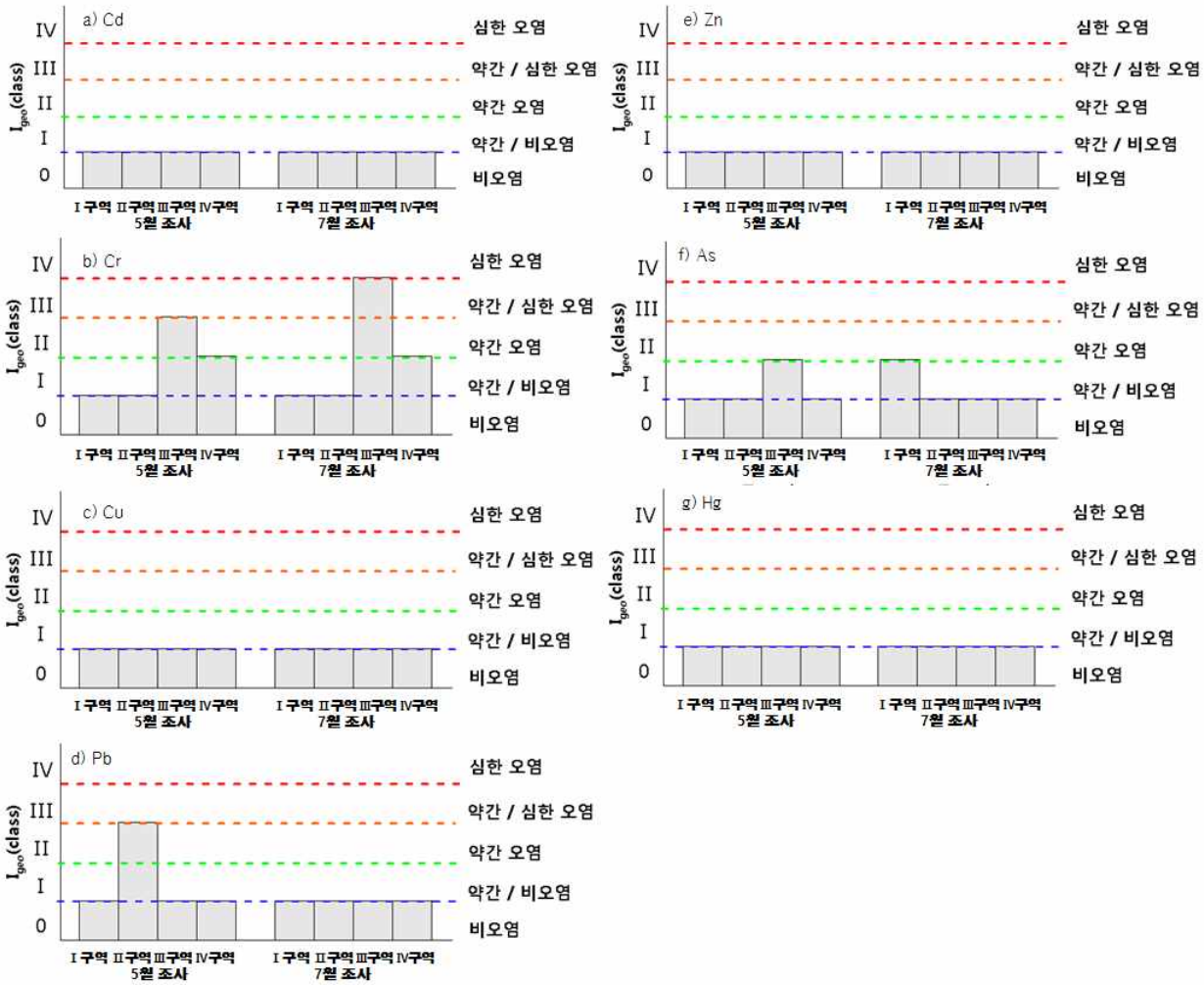
I_{geo}	Class	등급
>5	7	매우 심한 오염 (Very Strong polluted)
4-5	6	심한 오염/매우 심한 오염 (Strong/Very strong polluted)
3-4	5	심한 오염 수준 (Strong polluted)
2-3	4	약간 오염/심한 오염 수준 (Moderately/strongly polluted)
1-2	3	약간 오염 수준 (Moderately polluted)
0-1	2	약간 오염/ 비오염 수준 (Practically unpolluted/moderately polluted)
0	1	비오염 수준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

[표 3-29] 해양퇴적물 내 농집지수(2018년 5월)

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

[표 3-30] 해양퇴적물 내 농집지수(2018년 7월)

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



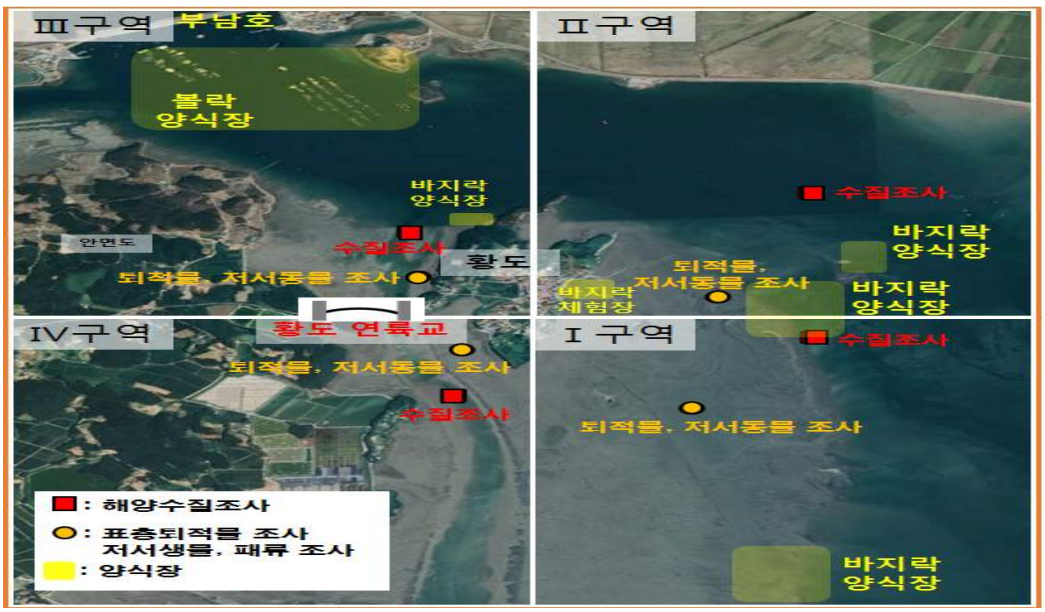
[그림 3-19] 해양퇴적물 내 중금속의 정점별 농집지수

3. 저서동물

1) 현장조사 개요

(1) 공간적 범위

◦ 충청남도 태안군 안면읍 황도 주변(Ⅰ구역~Ⅳ구역) 저서동물 조사를 수행하였다.



[그림 3-20] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사도

(2) 시간적 범위

◦ 1차 및 2차 조사는 2018년 5월 29일, 7월 16일에 저서동물 및 패류자원을 조사하였다.

(3) 내용적 범위

◦ 황도 주변 저서동물 및 패류자원(바지락) 조사를 수행하였다.

[표 3-31] 황도 갯벌 저서동물 및 패류자원(바지락)의 조사 위치

구 분	조사구역	조사좌표		비고
		위도	경도	
저서동물 및 패류 자원(바지락)	Ⅰ구역	36° 35'17.22"	126° 23'23.60"	
	Ⅱ구역	36° 35'45.18"	126° 23'28.06"	
	Ⅲ구역	36° 35'58.81"	126° 23'32.12"	
	Ⅳ구역	36° 35'34.80"	126° 22'40.74"	

2) 현장조사 방법

(1) 시료 채취 방법

① 대형저서동물 현장채집 방법

◦ 각 정점은 도보로 접근하여 표면적 0.1 ㎡이 되도록 상자형 코아 채취기(Box corer)를 이용하여 정점별로 반복 채집하였다.

◦ 채집된 저질퇴적물은 현장에서 1㎜ 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 ㎡ 단위 면적당 값으로 환산하여 저서동물군집의 생태학적 분석에 이용하였다.

② 패류자원 현장채집 방법

◦ 황도의 패류자원 중 바지락을 대상으로 총 4개의 구역을 선정하여 2018년 5월, 7월에 현장조사를 수행하였다.

◦ 각 정점은 도보로 접근하여 50×50 ㎝ 크기의 방형구를 이용하여 표층부터 바지락이 서식하지 않는 층까지 퇴적물과 바지락을 채집하여 5 mm 체로 걸러서 2회 반복하여 바지락만을 채집한 후 평균 서식밀도를 1 ㎡ 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)
$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \times \ln P_i$	$J = H'/H'_{\max} = H'/\ln S$	$D = (S-1)/\ln N$
여기서, S : 출현종수 Pi : 총 출현 개체수(N)에 대한 i 번째 종의 개체수(ni)의 비율 (ni/N)	여기서, S : 출현종수 H' : 다양도 지수	여기서, S : 출현종수

▌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.

(2) 저서동물 분석 방법

◦ 현장에서 채집된 바지락은 냉장 상태로 실험실로 옮긴 후, 각장, 각고와 각폭을 디지털 캘리퍼스로 소수점 이하 둘째자리까지 ㎜단위로 측정하였으며, 전 중량을 측정한 후 육질 중량은 개각하여 습중량으로, 패각 중량은 상온에서 건조시킨 후 전자저울로 첫째자리까지 g 단위로 측정하였다.

◦ 이 자료를 바탕으로 비만도지수(Condition Index) 를 다음과 같은 식으로 산출하였다.

비만도 (CI) = 체조직 습중량 / 패각 건중량

[그림 3-21] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 채집(좌) 및 측정(우)

4) 현장조사 결과

(1) 대형저서동물

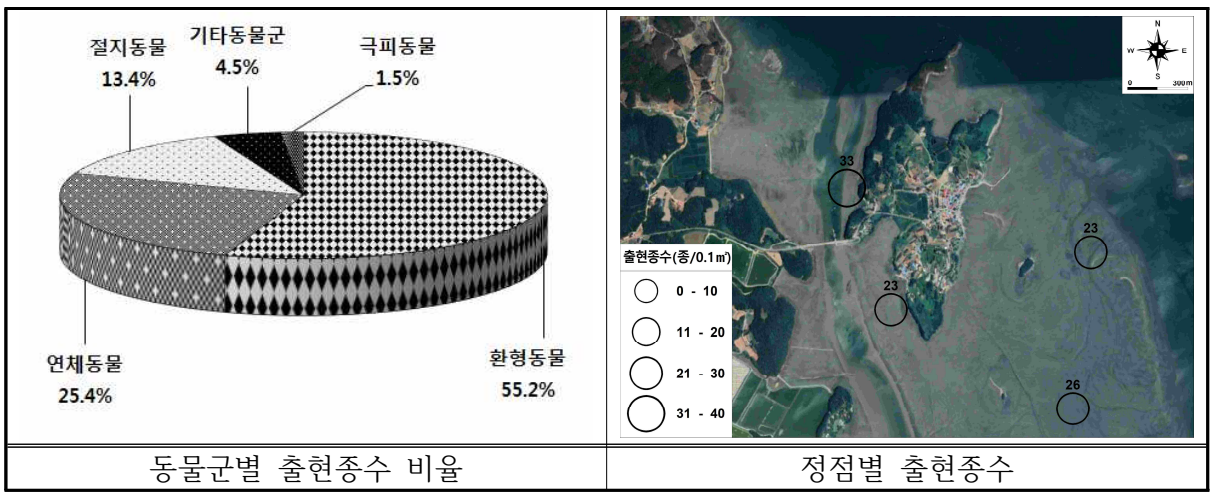
① 종 조성

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물은 총 67 종/0.1 ㎡이었다[표 3-32]. 이 중 환형동물이 총 37 종/0.1 ㎡으로 전체 출현종수의 55.2 %를 차지하였으며, 다음으로 연체동물이 총 17 종/0.1 ㎡(25.4 %), 절지동물이 총 9 종/0.1 ㎡(13.4 %), 기타동물군은 총 1 종/0.1 ㎡(2.4%), 극피동물이 총 1 종/0.1 ㎡(1.5 %) 출현하였다[그림 3-22].

◦ 황도 갯벌 출현종수는 23~34 종/0.1 ㎡의 범위로 III구역은 상대적으로 다른 구역에 비해 높은 출현종수와 다양한 동물 군이 관찰되었으며, 모든 구역에서 환형동물이 동물군 중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-32] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 출현종수 비율(2018년 5월)

동물군		I 구역	II 구역	III 구역	IV 구역	전체	비율
Annelida	환형동물	15	14	20	13	37	55.2
Mollusca	연체동물	5	5	8	5	17	25.4
Arthropoda	절지동물	4	3	4	2	9	13.4
Others	기타동물군	1	1	2	3	3	4.5
Echinodermata	극피동물	1				1	1.5
출현종수(종/0.1 ㎡)		26	23	34	23	67	100.0



동물군별 출현종수 비율 | 정점별 출현종수

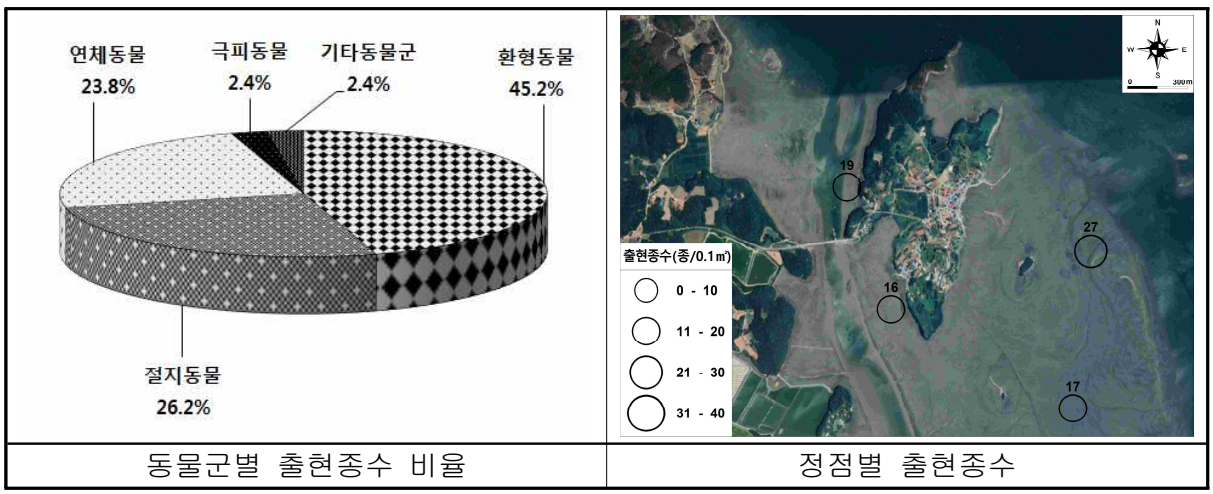
[그림 3-22] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 출현종수 비율 및 구역별 출현종수

◦ 2018년 하계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물은 총 42 종/0.1 ㎡이었다[표 3-33]. 이 중 환형동물이 총 19 종/0.1 ㎡으로 전체 출현종수의 45.2 %를 차지하였으며, 다음으로 절지동물이 총 11 종/0.1 ㎡(26.2 %), 연체동물이 총 10 종/0.1 ㎡(23.8 %), 극피동물과 기타동물군은 각각 총 1 종/0.1 ㎡(2.4 %) 출현하였다[그림 3-23].

◦ 황도 갯벌 출현종수는 16~27 종/0.1 ㎡의 범위로 II구역은 상대적으로 다른 정점에 비해 높은 출현종수와 다양한 동물군이 관찰되었으며, 모든 구역에서 환형동물이 동물군 중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-33] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 출현종수 비율(2018년 7월)

동물군		I 구역	II 구역	III구역	IV구역	전체	비율
Annelida	환형동물	8	13	13	8	19	45.2
Arthropoda	절지동물	4	8	2	2	11	26.2
Mollusca	연체동물	5	4	3	5	10	23.8
Echinodermata	극피동물		1			1	2.4
Others	기타동물군		1	1	1	1	2.4
출현종수(종/0.1 ㎡)		17	27	19	16	42	100.0



동물군별 출현종수 비율 | 정점별 출현종수

[그림 3-23] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 출현종수 비율 및 구역별 출현종수

② 서식밀도

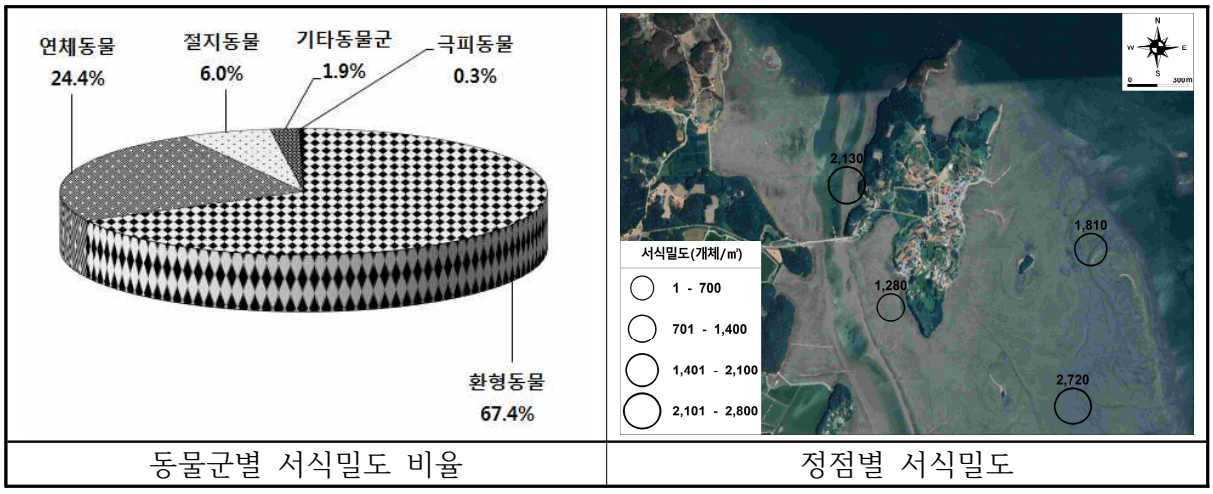
◦ 2018년 하계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도는 평균 1,985 개체/㎡이었다[표 3-34]. 이 중 환형동물이 평균 1,338 개체/㎡으로 전체 서식밀도의 67.4 %를 차지하였으며,

다음으로 연체동물이 평균 485 개체/㎡(24.4 %), 절지동물이 평균 120 개체/㎡(6.0 %), 기타 동물군이 평균 38 개체/㎡(1.9 %), 극피동물은 평균 5 개체/㎡(0.3 %)의 서식밀도를 나타내었다[그림 3-24].

◦ 황도 갯벌 서식밀도는 1,280~2,720 개체/㎡의 범위로 Ⅰ구역이 상대적으로 다른 정점에 비해 높은 서식밀도와 다양한 동물군이 관찰되었으며, Ⅱ구역을 제외한 모든 구역에서는 환형동물이, Ⅱ구역에서는 연체동물이 동물군중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-34] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 서식밀도 비율(2018년 5월)

동물군		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
Annelida	환형동물	2,150	740	1,650	810	1,338	67.4
Mollusca	연체동물	290	990	330	330	485	24.4
Arthropoda	절지동물	230	70	120	60	120	6.0
Others	기타동물군	30	10	30	80	38	1.9
Echinodermata	극피동물	20				5	0.3
평균 서식밀도(개체/㎡)		2,720	1,810	2,130	1,280	1,985	100.0



동물군별 서식밀도 비율 | 정점별 서식밀도

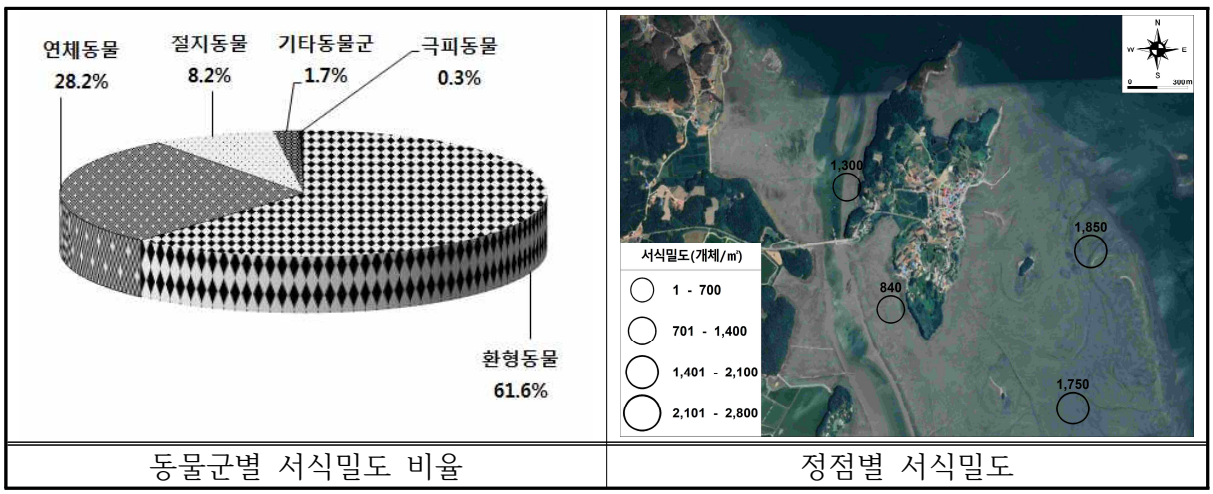
[그림 3-24] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 서식밀도 비율 및 구역별 서식밀도

◦ 2018년 하계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도는 평균 1,435 개체/㎡이었다[표 3-35]. 이 중 환형동물이 평균 883 개체/㎡으로 전체 서식밀도의 61.6 %를 차지하였으며, 다음으로 연체동물이 평균 405 개체/㎡(28.2 %), 절지동물이 평균 118 개체/㎡(8.2 %), 기타동물군은 평균 25 개체/㎡(1.7 %), 극피동물은 평균 5 개체/㎡(0.3 %)의 서식밀도를 나타내었다[그림 3-25].

◦ 황도 갯벌 서식밀도는 840~1,850 개체/㎡의 범위로 II구역은 상대적으로 다른 정점에 비해 높은 서식밀도와 다양한 동물군이 관찰되었으며, I 구역을 제외한 모든 정점에서는 환형동물이, I 구역에서는 연체동물이 동물군중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-35] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 서식밀도 비율(2018년 7월)

동물군		I 구역	II 구역	III 구역	IV 구역	평균	비율
Annelida	환형동물	490	1,440	1,060	540	883	61.6
Mollusca	연체동물	1,170	170	40	240	405	28.2
Arthropoda	절지동물	90	200	150	30	118	8.2
Others	기타동물군		20	50	30	25	1.7
Echinodermata	극피동물		20			5	0.3
평균 서식밀도(개체/㎡)		1,750	1,850	1,300	840	1,435	100.0



동물군별 서식밀도 비율 | 정점별 서식밀도

[그림 3-25] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 서식밀도 비율 및 구역별 서식밀도

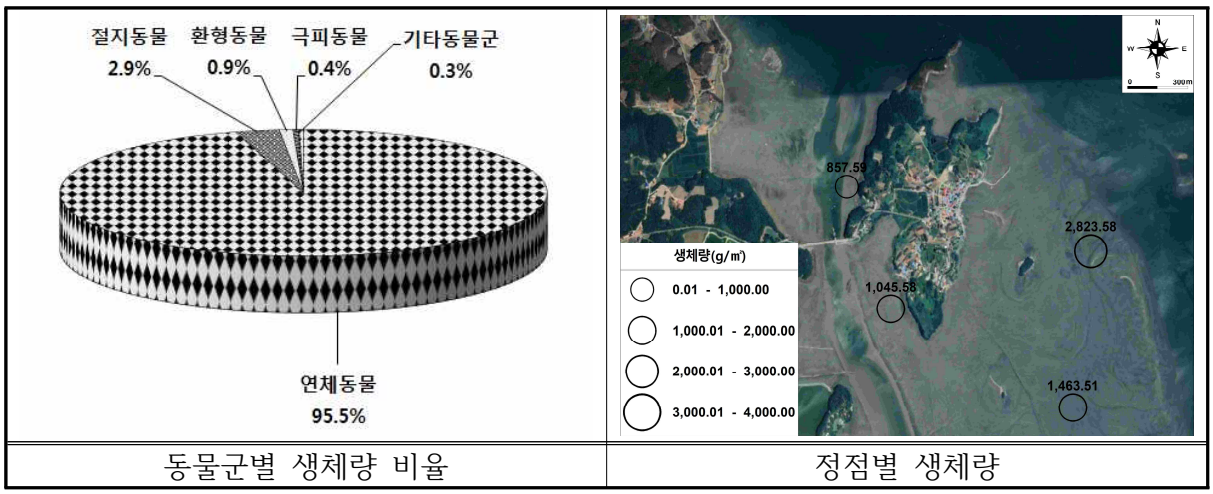
③ 생체량

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량은 평균 1,547.57 g/㎡이었다 [표 3-36]. 이 중 연체동물이 평균 1,478.78 g/㎡으로 전체 생체량의 95.5 %를 차지하였으며, 다음으로 절지동물이 평균 44.37 g/㎡ (2.9 %), 환형동물이 평균 14.37 g/㎡ (0.9 %), 극피동물이 평균 5.81 g/㎡ (0.4 %), 기타동물군은 평균 4.24 g/㎡ (0.3 %)의 생체량을 나타내었다 [그림 3-26].

◦ 황도 갯벌 생체량은 857.59~2,823.58 g/㎡의 범위로 II구역이 상대적으로 다른 정점에 비해 높은 생체량을 나타내었으며, IV구역을 제외한 모든 정점에서 연체동물에 속하는 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 출현하여 높은 생체량 나타내어 연체동물이 동물군 중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-36] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생체량 비율(2018년 5월)

동물군		I 구역	II 구역	III 구역	IV 구역	평균	비율
Mollusca	연체동물	1,366.76	2,748.75	820.25	979.37	1,478.78	95.5
Arthropoda	절지동물	35.54	66.30	17.74	57.90	44.37	2.9
Annelida	환형동물	25.73	8.52	19.58	3.66	14.37	0.9
Echinodermata	극피동물	23.22				5.81	0.4
Others	기타동물군	12.26	0.01	0.02	4.65	4.24	0.3
평균 생체량(g/㎡)		1,463.51	2,823.58	857.59	1,045.58	1,547.57	100.0



동물군별 생체량 비율 | 정점별 생체량

[그림 3-26] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량

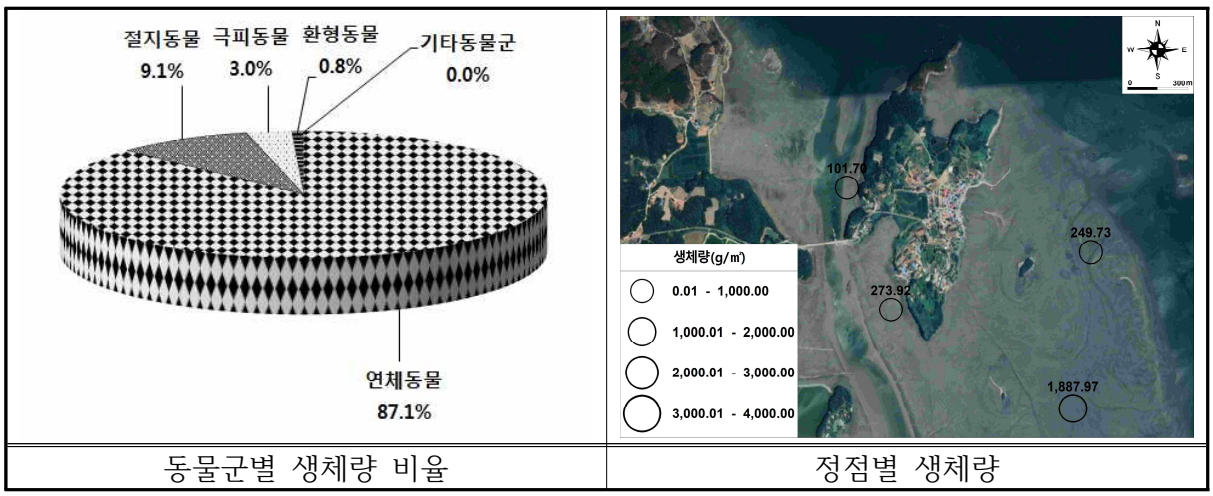
□2018년 하계 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량은 평균 628.33 g/㎡이었다[표 3-37]. 이 중 연체동물이 평균 547.43 g/㎡으로 전체 생체량의 87.1 %를 차지하였으며, 다음으로 절지동물이 평균 57.11 g/㎡ (9.1 %), 극피동물이 평균 18.57 g/㎡ (3.0 %), 환형동물이 평균 5.19 g/㎡ (0.8 %), 기타동물군은 평균 0.04 g/㎡로 0.1 %미만의 생체량을 나타내었다[그림 3-27].

□황도 갯벌 생체량은 101.70~1,887.97 g/㎡의 범위로 I 구역에서 상대적으로 다른 구역에 비해 높은 생체량을 나타내었으며, IV구역을 제외한 모든 구역에서 연체동물에 속하는

바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 출현하여 높은 생체량 나타내어 연체동물이 동물군 중 가장 높은 비율을 차지하였다.

[표 3-37] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생체량 비율(2018년 7월)

동물군		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
Mollusca	연체동물	1799.63	124.55	56.45	209.09	547.43	87.1
Arthropoda	절지동물	85.49	41.53	39.04	62.36	57.11	9.1
Echinodermata	극피동물		74.28			18.57	3.0
Annelida	환형동물	2.85	9.34	6.11	2.44	5.19	0.8
Others	기타동물군		0.03	0.10	0.03	0.04	0.0
평균 생체량(g/㎡)		1,887.97	249.73	101.70	273.92	628.33	100.0



동물군별 생체량 비율 | 정점별 생체량

[그림 3-27] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물군별 생체량 비율 및 구역별 생체량

④ 우점종

▌서식밀도 기준 우점종

◦ 조사지역에서 출현한 저서동물의 서식밀도를 기준으로 상위 5위까지의 우점종을 선정하였다.

◦ 2018년 춘계 조사결과, 동물군에 있어서는 환형동물이 4종으로 가장 많았으며, 연체동물은 1종이 주요 우점종으로 상위에 위치하였다[표 3-38; 그림 3-28].

◦ 이들 상위 5위 우점종들이 나타내는 서식밀도는 평균 1,305개체/㎡로 전체 서식밀도의 65.7%를 차지하였다. 우선 순위별로 살펴보면, 환형동물에 속하는 버들갯지렁이류

(*Mediomastus californiensis*)가 평균 550 개체/㎡로 전체 서식밀도의 27.7 %를 차지하였으며, 다음으로 연체동물에 속하는 바지락(*R. philippinarum*)이 평균 315 개체/㎡(15.9 %), 버들갯지렁이류(*Heteromastus filiformis*)가 평균 178 개체/㎡(8.9 %), 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*)가 평균 160 개체/㎡(8.1 %), 솜털별난가시갯지렁이(*Aricidea assimilis*)가 평균 103 개체/㎡(5.2 %)의 서식밀도를 나타내었다.

◦ 황도 갯벌에서 바지락(*R. philippinarum*)이 IV구역을 제외한 나머지 정점에서 관찰되었으며, 나머지 상위우점종은 모든 정점에서 출현하였다.

[표 3-38] 황도갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(개체/㎡)(2018년 5월)

순위	동물군	국명(학명)	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
1	Annelida	버들갯지렁이류 *(Mediomastus californiensis)*	1,400	290	210	300	550	27.7
2	Mollusca	바지락 *(Ruditapes philippinarum)*	200	890	170		315	15.9
3	Annelida	버들갯지렁이류 *(Heteromastus filiformis)*	60	40	530	80	178	8.9
4	Annelida	남방백금갯지렁이 *(Nephtys polybranchia)*	360	160	90	30	160	8.1
5	Annelida	솜털별난가시갯지렁이 *(Aricidea assimilis)*	160	30	20	200	103	5.2

◦ 2018년 하계 조사결과, 동물군에 있어서는 환형동물이 3 종으로 가장 많았으며, 연체동물이 2 종이 주요 우점종으로 상위에 위치하였다[표 3-39; 그림 3-28].

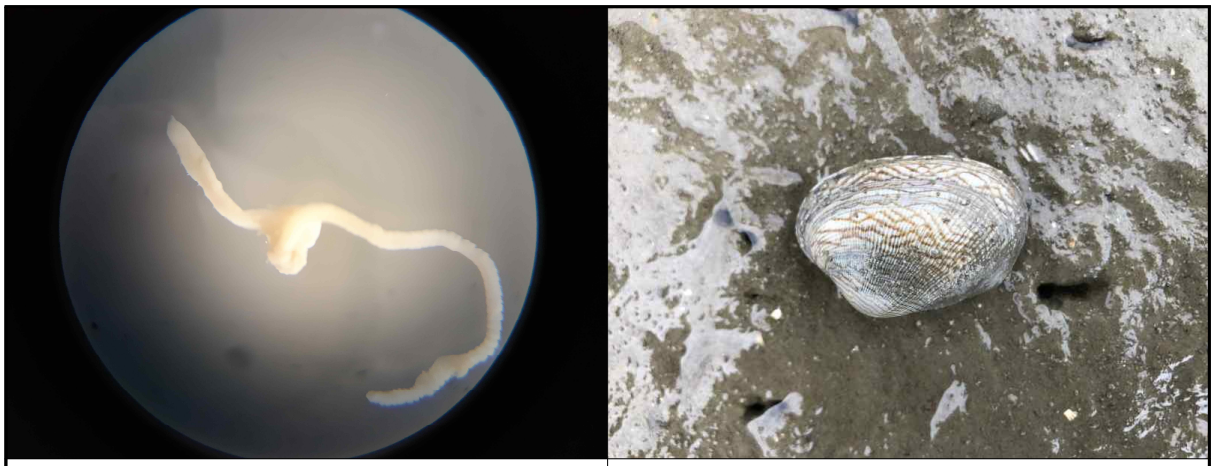
◦ 이들 상위 5 위 우점종들이 나타내는 서식밀도는 평균 948 개체/㎡로 전체 서식밀도의 66.0 %를 차지하였다.

◦ 우선 순위별로 살펴보면, 환형동물에 속하는 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 평균 380 개체/㎡로 전체 서식밀도의 26.5 %를 차지하였으며, 다음으로 연체동물에 속하는 바지락(*R. philippinarum*)이 평균 168 개체/㎡(11.7 %), 왕좁쌀무늬고둥(*Hima festiva*)이 평균 158 개체/㎡(11.0 %), 환형동물에 속하는 버들갯지렁이류(*H. filiformis*)가 평균 138 개체/㎡(9.6 %), 솜털별난가시갯지렁이(*A. assimilis*)가 평균 105 개체/㎡(7.3 %)의 서식밀도를 나타내었다.

◦ 황도 갯벌에서 상위우점종에서 환형동물 3 종은 모든 구역에서 출현하였으며, 바지락(*R. philippinarum*)이 IV구역을 제외한 나머지 구역에서만, 왕좁쌀무늬고둥은 Ⅰ구역과 Ⅱ구역에서만 관찰되었다.

[표 3-39] 황도갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 우점종(개체/㎡)(2018년 7월)

순위	동물군	국명(학명)	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
1	Annelida	버들갯지렁이류 *(Mediomastus californiensis)*	280	750	250	240	380	26.5
2	Mollusca	바지락 *(Ruditapes philippinarum)*	540	110	20		168	11.7
3	Mollusca	왕좁쌀무늬고둥 *(Hima festiva)*	600	30			158	11.0
4	Annelida	버들갯지렁이류 *(Heteromastus filiformis)*	70	40	330	110	138	9.6
5	Annelida	솜털별난가시갯지렁이 *(Aricidea assimilis)*	10	110	200	100	105	7.3



버들갯지렁이류(*M. californiensis*) | 바지락(*R. philippinarum*)

[그림 3-28] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 서식밀도 기준 주요 우점종

▌생체량 기준 우점종

◦ 조사지역에서 출현한 저서동물의 생체량을 기준으로 상위 5 위까지의 우점종을 선정하였다.

◦ 2018년 춘계 조사결과, 동물군별로 연체동물이 5 종이 주요 우점종으로 상위에 위치하였다 [표 3-40; 그림 3-29].

◦ 이들 상위 5 위 우점종들이 나타내는 생체량은 평균 1,435.79 g/㎡로 전체 생체량의 92.8 %를 차지하였다.

◦ 우선 순위별로 살펴보면, 연체동물에 속하는 바지락(***R. philippinarum***)이 평균 1,120.09 g/㎡로 전체 생체량의 72.4 %를 차지하였으며, 다음으로 가무락조개(***Cyclina sinensis***)가 평균 143.47 g/㎡ (9.3 %), 굴(***Crassostrea gigas***)이 평균 118.28 g/㎡ (7.6 %), 갯비틀이고둥류(***Cerithideopsilla*** sp.)가 평균 34.65 g/㎡ (2.2 %), 돌고부지(***Trapezium liratum***)가 평균 19.31 g/㎡ (1.2 %)의 생체량을 나타내었다.

◦ 황도 갯벌에서 바지락(*R. philippinarum*)이 Ⅳ구역을 제외한 나머지 구역에서 출현하였으며, 굴(*C. gigas*), 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)는 Ⅳ구역에서만, 돌고부지(*T. liratum*)는 Ⅲ구역에서만 관찰되었다.

[표 3-40] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 우점종(g/㎡)(2018년 5월)

순위	동물군	국명(학명)	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
1	Mollusca	바지락 *(Ruditapes philippinarum)*	1,107.21	2,706.08	667.07		1,120.09	72.4
2	Mollusca	가무락조개 *(Cyclina sinensis)*	240.03			333.86	143.47	9.3
3	Mollusca	굴 *(Crassostrea gigas)*				473.10	118.28	7.6
4	Mollusca	갯비틀이고둥류 *(Cerithideopsilla sp.)*				138.59	34.65	2.2
5	Mollusca	돌고부지 *(Trapezium liratum)*			77.23		19.31	1.2

◦ 2018년 하계 조사결과, 동물군에 있어서는 연체동물이 4종으로 가장 많았으며, 절지동물이 1종이 주요 우점종으로 상위에 위치하였다[표 3-41; 그림 3-29].

◦ 이들 상위 5위 우점종들이 나타내는 생체량은 평균 563.68 g/㎡로 전체 생체량의 89.7 %를 차지하였다.

◦ 우선 순위별로 살펴보면, 연체동물에 속하는 바지락(*R. philippinarum*)이 평균 418.91 g/㎡로 전체 생체량의 66.7 %를 차지하였으며, 다음으로 왕좁쌀무늬고둥(*H. festiva*)이 평균 46.18 g/㎡ (7.3 %), 절지동물에 속하는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 평균 42.22 g/㎡ (6.7 %), 연체동물에 속하는 가무락조개(*C. sinensis*)가 평균 34.90 g/㎡ (5.6 %), 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)가 평균 21.47 g/㎡ (3.4 %)의 생체량을 나타내었다.

◦ 황도 갯벌에서 바지락(*R. philippinarum*)이 Ⅳ구역을 제외한 나머지 구역에서 출현하였으며, 칠게(*M. japonicus*)는 모든 구역에서 관찰되었다.

[표 3-41] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 우점종(g/㎡)(2018년 7월)

순위	동물군	국명(학명)	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	비율
1	Mollusca	바지락 *(Ruditapes philippinarum)*	1,534.27	90.47	50.88		418.91	66.7
2	Mollusca	왕좁쌀무늬고둥 *(Hima festiva)*	171.74	12.98			46.18	7.3
3	Arthropoda	칠게 *(Macrophthalmus japonicus)*	58.5	12.74	38.99	58.65	42.22	6.7
4	Mollusca	가무락조개 *(Cyclina sinensis)*	70.05			69.55	34.90	5.6
5	Mollusca	갯비틀이고둥류 *(Cerithideopsilla sp.)*			3.94	81.95	21.47	3.4

바지락(*R. philippinarum*) | 갯비틀이고둥류(*Cerithideopsilla* sp.)

[그림 3-29] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 생체량 기준 주요 우점종

⑤ 생태학적 제지수

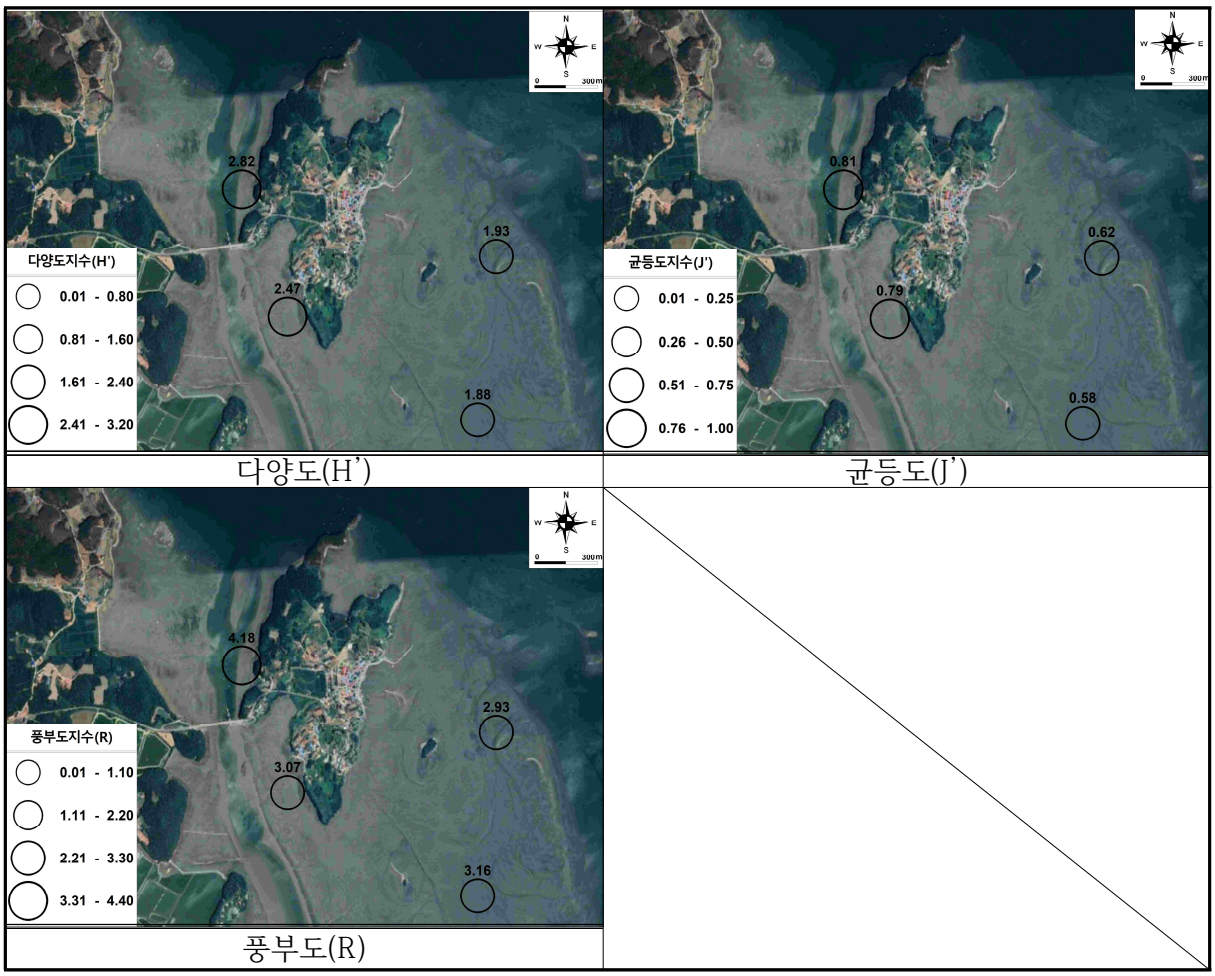
◦ 조사해역에서 출현한 저서동물의 출현종과 서식밀도를 기초로 생태학적 제지수를 산출하였다.

◦ 2018년 춘계 저서동물의 생태학적 제지수는 다양도지수의 경우 1.88~2.82(평균 2.28)의 범위로 나타났으며, 균등도지수는 0.58~0.81(평균 0.70)의 범위로, 풍부도 지수는 2.93~4.18(평균 3.34)의 범위를 나타내었다[표 3-42; 그림 3-30].

◦ Ⅲ구역에서는 다른 구역에 비해 높은 생태학적 제지수를 보였으며, Ⅱ구역은 다소 낮은 생태학적 제지수 수준을 보였다.

[표 3-42] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생태지수(2018년 5월)

생태지수	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균
다양도(H')	1.88	1.93	2.82	2.47	2.28
균등도(J')	0.58	0.62	0.81	0.79	0.70
풍부도(R)	3.16	2.93	4.18	3.07	3.34



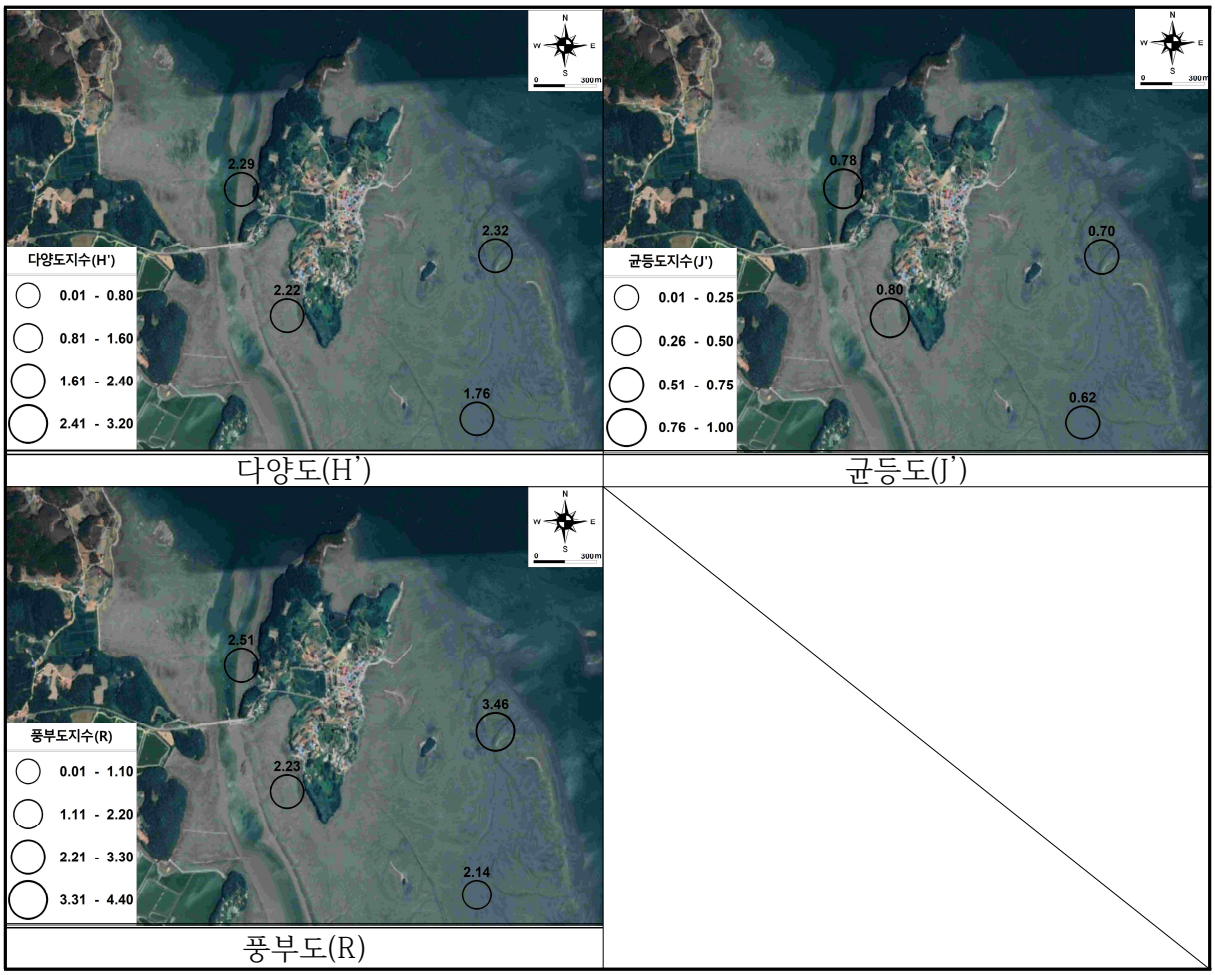
[그림 3-30] 2018년 5월 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교

◦ 2018년 하계 저서동물의 생태학적 제지수는 다양도지수의 경우 1.76~2.32(평균 2.15)의 범위로 나타났으며, 균등도지수는 0.62~0.80(평균 0.73)의 범위로, 풍부도 지수는 2.14~3.46(평균 2.58)의 범위를 나타내었다[표 3-43; 그림 3-31].

◦ Ⅱ구역에서는 다른 구역에 비해 높은 생태학적 제지수를 보였으며, Ⅰ구역은 다소 낮은 생태학적 제지수 수준을 보였다.

[표 3-43] 황도 갯벌에서 출현한 저서동물의 구역별 생태지수(2018년 7월)

생태지수	Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균
다양도(H')	1.76	2.32	2.29	2.22	2.15
균등도(J')	0.62	0.70	0.78	0.80	0.73
풍부도(R)	2.14	3.46	2.51	2.23	2.58



[그림 3-31] 2018년 7월 황도 갯벌 저서동물의 정점별 생태지수 비교

⑥ 군집 및 MDS 분석

◦ 황도 갯벌 저서동물군집의 시· 공간적인 분포 특성을 파악하기 위해서 2018년 춘계와 하계에 조사된 출현종별 서식밀도 및 생체량 자료를 바탕으로 다변량 집괴분석(cluster analysis)과 MDS(Multi-dimensional scaling)를 각각 실시하였다.

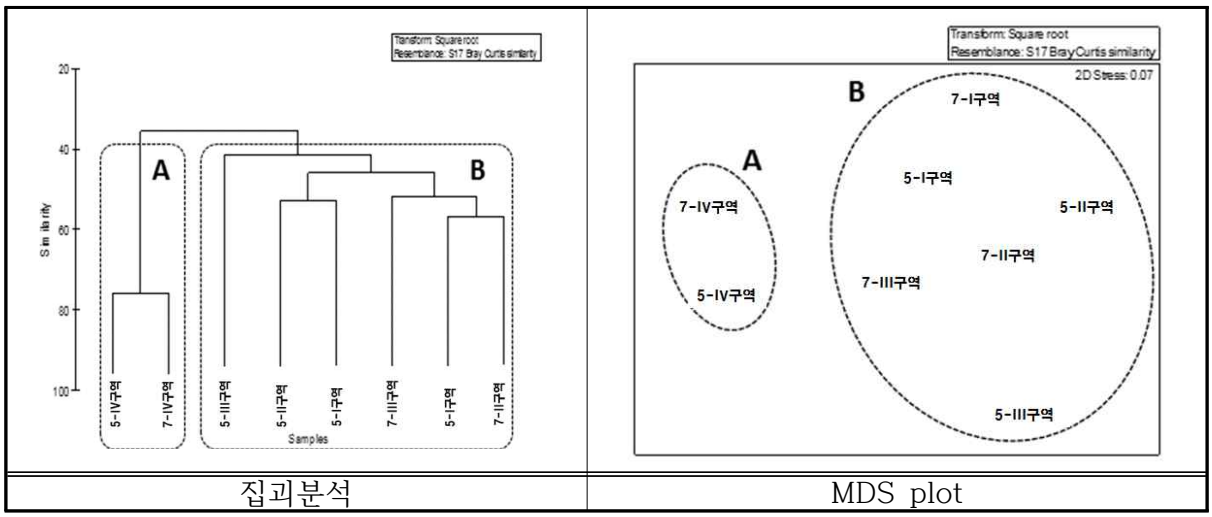
◦ 구분된 군집의 기여종(특징종)을 알기위해 SIMPER(similarity percentage) 분석하였다. 더불어 시기에 따른 군집의 유의성 검증은 one-way ANOSIM (Analysis of similarities) 분석을 이용 하였다.

▌서식밀도 기준 분석

◦ 서식밀도 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 그룹 2개(A와 B)로 구분되었다[표 3-44; 그림 3-32].

◦ 구역별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 그룹 A의 경우, Ⅳ구역으로 이루어졌으며, 기여종(학명, 기여율)은 환형동물의 버들갯지렁이류(***M. californiensis***, 16.7%)와 솜털별난가시갯지렁이(***A. assimilis***,10.8%), 연체동물의 동다리류(***Cerithideopsilla*** sp., 12.3%)등이 선정되었다. 그룹 B는 Ⅰ, Ⅱ 및 Ⅲ구역으로 구성되었다.

◦ 기여종(학명, 기여율)은 환형동물의 버들갯지렁이류(***M. californiensis***, 21.8%)와 남방백금갯지렁이(***N. polybranchia***, 10.1%), 연체동물의 바지락(***R. philippinarum***, 21.8%) 등이 선정되었다.



집괴분석 MDS plot

[그림 3-32] 다변량 분석을 통한 2018년 황도 저서동물군집 분포(서식밀도 기준)

[표 3-44] 2018년 황도 저서동물의 구역별 군집 기여종(서식밀도 기준)

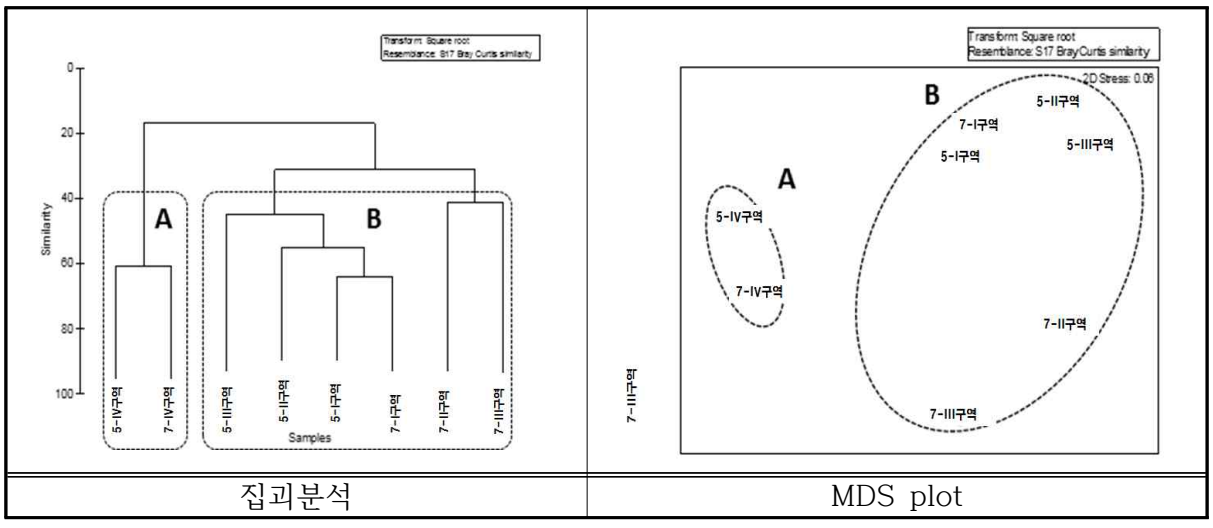
그룹군	A	B
자료유형	서식밀도	
구역	Ⅳ구역	Ⅰ구역, Ⅱ구역, Ⅲ구역
기여종 (기여율)	*Mediomastus californiensis* (16.7%)	*Mediomastus californiensis* (21.8%)
	Cerithideopsilla sp. (12.3%)	*Ruditapes philippinarum* (13.5%)
	Aricidea assimilis (10.8%)	*Nephtys polybranchia* (10.1%)

▌생체량 기준 분석

◦ 서식밀도 기준 황도 갯벌의 저서동물 군집은 그룹 2개(A와 B)로 구분되었다[표 3-45; 그림 3-33].

◦ 구역별 군집 특성을 살펴보면, 먼저 그룹 A의 경우, Ⅳ구역으로 이루어졌으며, 기여종(학명, 기여율)은 연체동물의 동다리류(***Cerithideopsilla*** sp., 12.3%)와 가무락조개(***C. sinensis***, 22.2%), 절지동물의 칠게(***M. japonicus***, 18.4%)등이 선정되었다. 그룹 B는 Ⅰ, Ⅱ 및 Ⅲ구역으로 구성되었다.

◦ 기여종(학명, 기여율)은 연체동물의 바지락(***R. philippinarum***, 58.3%)과 왕좁쌀무늬고둥(***H. festiva***, 8.1%), 절지동물의 칠게(***M. japonicus***, 7.9%)등이 선정되었다.



집괴분석 | MDS plot

[그림 3-33] 다변량 분석을 통한 2018년 황도 저서동물군집 분포(생체량 기준)

[표 3-45] 2018년 황도 저서동물의 구역별 군집 기여종(생체량 기준)

그룹군	A	B
자료유형	생체량	
그룹	Ⅳ구역	Ⅰ구역, Ⅱ구역, Ⅲ구역
기여종 (기여율)	*Cerithideopsilla sp.* (24.1%)	*Ruditapes philippinarum* (58.3%)
	Cyclina sinensis (22.2%)	*Hima festiva* (8.1%)
	Macrophthalmus japonicus (18.4%)	*Macrophthalmus japonicus* (7.9%)

▌저서동물군집의 분포특성

◦ 집괴분석 결과를 종합해 보면, 저서동물 군집은 서식밀도와 생체량 기준 모두 시기적(계절) 차이보다는 지리적 차이로 인하여 분포를 달리하였다.

◦ ANOSIM test 결과에서도 계절적인 군집의 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다 ($\rho > 0.05$)[표 3-46].

◦ 서식밀도와 생체량 기준 정점군들의 기여종을 살펴보면, 먼저 버들갯지렁이류(***M. californiensis***)와 칠게(***M. japonicus***)가 모든 구역에서 상위 기여종으로 출현하였다.

◦ 버들갯지렁이류(***M. californiensis***)은 가로림만 지역에서 흔히 관찰되었던 종으로 퇴적상이 세립한 지역에서 높은 서식밀도를 보였으며(신 등, 2004), 칠게(***M. japonicus***) 역시 세립한 퇴적상을 지닌 우리나라 갯벌에서 흔하게 관찰되고 있다(Hong et al.,2006).

◦ 반면 바지락(***R. philippinarum***)의 경우, B 그룹에서 높은 기여율을 보이며, B 그룹에서 만 출현하였다. 황도 갯벌은 어민들의 주요 소득원이 되는 바지락 양식으로 이용되고 있어, 바지락이 높은 서식밀도와 넓은 분포를 보이고 있다.

◦ 지리적으로 B 그룹은 A 그룹 보다 바지락 양식장과 인접해 있어, 바지락 유생의 유입 가능성과 바지락의 생육 환경조건이 A 그룹보다 우월한 것으로 판단된다.

◦ 황도의 저서동물 군집은 우리나라 일반적인 갯벌의 생물상을 기본적으로 보여주고 있지만, 지리적 여건에 따라서 일부 종(바지락(***R. philippinarum***))의 출현 유· 무로 저서동물 군집 분포(A 그룹 vs B 그룹)가 결정 되는 것으로 판단된다.

[표 3-46] 2018년 황도 저서동물의 해역별 유사성 분석

ANOSIM	항 목	R statistic	Significance(p)
5월 vs 7월	서식밀도	-0.146	p>0.05
	생체량	0.031	

(2) 패류자원

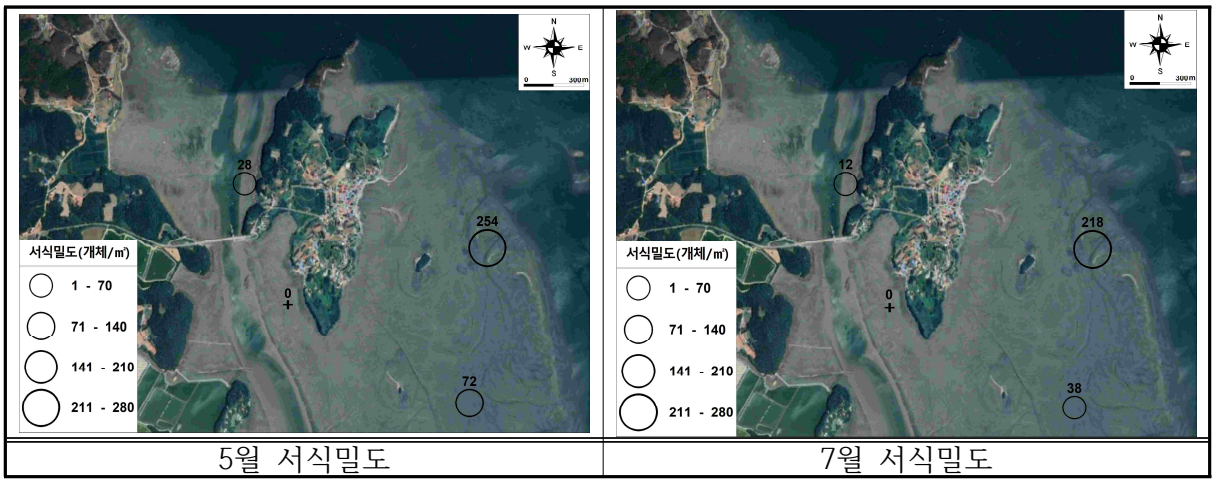
① 서식밀도

◦ 황도 갯벌에서 채집된 바지락을 평균 서식밀도로 산정하였으며, 바지락이 출현하지 않은 Ⅳ구역은 분석에서 제외하였다.

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌의 바지락 서식밀도는 평균 28~254 개체/㎡의 범위로 Ⅱ구역에서 최대였으며, Ⅲ구역에서 최소였다[표 3-47; 그림 3-34].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌의 바지락 서식밀도는 평균 12~218 개체/㎡의 범위로 Ⅱ구역에서 최대였으며, Ⅲ구역에서 최소였다[표 3-47; 그림 3-34].

◦ 황도 갯벌에서 바지락의 서식밀도는 하계(평균 89 개체/㎡)에 비해 춘계에(평균 118 개체/㎡) 더 높은 값을 나타내었다.



5월 서식밀도 | 7월 서식밀도

[그림 3-34] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 서식밀도

[표 3-47] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 서식밀도

구분		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	전체 평균
서식밀도 (개체/㎡)	5월	72	254	28	-	118	104
	7월	38	218	12	-	89	

-, No data

② 개체특성

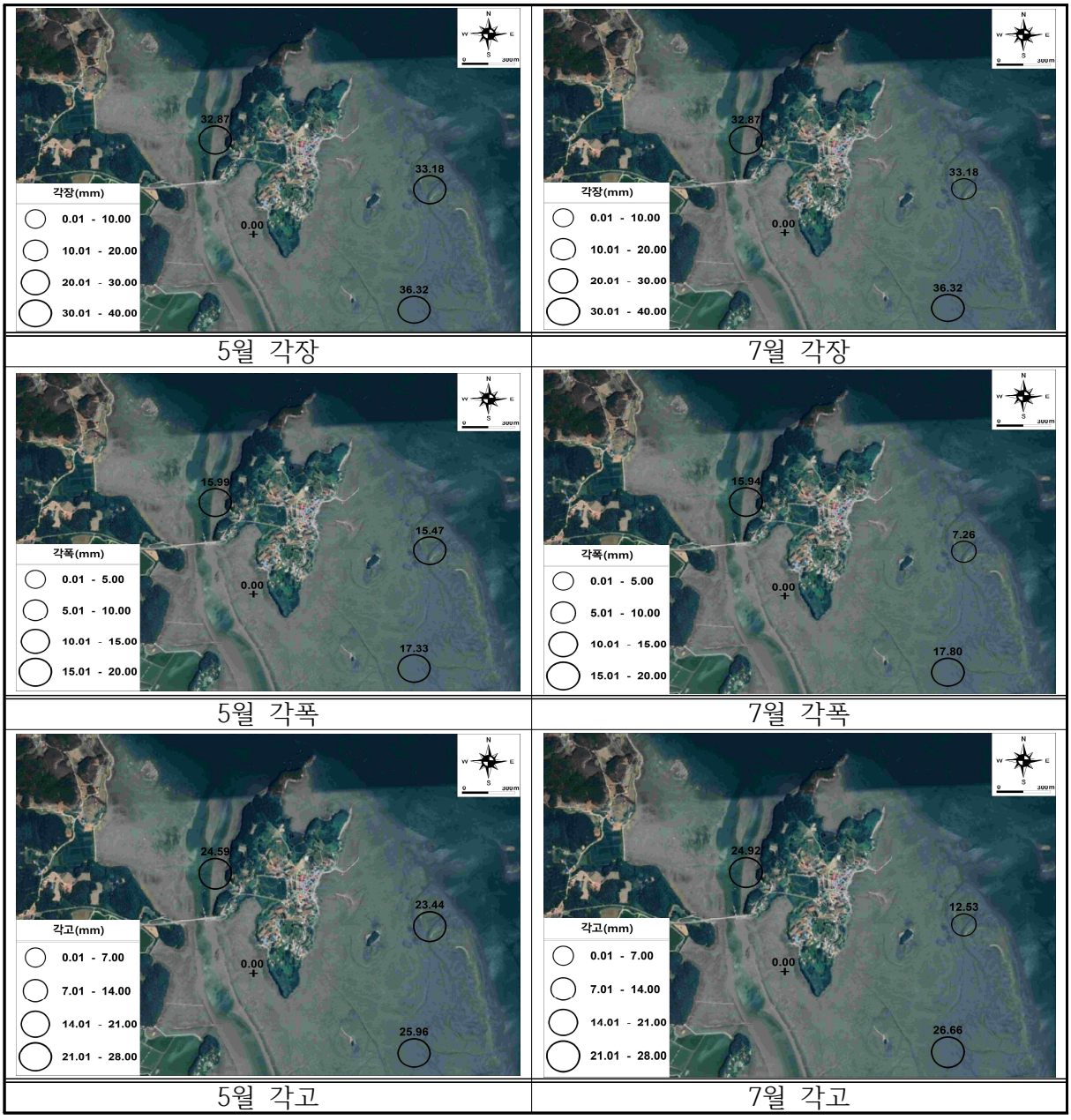
▌각장, 각고, 각폭

◦ 바지락의 형태적 특성을 파악하기 위하여 각장, 각고 및 각폭을 측정하여 분석하였으며, 바지락이 출현하지 않은 Ⅳ구역은 분석에서 제외하였다.

[표 3-48] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각장

구분		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	전체 평균
각장(㎜)	5월	36.32	33.18	32.84	-	34.12	32.03
	7월	37.32	17.32	35.21	-	29.95	

-, No data



[그림 3-35] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각장, 각폭 및 각고

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌의 바지락은 각장이 평균 32.84~36.32 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅲ구역에서 최소였다[표 3-48; 그림 3-35].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌의 바지락은 각장이 평균 17.32~37.32 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-48; 그림 3-35].

◦ 황도 갯벌에서 바지락의 각장은 하계(평균 29.95 ㎜)보다 5월(평균 34.12 ㎜)에 더 높은 값을 나타내었다.

[표 3-49] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각폭

구분		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	전체 평균
각고(㎜)	5월	17.33	15.47	15.99	-	16.26	14.96
	7월	17.80	7.26	15.94	-	13.67	

-, No data

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌의 바지락은 각폭이 평균 15.47~17.33 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-49; 그림 3-35].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌의 바지락은 각폭이 평균 7.26~17.80 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-49; 그림 3-35].

◦ 황도 갯벌에서 바지락의 각폭은 하계(평균 13.67 ㎜) 보다 춘계(평균 16.26 ㎜)에 더 높은 값을 나타내었다.

[표 3-50] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 각고

구분		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	전체 평균
각폭(㎜)	5월	25.96	23.44	24.59	-	24.66	23.02
	7월	26.66	12.53	24.92	-	21.37	

-, No data

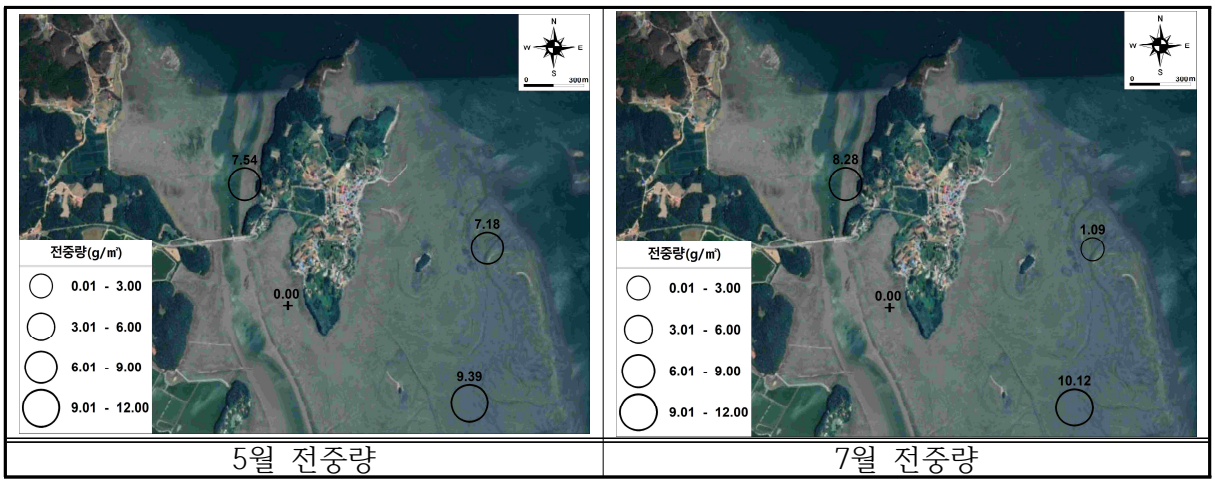
◦ 2018년 춘계 황도 갯벌의 바지락은 각고가 평균 23.44~25.96 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-50; 그림 3-35].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌의 바지락은 각고가 평균 12.53~26.66 ㎜의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-50; 그림 3-35].

◦ 황도 갯벌에서 바지락의 각고는 7월(평균 21.37 ㎜) 보다 5월(평균 24.66 ㎜)에 더 높은 값을 나타내었다.

▌전중량

◦ 황도 갯벌에서 채집된 바지락의 전중량을 측정하여 분석하였으며, 바지락이 출현하지 않은 Ⅳ구역은 모든 분석에서 제외하였다.



5월 전중량 | 7월 전중량

[그림 3-36] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 전중량

[표 3-51] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 전중량

구분		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역	평균	전체 평균
전중량(g)	5월	9.39	7.18	7.54	-	8.03	7.27
	7월	10.12	1.09	8.28	-	6.50	

-, No data

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌의 바지락 전중량은 평균 7.18~9.39 g의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-51; 그림 3-36].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌의 바지락 전중량은 평균 1.09~10.12 g의 범위로 Ⅰ구역에서 최대였으며, Ⅱ구역에서 최소였다[표 3-51; 그림 3-36].

◦ 황도 갯벌에서 바지락의 전중량은 7월(평균 6.50 g) 보다 5월(평균 8.03 g)보다 더 높은 값을 나타내었다.

▌비만도

◦ 바지락의 건강도를 파악하기 위해서 비만도를 산출하였으며, 바지락이 출현하지 않은 Ⅳ구역은 제외되었다.

◦ 2018년 춘계 황도 갯벌에서 바지락 비만도는 평균 0.65~0.87의 범위로 Ⅰ구역에서 높게

나타났으며, III구역에서 낮게 나타났다[표 3-52].

◦ 2018년 하계 황도 갯벌에서 바지락 비만도는 평균 0.64~0.76의 범위로 I 구역에서 높게 나타났으며, III구역에서 낮게 나타났다[표 3-52].

◦ 황도 갯벌에서 바지락 비만도는 하계(평균 0.71)에 비해 5월(평균 0.79)에 높은 수준을 보였다.

[표 3-52] 2018년 황도 갯벌에서 출현한 바지락의 비만도

구분		I 구역	II 구역	III구역	IV구역	평균	전체 평균
비만도	5월	0.87	0.85	0.65	-	0.79	0.75
	7월	0.76	0.72	0.64	-	0.71	

-, No data

4. 종합평가

1) 황도 구역별 수질 특성

(1) 현장 조사 구역별 생태기반 해수수질기준(WQI) 특성

◦ 2018년 춘계와 하계의 황도 주변 생태기반 해수수질등급(WQI)를 살펴보면 춘계에는 2등급(좋음)~4등급(나쁨)을 보였으며, 하계에는 3등급(보통)~5등급(매우나쁨)을 보여 계절적 특성 및 집중 강우에 따른 하구호 방류에 의해 수질도 악화되고 있음을 알 수 있었다[표 3-53].

◦ 현재 해양(연안)의 수질등급을 판단할 때에는 해양수질평가지수(WQI)를 사용하지만 WQI 지수가 시행되기 전에 화학적산소요구량(COD)기준을 사용되었으며, COD기준은 1등급~3등급으로 구분된다[표 3-54].

◦ 황도 주변 해수 수질을 화학적산소요구량(COD)기준으로 볼 때, 춘계에는 1등급~3등급의 분포를 보이지만, 하계에는 수질이 악화되어 3등급 이상의 나쁜 결과를 보여주고 있다.

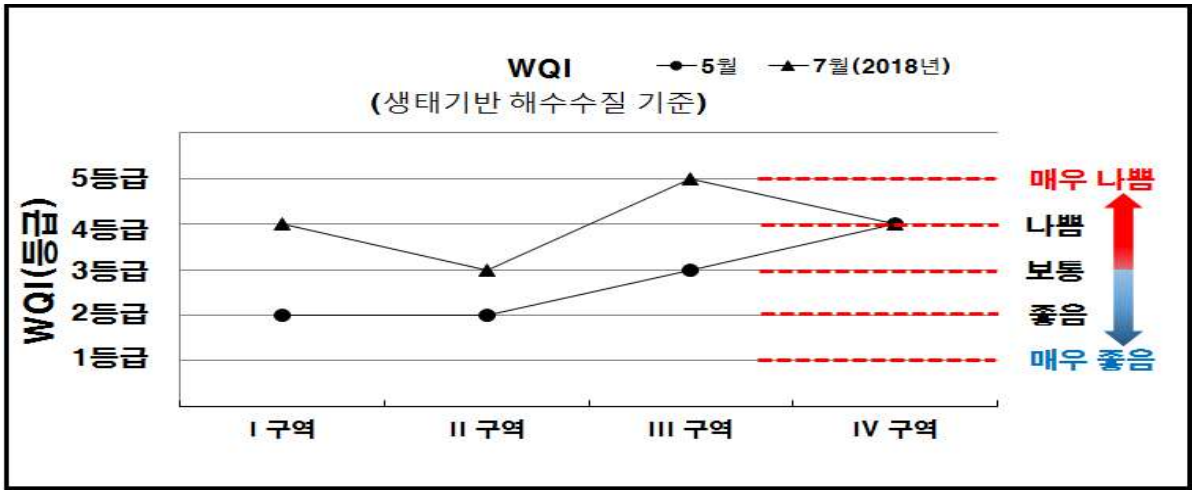
◦ 공간적, 계절적으로 III구역과 IV구역에서 수질 악화 현상이 두드러지게 나타나고 있다.

◦ 그 원인으로는 서산연륙제방과 가장 가까운 위치에 있어 연륙제방 내측으로부터 오염물질이 불규칙적으로 유입되어 수질에 영향을 미치는 것으로 판단되며 계절적으로는 춘계에서 하계로 계절이 변화면서 수온상승 등에 의해 클로로필 증식, 낮은 저층 DO 포화도등에 의해 WQI 지수에 영향을 미치고 있는 것으로 판단된다.

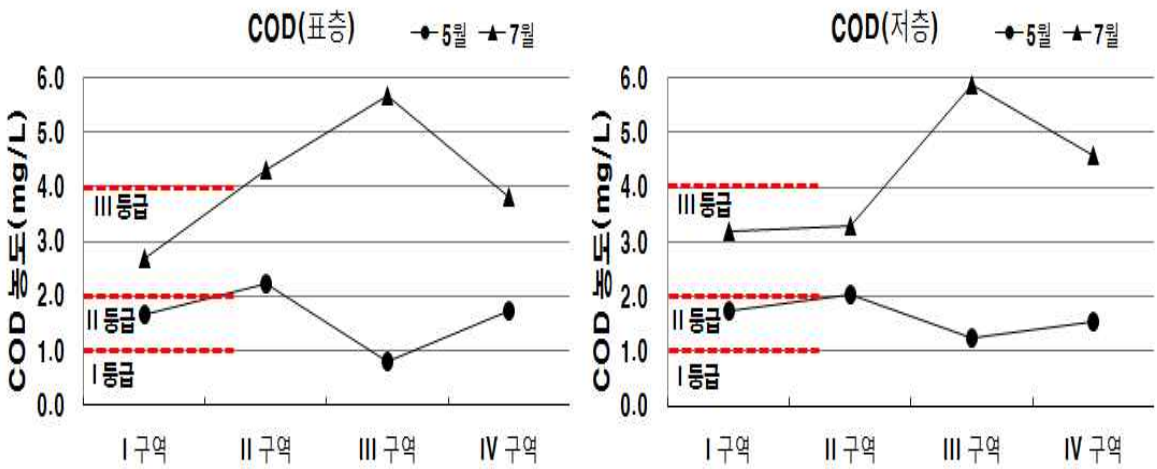
◦ 수질에 영향을 주는 인자는 대부분 유기물 및 영양염류와 관련이 있기 때문에 향후 이 부분에 대해서 지속적인 관심과 조사가 필요하다고 판단된다.

[표 3-53] 황도 주변 해수수질평가지수(WQI) 및 COD 특성

	2018년 5월			2018년 7월		
	WQI지수	등급	표층 COD mg/L (저층 COD)	WQI지수	등급	표층 COD mg/L (저층 COD)
Ⅰ구역	30	II	1.68 (1.74)	52	IV	2.69 (3.21)
II구역	30	II	2.24 (2.04)	65	III	4.31 (3.31)
III구역	42	III	0.80 (1.24)	42	V	5.67 (5.86)
IV구역	54	IV	1.74 (1.56)	54	IV	3.83 (4.59)



[그림 3-37] 조사구역별 WQI 등급 변화(2018년 5월, 7월)



[그림 3-38] 조사구역별 COD 변화(2018년 5월, 7월)

[표 3-54] 환경부 해역 생활환경 수질 기준(2000.08)

등급	기준			
	화학적산소요구량(COD) (㎎/L)	총질소 (㎎/L)	총인 (㎎/L)	비고
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(Ⅰ등급 외)의 서식□양식에 적합
III	4 이하	1.0 이하	0.09 이하	공업용 냉각수 등 기타용도로 이용

2) 황도 구역별 퇴적물 특성

◦ 2018년 춘계와 하계에 퇴적물의 입도를 보면 약역니질사((g)mS), 역니질사(gmS), 실트질사(zS)의 특성을 보여주고 있다. 공간적, 계절적으로 일부 조사지역에서 입도 변화를 나타냈다 [표 3-55].

◦ 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 유기물오염정도를 나타내는 척도로서 국내 기준이 제시되어 있지 않아, 일본 수산자원협회 기준(환경기준: 20㎎/g)을 사용 하였다.

◦ 황도 주변 갯벌 해양퇴적물의 화학적산소요구량(COD)를 구역별로 살펴보면 공간적으로 보면 Ⅰ~Ⅱ구역보다 Ⅲ~Ⅳ구역에서 상대적으로 높은 COD 농도를 보였으며, 계절적으로는 춘계보다 하계에 높은 농도를 보였다.

◦ 단, 일본 수산자원협회에서 설정한 기준(환경기준: 20㎎/g)보다는 매우 낮은 농도를 보여 유기물에 대한 오염은 없는 것으로 판단된다.

◦ C/N비 결과로부터 조사 지역의 퇴적물에 육상 유래 유기물이 퇴적하고 있는 것을 알 수 있었으며 특히 춘계보다 하계에 육상 유래 유기물의 퇴적은 더 많이 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

◦ 퇴적물 중 춘계와 하계에 일부 조사 정점인 Ⅱ구역과 Ⅲ구역에서 중금속 항목 기준치를 초과하였다.

□춘계 : Ⅱ구역의 Pb, Ⅲ구역의 Cr, Ni에서 해양환경기준의 주의기준(TEL) 초과하였으며 특히 Ⅲ구역의 Cr은 미국해양대기청(NOAA)의 저서생물에 독성을 보이는 초기 10% 농도(ERL)기준을 초과하였다.

□하계 : Ⅲ구역의 Cr, Ni에서 해양환경기준의 주의기준(TEL) 초과하였으며 Cr은 미국 해양대기청(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.

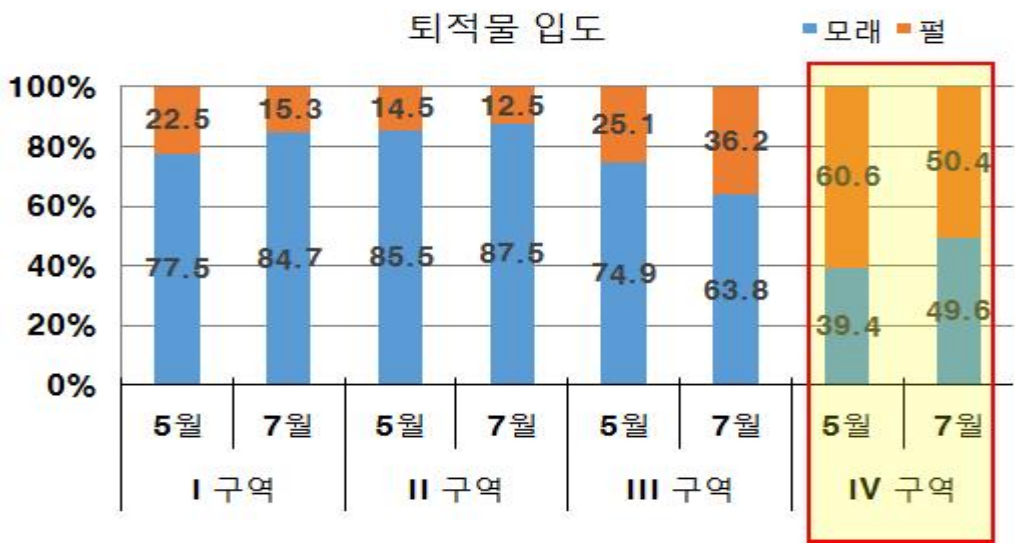
◦ 퇴적물의 중금속 오염정도를 나타내는 농축계수(EF)지수 결과를 보면 크롬(Cr)은 춘계와 하계에서 적당히 심한 오염 상태였고 납(Pb)은 춘계에 적당히 심한 오염 상태를 보였고 그 외는 약간 오염 및 비오염으로 비교적 양호한 상태를 보였다.

◦ 농집지수(I_{geo})에서는 하계에 크롬(Cr)이 약간/ 심한 오염 상태를 보였고, 춘계에는 크롬(Cr)과 납(Pb)이 약간 오염 상태를 보였다. 그 외 중금속은 약간/비오염 또는 비오염의 상태를 보였다.

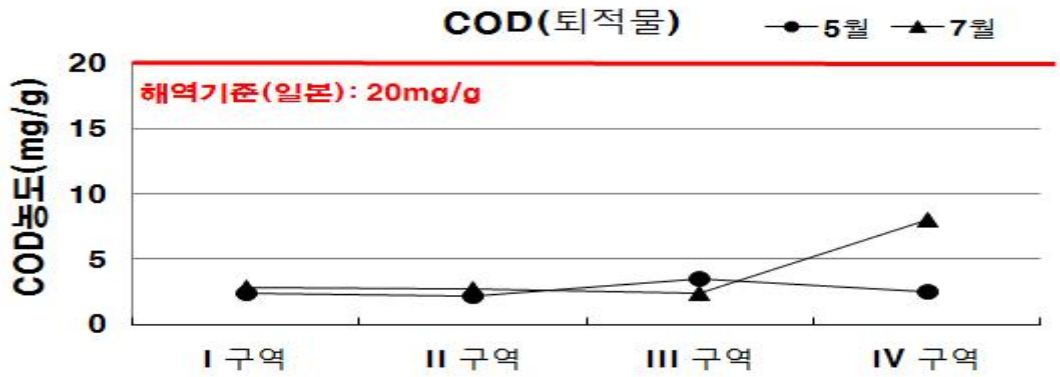
◦ 현재 상태의 퇴적물 내 일부 중금속의 높은 수치는 크게 유의한 수준이 아니며, 광물적 특성에 의한 요인을 분석하여 그 원인을 규명할 필요가 있다.

[표 3-55] 황도 주변 퇴적물 내 입도, COD, C/N비 특성

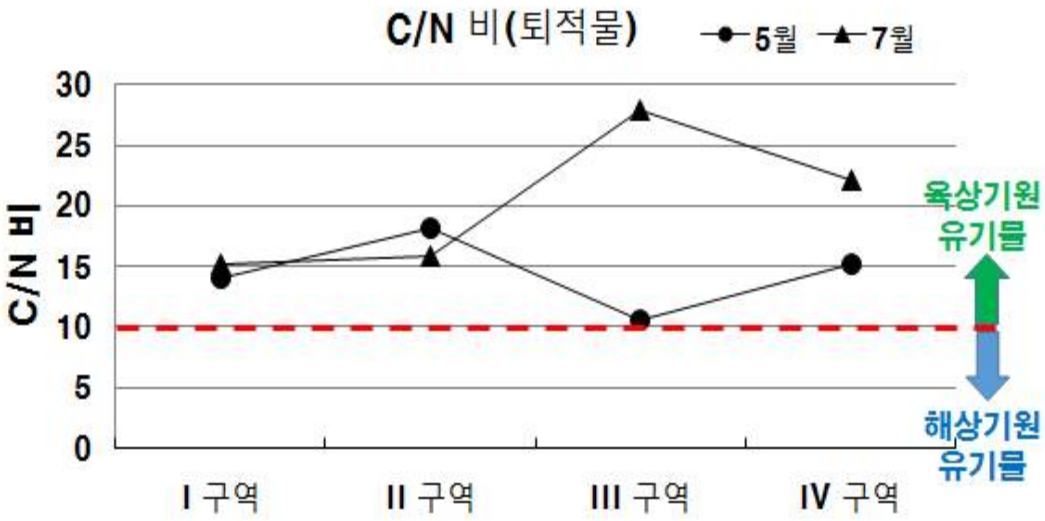
		Ⅰ구역	Ⅱ구역	Ⅲ구역	Ⅳ구역
5월	입도	모래: 77.5% 펄: 22.5%	모래: 85.5% 펄: 14.5%	모래: 74.9% 펄: 25.1%	모래: 39.4% 펄: 60.6%
	COD (mg/kg)	2.44	2.16	3.45	2.47
	C/N비	14.0	18.1	10.5	15.2
7월	입도	모래: 84.7% 펄: 15.3%	모래: 87.5% 펄: 12.5%	모래: 63.8% 펄: 36.2%	모래: 49.6% 펄: 50.4%
	COD (mg/kg)	2.80	2.73	2.35	7.96
	C/N비	15.2	15.8	28.0	22.2



[그림 3-39] 조사구역별 입도 성분 변화(2018년 5월, 7월)



[그림 3-40] 조사구역별 COD 변화(2018년 5월, 7월)



[그림 3-41] 조사구역별 C/N비 변화(2018년 5월, 7월)

3) 황도 구역별 저서동물 특성

(1) 현장 조사 구역별 대형저서동물 특성

◦ 황도 갯벌에서 수행된 2018년 춘계와 하계의 조사결과를 바탕으로 저서동물군집의 시· 공간적인 변동 특성을 살펴보았다.

◦ 출현종수의 경우, 전체 평균은 23 종/0.1 ㎡이며, 춘계(27 종/0.1 ㎡)가 하계(20 종/0.1 ㎡)보다 상대적으로 높은 종수를 보였다. 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 계절성을 보였으며, 정점들 중 III구역이 가장 높고 I 구역과 IV구역이 낮은 수준을 보였다.

◦ 서식밀도의 경우, 전체 평균은 1,710 개체/㎡이며, 춘계(1,985 개체/㎡)가 하계(1,435 개체/㎡)보다 상대적으로 높은 서식밀도를 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 계절성을 보였으며, 정점들 중 Ⅰ구역이 가장 높고 Ⅳ구역이 가장 낮은 수준을 보였다. 이러한 차이는 버들갯지렁이류(*M. californiensis*)가 춘계에 다량으로 출현하였기 때문이다.

◦ 생체량의 경우, 전체 평균은 1,087.95 g/㎡이며, 춘계(1,547.57 g/㎡)가 하계(628.33 g/㎡)보다 상대적으로 높은 생체량을 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 계절성을 보였으며, 정점들 중 Ⅰ구역이 가장 높고 Ⅲ구역이 가장 낮은 수준을 보였다. 이는 바지락(*R. philippinarum*)이 춘계에 다량으로 출현하였기 때문이다.

◦ 다양도 지수의 경우, 전체 평균은 2.21이며, 춘계(3.04)와 하계(2.86)가 유사한 수준을 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 계절성이 관찰되지 않았으며, 정점들 중 Ⅲ구역이 가장 높고 Ⅰ구역이 가장 낮은 수준을 보였다.

◦ 이를 종합한 결과, 저서동물의 현존량(출현종수, 서식밀도, 생체량)측면에서 춘계가 하계보다 높은 수준을 보이는 계절성을 보였지만, 다양도의 경우 춘계와 하계가 유사한 수준을 보여 계절성이 보이지 않았다.

◦ 또한 본 해역의 저서동물 군집은 계절적인 요인보다 지리적 차이에 따라 군집 구조가 결정되었으며, 본 해역 인근에서 이루어진 과거 연구 결과에서도 계절성 보다는 퇴적물 유형에 따라(조립질, 혼합 및 세립질 퇴적물) 군집 분포가 결정된 것으로 분석되어, 본 조사 결과와 유사하였다.

◦ 과거 황도는 육지와 연결하기 위해 해수의 흐름을 막는 형태의 연륙제방을 건설함에 따라, 관련 해양환경 문제가 꾸준히 제기 되었다.

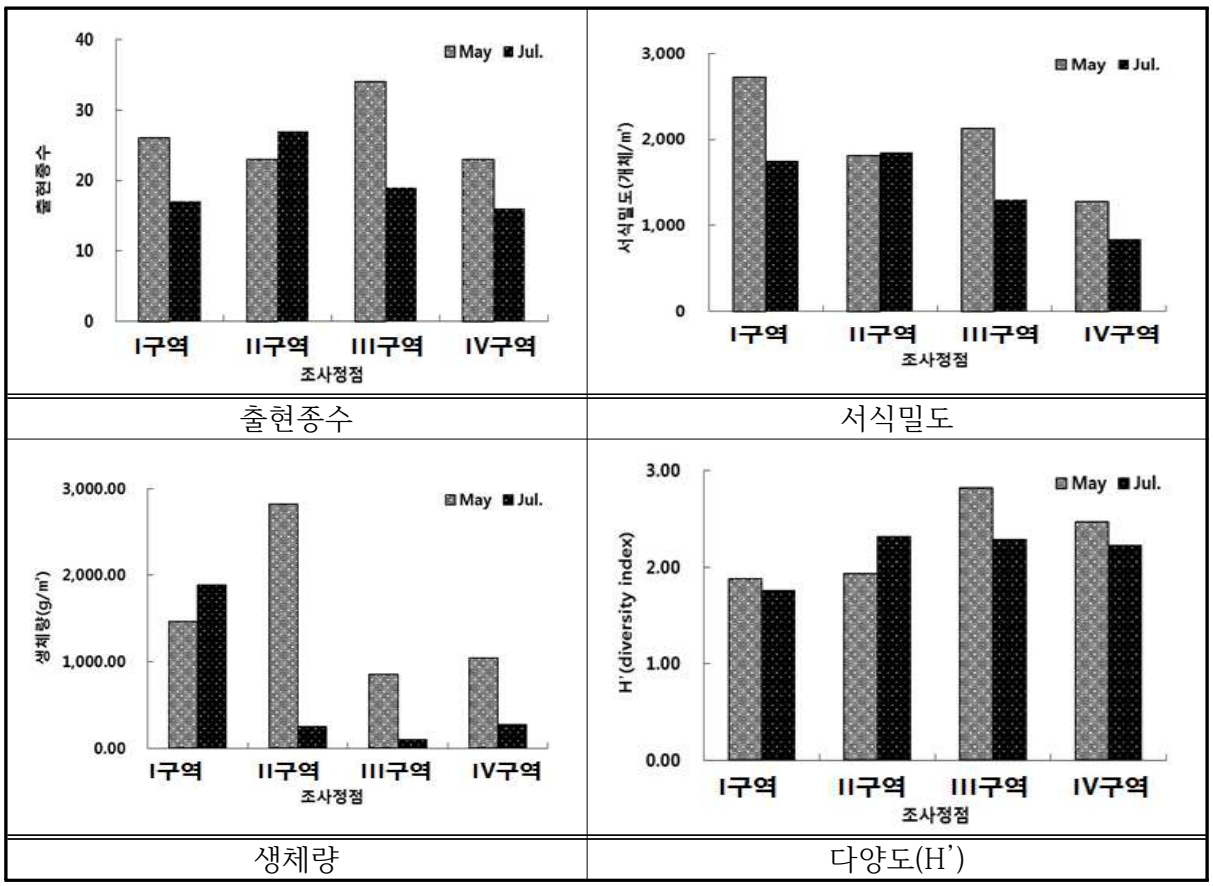
◦ 이를 해결하고자 기존 연륙제방을 철거하고 해수의 유통을 자유롭게 할 수 있는 교량으로 교체(2011년 12월)하였다.

◦ 이와 비슷한 사례로 경기도 안산에 위치한 시화호의 경우, 해수를 막는 연륙제방을 건설한 이후에 저서환경의 유기물 오염물질 농도가 증가하였으며, 빈산소 수괴가 빈번히 출현함에 따라, 저서생태계가 점차 악화되어 무생물 상태까지 경험하였다.

◦ 이후에 해수 유통량을 증가시킨 결과, 저서환경이 크게 개선되며 점차 인근 해역의 저서동물 생물상과 유사해지는 효과를 가져왔다(황, 2008; 한국수자원공사, 2013).

◦ 이러한 저서생태계의 천이과정을 고려해 볼 때, 본 연구 지역에서 교량 인근에 위치한 Ⅲ구역과 Ⅳ구역은 타 정점(Ⅰ구역, Ⅱ구역)과 유사한 생물상을 보이거나, 비슷한 수준의

생물다양성을 보임에 따라, 구조물 변경(연륙제방→교량)에 따른 해수유통 증가가 저서동물 군집의 건강성을 개선시키는 긍정적인 효과를 가져 온 것으로 판단된다.



출현종수 | 서식밀도

생체량 | 다양도(H')

[그림 3-42] 2018년 황도 저서동물군집의 시· 공간적 분포

(2) 현장조사 구역별 패류자원 특성

◦ 황도 갯벌에서 수행된 2018년 춘계와 하계의 조사결과를 바탕으로 패류자원인 바지락의 시· 공간적인 변동 특성을 살펴보았으며, 바지락이 출현하지 않은 IV구역은 모든 분석에서 제외하였다.

◦ 서식밀도의 경우, 전체 평균은 104 개체/㎡이며, 춘계(118 개체/㎡)가 하계(89 개체/㎡)보다 상대적으로 높은 밀도를 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 서식밀도를 보였으며, 정점들 중 II구역이 가장 높고 III구역이 가장 낮은 수준을 보였다.

◦ 각장의 경우, 전체 평균은 32.03 ㎜이며, 춘계(34.12 ㎜)가 하계(29.95 ㎜)보다 상대적으로 높은 서식밀도를 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 각장을 보였으며, 정점들 중 Ⅰ구역이 가장 높고 Ⅱ구역이 가장 낮은 수준을 보였다.

◦ 전중량의 경우, 전체 평균은 7.27 g이며, 춘계(8.03 g)가 하계(6.50 g)보다 상대적으로 높은 전중량을 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 대부분 춘계가 하계보다 높은 전중량을 보였으며, 정점들 중 Ⅰ구역이 가장 높고 Ⅱ구역이 가장 낮은 수준을 보였다.

◦ 비만도(CI)의 경우, 전체 평균은 0.79이며, 춘계(0.84)가 하계(0.72)보다 상대적으로 높은 비만도를 보였다.

◦ 정점별로 살펴보면, 모든 정점에서 춘계가 하계보다 높은 비만도를 보였으며, 정점들 중 Ⅰ구역이 가장 높고 Ⅱ구역이 가장 낮은 수준을 보였다.

◦ 바지락의 서식밀도의 경우, 모든 정점에서 하계에 감소하는 경향성을 보였다.

◦ 이러한 현상은 자연사망이나 인간의 어획 활동에 의해서 일어나며, 자연사망의 원인으로는 대량 폐사(고수온, 저염분 등), 퇴적물 조성의 악화 및 기생충 감염 등으로 알려져 있다(Park et al., 1999; Park and Choi, 2001).

◦ 본 연구 기간 및 조사 항목으로 서식밀도의 감소 원인을 규명하기에는 한계가 존재하나, 황도 지역은 바지락의 서식밀도가 감소되면 자연적인 종패가 가입되어 서식밀도가 다시 유지되는 곳으로 평가되고 있어(임 등, 2016), 현재 바지락 서식밀도가 감소되는 만큼 다시 회복될 가능성이 높은 것으로 판단된다.

◦ 일반적으로 바지락의 성장에 있어서 각장과 전중량은 수온과 밀접한 상관관계를 가지며, 수온이 높은 시기에 성장률도 높게 나타난다(Kang et al.,2000).

◦ 따라서 바지락의 각장은 춘계와 하계에 증가하고, 추계로 갈수록 점차 둔화되다가 동계에 성장을 멈추고, 육중량도 봄과 가을에 증가하고, 여름과 겨울에 감소한다고 알려지고 있다(Shin and Shin, 1999).

◦ 이러한 계절성은 Ⅰ구역과 Ⅲ구역에서 관찰되었지만, Ⅱ구역에서는 오히려 하계에 감소하는 반대 현상을 보였다.

◦ Ⅱ구역은 춘계에 가장 높은 바지락의 서식밀도, 각장, 비만도를 보여 바지락의 생장환경이 가장 좋은 지역이었으나, 하계에 각장 및 전중량에서 큰 감소폭이 나타났다. 이는 하계 조사시기 전에 집중된 강우와 함께 부남호 담수의 대량 방류에 따른 갯벌표층의 큰 바지락 피해가 일부 발생한 요인으로 보인다.

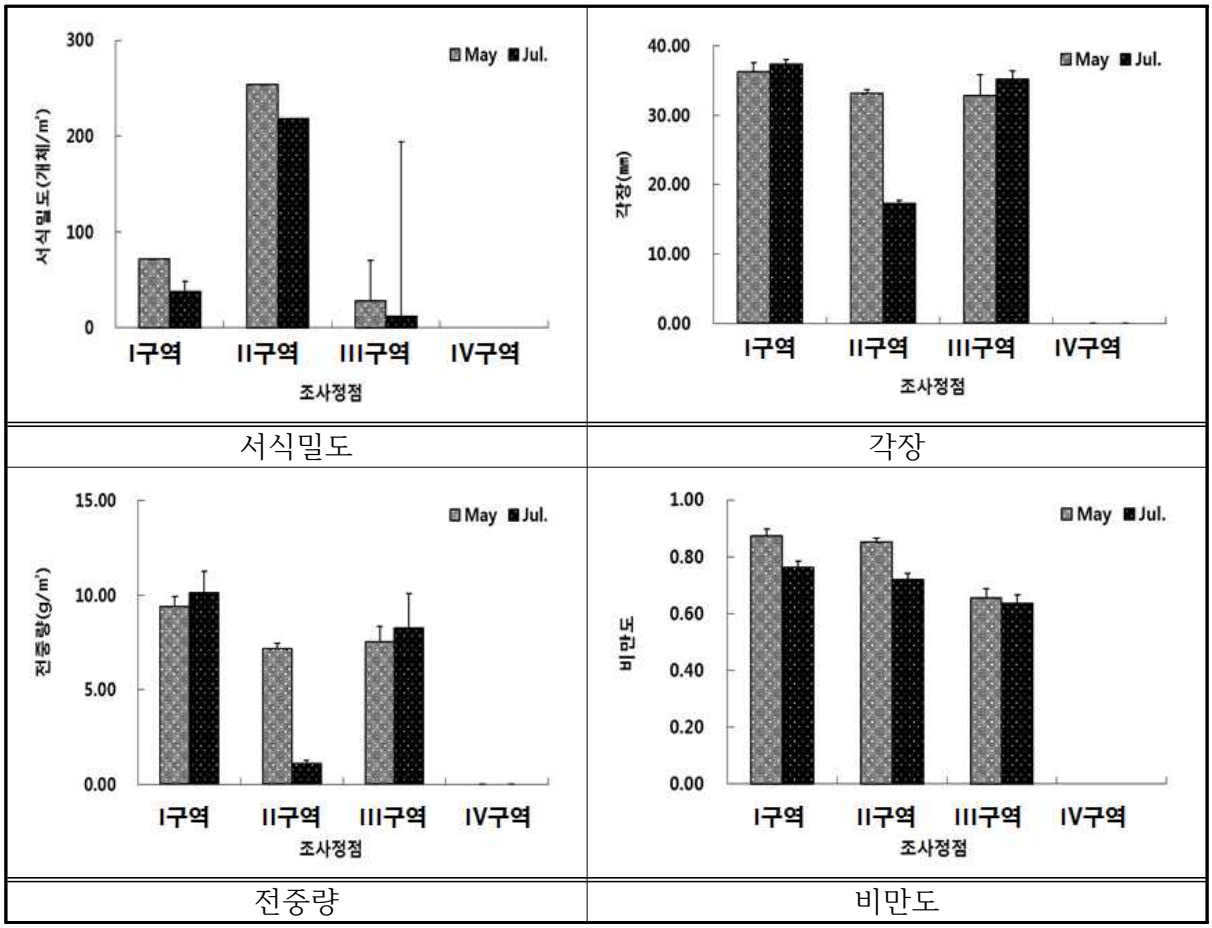
◦ Ⅱ구역의 바지락 서식밀도가 높았던 점은 주목할 필요가 있다. 이는 황도 바지락 전체 생장환경에 중요한 역할을 Ⅱ구역 갯벌이 담당하고 있음을 나타내주고 있는데, 특히 백사수로를 통한 치패의 유입 및 착저가 연중 활발히 일어나고 있음을 유추해 볼 수 있다.

◦ 바지락의 산란시기를 알려주는 비만도(CI)는 일반적으로 이매패의 경우 산란기를 전후하여 비만도가 증가하였다가 감소한 다음 다시 일정한 수준이 유지되거나 증가하는 것으로 알려져 있다(Won and Hur, 1993).

◦ 본 연구 결과에서도 비만도가 하계에 감소하는 변화를 보여줘, 이를 통해 바지락의 산란기를 추정 할 수 있지만, 사계절 중 두 계절만 조사되어 산란여부를 판단하기에는 시기적인 한계가 존재한다.

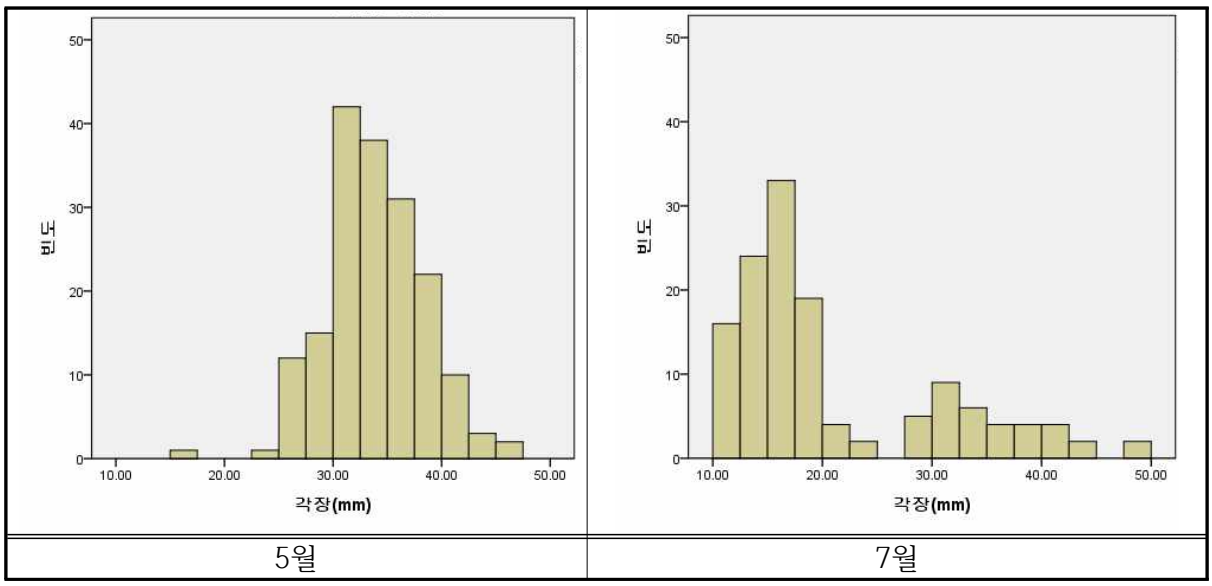
◦ 과거 황도는 해수의 흐름을 차단하는 연륙제방 건설로 갯벌생태계 질이 악화되어 기존 연륙제방을 철거하고 해수 흐름을 복원시켰다.

◦ 이러한 환경변화의 직접 영향권에 포함되는 Ⅲ구역은 외해에 인접해 있는 Ⅰ구역과 유사한 수준의 바지락 개체특성(각장, 각폭, 각고 등)을 보여, 구조물 변경(연륙제방→교량)에 따른 해수유통 증가가 바지락 생태에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.



서식밀도	각장
전중량	비만도

[그림 3-43] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 시· 공간적 분포



5월	7월

[그림 3-44] 2018년 황도 갯벌 패류자원(바지락)의 각장 히스토그램

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

◦ 황도의 연륙교 개통 전후 황도에서의 바지락 생산량과 주변 지역들 즉, 충청남도, 보령시, 태안군에서의 바지락 생산량을 비교· 조사하였다[그림 3-45].

◦ 충청남도 전체 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 10,074톤/년이었지만 2012년~2017년 사이 평균 8,964년/톤을 생산하여 평균 1,110톤/년이 감소하였다.

◦ 보령시 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 2,218톤/년이었지만 2012년~2017년 사이 평균 4,282년/톤을 생산하여 평균 2,064톤/년이 증가하였다.

◦ 태안군 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 1,265톤/년이었지만 2012년~2017년 사이 평균 1,155년/톤을 생산하여 평균 114톤/년이 감소하였다.

◦ 황도 바지락 생산량은 2009년~2011년 간 평균 133톤/년이었지만 2012년~2017년 사이 평균 194년/톤을 생산하여 평균 61톤/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 이래에는 2011, 2014년도에 특히 바지락 생산량의 감소가 두드러지게 나타났다. 이는 직년 전도의 태풍이나 겨울철 한파의 지속 등의 영향이 있었을 것으로 보이나, 추가적인 정밀 분석은 필요해 보인다.

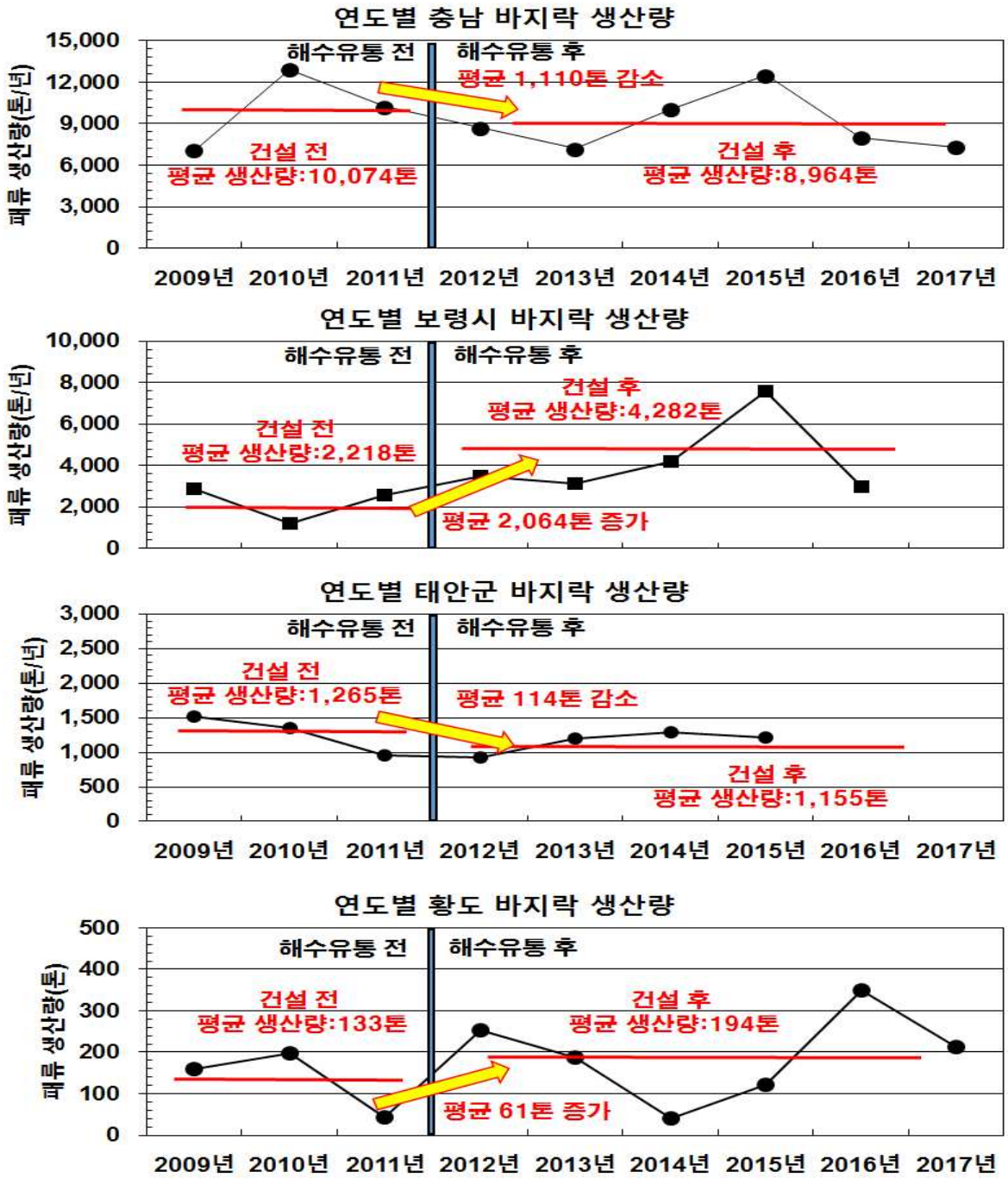
◦ 그러나 충청남도 전체의 바지락 생산량 연도별 비교에 따른 결과에서는 2009, 2013, 2017년도에 평균치를 하회하는 수준으로 나타나 황도의 연 생산량 추이와는 상당히 다른 결과가 나타났다.

◦ 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.

◦ 주목할 점은 충청남도 전체 및 태안군 바지락 연생산량 추이가 소폭이나마 감소 추세에 있다는 점이다. 이에 반해 황도의 바지락 평균 생산량은 2012년 이후 증가 추세에 있어, 황도 갯벌이 타 지역 갯벌보다 바지락 생산성을 잘 유지하고 있음을 알 수 있다.

◦ 바지락 생산은 자율적으로 생산에 의한 것이나 주요 바지락 생산지를 중심으로 바지락 생산량 증대를 위한 각종 사업들이 진행(모래 살포, 갯벌 경운, 종패 및 치패 살포 등)됨에 따라 그 변동성이 크게 나타날 수 있다(표 3-56).

◦ 따라서 황도에서의 연륙교 개통 후 바지락 생산량의 증가 분석에는 연륙교 개통에 따른 원활한 해수순환의 자연적인 영향도 있지만 어촌계에서의 인위적인 영향(모래살포, 종패 살포 등)도 포함되어 있어 세밀한 시공간적 모니터링이 지속 필요하다고 판단된다.



[그림 3-45] 연도별 충청남도, 보령시, 태안군 및 황도 바지락 생산량 추이

◦ 다음의 표에는 5년 이래 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 IV구역으로의 서식지 확장도 기대해 볼 수 있다.

[표 3-56] 황도 주변 바지락 살포 현황

년도	양식장	바지락 종패 살포량	주관부서
2015년	태안양식 10호 태안양식 11호	16,000kg	수산산업팀
	태안양식 174호 태안마을 80호	10,110kg	수산자원관리팀
2016년	태안양식 174호 태안마을 80호	8,820kg	수산자원관리팀
2017년	태안양식 174호 태안마을 80호	9,440kg	수산자원관리팀

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
4. 황도 주변 갯벌 환경 탐문조사

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].

◦ 황도 연륙교 건설 전 연구 결과를 보면 WQI 자수가 모든 구역에서 1등급(매우좋음)~5등급(매우나쁨)까지 편차가 크게 나타나고 있다(IV구역 제외: 선행 조사연구가 없다).

□대체적으로 춘계보다 하계에서 수질악화 현상이 두드러진 결과를 보임

◦ 그러나 황도 연륙교 건설 후 조사된 2014년 및 2016년 조사에서는 모든 구역에서 1등급(매우좋음)~3등급(보통)을 보였다.

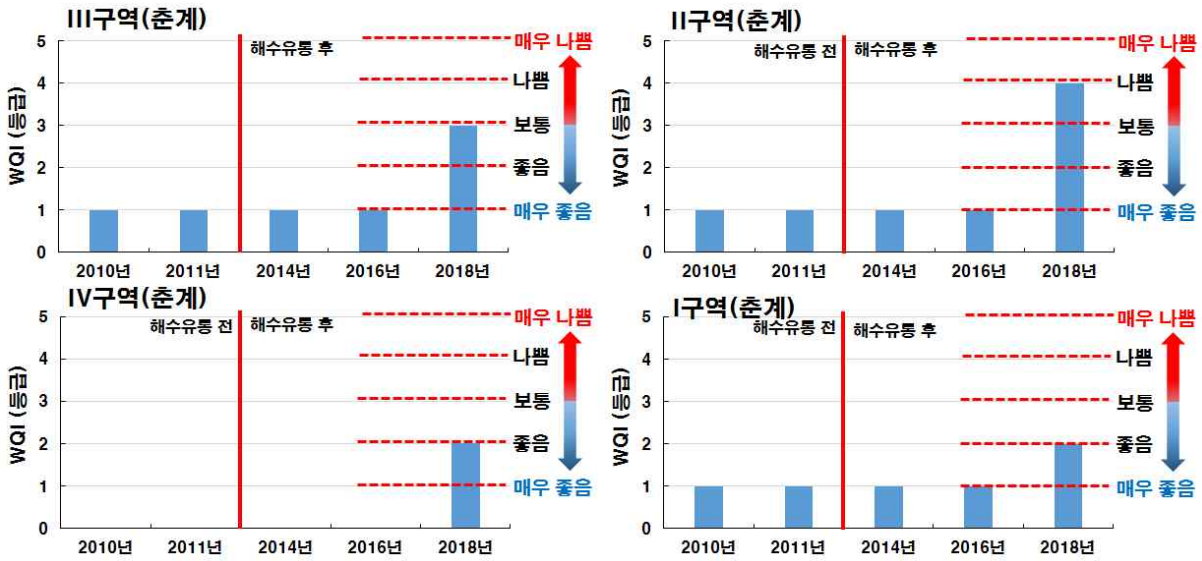
◦ 2018년도 본 연구 조사에서는 2등급(좋음)~5등급(매우나쁨)의 수질조사 결과 편차가 나타나고 있다. 춘계와 하계의 차이가 크기 때문인데, 특히 하계에서 수질이 악화되고 있는 특성을 보인다.

◦ 선행 연구에 의하면 연륙교 건설 전· 후 황도 주변 수질은 비슷한 결과를 보여주고 있다. 하지만 본 연구에서 조사된 2018년 수질결과가 선행연구에 비해 나쁘게 나타났는데, 이 수치가 일시적인지 지속되는지에 대한 추가 모니터링이 필요한 것으로 보인다.

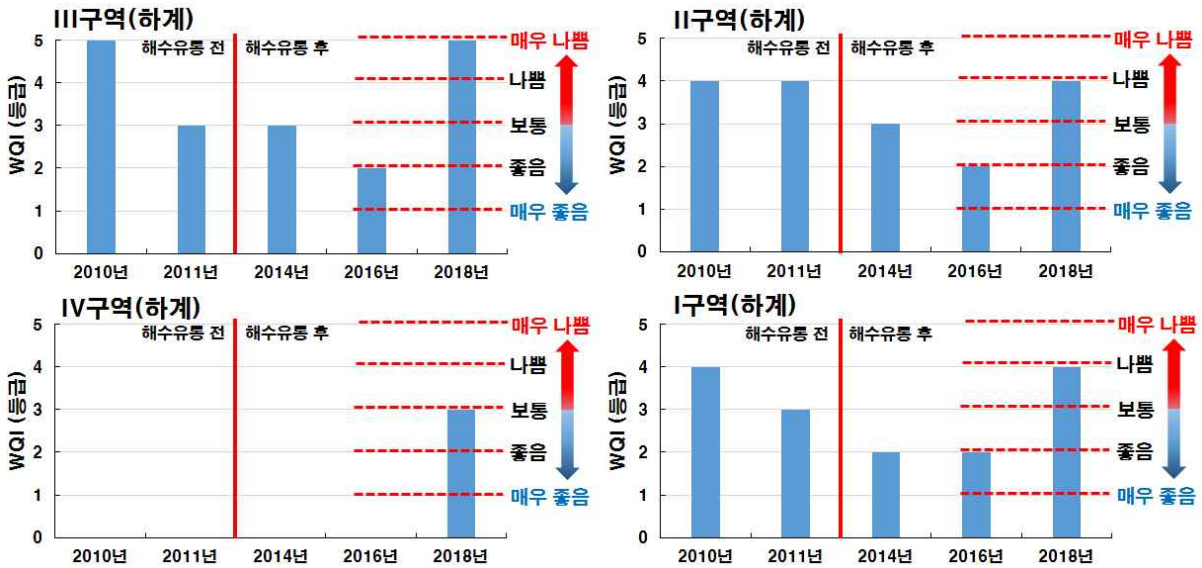
[표 4-1] 황도 연륙교 개통 전· 후 해수수질평가지수(WQI) 비교

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

- : 자료 데이터가 없음



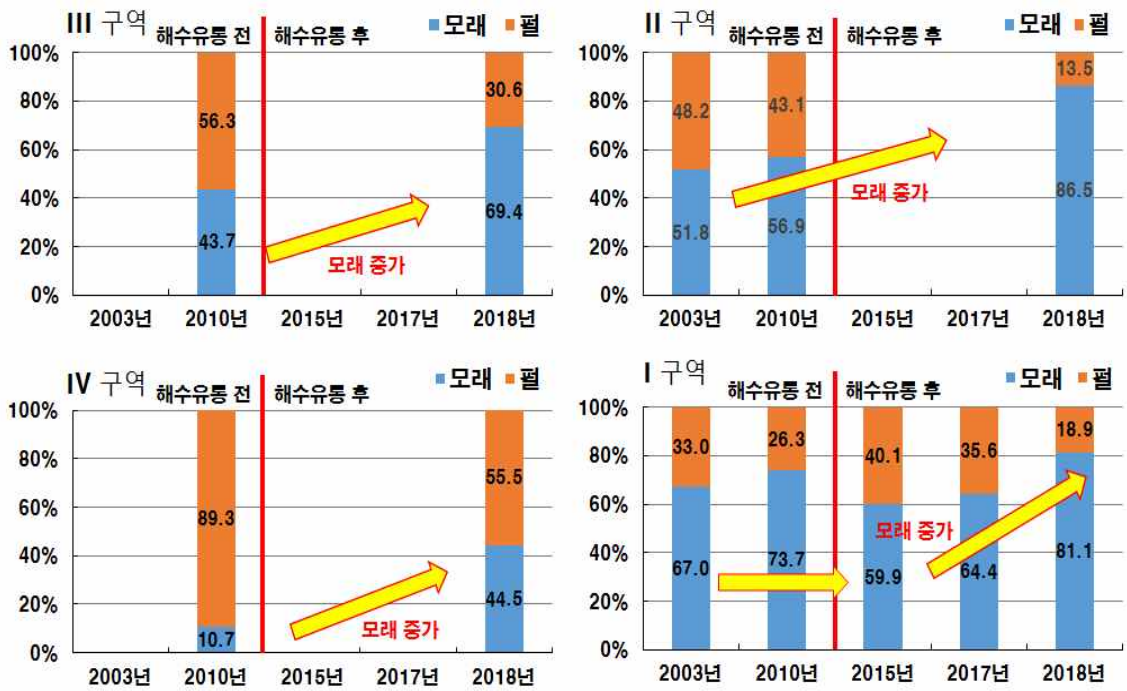
[그림 4-1] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화(춘계)



[그림 4-2] 연륙교 건설 전후 해양수질(WQI) 변화(하계)

2. 황도 연륙교 건설 전후 퇴적물 변화

◦ 연륙교 건설 전· 후 퇴적물 변화를 입도 가지고 그 변화 특성을 비교하였다[그림 4-3].



[그림 4-3] 연륙교 건설 전후 퇴적물 입도 변화

◦ 연륙교 건설 전(2003년~2010년) 선행연구를 보면 Ⅰ구역에서는 모래함량이 67.0%~73.7%였고, 펄 함량은 26.3%~33.0%였다. Ⅱ구역에서는 모래함량이 51.6%~56.9%였고, 펄 함량은 43.1%~48.2%였다. Ⅲ구역에서는 모래함량이 43.7%였고, 펄 함량은 56.3%였다. Ⅳ구역에서는 모래함량이 10.7%였고, 펄 함량은 89.3%였다.

◦ 연륙교 건설 후(2015년, 2017년, 2018년) 연구를 보면 Ⅰ구역에서는 모래함량이 59.9%~81.1%였고, 펄 함량은 18.9%~40.1%였다. Ⅱ구역에서는 모래함량이 86.5%였고, 펄 함량은 13.5%였다. Ⅲ구역에서는 모래함량이 69.4%였고, 펄 함량은 30.6%였다. Ⅳ구역에서는 모래함량이 44.5%였고, 펄 함량은 55.5%였다.

◦ 특히 Ⅳ구역 조사지점에서 연륙교 건설 전보다 후에 퇴적물 입도 변화가 큰 것으로 나타났다. 즉, 모래 입자들이 연륙교 개통 후 Ⅲ구역에 보다 많이 퇴적되고 있는 것으로 판단된다.

◦ 다만, Ⅳ구역 갯벌의 모래함량 변화는 지속적으로 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. 백사수로를 통한 유입, 부남호 등 하구호 방류의 영향 등의 가능성이 있다.

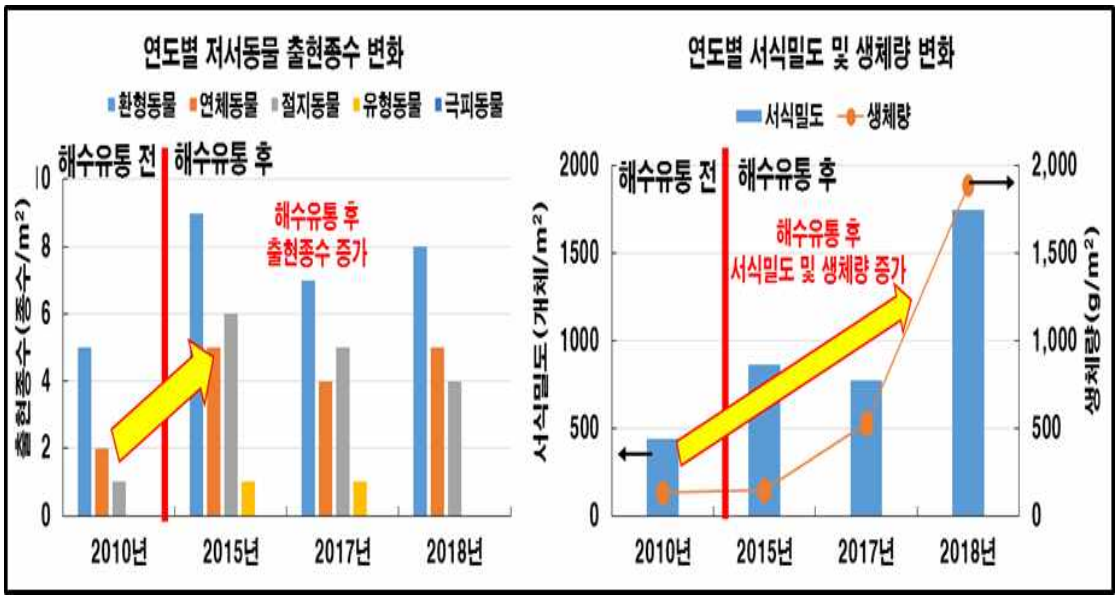
◦ 특히 IV구역 갯벌의 모래함량 증가는 수로를 통한 해수유통으로 III구역에서의 모래가 이동하였을 가능성과 함께 증가한 유속에 따라 뻘 일부가 씻겨나감에 따른 영향 가능성도 제기된다. 이에 대한 분석을 위해서는 III, IV구역 갯벌의 침하 여부에 대한 조사가 필요할 것이다.

□선행연구 자료가 많지 않은 한계점에 유의할 필요가 있으며, 이에 대한 보완을 위해 본 연구에서는 과거 갯벌환경에 대한 주민 설문 조사 결과 등을 추가로 참고하도록 하였다.

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 Ⅰ구역에서만 조사가 되었다[그림 4-4].



[그림 4-4] 연륙교 건설 전후 저서동물 변화

◦ 황도 연륙교가 건설되기 전(2010년) 출현 종수(종수/m^2) 저서동물의 우점종을 살펴보면 환형동물(다모류 : 지렁이), 연체동물(복족류 : 고둥 등), 절지동물(갑각류 : 게) 순으로 우점하였고, 서식밀도(개체/㎡)는 436개체/m^2였으며, 생체량(g/㎡)은 129g/m^2였다.

◦ 한편 연륙교 건설 후(2015년, 2017년, 2018년) 출현 종수(종수/m^2) 저서동물의 우점종을

살펴보면 환형동물(다모류 : 지렁이), 연체동물(복족류 : 바지락 등), 절지동물(갑각류 : 게) 순으로 우점하였고, 서식밀도(개체/㎡)는 770~1750개체/m^2였으며, 생체량(g/㎡)은 147~1887g/m^2였다.

◦ 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) 조사지역(Ⅰ구역)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.

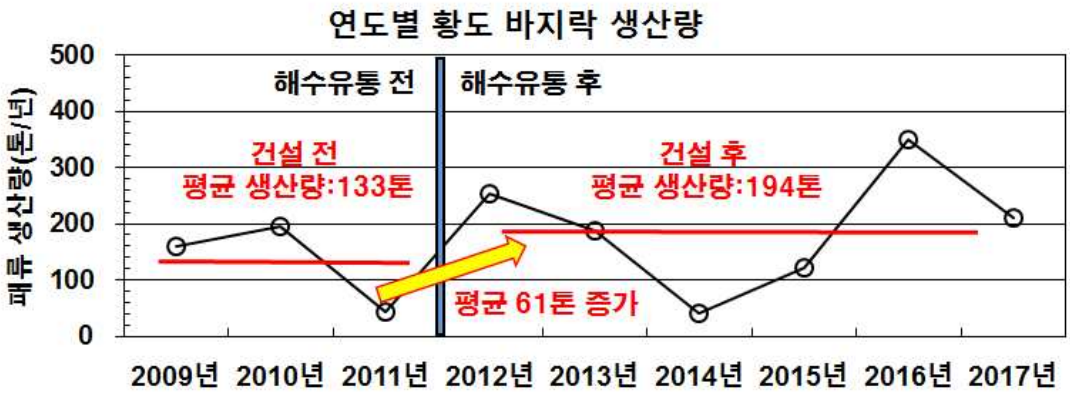
2) 수산업(바지락) 생산량 변화

◦ 황도의 바지락생산량을 황도 연륙교가 건설되기 전· 후로 살펴보면, 해수유통 전(2009~2011년)에는 평균 133톤/년의 생산량을 보였고 해수유통 후(2012~2017년)에는 194톤/년 생산량을 보여 평균 61톤/년 증감을 보이면서 전체 바지락 생산량은 증가하는 경향을 보이고 있다[그림 4-5].

◦ 2011년과 2014년도에 황도 바지락 생산량이 크게 감소한 결과를 보여주고 있다.

□2011년 감소 영향: 2010년 태풍 “ 곤파스”로 인한 폭우에 따른 담수영향에 의한 바지락 폐사에 의해 바지락 생산량에 영향을 준 것으로 판단된다.

◦ 특히 선행참고문헌을 통해 황도 바지락 폐사 원인으로 지적되고 있는 것으로는 강수 및 서산 AB지구 담수 방류에 따른 저염분화 영향, 퍼킨수스 기생충 감염, 겨울철 한파 및 여름철 고수온에 따른 영향 등이 있다.



[그림 4-5] 연도별 황도 바지락 생산량 변화 특성

4. 황도 주변 갯벌 환경 탐문조사

◦ 황도 주변 갯벌에 대한 선행연구 부족에 따른 현재 환경변화와의 정확한 검토와 이를 보완하기 위해 황도 주민들 중 40년 이상 황도에서 거주하신 분들을 대상으로 황도 주변 갯벌 환경에 대한 탐문조사를 수행하였다.

□황도 주변 구역을 크게 4구역으로 나누고 탐문조사를 수행하였으며, 탐문조사 내용은 황도 연륙제방 건설(1982년) 전· 후 그리고 황도 연륙교 건설(2011년)후의 주변 갯벌 환경 변화에 대해서 설문조사를 수행하였다[그림 4-6].

[그림 4-6] 황도 주변 갯벌 구역도와 황도 연륙제방 및 연륙교 전경

◦ 탐문조사 결과 Ⅰ구역~Ⅳ구역 중 Ⅳ구역의 갯벌 환경이 가장 큰 변화를 보였다고 하였다.

◦ 황도 연륙제방 건설 이전(1982년 이전)에는 Ⅰ구역과 Ⅱ구역은 모래 함량비가 매우 높은 갯벌 특성을 보였으며, Ⅲ구역 일부에서는 모래톱이 있을 정도로 모래 갯벌 또는 모래 함량비가 높은 혼성갯벌을 유지하고 있었다.

◦ 하지만 바지락은 지금처럼 많이 생산되지 않고 소량만이 생산되었다고 한다. 왜냐하면 1982년 전에는 Ⅰ구역과 Ⅱ구역에서 김 양식(지주식 양식)이 경제적 우위를 차지하고 있었기 때문이라고 한다.

◦ 또한, Ⅲ구역과 Ⅳ구역의 수로에는 큰 바위들이 있었고 주변 갯벌 환경은 모래함량비가 우세한 혼성갯벌이었다고 한다.

□단 Ⅳ구역 일부 만 형태의 갯벌은 펄 함량비가 높은 퇴적환경을 보였다고 한다.

◦ 하지만 1982년 황도 연륙제방이 건설되고 해수가 막히면서 Ⅳ구역은 전체적으로 빠르게 펄이 침적되었고 특히 연륙제방 전후로 기존 수로가 채워질 정도로 세립토사가 많이 퇴적하는 변화를 보였다. Ⅳ구역 주변 갯벌들도 점토 함량비가 높은 혼성 갯벌로 천이(모래가 줄어들고 뻘이 늘어남)되는 특성을 보였다.

◦ 그리고 1990년대 후반부터 2000년대 초반에 Ⅰ구역과 Ⅱ구역에 바지락 양식장을 조성하면서 군에서 수시로 모래 살포와 바지락 종패를 살포하기 시작하면서 바지락 생산량이 급증하였다고 한다.

□2002~2003년에 가장 많은 바지락 생산량을 보였다고 한다.

◦ 그 후 2011년 12월에 황도 연륙교가 건설 된 후 원활한 해수유통에 의해 Ⅲ구역과 Ⅳ구역의 갯벌 환경 모두 모래함량비가 높아지는 변화를 가져왔다. 특히 Ⅳ구역의 경우, 뻘갯벌에서 혼성갯벌로 돌아오고 있다는 현지 주민의 다수 의견이 있었다.

◦ 주민들에 의하면 현재의 갯벌 모습이 1982년 황도 연륙제방이 건설되기 이전과 동일한 수준의 갯벌 모습은 아니지만, 2011년 황도 연륙교가 건설되기 이전(30년간 해수유통이 차단되었던 시기)의 갯벌환경보다는 확연히 개선되고 있다고 증언하였다.

◦ Ⅳ구역의 경우, 1982년도 이전에도 내만형태로 만입된 내측갯벌은 뻘이 우세한 혼성갯벌이었으며, 그 외 지역의 경우도 모래와 뻘이 섞인 혼성갯벌로서 황도의 동측(Ⅰ, Ⅱ구역)과 같은 모래가 우세한 바지락이 잡히는 환경은 아니었다고 하였다.

◦ 이는 본 연구에서의 황도 주변 갯벌의 퇴적환경 변화 분석과 유사한 탐문조사 결과로서, Ⅳ구역 갯벌의 복원 목표를 가늠할 수 있다는데 의미가 있다.

◦ Ⅳ구역 갯벌의 모래비율 증가가 빨라진 유속에 의해 뻘이 씻겨나간 영향인지에 대한 판단을 위하여, 뻘 빠짐에 따른 갯벌의 침하 발생 유무에 대한 조사가 필요하였다. 지역 주민 탐문 결과, 유의한 수준의 Ⅳ 구역 갯벌 고도의 변화는 없는 것으로 나타나, 뻘의 씻김에 의한 모래 함량 증가 영향은 크지 않은 것으로 분석되었다.

◦ 황도 주변 갯벌의 모래 함량 증가는 단순히 모래 살포 사업 등의 영향이나 뻘이 씻겨나

가는 등의 요인으로 단순 설명하기에는 한계가 있다. 이에 대한 분석을 위해서는 다른 해역에서의 모래 유입 요인이 있거나 하구호 방류에 의한 요인 등 여러 가지 가능성을 염두해 두고, 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

◦ Ⅰ구역과 Ⅳ구역 사이의 황도 남측 갯벌 구역에서 가무락조개(모시조개) 서식처가 있어 8월~10월 경에 가무락 조개가 약 5000kg~6000kg 채취된다고 하였다.

□바지락 채취는 4~6월에 하고, 이 후 8~10월에 가무락조개를 채취한다고 한다.

◦ 가무락조개는 바지락과 마찬가지로 중요한 식용패류 자원으로서, 바지락과는 달리 모래가 조금 섞인 펄 혼성갯벌에 사는 종이다.

◦ 이를 통하여 Ⅳ구역 갯벌퇴적환경 복원의 목표 및 기대효과를 가늠해 볼 수 있는데, 모래의 비율을 40~60% 정도로 하여 과거 연륙제방 건설(1982년) 전의 퇴적환경과 유사한 수준으로의 회복을 목표기대치로 삼을 수 있다.

◦ Ⅳ구역 갯벌환경이 조금 더 회복된다면 가무락조개의 출현을 기대해 볼 수 있으며, 가무락 종패 살포 등의 시범사업 추진을 통하여 그 효과를 배가시킬 수 있을 것이다.

◦ 황도 갯벌은 [그림 4-7]에 제시된 바와 같이 크게 A, B그룹의 두 유형으로 구분할 수 있으며, 각각의 갯벌환경 특성에 맞는 갯벌환경 개선사업을 실시할 수 있다.

◦ 즉 A그룹은 뻘이 어느 정도 있는 혼성갯벌 환경에서의 가무락조개, B그룹에서는 모래가 우세한 혼성갯벌 환경에서의 바지락을 중심으로 한 패류자원 증식 사업의 추진이 가능할 것으로 보인다.

[그림 4-7] 황도 갯벌 환경에 따른 구분(A, B 그룹)

[그림 4-8] 황도 연륙교 밑(Ⅳ구역 맞은편 갯벌) 바지락 채취 모습(위)과 Ⅳ구역 펄 갯벌 사진(아래)

[표 4-2] 황도 주변 갯벌 변화에 대한 황도 주민 탐문조사 결과

성명	송**(남)	나이	만 68세	황도거주기간	68년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)	• Ⅰ구역과 Ⅱ구역의 갯벌은 모래가 우세한 갯벌이었음 • Ⅲ구역 일부에서는 모래톱이 있었음 • Ⅳ구역의 일부구역에서는 펄 갯벌 특성을 보임 - 황도쪽 연륙교 근처 만처럼 오목하게 들어간 지역 • 자연적인 바지락 개체수 및 생산량은 많지 않았음				
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)	• Ⅳ구역 갯벌 저질이 펄로 급격하게 변하기 시작하였음 • Ⅰ지역과 Ⅱ지역에서 1990년대 후반 ~ 2000년 초반에 모래살포와 더불어 바지락 종패 살포로 인해 2000년 초반에 바지락 생산량이 최대였음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역에서는 패류가 감소함				
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)	• Ⅳ구역 갯벌 저질이 가장 많이 변하고 있음				

성명	송**(남)	나이	만 61세	황도거주기간	40년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)	• Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ구역의 갯벌은 대부분 모래가 많이 있는 갯벌이었음 • Ⅳ구역 일부 만(bay)지형은 펄 갯벌이 있었음 • 바지락 생산량은 적었음				
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)	• 1990년 후반부터 태안군에서 종패와 모래를 살포하면서 바지락 생산량이 증가하였음 • Ⅰ, Ⅱ구역에 바지락 양식장이 생기기 시작하였음				
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)	• Ⅲ구역 좌측(창기리)은 소규모 바지락과 굴 양식이 존재함 • Ⅳ구역 좌측(창기리)은 굴이 많이 서식함				

성명	우**(남)	나이	만 57세	황도거주기간	57년
연륙제방 건설 이전 (1982년 전)	• Ⅰ, Ⅱ구역 대부분의 갯벌은 모래가 우세한 갯벌이었음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역은 모래가 우세한 혼성 갯벌이었음 - Ⅳ구역 일부에서는 펄 형태의 혼성 갯벌도 존재했음 • 단, Ⅲ, Ⅳ구역의 수로에는 빠른 흐름으로 인해 바위가 많이 있었음 • Ⅰ구역과 Ⅱ구역에서 김 양식(지주식)을 하였기 때문에 바지락 생산지역은 외곽(조하대)에 위치해 있었음				
연륙제방 건설 이후 (1982년~2011년)	• Ⅰ, Ⅱ구역의 김 양식장에 모래를 살포하기 시작하면서 바지락 양식장으로 변화기 시작하였음 - 군에서 모래살포와 바지락 종묘 살포를 주기적으로 시행하였음 • Ⅲ구역과 Ⅳ구역에서 굴 서식처가 생겨났음 • Ⅳ구역 갯벌이 펄로 빠르게 변화하기 시작하였음				
연륙교 건설 이후 (2011년 이후)	• Ⅳ구역에 예전처럼 펄이 쌓이진 않는 것 같음 • Ⅲ구역 좌측(창기리)는 어촌계 굴 양식장에서 최근 개인이 운영하는 바지락 양식장으로 변화되고 있음 • Ⅰ구역과 Ⅳ구역이 만나는 구역에 가무락 서식지가 넓게 분포하고 있음 • 4~6월에는 바지락 채취, 8~10월은 가무락 채취				

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 시범적으로 실시하였다. 이를 통하여 사업 시행 전· 후의 해양환경 및 저서생태계 개선 효과에 대해 살펴보았다.

◦ 황도 주변 갯벌에 대한 과거 연구자료 수집과 함께, 두 차례 현장조사를 통한 해양수질, 갯벌퇴적물, 갯벌저서생태계 현황을 분석하였다. 이와 함께 주민 탐문조사를 실시하여, 황도 연륙제방 건설 전후의 갯벌환경 변화에 대하여 살펴보았다.

◦ 본 연구의 결과, **황도 연륙교 개통에 따른 황도 주변 갯벌의 생산성 향상 효과는 매우 크게 나타나고 있었다**.

◦ **황도 연도교 건설(1982년)은** 해수를 막는 연륙제방 역할을 함으로써 **연륙제방 주변 갯벌로의 영양염류 유입 감소, 퇴적성 변화(죽뻘화), 저서생태계 악화를 유발**하였다.

◦ 특히, 바지락 등 상업패류는 모래 함량이 70% 이상인 모래펄갯벌에서 서식하나 펄이 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 죽뻘)이 개선**되고 있는 것으로 나타났다.

◦ 특히 **황도교 남측 갯벌환경이 빠르게 개선(뻘 함량이 줄어듬)**되고 있으며, 황도교 주변 다른 지역도 갯벌의 모래 함유량이 서서히 높아지는 것으로 조사되었다. 황도 연륙교 개통 이후 Ⅰ구역 : 73.7→81.1%, Ⅱ구역 : 56.9→86.5%, Ⅲ구역 : 43.7→69.4%, Ⅳ구역 : 10.7→44.5% 로 갯벌 모래함량이 증가추세에 있었다.

◦ 바지락 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 생장환경에 유리하게 작용**하고 있는 것으로 나타났다.

◦ 해수순환 단절로 **죽뻘화되어 유용패류의 생산이 단절된 황도연륙교 남측 갯벌(IV구역)의 경우, 해수유통 단절 후 30년간 뻘갯벌화 된 퇴적상이 현재 빠르게 회복 중**에 있었다.

◦ IV구역은 향후 **4~5년 이후에는 연륙제방 건설(‘ 82년) 이전 수준의 갯벌 퇴적상(모래 함량이 40~60%)으로의 회복과** 이에 따른 **가무락(모시조개)의 서식지 회귀가 기대**된다.

◦ 황도 연륙교 건설 전· 후 패류(바지락) 생산량을 살펴보면, 건설 전(‘ 09년～‘ 11년) 패류 평균 생산량은 133톤/년으로 건설 후(‘ 12년～‘ 17년) 패류 평균 생산량은 194톤/년으로 61톤/년 증가한 것으로 나타났다.

◦ **향후 황도 주변 갯벌 환경을 잘 관리할 경우, 지속적인 바지락· 가무락 등의 유용패류의 생산범위 확대에 따른 주민 어가소득의 확대가 기대**된다.

◦ 이번 황도 갯벌 생태계 모니터링을 시작으로 갯벌 복원 사업 추진에 대한 효과를 체계적으로 시공간적 분석하기 위한 **추가적인 정기 모니터링은 반드시 필요할 것**으로 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 필요**하다

◦ 황도 갯벌 생태계의 회복현황 및 바지락 생장환경 조성 가능 여부 등을 정량적으로 예측/판단 가능하도록 현장 정보 DB(구체적인 데이터)의 구축은 필수적이다.

◦ 이를 위해 좀 더 정밀하고 세심한 시공간적 현장 모니터링의 기획이 필요하며, 주변 갯벌 환경에 악영향을 줄 수 있는 오염원의 유입원에 대한 관리 및 지도 역시 필요할 것이다.

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

◦ 향후 황도 연륙교 남측 갯벌 (IV 구역)에 **가무락이나 바지락 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 기대**할 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 집게· 계류, 삼화출판사

김훈수, 1977년, 한국동식물도감, 제19권 새우류· 삼화출판사

노분조, 1977년, 한국동식물도감, 제20권 해면· 히드라· 해초류, 삼화출판사

박승윤 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, 국정교과서주식획사

한국동물분류학회, 1997년, 한국동물명집(곤충제외), 아카데미서적

한국해양학회, 2005년, 해양과학용어사전, 아카데미서적

황인서, 2008년, 주기적인 빈산소 환경 발생하의 시화호 저서생물군집의 장기변동, 박사논문

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.

Llanso 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

□ 해양환경 기준(해양환경관리법 제8조, 2011.12)

□ 해수수질

- 생활환경 기준

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

- 생태기반 해수수질 기준

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

- 수질평가지수(수질평가지수 항목별 점수를 이용하여 계산)

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

- 해양생태계 보호 기준

(단위 : ㎍/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

□ 환경부 해역 생활환경 수질 기준(환경부, 2000.8)

(1) 생활환경

등급	기준						
	수소이온 농도 (pH)	화학적산 소요구량 (COD) (㎎/L)	용존 산소량 (DO) (㎎/L)	총대장균군 (총대장균군 수/100mL)	용매추출유분 (㎎/L)	총질소 (㎎/L)	총인 (㎎/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. 등급Ⅰ은 참돔·방어 및 미역 등 수산생물의 서식·양식 및 해수욕에 적합한 수질을 말한다.
2. 등급Ⅱ는 해양에서의 관광 및 여가선용과 숭어 및 김 등 등급Ⅰ의 해역에서 서식·양식에 적합한 수산생물 외의 수산생물의 서식·양식에 적합한 수질을 말한다.
3. 등급Ⅲ은 공업용 냉각수, 선박의 정박 등 기타 용도로 이용되는 수질을 말한다.

□ 주요 해양환경 용어

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