

발간등록번호

11-1541000-001125-01

유류피해어장 환경개선사업 효과조사

2011. 7

농림수산식품부

제 출 문

농림수산식품부장관 귀하

본 보고서를 “유류피해어장 환경개선사업 효과조사” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2011년 7월

군산대학교

연구책임자 : 김종구

연구 원 : 박종수

최옥인

권정노

류동기

김수관

허 승

이승민

윤양호

요 약 문

1장 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

- 어장정화사업의 효율적인 추진을 위한 과학적인 효과분석이 필요하다.
- 어장정화 사업에 대한 효과분석은 정부재정의 효율적인 사용, 해양자원의 이용 및 관리측면에 중요한 판단기준을 제공한다는 점에서 매우 시급한 과제이고 계량분석을 통하여 사업의 효과를 측정할 수 있다.
- 본 과업에서는 어장환경 개선 사업의 전과 후의 환경에 따른 어장의 수질환경, 퇴적물 환경, 동식물 플랑크톤 및 저서미세조류의 변화를 조사하여 개선 전과 후의 환경적 변화와 생물학적 변화를 평가함으로써 어장정화사업의 개선효과를 밝히는데 있다.

2. 대상어장의 선정

- 유류피해지역의 어장환경개선사업을 추진하기 위하여 과업지시서에 명시된 해역인 충남연안어장 1개소와 전북연안어장 1개소, 전남연안어장 1개소, 패류종패발생어장 1개소를 선정하였다.
- 선정을 위하여 어장환경개선사업 위탁기관인 한국어촌어항협회와 협의하여 선정하였으며, 선정어장에 대한 어장에 대한 어장정화사업은 어촌어항협회와 지자체와 협의하여 결정되었다.
- 한국어촌어항협회에서 어장에 대한 어장정화공법의 적용은 어장정화사업 추진 전에 한국어촌어항협회에서 대상어촌계장과 협의를 거친 후 최종 결정하였다.

2장 수질

태안유류오염의 영향권 내의 위치하는 3개의 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 어장정화 효과를 파악하기 위해, 어장정화 이전과 이후, 그리고 동일 조사시점에 대해 어장정화 사업지구와 대조구를 선정하여, 해양수질을 채취하여 일반 수질인자 및 영양염류 농도를 측정하였다.

해역에서의 수질변동 요인은 여러 가지를 들 수 있으며, 수질인자에 따라 그 양상이 다르게 나타난다. 특히 수심이 얇은 연안역의 경우 기상의 영향을 많이 받는데 강우에 의한 영향 및 바람에 의한 영향을 직접적으로 나타난다.

일반 수질인자 및 영양염의 경우 계절적 요인에 의하여 수질이 변동하는 특성을 나타내는데, 영양염의 경우 하계 감소하고 동계에 증가하는 특성을 보이거나, 유기물의 경우 반대의 경향을 보인다. 수심이 얕은 해역의 경우 강한 바람에 의한 해수교란으로 인하여 저층 퇴적물이 부유하게 되고 이때 해수의 수질도 나빠지게 된다. 또한 조사시점에서 대조기와 소조기, 창조기와 낙조기에도 수질의 일부 변화가 나타난다.

본 조사해역이 대부분 조간대 갯벌지역으로 조사는 만조시에 주로 이루어졌으며, 해양수질의 변동요인이 여러 가지 존재하는 상황에서 어장정화사업의 효과를 밝혀내기 위하여 정확하게 조사를 실시하였지만, 현장실험에서는 전체 대상 어장에서 어장정화 이전과 이후, 그리고 사업지구와 대조구 사이에서 공통적 유의적 관계는 확인할 수 없었고, 수질의 변동은 계절적 변동을 나타내는 수준이었다.

이와 같은 결과는 현재 수행하고 있는 패류 어장정화방법으로 어장환경개선을 기대하기는 어렵거나, 아니면 현재의 조사방법에 의한 어장환경개선효과를 추적하기에는 많은 어려움이 산재하는 것을 나타내는 것으로, 보다 계획적이면서 체계적인 장기적 조사, 그러면서도 항목에 따라서는 조사간격을 조정할 수 있는 종합적인 연구가 필요한 것으로 판단할 수 있었다.

3장 퇴적환경

퇴적환경은 어장환경개선어장 3개 지역(태안 원청리 연안, 군산 선유도 연안, 무안 만풍리 연안)과 바지락치패발생장 1개 지역(무안 송계 연안)에 대하여 퇴적물의 입도, 공극수내 유분, 강열감량(IL), 화학적산소요구량(COD), 산취발성황화물(AVS), 미량금속(Trace metals), 다환방향족탄화수소(PAHs)에 대한 조사와 분석을 실시하였다. 현장조사는 어장환경개선 사업지구내에 3개 정점, 대조구 해역에 2개 정점을 선정하였다. 어장환경 개선 전 2회, 개선 후 4회로 총 6회 조사를 실시하였으며, 어장환경 개선 전과 개선 후의 표층 퇴적물내에 존재하는 평균농도를 이용하여 개선 효과와 바지락치패발생장의 특성을 분석하였다.

태안 원청리 어장환경개선지역(180 ha)에서 잡석채집 및 운반(50 ha), 경운작업(180 ha), 모래살포작업(37 ha)을 수행하였다. 퇴적물은 모래가 100%로 모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선 전 0.15 ug/L, 개선 후 0.15 ug/L로 농도의 차이가 없었으나 개선 후 1차 조사에 일시적으로 증가하였다가 시간이 경과하면서 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선 전 0.76%, 개선 후 0.65%로 계절적으로 감소하는 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선 전 4.2 mgO₂/g·dry, 개선 후 2.4 mgO₂/g·dry로 현저히 감소하는 경향을 보였다. 산취발성황화물은 개선 전 0.005 mgS/g·dry, 개선 후 0.002 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서

NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았으나 비소(As)가 6.5 ppm(ERL: 8.5 ppm)으로 다른 미량금속에 비해 높은 경향을 보였다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 개선전 0.45 ng/g (D.W), 개선후 5.86 ng/g (D.W)로 높았으나 우리나라 다른 지역보다 높은 경향은 아니며, 개선후 높아지는 경향보다는 계절적인 변화로 판단된다.

군산 선유도 어장환경개선지역(25 ha)에서 잡석제거(492 m³), 조간대폐기물제거(61.04 ton), 투석(492 m³)을 수행하였다. 퇴적물은 자갈이 2.1%, 모래가 54.9%, 펄이 43.0%로 역니질모래 퇴적상과 실트질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선전 0.15 ug/L, 개선후 0.14 ug/L로 유사한 경향을 보였으나 개선후 3차 조사부터 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선전 2.4%, 개선후 2.4%로 유사한 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선전 5.3 mgO₂/g·dry, 개선후 6.8 mgO₂/g·dry로 개선후 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 산취발성황화물은 개선전 0.024 mgS/g·dry, 개선후 0.009 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 개선전 4.2 ng/g (D.W), 개선후 17.7 ng/g (D.W)로 개선후 높아지는 경향보다는 계절적인 변화로 판단된다.

무안 만풍리 어장환경개선지역(54 ha)에서 경운(54 ha)과 조간대방치 폐기물 수거작업(2 ton)을 수행하였다. 만풍어장의 퇴적물은 자갈이 2.9%, 모래가 30.8%, 펄이 66.4%로 니질이 우세한 역니질 퇴적상과 역니질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선전 0.09 ug/L, 개선후 0.07 ug/L로 개선후 증가하였다가 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선전 3.8%, 개선후 2.8%로 계절적으로 감소하는 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선전 6.5 mgO₂/g·dry, 개선후 7.1 mgO₂/g·dry로 개선후 증가하였다가 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보였다. 산취발성황화물은 개선전 0.042 mgS/g·dry, 개선후 0.032 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 20.5 ng/g (D.W), 대조구는 14.3 ng/g (D.W)로 다른 어장보다 펄의 함량이 많아 잔류농도가 상대적으로 높은 경향인 것으로 판단된다.

무안 송계 바지락치패 발생장의 퇴적물은 자갈이 17.5%, 모래가 74.6%, 펄이 7.9%로 굵은 모래가 우세한 역니질모래 퇴적상과 역질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 치패발생장이 0.07 ug/L, 대조구가 0.09 ug/L로 치패발생장이 대조구보다 낮은 경향을 보였다. 강열감량은 치패발생장이 2.3%, 대조구가 1.9%로 큰 차이는 없었다. 화학적산소요구량은 치패발생장이 4.6 mgO₂/g·dry, 대조구가 4.6 mgO₂/g·dry로 유사한 경향을 보였다. 산취발성황화물은 치패발생장이 0.035 mgS/g·dry,

대조구가 0.043 mgS/g·dry로 유사한 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 치패발생장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 치패발생장이 11.8 ng/g (D.W), 대조구가 3.2 ng/g (D.W)로 다른 지역에 비해 가장 낮은 경향을 보였다. 무안 송계 치패발생장은 모래언덕(Sand bar)가 발달되어 굵은 모래함량이 높고, 조간대의 조류로와 사주가 형성되어 노출시간이 2~3시간을 유지할 수 있는 지역이 분포하고 있다. 또한, 조류로와 인접해 밀물과 썰물 때 와류가 형성될 수 있는 지역과 조간대가 완만한 경사로 이루어져 있어 자연치패 발생장으로 좋은 여건을 갖추고 있다. 따라서, 무안 바지락 치패발생장은 지형적인 특성과 환경적으로 바지락치패가 발생할 수 있는 요건을 갖추고 있는 지역으로 판단된다.

본 조사결과는 태안 원정리, 군산 선유도, 무안 만풍리 3개 패류어장에서 어장환경을 개선한 후 6개월의 짧은 조사기간 동안에 환경적인 개선효과를 규명하는데 시간적인 제약이 있어 뚜렷한 개선효과는 나타나지 않았다. 향후 어장환경 개선효과를 밝히기 위해서는 체계적이고, 장기적인 과학적 조사를 수행하여야 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

4장 저서동물

본 조사는 유류 피해어장 환경개선사업 전.후에 따른 대형저서동물 군집 구조의 변화와 우점종의 종조성, 밀도 및 생체량의 상호 비교 분석을 하였다.

본 과업은 각 어장에서 사업내측(어장) 3정점과 사업외측(대조구) 2정점을 선정하였으며, 1정점당 3회씩 총 6회 조사 하였다.

태안과 선유도 어장에서는 어장에 직접 들어가 샘플을 하였으며, 무안어장은 니질이 강한 갯벌로 깊이 빠지는 연성저질이 잘 발달되어 선상에서 조사를 시행하였다.

태안어장의 출현종의 종조성은 개선사업 전.후로 사업내 지역에서는 유사한 경향을 보이고, 대조구에서는 평균 4종이 감소했으나 큰 변화 양상은 보이지 않는다.

출현 개체수는 어장개선 직후 일시적으로 상승한 후 감소하였는데, 이는 어장개선을 통한 이동성 고동류 및 계류의 저서교란에 따른 군집 형성 후 분산되는 일시적인 현상으로 사료된다.

동물군별 출현율은 사업내 지역 및 대조구에서 환형동물, 연체동물, 절지동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 자포동물, 완족동물이 출현하였다.

군집구조의 변동을 살펴보면 대체로 개선 사업 전.후로 큰 차이를 보이지는 않았으며, 다양도지수에서 어장개선 직후 저서지반의 변동으로 인해 일시적으로 가장 높은 값을 나타냈다.

군산어장의 경우 개선사업 전.후로 출현종의 종조성은 큰 변화 양상을 보이지 않았다.

출현개체수는 어장개선 직후 출현개체수가 다소 감소한 후 증가하는 경향을 보였는데,

이는 어장개선으로 인한 서식지 변화에 따른 이동성 고등류 및 계류의 일시적인 이동 현상으로 사료된다. 동물군별 출현율은 사업내 지역 및 대조구에서 환형동물, 연체동물, 절지동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 극피동물이 출현하였다.

군지구조의 변동을 살펴보면 어장개선 전후로 큰 차이를 보이지 않았으며, 다양도지수가 출현개체수의 변동 때문에, 어장개선 후 다소 감소 한 후 시간의 경과에 점차 안정적인 경향을 나타냈다.

무안어장은 사업내 지역에서는 사업전후로 큰 차이를 보이지 않았으며, 대조구에서는 평균 1종이 증가하는 것으로 나타났다.

출현개체수는 어장개선 사업을 기점으로 출현개체수가 일시적으로 감소하다가 점차 증가하였는데, 이는 어장개선(경운 및 폐지주 제거)으로 인한 일시적인 서식지 회피 현상으로 사료된다.

동물군별 출현율은 사업내.외측 모두 환형동물, 연체동물, 절지동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 완족동물이 출현하였다.

군집구조의 변동은 개선사업 전후로 사업내지역과 대조구와 약간의 차이를 보이고 있으나 조사 시기에 따라서는 비교적 큰 차이를 보이지 않았다.

무안 치패어장은 바지락 자연치패 발생어장으로 어장환경 개선사업이 이루어지지 않은 어장이다. 출현종의 종조성에서는 조사 시기에 걸쳐 큰 차이가 나타나지 않았으며, 출현개체수의 경우 어장내 지역이 평균 64개체로 대조구(평균 29개체)보다 높게 나타남을 알 수 있었다.

동물군별 출현율은 연체동물, 환형동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 절지동물, 자포동물, 극피동물이 출현하였다.

주요 우점종 중 바지락의 조사시기에 따른 출현율은 어장내 지역에서 평균 34개체, 대조구에서 평균 9개체가 조사되었다.

본 조사에서는 조사지역내를 비롯하여 대조구 지역에 있어서도 바지락이 넓게 분포하는 것으로 조사되었다.

군집지수는 조사 시기에 걸쳐 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 조사지역이 어장개선을 실시하지 않은 어장이자 자연산 바지락 치패의 발생이 높은 어장이며, 저서동물의 서식지 변화가 일어나지 않은 매우 안정된 지역으로 조사되었다.

5장 부유생물

부유생물에 대한 조사는 식물성플랑크톤과 동물성플랑크톤에 대한 조사와 분석을 실시하였다. 현장조사는 태안유류오염의 직, 간접적인 영향범위에 있는 3개의 패류어장(태안, 군산 선유도 및 무안) 및 1개의 바지락종패어장(무안)을 선정하여 어장정화 사업지구내에

2개 정점, 대조구 해역에 1개 정점을 선정하여, 어장환경 개선전 2회, 개선후 4회 총 6회 조사를 실시하여 어장환경개선 효과를 분석하였다.

식물성플랑크톤은 현존량은 8월, 10월, 12월에 태안해역에서 높게 출현하였으며, 9월, 1월, 3월은 선유도 해역에서 높게 나타났다. 부유식물플랑크톤 주요 우점종의 현존량 파악을 통한 어장환경개선효과를 살펴본 결과 태안의 어장환경개선정점에서 어장정화사업 직후인 10월에 저서미세조류인 *Pseudonitzschia seriata* complex 종의 재부유에 의해 식물플랑크톤 현존량이 높게 나타났으며 그 외의 해역에서는 식물플랑크톤의 계절에 따른 우점종과 현존량 변화는 보였으나, 대조어장과 비교하여 어장정화사업 실시 전과 후의 우점종 및 현존량 변화가 크게 나타나지 않았다. 부유식물플랑크톤중 유해종으로 알려진 *Chattonella antiqua* 종이 8월 선유도 해역에서 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현하였으며, 그 외의 유해종 출현은 없었다. 따라서 어장정화작업 전과 후의 유해종 출현비율을 파악할 수 없었으며, *Chattonella antiqua*종에 의한 수산생물의 피해는 없었다. 즉 부유식물플랑크톤의 우점종 및 현존량 조사를 통한 충남 태안, 전북 선유도, 전남 무안 및 치패 발생장의 마을어장은 비사업어장인 대조어장과 비교하여 유사한 환경을 유지하고 있었으며 어장정화작업 전과 후의 식물플랑크톤 군집변화가 없는 것으로 나타났다.

동물플랑크톤은 단위체적당 밀도의 계절적 변동을 보면, 태안 해역의 경우 높았던 밀도가 어장정화사업 이후에 급격히 감소하였고, 군산 선유도는 어장정화사업 후에 동물플랑크톤의 밀도가 급격하게 증가하였으며, 무안과 무안 치패 해역에서는 거의 같은 양상을 보였다. 동물플랑크톤은 해역에 따라 차이는 나타났지만 일반적으로 가을에 밀도가 높았고 겨울에는 밀도가 낮은 서해의 일반적인 경향과 일치하였다. 내측 정점과 외측의 대조 정점 간의 차이는 뚜렷하지 않았다. 어장개선사업 전과 후의 효과로는 무안 해역 및 무안 치패 해역에서는 전혀 차이를 찾을 수 없었다. 현 조사 기간 중에 동물플랑크톤 군집에서 높은 비중을 차지한 야광충은 결과에서 기술한 것과 마찬가지로 부영양화나 오염의 지표종으로 간주될 수 있다. 특히 부영양화나 국지적 환경 오염의 발생이 빈번한 서해 연안에서는 5월부터 10월까지 10만개체/m³ 이상의 밀도로 언제라도 짧은 기간 내에 대량발생이 가능하다. 따라서 현 조사 결과에서와 같은 야광충의 변동은 어장정화사업과 같은 요인이 아니라도 일상적으로 관찰되는 현상이라 할 수 있다. 일반적으로 서해 연안 해역에 있어 10월은 요각류의 밀도가 높은 시기이나 태안 해역의 결과에서는 10월에 요각류와 야광충의 밀도가 매우 낮게 나타난 것을 특이사항으로 볼 수 있다. 그러나 현재의 자료로 볼 때 이러한 결과와 어장정화사업과 관련이 있는지에 대한 파악은 어려울 것으로 생각된다.

6장 미세조류

내만 및 연안패류어장의 환경개선효과를 평가하기 위해, 저서패류어장을 서식처로 하는 저서미세조류의 출현 및 분포 특성, 실내실험을 통한 우점 미세조류의 영양염 동력학, 어장의 표층퇴적층의 공극수에 분포하는 무기영양염류를 대상으로 현장 및 실내 실험을 실시하였다.

현장조사는 태안유류오염의 직, 간접적인 영향범위에 있는 3개의 패류어장(태안, 군산 선유도 및 무안) 및 1개의 종패어장(무안)을 선정하여 어장정화 사업지구내에 3개 정점, 대조구 해역에 2개 정점을 선정하여, 어장 정화이전인 2010년 7월과 10월 2회, 어장 정화 이후인 2010년 11월 이후 매월 기준으로 4회 총 6회 실시하였다.

조사결과 어장별 출현하는 미세조류의 종조성, 현존량 및 우점종에 대해서는 시·공간적으로 많은 차이를 보여, 태안은 봄에서 가을 고수온기에 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 높은 생물량 및 광합성 활성을 보이는 반면, 저수온기인 겨울에는 출현종, 현존량 및 생물량도 매우 낮고, 광합성 활성 역시 낮게 평가되었다. 군산 선유도는 전 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 높은 생물량 및 낮은 광합성 효율을 나타내었다. 특히 태안어장에 비해 출현종이 매우 다양하고 높은 생물량을 나타내고 있지만, 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments가 매우 높게 나타나, 상당부분의 저서미세조류는 표영환경에서 침강하여 광합성 능력을 상실한 조류로 구성되어 있는 것으로 판단되었다. 이에 따라 출현종 역시 우상목 규조류에 비해 중심목 규조류가 전 조사시점에 다양한 생물종 및 현존량을 나타내는 것으로 이어졌다. 무안은 군산과 유사하여 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 낮은 생물량과 광합성 활성을 보였다. 특히 군산 선유도 어장의 경우와 유사하여 태안 어장보다 출현종은 매우 다양하고 높은 생물량을 나타내고 있지만, 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments가 매우 높아, 저서미세조류의 상당부분은 표영환경에서 침강하여 광합성 능력을 상실한 조류로 구성되어 있는 것으로 판단되었다. 무안 종패어장 역시 전 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 낮은 생물량과 광합성 활성을 보였다. 이와 같이 어장에 따른 종조성, 현존량 및 광합성 효율 등의 차이점은 각 어장의 표층퇴적물에서 보여지는 퇴적상의 차이에서 오는 현상으로 판단할 수 있었다.

그리고 공극수 중 무기영양염류 역시 어장특성에 따라 매우 큰 차이를 보여, 사질 퇴적상을 나타내는 태안에서 낮고, 미세한 니질 퇴적상을 나타내는 무안패류 및 종패어장에서 극단적으로 높은 농도를 보였다. 세부적으로는 태안 어장의 경우는 인산염은 서해 덕적도 주변해역과 유사하여, 표영환경에서 생물생산이 비교적 활발한 해역에 비하면 매우 낮은 농도를 나타내었다. 그러나 군산 선유도나 무안 어장 등 세립한 니질 퇴적층에서는 일부 계절에 매우 높은 농도의 인산염을 나타내었다. 암모니아염도 태안어장은 생물생산의 활발한 해역에 비해 매우 낮은 농도를 보였지만, 선유도는 상대적으로 높으며, 무안의 경우

는 부영양화가 진행된 해역보다도 극단적으로 높은 농도를 나타내었다.

우점 저서미세조류인 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.에 대한 영양염에 따른 성장특성을 배양실험을 통하여 살펴본 결과, *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 인산염 및 질산염에서 높은 영양염을 요구하였다. 즉, 이들 저서미세조류는 생존경쟁에서 세포내에 영양염류를 축적하는 것으로 판단되었다. 대부분 미세조류에서 흡수한 DIP는 polyphosphate형태로 축적을 하며, 세포내 인이 고갈되면 polyphosphatase를 이용하여 가수분해 후, 그들의 성장에 이용하게 된다.

그러나 이러한 미세조류에 의한 어장정화 이전과 이후, 그리고 사업지구와 대조구 사이에서는 규칙적 유사성은 물론 어떠한 통계적 유의성도 관찰되지 않아, 어장 정화에 따른 효과를 평가할 수는 없었다.

7장 경제성 분석

1. 효과 분석

본 연구의 대상과 같이 지역적으로 추진되는 어장환경개선사업은 지역적 어업소득증대 및 환경개선에 따른 해양생태계 회복 효과, 체험관광의 기회 증대 등의 직간접 효과를 발생시킨다. 따라서 본 연구에서는 2010년 어장환경개선사업을 실시한 태안지역 원청리 어촌계, 군산지역 선유도 어촌계, 무안지역 만풍 어촌계, 3개 지역을 대상으로 사업으로 인한 직접효과 및 간접효과를 정량적인 방법과 정성적 방법을 이용하여 추정을 실시하였다.

어장환경개선 사업의 직접효과인 생산자 소득증대효과를 추정하는데 있어서 가장 중요한 요인은 사업으로 인한 생산량의 증가분을 어떻게 산정할 것인가 하는 문제다. 본 분석에서는 이러한 한계점으로 인하여 생산량 증가분을 설문조사 및 선행연구의 결과를 이용하여 추정하였다.

또한, 어장환경개선 사업으로 인한 자원증가 및 환경성의 증가는 방문객 및 갯벌체험객의 증가라는 간접적 효과를 가져 올 것으로 사료된다. 실제적으로 동 사업의 특징이 과거 이용되지 않았던 어장에 대한 환경개선임을 고려할 때 향후 잠재적 관광객의 잉여증가 부분은 사업의 중요한 효과라 할 수 있다. 본 연구에서는 관광에 대한 효용의 추정방법으로는 인근지역 관광객의 개인적 설문조사를 통한 여행비용모형(TCM)을 사용하였다. 이를 통해 어장환경개선지역의 방문객의 1회당 경제적 가치를 추정해보면 약 75,472원으로 추정된다.

2. 경제성 분석

어장환경개선 사업에 대한 경제성 분석은 결국 앞서 추정하였던 사업에 따른 직접효과 및 간접효과에서 발생하는 편익과 사업을 실시하는데 들어가는 투입비용과의 비교를 통하여 해당 사업이 타당한지를 판단하는 것이라 할 수 있다. 특히, 정부지원사업으로 시행하고 있는 어장환경개선사업의 특성상 경제성이 꼭 보장되어야 할 필요성은 없다. 경제성이 높을 경우 이는 정부가 아닌 민간에서 수행할 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 사업의 경제성 분석은 향후 유사사업 및 사업의 지속여부를 결정하는데 있어서 중요한 기초자료를 제공하므로 필요성이 매우 높다고 할 수 있다.

본 연구에서는 앞서 추정하였던 직·간접 효과를 근거로 하여 어장환경개선 사업에 대한 경제성을 NPV, IRR, B/C ratio 등 여러 분석 방법을 통하여 지역별 평가를 실시하였다. 각 지역의 경제성 분석결과를 종합하여 지역적 비교를 실시해보면, 경제성 지표 측면에서 보았을 때 태안이 NPV가 16,726,367원으로 가장 높으며 IRR 및 B/C ratio의 값도 상대적으로 가장 높음을 알 수 있다. 군산과 무안을 비교해보면 군산의 경우 투입비용이 가장 높은 반면 기대되는 순수익은 가장 낮은 4,173,861원으로 나타나 투자대비 경제적 효율성이 상대적으로 가장 낮다.

그러나 어장환경개선사업이 실시된 3개 지역 모두 NPV, IRR, B/C ratio를 살펴볼 때 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타나 어장환경개선사업이 경제적으로도 국가적 측면성에 필요한 것을 알 수 있다.

<목 차>

제1장 서론	1
제1절 연구의 필요성 및 목적	1
제2절 대상어장의 선정	3
1. 대상어장의 선정 절차	3
2. 대상어장의 어장개선사업 적용	3
3. 대상어장의 현황	4
가. 충남 태안어장	4
나. 전북 선유도어장	4
다. 전남 무안어장	5
라. 종패발생어장	6
제2장 수질조사	8
제1절 연구개요	8
제2절 재료 및 방법	9
1. 조사해역 및 현장조사	9
가. 조사해역	9
나. 현장조사	10
2. 조사항목과 조사방법	11
가. 조사항목	11
나. 분석기기	11
다. 분석방법	11
제3절 결과 및 고찰	14
1. 태안	14
가. 일반항목	14
나. 영양염류	24
2. 선유도	32
가. 일반항목	32
나. 영양염류	42
3. 무안	50
가. 일반항목	50
나. 영양염류	60
4. 종패어장	68

가. 일반항목	68
나. 영양염류	77
제4절 결론	84
제3장 퇴적물 조사	85
제1절 연구개요	85
제2절 재료 및 방법	86
1. 조사해역 및 현장조사	86
가. 조사해역	86
나. 현장조사	87
2. 조사항목 및 방법	88
가. 시료채취 및 보관	88
나. 퇴적물 입도분석	88
다. 유분 분석	90
라. 강열감량	90
마. 화학적산소요구량	90
바. 산화발성황화물	90
사. 퇴적물의 미량금속 분석	91
아. 퇴적물의 PAHs의 분석	92
제3절 결과 및 고찰	95
1. 태안	95
가. 퇴적물 입도분석	95
나. 공극수 유분	95
다. 강열감량	95
라. 화학적산소요구량	95
마. 산화발성황화물	96
바. 미량금속	96
사. 다환방향족탄화수소(PAHs)	99
2. 군산 선유도	112
가. 퇴적물 입도분석	112
나. 공극수 유분	112
다. 유기물	112
라. 화학적산소요구량	112
마. 산화발성황화물	113

바. 미량금속	113
사. 다환방향족탄화수소(PAHs)	116
3. 무안 만풍어장	129
가. 퇴적물 입도분석	129
나. 공극수 유분	129
다. 강열감량	129
라. 화학적산소요구량	129
마. 산화발성황화물	130
바. 미량금속	130
사. 다환방향족탄화수소(PAHs)	132
4. 치패 발생장	145
가. 지역개관	145
나. 조석 및 조류	145
다. 기후	145
라. 퇴적물 입도분석	146
마. 공극수 유분	146
바. 강열감량	146
사. 화학적산소요구량	146
아. 산화발성황화물	147
자. 미량금속	147
차. 다환방향족탄화수소(PAHs)	150
제4절 결론	162
제4장 저서생물 조사	164
제1절 연구개요	164
1. 연구내용	164
2. 조사어장 개황	164
3. 조사 정점 및 시기	165
4. 조사좌표	165
제2절 재료 및 방법	166
제3절 결과 및 고찰	167
1. 태안	167
가. 출현종	167
나. 출현종수 및 개체수	169

다. 출현종 및 중량	171
라. 군집지수	185
2. 군산	188
가. 출현종	188
나. 출현종수 및 개체수	190
다. 출현종 및 중량	192
라. 군집지수	205
3. 무안	208
가. 출현종	208
나. 출현종수 및 개체수	210
다. 출현종 및 중량	212
라. 군집지수	220
4. 치폐어장	223
가. 출현종	223
나. 출현종수 및 개체수	225
다. 출현종 및 중량	227
라. 군집지수	235
제4절 결론	238
1. 태안	238
2. 군산	240
3. 무안	242
4. 치폐어장	244
제5장 부유생물조사	246
제1절 식물플랑크톤	246
1. 연구개요	246
2. 재료 및 방법	246
가. 조사 시기 및 장소	246
나. 시료 채집 및 분석	246
3. 결과 및 고찰	247
가. 태안	247
나. 선유도	251
다. 무안	254
라. 무안 치폐발생장	258

4. 결론	261
제2절 동물플랑크톤	262
1. 연구개요	262
2. 재료 및 방법	262
가. 조사 시기 및 장소	262
나. 시료 채집 및 분석	262
3. 결과 및 고찰	264
가. 태안	264
나. 선유도	268
다. 무안	271
라. 무안 치패발생장	274
4. 결론	278
제6장 미세조류 조사	279
제1절 연구개요	279
제2절 재료 및 방법	280
1. 현장조사	280
가. 조사해역과 현장조사	280
나. 조사항목과 조사방법	282
제3절 결과 및 고찰	285
1. 저서미세조류의 군집	285
가. 태안	285
나. 군산(선유도)	294
다. 무안	304
라. 무안 종패어장	314
2. 공극수의 영양염 분석	324
가. 태안	324
나. 군산 선유도	326
다. 무안	328
라. 무안 종패어장	330
마. 고찰	333
3. 영양염에 대한 미세조류의 성장동력학 실험	334
가. 저서미세조류 <i>Nitzschia</i> sp.와 <i>Navicula</i> sp.의 질산염 성장 동력학	334
나. 저서미세조류 <i>Nitzschia</i> sp.와 <i>Navicula</i> sp.의 인산염 성장 동력학	335

다. 인산염 및 질산염 성장 동력학 결과로 본 <i>Nitzschia</i> sp.와 <i>Navicula</i> sp.의 이해	336
라. 고찰	337
제4절 결론	338
제7장 경제성 분석	339
제1절 효과분석	339
1. 연구개요	339
2. 재료 및 방법	340
가. 효과분석 사례 검토	340
나. 효과분석 대상	344
다. 효과분석 방법 및 이론 검토	347
3. 결과 및 고찰	357
가. 직접 효과	357
나. 간접 효과	360
제2절 경제성 분석	364
1. 연구개요	364
2. 연구의 한계점	364
3. 재료 및 방법	366
가. 분석방법	366
나. 분석을 위한 가정	367
4. 결과 및 고찰	372
가. 충청남도 태안 원청리 어촌계	372
나. 전라북도 군산 선유도 어촌계	374
다. 전라남도 무안 만풍 어촌계	377
5. 결론	379
제8장 참고문헌	381
부록	386

<표 목차>

표 1-2-1. 대상어장 사업 현황	7
표 2-2-1. 어장환경 개선사업 조사좌표	10
표 2-2-2. 어장환경 개선사업 조사 시기	10
표 2-2-3. 해양수질 조사항목	11
표 2-3-1. 해양수질 조사항목(일반항목)	18
표 2-3-2. 해양수질 조사항목(영양염류)	27
표 2-3-3. 해양수질 조사항목(일반항목)	36
표 2-3-4. 해양수질 조사항목(영양염류)	45
표 2-3-5. 해양수질 조사항목(일반항목)	54
표 2-3-6. 해양수질 조사항목(영양염류)	63
표 2-3-7. 해양수질 조사항목(일반항목)	71
표 2-3-8. 해양수질 조사항목(영양염류)	79
표 3-2-1. 어장환경 개선사업 조사좌표	87
표 3-2-2. 어장환경 개선사업 조사 시기	87
표 3-2-3. 입자의 크기에 따른 입도등급	89
표 3-2-4. 입도 통계변수 중 분급도의 분류(Folk, 1968)	90
표 3-2-5. 국외 해양 퇴적물 기준 (mg/kg)	91
표 3-2-6. 16종 PAHs의 물리·화학적 특성	94
표 3-3-1. 태안군 마검포 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	100
표 3-3-2. 태안군 마검포 아표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	100
표 3-3-3. 태안 지역의 표층퇴적물 내 금속원소 분석결과	101
표 3-3-4. 태안 지역의 아표층퇴적물 내 금속원소 분석결과	101
표 3-3-5. 군산 선유도 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	117
표 3-3-6. 군산 선유도 아표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	117
표 3-3-7. 군산 선유도 지역의 표층퇴적물 내 금속원소(Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, Cr, Ni) 분석결과	118
표 3-3-8. 군산 선유도 지역의 아표층퇴적물 내 금속원소 분석결과	118
표 3-3-9. 무안군 만풍 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	134
표 3-3-10. 무안 만풍지역의 표층퇴적물 내 금속원소 분석결과	134
표 3-3-11. 무안 송계 치패발생장 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상	151
표 3-3-12. 무안 송계 치패발생장 표층퇴적물 내 금속원소	151

표 3-3-13. 2009년 태안 갯벌어장의 PAHs 농도(국토해양부, 2009) (ng/g D.W.)	161
표 4-1-1. 어장환경 개선사업 조사 시기	165
표 4-1-2. 어장환경 개선사업 조사좌표	165
표 4-3-1. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)	174
표 4-3-2. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)	174
표 4-3-3. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)	175
표 4-3-4. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)	176
표 4-3-5. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)	177
표 4-3-6. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)	178
표 4-3-7. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)	179
표 4-3-8. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)	180
표 4-3-9. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)	181
표 4-3-10. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)	182
표 4-3-11. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)	183
표 4-3-12. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)	184
표 4-3-13. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수	186
표 4-3-14. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)	194
표 4-3-15. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)	194
표 4-3-16. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)	195
표 4-3-17. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)	196
표 4-3-18. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)	197
표 4-3-19. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)	198
표 4-3-20. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)	199
표 4-3-21. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)	200
표 4-3-22. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)	201
표 4-3-23. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)	202
표 4-3-24. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)	203
표 4-3-25. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)	204
표 4-3-26. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수	206
표 4-3-27. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)	214
표 4-3-28. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)	214
표 4-3-29. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)	215
표 4-3-30. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)	215
표 4-3-31. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)	216

표 4-3-32. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)	216
표 4-3-33. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)	217
표 4-3-34. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)	217
표 4-3-35. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)	218
표 4-3-36. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)	218
표 4-3-37. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)	219
표 4-3-38. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)	219
표 4-3-39. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수	221
표 4-3-40. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(1차)	229
표 4-3-41. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(1차)	229
표 4-3-42. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(2차)	230
표 4-3-43. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(2차)	230
표 4-3-44. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(3차)	231
표 4-3-45. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(3차)	231
표 4-3-46. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(4차)	232
표 4-3-47. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(4차)	232
표 4-3-48. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(5차)	233
표 4-3-49. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(5차)	234
표 4-3-50. 무안 치패어장의 대형저서동물 군집지수	236
표 5-1-1. 태안해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종	248
표 5-1-2. 선유도해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종	252
표 5-1-3. 무안해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종	255
표 5-1-4. 무안 치패발생장 어장환경개선 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종	259
표 6-2-1. 태안 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수	281
표 6-2-2. 군산(선유도) 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수	281
표 6-2-3. 무안 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수	281
표 6-2-4. 무안 종패어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수	281
표 6-3-1. 태안어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상	286
표 6-3-2. 태안 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	288
표 6-3-3. 태안 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	288

표 6-3-4. 태안 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	289
표 6-3-5. 태안 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	290
표 6-3-6. 태안 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	290
표 6-3-7. 태안 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류 ...	291
표 6-3-8. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 a 농도의 변화	292
표 6-3-9. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화	292
표 6-3-10. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화	293
표 6-3-11. 태안 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화	293
표 6-3-12. 군산(선유도) 어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상	294
표 6-3-13. 선유도 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	296
표 6-3-14. 선유도 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	297
표 6-3-15. 선유도 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	298
표 6-3-16. 선유도 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	299
표 6-3-17. 선유도 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	300
표 6-3-18. 선유도 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	301
표 6-3-19. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 a 농도의 변화	302
표 6-3-20. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화	302
표 6-3-21. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화	303
표 6-3-22. 선유도 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화	303
표 6-3-23. 무안어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상	305
표 6-3-24. 무안 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 307
표 6-3-25. 무안 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 308
표 6-3-26. 무안 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 309
표 6-3-27. 무안 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 310
표 6-3-28. 무안 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 311
표 6-3-29. 무안 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	· 311

표 6-3-30. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 a 농도의 변화	312
표 6-3-31. 무안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화	313
표 6-3-32. 무안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화	313
표 6-3-33. 무안 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화	314
표 6-3-34. 무안 종패어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상	315
표 6-3-35. 무안 종패어장 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	316
표 6-3-36. 무안 종패어장 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	318
표 6-3-37. 무안 종패어장 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	318
표 6-3-38. 무안 종패어장 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	319
표 6-3-39. 무안 종패어장 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	321
표 6-3-40. 무안 종패어장 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류	321
표 6-3-41. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 a 농도의 변화	322
표 6-3-42. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화	323
표 6-3-43. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화	323
표 6-3-44. 무안 종패어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화	323
표 6-3-45. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)	324
표 6-3-46. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)	325
표 6-3-47. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)	326
표 6-3-48. 태안 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화. ..	326
표 6-3-49. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)	327
표 6-3-50. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)	327
표 6-3-51. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)	328
표 6-3-52. 선유도 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화	328
표 6-3-53. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)	329
표 6-3-54. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)	329

표 6-3-55. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)	330
표 6-3-56. 무안 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화	330
표 6-3-57. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)	331
표 6-3-58. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)	331
표 6-3-59. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)	332
표 6-3-60. 무안 종패어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화	332
표 7-1-1. 분석의 필요성 및 목적	340
표 7-1-2. 어장정화에 의한 생산성 증대 효과	341
표 7-1-3. 효과의 평가항목과 기본적인 평가방법	342
표 7-1-4. 분석의 대상지역 사업현황	344
표 7-1-5. 태안 원청리 어촌계 현황	345
표 7-1-6. 군산 선유도 어촌계 현황	346
표 7-1-7. 무안 만풍 어촌계 현황	347
표 7-1-8. 어장환경개선 사업의 효과	349
표 7-1-9. 유무검증과 전후검증	350
표 7-1-10. 주요 생산물의 가격 추정	358
표 7-1-11. 어업인 및 전문가 생산량 증가 설문조사 결과	359
표 7-1-12. 어장환경개선사업의 연간 생산량 증가	359
표 7-1-13. TCM 분석에 이용된 변수 개요	360
표 7-1-14. TCM 분석에 이용된 변수 요약	361
표 7-1-15. 간접편의 추정 실증분석 결과	362
표 7-1-16. 어장환경개선의 간접편의 추정결과	363
표 7-2-1. 조사시점 차이확인을 위한 수사자원 생산량 가정	365
표 7-2-2. 경제성 분석 방법별 특징	367
표 7-2-3. 원청리 어촌계 어장환경개선사업 현황	368
표 7-2-4. 선유도 어촌계 어장환경개선사업 현황	368
표 7-2-5. 만풍 어촌계 어장환경개선사업 현황	369
표 7-2-6. 지역별 어장환경개선사업비 총괄	369
표 7-2-7. 국내 공공투자사업 사회적 할인율	370
표 7-2-8. 국외 공공투자사업 사회적 할인율	370

표 7-2-9. 태안 원청리 시나리오-I	373
표 7-2-10. 태안 원청리 시나리오-II	373
표 7-2-11. 태안 원청리 시나리오-III	374
표 7-2-12. 군산 선유도 시나리오-I	376
표 7-2-13. 군산 선유도 시나리오-II	376
표 7-2-14. 군산 선유도 시나리오-III	377
표 7-2-15. 무안 만풍 시나리오-I	378
표 7-2-16. 무안 만풍 시나리오-II	378
표 7-2-17. 무안 만풍 시나리오-III	379
표 7-2-18. 경제성 분석 종합 결과	380

<그림 목차>

그림 1-2-1. 충남 태안 어장개선사업 구역도.	5
그림 1-2-2. 전북 선유도 어장개선사업 구역도.	5
그림 1-2-3. 전남 무안 어장개선사업 구역도.	6
그림 1-2-4. 전남 무안 종패어장 구역도.	7
그림 2-2-1. 각 해역별 수질 분석 정점도.	9
그림 2-3-1. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.	19
그림 2-3-2. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 변화.	19
그림 2-3-3. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.	20
그림 2-3-4. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.	20
그림 2-3-5. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적산소요구량 농도 변화. ...	21
그림 2-3-6. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.	21
그림 2-3-7. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.	22
그림 2-3-8. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 농도 변화.	22
그림 2-3-9. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 농도 변화.	23
그림 2-3-10. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화. ...	28
그림 2-3-11. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.	28
그림 2-3-12. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.	29
그림 2-3-13. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.	29
그림 2-3-14. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.	30
그림 2-3-15. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.	30
그림 2-3-16. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.	31
그림 2-3-17. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.	31
그림 2-3-18. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.	37
그림 2-3-19. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화.	37
그림 2-3-20. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.	38
그림 2-3-21. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.	38
그림 2-3-22. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화.	39
그림 2-3-23. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.	39
그림 2-3-24. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.	40
그림 2-3-25. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화.	40
그림 2-3-26. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화.	41

그림 2-3-27. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.	46
그림 2-3-28. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화. …	46
그림 2-3-29. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화. ……	47
그림 2-3-30. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화. ……	47
그림 2-3-31. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화. ……	48
그림 2-3-32. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화. ……	48
그림 2-3-33. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화. ……	49
그림 2-3-34. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화. ……	49
그림 2-3-35. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화. ……	55
그림 2-3-36. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화. ……	55
그림 2-3-37. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화. ……	56
그림 2-3-38. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화. ……	56
그림 2-3-39. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화.	57
그림 2-3-40. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화. ……	57
그림 2-3-41. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화. ……	58
그림 2-3-42. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화. ……	58
그림 2-3-43. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화. ……	59
그림 2-3-44. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화. …	64
그림 2-3-45. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화. ……	64
그림 2-3-46. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화. ……	65
그림 2-3-47. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화. ……	65
그림 2-3-48. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화. ……	66
그림 2-3-49. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화. ……	65
그림 2-3-50. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화. ……	67
그림 2-3-51. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화. ……	67
그림 2-3-52. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화. ……	72
그림 2-3-53. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화. ……	72
그림 2-3-54. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화. ……	73
그림 2-3-55. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화. ……	73
그림 2-3-56. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화. ·	74
그림 2-3-57. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화. ……	74
그림 2-3-58. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화. ……	75
그림 2-3-59. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화. ……	75
그림 2-3-60. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화. ……	76

그림 2-3-61. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.	80
그림 2-3-62. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.	80
그림 2-3-63. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.	81
그림 2-3-64. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.	81
그림 2-3-65. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.	82
그림 2-3-66. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.	82
그림 2-3-67. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.	83
그림 2-3-68. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.	83
그림 3-2-1. 각 어장별 퇴적물 분석 정점도.	86
그림 3-2-2. 분석대상인 16종 PAHs의 분자구조.	93
그림 3-3-1. 태안 마검포 어장의 공극수내 정점별 유분농도 농도.	102
그림 3-3-2. 태안 마검포 어장의 공극수내 조사시기별 유분농도 농도.	102
그림 3-3-3. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 강열감량 농도.	103
그림 3-3-4. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 강열감량 농도.	103
그림 3-3-5. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 화학적산소요구량 농도.	104
그림 3-3-6. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 화학적산소요구량 농도.	104
그림 3-3-7. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 산휘발성황화물 농도.	105
그림 3-3-8. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 산휘발성황화물 농도.	105
그림 3-3-9. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.	106
그림 3-3-10. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 철 농도.	106
그림 3-3-11. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 구리 농도.	107
그림 3-3-12. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 납 농도.	107
그림 3-3-13. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 아연 농도.	108
그림 3-3-14. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.	108
그림 3-3-15. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 수은 농도.	109
그림 3-3-16. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 비소 농도.	109
그림 3-3-17. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 크롬 농도.	110
그림 3-3-18. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 니켈 농도.	110
그림 3-3-19. 태안 마검포 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.	111
그림 3-3-20. 군산 선유도 어장의 공극수내 조사지역별 유분농도 변화.	119
그림 3-3-21. 군산 선유도 어장의 공극수내 조사시기별 유분농도 변화.	119
그림 3-3-22. 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 강열감량 변화.	120
그림 3-3-23. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 강열감량 변화.	120
그림 3-3-24. 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화.	121

그림 3-3-25. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화.	121
그림 3-3-26. 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 산휘발성황화물 농도.	122
그림 3-3-27. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 산휘발성황화물 농도.	122
그림 3-3-28. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.	123
그림 3-3-29. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 철 농도.	123
그림 3-3-30. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 구리 농도.	124
그림 3-3-31. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 납 농도.	124
그림 3-3-32. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 아연 농도.	125
그림 3-3-33. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.	125
그림 3-3-34. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 수은 농도.	126
그림 3-3-35. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 비소 농도.	126
그림 3-3-36. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 크롬 농도.	127
그림 3-3-37. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 니켈 농도.	127
그림 3-3-38. 군산 선유도 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.	128
그림 3-3-39. 무안 만풍어장의 공극수내 조사지역별 유분 농도.	135
그림 3-3-40. 무안 만풍 어장의 공극수내 조사시기별 유분 농도.	135
그림 3-3-41. 무안 만풍 어장의 표층퇴적물내 강열감량의 농도.	136
그림 3-3-42. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 강열감량의 농도.	136
그림 3-3-43. 무안군 만풍 어장의 표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.	137
그림 3-3-44. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.	137
그림 3-3-45. 무안 만풍어장의 표층퇴적물내 산휘발성황화물의 농도.	138
그림 3-3-46. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 산휘발성황화물의 농도.	138
그림 3-3-47. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.	139
그림 3-3-48. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 철 농도.	139
그림 3-3-49. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 구리 농도.	140
그림 3-3-50. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 납 농도.	140
그림 3-3-51. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 아연 농도.	141
그림 3-3-52. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.	141
그림 3-3-53. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 수은 농도.	142
그림 3-3-54. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 비소 농도.	142
그림 3-3-55. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 크롬 농도.	143
그림 3-3-56. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 니켈 농도.	143
그림 3-3-57. 무안 만풍 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.	144
그림 3-3-58. 무안 송계 치패발생장 공극수내 조사지역별 유분의 농도.	152

그림 3-3-59. 무안 송계 치패발생장 공극수내 조사시기별 유분의 농도.	152
그림 3-3-60. 무안군 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 강열감량의 농도.	153
그림 3-3-61. 무안군 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 강열감량의 농도.	153
그림 3-3-62. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.	154
그림 3-3-63. 무안 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.	154
그림 3-3-64. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.	155
그림 3-3-65. 무안 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.	155
그림 3-3-66. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.	156
그림 3-3-67. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 철 농도.	156
그림 3-3-68. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 구리 농도.	157
그림 3-3-69. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 납 농도.	157
그림 3-3-70. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 아연 농도.	158
그림 3-3-71. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.	158
그림 3-3-72. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 수은 농도.	159
그림 3-3-73. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 비소 농도.	159
그림 3-3-74. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 크롬 농도.	160
그림 3-3-75. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 니켈 농도.	160
그림 3-3-76. 무안 송계 치패발생장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.	161
그림 4-3-1. 태안어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.	168
그림 4-3-2. 태안어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.	170
그림 4-3-3. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수.	187
그림 4-3-4. 군산어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.	189
그림 4-3-5. 군산어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.	191
그림 4-3-6. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수.	207
그림 4-3-7. 무안어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.	209
그림 4-3-8. 무안어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.	211
그림 4-3-9. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수.	222
그림 4-3-10. 무안 치패어장의 동물군별 출현율.	224
그림 4-3-11. 무안 치패어장의 출현종수 및 출현개체수.	226
그림 4-3-12. 무안 치패어장의 대형저서동물 군집지수.	237
그림 5-1-1. 태안해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.	249
그림 5-1-2. 태안해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.	249
그림 5-1-3. 태안해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의	

출현종 조성 및 현존량 비교.	250
그림 5-1-4. 선유도해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.	252
그림 5-1-5. 선유도해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.	253
그림 5-1-6. 선유도해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.	253
그림 5-1-7. 무안해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.	256
그림 5-1-8. 무안해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.	256
그림 5-1-9. 무안해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.	257
그림 5-1-10. 무안 치패발생장의 어장환경개선정점(1,3)과 대조어장(4)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.	259
그림 5-1-11. 무안 치패발생장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.	260
그림 5-1-12. 무안 치패발생장의 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.	260
그림 5-2-1. 현 조사에서 사용된 동물플랑크톤 원추형 네트.	263
그림 5-2-2. 동물플랑크톤 채집 및 분석 흐름도.	263
그림 5-2-3. 태안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.	266
그림 5-2-4. 태안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플 랑크톤 분류군의 계절적 변동.	266
그림 5-2-5. 야광충(<i>Noctiluca scintillans</i>)의 형태.	267
그림 5-2-6. 선유도 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크 톤 밀도의 계절적 변동.	270
그림 5-2-7. 선유도 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.	270
그림 5-2-8. 무안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.	273
그림 5-2-9. 무안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플 랑크톤 분류군의 계절적 변동.	273
그림 5-2-10. 무안 치패 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.	275
그림 5-2-11. 무안 치패 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요	

동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.	276
그림 5-2-12. 현 조사에서 출현한 동물플랑크톤 분류군 중 지각류(Cladocera)와 유생군.	276
그림 5-2-13. 현 조사에서 출현한 동물플랑크톤 분류군 중 요각류((Copepoda). ...	277
그림 6-2-1. 각 해역별 미세조류 및 공극수 영양염류 분석 정점도.	280
그림 6-3-1. (a) 저서미세조류 <i>Nitzschia</i> sp.의 질산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 질산염 농도에 따른 <i>Nitzschia</i> sp.의 성장곡선.	334
그림 6-3-2. (a) 저서미세조류 <i>Navicular</i> sp.의 질산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 질산 염 농도에 따른 <i>Navicular</i> sp.의 성장곡선.	335
그림 6-3-3. (a) 저서미세조류 <i>Nitzschia</i> sp.의 인산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 인산염 농도에 따른 <i>Nitzschia</i> sp.의 성장곡선.	336
그림 6-3-4. (a) 저서미세조류 <i>Navicular</i> sp.의 인산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 인산염 농도에 따른 <i>Navicular</i> sp.의 성장곡선.	336
그림 7-1-1. 사업의 사회·경제적 타당성 평가	339
그림 7-1-2. 일본 미카지역 수산물 생산량 증대 현황	343
그림 7-1-3. 생산자잉여증가효과	351
그림 7-1-4. 비용 절감효과	352
그림 7-1-5. 생산량 증가 인식 조사를 통한 직접효과 추정	353
그림 7-1-6. 충남 바지락 가격변화 추이	357
그림 7-1-7. 전북 바지락 가격변화 추이	357
그림 7-1-8. 전남 낙지 가격변화 추이	358
그림 7-2-1. 분석기간산정을 위한 조사 결과	371

제 1 장 서론

제 1절 연구의 필요성 및 목적

○ 연안 해역은 항만 및 주변공간시설의 개발이용도가 높은 반면, 육지로부터 대량으로 유입되는 생활하수와 공장 폐수 등의 오염부하가 축적되기 쉬워 부영양화, 빈산소 수괴 및 적조현상 등으로 어장환경이 점점 악화되고 있다.

○ 이러한 환경에서 저질내의 물질의 이동과 교환은 극히 미량으로 존재하는 간극수를 통하여 행하여지기 때문에 수질의 변화와 비교하여 극도로 제한되어 있다. 예를 들면, 동계의 수주의 연직혼합은 용존산소를 저층까지 운반하지만, 유기물의 고농도로 포함되어 있는 전체 저질을 산화시키기에 부족하다.

○ 이러한 환경에서는 수온의 상승과 함께 박테리아 등이 대량으로 증식하여 유기물을 분해함으로써 산소가 급격히 감소하고 황하수소와 암모니아와 같은 유독물질이 생성된다. 이와 같은 환경에서는 생물의 서식을 곤란하게 만들어 생태계의 구조를 파괴한다.

○ 특히 저층에 형성된 빈산소 수괴가 수하식 양식업이 성행하는 상층으로 용승할 경우 직접적인 생물폐사를 일으킬 수 있다. 이를 개선하기 위해 하천수의 물질 부하량을 조절하는 개선책을 제시하지만 한번 악화되어진 저질 환경을 개선하기 위해서는 막대한 시간과 예산이 필요로 한다. 지금까지는 이러한 환경을 일시에 개선하기 위해 준설이나 매립과 같은 토목적인 방법을 사용하여 왔다.

○ 연안오염 중 유류오염은 다량의 기름이 일시에 해상으로 유출되기 때문에 해양환경을 황폐화시키게 되는데, 유출된 기름은 생물체의 세포막에 작용하여 직접적인 치사독성을 유발하고, 먹이섭취나 행동이상을 초래하기도 하며, PAHs(Polycyclic aromatic hydrocarbons)와 같은 발암성물질이 체내에 농축되며, 환경변화에 따른 생물의 종조성과 지리적 분포의 변화를 초래한다(Clark et al. 1997).

○ 유출된 기름 중 수중에 존재하는 작은 입자상물질과 부착하게 되어 비중이 해수보다 높아지게 되면 해저로 침강하게 된다. 연안역의 경우 입자상 물질이 해양에 비해 상대적으로 높기 때문에 유출유가 쉽게 부착되어 바닥으로 침전이 용이하게 된다. 이렇게 침전된 기름성분들은 미생물분해가 일어남과 동시에 해저층의 산소를 모두 소모하게 됨으로 해저환경이 anoxic condition이나 anaerobic condition으로 변하게 되어 해저 생물들에게 산소결핍으로 인한 질식과 같은 치명적인영향을 미치게 됨은 물론이고 미생물 분해가 매우 느려 수십 년 동안 잔존하는 경우가 많다(Clark et al. 1997).

○ 한편 저서미세조류는 조간대와 연안해역의 주요한 일차 생산자로 일부지역에서는 총 일차생산자의 약 50% 이상까지 점유한다(Brotas and Catarino 1995; MacIntyre et al.

1996; Underwood and Kromkamp 1999). 저서미세조류 중 대부분을 차지하는 부착조류는 extracellular polymeric substances (EPS)를 분비한다. 이 분비물은 퇴적물의 표면에 바이오필름(biofilm)을 형성하여 퇴적물의 확산이나 재부유를 막는 안정제로 작용하며 (Paterson 1989; Smith and Underwood 1998), 상위영양단계 meiofauna와 macrofauna의 중요한 탄소 공급원이 된다(Decho 1990).

○ 최근 보고에 따르면 일본 Hiroshima 만에서 우점하는 저서성 미세조류 *Nitzschia* sp.의 인산염의 동력학 실험을 수행한 결과 K_s (영양염에 대한 반포화상수)는 부유성 미세조류보다 103-104 배 높다고 보고하였다(廣島縣環境保健協會 2003).

○ 이는 저서성 미세조류가 극도로 높은 인산염의 환경에 적응되어 있다는 것을 알 수 있다. 더욱이 여러 가지 생리학적 실험을 통해 이들 조류가 성장에 필요한 양의 약 10 배의 인산염을 흡수한다는 것이 밝혀졌다. 이렇게 여분의 영양염을 흡수하는 것은 성장 이외에 다른 생리적인 요소에 사용한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 저서성 미세조류의 높은 영양염 흡수율과 축적율은 퇴적물과 수층사이의 영양염 순환에 중요한 조절자임을 증명한다.

○ 따라서 부영양화 퇴적층에서 서식하는 종과 영양정도가 낮은 퇴적물에서 서식하는 종의 변화도 나타날 것으로 생각되기 때문에 어장의 환경 개선 사업에 따른 우점종의 변화도 수반될 것으로 보인다. 따라서 어장환경 개선 사업의 전과 후의 환경에 따른 저서미세조류의 변화를 관찰하고 배양실험을 통하여 개선 전과 후의 우점종에 대한 영양염 동력학적 특성을 밝혀 저서미세조류의 생태천이를 과학적으로 조사할 필요가 있다.

○ 본 과업에서는 어장환경 개선 사업의 전과 후의 환경에 따른 어장의 수질환경, 퇴적물 환경, 동식물 플랑크톤 및 저서미세조류의 변화를 조사하여 개선 전과 후의 환경적 변화와 생물학적 변화를 평가함으로써 어장정화사업의 개선효과를 밝히는데 있다.

제 2절 대상어장의 선정

1. 대상어장의 선정

- 유류피해지역의 어장환경개선사업을 추진을 위한 대상어장의 선정은 과업지시서에 명시된 해역인 충남연안어장, 전북연안어장, 전남연안어장 각각 1개소, 패류종패발생어장 1개소를 구성되어 있다.
- 대상어장 선정을 위하여 어장환경개선사업 위탁기관인 한국어촌어항협회와 지자체와의 협의를 통하여 결정되었다. 대상어장 선정 관련 자료는 어촌어항협회에서 추진하는 서해 유류피해어장 정화사업 대상어장의 자료를 이용하였고, 충남, 전북, 전남어장에 대해 각 어촌계와의 설명회를 거친 후 대상어장을 선정하였다.
- 한국어촌어항협회에서 어장에 대한 어장정화공법의 적용은 어장장화사업 추진 전에 한국어촌어항협회에서 대상어장의 어촌계장과 협의를 거친 후 최종 결정하였다.
- 어장정화사업을 추진하는 한국어촌어항협회의에서는 서해연안에 수십 개의 어장에 대하여 어장정화사업을 추진하였으며, 본 과업의 목적을 수행할 수 있는 어장정화사업 대상어장의 선정을 위해서는 대상어장의 해양생태학적 특징, 수질 및 저질의 환경상태, 생산하는 패류종 등 여러 가지 요인을 평가하여 선정하여야 한다.
- 본 과업 추진을 위해 패류생산의 가장 중요한 요소인 환경적 요인을 우선하여 선정하였다. 패류는 퇴적환경에 의해 생산품종이 결정되는데, 본 연구에서는 퇴적물의 조성 서로 다른 어장을 선정하였다. 선정된 어장은 모래어장(충남어장)과 사니질이 혼재되어 있는 어장(전북어장), 니질로 구성된 어장(전남어장)으로 구분하였다. 또한 종패발생어장으로 자연적인 치패가 발생하는 어장인 전남 무안어장을 선정하였다.

2. 대상어장의 어장개선사업 적용

각 어장별로 추진되는 어장개선방법의 적용은 어촌어항협회와 대상 어촌계와의 협의를 통해 결정되었다. 최초에는 어촌어항협회에서 각 대상어장에 대한 어장개선방법에 대해 적합성을 검토하여 어장정화계획을 수립하였고, 그 자료를 바탕으로 대상 어촌계와 협의하였으며, 협의과정에서 어촌계의 요구에 의해 일부 어장개선사업이 변경되었으며, 한 어장에서도 각기 다른 어장개선방법을 적용한 사례도 있다.

어장개선방법의 적용시 적합성을 판정할 수 있는 과학적 근거는 아직 마련되어 있지 않으며, 다만, 해양수산사업 집행지침에 따라 실시되어지고 있다. 현행 어장정화사업에는 “양식어장정화사업”과 “특별관리어장정화사업” 2종류로 구분되어 있다.

구 분	양식어장정화사업	특별관리어장정화사업
대상	어촌계 또는 수협어장	만단위의 광역해역
근거법령	어장관리법 제14조, 제15조, 제24조	어장관리법 제14조, 제15조, 제24조
사업주관기관	시장,군수,구청장(어촌계, 수협 대행가능)	시장,군수,구청장(단, 사업해역이 2개 이상의 시·군·구 관할일 경우 시·도지사)
사업내용	퇴적물수거, 바닥갈이, 경운, 객토, 해적생물구제 등	퇴적물수거, 바닥갈이, 경운, 객토, 저질준설 및 어장재배치 등
지원 대상	어촌계 및 수협어장, 공유수면 5개 이상의 개인어장	특별관리어장
지원조건	국비(80%), 지방비(10%), 자담(10%)	국비(80%), 지방비(20%)

3. 대상어장의 현황

본 과업을 수행하기위해 선정된 대상어장은 유류피해어장으로 충남연안 (태안양식 제 421호), 전북연안 (군산 마을어업 제 5254호), 전남연안 (무안 마을어업 제 2055호) 및 자연치패 발생어장 (무안양식 제 10218호 내측)이 선정되었다.

가. 충남 태안어장

충남 태안어장은 총 면적 20.5 ha로 충남 태안군 태안남부수협 어촌계에 소속되어있는 원청리 어촌계 어장으로 주 양식대상생물은 바지락으로 조사되었다. 본 어장의 개선사업은 2010년 10월 5일 시작하여 2010년 10월 13일에 종료하였으며, 개선사업으로는 잡석제거와 경운작업을 한 후 자갈을 살포하였다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 굴삭기, 경운기를 이용하여 어장환경 개선을 하였다.

나. 전북 선유도 어장

전북 군산어장은 바지락 양식장으로 군산시 선유도리에 위치하고 있으며 선유도 마을어업 제5254호로 총 면적 25 ha로 조사되었다. 본 어장의 환경개선사업은 2010년 10월 6일 시작하여 2010년 10월 23일에 종료했으며, 개선사업으로는 잡석제거 및 운반, 투석작업과 조간대 폐기물 수거 및 운반 작업을 실시한 것으로 나타났다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 로우더, 예선, 대선, 굴삭기를 이용하여 개선사업을 실시하였다.

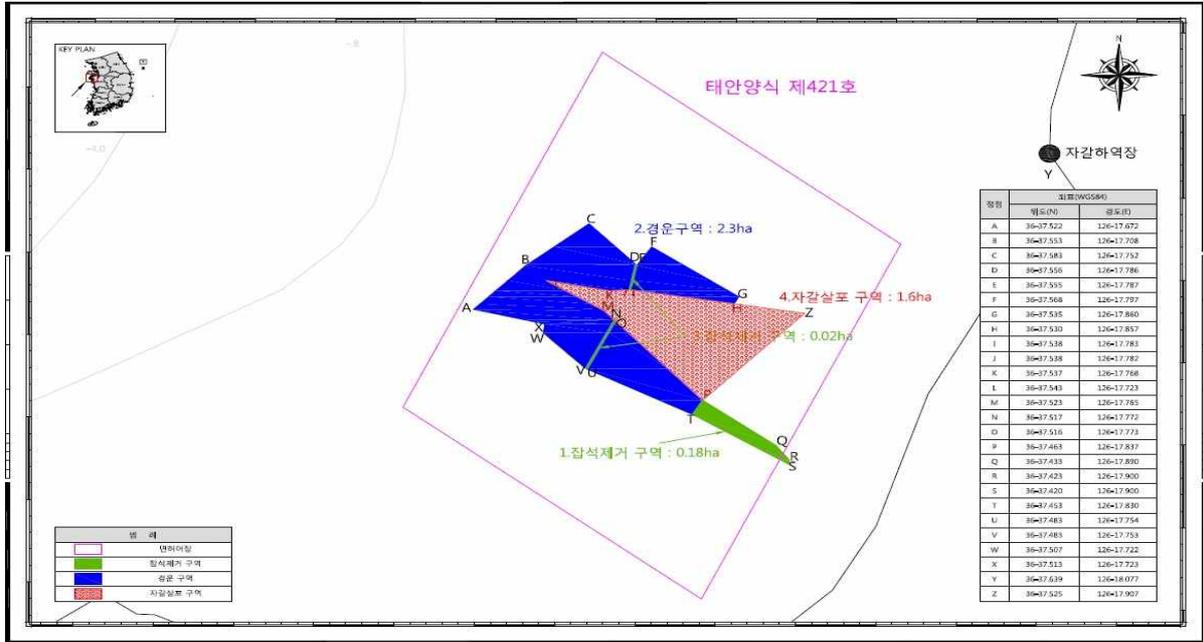


그림 1-2-1. 충남 태안 어장개선사업 구역도

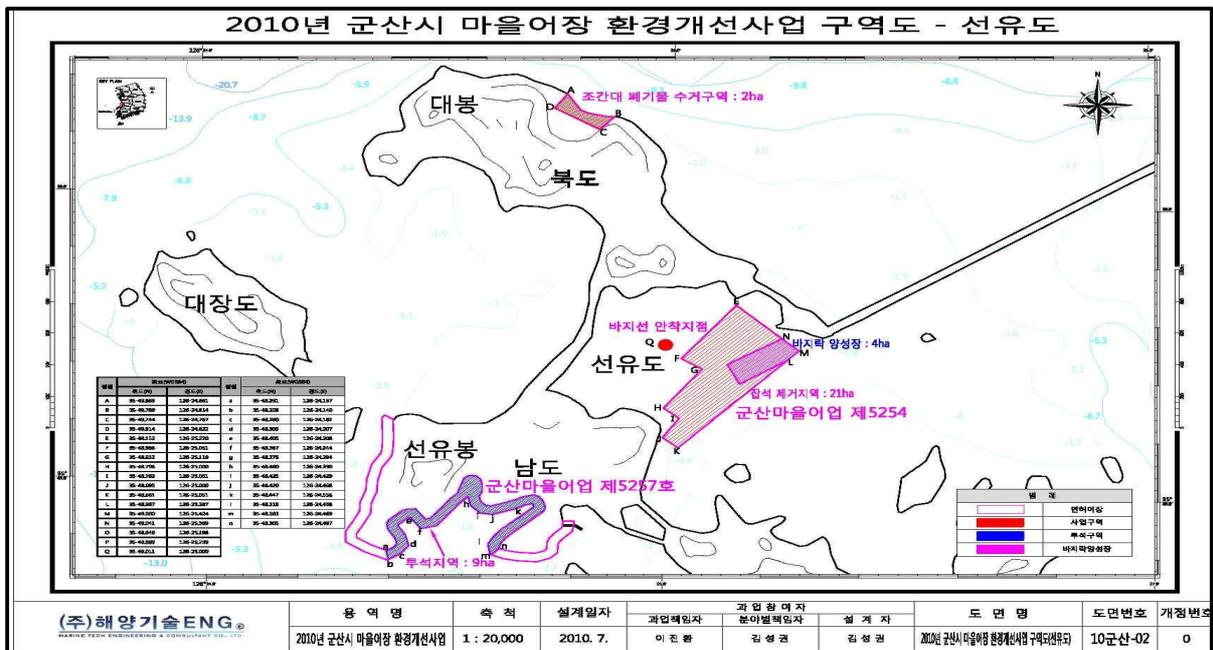


그림 1-2-2. 전북 선유도 어장개선사업 구역도

다. 전남 무안어장

전남 무안어장은 무안군 만풍리 신평마을 앞 어장에 위치한 무안마을 제 2055호로 총 면적은 54 ha로 구성되어 있으며, 주 양식대상생물은 갯지렁이류와 낙지, 기타 조개이며 어장 환경개선사업은 2010년 9월초에 시작하여 2010년 10월 20일에 종료한 것으로 조사되었고, 개선사업 내용으로는 저질이 니질로 이루어져 있고, 유류피해시 저질에 타르가

침적되어 경운작업이 필요하다는 간담회 의견에 따라 폐지주 제거, 운반, 육상 하역 및 조간대 폐기물 수거작업과 어장 바닥 경운 작업을 통해 가연성 폐기물 및 철재류 폐기물을 수거하는 방식으로 진행되었다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 작업선과 운반선을 이용하여 가연성 폐기물(폐지주 80 ton, 가연성 18 ton) 및 철재류 폐기물(폐지주 33 ton)을 수거하였다.

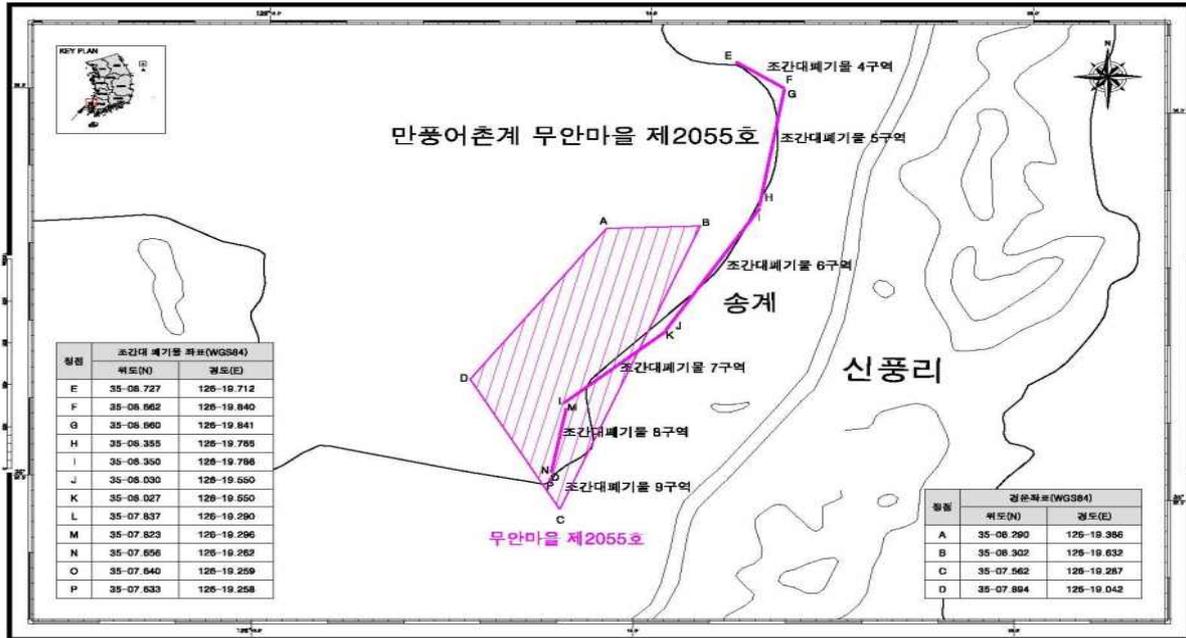


그림 1-2-3. 전남 무안어장 어장개선사업 구역도

라. 종패발생어장

전남 무안치패어장은 바지락이 자연적으로 발생하는 어장으로 무안군 송석리 송계마을 앞 지주식 김 양식장(무안 제 10218호, 180 ha)과 중첩된 지역으로, 지반은 모래와 펄이 혼합된 형태로서 바지락 치패가 서식하기에 적당한 형태를 띠고 있었으며, 간조 때 모래사변이 드러나며, 본 어장의 지역은 어장 개선사업을 하지 않은 것으로 조사되었다.

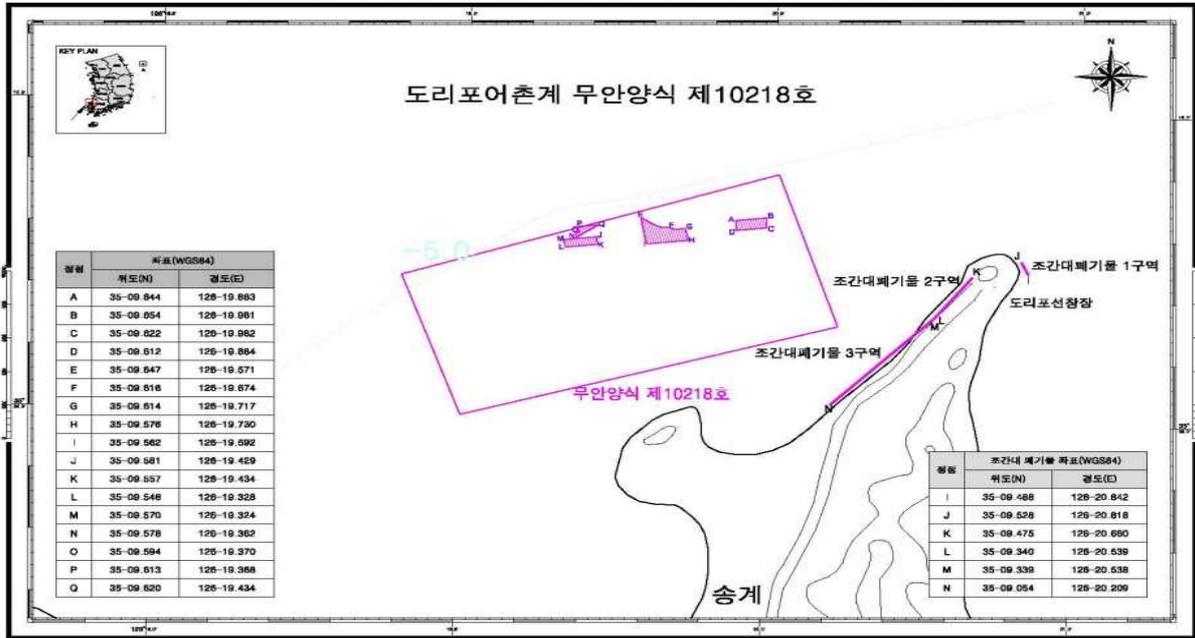


그림 1-2-4. 전남 무안 치폐어장 구역도

표 1-2-1. 대상어장 사업현황

구분	충청남도 태안지역	전라북도 군산지역	전라남도 무안지역
어촌계	원청리 어촌계	선유도 어촌계	만풍 어촌계
사업시기	10월 5일(시작)~ 10월 13일(종료)	10월 6일(시작)~ 10월 23일(종료)	9월초(시작)~ 10월 20일(종료)
사업어장	태안양식 제 421호 (면적 20.5ha)	마을어업 제5254호 (면적 25ha)	무안마을어업 제2055호 (면적 54ha)
사업내용	태안양식 제 421호 (잡석제거, 경운, 자갈살포)	잡석제거, 조간대폐기물 제거(61톤), 투석, 경운	조간대폐기물수거사업, 어장바닥경운작업
어장특성	양식어장 바지락, 굴 등 양식	마을어장 바지락, 굴, 가무락 등 양식	마을어장 낙지, 굴 등 양식

제 2 장 수질 조사

제 1 절 연구개요

연안 해역은 항만 및 주변공간시설의 개발이용도가 높은 반면, 육지로부터 대량으로 유입되는 생활하수와 공장 폐수 등의 오염부하가 축적되기 쉬워 부영양화, 빈산소 수괴 및 적조현상 등으로 어장환경이 점점 악화되고 있다. 이러한 환경에서 저질내의 물질의 이동과 교환은 극히 미량으로 존재하는 간극수를 통하여 행하여지기 때문에 수질의 변화와 비교하여 극도로 제한되어 있다.

이러한 환경에서는 수온의 상승과 함께 박테리아 등이 대량으로 증식하여 유기물을 분해함으로써 산소가 급격히 감소하고 황하수소와 암모니아와 같은 유독물질이 생성된다. 이와 같은 환경에서는 생물의 서식을 곤란하게 만들어 생태계의 구조를 파괴한다.

특히 저층에 형성된 빈산소 수괴가 수하식 양식업이 성행하는 상층으로 용승할 경우 직접적인 생물폐사를 일으킬 수 있다. 이를 개선하기 위해 하천수의 오염부하량 저감대책이 필요하지만 환경을 개선하기 위해서는 막대한 시간과 예산이 필요로 한다.

또한 연안오염 중 유류오염은 다량의 기름이 일시에 해상으로 유출되기 때문에 해양환경을 황폐화시키게 되는데, 유출된 기름은 생물체의 세포막에 작용하여 직접적인 치사독성을 유발하고, 먹이섭취나 행동이상을 초래하기도 하며, PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)와 같은 발암성물질이 체내에 농축되며, 환경변화에 따른 생물의 종조성과 지리적 분포의 변화를 초래한다(Clark et al. 1997).

유출된 기름 중 수중에 존재하는 작은 입자상물질과 부착하게 되어 비중이 해수보다 높아지게 되면 해저로 침강하게 된다. 연안역의 경우 입자상 물질이 해상에 비해 상대적으로 높기 때문에 유출유가 쉽게 부착되어 바닥으로 침전이 용이하게 된다. 이렇게 침전된 기름성분들은 미생물분해가 일어남과 동시에 해저층의 산소를 모두 소모하게 됨으로 해저환경이 anoxic condition이나 anaerobic condition으로 변하게 되어 해저 생물들에게 산소결핍으로 인한 질식과 같은 치명적인영향을 미치게 됨은 물론이고 미생물 분해가 매우 느려 수십 년 동안 잔존하는 경우가 많다(Clark et al. 1997).

이처럼 부영양화된 해역이나 유류오염의 영향을 받은 해역은 해양수질 및 저질환경뿐만 아니라 그곳에 서식하는 부유생물, 저서생물 및 미세저서조류의 우점종 및 생태계에 큰 영향을 일으키며 해역의 생산력을 감소시키는 원인이 된다.

이를 개선하기 위하여 수행하는 어장환경개선 방법으로 경운, 객토, 모래살포, 투석, 저질개선제 투여 등 여러 방법을 통하여 개선을 수행하고 있고, 이와 관련한 연구조사가 이루어져 왔으나 대부분 부분적인 조사를 수행하였고, 전반적 수저질환경의 변화 및 주요 저서생태계 회복 및 생산력의 변화, 경제적 평가 등과 연계된 연구는 이루어지지 않았다.

본 조사연구는 어장환경 개선 사업의 전과 후의 환경에 따른 어장수질환경의 개선을 평가하고, 어장정화의 효과를 밝혀 어장 생산성 향상 방안을 모색하는데 목적을 둔다.

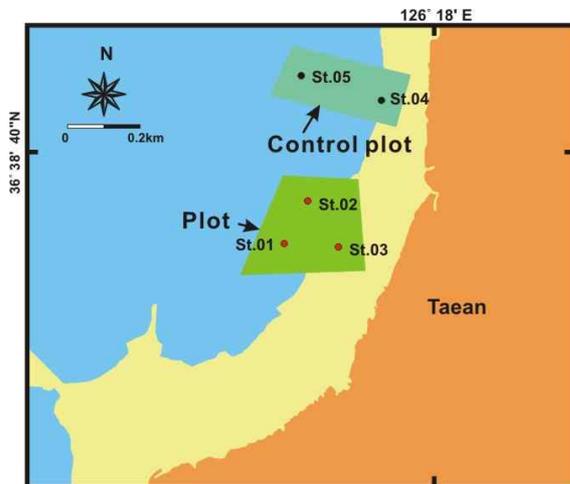
제 2 절 재 료 및 방 법

1. 조사해역 및 현장조사

가. 조사해역

전남연안 1개소(무안), 전북연안 1개소(군산, 선유도), 충남연안 1개소(태안) 및 무안의 종패어장 등 3개 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 각 어장에서 사업내측(어장) 3정점과 사업외측(대조구) 2정점을 선정하여 조사를 실시하였다. 조사 시기는 총 6회로 예비조사 1회, 사업 전 1회, 사업 후 4회를 실시되었다(그림 2-2-1).

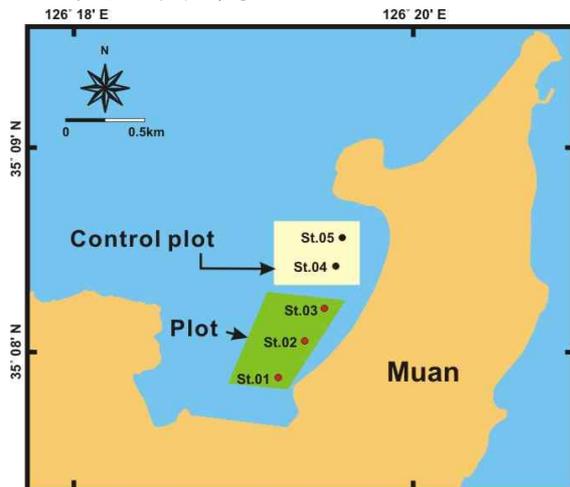
A : 태안 패류어장



B : 군산(선유도) 패류어장



C : 무안 패류어장



D : 무안 종패어장

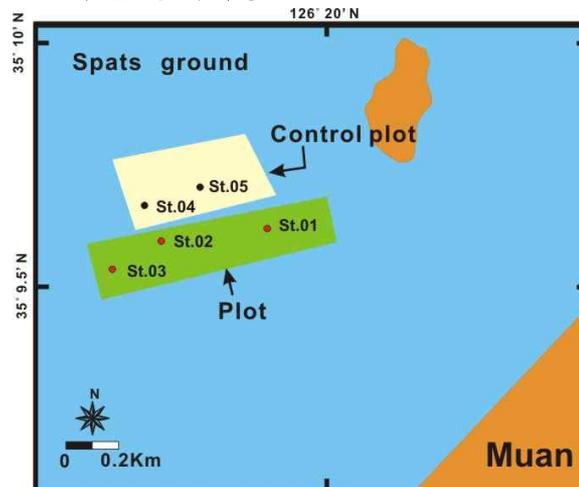


그림 2-2-1. 각 해역별 수질 분석 정점도.

표 2-2-1. 어장환경 개선사업 조사좌표

조사 지역	어장 구분	정점	N	E	비고
태안	사업내(어장)	사업내1	36° 37' 518"N	126° 17' 638"E	
		사업내2	36° 37' 451"N	126° 17' 838"E	
		사업내3	36° 37' 567"N	126° 17' 812"E	
	대조	대조1	36° 37' 774"N	126° 17' 956"E	
		대조2	36° 37' 797"N	126° 17' 763"E	
군산	사업내(어장)	사업내1	35° 48' 935"N	126° 25' 310"E	
		사업내2	35° 48' 883"N	126° 25' 235"E	
		사업내3	35° 48' 828"N	126° 25' 152"E	
	대조	대조1	35° 48' 912"N	126° 25' 090"E	
		대조2	35° 49' 025"N	126° 25' 180"E	
무안	사업내(어장)	사업내1	35° 07' 876"N	126° 19' 197"E	
		사업내2	35° 08' 055"N	126° 19' 353"E	
		사업내3	35° 08' 214"N	126° 19' 472"E	
	대조	대조1	35° 08' 418"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 08' 560"N	126° 19' 579"E	
무안(치패)	어장내(어장)	어장내1	35° 09' 623"N	126° 19' 850"E	
		어장내2	35° 09' 595"N	126° 19' 583"E	
		어장내3	35° 09' 538"N	126° 19' 460"E	
	대조	대조1	35° 09' 669"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 09' 708"N	126° 19' 680"E	

* 무안(치패)어장은 어장개선사업 미실시

나. 현장조사

현장조사는 각 어장에 대하여 어장정화 이전 2회, 어장정화 이후 매월 1회씩 계 6회 조사하는 것을 원칙으로 하였다. 각 어장별 조사일정 및 내용은 표 2-2-2와 같다.

표 2-2-2. 어장환경 개선사업 조사 시기

조사 시기	태안	군산	무안	무안(종패)	비고
1차 조사	2010.07.29	2010.07.30	2010.07.31		
2차 조사	2010.10.07	2010.09.09	2010.10.06	2010.10.06	
어장정화사업	10월 5일(시작)~ 10월 13일(종료)	10월 6일(시작)~ 10월23일(종료)	9월초(시작)~ 10월 20일(종료)	-	
3차 조사	2010.10.20	2010.10.27	2010.11.04	2010.11.04	
4차 조사	2010.12.09	2010.12.10	2010.12.05	2010.12.05	
5차 조사	2011.01.19	2011.01.20	2011.01.18	2011.01.18	
6차 조사	2011.03.22	2011.03.23	2011.03.24	2011.03.24	

2. 조사항목과 조사방법

가. 조사항목

조사항목 중 현장에서 관측이 가능한 온도, 수소이온농도(pH), 용존산소는 현장에서 계측하였고, 일반항목 및 영양염류는 세척된 2L 폴리에틸렌병에 채수하여 냉장 보관하여 실험실로 운반하여 분석하였다. 수행된 분석항목은 표 2-2-3에 나타내었다.

표 2-2-3. 해양수질 조사항목

구 분		조사항목
해양 수질	일반수질(8)	수온, 염분, 부유물질, DO, pH, COD, Chl-a, 유분
	영양염류(7)	총질소, 총인, 질산염, 아질산염, 암모니아, 인산염, 규산염
	계	15개 항목(표층)

나. 분석기기

실험에 사용된 분석기기는 다음과 같다.

- (1) pH meter : Mettler Toledo Seven easy
- (2) Salinometer : Tsurumi model 3-G
- (3) UV-VIS Spectrophotometer : Mecasys Optizen 3220

다. 분석방법

각 수질항목의 분석법은 해양환경오염 공정시험법 및 그에 준하는 시험법에 따른다.

(1) 수소이온농도(pH)

pH meter를 사용하여 현장에서 측정.

(2) 용존산소(Dissolved Oxygen)

Winkler Azide변법을 이용하여 현장에서 고정 후 실험실에서 측정.

(3) 염분(Salinity)

Salinometer(TRUSUMI SEIKI Digi-Auto 3G)를 이용하여 측정.

(4) 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand)

해수시료 100 ml를 알칼리성하에서 0.01N 과망간산칼륨용액 일정과량을 가하고 10°C 수욕상에서 1시간 가열한 후 냉각시키고 그 시료용액에 NaN₃ 용액과 요오드화칼륨을 넣고 황산을 가해 산성으로 하여 요오드를 유리시켜 티오황산나트륨으로 역적정하여 농도를 산출하였다. 공시험도 시수와 동일한 방법으로 측정한다.

(5) 부유물질(Suspended Solids)

유리섬유 여과지를 이용한 여과법으로 시수 일정량을 GF/F 필터에 여과시켜 105°C에서 2시간동안 건조 후 무게를 측정하여 총부유물질(TSS)을 측정한다. 그리고 여과지를 550°C에서 회화시킨 후 감량으로 휘발성부유물질(VSS)을 측정한다.

(6) 클로로필(Chlorophyll-a)

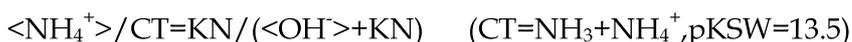
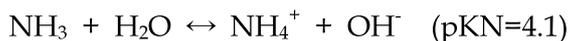
식물플랑크톤의 광합성 색소는 chlorophyll a, b, c 및 보조색소가 있는데 이중 chlorophyll a는 모든 식물플랑크톤에 포함되어 있으므로 그 양을 측정함으로써 이들 색소를 90% 아세톤용액으로 추출하고 추출액의 흡광도를 750, 665, 645, 630, 480nm에서 측정하여 chlorophyll a량을 계산한다.

(7) 유분

채취된 해수의 시료 1000 mL을 유리 분액깔때기에 넣고 시료병에 사염화탄소 50 mL을 넣어 100회 이상 흔들어 분액깔때기에 합한 후, 분액깔때기의 시료를 10분간 추출하였다. 분리된 사염화탄소를 회전증발기의 증류플라스크에 담고, 다시 사염화탄소 25 mL로 시료를 재추출한 후 사염화탄소층을 증류플라스크에 모아서 회전증발기로 30°C, 감압상태에서 농축한 후 청정시설 안에서 12시간 방치하여 사염화탄소를 완전히 증발시킨 다음 시클로헥산 20 mL에 용해하였다. 모든 초자 기구는 0.1N 염산용액으로 세척한 다음 초순수로 3회 이상 반복 세척하고 아세톤과 염화메틸렌으로 세척한 후 사용하였다. 해수 중 유분 분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2006)에 준하여 분석하였다.

(8) 암모니아질소(NH₄⁺-N)

암모니아는 해수중에서 다음과 같이 수화상태인 용존 NH₃기체와 양이온인 NH₄⁺로 존재한다.



따라서 염분이 35이고 해수온이 25℃인 해수는 정상적인 pH범위인 7.6 ~ 8.2에서 94 ~ 98%가 양이온인 NH_4^+ 의 형태로 대부분 존재한다. 해수중의 암모니아(NH_3^+NH_4)는 염기성 차아염소산용액과 산화 반응하여 모노크롤아민을 생성한 후, 페놀과 촉매인 니트로프러시드 그리고 과량의 차아염소산에 의해 푸른색의 인도페놀을 생성하게 된다. 이때 분광광도계로 최대 흡수파장인 640 nm에서 최종 발색된 인도페놀의 흡광도를 정량한다.

(9) 아질산질소(NO_2^- -N)

해수시료중의 아질산 질소는 일차적으로 방향족 질소화합물인 술파닐아미드와 산성하에 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 다른 방향족 질소화합물인 나프틸 에틸렌디아미드와 반응하여 분홍색의 용액을 생성하게 되며, 이 용액을 분광광도계로 최대 흡수파장인 543 nm에서 비색 정량한다.

(10) 질산질소 (NO_3^- -N)

해수시료중의 질산 질소는 구리 촉매로 처리된 카드뮴 환원관을 이용하여 아질산 질소로 환원시킨 후 아질산 질소의 측정원리에 따라 측정한다. 질산 질소의 환원정도는 구리 촉매로 처리된 카드뮴-구리입자의 활성면적과 반응용액의 pH에 의해 좌우되며, 따라서 질산 질소에서 아질산 질소로의 환원과정은 반드시 적정한 pH와 카드뮴-구리입자의 활성면적을 유지하여야 한다.

아질산 질소로 환원된 질산 질소는 아질산 질소의 측정원리에 따라 일차적으로 방향족 질소화합물인 술파닐아미드와 산성하에 반응하여 디아조늄 이온을 형성한 후 이차적으로 다른 방향족 질소화합물인 나프틸 에틸렌디아민과 반응하여 분홍색의 용액을 생성하게 된다. 이렇게 발색된 용액을 분광광도계로 최대 흡수파장인 543 nm에서 비색 정량한다.

(11) 인산인(PO_4^{3-} -P)

해수중의 인산인은 산성의 몰리브덴산과 반응하여 인산몰리브덴산 착화합물을 형성한 후 안티몬이 첨가된 환원용액인 아스코빈산에 의해 환원되어 푸른색 용액을 형성하며, 이렇게 발색된 용액을 흡광광도계로 최대흡수파장인 885 nm에서 비색정량 한다.

(12) 총질소(Total Nitrogen)

시료중의 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨으로 분해하여 질산이온으로 산화시킨 후 카드뮴-구리 환원칼럼을 통과시켜 질산이온을 아질산이온으로 환원하여 비색 정량한다.

(13) 총인(Total Phosphorus)

시료중의 용존, 입자형태 또는 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 과황산칼륨으로 산화 분해하여 인산염 형태로 변화시킨 다음 아스코르빈산 환원법으로 분광광도계를 이용하여 720 nm에서 비색 정량한다.

(14) 규산규소(Silicate)

해수시료중의 규산 규소는 일차적으로 폴리브덴산과 반응하여 폴리브덴산 착화합물을 형성한다. 이때 시료 중에 포함되어 있는 인산도 폴리브덴산과 반응하여 폴리브덴산 착화합물을 형성할 수 있다. 시료에 폴리브덴산 착화합물이 형성된 후 이차적으로 메톨과 옥살산으로 조성된 환원용액을 첨가하면 규소폴리브덴산은 환원되어 푸른색의 규소폴리브덴산 착화합물을 생성하게 된다. 최종적으로 발색된 용액의 흡광도를 분광광도계로 최대 흡수파장인 810 nm에서 비색 정량한다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 태안

가. 일반항목

(1) 수온

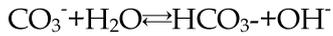
수온은 수중 생물의 생리생태를 지배하는 중요한 조건이므로 김, 미역, 등 해조류 및 해양생물의 생육환경에 중대한 영향을 미친다. 어류 등 유영이 가능한 수중 동물은 수온의 변화에 민감하므로 서식 및 산란에 알맞은 수온을 쫓아 이동해 간다. 하지만 바지락이나 굴 등은 이동할 수 없기 때문에 수온조건에 따라 서식 또는 서식하지 않을 수 있다. 수심과 계절에 따라 상층과 하층간에 해수의 순환이 원활하게 이루어지지 않으면 수온약층(Thermocline)현상이 생기게 되고, 이것은 이차적으로 적조현상을 유발할 환경을 조성시킨다. 수온은 Organism의 적응온도 및 영양염의 수직적 혼합 등 생태계에 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나라고 할 수 있다. 또한 수온은 생물학적 반응온도 및 미생물 번식속도, 수생식물의 종류를 결정하는 아주 중요한 인자이다.

수온 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사 시 27.0~27.5℃(평균 27.1℃), 2차 조사시 21.0~21.2℃(평균 21.0℃)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 18.9~19.0℃(평균 19.0℃), 4차 조사시 7.0~7.5℃(평균 7.3℃), 5차 조사시 2.2~3.0℃(평균 2.6℃), 6차 조사시 5.3~6.0℃(평균 5.6℃)의 범위를 보였다.

(2) pH

pH는 수온과 더불어 기본적인 수질 항목으로 역시 수중 생태계에 중요한 인자중의 하나이다. 자연수의 pH는 일반적으로 용존하는 CO_2 CO_3^{2-} 의 비율에 의해 중성, 산성, 알칼리성으로 나타낸다. 즉, $\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^-$ 가 된다 만약에 CO_3^{2-} 보다 CO_2 가 많으면 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 로 된다.

상기 식에서 보는 바와 같이 H^+ 가 증가되어 산성을 나타내게 되고 CO_3^{2-} 가 많으면 CO_3^{2-} 은 가수 분해되어 OH^- 를 생성시켜 알칼리성이 된다.



독성분제는 산성, 알칼리성이 강할 경우 농산물, 수산물에 피해를 주는 동시에 시설, 기물 등을 부식시킨다.

일반적으로 해수에는 많은 OH^- 이온이 존재하기 때문에 담수의 pH보다 높게 나타난다. 만(Bay)과 같은 일부 폐쇄된 수역에는 일시적으로 pH가 크게 변화할 때는 산성 또는 알칼리성 폐수의 유입이 있는지를 의심할 필요가 있다. 하천에서 유입되는 CO_2 , SO_2 와 같은 비금속 산화물은 물에 녹아 산성을 나타내므로 pH를 감소시키고, Na_2O , K_2O , SrO_2 , BaO 와 같은 금속산화물은 물에 녹아 염기성을 나타내므로 pH를 증가시킨다. 또한 영양염이 풍부한 수역에서 수중의 식물성플랑크톤(phytoplankton)이 광합성을 하면 pH가 증가된다. 광합성에 의한 pH의 증가는 용존 CO_2 의 소비에 의한 것으로 햇빛에 의한 영향을 많이 받으며 pH가 7이하로 내려가거나 9이상으로 상승 되었을 때는 생태계에 악영향을 끼치게 된다.

pH 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 7.94~8.00(평균 7.96), 2차 조사시 7.91~8.03(평균 7.96)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 7.98~8.09(평균 8.03), 4차 조사시 7.95~8.04(평균 7.98), 5차 조사시 7.96~8.06(평균 8.03), 6차 조사시 7.86~7.97(평균 7.93)의 범위를 보였다. 지점별로 유의한 큰 차는 나타나지 않았으며, 이 값은 환경부에서 고시한 해역별 수질환경기준 I 등급(6.5~8.5)에 해당되어 수산생물의 서식·양식 및 산란에 적합한 수질이다.

(3) 염분(Salinity)

해수중의 염분은 생물의 삼투압과 밀접한 관계를 가지고 있으며 생물학적 영향이 매우 커서 난의 발생에도 큰 영향을 미친다. 해산 생물은 염분 변화에 적응하는 능력에 따라 광염성 생물과 협염성 생물로 나뉘며 광염성 생물은 일반적으로 연안성 동·식물로 담수 유입에 의한 염분변화에 잘 적응한다. 또한 염분은 수괴의 특성을 구명하는 주요한 인자로서 담수 유입 시에 상하층간의 혼합특성을 구명하는 인자이며, 수온과 함께 밀도의 변화를 유발함으로써 수괴의 흐름 특성을 파악할 수 있는 인자이다.

염분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 29.11~29.40 ‰(평균 29.30 ‰), 2차 조사시 30.21~30.63 ‰(평균 30.42 ‰)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 29.65~30.90 ‰(평균 30.59 ‰), 4차 조사시 31.37~31.47 ‰(평균 31.40 ‰), 5차 조사시 31.01~31.28 ‰(평균 31.08 ‰), 6차 조사시 30.78~31.22 ‰(평균 31.06 ‰)의 범위를 보였다. 지점 간에는 유의한 차이는 나타나지 않았다.

(4) 용존산소(DO)

어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수괴의 혼합특성을 구명하며, 수환경의

생태계적 건강성을 나타내는 인자로 이용되는 용존산소의 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 7.70~8.37 mg/ℓ (평균 8.04 mg/ℓ), 2차 조사시 7.86~8.10 mg/ℓ (평균 8.02 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 8.34~8.74 mg/ℓ (평균 8.53 mg/ℓ), 4차 조사시 9.99~10.78 mg/ℓ (평균 10.43 mg/ℓ), 5차 조사시 10.91~11.94 mg/ℓ (평균 11.32 mg/ℓ), 6차 조사시 8.69~10.78 mg/ℓ (평균 9.90 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존산소의 농도는 계절적인 변동을 하는데, 수온이 낮은 동계에는 높은 농도를 나타내며, 춘계에는 높은 수온으로 인하여 낮은 농도를 보인다. 본 조사 결과 1차 조사시 최저농도가 7.70 mg/ℓ로 전체적으로 해역수질환경기준인 I 등급수 (7.5 mg/ℓ 이상)를 만족하는 수준이다.

(5) 화학적 산소요구량

해수중의 유기물량을 간접적으로 나타내는 지표로서 해역의 유기오염의 척도로 이용되는 화학적산소요구량(COD)의 농도를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 1.307~2.267 mg/ℓ (평균 1.998 mg/ℓ), 2차 조사시 1.723~2.459 mg/ℓ (평균 2.103 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 1.589~2.501 mg/ℓ (평균 1.941 mg/ℓ), 4차 조사시 0.640~2.576 mg/ℓ (평균 1.670 mg/ℓ), 5차 조사시 2.272~4.384 mg/ℓ (평균 2.816 mg/ℓ), 6차 조사시 3.435~3.963 mg/ℓ (평균 3.662 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 해역의 유기물 특성을 나타내는 화학적 산소요구량은 해수중에 부유하는 유기입자의 영향을 많이 받는다. 본 조사의 계절적 변동에서 부유물질의 농도가 증가하는 동계에 높은 COD 농도를 나타내고 있었다. 해역수질환경기준과 비교하면 동계에는 II~III등급수를 보였고, 나머지 시기에는 II등급수를 나타내었다.

(6) 클로로필(Chlorophyll-a)

해양에서의 클로로필은 해양 일차생산자인 식물플랑크톤의 생산력을 나타내는 주요한 인자이다.

클로로필의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 4.324~6.631 mg/m³(평균 5.425 mg/m³), 2차 조사시 3.463~8.266 mg/m³(평균 5.618 mg/m³)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 2.579~4.356 mg/m³(평균 3.456 mg/m³), 4차 조사시 9.584~21.258 mg/m³(평균 16.876 mg/m³), 5차 조사시 2.309~3.513 mg/m³(평균 2.576 mg/m³), 6차 조사시 4.395~26.865 mg/m³(평균 12.443 mg/m³)의 범위를 보였다.

(7) 유분

해수 중 유분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.04~0.18 μg/ℓ (평균 0.10 μg/ℓ), 2차 조사시 0.02~0.09 μg/ℓ (평균 0.05 μg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.14~0.38 μg/ℓ (평균 0.23 μg/ℓ), 4차 조사시 0.06~0.24 μg/ℓ (평균 0.11 μg/ℓ), 5차 조사시 0.06~0.22 μg/ℓ (평균 0.12 μg/ℓ), 6차 조사시 0.04~0.18 μg/ℓ (평균 0.10 μg/ℓ)의 범위를 보였다. 대부분의 유분 농도가 기준치보다 훨씬 못 미치는 농도 수준을 나타내고 있었다.

(8) 부유물질

해수중의 부유물질의 양을 나타내는 총부유물질(TSS)의 농도범위를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 9.6~19.6 mg/ℓ (평균 14.0 mg/ℓ), 2차 조사시 20.0~38.0 mg/ℓ (평균 27.5 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 5.4~8.0 mg/ℓ (평균 6.9 mg/ℓ), 4차 조사시 46.4~55.4 mg/ℓ (평균 50.5 mg/ℓ), 5차 조사시 13.0~18.0 mg/ℓ (평균 15.1 mg/ℓ), 6차 조사시 14.6~46.0 mg/ℓ (평균 24.3 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 부유물질에 대한 해양수질환경기준은 2001년 1월 개정된 기준에는 삭제되었다. 부유물질의 농도 변화는 육상에서의 오염물질의 유입에 의한 영향과 바람에 의한 저층에서의 재부유의 영향 등 여러 요인에 의하여 나타날 수 있다. 부유물질의 계절적인 변동은 서해의 경우 북서계 절풍이 우세하게 부는 추계와 동계에 높은 농도를 나타낸다고 보고하고 있다(최 등). 본 조사에서도 동계가 다른 계절에 비하여 높은 농도를 나타내고 있었다.

부유물질 중에 포함된 유기물의 양을 나타내는 휘발성부유물질(VSS)의 농도분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 8.6~10.0 mg/ℓ (평균 9.5 mg/ℓ), 2차 조사시 8.6~13.4 mg/ℓ (평균 11.2 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 5.6~6.8 mg/ℓ (평균 6.2 mg/ℓ), 4차 조사시 11.8~14.0 mg/ℓ (평균 12.9 mg/ℓ), 5차 조사시 5.0~6.4 mg/ℓ (평균 5.7 mg/ℓ), 6차 조사시 7.0~13.8 mg/ℓ (평균 9.5 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총 부유물질 중 유기물이 차지하는 비율은 계절별로 큰 차이를 보였는데, 춘계, 하계, 추계에는 30~80%의 변동 폭을 나타내었으나, 동계에는 20% 전후의 비율을 나타내었다. 이는 동계 북서풍에 의한 수계혼합이 활발하여 발생한 것으로 판단된다.

표 2-3-1. 해양수질 조사항목(일반항목)

조사항목		수온 (°C)	염분 (psu)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	TSS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	유분 (μg/ℓ)
조사 일시	조사 지점									
수질환경 I 등급		-	-	7.8~8.3	7.5이상	1이하	-	-	-	10μg/ ℓ 이하
기준 II 등급				6.5~8.5	5이상	2이하				
III등급				6.5~8.5	2이상	4이하				
1차조사	St.1	27.0	29.11	7.94	8.13	1.307	9.6	8.8	5.621	0.39
	St.2	27.0	29.35	7.96	8.00	2.107	11.8	8.6	6.631	0.16
	St.3	27.5	29.26	8.00	7.70	2.043	19.6	10.0	4.324	0.15
	St.4	27.0	29.40	7.94	8.37	2.267	14.0	10.0	5.624	0.13
	St.5	27.0	29.37	7.94	7.99	2.267	15.2	10.0	4.923	0.15
2차조사	St.1	21.2	30.63	7.96	8.04	2.235	38.0	13.4	5.443	0.05
	St.2	21.0	30.56	7.97	7.86	1.723	28.2	13.4	6.532	0.05
	St.3	21.0	30.40	8.03	8.08	2.459	26.0	11.6	3.463	0.09
	St.4	21.0	30.21	7.91	8.02	2.203	20.0	8.6	8.266	0.02
	St.5	21.0	30.32	7.93	8.10	1.899	25.4	9.2	4.388	0.06
3차조사	St.1	18.9	30.90	8.07	8.74	1.589	5.4	5.8	4.356	0.21
	St.2	19.0	30.67	8.00	8.40	2.501	6.8	5.6	3.359	0.38
	St.3	19.0	30.87	7.98	8.34	2.053	7.2	6.8	2.579	0.14
	St.4	19.0	30.88	8.02	8.56	1.717	7.2	6.2	2.663	0.26
	St.5	19.0	29.65	8.09	8.62	1.845	8.0	6.4	4.322	0.14
4차조사	St.1	7.5	31.37	7.95	9.99	0.640	55.4	14.0	21.258	0.09
	St.2	7.5	31.40	8.04	10.42	1.888	53.8	13.8	9.584	0.06
	St.3	7.0	31.47	7.96	10.46	1.680	47.8	12.2	14.119	0.08
	St.4	7.5	31.38	7.96	10.78	2.576	49.0	11.8	19.916	0.24
	St.5	7.0	31.40	7.97	10.50	1.568	46.4	12.8	19.505	0.08
5차조사	St.1	3.0	31.28	7.96	11.45	4.384	18.0	6.4	2.317	0.16
	St.2	2.5	31.04	8.03	11.94	2.368	14.4	6.0	2.364	0.22
	St.3	2.5	31.07	8.05	10.91	2.272	13.0	5.0	2.309	0.09
	St.4	2.2	31.01	8.06	11.34	2.624	15.6	5.4	3.513	0.06
	St.5	3.0	31.02	8.05	10.95	2.432	14.4	5.6	2.379	0.06
6차조사	St.1	5.3	30.78	7.86	9.16	3.963	14.6	7.0	4.395	0.17
	St.2	5.5	31.11	7.97	8.69	3.707	17.0	8.2	26.865	0.18
	St.3	5.5	31.22	7.93	10.56	3.435	19.8	8.6	5.369	0.08
	St.4	6.0	31.08	7.91	10.78	3.643	24.2	10.0	8.631	0.04
	St.5	5.5	31.12	7.96	10.30	3.563	46.0	13.8	16.957	0.05

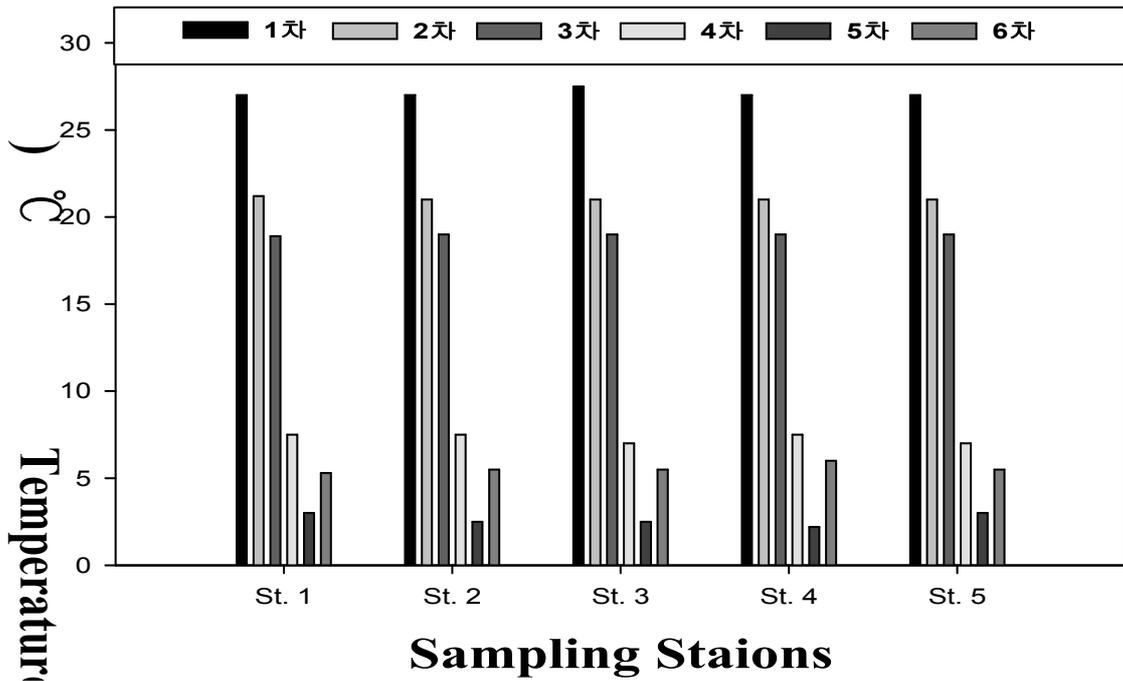


그림 2-3-1. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.

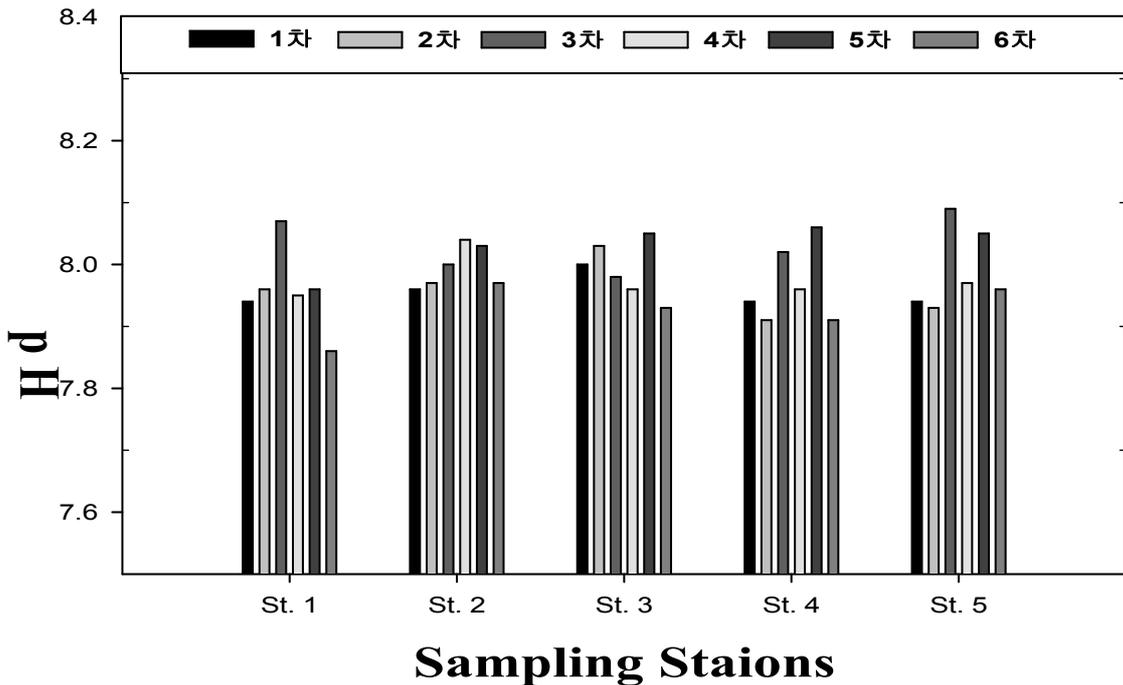


그림 2-3-2. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 변화.

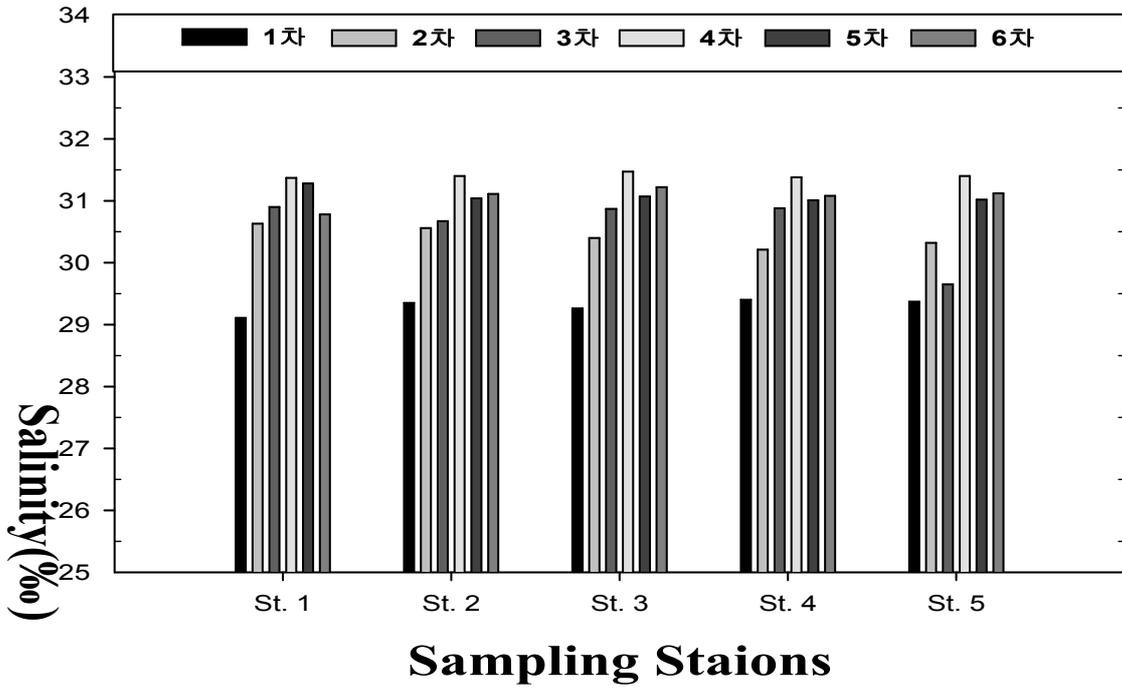


그림 2-3-3. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.

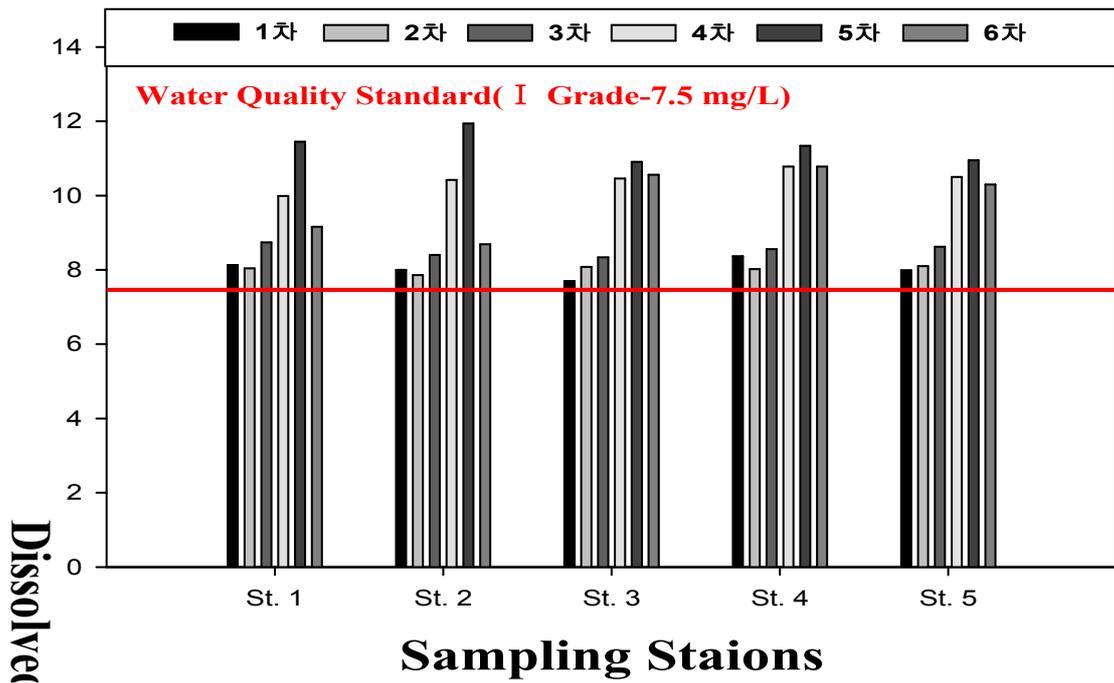


그림 2-3-4. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.

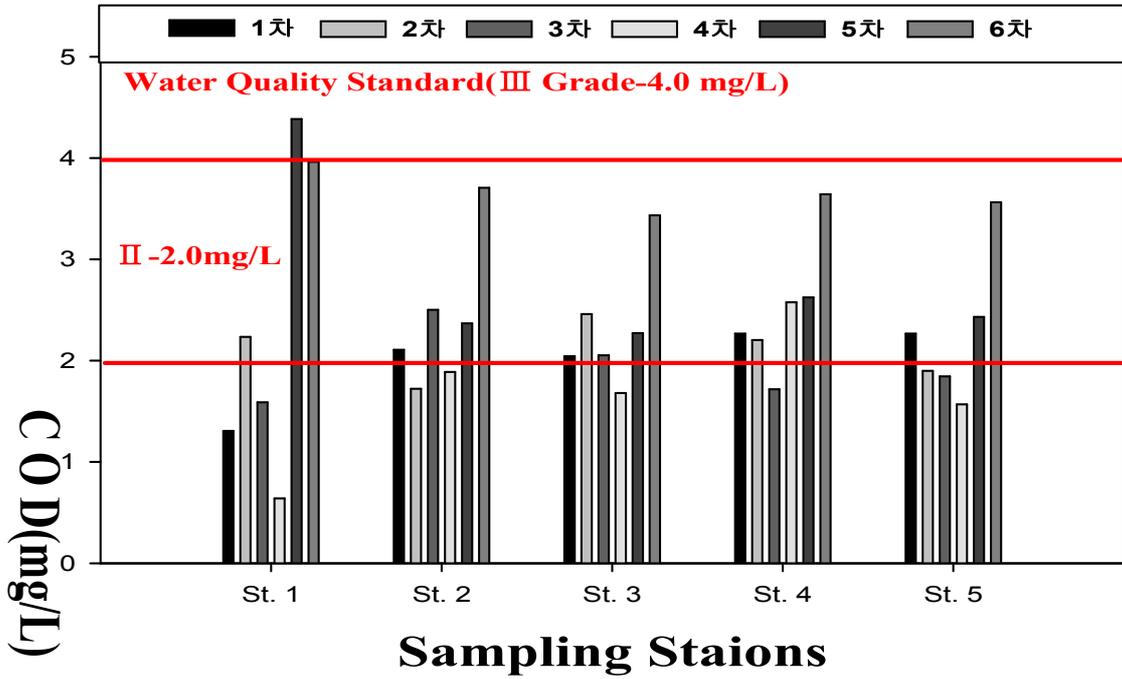


그림 2-3-5. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적산소요구량 농도 변화.

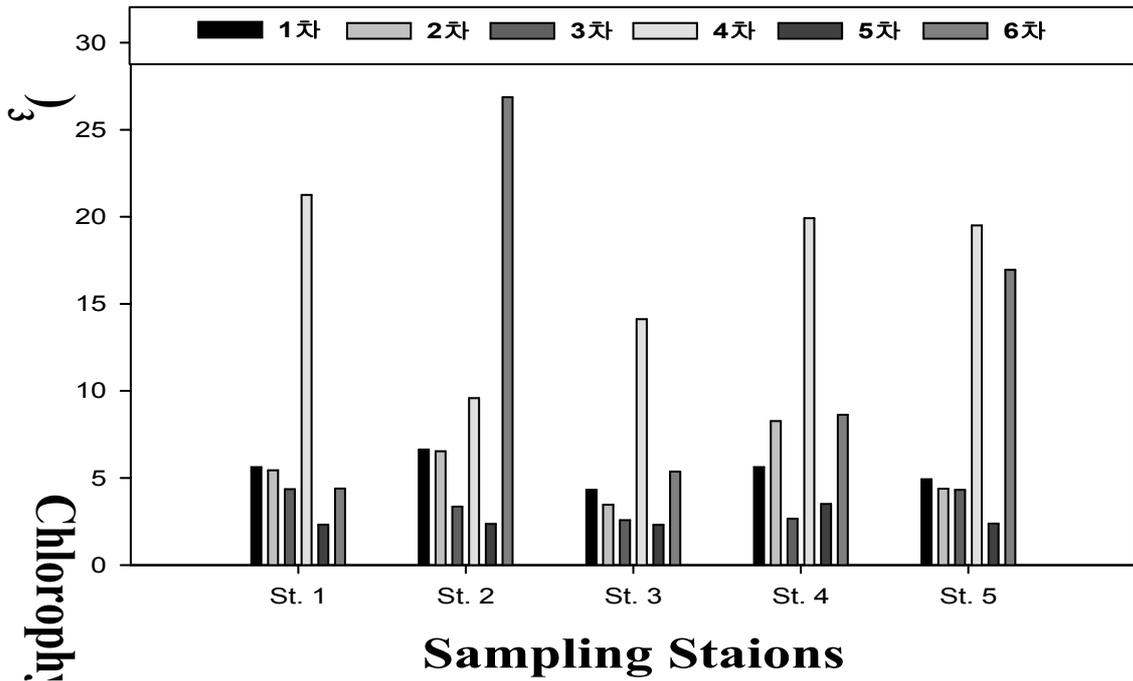


그림 2-3-6. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.

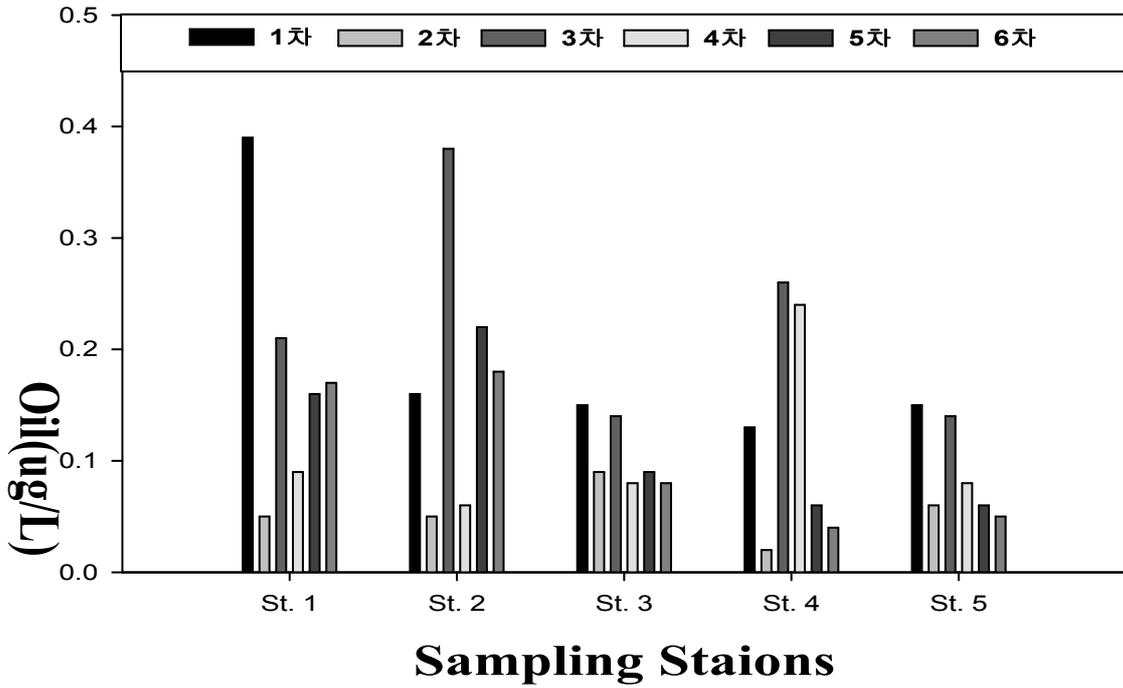


그림 2-3-7. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.

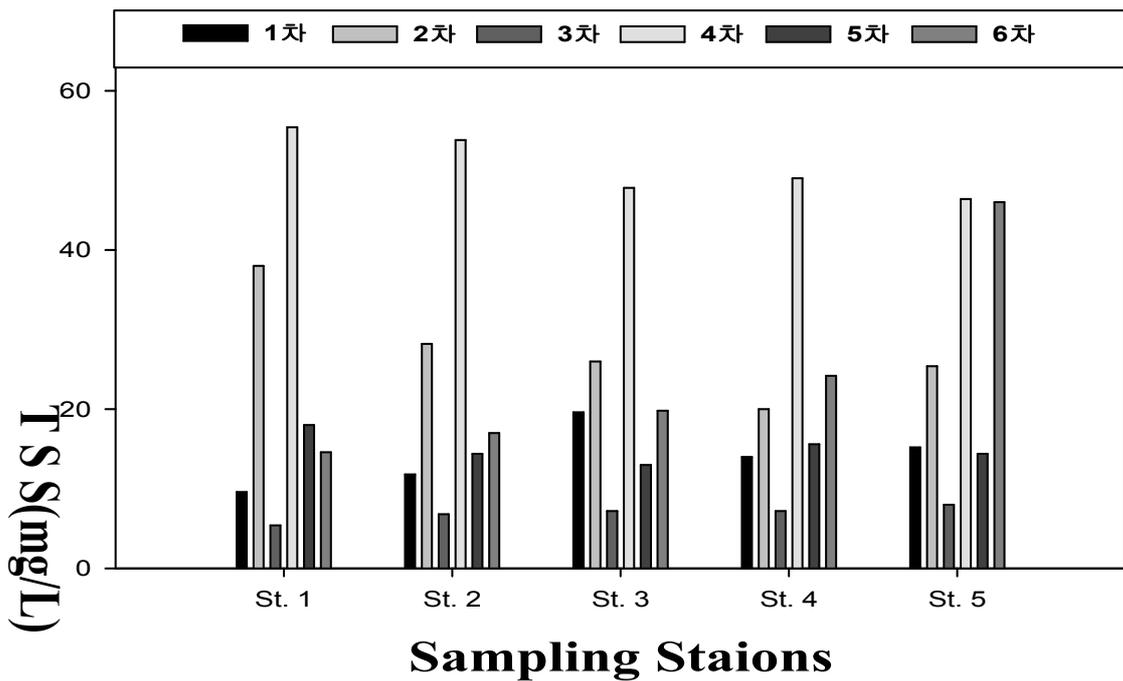


그림 2-3-8. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 농도 변화.

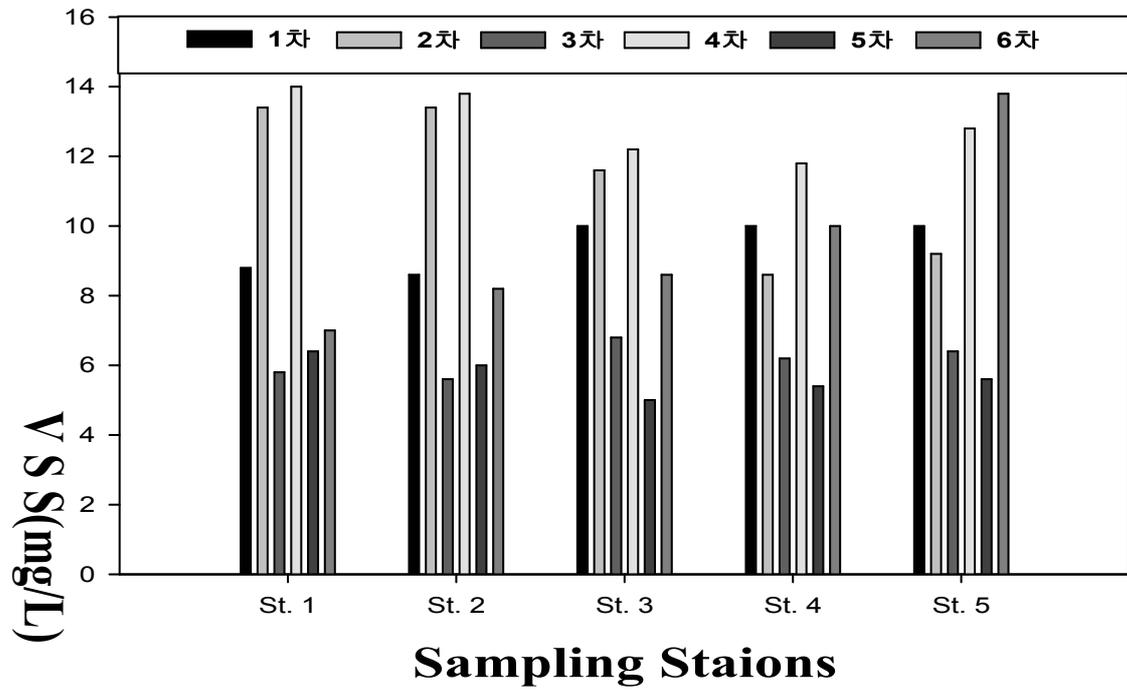


그림 2-3-9. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 농도 변화.

나. 영양염류

(1) 암모니아질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

해역의 부영양화 정도를 판단하는 척도가 비료성분인 질소의 한 성분인 암모니아는 조류성장의 제한인자로서 중요한 역할을 하고 있다. 본 조사해역의 암모니아질소 농도분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.017~0.019 mg/ℓ (평균 0.018 mg/ℓ), 2차 조사시 0.002~0.011 mg/ℓ (평균 0.006 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.027~0.034 mg/ℓ (평균 0.031 mg/ℓ), 4차 조사시 0.005~0.021 mg/ℓ (평균 0.010 mg/ℓ), 5차 조사시 0.018~0.026 mg/ℓ (평균 0.022 mg/ℓ), 6차 조사시 0.012~0.036 mg/ℓ (평균 0.021 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 암모니아질소는 저층에서의 유기물 분해와 퇴적물의 용출에 의해 공급되며, 식물플랑크톤의 광합성으로 소비되는 물질이다.

(2) 아질산질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$)

질소 성분 중 암모니아질소에서 질산질소로 변환되는 과정에서 생성되는 인자로서 오염의 변환정도를 판단하는 척도가 되는 인자인 아질산질소의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.019~0.026 mg/ℓ (평균 0.024 mg/ℓ), 2차 조사시 0.002~0.005 mg/ℓ (평균 0.003 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.002~0.004 mg/ℓ (평균 0.003 mg/ℓ), 4차 조사시 0.002~0.015 mg/ℓ (평균 0.008 mg/ℓ), 5차 조사시 0.001~0.009 mg/ℓ (평균 0.005 mg/ℓ), 6차 조사시 0.001~0.004 mg/ℓ (평균 0.003 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

아질산질소는 암모니아질소의 질산화과정에서 중간생성물로 만들어지는 물질로써 자연계에서의 농도가 낮으나, 오염되어 분해가 활발한 해역에서 높게 나타난다.

(3) 질산질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

식물플랑크톤의 제한인자중의 하나로서 질산화 과정의 최종산물인 질산질소는 총질소농도의 중요부분을 차지하고 있다. 질산질소 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.029~0.047 mg/ℓ (평균 0.035 mg/ℓ), 2차 조사시 0.034~0.079 mg/ℓ (평균 0.063 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.077~0.101 mg/ℓ (평균 0.087 mg/ℓ), 4차 조사시 0.003~0.060 mg/ℓ (평균 0.025 mg/ℓ), 5차 조사시 0.042~0.165 mg/ℓ (평균 0.099 mg/ℓ), 6차 조사시 0.134~0.259 mg/ℓ (평균 0.225 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

질산질소는 질소산화물의 최종분해단계에서 나타나는 안정된 물질로써, 무기질소의 대부분을 차지하고 있다. 본 조사에서도 용존무기질소의 대부분을 질산질소형태로 나타났다.

(4) 용존무기질소(DIN)

아질산질소, 질산질소, 암모니아질소의 합인 용존무기질소(DIN)는 수중생물, 특히 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양원으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있다 (Raymont, 1980). 조사해역의 용존무기질소 농도 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조

사시 0.068~0.087 mg/ℓ (평균 0.077 mg/ℓ), 2차 조사시 0.042~0.088 mg/ℓ (평균 0.072 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.114~0.133 mg/ℓ (평균 0.120 mg/ℓ), 4차 조사시 0.010~0.086 mg/ℓ (평균 0.042 mg/ℓ), 5차 조사시 0.064~0.200 mg/ℓ (평균 0.126 mg/ℓ), 6차 조사시 0.134~0.259 mg/ℓ (평균 0.225 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

용존무기질소의 계절적인 특징은 질산질소와 암모니아질소를 에너지원으로 하는 조류의 성장과 밀접한 관련이 있으며, 하계 조류 성장에 의해 감소하며, 추계 증가하는 경향을 보인다.

(5) 총 질소(T-N)

유기질소와 무기질소의 합인 총 질소는 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 2001년도 해양수질환경기준에 해역의 질소기준이 이전의 무기질소에서 총질소를 기준으로 규제토록 수정되었다. 총질소의 농도분포는 동어장 정화사업 전 1차 조사시 0.437~0.928 mg/ℓ (평균 0.628 mg/ℓ), 2차 조사시 0.446~0.795 mg/ℓ (평균 0.647 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.274~0.475 mg/ℓ (평균 0.396 mg/ℓ), 4차 조사시 0.369~0.516 mg/ℓ (평균 0.417 mg/ℓ), 5차 조사시 0.365~0.870 mg/ℓ (평균 0.583 mg/ℓ), 6차 조사시 0.892~1.374 mg/ℓ (평균 1.109 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 이는 6차 조사를 제외하고는 평균적으로 해양수질환경기준 II등급수(0.3~0.6mg/ℓ)에 해당된다.

(6) 용존무기인(DIP)

용존무기질소와 함께 수중생물의 필수영양염인 용존무기인의 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.032~0.047 mg/ℓ (평균 0.041 mg/ℓ), 2차 조사시 0.035~0.043 mg/ℓ (평균 0.037 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.039~0.057 mg/ℓ (평균 0.047 mg/ℓ), 4차 조사시 0.011~0.031 mg/ℓ (평균 0.022 mg/ℓ), 5차 조사시 0.027~0.049 mg/ℓ (평균 0.036 mg/ℓ), 6차 조사시 0.017~0.032 mg/ℓ (평균 0.022 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존무기인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다.

(7) 총인(T-P)

유기인과 무기인의 합인 총인은 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.055~0.094 mg/ℓ (평균 0.074 mg/ℓ), 2차 조사시 0.041~0.054 mg/ℓ (평균 0.049 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.052~0.065 mg/ℓ (평균 0.058 mg/ℓ), 4차 조사시 0.021~0.036 mg/ℓ (평균 0.036 mg/ℓ), 5차 조사시 0.033~0.052 mg/ℓ (평균 0.043 mg/ℓ), 6차 조사시 0.052~0.063 mg/ℓ (평균 0.056 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다. 이는 해양 수질환경기준 II등급수(0.03~0.05mg/ℓ)에 해당된다.

(8) 규산규소(SiO₂-Si)

용존무기질소와 용존 인과 함께 수중생물의 필수영양염인 규산규소의 농도분포는, 어

장 정화사업 전 1차 조사시 0.097~0.133 mg/ℓ (평균 0.110 mg/ℓ), 2차 조사시 0.314~0.447 mg/ℓ (평균 0.374 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.337~0.389 mg/ℓ (평균 0.364 mg/ℓ), 4차 조사시 0.222~0.272 mg/ℓ (평균 0.248 mg/ℓ), 5차 조사시 0.282~0.325 mg/ℓ (평균 0.298 mg/ℓ), 6차 조사시 0.332~0.499 mg/ℓ (평균 0.394 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

표 2-3-2. 해양수질 조사항목(영양염류)

조사항목		암모니아 성질소 (mg/ℓ)	아질산성 질소 (mg/ℓ)	질산성 질소 (mg/ℓ)	용존무기 질소 (mg/ℓ)	총 질소 (mg/ℓ)	인산인 (mg/ℓ)	총 인 (mg/ℓ)	규산규소 (mg/ℓ)
조사 일시	조사 지점								
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	-	-	0.3이하 0.6이하 1.0이하	-	0.03이하 0.05이하 0.09이하	-
1차조사	St.1	0.019	0.019	0.031	0.068	0.644	0.032	0.055	0.097
	St.2	0.019	0.026	0.029	0.074	0.928	0.044	0.075	0.100
	St.3	0.017	0.026	0.029	0.073	0.600	0.042	0.094	0.101
	St.4	0.019	0.025	0.038	0.082	0.800	0.040	0.085	0.133
	St.5	0.017	0.023	0.047	0.087	0.437	0.047	0.060	0.121
2차조사	St.1	0.005	0.005	0.079	0.088	0.657	0.043	0.054	0.379
	St.2	0.011	0.002	0.063	0.076	0.795	0.035	0.047	0.365
	St.3	0.002	0.003	0.071	0.076	0.570	0.035	0.041	0.447
	St.4	0.006	0.004	0.067	0.077	0.446	0.038	0.052	0.367
	St.5	0.005	0.003	0.034	0.042	0.765	0.036	0.052	0.314
3차조사	St.1	0.030	0.003	0.101	0.133	0.405	0.045	0.053	0.367
	St.2	0.027	0.002	0.095	0.124	0.274	0.046	0.058	0.337
	St.3	0.032	0.003	0.081	0.116	0.400	0.039	0.061	0.338
	St.4	0.034	0.003	0.077	0.114	0.425	0.047	0.052	0.389
	St.5	0.030	0.004	0.080	0.114	0.475	0.057	0.065	0.389
4차조사	St.1	0.011	0.015	0.060	0.086	0.516	0.011	0.021	0.233
	St.2	0.021	0.014	0.015	0.050	0.403	0.021	0.030	0.222
	St.3	0.008	0.004	0.017	0.028	0.369	0.031	0.036	0.272
	St.4	0.005	0.004	0.028	0.038	0.429	0.023	0.035	0.251
	St.5	0.005	0.002	0.003	0.010	0.370	0.024	0.029	0.261
5차조사	St.1	0.022	0.007	0.065	0.093	0.590	0.032	0.041	0.282
	St.2	0.018	0.002	0.062	0.082	0.365	0.049	0.052	0.289
	St.3	0.021	0.001	0.042	0.064	0.870	0.038	0.049	0.325
	St.4	0.023	0.009	0.159	0.190	0.529	0.034	0.041	0.300
	St.5	0.026	0.009	0.165	0.200	0.562	0.027	0.033	0.293
6차조사	St.1	0.012	0.003	0.120	0.134	1.374	0.017	0.063	0.332
	St.2	0.013	0.001	0.213	0.227	0.892	0.020	0.055	0.376
	St.3	0.036	0.003	0.217	0.256	0.899	0.032	0.055	0.402
	St.4	0.023	0.002	0.233	0.259	1.070	0.019	0.055	0.361
	St.5	0.023	0.004	0.220	0.247	1.309	0.022	0.052	0.499

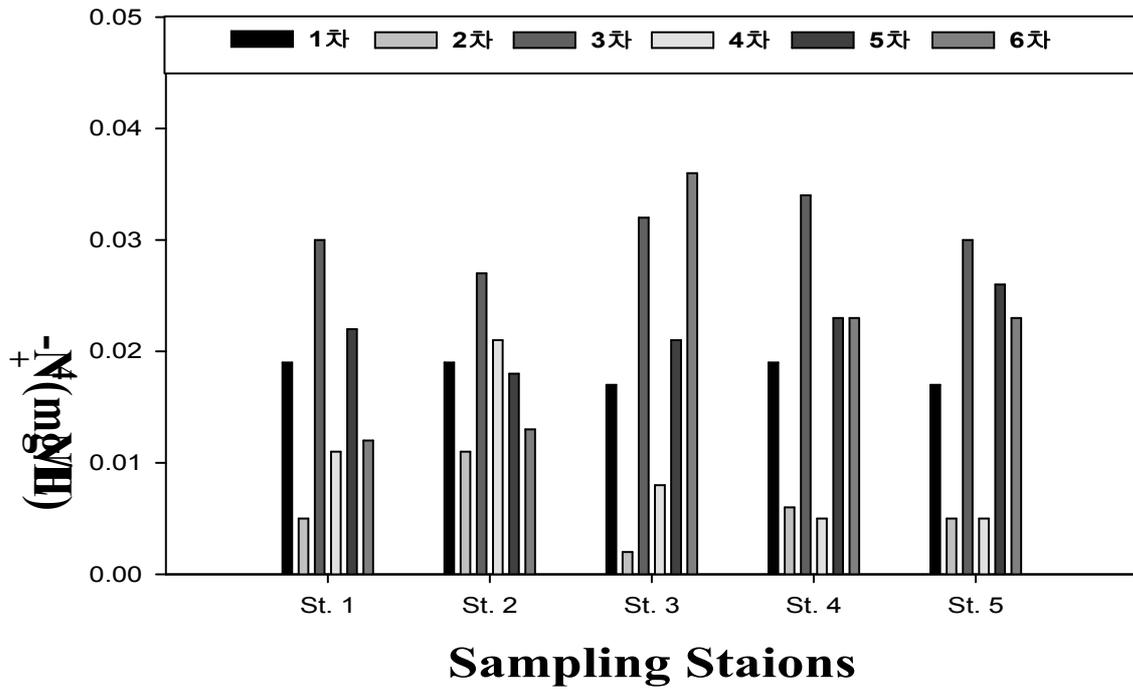


그림 2-3-10. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.

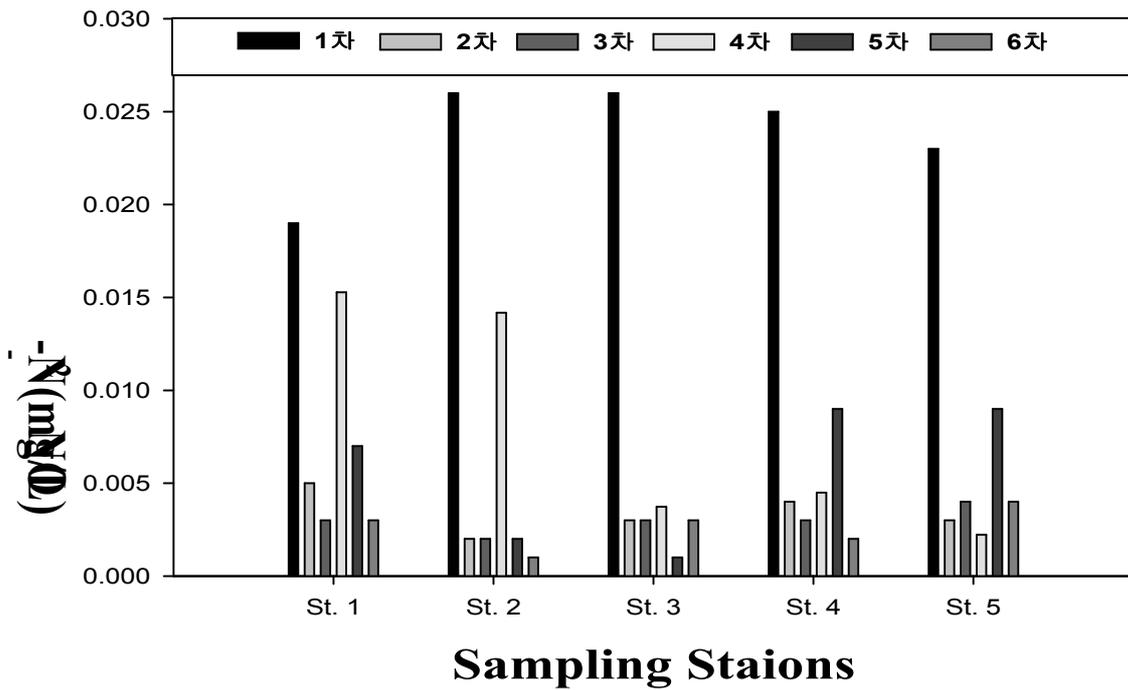


그림 2-3-11. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.

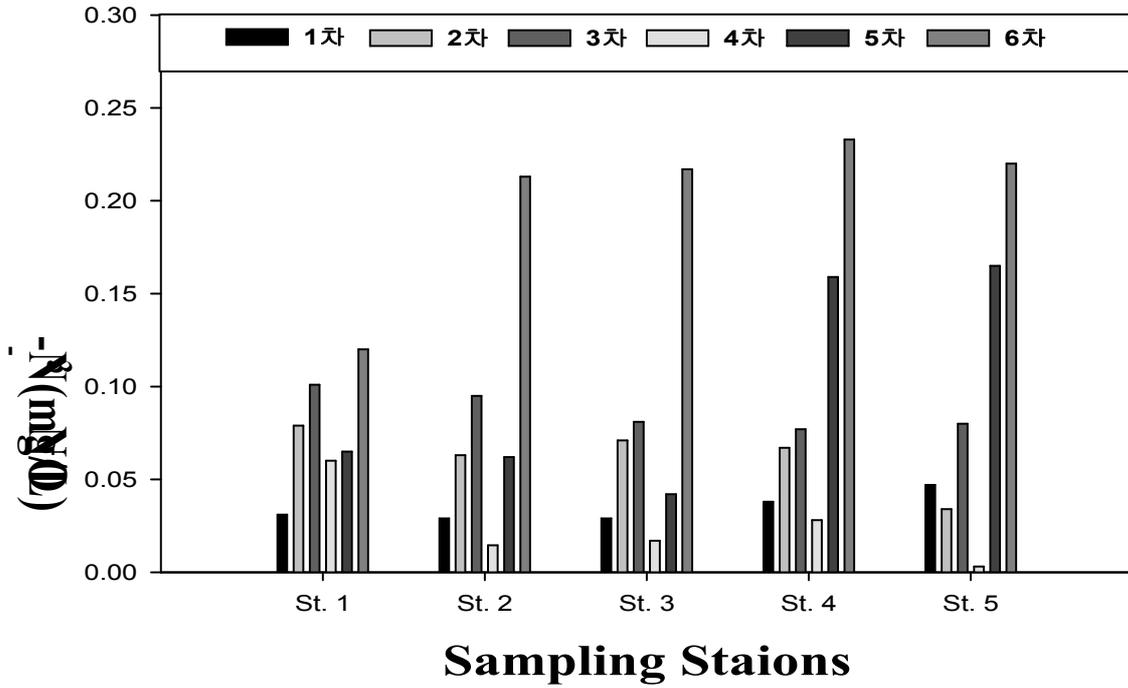


그림 2-3-12. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.

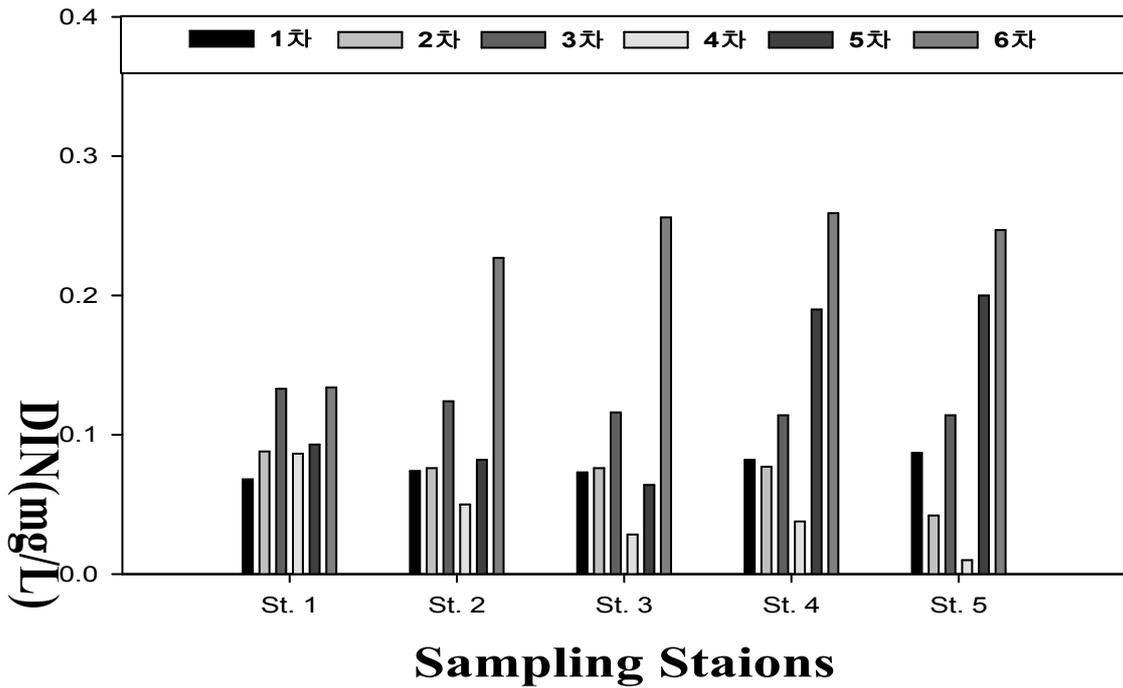


그림 2-3-13. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.

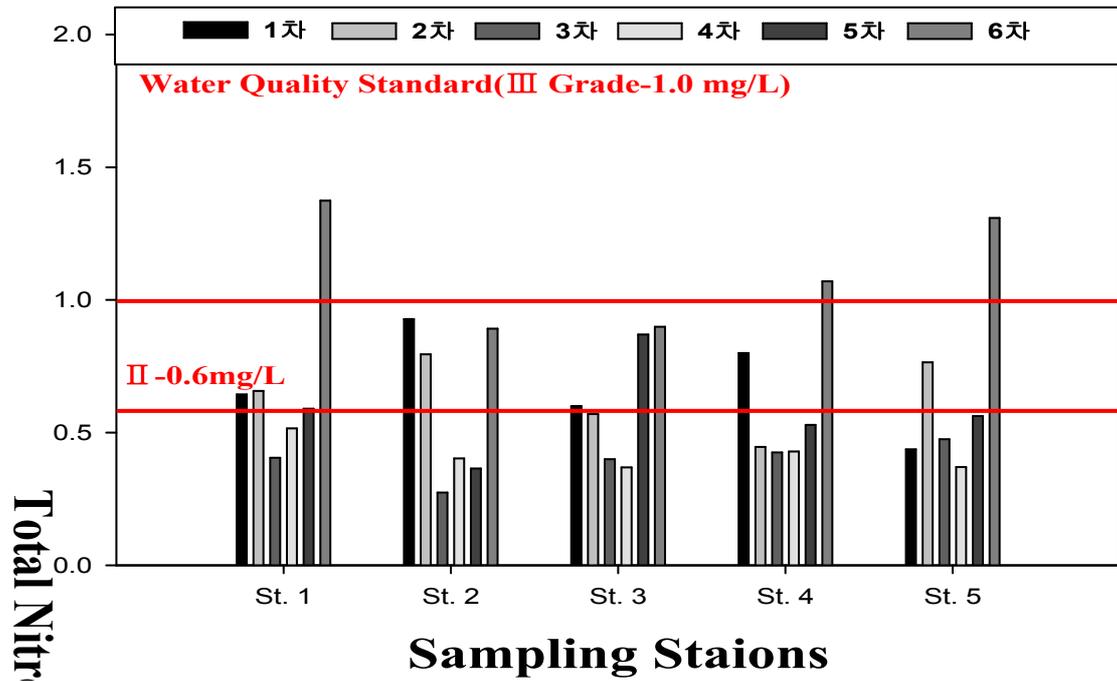


그림 2-3-14. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.

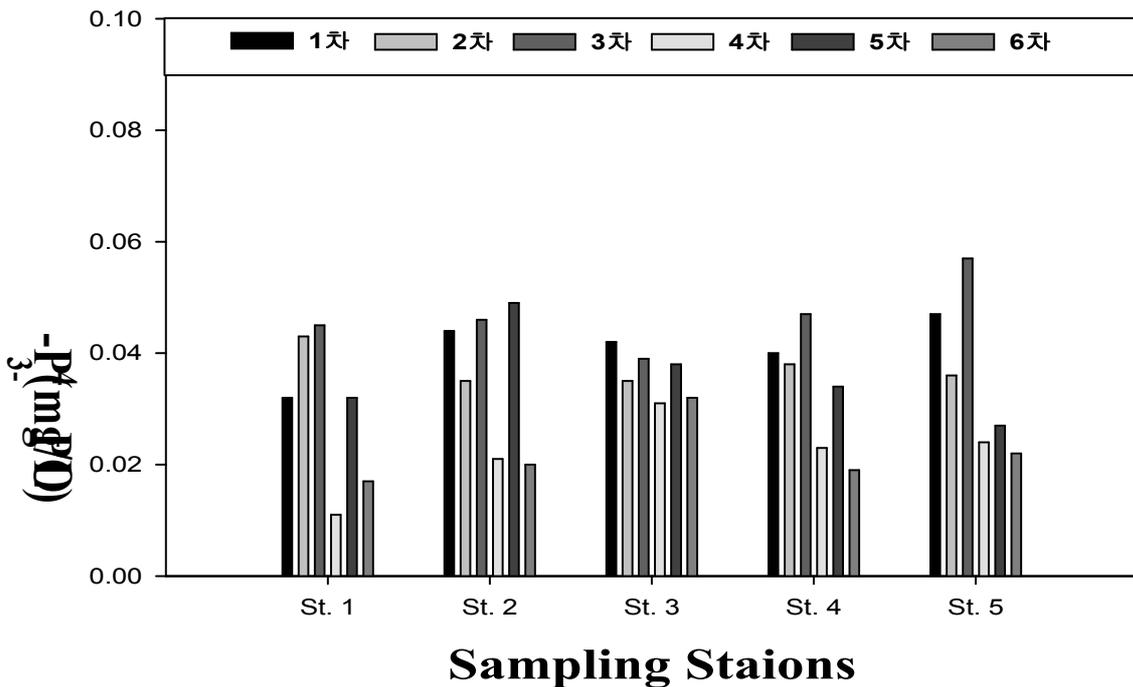


그림 2-3-15. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.

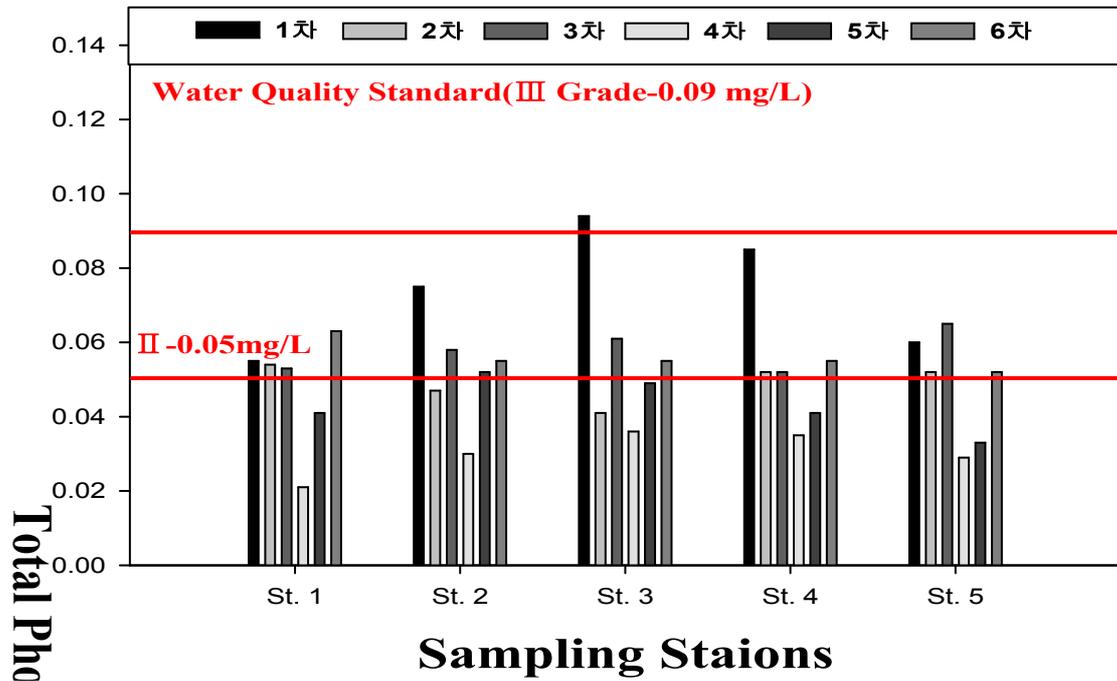


그림 2-3-16. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.

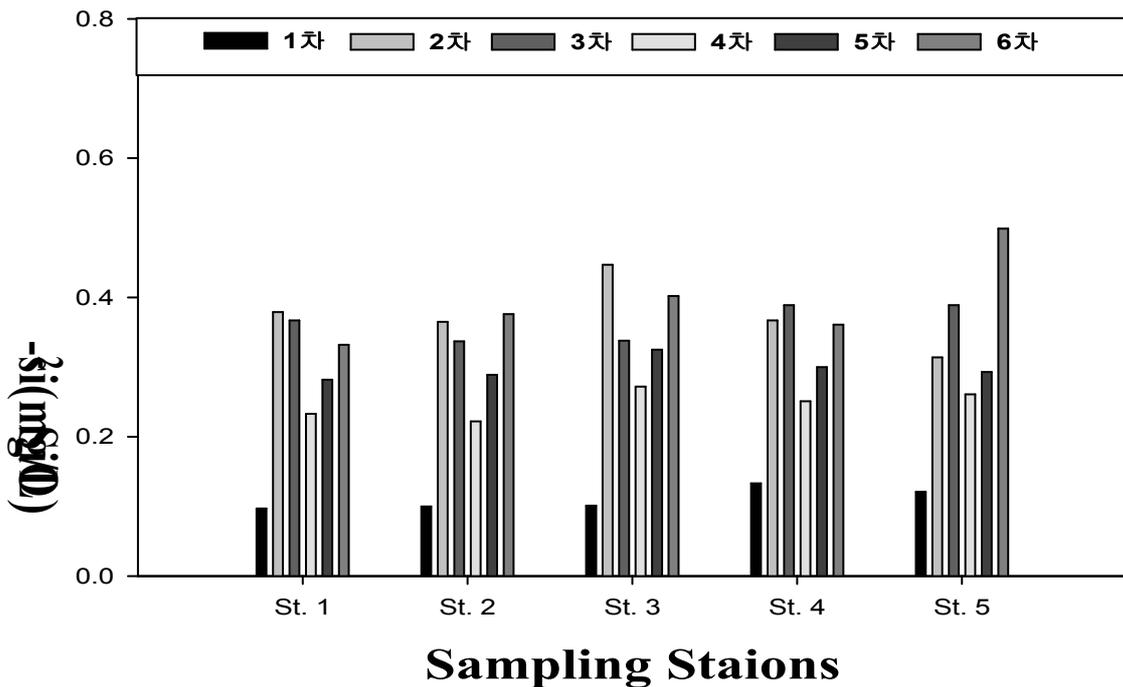


그림 2-3-17. 태안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.

2. 선유도

가. 일반항목

(1) 수온

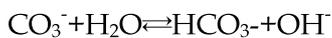
수온은 수중 생물의 생리생태를 지배하는 중요한 조건이므로 김, 미역, 등 해조류 및 해양생물의 생육환경에 중대한 영향을 미친다. 어류 등 유영이 가능한 수중 동물은 수온의 변화에 민감하므로 서식 및 산란에 알맞은 수온을 쫓아 이동해 간다. 하지만 바지락이나 굴 등은 이동할 수 없기 때문에 수온조건에 따라 서식 또는 서식하지 않을 수 있다. 수심과 계절에 따라 상층과 하층간에 해수의 순환이 원활하게 이루어지지 않으면 수온약층(Thermocline)현상이 생기게 되고, 이것은 이차적으로 적조현상을 유발할 환경을 조성시킨다. 수온은 Organism의 적응온도 및 영양염의 수직적 혼합 등 생태계에 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나라고 할 수 있다. 또한 수온은 생물학적 반응온도 및 미생물 번식속도, 수생식물의 종류를 결정하는 아주 중요한 인자이다.

수온 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 26.0~27.5℃(평균 26.9℃), 2차 조사시 24.0~24.5℃(평균 24.1℃)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 16.0~16.3℃(평균 16.1℃), 4차 조사시 8.6~8.8℃(평균 8.7℃), 5차 조사시 3.0℃(평균 3.0℃), 6차 조사시 5.0~6.0℃(평균 5.4℃)의 범위를 보였다.

(2) pH

pH는 수온과 더불어 기본적인 수질 항목으로 역시 수중 생태계에 중요한 인자중의 하나이다. 자연수의 pH는 일반적으로 용존하는 CO_2 CO_3^{2-} 의 비율에 의해 중성, 산성, 알칼리성으로 나타낸다. 즉, $\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^-$ 가 된다 만약에 CO_3^{2-} 보다 CO_2 가 많으면 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 로 된다.

상기식에서 보는 바와 같이 H^+ 가 증가되어 산성을 나타내게 되고 CO_3^{2-} 가 많으면 CO_3^{2-} 은 가수분해되어 OH^- 을 생성시켜 알칼리성이 된다



독성문제는 산성, 알칼리성이 강할 경우 농산물, 수산물에 피해를 주는 동시에 시설, 기물 등을 부식시킨다.

일반적으로 해수에는 많은 OH^- 이온이 존재하기 때문에 담수의 pH보다 높게 나타난다. 만(Bay)과 같은 일부 폐쇄된 수역에는 일시적으로 pH가 크게 변화할 때는 산성 또는 알칼리성 폐수의 유입이 있는지를 의심할 필요가 있다. 하천에서 유입되는 CO_2 , SO_2 와 같은 비금속 산화물은 물에 녹아 산성을 나타내므로 pH를 감소시키고, Na_2O , K_2O , SrO_2 , BaO 와 같은 금속산화물은 물에 녹아 염기성을 나타내므로 pH를 증가시킨

다. 또한 영양염이 풍부한 수역에서 수중의 식물성플랑크톤(phytoplankton)이 광합성을 하면 pH가 증가된다. 광합성에 의한 pH의 증가는 용존 CO₂의 소비에 의한 것으로 햇빛에 의한 영향을 많이 받으며 pH가 7이하로 내려가거나 9이상으로 상승되었을 때는 생태계에 악영향을 끼치게 된다.

pH 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 7.81~8.17(평균 8.06), 2차 조사시 8.01~8.05(평균 8.03)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 7.97~8.05(평균 8.00), 4차 조사시 7.88~7.91(평균 7.90), 5차 조사시 8.07~8.12(평균 8.11), 6차 조사시 8.21~8.29(평균 8.24)의 범위를 보였다. 지점별로 유의한 큰 차는 나타나지 않았으며, 이 값은 환경부에서 고시한 해역별 수질환경기준 I 등급(6.5~8.5)에 해당되어 수산생물의 서식·양식 및 산란에 적합한 수질이다.

(3) 염분(Salinity)

해수중의 염분은 생물의 삼투압과 밀접한 관계를 가지고 있으며 생물학적 영향이 매우 커서 난의 발생에도 큰 영향을 미친다. 해산 생물은 염분 변화에 적응하는 능력에 따라 광염성 생물과 협염성 생물로 나뉘며 광염성 생물은 일반적으로 연안성 동·식물로 담수 유입에 의한 염분변화에 잘 적응한다. 또한 염분은 수괴의 특성을 구명하는 주요한 인자로서 담수 유입 시에 상하층간의 혼합특성을 규명하는 인자이며, 수온과 함께 밀도의 변화를 유발함으로써 수괴의 흐름 특성을 파악할 수 있는 인자이다.

염분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 29.65~30.26 ‰(평균 29.98 ‰), 2차 조사시 29.40~30.04 ‰(평균 29.67 ‰)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 30.02~30.83 ‰(평균 30.48 ‰), 4차 조사시 31.04~31.58 ‰(평균 31.44 ‰), 5차 조사시 31.05~31.40 ‰(평균 31.22 ‰), 6차 조사시 30.52~30.70 ‰(평균 30.59 ‰)의 범위를 보였다. 지점 간에는 유의한 차이는 나타나지 않았다.

(4) 용존산소(DO)

어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수괴의 혼합특성을 구명하며, 수환경의 생태계적 건강성을 나타내는 인자로 이용되는 용존산소의 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 9.12~9.82 mg/ℓ(평균 9.32 mg/ℓ), 2차 조사시 6.6~7.45 mg/ℓ(평균 6.97 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 7.98~8.96 mg/ℓ(평균 8.49 mg/ℓ), 4차 조사시 8.30~9.86 mg/ℓ(평균 9.44 mg/ℓ), 5차 조사시 12.26~12.82 mg/ℓ(평균 12.43 mg/ℓ), 6차 조사시 11.38~13.19 mg/ℓ(평균 12.07 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존산소의 농도는 계절적인 변동을 하는데, 수온이 낮은 동계에는 높은 농도를 나타내며, 춘계에는 높은 수온으로 인하여 낮은 농도를 보인다. 본 조사 결과 2차 조사를 제외하고는 해역수질환경기준인 I 등급수 (7.5 mg/ℓ 이상)를 만족하는 수준이다.

(5) 화학적 산소요구량

해수중의 유기물량을 간접적으로 나타내는 지표로서 해역의 유기오염의 척도로 이용되는 화학적산소요구량(COD)의 농도를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 3.499~4.347 mg/ℓ (평균 3.921 mg/ℓ), 2차 조사시 1.845~2.389 mg/ℓ (평균 2.028 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 1.605~3.669 mg/ℓ (평균 2.434 mg/ℓ), 4차 조사시 1.872~2.832 mg/ℓ (평균 2.256 mg/ℓ), 5차 조사시 1.728~2.912 mg/ℓ (평균 2.227 mg/ℓ), 6차 조사시 2.875~4.395 mg/ℓ (평균 3.387 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 해역의 유기물 특성을 나타내는 화학적 산소요구량은 해수 중에 부유하는 유기입자의 영향을 많이 받는다. 본 조사의 계절적 변동에서 부유물질의 농도가 증가하는 동계에 높은 COD 농도를 나타내고 있었다. 해역수질환경기준과 비교하면 동계에는 II~III등급수를 보였고, 나머지 시기에는 II등급수를 나타내었다.

(6) 클로로필(Chlorophyll-a)

해양에서의 클로로필은 해양 일차생산자인 식물플랑크톤의 생산력을 나타내는 주요한 인자이다.

클로로필의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 2.927~4.932 mg/m³(평균 4.068 mg/m³), 2차 조사시 1.576~4.344 mg/m³(평균 2.645 mg/m³)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 3.738~8.832 mg/m³(평균 5.325 mg/m³), 4차 조사시 6.619~9.093 mg/m³(평균 7.716 mg/m³), 5차 조사시 5.242~9.546 mg/m³(평균 7.034 mg/m³), 6차 조사시 25.503~29.794 mg/m³(평균 28.655 mg/m³)의 범위를 보였다.

(7) 유분

해수 중 유분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.07~0.43 μg/ℓ (평균 0.22 μg/ℓ), 2차 조사시 0.05~0.15 μg/ℓ (평균 0.09 μg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.10~1.58 μg/ℓ (평균 0.47 μg/ℓ), 4차 조사시 0.11~0.30 μg/ℓ (평균 0.21 μg/ℓ), 5차 조사시 0.01~0.15 μg/ℓ (평균 0.08 μg/ℓ), 6차 조사시 0.03~0.14 μg/ℓ (평균 0.08 μg/ℓ)의 범위를 보였다. 대부분의 유분 농도가 기준치보다 훨씬 못 미치는 농도 수준을 나타내고 있었다.

(8) 부유물질

해수중의 부유물질의 양을 나타내는 총부유물질(TSS)의 농도범위를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 12.4~27.0 mg/ℓ (평균 17.6 mg/ℓ), 2차 조사시 4.6~17.6 mg/ℓ (평균 9.4 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 10.0~12.0 mg/ℓ (평균 11.1 mg/ℓ), 4차 조사시 21.6~25.8 mg/ℓ (평균 24.0 mg/ℓ), 5차 조사시 9.6~13.0 mg/ℓ (평균 11.2 mg/ℓ), 6차 조사시 45.0~104.6 mg/ℓ (평균 70.8 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 부유물질에 대한 해역수질환경기준은 2001년 1월 개정된 기준에는 삭제되었다. 부유물질의 농도 변화는 육상에서의 오염물질의 유입에 의한 영향과 바람에 의한 저층에서의 재부유의 영향

등 여러 요인에 의하여 나타날 수 있다. 부유물질의 계절적인 변동은 서해의 경우 북서계 절풍이 우세하게 부는 추계와 동계에 높은 농도를 나타낸다고 보고하고 있다(최 등). 본 조사에서도 동계가 다른 계절에 비하여 높은 농도를 나타내고 있었다.

부유물질 중에 포함된 유기물의 양을 나타내는 휘발성부유물질(VSS)의 농도분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 10.0~14.0 mg/ℓ (평균 11.4 mg/ℓ), 2차 조사시 3.4~6.4 mg/ℓ (평균 4.7 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.6~4.2 mg/ℓ (평균 2.9 mg/ℓ), 4차 조사시 7.6~8.4 mg/ℓ (평균 7.8 mg/ℓ), 5차 조사시 5.2~6.4 mg/ℓ (평균 5.7 mg/ℓ), 6차 조사시 11.6~18.0 mg/ℓ (평균 15.6 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총 부유물질 중 유기물이 차지하는 비율은 계절별로 큰 차이를 보였는데, 춘계, 하계, 추계에는 30~80%의 변동 폭을 나타내었으나, 동계에는 20% 전후의 비율을 나타내었다. 이는 동계 북서풍에 의한 수계혼합이 활발하여 발생한 것으로 판단된다.

표 2-3-3. 해양수질 조사항목(일반항목)

조사항목		수온 (°C)	염분 (psu)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	TSS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	유분 (μg/ℓ)
조사 일시	조사 지점									
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	7.8~8.3 6.5~8.5 6.5~8.5	7.5이상 5이상 2이상	1이하 2이하 4이하	-	-	-	-
1차조사	St.1	27.0	29.65	7.81	9.40	3.995	14.4	10.6	3.624	0.12
	St.2	26.0	30.26	8.06	9.80	3.499	12.4	10.0	2.927	0.10
	St.3	27.0	30.06	8.17	9.12	3.547	16.2	11.6	4.932	0.40
	St.4	27.5	29.82	8.10	9.12	4.219	17.8	10.6	3.932	0.07
	St.5	27.0	30.10	8.14	9.16	4.347	27.0	14.0	4.924	0.43
2차조사	St.1	24.0	29.72	8.02	6.68	1.909	9.2	5.0	1.576	0.15
	St.2	24.0	29.48	8.01	7.25	1.845	4.6	3.6	1.863	0.05
	St.3	24.0	30.04	8.03	6.63	1.909	8.4	5.2	4.344	0.08
	St.4	24.5	29.40	8.02	7.45	2.389	17.0	6.4	2.829	0.11
	St.5	24.2	29.69	8.05	6.85	2.085	7.8	3.4	2.613	0.08
3차조사	St.1	16.2	30.02	8.00	8.96	2.485	10.8	3.0	4.229	1.58
	St.2	16.3	30.61	8.02	8.63	2.229	12.0	3.2	4.055	0.25
	St.3	16.0	30.83	8.05	7.98	3.669	11.4	4.2	5.771	0.10
	St.4	16.2	30.33	7.98	8.71	1.605	11.4	0.6	3.738	0.14
	St.5	16.0	30.63	7.97	8.16	2.181	10.0	3.6	8.832	0.29
4차조사	St.1	8.6	31.04	7.89	9.86	2.832	22.0	7.6	7.604	0.14
	St.2	8.7	31.48	7.90	8.30	1.872	25.8	8.4	7.063	0.28
	St.3	8.8	31.58	7.88	9.69	2.064	21.6	7.8	9.093	0.23
	St.4	8.7	31.51	7.91	9.62	2.400	24.8	7.6	8.200	0.30
	St.5	8.8	31.57	7.90	9.72	2.112	25.8	7.8	6.619	0.11
5차조사	St.1	3.0	31.40	8.12	12.26	1.728	10.2	5.2	9.546	0.01
	St.2	3.0	31.05	8.12	12.35	2.000	10.8	5.6	5.242	0.02
	St.3	3.0	31.13	8.07	12.30	2.176	13.0	6.4	6.871	0.14
	St.4	3.0	31.27	8.12	12.82	2.912	9.6	5.4	7.038	0.15
	St.5	3.0	31.23	8.12	12.44	2.320	12.2	5.8	6.474	0.08
6차조사	St.1	5.2	30.60	8.21	13.19	4.395	104.6	15.8	29.794	0.03
	St.2	5.0	30.55	8.22	11.68	3.467	45.0	11.6	29.560	0.05
	St.3	5.5	30.56	8.24	11.38	2.971	69.2	17.2	28.675	0.09
	St.4	6.0	30.52	8.29	11.94	2.875	73.6	18.0	25.503	0.14
	St.5	5.5	30.70	8.26	12.15	3.227	61.4	15.6	29.741	0.07

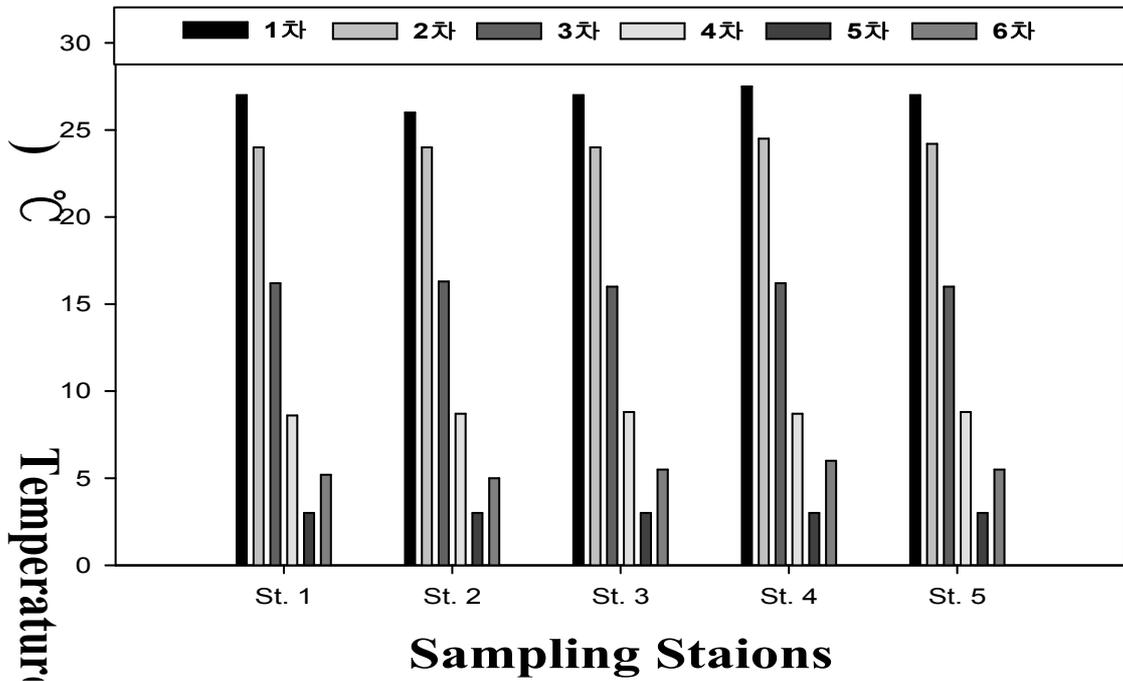


그림 2-3-18. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.

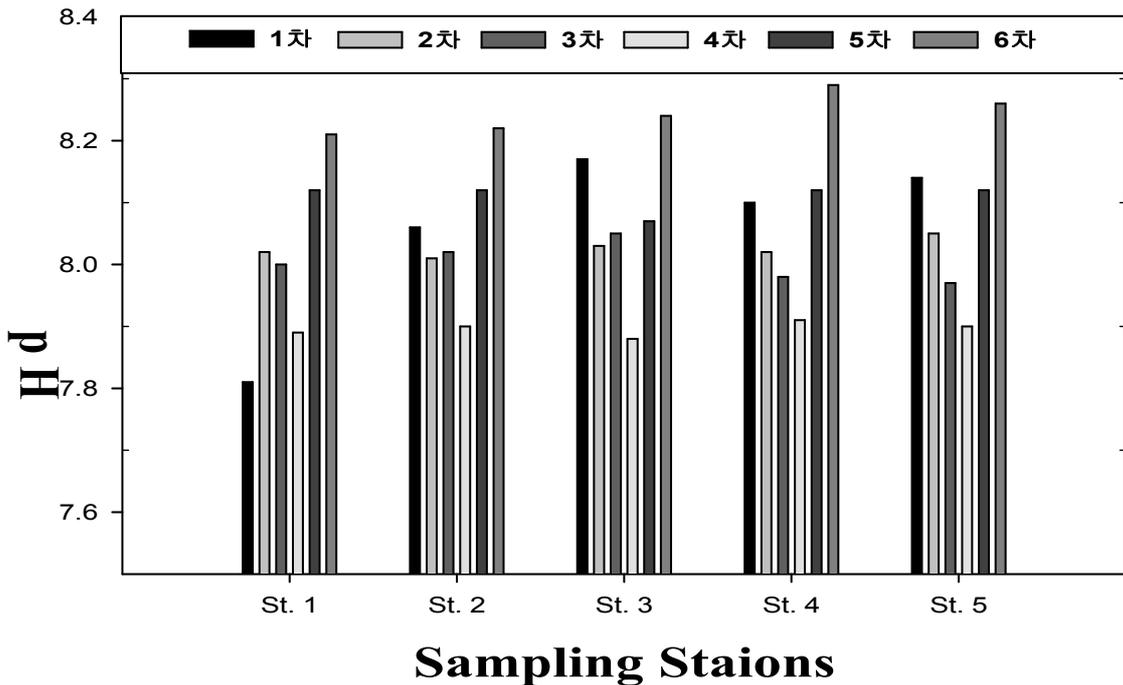


그림 2-3-19. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화.

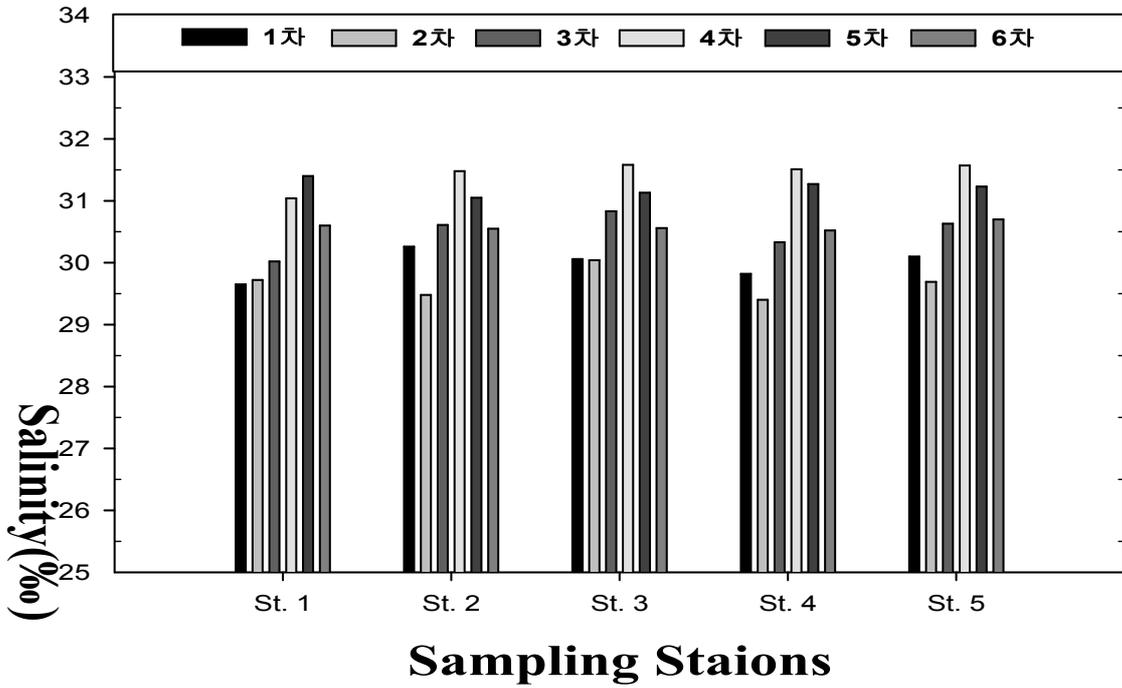


그림 2-3-20. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.

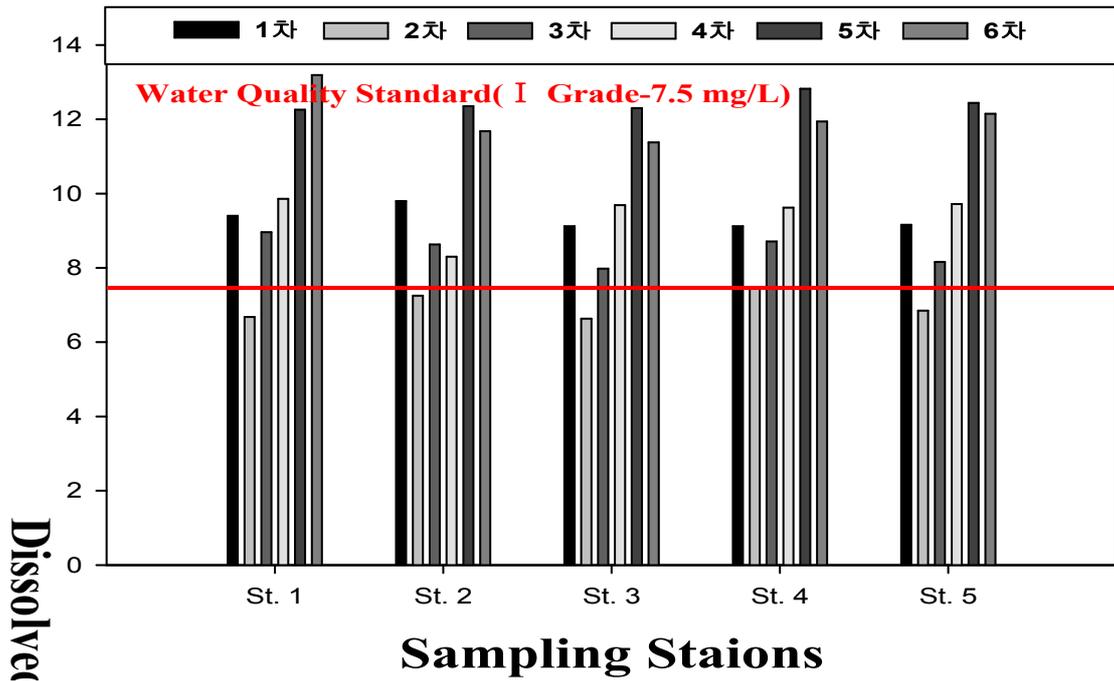


그림 2-3-21. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.

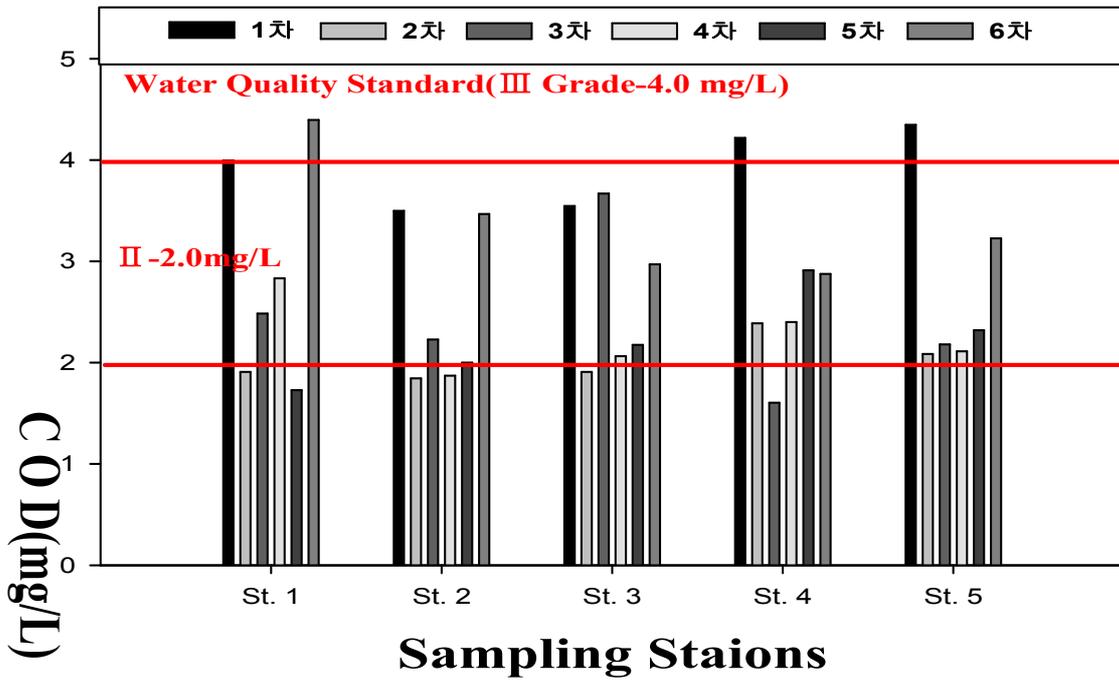


그림 2-3-22. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화.

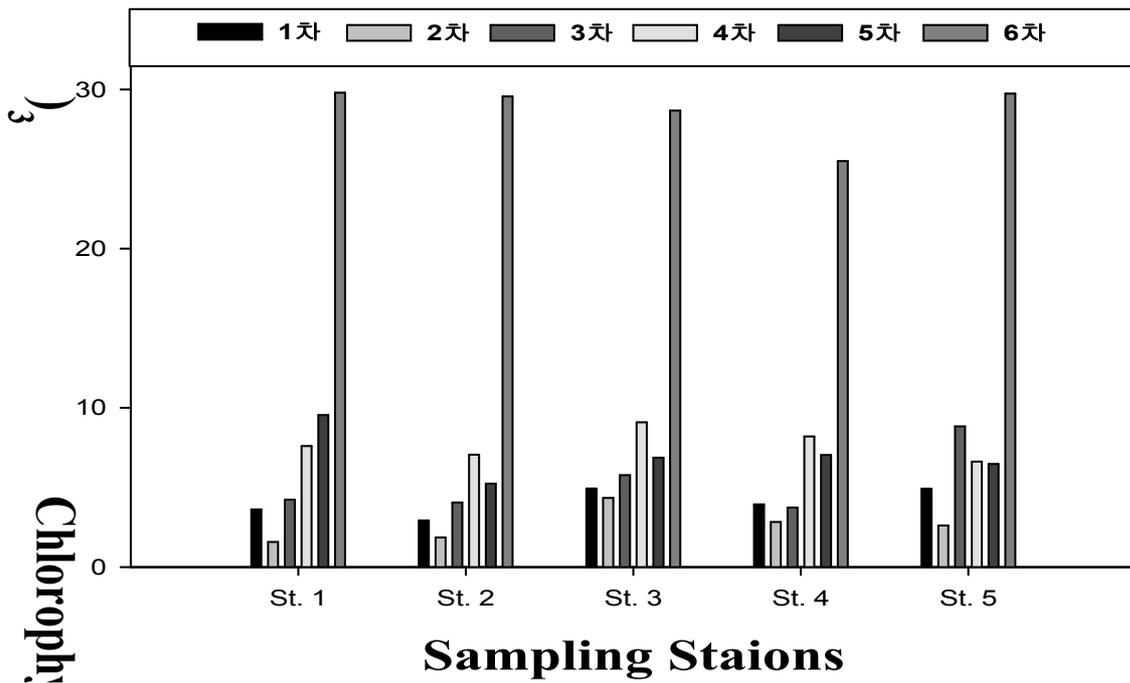


그림 2-3-23. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.

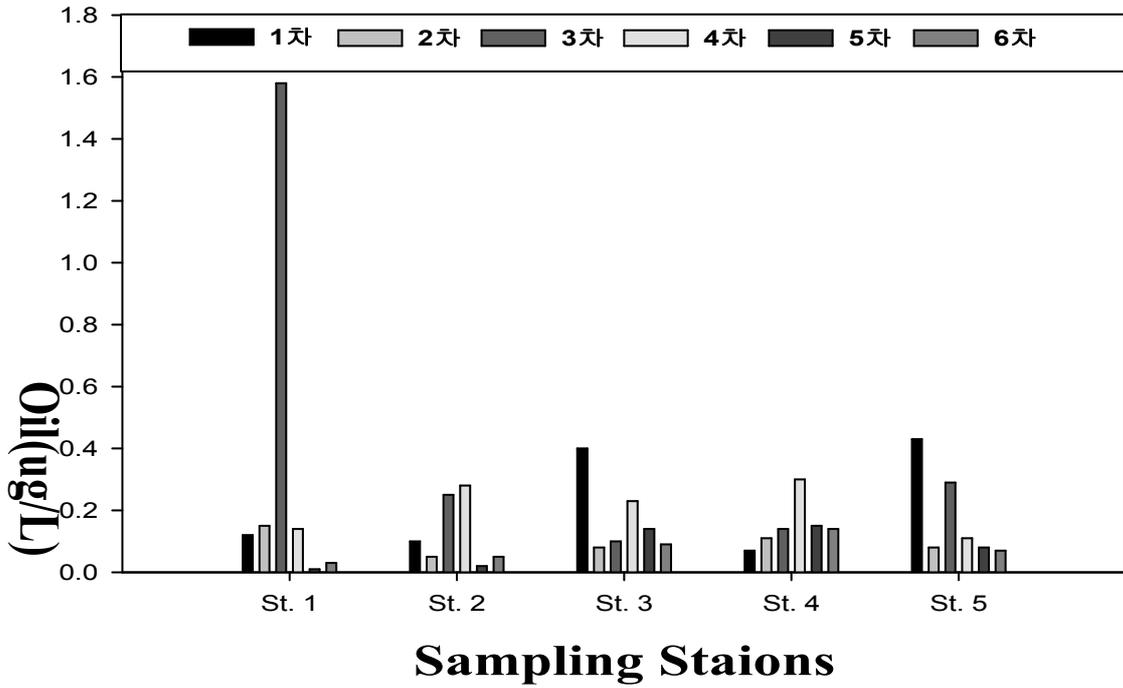


그림 2-3-24. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.

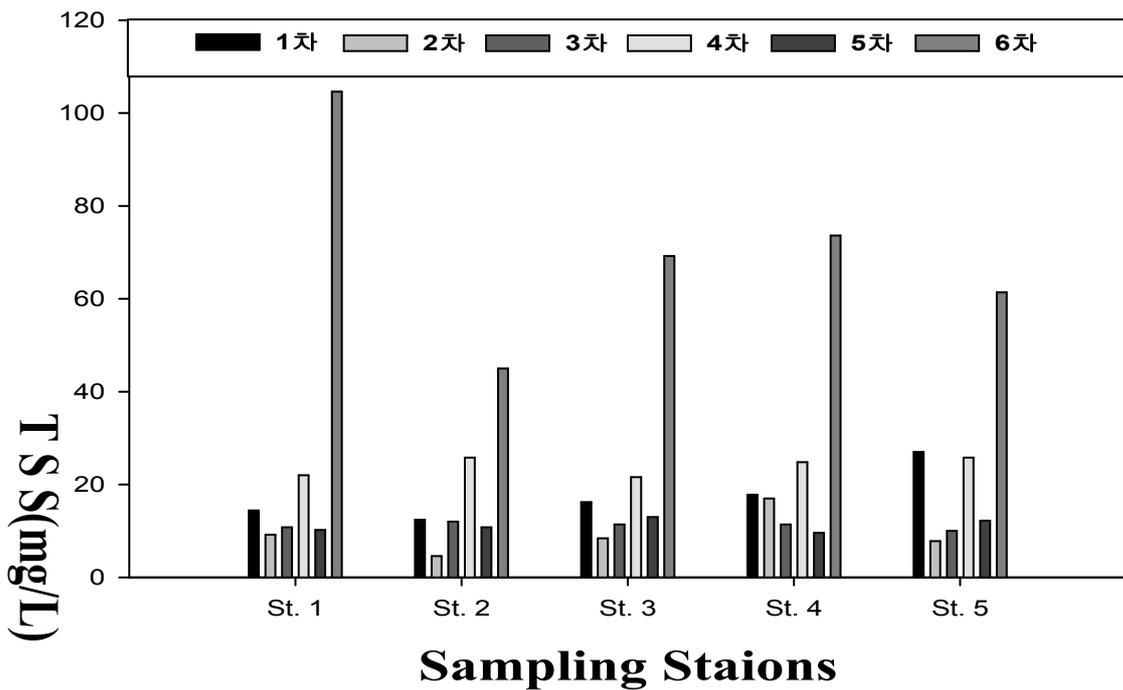


그림 2-3-25. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화.

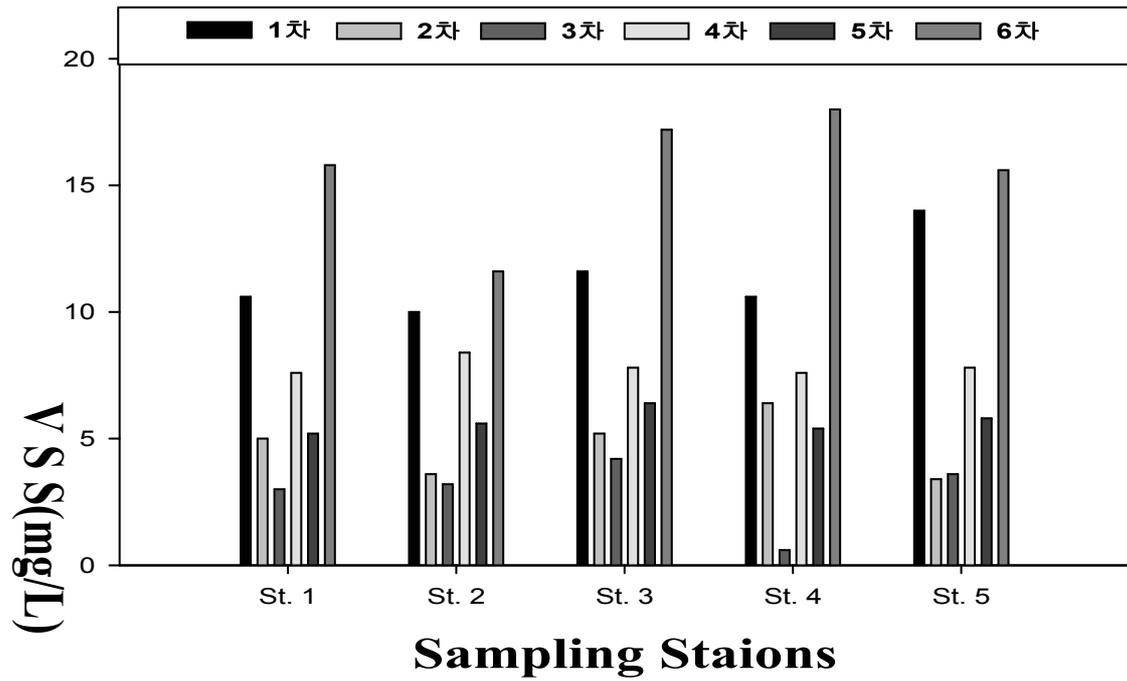


그림 2-3-26. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화.

나. 영양염류

(1) 암모니아질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

해역의 부영양화 정도를 판단하는 척도가 비료성분인 질소의 한 성분인 암모니아는 조류성장의 제한인자로서 중요한 역할을 하고 있다. 본 조사해역의 암모니아질소 농도분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.012~0.017 mg/ℓ (평균 0.014 mg/ℓ), 2차 조사시 0.011~0.030 mg/ℓ (평균 0.020 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.027~0.039 mg/ℓ (평균 0.032 mg/ℓ), 4차 조사시 0.004~0.013 mg/ℓ (평균 0.008 mg/ℓ), 5차 조사시 0.016~0.025 mg/ℓ (평균 0.020 mg/ℓ), 6차 조사시 0.004~0.011 mg/ℓ (평균 0.007 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 암모니아질소는 저층에서의 유기물 분해와 퇴적물의 용출에 의해 공급되며, 식물플랑크톤의 광합성으로 소비되는 물질이다.

(2) 아질산질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$)

질소 성분 중 암모니아질소에서 질산질소로 변환되는 과정에서 생성되는 인자로서 오염의 변환정도를 판단하는 척도가 되는 인자인 아질산질소의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.018~0.028 mg/ℓ (평균 0.022 mg/ℓ), 2차 조사시 0.018~0.021 mg/ℓ (평균 0.019 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.001~0.006 mg/ℓ (평균 0.003 mg/ℓ), 4차 조사시 0.015~0.023 mg/ℓ (평균 0.019 mg/ℓ), 5차 조사시 0.00~0.008 mg/ℓ (평균 0.003 mg/ℓ), 6차 조사시 0.001~0.002 mg/ℓ (평균 0.001 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

아질산질소는 암모니아질소의 질산화과정에서 중간생성물로 만들어지는 물질로써 자연계에서의 농도가 낮으나, 오염되어 분해가 활발한 해역에서 높게 나타난다.

(3) 질산질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

식물플랑크톤의 제한인자중의 하나로서 질산화 과정의 최종산물인 질산질소는 총질소농도의 중요부분을 차지하고 있다. 질산질소 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.026~0.060 mg/ℓ (평균 0.039 mg/ℓ), 2차 조사시 0.020~0.111 mg/ℓ (평균 0.046 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.077~0.089 mg/ℓ (평균 0.084 mg/ℓ), 4차 조사시 0.117~0.431 mg/ℓ (평균 0.211 mg/ℓ), 5차 조사시 0.034~0.097 mg/ℓ (평균 0.070 mg/ℓ), 6차 조사시 0.022~0.099 mg/ℓ (평균 0.052 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

질산질소는 질소산화물의 최종분해단계에서 나타나는 안정된 물질로써, 무기질소의 대부분을 차지하고 있다. 본 조사에서도 용존무기질소의 대부분을 질산질소형태로 나타났다.

(4) 용존무기질소(DIN)

아질산질소, 질산질소, 암모니아질소의 합인 용존무기질소(DIN)는 수중생물, 특히 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양원으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있다 (Raymont, 1980). 조사해역의 용존무기질소 농도 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조

사시 0.064~0.098 mg/ℓ (평균 0.075 mg/ℓ), 2차 조사시 0.049~0.151 mg/ℓ (평균 0.086 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.112~0.125 mg/ℓ (평균 0.119 mg/ℓ), 4차 조사시 0.147~0.455 mg/ℓ (평균 0.238 mg/ℓ), 5차 조사시 0.068~0.122 mg/ℓ (평균 0.093 mg/ℓ), 6차 조사시 0.034~0.105 mg/ℓ (평균 0.060 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

용존무기질소의 계절적인 특징은 질산질소와 암모니아질소를 에너지원으로 하는 조류의 성장과 밀접한 관련이 있으며, 하계 조류 성장에 의해 감소하며, 추계 증가하는 경향을 보인다.

(5) 총 질소(T-N)

유기질소와 무기질소의 합인 총 질소는 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 2001년도 해양수질환경기준에 해역의 질소기준이 이전의 무기질소에서 총질소를 기준으로 규제토록 수정되었다. 총질소의 농도분포는 동어장 정화사업 전 1차 조사시 0.431~0.538 mg/ℓ (평균 0.438 mg/ℓ), 2차 조사시 0.423~0.704 mg/ℓ (평균 0.618 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.307~0.628 mg/ℓ (평균 0.480 mg/ℓ), 4차 조사시 0.351~1.125 mg/ℓ (평균 0.688 mg/ℓ), 5차 조사시 0.280~0.636 mg/ℓ (평균 0.442 mg/ℓ), 6차 조사시 0.594~1.251 mg/ℓ (평균 0.866 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 이는 6차 조사를 제외하고는 평균적으로 해양수질환경기준 II등급수(0.3~0.6mg/ℓ)에 해당된다.

(6) 용존 무기인(DIP)

용존무기질소와 함께 수중생물의 필수영양염인 용존 무기인의 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.034~0.049 mg/ℓ (평균 0.045 mg/ℓ), 2차 조사시 0.031~0.055 mg/ℓ (평균 0.042 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.027~0.044 mg/ℓ (평균 0.036 mg/ℓ), 4차 조사시 0.009~0.026 mg/ℓ (평균 0.018 mg/ℓ), 5차 조사시 0.015~0.024 mg/ℓ (평균 0.019 mg/ℓ), 6차 조사시 0.017~0.022 mg/ℓ (평균 0.019 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존 무기인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다.

(7) 총인(T-P)

유기인과 무기인의 합인 총인은 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.076~0.145 mg/ℓ (평균 0.115 mg/ℓ), 2차 조사시 0.043~0.058 mg/ℓ (평균 0.047 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.031~0.048 mg/ℓ (평균 0.039 mg/ℓ), 4차 조사시 0.028~0.040 mg/ℓ (평균 0.031 mg/ℓ), 5차 조사시 0.027~0.046 mg/ℓ (평균 0.035 mg/ℓ), 6차 조사시 0.057~0.086 mg/ℓ (평균 0.074 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다. 이는 6차 조사를 제외하고는 해양 수질환경기준 II등급수(0.03~0.05mg/ℓ)에 해당된다.

(8) 규산규소($\text{SiO}_2\text{-Si}$)

용존무기질소와 용존인과 함께 수중생물의 필수영양염인 규산규소의 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.334~0.583 mg/ℓ (평균 0.447 mg/ℓ), 2차 조사시 0.428~0.605 mg/ℓ (평균 0.484 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.248~0.283 mg/ℓ (평균 0.267 mg/ℓ), 4차 조사시 0.183~0.228 mg/ℓ (평균 0.195 mg/ℓ), 5차 조사시 0.054~0.111 mg/ℓ (평균 0.081 mg/ℓ), 6차 조사시 0.086~0.121 mg/ℓ (평균 0.104 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

표 2-34. 해양수질 조사항목(영양염류)

조사항목		암모니아 성질소 (mg/ℓ)	아질산성 질소 (mg/ℓ)	질산성 질소 (mg/ℓ)	용존무기 질소 (mg/ℓ)	총 질소 (mg/ℓ)	인산인 (mg/ℓ)	총 인 (mg/ℓ)	규산규소 (mg/ℓ)
조사 일시	조사 지점								
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	-	-	0.3이하 0.6이하 1.0이하	-	0.03이하 0.05이하 0.09이하	-
1차조사	St.1	0.014	0.024	0.026	0.064	0.508	0.049	0.081	0.471
	St.2	0.013	0.021	0.037	0.070	0.431	0.048	0.076	0.378
	St.3	0.012	0.028	0.034	0.074	0.538	0.034	0.137	0.334
	St.4	0.015	0.018	0.038	0.071	0.484	0.046	0.134	0.583
	St.5	0.017	0.022	0.060	0.098	0.452	0.046	0.145	0.468
2차조사	St.1	0.021	0.019	0.111	0.151	0.678	0.031	0.043	0.448
	St.2	0.021	0.019	0.024	0.065	0.658	0.041	0.043	0.429
	St.3	0.019	0.019	0.025	0.063	0.704	0.045	0.046	0.605
	St.4	0.030	0.021	0.050	0.101	0.626	0.055	0.058	0.512
	St.5	0.011	0.018	0.020	0.049	0.423	0.039	0.046	0.428
3차조사	St.1	0.033	0.001	0.089	0.124	0.511	0.044	0.048	0.267
	St.2	0.027	0.002	0.087	0.115	0.307	0.027	0.031	0.264
	St.3	0.039	0.003	0.083	0.125	0.628	0.030	0.031	0.248
	St.4	0.027	0.003	0.082	0.112	0.375	0.038	0.043	0.283
	St.5	0.034	0.006	0.077	0.117	0.577	0.040	0.044	0.272
4차조사	St.1	0.009	0.020	0.117	0.147	0.469	0.020	0.031	0.228
	St.2	0.006	0.017	0.188	0.211	1.125	0.022	0.040	0.194
	St.3	0.004	0.023	0.158	0.185	0.881	0.009	0.028	0.187
	St.4	0.009	0.015	0.431	0.455	0.351	0.026	0.030	0.183
	St.5	0.013	0.018	0.161	0.193	0.612	0.011	0.028	0.184
5차조사	St.1	0.018	0.001	0.052	0.071	0.280	0.018	0.038	0.111
	St.2	0.016	0.001	0.097	0.114	0.466	0.018	0.027	0.084
	St.3	0.022	0.000	0.069	0.092	0.402	0.018	0.027	0.062
	St.4	0.020	0.004	0.097	0.122	0.636	0.015	0.046	0.093
	St.5	0.025	0.008	0.034	0.068	0.423	0.024	0.037	0.054
6차조사	St.1	0.011	0.001	0.022	0.034	1.245	0.020	0.083	0.101
	St.2	0.006	0.001	0.099	0.105	0.606	0.017	0.086	0.121
	St.3	0.005	0.001	0.057	0.063	0.594	0.017	0.077	0.086
	St.4	0.004	0.001	0.034	0.039	0.634	0.022	0.057	0.117
	St.5	0.009	0.002	0.050	0.060	1.251	0.019	0.065	0.096

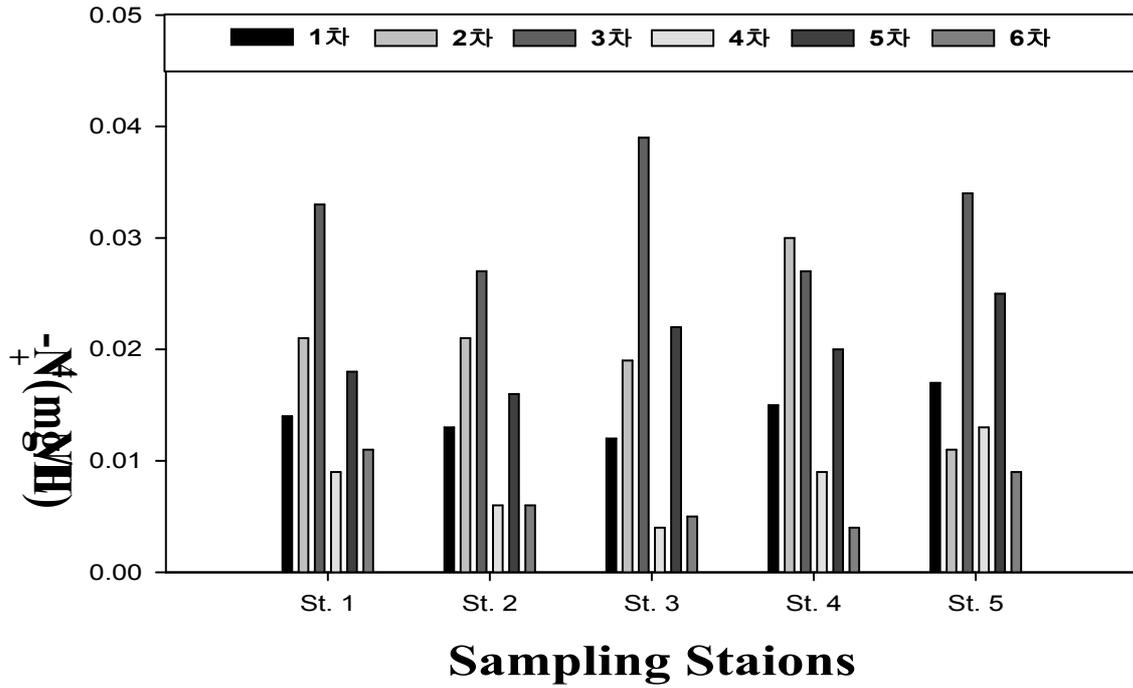


그림 2-3-27. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.

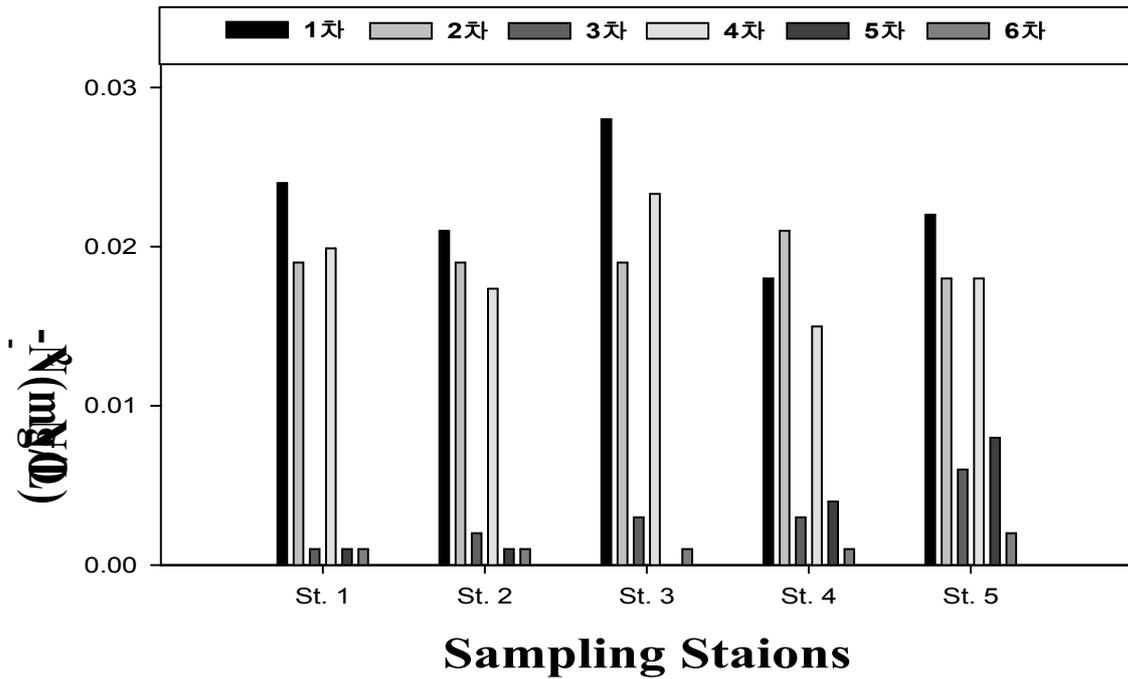


그림 2-3-28. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.

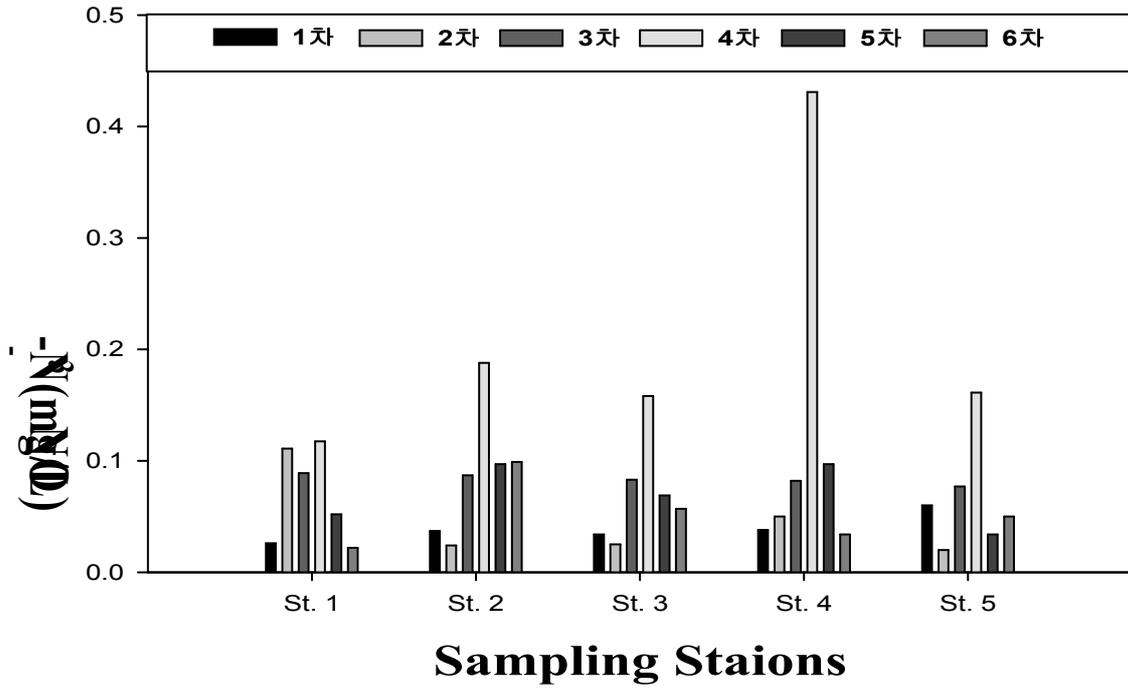


그림 2-3-29. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.

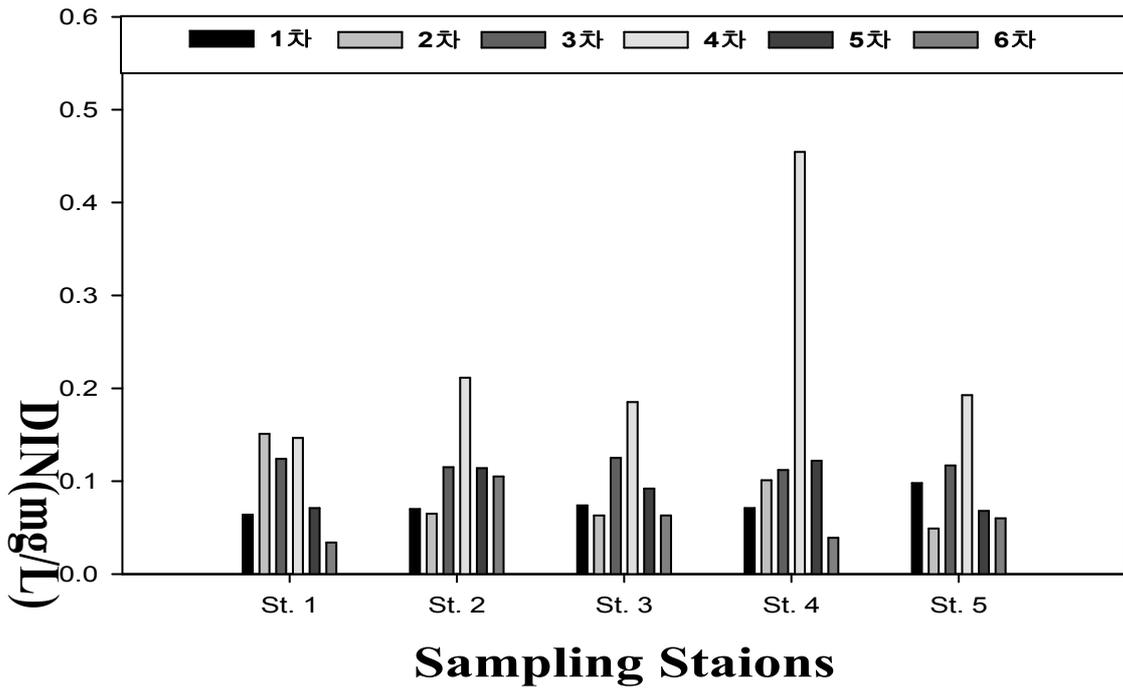


그림 2-3-30. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.

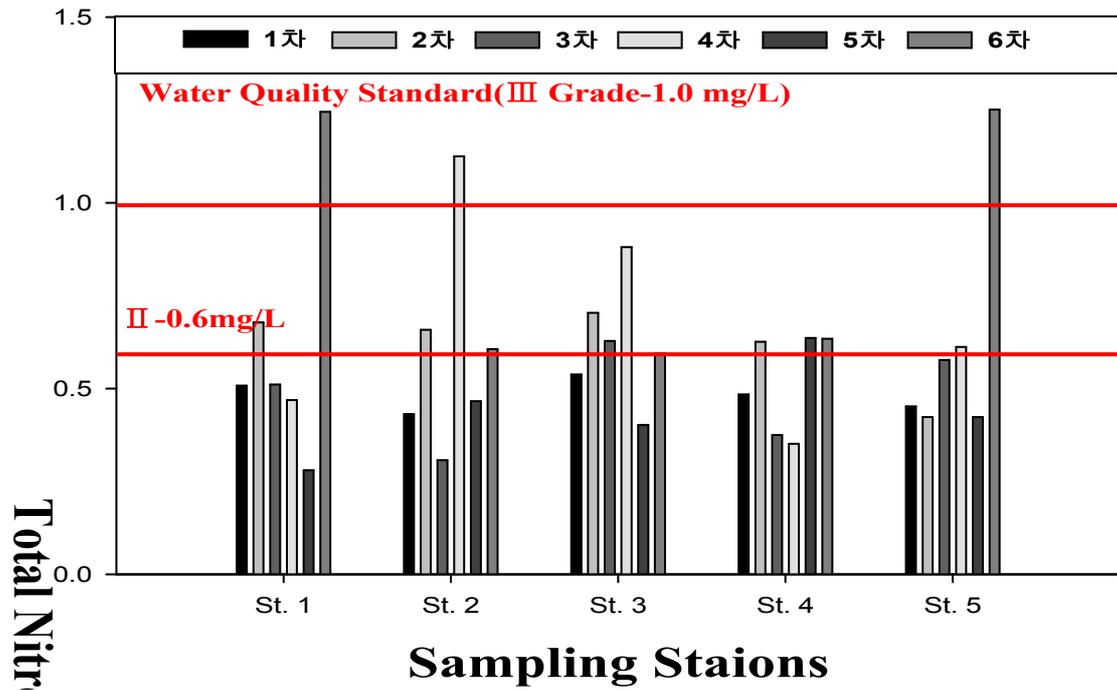


그림 2-3-31. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.

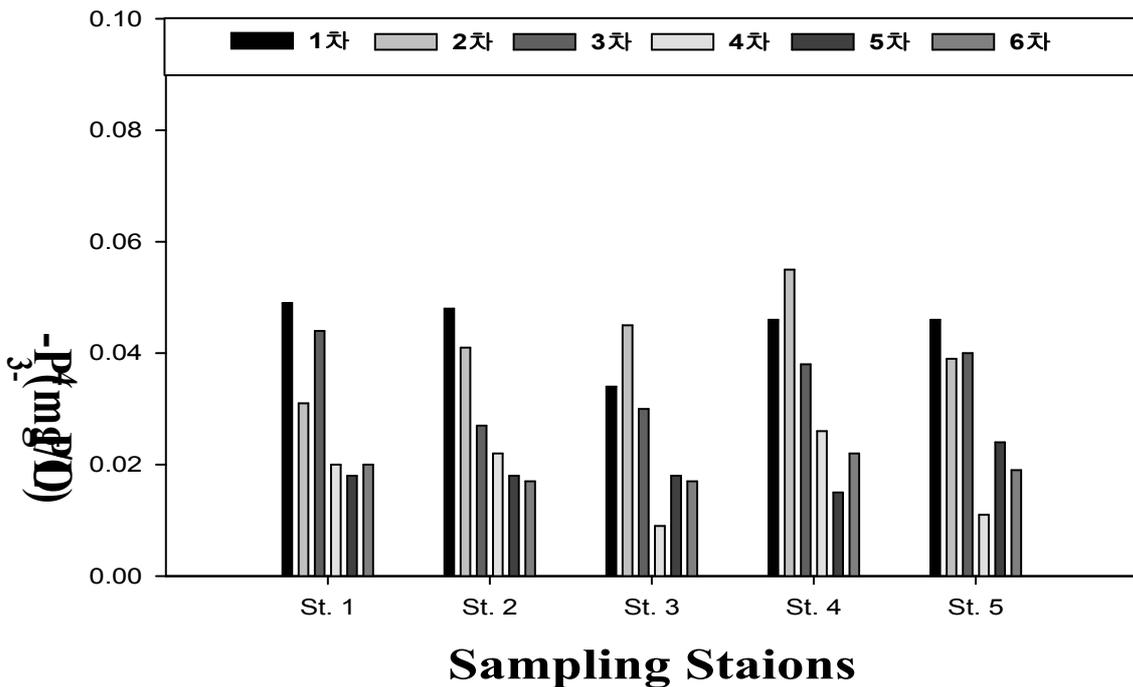


그림 2-3-32. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.

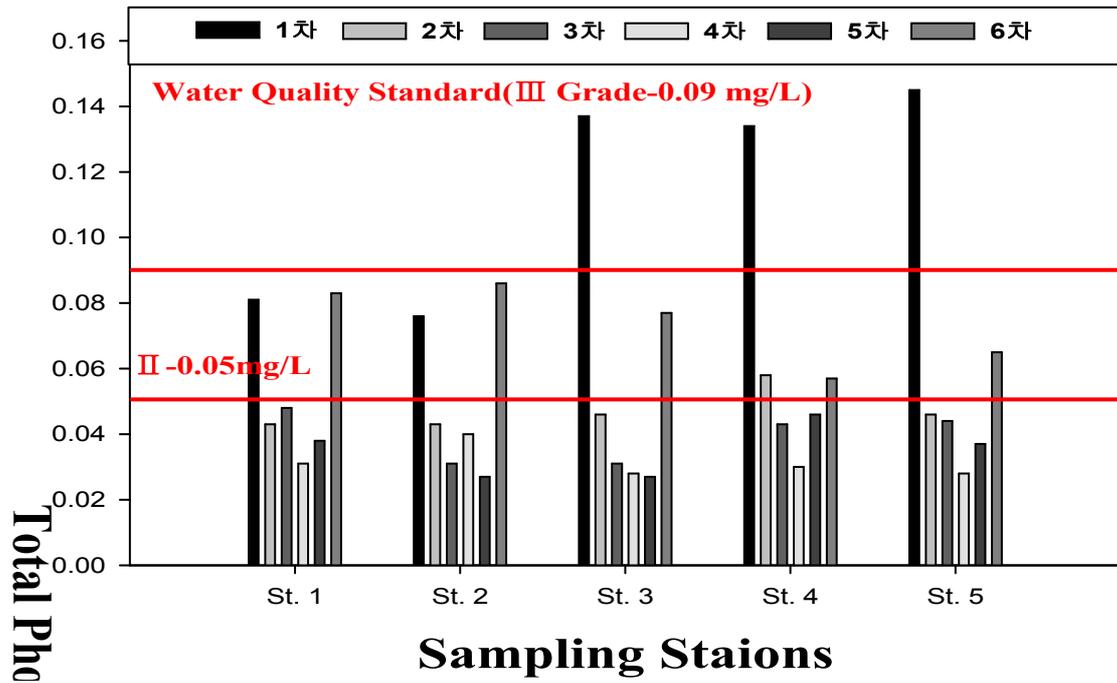


그림 2-3-33. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.

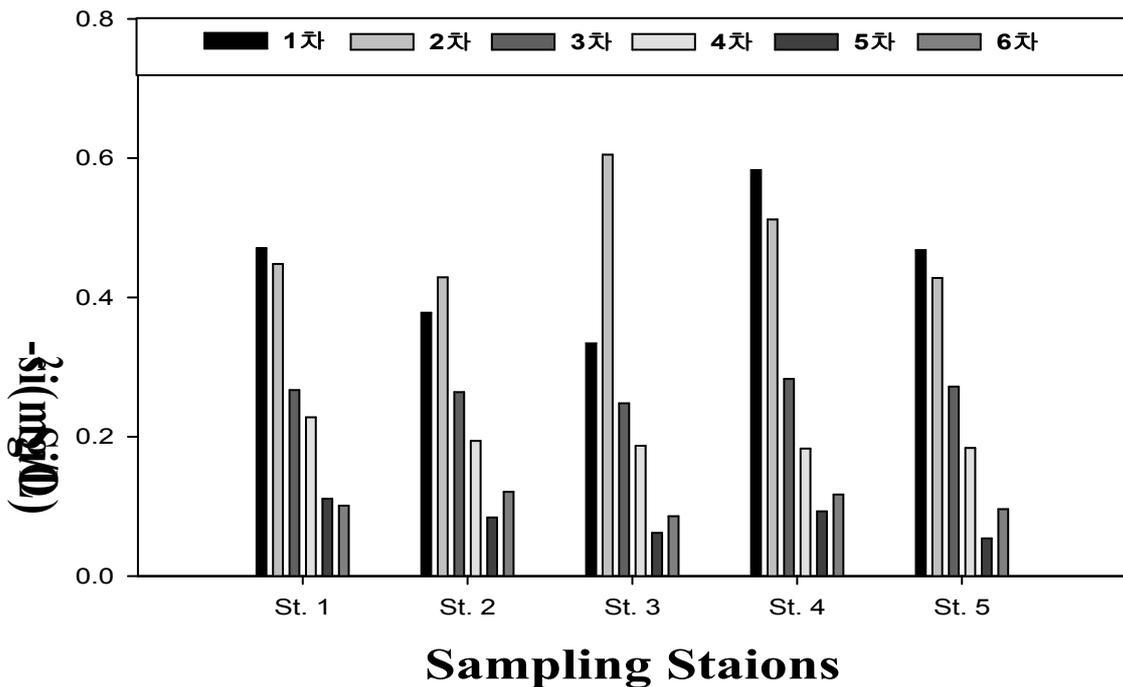


그림 2-3-34. 선유도 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.

3. 무안

가. 일반항목

(1) 수온

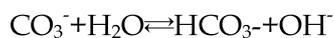
수온은 수중 생물의 생리생태를 지배하는 중요한 조건이므로 김, 미역, 등 해조류 및 해양생물의 생육환경에 중대한 영향을 미친다. 어류 등 유영이 가능한 수중 동물은 수온의 변화에 민감하므로 서식 및 산란에 알맞은 수온을 쫓아 이동해 간다. 하지만 바지락이나 굴 등은 이동할 수 없기 때문에 수온조건에 따라 서식 또는 서식하지 않을 수 있다. 수심과 계절에 따라 상층과 하층간에 해수의 순환이 원활하게 이루어지지 않으면 수온약층(Thermocline)현상이 생기게 되고, 이것은 이차적으로 적조현상을 유발할 환경을 조성시킨다. 수온은 Organism의 적응온도 및 영양염의 수직적 혼합 등 생태계에 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나라고 할 수 있다. 또한 수온은 생물학적 반응온도 및 미생물 번식속도, 수생식물의 종류를 결정하는 아주 중요한 인자이다.

수온 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 28.8~30.0℃(평균 29.5℃), 2차 조사시 21.0~22.5℃(평균 21.6℃)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 13.5~13.9℃(평균 13.7℃), 4차 조사시 10.0~11.8℃(평균 10.5℃), 5차 조사시 -0.7~0.5℃(평균 0.0℃), 6차 조사시 0.4℃(평균 0.4℃)의 범위를 보였다.

(2) pH

pH는 수온과 더불어 기본적인 수질 항목으로 역시 수중 생태계에 중요한 인자중의 하나이다. 자연수의 pH는 일반적으로 용존하는 CO₂ CO₃²⁻의 비율에 의해 중성, 산성, 알칼리성으로 나타낸다. 즉, CO₃²⁻+CO₂+H₂O →2HCO₃⁻ 가 된다 만약에 CO₃²⁻보다CO₂가 많으면 CO₂+H₂O ⇌ H₂CO₃, H₂CO₃⇌H⁺+HCO₃⁻ 로 된다.

상기식에서 보는 바와 같이 H⁺가 증가되어 산성을 나타내게 되고 CO₃²⁻가 많으면 CO₃²⁻은 가수분해되어 OH⁻을 생성시켜 알칼리성이 된다



독성문제는 산성, 알칼리성이 강할 경우 농산물, 수산물에 피해를 주는 동시에 시설, 기물 등을 부식시킨다.

일반적으로 해수에는 많은 OH⁻이온이 존재하기 때문에 담수의 pH보다 높게 나타난다. 만(Bay)과 같은 일부 폐쇄된 수역에는 일시적으로 pH가 크게 변화할 때는 산성 또는 알칼리성 폐수의 유입이 있는지를 의심할 필요가 있다. 하천에서 유입되는 CO₂, SO₂와 같은 비금속 산화물은 물에 녹아 산성을 나타내므로 pH를 감소시키고, Na₂O, K₂O, SrO₂, BaO와 같은 금속산화물은 물에 녹아 염기성을 나타내므로 pH를 증가시킨다. 또한 영양염이 풍부한 수역에서 수중의 식물성플랑크톤(phytoplankton)이 광합성을 하면 pH가 증가된다. 광합성에 의한 pH의 증가는 용존 CO₂의 소비에 의한 것으로

로 햇빛에 의한 영향을 많이 받으며 pH가 7이하로 내려가거나 9이상으로 상승 되었을 때는 생태계에 악영향을 끼치게 된다.

pH 분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 7.89~7.99(평균 7.94), 2차 조사시 7.91~7.99(평균 7.95)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 7.85~8.01(평균 7.92), 4차 조사시 7.95~8.04(평균 7.98), 5차 조사시 7.99~8.04(평균 8.01), 6차 조사시 8.13~8.18(평균 8.16)의 범위를 보였다. 지점별로 유의한 큰 차는 나타나지 않았으며, 이 값은 환경부에서 고시한 해역별 수질환경기준 I 등급(6.5~8.5)에 해당되어 수산생물의 서식·양식 및 산란에 적합한 수질이다.

(3) 염분(Salinity)

해수중의 염분은 생물의 삼투압과 밀접한 관계를 가지고 있으며 생물학적 영향이 매우 커서 난의 발생에도 큰 영향을 미친다. 해산 생물은 염분 변화에 적응하는 능력에 따라 광염성 생물과 협염성 생물로 나뉘며 광염성 생물은 일반적으로 연안성 동·식물로 담수 유입에 의한 염분변화에 잘 적응한다. 또한 염분은 수괴의 특성을 구명하는 주요한 인자로서 담수 유입 시에 상하층간의 혼합특성을 규명하는 인자이며, 수온과 함께 밀도의 변화를 유발함으로써 수괴의 흐름 특성을 파악할 수 있는 인자이다.

염분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 31.16~31.38 ‰(평균 31.26 ‰), 2차 조사시 27.54~29.50 ‰(평균 28.50 ‰)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 27.91~30.22 ‰(평균 29.55 ‰), 4차 조사시 29.98~30.43 ‰(평균 30.21 ‰), 5차 조사시 30.82~31.95 ‰(평균 31.21 ‰), 6차 조사시 29.95~31.12 ‰(평균 30.39 ‰)의 범위를 보였다. 지점 간에는 유의한 차이는 나타나지 않았다.

(4) 용존산소(DO)

어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수괴의 혼합특성을 구명하며, 수환경의 생태계적 건강성을 나타내는 인자로 이용되는 용존산소의 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 7.22~8.75 mg/ℓ(평균 7.99 mg/ℓ), 2차 조사시 8.73~9.84 mg/ℓ(평균 9.06 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 8.73~9.85 mg/ℓ(평균 9.15 mg/ℓ), 4차 조사시 9.67~10.65 mg/ℓ(평균 10.00 mg/ℓ), 5차 조사시 10.45~11.89 mg/ℓ(평균 11.47 mg/ℓ), 6차 조사시 10.02~10.91 mg/ℓ(평균 10.35 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존산소의 농도는 계절적인 변동을 하는데, 수온이 낮은 동계에는 높은 농도를 나타내며, 춘계에는 높은 수온으로 인하여 낮은 농도를 보인다. 본 조사 결과 1차 조사시 최저농도가 7.22 mg/ℓ로 전체적으로 해역수질환경기준인 I 등급수 (7.5 mg/ℓ 이상)를 만족하는 수준이다.

(5) 화학적 산소요구량

해수중의 유기물량을 간접적으로 나타내는 지표로서 해역의 유기오염의 척도로 이용되는 화학적산소요구량(COD)의 농도를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 1.787~3.339

mg/ℓ (평균 2.686 mg/ℓ), 2차 조사시 1.371~2.523 mg/ℓ (평균 1.703 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 1.669~4.261 mg/ℓ (평균 2.837 mg/ℓ), 4차 조사시 1.104~3.152 mg/ℓ (평균 1.974 mg/ℓ), 5차 조사시 2.192~4.656 mg/ℓ (평균 3.018 mg/ℓ), 6차 조사시 2.747~4.283 mg/ℓ (평균 3.499 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 해역의 유기물 특성을 나타내는 화학적 산소요구량은 해수 중에 부유하는 유기입자의 영향을 많이 받는다. 본 조사의 계절적 변동에서 부유물질의 농도가 증가하는 동계에 높은 COD 농도를 나타내고 있었다. 해역수질환경기준과 비교하면 전체적으로 II~III등급수를 나타내었다.

(6) 클로로필(Chlorophyll-a)

해양에서의 클로로필은 해양 일차생산자인 식물플랑크톤의 생산력을 나타내는 주요한 인자이다.

클로로필의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 4.924~6.967 mg/m³(평균 5.875 mg/m³), 2차 조사시 4.556~8.262 mg/m³(평균 6.053 mg/m³)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 2.635~6.332 mg/m³(평균 4.136 mg/m³), 4차 조사시 2.369~3.233 mg/m³(평균 2.805 mg/m³), 5차 조사시 2.020~4.326 mg/m³(평균 3.235 mg/m³), 6차 조사시 5.819~15.011 mg/m³(평균 10.435 mg/m³)의 범위를 보였다.

(7) 유분

해수 중 유분 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.05~0.11 μg/ℓ (평균 0.07 μg/ℓ), 2차 조사시 0.03~0.11 μg/ℓ (평균 0.08 μg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.12~0.19 μg/ℓ (평균 0.15 μg/ℓ), 4차 조사시 0.05~0.17 μg/ℓ (평균 0.08 μg/ℓ), 5차 조사시 0.01~0.09 μg/ℓ (평균 0.04 μg/ℓ), 6차 조사시 0.03~0.10 μg/ℓ (평균 0.05 μg/ℓ)의 범위를 보였다. 대부분의 유분 농도가 기준치보다 훨씬 못 미치는 농도 수준을 나타내고 있었다.

(8) 부유물질

해수중의 부유물질의 양을 나타내는 총부유물질(TSS)의 농도범위를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 65.4~164.6 mg/ℓ (평균 99.2 mg/ℓ), 2차 조사시 35.2~73.8 mg/ℓ (평균 54.2 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 34.8~43.2 mg/ℓ (평균 39.8 mg/ℓ), 4차 조사시 53.6~111.6 mg/ℓ (평균 90.6 mg/ℓ), 5차 조사시 42.8~322.4 mg/ℓ (평균 104.2 mg/ℓ), 6차 조사시 62.4~181.0 mg/ℓ (평균 92.8 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 부유물질에 대한 해역수질환경기준은 2001년 1월 개정된 기준에는 삭제되었다. 부유물질의 농도 변화는 육상에서의 오염물질의 유입에 의한 영향과 바람에 의한 저층에서의 재부유의 영향 등 여러 요인에 의하여 나타날 수 있다. 부유물질의 계절적인 변동은 서해의 경우 북서계절풍이 우세하게 부는 추계와 동계에 높은 농도를 나타낸다고 보고하고 있다(최 등). 본 조사에서도 동계가 다른 계절에 비하여 높은 농도를 나타내고 있었다.

부유물질 중에 포함된 유기물의 양을 나타내는 휘발성부유물질(VSS)의 농도분포는

어장 정화사업 전 1차 조사시 10.0~12.0 mg/ℓ (평균 11.0 mg/ℓ), 2차 조사시 9.4~39.2 mg/ℓ (평균 18.0 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 12.4~17.2 mg/ℓ (평균 14.5 mg/ℓ), 4차 조사시 16.0~22.0 mg/ℓ (평균 19.5 mg/ℓ), 5차 조사시 12.0~24.0 mg/ℓ (평균 14.6 mg/ℓ), 6차 조사시 10.8~24.6 mg/ℓ (평균 17.6 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총 부유물질 중 유기물이 차지하는 비율은 계절별로 큰 차이를 보였는데, 춘계, 하계, 추계에는 30~50%의 변동 폭을 나타내었으나, 동계에는 20% 전후의 비율을 나타내었다. 이는 동계 북서풍에 의한 수계혼합이 활발하여 발생한 것으로 판단된다.

표 2-3-5. 해양수질 조사항목(일반항목)

조사항목		수온 (°C)	염분 (psu)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	TSS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	유분 (μg/ℓ)
조사 일시	조사 지점									
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	7.8~8.3 6.5~8.5 6.5~8.5	7.5이상 5이상 2이상	1이하 2이하 4이하	-	-	-	-
1차조사	St.1	30.0	31.33	7.99	8.75	2.747	87.8	12.0	5.824	0.11
	St.2	30.0	31.38	7.98	8.44	3.339	164.6	10.0	6.967	0.08
	St.3	29.6	31.22	7.93	7.79	2.939	80.4	10.6	5.934	0.05
	St.4	28.8	31.21	7.93	7.76	1.787	97.6	11.4	4.924	0.06
	St.5	29.0	31.16	7.89	7.22	2.619	65.4	10.8	5.727	0.05
2차조사	St.1	22.2	27.54	7.99	9.84	1.595	35.2	9.4	4.556	0.11
	St.2	22.5	28.08	7.97	8.94	2.523	60.8	15.6	8.262	0.09
	St.3	21.3	28.60	7.94	8.84	1.451	50.2	12.6	6.579	0.08
	St.4	21.2	28.76	7.91	8.96	1.579	51.2	13.0	5.632	0.03
	St.5	21.0	29.50	7.94	8.73	1.371	73.8	39.2	5.234	0.07
3차조사	St.1	13.5	30.12	8.01	8.96	2.325	43.2	14.8	3.487	0.19
	St.2	13.5	29.94	7.87	9.85	2.901	42.0	14.0	5.512	0.15
	St.3	13.9	30.22	7.85	8.73	3.029	40.8	17.2	2.716	0.12
	St.4	13.8	27.91	7.90	9.15	1.669	34.8	12.4	2.635	0.12
	St.5	13.9	29.58	7.98	9.04	4.261	38.0	14.0	6.332	0.19
4차조사	St.1	11.8	29.98	8.12	10.65	1.680	95.6	21.6	2.669	0.06
	St.2	10.5	30.25	8.08	9.89	3.152	53.6	16.0	2.875	0.06
	St.3	10.0	30.37	7.99	10.06	1.104	102.0	22.0	2.369	0.05
	St.4	10.0	30.03	8.08	9.71	2.112	90.0	19.6	2.880	0.05
	St.5	10.0	30.43	8.02	9.67	1.824	111.6	18.4	3.233	0.17
5차조사	St.1	0.5	31.15	7.99	11.80	2.496	49.6	13.2	2.300	0.05
	St.2	-0.7	30.82	8.00	10.45	4.656	322.4	24.0	4.299	0.02
	St.3	0.0	31.07	7.99	11.89	2.528	52.0	12.0	2.020	0.01
	St.4	0.0	31.95	8.01	11.43	3.216	42.8	12.0	4.326	0.02
	St.5	0.4	31.06	8.04	11.77	2.192	54.0	12.0	3.229	0.09
6차조사	St.1	11.5	30.11	8.18	10.39	3.579	66.4	10.8	11.583	0.05
	St.2	8.0	31.12	8.17	10.02	4.283	181.0	24.6	15.011	0.05
	St.3	7.3	30.25	8.17	10.91	3.387	78.0	19.2	12.980	0.04
	St.4	7.8	29.95	8.13	10.31	2.747	62.4	15.2	6.784	0.03
	St.5	7.5	30.52	8.14	10.14	3.499	76.0	18.0	5.819	0.10

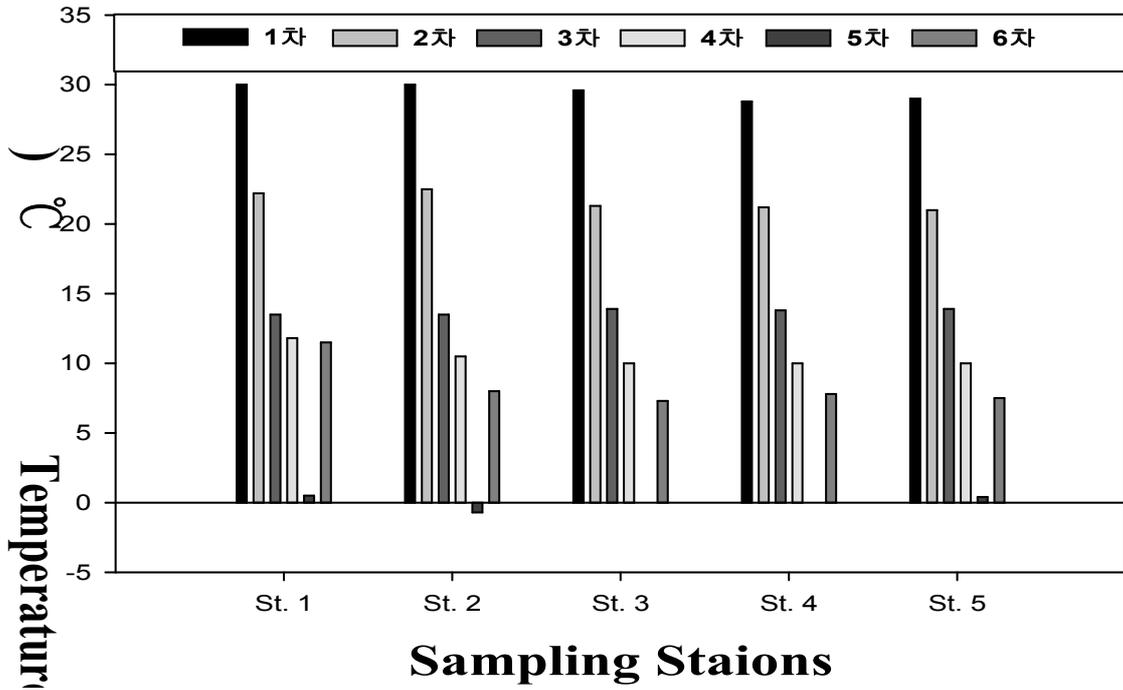


그림 2-3-35. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.

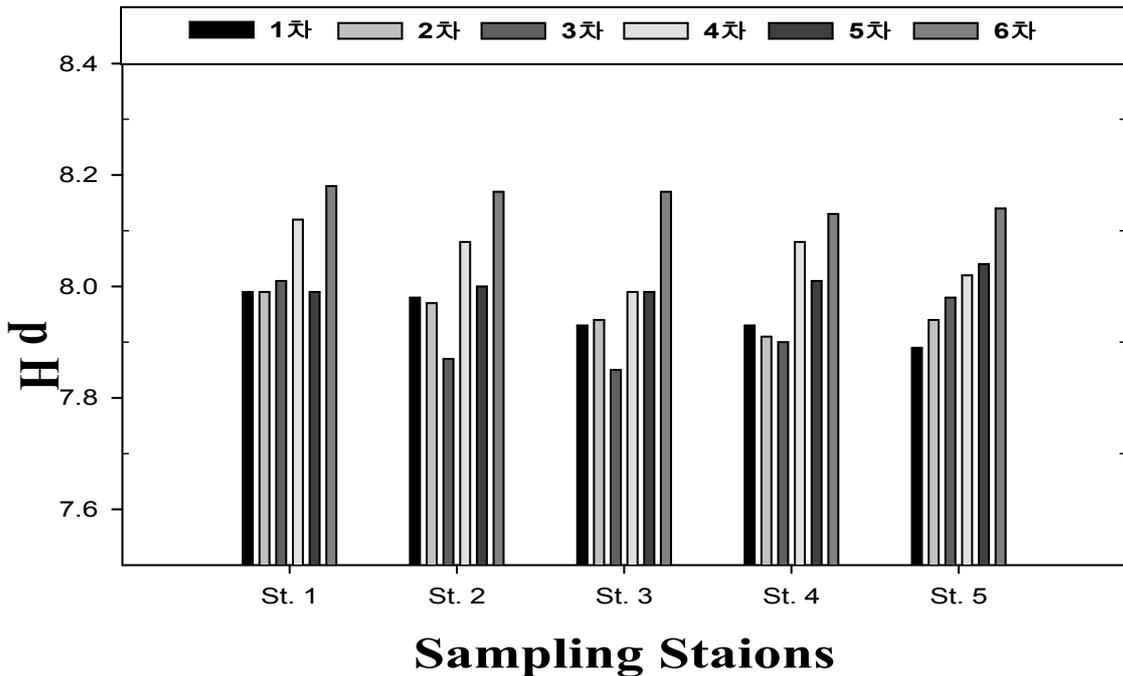


그림 2-3-36. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화.

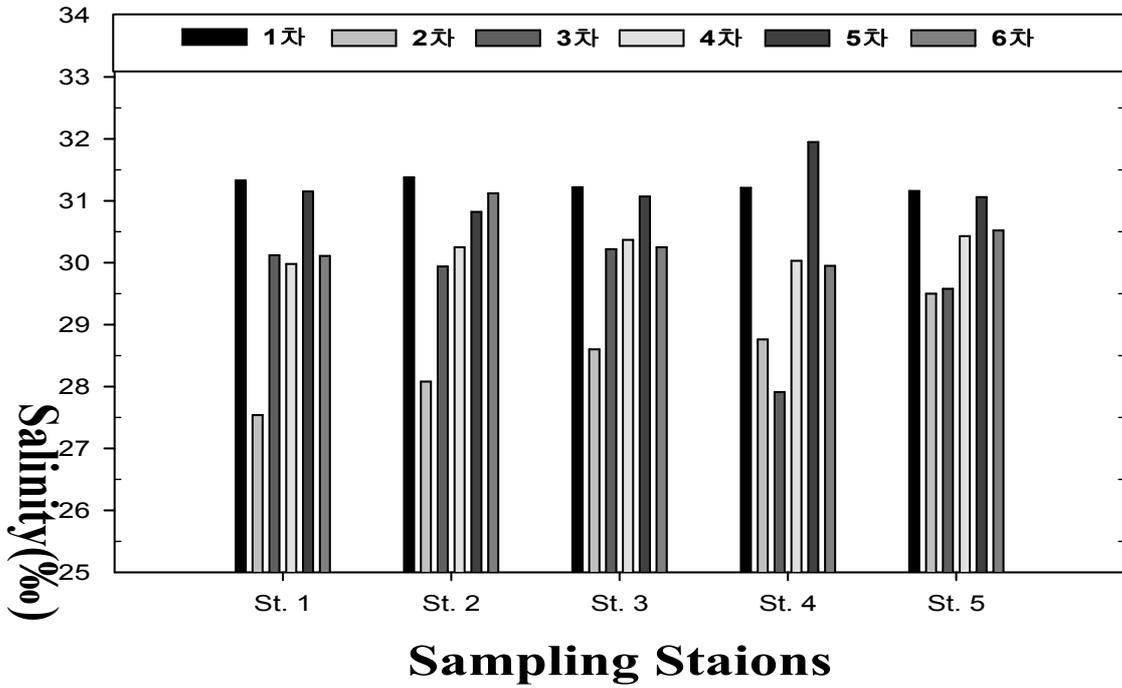


그림 2-3-37. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.

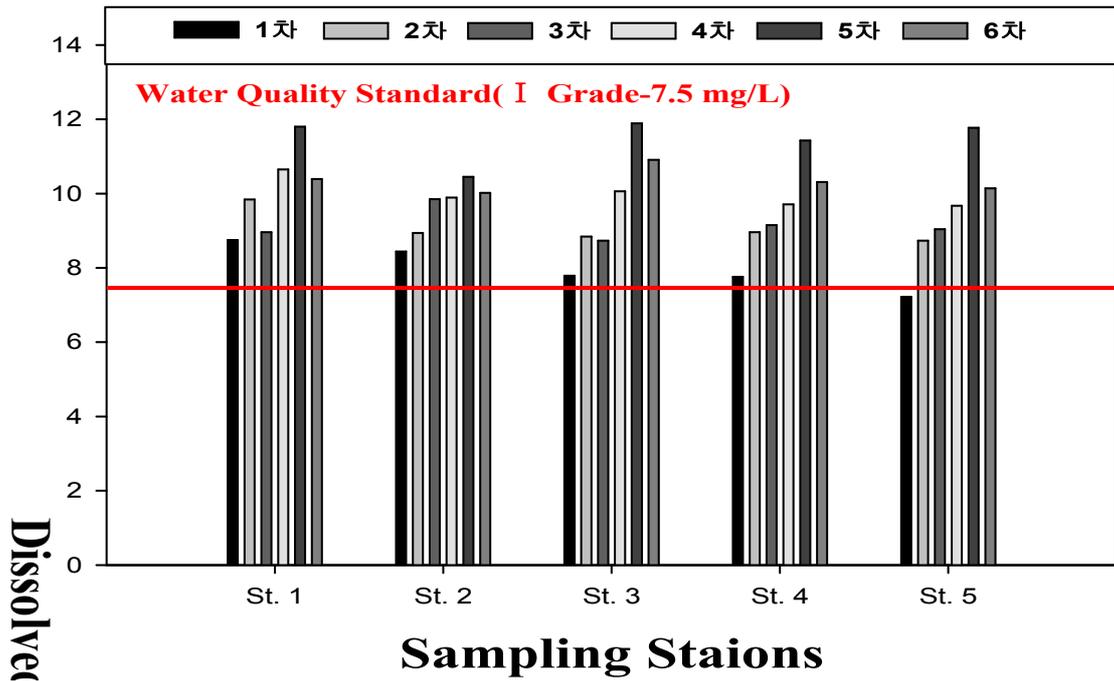


그림 2-3-38. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.

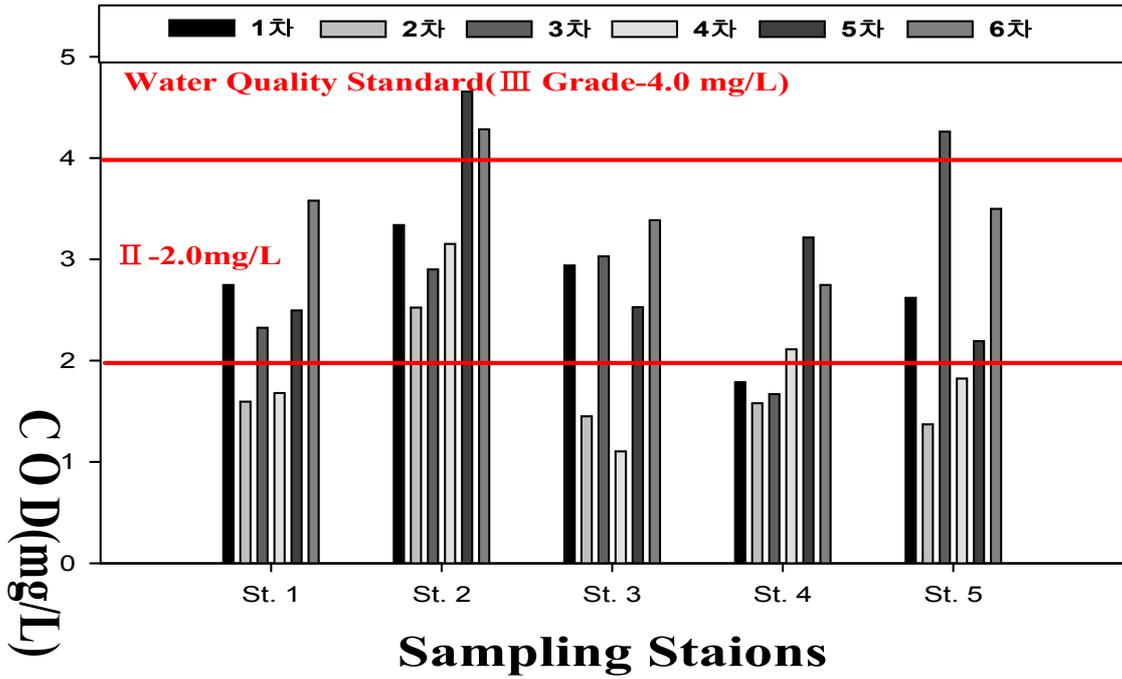


그림 2-3-39. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화.

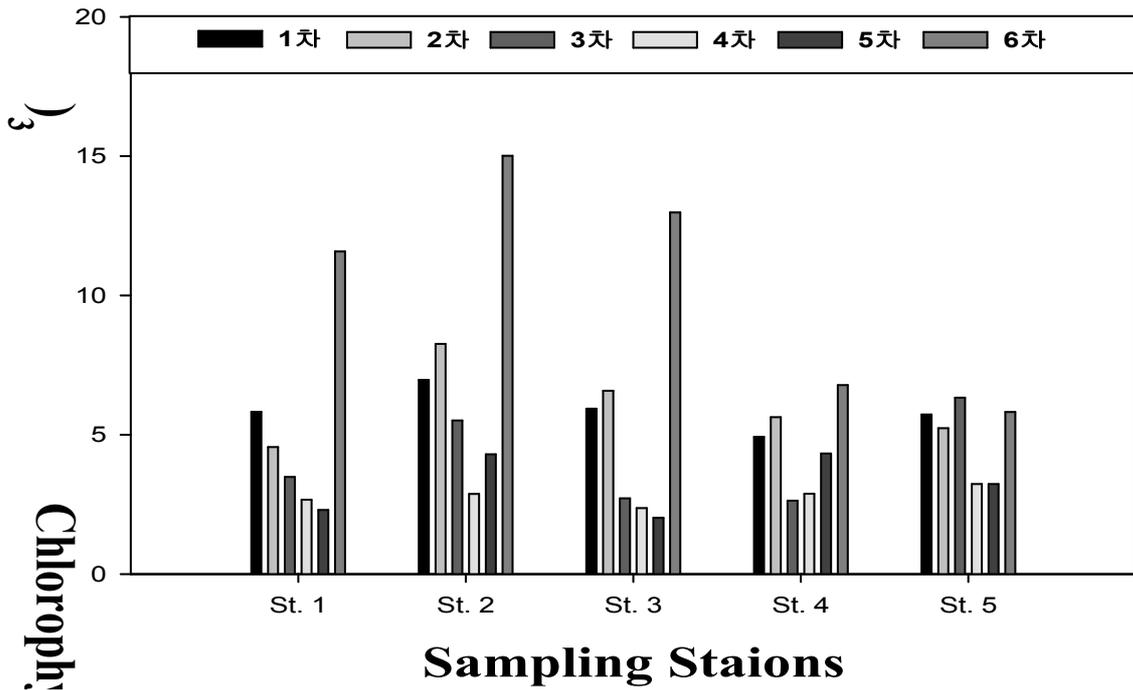


그림 2-3-40. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.

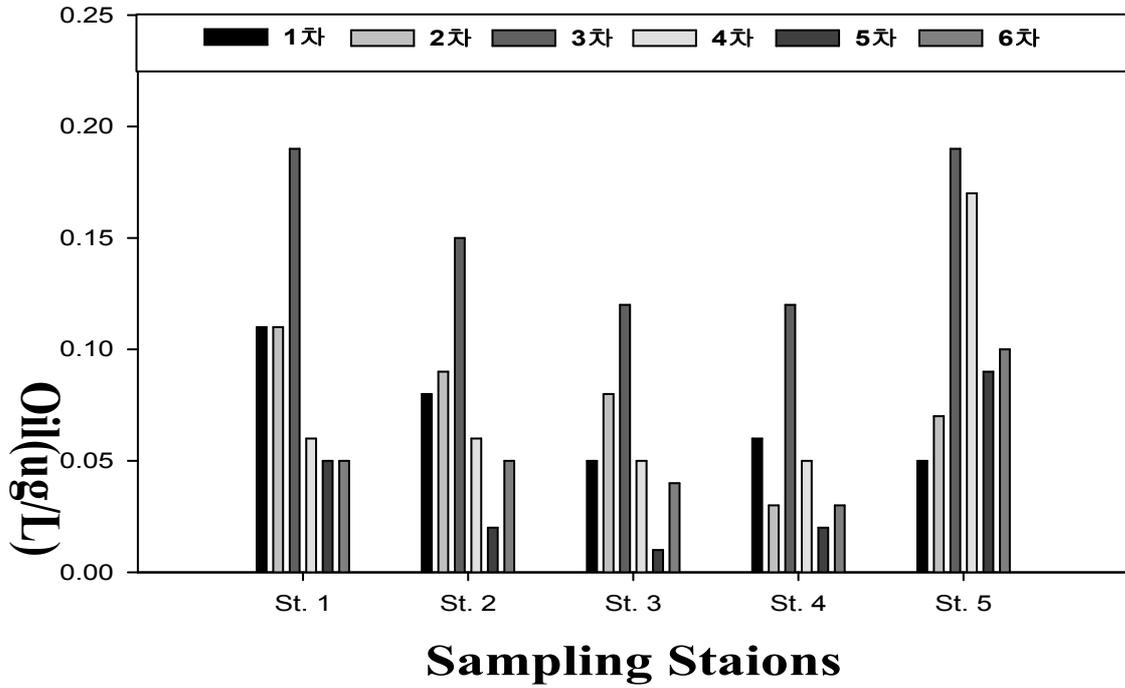


그림 2-3-41. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.

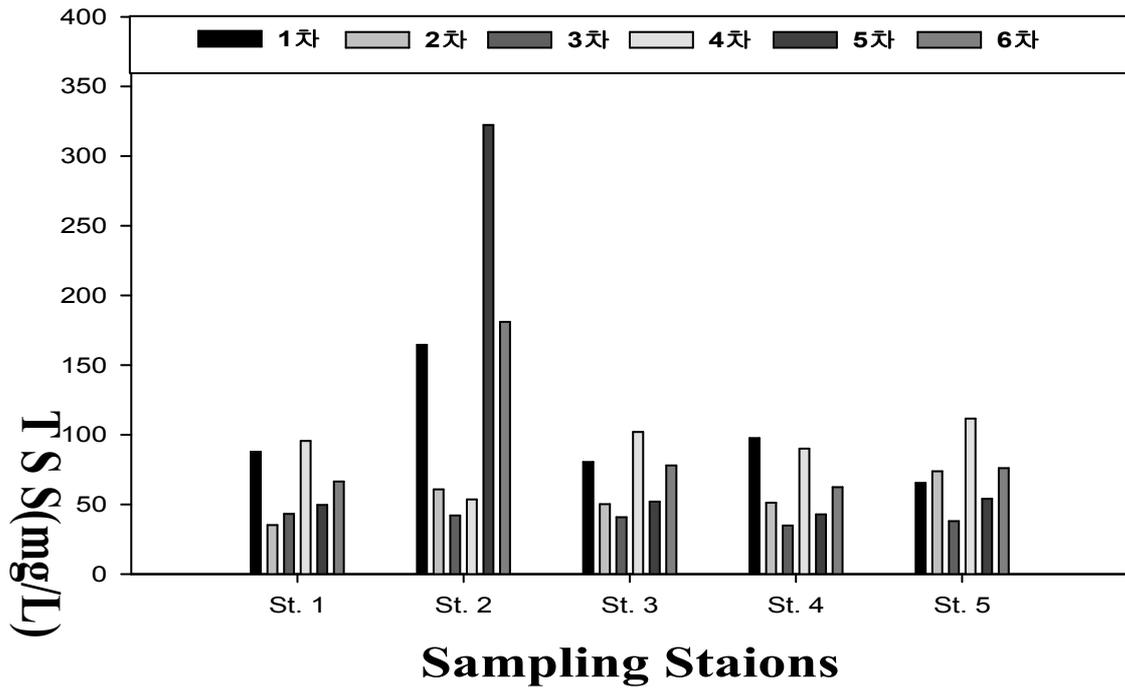


그림 2-3-42. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화.

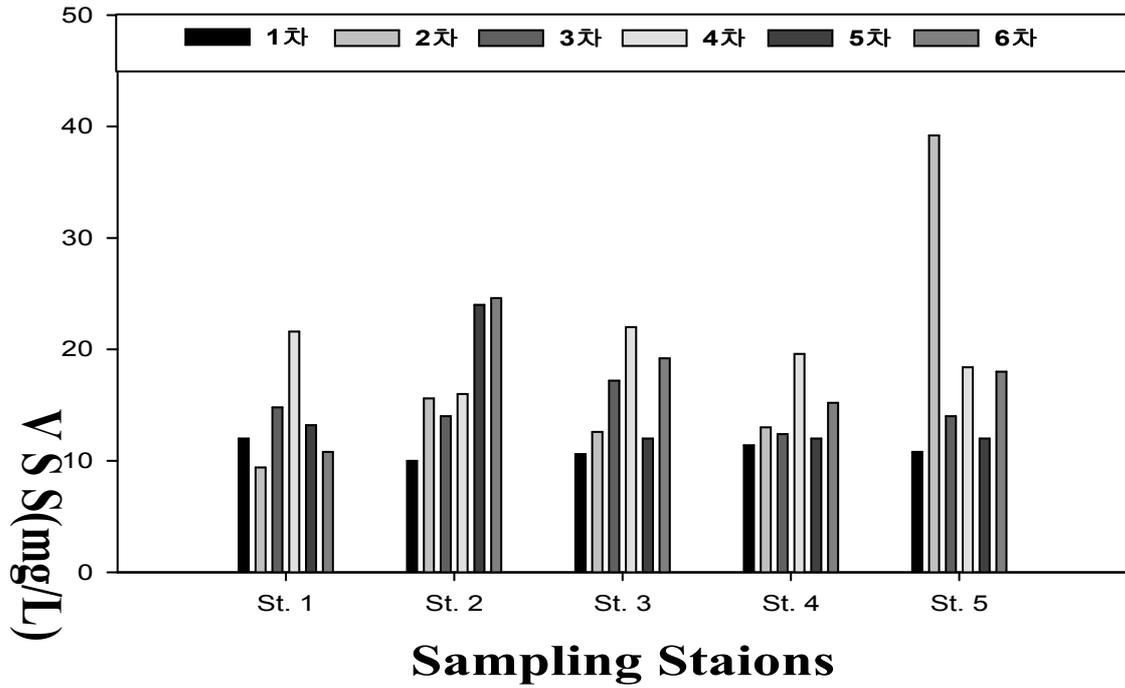


그림 2-3-43. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화.

나. 영양염류

(1) 암모니아질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

해역의 부영양화 정도를 판단하는 척도가 비료성분인 질소의 한 성분인 암모니아는 조류성장의 제한인자로서 중요한 역할을 하고 있다. 본 조사해역의 암모니아질소 농도분포는 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.012~0.022 mg/ℓ (평균 0.016 mg/ℓ), 2차 조사시 0.013~0.038 mg/ℓ (평균 0.022 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.010~0.021 mg/ℓ (평균 0.014 mg/ℓ), 4차 조사시 0.007~0.038 mg/ℓ (평균 0.017 mg/ℓ), 5차 조사시 0.028~0.037 mg/ℓ (평균 0.032 mg/ℓ), 6차 조사시 0.005~0.020 mg/ℓ (평균 0.011 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 암모니아질소는 저층에서의 유기물 분해와 퇴적물의 용출에 의해 공급되며, 식물플랑크톤의 광합성으로 소비되는 물질이다.

(2) 아질산질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$)

질소 성분 중 암모니아질소에서 질산질소로 변환되는 과정에서 생성되는 인자로서 오염의 변환정도를 판단하는 척도가 되는 인자인 아질산질소의 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.037~0.042 mg/ℓ (평균 0.040 mg/ℓ), 2차 조사시 0.022~0.026 mg/ℓ (평균 0.024 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.003~0.010 mg/ℓ (평균 0.006 mg/ℓ), 4차 조사시 0.015~0.024 mg/ℓ (평균 0.020 mg/ℓ), 5차 조사시 0.003~0.007 mg/ℓ (평균 0.005 mg/ℓ), 6차 조사시 0.000~0.001 mg/ℓ (평균 0.001 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

아질산질소는 암모니아질소의 질산화과정에서 중간생성물로 만들어지는 물질로써 자연계에서의 농도가 낮으나, 오염되어 분해가 활발한 해역에서 높게 나타난다.

(3) 질산질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

식물플랑크톤의 제한인자중의 하나로서 질산화 과정의 최종산물인 질산질소는 총질소농도의 중요부분을 차지하고 있다. 질산질소 농도분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.222~0.369 mg/ℓ (평균 0.279 mg/ℓ), 2차 조사시 0.053~0.369 mg/ℓ (평균 0.237 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.188~0.312 mg/ℓ (평균 0.260 mg/ℓ), 4차 조사시 0.110~0.514 mg/ℓ (평균 0.218 mg/ℓ), 5차 조사시 0.161~0.263 mg/ℓ (평균 0.188 mg/ℓ), 6차 조사시 0.023~0.378 mg/ℓ (평균 0.176 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

질산질소는 질소산화물의 최종분해단계에서 나타나는 안정된 물질로써, 무기질소의 대부분을 차지하고 있다. 본 조사에서도 용존무기질소의 대부분을 질산질소형태로 나타났다.

(4) 용존무기질소(DIN)

아질산질소, 질산질소, 암모니아질소의 합인 용존무기질소(DIN)는 수중생물, 특히 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양원으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있다 (Raymont, 1980). 조사해역의 용존무기질소 농도 분포를 보면, 어장 정화사업 전 1차 조

사시 0.276~0.427 mg/ℓ (평균 0.334 mg/ℓ), 2차 조사시 0.093~0.410 mg/ℓ (평균 0.283 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.204~0.329 mg/ℓ (평균 0.280 mg/ℓ), 4차 조사시 0.132~0.554 mg/ℓ (평균 0.255 mg/ℓ), 5차 조사시 0.195~0.303 mg/ℓ (평균 0.225 mg/ℓ), 6차 조사시 0.029~0.396 mg/ℓ (평균 0.188 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

용존무기질소의 계절적인 특징은 질산질소와 암모니아질소를 에너지원으로 하는 조류의 성장과 밀접한 관련이 있으며, 하계 조류 성장에 의해 감소하며, 추계 증가하는 경향을 보인다.

(5) 총 질소(T-N)

유기질소와 무기질소의 합인 총 질소는 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 2001년도 해양수질환경기준에 해역의 질소기준이 이전의 무기질소에서 총질소를 기준으로 규제토록 수정되었다. 총질소의 농도분포는 동어장 정화사업 전 1차 조사시 0.479~0.689 mg/ℓ (평균 0.601 mg/ℓ), 2차 조사시 0.380~0.763 mg/ℓ (평균 0.504 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.636~1.078 mg/ℓ (평균 0.887 mg/ℓ), 4차 조사시 0.632~1.093 mg/ℓ (평균 0.905 mg/ℓ), 5차 조사시 0.276~0.472 mg/ℓ (평균 0.379 mg/ℓ), 6차 조사시 1.039~1.492 mg/ℓ (평균 1.342 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 이는 3, 4, 6차 조사를 제외하고는 평균적으로 해양수질환경기준 II등급수(0.3~0.6mg/ℓ)에 해당된다.

(6) 용존 무기인(DIP)

용존무기질소와 함께 수중생물의 필수영양염인 용존 무기인의 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.033~0.071 mg/ℓ (평균 0.050 mg/ℓ), 2차 조사시 0.104~0.138 mg/ℓ (평균 0.118 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.070~0.097 mg/ℓ (평균 0.085 mg/ℓ), 4차 조사시 0.026~0.030 mg/ℓ (평균 0.029 mg/ℓ), 5차 조사시 0.018~0.040 mg/ℓ (평균 0.030 mg/ℓ), 6차 조사시 0.017~0.023 mg/ℓ (평균 0.020 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존 무기인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다.

(7) 총인(T-P)

유기인과 무기인의 합인 총인은 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 농도분포는, 어장 정화사업 전 1차 조사시 0.087~0.217 mg/ℓ (평균 0.147 mg/ℓ), 2차 조사시 0.129~0.169 mg/ℓ (평균 0.147 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.108~0.162 mg/ℓ (평균 0.122 mg/ℓ), 4차 조사시 0.030~0.056 mg/ℓ (평균 0.044 mg/ℓ), 5차 조사시 0.085~0.118 mg/ℓ (평균 0.097 mg/ℓ), 6차 조사시 0.115~0.181 mg/ℓ (평균 0.150 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 총인의 변동을 보면, 어장 환경 개선 사업 후 낮아지는 농도를 나타내었다.

(8) 규산규소(SiO₂-Si)

용존무기질소와 용존 인과 함께 수중생물의 필수영양염인 규산규소의 농도분포는, 어

장 정화사업 전 1차 조사시 0.794~1.010 mg/ℓ (평균 0.876 mg/ℓ), 2차 조사시 0.909~1.016 mg/ℓ (평균 0.968 mg/ℓ)의 범위를 보였으며, 어장 정화사업 후 3차 조사시 0.695~0.983 mg/ℓ (평균 0.798 mg/ℓ), 4차 조사시 0.591~0.737 mg/ℓ (평균 0.637 mg/ℓ), 5차 조사시 0.282~0.435 mg/ℓ (평균 0.316 mg/ℓ), 6차 조사시 0.094~0.369 mg/ℓ (평균 0.205 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

표 2-3-6. 해양수질 조사항목(영양염류)

조사항목		암모니아 성질소 (mg/ℓ)	아질산성 질소 (mg/ℓ)	질산성 질소 (mg/ℓ)	용존무기 질소 (mg/ℓ)	총 질소 (mg/ℓ)	인산인 (mg/ℓ)	총 인 (mg/ℓ)	규산규소 (mg/ℓ)
조사 일시	조사 지점								
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	-	-	0.3이하 0.6이하 1.0이하	-	0.03이하 0.05이하 0.09이하	-
1차조사	St.1	0.014	0.041	0.222	0.276	0.479	0.060	0.087	0.830
	St.2	0.014	0.038	0.232	0.284	0.505	0.071	0.149	1.010
	St.3	0.018	0.042	0.290	0.350	0.657	0.046	0.158	0.922
	St.4	0.012	0.040	0.281	0.333	0.689	0.039	0.126	0.794
	St.5	0.022	0.037	0.369	0.427	0.675	0.033	0.217	0.826
2차조사	St.1	0.038	0.024	0.272	0.334	0.451	0.138	0.169	0.975
	St.2	0.027	0.022	0.328	0.377	0.763	0.115	0.155	1.016
	St.3	0.014	0.026	0.369	0.410	0.426	0.113	0.129	0.993
	St.4	0.015	0.025	0.053	0.093	0.501	0.104	0.134	0.909
	St.5	0.013	0.024	0.165	0.202	0.380	0.120	0.147	0.946
3차조사	St.1	0.015	0.010	0.244	0.268	0.774	0.089	0.114	0.737
	St.2	0.011	0.003	0.282	0.295	1.078	0.097	0.160	0.983
	St.3	0.010	0.006	0.312	0.329	0.907	0.087	0.116	0.695
	St.4	0.011	0.004	0.188	0.204	0.636	0.080	0.114	0.722
	St.5	0.021	0.008	0.273	0.303	1.041	0.070	0.108	0.852
4차조사	St.1	0.038	0.023	0.151	0.212	0.845	0.029	0.056	0.737
	St.2	0.021	0.019	0.514	0.554	1.093	0.030	0.042	0.635
	St.3	0.007	0.024	0.146	0.176	0.893	0.026	0.030	0.619
	St.4	0.007	0.015	0.110	0.132	0.632	0.030	0.035	0.591
	St.5	0.012	0.018	0.168	0.198	1.064	0.029	0.056	0.605
5차조사	St.1	0.028	0.005	0.161	0.195	0.397	0.032	0.097	0.283
	St.2	0.037	0.003	0.263	0.303	0.472	0.040	0.118	0.435
	St.3	0.029	0.005	0.164	0.198	0.425	0.024	0.085	0.282
	St.4	0.031	0.007	0.167	0.205	0.326	0.035	0.085	0.291
	St.5	0.035	0.007	0.183	0.225	0.276	0.018	0.098	0.290
6차조사	St.1	0.009	0.001	0.318	0.328	1.039	0.021	0.153	0.369
	St.2	0.020	0.001	0.092	0.112	1.416	0.023	0.181	0.273
	St.3	0.017	0.001	0.378	0.396	1.400	0.017	0.177	0.162
	St.4	0.005	0.000	0.067	0.073	1.362	0.022	0.115	0.094
	St.5	0.005	0.000	0.023	0.029	1.492	0.018	0.126	0.126

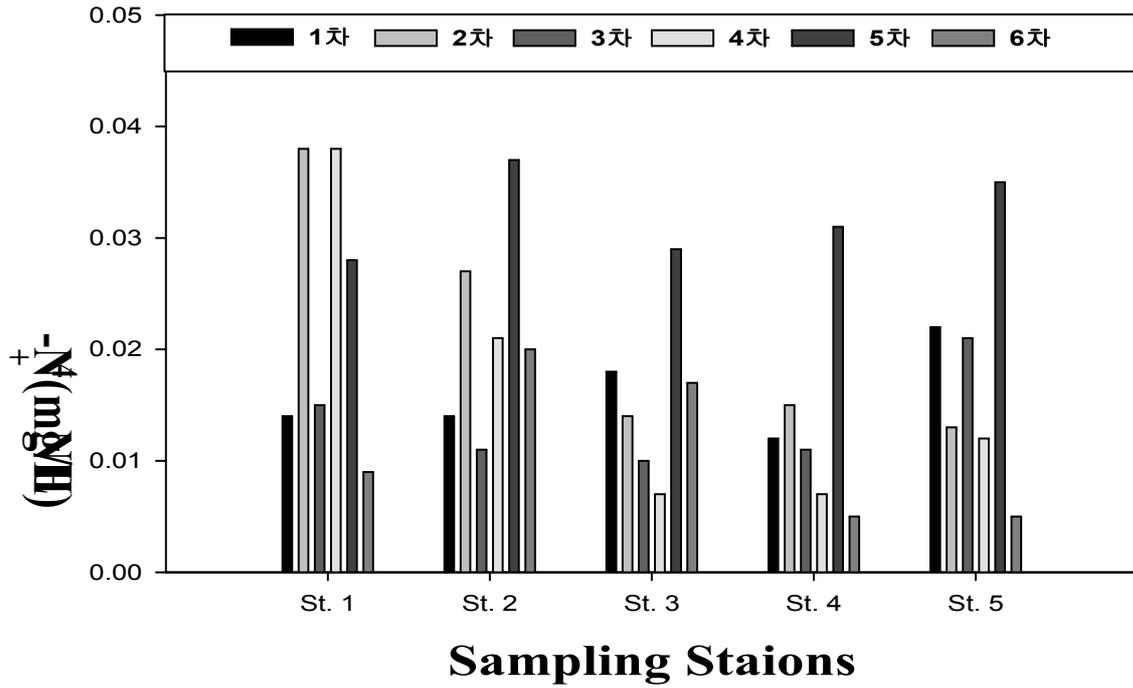


그림 2-3-44. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.

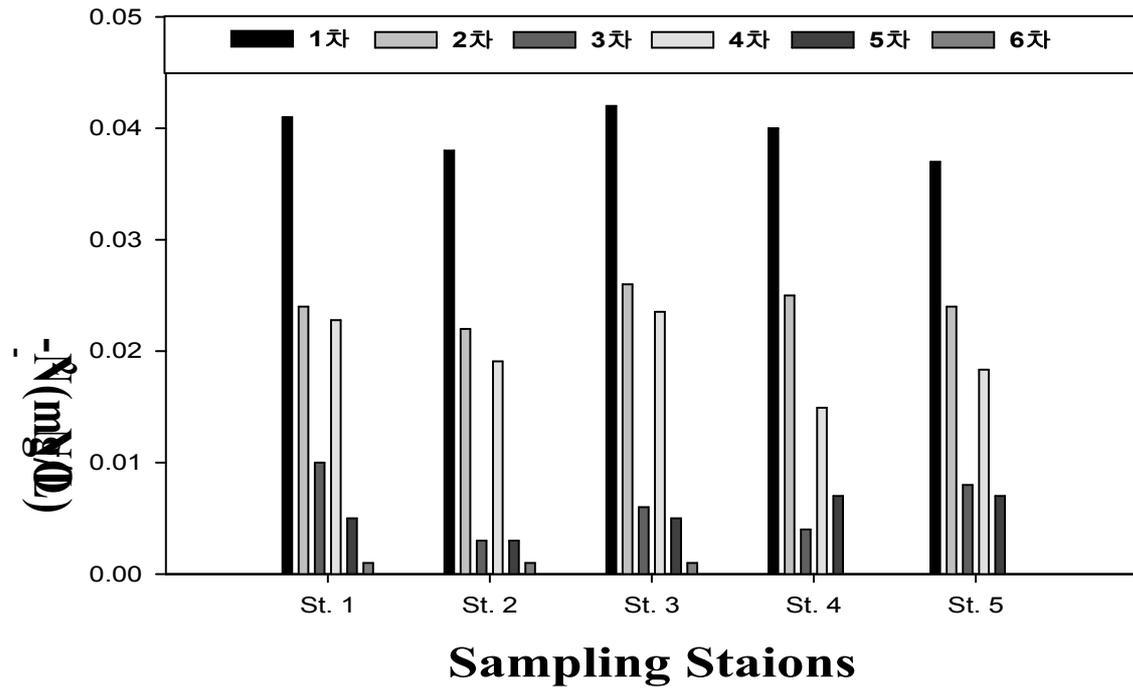


그림 2-3-45. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.

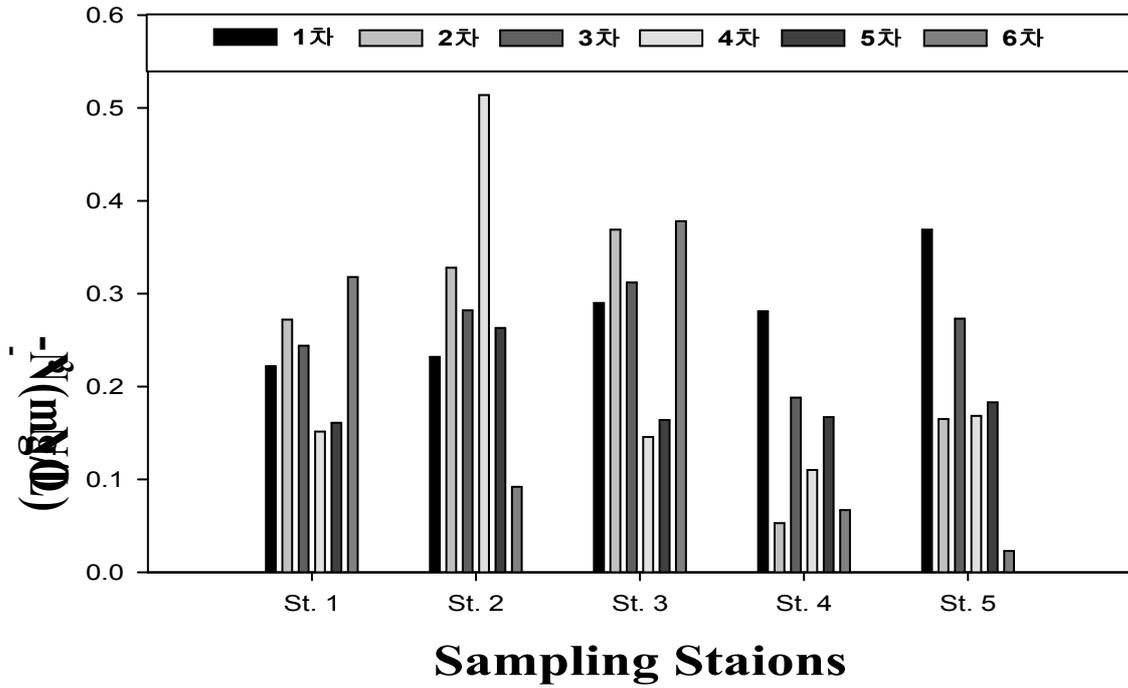


그림 2-3-46. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.

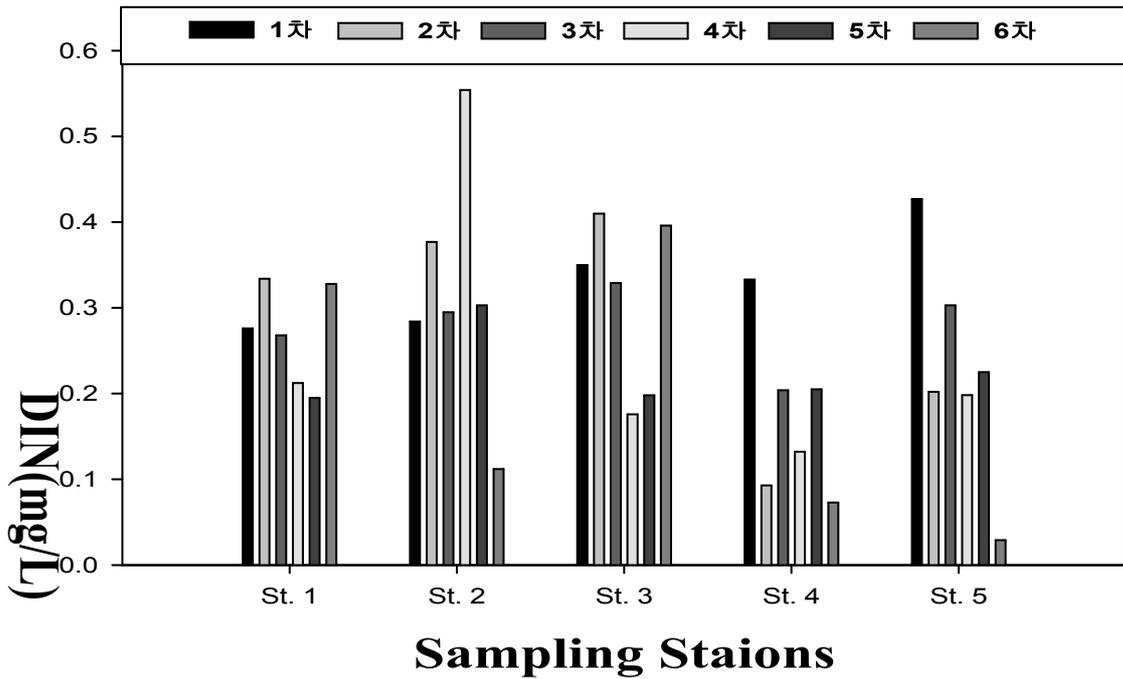


그림 2-3-47. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.

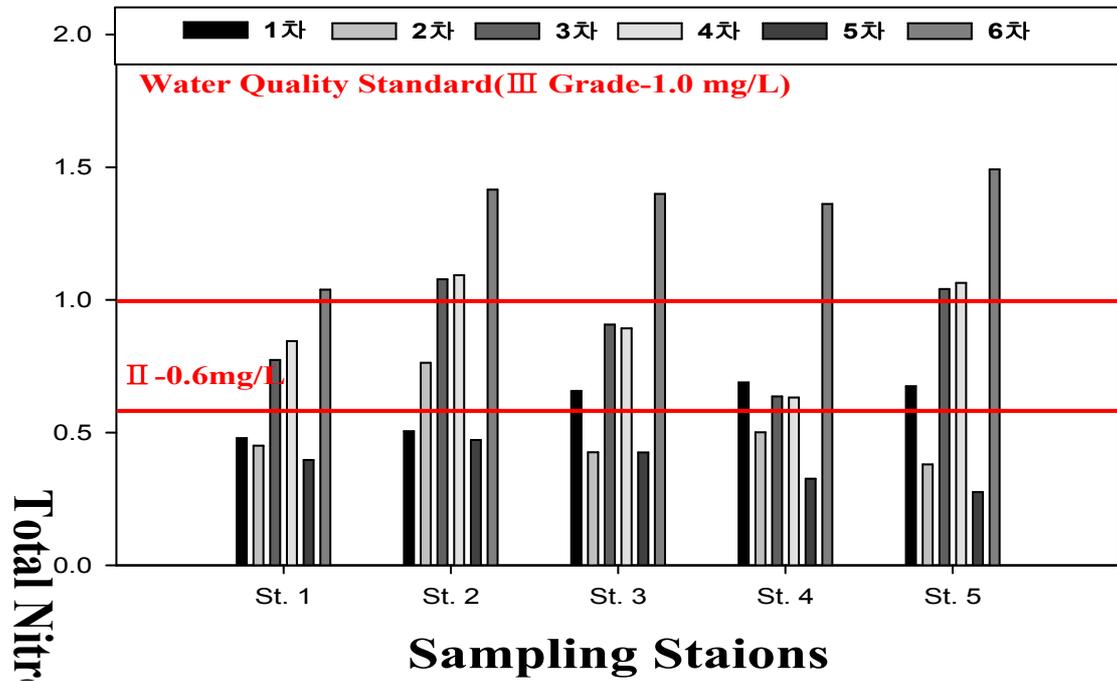


그림 2-3-48. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.

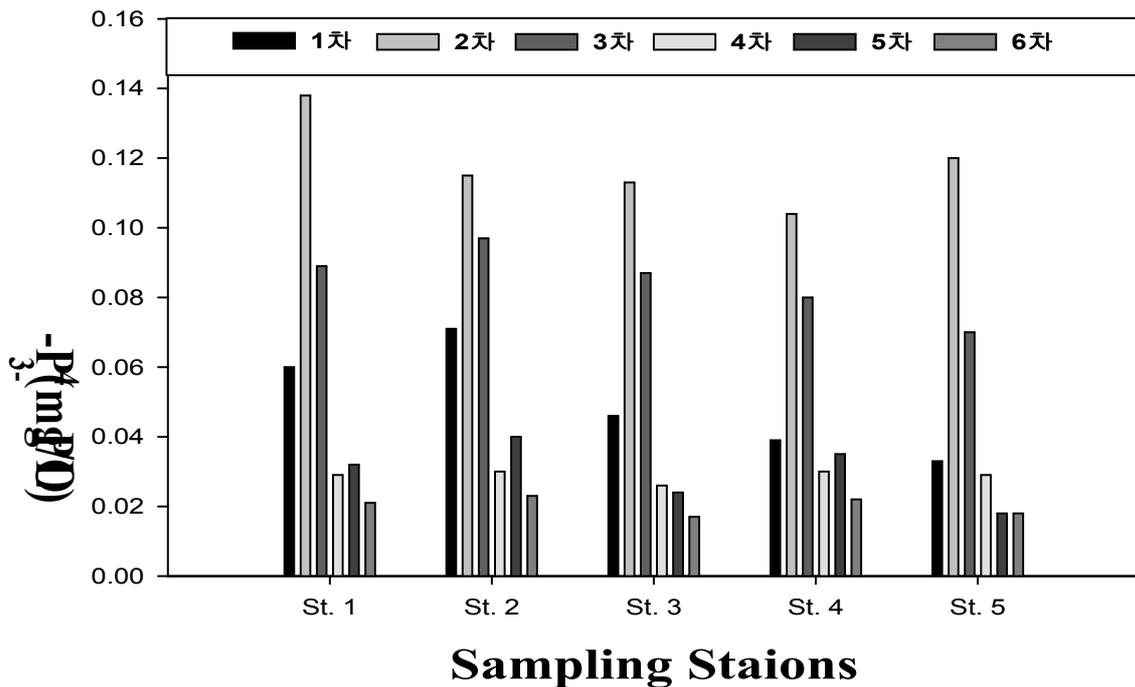


그림 2-3-49. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.

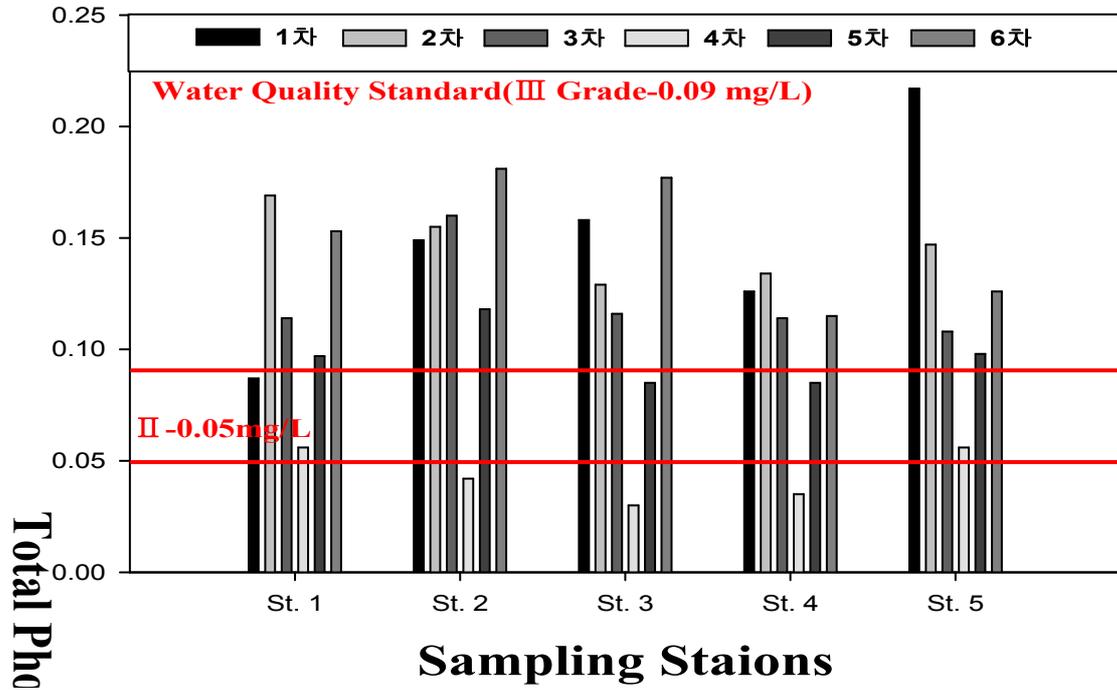


그림 2-3-50. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.

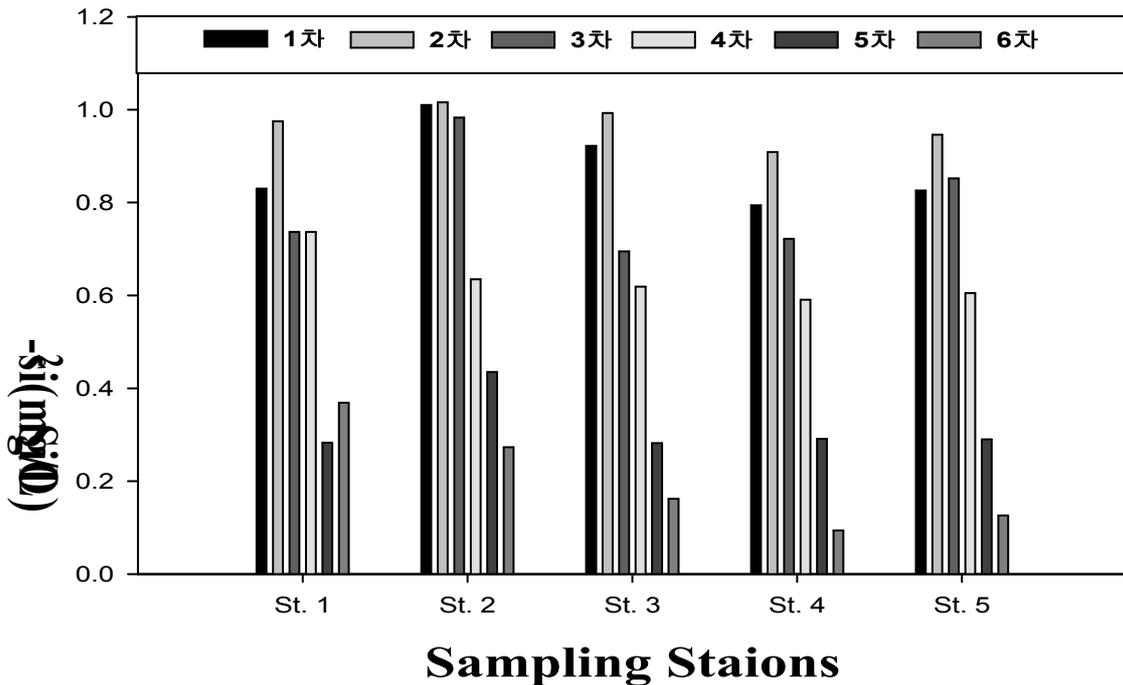


그림 2-3-51. 무안 어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.

4. 종폐어장

가. 일반항목

(1) 수온

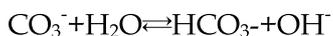
수온은 수중 생물의 생리생태를 지배하는 중요한 조건이므로 김, 미역, 등 해조류 및 해양생물의 생육환경에 중대한 영향을 미친다. 어류 등 유영이 가능한 수중 동물은 수온의 변화에 민감하므로 서식 및 산란에 알맞은 수온을 쫓아 이동해 간다. 하지만 바지락이나 굴 등은 이동할 수 없기 때문에 수온조건에 따라 서식 또는 서식하지 않을 수 있다. 수심과 계절에 따라 상층과 하층간에 해수의 순환이 원활하게 이루어지지 않으면 수온약층(Thermocline)현상이 생기게 되고, 이것은 이차적으로 적조현상을 유발할 환경을 조성시킨다. 수온은 Organism의 적응온도 및 영양염의 수직적 혼합 등 생태계에 영향을 미치는 중요한 인자 중의 하나라고 할 수 있다. 또한 수온은 생물학적 반응온도 및 미생물 번식속도, 수생식물의 종류를 결정하는 아주 중요한 인자이다.

수온 분포는 1차 조사시 21.0℃(평균 21.0℃), 2차 조사시 13.6~14.0℃(평균 13.8℃), 3차 조사시 9.6~10.0℃(평균 9.9℃), 4차 조사시 0.4℃(평균 0.4℃), 5차 조사시 0.4℃(평균 0.4℃)의 범위를 보였다.

(2) pH

pH는 수온과 더불어 기본적인 수질 항목으로 역시 수중 생태계에 중요한 인자중의 하나이다. 자연수의 pH는 일반적으로 용존하는 CO_2 CO_3^{2-} 의 비율에 의해 중성, 산성, 알칼리성으로 나타낸다. 즉, $\text{CO}_3^{2-} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^-$ 가 된다 만약에 CO_3^{2-} 보다 CO_2 가 많으면 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$, $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ 로 된다.

상기식에서 보는 바와 같이 H^+ 가 증가되어 산성을 나타내게 되고 CO_3^{2-} 가 많으면 CO_3^{2-} 은 가수분해되어 OH^- 를 생성시켜 알칼리성이 된다



독성문제는 산성, 알칼리성이 강할 경우 농산물, 수산물에 피해를 주는 동시에 시설, 기물 등을 부식시킨다.

일반적으로 해수에는 많은 OH^- 이온이 존재하기 때문에 담수의 pH보다 높게 나타난다. 만(Bay)과 같은 일부 폐쇄된 수역에는 일시적으로 pH가 크게 변화할 때는 산성 또는 알칼리성 폐수의 유입이 있는지를 의심할 필요가 있다. 하천에서 유입되는 CO_2 , SO_2 와 같은 비금속 산화물은 물에 녹아 산성을 나타내므로 pH를 감소시키고, Na_2O , K_2O , SrO_2 , BaO 와 같은 금속산화물은 물에 녹아 염기성을 나타내므로 pH를 증가시킨다. 또한 영양염이 풍부한 수역에서 수중의 식물성플랑크톤(phytoplankton)이 광합성을 하면 pH가 증가된다. 광합성에 의한 pH의 증가는 용존 CO_2 의 소비에 의한 것으로 햇빛에 의한 영향을 많이 받으며 pH가 7이하로 내려가거나 9이상으로 상승 되었

을 때는 생태계에 악영향을 끼치게 된다.

pH 분포는 1차 조사시 7.92~7.97(평균 7.95), 2차 조사시 7.96~7.99(평균 7.97), 3차 조사시 7.89~8.11(평균 8.03), 4차 조사시 7.91~7.98(평균 7.95), 5차 조사시 8.15~8.30(평균 8.21)의 범위를 보였다. 지점별로 유의한 큰 차는 나타나지 않았으며, 이 값은 환경부에서 고시한 해역별 수질환경기준 I 등급(6.5~8.5)에 해당되어 수산생물의 서식·양식 및 산란에 적합한 수질이다.

(3) 염분(Salinity)

해수중의 염분은 생물의 삼투압과 밀접한 관계를 가지고 있으며 생물학적 영향이 매우 커서 난의 발생에도 큰 영향을 미친다. 해산 생물은 염분 변화에 적응하는 능력에 따라 광염성 생물과 협염성 생물로 나뉘며 광염성 생물은 일반적으로 연안성 동·식물로 담수 유입에 의한 염분변화에 잘 적응한다. 또한 염분은 수괴의 특성을 구명하는 주요한 인자로서 담수 유입 시에 상하층간의 혼합특성을 구명하는 인자이며, 수온과 함께 밀도의 변화를 유발함으로써 수괴의 흐름 특성을 파악할 수 있는 인자이다.

염분 농도분포를 보면, 1차 조사시 26.91~29.64 ‰(평균 28.13 ‰), 2차 조사시 30.02~30.30 ‰(평균 30.18 ‰), 3차 조사시 29.99~30.39 ‰(평균 30.16 ‰), 4차 조사시 30.96~31.24 ‰(평균 31.11 ‰), 5차 조사시 29.20~31.90 ‰(평균 30.49 ‰)의 범위를 보였다. 지점 간에는 유의한 차이는 나타나지 않았다.

(4) 용존산소(DO)

어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수괴의 혼합특성을 구명하며, 수환경의 생태계적 건강성을 나타내는 인자로 이용되는 용존산소의 분포를 보면, 1차 조사시 8.45~8.90 mg/ℓ(평균 8.63 mg/ℓ), 2차 조사시 6.60~8.94 mg/ℓ(평균 8.20 mg/ℓ), 3차 조사시 9.33~10.24 mg/ℓ(평균 9.71 mg/ℓ), 4차 조사시 10.51~12.16 mg/ℓ(평균 11.51 mg/ℓ), 5차 조사시 9.69~10.70 mg/ℓ(평균 10.18 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 용존산소의 농도는 계절적인 변동을 하는데, 수온이 낮은 동계에는 높은 농도를 나타내며, 춘계에는 높은 수온으로 인하여 낮은 농도를 보인다. 본 조사 결과 2차 조사시 최저농도인 6.60 mg/ℓ를 제외하고는 전체적으로 해역수질환경기준인 I 등급수 (7.5 mg/ℓ 이상)를 만족하는 수준이다.

(5) 화학적 산소요구량

해수중의 유기물량을 간접적으로 나타내는 지표로서 해역의 유기오염의 척도로 이용되는 화학적산소요구량(COD)의 농도를 보면, 1차 조사시 2.235~4.027 mg/ℓ(평균 3.470 mg/ℓ), 2차 조사시 2.901~4.2131 mg/ℓ(평균 3.353 mg/ℓ), 3차 조사시 1.584~7.184 mg/ℓ(평균 3.875 mg/ℓ), 4차 조사시 2.624~3.456 mg/ℓ(평균 2.861 mg/ℓ), 5차 조사시 2.139~4.299 mg/ℓ(평균 2.913 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 해역의 유기물 특성을 나타내는 화학적 산소요구량은 해수 중에 부유하는 유기입자의 영향을 많이 받는다. 본 조사의 변

동에서 부유물질의 농도가 증가할 때 높은 COD 농도를 나타내고 있었다. 해역수질환경 기준과 비교하면 전체적으로 II~III등급수를 나타내었다.

(6) 클로로필(Chlorophyll-a)

해양에서의 클로로필은 해양 일차생산자인 식물플랑크톤의 생산력을 나타내는 주요한 인자이다.

클로로필의 농도분포를 보면, 1차 조사시 6.056~12.567 mg/m³(평균 8.812 mg/m³), 2차 조사시 6.305~10.502 mg/m³(평균 7.322 mg/m³), 3차 조사시 5.490~8.465mg/m³(평균 6.729 mg/m³), 4차 조사시 1.478~4.788 mg/m³(평균 2.496 mg/m³), 5차 조사시 8.419~28.278 mg/m³(평균 18.409 mg/m³)의 범위를 보였다.

(7) 유분

해수 중 유분 농도분포를 보면, 1차 조사시 0.01~0.22 µg/l(평균 0.07 µg/l), 2차 조사시 0.12~0.26 µg/l(평균 0.17 µg/l), 3차 조사시 0.05~0.13 µg/l(평균 0.07 µg/l), 4차 조사시 0.02~0.04 µg/l(평균 0.03 µg/l), 5차 조사시 0.03~0.05 µg/l(평균 0.04 µg/l)의 범위를 보였다. 대부분의 유분 농도가 기준치보다 훨씬 못 미치는 농도 수준을 나타내고 있었다.

(8) 부유물질

해수중의 부유물질의 양을 나타내는 총부유물질(TSS)의 농도범위를 보면, 1차 조사시 25.4~149.4 mg/l(평균 75.4 mg/l), 2차 조사시 162.8~407.6 mg/l(평균 231.2 mg/l), 3차 조사시 220.4~534.4 mg/l(평균 407.9 mg/l), 4차 조사시 39.6~72.0 mg/l(평균 51.4 mg/l), 5차 조사시 29.6~92.8 mg/l(평균 57.1 mg/l)의 범위를 보였다. 부유물질에 대한 해역수질환경기준은 2001년 1월 개정된 기준에는 삭제되었다. 부유물질의 농도 변화는 육상에서의 오염물질의 유입에 의한 영향과 바람에 의한 저층에서의 재부유의 영향 등 여러 요인에 의하여 나타날 수 있다.

부유물질 중에 포함된 유기물의 양을 나타내는 휘발성부유물질(VSS)의 농도분포는 1차 조사시 6.0~14.4 mg/l(평균 11.2 mg/l), 2차 조사시 20.4~35.6 mg/l(평균 24.4 mg/l), 3차 조사시 33.6~53.6 mg/l(평균 43.7 mg/l), 4차 조사시 11.6~19.2 mg/l(평균 14.2 mg/l), 5차 조사시 12.4~22.0 mg/l(평균 16.1 mg/l)의 범위를 보였다.

표 2-3-7. 해양수질 조사항목(일반항목)

조사항목		수온 (°C)	염분 (psu)	pH	DO (mg/ℓ)	COD (mg/ℓ)	TSS (mg/ℓ)	VSS (mg/ℓ)	Chl-a (mg/m ³)	유분 (μg/ℓ)
조사 일시	조사 지점									
수질환경 I 등급 기준	II 등급	-	-	7.8~8.3	7.5이상	1이하	-	-	-	-
	III 등급	-	-	6.5~8.5	5이상	2이하	-	-	-	-
		-	-	6.5~8.5	2이상	4이하	-	-	-	-
1차조사	St.1	21.0	26.91	7.92	8.90	3.755	149.4	14.4	9.729	0.04
	St.2	21.0	28.67	7.94	8.47	4.027	50.0	12.8	12.567	0.06
	St.3	21.0	27.58	7.97	8.69	2.235	25.4	6.0	6.056	0.01
	St.4	21.0	29.64	7.96	8.45	3.819	111.6	13.2	6.153	0.22
	St.5	21.0	27.83	7.96	8.65	3.515	40.6	9.6	9.556	0.04
2차조사	St.1	13.7	30.02	7.97	8.60	3.061	162.8	20.4	6.438	0.12
	St.2	13.8	30.24	7.97	8.39	3.125	199.6	20.8	6.720	0.26
	St.3	13.9	30.30	7.96	8.47	3.461	199.2	22.4	6.305	0.13
	St.4	14.0	30.30	7.99	6.60	4.213	407.6	35.6	6.646	0.22
	St.5	13.6	30.03	7.97	8.94	2.901	186.8	22.8	10.502	0.13
3차조사	St.1	10.0	30.39	8.11	9.33	3.344	220.4	33.6	5.490	0.06
	St.2	10.0	30.16	8.04	9.69	7.184	531.6	48.0	6.352	0.05
	St.3	10.0	30.19	8.03	10.24	3.792	266.8	35.6	8.465	0.13
	St.4	10.0	29.99	8.07	9.89	3.472	534.4	53.6	7.592	0.07
	St.5	9.6	30.09	7.89	9.41	1.584	486.4	47.6	5.745	0.05
4차조사	St.1	0.2	30.96	7.94	11.33	2.640	40.4	11.6	1.478	0.02
	St.2	0.6	31.24	7.97	12.16	2.624	39.6	12.8	1.655	0.04
	St.3	0.3	31.17	7.97	11.51	2.944	72.0	14.0	2.216	0.04
	St.4	0.7	31.13	7.98	12.03	3.456	54.8	19.2	4.788	0.02
	St.5	0.8	31.07	7.91	10.51	2.640	50.4	13.2	2.345	0.03
5차조사	St.1	11.8	29.20	8.15	10.00	2.139	48.0	14.4	26.209	0.03
	St.2	11.5	29.49	8.18	10.70	2.379	29.6	12.4	8.419	0.05
	St.3	9.0	30.43	8.16	10.03	2.459	52.4	17.2	8.961	0.05
	St.4	7.5	31.90	8.30	10.45	4.299	92.8	22.0	20.176	0.03
	St.5	7.5	31.41	8.26	9.69	3.291	62.8	14.4	28.278	0.04

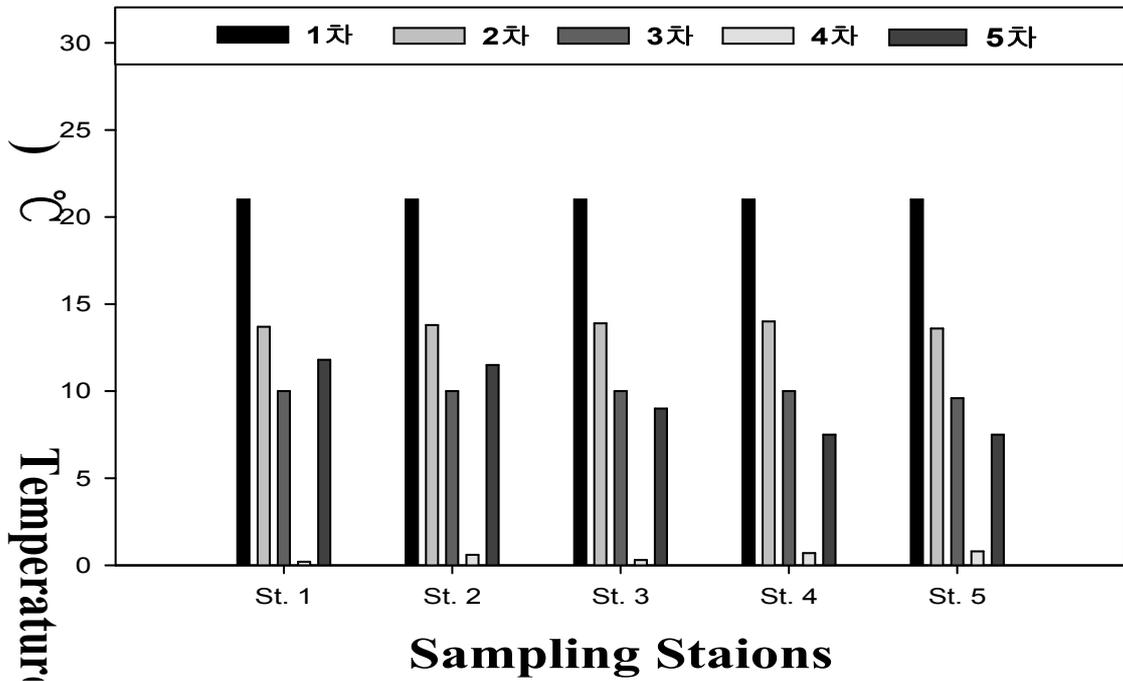


그림 2-3-52. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 수온 변화.

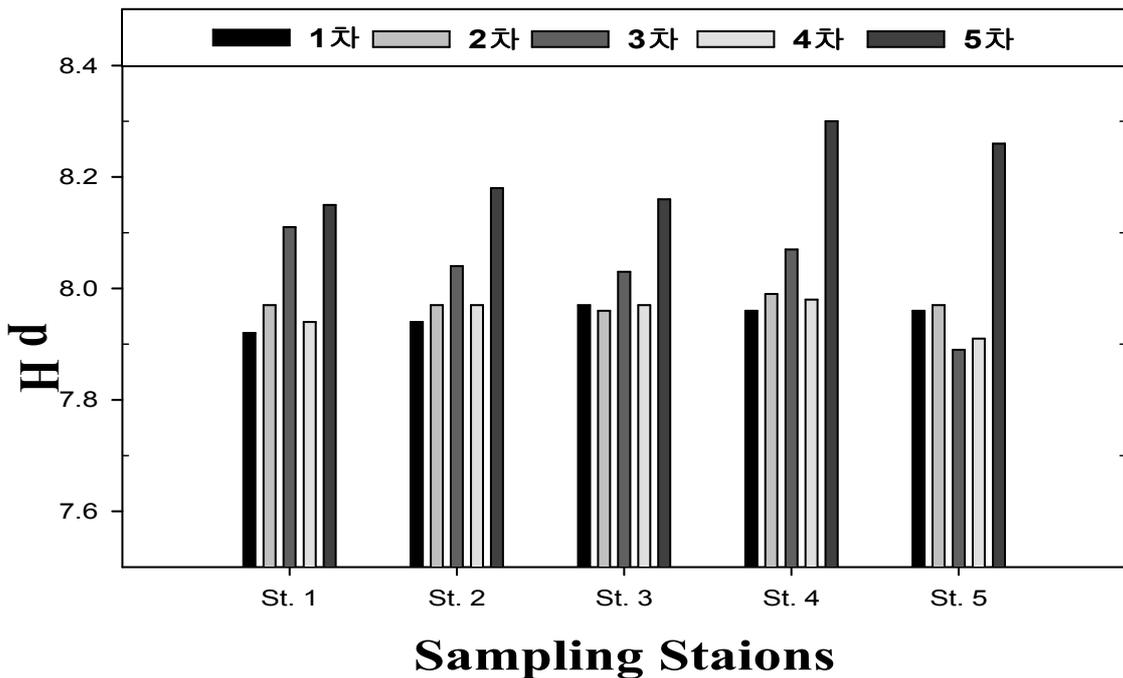


그림 2-3-53. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 pH 농도 변화.

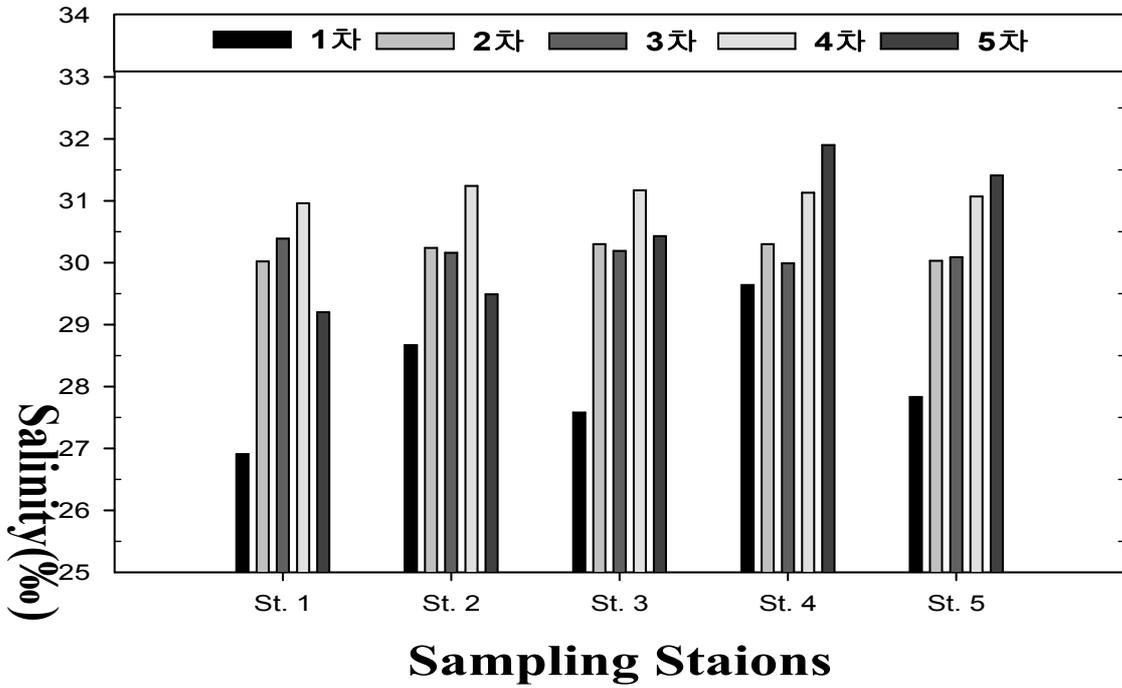


그림 2-3-54. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 염분 농도 변화.

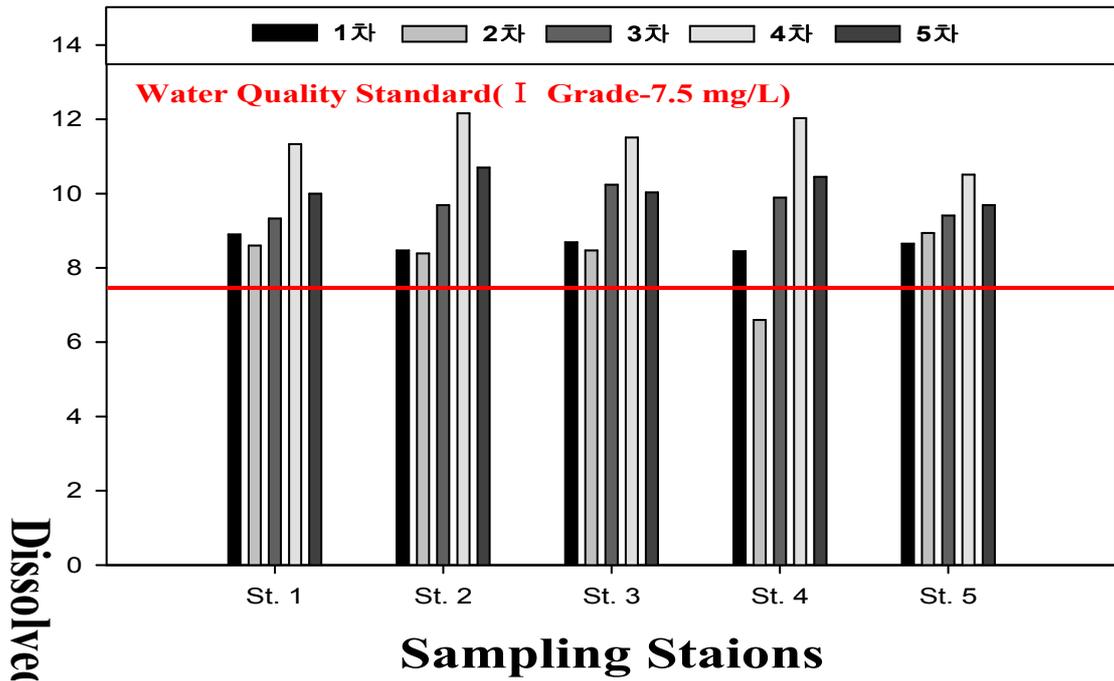


그림 2-3-55. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존산소 농도 변화.

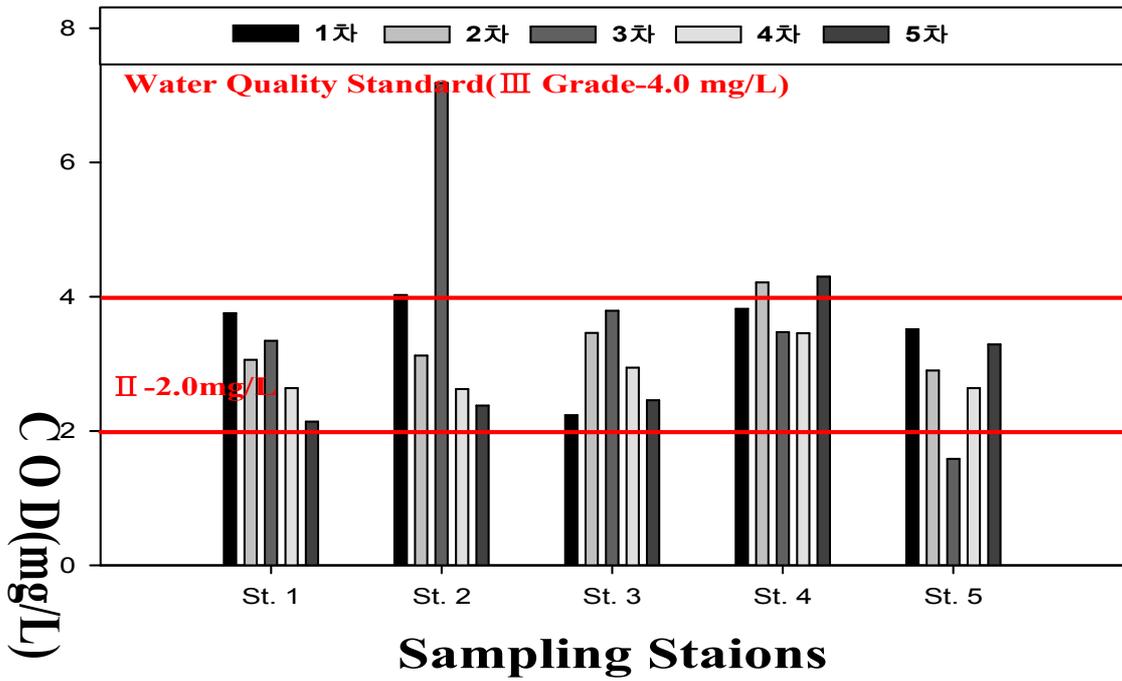


그림 2-3-56. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 화학적 산소요구량 농도 변화.

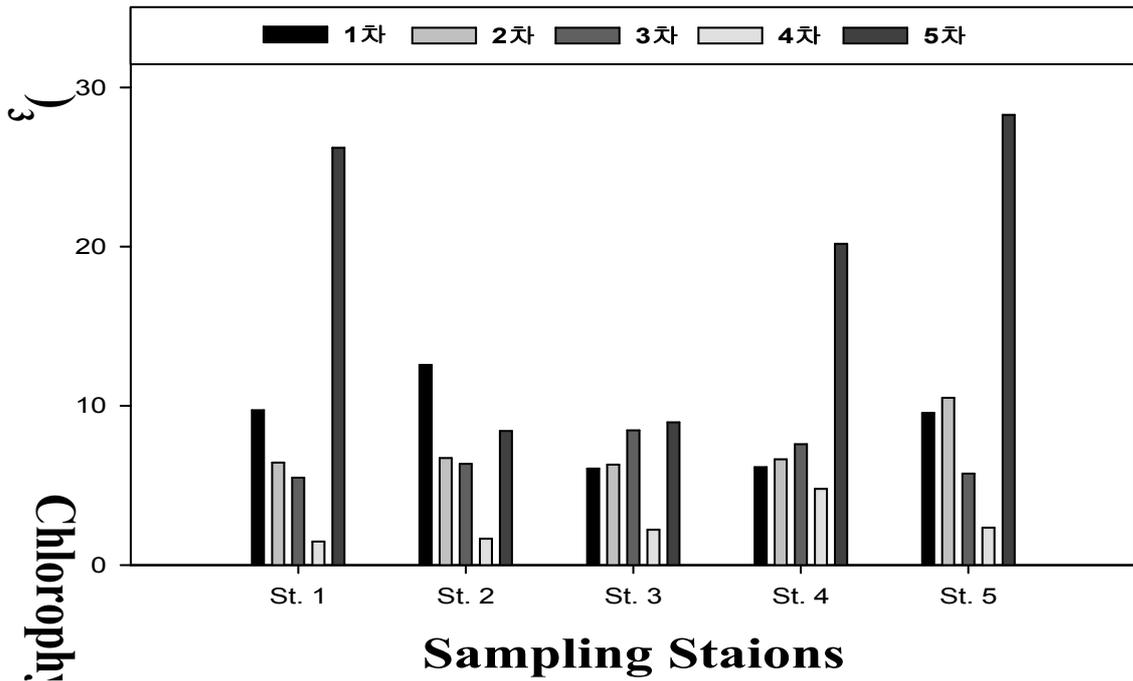


그림 2-3-57. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 클로로필 농도 변화.

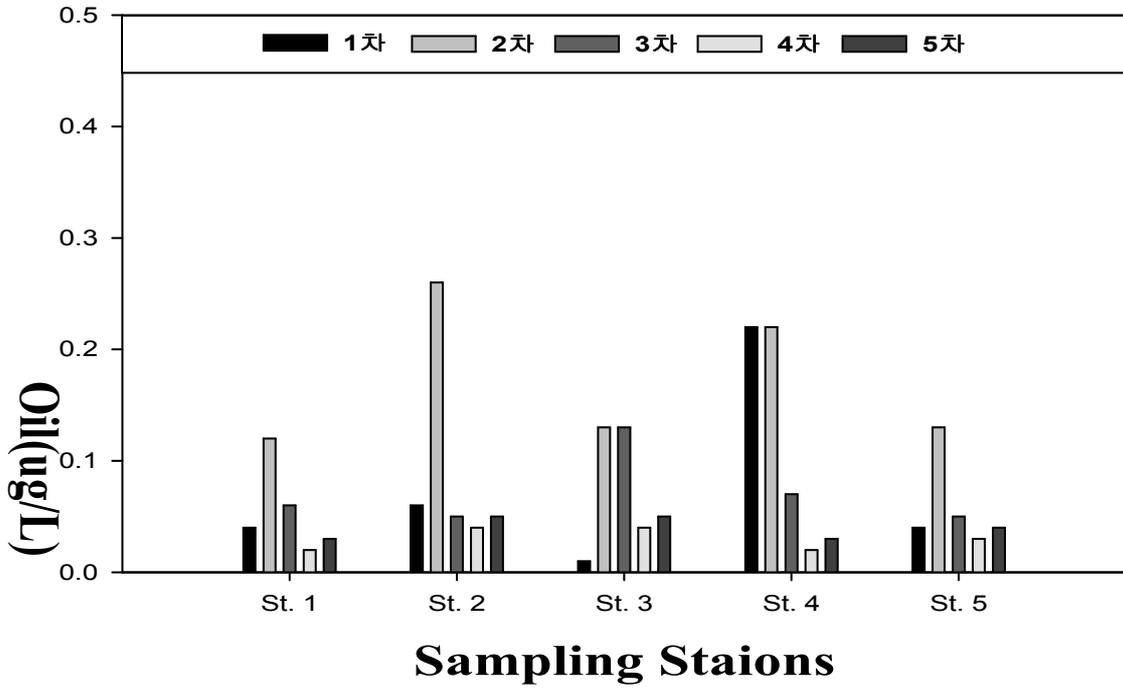


그림 2-3-58. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 유분 농도 변화.

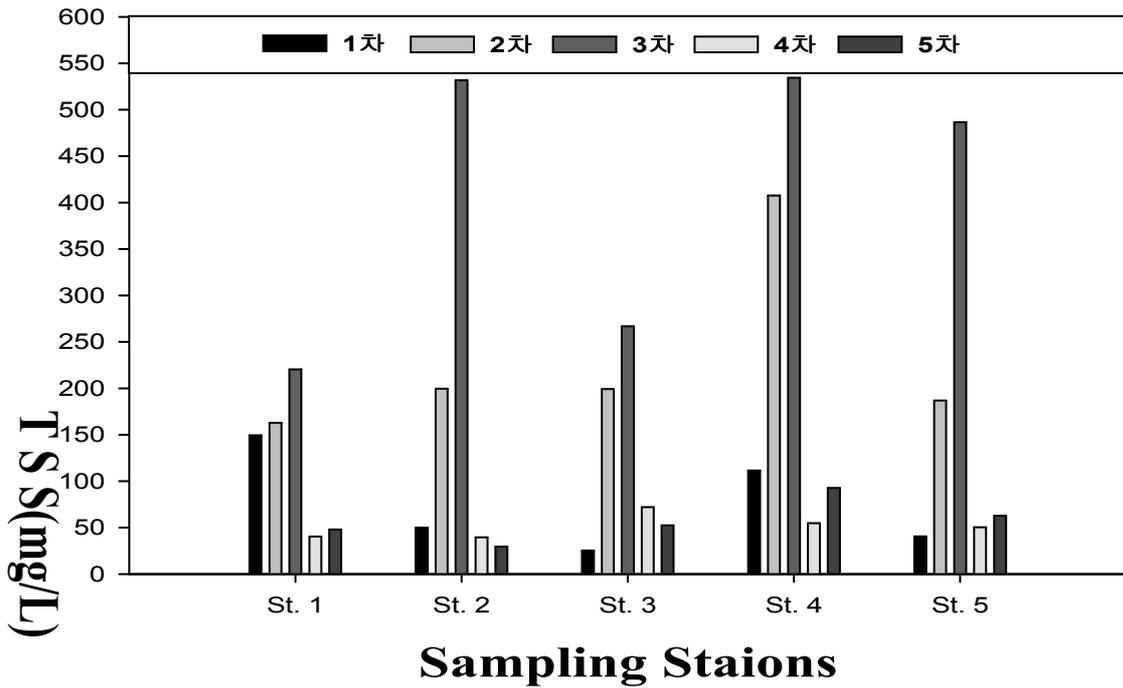


그림 2-3-59. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총부유물질 변화.

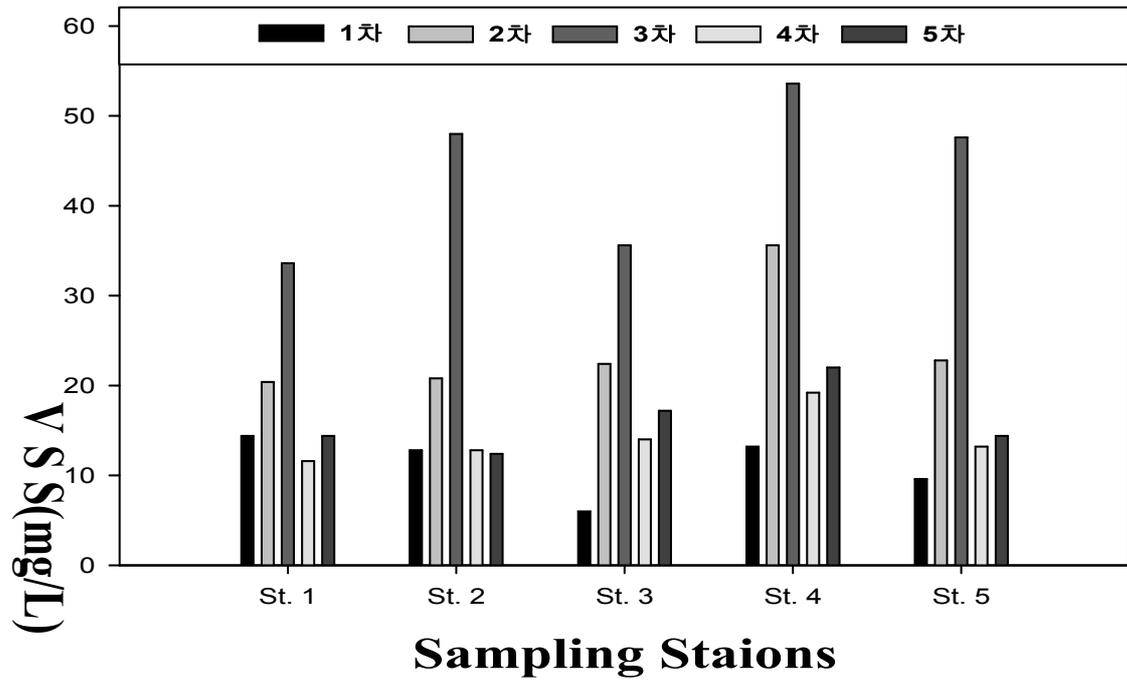


그림 2-3-60. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 휘발성 부유물질 변화.

나. 영양염류

(1) 암모니아질소($\text{NH}_4^+\text{-N}$)

해역의 부영양화 정도를 판단하는 척도가 비료성분인 질소의 한 성분인 암모니아는 조류성장의 제한인자로서 중요한 역할을 하고 있다. 본 조사해역의 암모니아질소 농도분포는 1차 조사시 0.008~0.018 mg/ℓ (평균 0.013 mg/ℓ), 2차 조사시 0.014~0.029 mg/ℓ (평균 0.020 mg/ℓ), 3차 조사시 0.009~0.017 mg/ℓ (평균 0.012 mg/ℓ), 4차 조사시 0.023~0.038 mg/ℓ (평균 0.031 mg/ℓ), 5차 조사시 0.004~0.007 mg/ℓ (평균 0.005 mg/ℓ)의 범위를 보였다. 암모니아질소는 저층에서의 유기물 분해와 퇴적물의 용출에 의해 공급되며, 식물플랑크톤의 광합성으로 소비되는 물질이다.

(2) 아질산질소($\text{NO}_2^-\text{-N}$)

질소 성분 중 암모니아질소에서 질산질소로 변환되는 과정에서 생성되는 인자로서 오염의 변환정도를 판단하는 척도가 되는 인자인 아질산질소의 농도분포를 보면, 1차 조사시 0.006~0.011 mg/ℓ (평균 0.009 mg/ℓ), 2차 조사시 0.004~0.006 mg/ℓ (평균 0.005 mg/ℓ), 3차 조사시 0.030~0.035 mg/ℓ (평균 0.033 mg/ℓ), 4차 조사시 0.001~0.010 mg/ℓ (평균 0.004 mg/ℓ), 5차 조사시 0.000~0.002 mg/ℓ (평균 0.001 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

아질산질소는 암모니아질소의 질산화과정에서 중간생성물로 만들어지는 물질로써 자연계에서의 농도가 낮으나, 오염되어 분해가 활발한 해역에서 높게 나타난다.

(3) 질산질소($\text{NO}_3^-\text{-N}$)

식물플랑크톤의 제한인자중의 하나로서 질산화 과정의 최종산물인 질산질소는 총질소농도의 중요부분을 차지하고 있다. 질산질소 농도분포를 보면, 1차 조사시 0.068~0.157 mg/ℓ (평균 0.109 mg/ℓ), 2차 조사시 0.212~0.259 mg/ℓ (평균 0.229 mg/ℓ), 3차 조사시 0.081~0.165 mg/ℓ (평균 0.117 mg/ℓ), 4차 조사시 0.010~0.045 mg/ℓ (평균 0.024 mg/ℓ), 5차 조사시 0.022~0.097 mg/ℓ (평균 0.052 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

질산질소는 질소산화물의 최종분해단계에서 나타나는 안정된 물질로써, 무기질소의 대부분을 차지하고 있다. 본 조사에서도 용존무기질소의 대부분을 질산질소형태로 나타냈다.

(4) 용존무기질소(DIN)

아질산질소, 질산질소, 암모니아질소의 합인 용존무기질소(DIN)는 수중생물, 특히 식물플랑크톤 성장에 필요한 영양원으로 해역에서 가장 부족하기 쉬운 원소로 알려져 있다 (Raymont, 1980). 조사해역의 용존무기질소 농도 분포를 보면, 1차 조사시 0.087~0.170 mg/ℓ (평균 0.131 mg/ℓ), 2차 조사시 0.240~0.276 mg/ℓ (평균 0.253 mg/ℓ), 3차 조사시 0.126~0.208 mg/ℓ (평균 0.162 mg/ℓ), 4차 조사시 0.053~0.075 mg/ℓ (평균 0.059 mg/ℓ), 5차 조사시 0.028~0.104 mg/ℓ (평균 0.059 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

용존무기질소의 계절적인 특징은 질산질소와 암모니아질소를 에너지원으로 하는 조

류의 성장과 밀접한 관련이 있으며, 하계 조류 성장에 의해 감소하며, 추계 증가하는 경향을 보인다.

(5) 총 질소(T-N)

유기질소와 무기질소의 합인 총 질소는 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 2001년도 해양수질환경기준에 해역의 질소기준이 이전의 무기질소에서 총질소를 기준으로 규제토록 수정되었다. 총질소의 농도분포는 1차 조사시 0.386~0.583 mg/ℓ (평균 0.465 mg/ℓ), 2차 조사시 0.662~0.873 mg/ℓ (평균 0.810 mg/ℓ), 3차 조사시 0.693~1.099 mg/ℓ (평균 0.842 mg/ℓ), 4차 조사시 0.311~0.567 mg/ℓ (평균 0.438 mg/ℓ), 5차 조사시 0.629~1.631 mg/ℓ (평균 1.351 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

(6) 용존무기인(DIP)

용존무기질소와 함께 수중생물의 필수영양염인 용존무기인의 농도분포는, 1차 조사시 0.073~0.085 mg/ℓ (평균 0.081 mg/ℓ), 2차 조사시 0.068~0.078 mg/ℓ (평균 0.071 mg/ℓ), 3차 조사시 0.027~0.044 mg/ℓ (평균 0.033 mg/ℓ), 4차 조사시 0.024~0.029 mg/ℓ (평균 0.027 mg/ℓ), 5차 조사시 0.017~0.021 mg/ℓ (평균 0.019 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

(7) 총인(T-P)

유기인과 무기인의 합인 총인은 해양생태계 내에서 순환하는 물질로써 농도분포는, 1차 조사시 0.079~0.187 mg/ℓ (평균 0.150 mg/ℓ), 2차 조사시 0.146~0.194 mg/ℓ (평균 0.179 mg/ℓ), 3차 조사시 0.042~0.049 mg/ℓ (평균 0.045 mg/ℓ), 4차 조사시 0.060~0.117 mg/ℓ (평균 0.086 mg/ℓ), 5차 조사시 0.022~0.069 mg/ℓ (평균 0.044 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

(8) 규산규소(SiO₂-Si)

용존무기질소와 용존인과 함께 수중생물의 필수영양염인 규산규소의 농도분포는, 1차 조사시 0.731~0.946 mg/ℓ (평균 0.836 mg/ℓ), 2차 조사시 0.719~0.774mg/ℓ (평균 0.748 mg/ℓ), 3차 조사시 0.586~0.616 mg/ℓ (평균 0.605 mg/ℓ), 4차 조사시 0.281~0.312 mg/ℓ (평균 0.293 mg/ℓ), 5차 조사시 0.096~0.495 mg/ℓ (평균 0.261 mg/ℓ)의 범위를 보였다.

표 2-3-8. 해양수질 조사항목(영양염류)

조사항목		암모니아 성질소 (mg/ℓ)	아질산성 질소 (mg/ℓ)	질산성 질소 (mg/ℓ)	용존무기 질소 (mg/ℓ)	총 질소 (mg/ℓ)	인산인 (mg/ℓ)	총 인 (mg/ℓ)	규산규소 (mg/ℓ)
조사 일시	조사 지점								
수질환경 I 등급 기준 II 등급 III 등급		-	-	-	-	0.3이하 0.6이하 1.0이하	-	0.03이하 0.05이하 0.09이하	-
1차조사	St.1	0.008	0.011	0.068	0.087	0.438	0.079	0.180	0.808
	St.2	0.013	0.011	0.105	0.129	0.482	0.085	0.187	0.867
	St.3	0.016	0.007	0.100	0.123	0.436	0.073	0.079	0.731
	St.4	0.018	0.011	0.117	0.146	0.583	0.084	0.162	0.946
	St.5	0.008	0.006	0.157	0.170	0.386	0.085	0.144	0.830
2차조사	St.1	0.021	0.004	0.215	0.240	0.869	0.069	0.146	0.761
	St.2	0.029	0.004	0.213	0.246	0.845	0.068	0.194	0.726
	St.3	0.014	0.004	0.259	0.276	0.873	0.069	0.182	0.774
	St.4	0.014	0.006	0.245	0.265	0.801	0.069	0.190	0.719
	St.5	0.022	0.005	0.212	0.240	0.662	0.078	0.182	0.763
3차조사	St.1	0.017	0.034	0.115	0.165	1.099	0.027	0.046	0.613
	St.2	0.011	0.031	0.165	0.208	0.829	0.044	0.046	0.605
	St.3	0.011	0.035	0.097	0.142	0.790	0.037	0.042	0.586
	St.4	0.009	0.033	0.127	0.169	0.797	0.029	0.049	0.606
	St.5	0.014	0.030	0.081	0.126	0.693	0.028	0.042	0.616
4차조사	St.1	0.032	0.003	0.018	0.054	0.567	0.024	0.060	0.283
	St.2	0.023	0.003	0.027	0.053	0.311	0.027	0.077	0.312
	St.3	0.028	0.001	0.045	0.075	0.520	0.029	0.117	0.288
	St.4	0.031	0.005	0.020	0.056	0.438	0.029	0.094	0.299
	St.5	0.038	0.010	0.010	0.058	0.355	0.025	0.084	0.281
5차조사	St.1	0.005	0.001	0.022	0.028	1.631	0.017	0.069	0.118
	St.2	0.004	0.002	0.097	0.104	0.629	0.021	0.045	0.096
	St.3	0.006	0.000	0.058	0.064	1.596	0.017	0.022	0.136
	St.4	0.004	0.000	0.035	0.039	1.516	0.019	0.059	0.495
	St.5	0.007	0.002	0.050	0.059	1.381	0.021	0.052	0.459

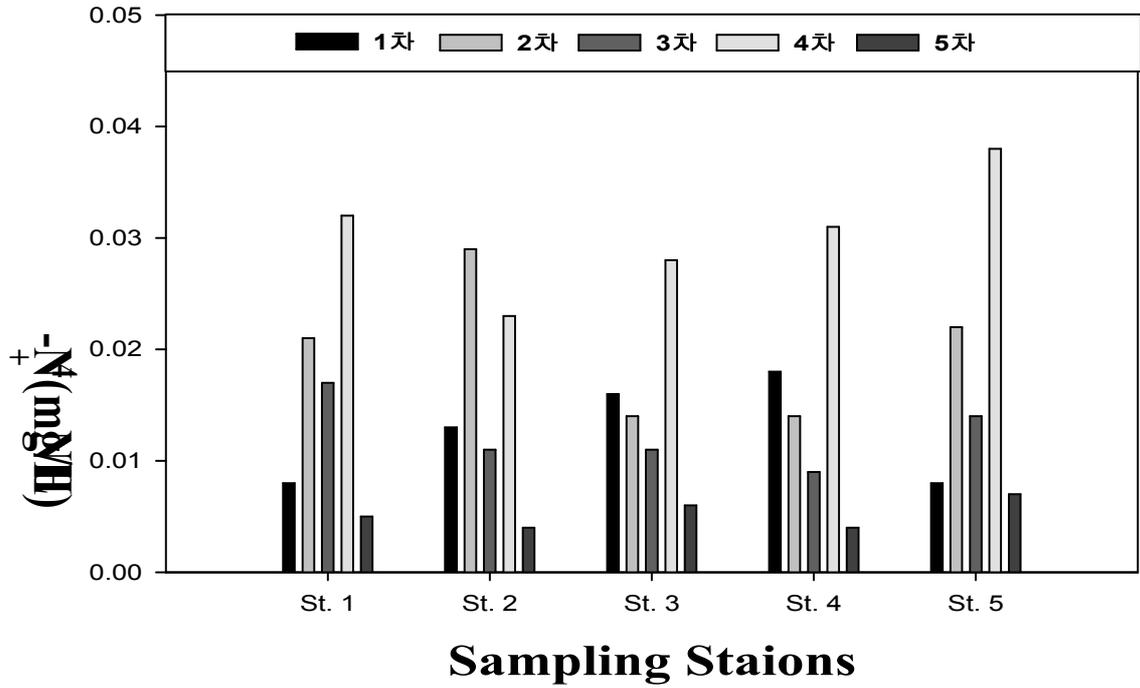


그림 2-3-61. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 암모니아성 질소 농도 변화.

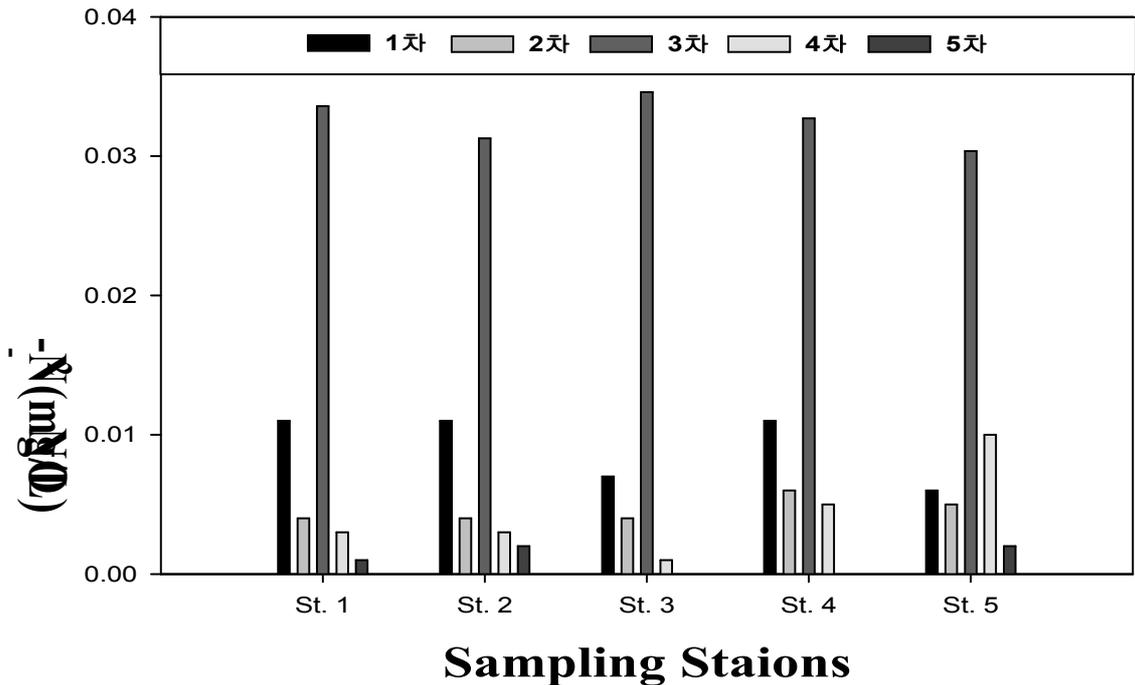


그림 2-3-62. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 아질산성 질소 농도 변화.

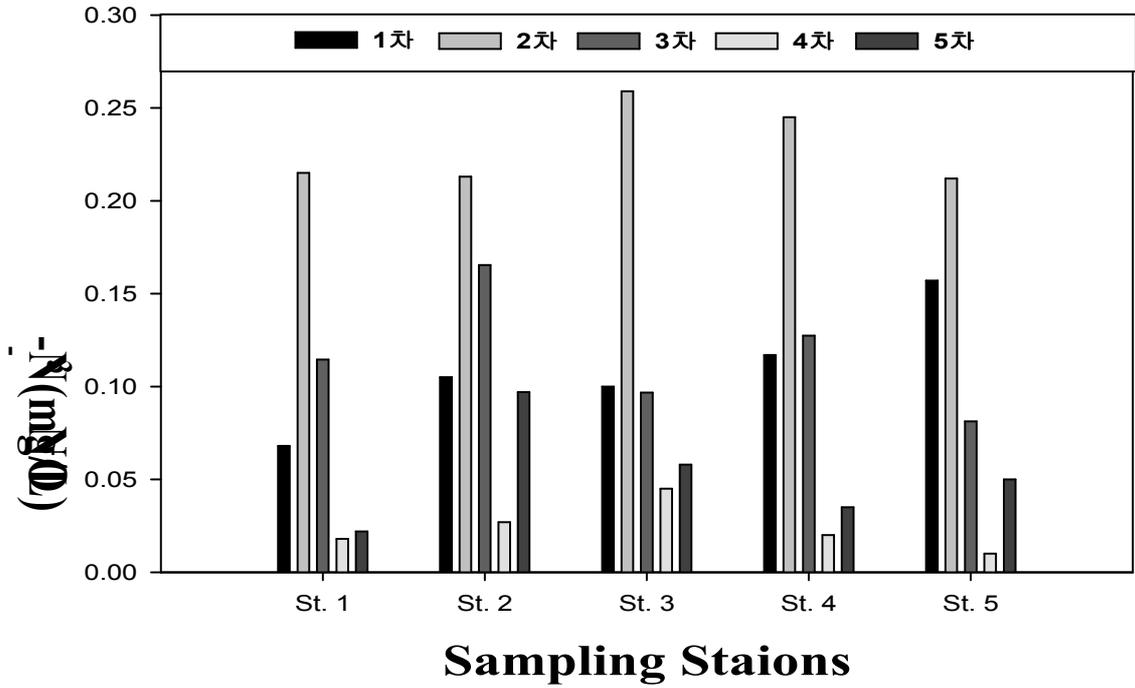


그림 2-3-63. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 질산성 질소 농도 변화.

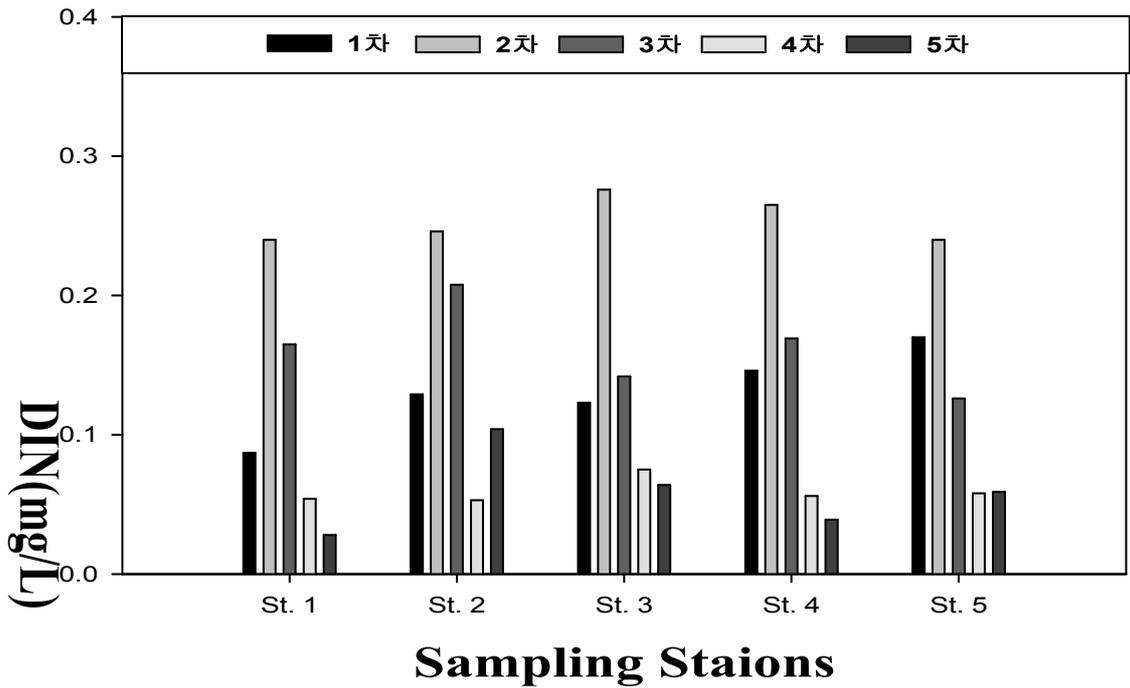


그림 2-3-64. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 용존무기질소 농도 변화.

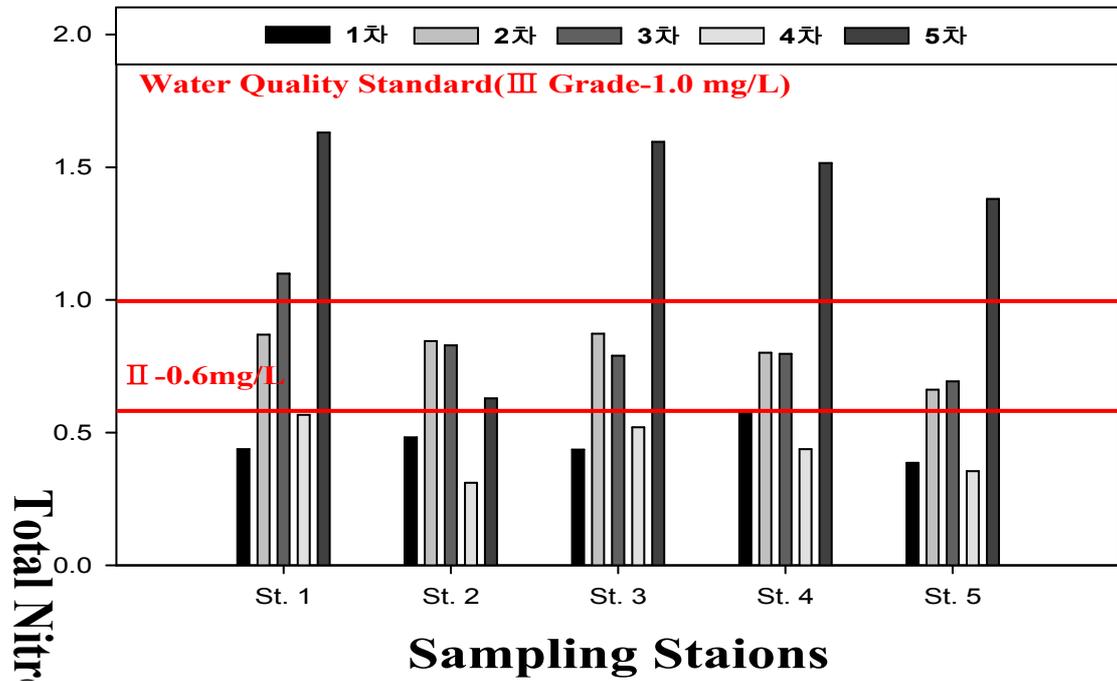


그림 2-3-65. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총질소 농도 변화.

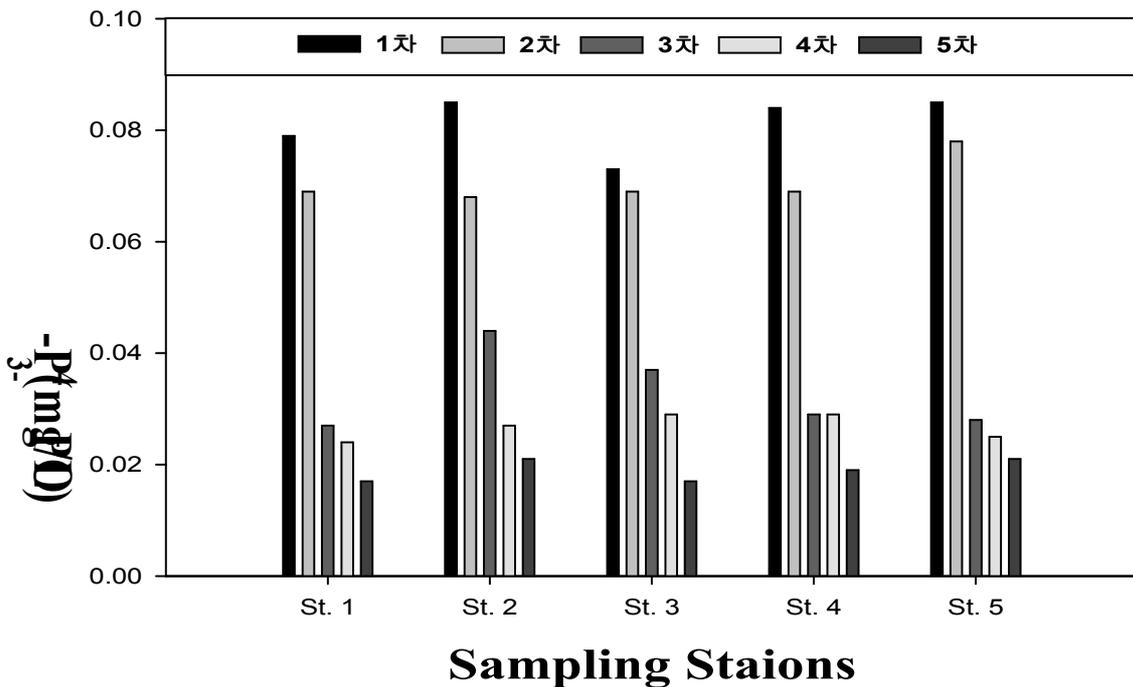


그림 2-3-66. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 인산인 농도 변화.

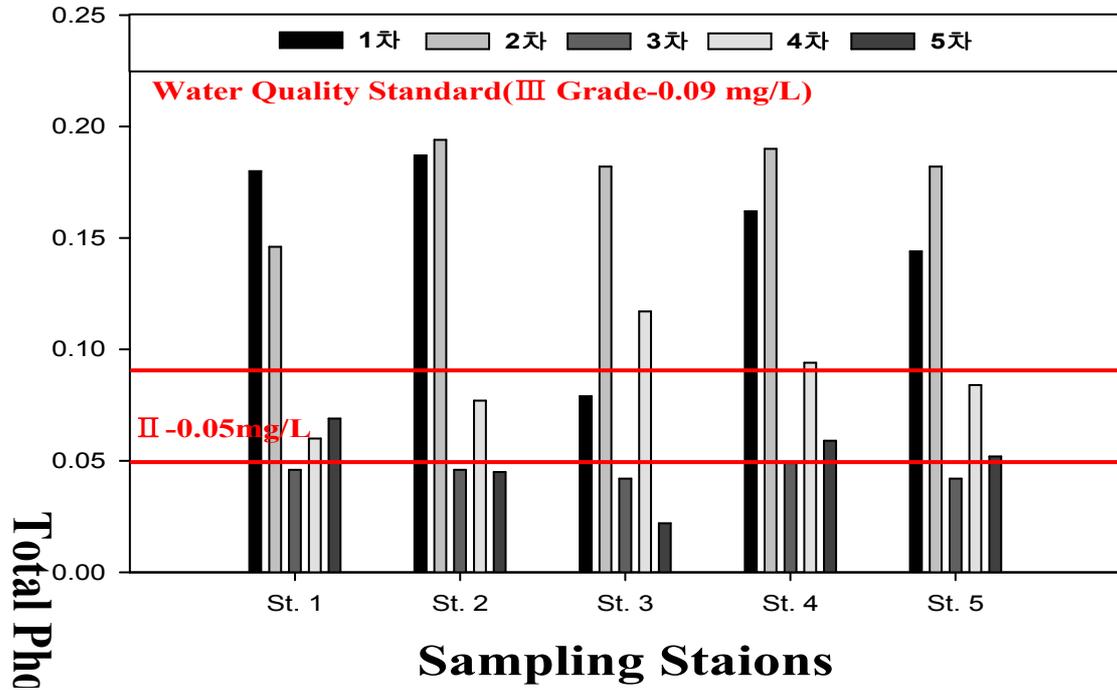


그림 2-3-67. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 총인 농도 변화.

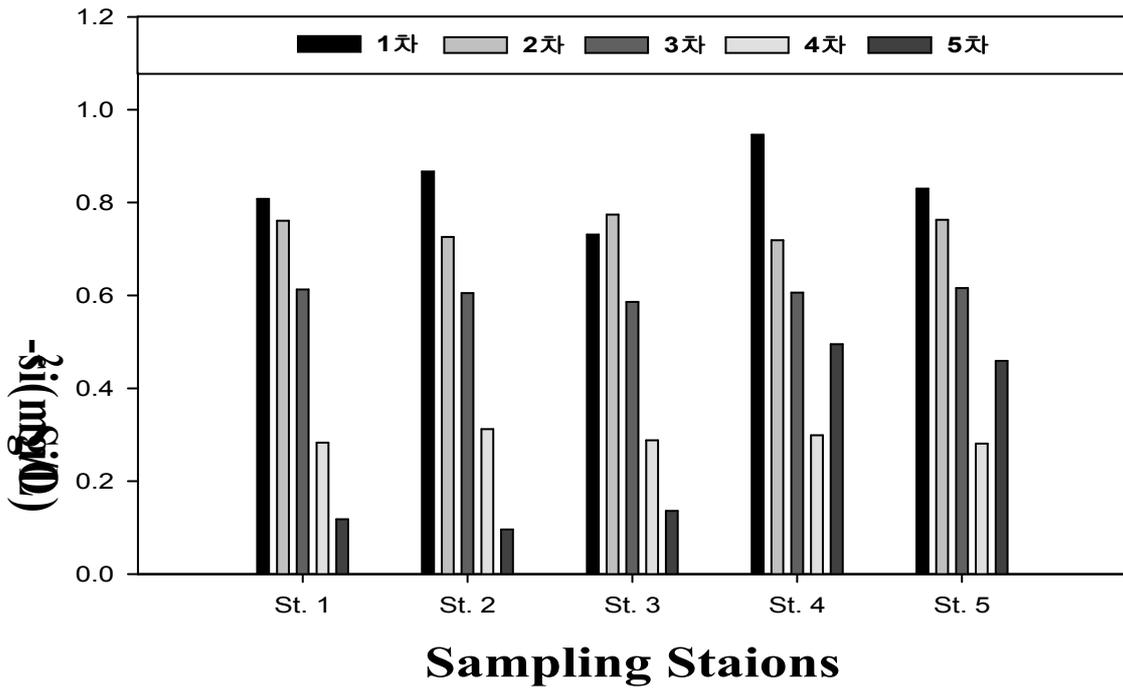


그림 2-3-68. 종폐어장의 조사별, 지점별 표층수의 규산규소 농도 변화.

제 4 절 결론

태안유류오염의 영향권 내의 위치하는 3개의 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 어장정화 효과를 파악하기 위해, 어장정화 이전과 이후, 그리고 동일 조사시점에 대해 어장정화 사업지구와 대조구를 선정하여, 해양수질을 채취하여 일반 수질인자 및 영양염류 농도를 측정하였다.

해역에서의 수질변동 요인은 여러 가지를 들 수 있으며, 수질인자에 따라 그 양상이 다르게 나타난다. 특히 수심이 얇은 연안역의 경우 기상의 영향을 많이 받는데 강우에 의한 영향 및 바람에 의한 영향을 직접적으로 나타낸다.

일반 수질인자 및 영양염의 경우 계절적 요인에 의하여 수질이 변동하는 특성을 나타내는데, 영양염의 경우 하계 감소하고 동계에 증가하는 특성을 보이나, 유기물의 경우 반대의 경향을 보인다. 수심이 얇은 해역의 경우 강한 바람에 의한 해수교란으로 인하여 저층퇴적물이 부유하게 되고 이때 해수의 수질도 나빠지게 된다. 또한 조사시점에서 대조기와 소조기, 창조기와 낙조기에도 수질의 일부 변화가 나타난다.

본 조사해역이 대부분 조간대 갯벌지역으로 조사는 만조시에 주로 이루어졌으며, 해양수질의 변동요인이 여러 가지 존재하는 상황에서 어장정화사업의 효과를 밝혀내기 위하여 정확하게 조사를 실시하였지만, 현장실험에서는 전체 대상 어장에서 어장정화 이전과 이후, 그리고 사업지구와 대조구 사이에서 공통적 유의적 관계는 확인할 수 없었고, 수질의 변동은 계절적 변동을 나타내는 수준이었다.

이와 같은 결과는 현재 수행하고 있는 패류 어장정화방법으로 어장환경개선을 기대하기는 어렵거나, 아니면 현재의 조사방법에 의한 어장환경개선효과를 추적하기에는 많은 어려움이 산재하는 것을 나타내는 것으로, 보다 계획적이면서 체계적인 장기적 조사, 그러면서도 항목에 따라서는 조사간격을 조정할 수 있는 종합적인 연구가 필요한 것으로 판단할 수 있었다.

제 3 장 퇴적물 조사

제 1 절 연구개요

어장환경개선사업은 태안 유류유출 사고로 인하여 피해를 받은 우리나라 연안 어장을 대상으로 수행하고 있다. 유조선의 사고로 유출된 유류는 자주 발생하지는 않지만 한번 발생하면 수천톤 이상의 유류가 유출되어 해양환경 및 생태계에 심각한 영향을 미친다. 최근의 전 세계에서 발생한 대형유류오염사고를 살펴보면 브레이어호(영국, 1993년 발생, 8,400톤 유출), 나호드카호(일본, 1997년, 6,200톤), 에리카호(프랑스, 1999년, 14,000톤), 프리스티지호(스페인, 2002년, 63,000톤), 엑스발데즈호(미국, 1989년, 38,000톤) 및 시프린스호(한국, 1995년, 5,035톤) 등의 오염사고가 있었다(한국해양수산개발원, 2004). 2007년 12월 7일 07시 06분 경 충남 태안 앞바다에서 홍콩 국적 유조 선박 Hebei Spirit호와 삼성 중공업 소속 바지선과의 충돌로 유조선에서 12,547 kl(10,900 M/T; 78,918 Barrels)의 원유가 유출되는 사고가 발생하여 우리나라 연안에 유류가 확산되었다(국토해양부, 2009).

해양의 유류오염은 발생 후 3~5년이 지나도 조하대와 조간대에 유분이 잔류하며, 플랑크톤의 생식장애, 탄소동화작용 장애, 유충 및 성체 어류피해 등 다양한 생태적 피해를 유발하게 된다. 해양에 잔류하는 존재하는 유분의 농도가 10ppb 정도의 농도에서 플랑크톤의 생식장애를 유발할 정도로 낮은 오염농도에서도 해양생태계에 영향을 미치게 된다(신, 2008).

PAHs는 해수, 퇴적물, 해양생물 등 해양 환경에서 가장 쉽게 발견할 수 있는 오염물질 중의 하나이며, 발암성과 돌연변이성을 유발하는 유기화합물질로서 해양환경 연구에서 중요한 부분으로 연구되어왔다(Lipiatou et al., 1997; Yunker, et al., 1993; Wu et al., 2005). PAHs의 해양 유입은 크게 배출원의 연소과정에서 생성된 부유입자에 함유된 PAHs의 대기 침적(atmospheric deposition)과 직접적으로 강을 통한 경로가 있다. 다른 발생원으로는 선박 등에 사용되는 유류에 의한 오염(Pettersen et al., 1997; Lee and Page, 1997)과 가정 및 공장 폐수(Wakeham et al., 1980)에 의한 오염 등이 있다. 원유유출사고는 연안에 거주하는 인간 뿐 만아니라 해양 생태계에 막대한 영향을 미친다(Peacock et al., 2007; Zakaria et al., 2001). Carls et al. (2006)과 Payne et al. (2003)은 1989년 알래스카에서 발생한 Exxon Valdez호의 원유유출사고의 영향으로 수많은 어장과 생태계가 파괴되었다고 보고하였다.

우리나라에서도 원유유출사고로 해양생태계에 영향을 미치고 있으며, 연안에 발달하고 있는 바지락과 굴 등의 양식어장도 피해가 발생하게 되었다. 이러한 어장을 대상으로 어장환경개선사업을 수행 중에 있어 이 사업의 효과를 증명하는 기본자료로 활용하고자 퇴적물의 조성과 오염도를 분석하여 국가정책의 기초자료로 활용하고자 한다.

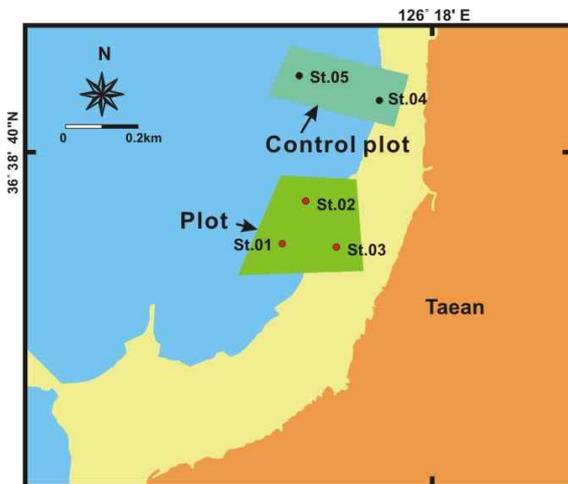
제 2 절 재 료 및 방 법

1. 조 사 해 역 및 현 장 조 사

가. 조 사 해 역

전남연안 1개소(무안), 전북연안 1개소(군산, 선유도), 충남연안 1개소(태안) 및 무안의 종패어장 등 3개 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 각 어장에서 사업내측(어장) 3정점과 사업외측(대조구) 2정점을 선정하여 조사를 실시하였다. 조사 시기는 총 6회로 예비조사 1회, 사업 전 1회, 사업 후 4회를 실시되었다(그림 3-2-1).

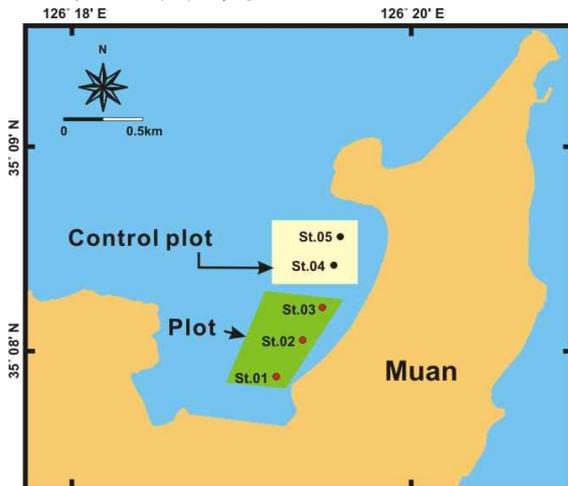
A : 태안 패류어장



B : 군산(선유도) 패류어장



C : 무안 패류어장



D : 무안 종패어장

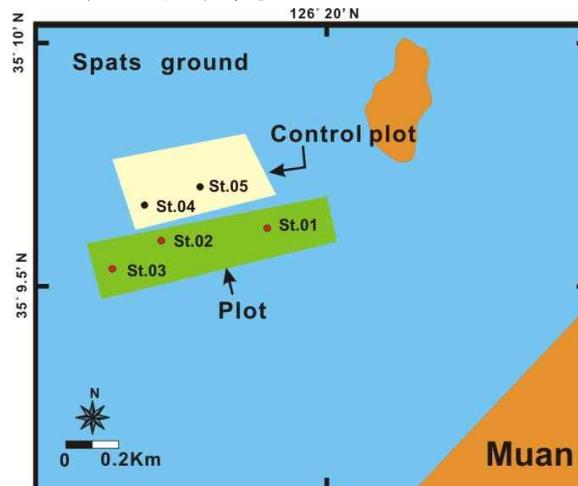


그림 3-2-1. 각 어장별 퇴적물 분석 정점도.

표 3-2-1. 어장환경 개선사업 조사좌표

조사 지역	어장 구분	정점	N	E	비고
태안	사업내(어장)	사업내1	36° 37' 518"N	126° 17' 638"E	
		사업내2	36° 37' 451"N	126° 17' 838"E	
		사업내3	36° 37' 567"N	126° 17' 812"E	
	대조	대조1	36° 37' 774"N	126° 17' 956"E	
		대조2	36° 37' 797"N	126° 17' 763"E	
군산	사업내(어장)	사업내1	35° 48' 935"N	126° 25' 310"E	
		사업내2	35° 48' 883"N	126° 25' 235"E	
		사업내3	35° 48' 828"N	126° 25' 152"E	
	대조	대조1	35° 48' 912"N	126° 25' 090"E	
		대조2	35° 49' 025"N	126° 25' 180"E	
무안	사업내(어장)	사업내1	35° 07' 876"N	126° 19' 197"E	
		사업내2	35° 08' 055"N	126° 19' 353"E	
		사업내3	35° 08' 214"N	126° 19' 472"E	
	대조	대조1	35° 08' 418"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 08' 560"N	126° 19' 579"E	
무안(치패)	어장내(어장)	어장내1	35° 09' 623"N	126° 19' 850"E	
		어장내2	35° 09' 595"N	126° 19' 583"E	
		어장내3	35° 09' 538"N	126° 19' 460"E	
	대조	대조1	35° 09' 669"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 09' 708"N	126° 19' 680"E	

* 무안(치패)어장은 어장개선사업 미실시

나. 현장조사

현장조사는 각 어장에 대하여 어장환경 개선전 2회, 개선 후 4회를 조사하여 총 6회 조사하였다.

표 3-2-2. 어장환경 개선사업 조사 시기

조사 시기	태안	군산	무안	무안(종패)	비고
개선전 1차	2010.07.29	2010.07.30	2010.07.31		
개선전 2차	2010.10.07	2010.09.09	2010.10.06	2010.10.06	
어장정화사업	10월 5일(시작)~ 10월 13일(종료)	10월 6일(시작)~ 10월23일(종료)	9월초(시작)~ 10월 20일(종료)	-	
개선후 1차	2010.10.20	2010.10.27	2010.11.04	2010.11.04	
개선후 2차	2010.12.09	2010.12.10	2010.12.05	2010.12.05	
개선후 3차	2011.01.19	2011.01.20	2011.01.18	2011.01.18	
개선후 4차	2011.03.22	2011.03.23	2011.03.24	2011.03.24	

2. 조사 항목 및 방법

조사항목은 공극수의 유분, 퇴적물의 입도(Grain Size), 함수율(Water Content: WC), 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand: COD), 강열감량(Ignition Loss: IL), 산휘발성황화물(Acid Volatile Sulfide: AVS), 미량금속(Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, As, Hg), 다환방향족탄화수소(PAHs)를 분석하였다. 조사항목들의 분석방법은 해양수산부에서 제시한 해양환경공정시험방법(2006)에 따라 분석하였으며, 분석과정을 간략하게 아래에 각 항목별로 기술하였다.

가. 시료채취 및 보관

공극수의 유분분석 시료는 갯벌퇴적물에서 채수하여 갈색병에 담아 실험실로 즉시 운반하여 분석하였다. 즉시 분석이 어려울 때에는 자외선의 작용과 박테리아의 번식을 피하기 위해 황산 또는 염산으로 pH 2 이하로 조절한 뒤 4°C에 냉장 보관하였다.

퇴적물 시료는 박스코어를 이용하여 표층은 0~5 cm의 시료를 채취하였고, 아표층은 25~30 cm의 시료를 채취하여 사용하였다. 퇴적물 시료는 냉동보관 후 동결 건조하여 보관하였다.

나. 퇴적물 입도분석

퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의거하였으며, 그 과정은 다음과 같다. 채취된 퇴적물 시료는 10%의 과산화수소수(H₂O₂)와 0.1 N의 염산(HCl)을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 완전히 제거하였다. 또한 퇴적물 내에 들어있는 용존염은 유기물과 탄산염을 제거하는 과정에서 잔류하는 과산화수소수와 염산을 제거하기 위해 증류수를 이용하여 따라 붓기 과정을 각각 5회 이상 반복하는 과정에서 제거하였다. 전처리과정이 끝난 쇄설성 퇴적물은 4φ(0.064 mm) 체를 이용한 습식체질(wet seiving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리하였다. 조립질 시료는 오븐에서 건조시킨 후 진탕기(rotap sieve shaker)를 이용하여 15분 동안 체질을 하여 입도 별로 무게를 구하였고, 세립질 시료는 침전속도를 고려한 피펫방법에 의해 무게를 구하여 조립질 시료 무게와 세립질 시료 무게를 합하여 각 구간에서의 무게 백분율을 구하였다. 이때 입자의 응집현상을 방지하기 위해 확산제로는 칼콘(sodium hexameta-phosphate)을 사용하였다.

측정된 모든 자료는 그래픽방법에 의해 처리되었고, 평균입도, 분급, 왜도, 첨도 등의 통계적 입도상수는 Folk and Ward (1957)의 계산식에 의해 구하였다. 또한 10φ보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의한 균등 분배방식을 이용하여 구분하였다. 퇴적물의 입도는 표 3-2-3, 표 3-2-4에 의하여 분류하였다.

표 3-2-3. 입자의 크기에 따른 입도등급

크 기			입도등급		
mm	μm	Ø			
2048		-11	거력(boulder)	매우 큰 거력	역(gravel)
1024		-10		큰 거력	
512		-9		중간 거력	
256		-8		작은 거력	
128		-7	왕자갈(cobble)	큰 왕자갈	
64		-6		작은 왕자갈	
32		-5	잔자갈(pebble)	매우 굵은 잔자갈	
16		-4		굵은 잔자갈	
8		-3		중간 잔자갈	
4		-2		작은 잔자갈	
4		-2	왕모래(granule)	매우 작은 잔자갈	
2	2000	-1	극조립사	매우 굵은 모래	모래(sand)
1	1000	0		조립사	
0.5	500	1		중립사	
0.25	250	2		세립사	
0.125	125	3		극세립사	
0.063	63	4			
0.031	31	5	실트	극조립 실트	실트(silt)
0.016	16	6		조립실트	
0.008	8	7		중립실트	
0.004	4	8		세립실트	
				극세립 실트	
0.002	2	9	점토	점토	점토(clay)
0.001	1	10			

표 3-2-4. 입도 통계변수 중 분급도의 분류(Folk, 1968)

분급도	분류등급	분급도	분류등급
< 0.35 ϕ	very well sorted	1.0~2.0 ϕ	poorly sorted
0.35~0.50 ϕ	well sorted	2.0~4.0 ϕ	very poorly sorted
0.50~0.71 ϕ	moderately well sorted	> 4.0 ϕ	extremely poorly sorted
0.71~1.0 ϕ	moderately sorted		

다. 유분 분석

공극수의 시료 1000 mL을 유리 분액깔때기에 넣고 시료병에 사염화탄소 50 mL을 넣어 100회 이상 흔들어서 분액깔때기에 합한 후, 분액깔때기의 시료를 10분간 추출하였다. 분리된 사염화탄소를 회전증발기의 증류플라스크에 담고, 다시 사염화탄소 25 mL로 시료를 재추출한 후 사염화탄소층을 증류플라스크에 모아서 회전증발기로 30°C, 감압상태에서 농축한 후 청정시설 안에서 12시간 방치하여 사염화탄소를 완전히 증발시킨 다음 시클로헥산 20 mL에 용해하였다. 모든 초자 기구는 0.1N 염산용액으로 세척한 다음 초순수로 3회 이상 반복 세척하고 아세톤과 염화메틸렌으로 세척한 후 사용하였다. 해수 중 유분 분석은 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2006)에 준하여 분석하였다.

유분이 용해된 시클로헥산 10 mL 분광셀에 넣어 형광분광광도계(F-4500, Hitachi)에서 여기파장 310 nm와 형광파장 360 nm에서 유분의 형광세기를 측정하였다. 형광세기와 농도의 검량선을 이용하여 시료의 유분 농도를 계산하였다.

라. 강열감량

퇴적물의 습시료 약 4~5g를 미리 무게를 측정한 도가니에 넣고 105°C 건조기에서 하룻밤 동안 건조시킨 후 이를 전기로에 넣어 550°C에서 2시간 가열하고 데시케이터 안에서 실온으로 식혀 도가니의 무게를 측정하여 항량을 구한 다음 그 차이로 강열감량을 계산하였다.

마. 화학적산소요구량

퇴적물의 습시료 약 1~2g를 250 mL 삼각플라스크에 넣고 0.1N 과망간산칼륨용액 100 mL와 10% 수산화나트륨 용액 5ml를 넣고 잘 혼합하였다. 시료와 시약이 담긴 플라스크를 끓는 물에서 1시간 동안 중탕한 후 실온으로 냉각시켜 10% 요오드화칼륨용액 10 mL와 4% 아지드와나트륨 용액 한 방울을 넣었다. 여기에 증류수를 가해 500 mL로 만든 후 잘 흔들어서 유리섬유여과지로 여과한 후, 여과용액 100 mL를 30% 황산용액 2ml을 넣고 잘 흔들어서 이를 0.1N 티오황산나트륨 용액으로 적정하였다.

바. 산취발성황화물

퇴적물의 습시료 약 2g의 무게를 정확히 측정하여 기체발생관에 넣은 후 약간의 증

류수를 넣고 기체가 새지 않도록 뚜껑을 닫는다. 이어 기체발생관에 황산 2 mL를 넣고 2~3초 기다린 후 펌프를 이용하여 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 한다. 그 후 검지관의 색 변화를 유심히 관찰하여 색이 더 이상 변하지 않을 때 그 지점의 눈금을 읽어 황화물량을 계산하였다.

사. 퇴적물의 미량금속 분석

퇴적물의 미량금속분석은 냉동 건조 후 곱게 간 시료 약 0.5~1.0g 정확히 달아 파이렉스 코니칼 또는 테프론 비이커에 넣고 HNO₃:HClO₄:HF = 2:1:2의 혼합산을 이용하여 산 분해하였다. 퇴적물이 완전히 분해되면 HNO₃ 2 mL를 가하여 남아있는 HF를 완전히 휘발시킨 다음 2% HNO₃ 20 mL를 가하여 가열판 위에서 따뜻한 상태로 하여 완전 분해된 원소들을 용존시키고, 2% HNO₃ 용액을 사용하여 100 mL로 정용한 후 유도결합플라즈마 질량분석기 (ICP-MS, Perkin Elmer:Elan DRC-e)로 측정하였다. 단, 수은의 경우 수은자동분석기 (Milestone, AMA-254)로 분석하였고, 분석 자료의 신뢰성을 확보하기 위하여 캐나다 국립연구소 (NRC)의 표준퇴적물 시료인 MESS-2와 PACS-2 (marine sediment)를 퇴적물 시료와 함께 분석하였다.

표 3-2-5. 국외 해양 퇴적물 기준 (mg/kg)

항목	NOAA		미국 워싱턴주		미국 플로리다주		캐나다	
	ERL	ERM	sediment quality standard	sediment clean-up standard	TEL	PEL	ISQG	PEL
비소 (As)	8.2	70	57	93	7.24	41.6	7.24	41.6
카드뮴 (Cd)	1.2	9.6	5.1	6.7	0.676	4.21	0.7	4.2
크롬 (Cr)	81	370	260	270	52.3	160.4	52.3	160
구리 (Cu)	34	270	390	390	18.7	108.2	18.7	108
납 (Pb)	46.7	223	450	530	30.24	112.18	30.2	112
수은 (Hg)	0.15	0.71	0.41	0.59	0.130	0.696	0.13	0.70
아연 (Zn)	150	410	410	960	124	271	124	271

퇴적물내 미량금속 원소들의 농도를 알아보기 위해 알루미늄(Al), 철(Fe)과 같이 지각중에 높은 농도로 존재하여 오염의 영향을 크게 받지 않는 원소들과 그 외 구리(Cu), 납(Pb), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 수은(Hg), 비소(As)와 같은 금속원소들을 분석하였다. 한편, 최근에 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서는 연안퇴적물의 오염정도를 평가하기 위하여 퇴적물내 금속원소의 농도를 기준으로 생물독성실험을 실시하여 10%의 저서생물에 악영향을 초래할 수 있는 하한농도기준 ERL(Effect Range Low)과 50%의 저서생물에 독성을 초래할 수 있는 상한농도기준

ERM(Effect Range Median)을 제시하였다(Buchman, 2008). 따라서 태안 지역 표층과 아 표층퇴적물의 오염여부를 파악하기 위하여 퇴적물내 금속원소의 농도와 NOAA에서 제시한 이들 원소들의 ERL, ERM 값과 비교하였다(표 3-2-5).

아. 퇴적물의 PAHs의 분석

퇴적물의 PAHs분석은 내부표준물질(d4-1,4dichlorobenzene, d10-acenaphthene, d12-chrysene, d8-naphthalene, d12-perylene, d10-phenanthrene; 46955-U Internal standard Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA)를 첨가한 해양 퇴적물 10 g을 soxhlet 추출기에서 hexane:dichloromethane (1:1) 200 mL의 추출을 사용하여 12시간 추출 하였다. 추출물은 활성 silica-gel (grade 923, 100-200 mesh, Aldrich, Milwaukee, WI, USA)을 이용하여 정제하고 10% dichloromethane을 함유한 hexane 용액으로 용출하였다. NO₂ gas 농축기에서 용출액을 약 1 mL까지 농축한 후 실온에서 휘발시켜 50 µL로 최종 농축시켰다.

GC-MS 분석조건은 MSD (Agilent 5973, U.S.A.)가 부착된 gas chromatography (Agilent 6793N U.S.A.)를 사용하여 해수 및 해양 퇴적물 중 PAHs를 분석하였다. Column은 DB-5 MS column (length 30 m, i.d. 0.25 mm, film thickness 0.25 µm, J&W Scientific, Folsom, CA)을 사용하였고 column oven의 온도는 80°C에서 5분간 정체 후 280°C까지 분당 5°C씩 상승시켜 280°C에서 6분간 정체 시켰다. 이때 carrier gas는 helium을 사용하였다. PAHs는 EPA (Environmental Protection Agency) method No. 610에 등재된 16종의 PAH [naphthalene (NaP), acenaphthylene (AcPy), acenaphthene (AcP), fluorene (Flu), phenanthrene (Phe), anthracene (AnT), fluoranthene (FluA), pyrene (Pyr), benz[a]anthracene (BaA), chrysene (Chr), benzo[b]-fluoranthene (BbF), benzo[k]fluoranthene (BkF), benzo[a]pyrene (BaP), indeno [1,2,3-cd]pyrene (InP), dibenzo[a,h]anthracene (DbA), benzo[ghi] perylene (BghiP)]를 포함하는 PAH Mixture (TCL PAH Mix, Supelco, Bellefonte, PA)를 표준물질로 사용하였다.

PAHs의 분석의 Quality assurance/quality control (QA/QC)은 표준대조물질(SRM) 1944b (NIST, U.S.A.)를 이용한 해양 퇴적물 PAHs의 회수율은 83±23%였다. 기기검출한계(IDL)는 PAHs의 종류에 따라 0.61~2.44 ng/g, 정량한계(ILQ)는 1.86~7.93 ng/g였으며 분석한계(MDL, S/N=3)는 0.0093~0.0396 ng/g이었다. 이 값은 ICH (International Conference on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human) guidance의 Q2B validation을 이용하여 산출하였다(U.S. Department of Health and Human Services Food and Drug Administration, 1996).

본 연구에서 16종의 PAHs (naphthalene, acenaphthylene, acenaphthene, fluorene, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, pyrene, benzo(a)anthracene, chrysene, benzo(b)fluoranthene, benzo(k)fluoranthene, benzo(a)pyrene, indeno(1,2,3-c,d)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene)의 정성·정량은 독성유해화학물질의 오염도 및 기원에 대한 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 이들의 분자 구조식을 그림 3-2-2에 물리·화학적 특성을 표 3-2-6에 나타내었다.

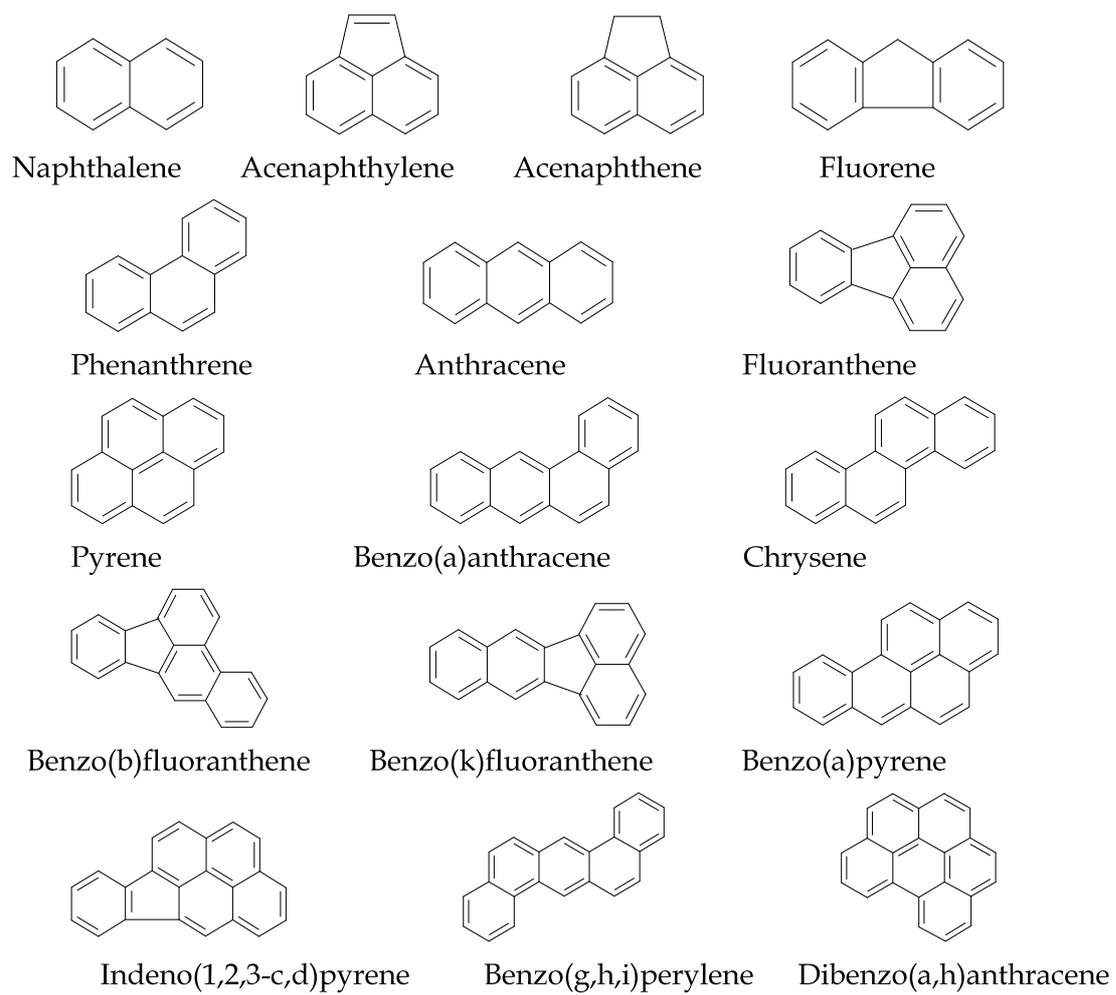


그림 3-2-2. 분석대상인 16종 PAHs의 분자구조.

표 3-2-6. 16종 PAHs의 물리·화학적 특성

Compounds	Abbreviation	Chemical Formula	Molecular Weight	Melting Point (°C)	Boiling Point (°C)	Vapor Pressure (mmHg, 25°C)	Water Solubility (µg/L)	Log Kow
Naphthalene	NaP	C ₁₀ H ₈	128.16	80	218	7.1×10 ⁻²	31,700	3.6
Acenaphthylene	AcPy	C ₁₂ H ₈	152.20	93	275	6.7×10 ⁻³	NR	NR
Acenaphthene	AcP	C ₁₂ H ₁₀	154.21	96	279	2.2×10 ⁻³	3930	3.9
Fluorene	Flu	C ₁₃ H ₁₀	166.22	117	295	6.0×10 ⁻⁴	1980	4.2
Phenanthrene	PhA	C ₁₄ H ₁₀	178.22	100	340	1.2×10 ⁻⁴	1290	4.5
Anthracene	AnT	C ₁₄ H ₁₀	178.22	218	342	6.0×10 ⁻⁶	73	4.5
Fluoranthene	FluA	C ₁₆ H ₁₀	202.26	110	393	9.2×10 ⁻⁶	260	5.0
Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀	202.26	156	404	4.5×10 ⁻⁶	135	5.3
Benzo(a)anthracene	BaA	C ₁₈ H ₁₂	228.29	159	435	2.1×10 ⁻⁷	14	5.7
Chrysene	Chr	C ₁₈ H ₁₂	228.29	256	448	6.4×10 ⁻⁹	2.0	5.7
Benzo(b)fluoranthene	BbF	C ₂₀ H ₁₂	252.32	168	393	NR	2.0	6.6
Benzo(k)fluoranthene	BkF	C ₂₀ H ₁₂	252.32	217	480	9.6×10 ⁻¹¹	800	6.1
Benzo(a)pyrene	BaP	C ₂₀ H ₁₂	252.32	177	496	5.6×10 ⁻⁹	1.6	6.0
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	InP	C ₂₂ H ₁₂	276.34	162	534	NR	NR	NR
Dibenzo(a,h)anthracene	DbA	C ₂₂ H ₁₄	278.35	262	535	NR	0.3	6.5
Benzo(g,h,i)perylene	BghiP	C ₂₂ H ₁₂	276.34	273	542	1.01×10 ⁻¹⁰	0.0025	NR

NR : not reported.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 태안

가. 퇴적물 입도분석

태안군 어장의 표층퇴적물은 모래(sand)가 100%, 아표층퇴적물은 모래가 99.4%로 모래질 갯벌어장으로 나타났다. 평균입도는 표층에서 1.67~2.80(평균 2.24) Φ 이었으며, 아표층에서 1.84~2.84(2.34) Φ 로 나타났다. 태안군 어장의 퇴적물은 세립사로 구성되어 있으며, 표층이 아표층보다 약간 조립한 경향을 보였다. 분급도는 0.23~0.51 Φ (표층평균 0.32 Φ , 저층평균 0.34 Φ) 범위로 매우 양호한 분급(very well sorted)부터 양호한 분급(well sorted)까지 다양하였다. 왜도는 -0.09~0.34(표층평균 0.12, 저층평균 0.00) 범위로 양의 왜도(positive skewed)를, 첨도는 0.93~2.14(표층평균 1.16, 저층평균 1.02)범위로 집중된 형태(leptokurtic)를 보였다. 퇴적물분포는 표층과 아표층에서 역질모래(gS) 퇴적상과 모래(S) 퇴적상이 우세하게 분포하는 것으로 나타났다(표 3-3-1, 표3-3-2). 어장의 표층퇴적물내의 유기물, 산화발성황화물, 화학적산소요구량, 미량금속 및 PAHs는 모래(sand)와 실트(silt), 점토(clay)의 함량비에 의해 영향을 받을 것으로 판단된다.

나. 공극수 유분

공극수내 유분의 평균농도는 0.054~0.225(평균 0.133) ug/L 이었으며, 어장환경 개선 지역의 평균농도는 0.064~0.242(평균 0.151) ug/L, 대조구의 평균농도는 0.040~0.201(평균 0.105) ug/L로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선 후 1차 조사에서 0.225 ug/L로 가장 높았고, 개선전 2차 조사에서 0.054 ug/L로 가장 낮게 나타났다. 유분농도는 어장환경개선 전·후의 차이는 어장이 대조구보다 약간 높은 경향을 보였다. 유분농도의 평균값에 대한 변동계수(어장 : 36, 대조구 : 35)로 보아 조사 기간 동안 어장과 대조구는 시간적인 변화가 적은 경향을 보였다(그림 3-3-1, 그림 3-3-2).

다. 강열감량

표층퇴적물의 평균농도는 0.64~0.83(평균 0.73)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.63~0.80(평균 0.68)%, 대조구의 평균농도는 0.66~0.88(평균 0.80)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차에 가장 높았고, 개선후 4차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 0.69~1.18(평균 0.86)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.65~1.40(평균 0.82)%, 대조구의 평균농도는 0.74~1.08(평균 0.92)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 강열감량은 표층이 아표층보다 낮았고, 개선어장의 표층퇴적물에서 어장이 대조구보다 약간 낮은 경향을 보였다. 강열감량의 표층 평균값에 대한 변동계수(어장 : 25, 대조구 : 57)로 보아 조사 기간 동안 개선어장보다 대조구에서 변화가 큰 경향을 보였다(그림 3-3-3, 그림 3-3-4).

라. 화학적산소요구량

표층퇴적물의 평균농도는 1.60~5.27(평균 2.97) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$ 이었으며, 어장환경 개선 지역의 평균농도는 1.60~5.57(평균 3.06) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$, 대조구의 평균농도는 1.59~4.82(평균 2.85) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$ 로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차에 가장 높았고, 개선후 2차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 2.07~4.74(평균 3.78) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$ 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 1.92~4.57(평균 3.74) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$, 대조구의 평균농도는 2.30~5.28(평균 3.83) $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$ 로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 화학적산소요구량은 표층과 아표층에서 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 20 $\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{dry}$ 이하의 농도를 보였다. 표층퇴적물의 평균변동계수(어장 : 88, 대조구 : 147)로 보아 조사 기간 동안 개선 어장보다 대조구에서 시간적인 변화가 큰 경향을 보였다(그림 3-3-5, 그림 3-3-6).

라. 산화발성황화물

표층퇴적물의 평균농도는 0.000~0.023(평균 0.007) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$ 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.000~0.010(평균 0.003) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$, 대조구의 평균농도는 0.000~0.044(평균 0.013) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$ 로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선후 1차에 가장 높았고, 개선전 1차와 개선후 2, 3차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 0.000~0.038(평균 0.011) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$ 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.000~0.033(평균 0.011) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$, 대조구의 평균농도는 0.000~0.071(평균 0.012) $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$ 로 나타나 어장과 대조구는 차이가 없었다. 화학적산소요구량은 표층과 아표층에서 검출되지 않는 정점과 시기가 많은 것으로 보아 표층퇴적물의 입도조성이 모래로 구성되어 있는 것과 관계가 있는 것으로 판단된다. 산화발성황화물은 표층이 저층보다 낮은 경향을 보였고, 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 0.2 $\text{mgS}/\text{g}\cdot\text{dry}$ 보다 현저하게 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-7, 그림 3-3-8).

마. 미량금속

1) Al

표층 퇴적물에서 1.9~3.6%(평균 2.8%), 아표층 퇴적물에서 1.4~3.9%(평균 2.7%) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 3.1%, 2.6%, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 2.5%, 2.7%로 어장이 대조구보다 높게 나타났다(표 3-3-3, 표 3-3-4). 아표층퇴적물에서는 어장내와 대조구에서 유사한 농도를 보였으며, 모든 정점에서 5.0%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-9). 알루미늄농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 17, 대조구 : 32), 아표층(어장 : 48, 대조구 : 54)로 표층에서 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층에서 어장과 대조구의 변화가 적은 것으로 나타났다.

2) Fe

표층 퇴적물에서 1.0~2.1%(평균 1.4%), 아표층 퇴적물에서 0.6~2.4%(평균 1.3%) 이었

다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 1.4%, 1.2%, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 1.5%, 1.5%로 표층과 아표층퇴적물 모두 어장내와 대조구의 농도 차이를 보이지 않았다(표 3-3-3, 표3-3-4). 모든 정점에서 2.5%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-10). 철농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 7, 대조구 : 49), 아표층(어장 : 54, 대조구 : 83)로 표층과 아표층에서 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

3) Cu

표층퇴적물에서 1.8~7.4 ppm(평균 3.9), 아표층퇴적물에서 1.3~10.6 ppm(평균 4.5 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 4.7 ppm, 5.1 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 2.6 ppm, 3.4 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구에 비해 높은 농도를 나타내었다(표 3-3-3, 표3-3-4). 태안1 정점에서 표층과 아표층퇴적물에서 가장 높은 농도를 보였으며, 그 외의 지역에서는 유사한 값을 나타내었다. 미국 NOAA에서 제사한 Cu의 ERL값은 34 ppm이며 ERM 값은 약 270 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/8 이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-11). 구리농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 50, 대조구 : 45), 아표층(어장 : 95, 대조구 : 49)로 표층퇴적물에서는 변화가 거의 없었으며 아표층퇴적물에서는 대조구가 어장에 비해 변화가 적은 것으로 나타났다.

4) Pb

표층퇴적물에서 12.7~23.6 ppm(평균 20.3 ppm), 아표층퇴적물에서 7.4~ 24.0 ppm(평균 16.4 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 32.1 ppm, 22.4 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 22.9 ppm, 17.2 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 나타냈다(표 3-3-3, 표3-3-4). 대조1 정점에서 가장 낮은 농도를 보였으며 그 외의 지역에서는 유사한 농도를 보였다. NOAA에서 제사한 Pb의 ERL 값은 46.7 ppm이며 ERM 값은 약 220 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/2정도로 낮았다(그림 3-3-12). 납농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 7, 대조구 : 37), 아표층(어장 : 45, 대조구 : 74)로 표층퇴적물에서 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층퇴적물에서도 상대적으로 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

5) Zn

표층퇴적물에서 19.2~39.4 ppm(평균 30.9 ppm), 아표층퇴적물에서 12.9~54.8 ppm(평균 30.6 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 43.8 ppm, 32.6 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 41.3 ppm, 28.4 ppm으로 대조구의 아표층퇴적물에서 상대적으로 낮은 농도가 나타났다(표 3-3-3, 표3-3-4). NOAA에서 제시한 Zn의 ERL 값은 150 ppm이며 ERM 값은 410 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-13). 아연농도의 평균값에 대

한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 19, 대조구 : 46), 아표층(어장 : 72, 대조구 : 68)로 표층퇴적물에서 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층퇴적물에서 어장과 대조구가 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

6) Cd

표층퇴적물에서 0.009~0.037 ppm(평균 0.018 ppm), 아표층 퇴적물에서 0.010 ~0.046 ppm(평균 0.031 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.020 ppm, 0.021 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.016 ppm, 0.012 ppm으로 어장환경 개선지역에서 평균농도가 높게 나타났다(표 3-3-3, 표3-3-4). 표층퇴적물에서는 태안1 정점에서 가장 높은 농도를 보였으며, 아표층퇴적물에서는 태안 1, 2, 대조2 정점이 약간 높은 농도를 보였다. NOAA에서 제시한 Cd의 ERL 값은 1.2 ppm이며 ERM 값은 9.6 ppm이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-14). 카드뮴농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 63, 대조구 : 31), 아표층(어장 : 61, 대조구 : 43)로 표층과 아표층퇴적물에서 대조구가 어장보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

7) Hg

표층퇴적물에서 0.001~0.006 ppm(평균 0.003 ppm), 아표층 퇴적물에서 0.002 ~0.008 ppm(평균 0.004 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.006 ppm, 0.004 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.005 ppm, 0.002 ppm으로 어장환경 개선지역과 대조구가 큰 차이를 보이지 않았고, 각 정점별로도 큰 차이를 보이지 않았다(표 3-3-3, 표3-3-4). NOAA에서 제시한 Hg의 ERL 값은 0.15 ppm이며 ERM 값은 0.71 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 매우 낮았다(그림 3-3-15). 수은농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 51, 대조구 : 24), 아표층(어장 : 92, 대조구 : 66)로 표층과 아표층퇴적물 모두 대조구가 어장보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

8) As

표층퇴적물에서 3.8~7.7 ppm(평균 6.2 ppm), 아표층퇴적물에서 1.5~9.7 ppm(평균 4.7 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 5.0 ppm, 6.5 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 3.0 ppm, 5.7 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-3, 표3-3-4). 대조1 정점에서 낮은 농도를 보였으며 대조2 정점 아표층퇴적물에서 가장 높은 농도를 나타내었다. NOAA에서 제시한 As의 ERL 값은 8.2 ppm이며 ERM 값은 약 70 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 일부 정점(대조2 아표층퇴적물)에서 ERL 농도를 약간 상회하는 농도를 보이나 대부분의 정점들이 ERL농도보다 낮은 농도를 나타내었다(그림 3-3-16). 비소농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 15, 대조구 : 48), 아표층(어장 : 51, 대조구 : 104)로 표층과 아표층퇴적물 모두 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로

나타났다.

9) Cr

표층퇴적물에서 14.9~37.0 ppm(평균 26.1 ppm), 아표층퇴적물에서 10.5~42.2 ppm(평균 23.9 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 33.4 ppm, 28.2 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 27.5 ppm, 23.0 ppm으로 어장환경 개선지역이 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-3, 표3-3-4). 태안1, 3과 대조2 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며 태안2, 대조1 정점에서 낮은 농도를 나타내었다. NOAA에서 제시한 Cr의 ERL 값은 81 ppm이며 ERM 값은 약 370 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-17). 크롬농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 29, 대조구 : 49), 아표층(어장 : 71, 대조구 : 74)로 표층퇴적물에서 어장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층퇴적물에서 어장과 대조구의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

10) Ni

표층퇴적물에서 5.8~10.9 ppm(평균 8.4 ppm), 아표층퇴적물에서 4.1~16.5 ppm(평균 8.9 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 13.7 ppm, 9.4 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 10.0 ppm, 6.7 ppm으로 어장환경 개선지역이 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-3, 표3-3-4). 태안1 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 그 외의 지역은 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다. NOAA에서 제시한 Ni의 ERL 값은 20.9 ppm이며 ERM 값은 약 51.6 ppm 이다. 본 조사결과를 이들 값과 비교해보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮게 나타났다(그림 3-3-18). 니켈농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 14, 대조구 : 19), 아표층(어장 : 61, 대조구 : 62)로 표층과 아표층퇴적물에서 어장과 대조구 모두 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

바. 다환방향족탄화수소(PAHs)

다환방향족탄화수소의 농도는 0.1~9.5 (평균 2.2) ng/g (D.W) 이었다. 표층퇴적물의 개선전 평균농도는 0.4 ng/g (D. W), 대조구의 농도는 0.3 ng/g (D.W)로 어장과 대조구의 차이는 거의 없었다. 어장환경 개선후 표층 평균농도는 5.9 ng/g (D.W) 이었으며, 대조구는 2.2 ng/g (D.W)로 개선어장이 대조구의 높게 나타났다. 아표층퇴적물의 개선전 평균농도는 0.3 ng/g (D. W), 대조구의 농도는 0.6 ng/g (D.W)로 어장이 대조구보다 낮게 나타났다. 태안 마검포 어장의 다환방향족탄화수소의 농도는 개선전보다 개선후가 높게 나타났으나 우리나라 다른 지역에 비해 낮은 경향이고, 어장환경개선에 의해 발생하는 경향보다 계절적인 변화로 판단된다(표 3-3-5, 그림 3-3-19).

표 3-3-1. 태안군 마검포 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort. (phi)	Skew.	Kurt.	
태안1상	0.1	99.9	0.0	0.0	0.0	1.81	0.38	0.13	1.19	(g)S
태안2상	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.01	0.38	0.13	0.93	S
태안3상	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.45	0.25	0.01	0.97	S
태안4상	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.60	0.23	0.34	1.00	S
태안5상	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.80	0.25	0.06	1.03	S
태안A	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	1.80	0.38	0.13	1.17	S
태안B	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.01	0.39	0.08	1.01	S
태안C	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.44	0.26	0.01	1.01	S
태안D	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	1.67	0.38	0.24	2.14	S
태안E	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.76	0.27	0.09	1.13	S
min	0.0	99.9	0.0	0.0	0.0	1.67	0.23	0.01	0.93	
max	0.1	100.0	0.0	0.0	0.0	2.80	0.39	0.34	2.14	
avg	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.24	0.32	0.12	1.16	
std	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.42	0.07	0.10	0.36	
cv	316.2	0.0	-	-	-	18.94	22.21	85.22	30.68	

표 3-3-2. 태안군 마검포 아표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort. (phi)	Skew.	Kurt.	
태안1하	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	1.84	0.39	0.14	1.09	S
태안2하	3.1	96.9	0.0	0.0	0.0	1.86	0.51	-0.09	1.01	(g)S
태안3하	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.51	0.30	-0.02	0.99	S
태안4하	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.60	0.22	0.01	1.01	S
태안5하	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	2.89	0.31	-0.05	0.98	S
min	0.0	96.9	0.0	0.0	0.0	1.84	0.22	-0.09	0.98	
max	3.1	100.0	0.0	0.0	0.0	2.89	0.51	0.14	1.09	
avg	0.6	99.4	0.0	0.0	0.0	2.34	0.34	0.00	1.02	
std	1.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.1	0.1	0.0	
cv	223.6	1.4	-	-	-	20.0	32.6	-	4.4	

표 3-3-3. 태안 지역의 표층퇴적물 내 금속원소 분석결과

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
태안1 상	1.3	3.6	7.4	23.0	39.4	0.037	0.005	5.8	26.5	10.9
태안2 상	1.3	2.6	3.4	23.6	27.6	0.016	0.002	6.2	21.2	8.2
태안3 상	1.5	2.9	3.3	20.7	30.8	0.011	0.006	7.7	37.0	9.3
대조1 상	1.0	1.9	1.8	12.7	19.2	0.009	0.001	3.8	14.9	5.8
대조2 상	2.1	3.1	3.4	21.6	37.6	0.014	0.002	7.6	31.1	7.6
avg	1.4	2.8	3.9	20.3	30.9	0.018	0.003	6.2	26.1	8.4
std	0.4	0.6	2.1	4.4	8.1	0.011	0.002	1.6	8.6	1.9
cv	28.0	21.9	54.5	21.7	26.3	62.855	65.200	26.1	32.8	22.5
min	1.0	1.9	1.8	12.7	19.2	0.009	0.001	3.8	14.9	5.8
max	2.1	3.6	7.4	23.6	39.4	0.037	0.006	7.7	37.0	10.9

표 3-3-4. 태안 지역의 아표층퇴적물 내 금속원소 분석결과

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
태안1 하	1.9	3.9	10.6	21.3	54.8	0.040	0.008	5.6	42.2	16.5
태안2 하	1.1	2.5	3.4	21.3	23.1	0.046	0.002	5.1	17.9	9.3
태안3 하	0.6	1.4	1.3	8.1	12.9	0.010	0.002	1.7	10.5	4.4
대조1 하	0.6	1.7	2.3	7.4	16.2	0.021	0.007	1.5	11.6	4.1
대조2 하	2.4	3.7	4.6	24.0	46.0	0.039	0.003	9.7	37.2	10.5
avg	1.3	2.7	4.5	16.4	30.6	0.031	0.004	4.7	23.9	8.9
std	0.8	1.2	3.7	8.0	18.7	0.015	0.003	3.3	14.8	5.1
cv	59.9	43.3	82.4	48.7	61.2	48.776	71.563	71.3	62.1	56.8
min	0.6	1.4	1.3	7.4	12.9	0.010	0.002	1.5	10.5	4.1
max	2.4	3.9	10.6	24.0	54.8	0.046	0.008	9.7	42.2	16.5

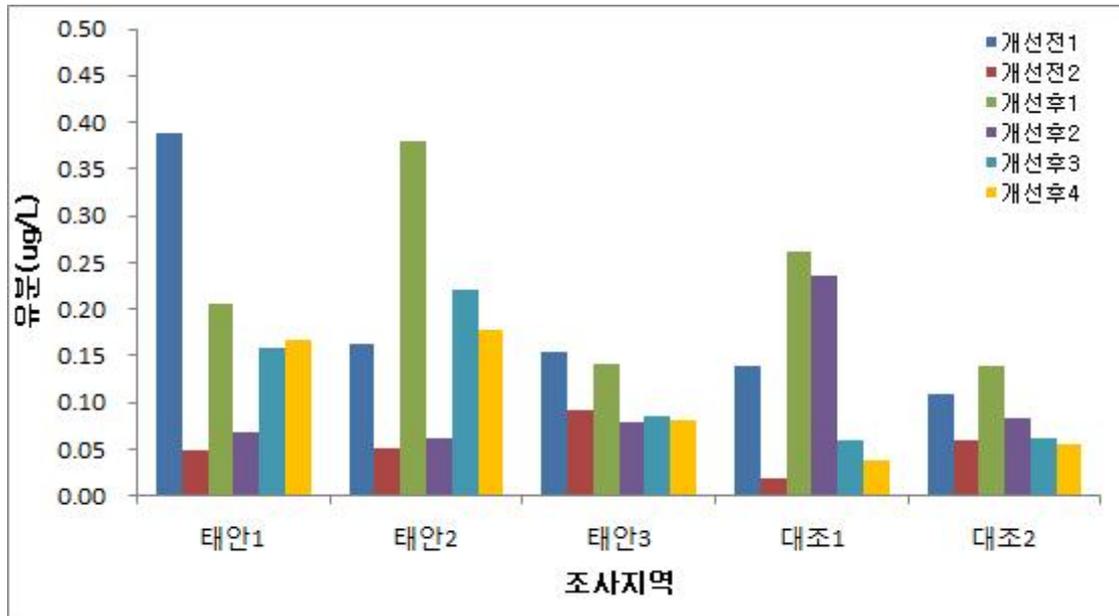


그림 3-3-1. 태안 마검포 어장의 공극수내 정점별 유분농도 농도.

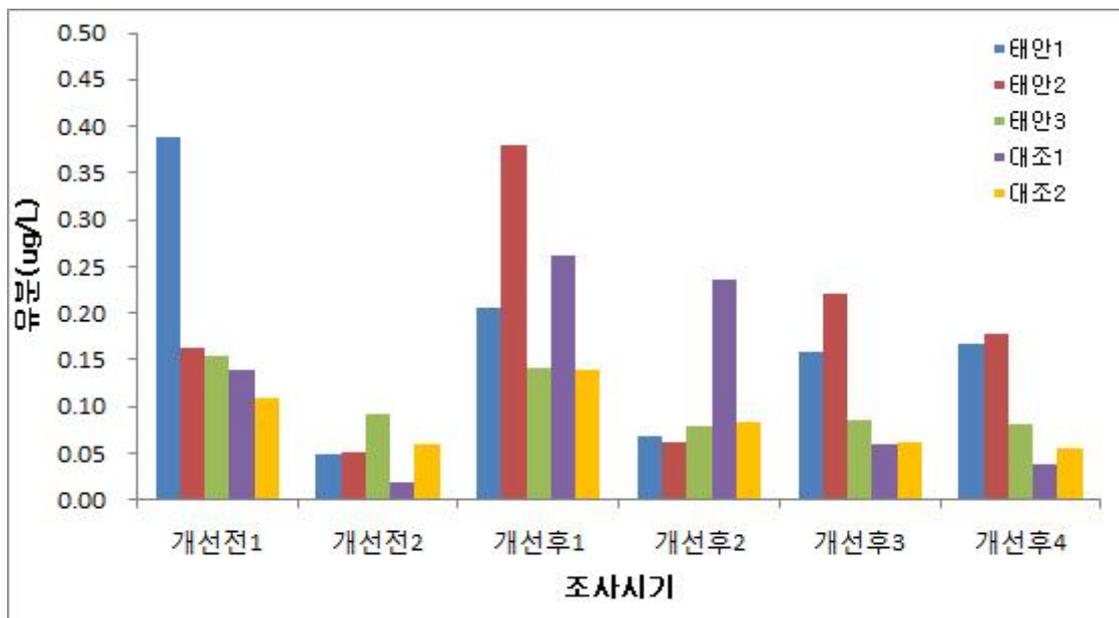


그림 3-3-2. 태안 마검포 어장의 공극수내 조사시기별 유분농도 농도.

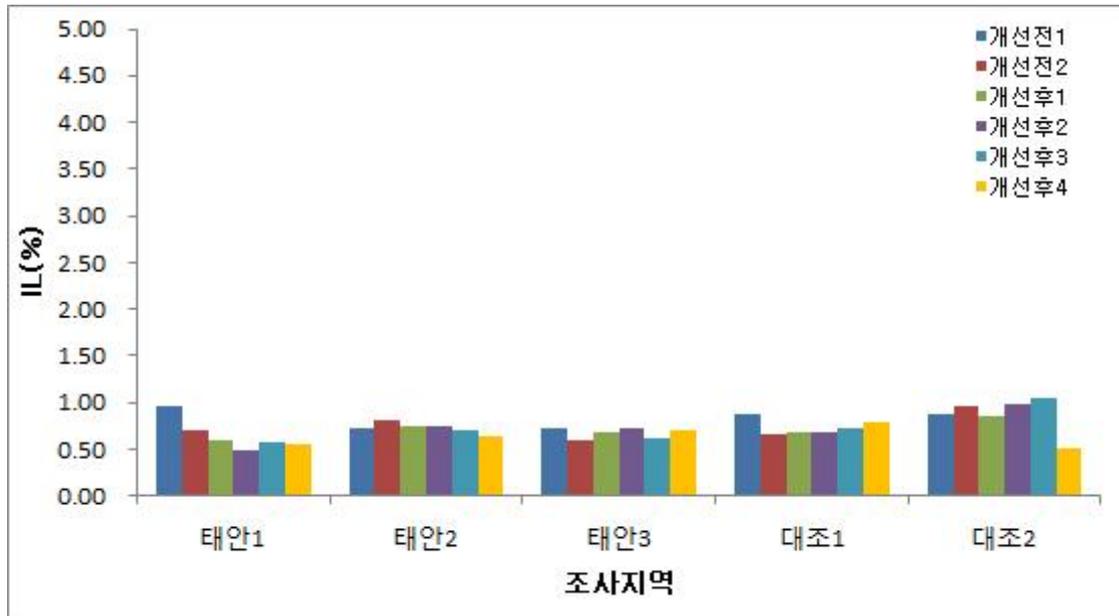


그림 3-3-3. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 강열감량 농도.

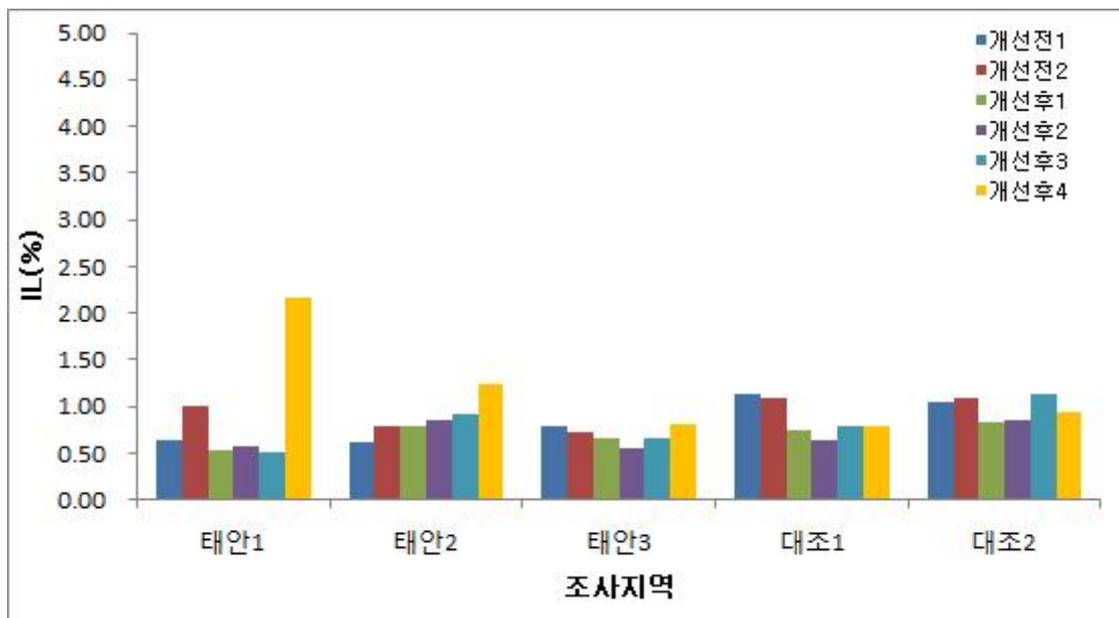


그림 3-3-4. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 강열감량 농도.

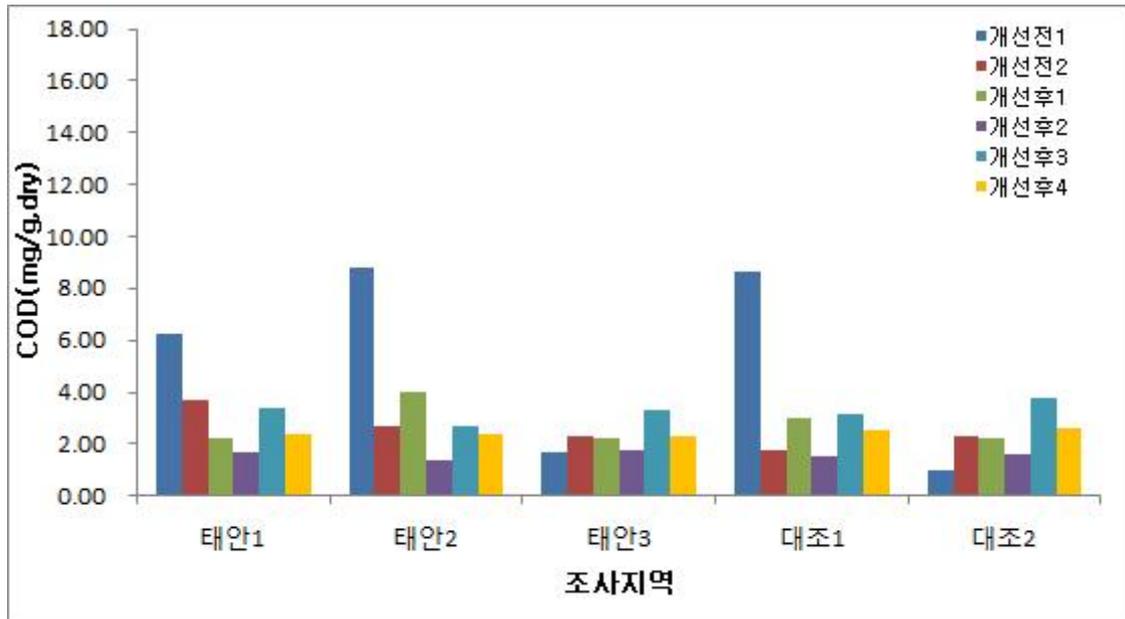


그림 3-3-5. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 화학적산소요구량 농도.

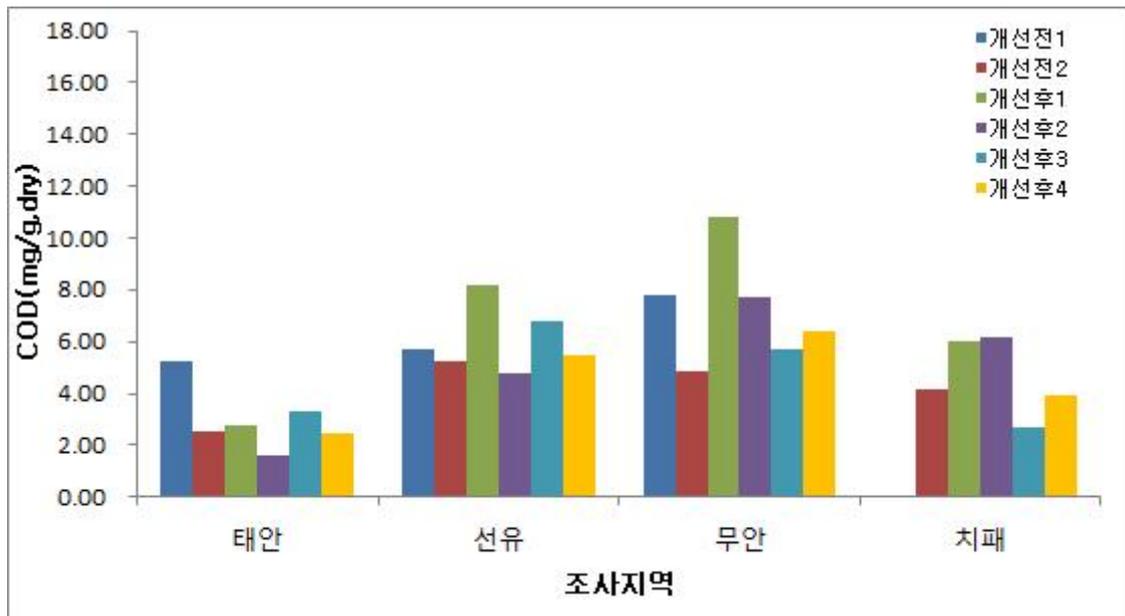


그림 3-3-6. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 화학적산소요구량 농도.

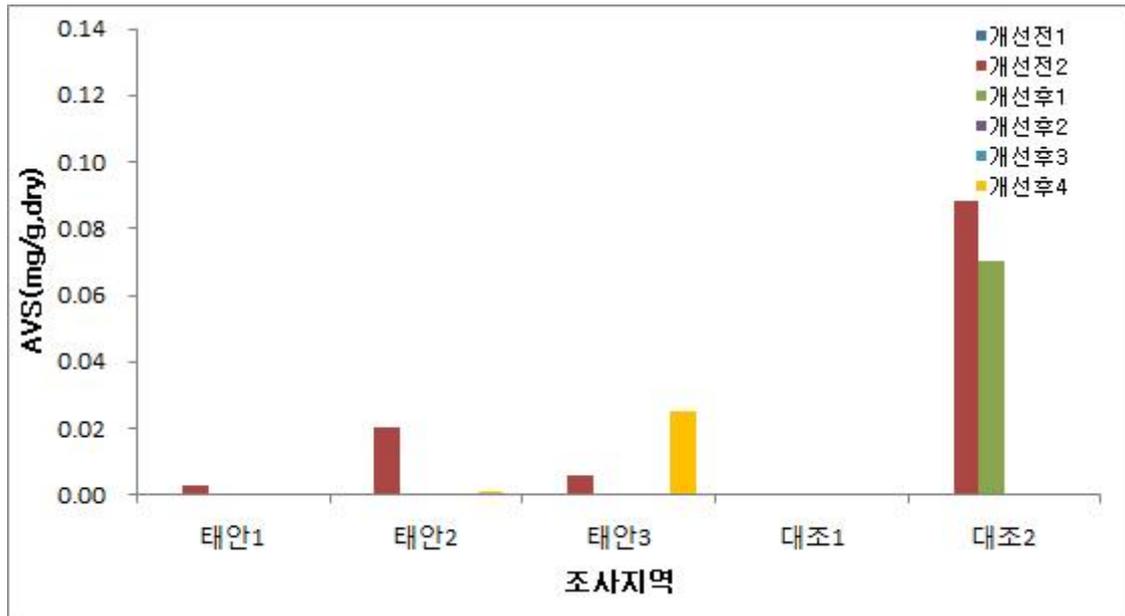


그림 3-3-7. 태안 마검포 어장의 표층퇴적물의 산취발성황화물 농도.

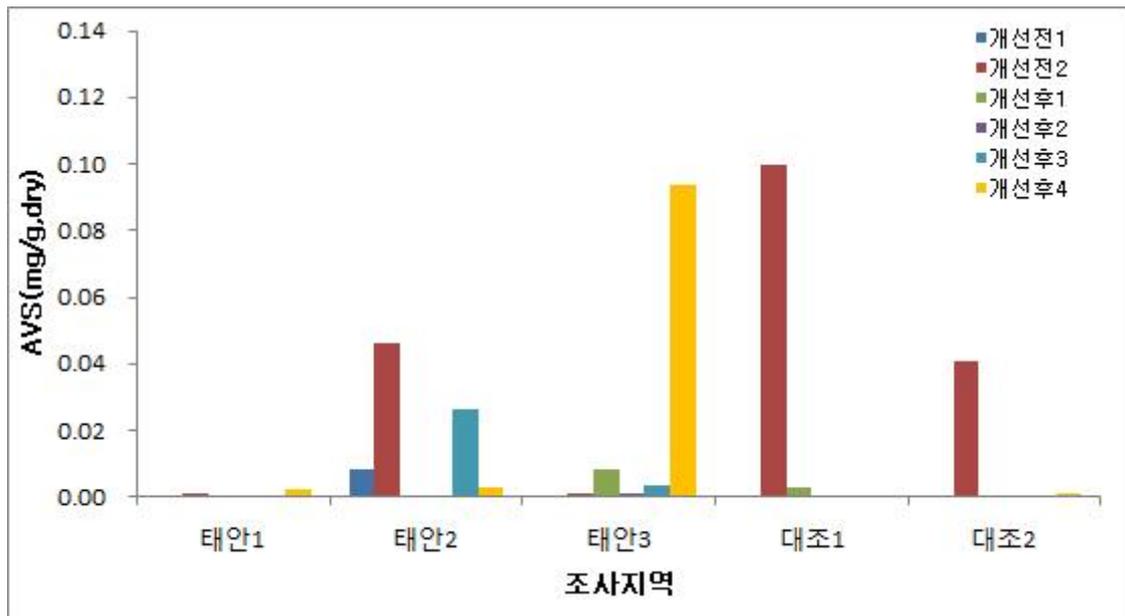


그림 3-3-8. 태안 마검포 어장의 아표층퇴적물의 산취발성황화물 농도.

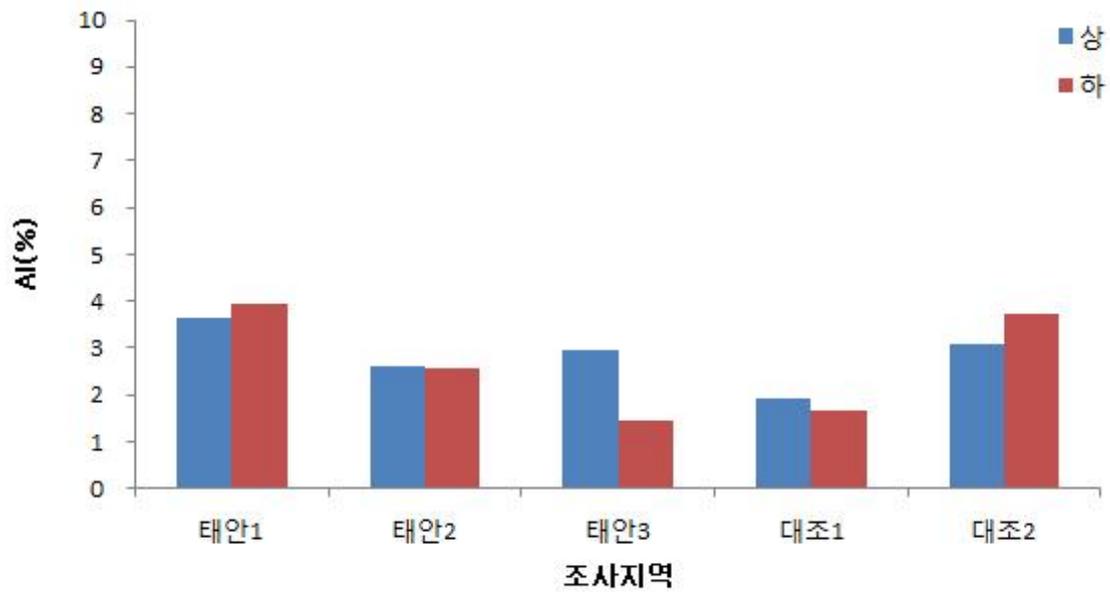


그림 3-3-9. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.

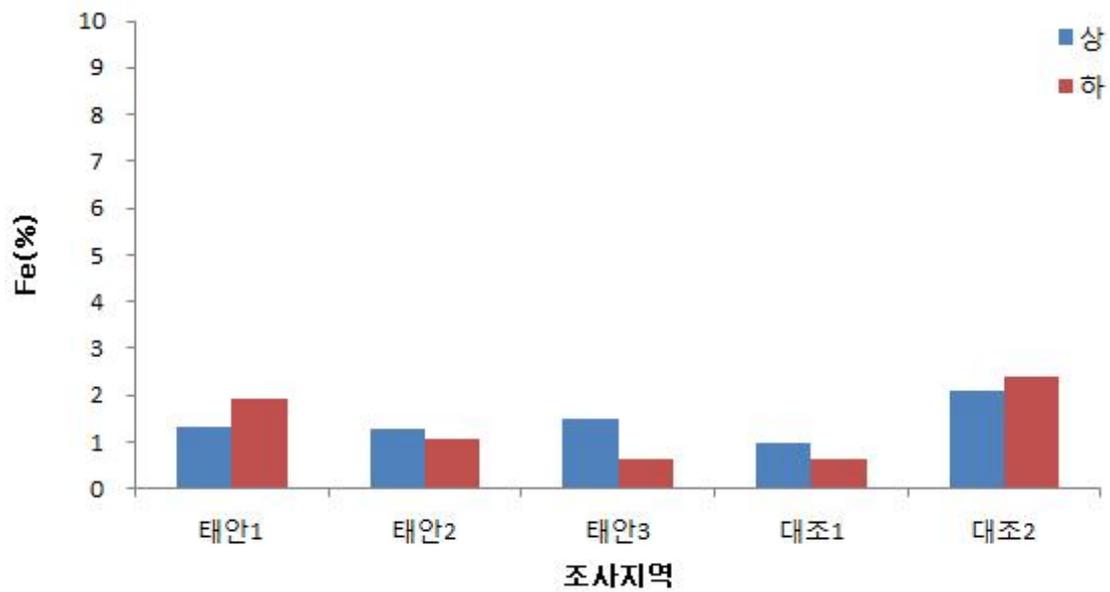


그림 3-3-10. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 철 농도.

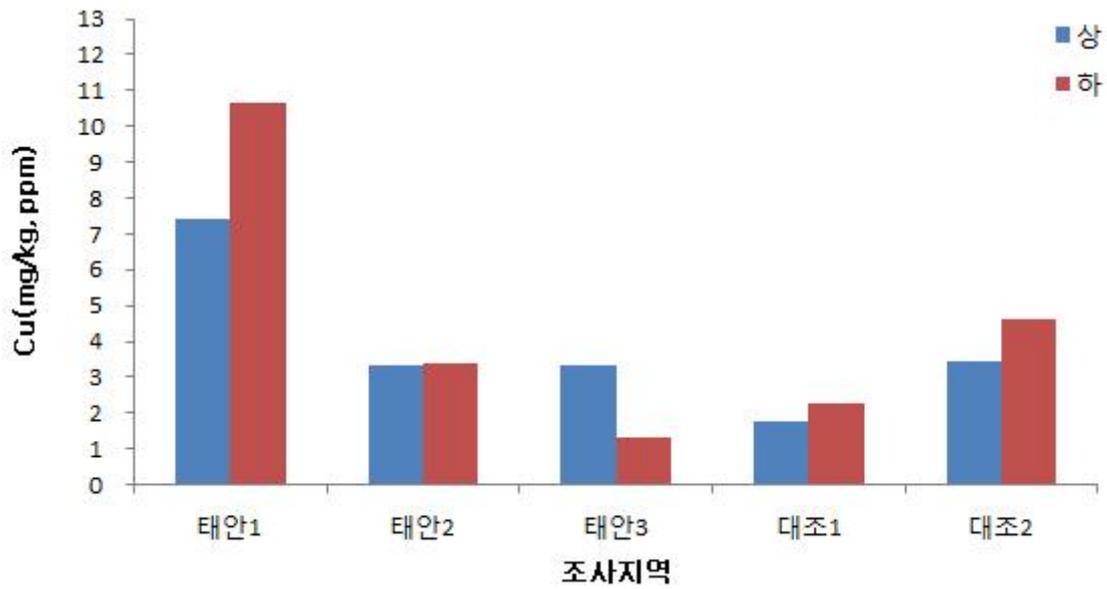


그림 3-3-11. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 구리 농도.

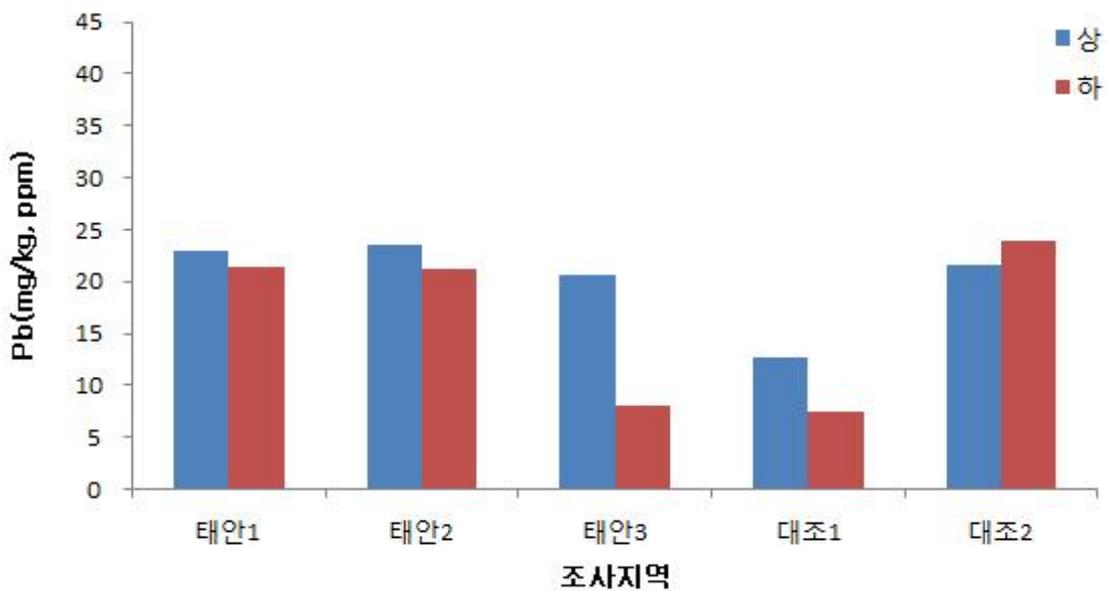


그림 3-3-12. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 납 농도.

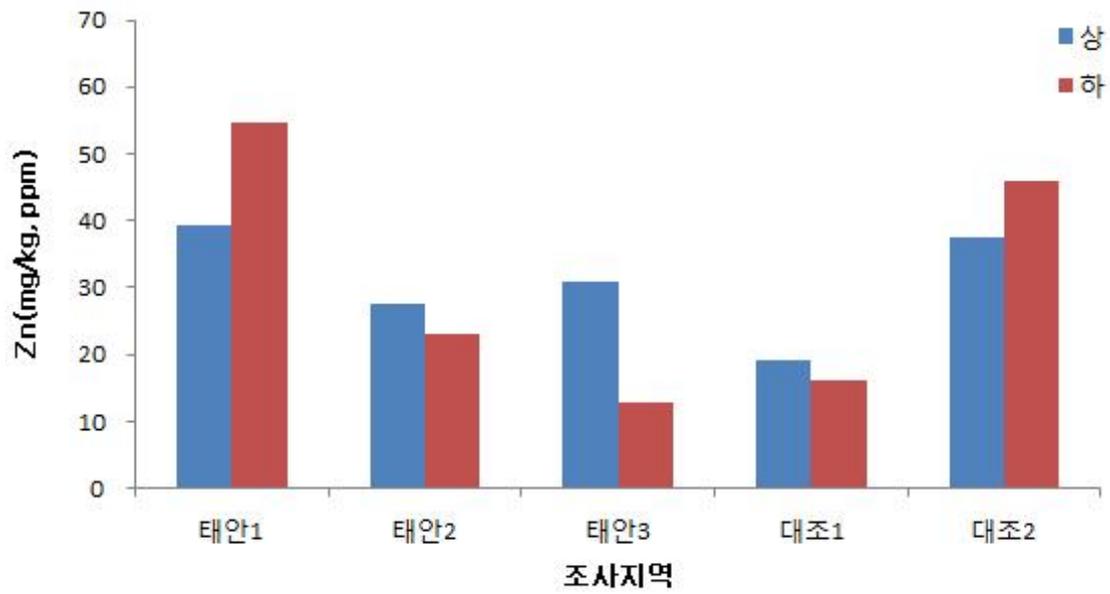


그림 3-3-13. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 아연 농도.

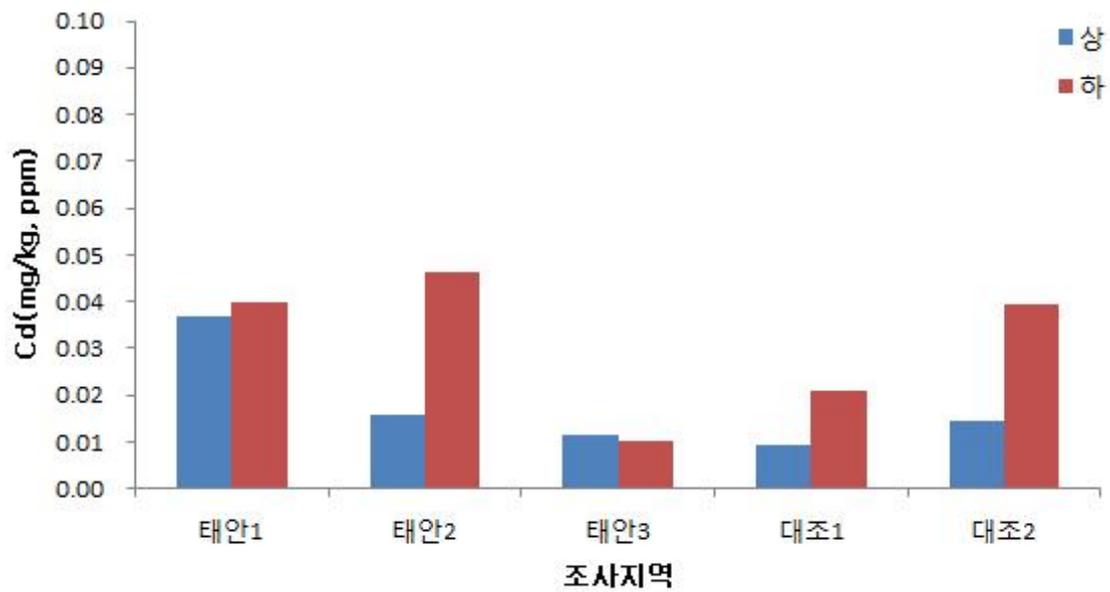


그림 3-3-14. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.

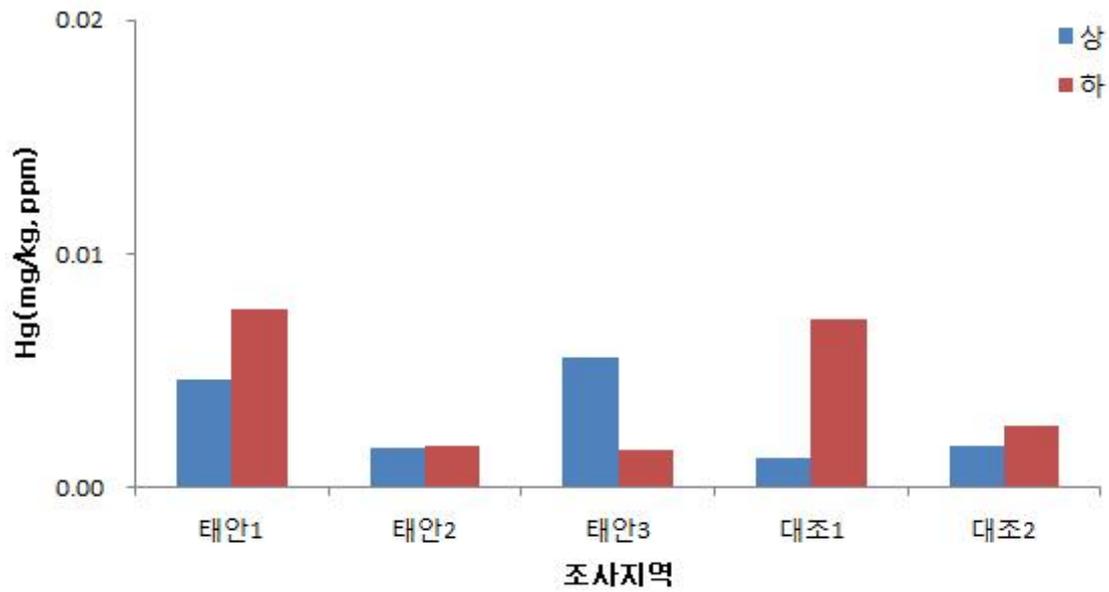


그림 3-3-15. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 수은 농도.

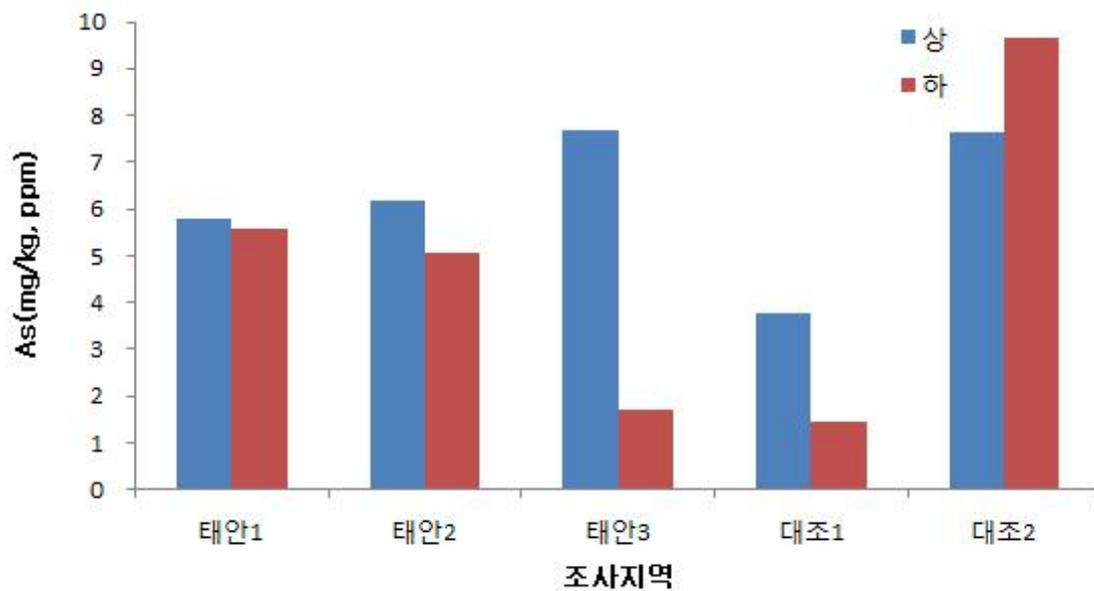


그림 3-3-16. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 비소 농도.

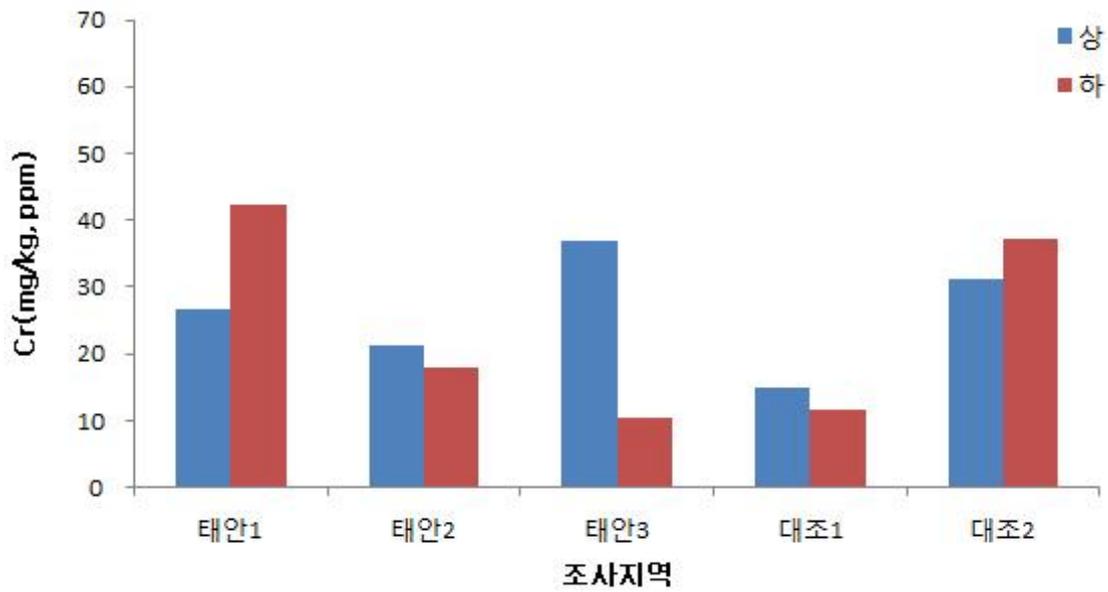


그림 3-3-17. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 크롬 농도.

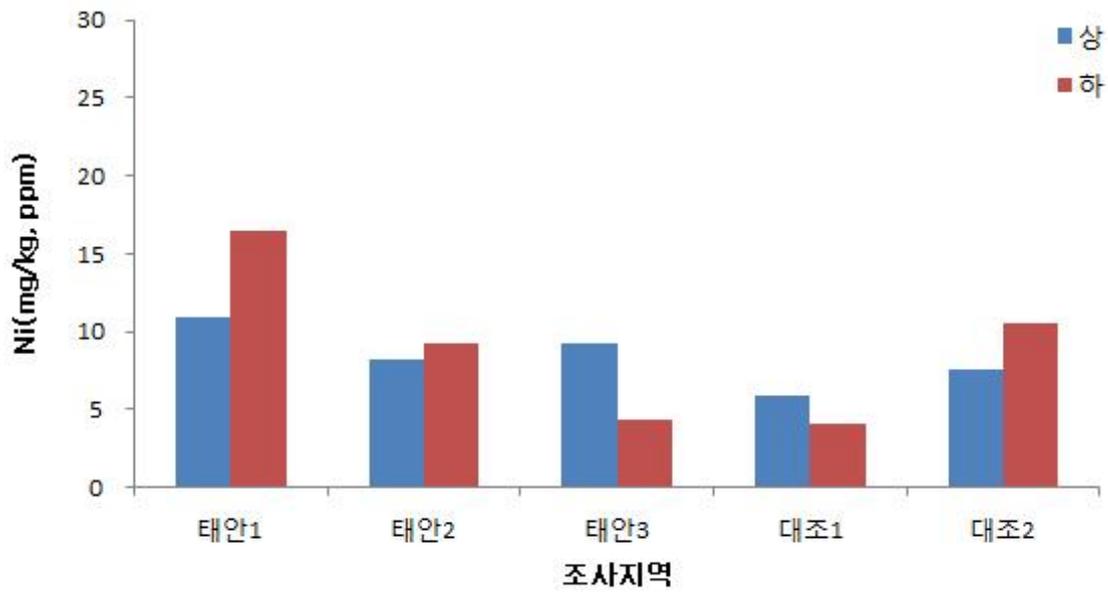


그림 3-3-18. 태안 마검포 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 니켈 농도.

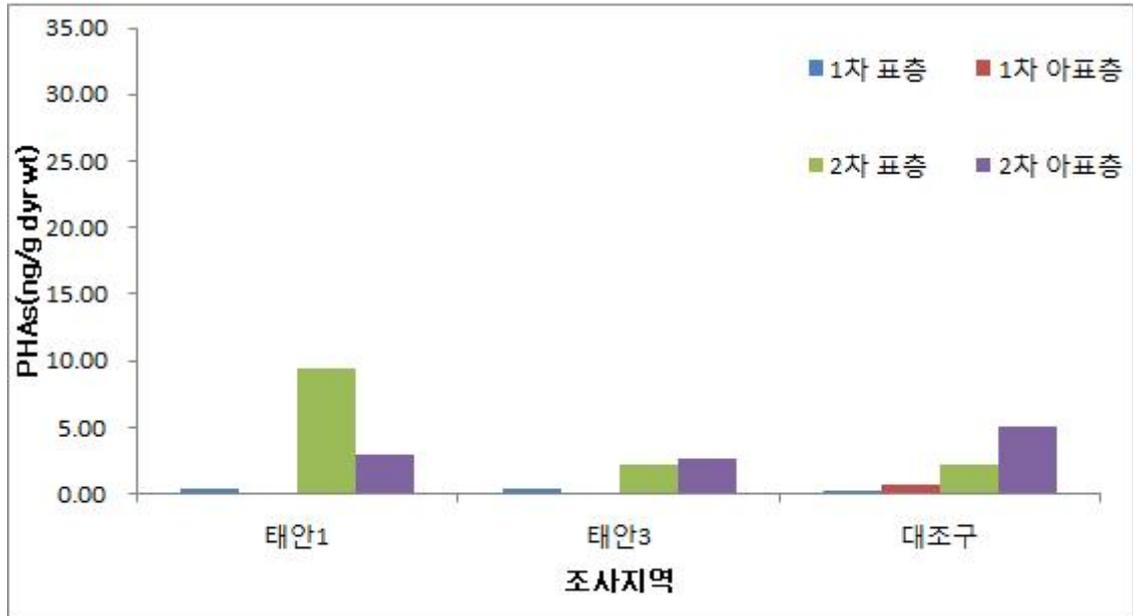


그림 3-3-19. 태안 마검포 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.

2. 군산 선유도

가. 퇴적물 입도분석

군산 선유도 어장의 표층퇴적물은 모래(sand)가 54.9%, 펄(mud)이 43.0% 이었으며, 아표층퇴적물은 모래가 44.0%, 펄이 52.4%로 모래와 펄이 우세하게 혼합된 갯벌어장으로 나타났다. 평균입도는 표층에서 3.63~4.87 Φ (평균 4.16 Φ) 이었으며, 아표층에서 3.36~5.08 Φ (평균 4.6 Φ)로 나타났다. 군산 어장의 퇴적물은 극세립사로 구성되어 있으며, 표층이 아표층보다 약간 조립한 경향을 보였다. 분급도는 1.93~3.39 Φ (표층평균 2.35 Φ , 아표층평균 2.67 Φ) 범위로 불량한 분급(poorly sorted)부터 매우 불량한 분급(very poorly sorted)으로 나타났다. 왜도는 -0.14~0.81(표층평균 0.49, 저층평균 0.34) 범위로 양의 왜도(positive skewed)를 보였다. 침도는 1.21~4.81(표층평균 2.26, 저층평균 1.60)범위로 분산된 형태(platykurtic)를 보였다. 퇴적물은 표층과 아표층에서 역니질모래(gmS) 퇴적상과 실트질모래(zS) 퇴적상이 우세하게 분포하는 것으로 나타났다(표 3-3-5, 표3-3-6).

나. 공극수 유분

군산 선유도어장 공극수내 유분의 평균농도는 0.075~0.223(평균 0.145) ug/L 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.056~0.216(평균 0.132) ug/L, 대조구의 평균농도는 0.095~0.250(평균 164) ug/L로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차 조사에서 0.223 ug/L로 가장 높았고, 개선후 4차 조사에서 0.075 ug/L로 가장 낮게 나타났다. 유분농도는 어장환경개선 전·후의 차이는 어장이 대조구보다 약간 낮은 경향을 보였다. 유분농도의 평균값에 대한 변동계수(어장 : 64, 대조구 : 45)로 보아 조사기간 동안 개선어장이 대조구보다 시간적인 변화가 큰 경향을 보였다(그림 3-3-20, 그림 3-3-21).

다. 유기물

표층퇴적물에서 평균농도는 2.24~2.62(평균 2.42)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 2.28~3.40(평균 2.67)%, 대조구의 평균농도는 1.29~2.78(평균 2.06)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차에 가장 높았고, 개선후 3차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물에서 평균농도는 2.68~3.34(평균 2.89)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 3.01~3.26(평균 3.14)%, 대조구의 평균농도는 1.95~3.45(평균 2.52)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 유기물은 농도는 표층이 아표층보다 낮았다. 표층퇴적물의 평균변동계수(어장 : 43, 대조구 : 86)로 보아 조사 기간 동안 개선어장보다 대조구에서 변화가 큰 경향을 보였다(그림 3-3-22, 그림 3-3-23).

라. 화학적산소요구량

표층퇴적물의 평균농도는 4.78~8.21(평균 6.03) mgO₂/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 4.79~9.18(평균 6.30) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 4.77~6.76(평균 5.62) mgO₂/g·dry로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별

평균농도는 개선후 1차에 가장 높았고, 개선후 2차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 5.32~9.09(평균 6.59) mgO₂/g·dry 였으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 5.39~8.06(평균 7.05) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 4.57~7.67(평균 6.17) mgO₂/g·dry로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 화학적산소요구량은 표층과 아표층에서 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 20 mgO₂/g·dry 이하의 농도를 보였다. 표층퇴적물의 평균변동계수(어장 : 83, 대조구 : 110)로 보아 조사 기간 동안 개선 어장보다 대조구에서 시간적인 변화가 큰 경향을 보였다(그림 3-3-24, 그림 3-3-25).

라. 산취발성황화물

표층퇴적물의 평균농도는 0.008~0.025(평균 0.014) mgS/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.007~0.025(평균 0.014) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.005~0.031(평균 0.014) mgS/g·dry로 나타나 어장과 대조구의 차이가 없었다. 조사시기 별 평균농도는 개선전 2차에 가장 높았고, 개선후 1, 2차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 0.011~0.076(평균 0.011) mgS/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.004~0.032(평균 0.014) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.014~0.075(평균 0.035) mgS/g·dry로 나타나 어장이 대조구보다 높게 나타났다. 산취발성황화물은 표층이 아표층보다 높은 경향을 보였으나 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 0.2 mgS/g·dry 보다 현저하게 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-26, 그림 3-3-27).

바. 미량금속

1) Al

표층 퇴적물에서 5.6~7.0%(평균 6.0%), 아표층 퇴적물에서 4.7~5.9%(평균 5.3%) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 6.2%, 5.6%, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 5.7%, 4.9%로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 정점간에는 큰 차이가 없었으며, 모든 정점에서 7.0%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-28). 알루미늄농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 12, 대조구 : 1), 아표층(어장 : 6, 대조구 : 5)로 표층에서는 대조구가 어장보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층에서는 어장과 대조구의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

2) Fe

표층 퇴적물에서 1.7~2.1%(평균 1.8%), 아표층 퇴적물에서 1.5~2.0%(평균 1.7%) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 1.9%, 1.8%, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 1.8%, 1.5%로 표층과 아표층퇴적물 모두 어장내와 대조구의 농도 차이를 보이지 않았다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 모든 정점에서 2.5%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-29). 철농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 10, 대조구 : 0.3), 아표층(어장 : 10, 대조구 : 2)로 표층과 아표층에서 대조구가 어장지역보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

3) Cu

표층퇴적물에서 7.2~9.1 ppm(평균 8.0 ppm), 아표층퇴적물에서 6.9~9.3 ppm(평균 7.9 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 8.5 ppm, 8.5 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 7.3 ppm, 7.1 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구에 비해 높은 농도를 나타내었다(표 3-3-7, 표 3-3-8) 선유1과 선유3 정점이 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 그 외의 지역에서는 유사한 값을 나타내었다. 미국 NOAA에서 제시한 Cu의 ERL값은 34 ppm이며 ERM 값은 약 270 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/4 이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-30). 구리농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 10, 대조구 : 3), 아표층(어장 : 14, 대조구 : 4)로 표층과 아표층퇴적물에서 대조구가 어장에 비해 변화가 적은 것으로 나타났다.

4) Pb

표층퇴적물에서 15.9~21.9 ppm(평균 19.9 ppm), 아표층퇴적물에서 16.2~ 20.2 ppm (평균 18.5 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 18.6 ppm, 19.5 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 21.8 ppm, 17.0 ppm으로 표층에서 대조구가 어장환경 개선지역보다 상대적으로 농도가 높고, 아표층에서는 어장 지역이 대조구보다 높은 농도를 나타냈다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 대부분의 정점에서 25 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Pb의 ERL 값은 46.7 ppm이며 ERM 값은 약 220 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/2정도로 낮았다(그림 3-3-30). 납농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 16, 대조구 : 0.2), 아표층(어장 : 5, 대조구 : 7)로 표층퇴적물에서 대조구가 어장지역보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층퇴적물에서는 어장과 대조구 변화가 적은 것으로 나타났다.

5) Zn

표층퇴적물에서 48.7~59.4 ppm(평균 54.6 ppm), 아표층퇴적물에서 45.4~59.1 ppm(평균 50.8 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 53.1 ppm, 53.5 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 56.9 ppm, 46.8 ppm으로 대조구의 표층퇴적물에서 상대적으로 농도가 높고, 아표층퇴적물에서는 대조구가 상대적으로 낮은 농도로 나타났다(표 3-3-7, 표 3-3-8). NOAA에서 제시한 Zn의 ERL 값은 150 ppm이며 ERM 값은 410 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-32). 아연농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 11, 대조구 : 0.3), 아표층(어장 : 11, 대조구 : 4)로 표층과 아표층퇴적물에서 대조구가 어장보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

6) Cd

표층퇴적물에서 0.035~0.073 ppm(평균 0.052 ppm), 아표층퇴적물에서 0.019~0.051

ppm (평균 0.036 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.042 ppm, 0.041 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.067 ppm, 0.027 ppm으로 표층퇴적물에서 대조구가 어장보다 농도가 높고, 아표층퇴적물에서는 대조구가 어장보다 낮은 농도로 나타났다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 표층퇴적물에서는 선유1, 2 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 아표층퇴적물에서는 대조2 정점이 가장 높은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Cd의 ERL 값은 1.2 ppm이며 ERM 값은 9.6 ppm이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-33). 카드뮴농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 15, 대조구 : 13), 아표층(어장 : 42, 대조구 : 43)으로 표층과 아표층퇴적물에서 어장과 대조구 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

7) Hg

표층퇴적물에서 0.007~0.011 ppm(평균 0.009 ppm), 아표층 퇴적물에서 0.006~0.008 ppm(평균 0.008 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.009 ppm, 0.008 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 0.008 ppm, 0.007 ppm으로 어장환경 개선지역과 대조구가 큰 차이를 보이지 않았고, 각 정점별로도 큰 차이를 보이지 않았다(표 3-3-7, 표 3-3-8). NOAA에서 제시한 Hg의 ERL 값은 0.15 ppm이며 ERM 값은 0.71 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-34). 수은농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 23, 대조구 : 5), 아표층(어장 : 3, 대조구 : 22)로 표층퇴적물에서 대조구가 어장보다 변화가 적은 것으로 나타났고, 아표층퇴적물에서는 표층퇴적물과는 상반되게 나타났다.

8) As

표층퇴적물에서 3.2~4.6 ppm(평균 3.7 ppm), 아표층퇴적물에서 3.0~4.9 ppm(평균 3.8 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 3.8 ppm, 4.1 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 3.5 ppm, 3.5 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 모든 정점에서 5 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 As의 ERL 값은 8.2 ppm이며 ERM 값은 약 70 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-35). 비소농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 18, 대조구 : 13), 아표층(어장 : 22, 대조구 : 17)로 표층과 아표층퇴적물 모두 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

9) Cr

표층퇴적물에서 38.7~47.4 ppm(평균 44.3 ppm), 아표층퇴적물에서 36.5~48.4 ppm(평균 42.4 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 42.5 ppm, 43.9 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 47.0 ppm, 40.1 ppm으로 표층퇴적

물의 대조구가 어장지역보다 상대적으로 농도가 높고, 아표층퇴적물에서는 농도차가 거의 없었다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 선유2 정점에서 상대적으로 높은 낮은 농도를 보였으며 정점간에는 큰 차이를 보이지 않았다. NOAA에서 제시한 Cr의 ERL 값은 81 ppm이며 ERM 값은 약 370 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 ERL 농도보다 낮게 나타났다(그림 3-3-36). 크롬농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 10, 대조구 : 1), 아표층(어장 : 15, 대조구 : 6)로 표층과 아표층퇴적물에서 대조구가 어장지역보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

10) Ni

표층퇴적물에서 13.7~25.8 ppm(평균 17.7 ppm), 아표층퇴적물에서 12.6~20.6 ppm(평균 16.6 ppm) 이었다. 어장환경 개선지역의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 20.0 ppm, 16.8 ppm, 대조구의 표층과 아표층퇴적물 평균농도는 14.3 ppm, 16.3 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 농도가 높고, 아표층퇴적물은 어장과 대조구가 차이가 나타나지 않았다(표 3-3-7, 표 3-3-8). 선유3 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며 그 외의 지역은 일정한 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Ni의 ERL 값은 20.9 ppm이며 ERM 값은 약 51.6 ppm 이다. 본 조사결과를 이들 값과 비교해보면 표층퇴적물 선유3 정점에서 ERL 농도보다 상회하는 값을 보였으며, 그 외의 정점에서는 ERL 농도보다 낮게 나타났다(그림 3-3-37). 니켈농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수는 표층(어장 : 27, 대조구 : 6), 아표층(어장 : 24, 대조구 : 9)로 표층과 아표층퇴적물에서 대조구가 어장지역보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

바. 다환방향족탄화수소(PAHs)

다환방향족탄화수소의 농도는 1.9~20.36 (평균 12.4) ng/g (D.W) 이었다. 표층퇴적물의 개선전 평균농도는 3.7 ng/g(D. W), 대조구의 농도는 2.6 ng/g (D.W)로 어장과 대조구의 차이가 매우 적었다. 어장환경 개선후 표층 평균농도는 4.6 ng/g (D.W) 이었으며, 대조구는 2.2 ng/g (D.W)로 개선어장이 대조구의 높게 나타났다. 아표층퇴적물의 개선전 평균농도는 5.8 ng/g (D. W), 대조구의 농도는 7.1 ng/g (D.W)로 어장이 대조구보다 낮게 나타났다. 군산 선유도 어장의 다환방향족탄화수소의 농도는 개선전보다 개선후가 높게 나타났으나 다른 지역에 비해 낮은 경향이였으며, 개선전보다 개선후가 높은 경향은 어장환경개선에 의해 높아진 것보다 계절적인 변화로 판단된다(그림 3-3-38).

표 3-3-5. 군산 선유도 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
선유도1	0.00	50.19	39.83	9.98	49.81	4.31	1.99	0.81	1.86	zS
선유도2	0.00	46.32	44.88	8.81	53.68	4.40	2.02	0.36	1.65	sZ
선유도3	6.48	62.49	23.25	7.78	31.03	4.01	2.55	0.21	4.81	gmS
선유도4	6.68	56.03	29.80	7.48	37.28	3.71	2.66	0.18	2.06	gmS
선유도5	0.00	62.94	29.80	7.26	37.06	3.63	1.93	0.72	1.40	zS
선유도A	0.00	47.72	38.25	14.04	52.28	4.87	2.42	0.63	1.86	sZ
선유도B	0.00	44.92	43.96	11.12	55.08	4.60	2.29	0.44	1.73	sZ
선유도C	6.29	60.40	22.60	10.71	33.31	4.20	2.88	0.30	4.00	gmS
선유도D	1.09	57.85	30.99	10.08	41.07	4.01	2.34	0.48	1.60	(g)mS
선유도E	0.00	60.31	28.77	10.91	39.69	3.84	2.37	0.76	1.66	zS
min	0.00	44.92	22.60	7.26	31.03	3.63	1.93	0.18	1.40	
max	6.68	62.94	44.88	14.04	55.08	4.87	2.88	0.81	4.81	
avg	2.05	54.92	33.21	9.82	43.03	4.16	2.35	0.49	2.26	
std	3.08	6.98	8.03	2.07	8.90	0.40	0.31	0.23	1.16	
cv	149.80	12.71	24.18	21.13	20.68	9.51	13.11	47.19	51.19	

표 3-3-6. 군산 선유도 아표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
선유도1	0.14	27.52	59.42	12.91	72.34	5.08	2.30	0.40	1.78	(g)M
선유도2	11.18	33.35	43.36	12.11	55.47	4.63	3.39	-0.14	2.02	gM
선유도3	3.75	61.65	18.77	15.83	34.61	4.72	2.88	0.60	1.63	(g)mS
선유도4	1.66	31.97	51.58	14.80	66.38	5.05	2.75	0.27	1.35	(g)M
선유도5	1.47	65.31	27.74	5.48	33.22	3.36	2.03	0.55	1.21	(g)mS
min	0.14	27.52	18.77	5.48	33.22	3.36	2.03	-0.14	1.21	
max	11.18	65.31	59.42	15.83	72.34	5.08	3.39	0.60	2.02	
avg	3.64	43.96	40.17	12.23	52.40	4.57	2.67	0.34	1.60	
std	4.41	18.00	16.76	4.05	17.94	0.70	0.53	0.29	0.33	
cv	121.07	40.94	41.72	33.12	34.23	15.43	19.74	87.20	20.55	

표 3-3-7. 군산 선유도 지역의 표층퇴적물 내 금속원소(Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, Cr, Ni) 분석결과

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
선유1 상	2.1	7.0	9.1	21.9	59.4	0.035	0.011	4.6	46.7	18.8
선유2 상	1.7	5.6	7.5	18.2	48.7	0.042	0.009	3.5	38.7	15.4
선유3 상	1.8	5.9	8.8	15.9	51.1	0.048	0.007	3.3	42.1	25.8
대조1 상	1.8	5.8	7.2	21.7	56.8	0.061	0.008	3.2	46.7	13.7
대조2 상	1.8	5.7	7.5	21.8	57.0	0.073	0.009	3.8	47.4	14.9
avg	1.8	6.0	8.0	19.9	54.6	0.052	0.009	3.7	44.3	17.7
std	0.1	0.6	0.9	2.8	4.5	0.015	0.001	0.6	3.8	4.9
cv	7.3	9.5	11.0	13.8	8.2	29.167	17.149	15.3	8.6	27.8
min	1.7	5.6	7.2	15.9	48.7	0.035	0.007	3.2	38.7	13.7
max	2.1	7.0	9.1	21.9	59.4	0.073	0.011	4.6	47.4	25.8

표 3-3-8. 군산 선유도 지역의 아표층퇴적물 내 금속원소 분석결과

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
선유1 하	2.0	5.9	9.3	20.2	59.1	0.051	0.008	4.9	48.4	17.2
선유2 하	1.6	5.2	7.1	19.9	47.5	0.051	0.008	3.1	36.5	12.6
선유3 하	1.9	5.7	9.0	18.5	54.0	0.021	0.008	4.2	46.6	20.6
대조1 하	1.5	4.7	7.3	16.2	45.4	0.019	0.006	3.9	38.4	15.3
대조2 하	1.6	5.1	6.9	17.8	48.1	0.035	0.008	3.0	41.8	17.3
avg	1.7	5.3	7.9	18.5	50.8	0.036	0.008	3.8	42.4	16.6
std	0.2	0.5	1.1	1.6	5.6	0.016	0.001	0.8	5.1	2.9
cv	12.0	9.0	14.2	8.8	11.0	44.165	11.922	20.4	12.1	17.7
min	1.5	4.7	6.9	16.2	45.4	0.019	0.006	3.0	36.5	12.6
max	2.0	5.9	9.3	20.2	59.1	0.051	0.008	4.9	48.4	20.6

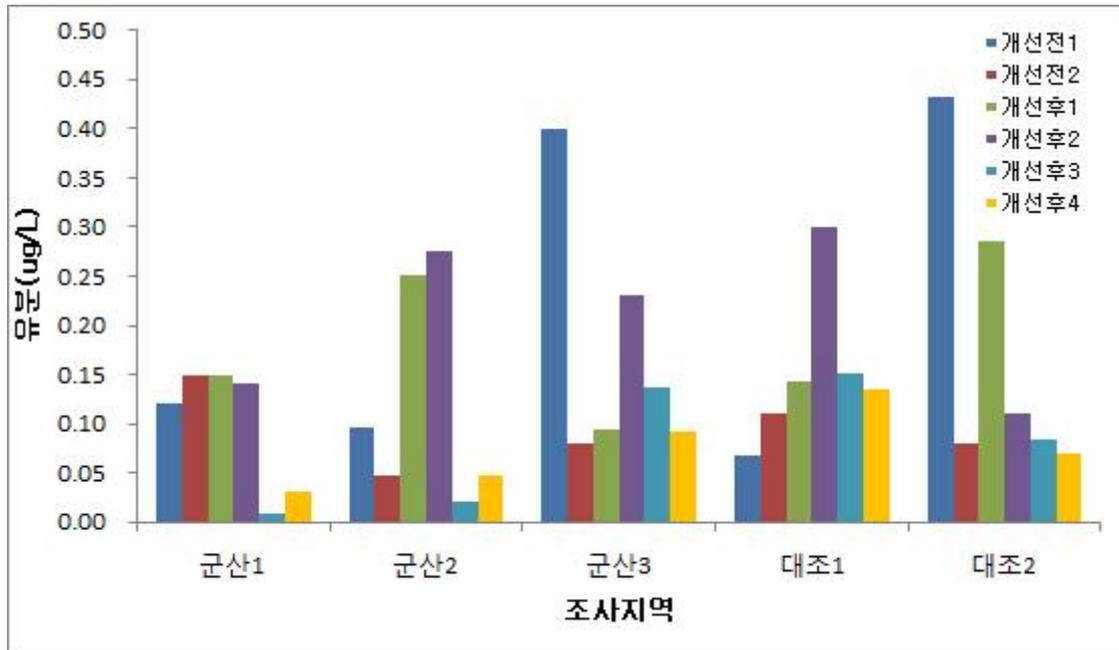


그림 3-3-20. 군산 선유도 어장의 공극수내 조사지역별 유분농도 변화.

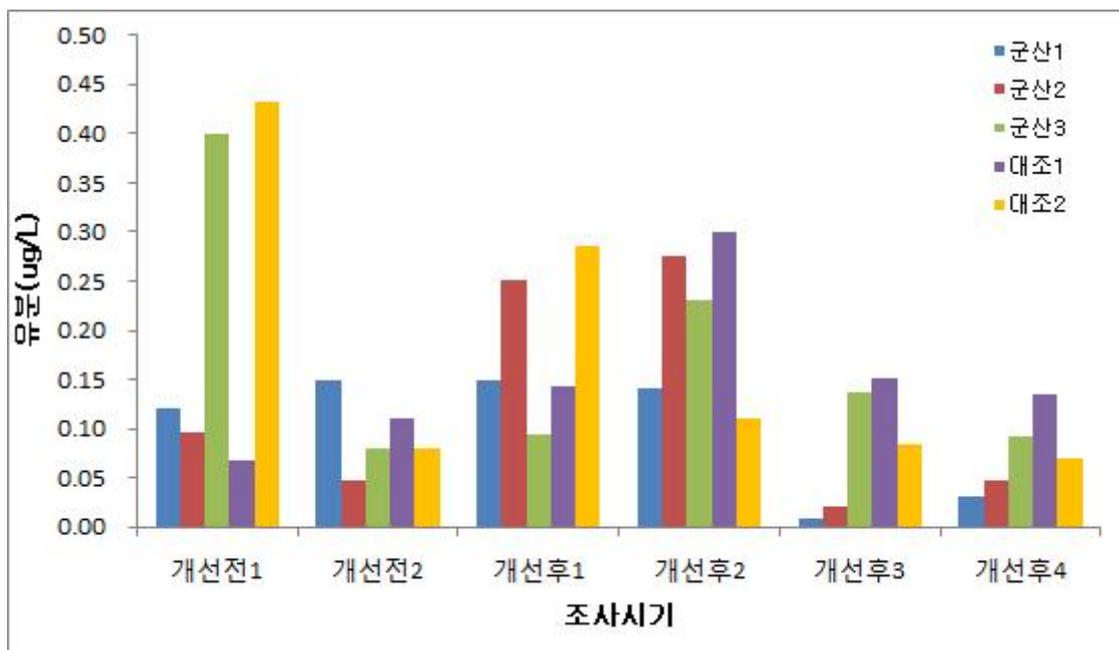


그림 3-3-21. 군산 선유도 어장의 공극수내 조사시기별 유분농도 변화.

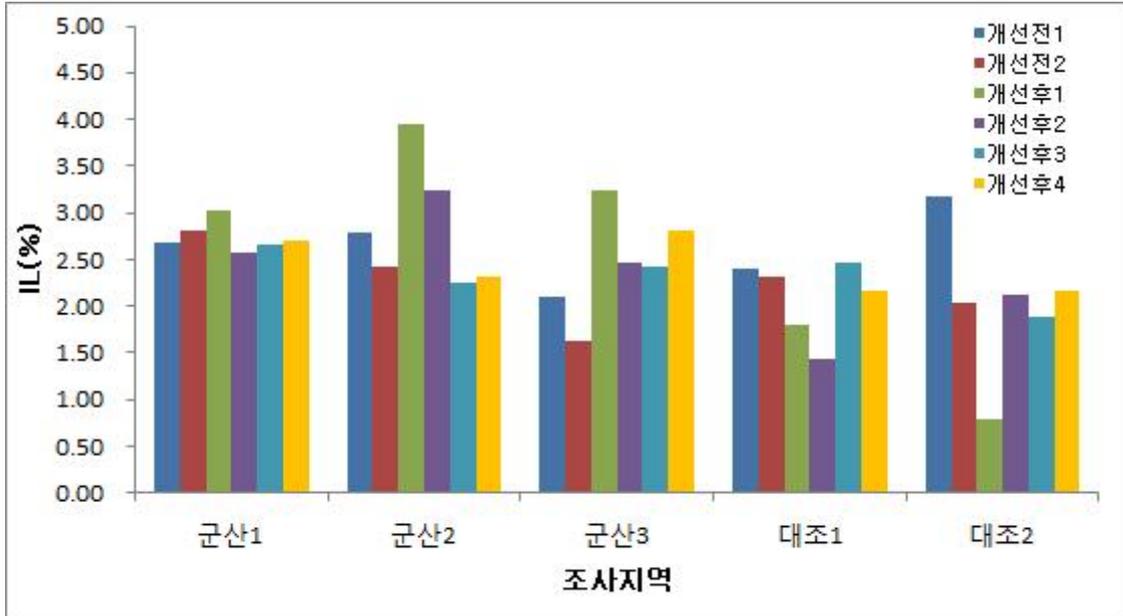


그림 3-3-22. 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 강열감량 변화.

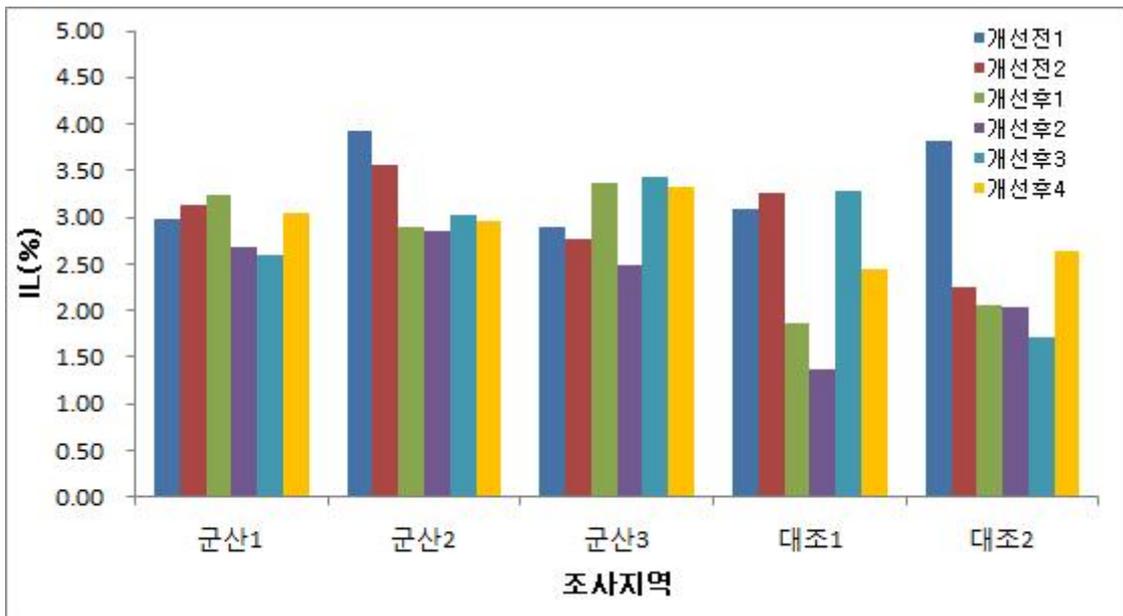


그림 3-3-23. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 강열감량 변화.

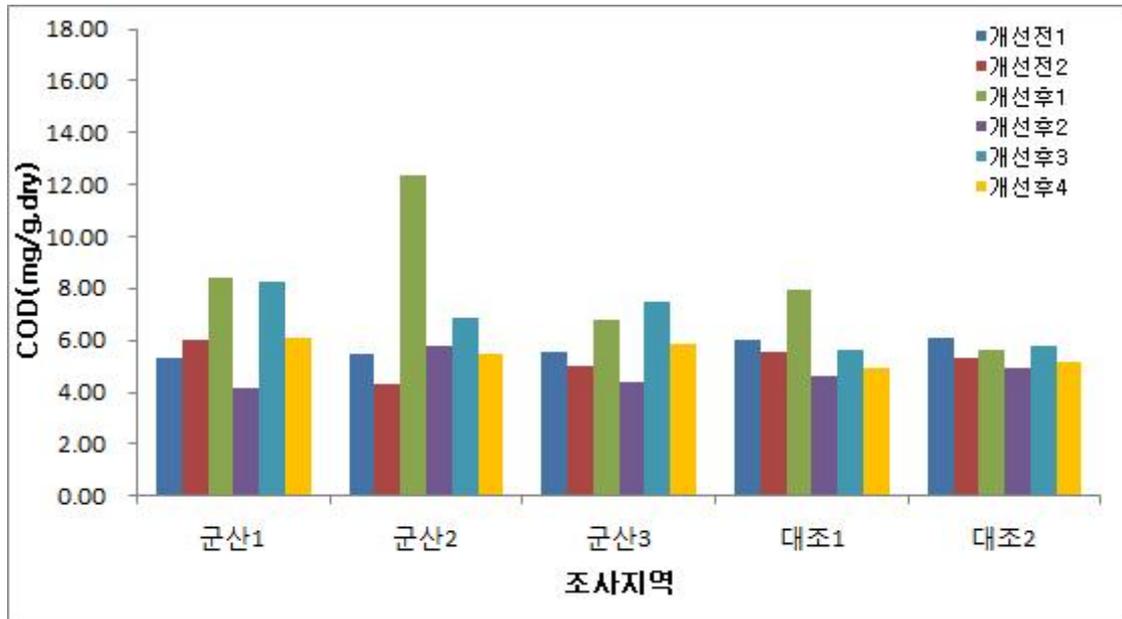


그림 3-3-24 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화.

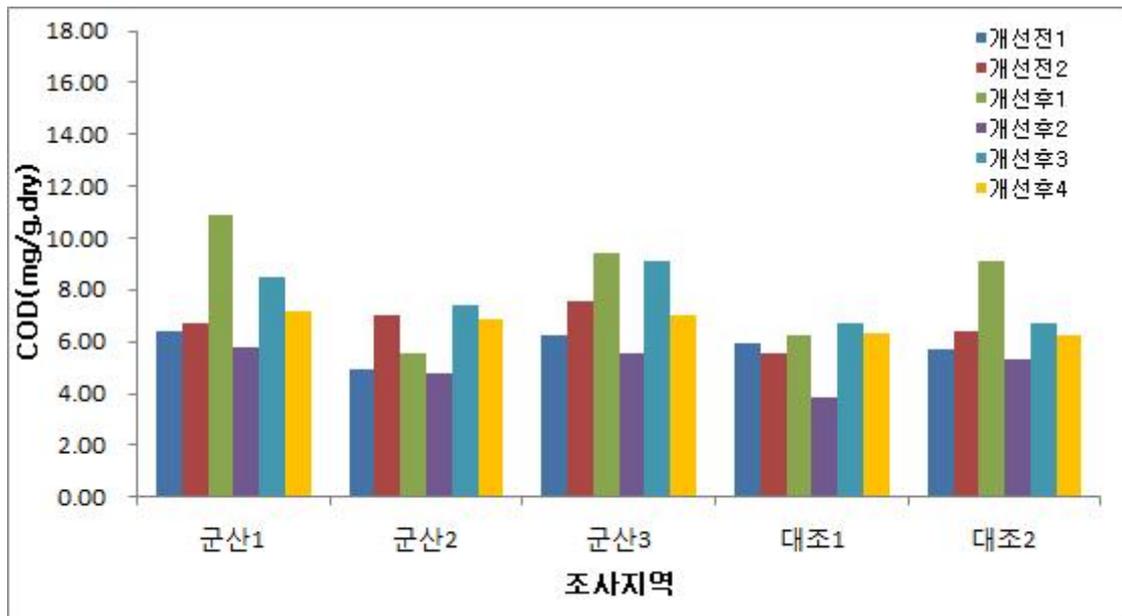


그림 3-3-25. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화.

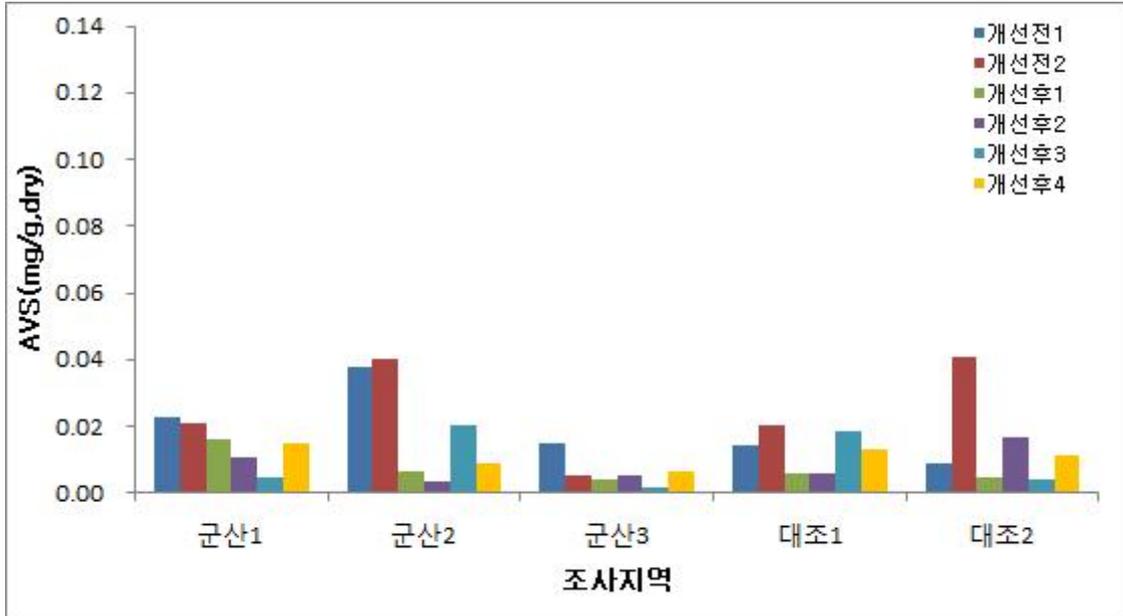


그림 3-3-26. 군산 선유도 어장의 표층퇴적물의 산화발성황화물 농도.

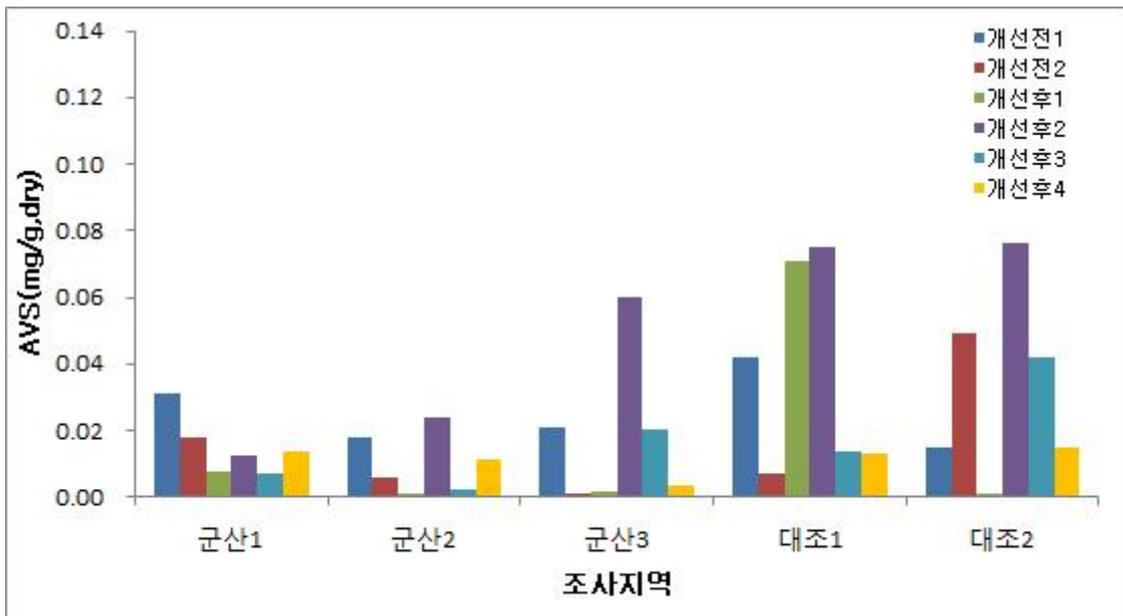


그림 3-3-27. 군산 선유도 어장의 아표층퇴적물의 산화발성황화물 농도.

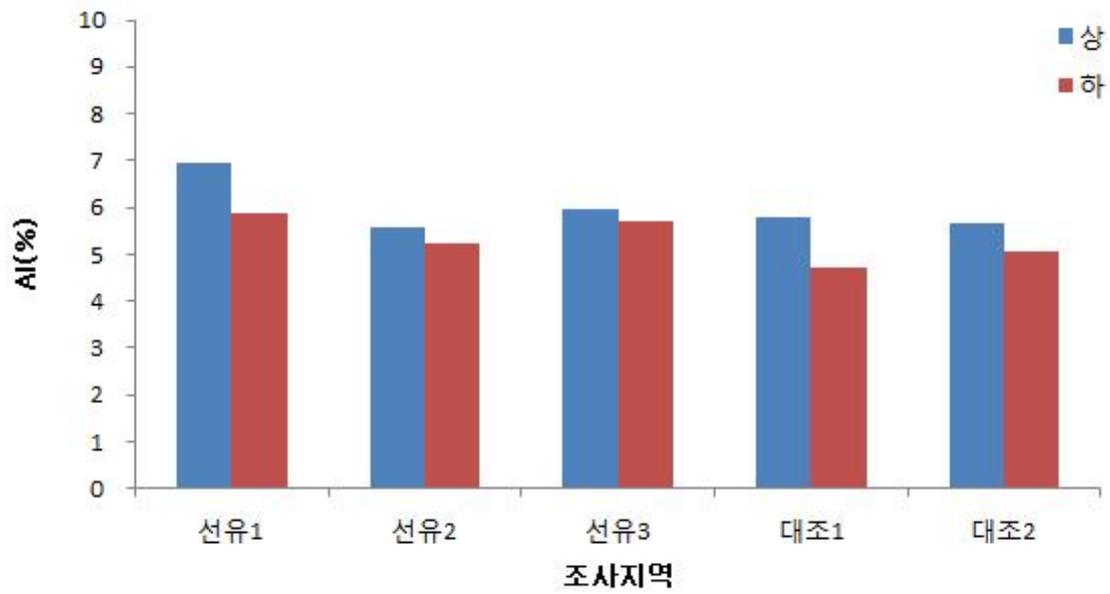


그림 3-3-28. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.

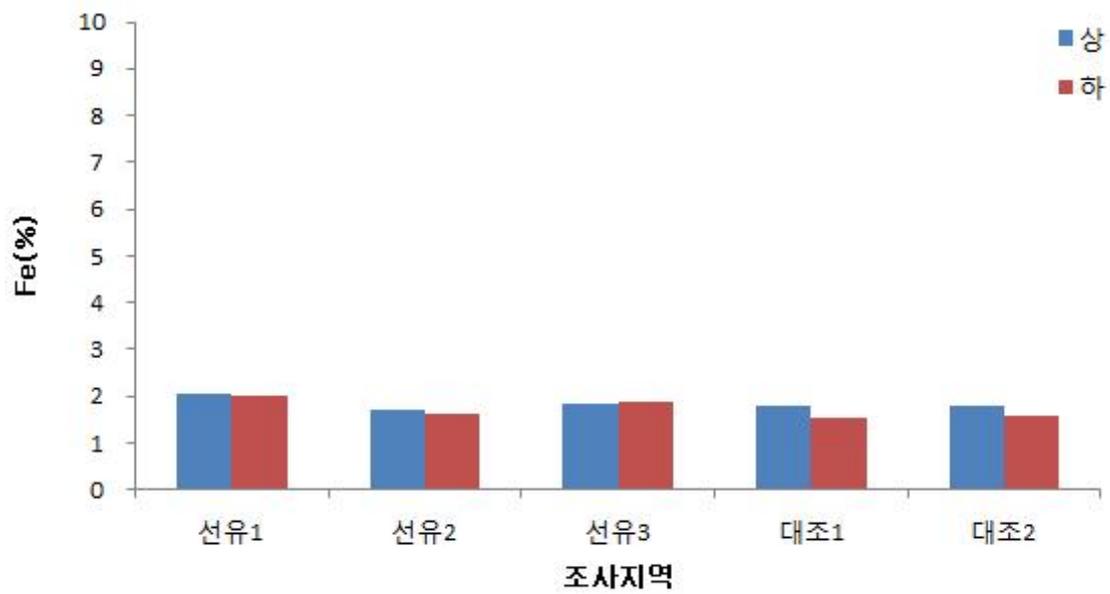


그림 3-3-29. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 철 농도.

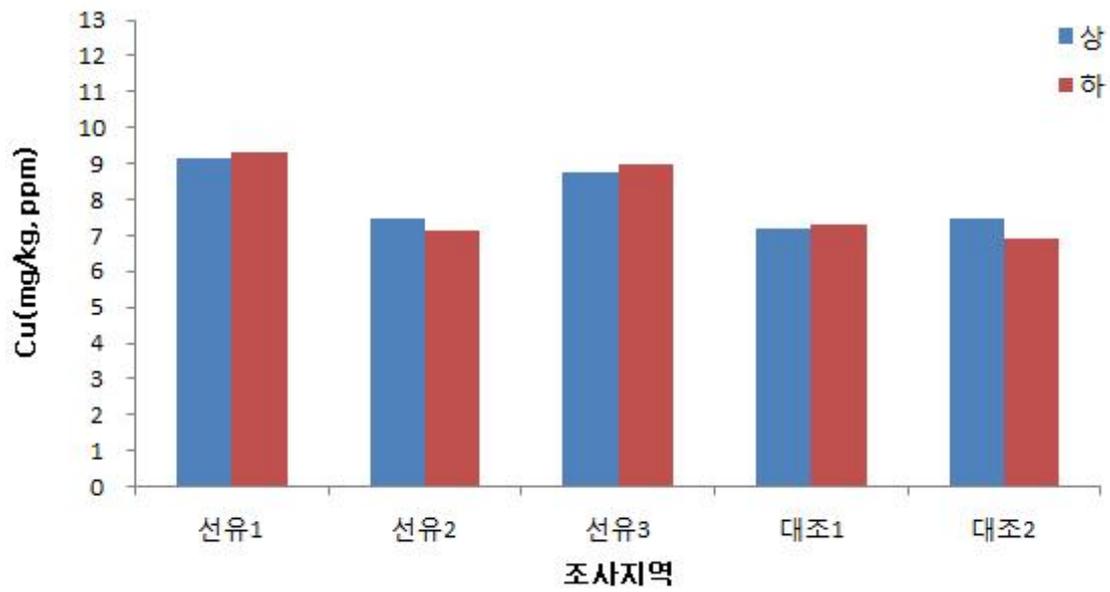


그림 3-3-30. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 구리 농도.

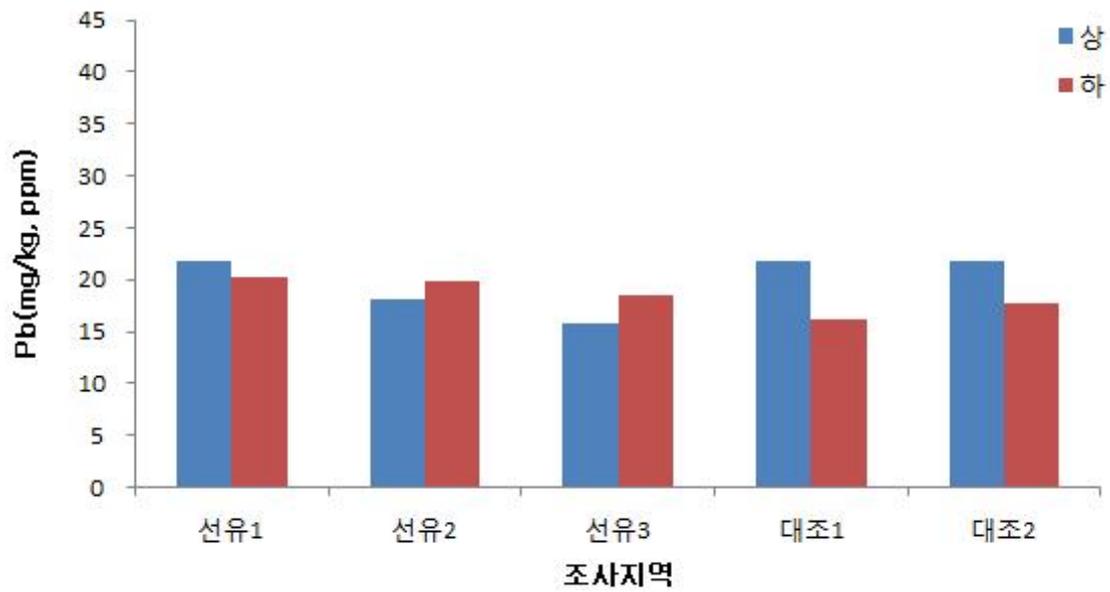


그림 3-3-31. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 납 농도.

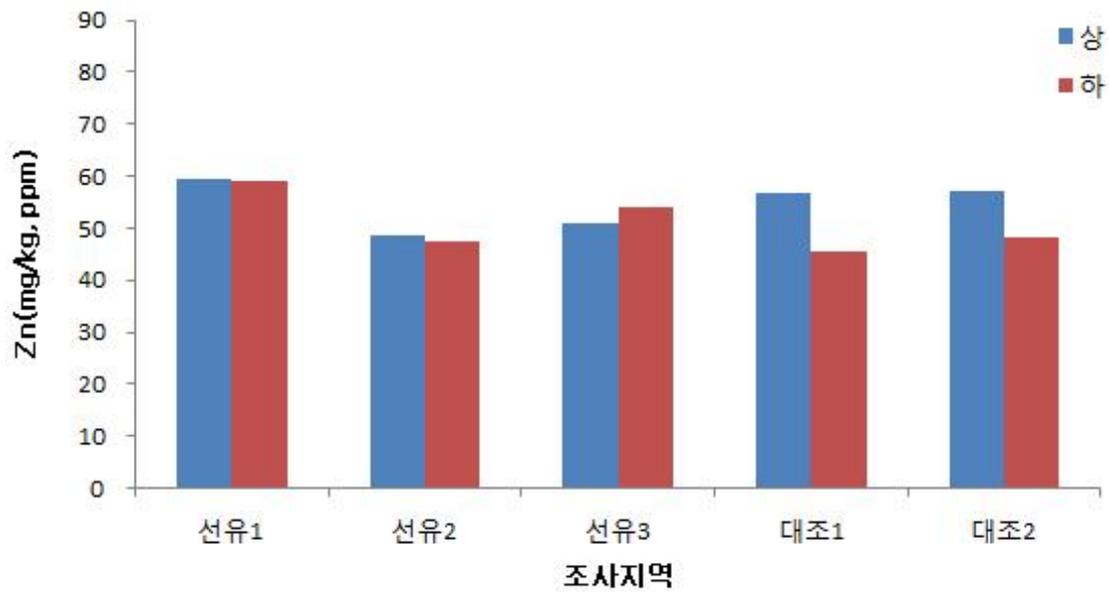


그림 3-3-32. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 아연 농도.

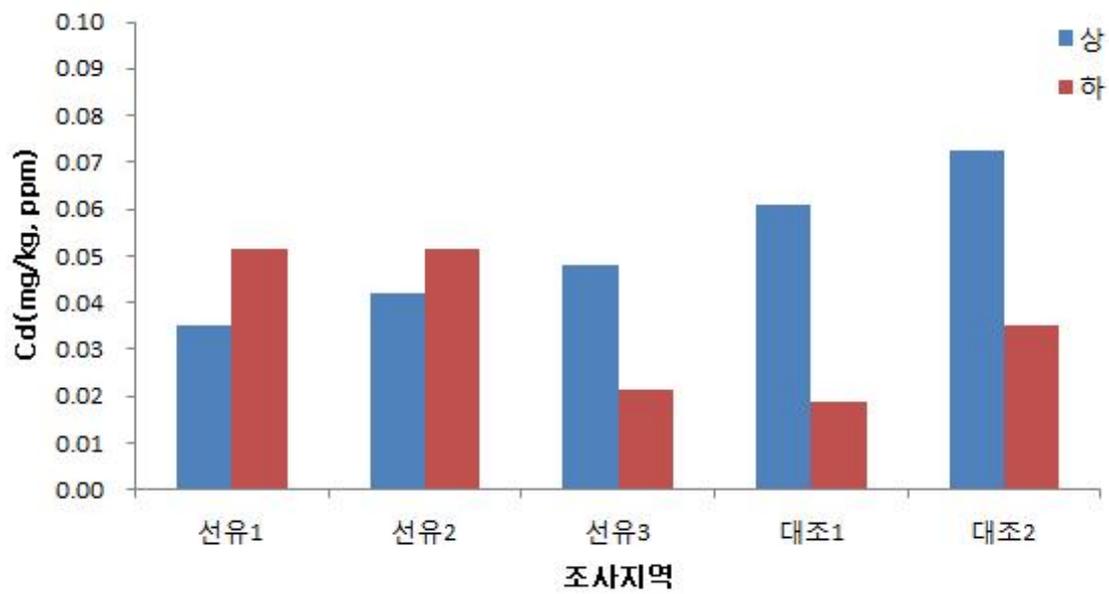


그림 3-3-33. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.

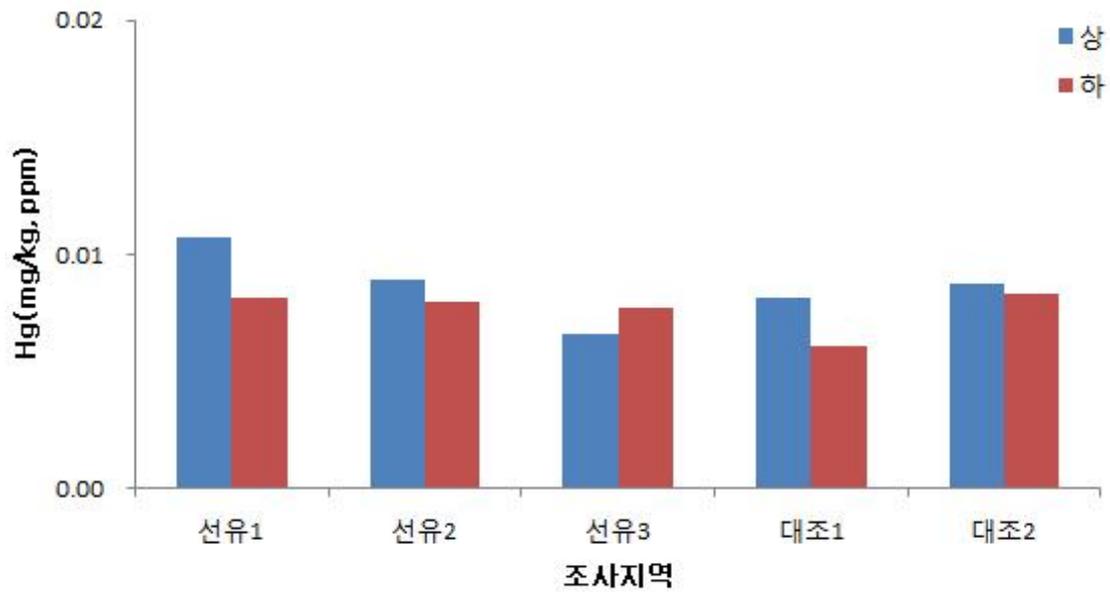


그림 3-3-34. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 수은 농도.

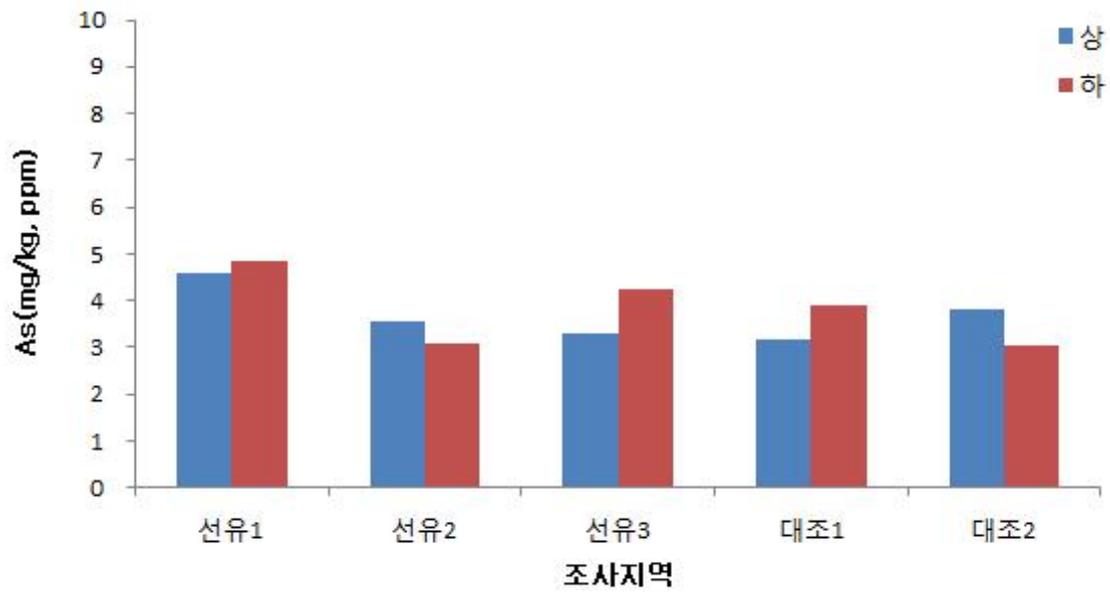


그림 3-3-35. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 비소 농도.

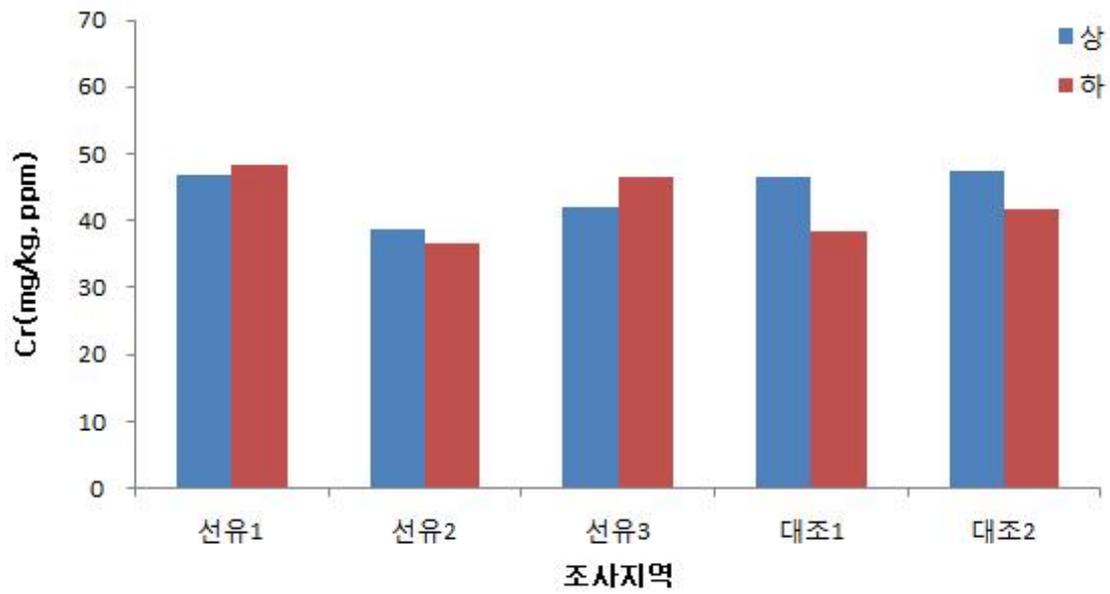


그림 3-3-36. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 크롬 농도.

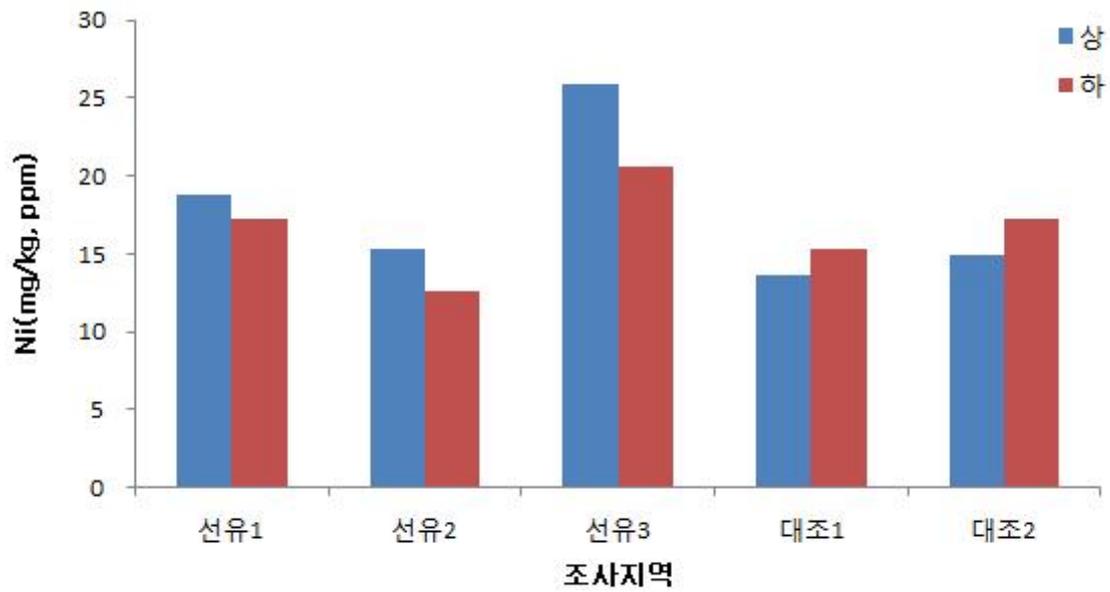


그림 3-3-37. 군산 선유도 어장의 표층과 아표층 퇴적물 내 정점별 니켈 농도.

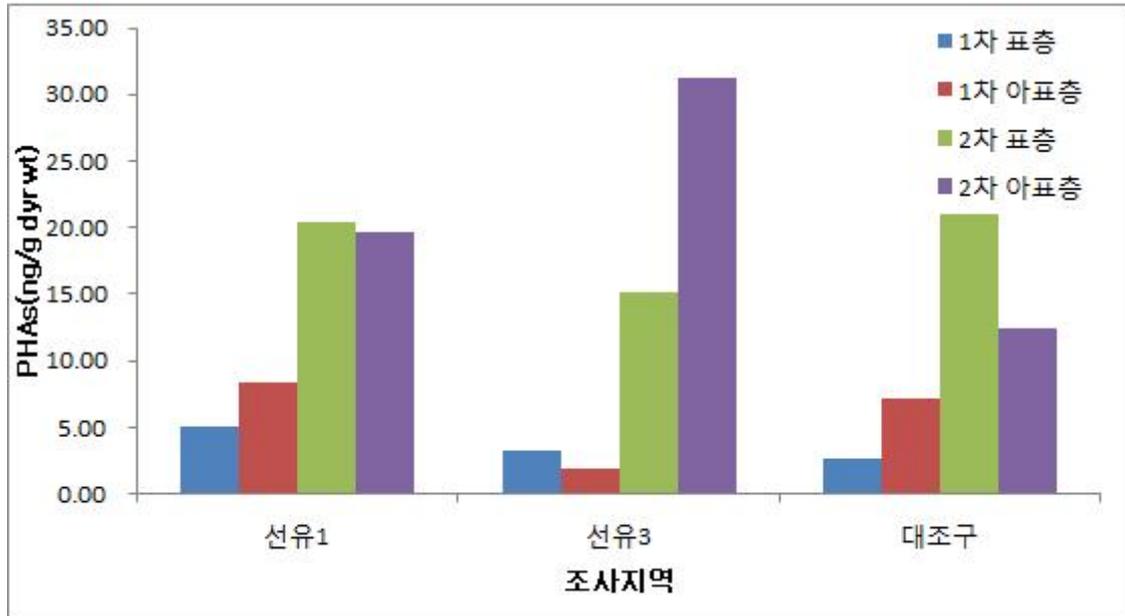


그림 3-3-38. 군산 선유도 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.

3. 무안 만풍어장

가. 퇴적물 입도분석

무안군 만풍 어장의 표층퇴적물은 역(Gravel)이 2.9% 모래(sand)가 30.8%, 펄(mud)이 66.4%로 펄이 우세하고 모래와 역이 혼합된 갯벌어장으로 나타났다. 평균입도는 3.18~6.38 Φ (평균 4.78 Φ)로 극조립실트로 구성되어 있는 경향을 보였다. 분급도는 2.56~3.67 Φ (표층평균 3.07 Φ) 범위로 매우 불량한 분급(very poorly sorted)으로 나타났다. 왜도는 0.02~0.43(표층평균 0.16)의 범위로 양의 왜도(positive skewed)를 보였다. 침도는 0.95~2.10(표층평균 1.48)의 범위로 분산된 형태(platykurtic)를 보였다. 표층퇴적물은 약 역질니((g)M) 퇴적상과 역니질모래(gmS) 퇴적상이 분포하는 것으로 나타났다(표 3-3-9).

나. 공극수 유분

무안 만풍어장 공극수내 유분의 평균농도는 0.038~0.153(평균 0.078) ug/L 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.028~0.153(평균 0.076) ug/L, 대조구의 평균농도는 0.049~0.153(평균 0.082) ug/L로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사 시기별 평균농도는 개선후 1차 조사에서 0.153 ug/L로 가장 높았고, 개선후인 3차 조사에서 0.038 ug/L로 가장 낮게 나타났다. 유분농도는 어장환경개선 전·후의 차이는 어장이 대조구보다 약간 낮은 경향을 보였다. 유분농도의 평균값에 대한 변동계수(어장 : 96, 대조구 : 49)로 보아 어장이 대조구보다 시간적인 변화가 큰 것으로 나타났다(그림 3-3-39, 그림 3-3-40).

다. 강열감량

표층퇴적물에서 평균농도는 2.49~3.99(평균 3.00)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 2.40~4.47(평균 3.29)%, 대조구의 평균농도는 2.40~4.47(평균 3.12)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차에 가장 높았고, 개선후 4차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물에서 평균농도는 2.73~3.10(평균 2.88)% 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 2.59~3.02(평균 2.75)%, 대조구의 평균농도는 2.92~3.22(평균 3.08)%로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 유기물은 표층이 아표층보다 높았고, 표층퇴적물에서 개선어장이 대조구보다 높은 경향을 보였다. 유기물의 표층의 평균값에 대한 변동계수(어장 : 47, 대조구 : 66)로 보아 조사 기간 동안 개선어장보다 대조구에서 변화가 큰 것으로 나타났다(그림 3-3-41, 그림 3-3-42).

라. 화학적산소요구량

표층퇴적물의 평균농도는 4.86~10.83(평균 7.22) mgO₂/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 4.73~9.30(평균 6.86) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 5.06~13.14(평균 7.74) mgO₂/g·dry로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선후 1차에 가장 높았고, 개선전 2차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 5.93~8.26(평균 7.30) mgO₂/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 4.86~8.07(평균 6.68) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 7.54~8.16(평균 8.23)

mgO₂/g·dry로 나타나 어장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 화학적산소요구량은 표층과 아표층에서 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 20 mgO₂/g·dry 이하의 농도를 보였고, 표층퇴적물의 농도는 개선어장이 대조구보다 낮은 경향을 보였다. 표층의 평균변동계수(어장 : 60, 대조구 : 46)로 보아 조사 기간 동안 개선어장이 대조구보다 시간적인 변화가 큰 것으로 나타났다(그림 3-3-43, 그림 3-3-44).

라. 산화발성황화물

표층퇴적물의 평균농도는 0.020~0.059(평균 0.038) mgS/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.016~0.049(평균 0.035) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.020~0.075(평균 0.043) mgS/g·dry로 나타나 어장과 대조구의 차이가 없었다. 조사시기 별 평균농도는 개선전 2차에 가장 높았고, 개선후 4차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 0.059~0.074(평균 0.066) mgS/g·dry 이었으며, 어장환경 개선지역의 평균농도는 0.041~0.083(평균 0.062) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.060~0.086(평균 0.072) mgS/g·dry로 나타나 어장이 대조구보다 낮게 나타났다. 산화발성황화물은 표층이 아표층보다 낮은 경향을 보였고, 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 0.2 mgS/g·dry 보다 현저하게 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-45, 그림 3-3-46).

바. 미량금속

1) Al

표층 퇴적물에서 6.1~7.7%(평균 6.8%) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 7.3%, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 6.1%로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-10). 무안1, 2 정점에서 상대적으로 높은 농도를 보였으며, 그 외 정점에서는 7.0%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-47). 알루미늄농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 8, 대조구 : 0.2)로 보면 어장지역이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

2) Fe

표층 퇴적물에서 1.9~2.6%(평균 2.3%) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 2.4%, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 2.0%로 어장내와 대조구의 농도 차이를 보이지 않았다(표 3-3-10). 모든 정점에서 3%이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-48). 철농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 10, 대조구 : 4)로 보면 어장지역이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

3) Cu

표층퇴적물에서 8.8~12.7 ppm(평균 10.6 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 11.2 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 9.7 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구에 비해 높은 농도를 나타내었다(표 3-3-10). 무안3과 대조1 정점이 10 ppm이하로 낮은 농도를 보였으며, 그 외의 지역에서는 10 ppm 이상의 농도로 나타났다.

미국 NOAA에서 제시한 Cu의 ERL값은 34 ppm이며 ERM 값은 약 270 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/3 이하의 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-49). 구리농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 13, 대조구 : 14)로 보면 어장과 대조구 변화가 적은 것으로 나타났다.

4) Pb

표층퇴적물에서 21.3~26.6 ppm(평균 23.49 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 24.6 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 21.5 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-10). 대부분의 정점에서 25 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Pb의 ERL 값은 46.7 ppm 이며 ERM 값은 약 220 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/2정도로 낮았다(그림 3-3-50). 납농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 7, 대조구 : 1)로 보면 대조구가 어장지역보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

5) Zn

표층퇴적물에서 61.7~82.2 ppm(평균 71.8 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 76.3 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 65.2 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 높은 농도를 나타냈다(표 3-3-10). 무안 1, 2 정점이 다른 정점에 비해 높은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Zn의 ERL 값은 150 ppm이며 ERM 값은 410 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-51). 아연농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 10, 대조구 : 8)로 보면 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

6) Cd

표층퇴적물에서 0.012~0.046 ppm(평균 0.029 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 0.032 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 0.026 ppm으로 어장이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-10). 무안 3과 대조 2가 0.02 ppm 이하로 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Cd의 ERL 값은 1.2 ppm이며 ERM 값은 9.6 ppm이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-52). 카드뮴농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 54, 대조구 : 52)로 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

7) Hg

표층퇴적물에서 0.009~0.012 ppm(평균 0.010 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 0.010 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 0.009 ppm으로 어장환경 개선지역과 대조구가 큰 차이를 보이지 않았고, 정점 간에도 큰 차이가 나타나지 않았다(표 3-3-10). NOAA에서 제시한 Hg의 ERL 값은 0.15 ppm이며 ERM 값은 0.71

ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-53). 수은농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 12, 대조구 : 7)로 보면 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

8) As

표층퇴적물에서 4.1~5.5 ppm(평균 4.9 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 5.3 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 4.3 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-10). 무안 1과 무안 2 정점을 제외하고는 모든 정점에서 5 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 As의 ERL 값은 8.2 ppm이며 ERM 값은 약 70 ppm이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-54). 비소농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 7, 대조구 : 7)로 보면 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

9) Cr

표층퇴적물에서 51.7~68.7 ppm(평균 60.8 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 64.9 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 54.6 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-10). 무안1과 무안2 정점을 제외하고는 모든 정점에서 60 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Cr의 ERL 값은 81 ppm이며 ERM 값은 약 370 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-55). 크롬농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 8, 대조구 : 8)로 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

10) Ni

표층퇴적물에서 15.9~24.4 ppm(평균 19.36 ppm) 이었으며, 어장환경 개선지역의 표층퇴적물 평균농도는 20.8 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 17.8 ppm으로 어장환경 개선지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-10). 무안 2 정점을 제외하고는 모든 정점에서 20 ppm이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Ni의 ERL 값은 20.9 ppm이며 ERM 값은 약 51.6 ppm 이다. 본 조사결과를 이들 값과 비교해보면 무안2 정점에서 ERL 농도보다 상회하는 값을 보였으며, 그 외의 정점에서는 ERL 농도보다 낮게 나타났다(그림 3-3-56). 니켈농도의 평균값에 대한 어장과 대조구의 변동계수(어장 : 16, 대조구 : 15)로 보면 어장과 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

바. 다환방향족탄화수소(PAHs)

다환방향족탄화수소의 농도는 14.35~20.68 (평균 18.4) ng/g (D.W) 이었다. 표층퇴적물의 평균농도는 20.48 ng/g (D. W), 대조구의 농도는 14.35 ng/g (D.W)로 어장이 대조

구보다 높게 나타났다. 만풍 어장의 다환방향족탄화수소의 농도는 다른 어장보다 높은 경향은 퇴적물이 니질의 함량이 높아 다른 지역보다 더 많이 흡착되어 나타나는 현상으로 판단된다(그림 3-3-57).

표 3-3-9. 무안군 만풍 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
무안1	0.46	12.96	68.24	18.34	86.59	6.07	2.56	0.40	1.61	(g)M
무안2	8.27	47.07	34.65	10.00	44.66	3.18	3.50	0.03	0.95	gmS
무안3	2.49	46.15	42.35	9.01	51.37	3.89	2.96	0.03	1.31	(g)M
무안4	2.43	34.58	50.04	12.95	62.99	4.49	3.20	0.02	1.39	(g)M
무안5	1.28	15.61	68.44	14.67	83.11	5.59	2.61	0.22	2.04	(g)M
무안A	0.34	11.98	66.68	21.00	87.68	6.38	2.74	0.43	1.49	(g)M
무안B	8.01	45.91	34.17	11.92	46.09	3.40	3.67	0.05	1.02	gM
무안C	2.34	44.43	41.59	11.64	53.23	4.11	3.24	0.10	1.42	(g)M
무안D	2.27	33.66	48.72	15.36	64.08	4.80	3.37	0.09	1.43	(g)M
무안E	1.12	15.12	66.46	17.30	83.76	5.93	2.83	0.25	2.10	(g)M
min	0.34	11.98	34.17	9.01	44.66	3.18	2.56	0.02	0.95	
max	8.27	47.07	68.44	21.00	87.68	6.38	3.67	0.43	2.10	
avg	2.90	30.75	52.13	14.22	66.36	4.78	3.07	0.16	1.48	
std	2.87	15.22	14.12	3.84	17.46	1.15	0.39	0.15	0.37	
cv	99.14	49.52	27.08	26.98	26.31	24.10	12.56	96.21	25.28	

표 3-3-10. 무안 만풍지역의 표층퇴적물 내 금속원소 분석결과

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
무안1 상	2.5	7.7	11.0	23.9	79.3	0.037	0.010	5.4	66.8	17.8
무안2 상	2.6	7.5	12.7	26.6	82.2	0.046	0.012	5.5	68.7	24.4
무안3 상	2.2	6.6	9.9	23.4	67.3	0.012	0.009	4.9	59.3	20.2
대조1 상	1.9	6.1	8.8	21.7	61.7	0.036	0.009	4.1	51.7	15.9
대조2 상	2.1	6.1	10.6	21.3	68.7	0.016	0.010	4.5	57.5	19.6
avg	2.3	6.8	10.6	23.4	71.8	0.029	0.010	4.9	60.8	19.6
std	0.3	0.7	1.5	2.1	8.6	0.014	0.001	0.6	7.0	3.2
cv	12.8	11.0	13.8	9.0	12.0	48.718	11.364	12.7	11.5	16.3
min	1.9	6.1	8.8	21.3	61.7	0.012	0.009	4.1	51.7	15.9
max	2.6	7.7	12.7	26.6	82.2	0.046	0.012	5.5	68.7	24.4

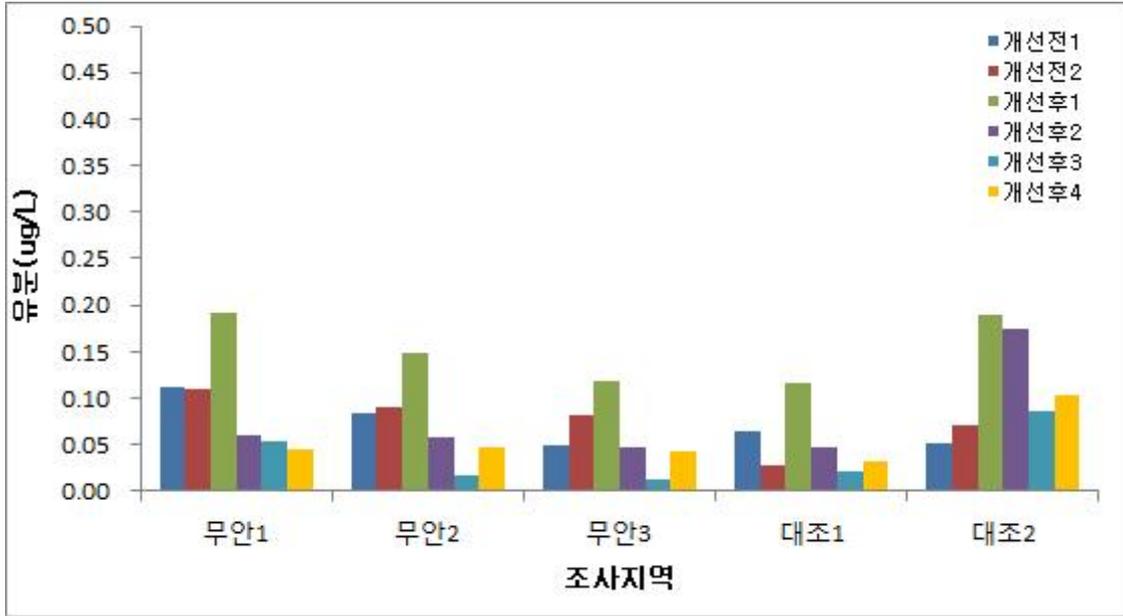


그림 3-3-39. 무안 만풍어장의 공극수내 조사지역별 유분 농도.

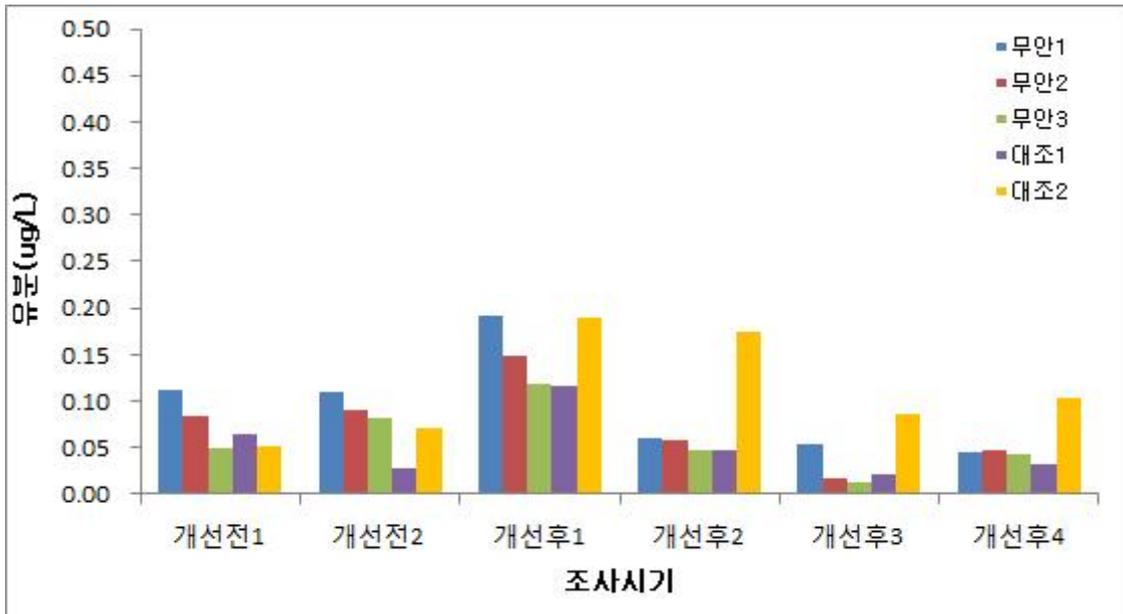


그림 3-3-40. 무안 만풍 어장의 공극수내 조사시기별 유분 농도.

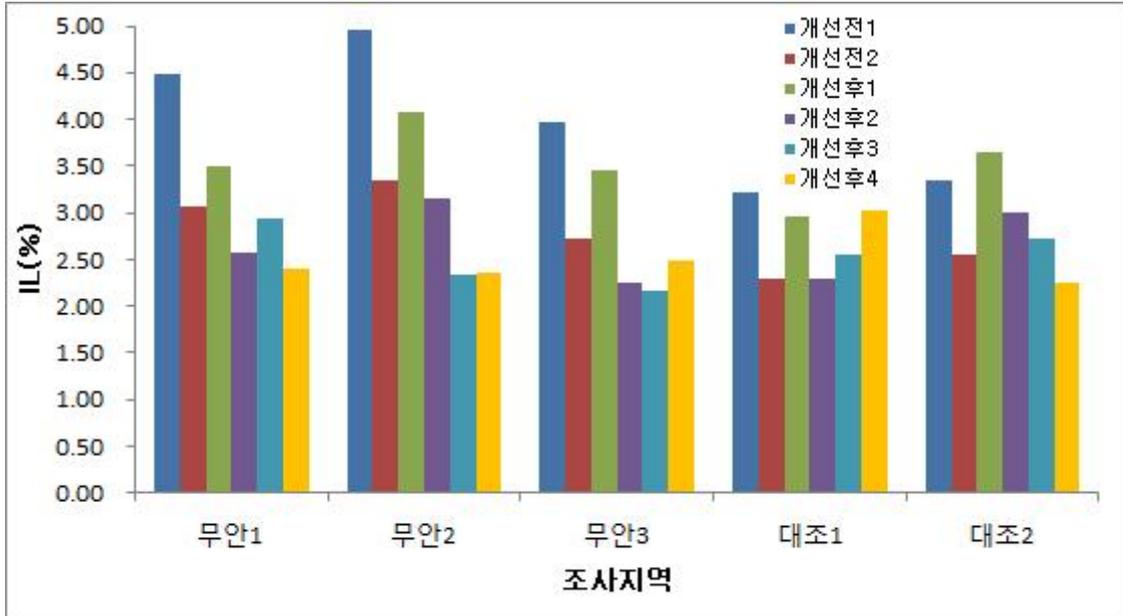


그림 3-3-41. 무안 만풍 어장의 표층퇴적물내 강열감량의 농도.

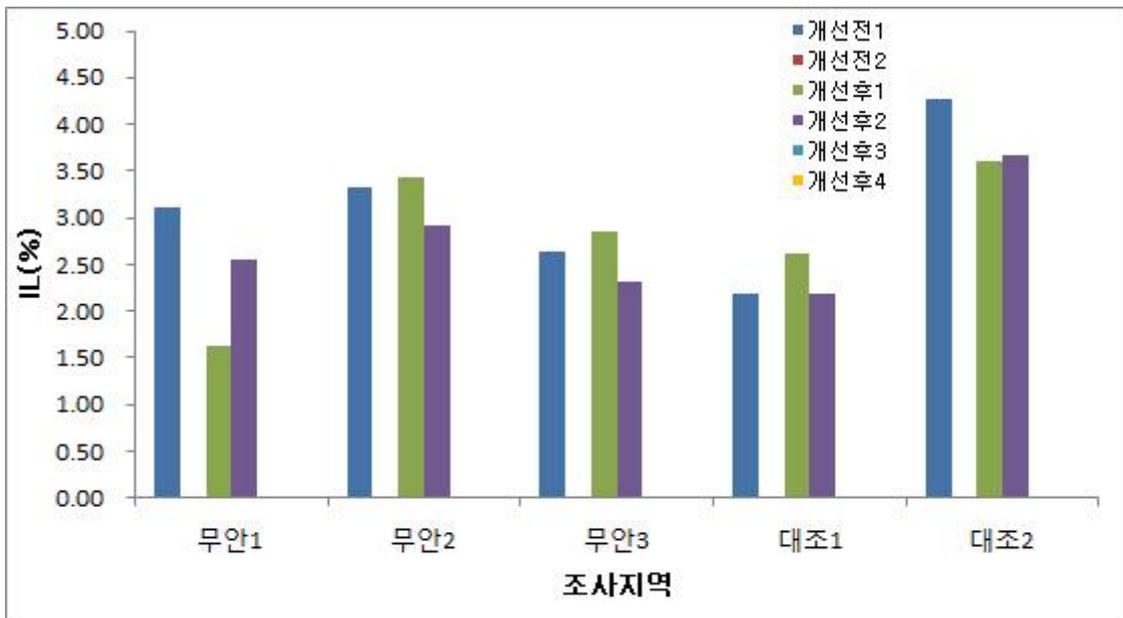


그림 3-3-42. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 강열감량의 농도.

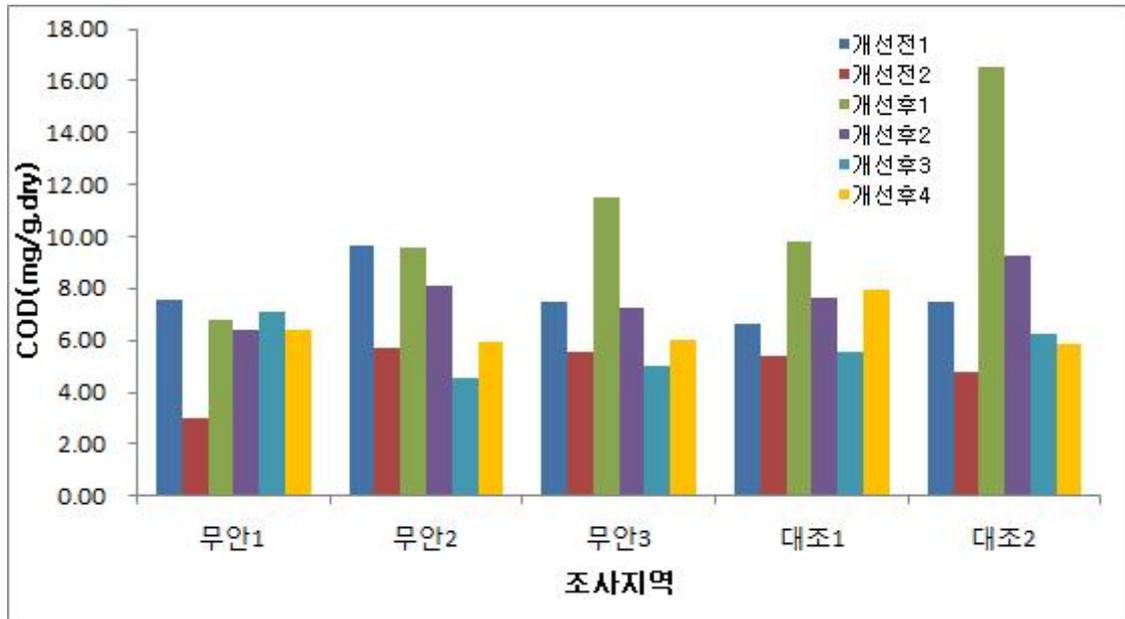


그림 3-3-43. 무안군 만풍 어장의 표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.

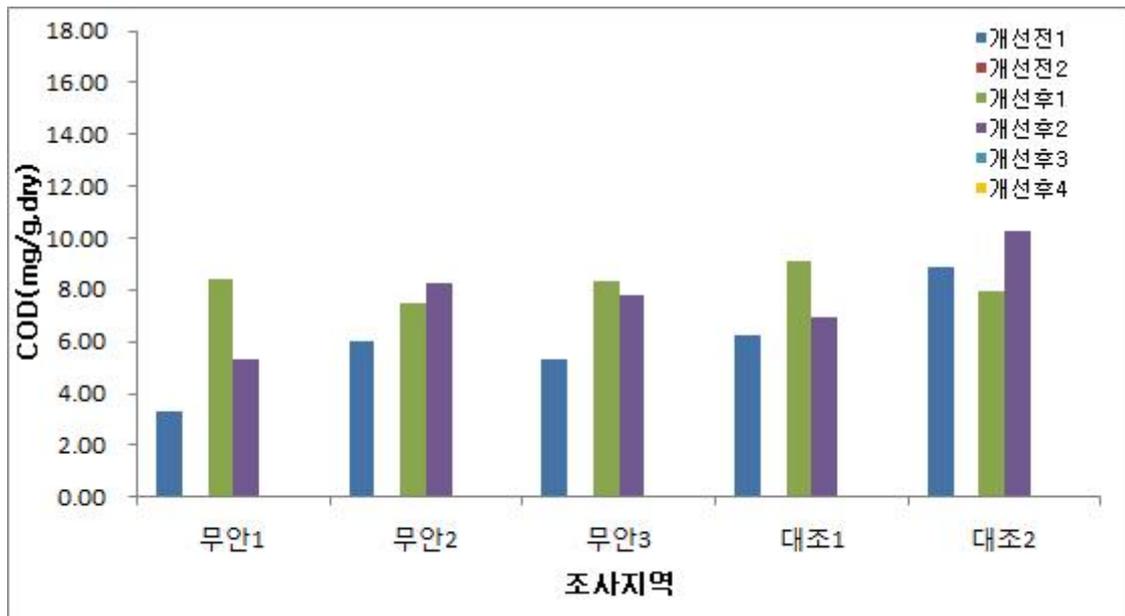


그림 3-3-44. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.

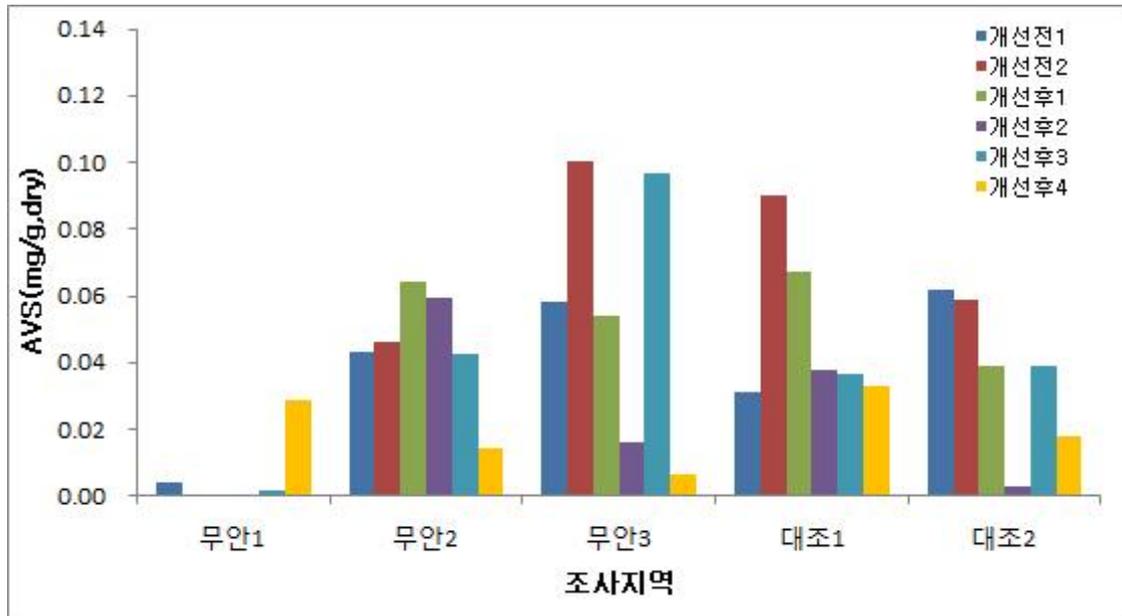


그림 3-3-45. 무안 만풍어장의 표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.

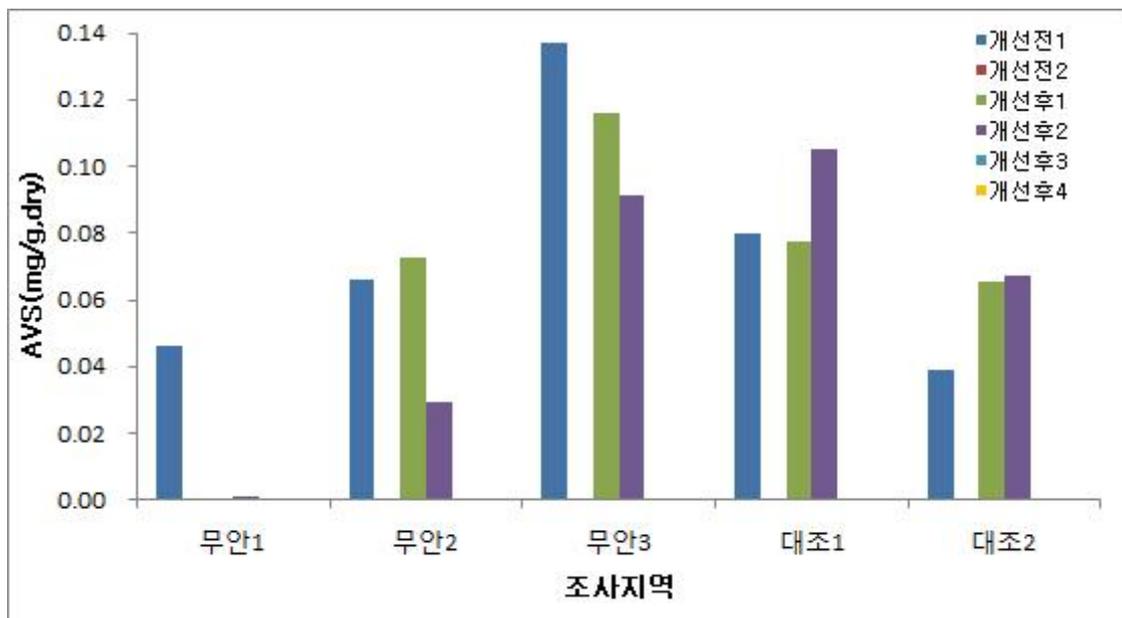


그림 3-3-46. 무안군 만풍 어장의 아표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.

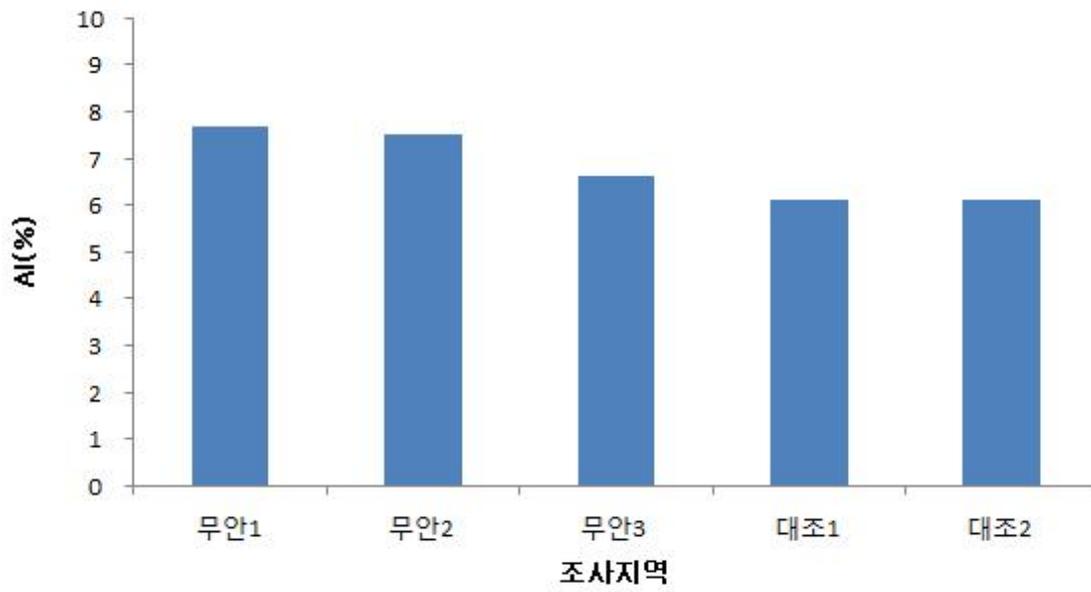


그림 3-3-47. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.

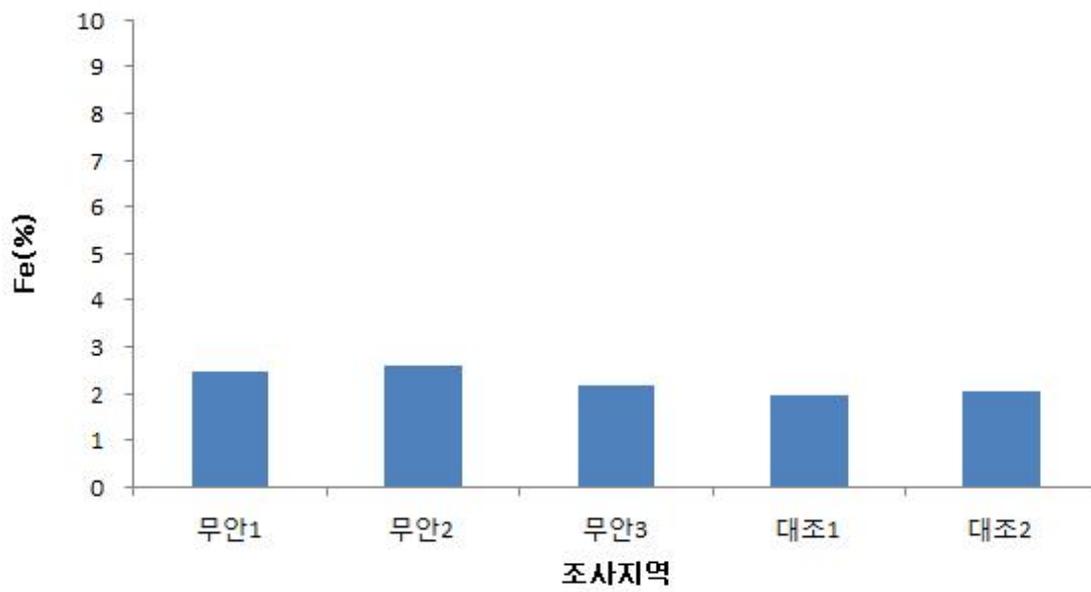


그림 3-3-48. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 철 농도.

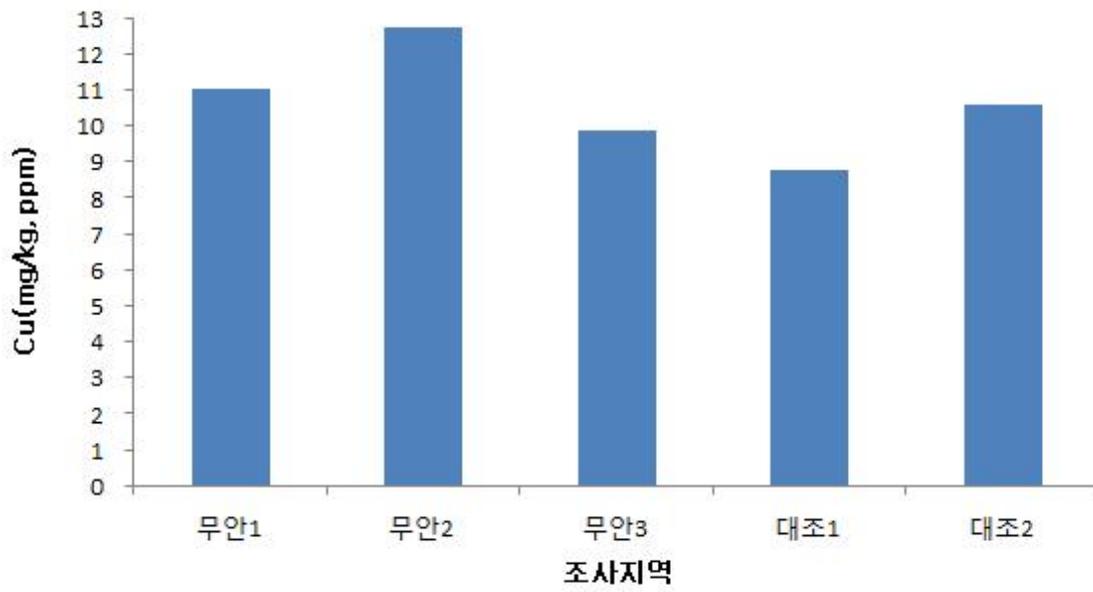


그림 3-3-49. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 구리 농도.

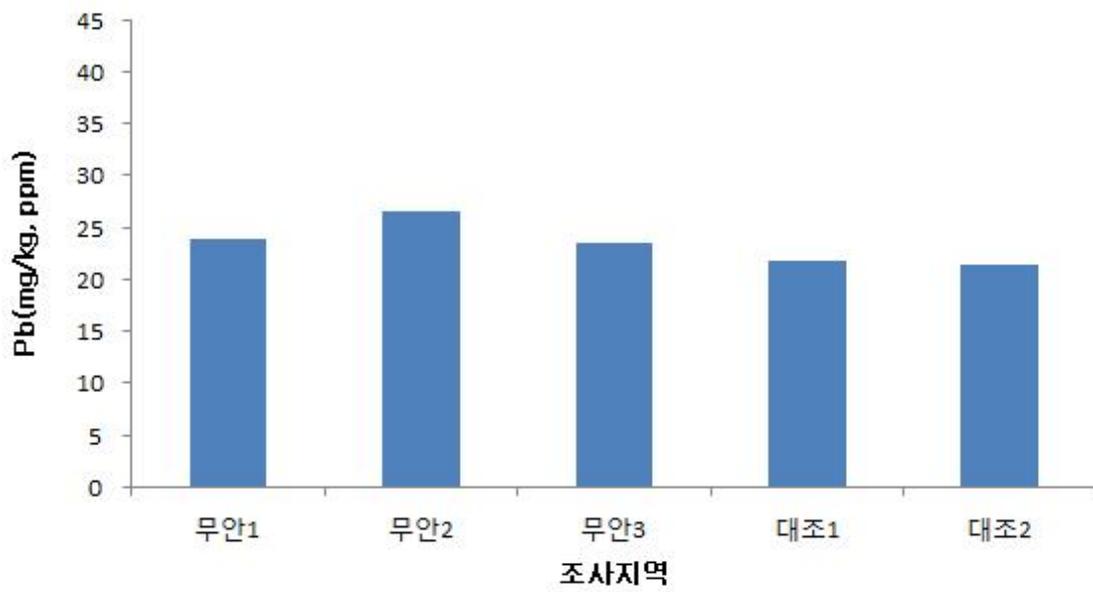


그림 3-3-50. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 납 농도.

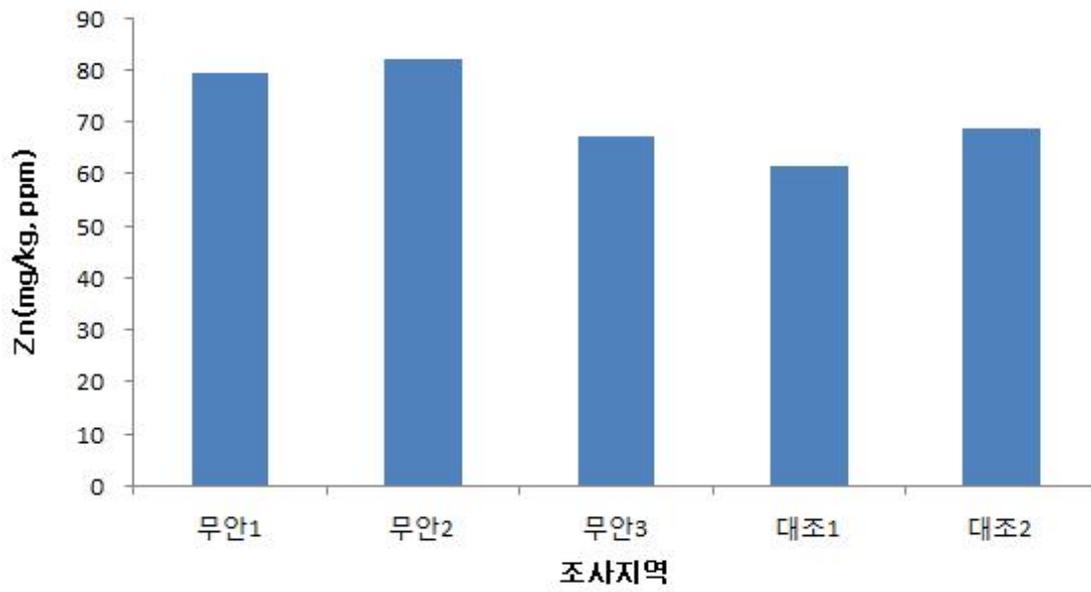


그림 3-3-51. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 아연 농도.

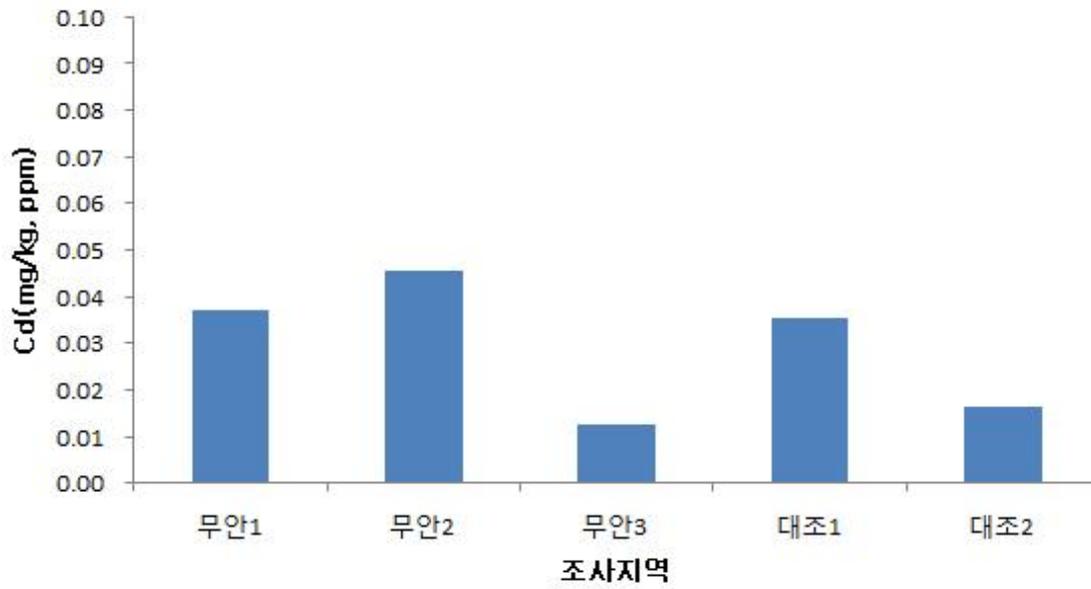


그림 3-3-52. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.



그림 3-3-53. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 수은 농도.

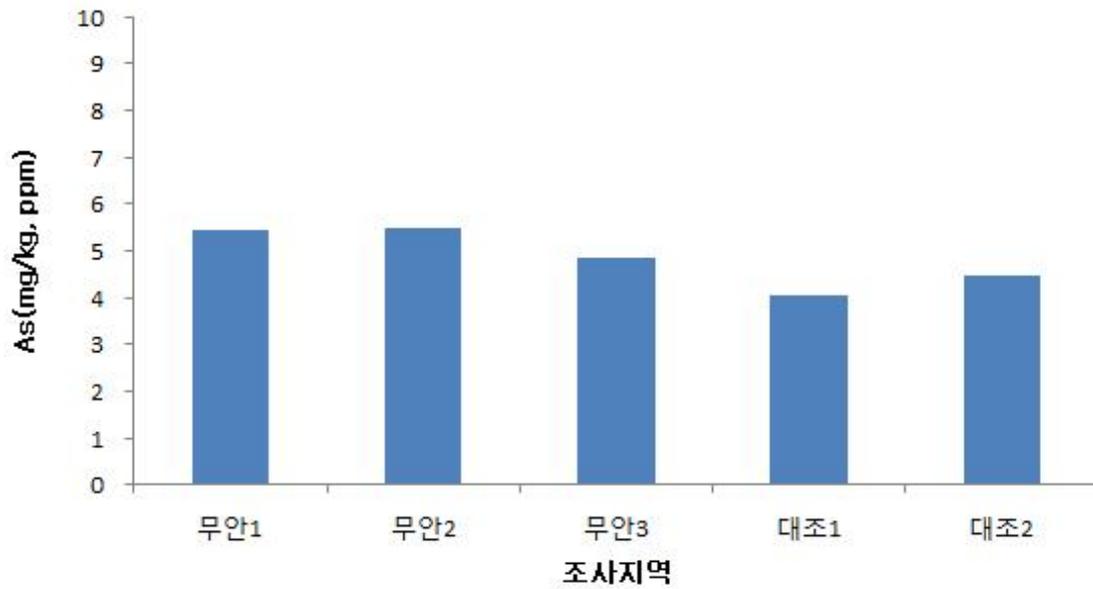


그림 3-3-54. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 비소 농도.

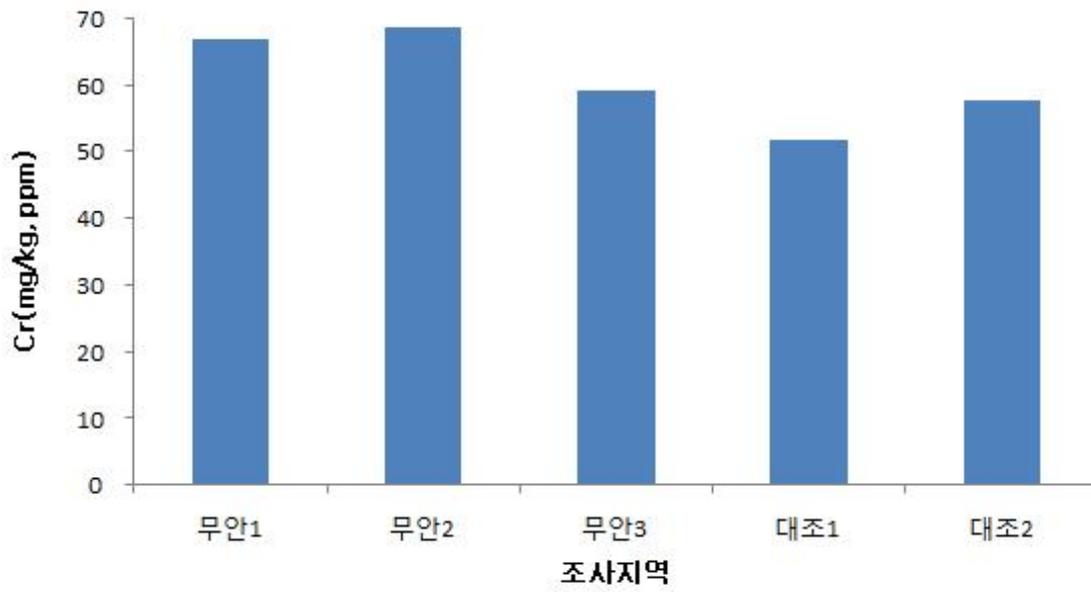


그림 3-3-55. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 크롬 농도.

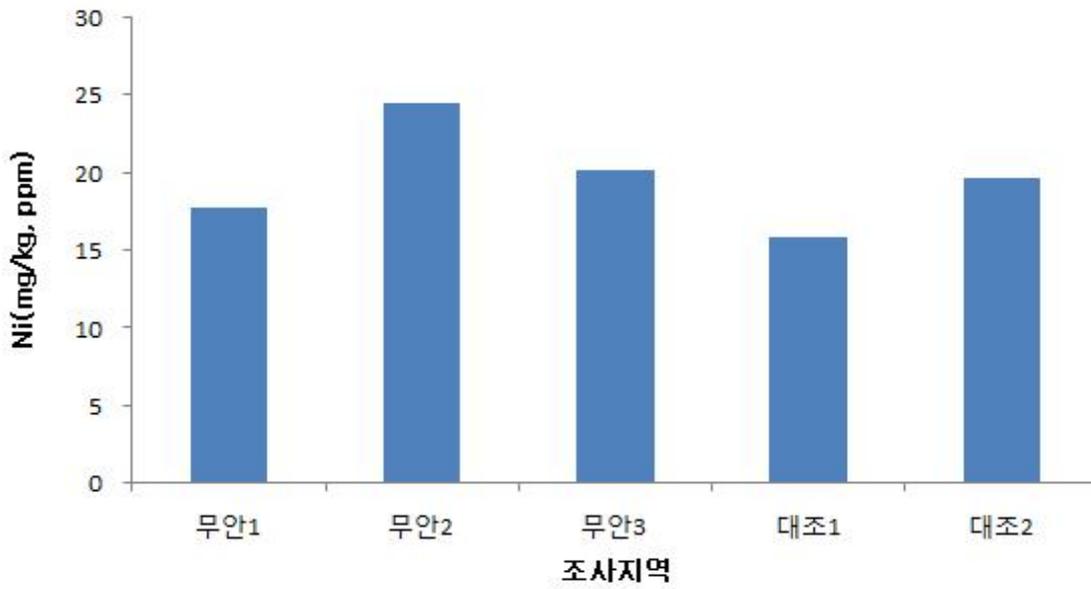


그림 3-3-56. 무안군 만풍지역의 표층퇴적물 내 정점별 니켈 농도.

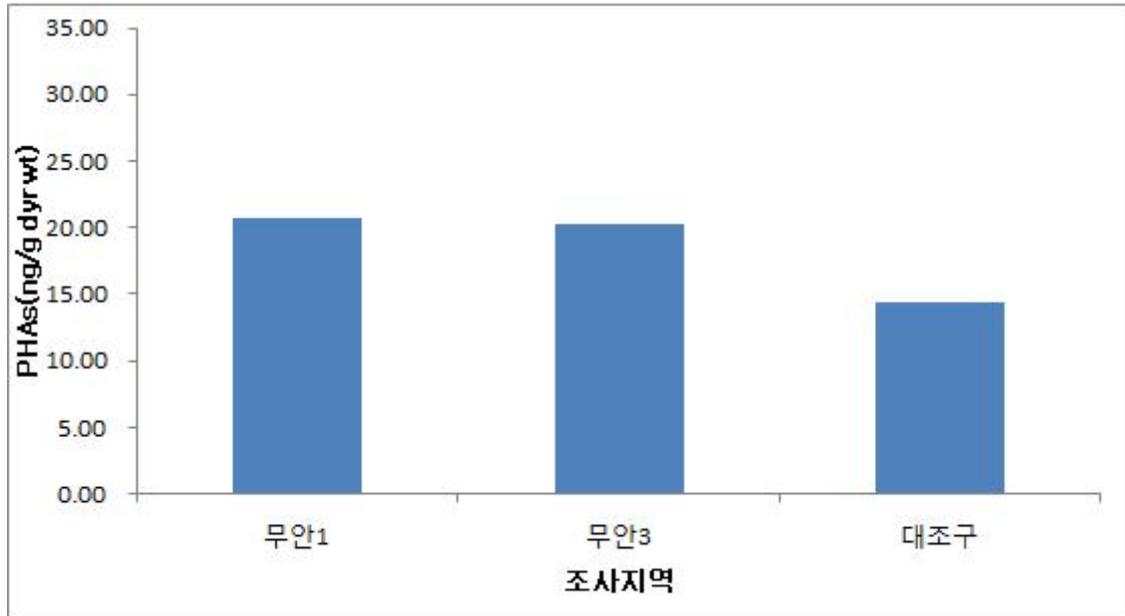


그림 3-3-57. 무안 만풍 어장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.

4. 치패 발생장

가. 지역개관

치패발생장이 분포하는 무안군 송계연안은 함평만에 속한다. 함평만은 한반도의 서해 남부에 위치하고 있으며, 육지 방향으로 길게 만입한 최대 폭 12km, 길이 약 17km의 비교적 큰 만으로서 육지와 연결된 큰 규모의 수계가 존재하지 않는 반폐쇄된 지형을 이루고 있다. 만 입구는 최대 수심 23m로서 매우 협소한 폭(약 1.8km)과 급경사(1.63~2.90°)를 이루며, 주조류로는 좁은 폭을 가지고 만 입구에서 남동해안을 따라 만의 내측까지 길게 발달되어 있다. 조간대(tidal flat)는 주조류로의 가장자리를 따라 발달되어 있으며, 조간대 곳곳에 사주(sand bar)와 조류로(tidal channel), 그리고 조류세곡(tidal creek) 등이 발달되어 있다 (류, 1986).

바지락치패발생장은 함평의 도리포에서 송계 연안에 이르는 조간대로 함평만 입구의 동남부로 북동쪽에는 닭섬이 위치하고 있으며, 사주(sand bar)와 조류로가 발달한 지역에 바지락치패가 분포하고 있다. 표층퇴적물의 입도는 0.5~2 mm로 비교적 굵은 모래로 구성되어 있어 바지락치패가 서식할 수 있는 지역적인 조건을 갖추고 있다.

나. 조석 및 조류

바지락치패발생장인 함평만의 조석은 반일주조(semidiurnal tide)로 일조부등(diurnal inequality)을 나타내는 1일 2회조로서 평균조차는 397.7 cm(대조차: 529.8 cm, 소조차: 264.4 cm)로 중조차 환경(meso-tidal environment)이다 (국립지리원, 1983). (<그림 2.3-1>). 조류의 유속은 함평만 내의 주조류로에서 최강 창조류가 125 cm/sec, 최강 낙조류가 138 cm/sec로서 낙조류가 우세한 편이다(국립지리원, 1983). 무안 송계연안은 바지락 치패발생장은 주조류로에 조류세곡이 발달하여 치패발생에 유리한 와류가 형성될 수 있는 좋은 여건을 가지고 있다. 또한 사주가 발달하여 치패가 서식할 수 있는 노출시간이 2~3시간대의 조간대가 넓게 분포하고 있어 치패발생장으로서 좋은 여건을 갖추고 있는 것으로 판단된다.

다. 기후

함평만에 인접한 목포지방의 30년간(1970~2000년)의 기후특성은 한반도의 남서쪽에 위치하여 전반적으로 하계에는 해양성기후, 동계에는 대륙동안형 기후대로 온대동계건조 기후대에 속한다. 연평균강수량은 1,112 mm, 연간 강수일수는 119일, 눈이 내리는 날은 연간 29일이다. 연간 연평균기온은 13.6℃, 일 최고기온 37.0℃, 일 최저기온 -14.2℃, 최고기온이 30℃가 넘는 날은 연간 37일, 최저기온이 0℃이하인 날은 연간 60일이다. 년 평균 풍속은 4.3 m/s로 비교적 강하게 불고, 여름에는 남서풍, 겨울에는 북서풍이 탁월하며, 겨울철 찬 대륙성 고기압 확장시에는 돌풍현상과 소낙성눈이 자주 내리고 있다 (기상청, 2011). 폭풍일수는 연평균 26일로서 주로 겨울(12~2월)에 발생하며, 17 m/sec 이상의 태풍은 주로 여름 (6~9월)에 발생하여 연 평균 2.2회가 함평만의 주변 지역을 통과한다 (류, 1998).

다. 퇴적물 입도분석

무안군 송계주변해역은 바지락치패가 자연적으로 발생하는 지역이다. 치패발생장의 표층퇴적물은 역(Gravel)이 17.5% 모래(sand)가 74.6%, 펄(mud)이 7.9%로 모래가 매우 우세하고, 역과 펄이 혼합된 특성을 보였다. 평균입도는 0.00~2.05 Φ (평균 0.65 Φ)로 굵은 모래로 구성되어 있는 경향을 보였다. 분급도는 0.94~3.96 Φ (평균 1.85 Φ) 범위로 불량한 분급(poorly sorted)으로 나타났다. 왜도는 -0.14~0.41(평균 0.09)의 범위로 양의 왜도(positive skewed)를 보였다. 첨도는 0.88~1.28(평균 0.99)의 범위로 집중된 형태(leptokurtic)를 보였다. 퇴적물은 역니질모래(gmS) 퇴적상과 역질모래(gS) 퇴적상이 우세하게 분포하고 있는 것으로 나타났다(표 3-3-11).

라. 공극수 유분

공극수내 유분의 평균농도는 0.030~0.173(평균 0.077) ug/L 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 0.033~0.172(평균 0.072) ug/L, 대조구의 평균농도는 0.026~0.175(평균 0.085) ug/L로 나타나 치패발생장내의 농도가 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 3차 조사에서 0.173 ug/L로 가장 높았고, 5차 조사에서 0.030 ug/L로 가장 낮게 나타났다. 유분농도의 평균값에 대한 변동계수(어장 : 40, 대조구 : 91)로 보아 치패발생장이 대조구보다 시간적인 변화가 작은 것으로 나타났다(그림 3-3-58, 그림 3-3-59).

마. 강열감량

표층퇴적물에서 평균농도는 1.45~3.05(평균 2.15)% 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 1.95~3.22(평균 2.30)%, 대조구의 평균농도는 0.67~2.78(평균 1.91)%로 나타나 치패발생장의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 6차에 가장 높았고, 5차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물에서 평균농도는 1.97~2.71(평균 2.33)% 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 1.95~3.37(평균 2.59)%, 대조구의 평균농도는 1.72~2.11(평균 1.94)%로 나타나 치패발생장이 대조구보다 낮게 나타났다. 강열감량은 표층과 아표층이 비슷한 경향을 보였다. 강열감량의 표층의 평균값에 대한 변동계수(치패발생장 : 52, 대조구 : 3)로 보아 치패발생장이 대조구보다 시간적인 변화가 큰 것으로 나타났다(그림 3-3-60, 그림 3-3-61).

바. 화학적산소요구량

표층퇴적물의 평균농도는 2.17~6.13(평균 4.60) mgO₂/g·dry 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 3.44~5.98(평균 4.62) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 1.61~6.37(평균 4.56) mgO₂/g·dry로 나타나 치패발생장의 농도가 대조구보다 높게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선후 2차에 가장 높았고, 개선후 3차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 6.60~6.62(평균 6.61) mgO₂/g·dry 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 5.99~6.86(평균 6.42) mgO₂/g·dry, 대조구의 평균농도는 6.23~7.57(평균 6.90) mgO₂/g·dry로 나타나 치패발생장이 대조구보다 낮게 나타났다. 화학적산소요구량은 표

층과 아표층에서 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 20 mgO₂/g-dry 이하의 농도를 보였다. 표층퇴적물의 농도는 치패발생장이 대조구보다 높은 경향을 보였다. 표층의 평균변동계수(치패발생장 : 32, 대조구 : 58)로 보아 조사 기간 동안 치패발생장이 대조구보다 시간적인 변화가 적은 것으로 나타났다(그림 3-3-62, 그림 3-3-63).

사. 산취발성황화물

표층퇴적물의 평균농도는 0.001~0.015(평균 0.008) mgS/g·dry 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 0.000~0.011(평균 0.004) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.000~0.032(평균 0.014) mgS/g·dry로 나타나 치패발생장이 대조구보다 낮게 나타났다. 조사시기별 평균농도는 개선전 1차에 가장 높았고, 개선후 3차에 가장 낮게 나타났다. 아표층퇴적물의 평균농도는 0.015~0.040(평균 0.027) mgS/g·dry 이었으며, 치패발생장의 평균농도는 0.001~0.018(평균 0.010) mgS/g·dry, 대조구의 평균농도는 0.034~0.074(평균 0.054) mgS/g·dry로 나타나 어장이 대조구보다 낮게 나타났다. 산취발성황화물은 표층이 아표층보다 낮은 경향을 보였고, 일본의 수산환경 퇴적물기준치인 약 0.2 mgS/g-dry 보다 현저하게 낮은 농도를 보였다(그림 3-3-64, 그림 3-3-65).

아. 미량금속

1) Al

표층 퇴적물에서 3.0~7.5%(평균 5.2%) 이었으며, 치패지역의 표층퇴적물 평균농도는 6.3%, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 3.6%로 치패지역이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-12). 치패발생장 2, 3 정점을 제외한 모든 정점에서 5%이하의 낮은 농도로 나타났다(그림 3-3-66). 알루미늄농도의 평균값에 대한 치패와 대조구의 변동계수(치패 : 28, 대조구 : 23)로 보면 치패와 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

2) Fe

표층 퇴적물에서 0.3~2.4%(평균 1.3%) 이었으며, 치패지역의 표층퇴적물 평균농도는 1.4%, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 1.2%로 치패와 대조구의 농도 차이를 보이지 않았다(표 3-3-12). 치패발생장 3 정점을 제외하고는 모든 정점이 2%이하의 낮은 농도로 나타났다(그림 3-3-67). 철농도의 평균값에 대한 치패와 대조구의 변동계수(치패 : 79, 대조구 : 95)로 보면 치패지역이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

3) Cu

표층퇴적물에서 2.3~10.8 ppm(평균 6.6 ppm) 이었으며, 치패지역의 표층퇴적물 평균농도는 7.0 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 6.1 ppm으로 치패지역이 대조구에 비해 높은 농도를 나타내었다(표 3-3-12). 치패발생장 1과 대조1 정점이 3 ppm이하로 낮은 농도를 보였으며, 그 외의 지역에서는 7 ppm 이상의 농도로 나타났다. 미국 NOAA에서 제사한 Cu의 ERL값은 34 ppm이며 ERM 값은 약 270 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 1/5 이하의 낮은 농도를 보였다(그림

3-3-68). 구리농도의 평균값에 대한 치패와 대조구의 변동계수(치패 : 62, 대조구 : 73)로 보면 치패와 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

4) Pb

표층퇴적물에서 16.0~43.6 ppm(평균 28.4 ppm) 이었으며, 치패지역의 표층퇴적물 평균농도는 32.1 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 22.9 ppm으로 치패가 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-12). 치패발생장 2 정점을 제외하고는 대부분의 정점에서 30 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Pb의 ERL 값은 46.7 ppm이며 ERM 값은 약 220 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 치패 2 정점에서 43.6 ppm으로 ERL에 유사한 농도가 나타났으며, 그 외의 정점에서는 ERL 농도보다 1/2정도로 낮았다(그림 3-3-69). 납농도의 평균값에 대한 치패와 대조구의 변동계수(치패 : 31, 대조구 : 43)로 보면 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

5) Zn

표층퇴적물에서 8.4~78.0 ppm(평균 42.8 ppm) 이었으며, 치패지역의 표층퇴적물 평균농도는 43.8 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 41.3 ppm으로 치패지역과 대조구에서 농도차이가 낮았다(표 3-3-12). 치패발생장 1과 대조 1 정점에서 20 ppm 이하의 낮은 농도를 나타냈으며, 치패발생장 3 정점에서는 70 ppm 이상의 농도가 나타났다. NOAA에서 제시한 Zn의 ERL 값은 150 ppm이며 ERM 값은 410 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-70). 아연농도의 평균값에 대한 치패와 대조구의 변동계수(치패 : 79, 대조구 : 78)로 보면 치패와 대조구에서 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

6) Cd

표층퇴적물에서 0.006~0.027 ppm(평균 0.018 ppm) 이었으며, 치패발생장의 표층퇴적물 평균농도는 0.020 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 0.016 ppm으로 치패발생장과 대조구에서 농도 차이가 거의 나타나지 않았다(표 3-3-12). 대조1 정점이 0.006 ppm으로 가장 낮은 농도로 나타났으며, 그 외의 정점에서도 0.02 ppm 이하로 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Cd의 ERL 값은 1.2 ppm이며 ERM 값은 9.6 ppm이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-71). 카드뮴농도의 평균값에 대한 치패발생장과 대조구의 변동계수(치패 : 7, 대조구 : 92)로 보아 치패발생장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

7) Hg

표층퇴적물에서 0.006~0.010 ppm(평균 0.006 ppm) 이었으며, 치패발생장의 표층퇴적물 평균농도는 0.006 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 0.005 ppm으로 치패발생장과 대조구가 큰 차이를 보이지 않았다(표 3-3-12). 치패발생장 1과 대조 1 정점에서는 수

은의 농도가 거의 나타나지 않았으며, 그 외 정점에서도 0.01 ppm 이하의 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Hg의 ERL 값은 0.15 ppm이며 ERM 값은 0.71 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-72). 수은농도의 평균값에 대한 치패발생장과 대조구의 변동계수(치패 : 67, 대조구 : 107)로 보아 치패발생장이 대조구보다 변화가 적은 것으로 나타났다.

8) As

표층퇴적물에서 2.5~6.2 ppm(평균 4.2 ppm) 이었으며, 치패발생장의 표층퇴적물 평균농도는 5.0 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 3.0 ppm으로 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-3-12). 치패발생장 1, 2 정점이 그 외의 정점에 비해 높은 농도로 나타났고, 치패발생장 1, 2 정점을 제외하는 모든 정점에서 3 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 As의 ERL 값은 8.2 ppm이며 ERM 값은 약 70 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 모든 정점에서 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-73). 비소농도의 평균값에 대한 치패과 대조구의 변동계수(치패 : 39, 대조구 : 22)로 보아 대조구가 치패발생장이 변화가 적은 것으로 나타났다.

9) Cr

표층퇴적물에서 3.5~66.6 ppm(평균 31.0 ppm) 이었으며, 치패발생장의 표층 퇴적물 평균농도는 33.4 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 27.5 ppm으로 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-12). 치패발생장 1과 대조 1 정점에서는 10 ppm이하의 낮은 농도로 나타났으며, 치패발생장 3 정점에서는 66.6 ppm 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Cr의 ERL 값은 81 ppm이며 ERM 값은 약 370 ppm 이다. 본 조사결과를 이 값들과 비교해 보면 ERL 농도보다 낮았다(그림 3-3-74). 크롬농도의 평균값에 대한 치패발생장과 대조구의 변동계수(치패 : 95, 대조구 : 112)로 보아 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

10) Ni

표층퇴적물에서 2.1~24.8 ppm(평균 12.2 ppm) 이었으며, 치패발생장의 표층퇴적물 평균농도는 13.7 ppm, 대조구의 표층퇴적물 평균농도는 10.0 ppm으로 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 높은 농도로 나타났다(표 3-3-12). 치패발생장 1과 대조 1 정점에서는 5 ppm 이하의 낮은 농도로 나타났으며, 치패발생장 3 정점에서는 24.8 ppm 농도로 나타났다. NOAA에서 제시한 Ni의 ERL 값은 20.9 ppm이며 ERM 값은 약 51.6 ppm 이다. 본 조사결과를 이들 값과 비교해보면 치패발생장 3 정점에서 ERL 농도보다 상회하는 값을 보였으며, 그 외의 정점에서는 ERL 농도보다 낮게 나타났다(그림 3-3-75). 니켈농도의 평균값에 대한 치패발생장과 대조구의 변동계수(치패 : 81, 대조구 : 112)로 보아 치패발생장이 대조구보다 상대적으로 변화가 적은 것으로 나타났다.

자. 다환방향족탄화수소(PAHs)

다환방향족탄화수소의 농도는 3.1~8.6 (평균 5.0) ng/g (D.W) 이었다. 치폐발생장의 농도는 5.9 ng/g (D. W), 대조구의 농도는 3.3 ng/g (D.W)로 치폐발생장이 대조구보다 높은 경향을 보였으나 우리나라 다른 지역에 비해 낮은 경향을 보였다(표 3-3-13). 치폐발생장의 농도는 퇴적물의 입도가 굵은 모래로 구성되어 있어 펄보다는 상대적으로 다환방향족탄화수소를 흡착할 수 없어 낮은 경향을 보였다(그림 3-3-76).

표 3-3-11. 무안 송계 치패발생장 표층퇴적물의 입도조성, 통계변수 및 퇴적상

Station	Textures(%)					Statistical parameters				Sediment type (Folk, 1968)
	Gravel	Sand	Silt	Clay	mud	Mean (phi)	Sort (phi)	Skew	Kurt	
종패1	22.01	69.58	5.30	3.11	8.41	0.75	2.15	0.09	1.12	gmS
종패2	23.18	47.57	20.79	8.46	29.25	1.92	3.71	0.38	0.89	gmS
종패3	15.60	84.40	0.00	0.00	0.00	0.05	1.02	0.02	1.00	gS
종패4	15.45	84.55	0.00	0.00	0.00	0.03	0.95	-0.02	0.89	gS
종패5	11.97	88.03	0.00	0.00	0.00	0.47	1.18	-0.14	0.97	gS
종패A	21.57	68.29	5.23	4.91	10.13	0.78	2.37	0.20	1.28	gmS
종패B	22.29	46.53	20.52	10.66	31.18	2.05	3.96	0.41	0.93	gmS
종패C	15.55	84.45	0.00	0.00	0.00	0.02	1.01	0.01	0.98	gS
종패D	15.38	84.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	0.01	0.88	gS
종패E	11.91	88.09	0.00	0.00	0.00	0.46	1.17	-0.10	0.96	gS
min	11.91	46.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	-0.14	0.88	
max	23.18	88.09	20.79	10.66	31.18	2.05	3.96	0.41	1.28	
avg	17.49	74.61	5.18	2.71	7.90	0.65	1.85	0.09	0.99	
std	4.35	16.12	8.43	4.02	12.37	0.76	1.16	0.19	0.12	
cv	24.84	21.60	162.69	148.06	156.65	116.94	63.03	215.14	12.54	

표 3-3-12. 무안 송계 치패발생장 표층퇴적물 내 금속원소

Station	Metals (%)		Metals (ppm)							
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Cr	Ni
치패1 상	0.3	4.3	2.3	27.1	8.4	0.018	0.002	2.8	3.5	2.6
치패2 상	1.5	7.1	7.8	43.6	45.1	0.020	0.007	6.2	30.0	13.7
치패3 상	2.4	7.5	10.8	25.6	78.0	0.021	0.010	6.0	66.6	24.8
대조1 상	0.4	3.0	2.9	29.7	18.6	0.006	0.001	2.5	5.8	2.1
대조2 상	2.0	4.2	9.2	16.0	64.1	0.027	0.009	3.4	49.1	17.9
avg	1.3	5.2	6.6	28.4	42.8	0.018	0.006	4.2	31.0	12.2
std	1.0	2.0	3.8	9.9	29.4	0.008	0.004	1.8	27.3	9.8
cv	73.5	37.7	57.9	35.0	68.7	42.546	70.639	42.7	88.1	80.7
min	0.3	3.0	2.3	16.0	8.4	0.006	0.001	2.5	3.5	2.1
max	2.4	7.5	10.8	43.6	78.0	0.027	0.010	6.2	66.6	24.8

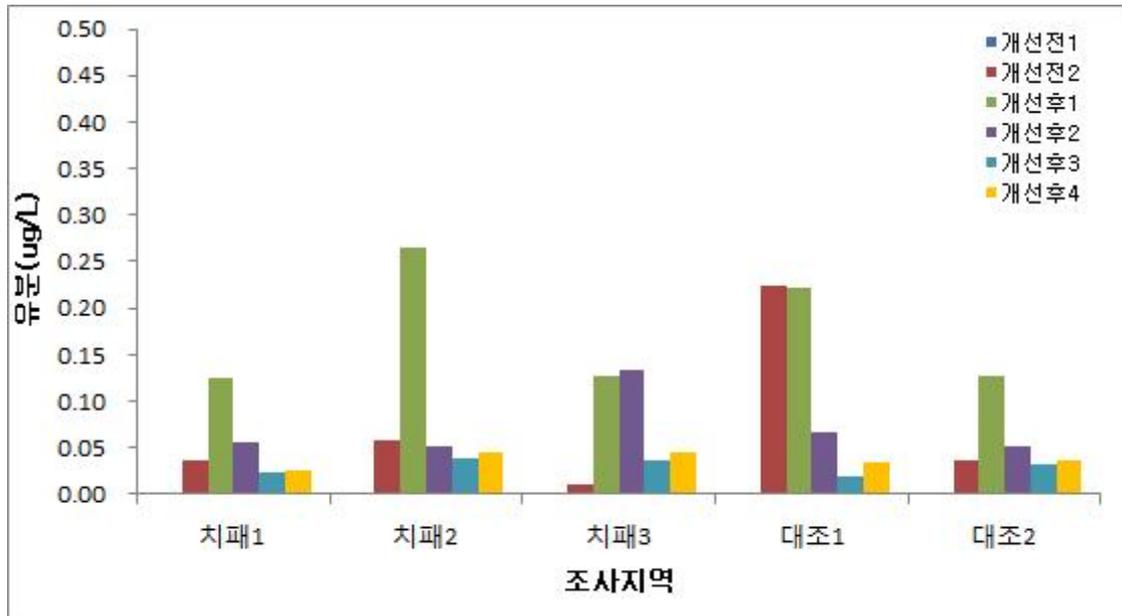


그림 3-3-58. 무안 송계 치패발생장 공극수내 조사지역별 유분의 농도.

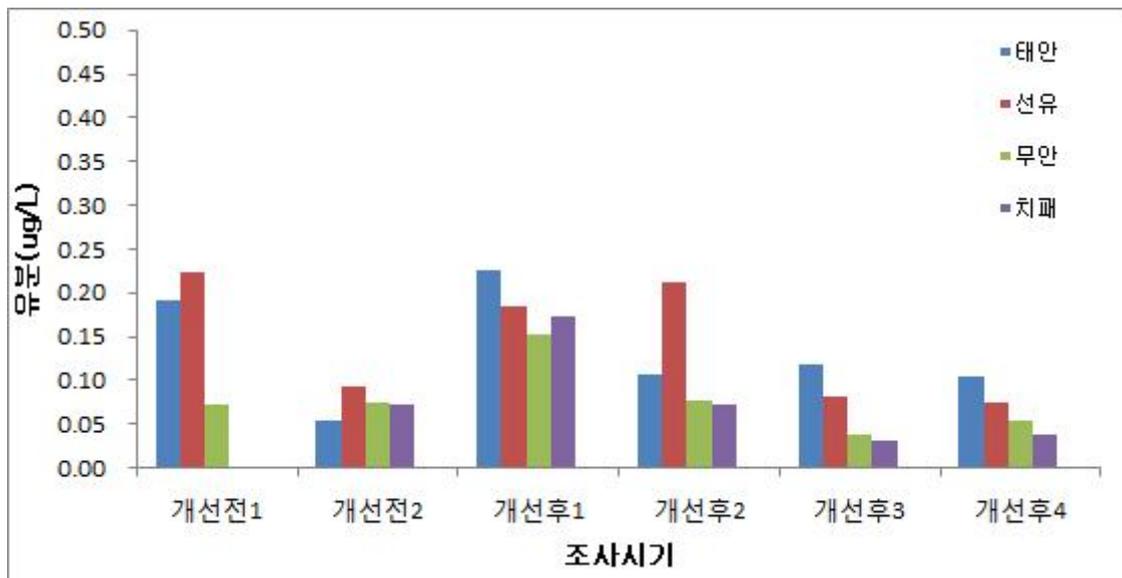


그림 3-3-59. 무안 송계 치패발생장 공극수내 조사시기별 유분의 농도.

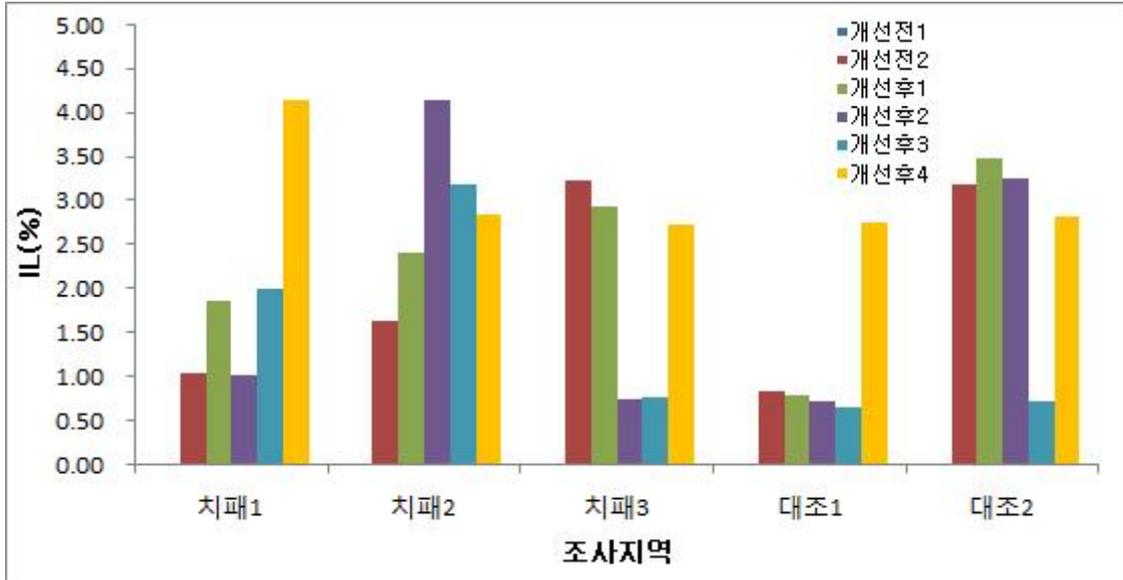


그림 3-3-60. 무안군 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 강열감량의 농도.

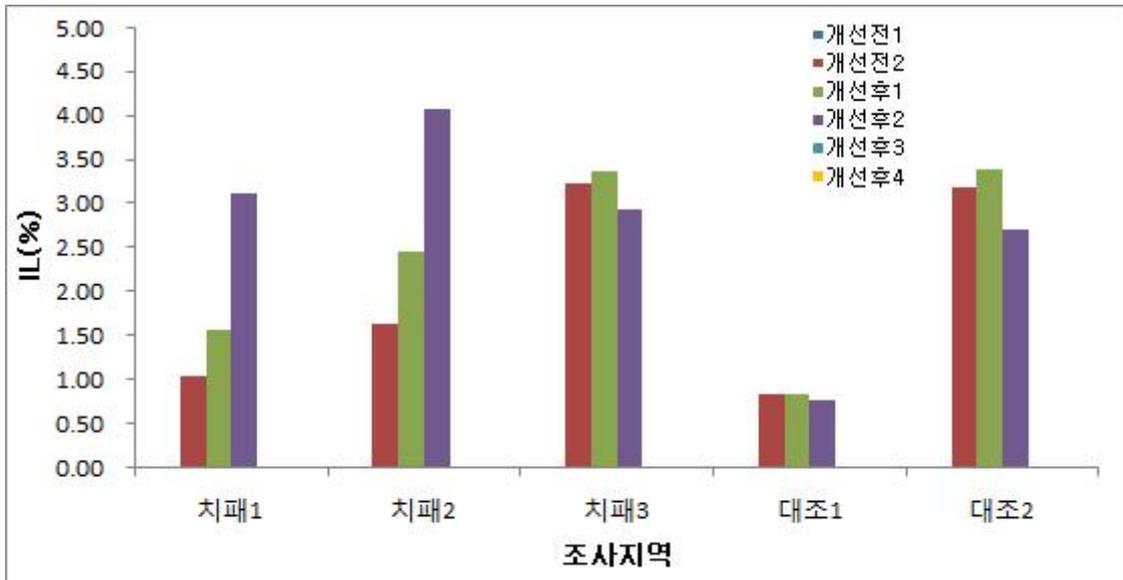


그림 3-3-61. 무안군 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 강열감량의 농도.

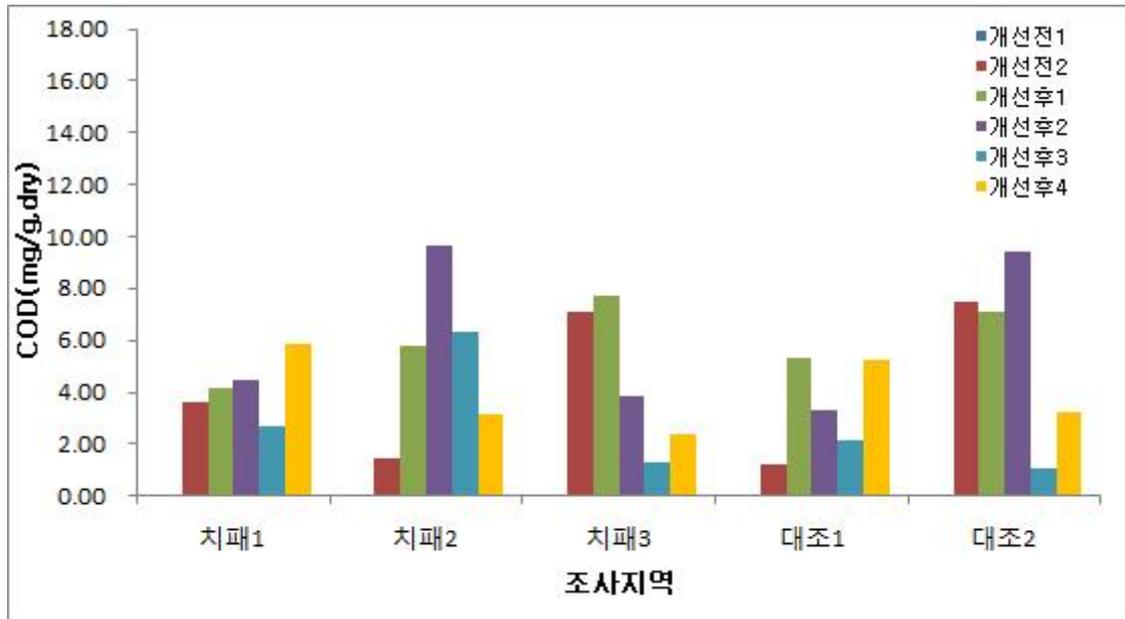


그림 3-3-62. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.

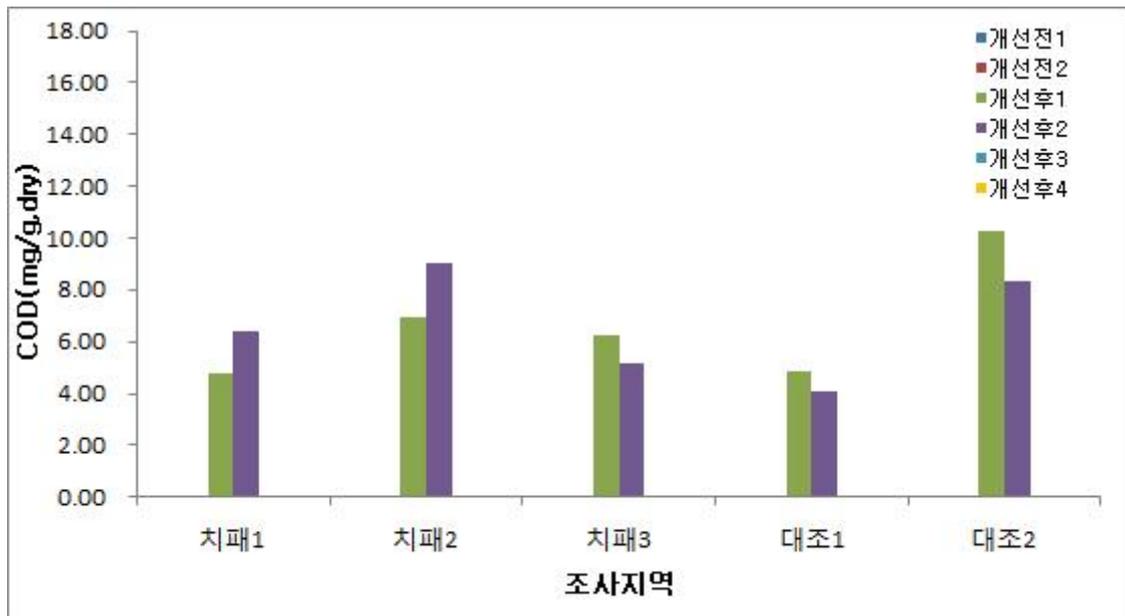


그림 3-3-63. 무안 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 화학적산소요구량의 농도.

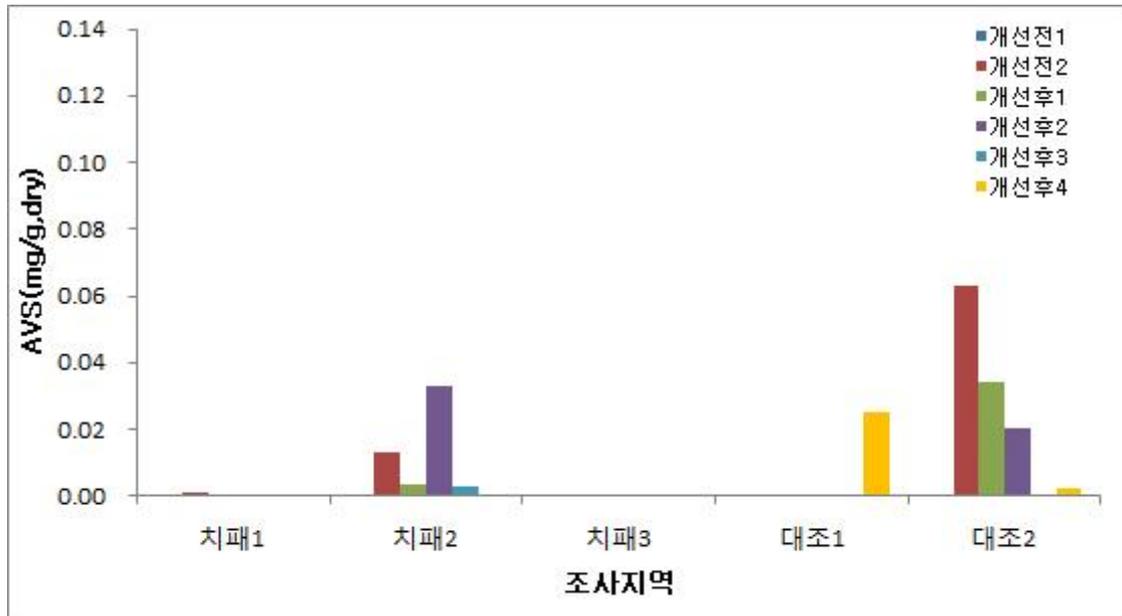


그림 3-3-64. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.

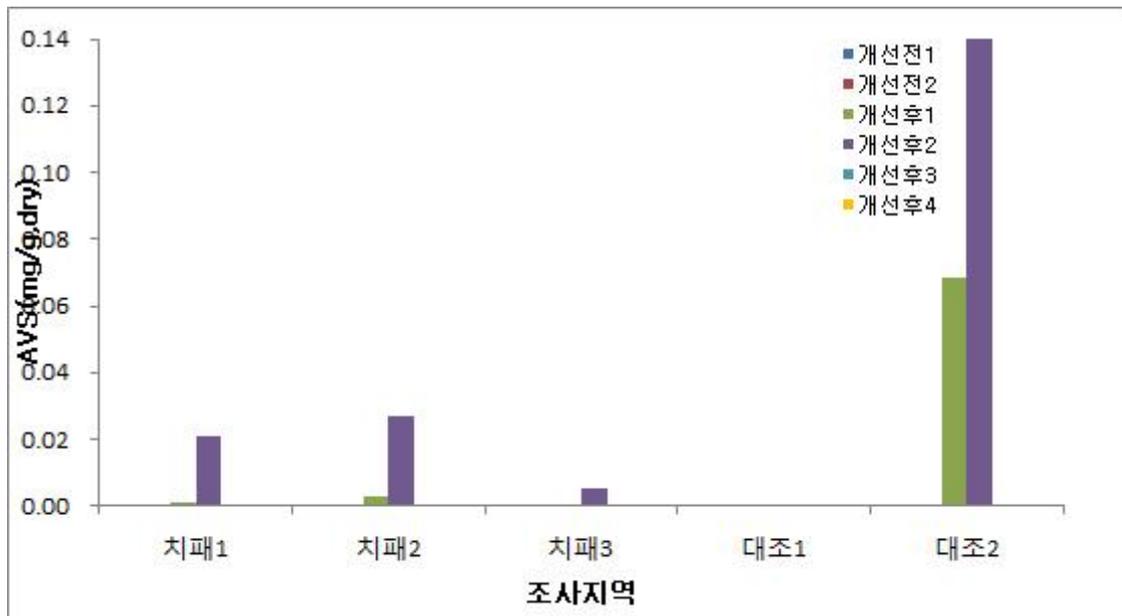


그림 3-3-65. 무안 송계 치패발생장의 아표층퇴적물내 산취발성황화물의 농도.

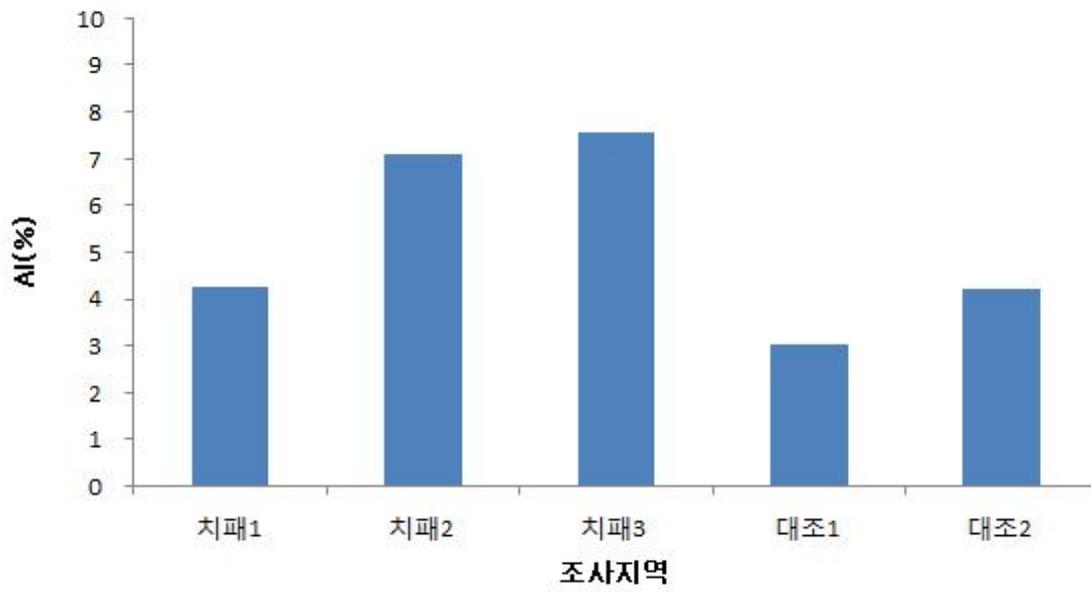


그림 3-3-66. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 알루미늄 농도.

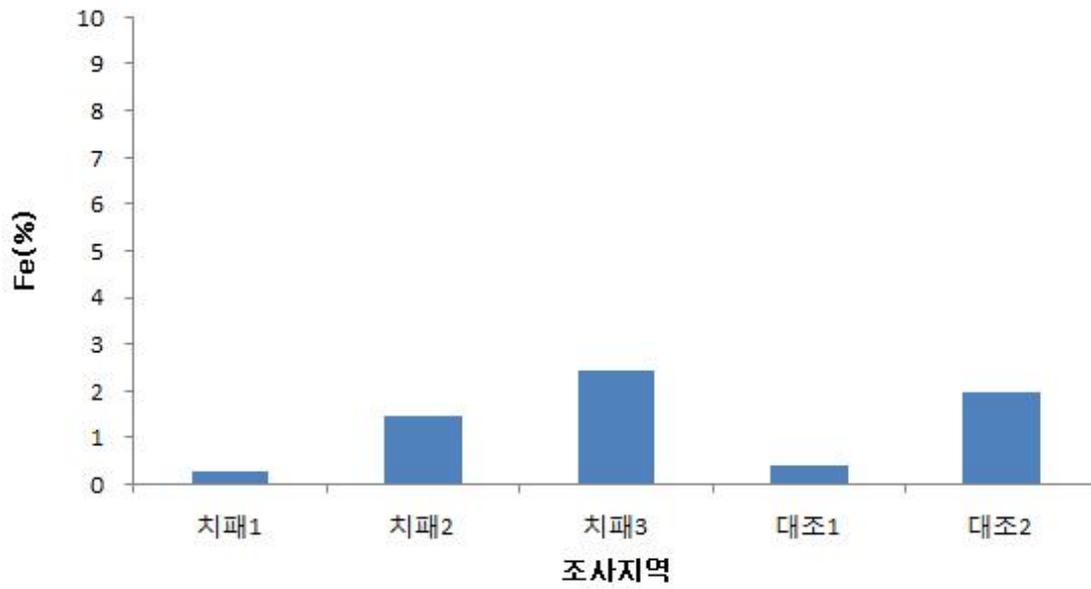


그림 3-3-67. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 철 농도.

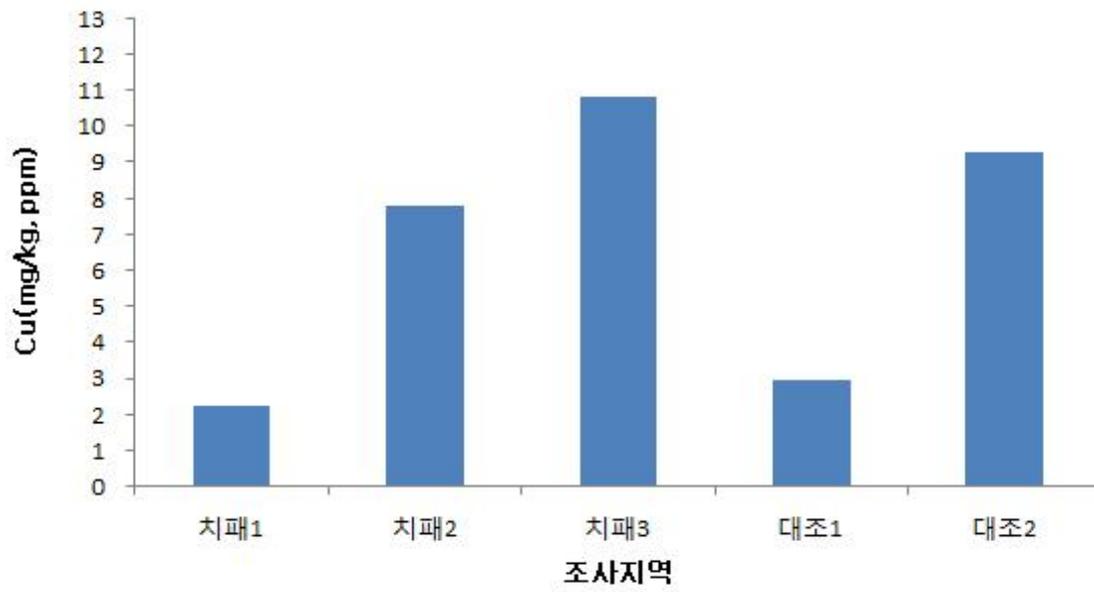


그림 3-3-68. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 구리 농도.

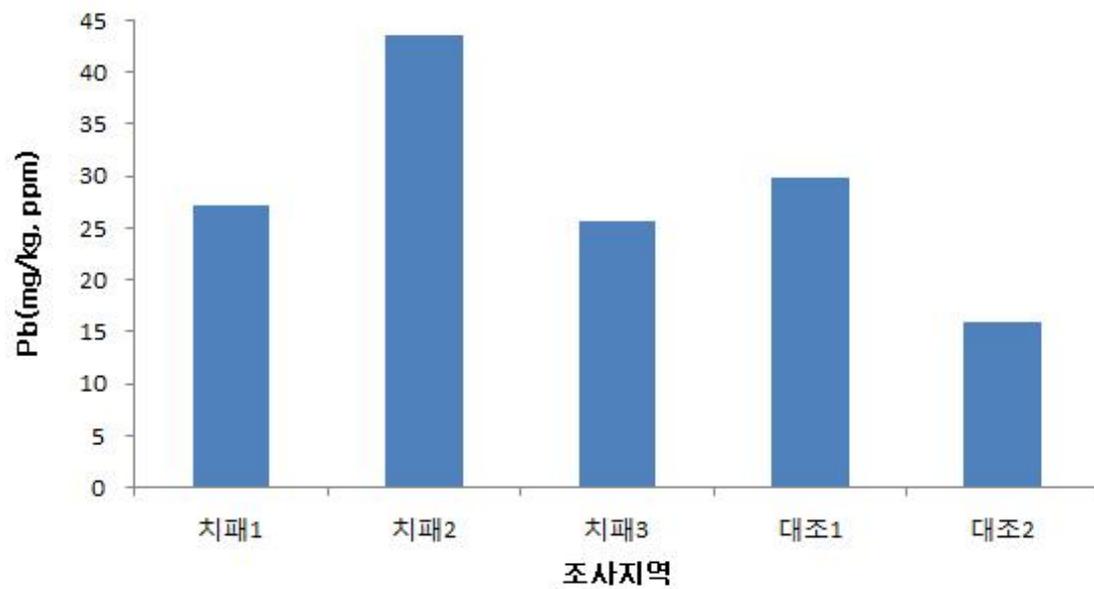


그림 3-3-69. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 납 농도.

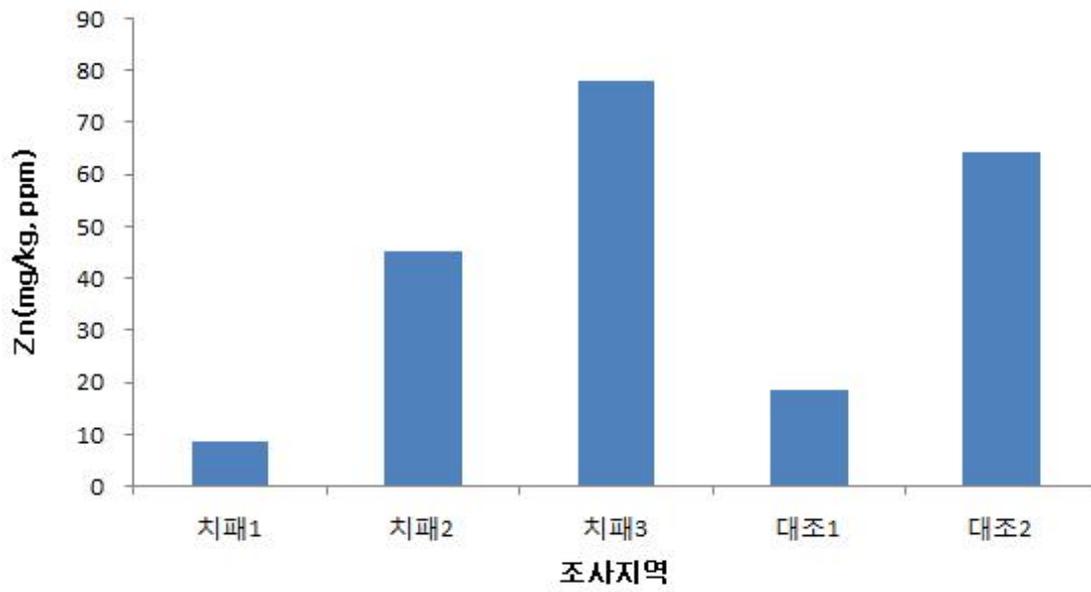


그림 3-3-70. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 아연 농도.



그림 3-3-71. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 카드뮴 농도.

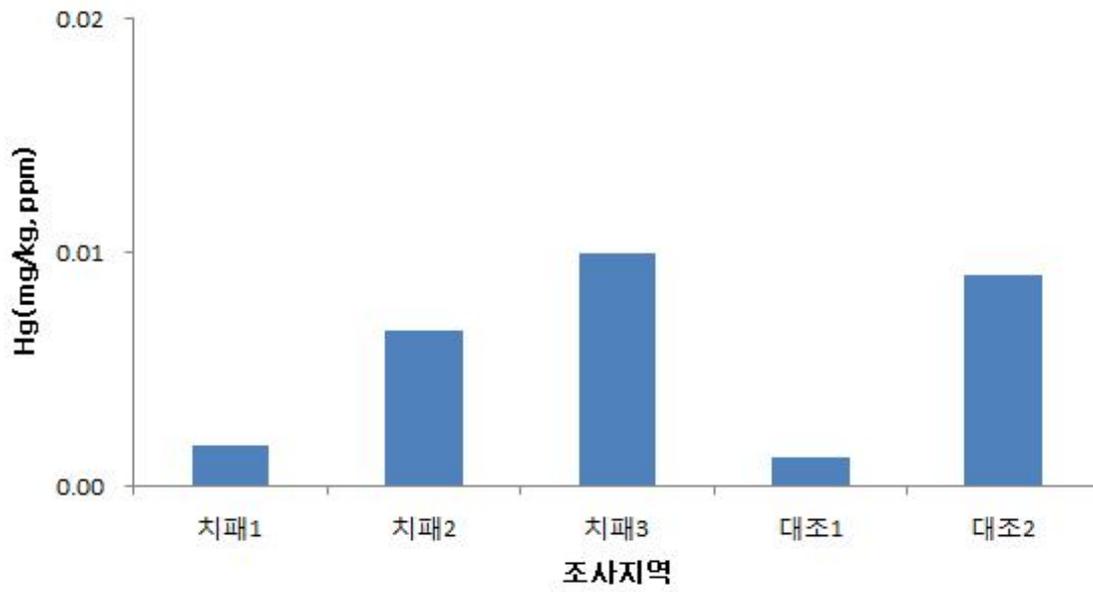


그림 3-3-72. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 수은 농도.

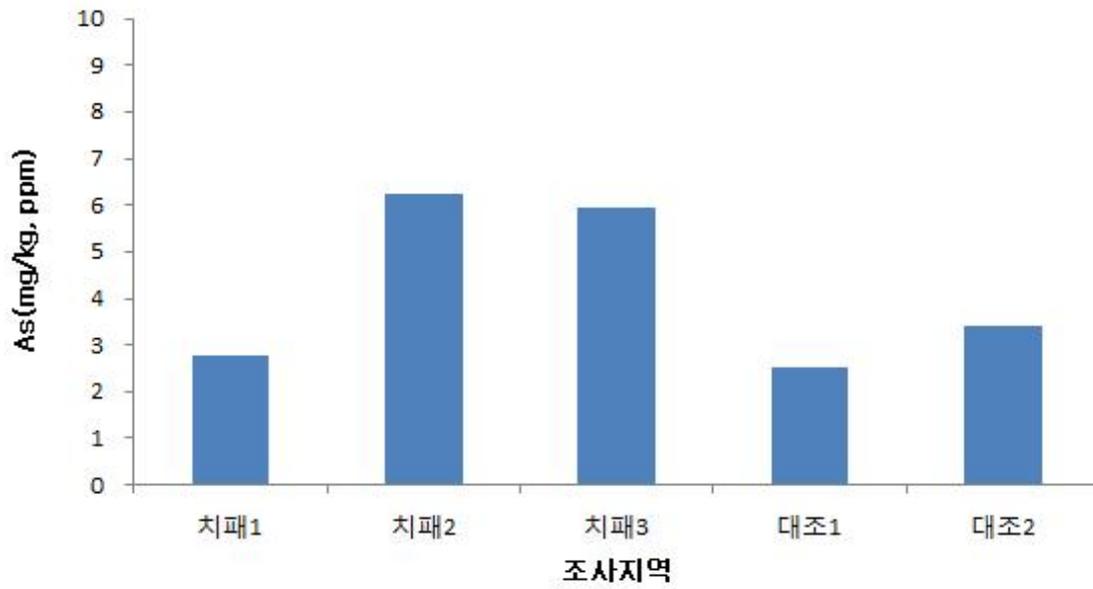


그림 3-3-73. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 비소 농도.

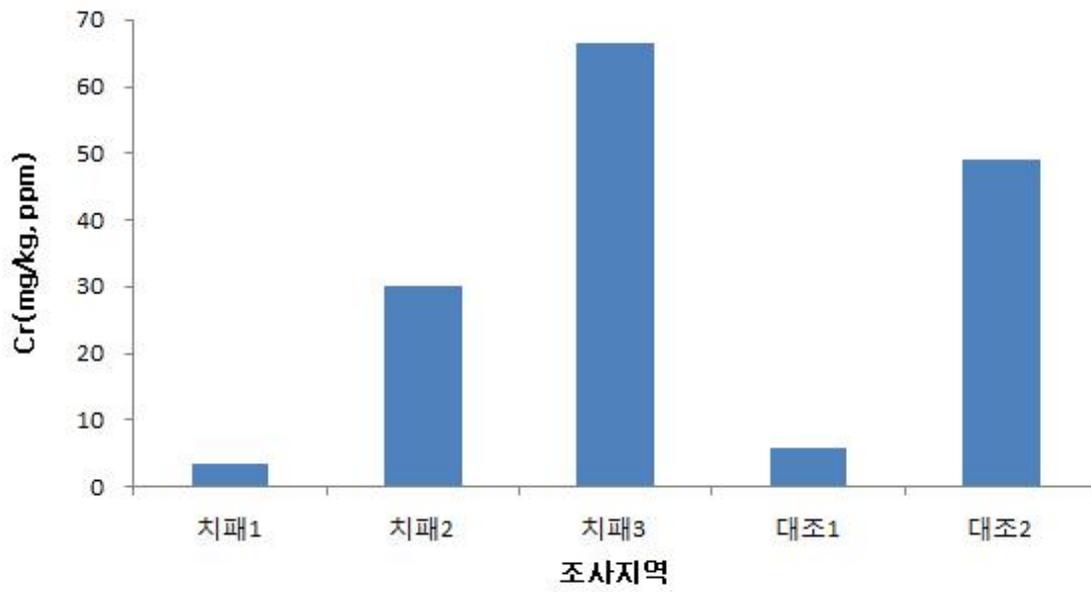


그림 3-3-74. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 크롬 농도.

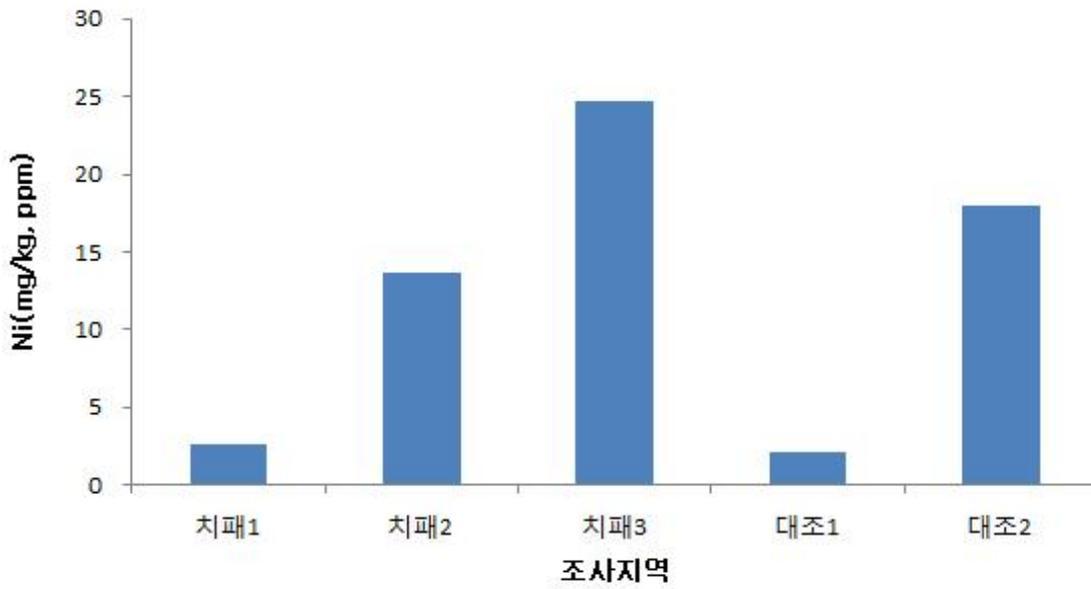


그림 3-3-75. 무안 송계 치패발생장의 표층퇴적물 내 정점별 니켈 농도.

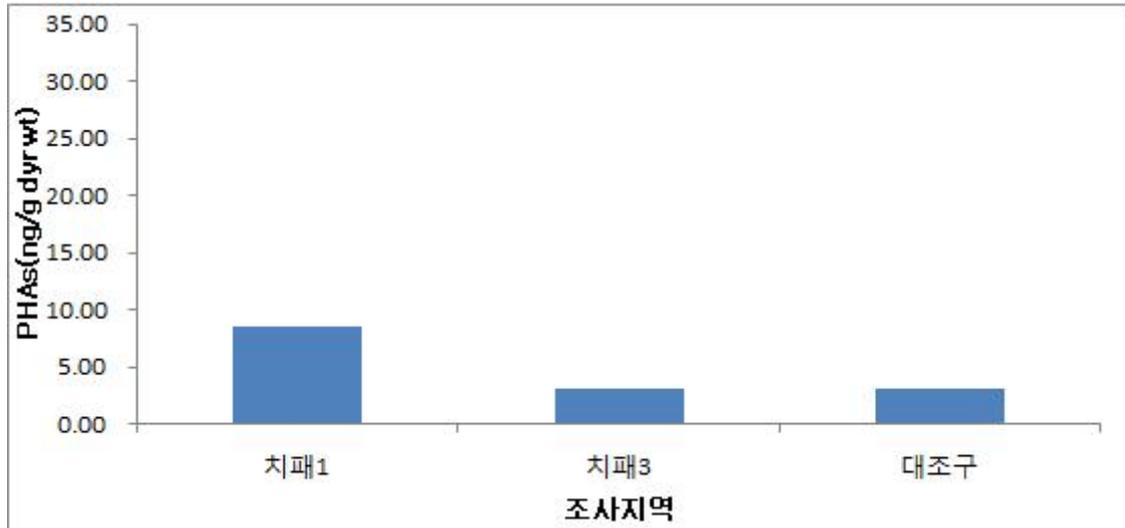


그림 3-3-76. 무안 송계 치패발생장의 퇴적물내 다환방향족탄화수소의 농도.

표 3-3-13. 2009년 태안 갯벌어장의 PAHs 농도(국토해양부, 2009) (ng/g D.W.)

지역 월	을왕리(EW)		의항리(EH)		파도리(PD)		신두리(SD)		고남(GN)	
	표층	아표층	표층	아표층	표층	아표층	표층	아표층	표층	아표층
1월	16.7	17.0	51.4	34.3	32.2	31.4	7.1	18.6		
2월	18.2	17.5	51.2	35.1	41.7	34.0	6.7	10.6	21.8	16.5
3월	14.2	15.3	56.7	38.6	43.1	34.1	6.5	12.5	21.2	18.1
4월	13.2	16.4	44.5	38.8	36.0	24.0	6.3	8.1		
5월	15.6	12.8	50.1	34.7	41.0	37.4	6.8	13.3		
6월	14.2	15.9	49.4	33.7	40.9	36.5	7.6	10.2		
7월	11.6	11.2	51.2	35.9	47.6	40.6	9.6	12.1	22.9	21.5
8월	12.2	11.5	53.0	35.1	48.1	39.3	10.2	12.0		
9월	10.8	10.5	49.9	35.8	44.4	38.6	9.4	9.8	24.4	20.3
10월	9.6	9.7	43.1	35.0	43.8	39.0	8.8	10.0	23.2	19.5
11월	9.7	8.7	43.3	44.2	45.5	41.2	8.6	9.5	22.3	18.8
12월	9.0	9.8	43.3	40.7	44.5	42.2	8.1	9.0	23.3	18.1
평균	12.9	13.0	48.9	36.8	42.4	36.5	8.0	11.3	22.7	19.0
표준편차	3.0	3.2	4.4	3.1	4.6	5.1	1.3	2.8	1.1	1.6
변동계수	22.9	24.6	9.0	8.5	10.8	13.9	16.7	24.5	4.7	8.6

제 4절 결론

어장환경개선효과조사를 규명하기 위해서 태안유류오염의 영향권 내의 위치하는 3개의 패류어장(태안 마검포, 군산 선유도, 무안 만풍리)을 대상으로 어장환경개선효과를 분석하였으며, 바지락 종패발생장의 특성을 규명하기 위하여 어장환경특성을 분석하였다. 어장환경개선효과를 분석하기 위해 표층퇴적물의 입도분석, 공극수내 유분, 강열감량, 화학적산소요구량, 산화발성황화물, 미량금속 및 다환방향족탄화수소(PAHs)의 개선전과 개선후의 평균농도를 이용하여 경향을 분석하였다.

태안 마검포 어장환경개선지역(180 ha)에서 잡석채집 및 운반(50 ha), 경운작업(180 ha), 모래살포작업(37 ha)을 수행하였다. 퇴적물은 모래가 100%로 모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선전 0.15 ug/L, 개선후 0.15 ug/L로 농도의 차이가 없었으나 개선후 1차 조사에 일시적으로 증가하였다가 시간이 경과하면서 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선전 0.76%, 개선후 0.65%로 계절적으로 감소하는 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선전 4.2 mgO₂/g·dry, 개선후 2.4 mgO₂/g·dry로 현저히 감소하는 경향을 보였다. 산화발성황화물은 개선전 0.005 mgS/g·dry, 개선후 0.002 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았으나 비소(As)가 6.5 ppm(ERL: 8.5 ppm)으로 다른 미량금속에 비해 높은 경향을 보였다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 개선전 0.45 ng/g (D.W), 개선후 5.86 ng/g (D.W)로 높았으나 우리나라 다른 지역보다 높은 경향은 아니며, 개선후 높아지는 경향보다는 계절적인 변화로 판단된다.

군산 선유도 어장환경개선지역(25 ha)에서 잡석제거(492 m³), 조간대폐기물제거(61.04 ton), 투석(492 m³)을 수행하였다. 퇴적물은 자갈이 2.1%, 모래가 54.9%, 펄이 43.0%로 역니질모래 퇴적상과 실트질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선전 0.15 ug/L, 개선후 0.14 ug/L로 유사한 경향을 보였으나 개선후 3차 조사부터 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선전 2.4%, 개선후 2.4%로 유사한 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선전 5.3 mgO₂/g·dry, 개선후 6.8 mgO₂/g·dry로 개선후 증가하였다가 감소하는 경향을 보였다. 산화발성황화물은 개선전 0.024 mgS/g·dry, 개선후 0.009 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 개선전 4.2 ng/g (D.W), 개선후 17.7 ng/g (D.W)로 개선후 높아지는 경향보다는 계절적인 변화로 판단된다.

무안 만풍리 어장환경개선지역(54 ha)에서 경운(54 ha)과 조간대방치 폐기물 수거작업(2 ton)을 수행하였다. 만풍어장의 퇴적물은 자갈이 2.9%, 모래가 30.8%, 펄이 66.4%로 니질이 우세한 역질니 퇴적상과 역니질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 개선전 0.09 ug/L, 개선후 0.07 ug/L로 개선후 증가하였다가 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보였다. 강열감량은 개선전 3.8%, 개선후 2.8%로 계절적으로 감소하는 경향을 보였다. 화학적산소요구량은 개선전 6.5 mgO₂/g·dry, 개선후 7.1 mgO₂/g·dry로 개선후 증가하였다가 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보였다. 산취발성 황화물은 개선전 0.042 mgS/g·dry, 개선후 0.032 mgS/g·dry로 감소하는 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 개선어장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 20.5 ng/g (D.W), 대조구는 14.3 ng/g (D.W)로 다른 어장보다 펄의 함량이 많아 잔류농도가 상대적으로 높은 경향인 것으로 판단된다.

무안 송계 바지락치패 발생장의 퇴적물은 자갈이 17.5%, 모래가 74.6%, 펄이 7.9%로 굵은 모래가 우세한 역니질모래 퇴적상과 역질모래 퇴적상이 우세하게 분포하였다. 퇴적물내 공극수의 유분함량은 치패발생장이 0.07 ug/L, 대조구가 0.09 ug/L로 치패발생장이 대조구보다 낮은 경향을 보였다. 강열감량은 치패발생장이 2.3%, 대조구가 1.9%로 큰 차이는 없었다. 화학적산소요구량은 치패발생장이 4.6 mgO₂/g·dry, 대조구가 4.6 mgO₂/g·dry로 유사한 경향을 보였다. 산취발성황화물은 치패발생장이 0.035 mgS/g·dry, 대조구가 0.043 mgS/g·dry로 유사한 경향을 보였다. 미량금속의 10개 항목은 치패발생장과 대조구에서 NOAA의 ERL 기준을 초과하는 농도가 검출되는 원소는 나타나지 않았다. 다환방향족탄화수소(PAHs)는 치패발생장이 11.8 ng/g (D.W), 대조구가 3.2 ng/g (D.W)로 다른 지역에 비해 가장 낮은 경향을 보였다. 무안 송계 치패발생장은 모래언덕(Sand bar)이 발달되어 굵은 모래함량이 높고, 조간대의 조류로와 사주가 형성되어 노출시간이 2~3시간을 유지할 수 있는 지역이 분포하고 있다. 또한, 조류로와 인접해 밀물과 썰물 때 와류가 형성될 수 있는 지역과 조간대가 완만한 경사로 이루어져 있어 자연치패 발생장으로 좋은 여건을 갖추고 있다. 따라서 무안 바지락 치패발생장은 지형적인 특성과 환경적으로 바지락치패가 발생할 수 있는 요건을 갖추고 있는 지역으로 판단된다.

본 조사결과는 태안 마검포, 군산 선유도, 무안 만풍리 3개 패류어장에서 어장환경을 개선한 후 6개월의 짧은 조사 기간 동안에 환경적인 개선효과를 규명하는데 시간적인 제약이 있어 뚜렷한 개선효과는 나타나지 않았다. 향후 어장환경 개선효과를 밝히기 위해서는 체계적이고, 장기적인 과학적 조사를 수행하여야 규명할 수 있을 것으로 판단된다.

제 4 장 저서생물 조사

제 1 절 연구개요

1. 연구내용

본 조사는 유류 피해어장 환경개선사업 전·후에 따른 대형저서동물 군집 구조의 변화와 사업에 따른 우점종의 종조성, 밀도 및 생체량의 상호 비교 분석을 통한 종 다양도의 변화를 통해 얻어진 어장환경 개선 효과 자료를 제공하고자 하였다.

2. 조사어장 개황

본 과업의 조사지역은 유류피해어장으로 충남연안 1(태안양식 제 421호), 전북연안 1(군산 마을어업 제 5254호), 전남연안 1(무안 마을어업 제 2055호) 및 자연치패 발생어장 1(무안양식 제 10218호 내측)을 대상으로 조사를 실시하였다.

조사 대상 어장을 살펴보면 충남 태안어장은 총 면적 20.5 ha로 충남 태안군 태안남부수협 어촌계에 소속되어있는 원청리 어촌계 어장으로 주 양식대상생물은 바지락으로 조사되었다. 본 어장의 개선사업은 2010년 10월 5일 시작하여 2010년 10월 13일에 종료하였으며, 개선사업으로는 잡석제거와 경운작업을 한 후 자갈을 살포하였다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 굴삭기, 경운기를 이용하여 어장환경 개선을 하였다.

전북 군산어장은 바지락 양식장으로 군산시 선유도리에 위치하고 있으며 선유도 마을어업 제5254호로 총 면적 23 ha로 조사되었다. 본 어장의 환경개선사업은 2010년 10월 6일 시작하여 2010년 10월 23일에 종료했으며, 개선사업으로는 잡석제거 및 운반, 투석작업과 조간대 폐기물 수거 및 운반 작업을 실시한 것으로 나타났다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 로우더, 예선, 대선, 굴삭기를 이용하여 개선사업을 실시하였다.

전남 무안어장은 무안군 만풍리 신흥마을 앞 어장에 위치한 무안마을 제 2055호로 총 면적은 54 ha로 구성되어 있으며, 주 양식대상생물은 갯지렁이류와 낙지, 기타 조개이며 어장 환경개선사업은 2010년 9월초에 시작하여 2010년 10월 20일에 종료한 것으로 조사되었고, 개선사업 내용으로는 폐지주 제거, 운반, 육상 하역 및 조간대 폐기물 수거작업과 어장 바닥 경운 작업을 통해 가연성 폐기물 및 철재류 폐기물을 수거하는 방식으로 진행되었다. 어장 개선사업에 사용된 장비로는 작업선과 운반선을 이용하여 가연성 폐기물(폐지주 80 ton, 가연성 18 ton) 및 철재류 폐기물(폐지주 33 ton)을 수거하였다.

전남 무안치패어장은 바지락이 자연적으로 발생하는 어장으로 무안군 송석리 송계마을 앞 지주식 김 양식장(무안 제 10218호, 180 ha)과 중첩된 지역으로, 지반은 모래와 펄이 혼합된 형태로서 바지락 치패가 서식하기에 적당한 형태를 띠고 있었으며, 간조 때 모래사면이 드러나며, 본 어장의 지역은 어장 개선사업을 하지 않은 것으로 조사되었다.

3. 조사 정점 및 시기

본 과업의 조사정점은 각 어장에서 사업내측(어장) 3정점과 사업외측(대조구) 2정점을 선정하여 조사를 실시하였다. 조사 시기는 총 6회로 예비조사 1회, 사업 전 1회, 사업 후 4회를 실시되었다(표 4-1-1).

표 4-1-1. 어장환경 개선사업 조사 시기

조사 시기	태안	군산	무안	무안(치패)	비고
1차 조사	2010.07.29	2010.07.30	2010.07.31		
2차 조사	2010.10.07	2010.09.09	2010.10.06	2010.10.06	
어장정화사업	10월 5일(시작)~ 10월 13일(종료)	10월 6일(시작)~ 10월 23일(종료)	9월 초(시작)~ 10월 20일(종료)	-	
3차 조사	2010.10.20	2010.10.27	2010.11.04	2010.11.04	
4차 조사	2010.12.09	2010.12.10	2010.12.05	2010.12.05	
5차 조사	2011.01.19	2011.01.20	2011.01.18	2011.01.18	
6차 조사	2011.03.22	2011.03.23	2011.03.24	2011.03.24	

4. 조사좌표

어장환경개선사업에 대한 어장별 정점 좌표현황은 다음과 같다(표 4-1-2).

표 4-1-2. 어장환경 개선사업 조사좌표

조사 지역	어장 구분	정점	N	E	비고
태안	사업내(어장)	사업내1	36° 37' 518"N	126° 17' 638"E	
		사업내2	36° 37' 451"N	126° 17' 838"E	
		사업내3	36° 37' 567"N	126° 17' 812"E	
	대조	대조1	36° 37' 774"N	126° 17' 956"E	
		대조2	36° 37' 797"N	126° 17' 763"E	
군산	사업내(어장)	사업내1	35° 48' 935"N	126° 25' 310"E	
		사업내2	35° 48' 883"N	126° 25' 235"E	
		사업내3	35° 48' 828"N	126° 25' 152"E	
	대조	대조1	35° 48' 912"N	126° 25' 090"E	
		대조2	35° 49' 025"N	126° 25' 180"E	
무안	사업내(어장)	사업내1	35° 07' 876"N	126° 19' 197"E	
		사업내2	35° 08' 055"N	126° 19' 353"E	
		사업내3	35° 08' 214"N	126° 19' 472"E	
	대조	대조1	35° 08' 418"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 08' 560"N	126° 19' 579"E	
무안(치패)	어장내(어장)	어장내1	35° 09' 623"N	126° 19' 850"E	
		어장내2	35° 09' 595"N	126° 19' 583"E	
		어장내3	35° 09' 538"N	126° 19' 460"E	
	대조	대조1	35° 09' 669"N	126° 19' 540"E	
		대조2	35° 09' 708"N	126° 19' 680"E	

* 무안(치패)어장은 어장개선사업 미실시

제 2 절 재료 및 방법

본 조사의 현장조사는 총 6회 실시하였으며, 현장 조사 시 사용된 채집 도구는 어장 상태에 따라 총 2가지 종류를 이용하였다. 태안과 선유도 어장에서는 어장에 직접 들어가 캔코어(가로20cmx세로12cmx높이30cm)를 이용하여 샘플 하였으며, 무안 어장은 니질이 강한 갯벌로 깊이 빠지는 연성저질이 잘 발달한 어장으로 직접 들어가 샘플 하는데 있어서 다소 어려움이 있었다. 따라서 본 조사에서는 선상에서 개량된 van-Veen Grab(가로30cm×세로25cm)을 이용하여 조사를 시행하였다.

조사는 1정점 당 3회씩 채집하여 단위 m²당 개체수로 나타내었다. 샘플된 저질은 현장에서 망목 1mm의 표준체로 체질한 후 지퍼백에 넣어 10% 중성포르말린으로 고정시킨 후 군산대학교 자원생태실험실로 운반하여, 다시 망목 1mm의 표준체로 거른 후 저서동물만 선별하였다. 선별된 시료를 분류군별로 분류한 다음 10% 중성 포르말린과 80% 메틸알코올을 이용하여 고정·보관하여 입체해부현미경으로 가능한 한 종 단위까지 동정·계수하고, 1 m²당 개체수로 환산하였다. 분류 및 동정은 백(1989), 류(1995), 김(1973), 홍(2006), 민(2001), 김(1977), 신과 노(1996) 등의 자료를 이용하였다.

조사어장의 대형저서동물 군집구조를 파악하기 위한 생태학적 제지수는 다양도 지수(Shannon and Wiener, 1963), 우점도 지수(Simpson, 1949), 균등도 지수(Pielou, 1977)로 계산하였으며, 그 공식은 다음과 같다.

$$\text{다양도 지수 } H' = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

$$\text{우점도 지수 } \lambda = \sum_{i=1}^s n_i i (n_i - 1) / N(N - 1)$$

$$\text{균등도 지수 } J = H' / \ln S$$

S : 한 정점에서 출현한 총 출현종수

N : 한 정점에서 출현한 총 개체수

n_i : 한 정점에서 출현한 i번째 종의 개체수

P_i : 총 출현 개체수(N)에 대한 i번째 종의 개체수(n_i)의 비율(n_i/N)

제 3 절 결과 및 고찰

1. 태안

가. 출현종

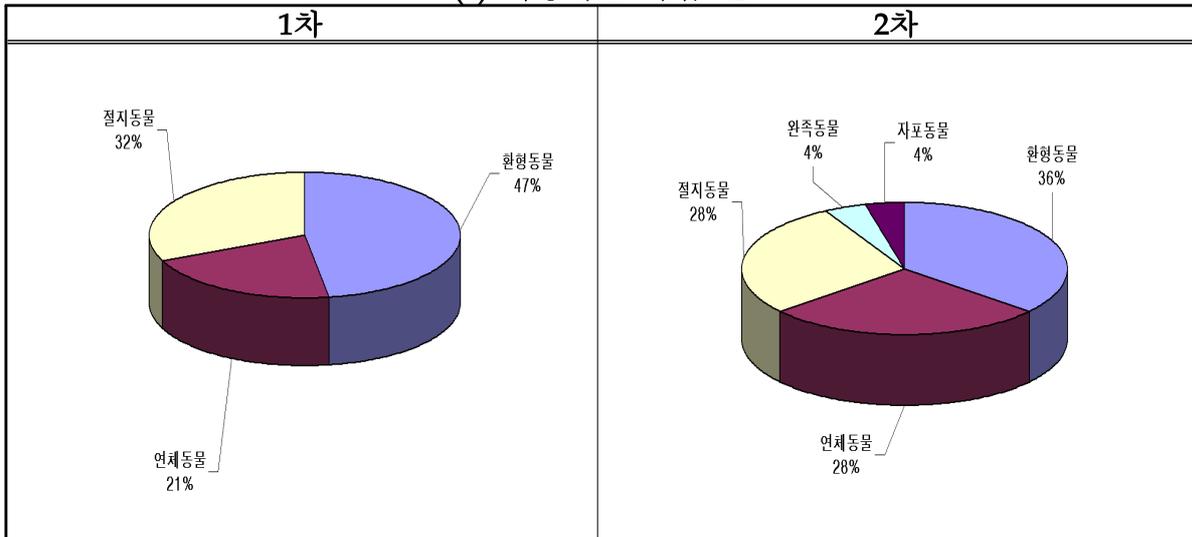
어장환경 개선사업에 따른 태안어장의 정화사업 전·후의 출현종의 변화를 살펴보면 <그림 4-3-1>과 같다.

개선사업 전의 1차 조사에서 출현한 저서동물은 총 3문 19종으로, 이 중에서 환형동물문이 9종 47%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 절지동물문 6종 32%, 연체동물문 4종 21%로 나타났으며, 2차 조사에서는 총 5문 28종으로 환형동물문이 10종 36%로 가장 높은 출현율을 나타냈으며, 다음으로 연체동물문과 절지동물문이 각각 8종 28%, 완족동물문과 자포동물문이 각각 1종 4%를 차지하여 태안어장의 어장개선 사업전 조사에서는 평균 4문 24종이 출현하였다.

개선사업 후의 3차 조사에서는 총 3문 27종으로 연체동물문이 11종 41%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물문 10종 37%, 절지동물문 6종 22%로 나타났으며, 4차 조사에서 총 4문 30종으로 연체동물문이 13종 44%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물문이 12종 40%, 절지동물문 4종 13%, 자포동물문 1종 3%로 나타났고, 5차 조사에서는 총 3문 29종으로 환형동물문이 16종 55%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문이 7종 24%, 절지동물문이 6종 21%, 6차 조사에서는 총 3문 26종으로 환형동물문이 11종 42%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문이 9종 35%, 절지동물문 6종 23%로 나타나 어장 개선 사업 후 조사에서는 평균 3문 28종이 출현하였다.

따라서, 동물군별 출현율은 모든 조사시기에서 환형동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 연체동물문 및 절지동물문, 자포동물문, 완족동물문 순으로 출현한 것으로 조사되었다.

(a) 어장개선 사업 전



(b) 어장개선 사업 후

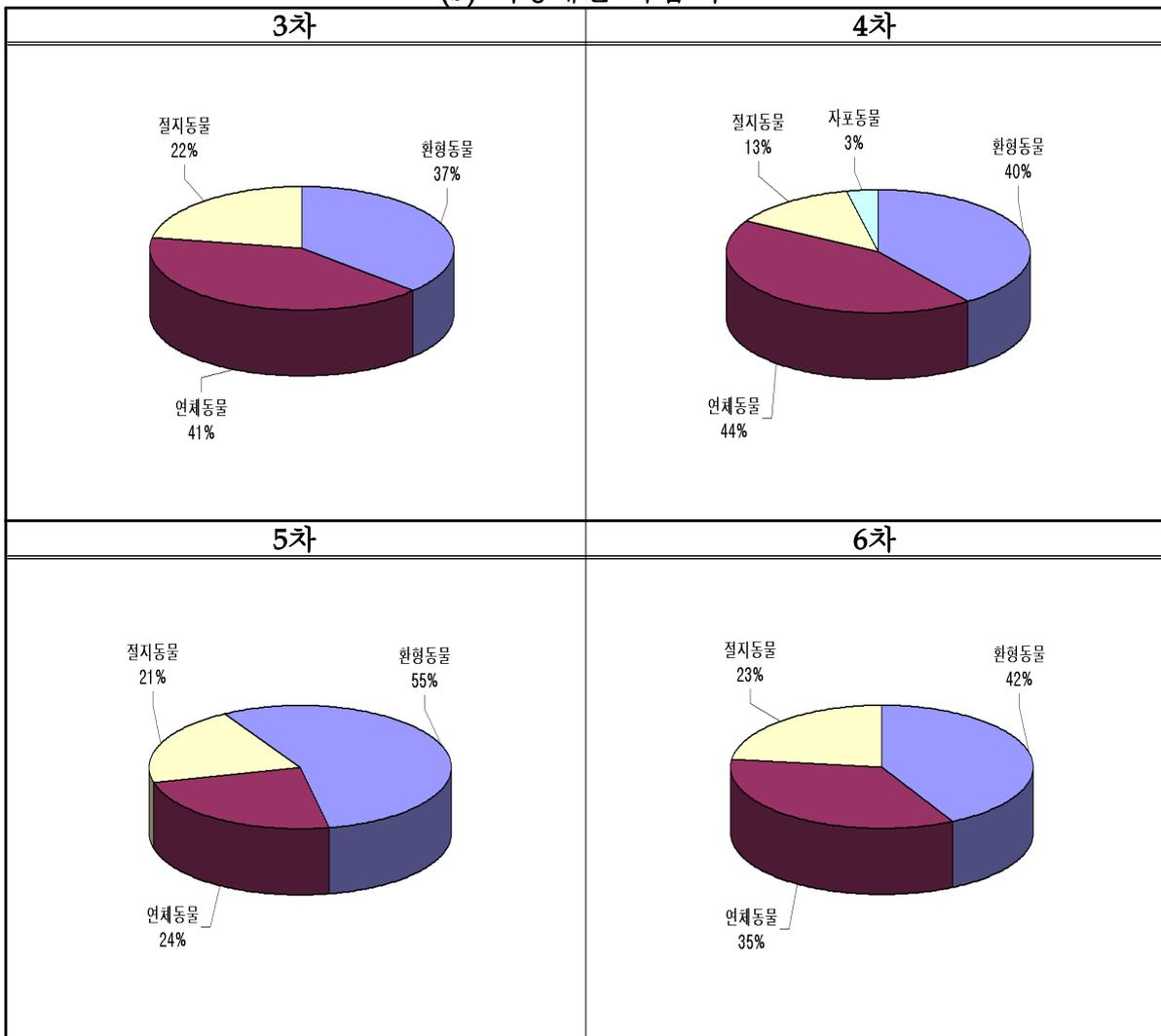


그림 4-3-1. 태안어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.

나. 출현종수 및 개체수

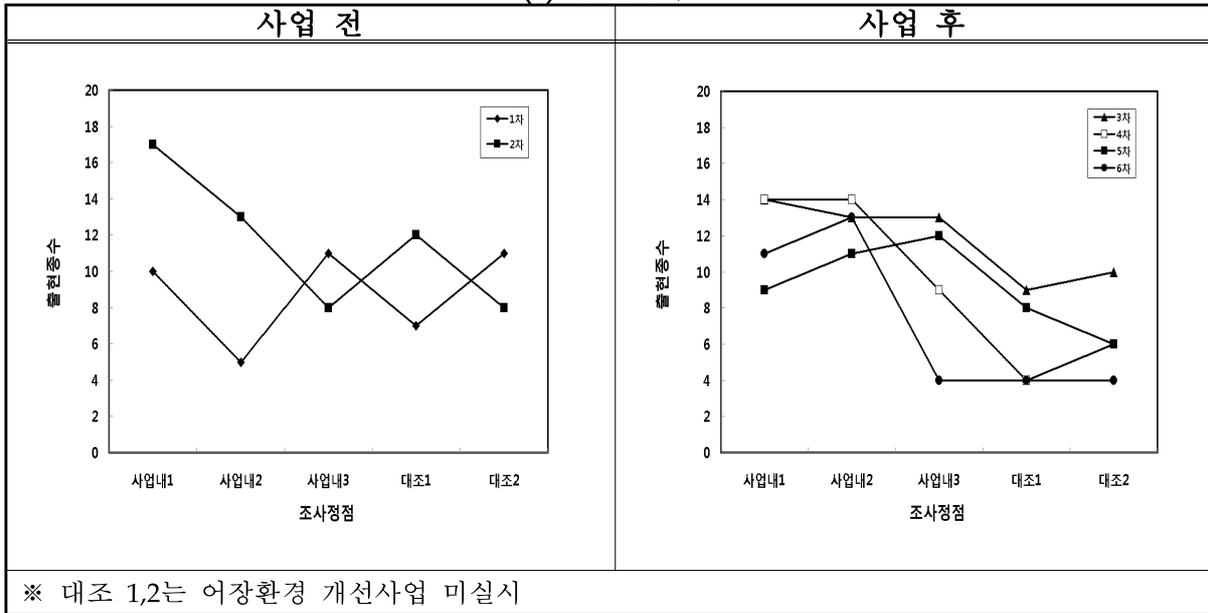
태안 조사의 어장개선사업 전 1, 2차와 개선사업 후의 3~6차까지 저서동물의 출현종수 및 개체수를 살펴보았다.

어장개선사업 전의 1차 조사에서의 출현종수는 5~11종이 출현하였으며, 평균 9종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 376~612 indiv./m² 로, 평균 508 indiv./m² 이었다. 2차 조사에서의 출현종수는 8~17종이 출현하였으며, 평균 12종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 446~2,071 indiv./m² 로, 평균 1,201 indiv./m² 이었다.

어장개선사업 후의 3차 조사에서의 출현종수는 9~14종이 출현하였으며, 평균 12종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 515~3,682 indiv./m² 로, 평균 2,042 indiv./m² 이었다. 4차 조사에서의 출현종수는 4~14종이 출현하였으며, 평균 9종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 84~2,100 indiv./m² 로, 평균 824 indiv./m² 이었다. 5차 조사에서의 출현종수는 6~12종이 출현하였으며, 평균 9종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 140~1,181 indiv./m² 로, 평균 500 indiv./m² 이었다. 6차 조사에서의 출현종수는 4~13종이 출현하였으며, 평균 7종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 56~1,153 indiv./m² 로, 평균 472 indiv./m² 이었다.

출현 종수와 출현 개체수를 어장개선 사업 전과 사업 후로 비교했을 시, 사업 전 조사에서는 2차 조사에서 평균 12종으로 가장 많이 출현하였으며, 출현 종수는 2차 조사의 정점 사업내1 에서 17종으로 가장 많이 출현하였고 출현 개체수는 2차 조사의 정점 사업내3 에서 2,071 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 그리고 사업 후의 조사에서는 3차 조사에서 평균 12종으로 가장 많이 출현하였으며, 출현종수는 3차의 정점 사업내1, 4차의 정점 사업내1, 2에서 각각 14종으로 가장 많이 출현하였다. 출현 개체수는 3차의 정점 사업내2에서 3,682 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 어장환경 개선사업 전과 후의 대형저서동물의 출현종수와 개체수를 비교하면 <그림 4-3-2>와 같다.

(a) 출현종수



(b) 출현개체수 (indiv./m²)

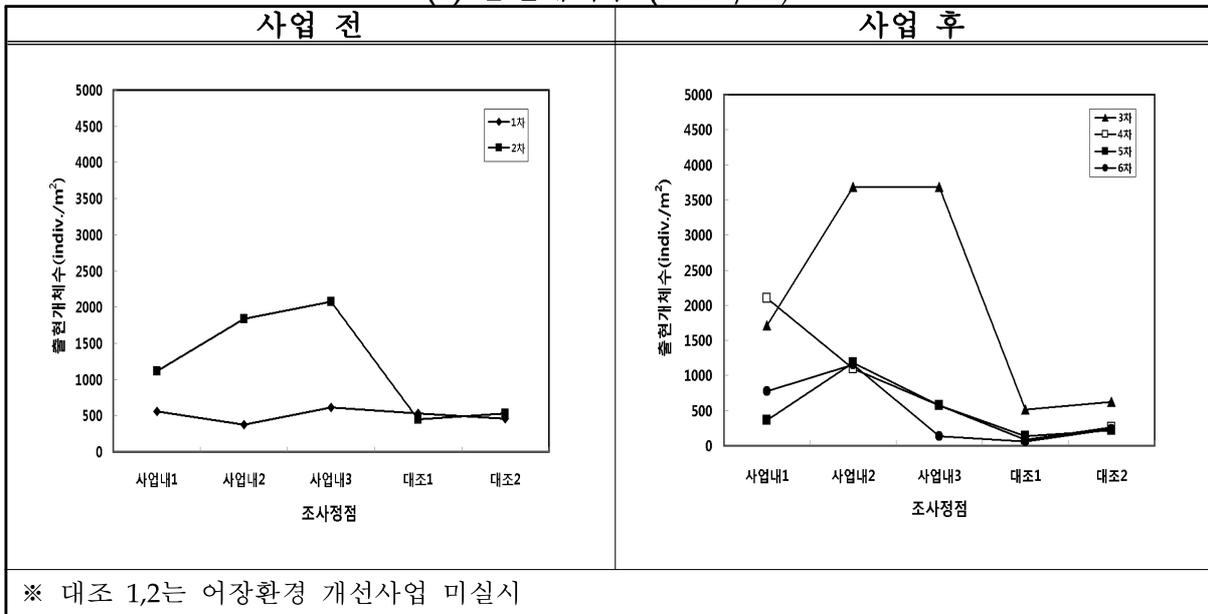


그림 4-3-2. 태안어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.

다. 출현종 및 중량

태안 조사의 정점별 저서동물의 출현종 및 출현량을 살펴보면 1차 조사에서는 총 3문 19종이 출현 하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 사업내3, 대조2에서 11종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 사업내1에서 10종으로 평균 9종이 출현 하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 침보석요정갯지렁이(*Armandia lanceolata*)가 34.05%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 절지동물의 엽낭게(*Scopimera globosa*)가 12.64%, 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 10.99%, 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*)가 8.24%, 번데기요정갯지렁이(*Travisia pupa*)가 7.14%, 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 6.59%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-1). 출현량에 있어서는 절지동물의 족붙이(*Callianasa japonica*)가 29.09%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 18.47%, 연체동물의 빛조개(*Nuttallia japonica*)가 11.24%, 치로리미갑갯지렁이(*Glycera chirori*)가 9.30%, 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 6.52%, 싸리머섯갯지렁이(*Owenia fusiformis*)가 6.44%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다(표 4-3-2).

2차 조사에서는 총 5문 28종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1에서 17종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 사업내2에서 13종, 정점 대조1에서 12종으로 평균 12종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 절지동물의 집게류(*Pagurus* sp.)가 22.51%로 가장 우점 하였으며, 다음으로 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 14.15%, 환형동물의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 11.37%, 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 8.58%, 납작게(*Gaetice depressus*)가 7.42%, 총알고둥(*Littorina (Littorina) brevicula*)이 6.50%, 작은부채발갯지렁이(*Eteone longa*)가 5.80%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-3). 출현량에 있어서는 절지동물의 꽃게(*Portunus (Portunus) trituberculatus*)가 24.46%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 24.20%, 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 14.75%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다(표 4-3-4).

3차 조사에서는 총 3문 27종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1에서 14종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 사업내2, 사업내3에서 각각 13종으로 평균 12종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 17.01%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 13.33%, 집게류(*Pagurus* sp.)가 8.84%, 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 8.84%, 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*)이 8.57%, 납작게(*Gaetice depressus*)가 8.16%, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 5.31%, 총알고둥(*Littorina*

(*Littorina brevicula*)이 5.03%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-5). 출현량에 있어서는 연체동물의 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 61.45%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 어깨빨고둥(*Ceratostoma inornatus*)이 11.91%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 7.52%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다 (표 4-3-6).

4차 조사에서는 총 4문 30종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1, 사업내2에서 각각 14종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 사업내3에서 9종으로 평균 9종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 집게류(*Pagurus sp.*)가 33.08%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 총알고둥(*Littorina (Littorina) brevicula*)과 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*)이 각각 8.45%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)과 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 각각 7.77%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-7). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 18.52%로 가장 우점이었으며, 다음으로는 갯우렁이(*Euspira fortunei*)가 14.51%, 대수리(*Thais (Reishia) clavigera*)가 14.29%, 맵사리(*Ceratostoma rorifluum*)가 11.20%, 자포동물의 풀색꽃해변말미잘(*Anthopleura midori*)이 9.92%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다(표 4-3-8).

5차 조사에서는 총 3문 29종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내3에서 12종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 사업내2에서 11종, 정점 사업내1에서 9종으로 평균 9종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 23.64%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 15.73%, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 10.67%, 납작게(*Gaetice depressus*)가 7.87%, 사각게(*Parasesarma pictum*)가 7.30%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-9). 출현량에 있어서는 굴(*Crassostrea gigas*)이 31.95%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 30.47%, 번데기요정갯지렁이(*Travisia pupa*)가 8.84%, 사각게(*Parasesarma pictum*)가 6.05%, 눈알고둥(*Lunella coronata coreensis*)이 5.52%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다(표 4-3-10).

6차 조사에서는 총 3문 26종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내2에서 13종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 사업내1에서 11종으로 평균 7종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 18.80%로 가장 우점하였으며, 다음으로는 절지동물의 단각류(Amphipoda spp.)가 14.71%, 총알고둥(*Littorina (Littorina) brevicula*)이 9.41%, 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 7.65%, 집게류(*Pagurus sp.*)가 5.88%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-11). 출현량에 있어서는 연체동물의 굴(*Crassostrea*

gigas)이 46.66%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 13.63%, 괴물유령갯지렁이(*Loimia medusa*)가 10.66%의 출현량을 보이고 있었으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보이고 있었다(표 4-3-12).

표 4-3-1. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	10종	5종	11종	7종	11종	9종	100
	557	376	612	528	461	508	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	28		28	14	14	17	3.30
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	56	56			56	33	6.59
짧은다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	14	236	14		14	56	10.99
침보석요정갯지렁이(<i>Armandia lanceolata</i>)	347	28	83	347	56	172	34.05
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	14					3	0.55
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	14	28	14	97	56	42	8.24
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculata orientalis</i>)	28					6	1.10
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	14				14	6	1.10
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)			139		42	36	7.14
연체동물 MOLLUSCA							
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)	28		28	28		17	3.30
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)			83		14	19	3.85
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)			28	14		8	1.65
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			14			3	0.55
절지동물 Arthropoda							
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)					14	3	0.55
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)		28	167		125	64	12.64
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	14					3	0.55
젓새우(<i>Acetes japonicus</i>)			14	14		6	1.10
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)				14		3	0.55
속붙이(<i>Callinasa japonica</i>)					56	11	2.20

표 4-3-2. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	10종	5종	11종	7종	11종	9종	100
	2.31	0.76	2.56	0.17	4.64	2.09	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	0.47		0.16	0.04	0.31	0.19	9.30
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.36	0.19			0.13	0.14	6.52
짧은다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	0.45	0.38	0.84		0.26	0.39	18.47
침보석요정갯지렁이(<i>Armandia lanceolata</i>)	0.07	0.07	0.07	0.05	0.02	0.06	2.66
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.67					0.13	6.44
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.02	0.04	0.02	0.04	0.19	0.06	2.99
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculata orientalis</i>)	0.07					0.01	0.66
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	0.18				0.23	0.08	3.86
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)			0.12		0.26	0.08	3.68
연체동물 Mollusca							
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)	0.01		0.01	0.01		0.01	0.27
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)			0.02		0.02	0.01	0.37
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)			0.01	0.01		0.004	0.17
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			1.17			0.23	11.24
절지동물 Arthropoda							
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)					0.11	0.02	1.06
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)		0.08	0.13		0.08	0.06	2.80
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.01					0.003	0.12
젓새우(<i>Acetes japonicus</i>)			0.01	0.01		0.004	0.19
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)				0.01		0.002	0.11
속붙이(<i>Callinasa japonica</i>)					3.03	0.61	29.09

표 4-3-3. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	17종	13종	8종	12종	8종	12종	
	1,113	1,837	2,071	446	529	1,201	100
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)				14		3	0.23
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	97	42	125	125	125	103	8.58
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	28	139	320	56	139	136	11.37
침보석요정갯지렁이(<i>Armandia lanceolata</i>)	14			28	28	14	1.16
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	83			14	14	22	1.86
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	14			111		25	2.09
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	42			14		11	0.93
흙올타리갯지렁이(<i>Lygdamis giardi</i>)	56			14		14	1.16
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	14	28	69	14		25	2.09
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		181			167	69	5.80
연체동물 Mollusca							
개울타리고둥 (<i>Monodonta (Monodonta) labioconfusa</i>)		14				3	0.23
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	97					19	1.62
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	56	42	139			47	3.94
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)	56	14	320			78	6.50
호룽애기배말 (<i>Patelloida (Asteracmea) pygmaea lampanicola</i>)		56				11	0.93
맹가리(<i>Batillaria cumingi</i>)		278				56	4.64
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)	14				14	6	0.47
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	139	584	125			170	14.15
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	250	56	139			89	7.42
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				28		6	0.47
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				14		3	0.23
두드러기네뿔니부채게(<i>Pilumnopus makianus</i>)	14					3	0.23
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		14				3	0.23
꽃게(<i>Portunus (Portunus) trituberculatus</i>)					28	6	0.47
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	125	389	834			270	22.51
젓새우(<i>Acetes japonicus</i>)				14		3	0.23
완족동물 Brachiopoda							
개맛(<i>Lingula unguis</i>)					14	3	0.23
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)	14					3	0.23

표 4-3-4. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	17종	13종	8종	12종	8종	12종	
	9.33	11.79	8.36	5.00	14.43	9.78	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)				0.32		0.06	0.66
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.26	0.10	0.19	0.13	0.19	0.17	1.76
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	0.04	0.05	0.18	0.34	0.08	0.14	1.41
침보석요정갯지렁이(<i>Armandia lanceolata</i>)	0.43			0.05	0.10	0.12	1.19
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.30			0.16	0.15	0.12	1.24
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.28			0.04		0.06	0.65
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	0.51			0.27		0.16	1.59
흙올타리갯지렁이(<i>Lygdamiis giardi</i>)	0.92			1.12		0.41	4.16
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.10	0.02	0.07	0.30		0.10	0.98
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		0.04			0.06	0.02	0.22
연체동물 Mollusca							
개울타리고둥 (<i>Monodonta (Monodonta) labioconfusa</i>)		1.10				0.22	2.25
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	1.25					0.25	2.56
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	0.61	0.27	0.60			0.30	3.04
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)	0.07	0.15	0.17			0.08	0.78
호롱애기배말 (<i>Patelloida (Asteracmea) pygmaea lampanicola</i>)		0.09				0.02	0.18
땡가리(<i>Batillaria cumingii</i>)		0.51				0.10	1.04
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)	0.21				0.60	0.16	1.66
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	3.22	1.64	6.97			2.37	24.20
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.52	0.51	0.05			0.21	2.19
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				1.28		0.26	2.61
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				0.93		0.19	1.90
두드러기네톱니부채게(<i>Pilumnopus makianus</i>)	0.32					0.06	0.65
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		7.21				1.44	14.75
꽃게(<i>Portunus (Portunus) trituberculatus</i>)					11.96	2.39	24.46
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.05	0.10	0.13			0.05	0.56
젓새우(<i>Acetes japonicus</i>)				0.06		0.01	0.14
완족동물 Brachiopoda							
개맛(<i>Lingula unguis</i>)					1.29	0.26	2.64
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)	0.26					0.05	0.53

표 4-3-5. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	14종	13종	13종	9종	10종	12종	100
	1,709	3,682	3,681	515	626	2,042	
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chiron</i>)	14		14		14	8	0.41
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	69	403	1,194	42	28	347	17.01
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		292	542		69	181	8.84
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	42				28	14	0.68
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	42		56	222	167	97	4.76
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculataorientalis</i>)	14					3	0.14
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)					42	8	0.41
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	69	153	83	42	194	108	5.31
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		375		69	56	100	4.90
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		417				83	4.08
연체동물 Mollusca							
어깨빨고둥(<i>Cerastoma inornatus</i>)	14		28			8	0.41
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)	28					6	0.27
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	250					50	2.45
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	222	278	375			175	8.57
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)		153	361			103	5.03
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)				28		6	0.27
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)				28	14	8	0.41
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	111	986	264			272	13.33
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			28			6	0.27
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)				14		3	0.14
왜홍합(<i>Vignadula atrata</i>)		69				14	0.68
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	611	125	97			167	8.16
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				14		3	0.14
엽낭게(<i>Scopimer aglobosa</i>)		292		56	14	72	3.54
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		14	42			11	0.54
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	181	125	597			181	8.84
dot대기새우(<i>Leptochela gracilis</i>)	42					8	0.41

표 4-3-6. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	14종	13종	13종	9종	10종	12종	
	14.20	4.78	11.99	5.14	62.03	19.63	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chironi</i>)	0.23		0.11		0.04	0.08	0.40
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.06	0.03	0.10	0.01	0.04	0.05	0.24
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		0.04	0.08		0.03	0.03	0.14
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.08				0.03	0.02	0.11
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.05		0.03	0.04	0.11	0.05	0.23
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculataorientalis</i>)	0.32					0.06	0.32
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)					1.37	0.27	1.40
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.08	0.12	0.09	0.03	0.07	0.08	0.40
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		0.02		0.03	0.07	0.02	0.12
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.04				0.01	0.04
연체동물 Mollusca							
어깨뿔고둥(<i>Ceratostoma inornatus</i>)	6.31		5.38			2.34	11.91
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)	1.37					0.27	1.39
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	0.96					0.19	0.98
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	0.54	0.19	0.35			0.21	1.09
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)		0.06	0.14			0.04	0.20
맛조개(<i>Solen (Solen) strictus</i>)				0.78		0.16	0.80
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)				0.03	60.26	12.06	61.45
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	3.43	1.07	2.88			1.48	7.52
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			1.20			0.24	1.22
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)				0.27		0.05	0.28
왜홍합(<i>Vignacula atrata</i>)		0.02				0.004	0.02
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.59	0.74	0.30			0.33	1.66
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				3.68		0.74	3.75
엽낭게(<i>Scopimer aglobosa</i>)		0.15		0.27	0.01	0.09	0.44
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		2.18	1.18			0.67	3.42
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.06	0.12	0.15			0.07	0.34
dot대기새우(<i>Leptochela gracilis</i>)	0.12					0.02	0.13

표 4-3-7. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	14종	14종	9종	4종	6종	9종	
	2,100	1,098	570	84	265	824	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	14	14			14	8	1.01
참미갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)			14		14	6	0.68
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			14			3	0.34
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		28				6	0.68
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	14					3	0.34
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)		28		14		8	1.01
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		250	69			64	7.77
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		56				11	1.35
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		14				3	0.34
흙올타리갯지렁이(<i>Lygdamis giardi</i>)			28			6	0.68
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)					181	36	4.39
쌍수염참갯지렁이(<i>Tambalagamia fauveli</i>)				28	14	8	1.01
연체동물 Mollusca							
군부(<i>Liolophura japonica</i>)	28					6	0.68
좀털군부(<i>Acanthochitona achates</i>)	14					3	0.34
갯우렁이(<i>Euspira fortunei</i>)		14				3	0.34
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	181					36	4.39
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)	42	69	236			69	8.45
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	14	319	14			69	8.45
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)	181		14			39	4.73
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	28	28				11	1.35
맴사리(<i>Ceratosoma rorifluum</i>)	42					8	1.01
보리무룩(<i>Mitrella bicincta</i>)	28					6	0.68
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	42	222	56			64	7.77
민무늬백합(<i>Meretrix lamarckii</i>)					14	3	0.34
동죽(<i>Mactra (Mactra) veneriformis</i>)		14				3	0.34
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	111	28			28	33	4.05
플게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)			125	14		28	3.38
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				28		6	0.68
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	1,361					272	33.08
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)		14				3	0.34

표 4-3-8. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	14종	14종	9종	4종	6종	9종	
	11.02	10.30	6.80	0.41	0.44	5.79	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	0.44	0.49			0.06	0.20	3.42
참미갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)			0.18		0.12	0.06	1.05
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			0.03			0.01	0.09
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		0.01				0.002	0.04
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.04					0.01	0.15
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)		0.01		0.07		0.01	0.26
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.08	0.08			0.03	0.53
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.08				0.02	0.27
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)		0.01				0.003	0.05
흙올타리갯지렁이(<i>Lygdamis giardi</i>)			0.37			0.07	1.28
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)					0.03	0.01	0.10
쌍수염참갯지렁이(<i>Tambalagamia fauveli</i>)				0.06	0.16	0.04	0.77
연체동물 Mollusca							
군부(<i>Liolophura japonica</i>)	0.40					0.08	1.38
좀털군부(<i>Acanthochitona achates</i>)	0.68					0.14	2.35
갯우렁이(<i>Euspira fortunei</i>)		4.20				0.84	14.51
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	1.42					0.28	4.89
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)	0.11	0.03	0.19			0.07	1.16
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	0.52	0.20	0.54			0.25	4.36
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)	1.86		2.28			0.83	14.29
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	0.26	0.37				0.12	2.14
맴사리(<i>Ceratosoma rorifluum</i>)	3.24					0.65	11.20
보리무룩(<i>Mitrella bicincta</i>)	0.24					0.05	0.81
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.78	1.89	2.69			1.07	18.52
민무늬백합(<i>Meretrix lamarckii</i>)					0.01	0.002	0.03
동죽(<i>Mactra (Mactra) veneriformis</i>)		0.01				0.002	0.03
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.94	0.05			0.06	0.21	3.61
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)			0.44	0.02		0.09	1.59
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				0.26		0.05	0.90
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.09					0.02	0.30
자포동물 CNIDARIA							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)		2.87				0.57	9.92

표 4-3-9. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	9종	11종	12종	8종	6종	9종	
	361	1,181	571	140	222	500	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chiron</i>)				14		3	0.56
참미갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)				14		3	0.56
짧은아가미미갯지렁이(<i>Glycera alba</i>)		28				6	1.12
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			14	14		6	1.12
긴다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			14		14	6	1.12
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		83	14			19	3.93
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)		28	14	14		11	2.25
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)				28		6	1.12
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		208	56			53	10.67
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	14					3	0.56
한국부채발갯지렁이(<i>Anaitides koreana</i>)				14		3	0.56
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)					14	3	0.56
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculata orientalis</i>)	14					3	0.56
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)					14	3	0.56
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)					83	17	3.37
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	14					3	0.56
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	69					14	2.81
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)			14			3	0.56
마지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	14	417	153			117	23.64
민무늬백합(<i>Meretrix lamarckii</i>)					83	17	3.37
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)		14			14	6	1.12
굴(<i>Crassostrea gigas</i>)			14			3	0.56
왜홍합(<i>Vignadula atrata</i>)		28				6	1.12
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	83	42	69			39	7.87
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	42	83	56			36	7.30
풀게(<i>Henigrapsus penicillatus</i>)	14	236	139			78	15.73
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)	97	14				22	4.49
단각류(Amphipoda spp.)			14	28		8	1.69
뚝대기새우(<i>Leptochela gracilis</i>)				14		3	0.56

표 4-3-10. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	9종	11종	12종	8종	6종	9종	
	1.77	2.52	8.36	0.23	1.42	2.87	100
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)				0.02		0.004	0.14
참미갑갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)				0.03		0.01	0.19
짧은아가미미갑갯지렁이(<i>Glycera alba</i>)		0.07				0.01	0.46
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			0.01	0.01		0.004	0.14
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			0.18		0.04	0.04	1.55
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)		0.05	0.04			0.02	0.58
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)		0.01	0.01	0.01		0.01	0.24
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)				0.04		0.01	0.27
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.13	0.10			0.05	1.65
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	0.03					0.01	0.22
한국부채발갯지렁이(<i>Anaitides koreana</i>)				0.05		0.01	0.35
작은부채발갯지렁이(<i>Eteone longa</i>)					0.03	0.01	0.20
족자염주발갯지렁이(<i>Typosyllis aciculata orientalis</i>)	0.03					0.01	0.20
번데기요정갯지렁이(<i>Travisia pupa</i>)					1.26	0.25	8.84
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)					0.02	0.004	0.15
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.01					0.002	0.08
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	0.79					0.16	5.52
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)			0.07			0.01	0.49
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.33	1.17	2.86			0.87	30.47
민무늬백합(<i>Meretrix lamarckii</i>)					0.05	0.01	0.35
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)		0.07			0.02	0.02	0.63
굴(<i>Crassostrea gigas</i>)			4.57			0.91	31.95
왜홍합(<i>Vignacula atrata</i>)		0.15				0.03	1.01
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.14	0.09	0.02			0.05	1.82
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	0.26	0.32	0.29			0.17	6.05
풀게(<i>Henigrapsus penicillatus</i>)	0.06	0.14	0.16			0.07	2.52
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)	0.12	0.32				0.09	3.09
단각류(Amphipoda spp.)			0.05	0.04		0.02	0.63
뚝대기새우(<i>Leptocheila gracilis</i>)				0.03		0.01	0.21

표 4-3-11. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	11종	13종	4종	4종	4종	7종	
	779	1,153	139	56	236	472	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chiron</i>)			14			3	0.59
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	14					3	0.59
긴다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			42			8	1.76
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)			69			14	2.94
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	42	14		14		14	2.94
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	14	28		14		11	2.35
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		42				8	1.76
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		83	14			19	4.12
벌레요정갯지렁이(<i>Travisia japonica</i>)					14	3	0.59
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)	14				97	22	4.71
괴물유령갯지렁이(<i>Loimia medusa</i>)	14					3	0.59
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunellacoronata coreensis</i>)	14					3	0.59
갈고둥(<i>Nerita (Heminerita) japonica</i>)		14				3	0.59
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)		97				19	4.12
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)		222				44	9.41
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	42	347			56	89	18.80
개랑조개(<i>Macra (Macra) chinensis</i>)					69	14	2.94
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)				14		3	0.59
굴(<i>Crassostrea gigas</i>)		28				6	1.18
왜홍합(<i>Vignadula atrata</i>)		111				22	4.71
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	97					19	4.12
풀게(<i>Henigrapsus penicillatus</i>)	56	125				36	7.65
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				14		3	0.59
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	139					28	5.88
단각류(<i>Amphipoda spp.</i>)	333	14				69	14.71
조무래기따개비(<i>Chthamalus challenger</i>)		28				6	1.18

표 4-3-12. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	11종	13종	4종	4종	4종	7종	
	6.47	16.64	1.72	0.46	1.26	5.32	100
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chiron</i>)			0.58			0.12	2.20
참송곳지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.01					0.002	0.05
긴다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			0.03			0.01	0.12
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)			0.19			0.04	0.71
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.02	0.01		0.05		0.01	0.28
북방백금갯지렁이(<i>Nephtys caeca</i>)	0.002	0.02		0.07		0.02	0.34
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.52				0.10	1.98
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.05	0.92			0.19	3.67
벌레요정갯지렁이(<i>Travisia japonica</i>)					1.09	0.22	4.10
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)	0.12				0.02	0.03	0.52
괴물유령갯지렁이(<i>Loimia medusa</i>)	2.83					0.57	10.66
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunellacoronata coreensis</i>)	0.56					0.11	2.11
갈고둥(<i>Nerita (Heminerita) japonica</i>)		0.46				0.09	1.73
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)		0.46				0.09	1.73
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)		0.05				0.01	0.19
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	1.94	1.67			0.01	0.72	13.63
개랑조개(<i>Macra (Macra) chinensis</i>)					0.14	0.03	0.51
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)				0.05		0.01	0.19
굴(<i>Crassostrea gigas</i>)		12.39				2.48	46.66
왜홍합(<i>Vignadula atrata</i>)		0.08				0.02	0.30
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.69					0.14	2.59
풀게(<i>Henigrapsus penicillatus</i>)	0.22	0.43				0.13	2.45
엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)				0.29		0.06	1.07
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.07					0.01	0.28
단각류(<i>Amphipoda spp.</i>)	0.01	0.01				0.004	0.08
조무래기따개비(<i>Chthamalus challenger</i>)		0.49				0.10	1.85

라. 균집지수

① 우점도 지수(C)

태안 조사에서의 대형저서동물의 우점도 지수는 1차 조사는 0.14~0.47, 2차 조사는 0.11~0.23, 3차 조사는 0.13~0.24, 4차 조사는 0.19~0.49, 5차 조사는 0.13~0.29, 6차 조사는 0.16~0.36으로 나타났다. 정점별 우점도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 대조1, 2차 조사의 사업내3, 대조2, 3차 조사의 대조1, 4차 조사의 대조2, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 정점 사업내3에서 가장 높은 우점도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내1, 3차 조사의 사업내2, 4차 조사의 사업내2, 5차 조사의 대조1, 6차 조사의 사업내2에서 가장 낮은 우점도 지수를 나타냈다(그림 4-3-3). 평균적으로는 1차 조사와 4차 조사에서 각각 0.33로 높은 우점도 지수를 나타냈고, 2차 조사와 3차 조사에서 각각 0.19의 낮은 우점도 지수를 나타냈다(표 4-3-13).

② 다양도 지수(H')

태안 조사에서의 대형저서동물의 다양도 지수는 1차 조사는 1.12~2.13, 2차 조사는 1.65~2.46, 3차 조사는 1.79~2.26, 4차 조사는 1.12~1.99, 5차 조사는 1.43~2.04, 6차 조사는 1.17~2.09로 나타났다. 정점별 다양도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내1, 3차 조사의 사업내2, 4차 조사의 사업내2, 5차 조사의 사업내3, 6차 조사의 사업내2에서 가장 높은 다양도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조1, 2차 조사의 대조2, 3차 조사의 대조1, 4차 조사의 대조2, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내3에서 가장 낮은 다양도 지수를 나타냈다(그림 4-3-3). 평균적으로는 3차 조사에서 1.99로 높은 다양도 지수를 나타냈고, 4차 조사에서 1.51로 낮은 다양도 지수를 나타냈다(표 4-3-13).

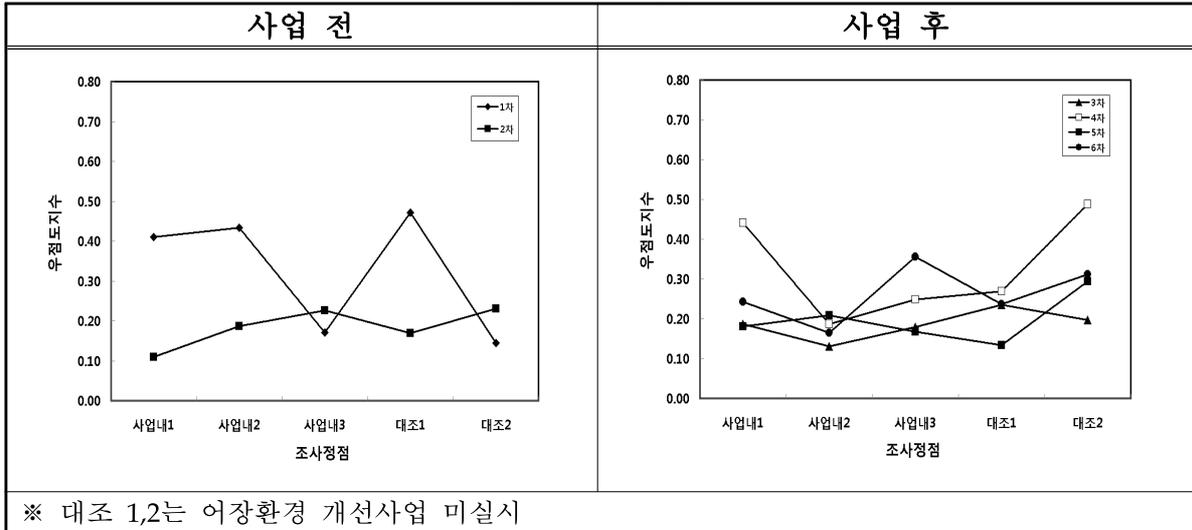
③ 균등도 지수(J')

태안 조사에서의 대형저서동물의 균등도 지수는 1차 조사는 0.58~0.89, 2차 조사는 0.76~0.87, 3차 조사는 0.77~0.88, 4차 조사는 0.53~0.96, 5차 조사는 0.77~0.97, 6차 조사는 0.75~1.00으로 나타났다. 정점별 균등도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내1, 3차 조사의 사업내2, 4차 조사의 대조1, 5차 조사의 대조1, 6차 조사의 대조1에서 가장 높은 균등도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조1, 2차 조사의 사업내2, 3차 조사의 사업내3, 4차 조사의 사업내1, 5차 조사의 사업내2, 6차 조사의 사업내1에서 가장 낮은 균등도 지수를 나타냈다(그림 4-3-3). 평균적으로는 6차 조사에서 0.86으로 높은 균등도 지수를 나타냈고, 1차 조사와 4차 조사에서 0.73으로 낮은 균등도 지수를 나타냈다(표 4-3-13).

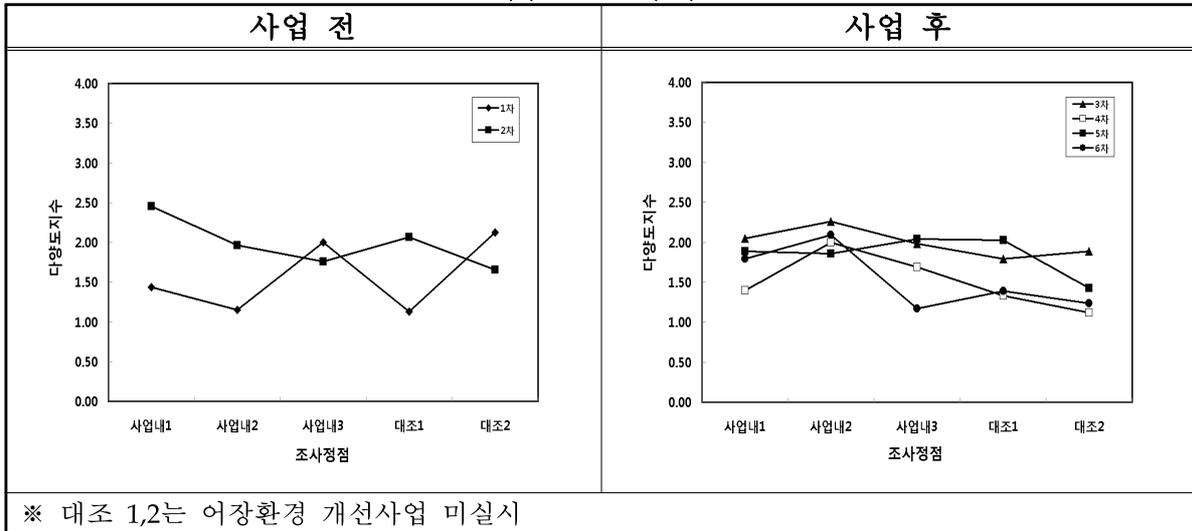
표 4-3-13. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수

군집지수	조사 시기	조사 정점					평균
		사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	
우점도 (C)	1차	0.41	0.43	0.17	0.47	0.14	0.33
	2차	0.11	0.19	0.23	0.17	0.23	0.19
	3차	0.19	0.13	0.18	0.24	0.20	0.19
	4차	0.44	0.19	0.25	0.27	0.49	0.33
	5차	0.18	0.21	0.17	0.13	0.29	0.20
	6차	0.24	0.16	0.36	0.24	0.31	0.26
다양도 (H')	1차	1.43	1.15	2.00	1.12	2.13	1.57
	2차	2.46	1.96	1.76	2.07	1.65	1.98
	3차	2.05	2.26	1.98	1.79	1.89	1.99
	4차	1.40	1.99	1.69	1.33	1.12	1.51
	5차	1.88	1.86	2.04	2.03	1.43	1.85
	6차	1.79	2.09	1.17	1.39	1.23	1.53
균등도 (J')	1차	0.62	0.72	0.83	0.58	0.89	0.73
	2차	0.87	0.76	0.85	0.83	0.80	0.82
	3차	0.78	0.88	0.77	0.82	0.82	0.81
	4차	0.53	0.76	0.77	0.96	0.62	0.73
	5차	0.86	0.77	0.82	0.97	0.80	0.85
	6차	0.75	0.82	0.84	1.00	0.89	0.86

(a) 우점도(C)



(b) 다양도(H')



(c) 균등도(J')

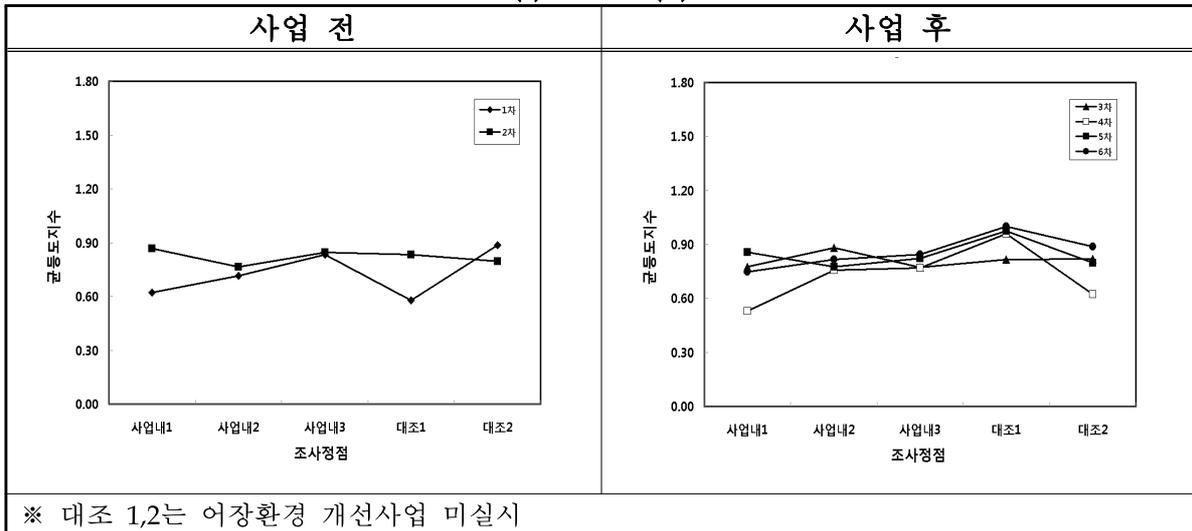


그림 4-3-3. 태안어장개선 사업지역의 대형저서동물 균집지수.

2. 군산

가. 출현종

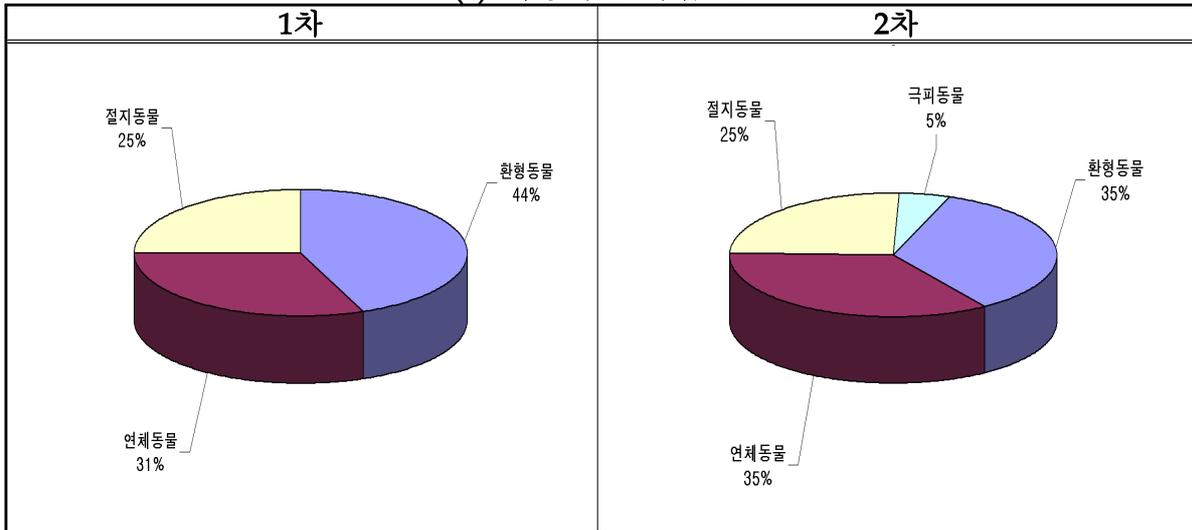
어장환경 개선사업에 따른 군산어장의 정화사업 전·후에 따른 출현종의 변화를 살펴보면 <그림 4-3-4>과 같다.

개선사업 전의 1차 조사에서 출현한 저서동물은 총 3문 16종으로, 이중에서 환형동물문이 7종 44%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문이 5종 31%, 절지동물문이 4종 25%로 나타났으며, 2차 조사에서는 총 4문 20종으로 환형동물문과 연체동물문이 각각 7종 35%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 절지동물문이 5종 25%, 극피동물문이 1종 5%를 차지하여 군산어장의 어장개선 사업전 조사에서는 평균 4문 18종이 출현하였다.

개선사업 후의 3차 조사에서는 총 4문 21종으로 환형동물문이 8종 38%로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 연체동물문이 6종 29%, 절지동물문이 4종 19%, 극피동물문이 3종 14%로 나타났으며, 4차 조사에서 총 3문 21종으로 환형동물문과 연체동물문이 각각 8종 38%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 절지동물문이 5종 24%로 나타났고, 5차 조사에서는 총 3문 25종으로 환형동물문이 11종 44%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문과 절지동물문이 각각 7종 28%, 6차 조사에서는 총 3문 23종으로 환형동물문이 9종 39%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물이 8종 35%, 절지동물문이 6종 26%로 나타나 사업 후 조사에서는 평균 3문 23종이 출현하였다.

따라서, 개선사업 전·후의 동물군별 출현율을 살펴보면 개선사업 전 조사에서는 환형동물문과 연체동물문이 높은 출현율을 나타냈고, 개선 사업 후에는 대부분이 환형동물문의 출현율이 높은 것으로 조사되었다.

(a) 어장개선 사업 전



(b) 어장개선 사업 후

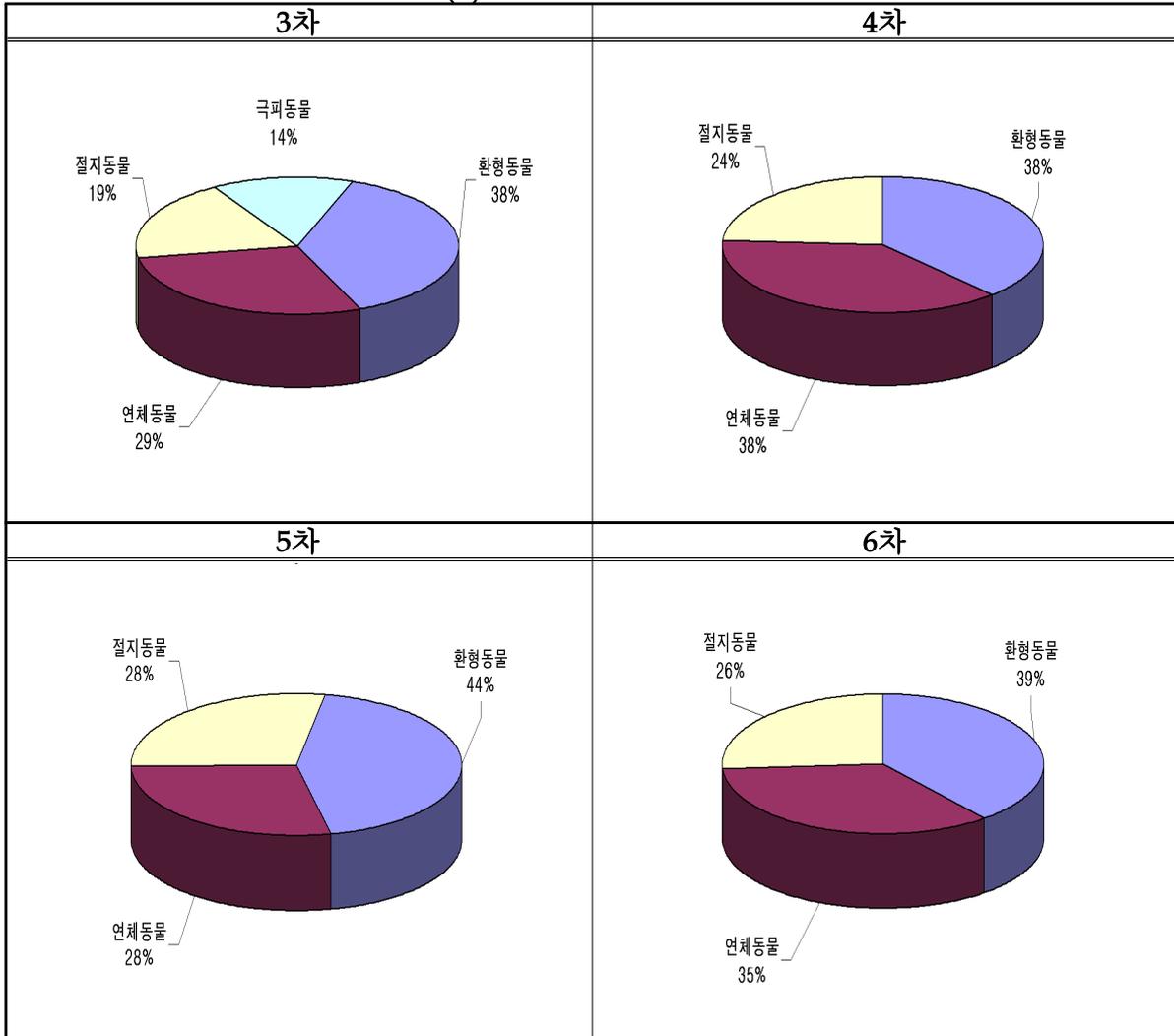


그림 4-3-4. 군산어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.

나. 출현종수 및 개체수

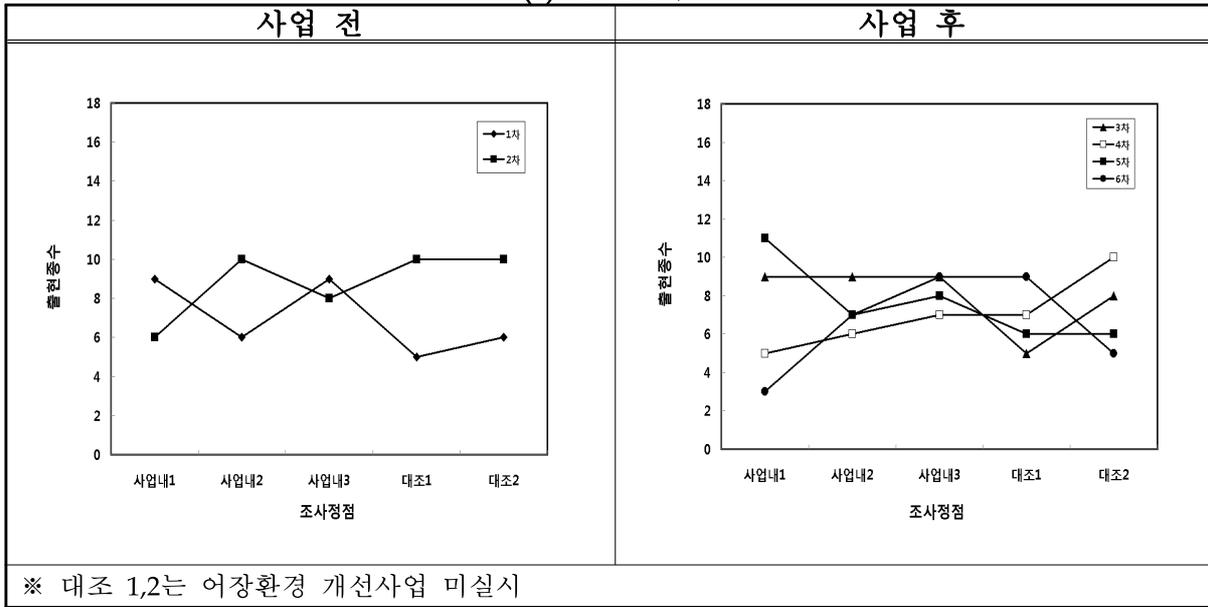
군산(선유도) 조사의 1차부터 6차까지의 저서동물의 출현종수 및 개체수를 살펴보았다.

어장개선사업 전의 1차 조사에서의 출현종수는 5~9종이 출현하였으며, 평균 7종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 84~446 indiv./m² 로, 평균 267 indiv./m² 이었다. 2차 조사에서의 출현종수는 6~10종이 출현하였으며, 평균 9종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 349~1,325 indiv./m² 로, 평균 776 indiv./m² 이었다.

어장개선사업 후의 3차 조사에서의 출현종수는 5~9종이 출현하였으며, 평균 8종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 362~917 indiv./m² 로, 평균 620 indiv./m² 이었다. 4차 조사에서의 출현종수는 5~10종이 출현하였으며, 평균 7종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 140~473 indiv./m² 로, 평균 304 indiv./m² 이었다. 5차 조사에서의 출현종수는 6~11종이 출현하였으며, 평균 8종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 307~570 indiv./m² 로, 평균 429 indiv./m² 이었다. 6차 조사에서의 출현 종수는 3~9종이 출현하였으며, 평균 7종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 126~584 indiv./m² 로, 평균 284 indiv./m² 이었다.

출현종수와 출현개체수를 어장개선 사업 전과 사업 후로 비교했을 시, 사업 전 조사에서는 2차 조사에서 평균 9종으로 가장 많이 출현하였으며, 2차 조사의 정점 사업내2, 대조1, 대조2에서 10종으로 가장 많이 출현하였다. 출현 개체수는 2차 조사의 정점 대조2에서 1,325 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 사업 후의 조사에서는 3차 조사와 5차 조사에서 각각 평균 8종으로 가장 많이 출현하였으며, 5차 조사의 정점 사업내1에서 11종으로 가장 많이 출현하였다. 출현 개체수는 3차 조사의 정점 대조1에서 917 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 어장환경 개선사업 전과 후의 대형저서동물의 출현종수와 개체수를 비교하면 <그림 4-3-5>와 같다.

(a) 출현종수



(b) 출현개체수 (indiv./m²)

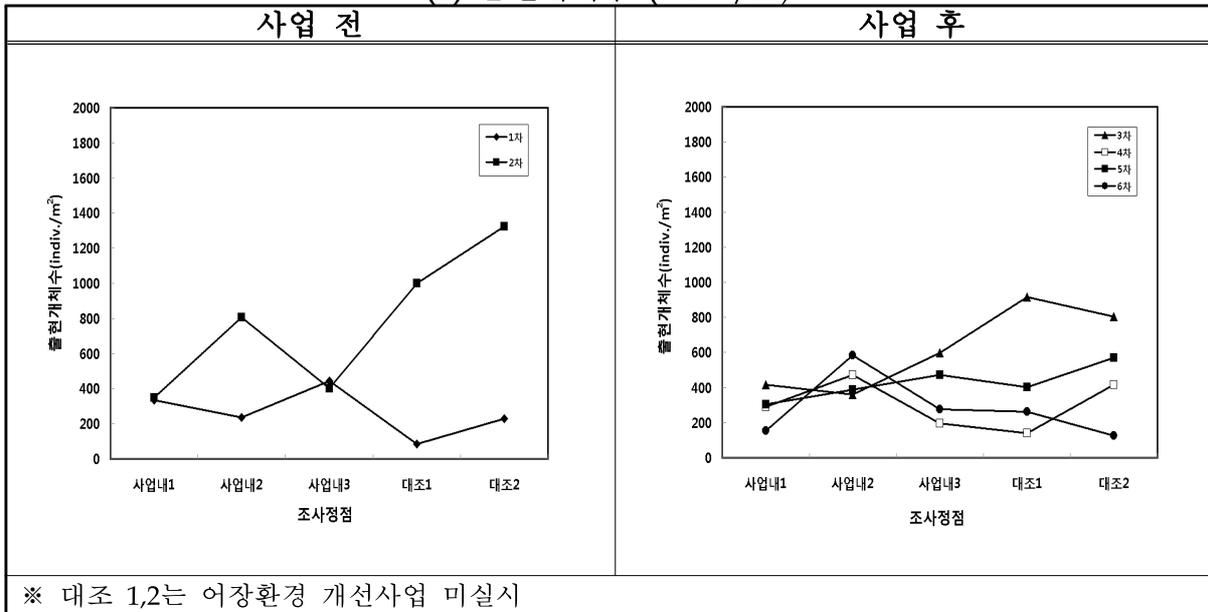


그림 4-3-5. 군산어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.

다. 출현종 및 중량

군산(선유도) 조사의 정점별 저서동물의 출현종 및 출현량을 살펴보면 1차 조사에서는 총 3문 16종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1, 사업내3에서 각각 9종으로 가장 많이 출현하였으며, 평균 7종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 46.60%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 12.57%, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 8.38%, 참갯지렁이(*Neanthes japonica*) 7.33%, 남방백금갯지렁이(*Nephtys polybranchia*)가 5.24%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보이고 있었다(표 4-3-14). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 56.70%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 32.99%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-15).

2차 조사에서는 총 4문 20종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내2, 대조1, 대조2에서 각각 10종으로 가장 많이 출현하였으며, 평균 9종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 23.39%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 절지동물의 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 12.17%, 연체동물의 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이 11.46%, 갯비틀이고둥(*Cerithideopsilla djadjariensis*)이 9.67%, 환형동물의 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)와 절지동물의 집게류(*Pagurus* sp.)가 각각 6.09%, 긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*)가 5.73%, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 5.37%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-16). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 25.73%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 25.65%, 가무락조개(*Cyclina sinensis*)가 22.03%, 극피동물의 별불가사리(*Asterina pectinifera*)가 17.29%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-17).

3차 조사에서는 총 4문 21종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1, 사업내2, 사업내3에서 각각 9종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 대조2에서 8종으로 평균 8종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 멍가리(*Batillaria cumingi*)가 27.80%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 15.25%, 절지동물의 집게류(*Pagurus* sp.)가 13.90%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 10.31%, 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)가 6.73%, 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 5.38%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-18). 출현량에 있어서는 극피동물의 아무르불가사리(*Asterias amurensis*)가 39.13%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 별불가사리(*Asterina pectinifera*)가 16.54%, 연체동물의 가무락조개(*Cyclina sinensis*)가 16.44%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 14.92%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-19).

4차 조사에서는 총 3문 21종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 대조2에서 10종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 사업내3, 대조1에서 각각 7종으로 평균 7종이 출현하였다. 주요 우점 종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 36.70%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 11.01%, 연체동물의 갯고둥(*Batillaria multiformis*)과 갯비틀이고둥(*Cerithideopsilla cf. djadjariensis*)이 각각 8.26%, 원참갯지렁이(*Nereis pelagica*)가 7.34%, 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*)이 5.50%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-20). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 63.27%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 태양접시조개(*Tellinella staurella*)가 10.55%의 출현량을 보였으며 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-21).

5차 조사에서는 총 3문 25종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내1에서 11종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 정점 사업내3에서 8종으로 평균 8종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 단각류(*Amphipoda* spp.)가 22.73%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 16.88%, 환형동물의 싸리버섯갯지렁이(*Owenia fusiformis*)가 8.44%, 절지동물의 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 7.79%, 납작게(*Gaetice depressus*)와 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이 각각 5.84%, 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 5.19%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-22). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 63.65%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 갈색고랑조개(*Megacardita ferruginosa*)가 11.16%, 동죽(*Macra (Macra) veneriformis*)이 6.46%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-23).

6차 조사에서는 총 3문 23종이 출현하였다. 조사 정점별 출현종수를 살펴보면 정점 사업내3, 대조1에서 각각 9종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 정점 사업내2에서 7종으로 평균 7종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 36.63%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 17.82%, 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*)가 8.91%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-24). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 19.55%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 비틀이고둥(*Cerithideopsilla cingulata*)이 14.37%, 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 10.32%, 환형동물의 치료리미갑갯지렁이(*Glycera chirori*)가 7.56%, 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*)이 6.18%, 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이 6.02%, 녹색불꽃부채발갯지렁이(*Eulalia viridis*)가 5.91%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-25).

표 4-3-14. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	9종	6종	9종	5종	6종	7종	100
	335	237	446	84	230	267	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	14		28			8	3.14
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	14		153			33	12.57
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	14		14			6	2.09
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)			42	14	14	14	5.24
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	28	42	14	28		22	8.38
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	56	14	14	14		19	7.33
참미감갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)	14					3	1.05
연체동물 Mollusca							
멍가리(<i>Batillaria cumingi</i>)					28	6	2.09
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					14	3	1.05
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	167	139	153	14	146	124	46.60
중뿔(<i>Musculus (Musculista) senhousia</i>)			14			3	1.05
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	14				14	6	2.09
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		14				3	1.05
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	14	14			14	8	3.14
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)			14			3	1.05
딱충새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		14		14		6	2.09

표 4-3-15. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	9종	6종	9종	5종	6종	7종	100
	12.66	10.46	11.45	1.77	29.65	13.20	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	0.49		0.09			0.12	0.87
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.11		0.01			0.02	0.18
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.01		0.04			0.01	0.07
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)			0.01	0.01	0.01	0.01	0.04
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.05	0.06	0.30	0.01		0.08	0.64
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	0.08	0.01	0.02	0.04		0.03	0.23
참미감갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)	0.08					0.02	0.13
연체동물 Mollusca							
멍가리(<i>Batillaria cumingi</i>)					0.82	0.16	1.24
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					21.77	4.35	32.99
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	10.08	9.04	10.34	1.69	6.27	7.48	56.70
중뿔(<i>Musculus (Musculista) senhousia</i>)			0.39			0.08	0.59
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	1.60				0.41	0.40	3.05
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		1.33				0.27	2.02
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	0.16	0.02			0.37	0.11	0.83
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)			0.26			0.05	0.39
딱충새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		0.01		0.01		0.004	0.03

표 4-3-16. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	6종	10종	8종	10종	10종	9종	100
	349	806	404	1,002	1,325	776	
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chironi</i>)		42	14			11	1.43
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	28					6	0.72
긴다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)	42	139	42			44	5.73
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	42	42				17	2.15
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	56	69	28	28	28	42	5.37
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	42	14	125		56	47	6.09
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			14			3	0.36
연체동물 Mollusca							
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)					181	36	4.65
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				181		36	4.65
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				278	167	89	11.46
갯비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla djadjariensis</i>)				125	250	75	9.67
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)		14				3	0.36
가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>)					14	3	0.36
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	139	333	125	153	157	181	23.39
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				14	97	22	2.86
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)		14		14		6	0.72
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)				181	292	94	12.17
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)		111	28	14	83	47	6.09
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)			28	14		8	1.07
극피동물 Echinodermata							
별불가사리(<i>Asterina pectinifera</i>)		28				6	0.72

표 4-3-17. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	6종	10종	8종	10종	10종	9종	
	7.00	73.58	9.13	6.57	47.55	28.76	100
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chironi</i>)		0.11	0.12			0.05	0.16
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.01					0.002	0.01
긴다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)	0.27	0.23	0.06			0.11	0.39
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.21	0.16				0.07	0.26
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.18	0.07	0.43	0.11	0.49	0.26	0.89
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	0.05	0.07	0.36		0.01	0.10	0.34
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			0.29			0.06	0.20
연체동물 Mollusca							
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)					0.65	0.13	0.45
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				0.26		0.05	0.18
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				0.94	1.02	0.39	1.37
갯비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla djadjariensis</i>)				1.13	0.99	0.42	1.47
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)		36.89				7.38	25.65
가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>)					31.69	6.34	22.03
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	6.28	10.83	7.00	2.52	10.38	7.40	25.73
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				0.96	0.92	0.38	1.31
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)		0.08		0.26		0.07	0.24
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)				0.03	1.02	0.21	0.73
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)		0.27	0.21	0.20	0.39	0.21	0.74
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)			0.67	0.16		0.17	0.58
극피동물 Echinodermata							
별불가사리(<i>Asterina pectinifera</i>)		24.87				4.97	17.29

표 4-3-18. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	9종	9종	9종	5종	8종	8종	
	417	362	598	917	807	620	100
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chironi</i>)	28		69		14	22	3.59
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	194	42	236			94	15.25
긴다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)		28	28			11	1.79
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	14	14	28			11	1.79
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)		14			14	6	0.90
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	28		28			11	1.79
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	28	14	153		14	42	6.73
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)	14					3	0.45
연체동물 Mollusca							
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)					83	17	2.69
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				56		11	1.79
멍가리(<i>Batillaria cumingii</i>)				569	292	172	27.80
가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>)				42		8	1.35
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	83	194			42	64	10.31
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			14			3	0.45
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				125	42	33	5.38
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)				125	306	86	13.90
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		28				6	0.90
쪽불이(<i>Callinasa japonica</i>)			14			3	0.45
극피동물 Echinodermata							
별불가사리(<i>Asterina pectinifera</i>)		14				3	0.45
아무르불가사리(<i>Asterias amurensis</i>)	14	14				6	0.90
뱀거미불가사리(<i>Ophiarchnella gorgonia</i>)	14		28			8	1.35

표 4-3-19. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	9종	9종	9종	5종	8종	8종	
	21.13	70.70	2.54	24.86	15.69	26.99	100
환형동물 Annelida							
치로리미갑갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)	0.21		0.04		0.84	0.22	0.81
참송갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.02	0.01	0.01			0.01	0.03
긴다리송갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)		0.20	0.74			0.19	0.70
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)	0.04	0.11	0.01			0.03	0.12
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)		0.03			0.01	0.01	0.03
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.24		0.01			0.05	0.18
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)	0.67	0.04	0.01		0.48	0.24	0.88
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)	0.18					0.04	0.13
연체동물 Mollusca							
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)					0.67	0.13	0.49
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				0.52		0.10	0.39
땡가리(<i>Batillaria cumingii</i>)				0.76	1.08	0.37	1.36
가무락조개(<i>Cyclina sinensis</i>)				22.19		4.44	16.44
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.01	8.94			11.18	4.03	14.92
빛조개(<i>Nuttallia japonica</i>)			0.60			0.12	0.44
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				1.23	1.18	0.48	1.79
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)				0.17	0.26	0.09	0.32
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		5.93				1.19	4.40
속붙이(<i>Callinasa japonica</i>)			0.98			0.20	0.73
극피동물 Echinodermata							
별불가사리(<i>Asterina pectinifera</i>)		22.31				4.46	16.54
아무르불가사리(<i>Asterias amurensis</i>)	19.66	33.14				10.56	39.13
뱀거미불가사리(<i>Ophiarchnella gorgonia</i>)	0.11		0.14			0.05	0.18

표 4-3-20. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	5종	6종	7종	7종	10종	7종	
	293	473	195	140	418	304	100
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrinerisheteropoda</i>)	14		14		14	8	2.75
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrinerisnipponica</i>)		167				33	11.01
원참갯지렁이(<i>Nereispelagica</i>)	42	69				22	7.34
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereisnuntia</i>)		28			14	8	2.75
참갯지렁이(<i>Neanthesjaponica</i>)			14			3	0.92
큰깨집박이참갯지렁이(<i>Nereisneoneanthes</i>)	28					6	1.83
작은갈매기고리갯지렁이(<i>Goniadamaculata</i>)		14				3	0.92
쌍수염참갯지렁이(<i>Tambalagamiafauveli</i>)				14		3	0.92
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillariamultiformis</i>)				14	111	25	8.26
갯비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilladjarjariensis</i>)				14	111	25	8.26
좁쌀무늬고둥(<i>Niothalivescens</i>)	28		28		28	17	5.50
총알고둥(<i>Littorina(Littorina)brevicula</i>)					42	8	2.75
땡가리(<i>Batillariacumingi</i>)					14	3	0.92
바지락(<i>Ruditapesphilippinarum</i>)	181	181	97	56	42	111	36.70
태양접시조개(<i>Tellinellastaurella</i>)			14			3	0.92
종뿔(<i>Musculus(Musculista)senhausia</i>)		14				3	0.92
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaeticedepressus</i>)					14	3	0.92
사각게(<i>Parasesarmapictum</i>)			14			3	0.92
칠게(<i>Macrophthalmusjaponicus</i>)			14	14		6	1.83
풀게(<i>Hemigrapsuspenicillatus</i>)				14	28	8	2.75
딱총새우(<i>Alpheusbrevicristatus</i>)				14		3	0.92

표 4-3-21. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	5종	6종	7종	7종	10종	7종	
	6.27	3.60	17.76	6.00	13.76	9.48	100
환형동물 Annelida							
긴다리송곳지렁이(<i>Lumbrinerisheteropoda</i>)	0.01		0.34		0.68	0.21	2.18
짧은다리송곳지렁이(<i>Lumbrinerisnipponica</i>)		0.05				0.01	0.11
원참갯지렁이(<i>Nereispelagica</i>)	0.46	0.21				0.13	1.41
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereisnuntia</i>)		0.11			0.11	0.04	0.47
참갯지렁이(<i>Neanthesjaponica</i>)			0.03			0.01	0.07
큰깨집박이참갯지렁이(<i>Nereisneoneanthes</i>)	0.32					0.06	0.67
작은갈매기고리갯지렁이(<i>Goniadamaculata</i>)		0.01				0.001	0.01
쌍수염참갯지렁이(<i>Tambalagamiafauveli</i>)				0.03		0.01	0.05
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillariamultiformis</i>)				0.77	0.68	0.29	3.06
갯비틀이고둥(<i>Cerithiideopsilladjarjariensis</i>)				0.91	1.02	0.39	4.08
좁쌀무늬고둥(<i>Niothalivescens</i>)	0.59		0.73		0.74	0.41	4.33
총알고둥(<i>Littorina(Littorina)brevicula</i>)					0.15	0.03	0.31
땡가리(<i>Batillariacumingi</i>)					0.77	0.15	1.63
바지락(<i>Ruditapesphilippinarum</i>)	4.90	3.18	10.27	3.84	7.80	6.00	63.27
태양접시조개(<i>Tellinellastaurella</i>)			5.00			1.00	10.55
종뿔(<i>Musculus(Musculista)senhausia</i>)		0.04				0.01	0.08
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaeticedepressus</i>)					0.30	0.06	0.63
사각게(<i>Parasesarmapictum</i>)			0.90			0.18	1.90
칠게(<i>Macrophthalmusjaponicus</i>)			0.49	0.16		0.13	1.37
풀게(<i>Hemigrapsuspenicillatus</i>)				0.20	1.52	0.34	3.63
딱총새우(<i>Alpheusbrevicristatus</i>)				0.09		0.02	0.19

표 4-3-22. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	11종	7종	8종	6종	6종	8종	100
	307	390	473	404	570	429	
환형동물 Annelida							
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	14		69			17	3.90
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					28	6	1.30
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	14		97			22	5.19
원참갯지렁이(<i>Nereis pelagica</i>)	14		42			11	2.60
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	14	14				6	1.30
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)					14	3	0.65
참미갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)	14		14			6	1.30
오노미치미갯지렁이(<i>Glycera onomichiensis</i>)	14					3	0.65
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			42			8	1.95
큰개점박이참갯지렁이(<i>Nereis neoneanthes</i>)	28	14				8	1.95
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)			181			36	8.44
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				125		25	5.84
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				56		11	2.60
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				42		8	1.95
맹가리(<i>Batillaria cumingi</i>)				28		6	1.30
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	139	167	14	42		72	16.88
동죽(<i>Macra (Macra) veneriformis</i>)	14					3	0.65
갈색고랑조개(<i>Megacardita ferruginosa</i>)			14			3	0.65
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	14	111				25	5.84
플게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)	28			111	28	33	7.79
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)		28				6	1.30
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		14				3	0.65
둥근돛대기새우(<i>Leptocheila sydniensis</i>)					42	8	1.95
자주새우(<i>Crangon affinis</i>)					14	3	0.65
단각류(Amphipoda spp.)		42			444	97	22.73

표 4-3-23. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	11종	7종	8종	6종	6종	8종	
	8.83	3.91	3.65	10.08	0.31	5.36	100
환형동물 Annelida							
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)	0.02		0.03			0.01	0.16
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					0.14	0.03	0.51
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	0.01		0.02			0.01	0.10
원참갯지렁이(<i>Nereis pelagica</i>)	0.03		0.11			0.03	0.50
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.03	0.15				0.04	0.69
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)					0.08	0.02	0.29
참미감갯지렁이(<i>Glycera decipiens</i>)	0.31		0.08			0.08	1.44
오노미치미감갯지렁이(<i>Glycera ononichiensis</i>)	0.004					0.001	0.01
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			0.03			0.01	0.12
큰깨점박이참갯지렁이(<i>Nereis neoneanthes</i>)	0.25	0.05				0.06	1.11
싸리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)			0.01			0.003	0.05
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				0.90		0.18	3.38
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				0.47		0.09	1.74
총알고둥(<i>Littorina (Littorina) brevicula</i>)				0.30		0.06	1.11
멍가리(<i>Batillaria cumingii</i>)				0.64		0.13	2.39
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	5.63	3.42	0.38	7.62		3.41	63.65
동죽(<i>Macra (Macra) veneriformis</i>)	1.73					0.35	6.46
갈색고랑조개(<i>Megacardita ferruginosa</i>)			2.99			0.60	11.16
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.76	0.02				0.16	2.92
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)	0.07			0.16	0.05	0.05	1.01
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)		0.09				0.02	0.34
딱충새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		0.17				0.03	0.63
등근돛대기새우(<i>Leptocheila sydneyensis</i>)					0.02	0.004	0.07
자주새우(<i>Crangon affinis</i>)					0.02	0.004	0.07
단각류(Amphipoda spp.)		0.01			0.01	0.004	0.08

표 4-3-24. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	3종	7종	9종	9종	5종	7종	
	153	584	279	266	126	284	100
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			14			3	0.99
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	56	69	125			50	17.82
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		14	28			8	2.97
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)			14			3	0.99
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		14			42	11	3.96
긴아가미미갯지렁이(<i>Glycera convoluta</i>)			14			3	0.99
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			14			3	0.99
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaensis</i>)	28					6	1.98
털보집갯지렁이(<i>Diopatra sugokai</i>)		14				3	0.99
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				56		11	3.96
개울타리고둥 (<i>Monodonta (Monodonta) labioconfusa</i>)				14		3	0.99
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				14		3	0.99
비틀이고둥(<i>Cerithideopsis cingulata</i>)				56		11	3.96
맹가리(<i>Batillaria cumingii</i>)				28		6	1.98
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	69	403	28		14	103	36.63
개조개(<i>Saxidomus purpuratus</i>)			28			6	1.98
종뿔(<i>Musculus (Musculista) senhausia</i>)		14				3	0.99
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)					28	6	1.98
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		56		56	14	25	8.91
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				14		3	0.99
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)			14			3	0.99
자주새우(<i>Crangon affinis</i>)				14		3	0.99
단각류(<i>Amphipoda spp.</i>)				14	28	8	2.97

표 4-3-25. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	3종	7종	9종	9종	5종	7종	100
	0.19	1.03	1.26	4.66	2.41	1.91	
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)			0.15			0.03	1.56
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	0.02	0.04	0.05			0.02	1.05
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.08	0.05			0.03	1.36
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)			0.04			0.01	0.41
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		0.36			0.36	0.14	7.56
긴아가미미갯지렁이(<i>Glycera convoluta</i>)			0.01			0.002	0.10
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)			0.56			0.11	5.91
실집갯지렁이(<i>Nothria shirikishinaiensis</i>)	0.02					0.005	0.26
털보집갯지렁이(<i>Diopatra sugokai</i>)		0.37				0.07	3.89
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)				0.58		0.12	6.02
개올타리고둥 (<i>Monodonta (Monodonta) labioconfusa</i>)				0.45		0.09	4.71
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				0.59		0.12	6.18
비틀이고둥(<i>Cerithideopsis cingulata</i>)				1.37		0.27	14.37
멍가리(<i>Batillaria cumingi</i>)				0.99		0.20	10.32
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.15	0.09	0.04		1.59	0.37	19.55
개조개(<i>Saxidomus purpuratus</i>)			0.22			0.04	2.25
중밧(<i>Musculus (Musculista) senhausia</i>)		0.01				0.002	0.10
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)					0.33	0.07	3.46
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)		0.07		0.01	0.13	0.04	2.19
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)				0.46		0.09	4.82
집게류(<i>Pagurus</i> sp.)			0.16			0.03	1.68
자주새우(<i>Crangon affinis</i>)				0.21		0.04	2.20
단각류(<i>Amphipoda</i> spp.)				0.01	0.001	0.001	0.06

라. 군집지수

① 우점도 지수(C)

군산(선유도) 조사에서의 대형저서동물의 우점도 지수는 1차 조사는 0.21~0.43, 2차 조사는 0.14~0.23, 3차 조사에서는 0.24~0.43, 4차 조사는 0.17~0.42, 5차 조사는 0.22~0.62, 6차 조사는 0.15~0.50으로 나타났다. 정점별 우점도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 정점 대조2, 2차 조사의 사업내1, 사업내2, 3차 조사의 대조1, 4차 조사의 사업내1, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내2에서 가장 높은 우점도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조1, 2차 조사의 대조2, 3차 조사의 사업내3, 4차 조사의 대조2, 5차 조사의 대조1, 6차 조사의 대조1에서 가장 낮은 우점도 지수를 나타냈다(그림 4-3-6). 평균적으로는 1차 조사와 5차 조사에서 각각 0.32로 높은 우점도 지수를 나타냈고, 2차 조사에서 0.20으로 낮은 우점도 지수를 나타냈다.

② 다양도 지수(H')

군산(선유도) 조사에서의 대형저서동물의 다양도 지수는 1차 조사는 1.22~1.67, 2차 조사는 1.63~2.06, 3차 조사는 1.15~1.71, 4차 조사는 1.17~1.98, 5차 조사는 0.86~1.92, 6차 조사는 1.04~2.00로 나타났다. 정점별 다양도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 사업내3, 2차 조사의 대조2, 3차 조사의 사업내3, 4차 조사의 대조2, 5차 조사의 사업내1, 6차 조사의 대조1에서 가장 높은 다양도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내1, 3차 조사의 대조1, 4차 조사의 사업내1, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내1에서 가장 낮은 다양도 지수를 나타냈다(그림 4-3-6). 평균적으로는 2차 조사에서 1.82로 높은 우점도 지수를 나타냈고, 6차 조사에서 1.49로 낮은 다양도 지수를 나타냈다.

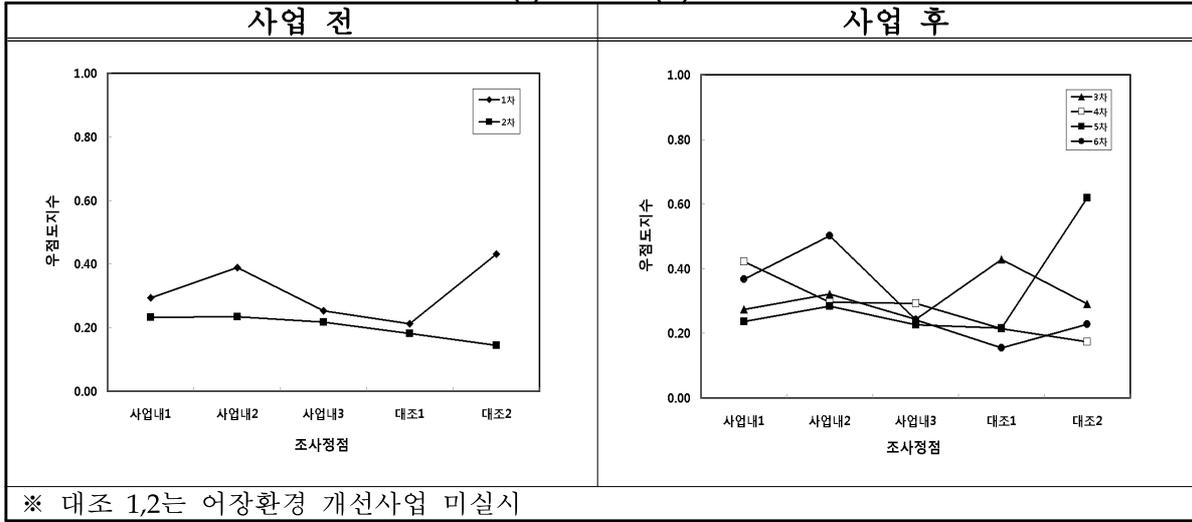
③ 균등도 지수(J')

군산(선유도) 조사에서의 대형저서동물의 균등도 지수는 1차 조사는 0.68~0.97, 2차 조사는 0.78~0.91, 3차 조사는 0.71~0.78, 4차 조사는 0.73~0.90, 5차 조사는 0.48~0.92, 6차 조사는 0.56~0.95로 나타났다. 정점별 균등도 지수를 살펴보면, 1차 조사는 대조1, 2차 조사는 사업내1, 3차 조사는 사업내3, 4차 조사는 대조1, 5차 조사는 대조1, 6차 조사는 대조2에서 가장 높은 균등도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내2, 3차 조사의 대조1, 대조2, 4차 조사의 사업내1, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내2에서 가장 낮은 균등도 지수를 나타냈다(그림 4-3-6). 평균적으로는 2차 조사와 6차 조사에서 각각 0.84로 높은 균등도 지수를 나타냈고, 3차 조사에서 0.74로 낮은 균등도 지수를 나타냈다.

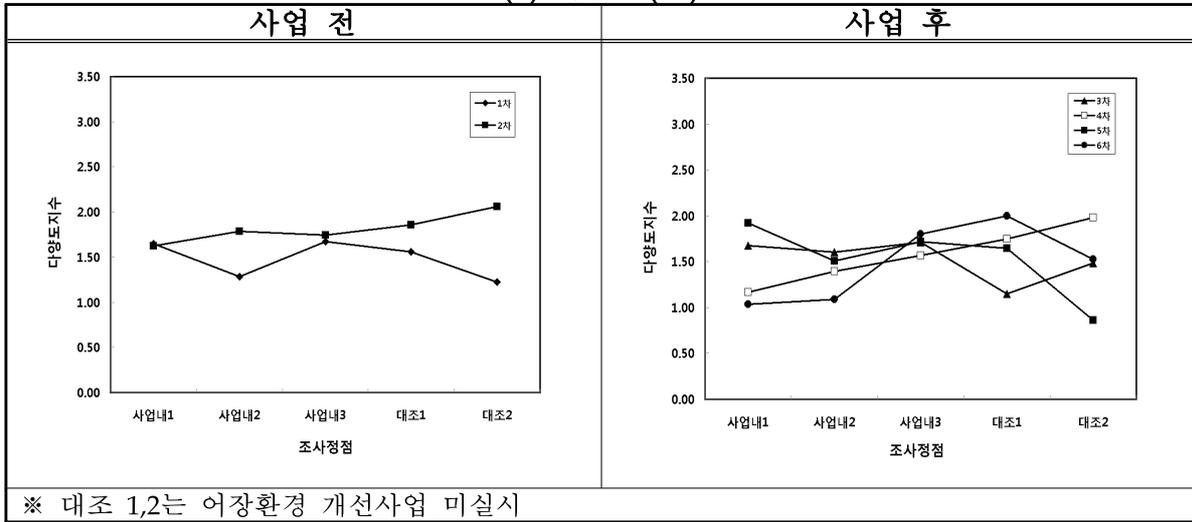
표 4-3-26. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수

군집지수	조사 시기	조사 정점					평균
		사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	
우점도 (C)	1차	0.29	0.39	0.25	0.21	0.43	0.32
	2차	0.23	0.23	0.22	0.18	0.14	0.20
	3차	0.27	0.32	0.24	0.43	0.29	0.31
	4차	0.42	0.30	0.29	0.21	0.17	0.28
	5차	0.24	0.28	0.23	0.22	0.62	0.32
	6차	0.37	0.50	0.24	0.15	0.23	0.30
다양도 (H')	1차	1.65	1.28	1.67	1.56	1.22	1.48
	2차	1.63	1.79	1.75	1.86	2.06	1.82
	3차	1.67	1.60	1.71	1.15	1.49	1.52
	4차	1.17	1.39	1.57	1.75	1.98	1.57
	5차	1.92	1.51	1.71	1.65	0.86	1.53
	6차	1.04	1.09	1.80	2.00	1.52	1.49
균등도 (J')	1차	0.75	0.72	0.76	0.97	0.68	0.78
	2차	0.91	0.78	0.84	0.81	0.90	0.84
	3차	0.76	0.73	0.78	0.71	0.71	0.74
	4차	0.73	0.78	0.81	0.90	0.86	0.81
	5차	0.80	0.77	0.82	0.92	0.48	0.76
	6차	0.94	0.56	0.82	0.91	0.95	0.84

(a) 우점도(C)



(b) 다양도(H')



(c) 균등도(J')

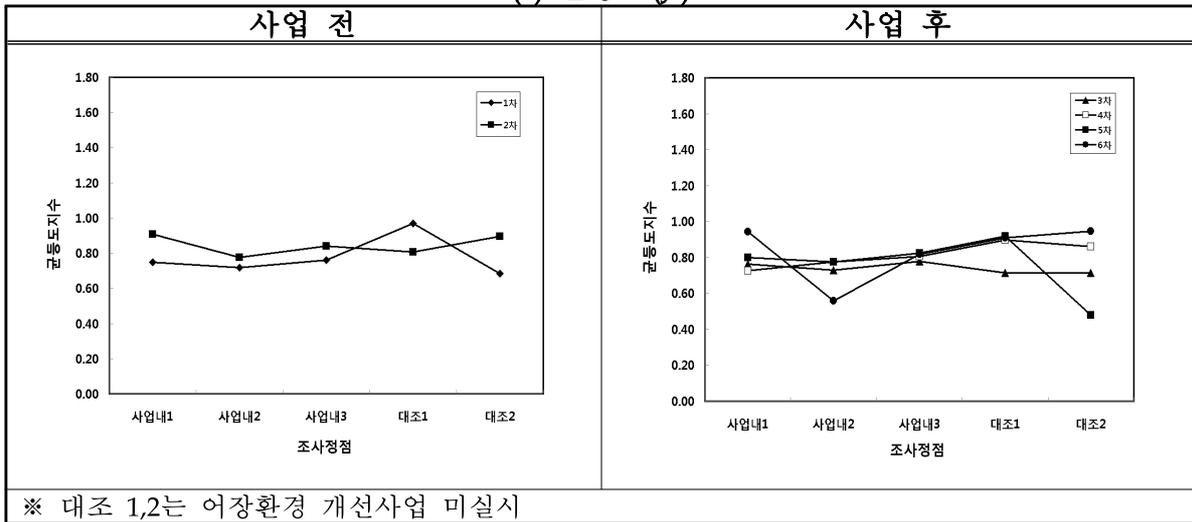


그림 4-3-6. 군산어장개선 사업지역의 대형저서동물 균집지수.

3. 무안

가. 출현종

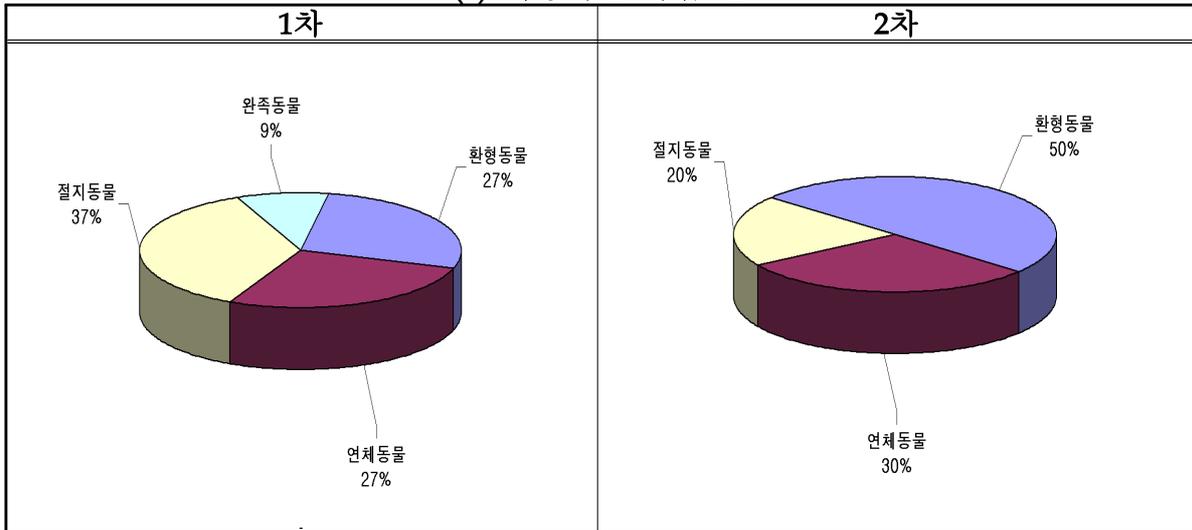
어장환경 개선사업에 따른 무안어장의 정화사업 전, 후에 따른 출현종의 변화를 살펴 보면 <그림 4-3-7>과 같다.

개선사업 전의 1차 조사에서 출현한 저서동물은 총 4문 11종으로, 절지동물문이 4종 37%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물문과 연체동물문이 각각 3종 27%, 완족동물문이 1종 9%로 나타났으며, 2차 조사에서는 총 3문 10종으로 환형동물문이 5종 50%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문 3종 30%, 절지동물문 2종 20%를 차지하여 개선 사업전 조사에서는 평균 4문 11종이 출현하였다.

개선사업 후의 3차 조사에서는 총 3문 7종으로 연체동물문과 절지동물문이 각각 3종 43%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물문이 1종 14%로 나타났으며, 4차 조사에서 총 3문 14종으로 환형동물문이 7종 50%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문이 4종 29%, 절지동물문이 3종 21%로 나타났고, 5차 조사에서는 총 3문 15종으로 환형동물문이 9종 60%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문이 5종 33%, 절지동물문 1종 7%, 6차 조사에서는 총 3문 13종으로 환형동물문이 7종 54%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문 4종 31%, 절지동물문 2종 15%로 나타나 사업후 조사에서는 평균 3문 12종이 출현하였다.

따라서, 동물군별 출현율은 개선사업 전 조사에서는 절지동물문이 높은 출현율을 보였으나, 이후 연체동물문과 환형동물문이 높은 출현율을 보였고, 개선사업 후에는 환형동물문이 주로 우점 동물군으로 출현하는 것으로 나타났다.

(a) 어장개선 사업 전



(b) 어장개선 사업 후

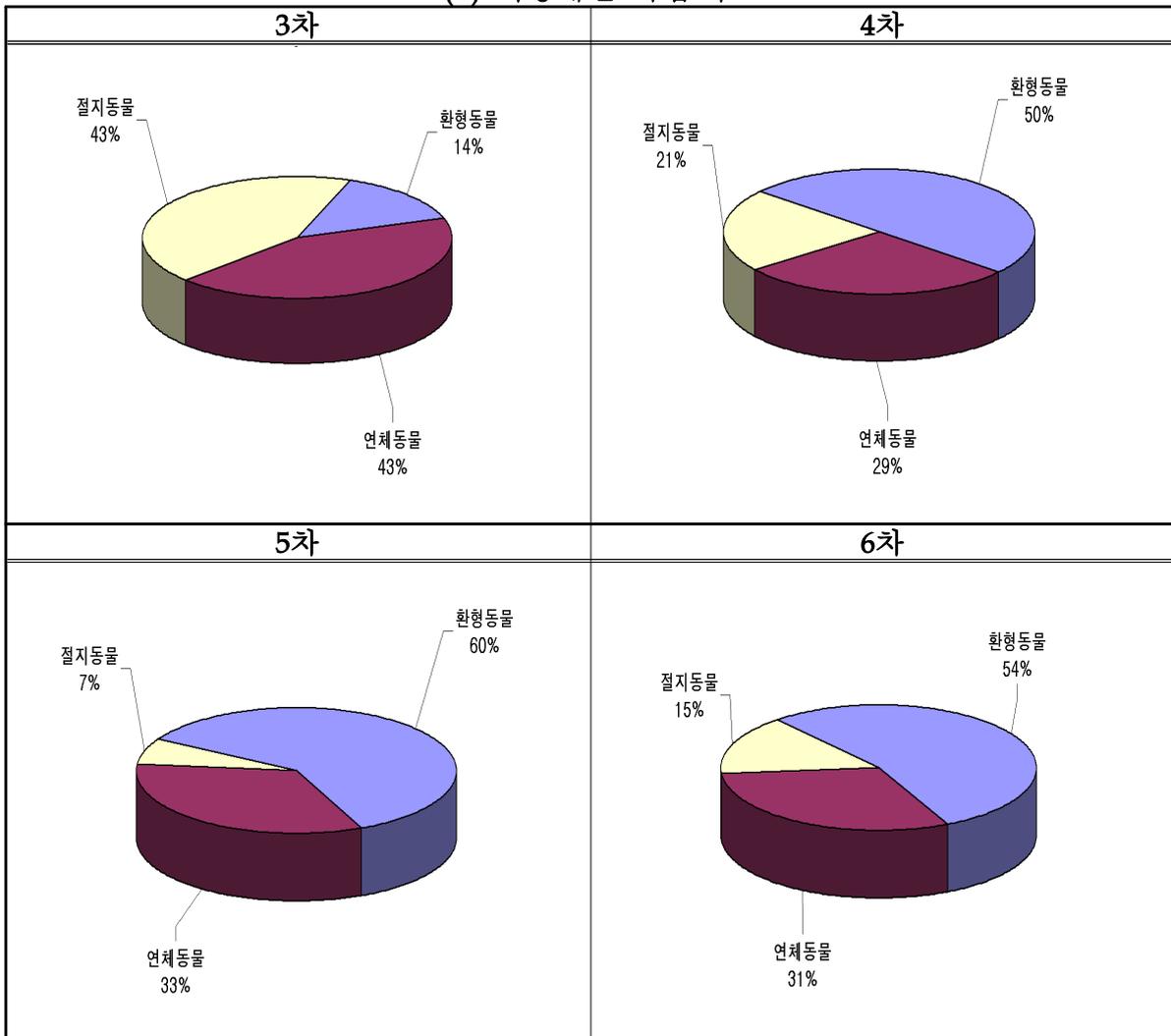


그림 4-3-7. 무안어장개선 사업 전·후의 동물군별 출현율.

나. 출현종수 및 개체수

무안 조사의 1차부터 6차까지 저서동물의 출현종수 및 개체수를 살펴보았다. 1차 조사에서의 출현종수는 2~6종이 출현하였으며, 평균 4종이 출현하였다. 또한 출현개체수는 57~65 indiv./m² 로, 평균 62 indiv./m² 이었다.

2차 조사에서의 출현종수는 2~5종이 출현하였으며, 평균 3종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 16~36 indiv./m² 로, 평균 24 indiv./m² 이었다.

3차 조사에서의 출현종수는 1~3종이 출현하였으며, 평균 2종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 4~25 indiv./m² 로, 평균 16 indiv./m² 이었다.

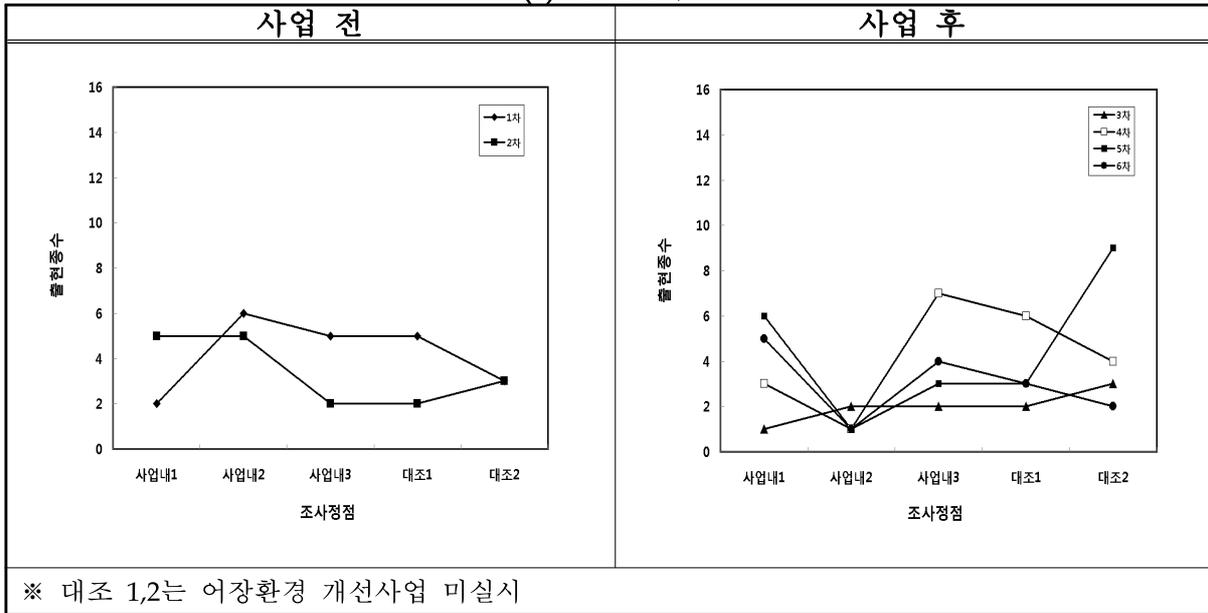
4차 조사에서의 출현종수는 1~7종이 출현하였으며, 평균 4종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 4~53 indiv./m² 로, 평균 33 indiv./m² 이었다.

5차 조사에서의 출현종수는 1~9종이 출현하였으며, 평균 4종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 4~141 indiv./m² 로, 평균 53 indiv./m² 이었다.

6차 조사에서의 출현종수는 1~5종이 출현하였으며, 평균 3종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 13~61 indiv./m² 로, 평균 26 indiv./m² 이었다.

출현종과 출현개체수를 어장개선 사업 전과 사업 후로 비교했을 시, 사업 전 조사에서는 1차 조사에서 평균 4종으로 가장 많이 출현하였으며, 출현 종수는 1차 조사의 사업 내2에서 6종, 출현 개체수는 1차 조사의 대조1, 2에서 각각 65 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 사업후의 조사에서는 4, 5차 조사에서 각각 평균 4종으로 가장 많이 출현하였으며, 출현종수와 출현개체수는 5차 조사의 대조2에서 각각 9종 141 indiv./m²로 가장 많이 출현하였다. 무안 어장개선 사업 전과 후의 출현종수 및 출현개체수 비교는 <그림 4-3-8>과 같다.

(a) 출현종수



(b) 출현개체수 (indiv./m²)

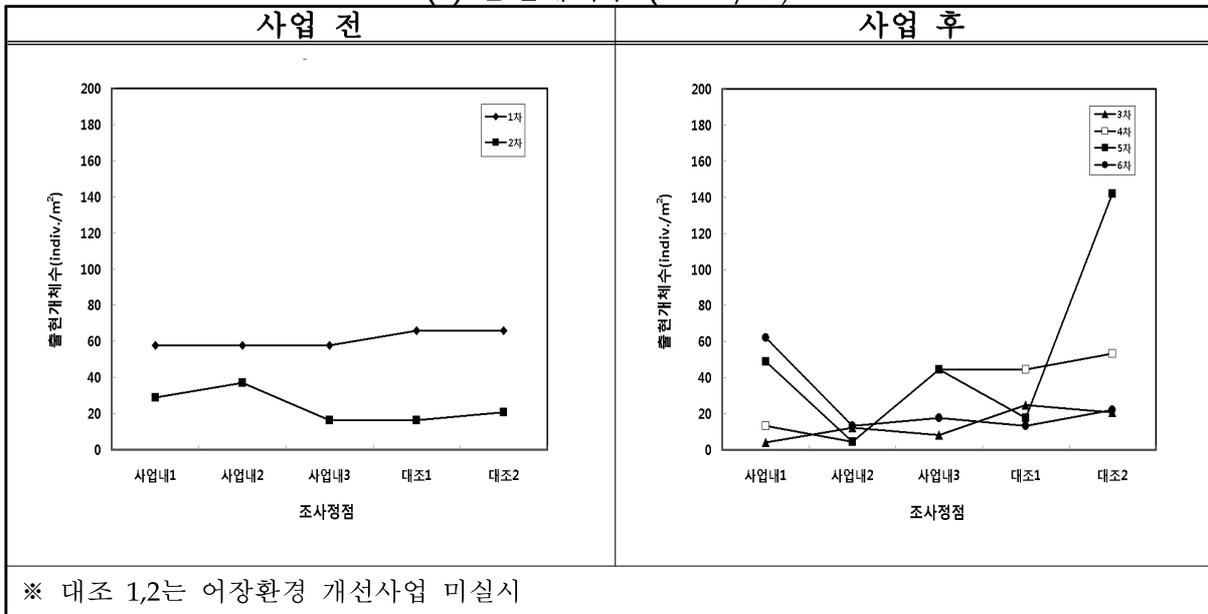


그림 4-3-8. 무안어장개선 사업 전·후의 출현종수 및 출현개체수.

다. 출현종 및 중량

무안 조사의 정점별 저서동물의 출현종 및 출현량을 살펴보면 1차 조사에서는 총 4문 11종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 사업내2에서 6종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 사업내3, 대조1에서 각각 5종으로 평균 4종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 48.65%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 18.92%, 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 14.86%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-27). 출현량에 있어서는 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 68.26%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 완족동물의 개맛(*Lingula unguis*)이 16.87%, 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 5.90%, 절지동물의 큰손딱총새우(*Alpheus digitalis*)가 5.42%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-28).

2차 조사에서는 총 3문 10종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 사업내1과 사업내2에서 각각 5종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 대조2에서 3종으로 평균 3종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 31.03%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*), 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)와 무당게(*Paracleistostoma cristatum*)가 각각 13.79%, 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)와 연체동물의 태양접시조개(*Tellinella staurella*)가 각각 6.90%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보였다(표 4-3-29). 출현량에 있어서는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 72.76%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 9.24%, 올리브복털조개(*Estellarca olivacea*)가 7.16%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-30).

3차 조사에서는 총 3문 7종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 대조2에서 3종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로 정점 사업내2, 사업내3, 대조1에서 각각 2종으로 평균 2종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 47.06%로 가장 우점 하였으며, 다음으로 연체동물의 갯비틀이고둥(*Cerithideopsisilla djadjariensis*)과 태양접시조개(*Tellinella staurella*), 절지동물의 큰손딱총새우(*Alpheus digitalis*)가 각각 11.76%, 비틀이고둥(*Cerithideopsisilla cingulata*)과 무당게(*Paracleistostoma cristatum*), 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 각각 5.88%의 출현율을 보였다(표 4-3-31). 출현량에 있어서는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 62.31%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 갯비틀이고둥(*Cerithideopsisilla djadjariensis*)이 19.61%, 태양접시조개(*Tellinella staurella*)가 6.33%, 절지동물의 큰손딱총새우(*Alpheus digitalis*)가 5.71%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-32).

4차 조사에서는 총 3문 14종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 사업내3에서 7종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 정점 대조1에서 6종, 정점 대조2에서 4종으로 평균 4종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 19.44%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 16.67%, 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 13.89%, 긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*)가 8.33%, 환형동물의 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)와 넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes oxypoda*), 연체동물의 갯비틀이고둥(*Cerithideopsilla djadjariensis*)과 태양접시조개(*Tellinella staurella*), 절지동물의 무당게(*Paracleistostoma cristatum*)가 각각 5.56%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-33). 출현량에 있어서는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 49.43%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 갯비틀이고둥(*Cerithideopsilla djadjariensis*)이 32.72%, 비틀이고둥(*Cerithideopsilla cingulata*)이 10.46%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-34).

5차 조사에서는 총 3문 15종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 대조2에서 9종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 정점 사업내1에서 6종으로 평균 4종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 25.86%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*)가 18.97%, 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)와 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 각각 13.79%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-35). 출현량에 있어서는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 32.04%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 연체동물의 민챙이(*Bullacta exarata*)가 27.36%, 왜접시조개(*Merisca (Pistris) capsoides*)가 21.54%, 갯비틀이고둥(*Cerithideopsilla djadjariensis*)이 9.64%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-36).

6차 조사에서는 총 3문 13종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 사업내1에서 5종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 사업내3에서 4종, 정점 대조1에서 3종으로 평균 3종이 출현하였다. 주요 우점종을 살펴보면 환형동물의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 20.69%로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)와 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 각각 17.24%, 긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*)가 10.34%, 땡가리(*Batillaria cumingii*)가 6.90%의 출현율을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현율을 보였다(표 4-3-37). 출현량에 있어서는 연체동물의 땡가리(*Batillaria cumingii*)가 39.57%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 22.28%, 연체동물의 비틀이고둥(*Cerithideopsilla cingulata*)이 20.00%, 태양접시조개(*Tellinella staurella*)가 6.29%의 출현량을 보였으며, 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-38).

표 4-3-27. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(1차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	2종	6종	5종	5종	3종	4종	100
	57	57	57	65	65	62	
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		12				2	4.05
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)	41	8	12	33	53	30	48.65
띠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)	16	4	29		8	12	18.92
연체동물 Mollusca							
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)			4			1	1.35
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)				4	4	2	2.70
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)			4			1	1.35
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		25	8	12		9	14.86
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)				12		2	4.05
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)				4		1	1.35
큰손딱총새우(<i>Alpheus digitalis</i>)		4				1	1.35
완족동물 Brachiopoda							
개맛(<i>Lingula unguis</i>)		4				1	1.35

표 4-3-28. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(1차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	2종	6종	5종	5종	3종	4종	100
	0.02	3.27	1.89	3.03	0.09	1.66	
환형동물 Annelida							
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		0.04				0.01	0.48
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.67
띠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)	0.01	0.02	0.01		0.01	0.01	0.55
연체동물 Mollusca							
대수리(<i>Thais (Reishia) clavigera</i>)			0.01			0.002	0.12
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)				0.42	0.07	0.10	5.90
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)			0.10			0.02	1.20
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		1.36	1.75	2.56		1.13	68.26
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)				0.01		0.002	0.15
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)				0.03		0.01	0.36
큰손딱총새우(<i>Alpheus digitalis</i>)		0.45				0.09	5.42
완족동물 Brachiopoda							
개맛(<i>Lingula unguis</i>)		1.40				0.28	16.87

표 4-3-29. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(2차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	5종	5종	2종	2종	3종	3종	100
	28	36	16	16	20	24	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)					4	1	3.45
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	4	12				3	13.79
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)	4					1	3.45
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenellakoreana</i>)	12		12	12		7	31.03
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenellakoellikeri</i>)		8				2	6.90
연체동물 Mollusca							
땡가리(<i>Batillaria cumingii</i>)	4					1	3.45
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	4				4	2	6.90
올리브복털조개(<i>Estellarca olivacea</i>)		4				1	3.45
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		8	4	4		3	13.79
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)		4			12	3	13.79

표 4-3-30. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(2차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	5종	5종	2종	2종	3종	3종	100
	1.37	3.34	2.98	1.90	0.47	2.01	
환형동물 Annelida							
치로리미감갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)					0.16	0.03	1.55
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.02	0.01				0.01	0.27
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)	0.03					0.01	0.34
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenellakoreana</i>)	0.01		0.01	0.01		0.01	0.34
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenellakoellikeri</i>)		0.01				0.002	0.09
연체동물 Mollusca							
땡가리(<i>Batillaria cumingii</i>)	0.93					0.19	9.24
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	0.38				0.08	0.09	4.57
올리브복털조개(<i>Estellarca olivacea</i>)		0.72				0.14	7.16
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		2.46	2.97	1.89		1.46	72.76
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)		0.14			0.23	0.07	3.68

표 4-3-31. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(3차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	1종	2종	2종	2종	3종	2종	
	4	12	8	25	20	16	100
환형동물 Annelida							
띠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)		4				1	5.88
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cfadjariensis</i>)					8	2	11.76
비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cingulata</i>)			4			1	5.88
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	4			4		2	11.76
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		8	4	21		7	47.06
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)					4	1	5.88
큰손딱총새우(<i>Alpheus digitalis</i>)					8	2	11.76

표 4-3-32. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(3차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	1종	2종	2종	2종	3종	2종	
	0.16	0.98	0.56	4.68	2.47	1.77	100
환형동물 Annelida							
띠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)		0.05				0.01	0.51
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cfadjariensis</i>)					1.74	0.35	19.61
비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cingulata</i>)			0.26			0.05	2.94
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	0.16			0.40		0.11	6.33
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)		0.93	0.30	4.28		1.10	62.31
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)					0.23	0.05	2.60
큰손딱총새우(<i>Alpheus digitalis</i>)					0.51	0.10	5.71

표 4-3-33. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(4차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	3종	1종	7종	6종	4종	4종	
	12	4	42	44	53	33	100
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					13	3	8.33
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)			4		4	2	5.56
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)				9		2	5.56
반다리미갑갯지렁이(<i>Hemipodus yenourensis</i>)		4				1	2.78
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)				4		1	2.78
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)			4	4	18	5	16.67
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)			4	9	18	6	19.44
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla djadjariensis</i>)	4		4			2	5.56
비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla cingulata</i>)			4			1	2.78
떠조개(<i>Laternula (Exolaternula) marilina</i>)	4					1	2.78
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)				9		2	5.56
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)			13	9		4	13.89
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)			9			2	5.56
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)	4					1	2.78

표 4-3-34. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(4차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	3종	1종	7종	6종	4종	4종	
	1.70	0.001	4.04	3.99	0.11	1.97	100
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					0.015	0.003	0.16
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)			0.07		0.09	0.03	1.61
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)				0.001		0.0002	0.01
반다리미갑갯지렁이(<i>Hemipodus yenourensis</i>)		0.001				0.0002	0.01
짜리버섯갯지렁이(<i>Owenia fusiformis</i>)				0.003		0.001	0.03
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)			0.003	0.003	0.004	0.002	0.10
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)			0.004	0.001	0.004	0.002	0.09
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla djadjariensis</i>)	1.48		1.74			0.64	32.72
비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla cingulata</i>)			1.03			0.21	10.46
떠조개(<i>Laternula (Exolaternula) marilina</i>)	0.13					0.03	1.32
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)				0.20		0.04	2.03
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)			1.08	3.79		0.97	49.43
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)			0.11			0.02	1.12
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)	0.09					0.02	0.91

표 4-3-35. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(5차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	6종	1종	3종	3종	9종	4종	100
	47	4	45	17	141	53	
환형동물 Annelida							
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			9			2	3.45
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)	22				27	10	18.97
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)					36	7	13.79
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	4					1	1.72
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)				4	4	2	3.45
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)					9	2	3.45
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)	4				4	2	3.45
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)	9		9		49	13	25.86
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)				4		1	1.72
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla djadjariensis</i>)		4				1	1.72
왜접시조개(<i>Merisca (Pistris) capsoides</i>)	4				4	2	3.45
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	4					1	1.72
올리브북털조개(<i>Estellarca olivacea</i>)					4	1	1.72
민챙이(<i>Bullacta exarata</i>)					4	1	1.72
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)			27	9		7	13.79

표 4-3-36. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(5차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						구성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	6종	1종	3종	3종	9종	4종	100
	1.24	1.11	2.43	1.35	5.39	2.30	
환형동물 Annelida							
참송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris japonica</i>)			0.01			0.002	0.10
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)	0.02				0.01	0.01	0.25
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)					0.01	0.002	0.07
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.01					0.003	0.11
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)				0.06	0.15	0.04	1.80
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)					0.01	0.002	0.09
녹색불꽃부채발갯지렁이(<i>Eulalia viridis</i>)	0.02				0.03	0.01	0.43
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)	0.01		0.02		0.005	0.01	0.31
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)				0.001		0.0002	0.01
연체동물 Mollusca							
갯비틀이고둥(<i>Cerithiopsisilla djadjariensis</i>)		1.11				0.22	9.64
왜접시조개(<i>Merisca (Pistris) capsoides</i>)	0.96				1.52	0.50	21.54
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	0.22					0.04	1.91
올리브북털조개(<i>Estellarca olivacea</i>)					0.50	0.10	4.34
민챙이(<i>Bullacta exarata</i>)					3.15	0.63	27.36
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)			2.40	1.29		0.74	32.04

표 4-3-37. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 출현개체수(6차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	5종	1종	4종	3종	2종	3종	100
	61	13	16	12	22	26	
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					13	3	10.34
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)				4		1	3.45
큰참갯지렁이(<i>Neanthes virens</i>)			4			1	3.45
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	22		4			5	20.69
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)				4		1	3.45
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)			4			1	3.45
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)		13			9	4	17.24
연체동물 Mollusca							
비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cingulata</i>)			4			1	3.45
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				4		1	3.45
망가리(<i>Batillaria cumingii</i>)	9					2	6.90
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	4					1	3.45
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	22					4	17.24
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)	4					1	3.45

표 4-3-38. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물의 출현량(6차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	5종	1종	4종	3종	2종	3종	100
	2.89	0.02	0.94	0.13	0.04	0.80	
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)					0.02	0.004	0.51
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)				0.01		0.003	0.35
큰참갯지렁이(<i>Neanthes virens</i>)			0.02			0.005	0.57
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)	0.03		0.10			0.03	3.12
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)				0.04		0.01	0.90
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)			0.01			0.003	0.35
떠대나무갯지렁이(<i>Clymenella koellikeri</i>)		0.02			0.02	0.01	1.02
연체동물 Mollusca							
비틀이고둥(<i>Cerithideopsisilla cingulata</i>)			0.80			0.16	20.00
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)				0.08		0.02	2.06
망가리(<i>Batillaria cumingii</i>)	1.59					0.32	39.57
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)	0.25					0.05	6.29
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	0.90					0.18	22.28
길게(<i>Macrophthalmus abbreviatus</i>)	0.12					0.02	2.98

라. 군집지수

① 우점도 지수(C)

무안 조사에서의 대형저서동물의 우점도 지수는 1차 조사는 0.25~0.67, 2차 조사는 0.21~0.60, 3차 조사는 0.33~1.00, 4차 조사는 0.16~1.00, 5차 조사는 0.22~1.00, 6차 조사는 0.21~1.00으로 나타났다. 정점별 우점도를 살펴보면, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내3, 대조1, 3차 조사의 사업내1, 4차 조사의 사업내2, 5차 조사의 사업내2, 6차 조사의 사업내2에서 가장 높은 우점도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 사업내2, 2차 조사의 사업내2, 3차 조사의 대조2, 4차 조사의 사업내3, 대조1, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내3에서 가장 낮은 우점도 지수가 나타났다. 평균적으로는 3차 조사에서 0.60으로 높은 우점도 지수를 나타냈고, 4차 조사에서 0.38의 낮은 우점도 지수를 나타냈다(그림 4-3-9).

② 다양도 지수(H')

무안 조사에서의 대형저서동물의 다양도 지수는 1차 조사는 0.60~1.54, 2차 조사는 0.56~1.52, 3차 조사는 0.00~1.05, 4차 조사는 0.00~1.83, 5차 조사는 0.00~1.74, 6차 조사는 0.00~1.39로 나타났다. 정점별 다양도를 살펴보면, 1차 조사의 사업내2, 2차 조사의 사업내2, 3차 조사의 대조2, 4차 조사의 사업내3, 5차 조사의 대조2, 6차 조사의 사업내1, 사업내3에서 가장 높은 다양도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 사업내1, 대조2, 2차 조사의 사업내3, 대조1, 3차 조사의 사업내1, 4차 조사의 사업내2, 5차 조사의 사업내2, 6차 조사의 사업내2에서 가장 낮은 다양도 지수가 나타났다. 평균적으로는 4차 조사에서 1.19로 높은 다양도 지수를 나타냈고, 6차 조사에서 0.91로 낮은 다양도 지수를 나타냈다(그림 4-3-9).

③ 균등도 지수(J')

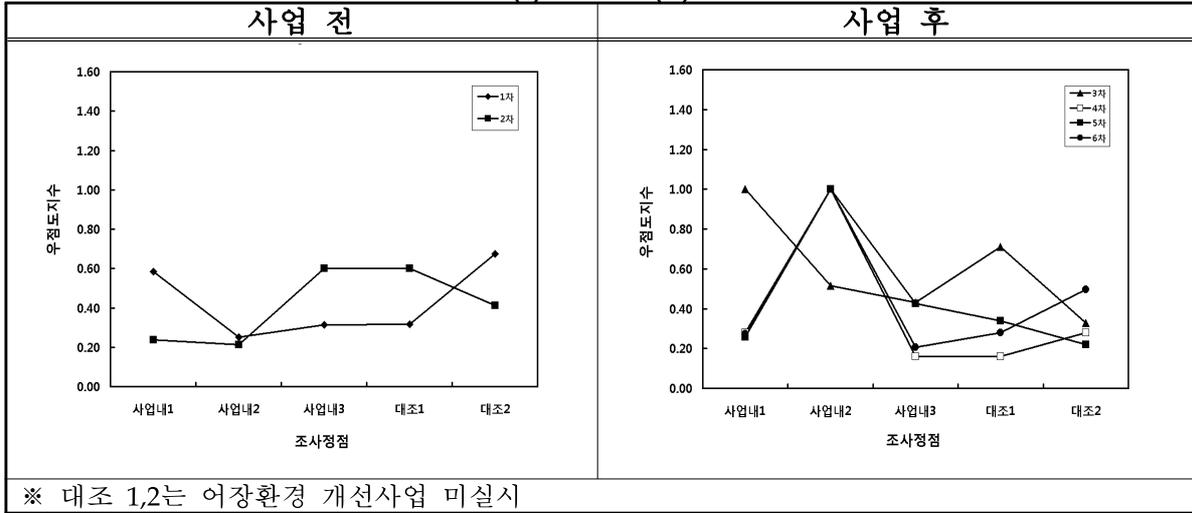
무안 조사에서의 대형저서동물의 균등도 지수는 1차 조사는 0.55~0.86, 2차 조사는 0.81~0.95, 3차 조사는 0.00~1.00, 4차 조사는 0.00~1.00, 5차 조사는 0.00~0.95, 6차 조사는 0.00~1.00으로 나타났다. 정점별 균등도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 사업내1, 사업내2, 2차 조사의 사업내2, 3차 조사의 사업내3, 4차 조사의 사업내1, 5차 조사의 대조1, 6차 조사의 사업내3, 대조1에서 가장 높은 균등도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 사업내3, 대조1, 3차 조사의 사업내1, 4차 조사의 사업내2, 5차 조사의 사업내2, 6차 조사의 사업내2에서 가장 낮은 균등도 지수를 나타냈다. 평균적으로는 2차 조사에서 0.87로 높은 균등도 지수를 나타냈고, 5차 조사에서 0.69로 낮은 균등도 지수를 나타냈다(그림 4-3-9).

표 4-3-39. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 군집지수

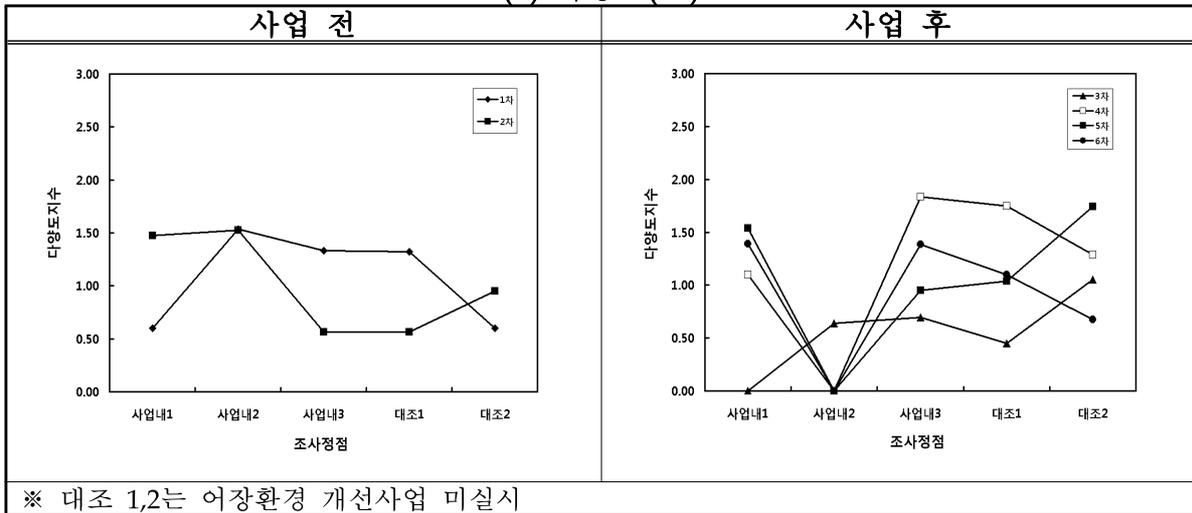
군집지수	조사 시기	조사 정점					평균
		사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	
우점도 (C)	1차	0.58	0.25	0.31	0.32	0.67	0.43
	2차	0.24	0.21	0.60	0.60	0.41	0.41
	3차	1.00	0.52	0.43	0.71	0.33	0.60
	4차	0.28	1.00	0.16	0.16	0.28	0.38
	5차	0.26	1.00	0.43	0.34	0.22	0.45
	6차	0.27	1.00	0.21	0.28	0.50	0.45
다양도 (H')	1차	0.60	1.54	1.33	1.32	0.60	1.08
	2차	1.48	1.52	0.56	0.56	0.95	1.01
	3차	0.00*	0.64	0.69	0.45	1.05	0.57
	4차	1.10	0.00*	1.83	1.75	1.29	1.19
	5차	1.54	0.00*	0.95	1.04	1.74	1.05
	6차	1.39	0.00*	1.39	1.10	0.67	0.91
균등도 (J')	1차	0.86	0.86	0.83	0.82	0.55	0.78
	2차	0.92	0.95	0.81	0.81	0.86	0.87
	3차	0.00*	0.92	1.00	0.65	0.96	0.71
	4차	1.00	0.00*	0.94	0.98	0.93	0.77
	5차	0.86	0.00*	0.86	0.95	0.79	0.69
	6차	0.86	0.00*	1.00	1.00	0.97	0.77

* 평균 출현 종수 1종 이하로 산출되지 않음

(a) 우점도(C)



(b) 다양도(H')



(c) 균등도(J')

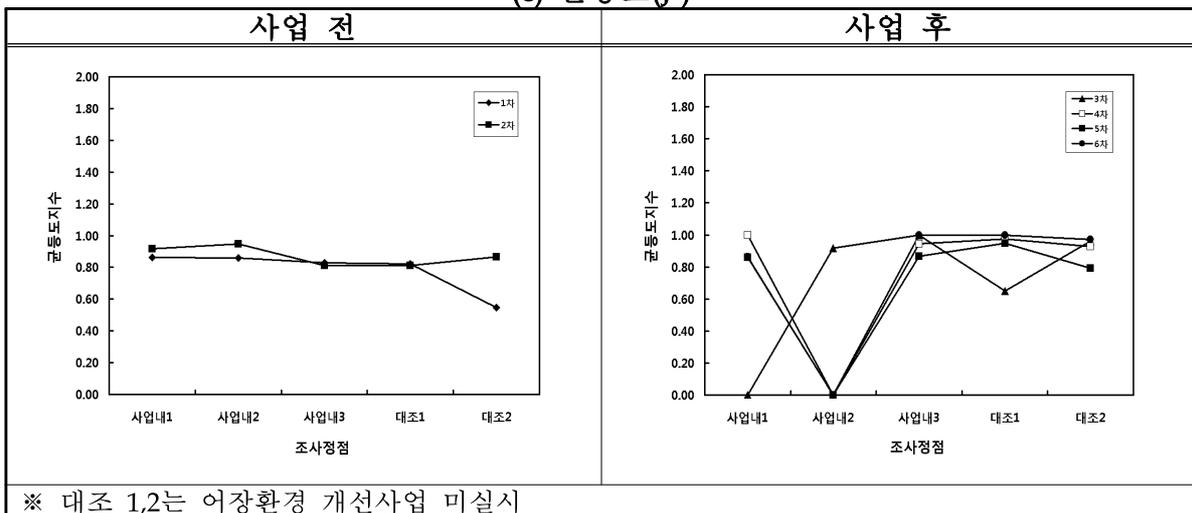


그림 4-3-9. 무안어장개선 사업지역의 대형저서동물 균집지수.

4. 치패어장

가. 출현종

무안 치패어장에서의 출현종의 변화를 살펴보면 <그림 4-3-10>과 같다.

1차 조사에서 출현한 저서동물은 총 4문 9종으로 절지동물문이 4종 45%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 연체동물문 3종 33%, 환형동물문과 자포동물문이 각각 1종 11%로 나타났으며, 2차 조사에서는 총 3문 8종으로 연체동물문이 4종 49%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물문 3종 38%, 자포동물문 1종 13%로 나타났다. 3차 조사에서는 총 3문 15종으로 연체동물문과 환형동물문이 각각 7종 47%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 절지동물문 1종 6%로 나타났으며, 4차 조사에서 총 2문 10종으로 연체동물이 6종 60%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 환형동물 4종 40%로 나타났다. 5차 조사에서는 총 4문 20종으로 환형동물문과 연체동물문이 각각 7종 35%로 가장 높은 출현율을 보였고, 다음으로 절지동물문 5종 25%, 극피동물문 1종 5%의 출현율을 보였다.

따라서, 조사기간 동안에 치패발생 어장내 3정점과 대조구 2정점에서의 동물군별 출현율은 연체동물문과 환형동물이 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 절지동물문, 자포동물문, 극피동물문 순으로 출현한 것으로 조사되었다.

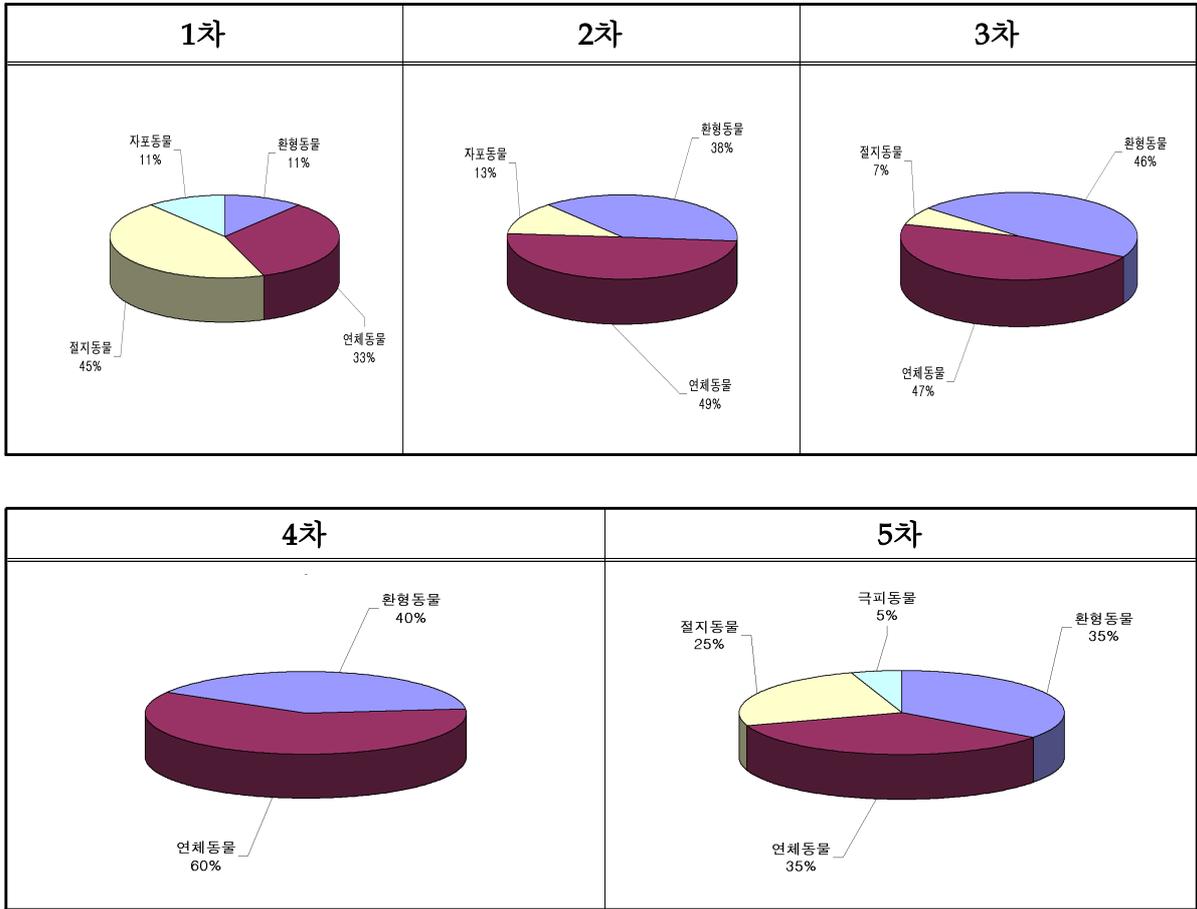
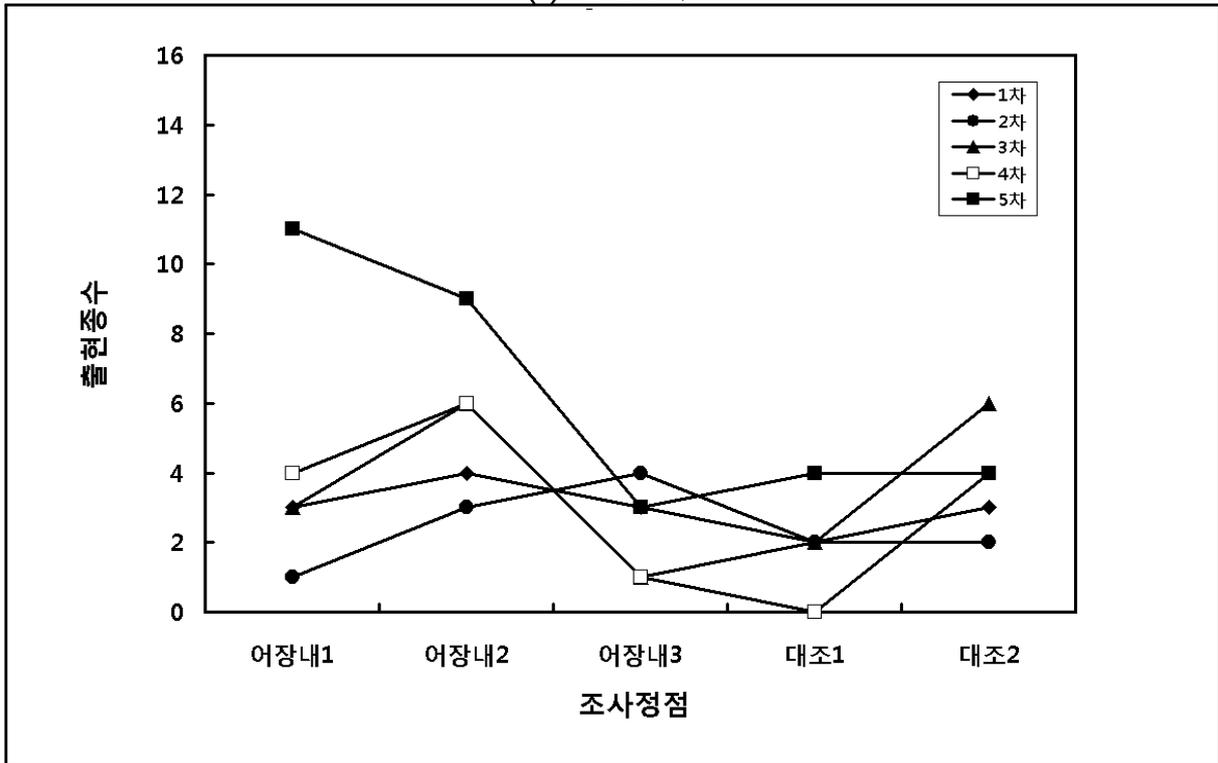


그림 4-3-10. 무안 치패어장의 동물군별 출현율.

나. 출현종수 및 개체수

치패어장 조사의 1차부터 5차까지 저서동물의 출현종수 및 개체수를 살펴보았다. 1차 조사에서의 출현종수는 2~4종이 출현하였으며, 평균 3종이 출현하였다. 또한 출현개체수는 25~98 indiv./m²로, 평균 59 indiv./m² 이었다. 2차 조사에서의 출현종수는 1~4종이 출현하였으며, 평균 2종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 8~20 indiv./m²로, 평균 16 indiv./m²이었다. 3차 조사에서의 출현종수는 1~6종이 출현하였으며, 평균 4종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 4~33 indiv./m²로, 평균 24 indiv./m²이었다. 4차 조사에서의 출현종수는 0~6종이 출현하였으며, 평균 3종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 0~138 indiv./m²로, 평균 61 indiv./m²이었다. 5차 조사에서의 출현종수는 3~11종이 출현하였으며, 평균 6종이 출현하였다. 또한 출현 개체수는 44~181 indiv./m²로, 평균 98 indiv./m² 이었다.

(a) 출현종수



(b) 출현개체수 (indiv./m²)

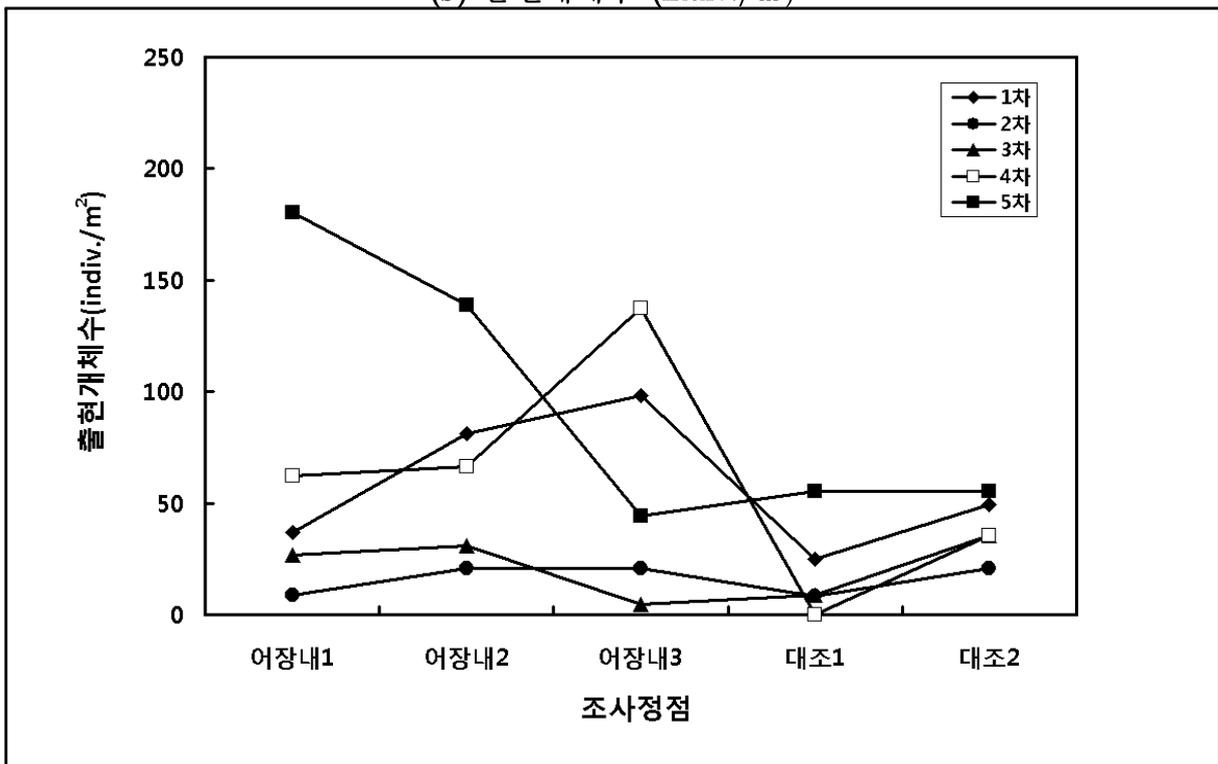


그림 4-3-11. 무안 치패어장의 출현종수 및 출현개체수.

다. 출현종 및 중량

치패어장 조사의 정점별 저서동물의 출현종 및 출현량을 살펴보면 1차 조사에서는 총 4문 9종이 출현 하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 어장내2에서 4종으로 가장 많이 출현하였으며, 다음으로는 정점 어장내1, 어장내3, 대조2에서 각각 3종으로 평균 3종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 70.27%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 9.91%, 무당게(*Paracleistostoma cristatum*)와 집게류(*Pagurus* sp.)가 각각 5.66%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보였다(표 4-3-40). 출현량에 있어서는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 39.83%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 25.74%, 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 19.38%, 집게류(*Pagurus* sp.)가 5.57%, 자포동물의 풀색꽃해변말미잘(*Anthopleura midori*)이 5.36%의 출현량을 보였으며 기타는 5% 미만의 출현량을 보였다(표 4-3-41).

2차 조사에서는 총 3문 8종이 출현 하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 어장내3에서 4종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 어장내2에서 3종, 정점 대조1, 대조2에서 각각 2종으로 평균 2종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)와 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 각각 20.88%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 환형동물의 넓적발참갯지렁이(*Nectoneanthes oxypoda*)가 15.66%, 연체동물의 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이 11.26%, (연체동물의<-삭제) 환형동물의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)와 연체동물의 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 각각 10.44%, 띠줄언청이고둥(*Brachytoma tuberosa*)과 풀색꽃해변말미잘(*Anthopleura midori*)이 각각 5.22%의 출현율을 보였다(표 4-3-42). 출현량에 있어서는 연체동물의 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 38.60%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 22.66%, 띠줄언청이고둥(*Brachytoma tuberosa*)이 20.83%, 자포동물의 풀색꽃해변말미잘(*Anthopleura midori*)이 7.93%, 갯고둥(*Batillaria multiformis*)이 7.13%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-43).

3차 조사에서는 총 3문 15종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 어장내2, 대조2에서 각각 6종으로 (평균이하 종 삭제) 평균 4종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 16.67%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 환형동물의 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*)와 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 각각 12.50%, 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)와 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 각각 8.33%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보였다(표 4-3-44). 출현량에 있어서는 연체동물의 떡조개(*Dosinorbis (Phacosoma) japonicus*)가 29.21%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 쇠백합(*Pitar (Pitarina) sulfureum*)이 27.77%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 14.32%, 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)이 13.07%, 환형동물의

긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*)가 5.30%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-45).

4차 조사에서는 총 2문 10종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 어장내2에서 6종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 어장내1, 대조2에서 각각 4종으로 평균 3종이 출현하였다. 주요 우점종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 60.29%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 10.29%, 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 7.35%, 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 5.88%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보였다(표 4-3-46). 출현량에 있어서는 연체동물의 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)이 38.81%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 30.74%, 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 12.41%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-47).

5차 조사에서는 총 4문 20종이 출현하였다. 조사 정점별 출현 종수를 살펴보면 정점 어장내1에서 11종으로 가장 많이 출현하였고, 다음으로는 정점 어장내2에서 9종으로 평균 6종이 출현하였다. 주요 우점 종으로는 연체동물의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 25.24%로 가장 우점 하였고, 다음으로는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 9.12%, 환형동물의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 8.77%, 연체동물의 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*)이 7.80%의 출현율을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현율을 보였다(표 4-3-48). 출현량에 있어서는 연체동물의 새꼬막(*Scapharca subcrenata*)이 69.62%로 가장 우점 하였으며, 다음으로는 극피동물의 하드웍분지성게(*Tennopleurus hardwicki*)가 14.64%, 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 6.14%의 출현량을 보였으며, 기타는 5%미만의 출현량을 보였다(표 4-3-49).

표 4-3-40. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(1차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	3종	4종	3종	2종	3종	3종	
	37	81	98	25	49	59	100
환형동물 Annelida							
흙울타리갯지렁이(<i>Lygdamis giardi</i>)		4				1	1.42
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	4					1	1.42
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					8	2	2.83
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	25	69	90	21		41	70.27
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				4	25	6	9.91
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)					16	3	5.66
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	8	4	4			3	5.66
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		4				1	1.42
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)			4			1	1.42

표 4-3-41. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(1차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	3종	4종	3종	2종	3종	3종	
	0.83	1.36	1.53	2.91	2.52	1.83	100
환형동물 Annelida							
흙울타리갯지렁이(<i>Lygdamis giardi</i>)		0.02				0.004	0.20
연체동물 Mollusca							
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	0.19					0.04	2.08
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					2.36	0.47	25.74
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.55	0.82	1.00	1.27		0.73	39.83
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)				1.64	0.13	0.35	19.38
무당게(<i>Paracleistostoma cristatum</i>)					0.03	0.01	0.36
집게류(<i>Pagurus sp.</i>)	0.09	0.38	0.04			0.10	5.57
딱총새우(<i>Alpheus brevicristatus</i>)		0.14				0.03	1.50
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)			0.49			0.10	5.36

표 4-3-42. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(2차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						구성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	1종	3종	4종	2종	2종	2종	
	9	20	20	8	20	16	100
환형동물 Annelida							
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)			8			2	10.44
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)		8	4			2	15.66
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)					16	3	20.88
연체동물 Mollusca							
띠줄언청이고둥(<i>Brachytoma tuberosa</i>)			4			1	5.22
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)	9					2	11.26
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)		4		4		2	10.44
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)		8	4	4		3	20.88
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)					4	1	5.22

표 4-3-43. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(2차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						구성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	1종	3종	4종	2종	2종	2종	
	0.94	3.17	4.09	3.86	1.05	2.62	100
환형동물 Annelida							
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)			0.17			0.03	1.30
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)		0.15	0.04			0.04	1.46
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)					0.01	0.002	0.09
연체동물 Mollusca							
띠줄언청이고둥(<i>Brachytoma tuberosa</i>)			2.73			0.55	20.83
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)	0.94					0.19	7.13
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)		2.47		2.59		1.01	38.60
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)		0.55	1.15	1.27		0.59	22.66
자포동물 Cnidaria							
풀색꽃해변말미잘(<i>Anthopleura midori</i>)					1.04	0.21	7.93

표 4-3-44. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(3차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	3종	6종	1종	2종	6종	4종	100
	26	29	4	8	33	24	
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)				4		1	4.17
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)			4		4	2	8.33
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		4				1	4.17
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	4					1	4.17
반다리미갑갯지렁이(<i>Hemipodus yenourensis</i>)		4				1	4.17
오뚜기갯지렁이(<i>Sternaspis scutata</i>)					13	3	12.50
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)		9				2	8.33
연체동물 Mollusca							
애기두드럭배말(<i>Collisella (Conoidacmea) heroldi</i>)	4					1	4.17
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	18					4	16.67
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)		4		4	4	3	12.50
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					4	1	4.17
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)					4	1	4.17
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)		4				1	4.17
쇠백합(<i>Pitar (Pitarina) sulfureum</i>)		4				1	4.17
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)					4	1	4.17

표 4-3-45. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(3차)

출현종	정점별 출현 중량(g/m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	3종	6종	1종	2종	6종	4종	100
	0.47	4.70	0.002	0.87	4.36	2.08	
환형동물 Annelida							
긴다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris heteropoda</i>)				0.55		0.11	5.30
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)			0.002		0.001	0.001	0.03
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.03				0.01	0.28
남방백금갯지렁이(<i>Nephtys polybranchia</i>)	0.01					0.003	0.13
반다리미갑갯지렁이(<i>Hemipodus yenourensis</i>)		0.01				0.002	0.08
오뚜기갯지렁이(<i>Sternaspis scutata</i>)					0.12	0.02	1.18
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)		0.01				0.002	0.08
연체동물 Mollusca							
애기두드럭배말(<i>Collisella (Conoidacmea) heroldi</i>)	0.01					0.002	0.10
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	0.45					0.09	4.32
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)		0.40		0.32	0.77	0.30	14.32
떡조개(<i>Dosinorbis (Phacosoma) japonicus</i>)					3.04	0.61	29.21
태양접시조개(<i>Tellinella staurella</i>)					0.32	0.06	3.08
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)		1.36				0.27	13.07
쇠백합(<i>Pitar (Pitarina) sulfureum</i>)		2.89				0.58	27.77
절지동물 Arthropoda							
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)					0.11	0.02	1.06

표 4-3-46. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(4차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./ m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	4종	6종	1종	0종	4종	3종	
	62	66	138	0	34	61	100
환형동물 Annelida							
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		4				1	1.47
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		4				1	1.47
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		18				4	5.88
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)		22				4	7.35
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)	9				4	3	4.41
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	9				22	6	10.29
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	13					3	4.41
고운띠무룩(<i>Indomitrella martensi</i>)					4	1	1.47
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	31	9	138		4	36	60.29
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)		9				2	2.94

표 4-3-47. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(4차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	4종	6종	1종	0종	4종	3종	
	2.06	6.13	0.97	0	2.18	2.27	100
환형동물 Annelida							
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.23				0.05	2.01
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		0.11				0.02	0.94
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.31				0.06	2.76
한국대나무갯지렁이(<i>Clymenella koreana</i>)		0.20				0.04	1.76
연체동물 Mollusca							
갯고둥(<i>Batillaria multiformis</i>)	0.46				0.04	0.10	4.37
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	0.39				1.02	0.28	12.41
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	0.38					0.08	3.38
고운띠무룩(<i>Indomitrella martensi</i>)					0.32	0.06	2.82
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.84	0.88	0.97		0.80	0.70	30.74
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)		4.40				0.88	38.81

표 4-3-48. 무안 치패어장의 대형저서동물 출현개체수(5차)

출현종	정점별 출현 개체수(indiv./m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현 개체수	11종	9종	3종	4종	4종	6종	
	181	140	44	56	56	98	100
환형동물 Annelida							
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	14	14			14	8	8.77
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		14				3	2.92
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)		14				3	2.92
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		14				3	2.92
오노미치미갯지렁이(<i>Glycera onomichiensis</i>)				14		3	2.92
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		14				3	2.92
툭수슬대나무갯지렁이(<i>Asychis disparidentata</i>)				14		3	2.92
연체동물 Mollusca							
에기두드럭배말(<i>Collisella (Conoidacmea) heroldi</i>)	9				14	5	4.87
비틀이고둥(<i>Cerithideopsis cingulata</i>)		14				3	2.92
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	19					4	3.90
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	9	14		14		7	7.80
땡가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	8	14				4	4.50
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	61		31	14	14	24	25.24
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)					14	3	2.92
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	14					3	2.92
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	14					3	2.92
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	11	28	4			9	9.12
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)	14					3	2.92
단각류(Amphipoda spp.)	8					2	1.75
극피동물 Echinodermata							
하드워분지성게(<i>Tennopleurus hardwicki</i>)			9			2	1.87

표 4-3-49. 무안 치패어장의 대형저서동물의 출현량(5차)

출현종	정점별 출현 중량(g/ m ²)						조성율 (%)
	어장내1	어장내2	어장내3	대조1	대조2	평균	
총 출현량	11종	9종	3종	4종	4종	6종	
	2.61	3.56	10.17	1.57	45.19	12.62	100
환형동물 Annelida							
짧은다리송곳갯지렁이(<i>Lumbrineris nipponica</i>)	0.14	0.60			0.24	0.19	1.54
참갯지렁이(<i>Neanthes japonica</i>)		0.27				0.05	0.43
넓적발참갯지렁이(<i>Nectoneanthes oxypoda</i>)		0.13				0.03	0.21
치로리미갯지렁이(<i>Glycera chirori</i>)		0.07				0.01	0.10
오노미치미갯지렁이(<i>Glycera onomichiensis</i>)				0.03		0.01	0.05
눈썹참갯지렁이(<i>Perinereis nuntia</i>)		0.10				0.02	0.16
툭수슬대나무갯지렁이(<i>Asychis disparidentata</i>)				0.03		0.01	0.05
연체동물 Mollusca							
애기두드럭배말(<i>Collisella (Conoidacmea) heroldi</i>)	0.02				0.02	0.01	0.07
비틀이고둥(<i>Cerithiideopsis cingulata</i>)		0.78				0.16	1.24
눈알고둥(<i>Lunella coronata coreensis</i>)	0.58					0.12	0.92
좁쌀무늬고둥(<i>Niotha livescens</i>)	0.26	0.34		0.06		0.13	1.06
맹가리(<i>Batillaria cumingi</i>)	0.79	0.81				0.32	2.54
바지락(<i>Ruditapes philippinarum</i>)	0.52		0.91	1.44	1.00	0.78	6.14
새꼬막(<i>Scapharca subcrenata</i>)					43.93	8.79	69.62
절지동물 Arthropoda							
납작게(<i>Gaetice depressus</i>)	0.16					0.03	0.25
사각게(<i>Parasesarma pictum</i>)	0.01					0.001	0.01
칠게(<i>Macrophthalmus japonicus</i>)	0.04	0.46	0.01			0.10	0.81
풀게(<i>Hemigrapsus penicillatus</i>)	0.08					0.02	0.12
단각류(Amphipoda spp.)	0.01					0.003	0.02
극피동물 Echinodermata							
하드워분지성게(<i>Tennopleurus hardwicki</i>)			9.24			1.85	14.64

라. 군집지수

① 우점도 지수(C)

치패어장 조사의 대형저서동물의 우점도 지수는 1차 조사는 0.38~0.84, 2차 조사는 0.24~1.00, 3차 조사는 0.16~1.00, 4차 조사는 0.21~1.00, 5차 조사는 0.11~0.53으로 나타났다. 정점별 우점도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 어장내3, 2차 조사의 어장내1, 대조1, 3차 조사의 어장내3, 4차 조사의 어장내3, 5차 조사의 어장내3에서 가장 높은 우점도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 어장내3, 3차 조사의 어장내2, 4차 조사의 어장내2, 5차 조사의 어장내2에서 가장 낮은 우점도 지수를 나타냈다(그림 4-3-12). 평균적으로는 2차 조사에서 0.65으로 높은 우점도 지수를 나타냈고, 5차 조사에서 0.24로 낮은 우점도 지수를 나타냈다.

② 다양도 지수(H')

치패어장 조사의 대형저서동물의 다양도 지수는 1차 조사는 0.35~1.01, 2차 조사는 0.00~1.33, 3차 조사는 0.00~1.75, 4차 조사는 0.00~1.62, 5차 조사는 0.80~2.16으로 나타났다. 정점별 다양도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 어장내3, 3차 조사의 어장내2, 4차 조사의 어장내2, 5차 조사의 어장내2에서 가장 높은 다양도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 어장내3, 2차 조사의 어장내1, 3차 조사의 어장내3, 4차 조사의 어장내3, 5차 조사의 어장내3에서 가장 낮은 다양도 지수를 나타냈다(그림 4-3-12). 평균적으로는 5차 조사에서 1.58로 높은 다양도 지수를 나타냈고, 1차 조사에서 0.65로 낮은 다양도 지수를 나타냈다.

③ 균등도 지수(J')

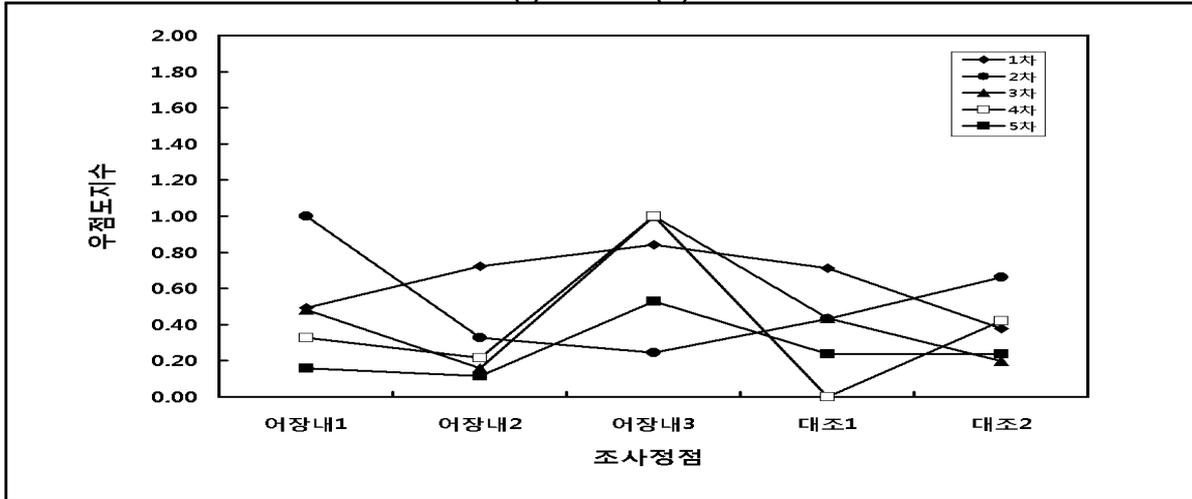
치패어장 조사의 대형저서동물의 균등도 지수는 1차 조사는 0.31~0.92, 2차 조사는 0.00~1.00, 3차 조사는 0.00~1.00, 4차 조사는 0.00~0.90, 5차 조사는 0.73~1.00으로 나타났다. 정점별 균등도 지수를 살펴보면, 1차 조사의 대조2, 2차 조사의 대조1, 3차 조사의 대조1, 4차 조사의 어장내2, 5차 조사의 대조1, 대조2에서 가장 높은 균등도 지수를 나타냈고, 1차 조사의 어장내3, 2차 조사의 어장내1, 3차 조사의 어장내3, 4차 조사의 어장내3, 5차 조사의 어장내3에서 가장 낮은 균등도 지수를 나타냈다(그림 4-3-12). 평균적으로는 5차 조사에서 0.92로 높은 균등도 지수를 나타냈고, 4차 조사에서 0.51로 낮은 균등도 지수를 나타냈다.

표 4-3-50. 무안 치패어장의 대형저서동물 군집지수

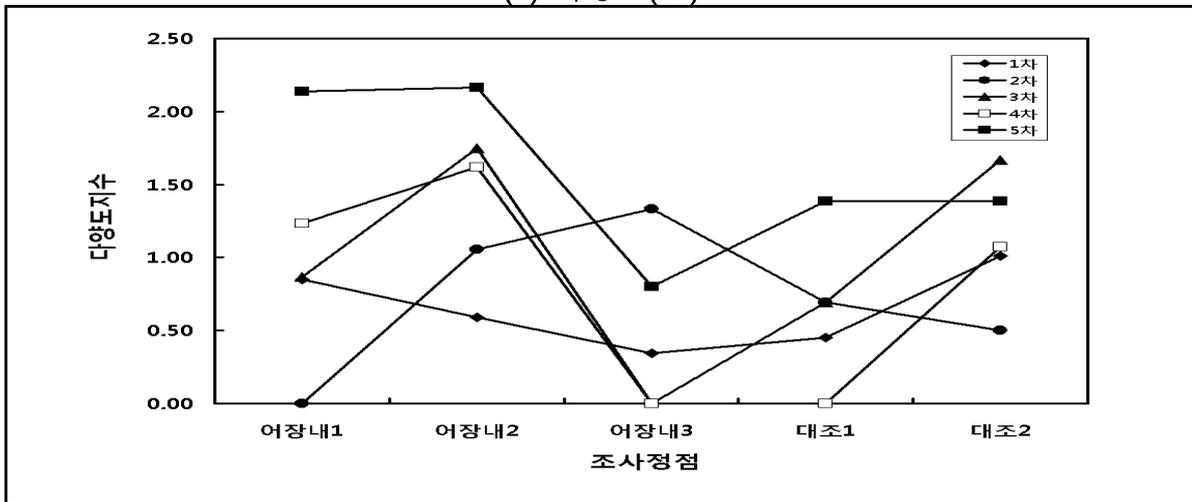
군집지수	조사 시기	조사 정점					평균
		사업내1	사업내2	사업내3	대조1	대조2	
우점도 (C)	1차	0.49	0.72	0.84	0.49	0.38	0.59
	2차	1.00	0.33	0.24	1.00	0.66	0.65
	3차	0.48	0.16	1.00	0.48	0.20	0.46
	4차	0.33	0.21	1.00	-	0.42	0.39
	5차	0.16	0.11	0.53	0.16	0.24	0.24
다양도 (H')	1차	0.85	0.59	0.35	0.45	1.01	0.65
	2차	0.00*	1.05	1.33	0.69	0.50	0.72
	3차	0.87	1.75	0.00*	0.69	1.67	1.00
	4차	1.23	1.62	0.00*	-	1.07	0.78
	5차	2.14	2.16	0.80	1.39	1.39	1.58
균등도 (J')	1차	0.77	0.43	0.31	0.65	0.92	0.62
	2차	0.00*	0.96	0.96	1.00	0.72	0.73
	3차	0.79	0.98	0.00*	1.00	0.93	0.74
	4차	0.89	0.90	0.00*	-	0.77	0.51
	5차	0.89	0.98	0.73	1.00	1.00	0.92

* 평균 출현 종수 1종 이하로 산출되지 않음

(a) 우점도(C)



(b) 다양도(H')



(c) 균등도(J')

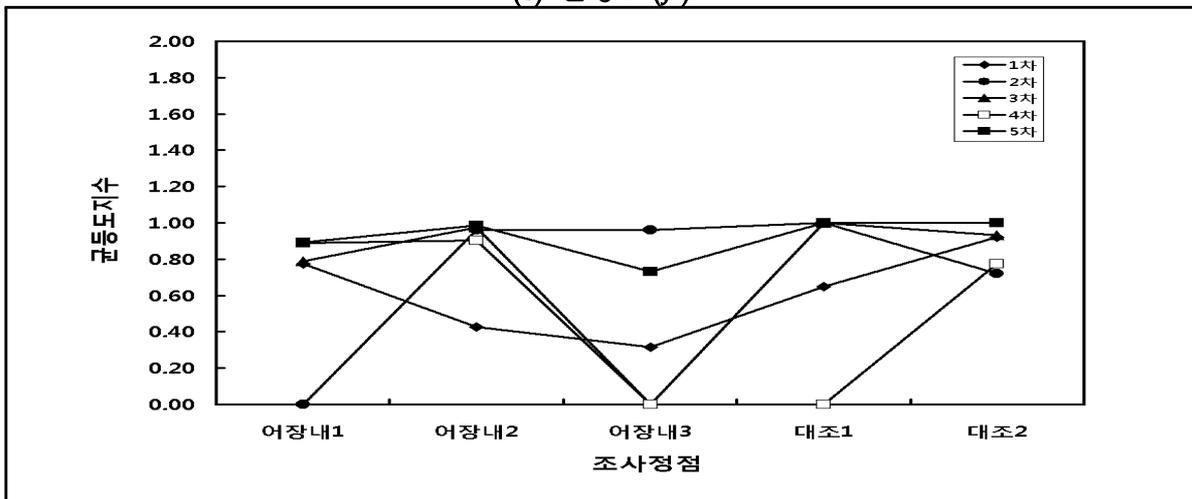


그림 4-3-12. 무안 치패어장의 대형저서동물 군집지수.

제 4 절 결론

1. 태안

어장환경 개선사업에 따른 태안어장은 충남 태안군 태안남부수협 어촌계에 소속되어 있는 원창리 어촌계의 태안양식 제421호 어장으로 주 양식대상생물은 바지락으로 조사되었으며, 총 9일간의 어장 개선사업을 실시한 것으로 나타났다. 어장 개선 내용은 잡석제거와 경운 작업 후 자갈을 살포하여 바지락의 서식지 면적을 증가시키는데 주안점을 두었다. 본 조사에서 어장 개선사업 전·후의 대형저서동물의 군집 구조의 변화와 사업에 따른 우점종의 종조성, 개체수의 상호 비교 분석을 통해 종 다양도의 변화를 알아보하고자 한다.

태안어장의 어장개선 사업 전·후의 사업내 지역과 대조구의 전체 출현종의 변화를 살펴보면 사업전 조사에서 평균 4문 24종이 출현하였고, 사업 후에는 평균 3문 28종으로 동물문의 수는 1문 감소하였으나, 종수는 4종이 증가한 것으로 조사되었다.

동물군별 출현율에 대해 살펴보면 사업내 지역 및 대조구에서 환형동물문, 연체동물문 및 절지동물문이 모든 조사 시기에 출현하여 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 자포동물문이 2회, 완족동물문이 1회 출현하는 것으로 조사되었다.

출현종의 종조성에 대해 살펴보면 개선사업 전의 사업내 지역에서는 5~17종 평균 11종이 출현하였고, 대조구에서는 7~12종 평균 10종이 출현하여 어장개선 사업 전에 사업내 지역과 대조구에서의 출현종의 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 조사되었다. 어장개선 사업 후의 사업내 지역에서는 4~14종 평균 11종이 출현하였고, 대조구에서는 4~10종 평균 6종으로 조사되었다. 이를 조사 시기에 따라 구분해 보면 사업내 지역에서는 어장개선사업 전·후를 비교하면 출현종에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었으며, 대조구에서는 4종이 감소하는 것으로 나타나 어장 개선사업을 통한 사업내 지역의 출현종의 변화가 다양하게 나타나고 있지 않는 것으로 사료된다.

출현개체수의 변동에 따른 개선사업 전·후의 종 변화를 비교하면, 개선사업 전의 사업내 지역에서는 375~2,071개체 평균 1,093개체가 출현하였고, 대조구에서는 445~528개체 평균 490개체로 어장내 지역과 대조구에 있어서는 어장내 지역에서 개체수가 더 풍부한 것으로 조사되었고, 개선사업 후의 어장내의 개체수를 살펴보면 139~3,681개체 평균 1,418개체로 나타났고, 대조구에서는 56~625개체로 평균 267개체가 출현하는 것으로 나타났다. 어장개선 사업 후의 출현개체수의 변동을 살펴보면 우선적으로 개선사업을 하고 난 직후 출현개체수가 상승하는 것으로 나타났으며 이후 출현개체수가 다소 감소하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 어장 개선사업을 통해 일시적으로 이동성 고등류 및 계류가 일시적으로 군집을 이루다가 이후 점차적으로 분산이 된 것으로 사료되며, 이는 일시적인

현상으로 사료된다.

태안어장에서의 조사 시기에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 1차 조사에서는 환형동물의 침보석요정갯지렁이(*Armandia lanceolata*)와 절지동물문의 엽낭게(*Scopimera globosa*)가 가장 우점 하는 것으로 조사되었고, 2차 조사에서는 절지동물문의 집게류(*Pagurus* sp.)와 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 환형동물문의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*), 3차 조사에서는 환형동물문의 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 가장 우점 하였고, 다음으로 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 4차 조사에서는 절지동물문의 집게류(*Pagurus* sp.)가 가장 우점 하였고, 다음으로 연체동물문의 총알고둥(*Littorina (Littorina) brevicula*)과 좁쌀무늬고둥(*Niotha livescens*), 5차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 우점 하였고, 다음으로 절지동물문의 풀개(*Hemigrapsus penicillatus*)가 우점 하는 것으로 나타났다. 마지막으로 6차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 우점 하였고, 다음으로 절지동물문의 단각류(*Amphipoda* spp.)가 우점 하였다. 본 조사를 통해서 우점종의 변화를 살펴보면 사업전 어장내 및 대조구 지역에서는 환형동물문과 연체동물문이 우점하는 경향을 나타내고 있으며, 어장개선 사업 후에는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)과 기타 고등류가 높은 우점율을 나타내는 것으로 조사되었다.

어장개선 사업 지역 내측과 대조구의 균집구조의 변동을 살펴보면 우점도 지수에서는 사업내 지역에서 0.11~0.43로 평균 0.26의 값을 나타냈으며, 대조구에서는 0.14~0.47 평균 0.25로 어장개선 사업전의 사업내 지역과 대조구에서의 우점도 지수의 변화는 크게 나타나지 않았다. 사업 후의 사업내 지역의 우점도지수 변화를 살펴보면 0.13~0.44로 평균 0.22의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.13~0.49로 평균 0.27로 사업내 지역과 유사하게 대조구와의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되고, 조사 시기에 따른 변화에 있어서도 큰 차이를 나타내지 않았다. 다양도 지수에 있어서는 사업내 지역에서 1.15~2.46으로 평균 1.79의 값을 나타냈고, 대조구에서는 1.12~2.13으로 평균 1.74의 값을 나타냈다. 어장 개선사업 후의 다양도지수를 살펴보면 1.17~2.26으로 평균 1.85의 값을 나타냈고, 대조구에서는 1.12~2.03로 평균 1.52의 값을 나타냈다. 다양도지수의 조사 시기에 따른 변동을 살펴보면 어장개선사업을 하고난 직후 다양도 지수의 값이 가장 높은 값을 나타내는 것으로 조사되었으며, 이후 점차적으로 낮아지는 경향을 보이고 있었다. 이는 어장개선사업 직후 출현개체수의 변동이 크게 일어남에 따라 나타난 결과로 사료된다. 균등도 지수에 있어서는 사업내 지역에서 0.62~0.87로 평균 0.78의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.58~0.89로 평균 0.77의 값을 나타냈다. 어장 개선사업 후의 다양도지수를 살펴보면 0.53~0.88로 평균 0.78의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.62~1.00로 평균 0.86의 값을 나타냈다. 균등도 지수의 사업내 지역과 대조구의 변화에는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었고, 조사 시기에 따른 균등도의 변화에서도 큰 차이를 보이지 않았다.

태안 어장의 대형저서동물 조사 결과는 조사기간 동안 잡석제거 및 경운의 어장환경개선에 따른 대형저서동물의 일시적인 군집 후 분산으로, 태안어장에 적합한 어장개선사업인지 명확히 판단 할 수 없었다. 태안 어장에 가장 적합한 어장개선사업 효과조사를 위해서는 지속적으로 어장의 환경변화 상태에 따른 모니터링이 이루어져야 명확히 할 수 있을 것으로 사료된다.

2. 군산

어장환경 개선사업에 따른 군산어장은 바지락 양식장으로 군산시 선유도리에 위치하고 있으며, 총 18일간의 어장 개선사업을 실시한 것으로 나타났다. 어장 개선 내용은 잡석제거 및 운반, 투석작업과 조간대 폐기물 수거 및 운반 작업을 실시하였다.

군산어장의 어장개선 사업 전·후의 사업내 지역과 대조구의 전체 출현종의 변화를 살펴보면 사업전 조사에서 평균 4문 18종이 출현하였고, 사업 후에는 평균 3문 23종으로 동물문의 수는 감소하였으나, 종수는 5종이 증가한 것으로 조사되었다.

동물군별 출현율에 대해 살펴보면 사업내 지역 및 대조구에서는 환형동물문, 연체동물문, 절지동물문이 모든 조사 시기에 출현하여 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 극피동물이 2회 출현하는 것으로 조사되었다.

출현종의 종조성에 대해 살펴보면 어장개선사업 전의 사업내 지역에서는 6~10종 평균 8종이 출현하였고, 대조구에서는 5~10종 평균 8종이 출현하여 어장개선 사업 전에 사업내지역과 대조구에서의 출현종의 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 조사되었다. 어장개선 사업 후의 사업내 지역에서는 3~11종 평균 8종이 출현하였고, 대조구에서는 5~10종 평균 7종으로 조사되었다. 이를 조사 시기에 따라 구분해 보면 사업내 지역에서는 어장개선 사업 전·후를 비교해 보면 출현종 수에 있어서는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었으며, 대조구에서는 1종이 감소하는 것으로 나타나 어장 개선사업을 통한 사업내 지역에서의 출현종의 변화는 다양하게 나타나고 있지 않는 것으로 사료된다.

출현개체수의 변동에 따른 개선사업 전·후의 종 변화를 비교하면, 개선사업 전의 사업내 지역에서는 236~806개체 평균 428개체가 출현하였고, 대조구에서는 83~1324개체 평균 659개체로 사업내 지역과 대조구에 있어서 대조구에서 개체수가 더 풍부한 것으로 조사되었고, 개선사업 후의 사업내의 개체수를 살펴보면 153~597개체 평균 376개체로 나타났고, 대조구에서는 125~917개체 평균 455개체가 출현하는 것으로 나타났다. 어장개선 사업 후의 출현개체수의 변동에 있어서는 일시적으로 감소 한 후 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 어장 개선사업을 통해 서식지 변화에 따른 이동성 고동류 및 계류의 일시적인 이동현상으로 사료된다.

군산어장에서의 조사 시기에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 1차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 우점 하였고, 다음으로 환형동물문의 참송

곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*)가 우점하는 것으로 조사되었고, 2차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)과 절지동물문의 풀게(*Hemigrapsus penicillatus*), 연체동물문의 갯고둥(*Batillaria multiformis*), 3차 조사에서는 연체동물문의 땡가리(*Batillaria cumingi*)가 우점 하였고, 다음으로 환형동물문의 참송곳갯지렁이(*Lumbrineris japonica*), 절지동물문의 집게류(*Pagurus* sp.)가 우점하는 것으로 나타났다. 4차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 우점 하였고, 다음으로 환형동물문의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 우점하였고, 5차 조사에서는 절지동물문의 단각류(*Amphipoda* spp.), 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 우점 하였고, 마지막으로 6차 조사에서는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 우점 하였고, 다음으로 환형동물의 짧은다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris nipponica*)가 우점 하였다. 본 조사를 통해서 우점종의 변화를 살펴보면 사업전 사업내 및 대조구 지역에서는 연체동물문이 가장 우점 하는 경향이 나타났으며, 어장 개선 사업 후에는 연체동물문의 바지락(*Ruditapes philippinarum*)이 가장 높은 우점종으로 나타났으며, 기타 환형동물이 아우점하는 경향을 나타냈다.

어장개선 사업내 지역과 대조구의 군집구조의 변동을 살펴보면 우점도 지수에서는 사업내 지역에서 0.22~0.39로 평균 0.27의 값으로 나타났으며, 대조구에서는 0.14~0.43으로 평균 0.24로 어장 개선 사업 전의 사업내 지역과 대조구에서의 우점도 지수의 변화는 크게 나타나지 않았다. 사업 후의 사업내 지역의 우점도지수 변화를 살펴보면 0.23~0.50으로 평균 0.31의 값이 나타났고, 대조구에서는 0.15~0.62로 평균 0.29로 사업내 지역과 유사하게 대조구와의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었고, 조사 시기에 따른 변화에 있어서도 큰 차이를 나타내지 않았다. 다양도 지수에 있어서는 사업내 지역에서 1.28~1.79로 평균 1.63의 값을 나타냈고, 대조구에서는 1.22~2.06으로 평균 1.68의 값을 나타냈다. 어장환경 개선사업 후의 다양도지수를 살펴보면 사업내 지역에서 1.04~1.92로 평균 1.51의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.86~2.00으로 평균 1.55의 값을 나타냈다. 다양도 지수의 사업내 지역과 대조구의 변화에서는 사업 후에 다소 감소한 것으로 조사되었으며, 시간의 경과에 따라 점차 증가하는 안정적인 경향을 보이고 있었다. 이는 어장개선사업 후에 출현개체수의 변동이 일어남에 따라 나타난 결과로 사료된다. 균등도 지수에 있어서는 사업내 지역에서 0.72~0.91로 평균 0.79의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.68~0.97로 평균 0.84의 값을 나타냈다. 어장 개선사업 후의 다양도 지수를 살펴보면 0.56~0.94로 평균 0.77의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.48~0.95로 평균 0.81의 값을 나타냈다. 균등도 지수의 사업내 지역과 대조구의 변화에는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었고, 조사 시기에 따른 균등도의 변화에서도 큰 차이를 보이지 않았다.

군산 어장의 대형저서동물 조사 결과는 조사기간 동안 잡석제거 및 투석의 어장환경개선에 따른 대형저서동물의 일시적인 이동 현상으로 어장정화 효과를 명확히 할 수 없었

다. 군산 어장에 가장 적합한 어장개선사업 효과조사를 위해서는 지속적으로 어장의 환경 변화 상태에 따른 모니터링이 이루어져야 명확히 할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 무안

전남 무안어장은 무안군 만풍리 신평마을 앞 어장에 위치하고 있으며 총 면적은 54 ha로 구성되어 있으며, 어장 환경개선사업은 2010년 9월초에 시작하여 2010년 10월 20일에 종료한 것으로 조사되었고, 개선사업은 주로 폐지주 제거, 운반, 육상 하역 및 조간대 폐기물 수거작업과 어장 바닥 경운 작업을 통해 가연성 폐기물 및 철재류 폐기물을 수거하는 방식으로 진행되었다.

무안어장의 어장개선 사업 전·후의 사업내 지역과 대조구의 전체 출현종의 변화를 살펴보면 사업전 조사에서 평균 4문 11종이 출현하였고, 사업 후에는 평균 3문 12종으로 사업 전·후의 출현동물문의 수는 감소하였으며, 종수는 1종 증가한 것으로 조사되었다.

동물군별 출현율에 대해 살펴보면 사업내 지역 및 대조구에서 환형동물문, 연체동물문 및 절지동물문이 모든 조사 시기에 출현하여 가장 높은 출현율을 나타냈고, 다음으로 완족동물문이 1회 출현하는 것으로 조사되었다.

출현종의 종조성에 대해 살펴보면 개선사업 전의 사업내 지역에서는 2~6종 평균 4종이 출현하였고, 대조구에서는 2~5종 평균 3종이 출현하여 어장개선 사업 전에 사업내 지역과 대조구에서의 출현종의 차이는 크게 나타나지 않는 것으로 조사되었다. 어장개선 사업 후의 사업내 지역에서는 2~7종 평균 3종이 출현하였고, 대조구에서는 2~9종 평균 4종으로 조사되었다. 이를 조사 시기에 따라 구분해 보면 사업내 지역에서는 어장개선사업 전·후를 비교하면 출현종에 있어서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었으며, 대조구에서는 1종이 증가하는 것으로 나타나 어장 개선사업을 통한 사업내 지역에서의 출현종의 변화가 다양하게 나타나고 있지 않는 것으로 사료된다.

출현개체수의 변동에 따른 개선사업 전·후의 종 변화를 비교하면, 개선사업 전의 사업내 지역에서는 16~58개체 평균 43개체가 출현하였고, 대조구에서는 16~66개체 평균 42개체로 어장내 지역과 대조구에 있어서는 크게 차이를 나타내지 않은 것으로 조사되었고, 개선사업 후의 사업내의 개체수를 살펴보면 4~62개체 평균 23개체로 나타났고, 대조구에서는 13~142개체로 평균 42개체가 출현하는 것으로 나타났다. 어장개선 사업 전·후의 출현개체수의 변동에 있어서는 사업내 지역에서 출현개체수가 어장사업을 기점으로 일시적으로 감소하다 점차적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 본 무안지역의 어장개선 사업의 주로 바닥 경운작업을 통해 가연성 폐지주와 같은 폐기물을 제거하는 위주 사업의 실시함에 따라 일시적으로 서식지를 회피하다 사업이 마무리 된 후 점차적으로 기존 서식지로 이동하여 점차적으로 출현개체수가 증가한 것으로 나타났다.

무안어장에서의 조사 시기에 따른 우점종의 변화를 살펴보면 1차 조사에서는 환형동

물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 가장 우점하는 것으로 나타났으며, 다음으로 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*), 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)로 나타났다. 2차 조사에서는 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 가장 우점하였고, 다음으로 환형동물의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)와 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)와 무당게(*Paracleistostoma cristatum*)가 우점하였다. 3차 조사에서는 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 가장 우점하였고, 다음으로 절지동물문의 큰손딱총새우(*Alpheus digitalis*)와 연체동물의 갯비틀이고둥(*Cerithideopsis dja djariensis*)과 태양접시조개(*Tellinella staurella*)가 우점하는 것으로 조사되었다. 4차 조사에서는 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 가장 우점하였고, 다음으로 환형동물의 한국대나무갯지렁이(*Clymenella koreana*)가 아우점하는 것으로 나타났다. 5차 조사에서는 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 가장우점하였고, 다음으로 긴다리송곳갯지렁이(*Lumbrineris heteropoda*), 참갯지렁이(*Neanthes japonica*)가 우점하였다. 6차 조사에서는 환형동물의 눈썹참갯지렁이(*Perinereis nuntia*)가 가장 우점하였고, 다음으로 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)와 절지동물의 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)가 우점하였다. 본 조사를 통해서 우점종의 변화를 살펴보면 사업전 어장내 및 대조구 지역에서는 환형동물문이 가장 우점하는 경향이 나타났으며, 어장개선 사업 후에는 환형동물의 띠대나무갯지렁이(*Clymenella koellikeri*)가 가장 높은 우점종으로 나타났으며, 기타 절지동물이 아우점하는 경향을 나타냈다. 이는 본 조사지역이 니질이 강한 깊이 빠지는 저질형상으로 갯벌 표면에 기어다니는 이동성 계류와 저서성 갯지렁이류가 많이 서식하는 것으로 사료된다.

어장개선 사업내 지역과 대조구의 군집구조의 변동을 살펴보면 우점도 지수에서는 사업내 지역에서 0.21~0.60로 평균 0.37의 값으로 나타났으며, 대조구에서는 0.32~0.67 평균 0.50로 어장개선 사업전의 사업내 지역과 대조구에서 우점도 지수의 변화는 크게 나타나지 않았다. 사업 후의 우점도지수의 변화를 살펴보면 사업내 지역에서 0.16~1.00로 평균 0.55의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.16~0.71로 평균 0.35로 사업내 지역과 유사하게 대조구와의 큰 차이를 보이지 않는 것으로 조사되고, 조사 시기에 따른 변화에 있어서도 큰 차이를 나타내지 않았다. 다양도 지수에서는 사업내 지역에서 0.56~1.54로 평균 1.17의 값으로 나타났으며, 대조구에서는 0.56~1.32 평균 0.86로 어장개선 사업전의 사업내 지역과 대조구에서의 우점도 지수의 변화는 크게 나타나지 않았다. 사업 후의 다양도 지수의 변화를 살펴보면 0.00~1.83로 평균 0.79의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.45~1.75로 평균 1.14로 사업내 지역과 대조구와의 차이를 보이는 것으로 조사되었으나, 조사 시기에 따른 변화에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 조사되었다. 균등도 지수에 있어서는 사업내 지역에서 0.81~0.95로 평균 0.87의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.55~0.86으로 평균 0.76의 값을 나타냈다. 어장 개선사업 후의 다양도지수를 살펴보면 0.00

~1.00으로 평균 0.62의 값을 나타냈고, 대조구에서는 0.65~1.00로 평균 0.90의 값을 나타냈다. 균등도 지수의 사업내 지역과 대조구의 변화에서는 어장개선 후 대조구에서 약간 높은 수치의 균등도 지수 값을 보이고 있었다. 조사 시기에 따라서는 비교적 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 사료된다.

무안 어장의 대형저서동물 조사 결과는 저질 형상 및 조사기간 동안 폐지주 등 수거 및 경운의 어장환경개선의 영향으로 이동성 계류 및 저서성 갯지렁이류 출현율이 높게 나타났으나 일시적인 서식지 회피 현상을 보인 것으로 조사되었다. 무안 어장에 가장 적합한 어장개선사업 효과조사를 위해서는 저질형상의 영향을 고려하여 지속적인 어장의 환경변화 모니터링이 이루어져야 명확히 할 수 있을 것으로 사료된다.

4. 치패어장

무안 치패어장은 총 5회를 조사하였다. 조사에 있어서는 치패발생 어장내 3정점과 대조구 2정점의 종 비교를 통한 치패발생 어장의 변화 양상을 조사하였다. 동물군별 출현율을 살펴보면 연체동물문과 환형동물문이 모든 조사시기에서 출현하여 가장 높은 출현율을 나타냈으며, 다음으로 절지동물문이 3회, 자포동물문이 2회, 극피동물문이 1회 출현하였다.

출현종의 종조성에 대해 살펴보면 어장내 지역에서는 1~11종으로 평균 4종이 출현하는 것으로 조사되었고, 대조구에서는 0~6종으로 평균 3종의 출현종이 나타났다. 출현종수에 있어서는 어장내지역과 대조구지역에 있어서는 큰 차이가 나타나지는 않는 것으로 조사되었다. 출현개체수에 있어서는 어장내 지역에서 4~181개체로 평균 64개체가 출현하였고, 대조구에서는 0~56개체로 평균 29개체수가 출현하여 어장내 지역에서의 출현개체수가 높게 나타남을 알 수 있었다.

주요 우점종 중 바지락의 조사 시기에 따른 출현율을 살펴보면 어장내 지역에서는 4~138개체로 평균 35개체가 조사되었고, 대조구에서는 4~21개체로 평균 9개체가 조사되었다. 따라서 본 조사에서 조사지역내를 비롯하여 대조구 지역에 있어서는 넓게 바지락이 분포하는 것으로 조사되었다.

무안 치패어장의 균집지수를 살펴보면 우점도지수에 있어서는 어장내 지역에서 0.11~1.00으로 평균 0.51의 값을 나타냈으며, 대조구에서는 0.16~0.66으로 평균 0.40의 값을 나타내어 어장내 지역과 대조구와 큰 차이를 나타내지 않고 있었으며, 조사 시기에 따라서도 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 조사되었다. 조사지점내 다양도 지수는 어장내 지역에서 0.00~2.16으로 평균 0.98값을 나타냈으며, 대조구에서는 0.45~1.67로 평균 0.89값을 나타내어 어장내 지역과 대조구와의 차이는 크게 차이가 나지 않는 것으로 조사되었고, 조사 시기에 따른 다양도 지수 값에서도 큰 차이를 보이지 않았다. 균등도 지수는 어장내 지역에서 0.00~0.98로 평균 0.64로 나타났으며, 대조구 지역에서는 0.65~1.00으로 평균

0.80의 값으로 나타났으며, 어장내 지역과 대조구와의 차이는 크게 나타나지 않았으며, 조사 시기에 따라서도 큰 변화를 나타내지 않는 것으로 조사되었다.

이는 본 조사 지역은 어장개선사업을 실시하지 않는 지역으로 저서동물의 서식지의 변화가 일어나지 않은 매우 안정된 지역으로 사료되며, 자연산 바지락 치패의 발생이 높은 어장인 것으로 조사되었다.

제 5 장 부유생물조사

제 1 절 식물플랑크톤

1. 연구개요

서해연안에 위치한 갯벌어장의 수산물 생산성 증대를 위하여 갯벌어장에 모래 또는 자갈을 살포하여 치패 착저를 인위적으로 유도하거나 경운기등 굴삭기를 이용하여 어장정화사업을 실시하고 있는 실정이다. 이러한 인위적 조작은 또 다른 생태계 교란을 야기할 수 있다. 따라서 태안, 선유도, 무안, 무안 치패발생장의 4개의 조사해역을 선정하여 각 조사해역에서 어장환경개선 사업 실시 전과 후의 환경에 따른 부유식물플랑크톤 종조성 및 현존량 비교를 통하여 어장환경개선사업의 효과를 분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 재료 및 방법

가. 조사 시기 및 장소

태안, 선유도, 무안, 무안 치패발생장에서 어장정화사업 전에 2회(8월과 9월) 조사를 실시하였으며, 어장정화사업 후 4회(10월, 12월, 1월, 3월) 조사를 실시하였다. 각 조사해역에서 내측의 정점 1, 2, 3을 선정하였으며, 비사업지역인 대조어장에 정점 4와 5를 선정하여 어장환경개선사업 전과 후의 부유식물플랑크톤의 현존량 및 우점종 변화를 조사하였다.

나. 시료 채집 및 분석

조사 해역에 출현하는 식물플랑크톤의 단위 체적당 개체수를 파악하기 위하여 Niskin 채수기로 표층에서 해수를 채취하여 1 L 원형 폴리에틸렌(polyethylene) 시료병에 담은 후, 루골용액으로 최종농도 1%가 되도록 주입하였다. 고정시료는 탈색을 피하기 위하여 알루미늄 호일로 차광하였다. 실험실에서는 시료병을 최소한 24시간동안 편평한 곳에 정치하여 식물플랑크톤을 충분히 침전시켰으며, 50 mL가 될 때까지 상등액을 제거하였다. 농축시료는 일정량(1 mL/50 mL)을 분취하여 Sedgewick Rafter chamber 계수판에 떨어뜨린 다음, 200~400배에서 광학현미경으로 동정·계수하였다. 분류도감은 주로 Tomas(1997)등과 심(1994)을 참고하였다.

3. 결과 및 고찰

2010년 8월부터 2011년 3월까지 6회에 걸쳐 4개의 어장(충남 태안, 전북 선유도, 전남 무안, 전남 무안의 치패발생장)을 선정하여 사업내측의 3개 정점(정점 1, 2, 3)과 비사업지역인 대조점 2개 정점(정점 4, 5)에서 조사를 실시하였다. 10월에 각 어장의 정점 1, 2, 3은 어장정화사업을 실시하였으며 어장정화사업 전과 후의 부유식물플랑크톤 현존량 및 우점종 변화를 나타내었다. 8월과 9월은 어장정화사업 전의 조사결과이고 10월, 12월, 1월과 3월은 어장정화사업 이후의 조사결과를 나타낸 것이다.

조사 기간동안 총 84종의 식물플랑크톤이 동정되었으며, 돌말류가 60종으로 가장 다양한 종들이 출현하였으며, 다음으로 와편모조류 18종, 황금빛조류 3종, 은편모조류 2종, 침편모조류 1종이 관찰되었다.

가. 태안

충남 태안해역의 5개 정점에서 부유식물플랑크톤의 월별 평균 현존량 변화를 살펴본 결과 3월에 가장 높은 현존량을 보였으며 8월, 12월, 10월, 1월 순으로 나타났다. 정점별로 현존량의 차이를 보이긴 했으나 각 정점들의 평균값은 춘계인 3월에 가장 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다(그림 5-1-1). 태안해역의 식물플랑크톤은 계절에 따른 월별 우점종 차이를 보였으며, 어장정화사업 직후인 10월은 어장환경개선 정점에서 저서미세조류인 *Pseudonitzschia seriata* complex 종이 대조어장보다 우세하게 나타났다. 정화사업으로 저층에 존재하던 저서미세조류가 일시적으로 부유한 것으로 사료된다. 그 외의 시기엔 어장환경개선정점과 대조어장간의 우점종 차이는 보이지 않았다(표 5-1-1). 조사시기동안 태안해역에서 가장 우점하게 출현종은 *Skeletonema costatum*으로 나타났다.

태안해역에 출현한 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군을 살펴보면, 10월에는 돌말류와 와편모조류가 비슷하게 우점 하였으며, 그 외의 시기에는 대부분 돌말류가 극우점하였다. 그 외에도 은편모조류, 황금빛조류, 침편모조류가 관찰되었다(그림 5-1-2).

어장정화사업전인 8월의 어장환경개선정점(태안1, 태안2, 태안3)과 대조어장(태안4, 태안5)의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 1,261,148 cells/L, 832,100 cells/L로 어장환경개선예정정점에서 보다 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 9월 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 186,633 cells/L, 146,638 cells/L로 어장환경개선예정정점에서 다소 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였으나 큰 차이를 보이지 않았다. 어장정화사업 직후인 10월의 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 413,433 cells/L, 251,038 cells/L로 어장환경개선정점에서 1.65배 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였는데 저서미세조류인 *Pseudonitzschia seriata* complex 종의 부유현상과 사질 또는 니질 해안에서 주로 발견되는 천해종인 *Prorocentrum lima*가 대조어장보다 높은 현존량을 보였기 때문이다. 어장정화사업 2개월 후인 12월의 어장환경개선정점과 대

조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 378,491 cells/L, 330,162 cells/L이었으며, 1월은 각각 190,591 cells/L, 209,782 cells/L이었고 3월은 각각 1,109,724 cells/L, 1,175,850 cells/L로 어장정화사업 2개월 이후부터는 다시 안정화되어 어장환경개선정점과 대조어장간의 차이가 거의 없었다. 태안해역의 경운작업과 잡석제거 및 자갈살포에 의한 어장정화사업 직후인 10월은 어장환경개선 정점과 대조어장간의 부유식물플랑크톤의 현존량 및 우점종의 차이를 보였으며, 2개월 후부터는 어장환경개선 정점과 대조어장간의 부유식물플랑크톤 분류군의 상대적 조성비 및 현존량의 차이를 보이지 않았다(그림 5-1-3).

표 5-1-1. 태안해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종

	어장환경개선			대조어장	
	태안1	태안2	태안3	태안4	태안5
8월	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros curvisetus</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Cryptomonas</i> sp.	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Cryptomonas</i> sp.
9월	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Rhizosolenia fragilissima</i>		<i>Paralia sulcata</i> <i>Cylindrotheca closterium</i>	<i>Cylindrotheca closterium</i>	
10월	<i>Prorocentrum lima</i> <i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex		<i>Prorocentrum lima</i> <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex <i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Prorocentrum lima</i> <i>Rhizosolenia setigera</i>	
12월	<i>Chaetoceros</i> spp. <i>Chaetoceros debilis</i> <i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Protoperdinium</i> sp.		<i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i>	
1월	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i> <i>Chaetoceros debilis</i> <i>Thalassiosira nordenskioldii</i>		<i>Skeletonema costatum</i> <i>Thalassiosira</i> sp2	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Asterionellopsis kariana</i>	
3월	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>		<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>	<i>Skeletonema costatum</i>	

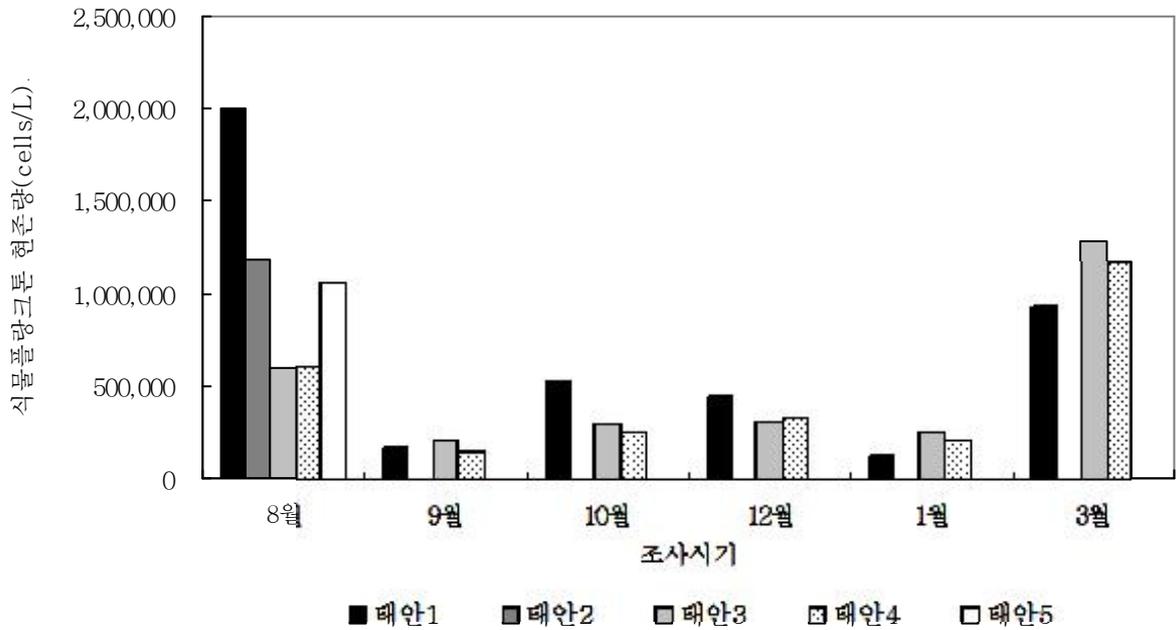


그림 5-1-1. 태안해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.

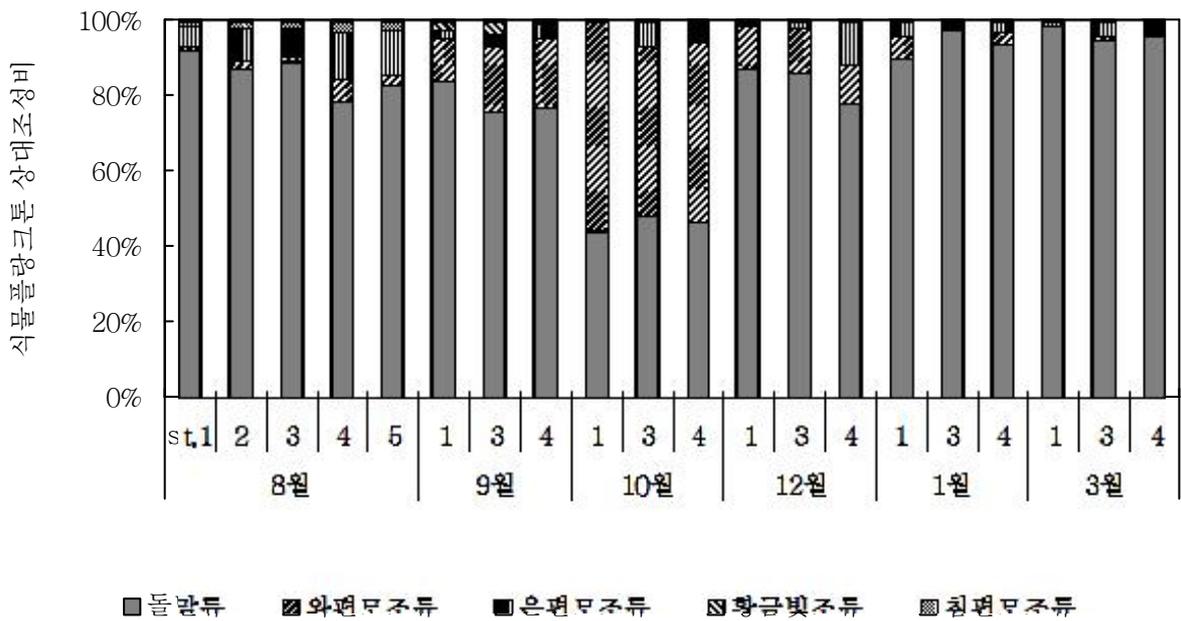


그림 5-1-2. 태안해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.

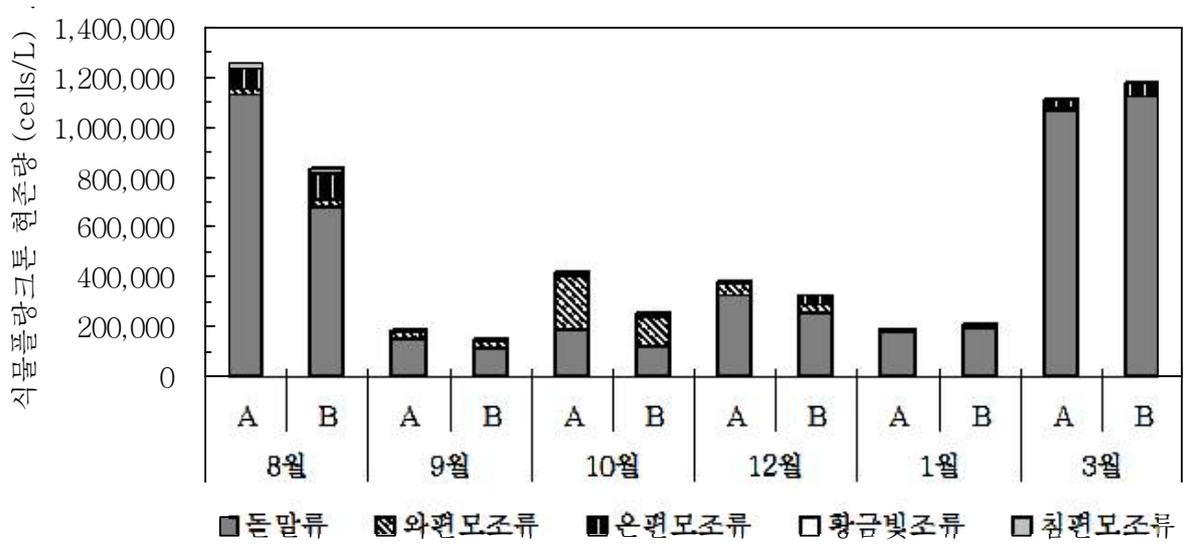


그림 5-1-3. 태안해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.

나. 선유도

전북 군산 선유도해역의 5개 정점에서 부유식물플랑크톤의 월별 평균 현존량 변화를 살펴본 결과 춘계인 3월에 가장 높은 현존량을 보였으며 1월, 8월, 9월, 12월, 10월 순으로 나타났다(그림 5-1-4). 선유도해역의 식물플랑크톤은 계절에 따른 월별 우점종 차이는 보였으나, 10월 어장정화사업 전과 후의 어장환경개선 정점들과 대조어장간의 우점종 차이는 보이지 않았다. 조사시기동안 선유도해역에서 가장 현존량이 높았던 종은 *Rhizosolenia delicatula*로 1월과 3월에 매우 높게 나타났으며 무안해역 및 무안 치패발생장과 같은 결과를 보였다(표 5-1-2).

조사시기동안 선유도해역에 출현한 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군을 살펴보면, 8월에는 침편모조류가 우점 하였으며, 그 외의 시기에는 대부분 돌말류가 극우점 하였다. 그 외에도 와편모조류, 은편모조류, 황금빛조류가 관찰되었다(그림 5-1-5).

어장정화사업전인 8월의 어장환경개선정점(선유도1, 선유도2, 선유도3)과 대조어장(선유도4, 선유도5)의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 568,629 cells/L, 469,360 cells/L로 어장환경 개선예정정점에서 보다 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 9월도 평균 식물플랑크톤 현존량이 각각 350,447 cells/L, 203,775 cells/L로 어장환경개선예정정점에서 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였다. 어장정화사업 직후인 10월의 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 70,566 cells/L, 58,687 cells/L로 어장환경개선정점에서 1.2배 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 어장정화사업 2개월 후인 12월의 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 104,732 cells/L, 125,834 cells/L이었으며, 1월은 각각 792,368 cells/L, 832,439 cells/L로 어장환경개선정점과 대조어장에서 비슷한 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 3월은 각각 3,735,865 cells/L, 2,074,215 cells/L로 어장환경개선정점에서 1.8배 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다. 선유도해역의 잡석제거 및 모래살포에 의한 어장정화사업으로 어장환경개선 정점과 대조어장간의 부유식물플랑크톤 분류군의 상대적 조성비는 차이를 보이지 않았으나, 어장환경개선 정점에서 3월(어장정화사업 5개월 후)에 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였다(그림 5-1-6).

표 5-1-2. 선유도해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종

	어장환경개선			대조어장	
	선유도1	선유도2	선유도3	선유도4	선유도5
8월	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Cryptomonas</i> ssp. <i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Eucampia zodiacus</i>	<i>Chattonella antiqua</i> <i>Eucampia zodiacus</i>
9월	<i>Eucampia zodiacus</i>		<i>Eucampia zodiacus</i>		<i>Eucampia zodiacus</i>
10월	<i>Paralia sulcata</i> <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex <i>Gyrodinium glaucum</i> <i>Chaetoceros</i> spp.		<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Gonyaulax</i> sp. <i>Protoperdinium</i> sp.	
12월	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>		<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Navicula membranacea</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Navicula membranacea</i> <i>Paralia sulcata</i>	
1월	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>		<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros debilis</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Chaetoceros</i> spp. <i>Chaetoceros debilis</i>	
3월	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i>		<i>Skeletonema costatum</i> <i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i>	

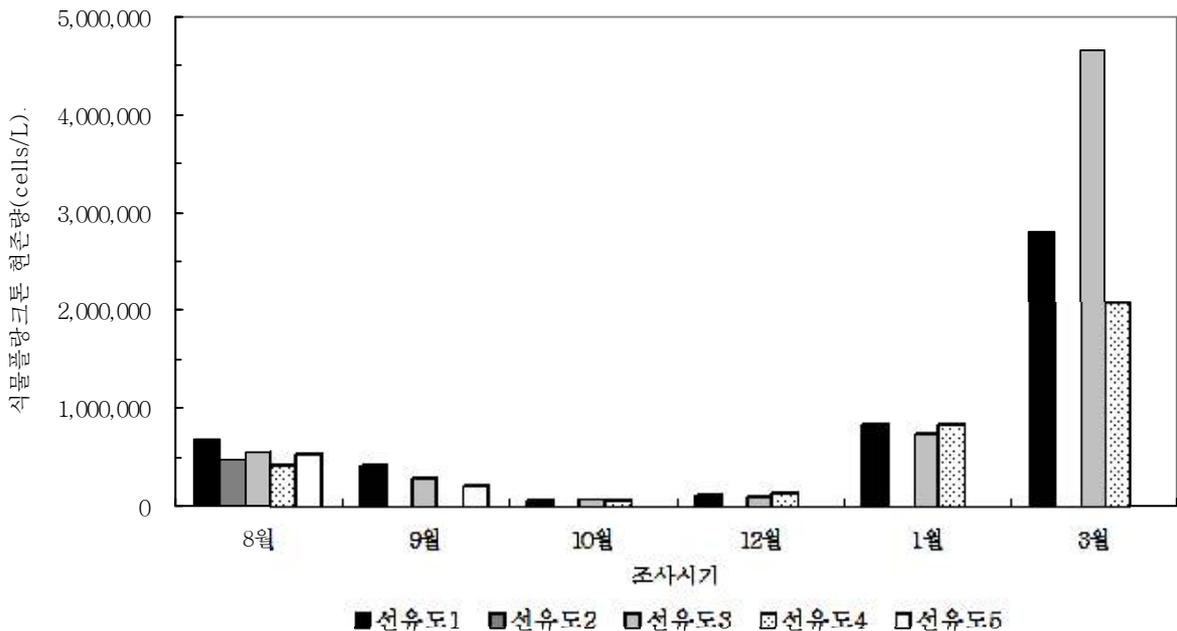


그림 5-1-4. 선유도해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.

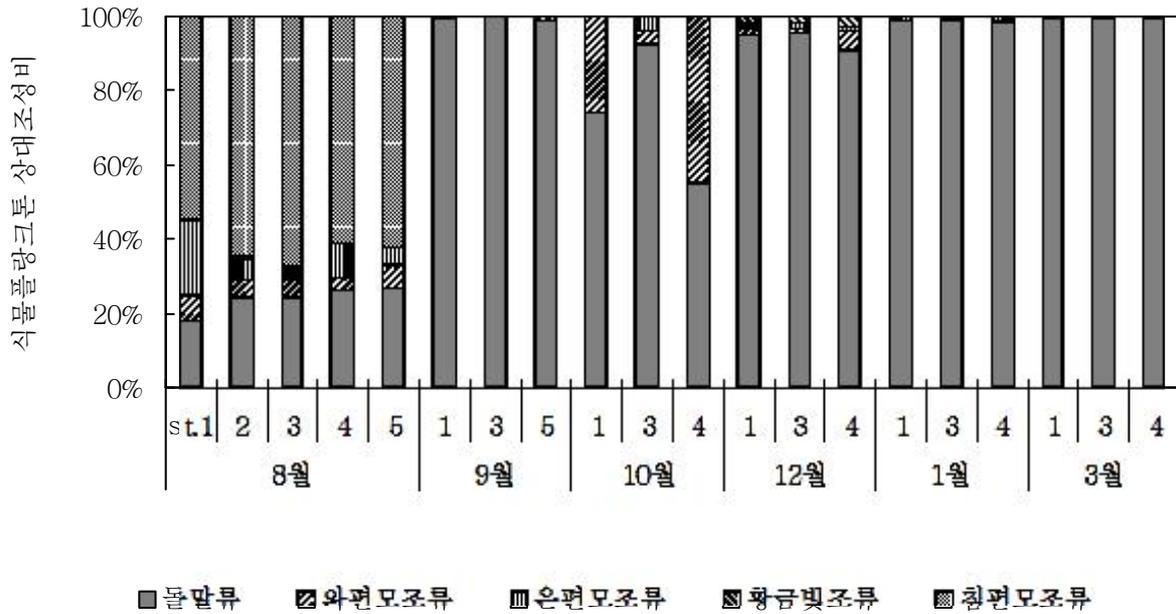


그림 5-1-5. 선유도해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.

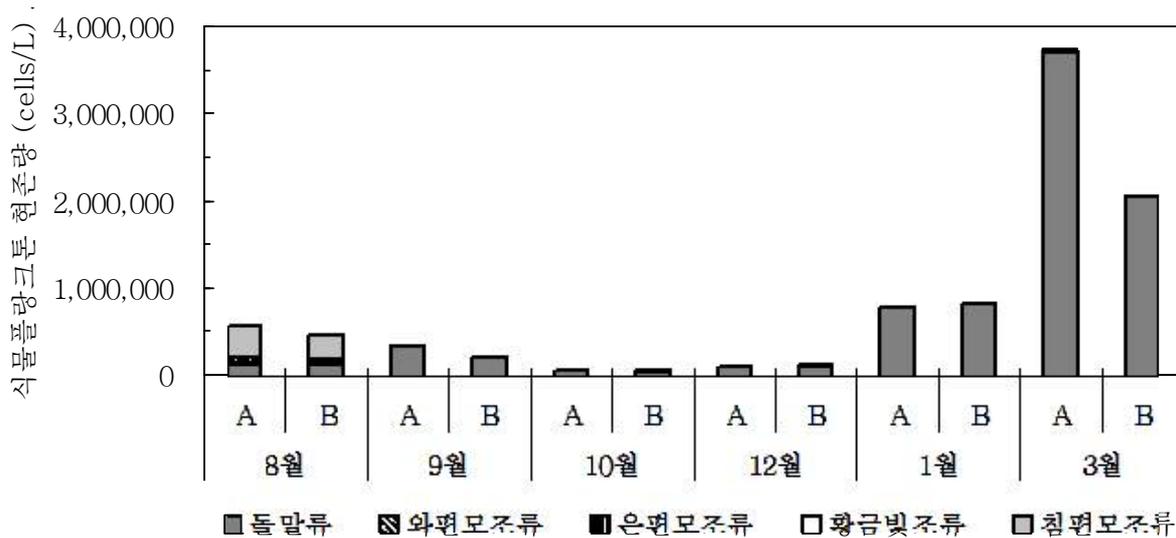


그림 5-1-6. 선유도해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.

다. 무안

전남 무안해역의 5개 정점에서 부유식물플랑크톤의 월별 평균 현존량 변화를 살펴본 결과 3월에 가장 높은 현존량을 보였으며 1월, 8월, 9월, 12월, 10월 순으로 나타났다. 정점별로 현존량의 차이를 보이긴 했으나 각 정점들의 평균값은 춘계인 3월에 가장 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다(그림 5-1-7). 무안해역의 식물플랑크톤은 계절에 따른 월별 우점종 차이는 보였으나, 10월 어장정화사업 전과 후의 어장환경개선 정점들과 대조어장간의 우점종 차이는 보이지 않았다. 조사시기동안 무안해역에서 가장 현존량이 높았던 종은 *Rhizosolenia delicatula*로 1월과 3월에 극우점하게 출현하였으며 선유도 및 무안 치패 발생장과 같은 결과를 보였다(표 5-1-3). 무안해역에 출현한 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군을 살펴보면 전 조사정점에서 돌말류가 극우점하였다. 그 외에도 와편모조류, 은편모조류, 황금빛조류가 관찰되었다(그림 5-1-8).

어장정화사업전인 8월의 어장환경개선정점(무안1, 무안2, 무안3)과 대조어장(무안4, 무안5)의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 323,055 cells/L, 94,027 cells/L로 어장환경 개선예정정점에서 3.4배 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 9월은 평균 식물플랑크톤 현존량이 각각 104,539 cells/L, 119,276 cells/L로 유사한 식물플랑크톤 현존량을 보였다. 어장정화사업 직후인 10월의 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 83,552 cells/L, 74,940 cells/L로 비슷한 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 어장정화사업 2개월 후인 12월은 각각 75,990 cells/L, 100,040 cells/L, 1월은 각각 374,840 cells/L, 382,311 cells/L로 어장환경개선정점과 대조어장에서 비슷한 식물플랑크톤 현존량을 보였다. 3월은 각각 650,355 cells/L, 527,179 cells/L로 어장환경개선정점에서 1.2배 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다. 무안해역의 경운작업에 의한 어장정화사업 이전과 이후의 어장환경개선 정점과 대조어장간의 부유식물플랑크톤 분류군의 상대적 조성비 및 현존량에 큰 차이를 보이지 않았으나, 어장환경개선 정점에서 3월(어장정화사업 5개월 후)에 다소 높은 식물플랑크톤 현존량을 보였다(그림 5-1-9).

표 5-1-3. 무안해역 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종

	어장환경개선			대조어장	
	무안1	무안2	무안3	무안4	무안5
8월	<i>Navicula</i> sp.	<i>Navicula</i> sp.	<i>Navicula</i> sp.	<i>Paralia sulcata</i> <i>Navicula</i> sp.	<i>Paralia sulcata</i> <i>Coscinodiscus</i> sp. <i>Thalassiosira eccentrica</i> <i>Gyrosigma</i> sp. <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex
9월	<i>Gyrosigma</i> sp. <i>Paralia sulcata</i>	<i>Gyrosigma</i> sp. <i>Paralia sulcata</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Thalassionema nitzschioides</i>	<i>Paralia sulcata</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Gyrosigma</i> sp. <i>Navicula</i> sp.	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i>
10월	<i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Gyrosigma</i> sp. <i>Gyrodinium glaucum</i>		<i>Paralia sulcata</i> <i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Rhizosolenia stouterfothii</i> <i>Thalassiosira</i> spp. <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex	<i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Paralia sulcata</i>	
12월	<i>Nitzschia sigma</i> <i>Navicula</i> sp. <i>Paralia sulcata</i> <i>Pseudonitzschia pungens</i>		<i>Paralia sulcata</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Skeletonema costatum</i>	<i>Paralia sulcata</i>	
1월	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros debilis</i> <i>Thalassiosira nordenskioldii</i>		<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i>	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Rhizosolenia delicatula</i>	
3월	<i>Rhizosolenia delicatula</i>		<i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	

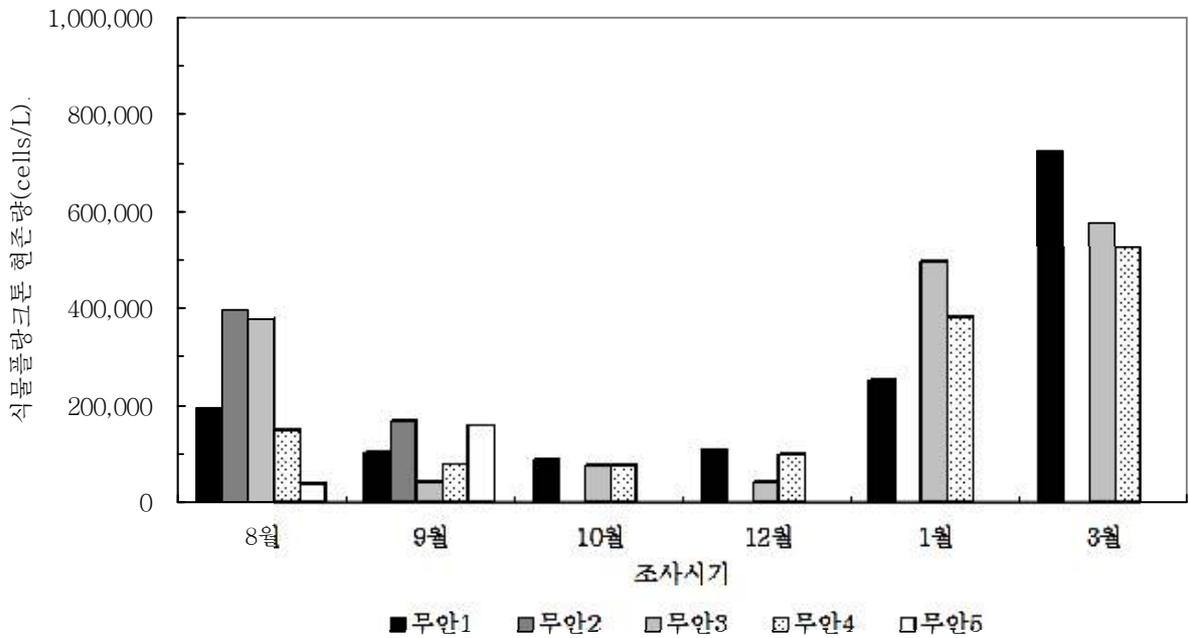


그림 5-1-7. 무안해역 어장환경개선정점(1,2,3)과 대조어장(4,5)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.

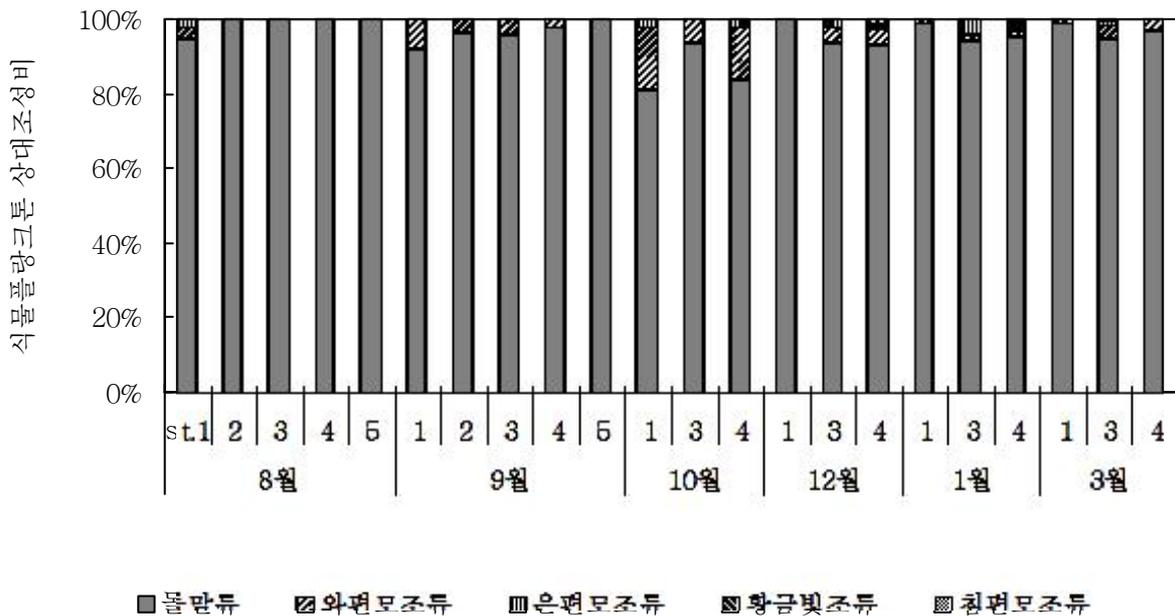


그림 5-1-8. 무안해역 어장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.

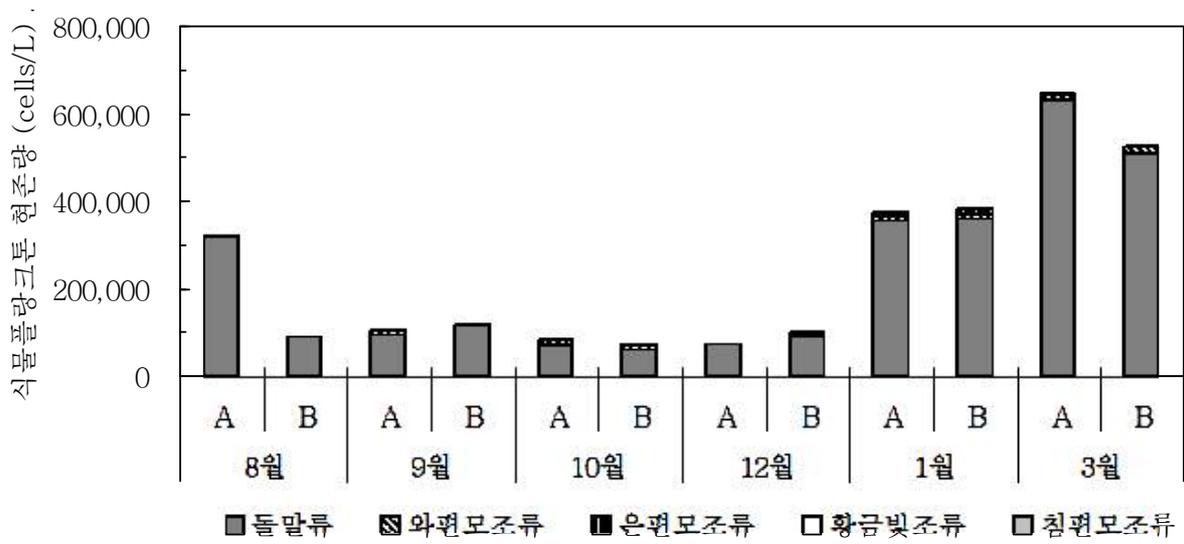


그림 5-1-9. 무안해역 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.

라. 무안 치패발생장

전남 무안해역 치패발생장 5개 정점에서 부유식물플랑크톤의 월별 평균 현존량 변화를 살펴본 결과 3월에 가장 높은 현존량을 보였으며 1월, 10월, 9월, 12월 순으로 나타났다. 정점별로 현존량의 차이를 보이긴 했으나 각 정점들의 평균값은 춘계인 3월에 가장 높은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다(그림 5-1-10). 무안 치패발생장의 식물플랑크톤은 계절에 따른 월별 우점종 차이는 보였으나, 10월 어장정화사업 전과 후의 어장환경개선 정점들과 대조어장간의 우점종 차이는 보이지 않았다. 조사시기동안 무안 치패발생장에서 가장 현존량이 높았던 종은 *Rhizosolenia delicatula*로 1월과 3월에 극우점하게 출현하였으며 선유도 및 무안해역과 같은 결과를 보였다(표 5-1-4). 무안 치패발생장에 출현한 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군을 살펴보면 전 조사정점에서 돌말류가 극우점하였다. 그 외에도 와편모조류, 은편모조류, 황금빛조류가 관찰되었다(그림 5-1-11).

어장정화사업전인 9월의 어장환경개선정점(치패발생장1, 치패발생장2, 치패발생장3)과 대조어장(치패발생장4, 치패발생장5)의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 73,105 cells/L, 78,377 cells/L로 비슷한 값을 보였다. 어장정화사업 직후인 10월의 어장환경개선정점과 대조어장의 평균 식물플랑크톤 현존량은 각각 51,910 cells/L, 184,305 cells/L로 어장환경개선정점에서 매우 낮은 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 어장정화사업 2개월 후인 12월 역시 각각 39,238 cells/L, 51,897 cells/L로 어장환경개선정점에서 다소 낮은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다. 1월은 각각 456,032 cells/L, 422,009 cells/L로 어장환경개선정점과 대조어장에서 비슷한 식물플랑크톤 현존량을 보였으며, 3월은 각각 593,803 cells/L, 728,325 cells/L로 어장환경개선정점에서 낮은 식물플랑크톤 현존량을 나타냈다. 무안 치패발생장의 경운작업에 의한 어장정화사업으로 어장환경개선 정점과 대조어장간의 부유식물플랑크톤 분류군의 상대적 조성비 및 현존량에 큰 차이를 보이지 않았다(그림 5-1-12).

표 5-1-4. 무안 치패발생장 어장환경개선 및 대조어장에 출현한 식물플랑크톤의 우점종

	어장환경개선		대조어장
	치패발생장1	치패발생장3	치패발생장4
9월	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i>	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Pseudonitzschia seriata</i> complex	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Paralia sulcata</i> Pseudonitzschia seriata complex
10월	<i>Paralia sulcata</i> <i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Rhizosolenia setigera</i> <i>Paralia sulcata</i> Pseudonitzschia seriata complex	<i>Paralia sulcata</i> <i>Thalassiosira</i> spp.
12월	<i>Paralia sulcata</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Asterionellopsis kariana</i> Pseudonitzschia seriata complex <i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Paralia sulcata</i>	<i>Paralia sulcata</i> <i>Skeletonema costatum</i>
1월	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Thalassiosira rotula</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Chaetoceros debilis</i>
3월	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	<i>Rhizosolenia delicatula</i>

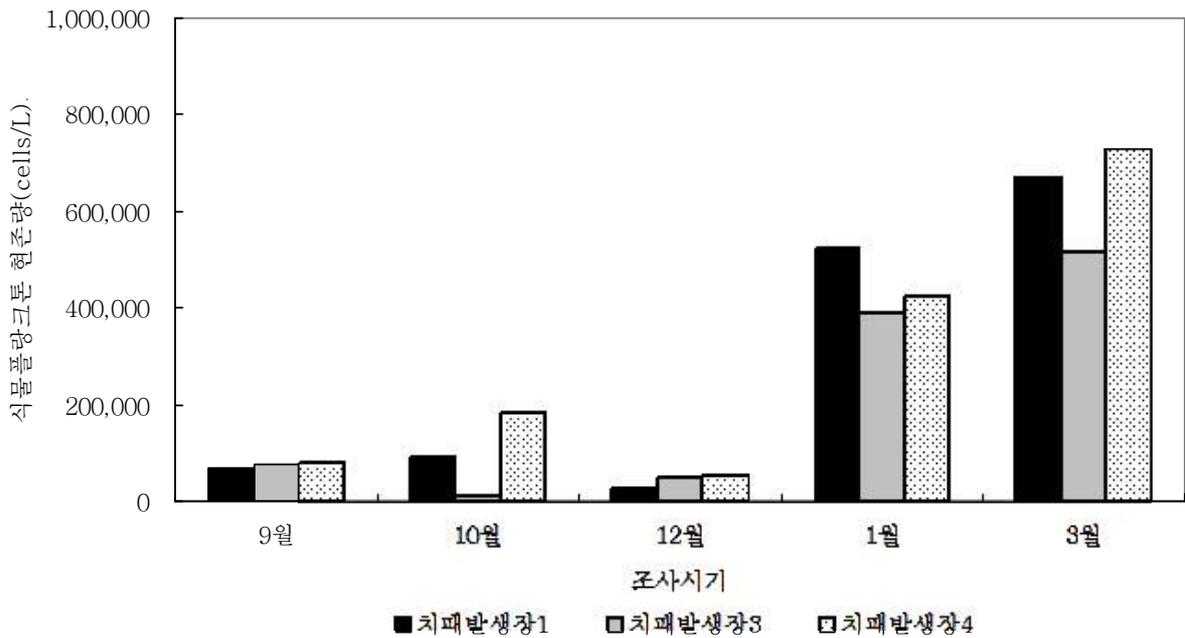


그림 5-1-10. 무안 치패발생장의 어장환경개선정점(1,3)과 대조어장(4)에 출현한 식물플랑크톤의 현존량 비교.

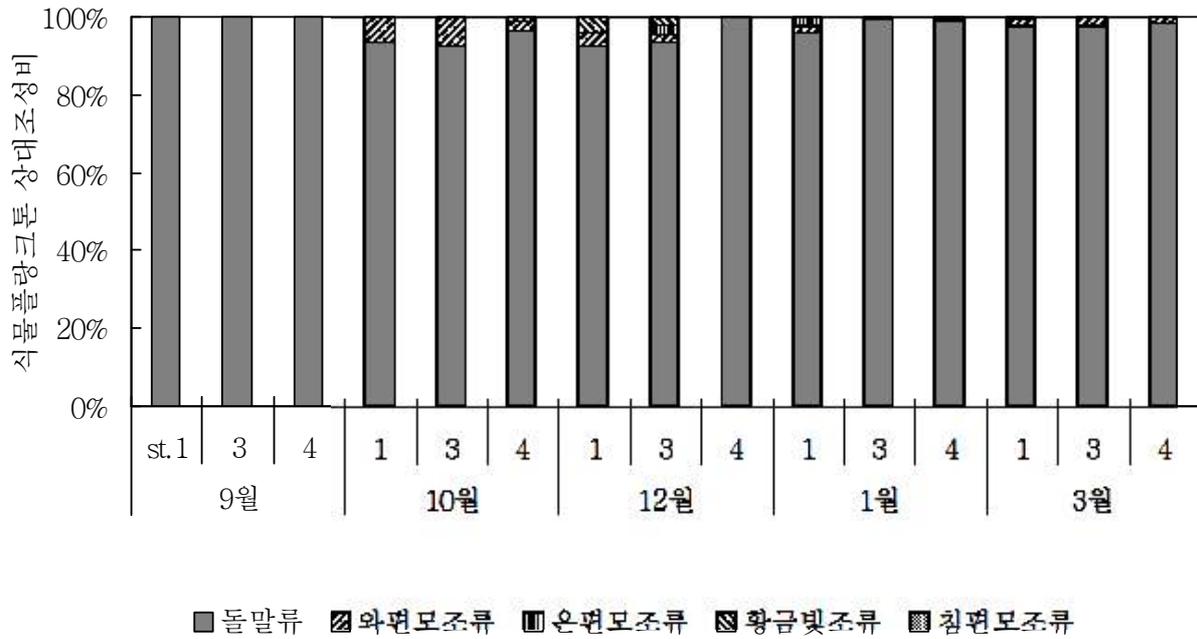


그림 5-1-11. 무안 치폐발생장에 출현한 식물플랑크톤의 분류군의 상대조성비.

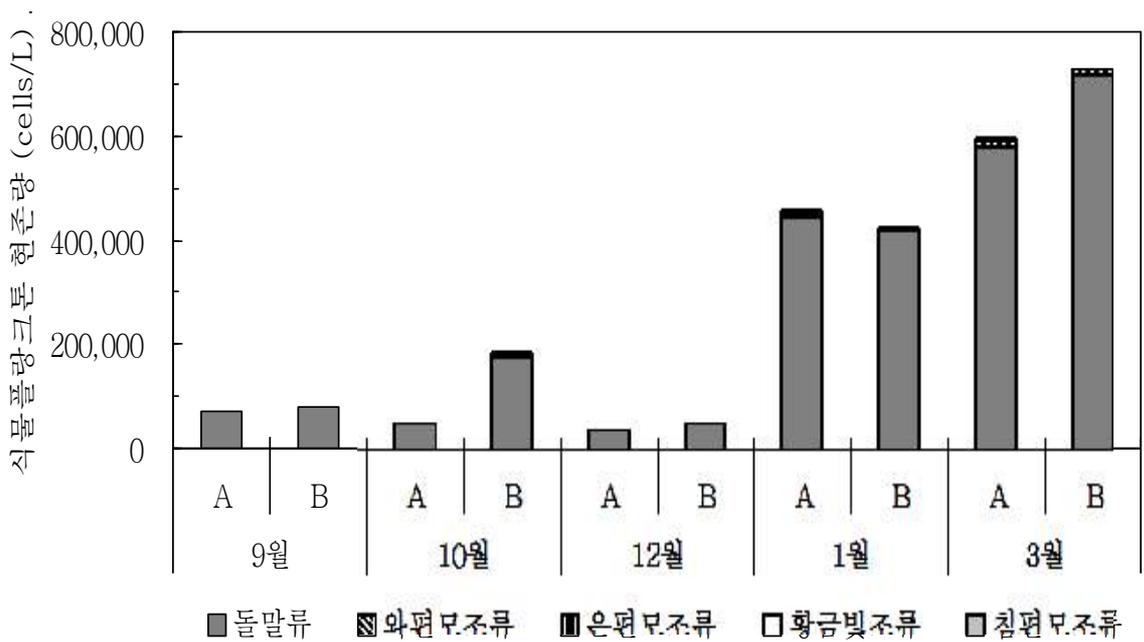


그림 5-1-12. 무안 치폐발생장의 어장환경개선 정점(A)과 대조어장(B)에 출현한 식물플랑크톤의 출현종 조성 및 현존량 비교.

4. 결론

조사 기간동안 부유식물플랑크톤중 유해종으로 알려진 *Chattonella antiqua* 종이 8월 선유도 해역에서 어장환경개선 정점 및 대조어장에 출현하였으며, 그 외의 유해종 출현은 없었다. 따라서 어장정화작업 전과 후의 유해종 출현비율을 파악할 수 없었으며, *Chattonella antiqua*종에 의한 수산생물의 피해는 없었다.

태안, 선유도, 무안, 무안 치패발생장 해역의 부유플랑크톤의 현존량은 8월, 10월, 12월에 태안해역에서 높게 출현하였으며, 9월, 1월, 3월은 선유도 해역에서 높게 나타났다. 부유식물플랑크톤 주요 우점종의 현존량 파악을 통한 어장환경개선효과를 살펴본 결과 태안의 어장환경개선정점에서 어장정화사업 직후인 10월에 저서미세조류인 *Pseudonitzschia seriata* complex 종의 재부유에 의해 식물플랑크톤 현존량이 높게 나타났으며 그 외의 해역에서는 식물플랑크톤의 계절에 따른 우점종과 현존량 변화는 보였으나, 대조어장과 비교하여 어장정화사업실시 전과 후의 우점종 및 현존량 변화가 크게 나타나지 않았다. 즉 부유식물플랑크톤의 우점종 및 현존량 조사를 통한 충남 태안, 전북 선유도, 전남 무안 및 치패발생장의 마을어장은 비사업어장인 대조어장과 비교하여 유사한 환경을 유지하고 있었으며 어장정화작업 전과 후의 식물플랑크톤 군집변화가 없는 것으로 나타났다.

제2절 동물플랑크톤

1. 연구개요

플랑크톤 자체는 연약한 생물로 대부분 환경에 대한 민감성이 높다 하더라도 유영 능력이 약해 조류나 해류의 흐름에 따라 수괴에 포함되어 이동하므로 서해 연안 해역과 같이 조류가 매우 강한 해역에서는 특정 해역에서의 물리·화학적인 급격한 환경 변화를 반영하는 데는 무리가 있을 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고 해양생태계의 먹이망에서 중요한 축을 담당하기 때문에 해당 환경에서 서식하는 유영 능력이 뛰어난 어류와 같은 다른 생물들에게 먹이원으로 이용된다. 이러한 이유에서 플랑크톤에 대한 조사는 충분한 의미를 가지고 있다고 볼 수 있다.

현 조사에서는 4개의 조사해역에서 어장환경개선 사업 실시 전과 후의 환경에 따른 동물플랑크톤 밀도 및 분류군 구성을 비교하였다.

2. 재료 및 방법

가. 조사 시기 및 장소

태안, 선유도, 무안, 무안 치패발생장에서 어장정화사업 전에 2회(7월과 9월) 조사를 실시하였으며, 어장정화사업 후 4회(10월, 12월, 1월, 3월) 조사를 실시하였다. 각 조사해역에서 내측의 정점 1, 3을 선정하였으며, 비사업지역인 대조구로 정점 4를 선정하여 어장환경개선사업 전과 후의 동물플랑크톤의 밀도 및 구성 분류군의 변화를 조사하였다.

나. 시료 채집 및 분석

동물플랑크톤은 원추형 네트(망구 크기 60 cm, 망목 크기 200 μ m)를 사용하여 채집하였으며(그림 5-2-1), 네트의 입구에 유량계(flowmeter)를 부착하여 네트를 통과한 해수의 양을 계산하였다. 정지해 있는 배 위에서 네트를 수심으로부터 약 1 m 위까지 내린 후 약 1 m/sec 속도로 위쪽으로 수직 예망하였다. 시료는 채집 즉시 선상에서 중성포르말린 원액을 투여하여 시료와의 최종농도가 5%가 되도록 고정하였다. 고정된 시료는 실험실에서 Motoda type 분할기를 이용하여 시료의 양에 따라 1/64~1/4로 적절히 분할하여 분류군별로 계수한 후 보관하였다(그림 5-2-2).



그림 5-2-1. 현 조사에서 사용된 동물플랑크톤 원추형 네트.

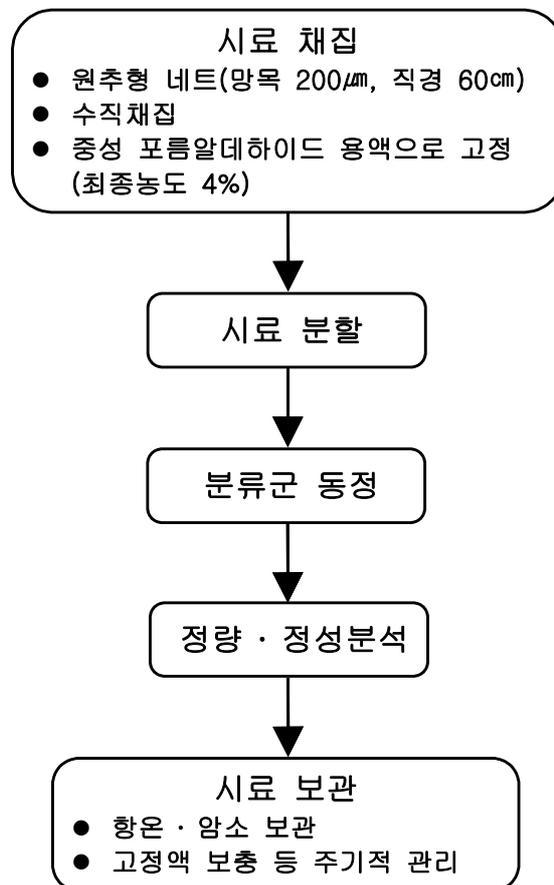


그림 5-2-2. 동물플랑크톤 채집 및 분석 흐름도.

3. 결과 및 고찰

가. 태안

태안 해역에서 동물플랑크톤의 단위 체적당 밀도는 7월과 9월에 높았으며, 10월부터 다음해 3월까지의 조사에서는 낮은 경향을 보였다(그림 5-2-3). 일반적으로 정점별 밀도의 차이는 계절별 차이에 비해 낮은 것으로 나타났다. 2010년 7월의 경우 내측 정점에서 420,629~557,223개체/ m^3 였으며, 대조 정점에서는 4,511,798개체/ m^3 로 내측 정점에 비해 10배 정도 높았고, 평균값은 1,829,884개체/ m^3 로 높았다. 9월에는 7월에 비해 밀도가 크게 감소하여 내측 정점에서는 55,119~111,431개체/ m^3 의 분포를 보였으며, 대조 정점에서는 204,128개체/ m^3 로 내측 정점에 비해 높았고 평균값은 123,559개체/ m^3 로 7월에 비해 1/10 정도의 밀도로 급감하였다. 10월에는 동물플랑크톤의 밀도가 190~721개체/ m^3 (평균 398개체/ m^3)로 전월에 비해 급감하였다. 12월에는 평균 9,669개체/ m^3 로 소폭 증가하였으나, 2011년 1월과 3월에는 각각 평균 358개체/ m^3 과 954개체/ m^3 로 낮은 수준에 머물렀다. 전반적으로 어장 정화 사업 전과 후의 동물플랑크톤 밀도 변화가 큰 것으로 나타났다. 어장 정화 사업 전의 경우 내측 정점보다 대조 정점에서 동물플랑크톤의 밀도가 높았으나, 어장 정화 사업 후에는 내측 정점과 대조 정점 간의 밀도 차이가 거의 없는 것으로 나타났다.

동물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군을 살펴보면, 요각류(Copepoda), 지각류(Cladocera), 원생동물(Protozoa)인 야광충(*Noctiluca scintillans*), 유생군(Larvae), 그리고 그 외의 동물플랑크톤을 들 수 있다. 2010년 7월과 9월의 경우 전체 동물플랑크톤 군집에서 야광충이 차지하는 비중이 매우 높았다. 7월의 경우 특히 야광충이 대량 발생하여 전체 동물플랑크톤에서 차지하는 비중은 정점에 따라 98.47~99.51%(평균 99.00%)로 거의 대부분을 차지하였다(그림 5-2-4). 주요 동물플랑크톤으로는 지각류가 평균 0.77%, 요각류가 0.19%였으며, 유생군이 0.03%, 그 외의 동물플랑크톤이 평균 0.01%로 전체 동물플랑크톤 군집이 야광충으로 구성되는 경향을 보였다. 정점에 따라서는 모든 동물플랑크톤 분류군이 내측 정점보다는 대조 정점에서 높은 분포를 보였다.

서해에서 야광충은 일반적으로 봄철에 주로 대량 발생하였다가 여름부터 겨울까지 지속적으로 감소하고, 다음해 봄에 다시 대량 발생하는 주기적인 경향을 보인다. 야광충은 식물플랑크톤과 같은 생산자나 동물플랑크톤, 어류의 알 등 자신보다 큰 생물까지도 가리지 않고 포식하는 식성을 가지고 있다. 야광충은 해양 오염이 진행된 해역에서 흔히 관찰되며 수위가 안정되면 단기간에 대량으로 발생하곤 한다. 이들은 동해의 먼 바다인 투기해역에서도 대량으로 발생하는 부영양화의 지표적인 특성을 나타낸다. 서해와 남해 등 환경오염이 심화되며 부영양화가 진행 중인 해역에서는 야광충의 대량발생 빈도가 점점 빈번해질 것으로 보인다. 이에 따라 해양생태계의 먹이망의 하위 단계를 소비함으로써 어족

자원의 치자어의 생존까지도 위협할 수 있으며, 해양생태계의 전체 먹이 피라미드를 교란시킬 가능성을 배제할 수 없다. 그러나 한편으로는 다른 유해 적조생물을 포식함으로써 이러한 생물의 대량발생을 사전에 제어하는 순작용도 적지 않을 것으로 생각된다. 우리나라에 있어 여러 원인에 의하여 연안역의 부영양화가 지속적으로 확산되고 있는 현 상황에서 대량발생이 더욱 빈번해질 것으로 예상된다.

9월에는 야광충의 대량발생이 사라졌으나 동물플랑크톤 군집에서 차지하는 비중은 여전히 높아 정점에 따라 23.26~76.19%(평균 44.16%)를 차지하였으나, 요각류가 22.91~91.04%(평균 55.23%)로 가장 높은 비중을 차지하였다. 그 밖에 지각류가 평균 0.09%, 유생균이 0.06%, 나머지 동물플랑크톤이 0.46%를 점유하였다. 유생균은 내측 정점에서만 출현하였으며 대조 정점에서는 전혀 출현하지 않은 반면, 요각류와 야광충을 비롯한 다른 동물플랑크톤 분류군은 모두 내측 정점보다 대조 정점에서 높은 밀도 분포를 보였다. 10월 이후에는 전 조사 해역에 걸쳐 야광충이 거의 소멸되었다. 전 조사 해역에서 동물플랑크톤의 밀도가 매우 낮아 요각류가 평균 68.61%의 비중을 차지하였음에도 불구하고 평균 221개체/m³의 매우 낮은 밀도에 그쳤다. 그 밖에 야광충과 유생균이 각각 19.57%와 9.69%의 비중을 차지하였다. 12월에는 요각류의 급격히 밀도가 증가하여 6,109~11,371개체/m³(평균 9,291개체/m³)의 분포를 보였으며, 전체 동물플랑크톤에서 차지하는 비중도 평균 95.08%로 매우 높았다. 요각류 이외에는 기타 동물플랑크톤이 2.85%, 야광충이 1.74%를 차지하였다. 2011년 1월에는 다시 요각류의 밀도가 감소하여 632~1,294개체/m³(평균 907개체/m³)의 분포를 보였으며, 기타 동물플랑크톤이 4.45%, 야광충이 0.47%를 차지하였다. 3월의 경우 요각류가 평균 338개체/m³로 평균 93.95%의 비중을 차지하였으며, 기타 동물플랑크톤이 4.81%, 야광충이 1.0%, 지각류가 0.18%를 차지하였다.

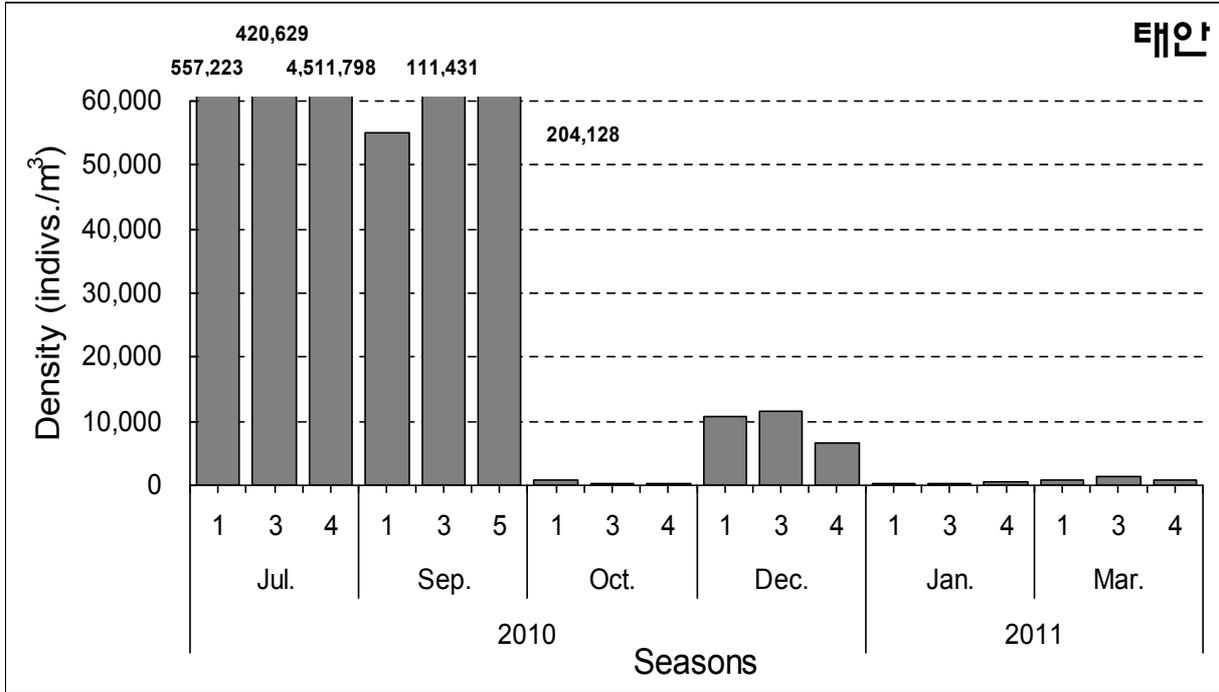


그림 5-2-3. 태안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.

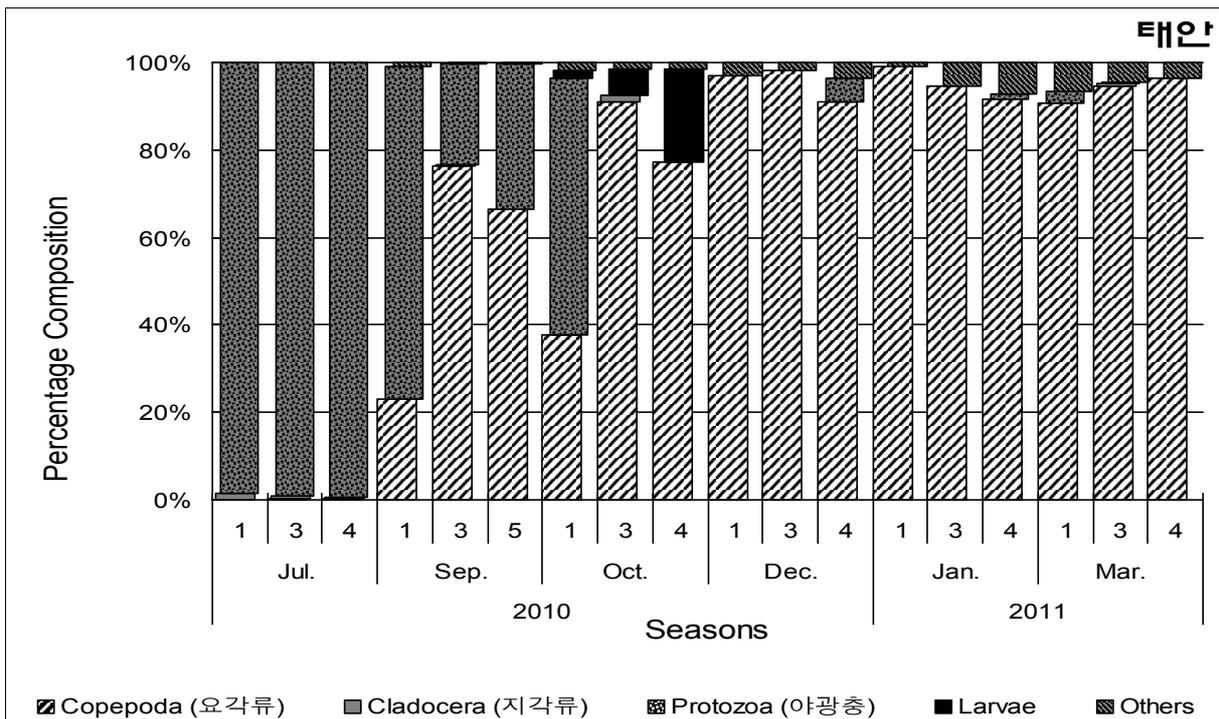


그림 5-2-4. 태안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.

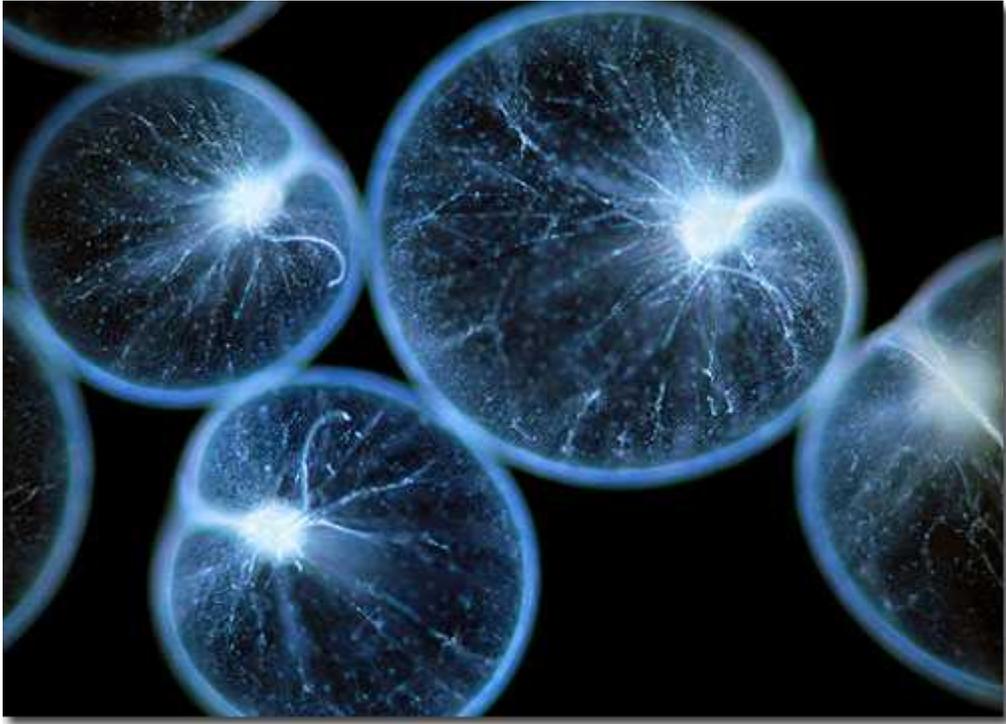


그림 5-2-5. 야광충(*Noctiluca scintillans*)의 형태.

나. 선유도

선유도 해역에서 동물플랑크톤의 단위 체적당 밀도는 7월에서 9월로 가면서 감소하였으나 10월에 급증하였고 다시 10월부터 급감하여 낮은 밀도를 유지하였다(그림 5-2-6). 일반적으로 정점별 밀도의 차이는 태안 해역에서와 마찬가지로 계절별 차이에 비해 낮았다. 2010년 7월의 경우 17,779~28,929개체/m³(평균 25,144개체/m³)로 정점에 따른 차이는 크지 않았으며, 내측 정점과 대조 정점에 따른 차이도 찾을 수 없었다. 9월에는 7월에 비해 밀도가 크게 감소하여 2,436~6,924개체/m³(평균 5,293개체/m³)로 낮은 분포를 보였다. 태안과는 달리 어장정화사업 이후인 10월에 동물플랑크톤의 밀도가 급증하여 108,263~1,053,152개체/m³(평균 446,127개체/m³)의 분포를 보였다. 10월에는 내측 정점과 대조 정점 간에 높은 차이를 보였으며, 대조 정점에서 7배 이상의 높은 밀도 분포를 보였다. 12월부터 급감하여 12,684~16,292개체/m³(평균 14,617개체/m³)에 머물렀으며, 정점에 따른 차이는 없었다. 2011년 1월과 3월에는 각각 2,119~9,715개체/m³(평균 5,385개체/m³)와 251~598개체/m³(평균 447개체/m³)로 급격한 감소세를 보였다.

2010년 7월부터 10월까지 전체 동물플랑크톤 군집에서 야광충이 차지하는 비중이 매우 높았으며, 여름에서 가을로 갈수록 야광충의 점유율이 증가하는 경향을 보였다(그림 5-2-7). 그러나 밀도를 고려할 때 10월을 제외하고는 대량발생이라고는 간주할 수 없을 정도의 밀도 분포였으며, 다른 동물플랑크톤 특히 요각류와의 상대적 비중이 높은 것으로 나타났다. 또한 유생군은 2010년 7월을 제외하고는 전혀 출현하지 않았다. 7월의 경우 야광충이 전체 동물플랑크톤에서 차지하는 비중은 평균 56.65%로 높은 비중을 차지하였으나 밀도는 평균 14,448개체/m³에 불과하여 대량발생이라고 할 만한 수준에는 미치지 못했다. 주요 동물플랑크톤으로는 지각류가 13.32~56.87%(평균 0.77%), 요각류가 3.32~8.02%(평균 5.86%)였으며, 유생군이 평균 0.27%, 그 외의 동물플랑크톤이 평균 0.97%로 전체 동물플랑크톤 군집이 야광충과 지각류로 구성되는 경향을 보였다. 전체 밀도와 마찬가지로 정점에 따른 차이는 크지 않았으며, 내측 정점과 대조 정점 간의 차이도 크지 않았다. 9월에는 야광충의 밀도가 감소하였으나 다른 동물플랑크톤의 밀도도 역시 감소세를 보여 야광충이 전체 동물플랑크톤 군집에서 차지하는 비중은 오히려 증가하여 정점에 따라 80.99~95.84%(평균 88.30%)로 증가하였다. 7월에 제2우점 분류군이었던 지각류는 평균 0.04%로 거의 소멸하였으며, 요각류 역시 3.92~17.87%(평균 10.95%)에 불과하였다. 기타 동물플랑크톤이 평균 0.71%로 출현하였다. 10월에는 야광충의 대량발생이 관찰되었으며, 이에 따라 야광충이 전체 동물플랑크톤 군집에서 차지하는 비중은 증가하여 정점에 따라 98.02~98.94%(평균 98.56%)에 달했다. 지각류는 평균 0.03%로 미미했으며, 요각류는 평균 1.23%, 기타 동물플랑크톤은 평균 0.18%에 불과하였다. 12월에는 야광충이 거의 사멸하여 내측의 1번 정점에서만 0.86%로 출현하였다. 반면 요각류의 밀도가 급증하여 12,226~15,902개체/m³(평균 14,057개체/m³)의 분포를 보였으며, 전체 동물플랑크톤

군집에서 차지하는 비중은 94.41~97.61%(평균 96.14%)로 거의 대부분을 차지하였다. 기타 동물플랑크톤은 평균 3.58%에 불과하였다. 2011년 1월에는 다시 요각류의 밀도가 2010년 10월 수준으로 감소하여 1,726~8,315개체/m³(평균 4,684개체/m³)의 분포를 보였으나, 전체 동물플랑크톤 군집에서 차지하는 비중은 81.44~92.83%(평균 86.62%)로 거의 대부분을 차지하였다. 그 외에 야광충이 평균 10.07%, 기타 동물플랑크톤이 3.31%를 차지하였다. 3월의 경우 전체 동물플랑크톤의 밀도가 감소하였으며 야광충이 166~471개체/m³(평균 326개체/m³)로 66.20~78.84%(평균 71.49%)의 분포를 1.0%, 요각류가 평균 338개체/m³로 평균 93.95%의 비중을 차지하였으며, 기타 동물플랑크톤이 4.81%, 야광충이 1.0%, 지각류가 0.18%를 차지하였다.

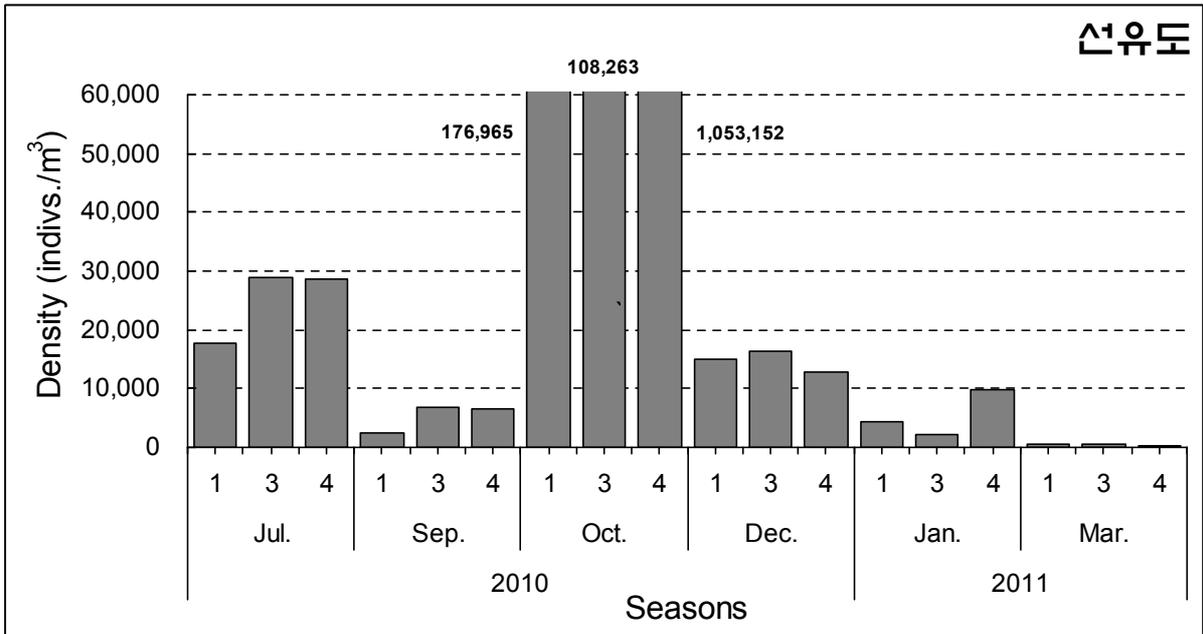


그림 5-2-6. 선유도 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.

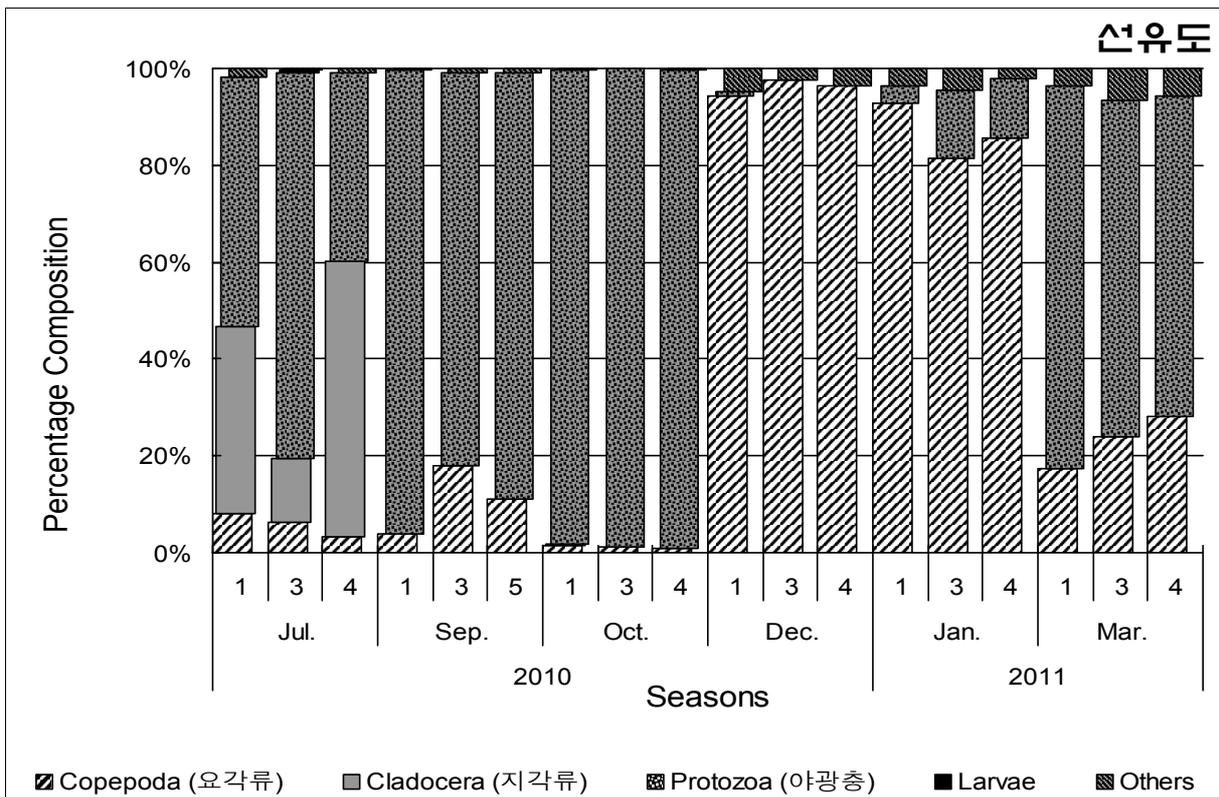


그림 5-2-7. 선유도 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.

다. 무안

무안 해역에서 동물플랑크톤의 단위 체적당 밀도는 7월에 낮은 밀도에서 9월에 급증하였으며, 10월과 12월까지 높은 밀도를 유지하다가 2011년 1월과 3월까지 급감하는 경향을 보였다(그림 5-2-8). 2010년 9월을 제외하고는 일반적으로 정점별 밀도의 차이는 계절별 차이에 비해 낮았다. 2010년 7월의 경우 1,047~3,125개체/m³(평균 1,985개체/m³)로 정점에 따른 차이는 크지 않았으며, 내측 정점과 대조 정점에 따른 차이도 찾을 수 없었다. 9월에는 7월에 비해 밀도가 크게 증가하여 567~25,932개체/m³(평균 14,000개체/m³)의 분포를 보였다. 정점 간의 밀도의 차이가 컸으며 특히 내측 정점과 대조 정점 간에 높은 차이를 보여 내측 정점이 대조 정점보다 70배 이상의 높은 밀도 분포를 보였다. 10월에는 9월에 비해 밀도가 증가하여 20,049~50,181개체/m³(평균 32,471개체/m³)에 달했으며, 12월까지도 29,690~49,651개체/m³(평균 38,740개체/m³) 범위로 높은 밀도가 유지되었다. 10월과 12월 모두 정점 간의 차이는 크지 않았다. 2011년 1월과 3월에는 각각 2,115~4,343개체/m³(평균 3,264개체/m³)와 312~1,233개체/m³(평균 765개체/m³)로 급격한 감소세를 보였다.

2010년 7월부터 9월까지 전체 동물플랑크톤 군집에서 야광충이 차지하는 비중이 높지 않았으나, 10월부터 2011년 3월까지 높은 비중을 차지하였다(그림 5-2-9). 특히 2010년 10월부터 12월까지 매우 높은 비중을 보였다. 그러나 밀도를 고려할 때 10월을 제외하고는 대량발생이라고는 간주할 수 없을 정도의 밀도 분포였으며, 다른 동물플랑크톤 분류군 특히 요각류와의 상대적 비중이 높은 것으로 나타났다. 무안 해역에서 지각류의 비중은 작았다. 유생군은 7월부터 10월까지만 출현하였으며, 12월부터 2011년 3월까지 전혀 출현하지 않았다. 또한 유생군은 2010년 7월을 제외하고는 전혀 출현하지 않았다. 7월의 경우 요각류가 전체 동물플랑크톤에서 차지하는 비중이 가장 높아 512~1,095개체/m³(평균 1,095개체/m³)로 평균 53.76%의 비중을 차지하였다. 야광충은 내측의 1번 정점에서만 출현하였으며, 밀도도 374개체/m³로 낮았다. 유생군은 28.99~45.15%로 평균 38.91%의 높은 비중을 차지하였다. 기타 동물플랑크톤이 평균 3.34%의 낮은 비중을 차지하였다. 9월에는 요각류가 521~23,902개체/m³(평균 12,881개체/m³)로 평균 91.91%의 비중을 차지하였으나, 내측 정점에서 대조 정점에 비해 높은 밀도로 분포하였다. 야광충의 밀도가 증가하기 시작하였으나, 전체에서 차지하는 비중은 평균 2.87%에 불과하였다. 10월에는 야광충의 밀도가 급증하여 19,599~47,477개체/m³(평균 29,841개체/m³)로 82.58~97.75%(평균 91.65%)의 비중으로 동물플랑크톤 군집의 대부분을 차지하였다. 요각류는 밀도가 감소하여 358~4,363개체/m³(평균 2,984개체/m³)로 1.78~16.05%(평균 7.60%)에 불과하였다. 요각류의 경우 9월과 마찬가지로 대조정점에서 내측 정점에 비해 낮은 밀도로 분포를 보였다. 기타 동물플랑크톤은 평균 2.67%에 불과했다. 12월에는 야광충이 정점 간에 고른 분포를 보여 평균 23,297개체/m³로 38.24~85.33%(평균 63.01%)의 높은 비중을 차지하였다. 요각

류는 5,212~28,144개체/m³(평균 14,299개체/m³)로 14.13~56.68%(평균 14.13%)에 불과하였다. 기타 동물플랑크톤은 평균 2.7%의 비중을 차지하였다.

2011년 1월에는 요각류가 평균 2.093개체/m³로 평균 64.01%를 차지하였으며, 야광충은 평균 1.051개체/m³로 평균 32.57%를 차지하였다. 전체 밀도를 비롯하여 요각류와 야광충 모두 정점 간에 고른 밀도로 분포하였다. 3월에는 전체적으로 동물플랑크톤의 밀도가 감소하였으며, 특히 야광충의 밀도가 감소하였다. 요각류의 밀도가 194~1,129개체/m³(평균 641개체/m³)로 62.09~91.51%(평균 77.97%)를 차지하였으며, 야광충은 고른 분포를 보여 105~109개체/m³(평균 107개체/m³)로 8.49~34.89%(평균 19.18%)를 차지하였다.

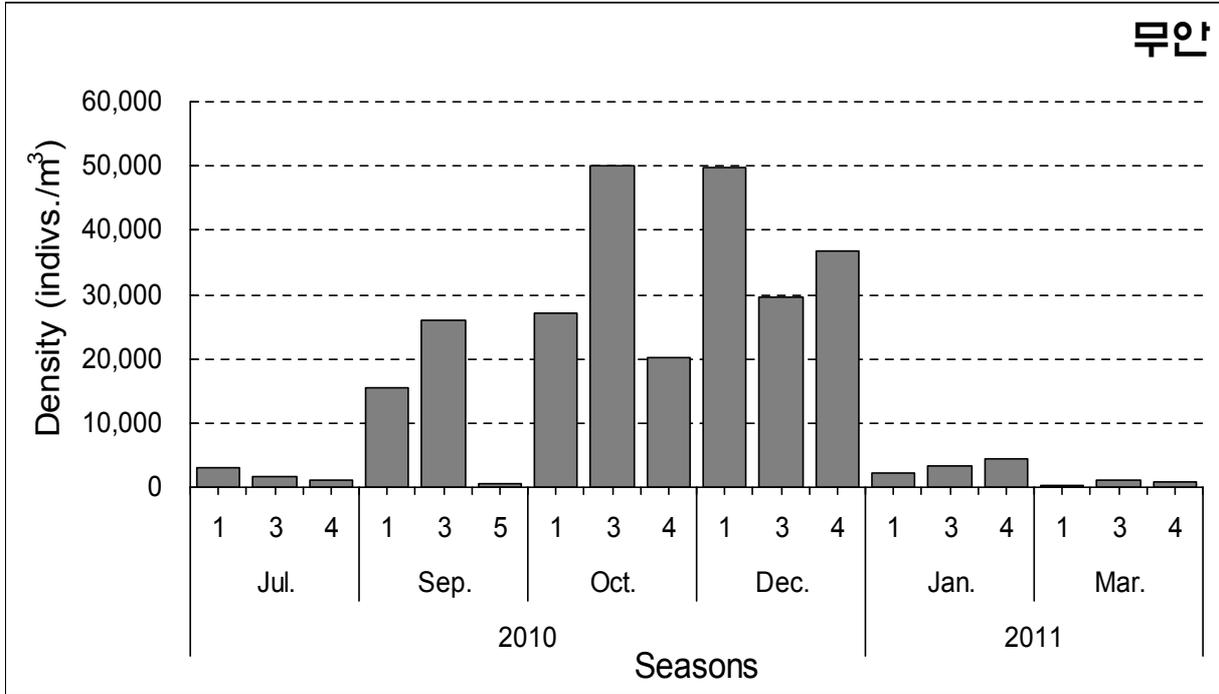


그림 5-2-8. 무안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.

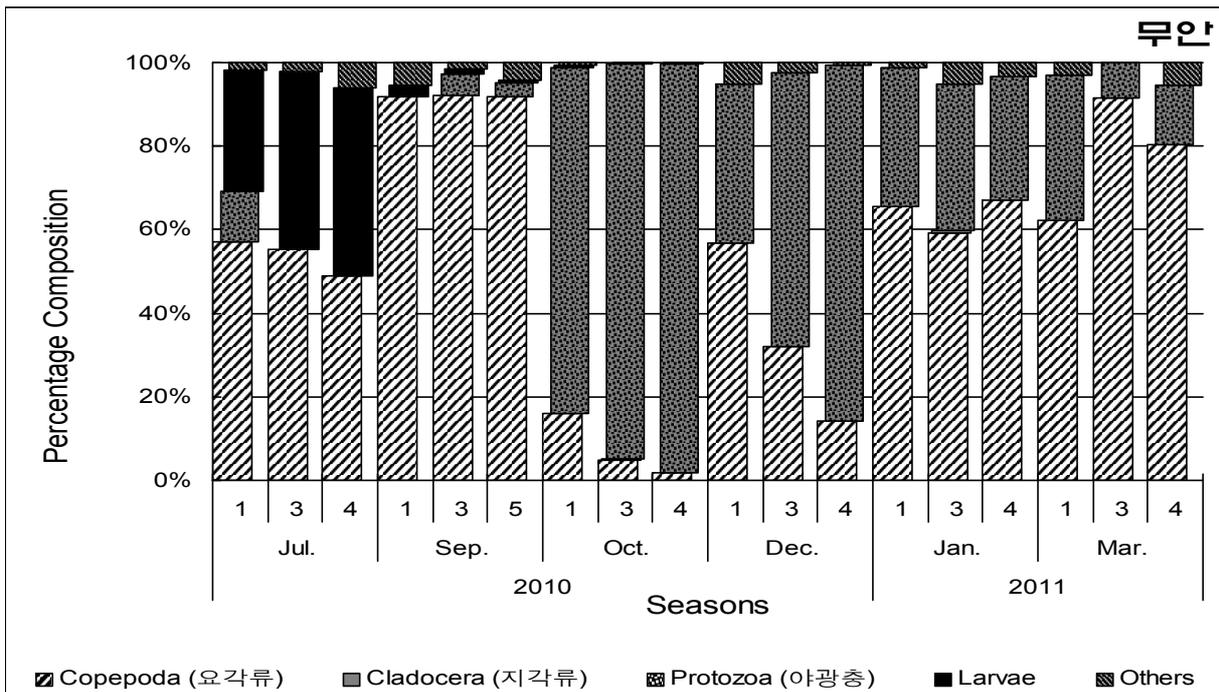


그림 5-2-9. 무안 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.

라. 무안 치패발생장

무안 치패 해역에서는 2010년 7월에 동물플랑크톤 시료가 채집되지 않아 9월 시료부터 분석되었다. 동물플랑크톤의 단위 체적당 밀도는 9월부터 10월까지 높은 밀도를 유지하다가 12월부터 서서히 감소하였으나 2011년 1월에 급격히 감소하여 3월까지 감소세가 유지되었다(그림 5-2-10). 2010년 9월의 경우 19,619~24,905개체/m³(평균 22,403개체/m³)의 분포를 보였으며, 정점 간의 밀도 차이가 없었다. 10월에는 23,604~32,401개체/m³(평균 28,782개체/m³)에 달했으며, 9월과 마찬가지로 정점 간의 밀도 차이는 없었다. 12월에는 2,883~24,273개체/m³(평균 14,347개체/m³) 범위로 정점 간의 밀도의 차가 컸으며, 내측 정점보다 대조 정점에서 높은 밀도로 분포하였다. 2011년 1월과 3월에는 각각 1,504~3,729개체/m³(평균 2,674개체/m³)와 742~2,555개체/m³(평균 1,48개체/m³)로 급격한 감소세를 보였다. 1월에는 대조 정점에서 비교적 높았으며, 3월에는 대조 정점에서 낮은 밀도 분포를 보였다.

야광충은 9월에서 10월까지 증가하였다가 12월부터 감소하기 시작하여 2011년 3월까지 지속적으로 감소하였다(그림 5-2-11). 지각류는 10월에만 대조 정점에서 낮은 밀도로 출현했을 뿐 그 외의 계절에는 전혀 출현하지 않았다. 유생군은 9월과 10월에만 낮은 밀도로 출현하였다. 9월의 경우 요각류가 전체 동물플랑크톤에서 차지하는 비중이 가장 높아 16,517~22,399개체/m³(평균 19,862개체/m³)로 84.19~91.13%(평균 53.76%)의 비중을 차지하였다. 야광충은 1,144~2,327개체/m³(평균 1,540개체/m³)로 4.60~11.86%(평균 7.17%)의 비중을 차지하였다. 유생군과 기타 동물플랑크톤은 각각 평균 0.54%와 3.87%로 낮은 비중을 차지하였다. 10월에는 야광충이 17,197~27,713개체/m³(평균 21,392개체/m³)로 63.50~85.53%(평균 73.96%)의 비중을 차지하여 동물플랑크톤 군집에서 가장 높았다. 다음으로 요각류가 4,413~10,640개체/m³(평균 6,861개체/m³)로 13.62~35.07%(평균 24.04%)의 비중을 차지하였다. 그 밖에 유생군과 기타 동물플랑크톤은 각각 평균 0.44%와 1.54%로 낮은 비중을 차지하였다. 12월부터는 동물플랑크톤 군집에서 요각류의 비중이 커지기 시작하여 요각류가 2,231~15,917개체/m³(평균 9,155개체/m³)로 58.65~77.40%(평균 67.21%)의 비중을 차지하였다. 다음으로 야광충이 533~6,582개체/m³(평균 4,130개체/m³)로 19.20~33.08%(평균 26.46%)에 달했다. 그 밖에 기타 동물플랑크톤은 98~1,774개체/m³(평균 1,062개체/m³)로 3.41~8.27%(평균 2.67%)의 비중을 차지하였다. 2011년 1월에는 전반적으로 동물플랑크톤의 밀도가 급감하여 요각류가 873~3,147개체/m³(평균 2,030개체/m³)의 밀도로도 전체 동물플랑크톤 군집에서 58.05~84.38%(평균 72.22%)를 차지하였다. 다음으로 야광충은 219~575개체/m³(평균 441개체/m³)이 범위로 5.86~35.26%(평균 20.58%)의 비중을 차지하였다. 그 외에는 기타 동물플랑크톤이 101~364개체/m³(평균 203개체/m³)로 5.15~9.77%(평균 7.20%)를 차지하였다. 3월에는 동물플랑크톤 군집의 밀도가 1월보다도

낮아졌으며, 1월과 마찬가지로 요각류가 가장 높은 비중을 차지하였다. 요각류는 950~2,237개체/m³(평균 1.281개체/m³)에 불과하였으나 87.56~90.70%(평균 88.88%)로 비중이 높아졌다. 야광충은 1.78~9.24%로 평균 5.92%의 비중을 차지하였다. 그 밖에 유생군과 기타 동물플랑크톤이 각각 평균 0.15%와 5.06%의 낮은 비중을 차지하였다.

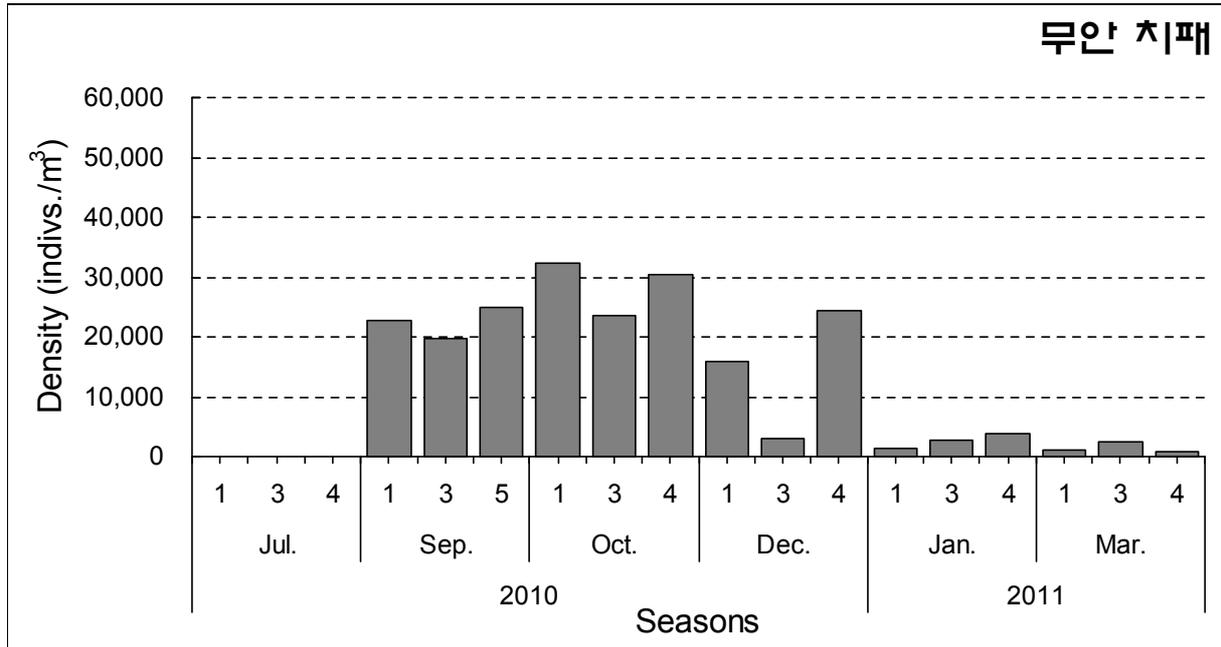


그림 5-2-10. 무안 치패 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 동물플랑크톤 밀도의 계절적 변동.

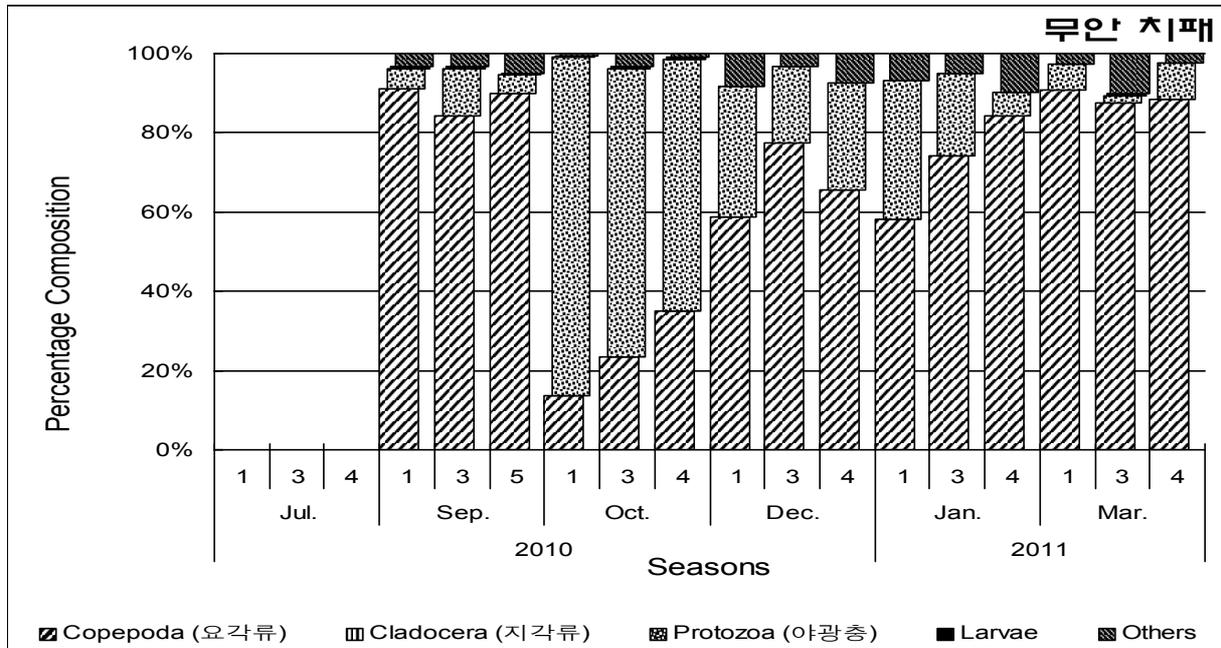
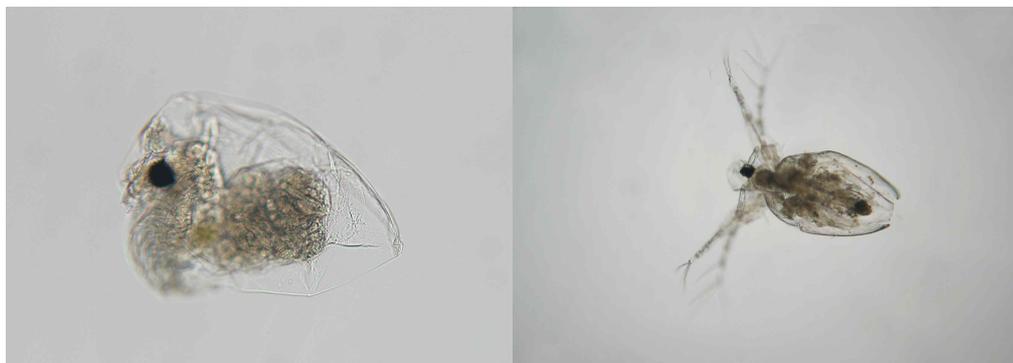


그림 5-2-11. 무안 치패 해역에서 어장환경개선정점(1, 3)과 대조정점(4) 간의 주요 동물플랑크톤 분류군의 계절적 변동.



지각류(*Evadne tergestina*)

지각류(*Penilia avirostris*)



유생군(Decapoda zoea)

유생군(Cirripedia cyprid)

그림 5-2-12. 현 조사에서 출현한 동물플랑크톤 분류군 중 지각류(Cladocera)와 유생군.



요각류(*Calanus sinicus*)

요각류(*Euchaeta plana*)



요각류(*Eurytemora pacifica*)

요각류(*Paracalanus crassirostris*)



요각류(*Pseudodiaptomus marinus*)

요각류(*Corycaeus affinis*)

그림 5-2-13. 현 조사에서 출현한 동물플랑크톤 분류군 중 요각류((Copepoda).

4. 결론

현 조사 해역에서 동물플랑크톤 단위체적당 밀도의 계절적 변동을 보면, 무안과 무안 치패 해역에서는 거의 같은 양상을 보였다. 해역에 따라 차이는 나타났지만 일반적으로 가을에 밀도가 높았고 겨울에는 밀도가 낮은 서해의 일반적인 경향과 일치하였다. 내측 정점과 외측의 대조 정점 간의 차이는 뚜렷하지 않았다. 어장개선사업 전과 후의 효과로는 무안 해역 및 무안 치패 해역에서는 전혀 차이를 찾을 수 없었다. 반면 선유도의 경우 어장정화사업 후에 동물플랑크톤의 밀도가 급격하게 증가하였으나, 태안 해역의 경우 높았던 밀도가 어장정화사업 이후에 급격히 감소하였다. 현 조사 기간 중에 동물플랑크톤 군집에서 높은 비중을 차지한 야광충은 결과에서 기술한 것과 마찬가지로 부영양화나 오염의 지표종으로 간주될 수 있다. 특히 부영양화나 국지적 환경오염의 발생이 빈번한 서해 연안에서는 5월부터 10월까지 10만 개체/m³ 이상의 밀도로 언제라도 짧은 기간 내에 대량발생이 가능하다. 따라서 현 조사 결과에서와 같은 야광충의 변동은 어장정화사업과 같은 요인이 아니라도 일상적으로 관찰되는 현상이라 할 수 있다. 일반적으로 서해 연안 해역에 있어 10월은 요각류의 밀도가 높은 시기이나 태안 해역의 결과에서는 10월에 요각류와 야광충의 밀도가 매우 낮게 나타난 것을 특이사항으로 볼 수 있다. 그러나 현재의 자료로 볼 때 이러한 결과와 어장정화사업과 관련이 있는지에 대한 파악은 어려울 것으로 생각된다.

제 6 장 미세조류 조사

제 1 절 연구개요

저서미세조류는 부유성 미세조류와 함께 해양생태계의 중요한 기초생산자이다. 그러나 저서미세조류에 대해서는 부유성 미세조류에 비해 잘 알려져 있지 않다. 저서미세조류는 부유성 미세조류와는 달리 해저퇴적물의 표층 등 물질에 부착하여 생활하는 특성을 나타내며, 조간대와 같은 일부해역에서는 기초생산량의 약 50% 이상을 차지하고 있다 (Brotas and Catarino 1995; MacIntyre et al. 1996; Underwood and Kromkamp 1999).

또한 저서미세조류의 대부분을 차지하는 부착 구조류는 EPS (extracellular polymeric substances)를 분비하는 것이 알려진다. EPS는 퇴적물 표면에 바이오필름(biofilm)을 형성하여 퇴적물의 확산이나 재부유를 막는 퇴적물 안정제로 작용할 뿐만 아니라 (Paterson 1989; Smith and Underwood 1998), 저서환경에서의 상위영양단계에 있는 meiofauna와 macrofauna의 중요한 탄소 공급원이 되고 있음은 잘 알려진 사실이다 (Decho 1990).

그리고 廣島縣環境保健協會(2003)에 의하면 일본 Hiroshima 만에서 우점하는 저서성 미세조류 *Nitzschia* sp.의 인산염의 동력학 실험을 에서 K_s (영양염에 대한 반포화상수)는 부유성 미세조류보다 103, 4 배 높다고 보고하고 있다. 이는 저서성 미세조류가 극도로 높은 인산염의 환경에 적응되어 있다는 것을 알 수 있다. 더욱이 여러 가지 생리학적 실험을 통해 이들 조류가 성장에 필요한 양의 약 10 배의 인산염을 흡수한다는 것이 밝혀졌다. 이렇게 여분의 영양염을 흡수하는 것은 성장 이외에 다른 생리적인 요소에 사용한다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 저서성 미세조류의 높은 영양염 흡수율과 축적율은 퇴적물과 수층사이의 영양염 순환에 중요한 조절자임을 증명한다.

따라서 부영양화 퇴적층에서 서식하는 종과 영양정도가 낮은 퇴적물에서 서식하는 종의 변화도 나타날 것으로 생각되기 때문에 어장의 환경 개선 사업에 따른 우점종의 변화도 수반될 것으로 보인다. 이와 같은 논리적 근거를 바탕으로 패류어장의 퇴적물 중 유기물분해에 의한 무기영양염 용출과 저서미세조류의 분포 및 서식환경과 주요 미세조류의 생리실험을 통하여 어장 정화의 효과를 검증하고자 한다.

본 연구에서는 어장환경 개선 사업의 이전과 이후의 환경에 따른 저서미세조류 군집의 변화를 관찰하고, 배양실험을 통하여 어장개선 전과 후의 우점종에 대한 영양염 동력학적 특성을 명확히 하여, 미세조류 군집의 분포 및 생리·생태를 통한 어장정화의 효과를 밝혀 어장 생산성 향상 방안을 모색하는데 목적을 둔다.

제 2 절 재 료 및 방 법

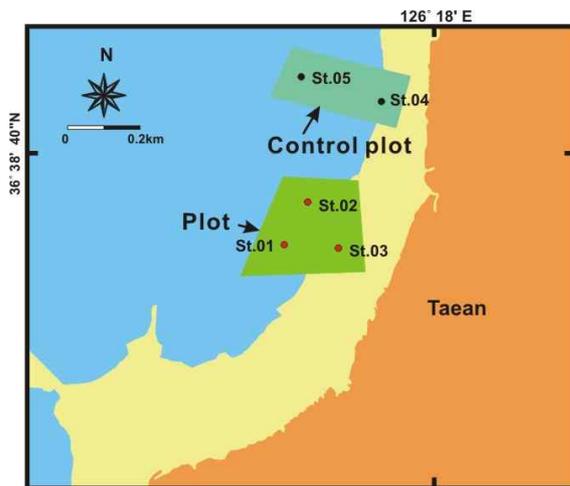
1. 현 장 조 사

가. 조 사 해 역 과 현 장 조 사

(1) 조 사 해 역

전남연안 1개소(무안), 전북연안 1개소(군산, 선유도), 충남연안 1개소(태안) 및 무안의 종패어장 등 3개 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 하였다(그림 6-2-1).

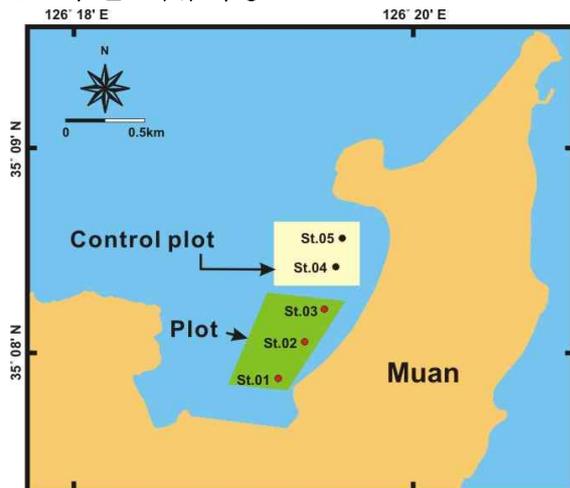
A : 태안 패류어장



B : 군산(선유도) 패류어장



C : 무안 패류어장



D : 무안 종패어장

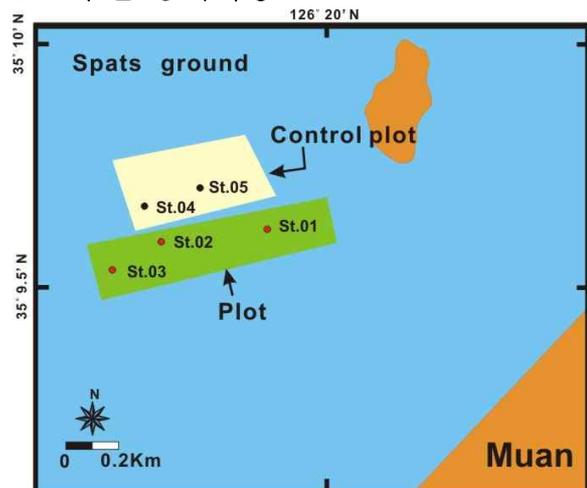


그림 6-2-1. 각 해역별 미세조류 및 공극수 영양염류 분석 정점도.

(2) 현장조사

현장조사는 각 어장에 대하여 어장정화 이전 2회, 어장정화 이후 매월 1회씩 계 6회 조사하는 것을 원칙으로 하였다. 각 어장별 조사일정 및 내용은 다음의 표와 같다.

표 6-2-1. 태안 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수

조사 횟수	조사일시	정점수	비고
1	2010. 07.	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
2	2010. 10.	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
3	2010. 11.	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
4	2010. 12.	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
5	2011. 01	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
6	2011. 03	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후

표 6-2-2. 군산(선유도) 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수

조사 횟수	조사일시	정점수	비고
1	2010. 07	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
2	2010. 10	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
3	2010. 11	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
4	2010. 12	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
5	2011. 01	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
6	2011. 03	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후

표 6-2-3. 무안 패류어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수

조사 횟수	조사일시	정점수	비고
1	2010. 07	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
2	2010. 10	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
3	2010. 11	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
4	2010. 12	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
5	2011. 01	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
6	2011. 03	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후

표 6-2-4. 무안 종패어장의 현장조사 일시 및 조사정점 수

조사 횟수	조사일시	정점수	비고
1	2010. 07	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
2	2010. 10	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이전
3	2010. 11	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
4	2010. 12	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
5	2011. 01	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후
6	2011. 03	5 (어장 3, 대조구 2)	어장정화 이후

나. 조사항목과 조사방법

현장조사는 어장정화 전후의 변화 양상을 살펴보기 위하여 어장정화의 전과 이후로 구분하여 실시하였고, 각 조사는 대상해역을 어장정화 사업지구 3개 정점과 비사업지구(대조구)에 2개 정점을 선정하여, 어장별로 5개 정점의 표층퇴적물을 채집하였다. 퇴적물은 현장에서 그랩을 이용하여 표층퇴적물을 채집하고, 채집된 퇴적물에 대해서는 여러 개의 sub sample을 만들어 필요한 항목의 측정 및 분석 시료로 제공하였다. 구체적인 조사항목 및 조사방법은 다음과 같다. 그리고 태안 5개 정점과 군산 5개 정점은 선박에서 grab을 이용하여 퇴적물을 채취하였으며, 무안 5개 정점과 종폐어장 5개 정점은 조간대를 걸어서 이동하며 퇴적물을 채취하였다.

(1) 저서미세조류 군집

저서미세조류 군집 분석을 위한 시료는 내경이 3cm인 주사기 corer를 이용하여 표면에서 1cm 두께의 퇴적물을 채취하였다. 채취한 시료는 50mL 원심분리 튜브를 이용 최종 농도가 0.4% 되도록 중성포르말린으로 고정하였다(Throdsen, 1976). 고정 시료는 원심관을 이용 1g을 정량하고, 멸균해수 10 mL로 희석시킨 다음 NaOH 8%와 차아염소산 6%의 혼합시약 10mL를 첨가하여 3시간 동안 1시간 간격으로 총 3회 Touch Mixer를 이용 교반하면서 유기물을 제거시켰다. 충분히 유기물이 분리된 시료는 20 μ m sieve를 이용하여 증류수로 충분히 세척한 다음 10 ml로 농축하여 검경시료로 제공하였다. 저서미세조류의 검경 및 계수는 광학현미경(Olympus BX50)을 이용하였다.

(2) 저서미세조류 생물량

저서미세조류는 해양의 저서생태계에서 기초생산자의 역할을 수행하는 생물군으로 저서환경 및 생태구조는 물론 어장의 생산성 파악을 이해하기 위해서도 매우 중요한 인자가 된다. 어장정화 사업지구의 Chl-*a*와 Phaeopigments의 분석을 위한 퇴적물 채취는 미세조류 동정을 위한 방법과 동일하게 수행되었다. 채취된 퇴적물은 내경이 3cm인 주사기 corer를 이용하여 표면에서 1cm 두께의 퇴적물을 취하였고 50mL 원심분리 튜브에 담은 후 실험실로 운반하기 전까지 아이스박스에 보관하였다. 실험실로 운반된 시료는 색소추출을 위해서 각 튜브에 90% 아세톤 30mL를 넣고 냉암소에서 하루 동안 보관하였다. 보관하는 동안 색소추출을 원활 하게 하기 위하여 여러 번에 걸쳐 시료가 담긴 튜브를 Toch mixer를 이용하여 교반하였다. 색소 추출이 이루어진 시료는 원심분리기를 이용하여 3,000rpm으로 10분 동안 원심분리 시켰으며, 분리된 상등액을 UV-Spectrometer (Mecasys Co., Optizen 2120UV)를 이용하여 665nm와 750nm의 흡광도를 측정하였다. 그리고 측정이 끝난 시료에 2N 염산 1~2방울을 떨어뜨리고 3분후에 재차 파장 665nm와 750nm에서 흡광도를 측정하여 Lorenzen(1967)식을 약간 변형한 아래 식에 의해서 Chl-*a*와 Phaeopigments 농도를 계산하였다.

$$\text{Chl-}a \text{ } (\mu\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{26.7(665_o - 665_a) \times v}{V \times L}$$

$$\text{Pheopigments } (\mu\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{26.7(1.7[665_a] - 665_o) \times v}{V \times L}$$

식에서 v: 아세톤의 양(mL), V: 퇴적물의 표면적(cm³), L:분광광도계 cell의 길이(1)를 나타내며, 665_o는 660nm 파장의 흡광도에서 750nm 파장의 흡광도를 뺀 값, 그리고 665_a는 산을 첨가한 다음 동일 조작의 값을 나타낸다.

그리고 얻어진 Chl-a와 Pheopigments 색소 측정값을 이용하여, 식물플랑크톤의 광합성 활성도는 다음 식으로 정의하여 구하고, 평가하였다.

$$\text{즉 광합성 활성도}(\%) = \frac{\text{Chl-}a}{\text{Chl-}a + \text{Pheopigments}} \times 100$$

(3) 공극수의 영양염 분석

공극수 중의 영양염류 분석을 위한 표본은 grab을 이용하여 퇴적물을 채취한 후, 주직으로 교란되지 않게 표층퇴적물을 떠서 비닐 팩에 담고 아이스박스에 보관하여 실험실로 운반하였다. 실험실로 운반된 시료는 50mL 원심분리 튜브에 넣어 2000rpm에서 10분간 원심분리한 후 공극수를 추출하였다. 군산 5개 정점과 태안 5개 정점은 조간대를 걸어서 이동하며 공극수를 채취하였는데 시료채취는 갯벌의 표층을 삽을 이용하여 걷어낸 후 웅덩이에 고인 해수를 이용하였다. 채취된 시료로부터 공극수를 추출하기 위하여 퇴적물을 원심관에 넣어서 원심분리(4000rpm, 20min)하였으며, 추출한 공극수는 박막여과지(membrane filter, pore size; 0.45 μm, diameter: 47mm)로 여과하여 정량범위로 희석한 다음 UV-Spectrometer (Mecasys Co., Optizen 2120UV)를 이용하여 용존무기질소와 인을 비색 정량하였다(국토해양부, 2008).

(4) 영양염에 대한 미세조류의 성장동력학 실험

(가) 저서미세조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 분리와 유지배양

Nitzschia sp.와 *Navicula* sp.를 위한 실험용 배지는 육지도 남방 50 km 해역의 해수를 바탕으로 한 f/2-Si(Guillard and Ryther, 1962)배지로, selenium(H₂SeO₃)의 최종농도가 0.001 μM 되게 첨가하였다. 유지배양을 위한 수온과 염분은 현장에 상응하는 조건(20°C, 30 psu)으로 하였으며, 광량은 약 60 μmol m⁻² s⁻¹(12L : 12D; cool-white fluorescent lamp)로 조절하였다. *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.는 AM9 및 피펫세척법에 따라 무균화를 수행하였으며, 2차 생물학 오염을 막기 위하여 모든 실험기구는 고압증기멸균기(202 Kpa, 20 min) 또는 건조멸균(185°C, 1hr)하여 사용하였다.

(나) 저서미세조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 질산염 및 인산염 성장 동력학

광량과 과장에 따른 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 영양염 성장동력학 특성은 *in vivo* chlorophyll 형광 값과 세포수의 관계로 평가하였다. 식물플랑크톤에 따른 영양염의 흡수는 기본적으로 환경수 중의 영양염 농도에 의존하지만, 세포내에 영양염 pool을 가지는 경우 그 pool의 크기에 따라 달라진다(Eppley et al., 1969). 따라서 세포내 인원을 고갈시키기 위하여, 수온 20°C, 염분 30 psu 그리고 광량 60 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ (12L: 12D; cool-white fluorescent lamp; FL400, Kum-Ho, Seoul, Korea)의 조건에서 유지 배양을 한 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.를 인공해수(AK)를 바탕으로 한 인 제한 L1배지 또는 질소 제한 L1배지에서 전배양(pre-culture)을 수행하였다(Keller et al., 1987; Guillard and Hargraves, 1993). 그리고 세포성장이 정지할 때까지 배양을 수행하였으며, 인산염은 0.5, 1, 2, 5, 10, 15, 20 μM , 질산염은 1, 3, 5, 10, 20, 50, 100 μM 로 조제된 L1 배지를 9 ml 배양튜브(10x100 mm)에 5 ml를 주입하였고, 각각 인원 및 질소원이 제거 된 *Nitzschia* sp.를 최종 세포밀도가 약 1×10^2 cells/ml가 되도록 각각 접종하였다. 광 조건은 100 $\mu\text{mol photons/m}^2/\text{s}$ 에서 실시하였다(12L:12D). 그리고 매일 1회 오전 10시에 형광광도계로 *in vivo* chlorophyll 형광 값을 측정하였으며, 성장속도는 대수 성장을 보이는 기간 동안의 형광 값을 이용하여 (1)식에 의해 계산하였다.

성장속도와 영양염의 관계는 Monod 식에 대입하여 농도 의존성을 정량적으로 파악하였다(Dugdale, 1967). 그리고 변수 값을 구하여진 실험값을 다음 식에 대입하여 비선형최소자승법으로 계산하였다(Abe, 1985).

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

식에서 μ_{\max} 는 최대 성장속도(maximum specific growth rate; /day), K_s 는 반포화상수(half-saturation constant; μM), 그리고 S는 영양염 농도(nutrient concentration; μM)를 나타낸다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 저서미세조류의 군집

가. 태안

(1) 종조성

태안에서 6차에 걸친 조사에서 출현이 확인된 저서미세조류 종은 표 5-3-1과 같다. 표로부터 6차 조사3동안 태안어장의 저서환경에서 출현이 확인된 미세조류는 27속 44종 이었고, 분류군별로는 대부분 저서규조류를 포함하는 우상목 규조류가 14속 24종으로 54.5%의 출현 점유율을 나타내었고, 다음은 중심목 규조류가 12속 18속으로 40.9%의 출현 점유율을, 그리고 규질편모조류가 1속 2종으로 4.5%의 출현 점유율을 나타내었다. 조사시기별로는 겨울인 4차(12월)와 5차(1월)에 7종으로 매우 단순한 종조성을 나타내었고, 6차(2011년 3월)에 24종으로 다양한 종 출현 특성을 보였다. 그리고 태안에서 6차 조사 중 3회 이상 출현을 보인 미세조류는 *Caloneis crassa*, *Cyclotella striata*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica*, *Dictyocha fibura* 등 5종만으로 계절에 따른 출현종 변화가 매우 크게 나타나는 특성을 보였다(표 6-3-1).

표 6-3-1. 태안어장에 출현한 저서미세조류 중 목록과 출현 양상

태안 패류어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
PENNATES						*
<i>Achnanthes longipes</i>						*
<i>Amphiprora alata</i>						
<i>Amphora coffeaeformis</i>			*			
<i>Amphora decussata</i>			*			
<i>Amphora lineolata</i>						*
<i>Bacillaria paxillifera</i>			*			
<i>Berkeleya scopulorum</i>			*			
<i>Caloneis crassa</i>	*		*			*
<i>Campyloneis grevillei</i>			*			*
<i>Cymbella affinis</i>	*					
<i>Diploneis aestuari</i>	*					
<i>Diploneis lineata</i>						*
<i>Diploneis litoralis</i>	*					*
<i>Diploneis nitescens</i>	*					
<i>Gomphonema parvulum</i>		*				
<i>Navicula eldrigeana</i>	*					*
<i>Navicula fortis</i>						*
<i>Navicula gregaria</i>		*				
<i>Navicula spectabilis</i>			*			
<i>Navicula</i> sp.						*
<i>Nitzschia sigma</i>						*
<i>Nitzschia</i> sp.	*					*
<i>Pleurosigma angulatum</i>						*
<i>Synedra affinis</i>	*					
CENTRALES						
<i>Actinoptychus senarius</i>						*
<i>Actinoptychus splendens</i>			*			
<i>Asteromphalus heptactis</i>				*		
<i>Auliscus sculptus</i>	*	*	*	*	*	*

표 6-3-1에서 계속

태안 패류어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
<i>Cerataulus turgidus</i>			*			
<i>Coscinodiscus centralis</i>			*			
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>					*	*
<i>Coscinodiscus radiatus</i>					*	*
<i>Coscinodiscus stellaris</i>						*
<i>Coscinodiscus sp.</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Cyclotella striata</i>	*	*			*	*
<i>Helicotheca tamesis</i>				*		
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*		*			
<i>Melosira dickiei</i>			*			
<i>Odontella obtusa</i>	*					*
<i>Paralia sulcata</i>		*	*	*	*	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	*	*	*	*	*	
<i>Thalassiosira sp.</i>	*	*	*			*
DICTYOCHALES						
<i>Dictyocha fibula</i>		*	*	*		
<i>Dictyocha speculum</i>		*				*
	15	10	18	7	7	24

(2) 현존량과 우점종

태안어장의 경우 조사 시기별 출현하는 저세미세조류 및 현존량은 표 5-3-2에서 표 5-3-7까지에 나타내었다. 2010년 7월 실시된 1차 현장조사는 어장정화 이전으로 출현종은 정점에 따라 2~8종이 출현하여 공간에 따른 출현 차이가 크게 나타났으며, 전체로는 15종이 출현하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $2.1\sim 7.0 \times 10^3$ cells/cm³의 범위로 출현 종수와 마찬가지로 공간에 따른 차이가 비교적 크게 나타났다. 우점종은 전 정점에서 높은 우점율을 나타내는 우점종이 없이 출현종 모두가 낮은 세포밀도로 비교적 균일한 분포 양상을 보였다. 분류군으로는 우상목 규조류가 72.6%로 중심목보다 2배 이상 높게 나타났다(표 6-3-2).

2010년 10월 실시된 2차 현장조사 역시 어장정화 직전의 결과로서 출현종은 정점에 따라서는 2~4종이 출현하여 7월과는 달리 비교적 균일한 출현특성을 보였으나, 전체로는 10종이 출현하여 정점에 따라 종조성이 다른 특성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $0.5\sim 6.0 \times 10^3$ cells/cm³의 범위로 7월 1차 조사와 유사하였다. 우점종은 출현세포 밀도가 낮고, 저서퇴적상이 정점에 따라 다르기에 전체적으로 평가하기는 어렵지만, 중심목 규조류인 *Auliscus sculptus*와 *Cyclotella striata*가 31.5%, 18.8%의 우점율을 나타내었다(표 6-3-3).

표 6-3-2. 태안 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 1차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	4	5	0.6	1	4	14.6	72.6
<i>Caloneis crassa</i>			0.2		2	2.2	11.0
<i>Cymbella affinis</i>					1	1	5.0
<i>Diploneis aestuari</i>	1					1	5.0
<i>Diploneis litoralis</i>			0.1			0.1	0.5
<i>Diploneis nitescens</i>	1				1	2	10.0
<i>Navicula eidrigeana</i>			0.3			0.3	1.4
<i>Nitzschia</i> sp.	1	5		1		7	34.7
<i>Synedra affinis</i>	1					1	5.0
CENTRALES	0	2	1.5	1	1	5.5	27.4
<i>Auliscus sculptus</i>		2	0.1			2.1	10.5
<i>Coscinodiscus</i> sp.			0.1			0.1	0.5
<i>Cyclotella striata</i>					1	1	5.0
<i>Leptocylindrus danicus</i>			1.1			1.1	5.4
<i>Odontella obtusa</i>			0.1			0.1	0.5
<i>Thalassiosira eccentrica</i>				1		1	5.0
<i>Thalassiosira</i> sp.			0.1			0.1	0.5
Total (x 10 ³ cells/cm ²)	4	7	2.1	2	5	20.1	100.0
Species number	4	2	8	2	4	15	

표 6-3-3. 태안 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 2차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	0	0	0	0	2	2	12.1
<i>Gomphonema parvulum</i>					1	1	6.1
<i>Navicula gregaria</i>					1	1	6.0
CENTRALRES	6	0.5	3	2	1	12.5	75.8
<i>Auliscus sculptus</i>	4	0.2			1	5.2	31.5
<i>Coscinodiscus</i> sp.		0.1	2			2.1	12.7
<i>Cyclotella striata</i>	2	0.1	1			3.1	18.8
<i>Paralia sulcata</i>		0.1				0.1	0.6
<i>Thalassiosira eccentrica</i>				1		1	6.1
<i>Thalassiosira</i> sp.				1		1	6.1
DICTYOCHELES	0	0	1	1	0	2	12.1
<i>Dictyocha fibula</i>			1			1	6.1
<i>Dictyocha speculum</i>				1		1	6.0
Total(x10 ³ cells/cm ²)	6	0.5	4	3	3	16.5	100.0
Species number	2	4	3	3	3	10	

2010년 11월 어장정화 직후에 실시된 3차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 2~8종이 출현하여 7월과 유사하게 공간적 분포 차이가 크게 나타났다. 그리고 전체로는 18종이 출현하여 이전의 2회 조사와 유사하게 정점에 따라 출현하는 미세조류의

종조성이 매우 다른 특성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 2.0~25.0x10³ cells/cm²의 범위로 이전 2회의 조사보다 한 단위 높은 세포밀도를 나타내었다. 우점종은 1, 2차와는 달리 중심목의 부유성 특성을 나타내는 *Leptocylindrus danicus*에 의해 34.2%의 우점율을, 우상목 규조류인 *Bacillaria paxillifera*가 23.3%, 그리고 중심목 규조류인 *Melosira dickiei*가 12.3%의 우점율을 나타내었다(표 6-3-4).

표 6-3-4. 태안 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 3차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	5	3	6	9	24	32.9
<i>Amphora coffeaeformis</i>					1	1	1.3
<i>Amphora decussata</i>		2				2	2.7
<i>Bacillaria paxillifera</i>			3	6	8	17	23.3
<i>Berkeleya scopulerum</i>		1				1	1.4
<i>Caloneis crassa</i>		1				1	1.4
<i>Campyloneis grevillei</i>		1				1	1.4
<i>Navicula spectabilis</i>	1					1	1.4
CENTRALRES	0	7	14	20	24	65	65.7
<i>Actinoptychus splendens</i>		1				1	1.3
<i>Auliscus sculptus</i>		1	1			2	2.7
<i>Cerataulus turgidus</i>		2				2	2.7
<i>Coscinodiscus centralis</i>					1	1	1.4
<i>Coscinodiscus</i> sp.					1	1	1.4
<i>Leptocylindrus danicus</i>				13	12	25	34.2
<i>Melosira dickiei</i>			9			9	12.3
<i>Paralia sulcata</i>		3			2	5	6.9
<i>Thalassiosira eccentrica</i>			1			1	1.4
<i>Thalassiosira</i> sp.				1		1	1.4
DICTYOCHALES	1	0	0	0	0	1	1.4
<i>Dictyocha fibula</i>	1					1	1.4
Total(x10 ³ cells/cm ²)	2	12	14	20	25	73	100.0
Species number	2	8	4	3	6	18	

2010년 12월 4차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 2~6종이 출현하여 공간적 분포 차이가 크게 나타났지만, 전체 출현종이 7종으로 해역에서 비교적 동일 종에 의한 출현특성을 특성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 0.7~3.0x10³ cells/cm²의 범위로 3차 조사보다는 한 단위 낮지만 공간적으로는 비교적 균일한 출현 세포밀도를 나타내었다. 우점종은 비교적 전체 정점에서 출현이 보이는 중심목 규조류인 *Auliscus sculptus*에 의해 32.0%의 우점율을 보이지만, 특별히 극우점 하는 종은 없었다. 특히 12월에는 우상목 규조류 출현이 없이 중심목 규조류만이 출현하는 특성을 나타내기도 하였다(표 6-3-5).

표 6-3-5. 태안 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 4차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
CENTRALRES	0.7	3	2	1	1	7.7	79.5
<i>Asteromphalus heptactis</i>	0.1					0.1	1.0
<i>Auliscus sculptus</i>	0.1	1	1		1	3.1	32.0
<i>Coscinodiscus</i> sp.	0.1					0.1	1.0
<i>Helicotheca tamesis</i>	0.1	1				1.1	11.3
<i>Paralia sulcata</i>	0.1			1		1.1	11.3
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	0.2	1	1			2.2	22.7
DICTYOCHALES				1	1	2	20.6
<i>Dictyocha fibula</i>				1	1	2	20.6
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	0.7	3	2	2	2	9.7	100
Species number	6	3	2	2	2	7	

2011년 1월 5차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 1~3종으로 매우 단조로운 출현을 나타내었고, 전체 출현종도 7종으로 낮은 종 다양성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 1.0~3.0 $\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 12월과 유사한 경향을 나타내었다. 우점종 역시 12월과 같이 우상목 출현은 보이지 않았고, 중심목 규조류인 *Cyclotella striata*에 의해 30.0%의 우점율을 보이지만, 특별히 극우점 하는 종은 없었다(표 6-3-6).

표 6-3-6. 태안 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 5차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
CENTRALRES	2	2	1	2	3	10	100.0
<i>Auliscus sculptus</i>		1				1	10.0
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>				1		1	10.0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>					1	1	10.0
<i>Coscinodiscus</i> sp.				1		1	10.0
<i>Cyclotella striata</i>	1		1		1	3	30.0
<i>Paralia sulcata</i>					1	1	10.0
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	1	1				2	20.0
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	2	2	1	2	3	10	100.0
Species number	2	2	1	2	3	7	

2011년 3월 6차 현장조사 결과는 겨울과는 달리 출현종이 정점에 따라 4~9종으로 다양해지는 특성을 나타내었으며, 전체 출현종 역시 23종으로 매우 다양하였다. 즉 정점에 따른 출현종 차이가 매우 크게 나타나는 특성을 보였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 6.0~15.0 $\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 겨울보다는 한 단위 높았고 가을과 유사한 수준을 나타내었다. 다만 정점에 따른 출현 세포수의 차이는 비교적 크게 나타났다. 우점종 역시 겨울과는 달리 비교적 분명한 양상으로 중심목 규조류이면서 저서성 특성을 나타내는 *Paralia*

*sulcata*가 21.4%의 우점율로 제1 우점종을, 우상목인 *Amphora lineolata*가 17.9%, 그리고 중심목 규조류인 *Auliscus sculptus*가 12.5%의 우점율로서 우점 출현하였다(표 6-3-7).

표 6-3-7. 태안 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

태안 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	5	12	3	2	2	24	43.0
<i>Achnanthes longipes</i>				1		1	1.8
<i>Amphiprora alata</i>	1					1	1.8
<i>Amphora lineolata</i>		8	2			10	17.9
<i>Caloneis crassa</i>					2	2	3.6
<i>Campyloneis grevillei</i>				1		1	1.8
<i>Diploneis lineata</i>	1					1	1.8
<i>Diploneis litoralis</i>			1			1	1.8
<i>Navicula eidrigeana</i>	1					1	1.8
<i>Navicula fortis</i>		1				1	1.8
<i>Navicula</i> sp.	1					1	1.8
<i>Pleurosigma angulatum</i>	1					1	1.8
<i>Nitzschia sigma</i>		1				1	1.8
<i>Nitzschia</i> sp.		2				2	3.5
CENTRALRES	5	3	3	11	9	31	55.2
<i>Actinoptychus senarius</i>					1	1	1.7
<i>Auliscus sculptus</i>	3	2		2		7	12.5
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	1					1	1.8
<i>Coscinodiscus radiatus</i>				1		1	1.8
<i>Coscinodiscus</i> sp.		1	1			2	3.5
<i>Cyclotella striata</i>			1			1	1.8
<i>Odontella obtusa</i>			1		4	5	8.9
<i>Paralia sulcata</i>				8	4	12	21.4
<i>Thalassiosira</i> sp.	1					1	1.8
DICTYOCHALES	1	0	0	0	0	1	1.8
<i>Dictyocha speculum</i>	1					1	1.8
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	11	15	6	13	11	56	100
Species number	9	6	5	5	4	23	

태안어장에서 이상의 저서미세조류 군집의 시·공간적인 분포 특성으로부터 어장정화 이전인 1차 및 2차 조사결과 및 정화 이후인 3차 이후의 결과 사이는 물론, 각 조사시점에서 사업지구와 대조구의 상호관련성을 종합하면 어장정화와 비정화 해역 사이에 통계학적 유의성을 찾을 수는 없었다. 즉 저서미세조류 군집은 시·공간적 분포 특성은 어장정화에 의한 인위적 효과보다 계절변동에 의한 자연적인 천이효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단할 수 있었다.

(3) 생물량과 광합성 효율

저서환경의 해양생태계에서 저서미세조류에 의한 생산의 잠재적 능력을 평가하기 위해 표층퇴적물의 표본에서 식물플랑크톤 생물량을 나타내는 엽록소 *a* 및 pheo-pigment 농도를 측정하였다. 그리고 이들 인자로부터 표영환경에서 침강하거나 표층퇴적물에서 서식하는 미세조류에서 실제 어장의 생산에 기여할 수 있는 광합성 활성도를 산출하여 계절적인 생산효율의 변화과정을 고찰하였다.

결과 태안어장 표층퇴적물의 엽록소 *a* 농도는 여름과 가을에는 9.42~76.51 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 조사시점별 평균 23.1~36.7 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 높은 생물량을 보이지만, 겨울과 초봄에는 0.35~6.94 $\mu\text{g/g-dry}$ 로서 조사시점별 평균 1.55~3.41 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 고수온기에 비해 한 단위 낮은 생물량을 나타내었다. 특히 1월의 경우는 극단적으로 낮은 농도를 나타내었다 (표 6-3-8).

표 6-3-8. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 *a* 농도의 변화

태안 (Chl- <i>a</i>)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	23.54	42.37	43.55	16.48	29.43	31.07
2010. 10 (2차)	16.48	57.67	12.95	18.83	9.42	23.07
2010. 11 (3차)	27.07	76.51	32.96	30.60	16.48	36.72
2010. 12 (4차)	3.88	6.94	3.18	1.65	1.41	3.41
2011. 01 (5차)	2.59	0.59	0.35	0.59	3.65	1.55
2011. 03 (6차)	2.12	4.12	2.47	2.82	1.53	2.61

Pheo-pigments는 엽록소가 분해되는 과정의 색소의 총합으로 광합성 활성을 나타낼 수 없는 생물량을 나타낸다. 태안어장 표층퇴적물의 Pheo-pigments 농도는 여름과 가을에는 6.24~18.24 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 조사시점별 평균 8.41~12.93 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 높지만, 엽록소 *a* 농도에 비하면 절반 이하의 낮은 값을 나타내었다. 겨울과 초봄에는 0.25~3.52 $\mu\text{g/g-dry}$ 로서 조사시점별 평균 0.76~1.46 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 엽록소 *a*와 같이 고수온기에 비해 한 단위 낮고, 엽록소 *a* 농도에 비해서도 절반 수준의 생물량을 나타내었다(표 6-3-9).

표 6-3-9. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화

태안 (Pheo-P)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	11.89	16.13	12.48	7.42	16.71	12.93
2010. 10 (2차)	8.24	14.01	6.83	6.71	6.24	8.41
2010. 11 (3차)	6.71	18.24	12.36	10.59	10.71	11.72
2010. 12 (4차)	0.81	1.13	0.78	0.25	0.89	0.77
2011. 01 (5차)	0.46	1.55	0.55	1.22	3.52	1.46
2011. 03 (6차)	0.60	0.66	0.74	0.80	1.02	0.76

광합성 효율은 조사기간 전체에서 27.5~87.0%의 범위로 조사시점별 평균 47.0~79.5%를 나타내어 유난히 추웠던 2011년 1월 47.0%를 제외하면 70% 전후로 비교적 높은 활성 효율을 나타내는 것으로 볼 수 있었다(표 6-3-10).

표 6-3-10. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화

태안 (%)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	66.5	72.4	77.7	69.0	63.8	69.9
2010. 10 (2차)	66.7	80.5	65.5	73.7	60.2	69.3
2010. 11 (3차)	80.1	80.8	72.7	74.3	60.6	73.7
2010. 12 (4차)	82.7	86.0	80.4	87.0	61.2	79.5
2011. 01 (5차)	84.9	27.5	39.0	32.5	50.9	47.0
2011. 03 (6차)	77.9	86.2	76.9	77.9	59.9	75.8

태안어장의 저서미세조류에 의한 색소량 및 광합성 활성도의 변화에서도 어장정화 이전과 이후, 그리고 사업지구와 대조구 사이에서 통계학적 유의성은 찾을 수는 없었다. 즉 저서미세조류 군집은 시·공간적 분포 특성은 어장정화에 의한 인위적 효과보다 계절변동에 의한 자연적인 천이효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단할 수 있었다.

그리고 표 5-3-11에는 표층퇴적물 중 생물량 및 광합성 효율을 조사시점의 평균값으로 나타내어 계절변화의 양상을 파악할 수 있도록 나타내었다. 즉 태안 저서미세조류는 계절에 따라 출현종, 현존량 및 생물량의 변화는 심하게 나타나고 있지만, 저서미세조류에 의한 광합성 효율은 연중 높아, 저서생태계에서 미세조류에 의한 생물생산은 매우 활발한 것으로 평가할 수 있었다(표 6-3-11).

표 6-3-11. 태안 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화

태안	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Chl- <i>a</i>	31.07	23.07	36.72	3.41	1.55	2.61
Pheo-pigments	12.93	8.41	11.72	0.77	1.46	0.76
광합성 효율(%)	69.9	69.3	73.7	79.5	47.0	75.8

이상의 결과로서 태안 어장의 저서미세조류의 출현 특성은 봄에서 가을 고수온기에 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 높은 생물량 및 광합성 효율을 보이는 반면, 저수온기인 겨울에는 출현종, 현존량 및 생물량도 매우 낮은 특성을 보이고 있고, 광합성 효율 역시 낮은 것으로 평가되었다. 이와 같은 결과는 어장정화 등의 인위적 효과보다 갯벌 및 천해어장의 계절적 변화에서 오는 결과로서 미세조류에 의한 생산의 기여도는 겨울에 비해 고수온기에 매우 큰 것으로 판단되었다.

나. 군산(선유도)

(1) 종조성

군산 선유도 어장에서 6차에 걸친 조사에서 출현이 확인된 저서미세조류 종은 표 5-3-12와 같다. 표로부터 6차 조사기간 선유도 어장의 저서환경에서 출현이 확인된 미세조류는 32속 56종이었고, 분류군별로는 대부분 저서규조류를 포함하는 우상목 규조류가 13속 22종으로 39.3%의 출현 점유율을 나타내었고, 다음은 중심목 규조류가 18속 32속으로 57.1%의 출현 점유율을, 그리고 규질편모조류가 1속 2종으로 3.6%의 출현 점유율을 나타내어, 태안보다 다양한 종출현에 중심목에 의한 점유율이 높게 나타났다. 조사시기별로는 1차 조사인 7월 여름과 5차인 1월 겨울에 20종 이하의 출현을 나타내는 것을 제외하면 20종 이상으로 다양한 종출현을 보였고, 특히 6차 조사인 3월에는 35종으로 매우 다양한 종 출현 특성을 나타내었다.

표 6-3-12. 군산(선유도) 어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상

군산	1차	2차	3차	4차	5차	6차
PENNATES						
<i>Achnanthes longipes</i>						*
<i>Amphiprora alata</i>		*				
<i>Amphiprora paludosa</i>						*
<i>Amphora coffeaeformis</i>		*				
<i>Caloneis crassa</i>	*			*		*
<i>Campyloneis grevillei</i>	*	*	*		*	*
<i>Diploneis crabo</i>			*			
<i>Diploneis lineata</i>						*
<i>Diploneis smithi</i>			*	*		
<i>Fragilaria striatula</i>		*				*
<i>Gyrosigma diminutum</i>		*				
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>				*		
<i>Navicula viridula</i>	*					*
<i>Navicula</i> sp.			*			*
<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i>				*		
<i>Nitzschia sigma</i>						*
<i>Nitzschia</i> sp.				*		*
<i>Pleurosigma angulatum</i>			*			*
<i>Pleurosigma logum</i>						*
<i>Pleurosigma normanii</i>	*	*	*			*
<i>Pleurosigma</i> sp.			*	*	*	
<i>Tropidoneis antarctica</i>		*				
CENTRALES						
<i>Actinoptychus senarius</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Actinoptychus splendens</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Actinoptychus</i> sp.		*			*	

표 6-3-12에서 계속

군산 패류어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
<i>Asteromphalus heptactis</i>		*		*	*	*
<i>Aulacodiscus voluta-coeli</i>		*				
<i>Auliscus sculptus</i>		*	*	*	*	*
<i>Buddulphia longicruris</i>			*			*
<i>Buddulphia pulchella</i>				*	*	
<i>Buddulphia reticulata</i>	*	*	*	*		*
<i>Cerataulus turgidus</i>	*					
<i>Coscinodiscus centralis</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus gigas</i>						*
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>		*	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						*
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	*	*	*	*	*	
<i>Coscinodiscus stellaris</i>						*
<i>Coscinodiscus wailesii</i>			*	*	*	
<i>Coscinodiscus sp.</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Cyclotella stelligera</i>		*	*			
<i>Cyclotella striata</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Ditylum brightwellii</i>		*	*			*
<i>Helicotheca tamesis</i>	*	*		*		
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*					
<i>Lithodesmium undulatum</i>			*			*
<i>Odontella mobiliensis</i>	*					
<i>Odontella obtusa</i>						*
<i>Paralia sulcata</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Rhizosolenia setigera</i>						*
<i>Stephanopyxis turris</i>						*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	*	*	*	*	*	
<i>Thalassiosira sp.</i>	*	*	*			*
<i>Triceratium fавus</i>	*					
DICTYOCHALES						
<i>Dictyocha fibula</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Dictyocha speculum</i>			*		*	*
	20	26	26	22	18	35

그리고 선유도에서 6차 조사 중 3회 이상 출현을 보인 미세조류는 *Caloneis crassa*, *Campyloneis grevillei*, *Pleurosigma normanii*, *Pleurosigma sp.*, *Actinoptychus senarius*, *Actinoptychus splendens*, *Asteromphalus heptactis*, *Auliscus sculptus*, *Buddulphia reticulata*, *Coscinodiscus centralis*, *Coscinodiscus nodulifer*, *Coscinodiscus radiatus*, *Coscinodiscus wailesii*, *Coscinodiscus sp.*, *Cyclotella striata*, *Ditylum brightwellii*, *Helicotheca tamesis*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica*, *Thalassiosira sp.*, *Dictyocha fibura*, *Dictyocha speculum* 등 22종으로 태안의 5종에 비해 매우 높았다. 즉, 군산 선유도 어장에서는 일부 특정 토속종에 의해 저서미세조류 군집이 형성되고 있음을 나타내는 것으로 판단할 수 있었다(표 6-3-12).

(2) 현존량과 우점종

선유도 어장에서 2010년 7월 실시된 1차 현장조사 결과는 어장정화 이전으로 출현종은 정점에 따라 2~12종이 출현하여 공간에 따른 출현종수의 차이가 크게 나타났으며, 전체로는 20종이 출현하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $4.0\sim 45.0\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 높은 밀도를 보였고, 출현 종수와 마찬가지로 공간에 따른 차이가 비교적 크게 나타났다. 우점종은 중심목 규조류인 *Leptocylindrus danicus*가 19.6%의 우점율을, 다음으로 규산질 편모조류인 *Dictyocha fibula*가 11.8%, 그리고 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가 10.8%의 우점율을 나타내어, 중심목 규조류가 84.2%의 우점을 차지하였다(표 6-3-13).

표 6-3-13. 선유도 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 1차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	0	2	0	1	1	4	4.0
<i>Caloneis crassa</i>					1	1	1.0
<i>Campyloneis grevillei</i>				1		1	1.0
<i>Navicula viridula</i>		1				1	1.0
<i>Pleurosigma normanli</i>		1				1	1.0
CENTRALRES	43	19	8	16	0	86	84.2
<i>Actinoptychus senarius</i>	3			5		8	7.8
<i>Actinoptychus splendens</i>				1		1	1.0
<i>Biddulphia reticulata</i>	1					1	1.0
<i>Cerataulus turgidus</i>			1			1	1.0
<i>Coscinodiscus centralis</i>	1			2		3	2.9
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	5	1				6	5.9
<i>Coscinodiscus</i> sp.	7	4	2	3		16	15.7
<i>Cyclotella striata</i>	4	1		2		7	6.7
<i>Helicotheca tamesis</i>			1			1	1.0
<i>Leptocylindrus danicus</i>	10	10				20	19.6
<i>Odontella mobiliensis</i>		1				1	1.0
<i>Paralia sulcata</i>	3	2				5	4.9
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	4		4	3		11	10.8
<i>Thalassiosira</i> sp.	4					4	3.9
<i>Triceratium favus</i>	1					1	1.0
DICTYOCHALES	2	0	1	6	3	12	11.8
<i>Dictyocha fibula</i>	2		1	6	3	12	11.8
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	45	21	9	23	4	102	100.0
Species number	12	8	5	8	2	20	

2010년 10월 실시된 2차 현장조사 역시 어장정화 직전의 결과로서 출현종은 정점에 따라서는 10~18종이 출현하여 비교적 다양하였으며, 정점별로도 비교적 균일한 출현특성을 보였다. 2차조사에서 출현한 전체 미세조류 종은 26종으로 다양한 종조성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $38\sim 212\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 7월 1차 조사보다도 매우

높은 세포밀도를 나타내었다. 우점종은 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가 15.1%의 우점을 나타내었고, 다음으로 중심목 규조류인 *Cyclotella striata*가 11.3%의 우점을 나타내어, 중심목 규조류가 전체 91.6%의 우점을 차지하였다(표 6-3-14).

표 6-3-14. 선유도 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 2차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	5	0	1	11	18	3.6
<i>Amphiprora alata</i>		1				1	0.2
<i>Amphora coffeaeformis</i>	1	1				2	0.4
<i>Campyloneis grevillei</i>				1		1	0.2
<i>Fragilaria striatula</i>					10	10	2.0
<i>Gyrosigma diminutum</i>					1	1	0.2
<i>Pleurosigma normanli</i>		2				2	0.4
<i>Tropidoneis antarctica</i>		1				1	0.2
CENTRALRES	87	197	72	34	64	454	91.6
<i>Actinoptychus senarius</i>	6	11		4	7	28	5.7
<i>Actinoptychus splendens</i>	1	4		1	1	7	1.4
<i>Actinocyclus</i> sp.				1		1	0.2
<i>Aulacodiscus voluta-coeli</i>	1					1	0.2
<i>Asteromphalus heptactis</i>				1		1	0.2
<i>Auliscus sculptus</i>	7	23	1	7	5	43	8.7
<i>Biddulphia reticulata</i>		3	1		2	6	1.2
<i>Coscinodiscus centralis</i>	5	28	4	2	6	45	9.1
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	1	12		1		14	2.8
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	5	16	2	1	4	28	5.7
<i>Coscinodiscus</i> sp.	17	28	7	4	7	63	12.7
<i>Cyclotella stelligera</i>	1	12		1		14	2.8
<i>Cyclotella striata</i>	8	7	34	1	6	56	11.3
<i>Ditylum brightwellii</i>					1	1	0.2
<i>Helicotheca tamesis</i>	1		1			2	0.4
<i>Paralia sulcata</i>	10	20			14	44	8.9
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	18	20	19	9	9	75	15.1
<i>Thalassiosira</i> sp.	6	13	3	1	2	25	5.0
DICTYOCHEALES	5	10	4	3	2	24	4.8
<i>Dictyocha fibula</i>	5	10	4	3	2	24	4.8
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	93	212	76	38	77	496	100.0
Species number	16	18	10	15	15	26	

2010년 11월 어장정화 직후에 실시된 3차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 5~18종이 출현하여 다양한 종출현 특성과 큰 공간분포 특성을 나타내었다. 그리고 전체로는 26종이 출현하여 어장 정화 이전과 유사한 출현 특성을 보였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 11.0~194.0 $\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 매우 높은 현존량에 출현종과 같이

공간적 분포 차이가 매우 크게 나타났다. 우점종은 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가 16.4%의 우점을 나타내었고, 다음으로 중심목 규조류인 *Cyclotella striata*가 *Coscinodiscus centralis*와 *Paralia sulcata*가 각각 12.4%와 12.2%의 우점을 나타내어, 중심목 규조류가 89.6%를 차지하여 어장 전과 유사한 결과를 나타내었다(표 6-3-15).

표 6-3-15. 선유도 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 3차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	4	9	2	2	0	17	4.0
<i>Campyloneis grevillei</i>	1	2	2			5	1.2
<i>Diploneis smithi</i>	1					1	0.2
<i>Diploneis crabo</i>				1		1	0.2
<i>Nitzschia</i> sp.		3				3	0.7
<i>Pleurosigma angulatum</i>		4				4	1.0
<i>Pleurosigma normanli</i>	2					2	0.5
<i>Pleurosigma</i> sp.				1		1	0.2
CENTRALRES	98	171	84	20	10	383	89.6
<i>Actinoptychus senarius</i>	10	20		2		32	7.5
<i>Actinoptychus splendens</i>	2	6				8	1.9
<i>Auliscus sculptus</i>	9	8	9	5		31	7.3
<i>Biddulphia longicuris</i>	1					1	0.2
<i>Biddulphia reticulata</i>	2	1				3	0.7
<i>Coscinodiscus centralis</i>	6	25	19	2	1	53	12.4
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	1	4	1	1		7	1.6
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	10	12	4			26	6.1
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	7	16	15			38	8.9
<i>Coscinodiscus</i> sp.	7	17	2		3	29	6.8
<i>Cyclotella stelligera</i>				1		1	0.2
<i>Cyclotella striata</i>	6		3	3	4	16	3.8
<i>Ditylum brightwellii</i>		2				2	0.5
<i>Lithodesmium undulatum</i>			1			1	0.2
<i>Paralia sulcata</i>	13	25	13	1		52	12.2
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	19	30	15	4	2	70	16.4
<i>Thalassiosira</i> sp.	5	5	2	1		13	3.1
DICTYOCHELES	6	14	5	1	1	27	6.3
<i>Dictyocha fibula</i>	6	13	5	1	1	26	6.1
<i>Dictyocha speculum</i>		1				1	0.2
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	108	194	91	23	11	427	100.0
Species number	18	18	13	12	5	26	

2010년 12월 어장정화 이후의 4차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 6~17종이 출현하여 비교적 다양한 종출현 특성과 큰 공간분포 특성을 나타내었다. 그리고 전체로는 22종이 출현하여 어장 정화 이전과 유사한 출현 특성을 보였다. 출현세포밀

도는 정점에 따라 $17.0\sim 53.0\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 높은 현존량에 출현종과 같이 공간적 분포 차이가 크게 나타났다. 우점종은 중심목 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*가 12.1%의 우점율을, 다음으로는 *Thalassiosira eccentrica*, *Coscinodiscus nodulifer* 및 *Paralia sulcata*가 11.0%의 우점율로 같았고, 기타 *Coscinodiscus wailesii*가 10.4%의 우점율로 10% 이상 우점율을 나타내었다. 그리고 이들 중심목 규조류의 우점과 함께 중심목은 87.9%의 점유율을 나타내어 1~3차의 결과와 유사하였다(표 6-3-16).

표 6-3-16. 선유도 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 4차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	6	1	3	0	3	13	7.5
<i>Caloneis crassa</i>	3	1	1			5	2.9
<i>Diploneis smithi</i>	1					1	0.6
<i>Hemidiscus cuneiformis</i>	1					1	0.6
<i>Nitzschia obtusa</i> var. <i>scalpelliformis</i>	1					1	0.6
<i>Nitzschia</i> sp.			1			1	0.5
<i>Pleurosigma</i> sp.			1		3	4	2.3
CENTRALRES	43	28	14	23	44	152	87.9
<i>Actinoptychus senarius</i>	7	1	1		4	13	7.5
<i>Actinoptychus splendens</i>					1	1	0.6
<i>Asteromphalus heptactis</i>		1				1	0.6
<i>Auliscus sculptus</i>			2		3	5	2.9
<i>Biddulphia pulchella</i>	1				2	3	1.7
<i>Biddulphia reticulata</i>	2	1				3	1.7
<i>Coscinodiscus centralis</i>	2			1	3	6	3.5
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	4	1	1	3	10	19	11.0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3	4	3	3	8	21	12.1
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	4	3	3	3	5	18	10.4
<i>Coscinodiscus</i> sp.	1	4	2	1	4	12	6.9
<i>Cyclotella striata</i>	8	2			1	11	6.4
<i>Helicotheca tamesis</i>	1					1	0.6
<i>Paralia sulcata</i>	2	5		12		19	11.0
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	8	6	2		3	19	11.0
DICTYOCHALES	1	1	0	0	6	8	4.6
<i>Dictyocha fibula</i>	1	1			6	8	4.6
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	50	30	17	23	53	173	100.0
Species number	17	12	10	6	13	22	

2011년 1월 5차 현장조사 결과에서도 출현종은 정점에 따라서는 5~16종으로 큰 공간적 분포 특성을 나타내었고, 전체 출현종도 18종으로 상대적으로 다양한 종출현 특성을 나타내었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $6.0\sim 187.0\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 그 차이는 30배 이상으로 큰 공간적 차이를 보였다. 우점종은 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가

15.8%의 우점율을, 다음으로는 *Actinoptychus senarius*와 *Paralia sulcata*가 각 13.1%의 우점율로 같았고, 중심목 규조류는 전체의 89.9%의 점유율을 나타내어 1~4차의 결과와 유사하였다(표 6-3-17).

표 6-3-17. 선유도 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 5차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	2	0	0	1	6	9	2.4
<i>Campyloneis grevillei</i>	2			1	3	6	1.6
<i>Pleurosigma</i> sp.					3	3	0.8
CENTRALRES	94	22	52	5	157	330	89.9
<i>Actinoptychus senarius</i>	8	6	6	1	27	48	13.1
<i>Actinoptychus splendens</i>	4		2		6	12	3.3
<i>Actinocyclus</i> sp.			2		1	3	0.8
<i>Asteromphalus heptactis</i>	9	1	2	1		13	3.5
<i>Auliscus sculptus</i>	3	1	2			6	1.6
<i>Biddulphia pulchella</i>					11	11	3.0
<i>Coscinodiscus centralis</i>					25	25	6.8
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	4		1		11	16	4.4
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	2		3	2	23	30	8.2
<i>Coscinodiscus wailesii</i>					12	12	3.3
<i>Coscinodiscus</i> sp.	6	6	8	1	13	34	9.3
<i>Cyclotella striata</i>	1	2	2		9	14	3.8
<i>Paralia sulcata</i>	28		15		5	48	13.1
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	29	6	9		14	58	15.8
DICTYOCHALES	4	0	0	0	24	28	7.6
<i>Dictyocha fibula</i>	4				23	27	7.4
<i>Dictyocha speculum</i>					1	1	0.3
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	100	22	52	6	187	367	100.0
Species number	12	6	11	5	16	18	

2011년 3월 6차 현장조사 결과는 겨울과는 달리 출현종이 정점에 따라 17~26종으로 다양해지는 특성과 정점에 따른 차이가 크지 않고 비교적 균일한 출현을 나타내었다. 3월 전체 미세조류의 출현종은 37종으로 매우 다양하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $298\sim 742 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 다른 조시시점에 비해 한 단위 높은 세포밀도를 나타내었다. 우점종은 중심목 규조류인 *Paralia sulcata*가 16.0%의 우점율로 제1 우점종을, 다음으로 중심목 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*와 *Coscinodiscus nodulifer*가 각각 11.6%와 10.6%의 우점율로 우점 출현하였다. 분류군별로는 군산 선유도 어장의 경우 전 조사기간 중심목에 의해 높은 점유율을 나타내었고 6차 조사에서도 80.8%의 출현 점유율을 나타내었다(표 6-3-18).

표 6-3-18. 선유도 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

군산 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	16	90	44	16	69	235	9.6
<i>Achnanthes longipes</i>	6					6	0.2
<i>Amphiprora paludosa</i>					6	6	0.2
<i>Caloneis crassa</i>		2	4		3	9	0.4
<i>Campyloneis grevillei</i>		6	14	2	3	25	1.1
<i>Diploneis lineata</i>					3	3	0.1
<i>Fragilaria striatula</i>		12	6	2	3	23	1.0
<i>Navicula viridula</i>		2				2	0.1
<i>Nitzschia sigma</i>	4		2			6	0.2
<i>Nitzschia</i> sp.		10	6	4		20	0.8
<i>Pleurosigma angulatum</i>	4	18	10	6	51	89	3.8
<i>Pleurosigma longum</i>	2	4				6	0.2
<i>Pleurosigma normanli</i>		32				32	1.4
<i>Nitzschia</i> sp.		4	2	2		8	0.3
CENTRALRES	300	566	266	254	525	1911	80.8
<i>Actinoptychus senarius</i>	22	80	30	38	51	221	9.3
<i>Actinoptychus splendens</i>		4	2	2	6	14	0.6
<i>Asteromphalus heptactis</i>					3	3	0.1
<i>Auliscus sculptus</i>	2					2	0.1
<i>Biddulphia longicuris</i>	16	12	2	2	15	47	2.0
<i>Biddulphia reticulata</i>				2		2	0.1
<i>Coscinodiscus centralis</i>			6	28	30	64	2.7
<i>Coscinodiscus gigas</i>	8	2	14			24	1.0
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	48	84	22	32	66	252	10.6
<i>Coscinodiscus perforatus</i>		2	4	16	3	25	1.1
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	56	118	78	20	9	281	11.9
<i>Coscinodiscus stellaris</i>	28	58	22	20		128	5.4
<i>Coscinodiscus</i> sp.				2	42	44	1.9
<i>Cyclotella striata</i>	2	12	12	4	6	36	1.5
<i>Ditylum brightwellii</i>	4	8	6	2	3	23	1.0
<i>Helicotheca tamesis</i>					6	6	0.3
<i>Lithodesmium undulatum</i>		4		4	9	17	0.7
<i>Odontella obtusa</i>		4				4	0.2
<i>Paralia sulcata</i>		92	48	66	174	380	16.0
<i>Rhizosolenia setigera</i>	100	64	8	8	51	231	9.8
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	14	22	10	8	51	105	4.4
<i>Thalassiosira</i> sp.			2			2	0.1
DICTYOCHALES	34	86	22	28	54	224	9.5
<i>Dictyocha fibula</i>	32	76	16	28	51	203	8.6
<i>Dictyocha speculum</i>	2	10	6		3	21	0.9
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	350	742	332	298	648	2370	100.0
Species number	17	26	24	22	24		

(3) 생물량과 광합성 효율

군산 선유도 어장 표층퇴적물의 엽록소 *a*는 여름과 가을에는 0.85~101.2 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 조사시점별 평균 23.9~78.2 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 태안보다 배 이상 높은 생물량을 보이지만, 겨울과 초봄에는 0.59~13.65 $\mu\text{g/g-dry}$ 로서 조사시점별 평균 2.78~8.14 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 태안과 유사하여 고수온기에 비해 한 단위 낮은 생물량을 나타내었다. 특히 1월의 경우는 최저값으로 극단적으로 낮은 농도를 나타내었다(표 6-3-19).

표 6-3-19. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 *a* 농도의 변화

선유도 (Chl- <i>a</i>)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	71.80	89.45	40.02	88.28	101.2	78.15
2010. 09 (보조)	4.74	6.05	0.85	47.39	60.45	23.90
2010. 10 (2차)	78.86	64.74	95.34	82.39	61.21	76.51
2010. 12 (4차)	4.94	9.65	8.12	11.89	6.12	8.14
2011. 01 (5차)	0.59	3.30	4.71	4.59	0.71	2.78
2011. 03 (6차)	6.00	3.53	3.88	13.65	8.95	7.20

Pheo-pigments는 엽록소가 분해되는 과정의 색소의 총합으로 광합성 활성을 나타낼 수 없는 생물량을 나타낸다. 선유도 어장 표층퇴적물의 Pheo-pigments 농도는 여름과 가을에는 7.23~271.3 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 조사시점별 평균 49.63~171.7 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 태안 어장에 비해 2~10배 이상 높았고, 엽록소 *a* 농도에 비해서도 태안어장과는 반대로 배 이상 높은 값을 나타내었다. 겨울과 초봄에는 2.95~24.09 $\mu\text{g/g-dry}$ 로서 조사시점별 평균 6.42~18.32 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 엽록소 *a*와 같이 고수온기에 비해 한 단위 낮으나, 엽록소 *a* 농도에 비해서는 배 이상 높은 생물량을 나타내었다(표 6-3-20).

표 6-3-20. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화

선유도(Pheo-P)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	182.8	411.5	61.32	69.92	132.8	171.7
2010. 09 (보조)	12.25	35.70	7.23	35.78	154.2	49.63
2010. 10 (2차)	271.3	183.3	172.4	70.86	94.51	158.5
2010. 12 (4차)	14.50	22.40	9.35	11.18	20.74	15.63
2011. 01 (5차)	2.95	10.13	5.92	7.77	5.31	6.42
2011. 03 (6차)	16.33	18.63	13.50	19.06	24.09	18.32

광합성 효율은 조사기간 전체에서 10.5~57.0%의 범위로 조사시점별 평균 26.8~36.9%를 나타내어 태안과는 달리 전체적으로 40% 이하로 태안의 최솟값을 나타내던 겨울보다도 낮은 활성도를 나타내었다(표 6-3-21).

표 6-3-21. 선유도 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화

선유도 (%)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	28.2	17.9	39.5	55.8	43.3	36.9
2010. 09 (보조)	27.9	14.5	10.5	57.0	28.2	27.6
2010. 10 (2차)	22.5	26.1	35.6	53.8	39.3	35.5
2010. 12 (4차)	25.4	30.1	46.5	51.5	22.8	35.3
2011. 01 (5차)	16.6	24.5	44.3	37.1	11.7	28.6
2011. 03 (6차)	26.9	15.9	22.3	41.7	27.1	26.8

그리고 표 5-3-11에는 표층퇴적물 중 생물량 및 광합성 효율을 조사시점의 평균값으로 나타내어 계절변화의 양상을 파악할 수 있도록 나타내었다. 즉 선유도 저서미세조류는 계절에 따라 출현종, 현존량 및 생물량의 변화는 시·공간적으로 큰 차이를 나타내고 있지만, 태안 어장과는 달리 저서미세조류에 의한 광합성 효율은 연중 낮아 저서생태계에서 미세조류에 의한 생물생산은 그리 높지 아니한 것으로 평가되었다(표 6-3-22).

표 6-3-22. 선유도 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화

선유도	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Chl- <i>a</i>	78.15	23.90	76.51	8.14	2.78	7.20
Pheo-pigments	171.7	49.63	158.5	15.63	6.42	18.32
광합성 효율(%)	36.9	27.6	35.5	35.3	28.6	26.8

이상의 결과로서 선유도 어장의 저서미세조류의 출현 특성은 전 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 높은 생물량 및 낮은 광합성 효율을 나타내었다. 특히 태안어장에 비해 출현종이 매우 다양하고 높은 생물량을 나타내고 있지만, 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments가 매우 높게 나타나, 상당부분의 저서미세조류는 표영환경에서 침강하여 광합성 능력을 상실한 조류로 구성되고 있는 것으로 판단되었다. 이에 따라 출현종 역시 우상목 규조류에 비해 중심목 규조류가 전 조사시점에 다양한 생물종 및 현존량을 나타내는 것으로 이어졌다. 그러나 어장정화 효과에 대해서는 태안어장과 같이 어장정화 이정과 이후, 그리고 각 조사시점별 사업지구와 비사업지구인 대조구 사이에서 유의적인 관련성을 찾을 수가 없는 것으로부터, 군산 선유도 어장 역시 저서미세조류 군집의 시·공간적 분포 특성은 어장정화에 의한 인위적 효과보다 계절변동에 의한 자연적인 천이효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단할 수 있었다.

다. 무안

(1) 종조성

무안 어장에서 6차에 걸친 조사에서 출현이 확인된 미세조류는 38속 65종이었고, 분류군별로는 대부분 저서규조류를 포함하는 우상목 규조류가 20속 28종으로 43.1%의 출현 점유율을, 다음은 중심목 규조류가 17속 35속으로 53.8%, 규질편모조류가 1속 2종으로 3.1%의 출현 점유율을 나타내었다. 조사시기별로는 겨울인 4차(12월)와 5차(1월)에 14종 이하로 낮았고, 태안과 선유도와 같이 6차(2011년 3월)에 36종으로 다양하게 출현하였다. 그리고 무안 어장에서 6회 조사 중 3회 이상 출현을 보인 미세조류는 우상목 규조류인 *Caloneis crassa*, *Campyloneis grevillei*, *Navicula eldrigeana*, 중심목 규조류인 *Actinoptychus senarius*, *Actinoptychus splendens*, *Auliscus sculptus*, *Coscinodiscus centralis*, *Coscinodiscus nodulifer*, *Coscinodiscus radiatus*, *Coscinodiscus* sp., *Cyclotella stelligera*, *Cyclotella striata*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica* 규질 편모조류인 *Dictyocha fibura* 등 15종으로 계절에 따른 출현종 변화가 크게 나타나는 특성을 보였다(표 6-3-23).

표 6-3-23. 무안어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상

무안 어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
PENNATES						
<i>Achnanthes delicatula</i>						*
<i>Amphiprora paludosa</i>						*
<i>Bacillaria paxillifera</i>		*				
<i>Berkeleya scopulorum</i>	*					
<i>Caloneis africana</i>	*					
<i>Caloneis crassa</i>		*		*		*
<i>Campyloneis grevillei</i>		*	*		*	*
<i>Diploneis puella</i>	*					
<i>Donkinia recta</i>						*
<i>Fragilaria striatula</i>				*		*
<i>Gyrosigma scalproides</i>						*
<i>Licmophora flabellata</i>						*
<i>Mastogloia minuta</i>						*
<i>Navicula cancellata</i>						*
<i>Navicula distans</i>						*
<i>Navicula eldrigeana</i>	*	*	*			
<i>Navicula flanatica</i>			*			
<i>Navicula viridula</i>						*
<i>Navicula</i> sp.	*					*
<i>Nitzschia</i> sp.		*				*
<i>Pleurosigma angulatum</i>		*				*
<i>Pleurosigma normanii</i>		*				*
<i>Pleurosigma</i> sp.				*		
<i>Rhabdonema arcuatiforma constricta</i>	*					
<i>Staurophora salina</i>	*					
<i>Surirella</i> sp.	*					
<i>Tropidoneis pusilla</i>		*				
<i>Tryblinonella adducta</i>	*					

표 6-3-23에서 계속

무안 어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
CENTRALES						
<i>Actinoptychus longipes</i>	*					
<i>Actinoptychus octonarius</i>	*					
<i>Actinoptychus senarius</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Actinoptychus splendens</i>	*	*	*		*	*
<i>Actinoptychus</i> sp.	*				*	
<i>Arachnoidiscus schmidtii</i>	*					
<i>Asteromphalus arachne</i>	*					
<i>Asteromphalus heptactis</i>		*	*			
<i>Aulacodiscus voluta-coeli</i>	*					
<i>Auliscus sculptus</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Buddulphia longicruris</i>						*
<i>Buddulphia pulchella</i>				*		
<i>Buddulphia reticulata</i>					*	*
<i>Cocconeis placentula</i>		*				
<i>Cocconeis scutellum</i>			*			*
<i>Coscinodiscus centralis</i>	*	*	*	*		*
<i>Coscinodiscus gigas</i>						*
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>		*		*	*	*
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						*
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		*	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus stellaris</i>		*				
<i>Coscinodiscus wailesii</i>					*	
<i>Coscinodiscus</i> sp.	*	*	*	*	*	*
<i>Cyclotella stelligera</i>	*	*	*			*
<i>Cyclotella striata</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Ditylum brightwellii</i>						*
<i>Helicotheca tamesis</i>		*				
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*					
<i>Odontella mobiliensis</i>						*
<i>Odontella obtusa</i>						*
<i>Paralia sulcata</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> sp.	*	*				
<i>Triceratium fавus</i>			*			
<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>	*					
DICTYOCHALES						
<i>Dictyocha fibula</i>	*	*	*		*	*
<i>Dictyocha speculum</i>		*				*
	27	26	17	13	14	36

(2) 현존량과 우점종

무안 어장에서 2010년 7월 어장정화 이전인 1차 현장조사에서 출현한 미세조류는 정점에 따라 9~14종이었고, 전체 출현종은 27종으로 비교적 다양하였다. 출현세포밀도는

정점에 따라 $51\sim 101\times 10^3$ cells/cm² 의 범위로 태안보다는 매우 높았고, 군산 선유도와 유사하여 높게 나타났다(표 6-3-24).

표 6-3-24. 무안 어장 정화 이전인 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 1차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	6	4	0	3	14	4.0
<i>Berkeleya scopulerum</i>		1				1	0.3
<i>Caloneis africana</i>			1			1	0.3
<i>Diploneis puella</i>					2	2	0.6
<i>Navicula abuda</i>					1	1	0.3
<i>Navicula arenaria</i>		1				1	0.3
<i>Navicula cf. smithii</i>		1				1	0.3
<i>Navicula sp.</i>		2				2	0.6
<i>Rhabdonema arcuatiforma constricta</i>		1				1	0.3
<i>Staurophora salina</i>			1			1	0.1
<i>Surirella sp.</i>			2			2	0.6
<i>Tryblinonella adducta</i>	1					1	0.3
CENTRALES	70	93	44	67	61	335	93.5
<i>Actinoptychus longipes</i>				1		1	0.3
<i>Actinoptychus octonarius</i>	5	4				9	2.5
<i>Actinoptychus senarius</i>	33	7	6	8	5	59	16.5
<i>Actinoptychus splendens</i>	3	1			2	6	1.7
<i>Arachnoidiscus schmidtii</i>					1	1	0.3
<i>Asteromphalus arachne</i>					1	1	0.3
<i>Auliscus sculptus</i>	7	2				9	2.5
<i>Auliscus voluta-coeli</i>	1					1	0.3
<i>Coscinodiscus centralis</i>			2	8	7	17	4.6
<i>Coscinodiscus sp.</i>	2		3	11	11	27	7.5
<i>Cyclotella stelligera</i>	13	14	2	2		31	8.7
<i>Cyclotella striata</i>			20	10	10	40	11.2
<i>Leptocylindrus danicus</i>	6					6	1.7
<i>Paralia sulcata</i>		30		3	4	37	10.3
<i>Thalassiosira eccentrica</i>		33	11	13	10	67	18.7
<i>Thalassiosira sp.</i>				11	10	21	5.9
<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i>		2				2	0.5
DICTYOCHELES	0	2	3	2	2	9	2.5
<i>Dictyocha fibula</i>		2	3	2	2	9	2.5
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	71	101	51	69	66	358	100.0
Species number	9	14	10	10	13	27	

1차 조사에서 우점종은 선유도와 유사하여 중심목 규조류에 의해 점유되는 특성을 보였고, 그 중에서도 *Thalassiosira eccentrica*가 18.7%의 우점율을, 다음으로 *Actinoptychus senarius*가 16.5%, *Cyclotella striata*가 11.2%, 그리고 *Paralia sulcata*가 10.3%의 우점율로서 우점 하였다. 중심목 규조류의 점유율은 93.5%로 매우 높았다(표 6-3-24).

어장 정화 직전인 2010년 10월 실시된 2차 현장조사에서 출현종은 정점에 따라 9~15종으로 7월과 유사하였고, 전체는 26종이 출현하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $59\sim 127\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 매우 높고 7월 1차 조사와 유사하였다. 우점종 역시 7월처럼 중심목에 의해 구성되었고, 제1우점종은 *Cyclotella striata*가 27.2%의 우점율을, 그리고 *Thalassiosira eccentrica*가 24.4%의 우점율로 우점 하였다, 중심목 규조류의 점유율은 91.4%로 매우 높았다(표 6-3-25).

표 6-3-25. 무안 어장 정화 이전인 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 2차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	10	4	10	2	0	26	6.7
<i>Bacillaria paxillifera</i>	6					6	1.5
<i>Caloneis crassa</i>	1	1	3			5	1.3
<i>Campyloneis grevillei</i>		1	1			2	0.5
<i>Navicula eldrigeana</i>			4			4	1.0
<i>Nitzschia</i> sp.	1	2	1	1		5	1.3
<i>Pleurosigma angulatum</i>	1					1	0.3
<i>Pleurosigma normanli</i>			1	1		2	0.5
<i>Tropidoneis pusilla</i>	1					1	0.3
CENTRALES	58	119	48	75	59	359	91.4
<i>Actinoptychus senarius</i>	5	5	5		1	16	4.1
<i>Actinoptychus splendens</i>		1				1	0.3
<i>Asteromphalus heptactis</i>					3	3	0.8
<i>Auliscus sculptus</i>	5	23	6			34	8.8
<i>Cocconeis placentula</i>				2		2	0.5
<i>Coscinodiscus centralis</i>	2	5	4	3	3	17	4.4
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>			1			1	0.3
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	1	9	8	3	4	25	6.5
<i>Coscinodiscus stellaris</i>				1		1	0.3
<i>Coscinodiscus</i> sp.	5	8	9	2	2	26	6.7
<i>Cyclotella stelligera</i>		2		1		3	0.8
<i>Cyclotella striata</i>	6	22	6	38	33	105	27.2
<i>Helicotheca tamesis</i>	1	2				3	0.8
<i>Paralia sulcata</i>	4	5	4	2	2	17	4.4
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	20	37	5	21	11	94	24.4
<i>Thalassiosira</i> sp.	3			2		5	1.3
DICTYOCHALES	0	4	1	1	1	7	1.8
<i>Dictyocha fibula</i>		4	1	1		6	1.5
<i>Dictyocha speculum</i>					1	1	0.3
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	62	127	59	78	60	386	100.0
Species number	15	15	15	13	9	26	

2010년 11월 어장정화 직후에 실시된 3차 현장조사에서도 출현종은 정점에 따라서는 5~13종이 출현하였고, 전체로는 17종이 출현하여 상대적으로 단순한 종조성을 나타내었

다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $25\sim 96 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 높았다. 우점종은 1, 2차와 같이 중심목 규조류가 우점하여 95.6%의 점유율을 나타내었고, 그 중에서 *Cyclotella striata*가 25.7%의 우점율로 제1 우점종을, 다음으로 *Thalassiosira eccentrica*가 21.0%, *Actinoptychus senarius*가 11.6%의 우점율로 우점 출현하였다(표 6-3-26).

표 6-3-26. 무안 어장 정화 이후인 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 3차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	3	3	0	1	8	2.7
<i>Campyloneis grevillei</i>	1	3	1			5	1.7
<i>Navicula eldrigeana</i>			2			2	0.7
<i>Navicula flanicata</i>					1	1	0.3
CENTRALRES	57	90	84	25	31	287	95.6
<i>Actinoptychus senarius</i>	8	10	16		1	35	11.6
<i>Actinoptychus splendens</i>	2	1	2			5	1.6
<i>Asteromphalus heptactis</i>	3					3	1.0
<i>Auliscus sculptus</i>	11	7	7			25	8.3
<i>Cocconeis scutellum</i>	2					2	0.7
<i>Coscinodiscus centralis</i>	3	4	8			15	5.0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3	7	8	9		27	9.0
<i>Coscinodiscus</i> sp.	4	6	4	1		15	5.0
<i>Cyclotella stelligera</i>		2	1			3	1.0
<i>Cyclotella striata</i>	3	20	20	7	27	77	25.7
<i>Paralia sulcata</i>	2	8		4	1	15	5.0
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	16	24	18	4	1	63	21.0
<i>Triceratium fавus</i>		1			1	2	0.7
DICTYOCHALES	1	3	1	0	0	5	1.7
<i>Dictyocha fibula</i>	1	3	1			5	1.7
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	59	96	88	25	32	300	100.0
Species number	13	13	12	5	6	17	

2010년 12월 4차 현장조사에서 출현종은 정점에 따라서는 5~10종으로 비교적 단순한 종출현 특성을 보였고, 전체로는 13종이 출현하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $5.0\sim 36 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 1~3차에 비해 상대적으로 낮은 현존량을 나타내었다. 우점종은 1,3차 조사와 유사하여 중심목 규조류에 의해 95.7%의 출현 점유율을 나타내었고, 그 중에서 제1 우점종은 *Cyclotella striata*가 29.1%의 우점율을, 다음으로 *Thalassiosira eccentrica*가 21.4%, *Paralia sulcata*가 15.4%, 그리고 *Coscinodiscus radiatus*가 11.1%의 우점율로 우점 하였다(표 6-3-27).

표 6-3-27. 무안 어장 정화 이후인 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 4차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	0	3	1	0	5	4.3
<i>Caloneis crassa</i>			1	1		2	1.7
<i>Fragilaria striatula</i>			2			2	1.7
<i>Pleurosigma</i> sp.	1					1	0.9
CENTRALRES	24	5	17	30	36	112	95.7
<i>Actinoptychus senarius</i>	2				1	3	2.5
<i>Auliscus sculptus</i>	3				1	4	3.4
<i>Biddulphia pulchella</i>	3					3	2.6
<i>Coscinodiscus centralis</i>					1	1	0.9
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>				2		2	1.7
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	2		2	2	7	13	11.1
<i>Coscinodiscus</i> sp.	3	1	1	3	1	9	7.6
<i>Cyclotella striata</i>	2	1	6	13	12	34	29.1
<i>Paralia sulcata</i>	3	1	3	4	7	18	15.4
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	6	2	5	6	6	25	21.4
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	25	5	20	31	36	117	100.0
Species number	10	5	8	8	9	13	

2011년 1월 5차 현장조사에서 미세조류의 출현종은 정점에 따라 6~10종으로 2011년 겨울이 매우 추웠던 혹서인 것을 감안하면 비교적 다양하였다. 전체 출현종은 14종이었다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $15.0\sim 57.0 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 비교적 높았다. 우점종은 1~4차 조사와 유사하여 중심목 규조류에 의해 98.0%의 출현 점유율을 나타내었고, 제 1 우점종은 *Thalassiosira eccentrica*가 21.5%의 우점율을, 다음으로 *Paralia sulcata*가 18.8%, *Cyclotella striata*가 16.1%, 그리고 *Actinoptychus senarius*가 10.7%의 우점율로 우점 하였다(표 6-3-28).

2011년 3월 6차 현장조사에서 미세조류의 출현종은 정점에 따라 17~22종으로 태안이나 군산과 같이 다른 조사시점에 비해 매우 다양한 출현 양상을 나타내었다. 전체 출현종 역시 38종으로 다양한 종조성을 보였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $148\sim 221 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 다른 계절에 비해 한 개 단위 높은 현존량을 나타내었고, 정점에 따른 세포 밀도 차이는 낮아 비교적 균일한 공간 분포 특성을 보였다. 무안의 경우 전 조사시점에서 중심목 규조류에 의한 출현 점유율이 높았고, 6차 조사역시 중심목 규조류가 전체 미세조류에서 80.1%의 점유율로 높게 나타내었다. 우점종은 중심목 규조류에서 *Coscinodiscus radiatus*가 19.6%의 우점율을 나타내었고, 다음으로 *Actinoptychus senarius*가 12.5%의 우점율, *Thalassiosira eccentrica*가 11.3%의 우점율, 그리고 *Cyclotella striata*가 10.1%의 우점율을 나타내어, 10% 이상의 출현 점유율로 우점 하였다(표 6-3-29).

표 6-3-28. 무안 어장 정화 이후인 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 5차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	0	0	0	1	1	2	1.3
<i>Campyloneis grevillei</i>				1	1	2	1.3
CENTRALRES	15	26	22	56	27	146	98.0
<i>Actinoptychus splendens</i>				2		2	1.3
<i>Actinoptychus senarius</i>		4	1	3	8	16	10.7
<i>Actinocyclus</i> sp.	2					2	1.3
<i>Auliscus sculptus</i>	1	1			1	3	2.0
<i>Biddulphia reticulata</i>			1			1	0.7
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	2	5		5		12	8.1
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	4	1	1	3	2	11	7.4
<i>Coscinodiscus wailesii</i>				1		1	0.7
<i>Coscinodiscus</i> sp.	1	3	4	6		14	9.4
<i>Cyclotella striata</i>	2	9	3	2	8	24	16.1
<i>Paralia sulcata</i>	3	3	2	20		28	18.8
<i>Thalassiosira eccentrica</i>			10	14	8	32	21.5
DICTYOCHALES	0	0	1	0	0	1	0.7
<i>Dictyocha fibula</i>			1			1	0.7
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	15	26	23	57	28	149	100.0
Species number	7	7	8	10	6	14	

표 6-3-29. 무안 어장 정화 이후인 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

무안 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	18	12	46	18	32	126	14.1
<i>Achnanthes delicatula</i>				2		2	0.2
<i>Amphiprora paludosa</i>	4					4	0.5
<i>Caloneis crassa</i>	8	4		3		15	1.7
<i>Campyloneis grevillei</i>	2	4	8	4	3	21	2.4
<i>Diploneis lineata</i>	2					2	0.2
<i>Donkinia recta</i>				2		2	0.2
<i>Fragilaria striatula</i>	2		12			14	1.6
<i>Gyrosigma scalproides</i>			2			2	0.2
<i>Licmophora flabellata</i>			2			2	0.2
<i>Mastogloia minuta</i>					1	1	0.1
<i>Navicula cancellata</i>					2	2	0.2
<i>Navicula distans</i>		2				2	0.2
<i>Navicula viridula</i>			2	2		4	0.5
<i>Navicula</i> sp.			8			8	0.9
<i>Nitzschia</i> sp.		2	2	3	5	12	1.3
<i>Pleurosigma angulatum</i>			10	2	5	17	1.9
<i>Pleurosigma normanli</i>					16	16	1.8
CENTRALRES	114	150	103	192	159	718	80.1
<i>Actinoptychus senarius</i>	26	20	6	41	19	112	12.5
<i>Actinoptychus splendens</i>	2	6	2	3	1	14	1.6

표 6-3-29에서 계속

무안 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
<i>Auliscus sculptus</i>				4	6	10	1.1
<i>Biddulphia longicuris</i>	2	2	2	1		7	0.8
<i>Biddulphia reticulata</i>			2		2	4	0.5
<i>Cocconeis scutellum</i>			2	1		3	0.3
<i>Coscinodiscus centralis</i>	8	8	16	17	21	70	7.8
<i>Coscinodiscus gigas</i>				1		1	0.1
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	2	6		6	10	24	2.7
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	6	6	6			18	2.0
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	36	36	26	35	42	175	19.6
<i>Coscinodiscus</i> sp.	2	6	12	8	7	35	3.9
<i>Cyclotella striata</i>	14	22	14	27	13	90	10.1
<i>Cyclotella stelligera</i>		2				2	0.2
<i>Ditylum brightwellii</i>	4					4	0.5
<i>Odontella mobiliensis</i>					2	2	0.2
<i>Odontella obtusa</i>	2		1			3	0.3
<i>Paralia sulcata</i>		6	4	21	12	43	4.8
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	10	30	10	27	24	101	11.3
DICTYOCHALES	16	4	0	11	20	51	5.7
<i>Dictyocha fibula</i>	16	4		10	20	50	5.6
<i>Dictyocha speculum</i>				1		1	0.1
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	148	166	149	221	211	895	100.0
Species number	18	17	21	22	20	38	

(3) 생물량과 광합성 효율

무안어장 표층퇴적물의 엽록소 *a* 농도는 0.01~21.19 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 변동하였고, 조사시점별 평균으로는 0.52~13.18 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 태안 어장보다도 낮은 생물량을 나타내었다. 계절적으로는 1월 겨울에 0.52 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 매우 낮고, 7월 여름에 13.18 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 상대적으로 높은 생물량을 나타내지만, 전체적으로는 군산 선유도나 무안 종패 어장에 비해 매우 낮은 생물량을 나타내었다(표 6-3-30).

표 6-3-30. 태안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 *a* 농도의 변화

무안 (Chl- <i>a</i>)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	21.19	14.12	17.66	7.06	5.89	13.18
2010. 10 (2차)	1.18	8.24	14.12	5.89	11.77	8.36
2010. 11 (3차)	2.35	3.53	9.42	4.71	20.01	8.00
2010. 12 (4차)	2.59	1.41	1.65	1.18	5.18	2.40
2011. 01 (5차)	0.12	0.47	0.01	0.24	1.77	0.52
2011. 03 (6차)	2.12	0.71	1.53	1.29	2.94	1.72

무안 어장 표층퇴적물의 Pheo-pigments 농도는 0.77~66.97 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 변화하였고, 조사시점별 평균으로는 2.88~35.26 $\mu\text{g/g-dry}$ 로 시·공간적으로 큰 변동 폭을 나타내었다. Pheo-pigments 농도는 무안 어장의 엽록소 *a* 농도에 비하면 상대적으로 높은 값을 나타내었다(표 6-3-31).

표 6-3-31. 무안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화

무안 (Pheo-P)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	66.97	32.02	30.13	25.07	22.13	35.26
2010. 10 (2차)	9.53	29.66	29.54	20.48	23.66	22.57
2010. 11 (3차)	15.77	24.48	26.84	27.42	14.65	21.83
2010. 12 (4차)	3.92	2.71	3.30	3.77	4.87	3.71
2011. 01 (5차)	3.43	3.48	3.54	2.73	1.20	2.88
2011. 03 (6차)	0.77	2.84	2.75	6.29	3.65	3.26

광합성 효율은 조사기간 전체에서 0.3~73.5%의 범위로 변동하였고, 조사시점별 평균으로는 16.6~38.4%로 변화하여 군산이나 태안보다 낮은 광합성 활성을 나타내었다. 무안의 광합성 효율은 다른 해역과 달리 경시적 변화 폭이 거의 없이 일정한 양상으로 연중 낮은 활성도를 보였다(표 6-3-32).

표 6-3-32. 무안 어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화

무안 (%)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	24.0	30.6	37.0	22.0	21.0	26.9
2010. 10 (2차)	11.0	21.7	32.4	22.3	33.2	24.1
2010. 11 (3차)	13.0	12.6	26.0	14.7	34.7	20.2
2010. 12 (4차)	39.8	34.3	33.3	23.8	51.5	36.5
2011. 01 (5차)	3.3	11.9	0.3	7.9	59.5	16.6
2011. 03 (6차)	73.5	19.9	36.7	17.1	44.6	38.4

그리고 표 6-3-33에는 표층퇴적물 중 생물량 및 광합성 효율을 조사시점의 평균값으로 나타내어 계절변화의 양상을 파악할 수 있도록 나타내었다. 즉 무안 어장의 저서미세조류는 출현종, 현존량 및 생물량의 시·공간적 변화 폭이 크게 나타나고 있지만, 생물량에서 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments 농도가 매우 높으나, 해역의 광합성 활성도는 매우 낮은 특성을 나타내었다. 특히 어장정화 이후 출현종 등에서 어장 정화 이전과 다른 차이를 보이고는 있지만, 이는 어장정화에 따른 효과로 보기보다는 Pheo-pigments 농도가 높게 나타나는 것이나 광합성 효율이 더욱 낮게 나타나는 것으로부터 무안해역의 저서미세조류의 계절적 변화에 따른 결과로 해석하는 것이 타당할 것으로 판단되었다(표 5-3-33). 특히 무안 어장의 생물량의 경우는 공간적 분포 차이가 큰 특징을 보인다.

표 6-3-33. 무안 어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화

무안	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Chl- <i>a</i>	13.18	8.36	8.00	2.40	0.52	1.72
Pheo-pigments	35.26	22.57	21.83	3.71	2.88	3.26
광합성 효율(%)	26.9	24.1	20.2	36.5	16.6	38.4

이상으로 무안 어장의 저서미세조류의 출현 특성은 전 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 낮은 생물량과 광합성 효율을 보이는 특성을 나타내었다. 특히 군산 선유도 어장의 경우와 유사하여 태안 어장보다 출현종은 매우 다양하고 높은 생물량을 나타내고 있지만, 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments가 매우 높게 나타나, 상당부분의 저서미세조류는 표영환경에서 침강하여 광합성 능력을 상실한 조류로 구성되어 있는 것으로 판단되었다. 이에 따라 출현종 역시 우상목 규조류에 비해 중심목 규조류가 전 조사시점에 다양한 생물종 및 현존량을 나타내는 결과로 이어졌다. 또한 어장정화 효과에 대해서는 출현종에서 어장 정화 이전과 이후에 유의적 관련성이 보이기도 하지만, 동일 조사시점에서 사업지구와 대조구 사이에서는 도리어 역의 관련성이 보이는 등 어장정화에 의한 유의적 관련성을 찾을 수가 없었다. 무안 어장 역시 다른 어장과 같이 저서미세조류 군집의 시·공간적 분포 특성은 어장정화에 의한 인위적 효과보다 계절변동에 의한 자연적인 천이효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단할 수 있었다.

라. 무안 종패어장

(1) 종조성

무안 종패어장에서 6차에 걸친 조사에서 출현이 확인된 저서미세조류는 27속 51종으로 비교적 다양하였고, 분류군별로는 우상목 규조류가 11속 21종으로 41.2%의 출현 점유율, 다음으로 중심목 규조류가 15속 28속으로 54.9%, 그리고 규질편모조류가 1속 2종으로 3.9%의 출현 점유율을 나타내었다. 조사시기별로는 10월 13종에서 3월 26종이 출현하였으나 20종 내외로 비교적 균일한 출현양상을 보였다. 그리고 무안 종패어장에서 6회의 현장조사 중에 50%인 3회 이상 출현이 확인되는 미세조류는 우상목 규조류에서 *Nitzschia* sp. 1종, 중심목 규조류에서는 *Actinoptychus senarius*, *Actinoptychus splendens*, *Asteromphalus heptactis*, *Auliscus sculptus*, *Caloneis crassa*, *Cerataulus turgidus*, *Coscinodiscus centralis*, *Coscinodiscus nodulifer*, *Coscinodiscus radiatus*, *Coscinodiscus* sp., *Cyclotella striata*, *Odontella obtusa*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira eccentrica*, *Thalassiosira* sp. 등 15종, 그리고 규질편모조류에서 *Dictyocha fibura* 1종 등 모두 17종으로 출현종의 33.3%를 나타내었다. 나머지 66.7%에 해당하는 37종은 단지 1회에서 1회 출현하였을 뿐으로 출현종의 변화는 매우 큰 특징을 나타내었다(표 6-3-34).

표 6-3-34. 무안 종패어장에 출현한 저서미세조류 종 목록과 출현 양상

무안 종패어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
PENNATES						
<i>Bacillaria paxillifera</i>	*					
<i>Caloneis crassa</i>						*
<i>Campyloneis grevillei</i>			*			*
<i>Diploneis bombus</i>	*					
<i>Diploneis crabo</i>			*			
<i>Diploneis lineata</i>						*
<i>Diploneis litoralis</i>	*					
<i>Diploneis smithi</i>	*					
<i>Fragilaria striatula</i>				*		*
<i>Gyrosigma strigile</i>					*	
<i>Navicula</i> sp.				*		
<i>Nitzschia sigma</i>						*
<i>Nitzschia</i> sp.	*	*		*	*	
<i>Pleurosigma angulatum</i>						*
<i>Pleurosigma formosum</i>			*			
<i>Pleurosigma intermedium</i>						*
<i>Pleurosigma logum</i>						*
<i>Pleurosigma rigidum</i>						*
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>				*		
<i>Surirella fastuosa</i>	*					
<i>Surirella ovata</i>			*			
CENTRALES						
<i>Actinoptychus senarius</i>	*	*	*		*	*
<i>Actinoptychus splendens</i>	*	*	*	*		*
<i>Actinoptychus</i> sp.	*				*	
<i>Arachnoidiscus ehrenbergii</i>			*			
<i>Asteromphalus heptactis</i>		*		*	*	
<i>Auliscus sculptus</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Buddulphia longicruris</i>						*
<i>Buddulphia reticulata</i>				*	*	
<i>Cerataulus daemon</i>					*	
<i>Cerataulus turgidus</i>	*		*	*		*
<i>Cocconeis pellucida</i>			*			
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>		*				
<i>Coscinodiscus centralis</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>				*	*	*
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						*
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		*	*	*	*	*
<i>Coscinodiscus wailesii</i>				*		
<i>Coscinodiscus</i> sp.	*	*	*	*	*	*
<i>Cyclotella stelligera</i>	*				*	
<i>Cyclotella striata</i>	*	*	*	*	*	*

표 6-3-34에서 계속

무안 종패어장	1차	2차	3차	4차	5차	6차
<i>Ditylum brightwellii</i>				*		*
<i>Helicotheca tamesis</i>	*					
<i>Leptocylindrus danicus</i>	*			*		
<i>Odontella mobiliensis</i>						*
<i>Odontella obtusa</i>	*			*		*
<i>Paralia sulcata</i>	*		*	*	*	*
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Thalassiosira</i> sp.	*	*		*		
DICTYOCHALES						
<i>Dictyocha fibula</i>	*	*	*		*	*
<i>Dictyocha speculum</i>	*					
	23	13	17	21	17	26

(2) 현존량과 우점종

무안 종패어장에서 2010년 7월 실시한 1차 현장조사 결과 출현이 확인된 저서미세조류의 출현종은 정점에 따라 2~17종이 출현하였고, 5개의 정점 중 어느 한 정점에서 한번이라도 출현한 저서미세조류는 23종으로 비교적 다양하여, 출현종의 종조성과 출현 종수가 공간적으로 매우 큰 변화를 나타내었다(표 5-3-35). 저서미세조류의 출현 세포밀도 역시 정점에 따라 $5.0\sim 44.0\times 10^3$ cells/cm³의 범위로 출현하여, 출현 종수와 마찬가지로 공간적 분포 차이가 큰 특징을 나타내었다. 2010년 7월 무안 종패어장의 저서미세조류 출현종과 현존량은 중심목 규조류에 의한 점유율이 높아 77.6%의 점유율을 나타내었고, 우상목 규조류는 11.2%, 규질편모조류가 11.2% 출현 점유율을 나타내었다. 우점종은 출현종 모두가 비슷한 현존량을 보이고 있어, 특별하게 우점하는 종은 보이지 않았으나, 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가 11.2%의 우점율로 제1 우점종을, 다음에 *Actinoptychus senarius*가 10.4%의 우점율로 제2 우점종으로 출현하였다. 기타 출현종은 10% 이하의 점유율로 비교적 균일한 출현 양상을 나타내었다(표 5-3-35). 다만 무안 종패어장의 경우 표층퇴적상 등에 의해 정점에 따른 출현 종조성이 크게 다른 특징을 나타내었다(표 6-3-35).

표 6-3-35. 무안 종패어장 1차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 1차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	8	4	1	0	14	11.2
<i>Bacillaria paxillifera</i>		8				8	6.4
<i>Diploneis bombus</i>			1			1	0.8
<i>Diploneis litoralis</i>			1			1	0.8
<i>Diploneis smithi</i>			1			1	0.8

표 6-3-35에서 계속

종패어장 1차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
<i>Nitzschia</i> sp.	1		1			2	1.6
<i>Surirella fastuosa</i>				1		1	0.8
CENTRALRES	26	6	34	26	5	97	77.6
<i>Actinoptychus senarius</i>	4		2	7		13	10.4
<i>Actinoptychus splendens</i>	1					1	0.8
<i>Actinoptychus</i> sp.	1			4		5	4.0
<i>Auliscus sculptus</i>		1	10			11	8.8
<i>Cerataulus turgidus</i>			1			1	0.8
<i>Coscinodiscus centralis</i>	2		2			4	3.2
<i>Coscinodiscus</i> sp.	5		1	4	1	11	8.8
<i>Cyclotella stelligera</i>		1		1		2	1.6
<i>Cyclotella striata</i>	5		3	1	2	11	8.8
<i>Helicotheca tamesis</i>				1		1	0.8
<i>Leptocylindrus danicus</i>			6			6	4.8
<i>Odontella obtusa</i>			1			1	0.8
<i>Paralia sulcata</i>	6	1	3			10	8.0
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	2	1	4	5	2	14	11.2
<i>Thalassiosira</i> sp.		2	1	3		6	4.8
DICTYOCHALES	1	2	6	5	0	14	11.2
<i>Dictyocha fibula</i>	1	2	4	5		12	9.6
<i>Dictyocha speculum</i>			2			2	1.6
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	28	16	44	32	5	125	100.0
Species number	10	7	17	10	3	23	

2010년 10월 실시된 2차 현장조사에서 출현이 확인된 저서미세조류는 정점에 따라 3~12종이 출현하였고, 출현한 전체 저서미세조류는 14종으로 비교적 단순한 출현 특성을 보였다. 정점별로는 정점 5에서 12종이 출현한 것을 제외하면 5종 내외로 비교적 균일한 분포를 나타내었다. 저서미세조류의 출현 세포밀도 역시 정점에 따라 $4.0 \sim 118 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 출현하였고, 이 역시 정점 5에서 118×10^3 cells/cm²를 제외하면 10×10^3 cells/cm² 이하의 낮은 세포밀도를 나타내었다. 무안 종패어장의 2차 조사에서도 저서미세조류는 중심목 규조류에 크게 의존하여 97.3%의 점유율을 나타내었고, 우상목 규조류와 규질 편모조류는 각각 1.4%의 점유율을 나타내었다. 우점종은 중심목 규조류인 *Thalassiosira eccentrica*가 23.8%의 우점율로 제1 우점종을, 다음에 *Actinoptychus senarius*가 13.6%, *Cyclotella striata*, *Coscinodiscus radiatus* 및 *Coscinodiscus centralis*의가 각각 12.9%, 12.2% 및 10.9%의 우점율로 우점하였다(표 6-3-36).

2010년 11월 실시된 3차 현장조사에서 출현이 확인된 저서미세조류는 정점에 따라 3~11종이나 정점 2의 11종을 제외하면 3~6종 출현하였다. 출현한 저서미세조류의 총수는 17종으로 비교적 다양하였다. 출현 세포밀도는 정점에 따라 $3.0 \sim 76.0 \times 10^3$ cells/cm²의 범위

로 출현 종수와 마찬가지로 공간적 분포 차이가 큰 특징을 나타내었다. 3차 조사에서 역시 저서미세조류 출현종과 현존량은 중심목 규조류에 의한 점유율이 높아 93.0%의 점유율을 보였고, 우상목 규조류는 4.4%, 규질편모조류가 2.6% 출현 점유율을 나타내었다. 우점종은 출현종 모두가 비슷한 현존량을 보이고 있어, 특별하게 극우점하는 종은 보이지 않았으나, 중심목 규조류인 *Cyclotella striata*가 18.3%의 우점율로 제1 우점종을, 다음에는 *Coscinodiscus radiatus*가 13.9%, *Auliscus sculptus*와 *Paralia sulcata*가 각각 12.2%, 그리고 *Actinoptychus senarius*가 11.3%의 우점율로 우점하였다(표 6-3-37).

표 6-3-36. 무안 종패어장 2차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 2차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	0	0	2	0	0	2	1.4
<i>Nitzschia</i> sp.			2			2	1.4
CENTRALRES	4	3	14	5	117	143	97.3
<i>Actinoptychus senarius</i>		1		2	17	20	13.6
<i>Actinoptychus splendens</i>					1	1	0.7
<i>Asteromphalus heptactis</i>					3	3	2.0
<i>Auliscus sculptus</i>	3				5	8	5.4
<i>Cocconeis pseudomarginata</i>			1			1	0.7
<i>Coscinodiscus centralis</i>					16	16	10.9
<i>Coscinodiscus radiatus</i>			3		15	18	12.2
<i>Coscinodiscus</i> sp.		1	1		7	9	6.1
<i>Cyclotella striata</i>			8	1	10	19	12.9
<i>Paralia sulcata</i>			1		9	10	6.8
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	1	1		2	31	35	23.8
<i>Thalassiosira</i> sp.					3	3	2.0
DICTYOCHALES	0	1	0	0	1	2	1.4
<i>Dictyocha fibula</i>		1			1	2	1.4
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	4	4	16	5	118	147	100.0
Species number	2	4	6	3	12	14	

표 6-3-37. 무안 종패어장 3차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 3차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	1	2	2	0	0	5	4.4
<i>Campyloneis grevillei</i>			2			2	1.7
<i>Diploneis crabo</i>	1					1	0.9
<i>Pleurosigma formosum</i>		1				1	0.9
<i>Surirella ovata</i>		1				1	0.9
CENTRALRES	4	73	12	2	16	107	93.0
<i>Actinoptychus senarius</i>		12		1		13	11.3
<i>Actinoptychus splendens</i>			1			1	0.9
<i>Arachnoidiscus ehrenbergii</i>					1	1	0.9

표 6-3-37에서 계속

종패어장 3차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
<i>Auliscus sculptus</i>		11	3			14	12.2
<i>Cerataulus turgidus</i>		1				1	0.8
<i>Cocconeis pellucida</i>			1			1	0.8
<i>Coscinodiscus centralis</i>		8	2			10	8.7
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		10	5		1	16	13.9
<i>Coscinodiscus</i> sp.		7		1	4	12	10.4
<i>Cyclotella striata</i>		17			4	21	18.3
<i>Paralia sulcata</i>	4	7			3	14	12.2
<i>Thalassiosira eccentrica</i>					3	3	2.6
DICTYOCHALES	1	1	0	1	0	3	2.6
<i>Dictyocha fibula</i>	1	1		1		3	2.6
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	6	76	14	3	16	115	100.0
Species number	3	11	6	3	6	17	

2010년 12월 4차 현장조사에서 출현이 확인된 저서미세조류의 출현종은 정점에 따라 2~15종이 출현하였고, 전체는 21종이 출현하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 2.0~58.0 $\times 10^3$ cells/cm²의 범위로 변동하여 공간적 분포 차이가 큰 특징을 나타내었다. 4차 조사도 1~3차 조사와 유사하여 저서미세조류 출현종과 현존량은 중심목 규조류에 의한 점유율이 높아 88.0%의 점유율을 나타내었고, 우상목 규조류는 12.0% 출현 점유율을 나타내었다. 우점종은 중심목 규조류인 *Cyclotella striata*가 19.2%의 우점율로 제1 우점종을, 다음에 *Coscinodiscus radiatus*와 *Coscinodiscus* sp.가 각각 12.8%와 12.0%의 우점율로 우점 출현하였다(표 6-3-38).

표 6-3-38. 무안 종패어장 4차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 4차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	8	2	0	0	5	15	12.0
<i>Fragilaria striatula</i>	5				2	7	5.6
<i>Navicula</i> sp.	1					1	0.8
<i>Nitzschia</i> sp.		2			3	5	4.0
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	2					2	1.6
CENTRALRES	17	32	2	6	53	110	88.0
<i>Actinoptychus splendens</i>					2	2	1.6
<i>Asteromphalus heptactis</i>					1	1	0.8
<i>Auliscus sculptus</i>	8					8	6.4
<i>Biddulphia reticulata</i>		1				1	0.8
<i>Cerataulus turgidus</i>				2		2	1.6
<i>Coscinodiscus centralis</i>				1	3	4	3.2
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	1				8	9	7.2

표 6-3-38에서 계속

종패어장 4차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	3	7	1		5	16	12.8
<i>Coscinodiscus wailesii</i>					2	2	1.6
<i>Coscinodiscus</i> sp.	1	5			9	15	12.0
<i>Cyclotella striata</i>	1	14			9	24	19.2
<i>Ditylum brightwellii</i>					1	1	0.8
<i>Leptocylindrus danicus</i>				3		3	2.4
<i>Odontella obtusa</i>					1	1	0.8
<i>Paralia sulcata</i>	3	5	1		3	12	9.6
<i>Thalassiosira eccentrica</i>					7	7	5.6
<i>Thalassiosira</i> sp.					2	2	1.6
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	25	34	2	6	58	125	100.0
Species number	9	6	2	3	15	21	

2011년 1월 5차 현장조사에서 출현이 확인된 저서미세조류는 정점에 따라 2~10종이었고, 전체 출현종은 16종으로 4차 조사결과와 유사하였다. 출현세포밀도는 정점에 따라 $2.0 \sim 26.0 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 변동하여 공간적 분포 차이가 큰 특징을 나타내었다. 저서미세조류의 분류군별 출현 점유율은 1~4차 결과와 유사하여 중심목 규조류가 95.5%로 매우 높은 점유율을 나타내었고, 우상목 규조류는 3.0%, 규질편모조류가 1.5%의 매우 낮은 점유율을 나타내었다. 우점종도 중심목 규조류인 *Paralia sulcata*가 23.9%의 우점율로 제1 우점종을, 다음에 *Thalassiosira eccentrica*가 22.4%, *Coscinodiscus* sp.가 13.4%의 우점율로 우점 출현하였다(표 6-3-39).

2011년 3월 6차 현장조사에서 출현이 확인된 저서미세조류의 출현종은 정점에 따라 6~14종이 출현하였고, 전체는 26종으로 비교적 다양한 종 출현 특성을 보였다. 저서미세조류의 출현 세포밀도 역시 정점에 따라 $33.0 \sim 145.0 \times 10^3$ cells/cm²의 범위로 출현하여, 공간적 분포 차이가 큰 특징을 나타내었다. 6차 조사에서도 저서미세조류에 대한 출현 점유율은 중심목 규조류에 의존하는 비율이 높아 69.3%의 점유율을 나타내었고, 우상목 규조류는 25.1%, 규질편모조류가 5.1% 출현 점유율을 나타내어, 조사기간 중 우상목 규조류에 의한 점유율이 가장 높게 나타났다. 우점종에서도 다른 조사시점과는 달리 우상목 규조류에 의한 우점현상이 보였다. 즉, 우상목 규조류인 *Fragilaria striatula*가 20.8%의 우점율로 제1 우점종으로 출현하였고, 그 다음에 중심목 규조류인 *Coscinodiscus radiatus*가 14.4%의 우점율로 제2 우점종, 그리고 *Thalassiosira eccentrica*가 11.1%의 우점율로 우점 출현하였다(표 6-3-40).

4개의 패류어장에서 무안 어장과 무안 종패어장에서 저서미세조류의 출현종수는 물론 현존량에서도 공간적 분포 차이가 매우 크게 나타나는 것은 표층퇴적상의 차이에서 발생하는 현상으로 추정된다.

표 6-3-39. 무안 종패어장 5차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 5차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	0	2	0	0	0	2	3.0
<i>Gyrosigma strigile</i>		1				1	1.5
<i>Nitzschia</i> sp.		1				1	1.5
CENTRALRES	21	24	15	3	1	64	95.5
<i>Actinoptychus senarius</i>	2					2	3.0
<i>Actinoptychus</i> sp.	2					2	3.0
<i>Asteromphalus heptactis</i>	1	1				2	3.0
<i>Auliscus sculptus</i>	1					1	1.5
<i>Biddulphia reticulata</i>		1				1	1.5
<i>Cerataulina daemon</i>			3			3	4.5
<i>Coscinodiscus centralis</i>			1			1	1.5
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	1	2		1		4	5.9
<i>Coscinodiscus radiatus</i>		1	2			3	4.5
<i>Coscinodiscus</i> sp.	3	6				9	13.4
<i>Cyclotella stelligera</i>					1	1	1.5
<i>Cyclotella striata</i>	2	1		1		4	5.9
<i>Paralia sulcata</i>	6	2	8			16	23.9
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	3	10	1	1		15	22.4
DICTYOCHALES	0	0	0	0	1	1	1.5
<i>Dictyocha fibula</i>					1	1	1.5
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	21	26	15	3	2	67	100.0
Species number	9	10	5	3	2	16	

표 6-3-40. 무안 종패어장 6차 조사에 각 조사 정점에 출현한 미세조류

종패어장 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
PENNATES	20	30	4	36	21	111	25.1
<i>Caloneis crassa</i>	4					4	0.9
<i>Campyloneis grevillei</i>			2			2	0.5
<i>Diploneis lineata</i>		2				2	0.5
<i>Fragilaria striatula</i>	14	20		34	21	89	20.8
<i>Nitzschia sigma</i>	2					2	0.5
<i>Pleurosigma angulatum</i>		2	2	2		6	1.4
<i>Pleurosigma intermedium</i>		2				2	0.5
<i>Pleurosigma longum</i>		2				2	0.5
<i>Pleurosigma rigidum</i>		2				2	0.5
CENTRALRES	117	74	59	37	12	299	69.3
<i>Actinoptychus senarius</i>	24	4	8	6	2	44	10.2
<i>Actinoptychus splendens</i>				2		2	0.5
<i>Auliscus sculptus</i>	12	8	8	10	1	39	9.0
<i>Biddulphia longicruris</i>	2	2				4	0.9
<i>Cerataulus turgidus</i>		2		2		4	0.9

표 6-3-40에서 계속

종패어장 6차	St.01	St.02	St.03	St.04	St.05	total	%
<i>Coscinodiscus centralis</i>		4		6		10	2.3
<i>Coscinodiscus nodulifer</i>	12		2	4		18	4.2
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	4	4	6	2		16	3.7
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	22	20	12	3	5	62	14.4
<i>Coscinodiscus</i> sp.	14	6	6			26	6.0
<i>Cyclotella striata</i>	5	2	4	2	1	14	3.2
<i>Ditylum brightwellii</i>	2					2	0.5
<i>Odontella mobiliensis</i>		2				2	0.5
<i>Odontella obtusa</i>		2	1			3	0.7
<i>Paralia sulcata</i>		2			3	5	1.2
<i>Thalassiosira eccentrica</i>	20	16	12			48	11.1
DICTYOCHALES	8	6	0	8	0	22	5.1
<i>Dictyocha fibula</i>	8	6		8		22	5.1
Total($\times 10^3$ cells/cm ²)	145	110	63	81	33	432	100.0
Species number	14	20	11	12	6	26	

(3) 생물량과 광합성 효율

무안 종패어장의 표층퇴적물 중 엽록소 a 농도는 0.01~113.0 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 변화하여, 시·공간적 변화 폭이 매우 크게 나타났고, 조사시점별 평균으로도 0.80~66.19 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 변동 폭을 보여 겨울에 매우 낮은 반면, 여름에는 극단적으로 높은 식물플랑크톤 생물량을 나타내었다(표 6-3-41). 특히 1월의 경우는 남해연안의 표영환경에서 관측되는 농도보다도 낮은 생물량을 나타내었다(윤, 2003).

표 6-3-41. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 엽록소 a 농도의 변화

종패 (Chl-a)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	35.31	91.81	113.0	61.21	30.60	66.19
2010. 10 (2차)	51.79	37.66	7.06	20.01	7.06	24.72
2010. 11 (3차)	72.98	2.35	1.18	5.89	3.53	17.19
2010. 12 (4차)	8.12	0.82	1.29	2.47	0.82	2.70
2011. 01 (5차)	0.35	0.47	0.24	0.24	2.71	0.80
2011. 03 (6차)	4.83	4.93	0.01	9.77	4.12	4.73

Pheo-pigments 농도 역시 0.09~151.3 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 변화하여 엽록소 a 농도보다도 더 넓은 폭으로 변동하는 특성을 보였다. 조사시점별 평균으로는 2.30~97.41 $\mu\text{g/g-dry}$ 의 범위로 변화하여 엽록소 a 농도와 같이 겨울에 낮고 여름에 높은 특성을 보이지만, 엽록소 a 농도보다 훨씬 높은 농도를 나타내었다(표 6-3-42).

표 6-3-42. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 Pheo-pigments 농도의 변화

종패 (Pheo-P)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	77.57	151.3	132.5	64.85	60.85	97.41
2010. 10 (2차)	3.41	27.42	7.77	3.88	30.84	14.66
2010. 11 (3차)	19.30	29.78	7.89	2.35	26.13	17.09
2010. 12 (4차)	3.99	3.30	0.52	0.41	3.30	2.30
2011. 01 (5차)	1.71	0.52	0.75	0.09	9.82	2.58
2011. 03 (6차)	5.56	4.70	0.82	2.59	0.74	2.88

광합성 효율은 1.2~93.8%의 매우 넓은 범위로 변화하여, 앞에서 설명한 엽록소 *a* 농도나 Pheo-pigments 농도와 유사하게 시·공간적 변동이 매우 큰 특성을 보였다. 조사시점별 평균으로도 36.3~60.3%로 규칙적인 계절변동 양상은 보이지 않고 있지만, 태안어장에 비해서는 매우 낮은 광합성 효율을 나타내었다(표 6-3-43).

표 6-3-43. 무안 종패어장의 조사시점 및 정점에 따른 광합성 효율의 변화

종패 (%)	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	31.3	37.8	46.0	48.6	33.5	39.8
2010. 10 (2차)	93.8	57.9	47.6	83.7	18.6	60.3
2010. 11 (3차)	79.1	7.3	13.0	71.4	11.9	36.5
2010. 12 (4차)	67.1	20.0	71.4	85.7	20.0	52.8
2011. 01 (5차)	17.1	47.6	23.8	71.4	21.6	36.3
2011. 03 (6차)	46.5	51.3	1.2	79.1	84.6	52.5

그리고 표 5-3-44에는 표층퇴적물 중 생물량 및 광합성 효율을 조사시점의 평균값으로 나타내어 계절변화의 양상을 파악할 수 있도록 나타내었다. 즉 무안 종패어장의 저서 미세조류는 계절에 따라 출현종, 현존량 및 생물량의 변화는 심하며, 저서미세조류에 의한 광합성 효율도 상대적으로 낮아, 저서생태계의 미세조류군집의 상당부분은 표영생태계에서 침강된 사체성 플랑크톤에 의해 구성되고 있는 것으로 추정되었다(표 6-3-44).

표 6-3-44. 무안 종패어장의 조사시점에 따른 식물플랑크톤 생물량과 광합성 효율의 변화

종패	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Chl- <i>a</i>	66.19	24.72	17.19	2.70	0.80	4.73
Pheo-pigments	97.41	14.66	17.09	2.30	2.58	2.88
광합성 효율(%)	39.8	60.3	36.5	52.8	36.3	52.5

무안 종패어장의 저서미세조류의 출현 특성은 전 조사기간 비교적 다양한 출현종과 높은 현존량, 그리고 낮은 생물량과 광합성 효율을 보이는 특성을 나타내었다. 이와 같은 결과는 태안과는 다른 특성이지만 군산 선유도 어장과 유사한 내용으로 높은 생물량을 나타내지만, 엽록소 *a* 농도에 비해 Pheo-pigments가 매우 높게 나타나, 상당부분의 저서미세조류는 표영환경에서 침강하여 광합성 능력을 상실한 조류로 구성되어 있는 것으로 판단되었다. 특히 이와 같은 어장에 따른 차이점이 발생하는 가장 큰 인자로서는 각 어장 표층퇴적물의 퇴적상 차이에서 오는 현상으로 추정되었다. 저서미세조류 군집의 시·공간적 분포 특성은 어장정화에 의한 인위적 효과보다 계절변동에 의한 자연적인 천이효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 판단할 수 있었다.

2. 공극수의 영양염 분석

가. 태안

해양 표층퇴적물 공극수 중의 영양염류 농도는 표영생태계의 생물활동결과 다양한 생물기원 유기쇄설물이 침강하여 분해되기에 미생물의 분해활성 정도에 따라 용존하는 영양염류의 농도를 달리하게 되며, 표층퇴적층의 퇴적상에 따라서도 큰 차이를 나타낸다. 퇴적물 공극수의 영양염류는 결국 표영생태계로 용출되어 미세조류의 생물생산에 이용되기에, 공극수의 영양염류 농도는 결국 저서미세조류는 물론 표영생태계의 식물플랑크톤 성장 및 광합성 활성과도 밀접한 관련성을 나타낸다.

태안 어장의 표층퇴적물 중 암모니아염의 시·공간적 변동은 0.76~32.15 μM 의 범위로 매우 큰 차이를 나타내었고, 계절적으로는 고수온을 나타내는 시기에 높고, 저수온기에 낮은 특성을 나타내었다. 특히 저수온기에는 표영환경 보다는 다소 높지만 일반적인 내만해역의 표영환경 수준의 암모니아염 농도를 나타내었다(표 6-3-45).

표 6-3-45. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)

암모니아염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	32.09	32.15	23.37	24.61	21.85	26.81
2010. 10 (2차)	8.77	4.53	6.71	2.06	21.14	8.64
2010. 11 (3차)	14.60	1.53	7.36	4.47	6.18	6.83
2010. 12 (4차)	9.58	5.17	5.02	5.02	8.82	6.72
2011. 01 (5차)	4.72	3.95	3.35	2.43	5.63	4.02
2011. 03 (6차)	10.19	7.91	6.54	9.28	0.76	6.94

즉 유기물 분해과정에서 암모니아염은 유기질소가 분해되면서 제일 먼저 생산되는 무기질소원으로 높은 농도는 많은 유기물량과 활발한 미생물 활성을 나타내는 것으로 평

가할 수 있다. 그러나 동일 조사시점에 정점에 따라 큰 차이를 나타내는 것은 표층퇴적층의 입도분포에 의해 나타나는 현상으로, 공극수 함량이 많은 펄질 퇴적상에서 높은 영양염을, 모래나 자갈 등 공극수 함량의 낮은 퇴적상에서 낮은 영양염 농도를 나타내는 것으로 판단할 수 있다. 다만, 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가 어장 정화 직후인 점을 고려하면 어장정화에 따른 공극수 중의 암모니아염 농도 차이에 유의적 관계는 찾을 수가 없었다.

표층퇴적물 중 질산염의 시·공간적 변동은 1.61~25.00 μM 의 범위로 암모니아염보다 절대 값은 다소 낮지만 변동 폭은 매우 크게 나타났다. 계절적으로는 암모니아염과 같이 고수온기에 높고, 저수온기에 낮은 특성을 나타내었다. 특히 저수온기에는 암모니아염과 같이 표영환경 보다는 다소 높지만 일반적인 내만해역의 표영환경 수준의 질산염 농도를 나타내었다(표 6-3-46).

표 6-3-46. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)

질산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	25.00	10.50	6.33	4.33	8.00	10.83
2010. 10 (2차)	2.17	8.60	5.43	6.87	7.03	6.02
2010. 11 (3차)	5.17	6.67	6.97	3.23	6.17	5.64
2010. 12 (4차)	6.73	1.69	3.73	1.61	2.06	3.16
2011. 01 (5차)	5.75	2.21	9.00	7.31	3.95	5.64
2011. 03 (6차)	3.44	4.15	11.32	4.13	8.16	6.24

질산염은 암모니아염의 산화에 의해 생산되는 물질이지만, 비교적 안정된 상태를 유지하기에 암모니아염보다 높은 경향을 나타내는 경우가 많지만, 태안의 7월 공극수에서는 암모니아염보다 상대적으로 낮은 농도를 보였다.

태안 어장의 표층퇴적물 중 인산염의 시·공간적 변동은 0.10~16.93 μM 의 범위로 매우 큰 변동 폭을 보였고, 계절적으로는 무기질소와 같이 고수온을 나타내는 시기에 높고, 저수온기에 낮은 특성을 나타내었다. 특히 고수온기의 공극수 중 인산염은 표영환경의 일반적인 인산염 농도에 비해 매우 높은 농도를 보이는 것에 반해, 저수온기, 특히 6차 조사에서 공극수 중 인산염 농도는 표영환경에 비해서도 상대적으로 높지 않은 인산염 농도를 나타내었다(표 6-3-47).

인산염에서도 암모니아염이나 질산염과 같이 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가 어장 정화 직후인 점을 고려하면 어장정화에 따른 공극수 중의 질산염 농도 차이에 유의적 관계는 찾을 수가 없었다.

표 6-3-47. 태안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)

인산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	16.93	11.83	9.74	3.48	8.58	9.99
2010. 10 (2차)	1.95	2.18	2.09	1.58	1.90	1.94
2010. 11 (3차)	1.39	4.13	1.67	1.62	1.62	2.09
2010. 12 (4차)	0.49	0.59	1.09	0.79	1.58	0.71
2011. 01 (5차)	1.14	0.59	0.20	0.44	0.69	0.66
2011. 03 (6차)	1.09	0.15	0.25	0.10	0.15	0.35

태안 어장의 표층퇴적물 중 질소와 인 관련 화학종/용존종별 평균 농도의 변화 특징은 1차에서 5차까지 공극수에 용존 하는 용존 질소에 비해 용존 인이 존재비가 높았고, 그 경향은 상대적으로 높은 수온을 나타내는 1차에서 3차 조사까지 더욱 현저하였다. 그러나 6차 조사인 3월에는 질소보다 인의 존재비가 낮은 특성을 보였다(표 6-3-48). 다만 이와 같은 질소, 인에 대한 존재비가 상위한 결과가 표영환경의 기초생산에 어떠한 영향을 미치는 것인가에 대한 평가는 금번 연구결과에서 규명할 수는 없었다.

표 6-3-48. 태안 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화

종패	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Ammonia	26.81	8.64	6.83	6.72	4.02	6.94
Nitrite	0.45	0.38	0.55	0.10	0.22	0.26
Nitrate	10.83	6.02	5.64	3.16	5.64	6.24
DIN	38.89	15.04	13.02	9.99	9.89	13.42
Phosphate	9.99	1.94	2.09	0.71	0.66	0.35
N/P ratio	3.90	7.75	6.22	14.07	14.98	38.34

태안 어장의 표층퇴적물 공극수 중의 영양염류 농도에서도 어장 정화 이전과 이후는 물론 사업지구와 대조구 사이에서 일정한 유의적 관련성을 찾을 수 없는 것으로부터 어장 정화에 의한 퇴적층의 개선 효과를 파악할 수는 없었다.

나. 균산 선유도

균산 선유도 어장의 표층퇴적물 중 암모니아염의 시·공간적 변동은 6.24~92.13 μM 의 범위로 태안어장과 유사하여 매우 큰 차이를 나타내었고, 계절적으로는 고수온을 나타내는 시기에 높고, 저수온기에 낮은 특성을 보였지만, 전체적으로 높은 농도를 나타내었다(표 6-3-49).

균산 선유도 어장이 태안어장보다 모든 조사시점의 공극수에서 높은 암모니아염 농도를 보이는 것은 표영환경에서 침강된 유기물 공급이 많다는 점도 있지만, 어장의 표층퇴적물의 퇴적상이 태안보다 세립한 펄질에 의해 구성되고 있기 때문으로 판단된다. 다

만, 태안어장과 같이 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가 어장 정화 직후인 점을 고려하면, 3차 조사가 2차 보다 평균적으로 다소 낮은 농도를 보이고는 있지만, 이는 어장정화에 따른 공극수 중의 암모니아염 농도변화로 보기보다 계절적 변화경향을 판단되어, 어장정화에 의한 유의적 관계는 찾을 수가 없었다.

표 6-3-49. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)

암모니아염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	65.96	92.13	87.94	65.96	65.96	76.19
2010. 10 (2차)	52.40	46.75	50.34	46.63	46.98	48.62
2010. 11 (3차)	52.34	36.27	12.95	27.67	44.10	34.67
2010. 12 (4차)	13.69	18.40	23.73	10.34	16.12	16.46
2011. 01 (5차)	20.08	23.73	27.23	6.24	13.69	18.19
2011. 03 (6차)	18.25	21.90	14.60	5.78	12.17	14.54

표층퇴적물 중 질산염의 시·공간적 변동은 0.94~59.47 μM 의 범위로 태안 어장과 같이 암모니아염보다 절대 값은 다소 낮지만 변동 폭은 매우 크게 나타났다. 계절적으로는 암모니아염과 같이 고수온기에 높고, 저수온기에 낮은 특성을 나타내었다. 특히 저수온기에는 암모니아염과 같이 표영환경 보다는 다소 높지만 일반적인 내만해역의 표영환경 수준의 질산염 농도를 나타내었다(표 6-3-50).

표 6-3-50. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)

질산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	30.21	32.61	11.99	13.91	59.47	29.64
2010. 10 (2차)	26.38	8.22	11.08	8.08	23.04	15.36
2010. 11 (3차)	4.39	2.45	3.36	5.25	1.34	3.36
2010. 12 (4차)	2.93	2.11	1.02	3.75	2.14	2.39
2011. 01 (5차)	2.36	1.95	0.96	1.32	0.94	1.51
2011. 03 (6차)	1.92	3.90	3.21	2.72	2.92	2.93

군산 선유도 어장의 표층퇴적물 중 인산염의 시·공간적 변동은 0.49~27.87 μM 의 범위로 매우 큰 변동 폭을 보였고, 계절적으로는 무기질소와 같이 고수온기인 7월에 높은 농도를 보이지만, 최저수온을 나타내는 겨울 1월에도 상대적으로 매우 높은 인산염을 나타내었다. 다만, 10월, 12월 및 3월 조사에서의 공극수 중 인산염은 일반적인 해역의 표영환경보다는 다소 높은 농도를 보이고 있지만, 전반적으로 낮은 인산염 농도를 나타내어 계절적으로 규칙적인 변화양상은 확인할 수 없었다(표 6-3-51).

인산염에서도 암모니아염이나 질산염과 같이 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가

어장 정화 직후인 점을 고려하면 어장정화에 따른 공극수 중의 질산염 농도 차이에 유의적 관계는 찾을 수가 없었다.

표 6-3-51. 선유도 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)

인산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	6.96	15.08	5.80	6.96	27.84	12.53
2010. 10 (2차)	2.46	0.84	0.28	0.37	0.19	0.83
2010. 11 (3차)	12.11	5.10	3.67	3.67	7.98	6.51
2010. 12 (4차)	2.96	2.76	6.37	2.32	2.62	0.71
2011. 01 (5차)	1.83	6.02	3.16	1.23	15.60	5.57
2011. 03 (6차)	1.53	1.09	1.04	0.49	0.49	0.93

군산 선유도 어장의 표층퇴적물 중 질소와 인 관련 화학종별 평균 농도의 변화 특징은 태안과는 달리 일정한 규칙성이 보이지 않고, 조사시점에 따라 다른 결과를 보였다. 특히 공극수 중의 인산염 농도가 조사시점에 따라 많은 차이를 보였다(표 6-3-52).

표 6-3-52. 선유도 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화

종패	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Ammonia	76.19	48.62	34.67	16.46	18.19	14.54
Nitrite	2.24	3.73	0.55	0.44	0.39	0.54
Nitrate	29.64	15.36	3.36	2.39	1.51	2.93
DIN	111.1	67.71	38.58	19.29	20.09	18.01
Phosphate	12.53	0.83	6.51	0.71	5.57	0.93
N/P ratio	8.87	81.57	5.93	27.17	3.61	19.37

군산 선유도 어장의 표층퇴적물 공극수 중의 영양염류 농도에서도 어장 정화 이전과 이후는 물론 사업지구와 대조구 사이에서 일정한 유의적 관련성을 찾을 수 없는 것으로부터, 태안 어장과 같이 어장 정화에 의한 퇴적층의 개선 효과를 파악할 수는 없었다.

다. 무안

무안 어장의 표층퇴적물 공극수 중 암모니아염의 시·공간적 변동은 10.30~1040.9 μM 의 범위를 보여 3개의 조사대상 어장에서 가장 높은 농도로 공극수 중의 암모니아염 농도의 변화를 나타내었다. 계절적으로는 일정한 규칙성이 없이 모든 계절에 높은 농도를 보이지만 특히 7월 고수온기에 정점 평균 678.7 μM 이라는 극단적인 분포농도를 나타내었다. 또한 태안이나 선유도와는 달리 매우 낮은 수온을 보였던 1월 조사에서도 정점 평균 122.9 μM 이라는 높은 농도를 보였다. 그리고 3월에 상대적으로 낮은 48.67 μM 를 나타내었지만, 가장 낮은 3월의 평균 농도도 태안어장의 년 중 최솟값보다 높은 농도였다(표

6-3-53).

표 6-3-53. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)

암모니아염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	474.5	540.5	1040.9	629.9	707.6	678.7
2010. 10 (2차)	30.03	54.75	184.6	203.1	150.1	124.5
2010. 11 (3차)	10.30	182.2	61.23	99.50	97.67	90.18
2010. 12 (4차)	76.05	194.7	109.5	240.3	12.17	126.5
2011. 01 (5차)	120.2	190.1	127.8	155.1	21.29	122.9
2011. 03 (6차)	132.3	36.50	41.07	36.50	33.46	48.67

무안어장의 공극수에서 이와 같이 높은 암모니아염 농도를 나타내는 것은 무안 어장의 경우, 퇴적층에 연중 높은 유기물이 집적되어 있음을 나타내는 것으로 유기오염 정도가 매우 심각함을 나타내는 것이라 할 수 있다. 다만, 다른 어장과는 달리 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가 어장 정화 직후인 점을 고려하면 3차 조사결과가 2차보다 약 30% 정도 암모니아염 농도가 저감되는 어장 효과의 결과를 보이는 것으로 판단되었다. 다만 이 효과는 극심한 유기오염의 결과, 오래 지속되지 않고, 4차 조사에 재차 원상복귀되는 것으로 판단되었다.

표층퇴적물 중 질산염의 시·공간적 변동은 7.0~412.3 μM 의 범위로 암모니아염보다 절대 값은 다소 낮지만 변동 폭은 매우 크게 나타났다. 정점 평균 농도로 보면 암모니아염과 유사하여 전체적으로 높은 농도를 나타내지만, 계절변화는 암모니아염과는 달리 겨울인 1월에 246.7 μM 로 가장 높은 농도를 보였다. 3월에 가장 낮은 농도를 나타내는 것은 암모니아염과 유사한 결과이다(표 6-3-54).

표 6-3-54. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)

질산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	26.97	14.17	10.52	15.54	23.77	18.19
2010. 10 (2차)	20.92	61.15	22.63	15.20	21.72	28.32
2010. 11 (3차)	30.75	18.40	20.92	21.37	10.72	20.43
2010. 12 (4차)	49.02	24.75	18.57	16.85	12.29	24.30
2011. 01 (5차)	412.3	19.06	387.3	31.78	383.1	246.7
2011. 03 (6차)	7.59	7.49	9.40	7.00	8.97	8.09

무안어장의 공극수에서 겨울 높은 질산염 농도를 정점별 암모니아염 농도와 비교하면, 해역에서 유기물분해에 의한 질산염 생산보다 육지부 등 외부에서 유입될 가능성이 큰 것으로 판단된다. 그러나 외부 유입원이 무엇인지에 대해서는 금회조사에서 명확하게 할 수 없었다. 그리고 질산염은 암모니아염과는 달리 어장정화에 따른 유의적 관계는 찾

을 수가 없었다.

무안 어장의 표층퇴적물 중 인산염의 시·공간적 변동은 0.46~22.51 μM 의 범위로 매우 큰 변동 폭과 높은 인산염을 보였고, 계절적으로는 고수온기에 높고, 겨울과 초봄인 2011년 조사에서 낮은 농도를 나타내었다(표 6-3-55).

표 6-3-55. 무안 어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)

인산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	14.28	14.28	17.14	16.19	13.33	15.04
2010. 10 (2차)	15.98	10.89	20.33	22.51	14.77	16.90
2010. 11 (3차)	10.89	18.64	7.99	12.35	1.13	10.20
2010. 12 (4차)	6.91	11.85	2.96	9.87	2.96	6.91
2011. 01 (5차)	2.96	2.47	2.96	1.97	1.48	2.37
2011. 03 (6차)	0.49	0.99	0.99	2.96	0.49	1.18

인산염에서도 암모니아염이나 질산염과 같이 1차와 2차가 어장정화 이전이고, 3차가 어장 정화 직후인 점을 고려하면 어장정화에 따른 공극수 중의 질산염 농도 차이에 유의적 관계는 찾을 수가 없었다.

무안 어장의 표층퇴적물 중 질소와 인 관련 화학종/용존종별 평균 농도의 변화 특징은 2차와 3차의 현장조사 시기에는 용존무기질소에 비해 용존무기인이 높은 특성을 보이지만, 기타 조시시기에는 인에 비해 질소의 존재비가 훨씬 높은 특성을 보였다. 그 경향은 겨울 1월 특히 강하게 나타났다(표 6-3-56).

표 6-3-56. 무안 어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화

종패	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Ammonia	678.7	124.5	90.18	126.5	122.9	48.67
Nitrite	2.15	0.89	0.64	1.52	1.23	0.99
Nitrate	18.19	28.32	20.43	24.30	246.7	8.09
DIN	699.0	153.7	111.3	152.3	370.8	57.75
Phosphate	15.04	16.90	10.20	6.91	2.37	1.18
N/P ratio	46.48	9.09	10.91	22.04	156.5	48.94

무안 어장의 표층퇴적물 공극수 중의 영양염류 농도에서도 어장 정화 이전과 이후는 물론 사업지구와 대조구 사이에서 일정한 유의적 관련성을 찾을 수 없는 것으로부터, 다른 해역의 어장과 같이 어장 정화에 의한 퇴적층의 개선 효과를 파악할 수는 없었다.

라. 무안 종패어장

무안 종패어장의 표층퇴적물 중 암모니아염의 시·공간적 변동은 4.56~1227.6 μM 의

범위로 매우 큰 변동 폭과 높은 농도를 나타내었으나, 계절적으로는 일정한 규칙성이 없이 매우 불규칙적 변동 특성을 나타내었다(표 6-3-57).

표 6-3-57. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 암모니아염 농도(μM)

암모니아염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	333.8	180.2	174.3	159.8	133.1	196.2
2010. 10 (2차)	33.56	56.81	73.89	15.90	120.7	60.17
2010. 11 (3차)	18.84	30.32	11.48	17.07	164.6	48.47
2010. 12 (4차)	63.88	69.97	1277.6	191.6	115.6	343.7
2011. 01 (5차)	155.1	176.4	44.11	27.38	45.63	89.72
2011. 03 (6차)	4.56	179.5	155.1	82.13	106.5	105.6

무안 종패어장의 공극수에서 이와 같이 높은 암모니아염 농도를 나타내는 것은 무안 어장과 같이 퇴적층에 연중 높은 유기물이 집적되어 있음을 나타내는 것으로 유기오염 정도가 매우 심각함을 나타내는 것이라 할 수 있다.

표층퇴적물 중 질산염의 시·공간적 변동은 $8.37\sim 428.5\ \mu\text{M}$ 의 범위로 암모니아염보다 절대값은 다소 낮지만 변동 폭은 매우 크게 나타났다. 정점 평균 농도로 보면 암모니아염과 유사하여 전체적으로 높은 농도를 나타내지만, 계절변화는 암모니아염과는 달리 겨울인 1월에 $465.3\ \mu\text{M}$ 로 가장 높은 농도를 보였다(표 6-3-58).

표 6-3-58. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 질산염 농도(μM)

질산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	38.99	34.16	23.50	22.83	25.83	29.06
2010. 10 (2차)	27.22	12.71	8.87	14.27	21.46	16.91
2010. 11 (3차)	21.58	39.92	56.95	69.78	58.39	49.32
2010. 12 (4차)	45.27	13.52	90.61	25.64	2.32	35.47
2011. 01 (5차)	381.1	409.5	410.7	396.7	428.5	465.3
2011. 03 (6차)	8.37	19.44	69.96	21.90	63.44	36.62

무안 종패어장의 경우, 무안 어장과 같이 공극수에서 겨울 높은 질산염 농도를 나타내는 것은, 같은 시기에 암모니아염 농도와 비교하면, 해역에서 유기물분해에 의한 질산염 생산보다 육지부 등 외부에서 유입될 가능성이 큰 것으로 판단된다. 그러나 외부 유입원이 무엇인지에 대해서는 금회조사에서 명확하게 할 수 없었다.

무안 종패어장 표층퇴적물 공극수 중 인산염의 시·공간적 변동은 $0.49\sim 36.76\ \mu\text{M}$ 의 범위로 매우 큰 변동 폭과 높은 인산염을 보였고, 계절적으로는 무안 어장과 같이 고수온기에 높고, 겨울과 초봄에 낮은 농도를 나타내었다(표 6-3-59).

표 6-3-59. 무안 종패어장의 조사시점 및 각 정점의 표층퇴적물 중 인산염 농도(μM)

인산염	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	Mean
2010. 07 (1차)	36.79	25.17	31.23	28.08	22.51	28.76
2010. 10 (2차)	5.33	28.56	27.11	3.87	10.89	15.15
2010. 11 (3차)	3.15	10.65	6.78	6.29	8.23	7.02
2010. 12 (4차)	8.89	4.94	19.75	4.44	9.87	9.58
2011. 01 (5차)	2.96	5.92	2.47	1.97	1.97	3.06
2011. 03 (6차)	0.49	0.99	2.96	0.99	0.99	1.28

무안 종패어장의 표층퇴적물 중 질소와 인 관련 화학종/용존종별 평균 농도의 변화 특징은 무안어장과는 다소 다르게 고수온기에는 용존무기질소에 비해 용존무기인이 높은 특성을 보이지만, 저수온기에는 인에 비해 질소의 존재비가 훨씬 높은 특성을 보였다. 그 경향은 겨울 1월 특히 강하게 나타났다(표 6-3-60).

표 6-3-60. 무안 종패어장의 조사시점에 따른 공극수 중 영양염류 평균농도의 변화

종패	1차	2차	3차	4차	5차	6차
Ammonia	196.2	60.17	48.47	343.7	89.72	105.6
Nitrite	1.10	0.79	1.24	4.39	1.16	3.85
Nitrate	29.06	16.91	49.32	35.47	465.3	36.62
DIN	226.4	77.89	99.03	383.6	556.2	146.1
Phosphate	28.76	15.15	7.02	9.58	3.06	1.28
N/P ratio	7.87	5.14	14.11	40.04	181.8	114.12

태안 종패어장의 표층퇴적물 공극수 중의 영양염류 농도에서도 어장 정화 이전과 이후는 물론 사업지구와 대조구 사이에서 일정한 유의적 관련성을 찾을 수 없는 것으로부터, 다른 해역의 어장과 같이 어장 정화에 의한 퇴적층의 개선 효과를 파악할 수는 없었다.

마. 고찰

서해 3개의 패류어장과 1개의 종패어장의 공극수에서 측정된 영양염 농도는 어장특성에 따라 매우 큰 차이를 보여, 사질 퇴적상을 나타내는 태안에서 낮고, 미세한 니질 퇴적상을 나타내는 무안패류 및 종패어장에서 극단적으로 높은 농도를 보였다(나와 이, 2005). 국내 연안에서 공극수의 영양염류에 대한 문헌은 많지 않지만, 국내의 일부자료(한과 박, 1992; 나와 이, 2005) 및 국외의 일부자료(Froelich et al., 1979; Berner, 1980; Suess et al., 1982; Henrichs and Farrington, 1984; Han and Suess, 1989; De Casabianca et al., 1997; Liu et al., 2003; Murray et al., 2005; Graca et al., 2006)와 비교하면, 태안 어장의 경우는 인산염은 서해 덕적도 주변해역과 유사하여, 표영환경에서 생물생산이 비교적 활발한 해역에 비하면 매우 낮은 농도를 나타내었다(Henrichs and Farrington, 1984; 한과 박, 1992; De Casabianca et al., 1997; Liu et al., 2003; Murray et al., 2005). 생물생산이 높은 남극해역의 일부 해역의 공극수에서는 500 μM 의 인산염이 보고되기도 하고(Suess et al., 1982), 생산력은 남극보다 다소 낮지만 북동태평양의 hemipelagic한 환경의 공극수에서도 인산염 최대 농도는 40 μM 을 나타내는 것을 보고하고 있다(Han and Suess, 1989). 그러나 부영양화가 진행된 흑해에서도 일반적으로 공극수의 인산염은 10 μM 이하이고 최대 약 30 μM 수준을 나타내는 것을 고려하면(Graca et al., 2006), 군산 선유도나 무안 어장 등 세립한 니질 퇴적층에서 일부 계절에 보여지는 인산염 농도는 매우 높은 수준이라 할 수 있다.

암모니아염의 경우도 흑해 등에서 10~890 μM 범위의 출현을 보고하기도 하지만, 생물생산 활동이 높은 호주 내만해역에서 약 140 μM (Murray et al., 2005), 발해만 등에서 약 150 μM 수준(Liu et al., 2003)을 보이는 것으로부터 태안어장의 암모니아염 농도는 매우 낮은 편이지만, 선유도는 상대적으로 높으며, 무안의 경우는 극단적으로 높은 농도를 나타내고 있음을 추정할 수 있었다. 질산염의 경우는 암모니아염이 산화되어 형성되지만, 퇴적층에서의 일반적인 연직분포는 표층퇴적물의 상부에서 높고, 1-2cm 이상의 깊이를 지나면서 지수함수적으로 감소하는 것이 알려진다. 즉, 아표층의 퇴적층에서는 유기물 분해과정에 산소가 부족하기에 산소대신 질산염을 산화제로 소비하는 것이 알려진다(Froelich et al., 1979; Berner, 1980). 태안 어장의 질산염은 강화도 갯벌의 상부조건대의 조립한 퇴적상을 나타내는 해역보다 낮은 값을 나타내지만(나와 이, 2005), 무안 어장의 경우는 다른 해역에서 보기 어려운 정도의 높은 농도를 나타내었다.

다만 표층퇴적물의 공극수에 용존하는 무기영양염류의 농도에 의한 어장 정화효과의 파악에 대해서는 어장 정화 이전과 이후는 물론 사업지구와 대조구 정점에서 분석한 영양염류의 농도에서 일정한 유의적 관계는 물론, 역 상관의 내용을 나타내는 것으로부터, 어장 정화에 의한 표층퇴적층의 개선 효과는 파악할 수 없었다.

3. 영양염에 대한 미세조류의 성장동력학 실험

영양염은 미세조류의 성장과 같은 기능적인 응답에 멈추지 않고 자연환경에서 종간의 경쟁, 공존 그리고 천이에까지 영향을 주는 중요한 요인이다. 더욱이 정화사업의 효과를 보기 위해서는 저서성 미세조류의 영양염(DIN, DIP)에 대한 성장 동력학실험을 통해 그들의 영양염에 대한 생리학조건을 알 필요가 있다. 본 실험에서 성장속도와 영양염의 관계는 Monod의 식으로($\mu = \mu_m \cdot S / (K_s + S)$, μ_m : 최대 증식속도, K_s : 반포화상수) 영양염의 동력학적 성장 능력을 평가한다. 여기서 K_s 는 최대 성장 속도의 절반에 해당되는 영양염의 농도로, K_s 값이 낮은 종은 퇴적물중 영양염에 대해서 친화성이 높으며, 저농도의 영양염 환경에서도 성장하기 때문에 생존전략에 유리한 위치에 있다고 말할 수 있다.

가. 저서미세조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 질산염 성장 동력학

Nitzschia sp.의 질산염 농도에 따른 최대 세포밀도는 1 μM 에서 약 8×10^2 cells/ml 이었으며, 농도가 증가할수록 최대 세포밀도가 증가하였고 100 μM 에서 약 3×10^4 cells/ml 까지 증가하였다(그림 6-3-1, a). 성장속도는 질산염 농도가 50 μM 까지 성장속도는 증가하였으며(0.13-0.49 /day), 그 이상의 농도에서는 비슷한 성장속도를 보였다. 질산염 농도에 따라 유도된 성장식은 $\mu = 0.52 \cdot S / (7.73 + S)$, ($R^2 = 0.93$)로, μ_{max} 는 0.52 /day, K_s 는 7.73 μM 로 나타났다(그림 6-3-1, b).

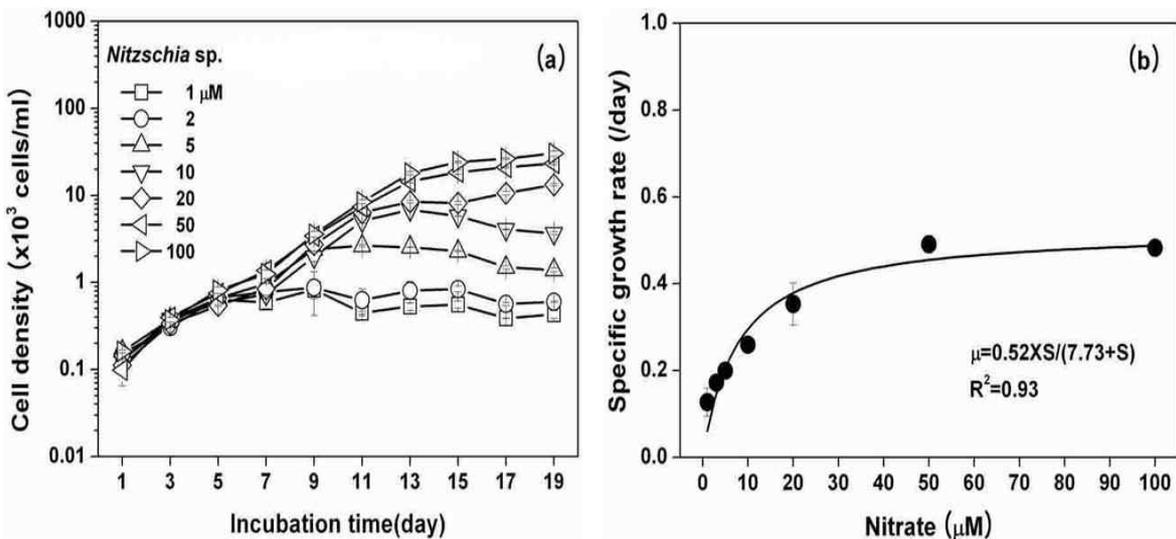


그림 6-3-1. (a) 저서미세조류 *Nitzschia* sp.의 질산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 질산염 농도에 따른 *Nitzschia* sp.의 성장곡선.

Navicula sp.의 질산염 농도에 따른 최대 세포밀도는 1 μM 에서 약 7×10^3 cells/ml 이었으며, 농도가 증가할수록 최대 세포밀도가 증가하였고 100 μM 에서 약 5×10^5 cells/ml

까지 증가하였다(그림 6-3-2, a). 성장속도는 질산염 농도가 50 μM 까지 성장속도는 증가하였으며(0.10-0.52 /day), 그 이상의 농도에서는 비슷한 성장속도를 보였다. 질산염 농도에 따라 유도된 성장식은 $\mu=0.57 \cdot S / (6.88+S)$, ($R^2=0.99$)로 μ_{\max} 는 0.57 /day, K_s 는 6.88 μM 로 나타났다(그림 6-3-2, b).

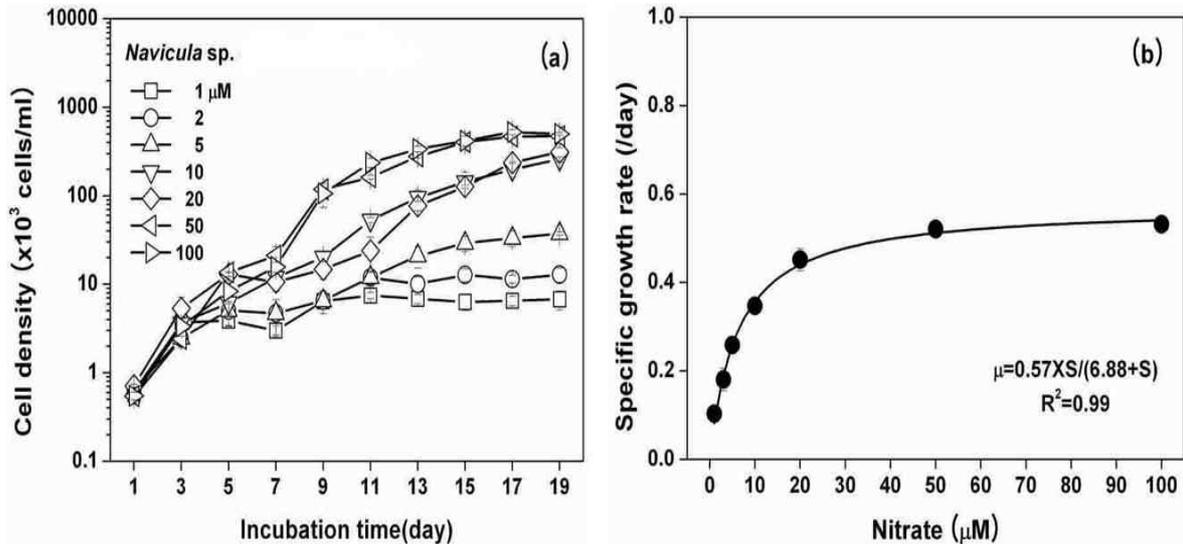


그림 6-3-2. (a) 저서미세조류 *Navicular sp.*의 질산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 질산염 농도에 따른 *Navicular sp.*의 성장곡선.

나. 저서미세조류 *Nitzschia sp.*와 *Navicula sp.*의 인산염 성장 동력학

*Nitzschia sp.*에서 인산염 농도에 따른 최대 세포밀도는 0.5 μM 에서 약 2×10^3 cells/ml이었으며, 농도가 증가할수록 최대 세포밀도가 증가하여 20 μM 은 약 4×10^4 cells/ml까지 도달하였다. 성장속도는 인산염 농도가 10 μM 까지 증가하였으며(0.19-0.47 /day), 그 이상의 농도에서는 비슷한 성장속도를 보였다(그림 6-3-3, a). 인산염 농도에 따라 유도된 성장식은 $\mu=0.53 \cdot S / (1.16+S)$, ($r^2=0.97$)로, μ_{\max} 는 0.53 /day, K_s 는 1.16 μM 로 나타났다(그림 6-3-3, b).

*Navicula sp.*는 0.5 μM 에서 약 4×10^3 cells/ml이고, 농도가 증가할수록 최대 세포밀도가 증가하여 20 μM 에서는 약 5×10^5 cells/ml이었다. 성장속도는 *Nitzschia sp.*와 같이 10 μM 까지 증가하였으며(0.21-0.55 /day), 그 이상의 농도에서는 비슷한 성장속도를 보였다(그림 6-3-4, a). 인산염 농도에 따라 유도된 성장식은 $\mu=0.59 \cdot S / (1.76+S)$, ($r^2=0.98$)로, μ_{\max} 는 0.59 /day, K_s 는 1.76 μM 로 나타났다(그림 6-3-4, b).

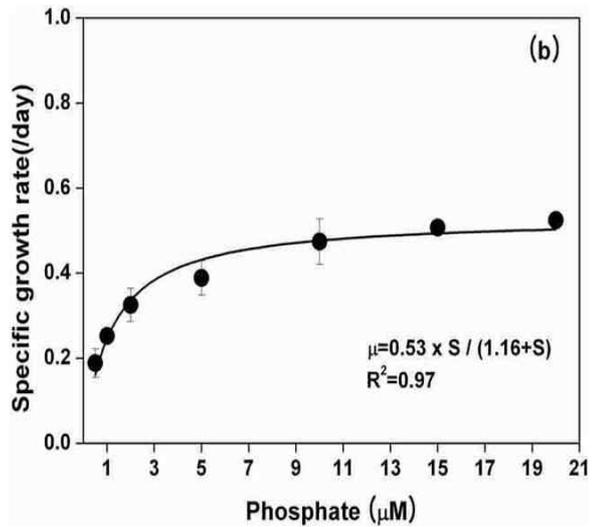
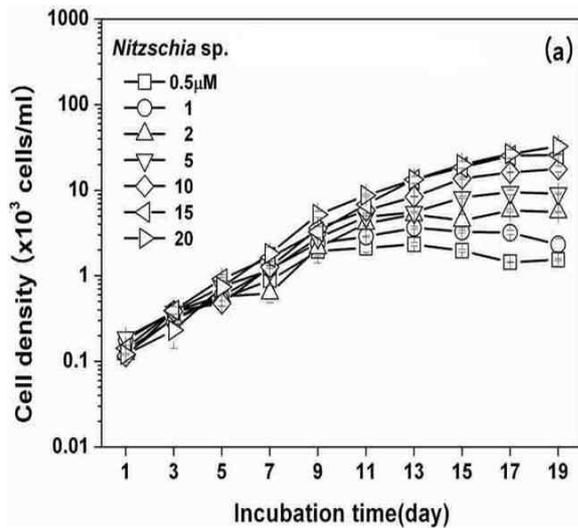


그림 6-3-3. (a) 저서미세조류 *Nitzschia* sp.의 인산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 인산염 농도에 따른 *Nitzschia* sp.의 성장곡선.

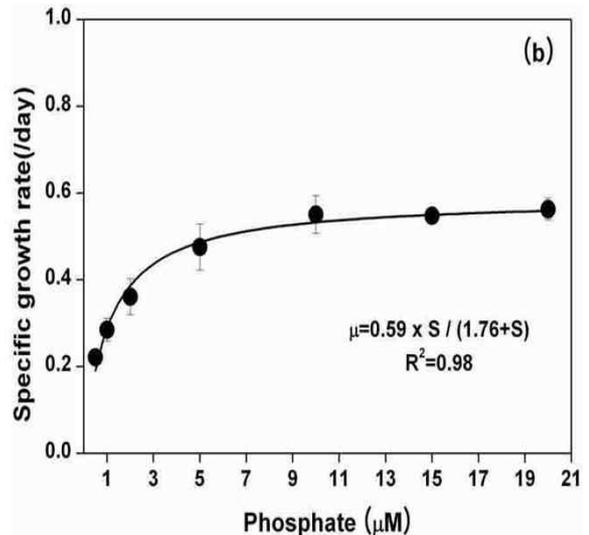
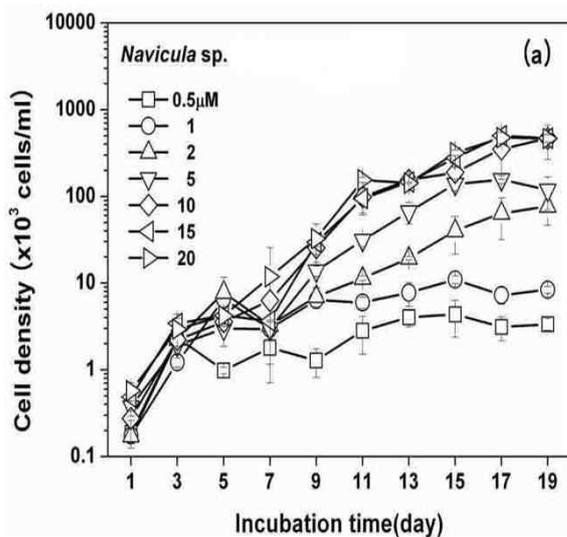


그림 6-3-4. (a) 저서미세조류 *Navicular* sp.의 인산염 농도에 따른 세포밀도변화. (b) 인산염 농도에 따른 *Navicular* sp.의 성장곡선.

다. 인산염 및 질산염 성장 동력학 결과로 본 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 이해 인산염 및 질산염 농도가 높을수록 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 성장속도는 높았다. 한편, K_s 는 제한 영양염에 대한 친화성을 나타내는 기준으로(Dugdale, 1967), K_s 가 높을수록 영양염에 대한 친화성이 낮고, 세포크기가 큰 종이 대략 높은 K_s 를 보인다(Epply et al., 1969). 인산염 성장 동력학 실험결과 *Nitzschia* sp. 및 *Navicula* sp.에 대한 K_s 는 우리나라 연안에서 연중 출현하고 있는 부유성 규조류 *Skeletonema costatum*($0.32 \mu\text{M}$; 일본 Hiroshima 만 클론), *Thalassiosira* sp. ($0.23 \mu\text{M}$; 일본 Hiroshima 만 클론), *Chaetoceros didymus*

(0.09 μM ; 일본 Hiroshima 만 클론), *Ditylum brightwellii*(0.16 μM ; 일본 Hiroshima 만 클론)보다 높았으며, 진해만에서도 어류패사의 원인종인 *Karenia mikimotoi*(0.14 μM ; 일본 Hiroshima 만 클론), 신경성 독성을 지닌 *Gymnodinium breve* (0.18 μM ; 미국 Florida 클론), 침편모조류 *Chattonella antiqua*(0.29 μM ; 일본 Hiroshima 만 클론)보다도 높았다(Vargo and Howard-Shanblott, 1990; 山口, 1994). 분리된 해역에 따라 종의 생리적인 현황이 변화하지만, 일본 Fukuoka 연안역의 퇴적물에서 분리한 *Nitzschia* sp.의 인산염 흡수 동력학 실험결과에 따른 K_s 값은 부유성 규조류보다 통상 100배 높았던 점과 비교하여도(오, 2008), 저서미세조류가 부유성 미세조류 보다 인산염에 대한 친화성이 낮아, *Nitzschia* sp. 및 *Navicula* sp.가 높은 인산염 환경에 적응되어 있다는 것을 알 수 있다.

조간대 해역은 육지의 부하량이 높아 유기물이 퇴적되나, 퇴적물 내의 물질 이동은 분자확산 수준에 머물기 때문에 유기물 분해에 필요한 산소의 공급은 매우 제한적이다. 따라서 분해효율이 낮은 혐기성 분해가 지배가 되기 때문에, 분해를 위해서는 많은 시간이 필요하다. 그로 인하여 저서생물의 성장은 크게 억제되며, 부영양화는 더욱 가속화된다. 이러한 해역의 생태계의 회복은 육상 부하량의 삭감만으로 해결할 수 없기 때문에 저질 자체의 적극적인 개선이 필요하다. 영양염 성장 동력학 실험결과 얻어진 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 K_s 값을 고려할 때 저서미세조류들의 성장을 촉진시키면 부영양화 된 저질의 영양염을 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 보이며, 이에 따라 부영양화를 해소할 수 있어, 이들 저서미세조류는 생물적 환경정화(phytoremediation)에 유용한 대상 종으로 생각된다.

라. 고찰

본 절은 대표적인 저서미세조류 *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.에 대한 영양염에 따른 성장특성을 실내실험을 통하여 파악하여 그들의 영양염 흡수전략을 살펴보았다. *Nitzschia* sp.와 *Navicula* sp.의 인산염 및 질산염 성장 동력학 실험결과, 높은 영양염을 요구하는 것으로 밝혀졌다. Sommer (1989)는 식물플랑크톤의 영양염 흡수전략을 (1) 저농도의 영양염을 효율적으로 흡수하는 전략(affinity strategy), (2) 흡수한 영양염을 빨리 이용하여 성장하는 성장전략(growth strategy), (3) 흡수한 영양염을 세포내에 축적하여 하는 전략(storage strategy)의 3개 생존유형을 구별하였다. 영양염 흡수동력학(uptake kinetic) 실험을 수행할 필요가 있지만, 저서미세조류의 경우 높은 영양염 요구량을 미뤄보아, 생존경쟁에서 세포내에 축적하는 전략을 선택하는 것으로 보인다. 대부분 미세조류에서 흡수한 DIP는 polyphosphate 형태로 축적을 하며, 세포내 인이 고갈되면 polyphosphatase를 이용하여 가수분해 후, 그들의 성장에 이용하게 된다. 따라서 세포내 축적이 높은 식물플랑크톤은 환경수 중의 영양염 변동에 크게 영향을 받지 않고 성장할 수 있다. 그런 까닭에 어장환경개선을 위해서는 조간대 일차생산자인 저서미세조류가 중요한 keystone species가 될 것이다.

제 4 절 결론

태안유류오염의 영향권 내의 위치하는 3개의 패류어장과 1개의 종패어장을 대상으로 어장정화 효과를 파악하기 위해, 어장정화 이전과 이후, 그리고 동일 조사시점에 대해 어장정화 사업지구와 대조구를 선정하여, 저서미세조류의 출현 종조성, 현존량과 우점종, 공극수 중의 영양염류 농도 및 우점 저서미세조류의 영양염류 동력학 등 저서미세조류 군집의 분포 및 생리·생태를 평가하는 방법으로 다양한 현장조사 및 분석, 그리고 실내실험을 실시하였다.

결과, 현장실험에서는 전체 대상 어장에서 어장정화 이전과 이후, 그리고 사업지구와 대조구 사이에서 공통적 유의적 관계는 확인할 수 없었다. 도리어 대부분 어장 및 조사시점에서 일반적으로 생각할 수 있는 반대의 결과가 보이는 등 통계학적 관련성은 찾을 수가 없었다. 이와 같은 결과는 현재 수행하고 있는 패류 어장정화방법으로 어장환경개선을 기대하기는 어렵거나, 아니면 현재의 조사방법에 의한 어장환경개선효과를 추적하기에는 많은 어려움이 산재하는 것을 나타내는 것으로, 보다 계획적이면서 체계적인 장기적 조사, 그러면서도 항목에 따라서는 조사간격을 조정할 수 있는 종합적인 연구가 필요한 것으로 판단할 수 있었다. 무엇보다도 노후화된 어장의 환경개선을 위해서는 개선시키고자 하는 대상, 대상물질 또는 대상생물의 특성, 대상어장 및 주변해역의 해양환경적 특성, 어장정화의 평가 대상 항목, 개선지속시간, 개선목표 등에 대한 종합적 고찰에 의한 학제적 계획수립과 현장조사가 필요할 것이다.

제7장 경제성 분석

제1절 효과 분석

1. 연구개요

어장환경개선 사업은 정부지원사업으로 시행하고 있으며, 본 연구의 연구대상은 일반적인 어장환경개선이라기 보다는 2007년 12월 7일 만리포 북 서방 5해리 해상에서 유조선과 예인선의 부선이 충돌하면서 발생한 허베이 스피리트호 유류오염사고의 피해 지역에 대한 지원사업의 형태라 할 수 있다.

어장환경개선사업의 효과분석에 대한 주요 선행연구를 살펴보면 신영태 외(2005년)에서는 어장정화사업의 효과를 어장정화로 인해 어장환경이 개선되고, 이것이 어장생산성 증가에 기여하는 직접효과와 직접 어장생산성 증가를 가져오는 것은 아니나 어장정화로 인해 부수적으로 발생하는 간접효과를 추정하였다.

일본은 2009년에 수산청에서 수산기반정비사업에 대한 정확한 사업 계획의 책정이나 수산기반정비사업 의의의 국민 각층의 이해에 도움을 주기위하여 효과분석의 가이드 라인을 설정한 사례가 있다.

이와 같이 공공투자사업에 대한 사회경제적 타당성을 평가한다는 것은 투자사업으로 인한 경제적 효과뿐만 아니라 정책·기술적 효과 등이 사회적으로 투자되는 비용을 고려하였을 때 사업을 추진하는 것이 타당한지 분석을 통하여 판단하는 것이라 할 수 있다.

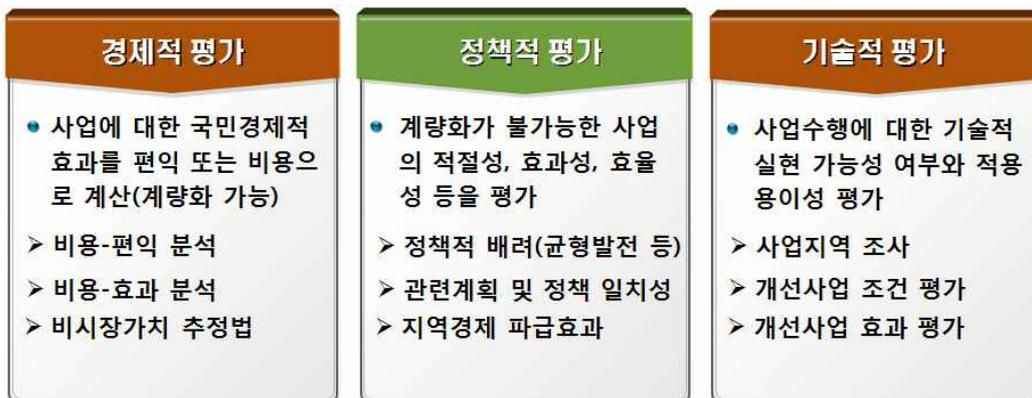


그림.7-1-1. 사업의 사회·경제적 타당성 평가

여기에서 중요한 부분은 사회·경제적 효과이며, 경제적 효과의 측정은 사업을 통한 직·간접적으로 발생하는 사회적인 긍정적 효과가 어느 정도인지를 측정하는 것이다. 경제적인 효과를 측정하는 것은 대부분 금액으로 환산하여 정량적 분석이 가능하지만, 사회적인

긍정적 효과의 경우는 금액으로 환산하기 곤란하여 대부분 정성적 분석에서 그치는 경우가 많다.

본 연구의 대상과 같이 지역적으로 추진되는 어장환경개선사업은 지역적 어업소득증대 및 환경개선에 따른 해양생태계 회복 효과, 체험관광의 기회 증대 등의 직간접 효과를 발생시킨다.

그러나 어장환경개선 사업과 같은 공공투자사업에 대한 효과적인 운영 및 향후 사업추진 방향에 대한 정책입안자들 관심이 증대되고 있음에도 불구하고 어장환경개선 사업에 대한 경제적 효과분석 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 2010년 어장환경개선사업을 실시한 태안지역 원청리 어촌계, 군산지역 선유도 어촌계, 무안지역 만풍 어촌계, 3개 지역을 대상으로 사업으로 인한 직접효과 및 간접효과를 정량적인 방법과 정성적 방법을 이용하여 추정을 실시하였다.

표 7-1-1. 분석의 필요성 및 목적

구 분	내 용
필요성	<ul style="list-style-type: none"> - 어장환경개선 사업과 같은 공공투자사업에 대한 효과적인 운영 및 향후 사업추진 방향에 대한 정책입안자들 관심증대 - 어장환경개선 사업에 대한 경제적 효과분석 미흡 - 객관성 높은 어장환경개선 사업에 대한 효과의 추정 필요
목 적	<ul style="list-style-type: none"> - 2010년 어장환경개선사업 실시지역(원청리, 선유도, 만풍 어촌계)을 대상으로 직·간접 효과를 추정 - 어장환경개선사업에 대한 사회·경제적 효과 분석을 통해 사업의 타당성을 검토 - 어장환경개선 사업의 지속적 추진을 위한 기초자료로 이용

2. 자료 및 방법

가. 효과분석 사례 검토

앞서 언급하였던 바와 같이 어장환경개선 사업에 대한 효과분석의 사례는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 신영태 외(2005)의 연구, 표희동(2007)의 연구, 일본의 수산기반 정비사업 가이드라인 등을 선행연구로 검토하였다.

첫째, 신영태 외(2005)에서는 어장정화사업이 이루어진 고성만(굴), 고흔만(피조개 채묘), 전남지역의 가막만(굴), 득량만(새고막)을 대상으로 어장환경개선으로 인한 어장생산성 제고간의 인과관계를 계량적으로 측정하는 방법으로 직접효과를 추정하였다. 어장정화가 어장의 환경을 개선하기 위해 시행하는 사업이고 어장환경개선은 어장생

산성 제고에 직접적으로 기여할 경우 어장정화가 효과적으로 시행되었다 할 수 있으며, 이 경우 어장정화와 어장환경개선, 어장환경개선과 생산성 제고간의 인과관계가 있다는 전제가 내포되어 있다.

직접효과분석의 결과를 살펴보면 고성만은 COD 수치가 1% 높아지면 생산량은 0.56%정도 감소하는 것으로 나타났으며, 고현만은 TN 수치가 1% 높아지면 생산량은 1.2%정도 감소하는 것으로 분석된다.

가막만의 경우는 COD 수치가 1% 높아지면 생산량은 1.2%정도 감소하는 것으로 나타났으며, 득량만은 DO 수치가 1% 높아지면 생산량은 7.8%정도 증가하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 각 지역별로 생산량에 영향을 미치는 환경지표가 상이함을 알 수 있으며, 또한 환경지표의 변화에 따른 생산량 변화 정도도 다르다는 것을 시사하고 있다.

표 7-1-2. 어장정화에 의한 생산성 증대 효과

구 분	어장정화에 의한 연 생산성 증대 효과
고성만	9.76
고현만	6.27
가막만	2.78
득량만	7.85

간접효과는 어장 정화로 인한 일반 국민들의 만족도를 6대 광역시와 10개 지자체를 구별하여 CVM기법을 이용하여 추정하였다. 간접효과분석의 결과를 살펴보면 연간 사회·경제적 가치로 연간 112,375.2 백 만원~151.735.9 백 만원을 가지는 것으로 분석되었다.

둘째, 표희동(2007)에서는 2000년부터 2005년에 오염해역 준설사업으로 시행된 여수 선소해역에 대한 정화사업의 경제적 효과를 실시하였다. 직접효과인 수산물생산증가효과는 수산물 폐사율 및 감염율이 5% 수준 감소하는 것으로 가정하였으며, 간접효과로는 사업으로 인해 질병발생률이 감소함에 따라 소비자의 수산 동물에 대한 소비가 회복하는 효과를 준이상수요체계(AIDS)모델을 이용하여 추정하였으며, 관광증가효과를 추정하기 위해서 가장 일반화되어 있는 여행비용법(TCM)을 이용하여 관광수요함수를 추정하였다. 추정결과 수산물생산증가효과와 수산물소비회복효과는 연간 107.78억원, 연간 관광증가효과는 67.445억원 수준으로 추정되어 연간 총 175억원의 경제적 편익이 발생하는 것으로 나타났다.

셋째, 일본의 수산청(2009) 수산기반정비사업 비용대효과분석의 가이드라인에서는 어장환경개선사업과 같은 어장관계사업의 편익 계측방법을 제시해 놓았다. 수산관계공공사업 (수산기반정비사업 및 해안사업)에 대해 사업선정 전부터 사업완료 후에 이르기까지 사업의 실시과정의 투명성과 객관성을 확보하면서 보다 효율적인 사업의 집행을 도모하기 위해 사전평가, 기간 중의 평가 그리고 완료 후의 평가로 이루어지는 사업평가 제도를 도입하고 있다.

사회적 할인율은 자본, 기회비용에 의해 설정하는 고려방법에 근거하여 시장이자율(국채 등의 실질이율 등)을 참고가격으로 하여 0.04(4%)로 한다. 또한 분석대상기간은 투석·증식기질 등 사업에 대해서는 30년을 기타사업에 대해서는 10년으로 설정해 놓고 있다.

어장관계사업의 실시예 수반해 발생하는 편익은 아래표의 평가항목을 기준으로 산정하도록 규정하고 있다.

표 7-1-3. 효과의 평가항목과 기본적인 평가방법

평가항목		평가방법			
		비용편익 적상법	CVM	TCM	대체법
1. 수산물의 생산성 향상	①수산물생산코스트의 삭감효과	●			
	②어획기회의 증대효과	●			
	③어획가능자원의 유지·배양효과	●			
	④어획물부가가치와의 효과	●			
2. 어업 취업환경의 향상	⑤어업취업자의 노동환경개선효과	●			
3. 생활환경의 향상	⑥생활환경의 개선효과	●			
4. 지역산업의 활성화	⑦어업외산업에의 효과	●			
5. 비상시·긴급시 의 대처	⑧생명·재산보전·방어효과	●			
	⑨피난·구조·재해대책효과	●			
6. 자연보전, 문화의 계승	⑩자연환경보전·복원효과		○		○
	⑪경관개선효과		○		○
	⑫지역문화보전·계승효과	○	○		
7. 기타	⑬시설이용자의 편리성향상효과	○		○	

넷째, 일본 아이치현 미카 지역의 사례를 살펴보면 연안 폐쇄적 수역(수심 10m)에 유입 하천의 환경 부하 및 매립에 의한 갯벌 상실 발생하였다. 이로 인하여 어장의 부영양화 발생 적조 및 청조가 빈번하게 발생되어 유기물의 해저 침적으로 산소 과다 소비로 인해 산소 결핍 현상 발생했다.

수질 정화 기능 악화 및 조개의 서식환경 악화, 어장 생산력 저하 등은 미카지역의 현내 바지락 주요 어장, 바지락의 대량 폐사 발생으로 어획량 감소, 어업인 경영악화 등 부정적 어업환경을 초래하게 되었다.

2002년부터 2004년까지 어장 180ha에 대하여 토량 158 m³을 준설을 실시하였다. 어장 내 준설 토사를 이용한 갯벌 천장 조성 및 바지락 어장의 어장정화 사업이 추진되었다.

또한, 국토 교통사업과의 연계를 통해 준설 토사를 활용하여 갯벌 조성비용(5,968백만 엔 감축)을 감축하였다.

어장환경개선을 통한 사업효과를 살펴보면 사업 전에는 적조, 청조의 발생 건수는 약간 증가 추세에 있었으나 사업 후 감소추세를 보이게 되었으며, 개량조개의 어장환경 개선 및 바지락 종묘 방류의 중요환경인 갯벌 환경개선 등 어장의 생산성이 향상 되었다.

바지락의 경우 6,355 t/년(사업전 2년 평균)에서 9,047 t/년(사업후 2년 평균)으로 약 42.3% 가 증가하였으며, 개량조개는 697 t/년에서 1,679 t/년으로 약 140%가 증가하였다.

이와 더불어 어장환경개선사업의 간접효과라 할 수 있는 관광객 증대효과도 가지고 온 것으로 나타났다.

갯벌 조성으로 조개잡이 체험 어장으로 도시 관광객 유입되어 사업이전에 비하여 관광객이 약 3.2배 증가하였으며, 인근 어업인의 환경개선에 따른 정착인식도 개선되었다.

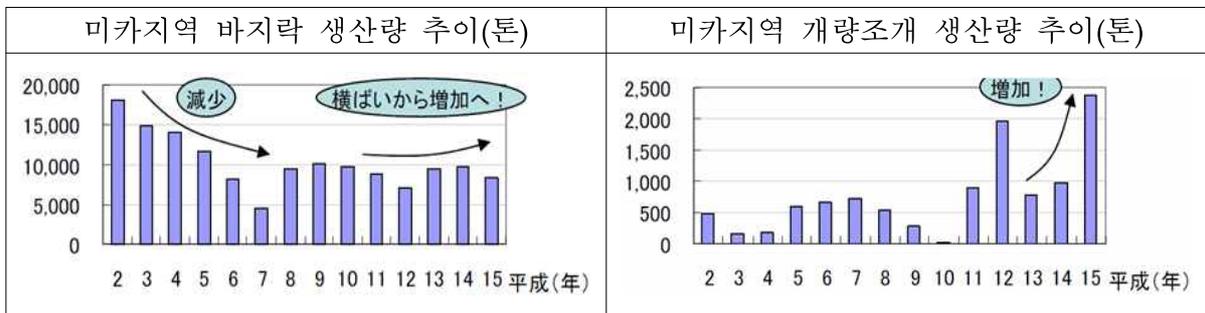


그림 7-1-2. 일본 미카지역 수산물 생산량 증대 현황

나. 효과분석 대상

효과분석의 지역적 대상은 2010년 어장환경개선사업을 실시하였던 3개 지역으로 충청남도 태안의 원청리 어촌계, 전라북도 군산 선유도 어촌계, 전라남도 무안 만풍어촌계가 포함된다.

첫째, 원청리 어촌계는 태안양식 제 421호(면적 : 20ha)와 충남양식 제 1886호(면적 : 10ha)가 사업어장이며, 사업시기는 10월 5일에 시작하여 10월 13일까지이다.

둘째, 선유도 어촌계의 사업어장은 마을어업 제5254호(면적 25ha)로 사업시기는 10월 6일에 시작하여 10월 26일까지 실시되었다.

셋째, 만풍 어촌계는 무안마을어업 제2055호(면적 54ha)가 사업어장이며, 9월초부터 10월 20일까지 개선사업이 실시되었다.

표 7-1-4. 분석의 대상지역 사업현황

구분	충청남도 태안지역	전라북도 군산지역	전라남도 무안지역
어촌계	원청리 어촌계	선유도 어촌계	만풍 어촌계
사업시기	10월 5일(시작)~ 10월 13일(종료)	10월 6일(시작)~ 10월23일(종료)	9월초(시작)~ 10월 20일(종료)
사업어장	태안양식 제 421호 (면적 20ha) 충남양식 제 1886호 (면적 10ha)	마을어업 제5254호 (면적 25ha)	무안마을어업 제2055호 (면적 54ha)
사업내용	태안양식 제 421호 (잡석제거, 경운, 자갈살포) 충남양식 제 1886호 (잡석제거, 경운)	잡석제거, 조간대폐기물 제거(61톤), 투석, 경운	조간대폐기물수거사업, 어장바닥경운작업
어장특성	양식어장 바지락, 굴 등 양식	마을어장 바지락, 굴, 가무락 등 양식	마을어장 뉘지, 굴 등 양식

효과분석 대상의 지역적 개황을 살펴보면 태안 원청리 어촌계는 어가수가 점차 감소하고 있으며, 어선세력도 약화되고 있다. 주요 생산 수산물은 바지락, 굴, 해삼으로 2009년 대비 2010년에는 약 20%정도 감소한 것으로 나타난다. 그러나 대부분의 어촌계원이 겸업을 하고 있어 호당 평균소득은 상대적으로 증가한 것으로 파악된다.

표 7-1-5. 태안 원청리 어촌계 현황

년도	가구(호)		인구(명)		구성원수					자연 부락수
	전체	어가	전체	어업	계원				준계원	
					계	전업	겸업	피용		
2008	145	80	341	110	74	0	74	0	1	1
2009	146	75	339	75	74	0	74	0	1	1
2010	147	74	342	74	74		74		1	1

년도	해조류양식		패류양식		어류 등양식		마을어업		어선 세력 (척)
	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	
2008	0	0	3	32	0	0	2	12	14
2009	0	0	3	32	0	0	2	12	14
2010	0	0	5	44	0	0	2	12	6

년도	해당수협	수산물생산실적			호당평균소득 (천원)
		물량(톤)	금액(백만원)	주생산품	
2008	태안남면수협	201	413	바지락,해삼	21,000
2009	태안남면수협	51	190	바지락,해삼,전복	28,000
2010	태안남면수협	700	148	바지락, 굴, 해삼	31,000

자료 : 수협중앙회 어촌계 분류평정, 각 년도 제작성

군산 선유도 어촌계의 경우 어업인구가 약 450명으로 매우 큰 어촌계라고 할 수 있으며, 포함되는 자연부락도 5개인 것으로 나타났다. 원청리어촌계가 자연부락이 1개가 속해 있음을 고려할 때 상대적으로 규모가 큰 어촌계라 할 수 있다.

2009년 이후 어촌계원의 수가 급속도로 증가를 하였으며, 어선세력도 2009년 대비 증가한 것으로 나타났다. 일반적으로 전체 연근해 어업에 있어서 어선의 세력이 감소되고 있는 추세에서 선유도 어촌계의 경우는 특이점을 갖는 것으로 보인다.

주요 생산 수산물로는 김, 바지락, 꽃게 등이 생산되고 있으며, 해양관광을 중심으로 개별 판매 등으로 어업소득이 증가한 것으로 판단된다.

표 7-1-6. 군산 선유도 어촌계 현황

년도	가구(호)		인구(명)		구성원수					자연 부락수
	전체	어가	전체	어업	계원				준계원	
					계	전업	겸업	피용		
2008	241	220	561	345	188	53	128	7	18	3
2009	160	140	680	450	198	150	48	0	0	5
2010	165	150	650	450	450	380	70	0	0	5

년도	해조류양식		패류양식		어류 등양식		마을어업		어선 세력 (척)
	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	
2008	3	410	1	20	0	0	3	20	130
2009	3	510	1	20	0	0	6	60	115
2010	3	510	1	20	0	0	6	70	130

년도	해당수협	수산물생산실적			호당평균소득 (천원)
		물량(톤)	금액(백만원)	주생산품	
2008	군산시수협	1,120	4,315	김, 멸치, 잡어	26,000
2009	군산시수협	3,750	45,000	김, 바지락, 우럭	37,000
2010	군산시수협	3750	45,000	김, 바지락, 꽃게	45,000

자료 : 수협중앙회 어촌계 분류평정, 각 년도 제작성

무안 만풍 어촌계의 경우 어업인구가 약 200명으로 2009년 대비 어가 및 어업인구가 증가한 것으로 파악된다. 또한 어선세력도 전년대비 증가하였다.

어장의 면적은 마을어장이 가장 넓으며, 마을어장 중심의 어업이 이루어지고 있다.

굴, 뉘지, 김 등이 주요 생산 수산물로 호당 평균 소득은 약 3천만 원 정도인 것으로 분석된다.

표 7-1-7. 무안 만풍 어촌계 현황

년도	가구(호)		인구(명)		구성 원수					자연 부락수
	전체	어가	전체	어업	계원				준계원	
					계	전업	겸업	피용		
2008	203	88	405	177	44	5	39	0	133	4
2009	203	88	405	177	44	-	44	-	-	5
2010	300	150	700	200	44	30	14	0	0	5

년도	해조류양식		패류양식		어류 등양식		마을어업		어선 세력 (척)
	건수	면적	건수	면적	건수	면적	건수	면적	
2008	1	47	1	1	1	1	3	105	34
2009	1	47	1	1	1	1	3	105	4
2010	2	65	0	0	0	0	2	100	15

년도	해당수협	수산물생산실적			호당평균소득 (천원)
		물량(톤)	금액(백만원)	주생산품	
2008	목포수협	410	1,100	김	26,000
2009	목포수협	410	1,100	김, 뉘지, 굴	30,000
2010	목포수협		320	굴, 뉘지, 김	30,000

자료 : 수협중앙회 어촌계 분류평정, 각 년도 제작성

다. 효과분석 방법 및 이론 검토

(1) 어장정화사업의 효과

경제적인 효과를 측정하는 것은 대부분 금액으로 환산하여 정량적 분석이 가능하지만, 사회적인 긍정적 효과의 경우는 금액으로 환산하기 곤란하여 대부분 정성적 분석에서 그치는 경우가 많다.

어장환경개선사업이 시행될 경우 사업수행에 따른 부가가치가 창출됨으로써 경제적 편익이 발생한다. 이와 같은 경제적 편익은 사업수행으로 인한 자원의 서비스에 대한 변화에 따라 생산자잉여와 소비자잉여와 같은 후생변화로 측정될 수 있다. 이와 같은 총경제적 가치는 크게 사용가치(use value)와 비사용 가치(non-use value)로 분류할 수 있다.

먼저 사용가치(use value)란 한 자원의 서비스에 대해 물리적 이용함으로써 누리는 편익으로 직·간접적 사용가치 또는 소비적·비소비적 사용가치를 포함하고 있다. 직접적 또는 소비적 사용가치는 수산물과 같은 시장재화의 직접적 소비와 레크레이션과 같은 비시장재화의 직접적 소비와 관련한 가치를 의미한다. 간접적 또는 비소비적 사용가치는 동일한 자원을 즐기는데 있어서 한 개인의 자원이용이 다른 사람의 자원이

용을 방해하지 않는 것과 관련된 것으로 대부분 비시장재화의 가치이다.

비사용가치란 사용가치를 초월해서 현재 이용하지 않지만 자연자원에 존재하는 그 자체가 보존할 만한 가치가 있는 편익으로 선택가치, 존재가치, 유산가치 및 고유가치 등이 있다. 선택가치(option value)는 개인이 미래에 자원을 이용할 기회에 대해 지불할 의사가 있는 편익으로 잠재적 사용가치로서 사용가치로 분류하기도 한다. 존재가치(existence value)는 자원의 존재자체에서부터의 개인의 만족에 대한 가치이고, 유산가치(bequest value)는 본인 자신이 아닌 자신의 후손이 장래에 자원의 이용으로부터 누릴 수 있는 편익에 대하여 부여하는 가치이다. 고유적 또는 본질적 가치(inherent value)는 인간의 편익과 관계없이 자원 또는 생태계자체들의 존재를 위한 가치이다.

물론 이러한 방법으로 범주를 구분하는 것은 서로 독립적인 생태변수가 아니라 서로 영향을 주고받는 것이기 때문에 모든 편익을 포함하지 못하고 있을 수 있으며(누락), 동시에 상호 배타적이지도 않다(이중계산). 따라서 심각한 이중계산의 문제를 내포하고 있으나 사실상 복잡한 생태계의 연관성을 논리적으로 구분하는 것은 애초에 가능하지 못한 것이기 때문에 이러한 구분은 제한된 범위 내에서만 합리적이라고 할 수 있다.

어장환경개선사업에 따른 경제적 편익은 아래 표에 나타난 바와 같이 크게 수산물 생산량 증가에 따른 어업생산 금액증가, 어업비용감소 효과, 관광증가효과, 해양생태계 회복 및 개선 효과 등을 들 수 있다.

어장의 오염퇴적물로 인해 어류 등 수산물의 폐사율이나 질병감염율이 증가하여 수산물 생산량이 감소하게 되며, 오염된 해역의 악취나 불쾌감으로 인해 이 해역을 여행하는 방문자의 수가 줄고, 해당 인접지역의 주민들의 생활환경이 악화되고, 건강위험에 노출될 수 있다.

어장정화사업을 통하여 해양오염 퇴적물을 제거함으로써 이러한 경제활동으로 인해 발생할 수 있는 편익이 회복되거나 증가될 수 있다.

표 7-1-8. 어장환경개선 사업의 효과

항목 구분		발생 요인	추정
어업소득 증대	어업생산 금액 증가	어장환경 개선, 어장면적 확대 등에 의한 어업생산량 증가	사업의 직접효과 (정량적 추정)
	어업비용 감소	조업어장의 자원량 증대로 어획 노력 감소	
체험관광 유어낚시	체험관광 소득	사업 지역에서의 체험관광 안내소득 증가	사업의 간접효과 (정량적 추정 : ITCM)
	유어낚시 소득	어장환경 개선 등으로 유어객 증가에 따른 안내 소득 증가	
해양생태 계 회복 및 개선	체험/유어 파급효과	낚시점·스킨스쿠버샵·숙박업 등의 활성화	사업의 간접효과 (비사용가치 - 추정제외)
	오염정화	오염정화량 증가에 따른 해양환경 개선	
	생태계 복원 생물자원 보전	자원회복 및 해양생태계 복원, 해양환경 개선을 통한 생물자원 보전	

(2) 효과 추정 방법

국가공공사업 또는 일반적 기업사업 등 사업을 수행함에 따른 효과를 분석하는데 있어서 편익의 정확한 추정은 매우 중요하다.

이와 같은 경제적 효과의 추정에 있어서 중요한 기본원칙은 사업을 수행하였을 경우 (with the project)와 수행하지 않았을 경우(without the project)의 차이에 의거하여 편익을 파악해야지 사업을 하기 전(before the project)과 사업을 한 후(after the project)의 차이를 비교하여서는 안 된다는 것이다.

왜냐하면 사업을 수행하였을 경우와 하지 않았을 경우를 비교하여야 만 진정한 기회비용을 고려할 수 있기 때문이다. 이와 같이 사업시행전과 후의 차이를 바탕으로 한 편익과 비용의 추정을 전후검증이라고 하고, 사업을 수행한 경우와 그렇지 않은 경우의 차이를 바탕으로 한 편익과 비용의 추정을 유무검증이라고 한다. 경제학에서는 항상 기회비용의 개념을 근거하고 있기 때문에 이 이론에 입각한 유무검증원칙을 준수하여 경제적 효과 분석을 실시하는 것이 바람직하다(이정전, 2000).

유무검증은 증분적 현금흐름 (incremental cash flow)원칙을 기준으로 하게 되며, 여기서 현금흐름의 증분(incremental cash flows)이란 어떤 기업이나 사업에 대해 투자 안이 있는 경우(with project)의 미래 현금흐름과 투자 안이 없는 경우(without project)의 미래 현금흐름간의 차이로서 투자안의 채택여부는 그 투자 안에서 발생하는 현금흐름의 증분만을 고려하면 되는데 이를 독립기업의 원칙(stand-alone principle)이라 부른다.

예를 들어서 일정한 지역에 어장환경개선사업을 수행한다고 하자. 사업을 수행하기 전 시점에서 수산물의 생산량은 150톤이며, 어장개선 사업 수행하지 않을 경우에는 수산물의 생산량 200톤, 어장개선 사업 수행하지 않을 경우에는 수산물 생산량 100톤이라고 가정하면, 전후검증에 의한 생산량은 150톤에서 100톤으로 생산량이 50톤 감소하게 된다. 유무검증에 의한 생산량은 150톤에서 200톤으로 생산량이 50톤 증가하며, 사업이 없을 경우에 50톤의 생산량 감소폭을 포함한 100톤(50톤+50톤)의 실질적 증가효과를 가지게 된다.

표 7-1-9. 유무검증과 전후검증

구분	생산량 가정
어장개선 사업 수행하지 않을 경우	→ 수산물 생산량 100톤
어장개선 사업 수행한 경우	→ 수산물 생산량 200톤
어장개선 사업 이전의 경우	→ 수산물 생산량 150톤
-전후검증에 의한 생산량 증가효과 : - 50만 톤	
-유무검증에 의한 자원량 증가효과 : 100만 톤	

(3) 직접효과

결국 어장환경개선사업의 직접 효과는 사업지역 이용 어업인의 생산자잉여증가라 할 수 있으며, 앞서 언급하였던 바와 같이 수입증가에 의한 순소득상승효과(Δabc)와 비용감소효과($\square abde$)로 구분할 수 있으며, 이를 그림으로 나타내면 아래와 같다.

완전경쟁시장하에서의 단기공급곡선은 평균가변비용의 최저점 이상의 한계비용 (marginal cost)곡선으로 비용함수를 생산량에 의해 미분한 함수를 말한다. 이와 같은 공급함수는 기술수준, 생산요소의 가격, 해당재화의 가격, 다른 재화의 가격 및 공급자의 예측들의 함수인데, 이상의 여러 가지 요인 중에서 해당재화의 가격은 공급량의 변동(changes in quantity supplied)에 영향을 주고, 나머지 다른 요인들은 공급의 변동(changes in supply)에 영향을 주어 공급곡선 자체를 이동(shift)시킨다.

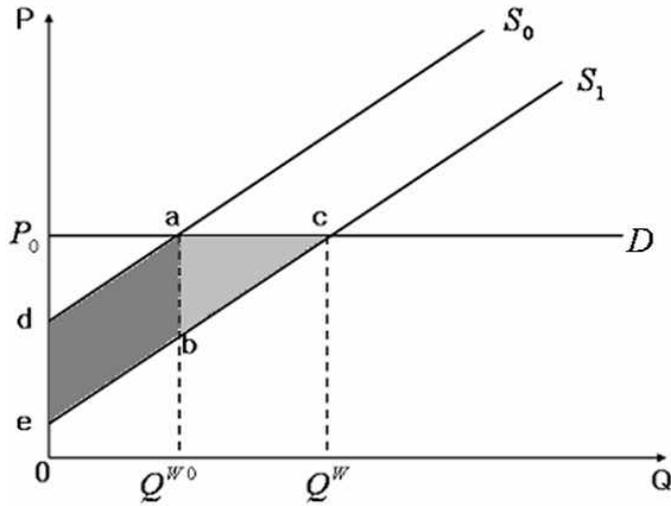


그림 7-1-3. 생산자잉여증가효과

어장환경개선사업을 하지 않았을 때의 공급곡선을 S_0 라 하면 어장환경개선사업을 실시하여 어류 폐사율과 전염율을 감소, 생산 환경 개선에 따른 생산량 증대 효과로 공급곡선이 S_1 로 오른쪽으로 이동하게 될 것이다. 이럴 경우 생산량은 Q_1 에서 Q_0 로 증가하여 생산자잉여 증가효과를 기대할 수 있다

이를 수식으로 이를 파악하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{생산자잉여증가효과} &= \sum_i NB_{ti}^w - NB_{ti}^{wo} = \sum_i (TR_{ti}^w - TC_{ti}^w) - (TR_{ti}^{wo} - TC_{ti}^{wo}) \\
 &= \sum_i (PQ_{ti}^w - FC - v_{ti}^w Q_{ti}^w) - (PQ_{ti}^{wo} - FC - v_{ti}^{wo} Q_{ti}^{wo}) \\
 &= \sum_i \{P(Q_{ti}^w - Q_{ti}^{wo}) - v_{ti}^w (Q_{ti}^w - Q_{ti}^{wo})\} + \sum_i (v_{ti}^{wo} - v_{ti}^w) Q_{ti}^{wo} \\
 &= \sum_i (P_i - v_{ti}^w)(Q_{ti}^w - Q_{ti}^{wo}) + \sum_i (v_{ti}^{wo} - v_{ti}^w) Q_{ti}^{wo}
 \end{aligned}$$

- | | |
|---------------------------|----------------|
| $, NB$ = 어장환경개선사업에 따른 순편익 | TR = 총수입 |
| TC = 총비용 | FC = 총고정비 |
| P = 수산물의 판매가격 | Q = 수산물 판매량 |
| v = 평균변동비용 | w = 사업수행의 경우 |
| wo = 사업미수행의 경우 | t = 발생시점 |
| i = 수산물 | |

위 식에서 생산량증가에 따른 순소득상승효과와 비용감소효과를 분리하면 다음과 같다.

$$\text{생산량증가에 따른 순소득상승효과} = \sum_i (P_i - v_{ti}^w)(Q_{ti}^w - Q_{ti}^{wo})$$

$$\text{어업비용감소효과} = \sum_i (v_{ti}^{wo} - v_{ti}^w) Q_{ti}^{wo}$$

어업비용감소효과의 경제이론적 근거를 보다 구체적으로 살펴보면 아래 그림에 나타난 바와 같이 생산성향상에 의한 어업비용절감효과는 기술변화에 따른 비용절감효과 ΔC_1 과 A에서 B로 생산량이 증가함에 따라 발생하는 생산량변화효과 ΔC_2 로 구분할 수 있다. 여기서 ΔC_2 는 평균비용곡선이 수평이 아니고 우하향하여 규모의 경제인 상태에서 생산량이 늘어남으로써 발생한 생산성변화이다.

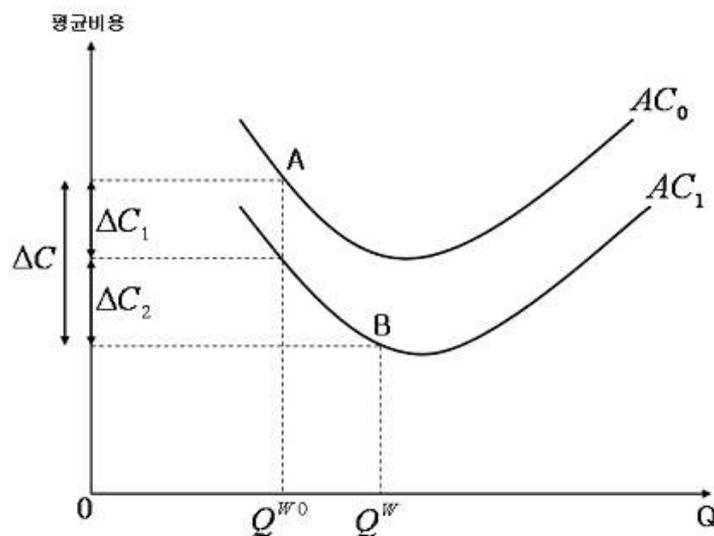


그림 7-1-4. 비용 절감효과

본 연구에서 직접효과는 3개 사업대상지역의 수산물 생산량 증가에 따른 어업소득 증가를 추정하였다. 추정을 위한 방법으로 우선 사업에 따른 생산량 증가 효과를 면밀하게 추정할 필요성에 의하여 복합적 방법을 이용하였다.

첫째, 선행연구 검토에서 나타났던 환경개선 사업에 대한 환경요인의 생산량 증가 지표를 이용하여 생산량 변화를 추정하였다.

둘째, 사업대상지역 생산량 조사 및 사업에 따른 생산량 증가 인식 조사를 통하여 생산량 변화를 추정하였다.



그림 7-1-5. 생산량 증가 인식 조사를 통한 직접효과 추정

(4) 간접효과

어장환경개선 사업의 간접편익을 추정하기 위해서는 사업에 의해서 증분된 (incremental) 잉여부분만을 고려하여야 한다. 사업대상 지역은 갯벌어장으로 갯벌체험 관광, 시각관광 등의 관광객이 유입될 수 있다.

그러나 간접편익을 추정하기 위해서 직접적인 사업으로 인한 증분을 추정하기 위하여 관광객 설문조사를 통하여 실시하였다.

본 연구에서는 관광편익을 추정하였으며 여행자비용법을 이용하여 추정하였다. 여행자비용법(travel cost method:TCM)은 시장기구가 존재하지 않는 자연자원의 가치를 평가하는 가장 대표적인 방법으로 비시장재인 관광지 또는 문화유적지 등의 자연자원의 가치를 그 자연재화와 관련되어 있는 시장에서의 소비행위에 연관시켜 간접적으로 측정하는 것이다.

여행비용법의 연혁을 살펴보면 이 방법은 1947년 미국 국립공원국(National Park service)이 국립공원에서 창출해내는 경제적 가치를 측정할 수 있는 경제적인 이론을 찾는 것이 발단이 되어 경제학자인 헤롤드 호텔링(Harold Hoteling)이 미국 국립공원 국장에게 보낸 편지에서 그 기원을 찾을 수 있다. 그 이후에 우드와 트라이스(Wood & Trice, 1958) 그리고 특히 클로슨과 크네치(Clawson & Knetsch, 1966) 등에 의하여 여행자비용법의 이론 및 적용은 큰 발전을 가지고 왔다.

여행비용법(TCM)은 종속변수에 따라 크게 지역여행 비용법(Zonal Travel Cost Method)과 개인여행 비용법(Individual Travel Cost Method)으로 구별 할 수 있다.

개인여행비용법은 통계적 효율성이나 개인행동을 모형 화하는데 있어서의 이론적 일관성, 임의의 지역구분으로 인해 발생하는 편의회피 등의 장점이 있으며 또한 정수

(integer)이며 0에서 절단된 형태의 자료특성을 갖는 개인 여행수요를 다룰 수 있는 통계적인 방법들을 이용할 수 있게 됨으로써 최근에는 개인수요모형을 많이 사용하고 있다(Creel & Loomis(1990); Yen & Adamowicz(1993)

위에서 언급한 개인여행비용법(ITCM)의 몇 가지 장점으로 인하여 최근 외국의 경우 지역 여행비용법보다는 개인여행비용법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

특정 기간 동안의 방문 수요는 여행비용, 관광지 특성 그리고 소득, 교육 등의 사회경제적 변수에 영향을 받는다. 따라서 일반적인 여행비용모형은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = f(X, \phi, \epsilon)$$

Y는 해당 관광지로의 여행횟수를 나타내는 종속변수(1*n 벡터)이고, X는 앞서 언급한 독립변수들의 행렬이다. 또한 ϕ 는 파라메타 벡터(vector)이고 ϵ 오차항을 나타내는 벡터이다.

추정모델에는 첫째 포아송모형(Poisson Model)이 선택되었다. 포아송 모형은 가산자료의 회귀 분석이나 범주형 자료를 분석하기 위해 일반적으로 이용되는 모형으로 무작위적이고 독립적으로 사건이 발생할 때 일정한 시간 또는 공간 내에서 '0'을 포함한 사건 발생횟수와 이에 따른 확률분포를 의미한다. 즉, 포아송 분포는 특정시간 동안 특정 사상이 발생했던 평균을 근거로 하여 특정 사상의 발생횟수에 대한 확률을 나타내 주는 분포이다. 포아송 분포는 다음의 두 가지 가정을 한다. 첫째, 단위시간 내의 사건의 발생확률은 동일하며 시간에 따라 변하지 않아야한다. 둘째, 분포의 평균과 분산이 같은 등산포(equi-disersion)를 가정한다. 특정시간 동안 특정사상이 발생했던 평균을 근거로 하여 특정사상의 발생횟수에 대한 포아송분포의 확률밀도함수는 다음과 같다.

$$\Pr(Y_i = k | X_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^k}{k!}, k = 0, 1, 2, \dots$$

위 식에서 $\Pr(Y_i = k | X_i)$ Y_i 는 i번째 응답을, k_i 는 Y_i 가 취할 수 있는 비음정수 값으로써 방문횟수를, λ_i 는 추정되어야 하는 포아송 파라미터로서 방문횟수의 평균과 분산을 나타낸다. 이를 회귀식 형태로 확장하면 다음과 같다.

$$\ln \lambda_i = X_i \beta$$

$$\lambda_i = \exp(X_i \beta)$$

위의 식에서 X_i 는 측정된 변수의 벡터를, β 또한 벡터로서 추정되어야 할 미지의 파라미터를 나타낸다. 지수 형태를 취함으로써 적절한 분포를 위해 요구되는 λ_i 의 비음조건이 유지 될 수 있다.

또한 가정에 의해 분포의 평균과 분산은 다음과 같이 도출된다.

$$E(Y_i | X_i) = \lambda_i = \text{var}(Y_i | X_i)$$

둘째, 음이항모형(Negative Binomial Model)이 여행자 비용법을 추정하는데 있어서 사용되었다. 포아송 모형은 가산자료의 분석에 일반적으로 사용되는 모형이기는 하지만 동질적인 특성을 가진 자료나 평균과 분산이 같은 자료에만 적용될 수 있다(Green, 2000). 현실의 자료는 분산이 평균을 초과하는 이른바 과산포가 나타나는 경우가 많기 때문에 평균과 분산이 동일하다는 포아송 모형의 가정이 비현실적이어서 실제적인 응용에 있어 모형 추정의 효율성이 감소되며, 모델적용과 결과 해석 및 계수에 대한 통계적 검정의 신뢰성에 문제가 발생한다. 따라서 과산포가 발생하는 상황에서 포아송 모형을 사용하면 문제가 발생하므로 이때는 포아송 분포를 이용하지 말아야 한다.

과산포 문제는 일반적으로 가산자료에 있어 관찰되지 않은 이질성이 존재하거나 또는 영(0)의 빈도가 과다할 경우 발생한다(Cameron & Trivedi, 1996). 특히 현실상의 수요모형에서는 조건부 분산이 평균을 초과하는 과산포 문제가 자주 나타나기 때문에 포아송 분포를 적용하기 어려운 점이 많다. 따라서 가산자료의 과산포 문제가 발생하는 경우, 가산자료를 모형화하기 위해서는 보다 일반화된 모형으로서 음이항 모형이 자주 사용되고 있다.

음이항 모형은 포아송 파라미터에 오차항을 결합시킴으로써 구축된다.

$$\lambda = E(Y_i | X_i, \varepsilon_i) = \lambda_i \varepsilon_i$$

위의 식에서 λ_i 는 포아송 파라미터를, ε_i 는 오차항을 의미한다. 따라서 음이항 모형의 확률밀도 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Pr(Y_i = k | X_i) = \frac{T(k + \alpha^{-1})}{T(k + 1)T(\alpha^{-1})} (\alpha \lambda_i)^k [1 + \alpha \lambda_i]^{-(k + \alpha^{-1})}, k = 0, 1, 2, \dots$$

α 는 과산포 모수로서 모형 내에서 독립변수의 계수와 함께 추정 된다. 음이항 모형의 평균은 다음의 식과 같이, 분산은 아래 식(9)과 같이 나타나게 된다.

$$E(Y_i | X_i) = \lambda_i \cdot$$

$$Var(Y_i | X_i) = \lambda_i(1 + \alpha\lambda_i)$$

위 식에서 α 는 과산포 파라미터로서 모형 내에서 독립변수의 계수와 함께 추정되는 데, α 가 영(0)이면 과산포가 존재하지 않으므로 포아송 모형이 사용 가능하게 되지만 $\alpha > 0$ 일 경우 분산이 평균(λ_i)를 초과하게 되므로 과산포를 허용하는 모형을 얻게 된다. 따라서 α 가 0이 아닌 경우에는 과산포가 존재하므로 포아송 모형의 사용은 불가능하게 되고, 음이항 분포의 사용이 보다 적합하게 된다. Cameron & Trivedi(1986)은 가산자료의 과산포 검정을 위한 다양한 방법을 제시하였다.

어장환경개선 사업으로 인한 자원증가 및 환경성의 증가는 방문객 및 갯벌체험객의 증가라는 간접적 효과를 가져 올 것으로 사료된다. 실제적으로 동 사업의 특징이 과거 이용되지 않았던 어장에 대한 환경개선임을 고려할 때 향후 잠재적 관광객의 잉여증가 부분은 사업의 중요한 효과라 할 수 있다.

공공사업을 통한 환경자연자원의 변화에 대한 편익은 그 재화의 공급의 구체적 변화에서 합법적으로 발생할 모든 편익, 즉 총가치를 포함하여야 한다. 이와 같이 재화에 따른 총가치의 특성 및 종류를 명확히 식별함으로써 편익가치를 측정할 적합한 방법이 선택될 수 있다. 그러나 환경재는 시장에서 거래되지 않는 비시장재화이므로 그 가치에 대한 정보를 얻기 힘든 경우가 대부분이며 따라서 환경재가 제공하는 환경서비스의 경우 재산권이나 시장이 존재하지 않기 때문에 통상적인 방법으로는 이들의 가치를 측정하기는 어려움이 있다. 그러나 환경재는 경제주체에게 효용이나 이윤을 향유하도록 하므로 가치가 있으며, 이에 따른 잠재가격은 존재함은 분명하다(유동운, 1992).

본 연구에서는 관광에 대한 효용의 추정방법으로는 인근지역 관광객의 개인적 설문조사를 통한 여행비용모형(TCM)을 사용하였다.

분석에는 Count data model을 사용하여 분석을 실시하였으며, 설문조사는 휴일과 평일에 교육된 현지조사원을 통한 1:1 면접 설문조사 방식을 이용하여 실시되었다.

총 유효표본은 209개가 조사(태안 74개, 군산 49개, 무안 86개)되었다.

3. 결과 및 고찰

가. 직접효과

(1) 가격

직접효과를 추정하기 위해 어장환경개선사업이 실시된 어장에서 생산되는 수산물의 가격 추정이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 통계자료를 근거로 판매가격을 추정하였다.

지역별 주요 생산 수산물에 대하여 어업생산통계의 각 년도 자료를 근거로 생산자 판매가격을 추정하였으며, 일부 통계자료와 차이가 매우 크게 나는 품목에 대해서는 실제 해당 어촌계의 판매 단가를 적용하였다.

가격추정은 가격변화를 고려하여 최근 5년간의 평균가격으로 산정을 하였다.



그림 7-1-6. 충남 바지락 가격변화 추이



그림 7-1-7. 전북 바지락 가격변화 추이



그림 7-1-8. 전남 낚지 가격변화 추이

추정된 어장환경개선지역별 수산물의 가격을 살펴보면 바지락의 경우 원청리와 선유도에서 생산되고 있으며, 충남지역의 가격이 kg 당 90정도 높은 것으로 분석되었다. 각 지역별 가격 추정결과는 아래 표와 같이 나타난다.

표 7-1-10. 주요 생산물의 가격 추정

지역구분	사업지역	품종	가격(원/kg)
충청남도	원청리 어촌계	바지락	1,886원
전라북도	선유도 어촌계	바지락	1,799원
		굴	6,320원
		기타(가무락)	4,120원
전라남도	만풍 어촌계	낚지	18,937원
		굴	6,320원

(2) 생산량 증가

어장환경개선 사업의 직접효과인 생산자 소득증대효과를 추정하는데 있어서 가장 중요한 요인은 사업으로 인한 생산량의 증가분을 어떻게 산정할 것 인가 하는 문제다.

생산량의 증가는 실제 자연과학적 측면이 매우 많이 포함되며, 정확한 증가량을 추정하기 위해서는 사업전과 사업이후 지속적인 조사를 통해 분석을 하여야 한다.

그러나 동 연구에서는 사업지역의 자연환경적 분석이 사업이후 1년 미만에 이루어져 그 신뢰성을 확보하기 어려운 한계점이 있다. 또한 조사 시점 역시 동일 시점이 아니라 계절적으로 차이가 나기 때문에 해양환경의 특성상 계절에 따른 변화로 인해 결과를 사용하는 데는 어려움이 있다.

본 분석에서는 이러한 한계점으로 인하여 생산량 증가분을 설문조사 및 선행연구의 결과를 이용하여 추정하였다.

첫째, 선행연구 검토에서 나타났던 환경개선 사업에 대한 환경요인의 생산량 증가 지

표를 이용하여 생산량 변화를 추정은 앞서 선행연구에서 검토하였던 신영태 외(2005)의 연구결과와 일본 미카현의 사례, KMI에서 실시한 어장환경개선에 따른 어업인 실태조사 등을 통하여 추정하였다.

추정결과 어장환경 개선사업으로 인한 생산량 증가는 품종별로 차이가 있지만 약 6.67%~42.3% 정도로 나타났다. 이들 연구 결과의 평균치인 23.0%의 증가율 분석에 이용하였다.

둘째, 사업대상지역 생산량 조사 및 사업에 따른 생산량 증가 인식 조사를 통한 생산량 증가는 각 사업지역의 상황을 가장 잘 파악하고 있는 어업인 및 전문가를 대상으로 순수 사업으로 인한 생산량 증가효과에 대하여 설문조사를 실시하였다.

설문조사 실시결과를 살펴보면 어업인의 경우 지역별로 차이가 매우 심한 것으로 나타났다. 선유도 어촌계의 경우 어장환경개선사업을 통한 수산자원량 회복 효과에 대하여 매우 긍정적으로 인식하고 있는 반면, 만풍 어촌계의 경우는 기대 심리가 미약한 것으로 파악되었다.

표 7-1-11. 어업인 및 전문가 생산량 증가 설문조사 결과

구분	어업인			전문가			합계
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	
원청리	20.0%	61.5%	42.5%	10.0%	55.0%	45.3%	43.9%
선유도	28.6%	150.0%	81.8%				63.5%
만풍	15.7%	65.6%	14.2%				29.7%

설문조사 및 선행연구에서 추정된 사업의 생산량 증가비율 평균값을 최종적으로 경제성 분석에서 생산량 및 생산금액로 이용하였으며, 각 지역별 생산량 증가율은 26.4%~ 43.3% 정도로 추정되었다.

표 7-1-12. 어장환경개선사업의 연간 생산량 증가

	원청리	선유도	만풍
생산량 증가율	33.4%	43.3%	26.4%
생산량 증가분(kg)	23,776	29,201	5,535
생산금액 증가분(원)	44,851,199	62,400,077	27,463,944

나. 간접효과

어장환경개선 사업으로 인한 자원증가 및 환경성의 증가는 방문객 및 갯벌체험객의 증가라는 간접적 효과를 가져 올 것으로 사료된다. 실제적으로 동 사업의 특징이 과거 이용되지 않았던 어장에 대한 환경개선임을 고려할 때 향후 잠재적 관광객의 잉여증가 부분은 사업의 중요한 효과라 할 수 있다.

공공사업을 통한 환경자연자원의 변화에 대한 편익은 그 재화의 공급의 구체적 변화에서 합법적으로 발생할 모든 편익, 즉 총가치를 포함하여야 한다. 이와 같이 재화에 따른 총가치의 특성 및 종류를 명확히 식별함으로써 편익가치를 측정할 적합한 방법이 선택될 수 있다. 그러나 환경재는 시장에서 거래되지 않는 비시장재화이므로 그 가치에 대한 정보를 얻기 힘든 경우가 대부분이며 따라서 환경재가 제공하는 환경서비스의 경우 재산권이나 시장이 존재하지 않기 때문에 통상적인 방법으로는 이들의 가치를 측정하기는 어려움이 있다. 그러나 환경재는 경제주체에게 효용이나 이윤을 향유하도록 하므로 가치가 있으며, 이에 따른 잠재가격은 존재함은 분명하다(유동운, 1992).

본 연구에서는 관광에 대한 효용의 추정방법으로는 인근지역 관광객의 개인적 설문조사를 통한 여행비용모형(TCM)을 사용하였다.

설문조사는 사전에 교육을 한 현지조사원을 통해 1:1 면접 설문조사를 실시하였다. 회수된 관광객의 유효표본 설문지는 209개(태안 74개, 군산 49개, 무안 86개) 이다. 설문조사지의 질문내용은 성별, 연령, 현거주지, 월평균소득, 학력, 가족원수 등의 인구통계학적 자료 및 개인만족도, 관광 소요 비용, 복수관광 유무, 어장환경 개선에 따른 방문 증감 연간 방문 횟수 등의 항목으로 구성되었다.

TCM분석에 사용된 변수를 살펴보면 종속변수로 방문횟수인 COUNT를 사용하였으며, 독립변수는 소득, 여행비용, 어장환경개선사업 인지여부, 환경변화 체감정도를 이용하였다.

표 7-1-13. TCM 분석에 이용된 변수 개요

변수명	변수의 정의
COUNT	종속변수, 지난 1년 동안의 어장환경개선사업 인근지역 방문 횟수
AWARE	어장환경개선사업 대한 인지여부(인지 有=1 인지 無=0)
INCOME	월평균 가구소득(단위: 100만원)
SATIS	환경변화의 체감정도
COST	왕복여행비용+여행시간의 기회비용(단위: 1일당 원)

각 변수에 대한 평균값 및 표준편차를 살펴보면 연간 사업대상지역의 방문횟수는 약 9회 정도로 나타났으며, 어장환경개선사업에 대한 인지여부는 인지를 못하는 방문객이 더 많은 것으로 분석된다.

응답자의 소득수준은 약 300 만 원 정도이며, 1회 여행에 대한 여행비용은 기회비용을 포함하여 6 만원 수준인 것으로 파악되었다.

표 7-1-14. TCM 분석에 이용된 변수 요약

변수명	평균	표준편차	최솟값	최댓값
COUNT	9.254	11.237	1	30
AWARE	0.415	0.42	0	1
INCOME	290.214	143.284	0	700
SATIS	4.325	2.529	0	10
COST	60,267	38,744	21,251	186,652

동 분석에서는 설문조사는 관광지에 방문대상을 상대로 대상 관광지에 방문하지 않은 사람들은 표본에 포함하지 않게 되므로 모형의 종속변수인 여행횟수는 0에서 절단되므로 절단된 가산자료 모형을 사용하였다.

절단된 포아송모형 및 음이항모형을 이용하여 분석한 결과를 살펴보면 추정된 모형의 통계적 유의도를 살펴보기 위해 ‘모든 추정계수는 0이다’라는 귀무가설을 상정하면 다음과 같이 우도비 통계량(LR)을 구성할 수 있다.

$$LR = -2(\ln L_0 - \ln L_T)$$

여기서 $\ln L_0$ 는 상수항을 제외한 모든 추정계수가 0이라는 귀무가설하에서 추정된 결과로부터의 로그우도함수값을 의미하며, $\ln L_T$ 는 원래의 추정결과로부터의 로그우도함수값을 의미한다.

모든 추정계수가 0이라는 귀무가설 하에서 계산된 LR-통계량에 대한 p-값이 0.000인 것으로 보아 유의수준 1%에서 이 귀무가설은 여유 있게 기각이 되며, 추정된 모형은 모두 통계적으로 유의하다는 것을 볼 수 있다.

또한, α 값이 1%에서 통계적으로 유의하게 나타나 $\alpha=0$ 은 기각되므로 과산포가 존재하는 것으로 나타난다. 따라서 평균과 분산이 동일하지 않기 때문에 포아송 모형은 적절하지 않으며 음이항모형을 이용하는 것이 적절하다.

표 7-1-15. 간접편익 추정 실증분석 결과

변수명	포아송모형	음이항모형
상수항	2.3499 (.05073)***	2.4542 (.16553)***
AWARE	.4334 (.03083)***	.4057 (.09384)***
INCOME	.00061 (.00009)***	.00060 (.00032)*
SATIS	.02222 (.00137)**	.02375 (.00538)**
COST	-0.00001412 (3.69e-07)***	-0.00001325 (1.19e-06)***
Alpha		.605415 (.0413286)***
Log likelihood	-3864.23	-1874.52
Likelihood Ratio	927.19	4239.94***

Hellerstein과 Mendelsohn(1993)은 가산자료의 모형으로부터 추정된 수요곡선으로부터 소비자잉여, 즉 경제적 가치를 추정할 수 있는 방법을 소개하였다. 수요모형의 소비자잉여(CS=Consumer Surplus)는 다음의 식을 통하여 추정할 수 있다.

$$E(CS) = \frac{E(y_i|x_i)}{-\beta_p} = \frac{\hat{\lambda}_i}{-\beta_p}$$

여기서 $\hat{\lambda}_i$ 는 평균방문횟수, β_p 는 관광경비의 추정계수를 나타낸다. 따라서 1회방문당 소비자잉여는 단순히 $1/-\beta_p$ 로 나타낼 수 있다.

이를 통해 어장환경개선지역의 방문객의 1회당 경제적 가치를 추정해보면 약 75,472 원으로 추정된다.

퇴적물의 준설 및 어장환경개선과 같은 환경자연자원(공공재)의 공급에 대한 간접편익에 대한 추정은 활발히 이루어지지 못한 실정이며, 본 연구와 유사한 사업으로는 한국해양연구원(2007)의 선행연구를 들 수 있다. 해안지역의 오염수중 퇴적물에 대한 경제적 가치 중 간접효과인 관광 증가효과를 ZTCM을 이용하여 분석하였으며, 여수선 소지역의 사례분석에서는 1인당 관광편익은 약 190,769원으로 추정되었다. 이와 같은 결과는 본 연구에서 추정된 75,472원 보다 높으며, 모형설정에 있어서 ITCM과 ZTCM의 추정방법의 상의함과 분석에 사용된 설문조사에 있어서 지역 방문객의 특성차이에 기인하는 것으로 사료된다.

표 7-1-16. 어장환경개선의 간접편익 추정결과

	절단된 포아송	절단된 음이항
B	- 0.00001412	- 0.00001325
1회 방문의 경제적 가치	70,822 원	75,472 원

제2절 경제성 분석

1. 연구개요

어장환경개선 사업에 대한 경제성 분석은 결국 앞서 추정하였던 사업에 따른 직접효과 및 간접효과에서 발생하는 편익과 사업을 실시하는데 들어가는 투입비용과의 비교를 통하여 해당 사업이 타당한지를 판단하는 것이라 할 수 있다.

특히, 정부지원사업으로 시행하고 있는 어장환경개선사업의 특성상 경제성이 꼭 보장되어야 할 필요성은 없다. 경제성이 높을 경우 이는 정부가 아닌 민간에서 수행할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 인하여 많은 공공사업에서는 NPV가 0보다 작거나, B/C ratio가 1보다 낮게 평가되는 경우가 발생한다.

그럼에도 불구하고 사업의 경제성 분석은 향후 유사사업 및 사업의 지속여부를 결정하는데 있어서 중요한 기초자료를 제공하므로 필요성이 매우 높다고 할 수 있다.

일본의 경우는 수산기반정비사업에 대한 정확한 사업 계획의 책정이나 수산기반정비사업 의의의 국민 각층의 이해에 도움을 주기위하여 비용-편익분석을 하도록 규정하고 있다.

본 연구에서는 앞서 추정하였던 직·간접 효과를 근거로 하여 어장환경개선 사업에 대한 경제성을 NPV, IRR, B/C ratio 등 여러 분석 방법을 통하여 지역별 평가를 실시하였다.

2. 연구의 한계점

본 연구를 수행함에 있어 연구의 한계점으로는 첫째, 생산량의 증가분 추정하는데 있어서 어업인 및 전문가 설문조사 와 선행연구의 결과를 이용하여 추정하였다는 점과 둘째, 어업 외 산업에의 파급효과, 어촌지역문화보전·계승효과 등의 간접효과를 추정에 포함시키지 않았다는 점을 들 수 있다.

첫째, 생산량 증가분 추정과 관련하여 일반적으로 어장환경개선사업과 같은 해양환경 개선의 직접적 효과인 자원량 및 어업생산량의 증가분을 추정하기 위해서는 사업전과 사업후의 장기적인 자연과학적 조사와 더불어 생산량조사가 필요하다.

그러나 본 연구에서는 해양수질, 퇴적물, 저서생물 등에 대한 자연과학적 조사의 시행이 2010년 7월에서 2011년 3월까지 총 6회로 사업시기가 대부분 10월임을 고려할 때 사업 전 약 2개월(2회), 사업 후 5개월(4회)로 사업전후 연간 단위로 조사되지 않아 사업으로 인한 증가량을 산정하는데 있어 신뢰성을 확보하기 어려운 한계점을 가진다. 특히, 수산자원의 경우 매우 강한 계절성을 가지므로 조사의 시점이 연간 동일기간을 정하여 비교가 필요하다.

예를 들어 아래와 같이 수산자원 생산량이 사업전과 사업 후를 가정할 때 조사시점

에 따른 생산량 증가를 비교하였다. 본 조사에서와 같이 7월에서 익년 3월까지의 조사가 되어 사업기간을 제외한 사업 전(7월~9월 평균)과 사업 후(11월~익년3월 평균)의 월간 생산량을 비교해보면 약 60.7%가 감소하는 것으로 나타나며, 동일한 시점에서 매월 조사를 하였을 시 월간 생산량은 50%가 증가하므로 사업의 효과 추정에 있어 조사시점 기준의 중요성을 보여준다.

표 7-2-1. 조사시점 차이확인을 위한 수산자원 생산량 가정

(단위 : 톤)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
사업전	15	29	231	170	225	1015	418	1418	2969	2611	1195	626
사업후	23	44	347	255	338	1523	627	2127	4454	3917	1793	939

위에서 나타난 바와 같이 연구기간의 한계로 인하여 조사결과의 계절성을 무시한 자연과학적 자료를 기초로 생산량을 추정할 경우 자원량의 왜곡으로 인하여 현실을 반영하지 못할 우려가 크기 때문에 본 연구에서는 생산량 증가분을 어업인 및 전문가 설문조사와 선행연구의 결과를 이용하여 추정하였다. 사업에 대한 효과는 경험적 지식을 축적하고 있는 지역 내 어업인이 가장 정확하게 파악을 할 수 있기 때문에 생산량 설문조사 및 생산증가 인식 설문조사를 실시하였으며, 설문조사 결과만을 이용하는 것은 주관적 인식만으로 미래에 발생한 생산량을 추정하게 되므로 이를 좀 더 객관화하기 위하여 선행연구에서 추정된 생산량 증가비율과의 평균값을 이용하였다.

어촌어항협회(2010)¹⁾의 연구에서도 침적폐기물 수거사업으로 인한 어업수익증대 효과를 추정하기 위하여 동일한 해역 내에서 조업을 하는 어업인을 대상으로 생산량과 어업비용, 조업형태, 생산량 비중 등 설문조사를 통하여 분석한 사례가 있다.

둘째, 어업의 산업에의 파급효과, 어촌지역문화보전·계승효과 등의 간접효과는 산업연관분석, CVM 등을 통하여 계량적 추정이 가능하다. 그러나 간접효과는 일반적으로 사업의 효과를 소극적으로 추정하여야만 사업의 경제적 타당성을 확보할 수 있다. 간접효과를 적극적으로 추정할 경우에는 사업의 효과가 과대 추정되어 실질적으로 사업의 타당성이 없음에도 불구하고 효과가 있는 것처럼 나타난다. 본 연구에서는 시간적·공간적 한계 및 사업효과의 소극적 추정을 위하여 분석에서 제외하였다.

1) 어촌어항협회, '연근해 침적폐기물 실태조사 및 효과분석', 2010

3. 자료 및 방법

가. 분석방법

경제성 분석은 분석을 시행하는 시점을 기준년도로 하여 장래에 발생하는 모든 편익과 비용을 추정하는 것이 일반적이다. 다시 말해서 장래에 발생하는 편익과 비용의 규모를 모두 기준년도 시점의 불변가격으로 추정하는 것이라 할 수 있다.

전통적으로 국가공공사업 투자의 가부를 결정하기 위한 분석방법으로는 순현재가법(NPV: net present value method)이 가장 널리 사용되어 왔으며,²⁾ 또한 내부수익률법(IRR: internal rate of return;) 및 편익-비용 비율법(benefit-cost ratio)도 사업의 경제성 분석에 있어 보조적으로 사용되고 있다.

NPV법은 한 사업에 대한 투자의 의사결정 뿐만 아니라 상호 독립적인 투자 안들의 우선순위를 결정할 때나 상호배타적인 투자 안들 중에서 선택할 때 주주의 부를 극대화시키는 투자 안을 선택하도록 만드는 유일한 자본예산기법이라 할 수 있다.

분석방법은 쉽게 말해 사업으로 인하여 기대되는 미래현금흐름을 적절한 사회적 할인율에 대하여 현재가치(discounted net cash flow)화 하는 것이라 할 수 있으며, 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{TB_t - TC_t}{(1+r)^t} - I_0$$

T = 특정기간

r = 사회적 할인율

TB = 총수입

TC = 총비용

I = 초기투자비용

NPV법에서 사업에 대한 투자결정기준은 $NPV > 0$ 일 경우 투자 안을 채택하며, $NPV < 0$ 이면 투자 안을 기각하는 것이 합리적이다.

내부수익률법은 어떤 투자안의 미래 발생할 현금흐름의 NPV를 '0'이 되게 하는 할인율을 도출하여 이 값에 의하여 투자의 결정에 반영하는 방법으로, 장점으로는 NPV와 관계가 밀접하고 대개 동일한 의사결정을 가져오며, 이해하기 쉽고 의사소통이 편리한 장점을 가지고 있다. 그러나 비정상적 현금흐름의 경우 복수의 값이 존재할 가능성이 있으며 상호배타적인 투자안의 비교시 투자순위의 의사결정이 잘못될 가능성이 있다는 단점을 가지고 있음. 내부수익률법을 식으로 나타내면 아래와 같다.

2) Fong et al., 2005; Kam et al., 2003; Sottorio, 2002; Jolly and Clonts, 1997; Shang, 1990

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{TR_t - TC_t}{(1 + IRR)^t} - I_0$$

여기서 투자결정기준은 $IRR > \text{요구수익률}$ 일 경우 투자 안을 채택하며, $IRR < \text{요구수익률}$ 이면 투자 안을 기각하는 것이 합리적이다.

편익-비용 비율법(benefit-cost ratio) 은 수익성지수와 유사한 개념이지만, 수익성지수는 순현재가치(= 현금유입액의 현재-현금유출액의 현재)를 최초투자비용(I_0)으로 나누는 것인 반면에, 편익-비용 비율법은 미래 현금유입액의 현재를 현금유출액의 현재로 나누는 것이라 할 수 있다. 따라서 편익-비용 비율법의 투자결정기준은 이 비율이 1이상일 경우 채택, 1보다 작을 경우 기각하는 것이다. 이 기법의 장단점은 수익성지수와 유사하다고 할 수 있다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$B/C \text{ Ratio} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{TR_t}{(1+r)^t}}{(\sum_{t=1}^n \frac{TC_t}{(1+r)^t} + I_0)}$$

이러한 경제성 분석 기법의 특징을 간단하게 요약하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있다.

표 7-2-2. 경제성 분석 방법별 특징

분석기법	판단	장점	단점
편익비용비율 (B/C R)	$B/C \geq 1$	- 이해용이, 사업규모 고려 가능	- 상호배타적 대안선택의 오류발생 가능
순현재가치 (NPV)	$NPV \geq 0$	- 대안 선택 시 명확한 기준 제시 - 장래발생편익의 현재가치 제시 - 한계 순현재가치 고려 - 타 분석에 이용가능	- 이해의 어려움 - 대안 우선순위 결정시 오류발생 가능
내부수익률 (IRR)	$IRR \geq r$	- 사업의 수익성 측정 가능 - 타 대안과 비교가 용이 - 평가과정과 결과 이해가 용이	- 사업의 절대적 규모 고려하지 않음 - 몇 개의 내부수익률이 동시에 도출될 가능성 내재

자료 : 한국개발연구원, 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정보완 연구(제4판)

나. 분석을 위한 가정

(1) 비용

비용의 추정은 우선 투자비용과 운영비용으로 구분할 수 있다. 먼저 투자비용의 측면

에서 본다면 이는 사업비용이 된다. 원청리 어촌계의 어장환경개선사업은 잡석채집 및 운반 작업, 경운작업, 자갈살포 작업이 포함되었다. 잡석채집 및 운반 작업은 어장 내에 방치된 잡석을 굴삭기 및 인력을 이용하여 채집, 경운기를 이용하여 운반하는 작업으로 지선 어촌계원 및 장비를 활용하였으며, 제1886호 어장의 경우 지름 30cm 이상인 잡석만 그 대상으로 실시하였다.

경운작업은 굴삭기를 이용하여 경운작업을 실시하며, 어장 바닥을 버킷으로 떠서 들어 올렸다가 그대로 다시 놓는 방법으로 수행되었으며, 이는 작업구역 내의 종패를 보호하고 어장바닥 내의 산소를 공급하기 위함이다.

자갈살포 작업은 자갈하역장에서 굴삭기를 이용하여 경운기로 적재, 경운기를 이용하여 운반하여 살포하였다.

표 7-2-3. 원청리 어촌계 어장환경개선사업 현황

구분	어장면적	내용	사업면적(ha)	사업량	비고
태안양식 제421호	20.0	잡석제거 및 운반	0.2	26.0 m ³	제거대상 : 전체잡석
		경운	2.3	2.3 ha	굴삭기
		자갈살포	16.0	967 m ³	육상살포
충남양식 제1886호	10.0	잡석제거 및 운반	0.3	7.0 m ³	제거대상 : 직경 30cm 이상
		경운	1.7	1.7 ha	굴삭기

태안지역의 어장환경개선사업의 사업비는 원청리 이외에도 당미, 몽산1리 어촌계가 같이 집행되었으며 총 투입비용은 280,073,000원이다. 이를 지역별 사업내용을 기준으로 구분하면 원청리는 약 33.32%를 차지하여 93,329,012원이다.

군산 선유도 어촌계의 경우에는 잡석채집과 조간대 폐기물 수거사업이 이루어졌다.

군산지역의 어장환경개선사업 역시 선유도 이외에도 관리도, 말도, 연도의 4개 어촌계가 동시에 실시되었으며, 총 투입비용은 551,609,442원으로 파악된다. 이 중 선유도 어촌계의 사업비 비중은 약 23.12%로 총 127,536,620원이다.

표 7-2-4. 선유도 어촌계 어장환경개선사업 현황

내용	사업량
잡석채집 및 운반, 투석작업	492m ³
조간대 폐기물 수거 및 운반 작업 등	54ton

무안 만풍 어촌계의 경우에는 어장환경개선사업으로 조간대 폐기물 수거작업과 어장 바닥경운 작업이 실시되었으며 인부와 경운기(1,000kg)를 이용하여 조간대 폐기물 수거작업을 실시하였다.

표 7-2-5. 만풍 어촌계 어장환경개선사업 현황

내용	사업량	비고
조간대 폐기물 수거작업	24.0 m ³	운반선 5톤급 1척
어장바닥경운 작업	54.0 ha	작업선 2-3톤급 1척

무안지역 역시 만풍 어촌계 이외에 서북, 도리포의 3개 지역이 동시에 진행되었으며, 총 사업비는 369,163,960원이다. 이 중 만풍 어촌계의 비중은 약 13.8%로 총 50,760,045원이 투자되었다.

각 지역별 사업비용을 총괄해서 살펴보면 아래 표와 같이 나타난다.

표 7-2-6. 지역별 어장환경개선사업비 총괄

내용	원청리 어촌계	선유도 어촌계	만풍 어촌계
총사업비	280,073,000	551,609,442	369,163,960
사업비 비중(%)	33.32%	23.12%	13.8%
지역별 사업비	93,329,012	127,536,620	50,760,045

(2) 사회적 할인율

각종 자원의 가치평가를 위해서는 미래 현금흐름을 현재가치로 환산할 필요가 있는데 미래현금흐름을 할인하는 적절한 할인율을 결정하는 것은 매우 어려운 과제중의 하나이다. 왜냐하면 할인율은 가치를 평가하고자 하는 사업의 특성, 목적에 따라 할인율의 결정요인과 그 수준이 다양하고 불확실하기 때문이다.

완전자본시장에서의 할인율은 사회적 시간선호율, 민간부문의 한계투자 수익률, 공공부문의 기회비용, 소비자 이자율, 생산자 이자율 및 시장이자율 등이 모두 동일하지만, 시장의 불완전성과 위험도의 상이성 등으로 인해 할인율의 수준은 각기 다르다. 따라서 할인율은 평가하고자 하는 사업이 어떤 사업을 희생 혹은 대체한 것이냐에 따라 결정되어야 할 것이다.

사회적 할인율의 적정수준에 대한 견해는 예산제약이 강할 때(특히 긴출재정 시)에는 높은 사회적 할인율 수준이 바람직하다고 일반적으로 주장한다. 이는 자원이 희소할 수록 사람들은 미래에 발생할 편익들보다 현재 편익을 더 강하게 선호 할 것이기 때문이다.

사회적 할인율의 적정수준에 대한 여러 견해들이 존재한다.

사회적 할인율과 관련한 선행연구를 살펴보면, 국내에는 약 5.5%~8.5%의 다양한 할인율을 적용하고 있다.

표 7-2-7. 국내 공공투자사업 사회적 할인율

구분	사업의 성격	적용 사회적 할인율
KDI, 공공투자사업 경제성분석	도로, 철도, 항만, 공항 등 일반 공공투자 사업	7.5%
	수자원개발, 환경시설, 낙후지역 개발 등의 사업	5.5%
KMI	인공어초 경제성 분석	8.5%

외국의 경우 사회적 할인율은 우리나라에 비해 대체로 낮은 수준이다. 특히 선진국의 경우에는 일찍부터 국가 전체 공공프로젝트에 적용할 사회적 할인율 수준에 대한 합의를 이끌어내고 이를 사용해 오고 있다. 이에 비해 우리나라는 그러한 사회적 합의나 일반적 기준 없이 각 시기별 또는 사업유형별로 사회적 할인율을 적용해 오고 있는 실정이다.

표 7-2-8. 국외 공공투자사업 사회적 할인율

구분	구분	이유 및 근거	사회적 할인율
미국	OMB의 Circular A-94(1992)	민간투자의 세전 한계수익률과 일치값	7%
	CBO, GAO	국채이자율을 이용해 할인하는 방법 채택	3.5%
	Mn/DOT지침(2001)	30년 공채의 실질이자율	3.5%
영국	HM treasury(1997)	세전 장기자본비용 및 시간선호율 및 PFI의 운영측면을 고려	6%
	HM treasury(2003)	30년 이내의 장기투자사업	3.5%
		30년 이상 75년 이내 사업	3.0%

본 연구에서는 할인율의 경우, 어장환경개선사업이 유류피해어장의 어업인 소득안정대책 및 낙후지역 개발 등의 사업임을 고려하여 5.5%의 할인율을 적용하여 효과분석을 실시하였다.

(3) 평가기간

경제성 분석은 분석을 시행하는 시점을 기준년도로 하여 장래에 발생하는 모든 편익

과 비용을 추정하는 것이 일반적이다. 다시 말해서 장래에 발생하는 편익과 비용의 규모를 모두 기준년도 시점의 불변가격으로 추정하는 것이라 할 수 있다.

경제적 편익과 비용이 발생할 기간을 추정하는데 있어서 중요한 요소는 주요시설 및 장비에 대한 경제적 내용년수라고 할 수 있다. 일반적으로 경제적 비용은 초기에 발생하지만, 경제적 편익은 장기에 걸쳐 발생하기 때문에 분석기간을 어떻게 하느냐에 따라 미래에 발생할 편익에 대한 현재가치에 크게 영향을 미칠 수 있다. 3)

어장환경개선 사업으로의 경제적 편익과 비용이 발생하는 기간에 대해서는 기존 연구를 살펴보면 약 3년과 일본의 사례에서 10년을 규정하고 있으나 이에 대한 심층적인 검토는 되어 있지 못한 실정이다. 본 분석에서는 어업인과 전문가 설문을 통하여 사업의 효과가 유지되는 기간을 추정하였다.

어장환경개선사업은 개선사업에 대한 효과의 지속기간만을 고려가 필요하다. 이는 영구적으로 효과가 지속되지 않으며, 기간에 따른 효과 감소도 발생한다.

전문가 및 어업인 설문조사 결과 효과의 지속기간은 약 5년 내외로 지속될 것으로 파악되어 동 연구에서는 분석기간을 5년을 기준으로 설정하였다.

또한, 사업의 효과는 평가기간 내에 동일하게 유지되지 않는다. 이는 즉 사업이 시작된 이후에 효과가 최대가 되었다 점차 감소하여 분석기간 이후에는 효과가 0이 된다는 것이다. 어업인 및 전문가 설문조사의 결과에서 나타나는 바와 같이 사업이후 약 3년까지 효과가 증가하는 것으로 보이며, 3년 이후 효과가 감소하는 것으로 나타나 이를 비율로 적용하여 효과의 적용에 대한 차이를 부여하였다.

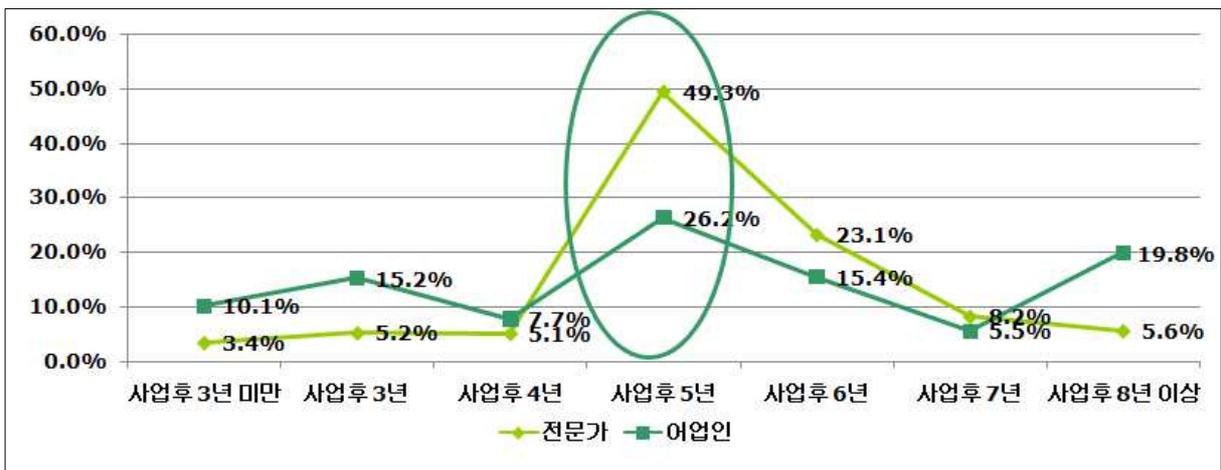


그림 7-2-1. 분석기간산정을 위한 조사결과

(4) 시나리오 가정

사업의 효과에 대한 외부환경변화에 따른 예측을 위해 시나리오를 구성하였다. 이는

3) 부경대학교, 통영바다목장사업 경제성평가, 2007

사업의 경제성 분석이 사업후 바로 이루어지는 예비타당성적 성격을 고려한 것이다. 시나리오별 변동을 위하여 생산물량, 생산비용, 관광객편익을 각 10%의 구간으로 분류하여 변화를 주어 총 3개의 시나리오를 설정하였다.

즉 긍정적 시나리오의 경우 추정된 일반 시나리오에서 생산물량 10% 증가, 생산비용 10% 감소, 관광객 편익 10% 증가 등이 적용된다.

4. 결과 및 고찰

가. 충청남도 태안 원청리 어촌계

2010년 10월 5일에 시작하여 10월 13일까지 어장환경개선사업이 실시된 태안양식 제 421호(면적 : 20ha)와 충남양식 제 1886호(면적 : 10ha)의 경제성 분석결과를 시나리오별로 살펴보면 첫째, 평균 시나리오에 있어서는 NPV가 16,726천원, IRR이 11.7%, B/C ratio가 1.147로 나타나 모든 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다.

둘째, 긍정적 상황을 가정한 시나리오-II에 있어서는 NPV가 27,732천원, IRR이 15.6%, B/C ratio가 1.239로 나타나 이 역시도 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다.

셋째, 부정적 상황을 가정한 시나리오-III에 있어서는 NPV가 5,721천원, IRR이 7.7%, B/C ratio가 1.051로 나타나 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다. 그러나 일반적이거나 긍정적인 시나리오에 비하여는 경제성이 매우 약한 것으로 분석되었다.

태안 원청리 어촌계에서 실시된 어장환경 개선사업의 경제성을 종합적으로 분석해보면 NPV는 약 5,721천원 ~ 27,732천원 수준으로 나타나 0보다 크기 때문에 경제적 타당성을 가지는 것으로 분석된다.

IRR은 7.7%~15.6% 수준으로 분석에서 사용된 5.5%보다 높으며, B/C ratio는 1.051 ~ 1.239 정도로 1보다 높게 나타나 경제성이 있는 것으로 판단된다.

표 7-2-9. 태안 원청리 시나리오 - I

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,690	2,690	14,935	3,744	18,680	15,990
2	0	5,380	5,380	29,871	3,744	33,615	28,235
3	0	8,078	8,078	44,851	3,744	48,596	40,517
4	0	5,380	5,380	29,871	3,744	33,615	28,235
5	0	2,690	2,690	14,935	3,744	18,680	15,990
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		16,726		11.7%		1.147	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-10. 태안 원청리 시나리오 - II

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,959	2,959	16,429	4,119	20,548	17,589
2	0	5,918	5,918	32,858	4,119	36,977	31,059
3	0	8,886	8,886	49,336	4,119	53,455	44,569
4	0	5,918	5,918	32,858	4,119	36,977	31,059
5	0	2,959	2,959	16,429	4,119	20,548	17,589
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		27,732		15.6%		1.239	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-11. 태안 원청리 시나리오 -III

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,421	2,421	13,442	3,370	16,812	14,391
2	0	4,842	4,842	26,884	3,370	30,254	25,412
3	0	7,270	7,270	40,366	3,370	43,736	36,466
4	0	4,842	4,842	26,884	3,370	30,254	25,412
5	0	2,421	2,421	13,442	3,370	16,812	14,391
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		5,721		7.7%		1.051	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

나. 전라북도 군산 선유도 어촌계

2010년 10월 6일에 시작하여 10월 26일까지 실시되었던 선유도 어촌계의 어장환경개선사업에 대한 경제성을 분석해보면, 우선 사업의 투자비용은 약 93,329천원으로 3개 지역 중에 가장 높은 것으로 나타났다. 사업어장은 마을어업 제5254호(면적 25ha)로 바지락, 굴, 가무락 등을 양식하고 있다.

경제성분석 결과를 시나리오별로 살펴보면 첫째, 평균 시나리오-I에 있어서는 NPV가 4,174천원, IRR이 6.7%, B/C ratio가 1.023로 나타나 모든 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다. 그러나 앞서 원청리의 분석결과와 비교하였을 때는 경제적 타당성이 상대적으로 낮은 것으로 파악된다.

둘째, 긍정적 상황을 가정한 시나리오-II에 있어서는 NPV가 17,345천원, IRR이 10.3%, B/C ratio가 1.091로 나타나 이 역시도 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다.

셋째, 부정적 상황을 가정한 시나리오-III에 있어서는 NPV가 -8,997천원, IRR이 2.9%, B/C ratio가 0.950로 나타나 모든 경제성 지표에서 경제성이 없는 사업으로 나타났다.

전북 선유도 어촌계에서 실시된 어장환경 개선사업의 경제성을 종합적으로 분석해보면 NPV는 약 -8,997천원 ~ 17,345천원 수준으로 나타나 부정적 상황을 고려한 시나리오를 제외한 시나리오에서는 경제적 타당성을 가지는 것으로 분석된다.

IRR은 2.9%~10.3% 수준으로 분석되었으며, B/C ratio는 0.950 ~ 1.091 정도로 나타났다. 시나리오별로 차이는 크지 않으나 부정적 시나리오에서 경제성이 없는 것으로 나타나 대외적인 변화를 고려하여 투자를 하는 것이 타당함을 보여준다.

표 7-2-12. 군산 선유도 시나리오 - I

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,690	2,690	14,935	3,744	18,680	15,990
2	0	5,380	5,380	29,871	3,744	33,615	28,235
3	0	8,078	8,078	44,851	3,744	48,596	40,517
4	0	5,380	5,380	29,871	3,744	33,615	28,235
5	0	2,690	2,690	14,935	3,744	18,680	15,990
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		4,174		6.7%		1.023	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-13. 군산 선유도 시나리오 - II

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,959	2,959	16,429	4,119	20,548	17,589
2	0	5,918	5,918	32,858	4,119	36,977	31,059
3	0	8,886	8,886	49,336	4,119	53,455	44,569
4	0	5,918	5,918	32,858	4,119	36,977	31,059
5	0	2,959	2,959	16,429	4,119	20,548	17,589
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		17,345		10.3%		1.091	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-14. 군산 선유도 시나리오 -Ⅲ

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	93,329	0	93,329	0	0	0	-93,329
1	0	2,421	2,421	13,442	3,370	16,812	14,391
2	0	4,842	4,842	26,884	3,370	30,254	25,412
3	0	7,270	7,270	40,366	3,370	43,736	36,466
4	0	4,842	4,842	26,884	3,370	30,254	25,412
5	0	2,421	2,421	13,442	3,370	16,812	14,391
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		- 8,997		2.9%		0.950	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 없는 것으로 판단							

다. 전라남도 무안 만풍 어촌계

2010년 9월 초에 시작하여 10월 20일까지 어장환경개선사업이 실시된 무안마을어업 제2055호(면적 54ha)의 경제성 분석결과를 시나리오별로 살펴보면 첫째, 평균 시나리오에 있어서는 NPV가 5,835천원, IRR이 9.5%, B/C ratio가 1.077로 나타나 모든 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다.

둘째, 긍정적 상황을 가정한 시나리오-II에 있어서는 NPV가 11,495천원, IRR이 13.3%, B/C ratio가 1.147로 나타나 이 역시도 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다.

셋째, 부정적 상황을 가정한 시나리오-Ⅲ에 있어서는 NPV가 4,715천원, IRR이 8.8%, B/C ratio가 1.062로 나타나 경제성 지표를 검토하였을 때 경제성이 있는 사업으로 나타났다. 그러나 NPV적 측면에서는 원청리 어촌계보다 낮은 순수익을 보이나 IRR 및 B/C ratio 값은 높게 추정되어 사업의 투자대비 효율성 높은 것으로 분석되었다.

태안 원청리 어촌계에서 실시된 어장환경 개선사업의 경제성을 종합적으로 분석해보면 NPV는 약 4,715천원 ~ 11,495천원 수준으로 나타나 0보다 크기 때문에 경제적 타당성을 가지는 것으로 분석된다.

IRR은 8.8%~13.3% 수준으로 분석에서 사용된 5.5%보다 높으며, B/C ratio는 1.062 ~ 1.147 정도로 1보다 높게 나타나 경제성이 있는 것으로 판단된다.

표 7-2-15. 무안 만풍 시나리오 - I

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	50,760	0	50,760	0	0	0	-50,760
1	0	3,235	3,235	9,145	2,621	11,767	8,531
2	0	6,470	6,470	18,291	2,621	20,912	14,442
3	0	9,715	9,715	27,464	2,621	30,085	20,370
4	0	6,470	6,470	18,291	2,621	20,912	14,442
5	0	3,235	3,235	9,145	2,621	11,767	8,531
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		5,835		9.5%		1.077	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-16. 무안 만풍 시나리오 - II

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	50,760	0	50,760	0	0	0	-50,760
1	0	3,559	3,559	10,060	2,883	12,943	9,385
2	0	7,117	7,117	20,120	2,883	23,003	15,886
3	0	10,686	10,686	30,210	2,883	33,093	22,407
4	0	7,117	7,117	20,120	2,883	23,003	15,886
5	0	3,559	3,559	10,060	2,883	12,943	9,385
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		11,495		13.3%		1.147	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

표 7-2-17. 무안 만풍 시나리오 -III

(단위 : 천원)

년 도	비용			편익			순편익
	초기비용	운영 및 생산비용	총비용	직접편익	간접편익	총편익	
0	50,760	0	50,760	0	0	0	-50,760
1	0	3,235	3,235	9,145	2,359	11,504	8,269
2	0	6,470	6,470	18,291	2,359	20,650	14,180
3	0	9,715	9,715	27,464	2,359	29,823	20,108
4	0	6,470	6,470	18,291	2,359	20,650	14,180
5	0	3,235	3,235	9,145	2,359	11,504	8,269
		NPV		IRR		B/C ratio	
값		4,715		8.8%		1.062	
경제적 타당성		≥0		≥사회적 할인율(5.5%)		≥1	
경제성이 있는 것으로 판단							

5. 결론

각 지역의 경제성 분석결과를 종합하여 지역적 비교를 실시해보면 어장환경개선사업에 투자된 초기비용은 군산 선유도 어촌계가 가장 높은 것으로 파악되었다.

경제성 지표 측면에서 보았을 때 태안이 NPV가 16,726,367원으로 가장 높으며, IRR 및 B/C ratio의 값도 상대적으로 가장 높음을 알 수 있다.

군산과 무안을 비교해보면 군산의 경우 투입비용이 가장 높은 반면 기대되는 순수익은 가장 낮은 4,173,861원으로 나타나 투자대비 경제적 효율성이 상대적으로 가장 낮다.

그러나 어장환경개선사업이 실시된 3개 지역 모두 NPV, IRR, B/C ratio를 살펴볼 때 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타나 어장환경개선사업이 경제적으로도 국가적 측면에서 필요한 것을 알 수 있다.

표 7-2-18. 경제성 분석 종합 결과

(단위 : 원)

기간	태안(20.5ha)		군산(23ha)		무안(54ha)	
	비용 현재가치	편익 현재가치	비용 현재가치	편익 현재가치	비용 현재가치	편익 현재가치
0	93,329,012	-	127,536,620	-	50,760,045	-
1	2,549,807	17,705,961	6,967,048	26,033,693	3,066,384	11,153,110
2	4,833,757	30,201,692	13,207,674	43,345,632	5,813,051	18,788,459
3	6,879,519	41,384,625	18,797,481	58,834,921	8,273,274	25,620,781
4	4,342,900	27,134,783	11,866,466	38,943,988	5,222,749	16,880,536
5	2,058,247	14,292,548	5,623,918	21,014,833	2,475,237	9,002,977

구 분	태안(20.5ha)	군산(23ha)	무안(54ha)
NPV	16,726,367	4,173,861	5,835,124
IRR	11.7%	6.7%	9.5%
B/C ratio	1.146731218	1.022684126	1.077173217
경제성	경제적 타당성 확보	경제적 타당성 확보	경제적 타당성 확보

제 8 장 참고문헌

- Brotas V. and Catarino F. 1995. Microphytobenthos primary production of Tagues estuary intertidal flats (Portugal). *Net. J. Aquat. Ecol.* 29: 333-339.
- Clark R.B., Frid C. Attil M. 1997 Marine pollution fourth edition. Oxford, New York 161pp.
- Decho A.W. 1990. Microbial exopolymer secretions in ocean environments. Their role(s) in foodwebs and marine processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 28: 73-153.
- MacIntyre H.L., Geider R.J., Miller D.C. 1996. Microphytobenthos: The ecological role of the "secret garden" of unvegetated, shallow-water marine habitats. I. Distribution, abundance and primary production. *Estuaries* 19: 186-201.
- Carls M.G., J.W. Short and J. Payne, 2006. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Neocalanus* copepods in Port Valdez, Alaska, *Mar. Pollut. Bull.*, 52 : 1487-1489.
- Lipiatou E., I. Tolosa, R. Simo, I. Bouloubassi, J. Dachs, S. Marti, M.A. Sicre, J.M. Bayona, J.O. Grimalt, A. Saliot and J. Albaiges, 1997. Mass budget and dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Mediterranean Sea, *Deep-Sea Res. II*, 44 : 881-905.
- Payne R.J., J.R. Clayton and B.E. Kirstein, 2003. Oil/Suspended Particulate Material
- Pettersen, H., C. Naf and D. Broman, 1997, Impact of PAH outlets from an oil refinery in the receiving water area - sediment trap and multivariate statistical analysis. *Mar. Pollut. Bull.*, 34 : 85-95.
- Wakeham, S.G., C. Schaffner and W. Giger, 1980, Polycyclic aromatic hydrocarbons in recent lake sediments; I. Compounds having anthropogenic origins. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 44 : 403-413.
- Wu S. P., S. Tao, F.L. Xu, R. Dawson, T. Lan, B.G. Li and J. Cao, 2005. Polycyclic aromatic hydrocarbons in dustfall in Tianjin, China, *Sci. Total Environ.*, 345 : 115-126.
- Yunker, M.B., R.W. Macdonald, W.J. Cretney, B.R. Fowler and F.A. McLaughlin, 1993. Alkane, terpene and polycyclic aromatic hydrocarbon geochemistry of the Mackenzie River and Mackenzie Shelf: riverine contributions to Beaufort Sea coastal sediment, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57 : 3041-3061.
- Pielou, E.C., 1966. The measurement of diversity in different types of biological

- collections. *J. Theoret. Biol.* 13: 131-144.
- Shannon, C.E. and Weaver, W. 1949. *The mathematical theory of communication.* University of Illinois Press, Urbana, 177pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature (Lond.)* 163, 688.
- Tomas, C.R., 1997. Identifying marine phytoplankton. pp. 858.
- Abe H., 1985. *Ouyo Sugaku Nyumon.* Baifu Kan, Tokyo, pp. 215(in Japanese).
- Admiraal W., 1977, Influence of light and temperature on the growth rate of estuarine benthic diatoms in culture, *Mar. Biol.*, 36: 1-9.
- Berner, R.A., 1980. *Early diagenesis.* Princeton Univ. Press, Princeton, 241pp.
- Brotas, V. and F. Catarino, 1995, Microphytobenthos primary production of Tagues estuary intertidal flats (Portugal), *Net. J. Aquat. Ecol.*, 29: 333-339.
- Buffan-Dubau E. and K.R. Carman, 2000. Diel feeding behavior of meiofauna and their relationships with microalgal resources, *Limnol. Oceanogr.*, 45: 381-395.
- Cahoon L.B., 1999. The role of benthic microalgae in neritic ecosystem, *Oceanogr. Mar. Biol.*, 37: 47-86.
- De Casabianca, M.-L., T. Laugier and E. Marinho-Soriano, 1997. Seasonal changes of nutrients in water and sediment in a Mediterranean lagoon with shellfish farming activity (Thau Lagoon, France). *ICES Journal of Marine Science*, 54: 905 - 916.
- Decho, A.W., 1990. Microbial exopolymer secretions in ocean environments. Their role(s) in foodwebs and marine processes. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 28: 73-153.
- Dugdale R.C., 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamic, identification, and significance, *Limnol. Oceanogr.*, 12: 685-695.
- Epply R.W., J.N. Roger and J.J. McCarthy, 1969. Half saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 14: 912-920.
- Froelich, F.N., G.P. Klinkhammer, M.L. Bender, N.A. Luedtke, G.R. Heath, D. Cullen, P. Dauphin, D. Hammond, B. Hartman and V. Maynard, 1979. Early oxidation of organic matter in pelagic sediments of the eastern equatorial Atlantic: suboxic diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1075-1090
- Graca, B., Z. Witek, D. Burska, I. Białkowska, A. Pawelec and J. Bolałek, 2006. Porewater nutrients (phosphate, ammonia and silicate) in the eastern part of the southern Baltic Sea. *International J. Oceanogr. Hydrobiol.* 35, 237-356.

- Guillard, R.R.L. and P.E. Hargraves, 1993. *Strichochrysis immobilis* is a diatom, not a chrysophyte. *Phycologia*, 32: 234-236.
- Guillard, R.R.L. and D. Ryther, 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* (Cleve) Gran. *Can. J. Microbiol.*, 8: 229-239.
- Han, M. and E. Suess, 1989. Subduction-induced pore fluid venting and the formation of authigenic carbonates along the Cascadia continental margin: implications for the global Ca-cycle, *Paleogeog. Paleocli. Paleoecol.*, 71: 97-118.
- Henrichs, S.M. and J.W. Farrington, 1984. Peru upwelling region sediments near 15 S, remineralization and accumulation of organic matter. *Limnol. Oceanogr.* 29: 1-19.
- Keller, M.D., R.C. Selvin, W. Claus and R.R.L. Guillard, 1987. Media for the culture of oceanic ultraphytoplankton. *J. Phycol.*, 23: 633-638.
- Liu, S.M., J. Zhang and W.S. Jiang, 2003. Pore water nutrient regeneration in shallow coastal Bohai Sea, China. *J. Oceanogr.*, 59: 377-385.
- MacIntyre H.L., R.J. Geider and D.C. Miller, 1996. Microphytobenthos: The ecological role of the "secret garden" of unvegetated, shallow-water marine habitats. 1. Distribution, abundance and primary production, *Estuaries*, 19: 186-201.
- Montagna P.A., G.F. Blanchard and A. Dinet, 1995. Effect of production and biomass of intertidal microphytobenthos on meiofaunal grazing rates, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 185, 149-165.
- Murray, E.M., C.S. Smith, J. Smith, R.R. Haese and D.T. Heggie, 2005. Nutrient release from sediments of the Torbay Drainage System, South-Western Australia. *Geoscience Australia, Record 14*, 75pp.
- Paterson, D.M., 1989, Short-term changes in the erodibility of intertidal cohesive sediments related to the migratory behaviour of epipelagic diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 34: 223-234.
- Rizzo W.M., 1990. Nutrient exchanges between the water column and a subtidal benthic microalgal community, *Estuaries*, 13: 219-226.
- Smith, D.J. and G.J.C. Underwood, 1998. Exopolymer production by intertidal epipelagic diatoms. *Limnol. Oceanogr.*, 43: 1578-1591.
- Sommer U. 1989. The role of competition for resources in phytoplankton succession. In: *Plankton ecology*. Sommer, U., ed. Springer-Verlag, Berlin, 57-106.
- Suess, E., W. Balzer, K.F. Hesse, P.J. Muller, C.A. Ungerer and G. Wefer, 1982. Calcium carbonate hexahydrate from organic-rich sediments of the Antarctic

- shelf: precursors of glendonites. Science, 216: 1128-1131.
- Thronsen, J., 1978. Preservation and storage. In "Sournia, A.(ed.), Phytoplankton manual, Unesco, Paris": 69-74.
- Underwood G.J.C. and J. Kromkamp, 1999. Primary production by phytoplankton and microphytobenthos in estuaries. Adv. Ecol. Res., 29: 93-153.
- Vargo G.A. and D. Howard-Hamblott, 1990. Phosphorus dynamics in *Ptychodiscus brevis*: Cellphosphorus, uptake and growth requirements. In: Toxic Marine Phytoplankton, Proc. 4th Int. Conf., Elsevier, New York, pp. 324-329.
- 日本氣象協會, 1985. 海洋觀測指針. 日本海洋學會, 東京: 428pp.
- 廣島縣環境保健協會, 2003, 微細藻を用いた瀬戸内海の生態學的low質改善に関する研究報告書 (その2) . 日本財団、廣島、30pp.
- 山口峰生, 松山幸彦, 1994. 珪素類における營養塩の利用特性及びChattonellaとの營養塩競合. 有害赤潮の生態學的制御による被害防止技術の開発に関する研究報告書, 77-91.
- 해양수산부, 2010, 해양환경공정시험방법.
- 해양수산개발원, 2006, 연안어장의 효율적 관리를 위한 중장기 정책방향 연구, 해양수산부
- 신영태, 이상민, 2000, 어장정화사업의 체계적 추진방향, 한국해양수산개발원
- 한국해양수산개발원, 2004, 어장정화사업의 효과분석 및 추진방향 연구, 해양수산부
- 국토해양부, 2009. 허베이스피리트 유류오염사고 해양오염영향조사 및 생태계 복원연구. 801pp.
- 유영석, 조현서, 최영찬, 2007. 광양만 주변해역 표층퇴적물에서의 다환방향족탄화수소류 (PAHs)의 오염에 관한 연구. 해양환경안전학회, 13 : 9-20.
- 한국해양수산개발원, 2004. "유류오염 보상제도 개선방안", KMI 해양수산 현안분석.
- 해양수산부, 2006. 해양환경공정시험방법. 397pp.
- 백의인, 1989. 한국동식물도감, 제 31권 갯지렁이류.
- 류종생, 1995. 원색 한국패류도감. 일지사.
- 김훈수, 1973. 한국동식물도감, 제 14권 집게, 게류.
- 홍성윤, 2006. 한국해양무척추동물도감. 아카데미서적.
- 민덕기, 2001. 신원색한국패류도감. 도서출판 한글.
- 김훈수, 1977. 한국동식물도감, 제 19권 새우류.
- 신숙, 노분조, 1996. 한국동식물도감, 제 36권 극피동물.
- 국립수산진흥원, 1999. 한국연근해 유용연체동물도감. 구덕출판사
- 심재형. 1994. 한국동식물도감 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부. 487pp.

- 국토해양부, 2008. 해양환경공정시험방법. 000pp.
- 나태희, 이동섭, 2005. 공극수 모델로 추정된 강화도 갯벌의 탈질산화 작용. 한국해양학회지“바다”, 10, 56-68.
- 오석진, 2008. 저질 환경 개선을 위한 *Nitzschia* sp.의 영양염 흡수 동력학. 한국수산학회지, 41: 301-304.
- 한명우, 박용철, 1992. 황해 덕적도 주변 해양 공극수의 환경특성. 한국환경과학회지, 1, 77-88
- 한국해양수산개발원, 2005. 어장정화사업의 효과분석 및 추진방안에 관한 연구. pp.157
수산관계공공사업의 사업평가실시요령 평성 11년 8월 13일 수산청장관통달
- 한국해양연구원, ‘해양오염퇴적물 조사, 정화복원체계 구축(III) 2007

부 록

(어장환경개선사업 주요 사진자료)

1. 충남 태안

구 분	사 진
<p>자갈살포전 전경</p>	
<p>자갈살포</p>	

2. 전북 선유도

구 분	사 진
<p>잡석채집전 전경</p>	
<p>어업인동원 잡석채집</p>	

구 분	사 진
<p>잡석채집 작업사진</p>	
<p>잡석채집 완료</p>	

구분	사진
<p>조간대 폐기물 전경</p>	
<p>조간대 폐기물 수거작업</p>	

구분	사진
<p>조간대 폐기물 수거작업</p>	
<p>조간대 폐기물 수거 후</p>	

3. 전남 무안

구 분	사 진
<p>폐지주 제거작업 (작업 전경)</p>	
<p>폐지주 제거작업 (작업 전경)</p>	

구 분	사 진
<p>폐지주 제거작업</p>	
<p>폐지주 제거작업 (완료)</p>	

구 분	사 진
-----	-----

조간대
폐기물
수거작업



조간대
폐기물
수거작업



구 분	사 진
<p>조간대 폐기물 수거작업 (완료)</p>	
<p>조간대 폐기물 수거작업 (완료)</p>	

구 분	사 진
-----	-----

어장바닥
경운작업



어장바닥
경운작업
(완료)

