발 간 등 록 번 호
74-6440954-000005-01

연구교습어장 사업보고서

서해안 말백합 생산 기술 개발

Development of Technology for the Production of Meretrix petechialis in the West Coast

2019. 12.



충청남도수산자원연구소

태안사무소

연구교습어장 사업보고서

서해안 말백합 생산 기술 개발

Development of Technology for the Production of Meretrix petechialis in the West Coast

2019. 12.

연구기관명 :	충청남도수산자원연구소
연구책임자 :	김종락
책임연구원 :	한명규
참여연구원 :	이천희, 강종순, 이대한, 김민호, 김창섭, 권주창, 전상기, 김은비
참 여 기 관 :	㈜연안관리기술연구소

충청남도수산자원연구소
태안사무소

보고서 요약

<table>
<tr><td>과제명</td><td colspan="2">서해안 말백합
생산 기술 개발</td><td>연구기간</td><td>2017~2019</td><td>단계구분</td><td>종 료</td></tr>
<tr><td>연구 항목</td><td colspan="6">· 모패를 활용한 치패 발생 및 종패 성장도 모니터링
· 치패 중간육성 크기(1~2㎝) 성장 조사
· 말백합 서식환경(수질·퇴적) 조사
· 말백합 자원 증가량 조사 통한 경제성 효과 분석</td></tr>
<tr><td>연구
책임자</td><td>김종락</td><td>참여
연구원수</td><td>8명</td><td>연구비</td><td colspan="2">250,000천원</td></tr>
<tr><td>과제
주관기관</td><td colspan="2">충청남도수산자원연구소
태안사무소</td><td>참여기업명</td><td colspan="3">㈜연안관리기술연구소</td></tr>
</table>

주 요 성 과

1. 말백합 종패 태안 남해포 서식(성장도) 가능성 확인

   - 시험연구 시설 내 말백합 종패(각장 2.5㎝전후) 이식 후 약 30개월간 모니터링 결과 각장 3.0㎝이상의 성장도를 보이며 모패(5.0㎝)로 성장 확인

2. 말백합 치패 자연발생 및 중간육성 크기 성장

   - 시험연구 모패 시설 3개소 내 치패 발생량 조사 결과 17년도 대비 19년도 치패 발생량 10배 증가 하였으며, 조사 치패 크기는 각장 1~2㎝ 크기로 말백합 생존율을 높일 수 있는 각장 크기로 지속 가능한 말백합 서식 가능성 확인 및 자원량 회복에 기여

   - 말백합 종패·모패 갯벌 이식 시 살포 방법별 초기 생존율 증가 구현

3. 말백합 서식환경 조사 실시

   - 시험연구어장(갯벌) 퇴적·수질 등 환경조사를 통한 말백합 서식환경 구현

4. 말백합 산란성기 조사

   - 생식소 조직 분석 및 비만도 모니터링 실시 결과 산란성기 7월 초 구명

5. 말백합 자원량 증가 및 경제적 효과 기대

   - 태안군 남해포 말백합 자원량 ′17년도 대비 ′19년도 약 47% 증가 하였으며, 경제성 분석 결과 충남 패류양식어장(58.2㎢, 충남연구원(2018) 기준) 경제적 효과 연간 475백만원 예상으로 어업인 소득향상에 기여 기대

요 약 문

Ⅰ. 제 목

서해안 말백합 생산 기술 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1) 목 적

본 시험연구의 목적은 말백합의 성장 및 생존에 적합할 것으로 예상되는 태안 연안 남해포에 조위망을 설치하고 자연산 모패·종패를 연차적으로 살포하여 양식에 의한 말백합 대량생산보다는 안정적인 정착과 성장을 통해 자연산 치패·종패의 지속적 발생 가능성을 평가 하는데 있으며, 더 나아가 충청남도 서해안 말백합 양식단지 조성으로 지역특화 품목 육성 및 어촌체험어장 활용 등으로 패류산업 경쟁력 향상에 기하는데 목적이 있다.

2) 필요성

말백합은 새만금 지역을 비롯한 인천, 경기, 충남, 전북 등지의 마을어업 지역에서 어업인의 소득원으로 각광 받아왔으나 1970년대 질병과 1980년대 새만금 간척 사업으로 최근에는 생산량이 급감했다.

충남 서해안의 백합 생산량은 1975년까지는 1,000t 이상을 유지했다. 충남에서 가장 많이 생산된 해는 1972년으로 당시 3,368t이었다. 이는 당시 전국 총 생산량 9,190t의 36.6% 수준이다. 하지만 1976년부터 전국적으로 백합 대량 폐사가 발생하면서 백합 생산량은 충남에서 600t 이하로 감소했다. 1990년부터 2012년까지 충남에서 양식생산은 이뤄지지 않고 자연 채취만 이뤄지고 있으며, 자연 채취도 100t 안팎

에 불과하다. 이러한 자원량 감소를 해결하고자 말백합을 활용하여 안정적 생산기술을 확립하여 자원 및 생산량 회복에 기여하고자 한다.

기술적 필요성 측면으로는 말백합의 인공종묘 생산기술은 확립되어 있으나, 야외 이식 시 생존율을 높일 수 있는 2cm 내외의 치패까지 양성하는 중간단계의 양성기술에 관한 연구 및 치패를 활용한 해면양식장 양성에 대한 연구가 부족한 실정이며, 2mm 크기부터 먹이요구량 급증하며 점액질을 분비, 이로 인한 붉은 곰팡이, 원생동물 등의 발생으로 실내 사육관리가 어려워짐에 따라 야외(양식장)로 이식 시 폐사율이 급증한다. 따라서 2mm 이후 2cm까지의 중간육성 기술 개발이 필수적이며, 말백합 치패의 중간육성을 포함한 해면양식장을 활용한 양식기술을 개발하여 서해안 대표품종 주 소득원으로 자리 잡을 수 있도록 하고자 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

시험연구 사전 적지조사를 통해 태안군 남해포지선 연안으로 사업지역을 선정하여 시험연구시설로 조위망식 방법으로 50m×50m 5개소(1.25ha)에 대한 시설 설치를 하여 시설 내 말백합 종패(2,760kg)·모패(4,060kg) 살포를 통한 치패 발생 및 종패 성장도 모니터링, 치패 중간양성시험, 말백합 서식환경(수질・퇴적) 조사, 말백합 자원 증가량 조사를 통한 경제성 효과 분석 등 연구를 수행 하였다.

1) 시험 양식어장 선정 및 시설

태안군 용신리, 진산리, 안기리 3개 어촌계에서 어장을 관리하고 있는 남해포 연안(약 250ha) 갯벌어장을 시험연구시설 적지로 선정하였다. 기존에 남해포 연안 내에 백합 양식장 4개소(38.8ha)가 있으며, 백합이 소량 자연 서식하고 있는 곳이다.

또한, 국립수산과학원에서 유류피해지역 어장환경 변화에 적합한 양식품종 적지개발 연구(Park et., 2014)보고서를 참고하여 시험연구어장 적지를 선정하였다.

시험연구시설 방법으로는 조위망을 1.5m 높이로 시설을 하였으며, 이는 이동성이 뛰어난 말백합이 조위망 시설 밖으로 이동하는 것을 방지하여 시험연구를 수행함에 있다.

철근(19mm×2.5m), 조위망 그물(1.5m×51m), 고정핀, 밧줄을 사용하여 조위망 시설5개소(1.25ha)를 설치하였고, 연 2회 조위망 그물 교체 및 시설보수(수시) 등을 수행하여 시설을 관리 하였다.

2) 말백합 모패·종패 살포

인천광역시 강화도의 볼음도에서 말백합을 12,000~15,000원/kg에 구입하여 2017년도에 종패(2.5㎝내외) 1,060kg, 모패(5㎝내외) 1,910kg을 1차 살포하였으며, 2018년도에 종패(2.5㎝내외) 1,700kg, 모패(5㎝내외) 2,150kg을 2차 살포하였다. 살포 위치는 태안군 남해포 진산리, 용신리 모패 조위망시설 2개소와 종패 조위망시설 2개소에 살포 하였으며, 살포방법으로는 만조시 선박을 이용하여 살포하는 조시법과 간조시 경운기를 이용하여 직접 고루 살포하는 석시법을 활용하였다.

3) 시험연구어장 환경 모니터링

어장 환경조사 항목으로는 수질, 퇴적물, 노출시간을 조사 하였다.

수질 분석 항목으로는 NH_4, PO_4, NO_2, NO_3, DIN, DIP, Chl-a을 3년간 분기별 분석하였으며, 수온, 용존산소, 염분, pH 분석은 다항목수질측정기(YSI Professional Plus, USA)와 자동측정로거를 활용하여 데이터를 축적했다.

퇴적물 및 저질 분석 항목으로는 입도, 퇴적률, 퇴적상, 함수율, 강열감량, 화학적산소요구량(COD), 산휘발성황화물(AVS)을 분석하였다.

노출시간 조사는 시험연구어장 4개 정점에서 1조석 주기(12시간) 동안 조사하였다.

4) 말백합 모패 산란성기 조사

조개류의 생식소는 일반적으로 독립된 기관으로 존재하지 않아 생식소만 분리하기 어려워 생식소의 성숙시 증가되는 무게의 변화에 따라 성성숙도를 지수로 표현하는 생식소중량지수(GSI)를 구하기 어렵다. 따라서 산란기는 생식소의 발달과 밀접한 관련이 있는 연체부의 비만도 월별 변화를 조사하여 간접적으로 추정한다.

18년도 5월부터 9월까지 말백합 모패 30마리씩 채취하여 매달 2회씩 생식소 조직분석과 각장, 각고, 각폭, 전중량, 육중량을 측정하였고, 비만도(육중량/각중량) 모니터링과 생식소 조직학적 조사를 병행 실시하였다.

남해포 말백합 산란성기 분석결과를 토대로 인천광역시 강화도 볼음도 말백합 산란성기 조사(Park et., 2014)와 비교 분석 하였다.

5) 말백합 종패 성장도 및 치패 발생 모니터링

말백합 종패 성장도 조사는 2017년 6월부터 2019년 10월까지 종패 시험연구시설 2개 지점에서 매월 1회 30마리씩 샘플 채취하여 각장, 각고, 각폭, 전중량을 조사하였다.

말백합 치패 발생 조사는 모패 시험연구시설 2개 지점과 치패발생 시험연구시설 1개 지점에서 방형구(50×50㎝)내 말백합 치패를 3회 채취하여 평균 마리수를 0.25ha(1개 지점)로 환산하여 치패 발생량을

산출하였다.

6) 말백합 자원량 조사 및 경제성 효과 분석

대상생물인 말백합의 서식량을 파악하기 위해 태안군 남해포 해역 일대에서 총 16개의 정점을 선정하여 2019년 10월에 조사를 실시하였다. 현장조사는 간조시 도보로 접근하여 10×10m의 방형구를 이용하여 표본조사를 실시하였다.

경제적 타당성에 관한 분석은 일단 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악할 수 있도록 함으로써 사업에 대한 이해를 돕게 된다. 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용 비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return,) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 사용하였다.

경제성 분석을 위해서는 사업의 시행전후의 변화를 명확히 평가하기 위한 기준설정(Baseline Sepcifiation) 작업이 필요하다.

경제성 분석을 위한 기준설정을 정확하게 하기 위해서 사업 대상 재화의 속성과 관련한 질문의 명확성, 기준의 명확성, 기준의 일관성, 자원배분의 적절성, 시점 및 사업목적 시나리오의 명확성, 효과기간 상술 등을 고려하였다.

Ⅳ. 연구개발 결과 요약

말백합 모패·종패 활용 시험연구 결과, 30개월간 종패 약 3cm이상 성장, 어장환경조사를 통한 서식환경 구현, 생존율이 높은 중간육성(1~2cm)의 치패 대량 자연 발생, 말백합 자원량(성패) 47% 증가의 결과로 보아 지속적인 말백합 모패·종패 살포 사업을 추진한다면 서해안 백합 자원회복에 큰 기여가 될 수 있을 것으로 사료된다. 특히, 중간육

성(1~2㎝) 치패 자연 발생량이 지속적으로 증가하는 결과로 보아 말백합의 안정적 정착과 지속적인 자원량 증가 가능성을 평가하는데 큰 의미가 있다. 시험연구 추진 중 애로사항으로는 조위망 시설 관리에 많은 노동력이 투입 되며, 조위망 시설 내 조류방향으로 말백합이 밀식하여 폐사 발생, 모패·종패 살포 후 초기 생존율 저하, 어업인 백합어장 자원관리 소홀, 갯벌환경 변화 대응의 어려움 등 이었다. 이에 따른 대책방안으로는 말백합 양식장 방법으로 조위망 시설은 부적합 되는 것으로 사료되며, 수확시기 일정 기간 조류방향으로 조위망을 시설하여 말백합을 모이게 하여 채취를 수월하게 할 수 있도록 하고, 채취 후 조위망을 철거하는 일시적 시설 양식법이 적합하다고 사료된다.

모패·종패 살포 시 밀도는 ㎡당 20~30개체로 석시법으로 살포하며, 살포 시기는 5월 이전 수온 10℃ 전후가 초기 생존율을 높일 수 있다.

백합어장관리는 금지체장 준수 및 남획금지 등 어업인 스스로가 자율적으로 어장 자원량을 관리할 수 있도록 기관에서 어업인 의식을 개선하기 위한 지도 및 교육을 지속적으로 실시해야 한다.

마지막으로 육상시설(축제식 등)에서 말백합 서식환경조성을 통한 양식 연구를 추진하여 수확이 용이하고 어장관리가 수월하도록 하여 변화해 가는 갯벌환경에 대응 하도록 한다.

이번 사업의 경제적 효과는 말백합 자원 복원사업의 확대 보급에 따른 간접적 경제적 효과로 지역경제 활성화에 기여하며, 이에 충남 패류 양식 어장(58.2㎢, 충남연구원(2018) 기준)으로 말백합 자원 회복 성과가 확대 보급된다면 충남 패류 양식면적 중 타 패류 소득 자원화를 감안하여 말백합 자원회복 사업의 성과를 50% 정도 적용하는 것으로 가정하고, 직접적 비용편익 분석 결과를 활용한 결과 경제적 효과는 연간 475백만원으로 분석되어 지역 어민 소득증대에 큰 기여가 될 수 있을 것이다.

Ⅴ. 연구 개발 결과의 활용계획

○ 지속적이고 안정적인 말백합 양식생산을 위한 기초자료로 활용

○ 말백합 자원량 증대를 위한 양식조성 기법개발 어업인 기술 이전

○ 말백합 체험어장운영으로 어촌 활성화 및 지역특화 품종 육성 추진

< 목 차 >

요약문 ····· 2

I. 서 론 ····· 19

1. 백합의 생물·생태적 특징 ····· 19

가. 분류 및 형태 ····· 19

나. 분포 및 서식환경 ····· 20

다. 산란 및 성장 ····· 21

라. 이동 및 잠입습성 ····· 22

2. 말백합 종자생산 및 양성 ····· 23

가. 종자생산 ····· 23

나. 양성 및 생산 현황 ····· 24

Ⅱ. 재료 및 방법 ····· 31

1. 시험어장 선정 및 조위망 시설 ····· 31

2. 말백합 모패·종패 살포 ····· 32

3. 산란성기 조사 ····· 33

4. 종패 성장도 및 치패 발생 조사 ····· 34

5. 어장환경조사 ····· 34

가. 퇴적·저질 환경조사 ····· 34

나. 수질환경 조사 ····· 39

다. 노출시간 조사 ····· 40

6. 서식량 조사 및 경제성 분석 ····· 40

가. 말백합 서식량 조사 ····· 40

나. 경제성 분석 ····· 42
Ⅲ. 결과 및 고찰 ····· 47
1. 조위망 시설 및 말백합 살포 ····· 47
가. 조위망 시설 ····· 47
나. 태풍 시설 피해 ····· 50
다. 말백합 살포 ····· 51
2. 시험연구어장 환경조사 ····· 53
가. 노출시간 ····· 53
나. 퇴적·저질 환경조사 ····· 54
다. 수질환경 조사 ····· 63
3. 산란성기 조사 ····· 79
4. 치패 발생 및 종패 성장도 조사 ····· 83
가. 치패발생 ····· 83
나. 종패성장도 ····· 86
5. 서식량 조사 및 경제성 분석 ····· 89
가. 서식밀도 및 개체특성 ····· 89
나. 서식량 ····· 91
다. 타 지역 어장 비교 결과 ····· 93
라. 어장 경제성 분석 ····· 95
Ⅳ. 종합고찰 ····· 105
Ⅴ. 참고문헌 ····· 109
Ⅵ. 참고사진 ····· 115

< 표 차례 >

표 1. 연구교습어장 사업개요 ·····31

표 2. 2017년 남해포 말백합 서식량 ·····32

표 3. 입자의 크기에 따른 퇴적물의 입도등급 ·····36

표 4. 서식량 조사정점 좌표 ·····41

표 5. 태풍 시험연구시설 피해 현황 ·····51

표 6. 말백합 살포 현황 ·····52

표 7. 정점별 평균해면 및 노출시간 ·····53

표 8. 정점별 퇴적률(2017. 6.～2017. 10.) ·····54

표 9. 정점별 퇴적률(2018. 3.～2018. 12.) ·····55

표 10. 정점별 퇴적률(2019. 3.～2019. 9.) ·····56

표 11. 2017년 6월부터 10월까지 조사된 표층 퇴적물의 조직 및 통계변수 ·····58

표 12. 2019년 3월에 조사된 표층 퇴적물의 조직 및 통계변수 ·····59

표 13. 인천광역시 말백합 서식지 표층퇴적물의 조직 및 통계변수 ·····60

표 14. 2017년 6월부터 10월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a ·····66

표 15. 2018년 3월부터 12월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a ·····69

표 16. 2019년 3월부터 9월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a ·····72

표 17. 2015년 서해안 패류어장의 수질 영양염 및 엽록소-a ·····76

표 18. 말백합 비만도 조사 ·····79

표 19. 말백합 시기별 육중량 변화 ·····86

표 20. 말백합 종패 평균 크기 측정 ·····88

표 21. 남해포 해역 백합의 서식밀도 및 개체특성 ·····89

표 22. 남해포 해역 백합의 서식밀도 및 개체특성 ·····92
표 23. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 서식밀도 및 개체특성 ·····93
표 24. 말백합 자원조성 조성사업의 편익 ·····95
표 25. 말백합 치패 발생량 조사 결과 ·····96
표 26. 어업부문 1 경영체당 평균 비용(2017 년 기준, 천원) ·····96
표 27. 위탁판매 금액 통계(2019 년 10 월 기준, 500kg 이상 위탁판매 기준) ·····96
표 28. 비용편익비율 측정결과 ·····98
표 29. 민감도 분석 결과 ·····99
표 30. 비용편익 분석 흐름 ·····99
표 31. 연구교습어장 운영에 따른 소득 추정 ·····100

< 그림 차례 >

그림 1. (좌) 백합, (우) 말백합 형태적 차이 ·····20
그림 2. 말백합 유생 발달 과정 ·····22
그림 3. 전국대비 충남 백합생산 현황 ·····26
그림 4. 우리나라 최근 백합 생산량 및 생산액 ·····27
그림 5. 시험연구 어장 시설위치 ·····31
그림 6. 시험연구시설 단면도 ·····32
그림 7. 퇴적률판(SRP) 설치 및 측정 전경 ·····37
그림 8. 실시간 수질측정로거 설치 모식도 ·····39
그림 9. 해수시료 채수 및 수질측정로거 설치 전경 ·····40
그림 10. 서식량 조사 정점도 ·····41
그림 11. 방형구법에 의한 말백합 현장조사 및 서식밀도 조사 전경 ·····42
그림 12. 경제성 분석 단계적 절차 ·····44
그림 13. 말백합 조위망 시설 ·····47
그림 14. 고압분사기를 활용한 벽돌 매몰 및 조위망 하단부분 고정 시설 ·····48
그림 15. 조류방향으로 조위망 밑에 밀식된 말백합 폐사발생 ·····49
그림 16. 조류방향으로 조위망 부분 개방 ·····49
그림 17. 제 13 호 태풍 “LINGLING(링링)” 이동경로 ·····50
그림 18. 연구교습어장 시설물 태풍 피해 ·····51
그림 19. (좌) 조시법, (우) 석시법 살포 전경 ·····52
그림 20. 정점별 노출시간 ·····53
그림 21. 2017 년 정점별 퇴적률 변화 ·····54

그림 22. 2018 년 정점별 퇴적률 변화 ·····55
그림 23. 2019 년 정점별 퇴적률 변화 ·····56
그림 24. 2017 년 표층퇴적물의 퇴적상(Folk, 1968) ·····57
그림 25. 2019 년 표층퇴적물의 퇴적상(Folk, 1968) ·····59
그림 26. 표층퇴적물의 함수율 변화 ·····61
그림 27. 표층퇴적물의 강열감량 변화 ·····61
그림 28. 표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화 ·····62
그림 29. 표층퇴적물의 산휘발성황화물 변화 ·····62
그림 30. 2017 년 조사구별 해수 용존 영양염류 ·····65
그림 31. 2017 년 조사구별 해수 중 엽록소-a 농도 변화 ·····66
그림 32. 2018 년 조사구별 해수 용존 영양염류 ·····68
그림 33. 2018 년 조사구별 해수 중 엽록소-a 농도 변화 ·····69
그림 34. 2019 년 조사구별 해수 용존 영양염류 ·····71
그림 35. 2019 년 조사구별 해수 중 엽록소-a 농도 변화 ·····72
그림 36. 2017~2019 년 조사구별 용존무기질소 변화 ·····74
그림 37. 2017~2019 년 조사구별 용존무기인 변화 ·····75
그림 38. 태안 남해포 염분 변화 ·····77
그림 39. 태안 남해포 pH 변화 ·····77
그림 40. 태안 남해포 용존산소 변화 ·····78
그림 41. 태안 남해포 수온 변화 ·····78
그림 42. 말백합 모패 측정 ·····79
그림 43. 암컷 생식소 변화 ·····80

그림 44. 수컷 생식소 변화 ·····81
그림 45. 말백합 치패 발생량 ·····83
그림 46. 말백합 치패 발생 조사 ·····84
그림 47. 말백합 유생 조사 ·····85
그림 48. 말백합 종패 각장, 각고, 각폭 크기 변화 ·····87
그림 49. 남해포 해역 백합의 정점별 서식밀도 변화 ·····90
그림 50. 남해포 해역 백합의 정점별 각장 변화 ·····90
그림 51. 남해포 해역 백합의 정점별 전중량 변화 ·····91
그림 52. 태안 남해포 말백합 서식량 변화 ·····92
그림 53. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 서식밀도 비교 ·····94
그림 54. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 각장 비교 ·····94
그림 55. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 전중량 비교 ·····95

Ⅰ. 서 론

1. 백합의 생물·생태적 특징

가. 분류 및 형태

나. 분포 및 서식환경

다. 산란 및 성장

라. 이동 및 잠입습성

2. 말백합 종자생산 및 양성

가. 종자생산

나. 양성 및 생산 현황

Ⅰ. 서 론

1. 백합의 생물·생태적 특징

가. 분류 및 형태

백합(Meretrix lusoria)은 연체동물 문(Phylum Mollusca), 이매패 강(Class Bivalvia, Pelecypoda), 백합 목(Order Venroida), 백합 과 (FamilyVeneridae), 백합 속(Genus Meretricinae)에 속하는 종으로, 우리나라에는 민무늬백합(라마르크백합, M. lamarckii), 문합(무명조개, M. meretrix), 말백합(M. petachiales) 등이 알려져 있으나(제, 1989), 분류학적인 재검토가 요구되었다.

백합은 고급 이매패류로 형태적 특징을 보면(권 등, 1993), 껍질은 둥근 삼각형으로 매우 두꺼우며, 인대는 흑색으로 짧고 크게 돌출하며, 뒤쪽 끝이 뾰족한 편이고 두 껍질을 닫으면 사이에 작은 틈이 생긴다. 각피는 매끈하고 광택이 나며, 암갈색의 굵은 띠가 "八" 자 모양을 하나, 색체와 무늬는 동일 지역에서도 개체에 따라 다양한 모습을 한다. 주치와 측치가 각각 2개씩이며, 패각의 내면은 순백색을 띈다.

우리나라에서 주로 식용으로 사용되는 백합류의 대부분은 말백합(M. petachiales)이다. 백합에 비해 각 폭이 넓고 패각의 황색 얇은 각피는 매끈하고 각표는 광택이 나며 황갈색, 백색, 회갈색 등 채색의 변이가 있고 각정부에는 적갈색의 점과 패각에 톱니 모양(∧∨)의 무늬가 있으며 패각이 백합보다 비교적 둥근 모양이다.

패각 뒤쪽에 약한 능각이 나타나며 뒷부분은 백합(M. lusoria)에 비하여 직선상을 이룬다. 뒤쪽 등선과 뒤쪽 배선이 만나는 곳에 백합보다 각이 둔하고 둥근 편이므로 구별이 되는 편이다(그림 1).

백합(M. lusoria)과 유사하나 일반적으로 말백합이 백합보다 크다.

학자에 따라 입수관 개구부에 있는 촉수의 형태 등 두 종의 차이를 말하고 있

으나 색채와 형태에서 지방적인 변이가 아주 심한 점 등을 미루어 볼 때 백합과 말백합의 명백한 구별은 매우 어렵다.

Kim et al.(2004)은 염기서열을 이용한 계통분류에서 말백합과 백합은 동일한 조상을 갖는다고 보고하였다.

그러나 우리나라 서해안을 중심으로 주로 분포되어 있는 것은 대부분 말백합이고, 이 두 종에 대한 정확한 분류가 필요할 것으로 생각된다.

본 시험연구 품종으로는 말백합(M. petachiales)을 활용하여 연구를 추진하였다.



그림 1. (좌) 백합, (우) 말백합 형태적 차이

나. 분포 및 서식환경

백합은 온대성 패류로, 우리나라를 비롯하여 일본, 중국, 대만 등과 동남아시아에 널리 분포한다. 우리나라에서는 서해안과 남해안의 강하구에 많이 분포하고 있는데, 주로 한강, 금강, 만경강, 동진강, 섬진강, 낙동강 등의 하구와 비교적 염분 농도가 낮은 내만의 간석지에 서식하고 있었으나, 1970년대 대량 폐사 및 계속된 매립·간척 사업으로 인해 최근에는 서식지가 매우 축소되었기 때문에 자원의 회복과 보호가 시급한 실정이다.

백합은 주로 평탄하고 사질토가 풍부한 연안의 간석지에 분포하며, 모래 함량이 50~90%로 잠입층까지 균일한 곳에 서식하고, 대조시 6~7시간 노출되는 간석지부터 수심 5~6m되는 조하대까지 분포한다.

성장함에 따라 선호하는 퇴적물의 입도가 다소 차이가 있는데, 성패는 사질이 60% 이상 니질이 40% 이하인 곳이며, 종패와 치패는 사질이 80% 이상 니질이 20% 이하의 퇴적물에 일반적으로 서식한다.

백합의 적정 서식수온 범위는 11~28℃로, 아가미 섬모운동은 25.5℃에서 최대이고 29℃가 되면 불규칙하게 되며, 3℃ 이하와 39℃ 이상에서는 거의 정지된다고 알려져 있다 (유 등, 1975). 백합의 서식 염분 범위는 비교적 넓은데, 비중이 1.105~1.024 정도가 알맞으며, 어릴 때는 강 하구 부분의 염분이 비교적 낮은 곳에서 성장하나, 성패로 자람에 따라 깊은 곳으로 이동한다.

다. 산란 및 성장

한국의 백합 산란기에 대한 연구로 인천 송도는 8월 중순부터 9월 중순까지이며, 산란성기는 8월 하순으로 추정하였고(Choi, 1971), 충남 태안군 안면도에서는 7월 하순에 난소 성숙도가 가장 높았고, 8월 중순부터 난소속의 성숙란이 극히 감소하였다고 보고하였다(Choi and Song, 1974). 충남 서천군 부사만의 산란기는 5 ~ 10월이며, 산란성기는 6 ~ 7월로 보고하였다(Kim et al., 1986) 전북 김제 해역의 산란기에 대하여 Lee(1997a)는 수온 22℃인 6월부터 25℃인 9월까지이며, 산란성기는 7월(27℃) ~ 8월(28℃)로 보고하였다. Chung and Kim(2000)도 산란기를 6월부터 9월까지로 보고하였다.

백합은 자웅이체로, 패각의 외부형태 만으로는 암수를 구분할 수 없으나, 성숙했을 때 생식소의 색으로 구분할 수 있는데, 산란시기가 되면 암컷은 엷은 노랑색을 띤 우유빛을 띠며, 수컷은 우유빛 회색을 나타낸다.

백합의 발생과정은 해수에 방출된 난과 정자는 수정한 후, 난할이 시작되어 상실기, 낭배기, 담륜자기를 거쳐 D형 유생에 이르는데 수온 21.5℃에서 약 30시간 05분이 소요된다. D형 유생의 크기는 135㎛ 전후이며, 각정 부위의 융기 없이 발생이 진행되어, 면반(velum)이 퇴화되고 발(foot)이 발달하는 저서생활기(침착기)로 이행하였다. 이때의 크기는 180㎛ 전후로, D형 유생에서 침착기 까지는 수온

에 따라 다르나 수온 21.5℃~22℃에서 약 4.5일이 소요된다(김 등, 2012).

저서생활로 들어간 직후의 치패 중에는 때때로 실모양의 족사를 분비하여 바닥에 부착하는 것이 있으나, 이는 각장 0.3㎜까지 아주 초기에만 일어난다. 즉, 부유생활을 마치고 저서생활로 들어갈 때, 다른 물질에 부착하지 않고, 직접 바닥의 모래 위에 침강해서 처음에는 족사로써 모래에 붙어 몸을 지지하고 있지만 성장함에 따라 곧 저질 중에 잠입하게 된다.



D형 유생　　각정기　　착저 치패(패각 성장선 형성)

그림 2. 말백합 유생 발달 과정

봄철 수온이 10℃ 이상부터 가을철 수온이 10℃ 이상 유지될 때까지 성장하며, 겨울철 수온이 10℃ 이하로 내려가면 성장이 중지됨과 동시에 깊이 잠입하여 월동한다. 성장은 지역에 따라 다소의 차이는 있으나, 잠입생활을 시작한 후 6개월이면 1㎝ 전후로 성장하고, 만 1년이면 2~3㎝로 성장하여 양식장에 살포할 수 있는 종패의 크기가 된다.

만 2년생은 3~4㎝, 만 3년생은 5~6㎝로 되고 만 5년 이상이면 6㎝이상 성장하는데, 본 연구 결과로 태안군 남해포 지선의 말백합 성장은 3년간 3㎝이상 성장을 확인 할 수 있다.

라. 이동 및 잠입습성

백합류의 이동 습성은 연안 어민들에게는 잘 알려져 있는 현상이다. 성장기에 있는 각장 3.0~5.0㎝인 개체는 점액질의 끈과 같은 것을 길게 내어 깊은 곳으로

향하여 이동하고 있는 것을 흔히 볼 수 있다. 일반적으로 각장이 아주 작은 치패나 큰 성체는 이동성이 작다.

백합은 점액질의 끈과 같은 것을 1~3m 정도 길게 내어 조류의 영향을 받아 몸 전체의 부력을 증가시켜 이동하며, 이동시 조가비의 옆을 밑으로 하여 조류 방향으로 이동되어진다.

본 시험연구지역인 태안군 남해포 지선에서는 조차가 크기 때문에 조류가 아주 빠르고, 백합의 이동은 매년 볼 수 있다. 이동은 유속과 관계 깊어 유속이 매초 3~8㎝ 이상일 때 가장 많이 일어난다. 그러므로, 남해안의 동북쪽 연안에서는 대조시에 많은 이동을 하지만 서해안과 같이 간만의 차가 큰 곳에서는 소조시라 하더라도 이동하는 것을 볼 수 있다.

이동속도는 유속이 3.5m/분 정도일 때 매 분 1.05m 정도로 알려져 있고, 이동이 심한 백합의 크기는 3~5㎝ 정도로 1㎝ 이하인 치패와 5㎝ 이상의 성패는 많이 이동하지 않으며, 이동시기는 초여름에서 가을까지의 성장기로 주로 7~8월에 이동이 가장 심한 것으로 알려져 있다.

백합은 여름보다는 겨울에 더 깊이 잠입하는데, 보통 잠입하는 깊이는 백합의 크기에 따라 다소 차이가 있으며, 여름철에 종패는 3㎝ 내외의 깊이로, 성패는 5㎝ 내외의 깊이로 비교적 얕게 잠입한다. 반면, 겨울철에 종패는 7㎝ 내외, 성패는 10㎝내외의 깊이까지 잠입하나, 한파가 심할 때는 보통 15㎝ 이상까지 잠입하여 월동하게 되면서 거의 성장하지 않는다.

2. 말백합 종자생산 및 양성

가. 종자생산

말백합은 일반적으로 자연적으로 특정 지역에서 다량 발생하는 종패를 이식하여 양성하는 방법이 이용되고 있다. 우리나라에서는 현재 인천광역시 볼음도에서

종패가 다량 생산되고 있다.

바지락, 가무락 등 대부분의 이매패류 양식과 같이 대량의 종패를 생산하기 위해 나뭇가지 또는 돌 등을 이용한 완류식 채묘방법을 택하기도 하지만 많은 효과를 보지 못하고 있으며, 지금까지 오직 특정 지역에서 대량으로 발생한 종패를 채집하여 양성장에 이식하는 자연 의존적 종자생산 방법을 행하고 있다.

말백합 인공종자생산은 2001년에 말백합 종자생산 기술개발이 시도 된 바 있으나 대량 인공종자생산 기법은 정립되지 않은 실정이다. 따라서 2008년부터 인공종자생산 기술개발을 위하여 사육수온별 어미성숙관리(Kim et al, 2009) 및 산란유발, 유생사육 기법(Kim et al, 2010)을 개발하였고, 말백합의 생산량을 증가시키기 위한 기초 연구로서는 인공종자 생산기술이 개발되어 있으나 야외 이식시 생존율을 높일 수 있는 2㎝ 내외의 치패까지 양성하는 중간단계의 양성 기술에 관한 연구가 부족한 실정이다(Kim et al., 2012; 국립수산과학원, 2013).

비 부착성 패류의 인공종자생산 과정은 어미성숙관리(Kim et al, 2009), 산란유발 및 유생사육 기법(Kim et al., 2010), 초기치패사육 순으로 볼 수 있고, 적정 먹이생물배양 및 공급이 이루어진다.

국립수산과학원에서는 말백합 초기치패 대량배양은 성공하였으나 먹이생물의 공급량이 한정되어 각장 1㎝이상의 치패 생산에는 매우 어려움이 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 추후 바다에서 중간양성에 관한 연구가 지속되어야 한다고 기술한 바(Jeong et al., 2012), 본 시험연구에서 각장 2㎝ 내외 까지 양성하는 중간육성 시험연구를 수행 하였다.

나. 양성 및 생산 현황

백합류의 양성은 이동습성에 따라 개방양성과 간석지양성으로 나눌 수 있다.

개방양성은 간석지에 종자를 방양한 다음 깊은 곳으로 이동해 가면서 성장하는 것을 양성 관리해서 수확하는 양성법이며, 간석지양성은 간석지에 조위 시설을

한 다음 여기에 종자를 방양하여 양성 관리한 것을 수확하는 양성법이다.

말백합 양식에서 양식장의 적지선정은 백합의 성장과 도피방지 및 어장관리에 큰 영향을 미친다. 양식장 적지 조건으로는 첫째, 파도와 바람이 심하게 닿지 않는 평온한 곳이어야 한다. 둘째, 풍파 및 홍수 피해가 적고, 파도나 조류에 따라 지반의 변동이 없는 안정된 곳이어야 한다. 셋째, 치패 이식 및 종패 성장 장소는 5~6시간 노출선, 성패 양식장은 0~4시간 노출선의 간석지가 필요하다. 넷째, 양식장 인근에 담수의 유입이 있어 풍부한 영양염류의 유입으로 먹이가 되는 식물플랑크톤의 번식을 촉진시킬 수 있어야 한다. 다섯째, 어장관리가 편리한곳, 교통이 편리한 곳, 조류의 소통이 원활히 이루어지는 곳, 공장폐수의 유입 우려가 없는 곳, 종묘장 근처로 현지 채묘가 가능한 곳, 해적생물이 적은 곳 등은 부수적으로 필요한 항목이다(국립수산과학원, 2008).

말백합이 자연적으로 이동에 의한 유실이 없는 곳을 선정한다는 것은 중요한 문제이다. 개방식 양성장으로 적합한 연안으로는 외해 쪽의 저질이 대합류의 이동을 방지할 수 있는 자갈이나 암석과 같은 것으로 되어 있거나 또는 외해 쪽의 수심이 급격히 깊어져서 수심이 7~8m 이상 되는 곳이다. 그리고 양성방법 별로는 개방식 양성이 조위망식 양성에 비해 성장이 빠르다(유, 2000).

말백합의 심한 이동성 때문에 양성은 개방식보다는 주로 조위망식(도피 방지망식)으로 이루어져 왔다. 종패의 크기를 보면, 산란기의 전반기인 당년에 발생한 개체군은 가을까지 10mm 정도로 성장하게 되고, 이듬해 봄에는 15mm정도로 5mm 정도밖에 성장하지 못하고, 가을되어서야 20mm 가까이 성장한다, 양성장에 방양할 수 있는 종패의 크기는 비교적 패각이 단단해져 수송 중 패각의 파손이 적은 1~3㎝ 정도의 크기가 알맞다.

종패의 방양 시기는 높은 기온으로 인해 종패를 장기간 방치할 수 없는 여름철보다는 4~6월의 봄철과 9~10월의 가을철이 알맞다. 그러나 가을철에 방양할 경우 이식된 종패가 제대로 안정되기도 전에 겨울이 닥쳐오게 되므로 되도록이면 봄

철에 방양하는 것이 좋은데 이때의 크기가 대략 2~3㎝가 되므로 이른 봄에 살포함으로써 수온이 높아 성장이 활발한 여름을 맞이하게 하는 것이 좋다.

말백합은 이동으로 인해 언제나 썰물 방향의 조위 시설 밑에 이동해 온 말백합이 많이 쌓여 있는 경우가 많다. 수온이 높은 시기와 유속이 빠른 때에 이동이 심하기 때문에 여름철 간만의 차가 적은 곳은 대조시에, 간만의 차가 큰 곳은 물때에 관계없이 언제나 이동으로 인한 말백합이 쌓이는 문제가 발생된다.

쌓여있는 말백합을 그대로 두면 폐사가 발생하므로, 쌓여 있는 말백합을 다시 양성장에 고르게 방양해 주는 것이 중요하다.

우리나라에서 백합 양식은 1960년대 중반부터 서해안과 남해안에서 본격적으로 시작하여 1970년대 초반 연간 6,000~9,000톤을 생산하였고(정, 2003) 대일 수산물 수출품목 중 1위를 차지하였다. 그러나 1973년 서해안에서부터 대량 폐사가 발생하기 시작하여 우리나라 전 연안으로 확대됨으로써 생산량이 급감하였고, 1980년대 이후부터 최근까지 양식 생산량은 소량생산에 불과하였다(그림 3).

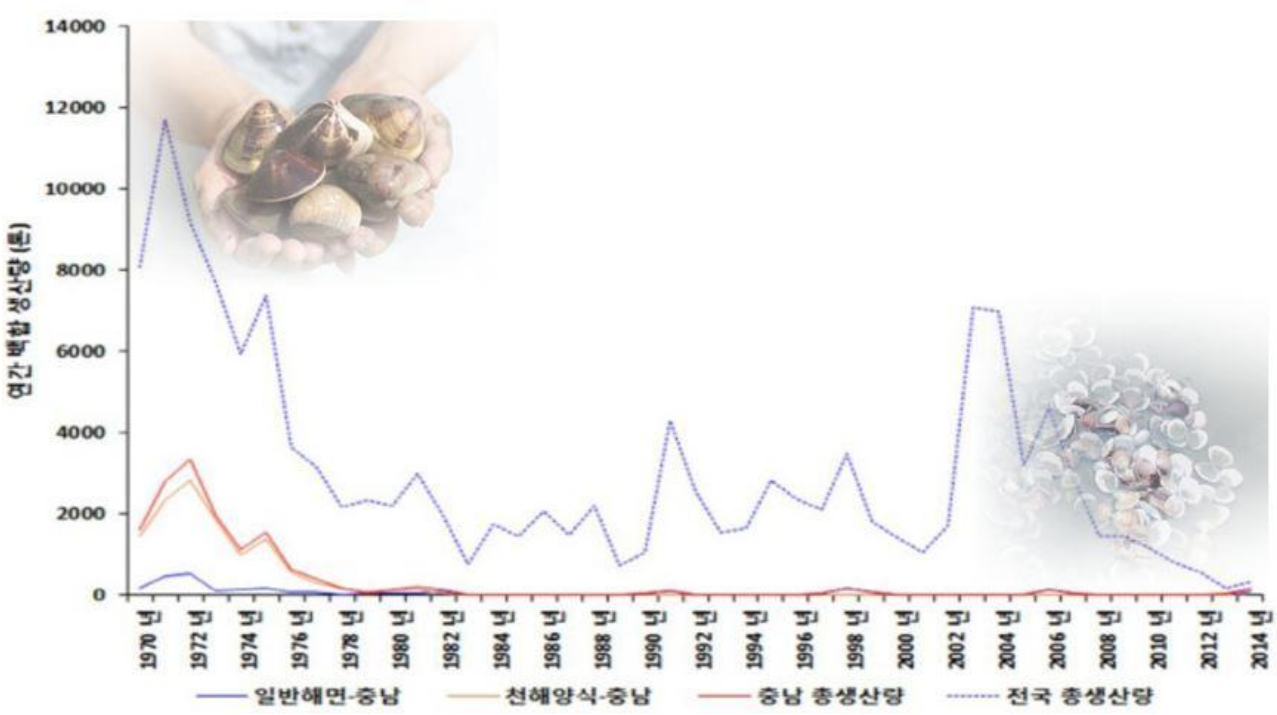


그림 3. 전국대비 충남 백합생산 현황

충남에서 가장 많이 생산된 해는 1972년으로 당시 3,368t이었다. 이는 당시 전국 총 생산량 9190t의 36.6% 수준이다. 하지만 1976년부터 전국적으로 백합 대량 폐사가 발생하면서 백합 생산량은 충남에서 600t 이하로 감소했다(그림 4).

1990년부터 2012년까지 충남에서 양식생산은 이뤄지지 않고 자연 채취만 이뤄지고 있으며, 자연 채취도 100t 안팎에 불과했다.

2010년 이후 최근 7년 동안의 백합류 전국 생산량 및 생산금액은 2010년 1,146톤, 66억원으로 가장 높았으나 이후 2014년에는 305톤, 18억원으로 다시 증가하여 2015년에는 423톤, 24억원으로 다소 회복되는 추세를 보였다. 2016년 생산량 및 생산금액은 277톤, 20억원으로 전년에 비해 다소 감소하였으나, 2017년은 9월까지 408톤, 24억원으로 다소 증가하여 최근 3년간 생산량은 300톤 내외로 증감을 반복하는 추세를 나타낸다(국립수산과학원, 2017).

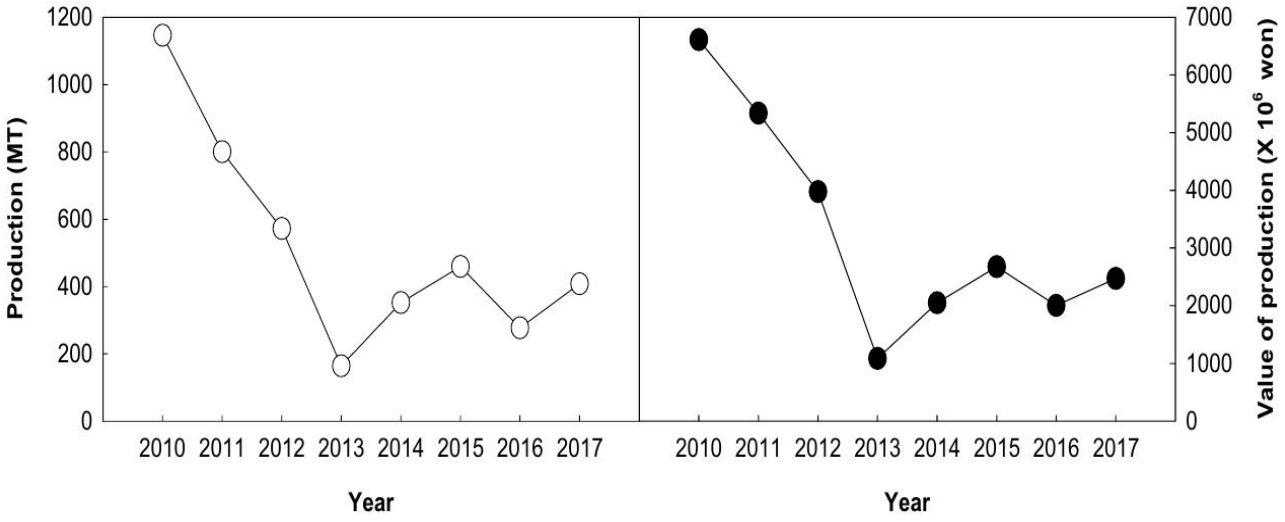


그림 4. 우리나라 최근 백합 생산량 및 생산액

2000년대 들어와 전국적인 백합생산은 새만금 내측 수면, 한강 및 임진강 하구 유역의 강화도 및 인천지역의 자연산 채취가 주된 생산지며, 현재 새만금 내측, 전남 및 경남지역의 생산량이 감소하면서 충남과 인천지역의 백합 자원량 회복에 있어 중요성이 커졌다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 시험어장 선정 및 조위망 시설

2. 말백합 모패·종패 살포

3. 산란성기 조사

4. 종패 성장도 및 치패 발생 조사

5. 어장환경조사

가. 퇴적·저질 환경조사

나. 수질환경 조사

다. 노출시간 조사

6. 서식량 조사 및 경제성 분석

가. 말백합 서식량 조사

나. 경제성 분석

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 시험어장 선정 및 조위망 시설

태안군 용신리, 진산리, 안기리 3개 어촌계에서 어장을 관리하고 있는 남해포 연안(약 250ha) 갯벌어장을 시험연구시설 적지로 선정하였다.

남해포 연안 저질은 모래질이 비교적 많은 곳이며, 육수의 영향도 받는 연안 지역이다. 기존에 남해포 연안 내에 백합 양식장 4개소(38.8ha)가 있으며, 백합 서식량 조사를 통해 백합 서식량을 파악 하였다.

또한, 국립수산과학원에서 유류피해지역 어장환경 변화에 적합한 양식품종 적지 개발 연구(Park et., 2014)보고서를 참고하여 시험연구어장 적지를 최종 선정하였다.

표 1. 연구교습어장 사업개요

연구교습어장 장소		시설규모(ha)	시설방법	사업기간	사업비(천원)
태안군 남해포 -면적:250ha -백합양식장 4개소 (38.8ha)	3개소	1.25	조위망(도피방지) 시설	2017 ~ 2019 (3년)	250,000
	진산리 어촌계	모패장 0.25 종패장 0.25			2017년 / 100,000 2018년 / 100,000 2019년 / 50,000
	용신리 어촌계	모패장 0.25 종패장 0.25			
	안기리 어촌계	치패발생장 0.25			

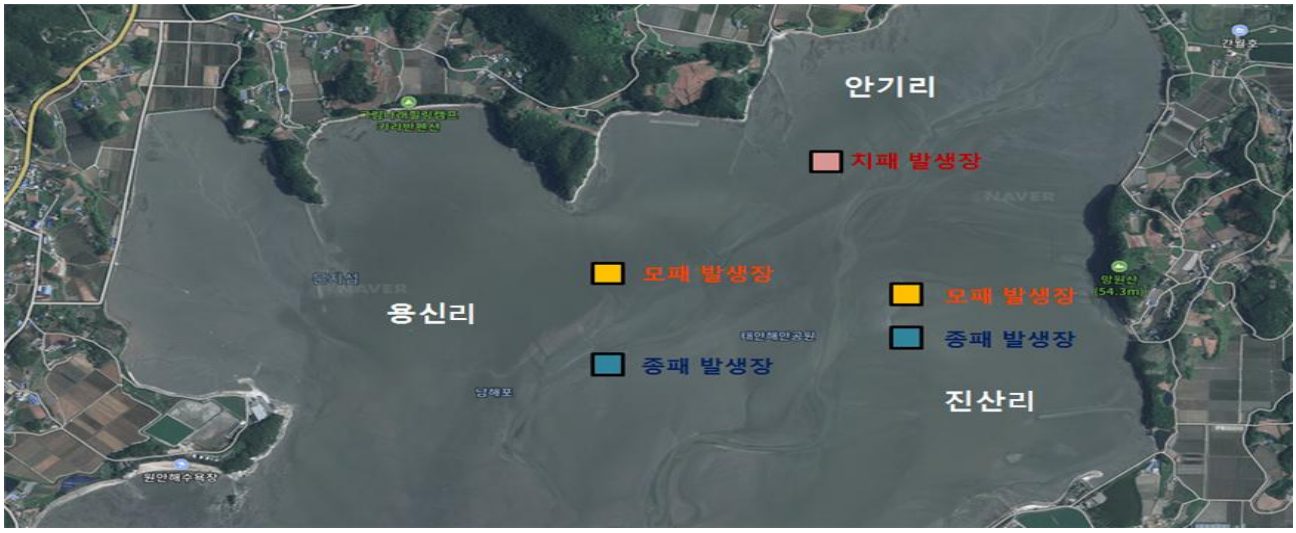


그림 5. 시험연구 어장 시설위치

표 2. 2017년 남해포 말백합 서식량

조사위치	조사일시	조사방법	조사결과
태안군 남해포 연안 (면적 : 250ha)	2017. 4.	- 표본조사(3cm이상 채취) - 지 점 : 18개 정점 - 방형구 : 10×10m	- 서식밀도 : 9개 / 100㎡ - 평균 전중량 : 42.1g - 서식량 : 9.8ton

시험연구시설 방법으로는 조위망을 1.5m 높이로 철근(19mm×2.5m), 조위망 그물(1.5m×51m), 고정말뚝, 밧줄을 사용하여 조위망 시설(50×50m)을 5개소 설치하였으며, 시설 설치 시 경운기, 고압분사기를 활용하여 수행하였다.

또한, 연 2회 조위망 그물 교체 및 시설보수(수시) 등을 수행하여 시설을 관리 하였다.

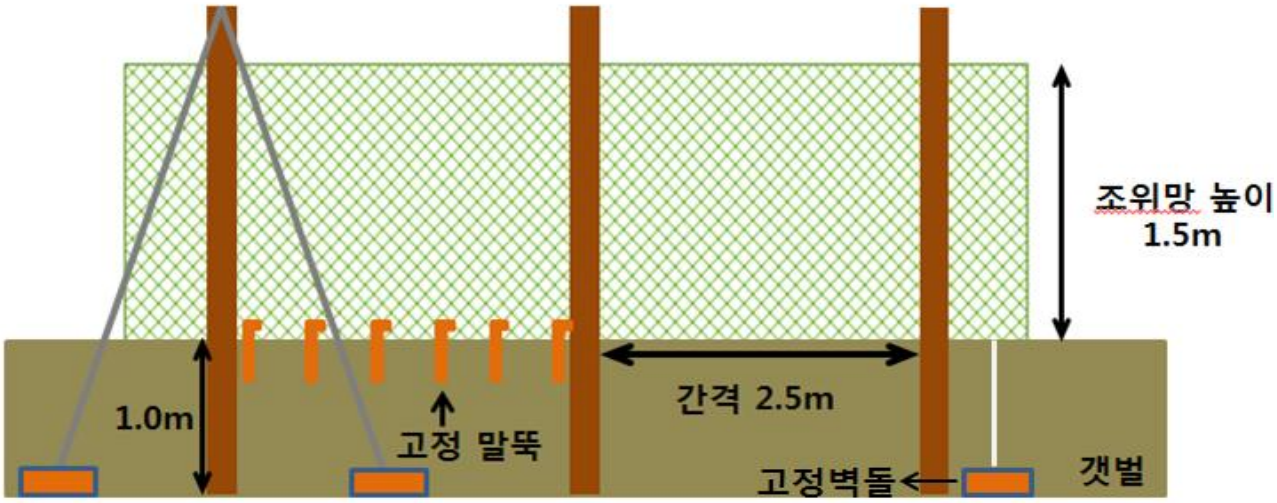


그림 6. 시험연구시설 단면도

2. 말백합 모패·종패 살포

인천광역시 강화도의 볼음도에서 말백합을 채취 후 12,000~15,000원/kg에 구입하여 1일 이내에 살포를 완료하였다.

2017년도에 종패(2.5㎝) 1,060㎏, 모패(5㎝) 1,910㎏을 1차 살포하였으며, 살포 밀도는 50~60개체 / ㎡이다.

2018년도에 종패(2.5㎝) 1,700㎏, 모패(5㎝) 2,150㎏을 2차 살포하였으며, 살포 밀도는 20~30개체 / ㎡이다.

살포 위치는 태안군 남해포 진산리, 용신리 모패 조위망시설 2개소와 종패 조위망시설 2개소에 살포 하였으며, 살포방법으로는 만조시 선박을 이용하여 살포하는 조시법과 간조시 경운기를 이용하여 직접 고루 살포하는 석시법을 활용하였다.

3. 산란성기 조사

조개류의 생식소는 일반적으로 독립된 기관으로 존재하지 않아 생식소만 분리하기 어려워 생식소의 성숙시 증가되는 무게의 변화에 따라 성성숙도를 지수로 표현하는 생식소중량지수(GSI)를 구하기 어렵다. 따라서 산란기는 생식소의 발달과 밀접한 관련이 있는 연체부의 비만도 월별 변화를 조사하여 간접적으로 추정하였다. 말백합에서는 개체의 생식소가 발달함에 따라 비만도가 증가하고 있어 생식소의 발달정도가 개체 체중의 증감에 영향을 주는 것으로 판단된다.

2018년도 5월부터 9월까지 말백합 모패(3㎝ 이상) 30마리씩 채취하여 매달 2회씩 생식소 조직분석과 각장, 각고, 각폭, 전중량, 육중량을 측정하였고, 비만도(육중량/각중량) 모니터링을 병행 실시하였다.

조직학적 변화를 관찰하기 위해서는 약 15일 간격으로 매달 모패 30마리씩 paraffin 절편법에 의해 조직표본을 제작하였으며, Harris hematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 암·수 생식세포의 발달 및 성숙정도를 광학현미경으로 관찰하였다.

남해포 말백합 산란성기 분석결과를 토대로 인천광역시 강화도 볼음도 말백합 산란성기 조사(Park et., 2014)와 비교 분석 하였다.

4. 종패 성장도 및 치패 발생 조사

말백합 종패 성장도 조사는 2017년 6월부터 2019년 10월까지 종패 시험연구시설 2개 지점에서 매월 1회 30마리씩 샘플 채취하여 디지털버니어캘리퍼스로 소수점 이하 첫째자리까지 mm 단위로 각장, 각폭, 각고를 측정하였으며, 전중량은 전자저울로 소수점 이하 첫째자리까지 g 단위로 측정하였다.

말백합 치패 발생 조사는 모패 시험연구시설 2개 지점과 치패발생 시험연구시설 1개 지점에서 방형구(50×50㎝)내 말백합 치패(각장 1~2㎝)를 3회 채취하여 평균 마리수를 0.25ha(1개 지점)로 환산하여 말백합 치패 발생량을 산출하였다.

5. 어장 환경조사

가. 퇴적·저질 환경조사

(1) 퇴적물 조성

조사대상 지역의 퇴적물 입도분포 특성을 파악하기 위하여 남해포 3지점(용신리, 안기리, 진산리)에 위치한 시험연구시설에 2017년에서 2019년까지 분기별 표층퇴적물 시료를 채취하였다.

퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의거하였으며, 그 과정은 다음과 같다. 먼저 채취된 퇴적물 시료는 10%의 과산화수소수(H2O2)와 0.1 N의 염산(HCl)을 차례로 넣어 유기물과 탄산염을 완전히 제거하였다. 또한 퇴적물 내에 들어있는 용존염류는 유기물과 탄산염을 제거하는 과정에서 잔류하는 과산화수소수와 염산을 제거하기 위해 증류수를 이용하여 따라 붓기 과정을 각각 5회와 7회 이상 반복하는 과정에서 제거하였다. 전처리과정이 끝난 쇄설성 퇴적물은 4∅(0.064mm) 체를 이용한 습식체질(wet seiving)에 의해 조립질 시료와 세립질 시료로 분리하였다. 조립질 시료는 오븐에서 건조시킨 후 진탕기(ro-tap

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 칼곤(calgon)을 사용하였다.

퇴적상의 분석은 Folk(1968)의 분류기준에 의거하여 분석하였으며, 평균입도, 분급, 왜도, 첨도 등의 통계적 입도상수는 그래픽방법에 의해 처리하여 Folk and Ward(1957)의 계산식에 의해 구하였다. 또한 10∅보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의한 균등 분배방식을 이용하여 구분하였다. 본 보고서에서는 입도의 등급을 표시할 때, 등배수적(arithmetic) 척도보다는 대수적(loagrithmic) 척도가 유용하기 때문에 ∅ 척도를 사용하였다. 현재 가장 널리 사용되는 이 척도는 Udden(1914) 과 Wentworth(1922)의 척도를 대수적으로 나타내는 것으로서 이것은 입도의 여러 등급을 1mm를 기준으로 한 후 이를 이배수를 이용하여 나눈 것이고 이 척도는 Krumbein(1934)에 의해 다음과 같이 로그함수로 변환되었는데, 이를 ∅ 척도(∅ scale)라고 한다.

$$\varnothing = -\log_2 d$$

여기서, d는 입자의 직경으로 단위는 mm이다.

표 3. 입자의 크기에 따른 퇴적물의 입도등급

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

(2) 퇴적률 측정

퇴적률의 측정은 해저면 아래의 일정 깊이에 30×30㎝의 아크릴판(SRP : Sedimentation Rate Plate)을 기준점으로 설치하고, 해저면에서 기준면까지의 깊이를 버니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 이때 아크릴판이 물의 침투에 의해 상하로 이동하는 것을 방지하기 위하여 아크릴판 곳곳에 구멍을 뚫었으며, 좌우로 이동되는 것을 방지하기 위해서 판의 모서리 부분에 구멍을 뚫고 PVC파이프로 고정하였다.

현장조사는 남해포 용신리, 진산리, 안기리 3개 정점에서 2017년, 2019년에 각각 수행하였다.



그림 7. 퇴적률판(SRP) 설치 및 측정 전경

(3) 함수율(WC)

퇴적물 습시료 약 20g을 미리 무게를 측정한 비커에 담아 건조기에 넣고 110℃에서 24시간 동안 항량으로 건조시킨 후 데시케이터 안에서 식힌 후 비커의 무게를 측정하여 계산하였다.

(4) 강열감량(IL)

건조된 시료를 막자사발을 사용하여 곱게 분마하여 4Ø 체를 통과하도록 한다.

미리 무게를 측정한 도가니에 약 5g을 담아 전기로에 넣어 550℃에서 2시간 동안 가열한 후 데시케이터 안에서 실온으로 식혀 도가니의 무게를 측정하여 회화 전후의 무게 차이로 계산하였다.

(4) 화학적산소요구량(COD)

퇴적물 습시료 약 1g을 250mL 삼각플라스크에 넣은 후 0.1N 과망간산칼륨(KMnO4) 100mL와 10% 수산화나트륨(NaOH) 5mL을 넣고 잘 흔든 다음, 시료와 시약이 담긴 플라스크를 수욕조에 넣어 90～100℃에서 1시간 동안 중탕하였다. 그 후 실온에서 방냉시킨 다음 10% 요오드화칼륨(KI) 10mL와 4% 아지드나트륨(NaN3) 한방울을 넣은 다음 여기에 증류수를 가해 500mL로 만든 후 흔들어서 유리섬유여과지(GF/C)로 여과하였다.

여과한 용액 100mL를 취하여 30% 황산(H2SO4) 2mL를 넣고 잘 흔들어 이를 0.1N 티오황산나트륨(Na2S2O3・5H2O) 용액으로 적정하였고, 지시약으로 1% 녹말 용액을 사용하였다.

(5) 산휘발성황화물(AVS)

퇴적물 습시료 약 2~3g을 황화수소 발생관에 넣은 후 뚜껑을 닫은 다음 기체 발생관에 황산 2mL을 넣고 이때 발생하는 황화수소를 검지관에 연결하여 핸드펌프로 당겨서 흡수되도록 하여 측정하였다.

나. 수질 환경조사

수질환경조사는 남해포 연안 3개 정점에서 2017년 6월부터 2019년 10월까지 실시하였다. 수온, 염분, 용존산소, pH 분석은 휴대용 관측 장비인 다항목수질측정기(YSI Professional Plus, USA)를 사용하여 현장에서 월별 관측하였으며, 전기전도도로거(U24-002-C), pH로거(MX2501), 수온로거(UTBI-001)를 시험연구어장에 설치(그림 8.)하여 자동 측정을 하였다.

영양염류와 클로로필-a는 해수시료를 채수하여 냉장보관 후 해양환경공정시험기준(국토해양부, 2010)에 따라 분석하였다.

용존성무기염류(Dissolved Inorganic Nutrients, DIN)인 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 인산인, 규산 규소와 클로로필-a는 분광광도계(Shimadzu UV-1800, Japan)를 사용하여 분석하였다

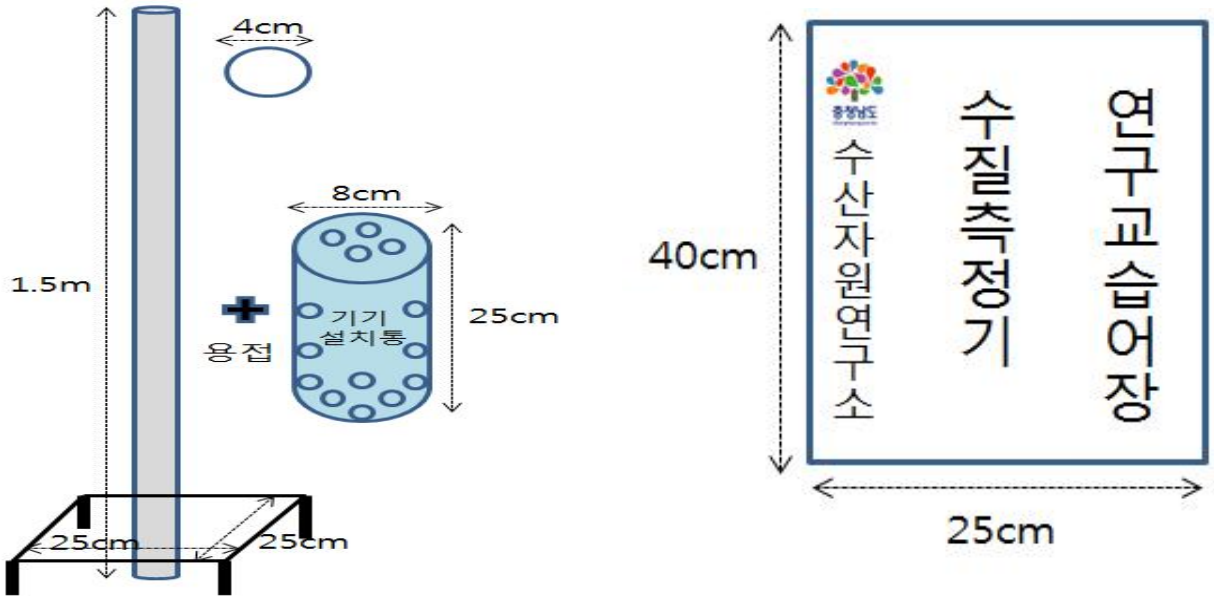


그림 8. 실시간 수질측정로거 설치 모식도



그림 9. 해수시료 채수 및 수질측정로거 설치 전경

다. 노출시간 조사

노출시간 산출은 RTK GPS를 사용하여 고도측량한 자료와 국립해양조사원의 조위측정 자료로부터 도출된 조화상수 값을 이용하였다. Trimble사의 GeoXR은 수평 10mm, 수직20mm의 오차범위를 갖는 정밀한 고도측량 장비이다.

조위측정 자료는 조사지역의 인근에 위치한 지역에서 관측한 값을 이용하여 지역편차를 최대한 감소시켰다. 조위가 연중 일정하지 않은 특성을 반영하여 각 지역에 해당하는 1년 동안의 조위자료를 산출한 뒤 조사정점의 고도를 대비하여 한 조석주기 동안(약 12h) 평균 노출시간을 계산하였다.

6. 서식량 조사 및 경제성 분석

가. 말백합 서식량 조사

대상생물인 백합의 서식량을 파악하기 위해 남해포 해역 일대에서 총 16개의 정점을 선정하여 2019년 10월에 조사를 실시하였다.

현장조사는 간조시 도보로 접근하여 10×10m의 방형구를 이용하여 표본조사를 실시하였다. 대상생물은 현장에서 5mm 망목의 체 위에서 체질하여 거른 다음 대

상생물만을 골라내어 단위면적 내 개체수를 계산하였다. 대상생물의 각장은 디지털 캘리퍼스로 소수점 이하 첫째자리까지 mm 단위로 측정하였으며, 전중량은 전자저울로 소수점 이하 첫째자리까지 g 단위로 측정하였다.



그림 10. 서식량 조사 정점도

표 4. 서식량 조사정점 좌표

정점	위도	경도	정점	위도	경도
1	36° 42′ 55.00″	126° 15′ 55.00″	9	36° 42′ 35.00″	126° 15′ 55.00″
2	36° 42′ 55.00″	126° 15′ 35.00″	10	36° 42′ 35.00″	126° 15′ 35.00″
3	36° 42′ 55.00″	126° 15′ 15.00″	11	36° 42′ 35.00″	126° 15′ 15.00″
4	36° 42′ 55.00″	126° 14′ 55.00″	12	36° 42′ 35.00″	126° 14′ 55.00″
5	36° 42′ 45.00″	126° 14′ 55.00″	13	36° 42′ 25.00″	126° 14′ 55.00″
6	36° 42′ 45.00″	126° 15′ 15.00″	14	36° 42′ 25.00″	126° 15′ 15.00″
7	36° 42′ 45.00″	126° 15′ 35.00″	15	36° 42′ 25.00″	126° 15′ 35.00″
8	36° 42′ 45.00″	126° 15′ 55.00″	16	36° 42′ 25.00″	126° 15′ 55.00″

대상생물의 자원량 평가는 방형구표본법을 이용하였다. 10×10m 크기의 방형구를 이용하여 단위면적 당 서식밀도와 생체량을 구하였고, 이 자료를 사용하여 다음의 식에 의해 자원량을 추정하였다.

$$B_t = N_t \times W_t = \overline{D} \times \overline{w} \times A$$

어획이 이루어지고 있는 어느 시점 t에서 자원생물의 현존량을 B_t라고 하면, 현존하는 자원량은 식은 아래와 같이 개체수(N_t)와 중량값(W_t)에 해당하고, 이는 다시 평균밀도($\overline{D}$)에 평균중량($\overline{w}$) 및 서식면적(A)을 이용하였다.



그림 11. 방형구법에 의한 백합 현장조사 및 서식밀도 조사 전경

나. 경제성 분석

(1) 분석개요

- 경제적 타당성에 관한 분석은 일단 그 사업이 어느 정도의 경제적 가치가 있는 사업인지를 파악할 수 있도록 함으로써 사업에 대한 이해를 돕게 됨
- 경제적 타당성을 평가하는 분석기법으로는 편익/비용 비율(B/C ratio), 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return,) 등이 있는데, 일반적으로 이해가 용이하고, 사업규모의 고려가 가능한 B/C 분석 기법을 많이 사용함

- 경제성 분석을 위해서는 사업의 시행전/후의 변화를 명확히 평가하기 위한 기준설정(Baseline Sepcifiation) 작업이 필요함
- 경제성 분석을 위한 기준설정을 정확히 하기위해서는 사업 대상 재화의 속성과 관련한 질문의 명확성, 기준의 명확성, 기준의 일관성, 자원배분의 적절성, 시점 및 정책 시나리오의 명확성, 효과기간 상술 등이 반드시 고려되어야 함

(2) 분석방법

- **(편익/비용 비율)** 사업 운영 후 연도별 발생하는 편익과 투입되는 비용(사업비 및 유지관리비)을 적정 할인율로 할인하여 기준년도 가격으로 환산한 금액의 비율을 말하며, 일반적으로 (편익/비용 비율)≥1이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{편익·비용비율}(B/C) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} / \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

여기서, B_t : 편익의 당해 연도 값
C_t : 비용의 당해 연도 값
r : 할인율(이자율)
n : 내구년도(분석년도)

- **(내부수익률)** 내부수익률이란 현재가치로 환산한 편익과 비용의 값이 같아지는 할인율 $_r$을 구하는 방법으로 일반적으로 내부수익률이 사회적 할인율보다 크면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{내부수익률}(IRR): \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- **(순현재가치)** 순현재가치란 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며 (순현재가치) ≥ 0 이면 경제성이 있다고 판단함

$$\text{순현재가치}(NPV) = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- **(분석의 단계적 절차)** 경제성 분석을 위해서는 다음과 같은 절차를 거침

1단계	⇒	사업의 정의
2단계	⇒	사업 영향의 식별
3단계	⇒	고려해야 할 영향의 범위 확정
4단계	⇒	영향의 물량적 파악
5단계	⇒	영향의 화폐적 평가
6단계	⇒	현재가치의 산정
7단계	⇒	시행사업의 평가
8단계	⇒	민감도 분석

그림 12. 경제성 분석 단계적 절차

- 우선 경제성 분석 대상 사업을 명확히 정의하고, 본 사업에 따른 영향을 정확히 식별할 필요가 있음
- 이어 사업 속성에 따라 고려해야할 영향의 범위를 확정하고 영향의 수요 또는 계획 등에 따른 물량적 범위를 명확히 파악해야 함
- 사업 속성이 명확히 확정 된 후 경제적 방법론을 통해 화폐적 평가를 진행하고 이에 대한 현재가치를 추정하고 비용편익분석을 진행함
- 비용편익분석과 함께 정성적인 평가 및 정책적인 평가를 통해 경제성 분석을 보완하고 재무성 분석 및 민감도 분석을 수행함

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 조위망 시설 및 말백합 살포

가. 조위망시설

나. 태풍 시설 피해

다. 말백합 살포

2. 시험연구어장 환경조사

가. 노출시간

나. 퇴적·저질 환경조사

다. 수질환경 조사

3. 산란성기 조사

4. 치패 발생 및 종패 성장도 조사

가. 치패발생

나. 종패성장도

5. 서식량 조사 및 경제성 분석

가. 서식밀도 개체특성

나. 서식량

다. 타 지역 어장 비교 결과

라. 어장 경제성 분석

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 조위망 시설 및 말백합 살포

가. 조위망 시설

말백합은 성장하면서 수심이 깊은 곳으로 이동해 가는 습성이 있기 때문에 이동에 의한 흩어짐을 방지하기 위해 조위망 시설을 통해 시험연구를 추진했다.

조위망을 세우기 위한 기둥은 나무항목을 사용할 수 있으나, 견고성, 이동성, 경제성 등을 고려하여 철주를 사용하였다.

철주의 지름은 직경 22mm이며, 길이는 2.5m, 철주 간 간격 2m로 고압분사기를 활용하여 깊이 1m로 매몰하여 시설하였다(그림 13).



그림 13. 말백합 조위망 시설

풍파로 철주와 조위망의 마찰에 의해 조위망이 찢어지는 현상이 시험사업 기간 동안 지속적으로 나타났으며, 퇴적물 침식에 의한 조위망 하단부분이 뜨는 현상이 일어났다. 따라서 조위망 시설 완료 후에도 시설관리에 많은 시간과 노동력이 필요했다.

조위망시설 관리 및 보수 내용으로는 조위망에 해조류, 따개비 등이 부착하여

조위망 무게를 증가시켜 조위망을 주저앉게 하는 결과를 초래하는 것과 파도에 의한 그물 찢어짐을 대응하기 위해 연간 2회 이상 조위망 그물교체를 실시하여 관리하였다.

조위망 하단부분 지표면 고정 방법으로 고리모양 말뚝으로 고정하였지만 지반 침식 및 파도에 의한 조위망 하단부분이 뜨는 현상은 지속 되었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 밧줄을 묶은 벽돌을 고압분사기를 활용하여 갯벌 지표면으로부터 1m정도 깊이로 매몰하고, 벽돌에 연결된 밧줄은 조위망 하단부분에 묶어 고정 시켰다(그림 14).

매몰된 벽돌에 고정된 조위망 하단부분은 시설 철거 시(태풍피해 이전)까지 견고하게 갯벌 지표면과 고정 되었기에 문제점을 해결하였다.



그림 14. 고압분사기를 활용한 벽돌 매몰 및 조위망 하단부분 고정 시설

조위망 시설 내에 살포된 말백합은 이동으로 인해 조류 방향의 조위망 시설 밑에 말백합이 많이 쌓여 있는 것을 관찰 할 수 있었다.

수온이 높은 시기와 유속이 빠른 때에 이동이 심하기 때문에, 여름철로서 간만의 차가 적은 곳은 대조시에, 간만의 차가 큰 곳에서는 물때와 상관없이 언제나 이동으로 인한 말백합이 조위망 밑에 밀식 되는 문제가 발생한다.

밀식된 말백합은 폐사가 발생 하였기에 말백합을 다시 시설 내에 고르게 방양해 주웠지만 매일 시험연구어장 현장에 가서 고르게 방양해주는 것은 시간과 노동력에 한계가 있다.



그림 15. 조류방향으로 조위망 밑에 밀식된 말백합 폐사발생

밀식된 말백합 폐사를 줄이고 자연적으로 고르게 분포 될 수 있도록 선택한 방법으로는 조류방향으로 조위망 5~8m정도 개방하는 것을 선택하였다(그림 16).

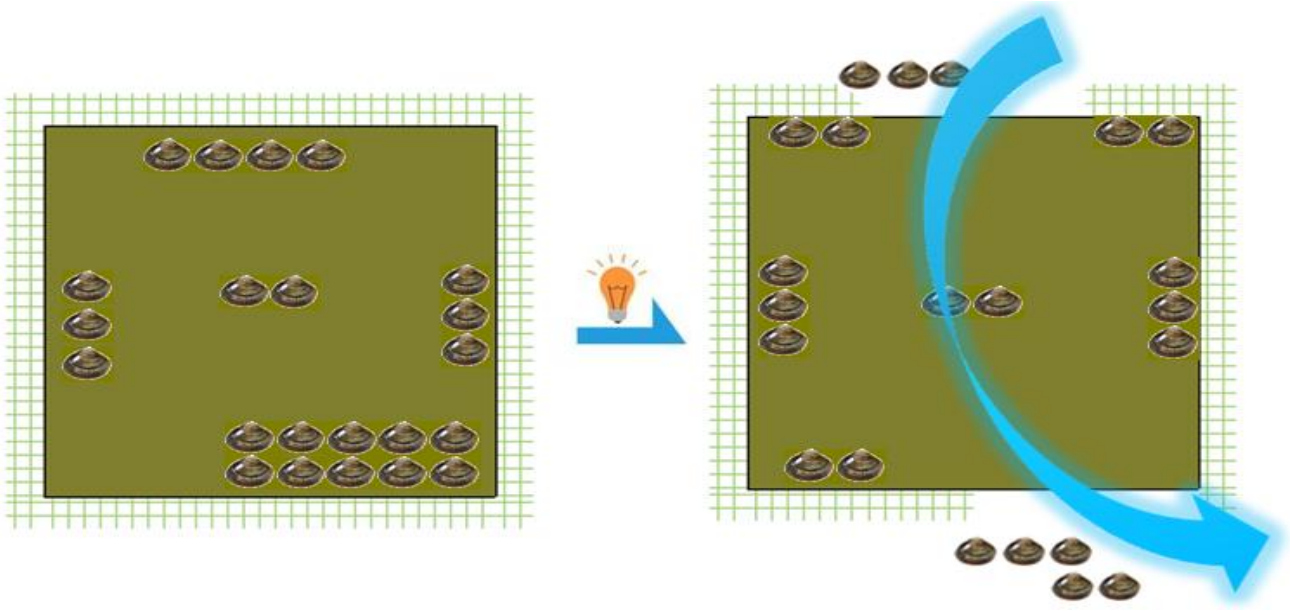


그림 16. 조류방향으로 조위망 부분 개방

그 결과 조위망 시설 내 말백합 폐사는 대폭 감소하였다.

반면, 조류 방향으로 일부분 개방된 곳으로 말백합이 시설 밖으로 소량 이동하였지만, 본 시험연구 목적인 남해포 말백합 자원량 증가 측면에서 볼 때 추후 서식량 조사 시 포함 될 것으로 사료된다.

나. 태풍 시설 피해

2019년 9월 6~7일 충남 서해안에 제 13호 태풍 “LINGLING(링링)” 의한 태풍경보가 발효 되었다. 2019년 9월 7일 금요일 13:00~15:00 사이에 충남 태안 해역을 통과 하였으며, 태안군 남해포 연안에 위치한 연구교습어장 시험연구 시설물에 큰 피해를 입혔다(표 5).

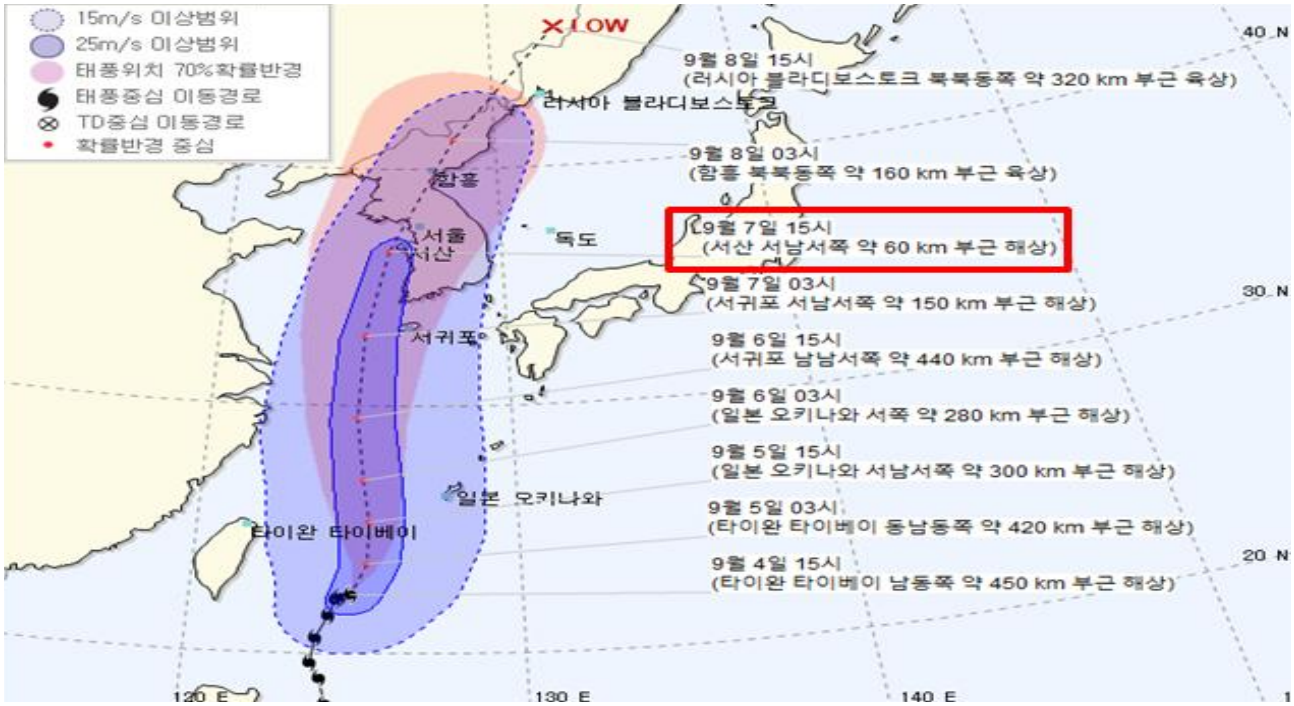


그림 17. 제 13호 태풍 “LINGLING(링링)” 이동경로

큰 파도에 의한 시험연구시설 내에 다량의 해양쓰레기(부표, 유실어구 등)가 유입하여 시험어장을 훼손 하였지만, 시험연구 생물(말백합) 피해 발생은 없었다.

표 5. 태풍 시험연구시설 피해 현황

시 설 규 모	피 해 내 용	피 해 규 모
- 조위망 시설 (5개소 / 1.25ha) - 그물 24폭, 철근 640개	- 조위망 파손 및 유실 - 조위망 고정 밧줄 끊어짐 - 시설 기둥(철근) 파손(휘어짐)	시설 규모 대비 50~60% 피해 발생 추정

2019년 연구교습어장 사업종료에 따라 2019년 12월 중 시험연구시설 철거 계획이 있었으나, 조위망 유실 및 철근 파손 등 시설 피해 복구가 현실적으로 어려운 점을 감안하여 2019년 11월에 시험연구시설 전체를 조기 철거 실시하였다.

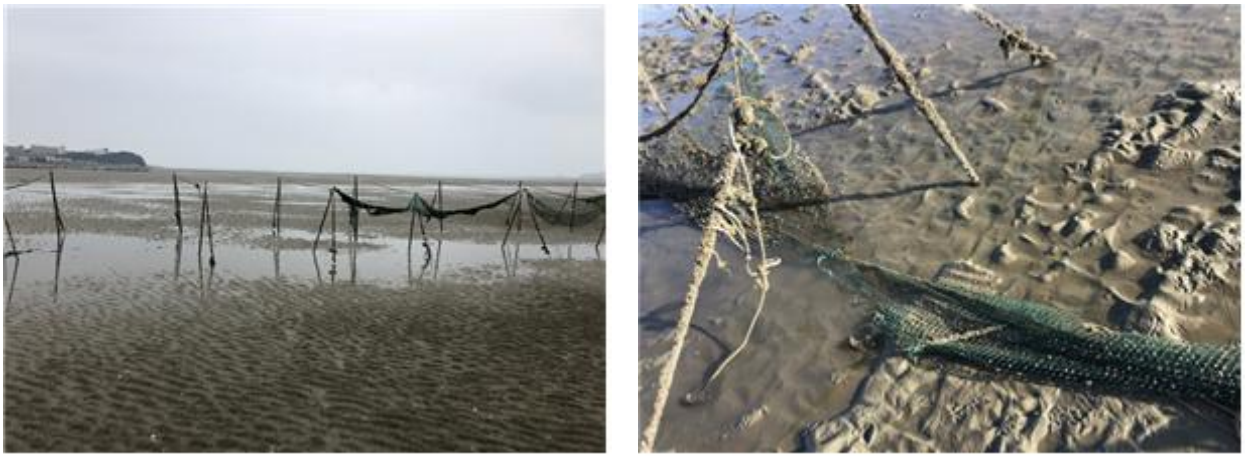


그림 18. 연구교습어장 시설물 태풍 피해

다. 말백합 살포

전국에서 말백합이 가장 많이 채취되는 인천광역시 볼음도에서 말백합 모패·종패를 6,820kg을 구입하여 2017년도와 2018년도에 각각 태안 남해포 시험연구어장에 살포하였다.

시험연구 품종인 말백합을 표 4.와 같이 살포 하였으며, 살포 후 모패·종패시설 4개소 대상으로 생존율 조사 및 비교 분석을 하였다.

1차 살포 시 말백합 생존율은 23~30%로 다소 낮았으며, 폐사가 많이 발생하였다. 2차 살포 시 살포방법과 살포 밀도를 달리하였으며(표 4), 그 결과 생존율은 63~67%로 1차 살포 대비 크게 상승하여 개선된 결과를 도출하였다.

태안군 남해포 말백합 살포 시기는 5월 이내 수온 10℃ 전후가 말백합이 안정적으로 새로운 갯벌환경에 정착하여 생존율을 높이는데 적당한 시기라고 사료된다.

말백합 종패는 모패에 비해 이동성이 적기 때문에 조시법으로 살포밀도를 크게 하여 살포 할 경우 밀식에 의한 패사 발생 우려가 있다.

표 6. 말백합 살포 현황

구 분	살포량(kg)	평균크기(㎝)	살포방법	수 온(℃)	살포밀도	생존율(%)
1차 살포 (2017. 6.)	2,970	모패 : 5.5 종패 : 2.6	조시법	14.5	50~60개체/㎡	23~30%
2차 살포 (2019. 6.)	3,850	모패 : 5.0 종패 : 2.5	석시법	13.0	20~30개체/㎡	63~67%



그림 19. (좌) 조시법, (우) 석시법 살포 전경

2. 시험연구어장 환경조사

가. 노출시간

지역별 조화상수와 고도측량 결과를 종합하여 얻어진 4개 정점에서 1조석 주기(12시간) 동안 노출시간은 4~8h 이다(표 7).

표 7. 정점별 평균해면 및 노출시간

정 점		평균해면(m)	노출시간(h:m)
용신	종패	0.060	6:08
	모패	-0.766	4:35
진산	종패	1.160	8:23
	모패	0.818	7:36

노출시간은 진산 종패 정점에서 8시간 23분으로 가장 길게 나타났고, 용신 모패 정점에서 4시간 35분으로 가장 짧게 나타났다(그림 20).

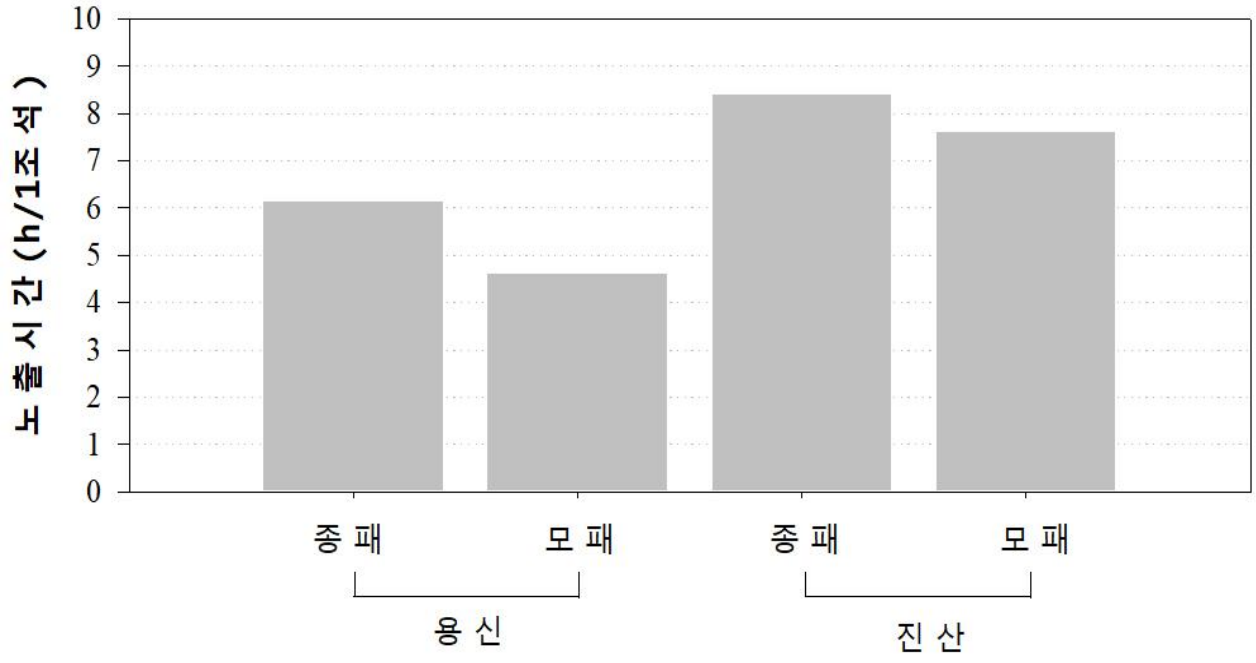


그림 20. 정점별 노출시간

나. 퇴적·저질 환경조사

(1) 퇴적률(2017년~2019년)

2017년 6월부터 10월까지 약 5개월 동안 4개 정점에서 관측한 퇴적률은 용신 종패 정점에서 -36.1mm, 용신 모패 정점에서 -5.4mm, 진산 종패 정점에서 -29.3mm, 진산 모패 정점에서 -23.2mm로 모두 침식되는 경향을 보였다(표 8).

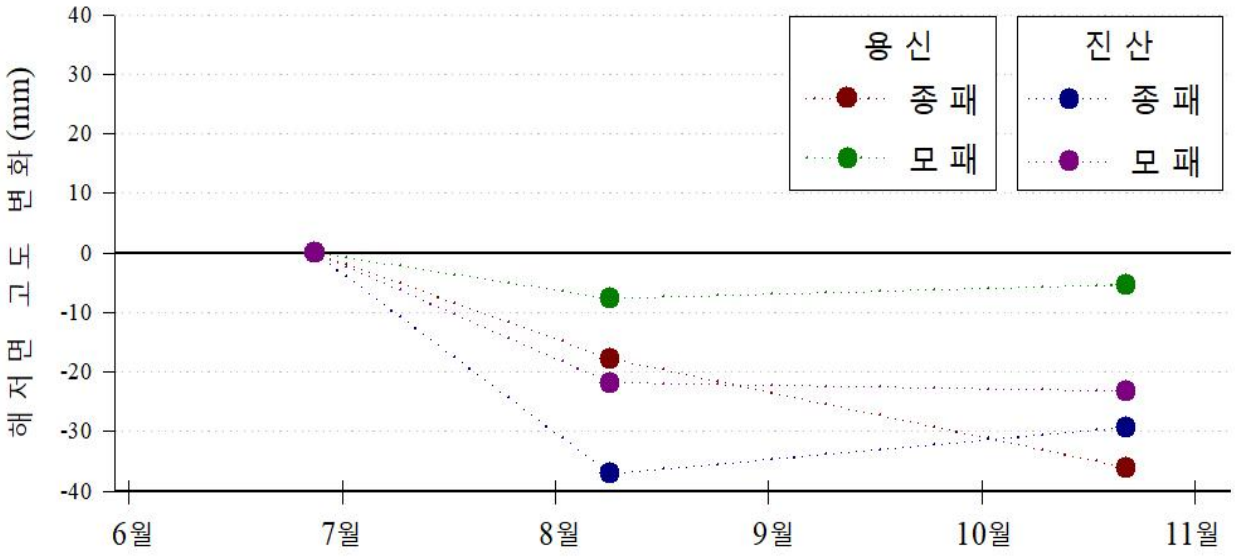


그림 21. 2017년 정점별 퇴적률 변화

표 8. 정점별 퇴적률(2017. 6.～2017. 10.)

정 점		해저면 고도 변화(mm)		변화량(mm)	기 간(day)
		6~8월	8월~10월		
용신리	종패	-17.8	-18.3	-36.1	118
	모패	-7.7	2.3	-5.4	
진산리	종패	-37.1	7.8	-29.3	
	모패	-21.8	-1.4	-23.2	

2018년 3월부터 12월까지 약 9개월 동안 5개 정점에서 관측한 퇴적률은 용신 종패 정점에서 24.3mm, 용신 모패 정점에서 25.7mm, 진산 종패 정점에서 29.6mm로 퇴적되는 경향을 보였으며, 진산 모패 정점에서 -12.0mm, 안기 정점에서 -26.4mm로 침식되는 경향을 보였다.

가장 많이 퇴적된 곳은 용신 모패 정점에서 6월부터 9월 사이에 89.6mm로 퇴적되었고, 가장 많이 침식된 곳은 용신 모패 정점으로 3월부터 6월 사이에 -52.6mm 침식되었다(표 9).

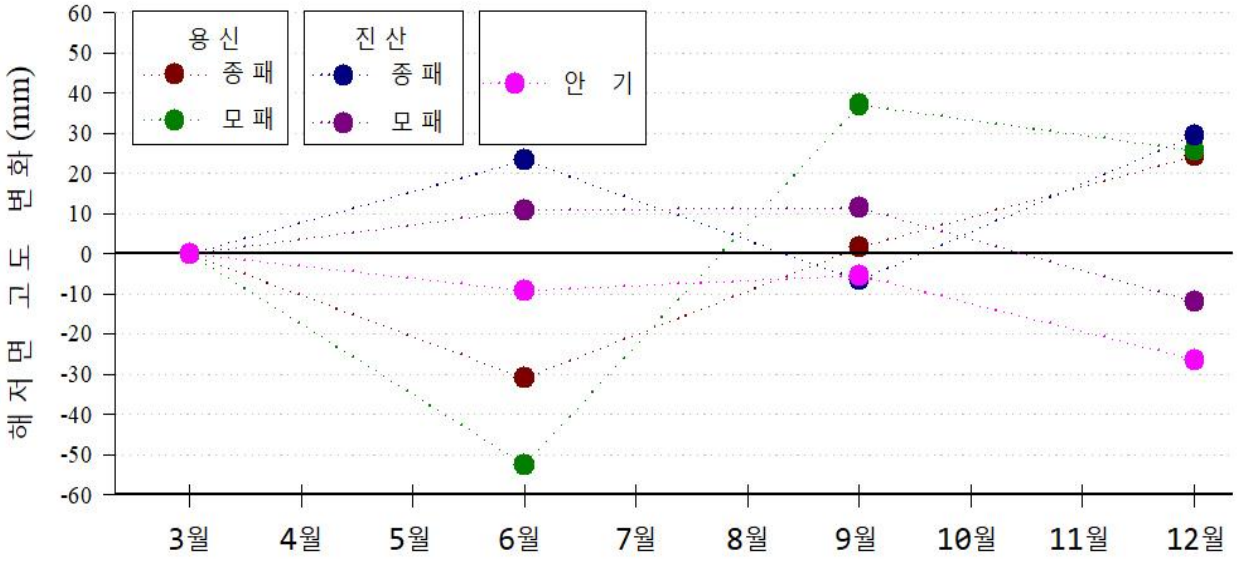


그림 22. 2018년 정점별 퇴적률 변화

표 9. 정점별 퇴적률(2018. 3.～2018. 12.)

정 점		해저면 고도 변화(mm)			변화량(mm)	기 간(day)
		3～6월	6월～9월	9월～12월		
용신리	종패	-31.0	32.5	22.8	24.3	275
	모패	-52.6	89.6	-11.4	25.7	
진산리	종패	23.3	-29.9	36.2	29.6	
	모패	10.9	0.5	-23.4	-12.0	
안기리		-9.2	3.8	-21.0	-26.4	

2019년 3월부터 9월까지 약 7개월 동안 5개 정점에서 관측한 퇴적률은 안기 정점에서 8.2mm로 퇴적되는 경향을 보였으며, 용신 종패 정점에서 -30.5mm, 용신 모패 정점에서 -30.0mm, 진산 종패 정범에서 -14.8mm, 진산 모패 정점에서 -31.6mm로 침식되는 경향을 보였다(표 10).

표 10. 정점별 퇴적률(2019. 3.～2019. 9.)

정 점		해저면 고도 변화(mm)			변화량(mm)	기 간(day)
		3월～5월	5월～7월	7월～9월		
용신	종패	1.1	18.4	-50.0	-30.5	214
	모패	1.4	1.5	-32.9	-30.0	
진산	종패	-23.4	-3.3	11.8	-14.8	
	모패	-14.9	12.3	29.0	-31.6	
안기		-47.1	56.7	-1.5	8.2	

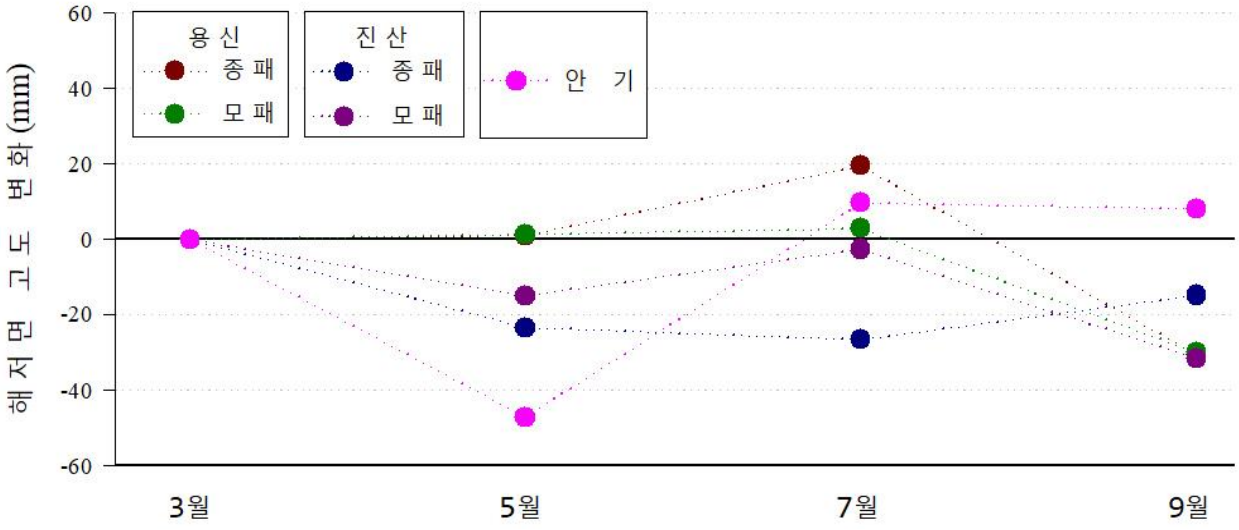


그림 23. 2019년 정점별 퇴적률 변화

3년간 정점별 퇴적률 조사결과 전반적으로 침식이 우세하였으나, 개방형 모래갯벌에서 나타나는 일반적인 계절변화 양상을 보였고, 특히 용신지역 퇴적률은 7

월~9월에 종패정점에서 50.0mm, 모패정점에서 32.9mm로 침식이 크게 나타났고, 3월~5월에 진산 종패에서 23.4mm, 모패정점에서 14.9mm, 안기정점에서 -47.1mm로 침식되어 지반변동이 심한 곳으로 나타났다.

지반변동이 심한 지역은 패류의 서식환경에 좋지 않으나, 본 시험연구 보고서 뒤에 설명된 말백합 서식량 증가 결과를 빗대어 분석하면 지반변동 정도가 말백합이 다른 서식환경으로 이동 할 정도로 영향을 주지 않는다고 사료된다.

퇴적률 또한 일반적인 범주 내에 해당되는 것으로 판단되어 말백합 양식어장으로서 큰 무리는 없을 것으로 사료된다.

(2) 퇴적물 조성

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 표층퇴적물의 입도 특성을 도시하였다(그림 24).

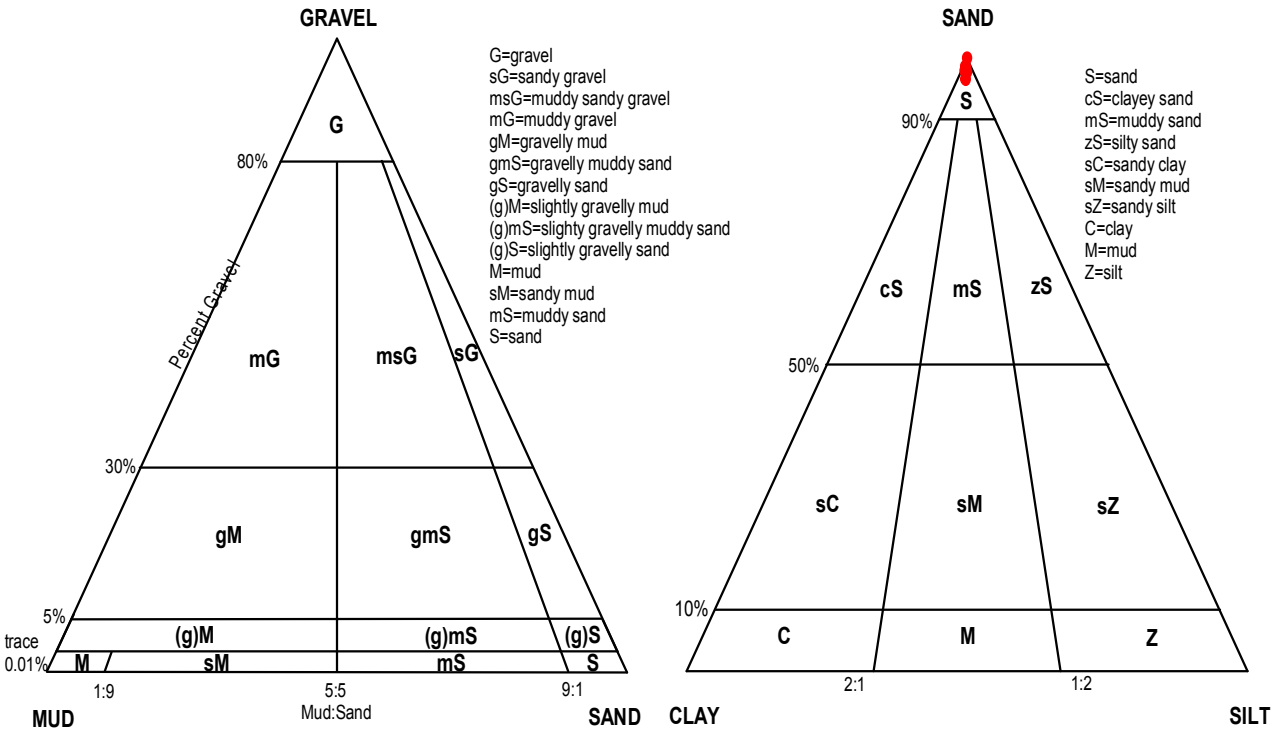


그림 24. 2017년 표층퇴적물의 퇴적상(Folk, 1968)

퇴적물의 자갈, 모래, 실트, 점토의 함량 비율은 6월에 평균 0.0%, 100%, 0.0%, 0.0%로 모두 모래 분포를 보였고, 8월에는 평균 0.0%, 98.5%, 0.8%, 0.7%를 보였고, 10월에는 평균 0.0%, 97.7%, 0.9%, 1.4%를 나타냈다(표 11).

퇴적물의 평균입도는 2.5~3.0Ø 범위(평균 2.7Ø)로 가는 모래 등급을 보였고, 분급은 0.3~0.6Ø 범위(평균 0.4Ø)로 양호한 분급(well sorted)을 보였다(표 11).

표 11. 2017년 6월부터 10월까지 조사된 표층 퇴적물의 조직 및 통계변수

조사월	정점		조직변수				통계변수				퇴적물유형 (Folk,1968)
			자갈 (%)	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	평균 (Ø)	분급 (Ø)	왜도	첨도	
2017. 6.	용신	종패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.0	1.0	S
		모패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.8	0.3	0.0	1.0	S
	진산	종패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.0	1.0	S
		모패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.5	0.3	0.0	1.0	S
2017. 8.	용신	종패	0.0	94.2	3.1	2.7	3.0	0.6	0.4	1.6	S
		모패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.0	1.0	S
	진산	종패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.7	0.3	0.0	1.1	S
		모패	0.0	100.0	0.0	0.0	2.6	0.3	0.0	1.0	S
2017. 10.	용신	종패	0.0	96.5	1.5	2.0	2.8	0.4	0.3	1.7	S
		모패	0.0	97.8	1.0	1.2	2.8	0.4	0.2	1.5	S
	진산	종패	0.0	97.9	0.6	1.5	2.8	0.4	0.2	1.4	S
		모패	0.0	98.6	0.4	1.0	2.7	0.4	0.1	1.3	S

2019년 3월 조사한 표층퇴적물은 5개 정점에서 안기 정점에서 muddy sand(mS)로 나타났으며, 나머지 정점에서 sand(S)로 나타났다(그림 25).

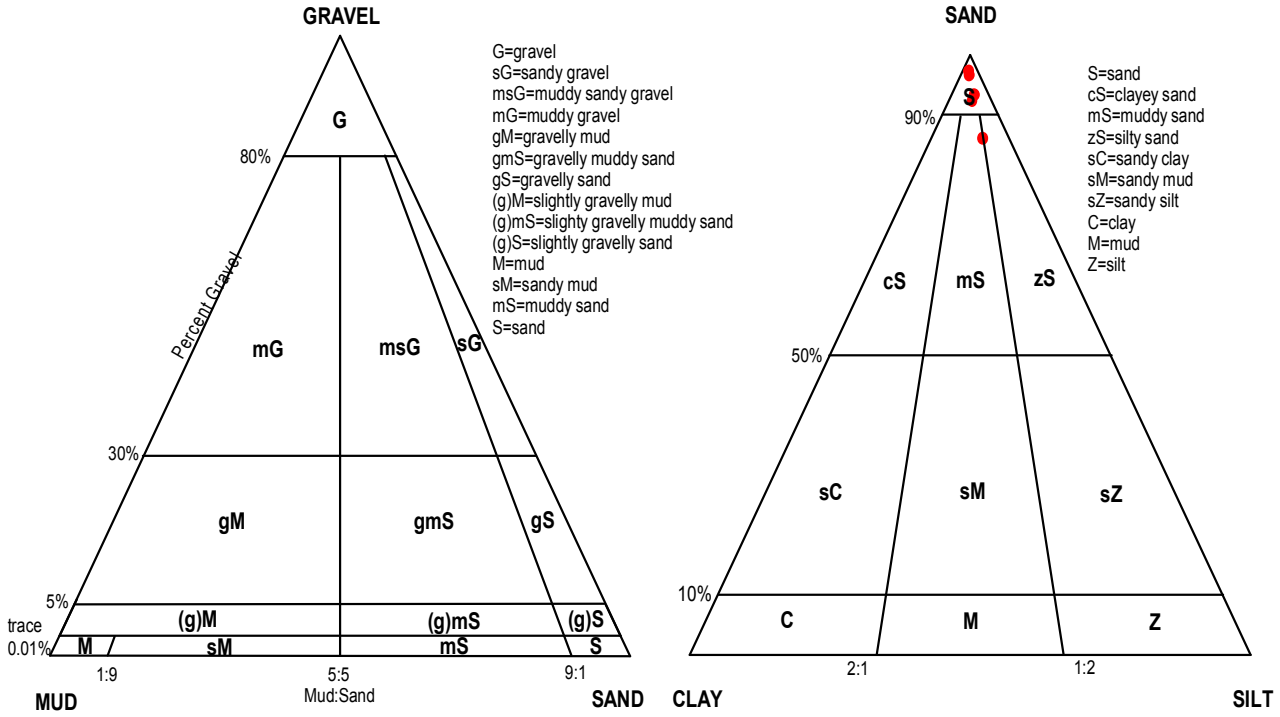


그림 25. 2019년 표층퇴적물의 퇴적상(Folk, 1968)

입도 특성을 그림 24.에 도시하였으며, 퇴적물의 자갈, 모래, 실트, 점토의 함량 비율은 평균 0.0%, 93.2, 4.0%, 2.8%를 나타냈다.

퇴적물의 평균입도는 2.7~3.2Ø 범위(평균 2.9Ø)로 가는 모래 등급을 보였고, 분급은 0.4~1.1Ø 범위(평균 0.7Ø)로 양호한 분급(well sorted)을 보였다(표 12).

표 12. 2019년 3월에 조사된 표층 퇴적물의 조직 및 통계변수

조사월	정점	조직변수				통계변수				퇴적물유형 (Folk,1968)
		자갈 (%)	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	평균 (Ø)	분급 (Ø)	왜도	첨도	
2019. 3	용신 종패	0.0	97.3	1.1	1.6	2.7	0.4	0.2	1.4	S
	용신 모패	0.0	96.7	1.4	1.9	2.7	0.4	0.2	1.6	S
	진산 종패	0.0	92.4	4.1	3.5	2.9	0.8	0.5	2.8	S
	진산 모패	0.0	93.3	4.1	2.6	2.9	0.7	0.5	2.2	S
	안기	0.0	86.1	9.2	4.7	3.2	1.1	0.6	2.6	mS

현재 말백합 생산량이 많은 인천 볼음도와 주문도 말백합 서식지 표층퇴적물의 평균입도는 약 3.7Ø를 보였고(Park et., 2014), 조사된 남해포 연안의 평균입도는 2.9Ø로 약간 조립한 경향을 보였으며, 2017년도와 2019년도를 비교해도 큰 차이가 없었다.

표 13. 인천광역시 말백합 서식지 표층퇴적물의 조직 및 통계변수

조사월	정점	조직변수				통계변수				퇴적물유형 (Folk,1968)
		자갈 (%)	모래 (%)	실트 (%)	점토 (%)	평균 (Ø)	분급 (Ø)	왜도	첨도	
2013년 9월	인천 볼음도1	0.0	66.8	32.1	1.1	3.7	0.8	0.0	1.2	zS
	인천 볼음도2	0.0	80.1	19.2	0.7	3.7	0.5	0.2	1.4	zS
	인천 볼음도3	0.0	67.0	30.7	2.3	3.9	0.6	0.4	1.4	zS
	인천 주문도1	0.0	69.6	28.0	2.4	3.8	0.7	0.3	1.4	zS
	인천 주문도2	0.0	86.1	12.0	2.0	3.6	0.4	0.2	1.6	zS
	인천 주문도3	0.0	90.2	8.3	1.5	3.5	0.4	0.1	1.4	S
2013년 11월	인천 볼음도1	0.0	51.2	44.4	4.4	4.1	1.0	0.3	1.5	zS
	인천 볼음도2	0.0	68.1	30.5	1.4	3.2	0.9	0.6	0.7	zS
	인천 볼음도3	0.0	73.1	24.7	2.2	3.8	0.5	0.2	1.3	zS
	인천 주문도1	0.0	62.5	35.0	2.5	3.9	0.8	0.3	1.3	zS
	인천 주문도2	0.0	68.5	29.8	1.7	3.9	0.5	0.3	1.2	zS
	인천 주문도3	0.0	85.8	13.2	1.2	3.6	0.5	0.1	1.4	zS
평 균		0.0	72.4	25.6	2.0	3.7	0.6	0.3	1.3	-

(3) 함수율(WC)

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 표층퇴적물의 함수율 특성을 그림 25. 에 도시하였다. 함수율은 29.4～34.5%(평균 31.5%)을 보였다.

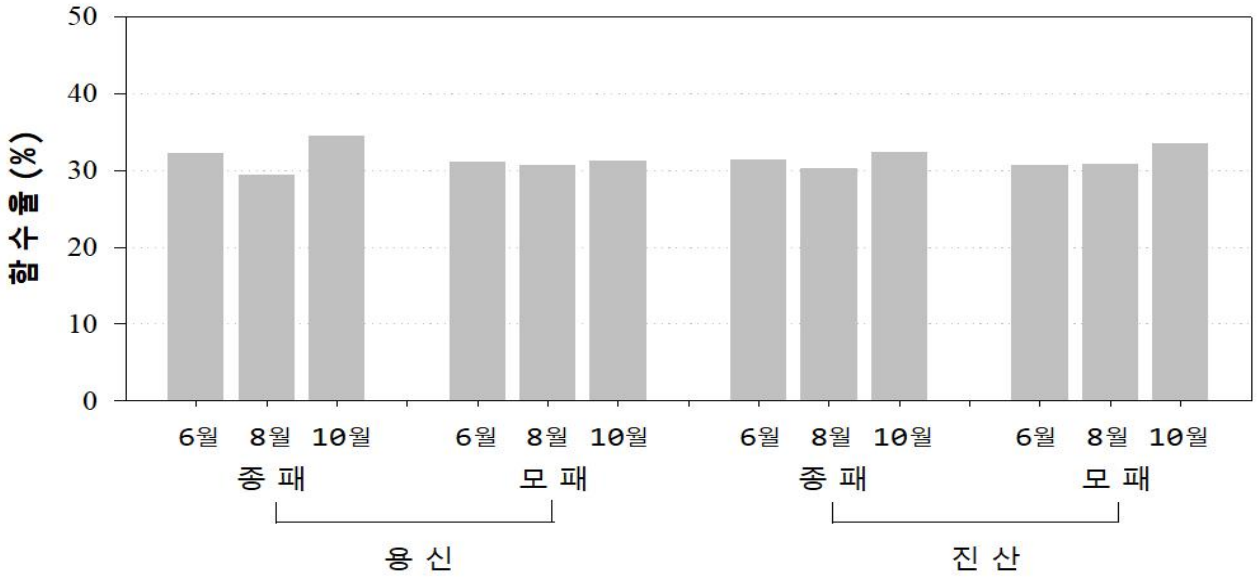


그림 26. 표층퇴적물의 함수율 변화

(4) 강열감량(Ⅱ)

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 표층퇴적물의 강열감량 특성을 그림 26.에 도시하였다. 강열감량은 1.1~2.0%(평균 1.4%)을 보였다(그림 27).

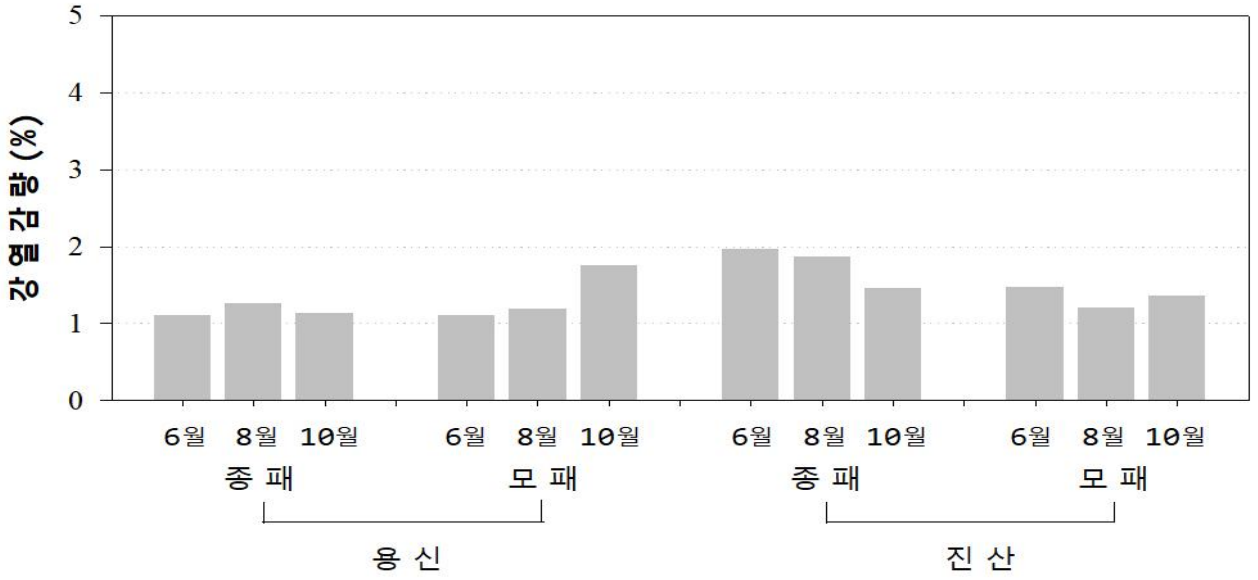


그림 27. 표층퇴적물의 강열감량 변화

(5) 화학적산소요구량(COD)

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 표층퇴적물의 화학적산소요구량(COD)은 0.75~2.01mg/g(평균 1.19mg/g)을 보였다(그림 28).



그림 28. 표층퇴적물의 화학적산소요구량 변화

(6) 산휘발성황화물(AVS)

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 표층퇴적물의 산휘발성황화물(AVS)은 0.000~0.003mg/g(평균 0.001mg/g)을 보였다(그림 29).

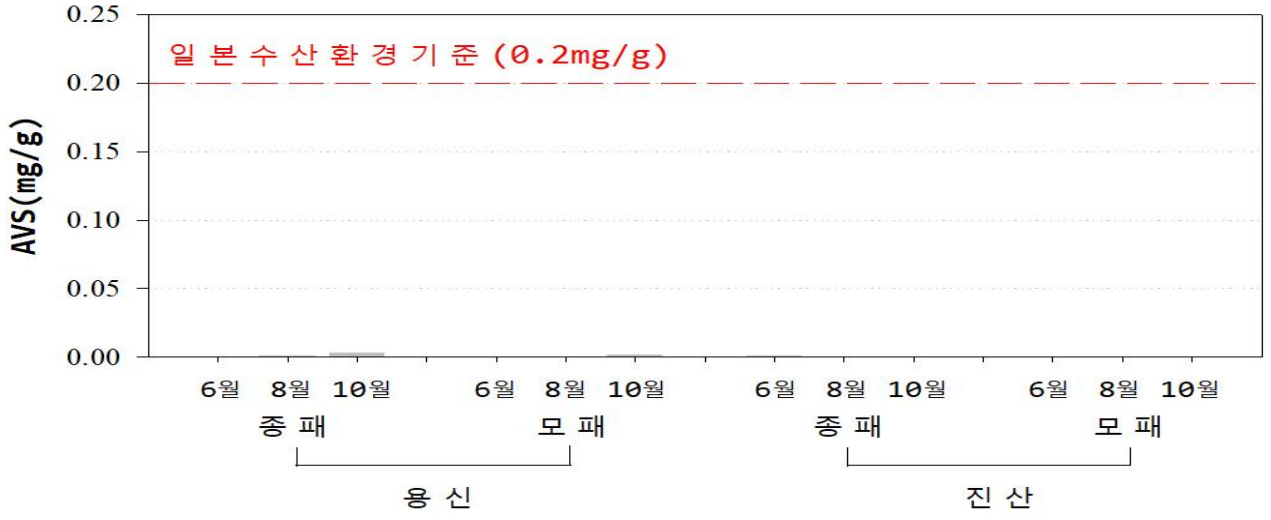


그림 29. 표층퇴적물의 산휘발성황화물 변화

퇴적물의 조성 차이는 퇴적물의 함수율(WC)과 퇴적물 내 유기물 함량비를 나타내는 강열감량(IL)과 밀접한 상관관계를 갖는다.

주기적으로 침수와 노출을 반복하는 갯벌에 서식하는 생물들, 특히 모래를 기질로 살아가는 말백합과 같은 생물들은 퇴적물의 함수율과 강열감량의 함량비에 영향을 받는 것으로 판단된다. 영향을 받는 임계값을 명확히 판단할 수는 없지만 본 시험연구 서식량 조사에서 함수율과 강열감량의 비가 높은 지형에 상대적으로 말백합 서식밀도가 높은 것을 현장조사를 통해 알 수 있었다.

따라서 대조구 퇴적물에 비해 조사구 퇴적물의 낮은 함수율과 강열감량은 향후 남해포 연안 지역에서 말백합 어장을 개발할 때 중요하게 고려되어야 할 요인으로 생각된다.

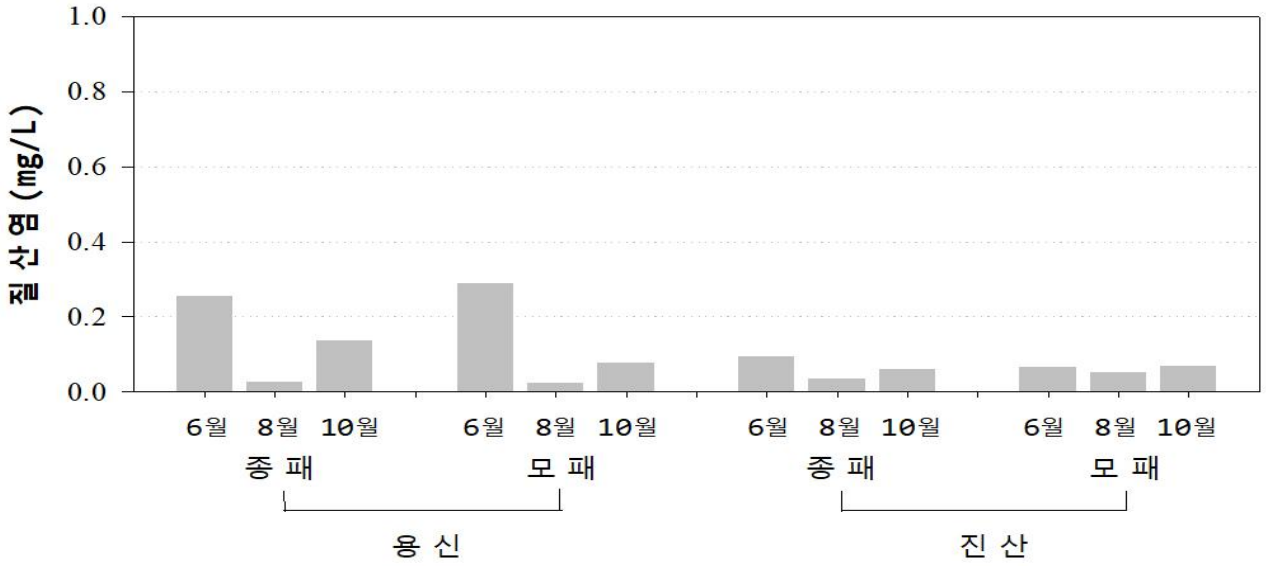
퇴적물의 유기물 오염 척도를 지시하는 퇴적물의 화학적산소요구량(COD) 또한 퇴적물 조성과 밀접한 상관관계를 보인다.

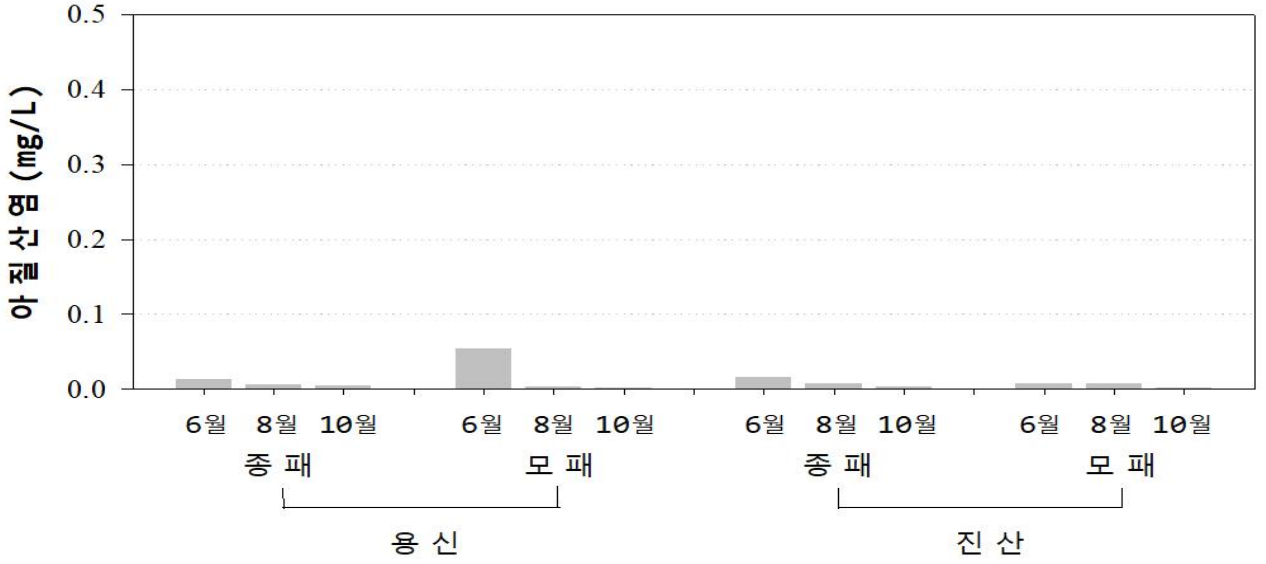
퇴적물의 화학적산소요구량은 조사구에서 평균 1.19mgO2/g-dry로 유기물 오염을 지시하는 수치(20mgO2/g-dry, japan)이상 값은 관찰할 수 없었으며, 모래로 구성된 조사구 보다는 펄 함량이 높은 조사구에서 보다 높은 농도를 보여 퇴적물의 조성과 상관관계를 보였다. 퇴적물의 산휘발성황화물(AVS) 농도는 시험연구 조사구 모두 불검출 되거나 미량 검출되어 청정한 서식환경임을 알 수 있었다.

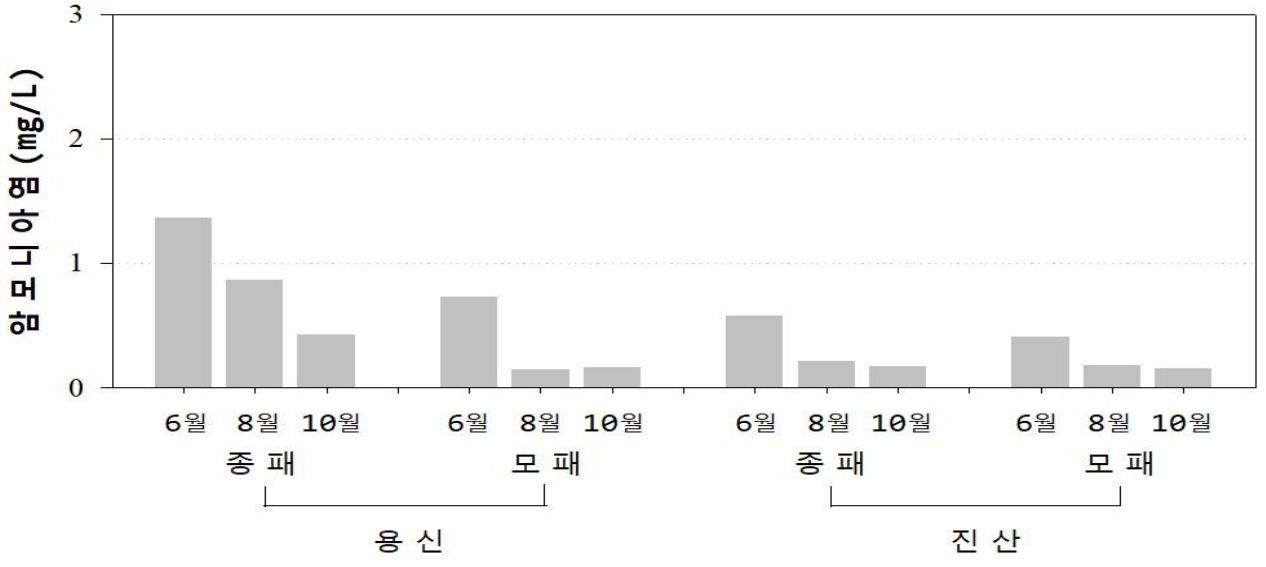
다. 수질 환경조사(2017년~2019년)

(1) 2017년 영양염류 및 엽록소-a

2017년 6월, 8월, 10월에 4개 정점에서 조사한 해수 질산염은 0.024～0.289mg/L(평균 0.098mg/L), 아질산염 0.001～0.053mg/L(평균 0.010mg/L), 암모니아염 0.147～1.363mg/L(평균 0.450mg/L), 인산염 0.021～0.183mg/L(평균 0.068mg/L), 규산염 0.316～0.841mg/L(평균 0.490mg/L)을 보였다(표 14).


질산염(mg/L)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월
종 패 모 패 종 패 모 패
용 신
진 산


아질산염(mg/L)
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월
종 패 모 패 종 패 모 패
용 신
진 산


암모니아염(mg/L)
3
2
1
0
6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월 6월 8월 10월
종 패 모 패 종 패 모 패
용 신
진 산

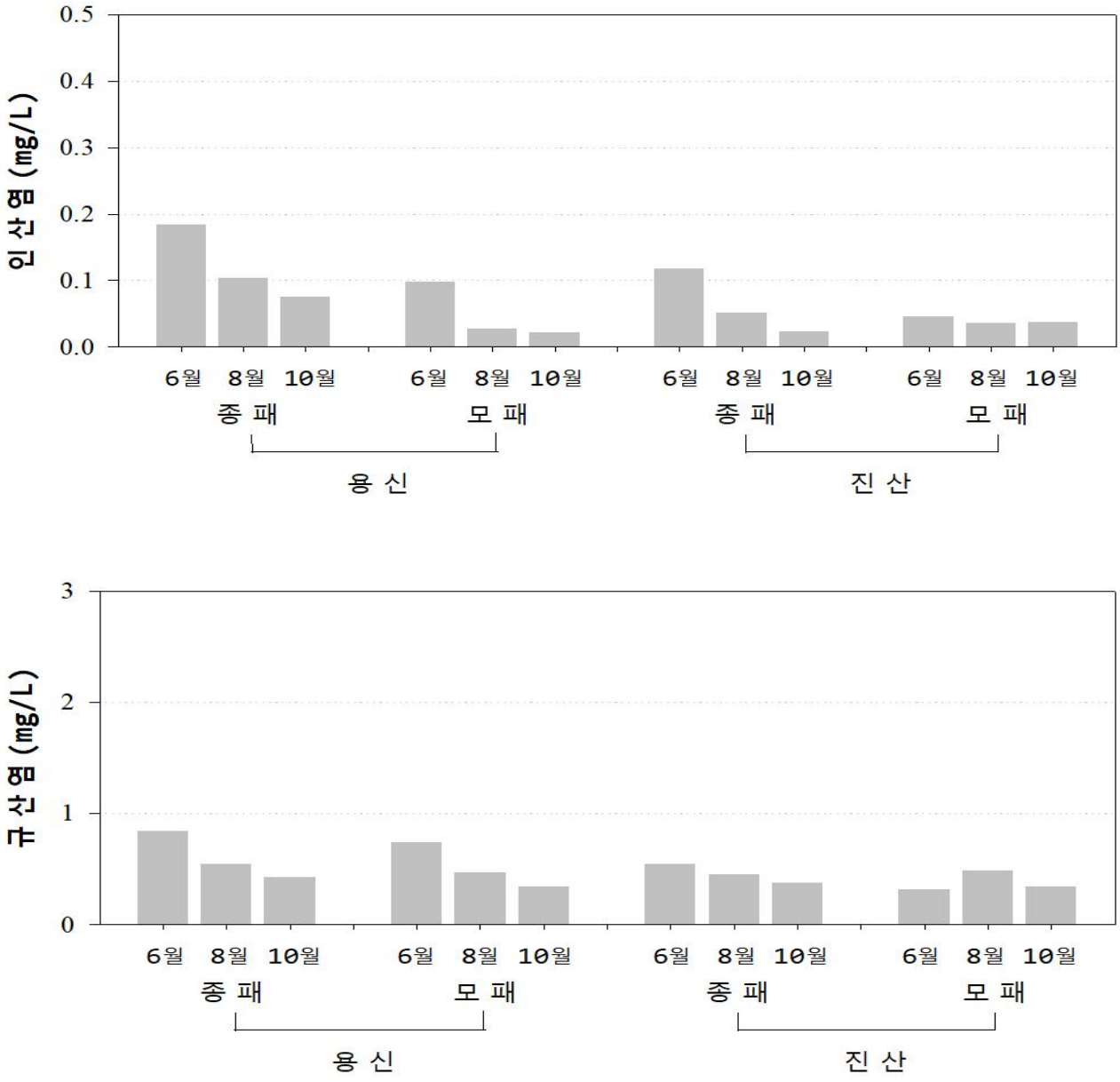


그림 30. 2017년 조사구별 해수 용존 영양염류

2017년 6월, 8월, 10월에 조사한 해수 엽록소-a는 1.088~7.685mg/L(평균 3.057mg/L)을 보였다(표 14).

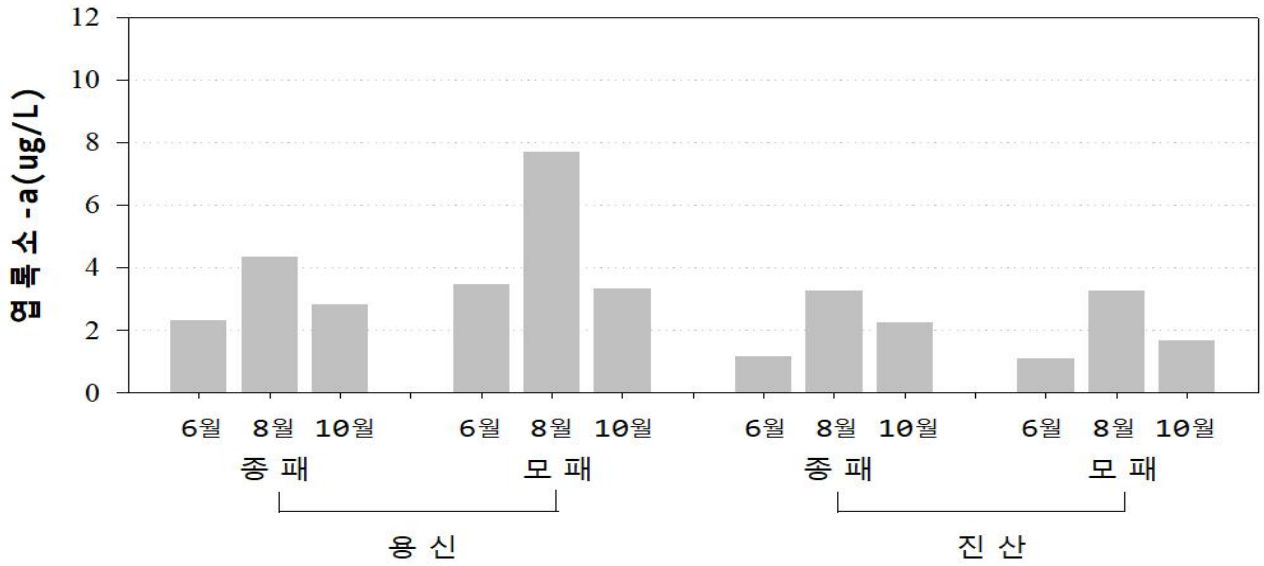


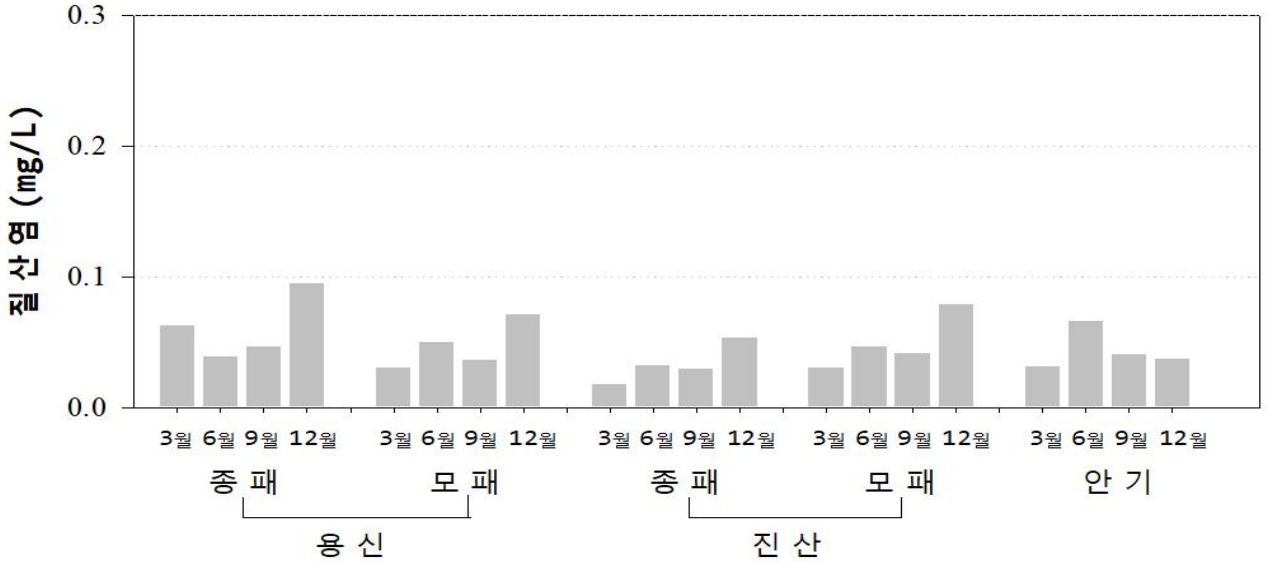
그림 31. 2017년 조사구별 해수 중 엽로소-a 농도 변화

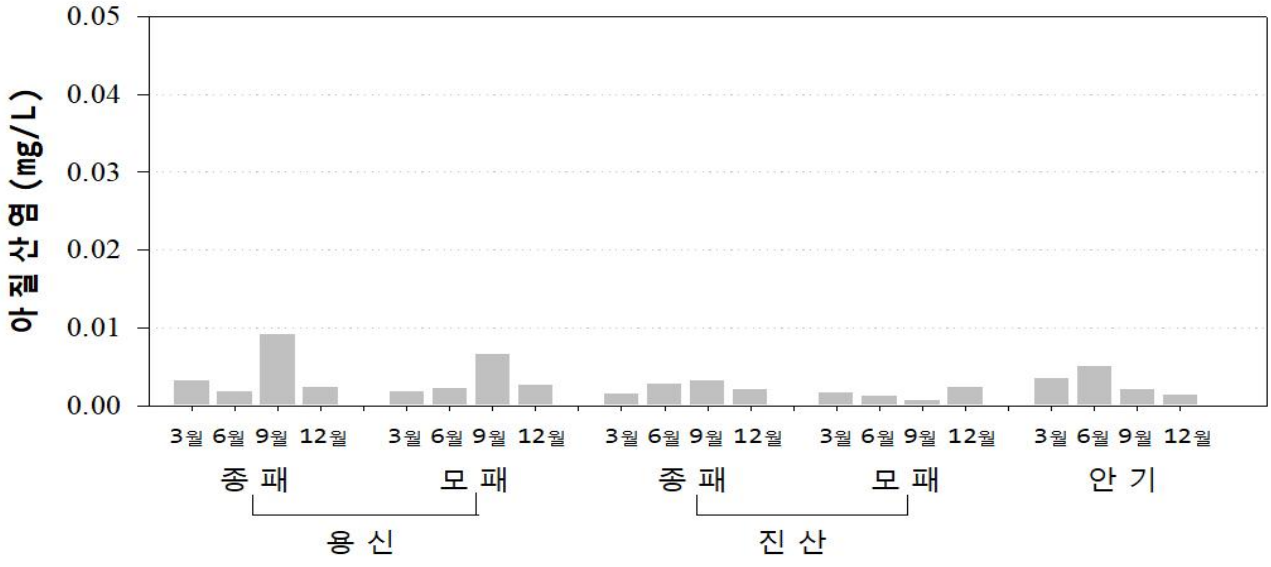
표 14. 2017년 6월부터 10월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a

조사월	정점		NH4	SiO2	PO4	NO2	NO3	DIN	DIP	Chl-a
			(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(μg/L)
6월	용신	종패	1.363	0.841	0.183	0.014	0.256	1.633	0.183	2.320
		모패	0.727	0.741	0.098	0.053	0.289	1.069	0.098	3.480
	진산	종패	0.582	0.545	0.117	0.015	0.094	0.692	0.117	1.160
		모패	0.409	0.316	0.045	0.007	0.065	0.481	0.045	1.088
8월	용신	종패	0.147	0.472	0.028	0.003	0.024	0.174	0.028	7.685
		모패	0.864	0.547	0.104	0.006	0.026	0.896	0.104	4.350
	진산	종패	0.181	0.482	0.036	0.008	0.050	0.239	0.036	3.263
		모패	0.213	0.450	0.052	0.008	0.033	0.254	0.052	3.263
10월	용신	종패	0.162	0.344	0.021	0.001	0.076	0.239	0.021	3.335
		모패	0.428	0.427	0.075	0.005	0.137	0.570	0.075	2.828
	진산	종패	0.153	0.344	0.038	0.002	0.068	0.223	0.038	1.668
		모패	0.172	0.377	0.024	0.003	0.059	0.233	0.024	2.248

(2) 2018년 영양염류 및 엽록소-a

2018년 3월, 6월, 9월, 12월에 5개 정점에서 조사한 해수 질산염은 0.018~0.095mg/L(평균 0.047mg/L), 아질산염 0.001~0.009mg/L(평균 0.003mg/L), 암모니아염 0.034~1.537mg/L(평균 0.366mg/L), 인산염 0.008~0.098mg/L(평균 0.035mg/L)을 보였다(표 15).





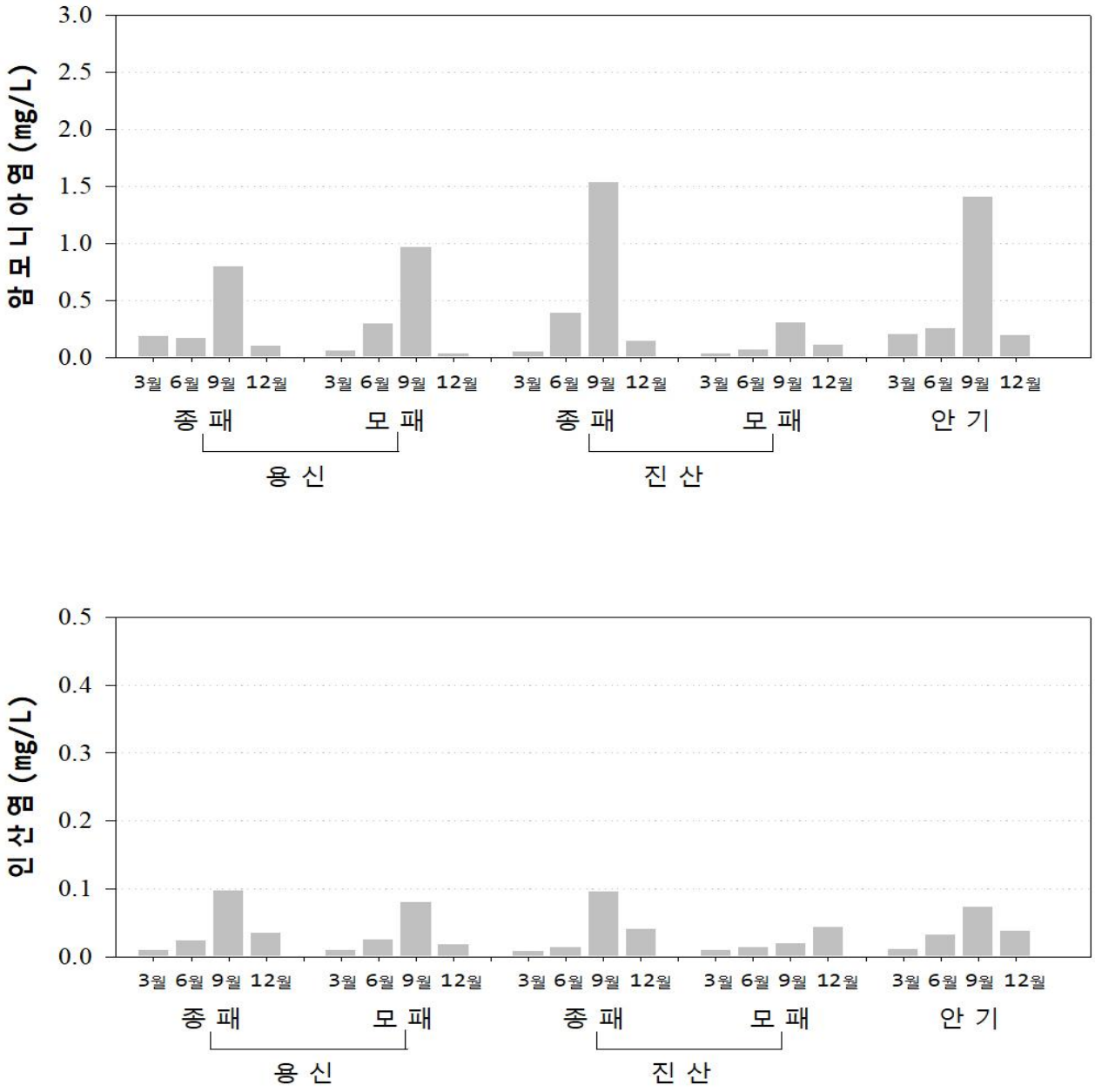


그림 32. 2018년 조사구별 해수 용존 영양염류

2018년 3월, 6월, 9월, 12월에 5개 정점에서 조사한 해수 엽록소-a는 0.508~8.562mg/L(평균 3.458mg/L)을 보였다(표 15).

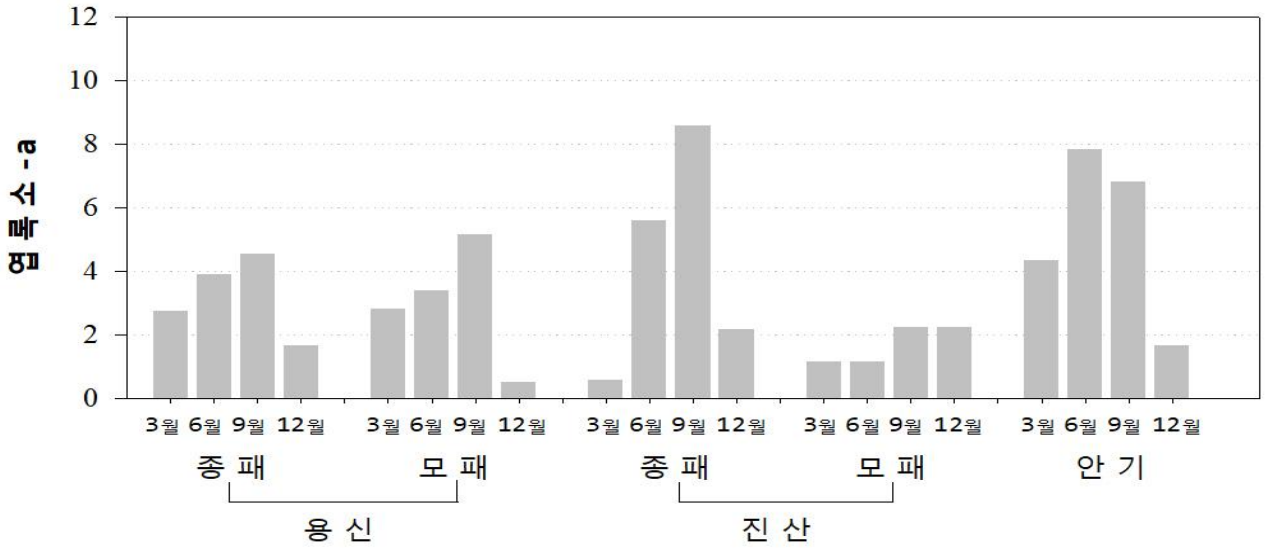


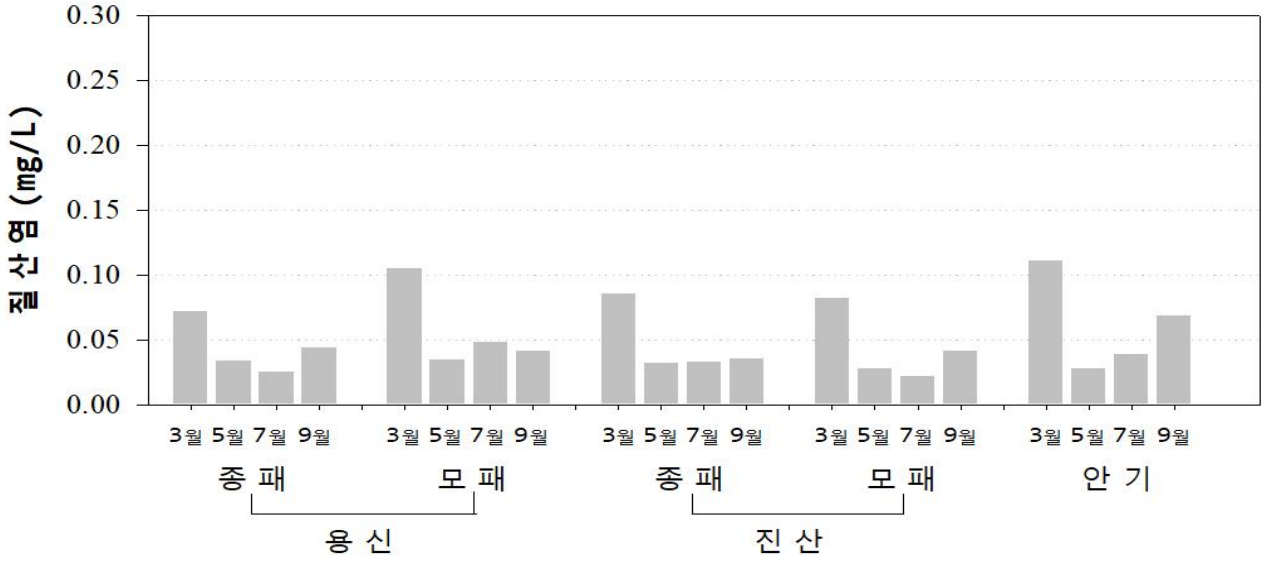
그림 33. 2018년 조사구별 해수 중 엽록소-a 농도 변화

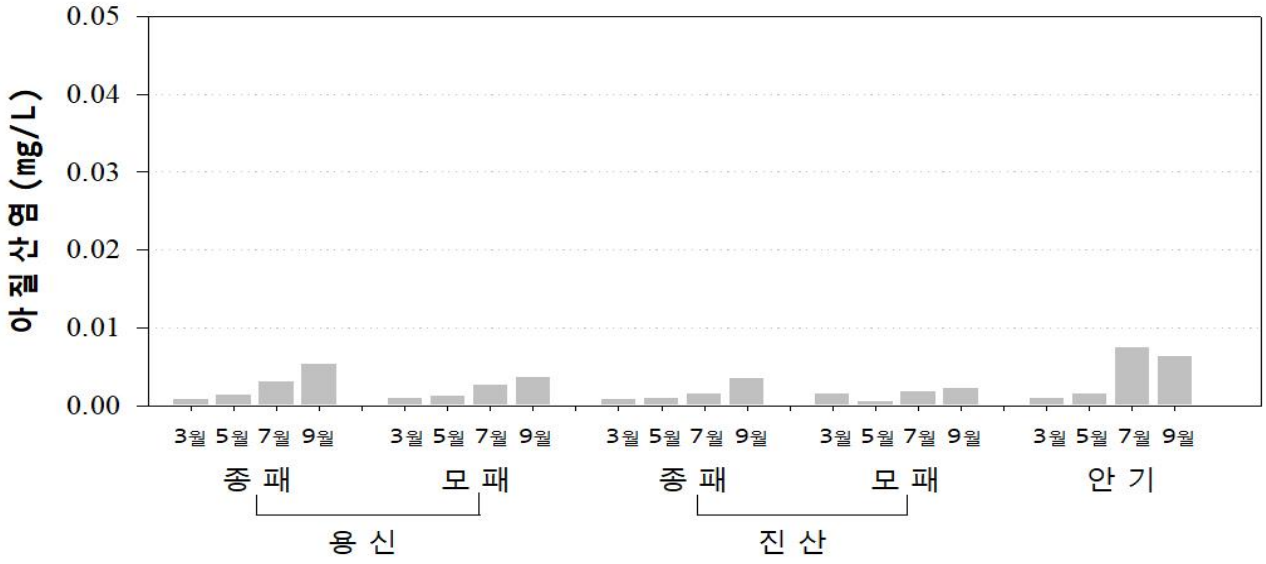
표 15. 2018년 3월부터 12월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a

조사월	정점		NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Chl-a (μg/L)
3월	용신	종패	0.189	0.010	0.003	0.063	0.255	0.010	2.755
		모패	0.059	0.010	0.002	0.030	0.091	0.010	2.821
	진산	종패	0.052	0.008	0.001	0.018	0.071	0.008	0.580
		모패	0.038	0.009	0.002	0.030	0.070	0.009	1.153
	안기		0.202	0.011	0.003	0.031	0.237	0.011	4.350
6월	용신	종패	0.167	0.024	0.002	0.039	0.207	0.024	3.915
		모패	0.294	0.025	0.002	0.050	0.346	0.025	3.408
	진산	종패	0.394	0.013	0.003	0.032	0.429	0.013	5.583
		모패	0.066	0.013	0.001	0.046	0.113	0.013	1.160
	안기		0.251	0.032	0.005	0.066	0.322	0.032	7.830
9월	용신	종패	0.800	0.098	0.009	0.046	0.855	0.098	4.561
		모패	0.967	0.080	0.007	0.036	1.009	0.080	5.148
	진산	종패	1.537	0.096	0.003	0.030	1.570	0.096	8.562
		모패	0.308	0.019	0.001	0.042	0.350	0.019	2.248
	안기		1.409	0.074	0.002	0.040	1.452	0.074	6.815
12월	용신	종패	0.103	0.036	0.002	0.037	0.200	0.036	1.668
		모패	0.034	0.018	0.003	0.079	0.107	0.018	0.508
	진산	종패	0.143	0.040	0.002	0.053	0.198	0.040	2.175
		모패	0.110	0.044	0.002	0.071	0.191	0.044	2.248
	안기		0.192	0.038	0.001	0.095	0.231	0.038	1.668

(3) 2019년 영양염류 및 엽록소-a

2019년 3월, 5월, 7월, 9월에 5개 정점에서 조사한 해수 질산염은 0.022~0.111mg/L (평균 0.050mg/L), 아질산염은 0.001~0.007mg/L(평균 0.002mg/L), 암모니아염은 0.021~0.551mg/L(평균 0.169mg/L), 인산염은 0.010~0.099mg/L(평균 0.037mg/L)을 보였다 (표 16).





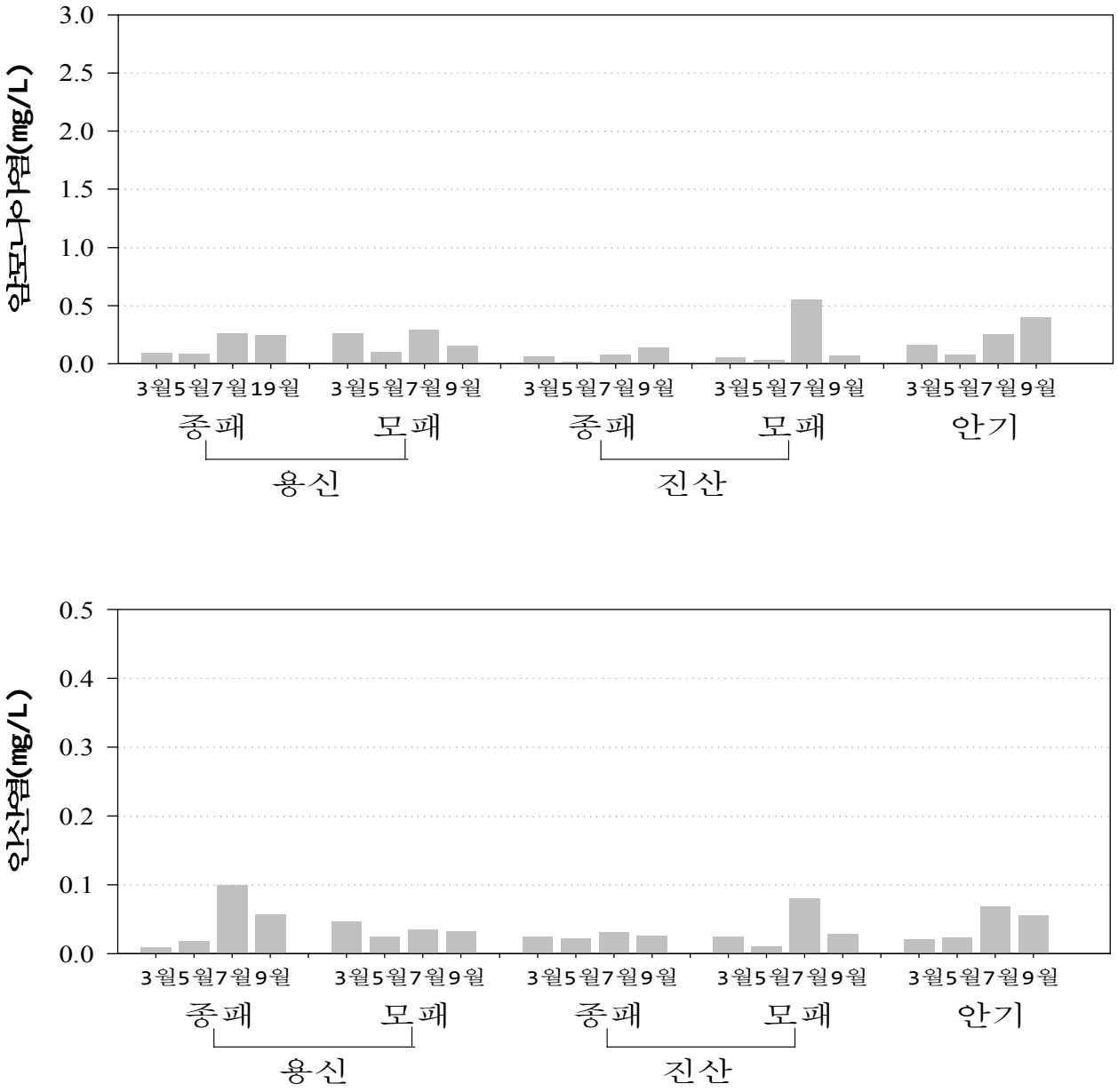


그림 34. 2019년 조사구별 해수 용존 영양염류

2019년 3월, 5월, 7월, 9월에 5개 정점에서 조사한 해수 엽록소-a는 0.650~5.650mg/L (평균 2.190mg/L)로 보였으며, 3월에 안기 정점에서 가장 높았고, 5월에 안기 정점에서 가장 낮았다(표 16).

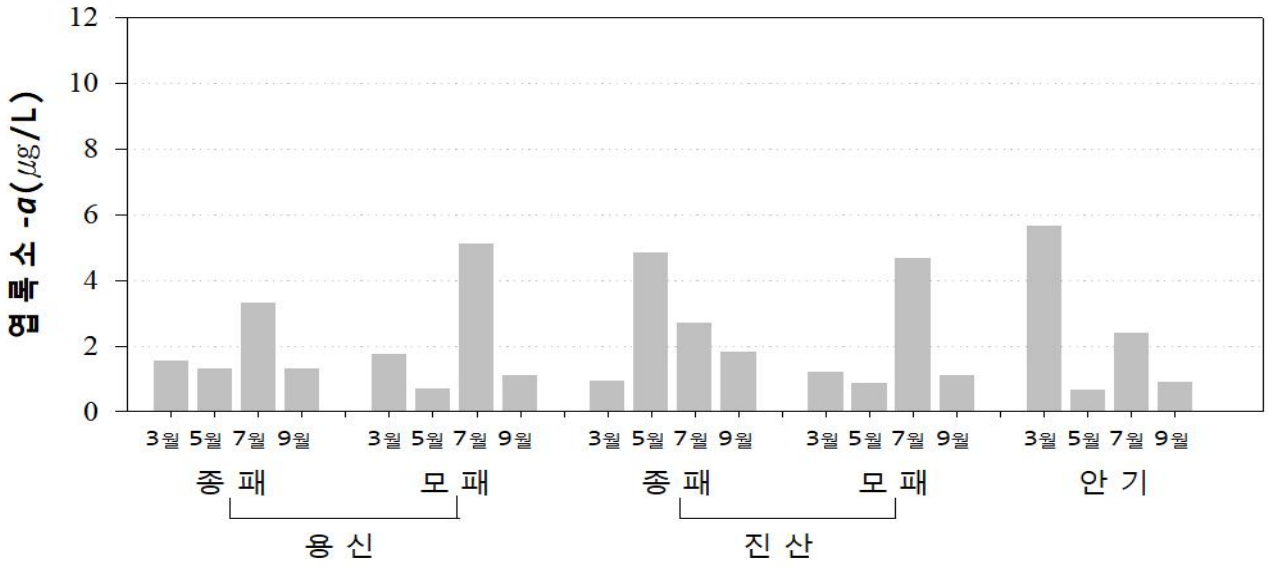


그림 35. 2019년 조사구별 해수 중 엽록소-a 농도 변화

표 16. 2019년 3월부터 9월까지 조사된 해수 영양염 및 엽록소-a

조사월	정점		NH4 (mg/L)	PO4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	NO3 (mg/L)	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	Chl-a (㎍/L)
3월	용신	종패	0.093	0.010	0.001	0.072	0.166	0.010	1.550
		모패	0.259	0.046	0.001	0.105	0.364	0.046	1.750
	진산	종패	0.064	0.025	0.001	0.086	0.150	0.025	0.950
		모패	0.056	0.025	0.002	0.082	0.140	0.025	1.200
	안기		0.163	0.020	0.001	0.111	0.275	0.020	5.650
5월	용신	종패	0.083	0.018	0.001	0.033	0.117	0.018	1.300
		모패	0.099	0.025	0.001	0.034	0.135	0.025	0.700
	진산	종패	0.021	0.021	0.001	0.032	0.054	0.021	4.850
		모패	0.035	0.010	0.001	0.028	0.064	0.010	0.850
	안기		0.079	0.023	0.001	0.028	0.108	0.023	0.650
7월	용신	종패	0.260	0.099	0.003	0.026	0.289	0.099	3.300
		모패	0.291	0.034	0.003	0.048	0.341	0.034	5.100
	진산	종패	0.078	0.031	0.001	0.033	0.112	0.031	2.700
		모패	0.551	0.080	0.002	0.022	0.575	0.080	4.650
	안기		0.249	0.068	0.007	0.039	0.296	0.068	2.400
9월	용신	종패	0.246	0.057	0.005	0.044	0.295	0.057	1.300
		모패	0.153	0.032	0.004	0.041	0.198	0.032	1.100
	진산	종패	0.141	0.026	0.004	0.035	0.179	0.026	1.800
		모패	0.070	0.029	0.002	0.041	0.113	0.029	1.100
	안기		0.395	0.056	0.006	0.069	0.470	0.056	0.900

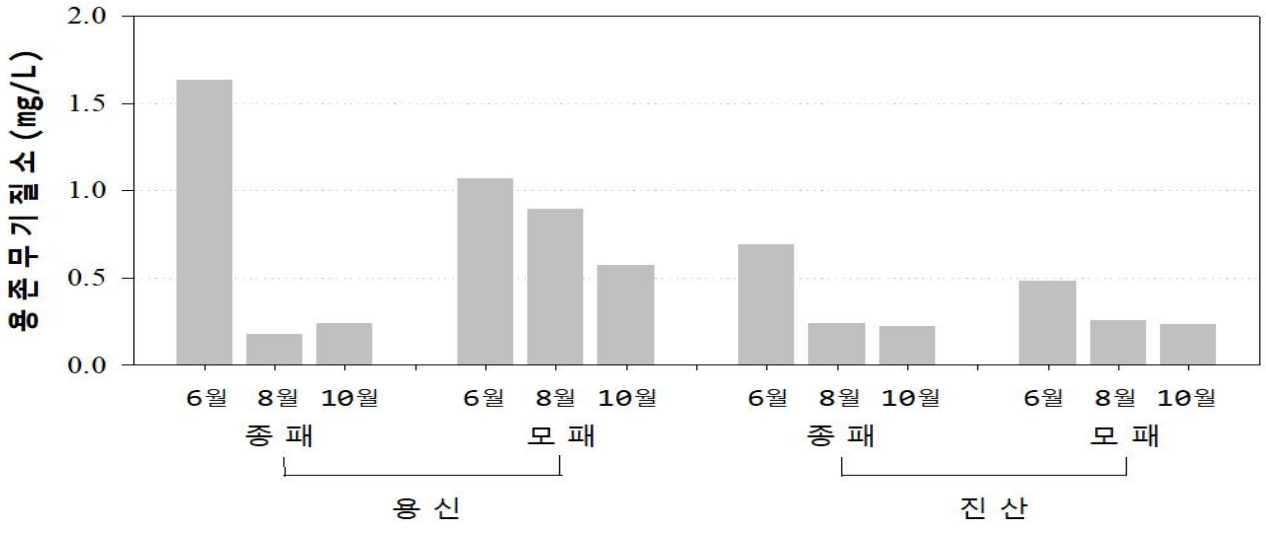
영양염류 및 엽록소-a의 농도는 서해안 갯벌어장에서 용존무기질소는 0.007~1.419mg/L(평균 0.219mg/L), 용존무기인은 0.003~0.135mg/L(평균 0.066mg/L), 엽록소-a는 0.203~14.682μg/L(평균 2.509μg/L) 범위를 보여, 백합 조사정점과 비교해보면 용존무기질소는 0.054~1.633mg/L(평균 0.374mg/L), 용존무기인은 0.008~0.183mg/L(평균 0.043mg/L), 엽록소-a는 0.508~8.562mg/L(평균 2.878)로 서로 유의미한 차이를 보이지 않았다.

시간적 변화 양상은 용존무기질소가 2017년 0.174~1.633mg/L(평균 0.558mg/L), 2018년 0.070~1.570mg/L(평균 0.415mg/L), 2019년 0.054~0.575mg/L(평균 0.222mg/L)로 지속적인 감소 양상을 보였다.

용존무기인은 2017년 0.021~0.183mg/L(평균 0.068mg/L), 2018년 0.008~0.098mg/L(평균 0.034mg/L), 2019년 0.010~0.099mg/L(평균 0.037mg/L)를 나타내 2018년과 비슷하였고, 2017년 보다 감소하는 경향을 보였다.

엽록소-a는 2017년에 1.088~7.685μg/L(평균 3.057μg/L, 2018년에 0.508~8.562μg/L(평균 3.457μg/L), 2019년에 0.650~5.650μg/L(평균 2.190μg/L)를 보여 감소하는 경향을 보였다.

영양염류와 엽록소-a는 특정 시기에 높은 농도를 보였으며, 말백합 서식에 영향을 미칠 만큼의 농도는 아닌 것으로 판단된다.



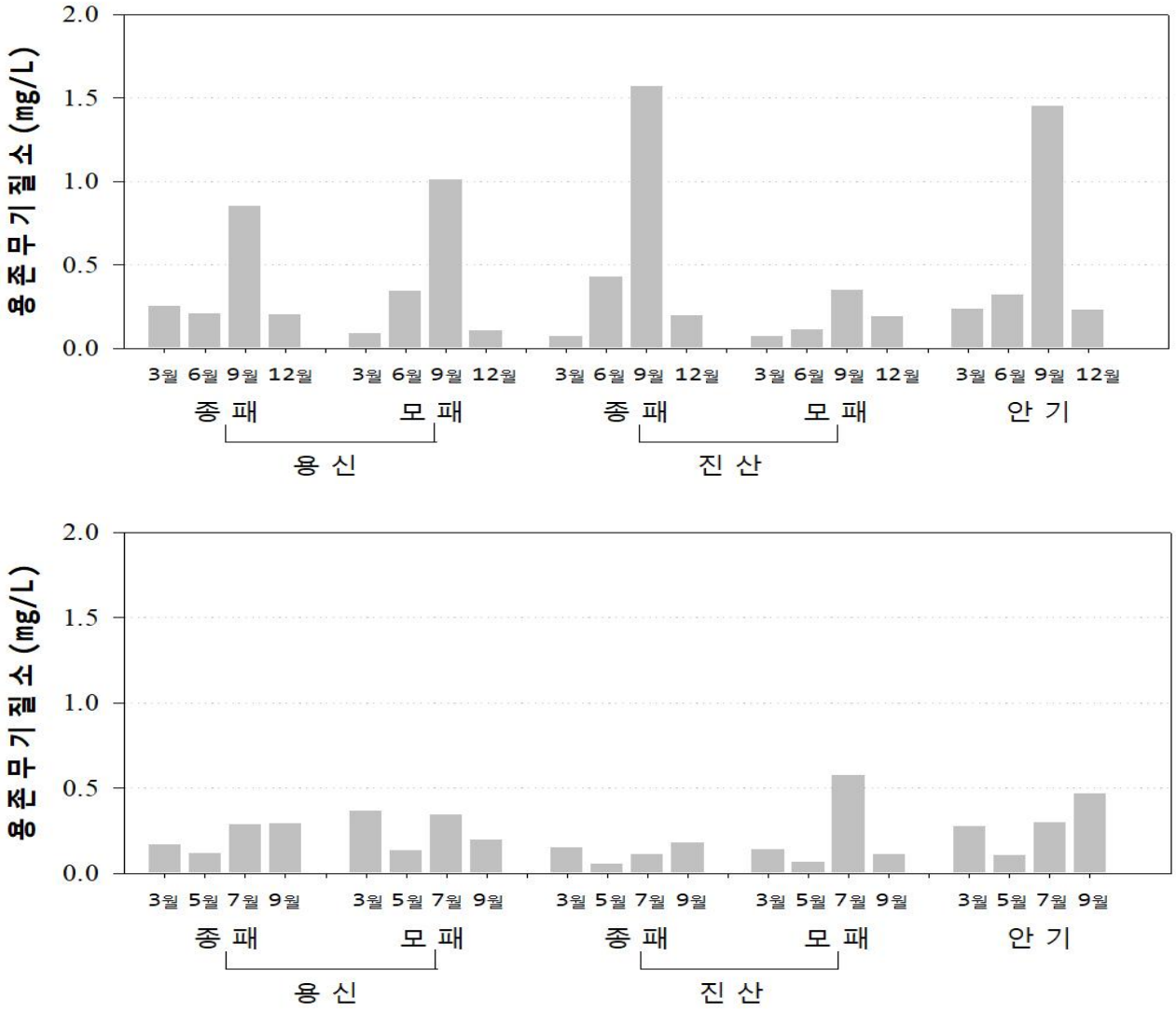
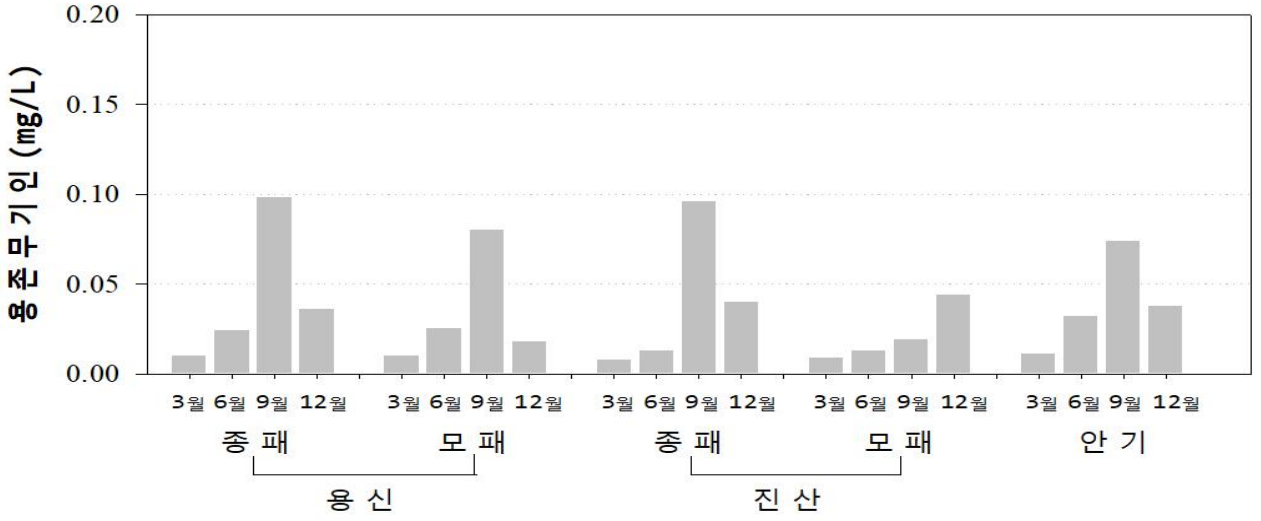


그림 36. 2017~2019년 조사구별 용존무기질소 변화



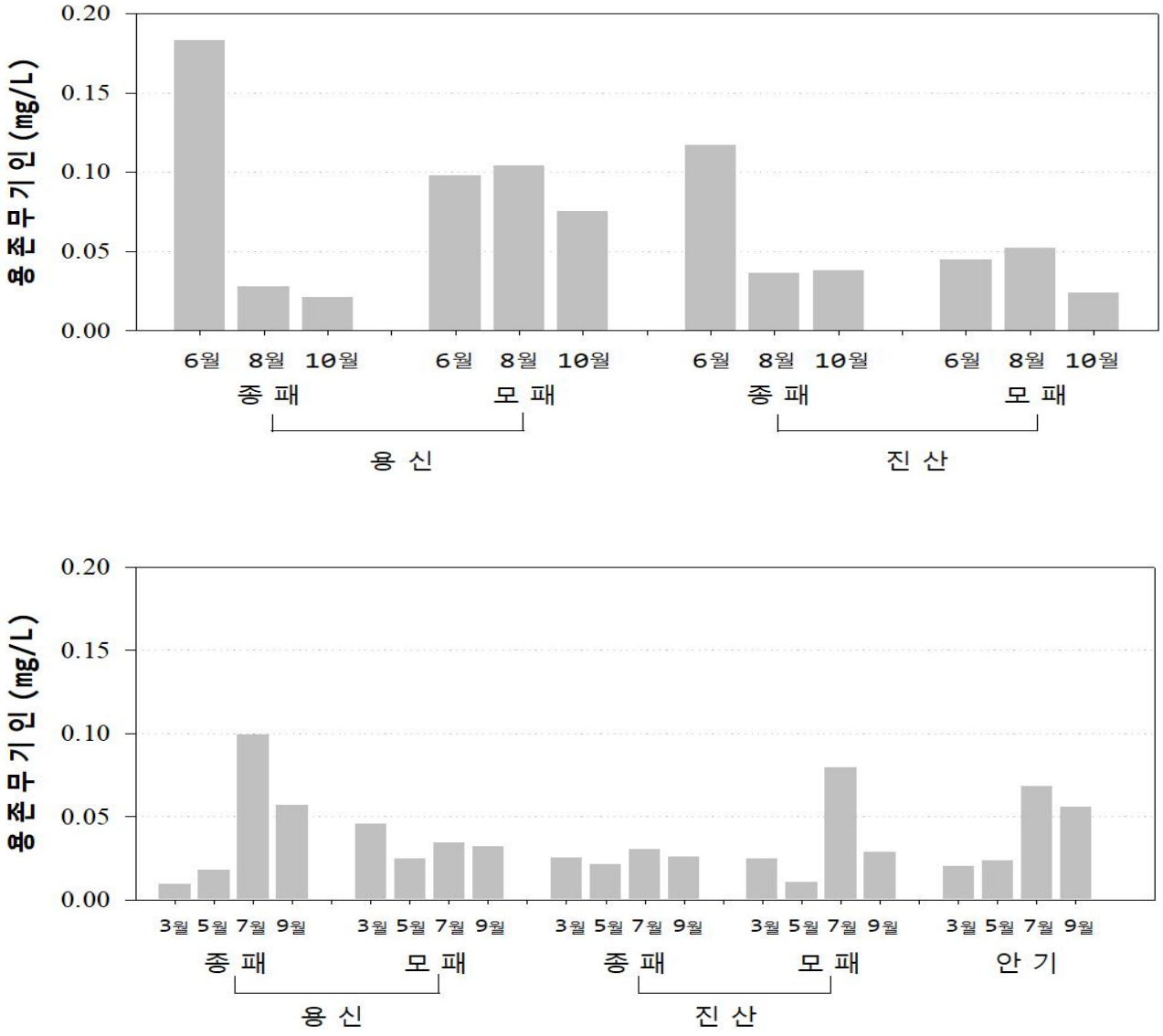


그림 37. 2017~2019년 조사구별 용존무기인 변화

남해포 연안 영양염류는 감소하거나 변동이 없었으며, 엽록소-a 는 약간 감소하는 경향을 보였다. 퇴적 및 수질 환경은 서해안에서 나타나는 환경 특성(표 17.)을 보이며, 말백합 서식환경으로 큰 무리가 없을 것으로 사료된다.

표 17. 2015년 서해안 패류어장의 수질 영양염류 및 엽록소-a

행정구역		어촌계	품종	DIN (mg/L)	DIP (mg/L)	엽록소-*a* (μg/L)
충남	당진시	난지	바지락	0.275	0.104	0.464
	서산시	가로림	바지락	0.217	0.101	0.464
		노룡	바지락	0.875	0.113	0.696
		오지	바지락	0.196	0.100	0.261
	태안군	구매	바지락	0.129	0.096	4.521
		누동1리1	바지락	0.106	0.096	1.595
		누동1리2	바지락	0.448	0.048	1.160
		누동3리	바지락	0.159	0.098	0.928
		백사장	바지락	0.021	0.038	6.113
		신두리	바지락	0.253	0.016	7.989
		신야2리	바지락	0.470	0.108	0.928
		안기	동죽	0.230	0.101	0.261
		안장곰	바지락	0.129	0.099	3.828
		안흥	바지락	0.247	0.102	1.131
		용신	바지락	0.345	0.106	0.224
		장돌	바지락	0.110	0.114	1.595
		진산	바지락	0.512	0.107	0.203
		창기1리	굴	0.112	0.098	1.160
		창기3리	바지락	0.009	0.080	3.828
		화성	바지락	0.127	0.096	2.265
		황도1	바지락	0.014	0.056	4.492
		황도2	바지락	1.419	0.135	0.778
		통개	가무락	0.062	0.077	6.493
	보령시	군헌	바지락	0.206	0.112	0.928
		낙동	바지락	0.234	0.106	1.598
		무창포	바지락	0.291	0.122	14.682
		장은	바지락	0.150	0.023	4.498
		주교	바지락	0.289	0.122	0.464
		현포	바지락	0.088	0.084	7.682
	서천시	월하성1	바지락	0.074	0.011	0.822
		월하성2	바지락	0.128	0.020	0.435
		장벌	바지락	0.069	0.100	0.778
		죽산	동죽	0.422	0.061	0.822
전북	군산시	개야도	바지락	0.038	0.005	3.828
		무녀도	바지락	0.133	0.089	1.801
		장자도	바지락	0.270	0.011	2.726
	부안군	식도	바지락	0.122	0.009	11.713
전남	영광군	두우	**백합**	0.134	0.010	0.870
		상낙월도	**백합**	0.041	0.028	1.131
		안마	기타	0.057	0.003	1.105
		월봉	굴	0.034	0.009	3.194
		창우	**백합**	0.170	0.013	1.574
		하낙월도	꼬막	0.030	0.008	1.566
	무안군	가입	굴	0.249	0.044	1.160
		서북	굴	0.007	0.046	1.131
		용유	굴	0.226	0.026	0.438
		월두	굴	0.493	0.017	2.265
		해운	굴	0.098	0.014	1.827

(4) 기초 해황정보(수온, 용존산소, pH, 염분)

2017년 6월부터 2019년 12월까지 태안군 남해포 연안 1개 지점에서 해황 모니터링을 실시했다. 염분 29.89~31.88ppt(평균 31.15ppt) 범위를 보였으며, 6월에서 9월까지의 여름철 강수량 변동차이에 따라 염분 수치 변동 폭이 큰 것으로 보였으며, pH는 8.06~8.17(평균 8.13)범위로 일반적인 해양 pH 범위에 벗어나지 않았다.

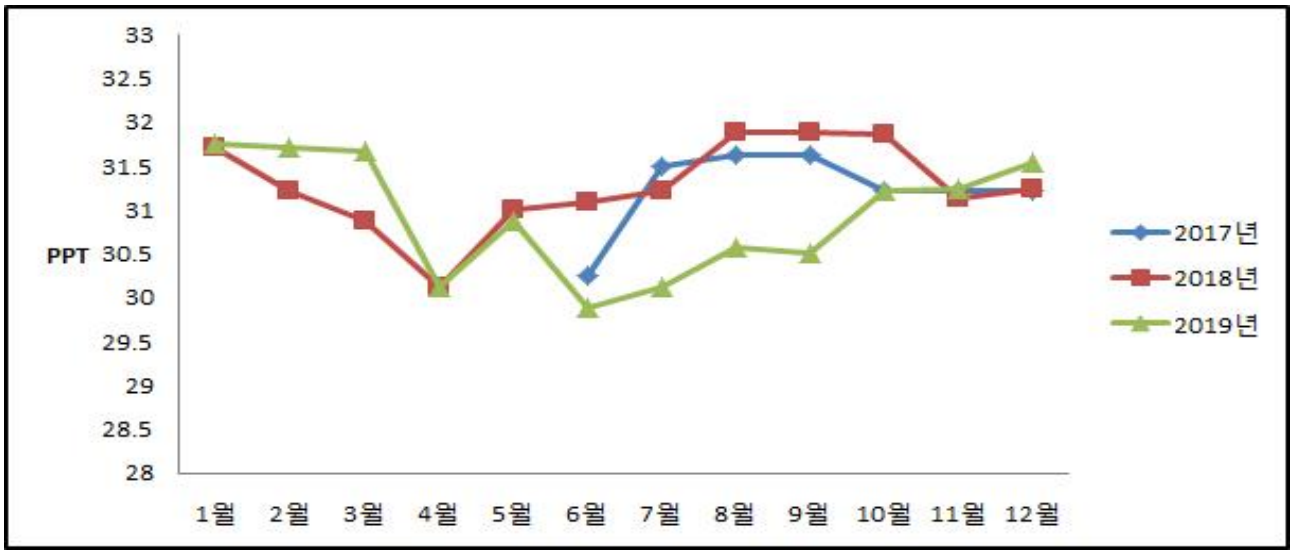


그림 38. 태안 남해포 염분 변화

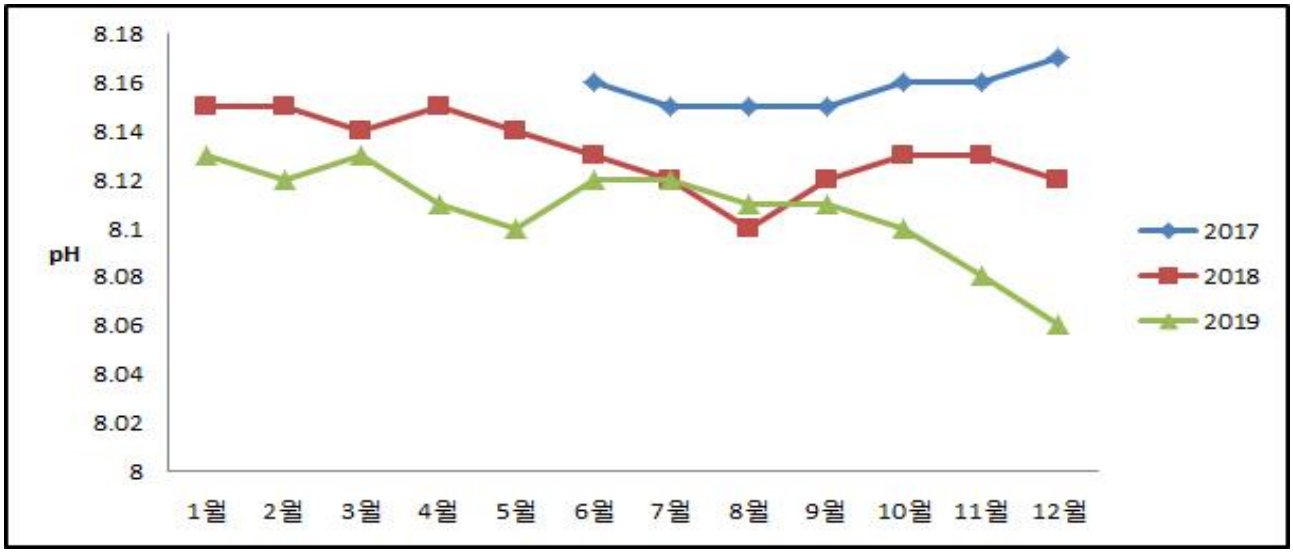


그림 39. 태안 남해포 pH 변화

용존산소는 4.9~9.8mg/L(평균 7.6mg/L) 범위를 보였다. 여름철(6월~9월) 용존산소가 낮은 경향을 보였으며, 2018년 8월에 4.9mg/L로 용존산소가 가장 낮았다. 이는 여름 고수온기에 말백합 패사와 관련이 있다고 생각된다. 수온은 2.4~29.2℃ 범위를 보였다. 여름철(6월~9월)에 수온 급격히 상승 하는 경향을 보였으며, 2018년 8월에 29.2℃로 수온이 가장 높았으며, 용존산소가 가장 낮은 2018년 8월과 연관성 있는 것을 확인할 수 있었다. 2018년 2월에 2.4℃로 수온이 가장 낮았으며, 저수온기 말백합 패사는 발생하지 않았다.

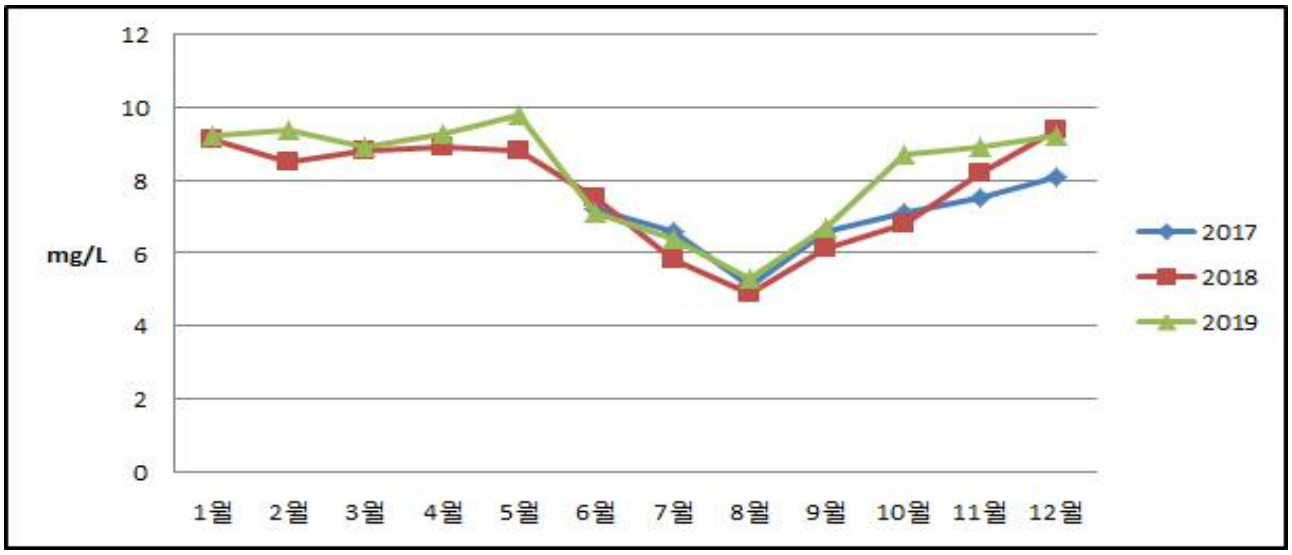


그림 40. 태안 남해포 용존산소 변화

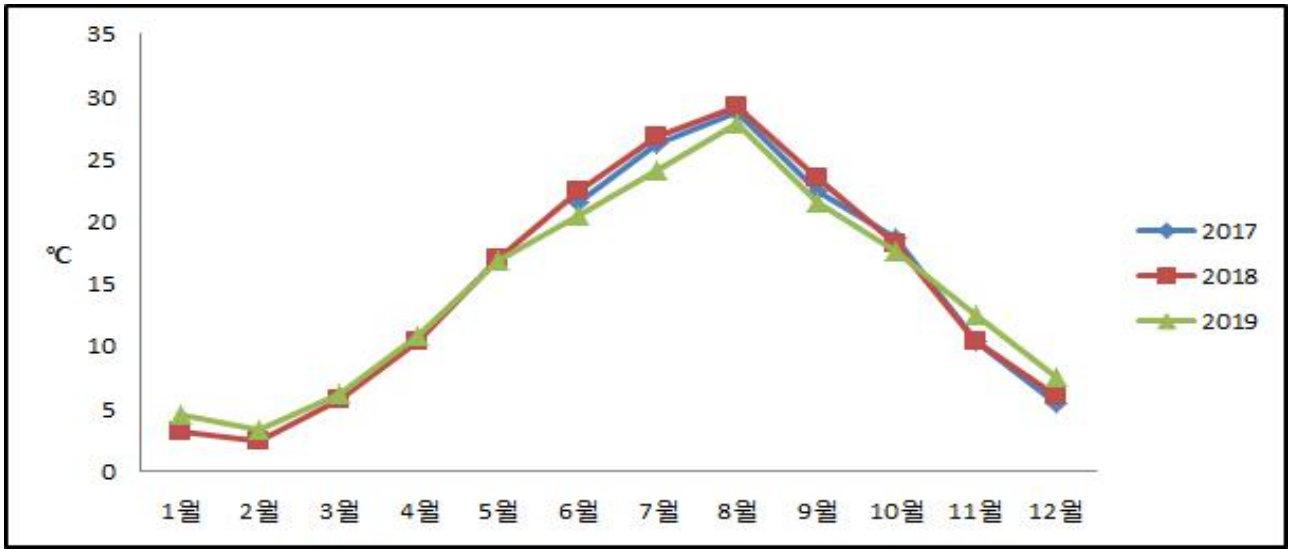


그림 41. 태안 남해포 수온 변화

3. 산란성기 조사

2018년도 5월부터 9월까지 모패 시험연구 조사구에서 매달 말백합 모패(3㎝ 이상) 30마리씩 채취하여 비만도(육중량/각중량) 조사 결과, 6월말에서 7월 상순에 비만도가 높게 측정되었으며, 7월 이후부터 비만도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 비만도가 가장 높은 시기는 7월 초(비만도 0.34)이다(표 18).

표 18. 말백합 비만도 조사

조 사 일	각 장(mm)	전중량(g)	육중량(g)	비 만 도
18. 5. 10.	53.3	54.3	9.4	0.17
18. 5. 29.	55.7	52.4	12.3	0.23
18. 6. 12.	61.1	56.8	15.2	0.26
18. 6. 28.	59.0	54.6	17.6	0.32
18. 7. 10.	62.1	65.9	22.7	0.34
18. 7. 30.	60.0	59.8	18.1	0.30
18. 8. 05.	64.2	70.1	18.8	0.27
18. 8. 20.	59.5	55.4	15.3	0.28
18. 9. 10.	63.4	69.5	16.4	0.24
18. 9. 25.	62.1	64.3	13.5	0.21

비만도 조사 기간 중 모패 평균 각장은 60.04mm이며, 평균 전중량 60.04g, 평균 체중량 15.93g 이다. 7월 이후부터 모패 육중량은 감소하고 있는 것으로 보였다.



그림 42. 말백합 모패 측정

말백합은 자웅이체로 패각의 외부형태로만 암·수를 구분할 수 없으나 성숙시기에 생식소의 색으로 구분할 수가 있다. 산란시기가 되면 암컷은 엷은 노랑색을 띤 우유빛을 띠며, 수컷은 우유 빛 회색을 나타낸다. 산란 시기는 5월부터 10월까지이며, 지역에 따라 다소 차이가 있으나 주 산란기는 6~9월이다.

말백합 살포 구입 지역인 인천광역시 볼음도 지선 산란성기는 7월 하순에서 8월 상순으로 평균 비만도는 0.20이며, 8월 중순 이후부터 비만도가 감소하였다(박 등, 2015). 결과적으로, 태안 남해포 지선 말백합 산란성기는 6월 하순에서 7월 상순으로 인천광역시 볼음도 지선 보다 25±5일 빠른 것으로 보였다.

비만도 조사와 함께 말백합 생식소의 조직학적 변화를 관찰하기 위하여 조직표본을 제작하여 암·수 생식세포의 발달 및 성숙정도 관찰을 병행하여 실시하였다(그림 43, 44).

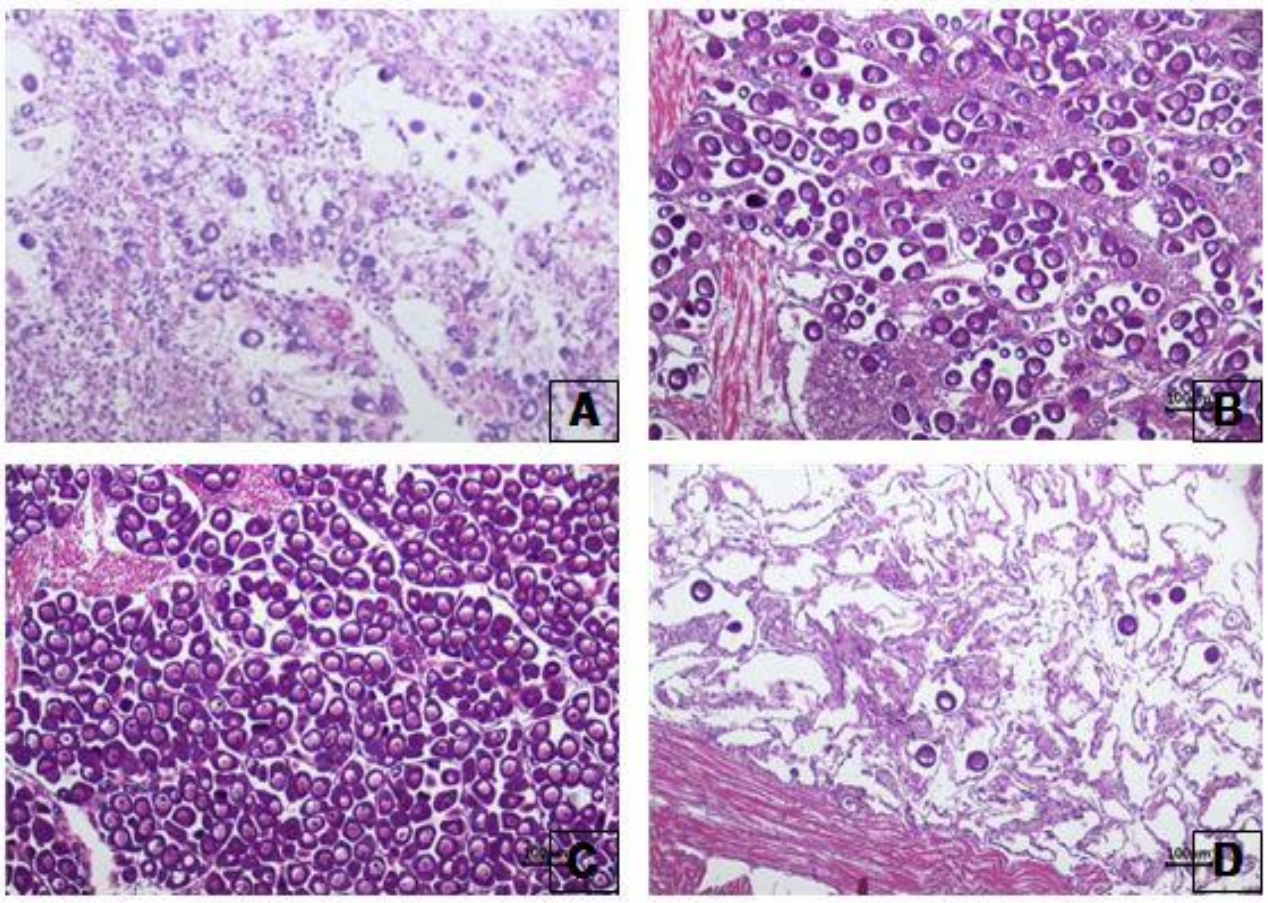


그림 43. 암컷 생식소 변화. A : 5월 상순, B : 6월 상순,
C : 7월 상순, D : 9월 하순

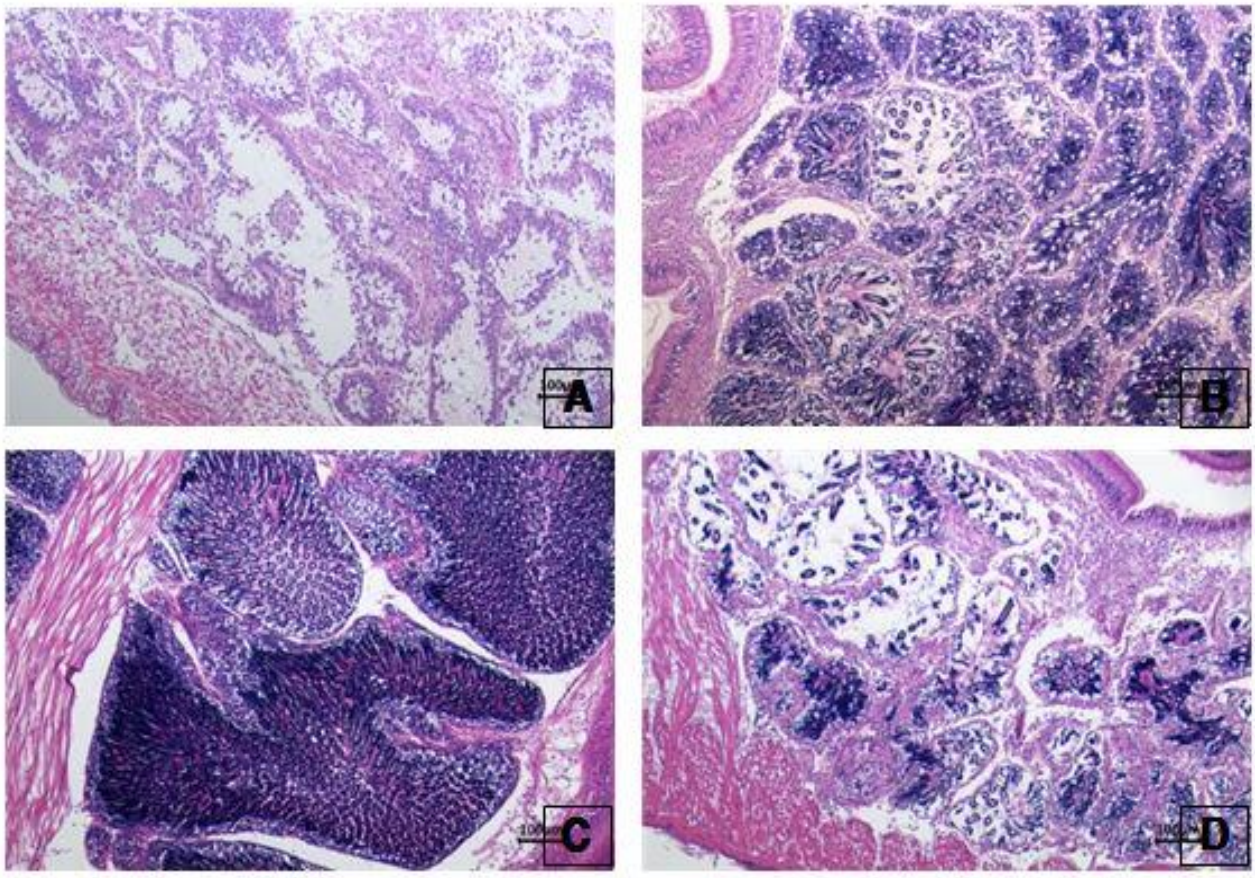


그림 44. 수컷 생식소 변화. A : 5월 상순, B : 6월 상순,
C : 7월 상순, D : 9월 상순

비만도 조사 결과 산란성기로 보인 7월 상순 암·수 생식소를 관찰한 결과, 암컷의 경우 난소소낭(ovarian sac)의 벽이 5월 상순에 비해 확연히 얇아졌으며, 난모세포가 서서히 구형으로 되었고 세포질에 난황물질을 축적하여 성숙란의 모양을 갖추었다. 완숙한 난모세포는 50㎛ 전후였으며, 핵과 인이 뚜렷이 구분되었다(그림43, C).

수컷의 경우 성장기에 정소세관(spermary tubule)에는 생식상피 위의 정원세포들이 대부분 감소하고 정세포로 충만하였다.

정소세관의 상피가 얇아졌고 정소세관은 비대해졌으며, 변태를 마친 많은 완숙한 정자들이 정소세관의 내강에 밀집되어 있었다(그림44, C).

9월 암·수 생식소 관찰한 결과, 암컷의 경우 난소는 완숙한 난모세포가 체외로 방출되면서 난소소강 내에 빈곳이 생겨나고 일부 방출 중인 난모세포가 관찰되었다(그림 43, D).

수컷의 경우 정소에서는 정자들이 체외로 방출되면서 세관의 빈곳이 생겨났으며, 일부 방출중인 정자가 관찰되는 방정기의 조직상을 보였다(그림44, D).

말백합 성 성숙에 관련된 연구로는 국립수산과학원에서 연구 한 바 있다(Jeong et al., 2012). 말백합의 수온별 모패 성숙은 20℃ 보다는 수온이 높은 시험구인 25, 30℃에서 성숙 유도율이 높은 경향이 나타났다(Jeong et al., 2012). 이것은 태안 남해포 자연수온이 7월 상순부터 25℃이상 상승하면서 비만도 수치 상승과 생식소 성숙정도 변화 결과와 상관관계를 보였다.

말백합 산란성기는 수온뿐만 아니라, 노출시간, 염분과도 연관성 있다고 생각되므로 추후 검토할 필요성이 있다.

4. 치패발생 및 종패 성장도 조사

가. 치패발생

2017년부터 2019년까지 태안 남해포 용신·진산리 모패 시험구와 안기리 시험구 지점에서 치패(1~2㎝) 발생 조사를 실시한 결과, 용신리 모패 시험구 치패발생량은 2017년 약 10,000마리, 2018년 약 50,000마리, 2019년 약 125,000마리이다.

진산리 모패 시험구 치패발생량은 2017년 약 15,000마리, 2018년 약 65,000마리, 2019년 약 187,000마리이다. 안기리 시험구 치패발생량은 2017년 약 12,500마리, 2018년 약 37,500마리, 2019년 약 62,500마리이다(그림 45).

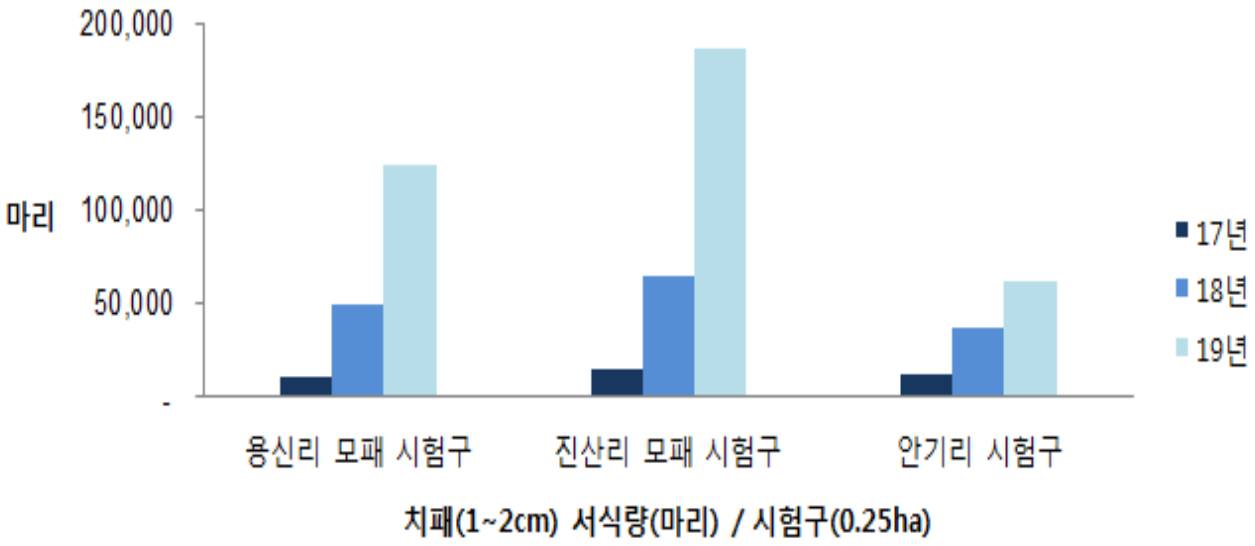


그림 45. 말백합 치패 발생량

2017년 말백합 모패 살포 전 치패발생량 조사 결과와 비교하여 2019년 치패발생량은 대폭 증가하였다.

2018년 치패발생량보다 2019년 치패발생량이 크게 증가하였으며, 이는 2017년 말백합 살포 시 생존율(23~30%)이 낮은 것에 비해 2018년 말백합 살포 시 생존율(63~67%)이 높은 결과가 모패 산란량과 비례하여 치패발생량 증가에 영향을 주는 것으로 보인다.

안기리 시험구 치패발생량은 용신·진산리 시험구에 비해 확연히 적은 것으로 조사되었다. 표층퇴적물 조사 시 용신·진산리 시험구에서는 sand(S)로 조사된 것에 반해, 안기리 시험구에서는 muddy sand(mS)로 나타났으며(표 11), 퇴적률은 침식이 우세하고, -47.1mm로 침식되어 지반변동이 심한 곳으로 조사되었다(그림 23).

이러한 표층퇴적물 조성 차이와 지반변동 발생이 안기리 시험구의 낮은 치패발생량 결과에 영향을 주는 것으로 보인다.

진산리 시험구에서 치패발생량이 가장 높으며, 연도별 치패발생량 증가폭도 크게 나타났다. 지형적으로 진산리 지선에 와류가 발생하며, 진산리 시험구 앞쪽에 지주식 김 양식장이 많이 있어 양식시설에 의한 와류가 발생하여 다른 시험구에 비해 진산리 시험구에서 유생이 많이 침강 하는 것으로 보인다.

치패 서식환경으로 하구의 삼각주 부근으로서, 모래질이 많고 대조시 5~6시간 노출되는 지반이 비교적 높은 곳이다. 이와 같은 곳은 와류가 생겨 부유 유생의 침강이 쉬운 곳이지만, 노출 시 해수 비중이 내려가고, 여름철 간출시 고온이나 흙모래의 퇴적 등과 같은 영향 때문에 환경적으로 안정하지 못하다. 이와 같은 원인으로 치패가 많이 패사하는 경우가 있다.

그러므로, 자연적으로 발생한 치패를 관리하는 것은 중요하며, 말백합 유생 침강을 위한 환경조성과 관련하여 추후 치패 관리 시설방법에 대하여 검토할 필요성이 있다.



그림 46. 말백합 치패 발생 조사

말백합 유생 조사는 2018년 7월부터 10월까지 유생 채집망을 활용하여 현장조사를 실시하였다. 조사 결과, 말백합 유생 7월 8±3개체/㎖, 8월 6±3개체/㎖, 9월 5±3개체/㎖, 10월 3±3개체/㎖로 관찰되었으며, 수온이 낮아지면서 말백합 유생 출현이 낮아지는 경향을 보였다.

말백합 치패발생조사 대상 크기는 각장 1~2㎝로 갯벌환경에서 생존율이 높은 중간육성 크기라는 점에서 말백합의 안정적 정착과 지속적인 생산 가능성에 큰 의미가 있다.

국립수산과학원에서 말백합 초기치패(각장 2~3㎜) 대량배양 연구는 성공하였으나 먹이생물 공급량이 한정되어 각장 1㎝의 치패 생산에는 어려움을 보였다(Jeong et al., 2012). 이러한 문제점을 해결하기 위해 갯벌환경에 모패를 살포하여 치패발생조사를 실시하였다. 그 결과 시험구 3개소(0.75ha)에서 중간육성 크기(각장1~2㎝)까지 성장된 치패가 '19년도 기준으로 약 374,500마리 정도 자연 발생하였다.

말백합 치패 각장 1㎝까지 성장하는데 걸린 기간은 용신리 시험구 6±1개월, 진산리 시험구 7±1개월, 안기리 시험구 7±1개월로 시험구별 1~2개월 정도 성장률 차이를 나타냈다. 시험구 중 치패 성장률이 가장 빠른 용신리 시험구의 노출시간이 4~5시간으로 시험구 중 가장 짧은 것으로 나타나며(그림 19), 치패 성장률 빠른 결과로 기인된다고 생각된다. 치패 성장률은 먹이생물 공급뿐만 아니라 노출시간, 퇴적물 입도 등 서식환경에도 영향을 받는다고 사료된다.

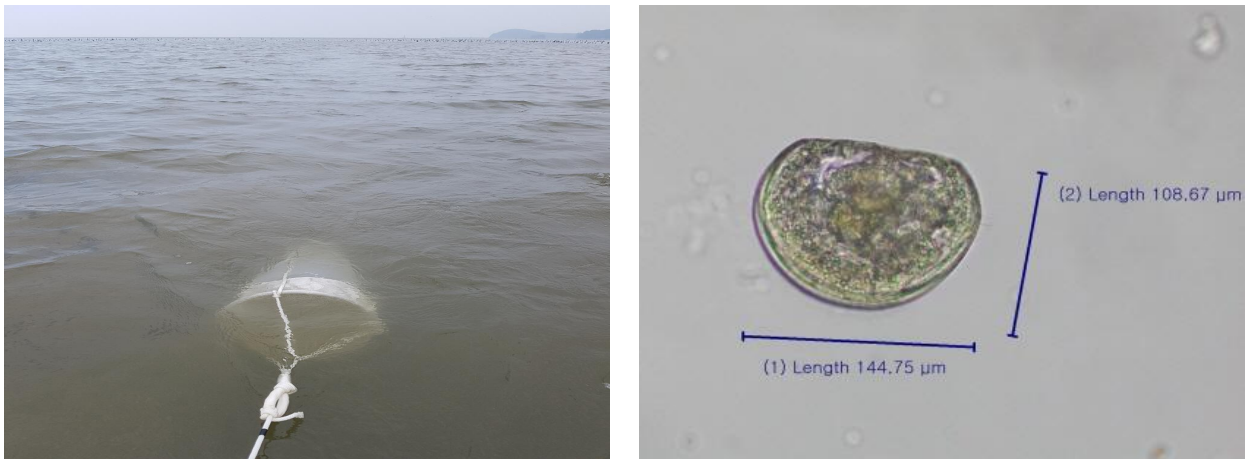


그림 47. 말백합 유생 조사

나. 종패성장도

2017년 6월부터 2019년 9월까지 용신·진산리 종패 시험구에서 말백합 종패 성장도를 조사하였다. 용신리 시험구에서는 평균 각장 26.4㎜ 종패를 살포하여 평균 각장 54.8㎜로 성장 하였고, 진산리 시험구에서는 평균 각장 26.6㎜ 종패를 살포하여 평균 각장 55.4㎜로 성장 하였다.

말백합 종패 평균 각장은 28개월 간 2.8±0.6㎝ 성장하였으며, 계절별 성장속도 차이를 보였다. 11월 이후부터 다음해 2월까지 수온이 내려가는 겨울철에 저질 지표면으로부터 약 10~15㎝ 잠입하기 시작하면서 성장이 둔화되는 경향을 보였다.

5월 이후부터 9월까지 수온이 상승하는 기간에는 겨울철에 비해 비교적 얕게 잠입하여 서식 하고 있으며, 이때에는 성장속도가 증가하는 경향을 보였다(그림 48).

말백합 전중량은 각장, 각고, 각폭 크기 성장과 비례하여 증가하는 경향을 보이며, 산란기 이후 10~11월 기간에 전 중량이 감소하는 경향을 보였다(표 19). 이와 같이 육중량 또한 산란기가 끝나는 10월경에 최젓값을 보였다.

1월부터 4월 사이에는 육질이 전 중량의 약 35%를 차지하고, 산란성기 7월경에는 최곳값을 나타내어 약 40% 이상 나타내었다(표 19).

표 19. 말백합 시기별 육중량 변화

조사지점	조 사 일	각 장(㎜)	전 중량(g)	육중량(g)
용신 종패 시험구	2018년 1월	34.9	15.2	5.3
	2018년 2월	35.1	15.5	5.4
	2018년 6월	41.6	17.9	7.0
	2018년 7월	42.4	20.1	8.5
	2018년 10월	47.5	19.8	5.5
	2018년 11월	47.9	22.6	6.0

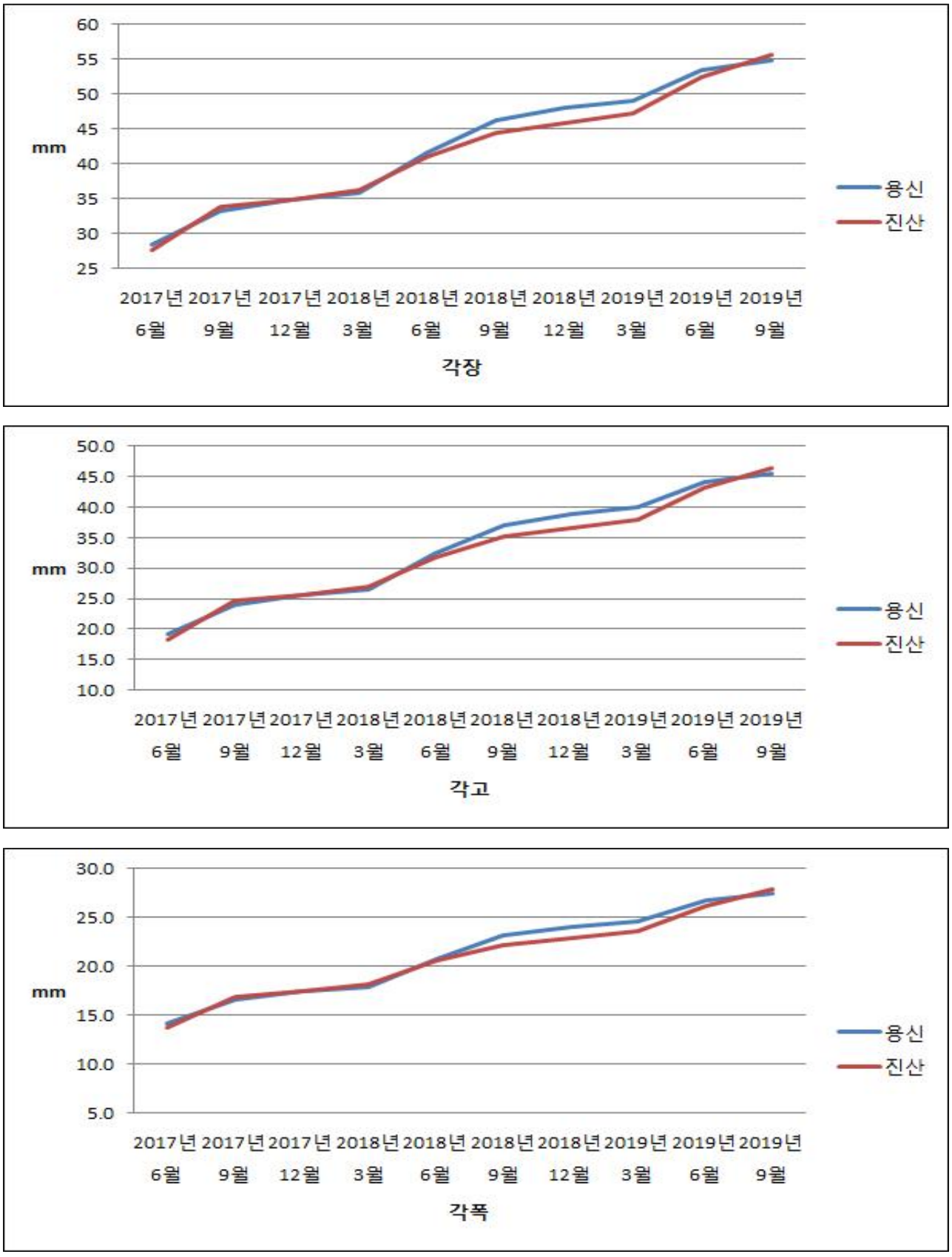


그림 48. 말백합 종패 각장, 각고, 각폭 크기 변화

표 20. 말백합 종패 평균 크기 측정

조사일	용신 종패 시험구(mm, g)				진산 종패 시험구(mm, g)			
	각장	각고	각폭	전 중량	각장	각고	각폭	전 중량
2017년 6월	26.4	19.2	14.2	12.1	26.6	18.3	13.8	11.8
2017년 7월	29.8	20.6	14.9	12.9	29.1	20.8	15.1	12.6
2017년 8월	31.8	22.6	15.9	14.3	32.1	22.8	16.1	14.0
2017년 9월	33.2	24.0	16.6	14.9	33.9	24.6	17.0	14.6
2017년 10월	34.5	25.3	17.3	13.4	34.7	25.4	17.4	13.1
2017년 11월	34.7	25.5	17.4	13.6	34.9	25.6	17.5	13.3
2017년 12월	34.9	25.7	17.5	14.1	34.9	25.6	17.5	13.8
2018년 1월	34.9	25.7	17.5	15.2	35.0	25.7	17.5	14.9
2018년 2월	35.1	25.9	17.6	15.5	35.0	25.7	17.5	15.2
2018년 3월	35.8	26.6	17.9	16.3	36.3	27.0	18.2	16.0
2018년 4월	37.1	27.9	18.6	17.2	38.4	29.1	19.2	16.9
2018년 5월	40.1	30.9	20.1	18.2	39.4	30.1	19.7	17.9
2018년 6월	41.6	32.4	20.8	17.9	41.1	31.8	20.6	17.6
2018년 7월	42.4	33.2	21.2	20.1	42.9	33.6	21.5	19.8
2018년 8월	44.2	35.0	22.1	25.1	43.7	34.4	21.9	24.8
2018년 9월	46.3	37.1	23.2	20.1	44.4	35.1	22.2	19.8
2018년 10월	47.5	38.3	23.8	15.8	45.6	36.3	22.8	16.5
2018년 11월	47.9	38.7	24.0	22.6	45.7	36.4	22.9	22.3
2018년 12월	48.1	38.9	24.1	24.5	45.9	36.6	23.0	24.2
2019년 1월	48.2	39.0	24.1	25.8	45.8	36.5	22.9	25.5
2019년 2월	48.3	39.1	24.2	30.6	45.8	36.5	22.9	30.3
2019년 3월	49.1	39.9	24.6	32.9	47.2	37.9	23.6	32.6
2019년 4월	51.1	41.9	25.6	32.1	48.2	38.9	24.1	31.8
2019년 5월	52.3	43.1	26.2	34.2	50.4	41.1	25.2	33.9
2019년 6월	53.4	44.2	26.7	36.5	52.4	43.1	26.2	36.2
2019년 7월	54.2	45.0	27.1	39.1	53.6	44.3	26.8	38.8
2019년 8월	54.8	45.6	27.4	38.5	55.3	46.0	27.7	38.2
2019년 9월	54.8	45.6	27.4	36.2	55.7	46.4	27.9	35.9

5. 서식량 조사 및 경제성 분석

가. 서식밀도 및 개체특성

태안 남해포 해역 일대에서 2019년 10월에 총 16개 정점을 선정하여 현장조사를 실시하였다(표 21). 조사 결과 백합의 치패는 단 한 개체도 나타나지 않았고, 각장이 20mm 이상인 성패의 서식밀도가 평균 23개체/100㎡가 출현하였다. 서식밀도를 정점별로 살펴보면 정점 13에서 36개체/100㎡로 가장 높았고, 그 다음으로 정점 32에서 32개체/100㎡로 높게 출현하였다. 반면 정점 2, 5, 6에서는 16개체/100㎡로 가장 낮게 나타났다.

각장은 평균 51.7mm로 정점 11에서 57.2mm로 가장 컸고, 그 다음으로 정점 10에서 55.6mm로 크게 나타났다. 반면 정점 7에서는 42.5mm로 가장 작게 나타났다. 전중량은 평균 42.1g 으로 정점 14에서 52.1g 으로 가장 높았고, 그 다음으로 정점 13과 15에서 50.3g으로 높게 나타났다. 반면 정점 10에서 34.8g으로 가장 낮게 나타났다(그림 49~51).

표 21. 남해포 해역 백합의 서식밀도 및 개체특성

구분	정점	서식밀도	각장(mm)	전중량(g)
		성패(개체/100m2)		
안기리	1	20	50.8	39.0
	2	16	50.3	40.1
	3	32	51.5	41.1
진산리	4	20	50.6	42.5
	5	16	50.4	41.3
	6	16	53.9	42.4
	7	20	42.5	38.9
	8	24	50.2	36.6
	9	20	53.4	37.5
	10	20	55.6	34.8
	11	24	57.2	39.8
용신리	12	28	48.9	48.9
	13	36	55.5	50.3
	14	24	52.1	52.1
	15	28	53.4	50.3
	16	28	50.4	38.6

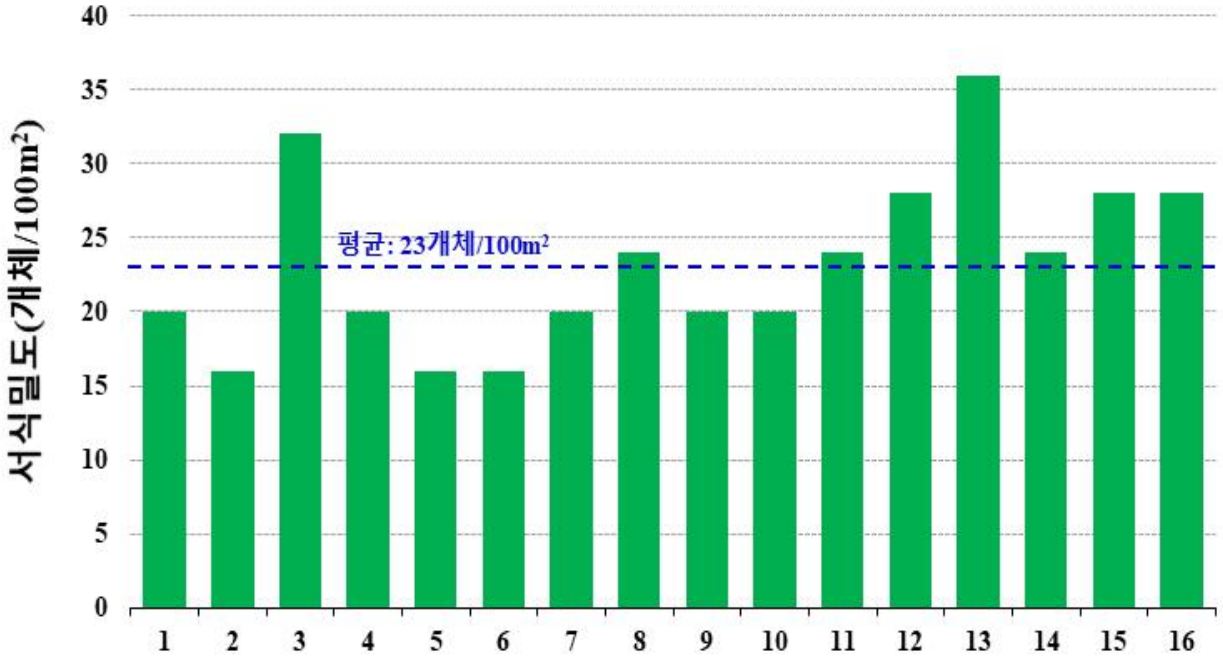


그림 49. 남해포 해역 백합의 정점별 서식밀도 변화

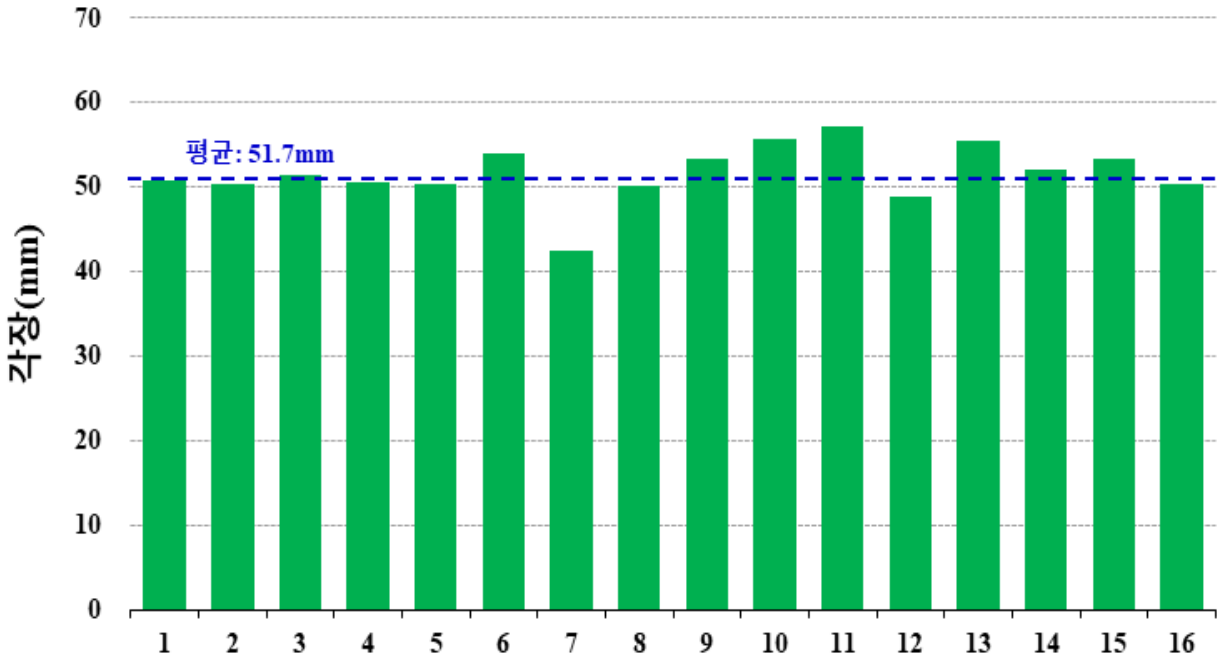


그림 50. 남해포 해역 백합의 정점별 각장 변화

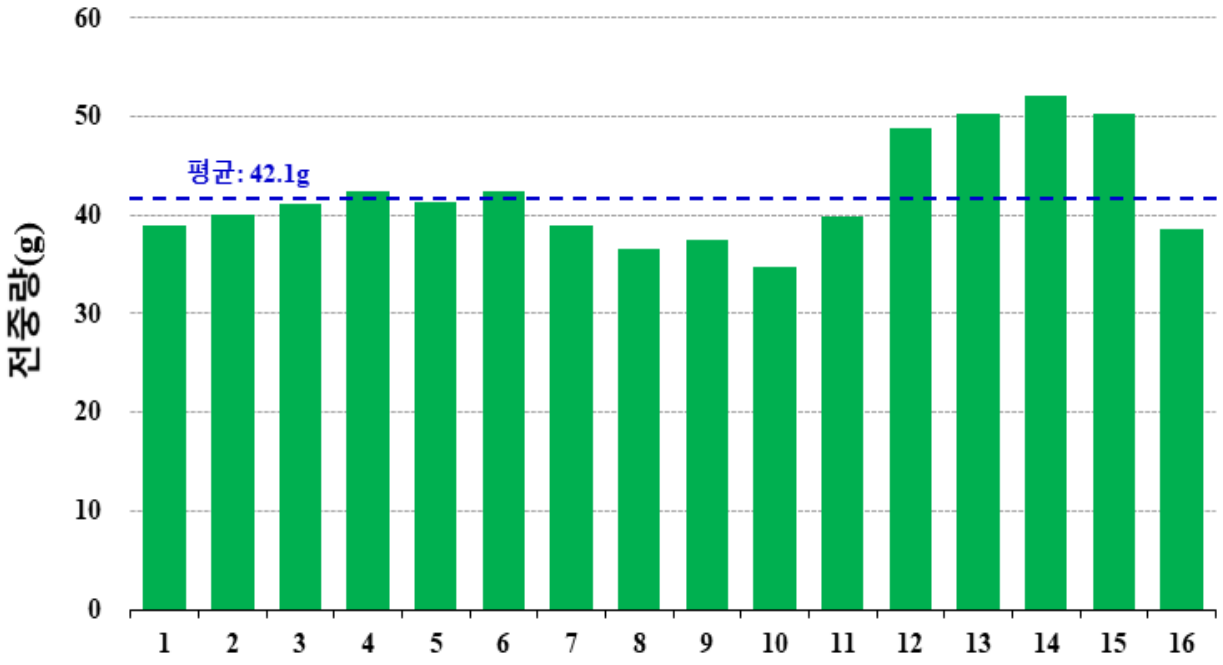


그림 51. 남해포 해역 백합의 정점별 전중량 변화

나. 서식량

남해포 해역 일대에서 조사된 백합의 평균서식밀도와 평균 전 중량, 어장면적을 이용하여 서식량을 추정하였다(표 22).

안기리 태안양식 60호 어장은 면적이 3.0ha로 서식량은 0.3ton으로 나타났다. 진산리 태안양식 676호 어장은 면적이 6.0h로 서식량은 0.4ha, 태안양식 677호 어장은 면적이 19.8ha로 서식량은 1.6ton으로 나타났다.

용신리 태안양식 141호 어장은 면적이 10.0ha로 서식량은 1.5ton으로 나타났다.

남해포 해역 갯벌면적을 측정하여 말백합의 서식량 추정한 결과 갯벌면적은 약 250ha 였고, 본 연구사업 수행 전 2017년 각장 3㎝ 이상 말백합 대상으로 서식량 조사 결과, 남해포 연안 면적대비 9.8ton 서식량을 보였으며, 연구사업 수행 후 2019년 서식량은 24.5ton으로 나타났다(그림 52). 17년도 대비 19년도 남해포 말백합 자원량은 약 2.5배 증가하는 추이를 보였으며, 자원량 회복 기여에 성과를 보였다.

표 22. 남해포 해역 백합의 서식밀도 및 개체특성

구분	정점	서식밀도 (개체/100m2)	전중량 (g)	평균서식밀도 (개체/100m2)	평균전중량 (g)	서식량 (ton)	어장면적(ha)	비고
안기리	1	20	39.0	-	-	-	-	-
	2	16	40.1	24.0	40.6	0.3	3.0	태안양식 620호
	3	32	41.1					
진산리	4	20	42.5	17.3	42.1	0.4	6.0	태안양식 676호
	5	16	41.3					
	6	16	42.4					
	7	20	38.9	21.6	37.5	1.6	19.8	태안양식 677호
	8	24	36.6					
	9	20	37.5					
	10	20	34.8					
	11	24	39.8					
용신리	12	28	48.9	29.0	50.4	1.5	10.0	태안양식 141호
	13	36	50.3					
	14	24	52.1					
	15	28	50.3					
	16	28	38.6	-	-	-	-	-

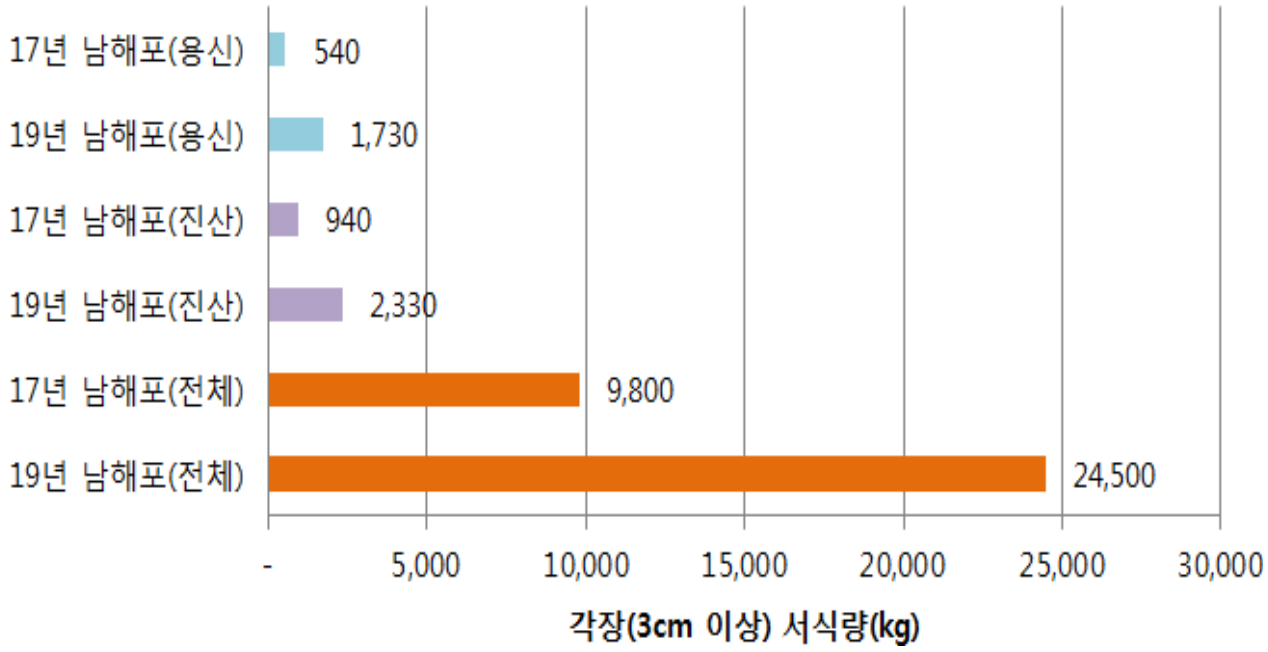


그림 52. 태안 남해포 말백합 서식량 변화

다. 타 지역 어장 비교 결과

태안 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 서식밀도와 개체특성을 비교해 보았다(표 23).

남해포 해역 외 타 지역 어장들은 종패장 사업을 하지 않은 백합 서식어장이다. 평균 서식밀도 비교 결과 태안 남해포은 평균 23.0개체/100㎡로 가장 높았으며, 조사지점에 본 연구사업과 관련하여 말백합 살포를 실시한 지점이 포함되어 있다. 영광 두우리는 0.04개체/100㎡로 가장 낮게 나타났다.

다른 서해안 백합 어장들은 신안 삼두리에서 3.84개체/100㎡로 가장 높게 나타나 태안 남해포와 서식밀도 차이가 크게 나타났다.

각장은 신안 우전리에서 평균 68.5mm로 가장 컸고, 영광 두우리에서 평균 38.0mm로 가장 작게 나타났다. 태안 남해포는 평균 51.7mm로 신안 우전리, 영광 백수, 신안 삼두리 보다 작아 4번째로 나타났다.

전중량은 신안 우전리에서 84.4g으로 가장 컸고, 영광 두우리에서 14.1g로 가장 작게 나타났다. 태안 남해포는 평균 30.6g으로 신안 우전리, 영광 백수, 신안 삼두리, 인천 볼음도 보다 작아 5번째로 나타났다(그림 53~55).

표 23. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 서식밀도 및 개체특성

구 분	조사 시기	조사점	평균 각장 (mm)	평균 전중량 (g)	평균 서식밀도 (개체/100㎡)
대조구	2013년 9월	인천 볼음도	48.8	41.9	0.93
		인천 주문도	47.0	27.8	1.71
		신안 삼두리	51.9	40.3	3.84
		신안 방축리	49.5	36.1	0.40
		신안 우전리	68.5	84.4	0.36
		영광 두우리	38.0	14.1	0.04
		영광 백수	55.6	49.6	0.32
		영광 하사	40.8	20.2	0.24
조사구	2019년 10월	태안 남해포	51.7	30.6	23.0

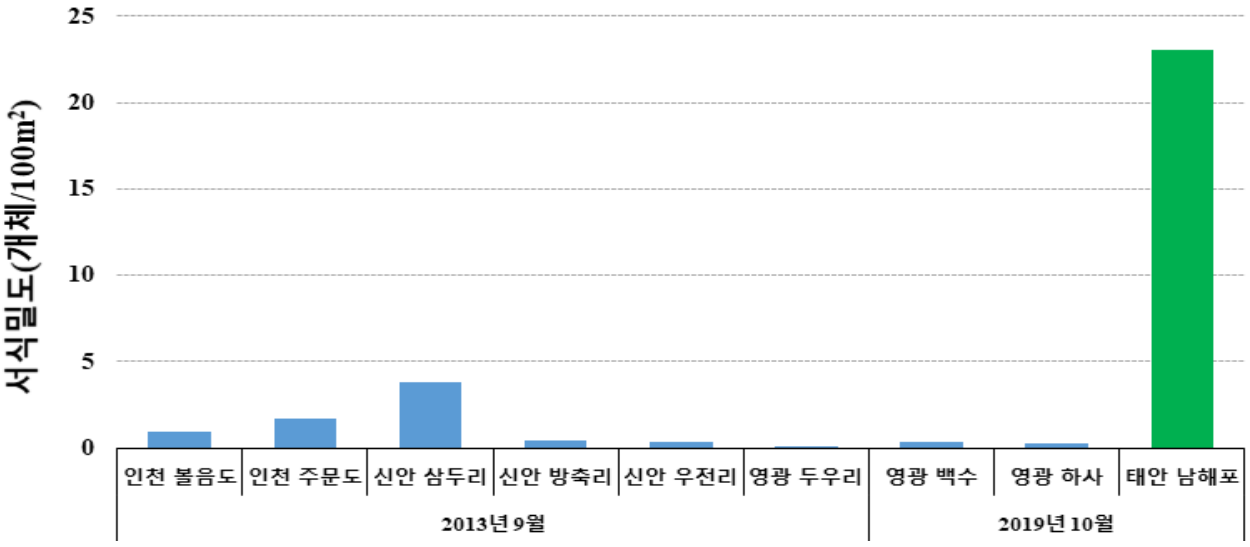


그림 53. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 서식밀도 비교

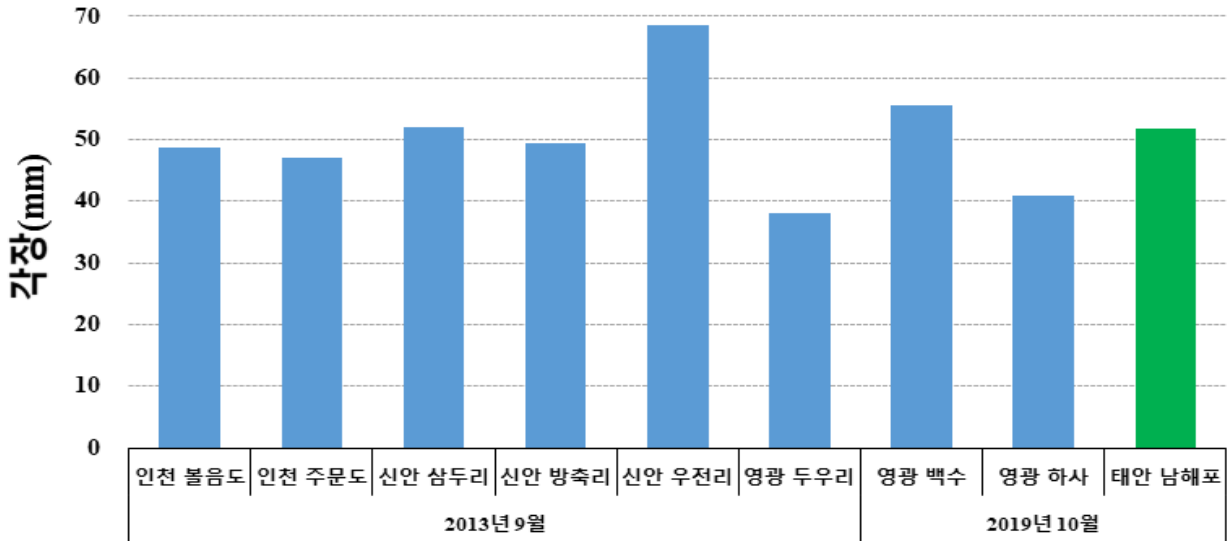


그림 54. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 각장 비교

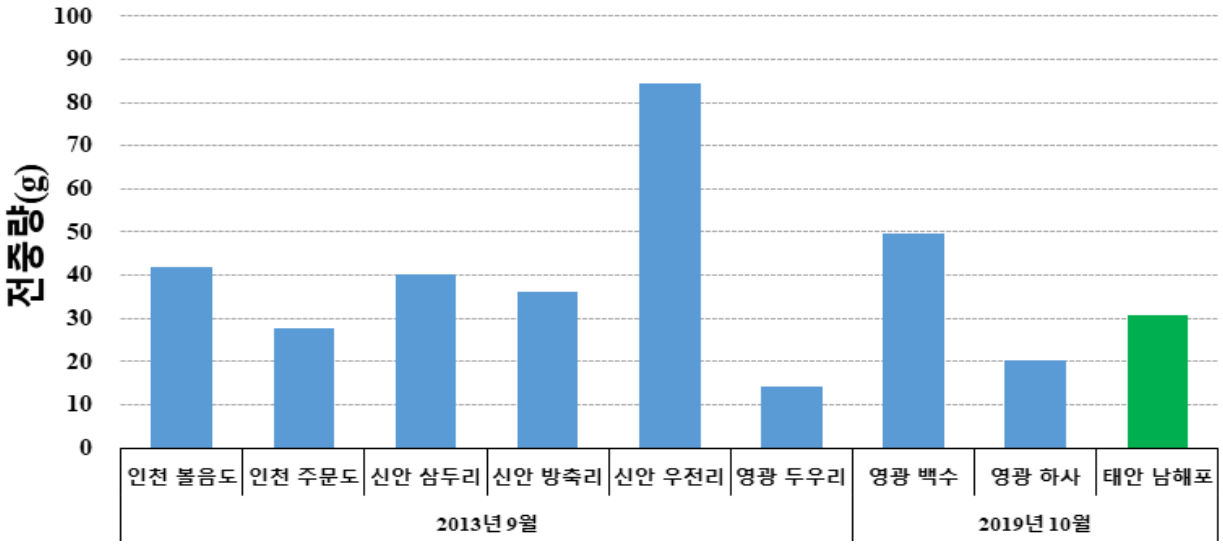


그림 55. 남해포 해역과 타 지역 백합 어장의 전중량 비교

라. 어장 경제성 분석

(1) 편익 추정 구도

본 사업의 경제적 효과 분석은, 국가 및 지방 재정사업의 예비 타당성조사 일반지침 및 가이드라인에 근거하여, with/without 관점에서 경제적 효과분석을 실시하였다.

편익 추정 구도는 본 사업에 따라 해양생태계 자원 복원 편익, 수산자원 증대 편익, 지역경제 활성화 편익 등이 식별 가능하고, 직접적 경제적 효과이면서 계량 가능한 경제적 효과는 수산자원 증대 편익을 말한다(표 24).

표 24. 말백합 자원조성 조성사업의 편익

편익 항목	내 용	경제성 분석 반영여부
해양생태계 자원 복원 편익	말백합 자원의 복원을 통한 해양생태계 자원 복원 가치 식별	생태계 보전의 가치에 대한 정량적 자료 부족으로 미반영
수산자원 증대 편익	말백합 자원의 복원을 통한 수산 자원 증대 효과 식별	수산 자원의 소득 증대에 따른 경제적 효과로 반영
지역경제 활성화 편익	말백합 자원 복원사업의 확대 보급에 따른 간적접 경제적 효과 식별	직접적 효과가 아니기 때문에 경제성 분석에는 반영하지 않지만, 확대 보급 효과의 가정을 통한 간접적 효과에 대한 추가 분석

(2) 잠재적 효과분석

치패발생조사 결과 2017년도 모패 살포 전에는 3개 시험구(용신리, 진산리, 안기리)에서 37,500마리 정도 치패가 조사되었으며, 모패를 2017년에 1,910kg, 2018년에 2,150kg 정도 연차적으로 살포한 후 치패발생을 조사한 결과 3개 시험구에서 2018년도 152,500마리, 2019년도 375,000마리 조사되었다(표 25).

표 25. 말백합 치패 발생량 조사 결과

모패 입식 전			모패 입식 후(4,060kg)					
2017년도(마리)			2018년도(마리)			2019년도(마리)		
용신리	진산리	안기리	용신리	진산리	안기리	용신리	진산리	안기리
10,000	15,000	12,500	50,000	65,000	37,500	125,000	187,500	62,500

본 말백합 자원량 회복 연구에 따른 수산자원 증대 편익은 수산 자원화에 대한 관련 어업 경영비용이 발생하므로, 어업분야 부가가치율을 활용하여 경제성 분석에 적용하며, 어업별 부가가치율은 2017년 기준 어업별 평균치인 63.6% 활용하였다.

표 26. 어업부문 1경영체당 평균 비용(2017년 기준, 천원)

구 분	어업비용	연료비	비 중	부가가치율
1경영체	984,371	148,207	15.06%	63.60%

백합 위탁판매 금액 통계는 판매 규모가 부정확하여, 수량별로 편차를 보이기 때문에, 백합 판매의 경우 500kg이상 위판장을 대상으로 kg단가 집계를 하였다.

표 27. 위탁판매 금액 통계(2019년 10월 기준, 500kg 이상 위탁판매 기준)

위판장	어종상태	수 량(kg)	판매금액(원)	KG당 단가
영흥위판장	활	745	4,470,000	6,000

본 말백합 자원량 회복 연구의 향후 실제 어업경영비를 감안한 수산자원 증대 편익은 연간 40.8백만원으로 분석함

수산자원증대편익 = 사업에 따른 해당사업지 백합 판매가능중량(18.7ton)×백합 위탁판매금액(6,000원/kg)×(1-부가가치율(63.6%))

(3) 경제성 평가

경제성 분석에 앞서 한국개발연구원(2011)의 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)」, KISTEP(2011)의 「R&D 사업 예비타당성조사 표준지침」에 따라 다음과 같은 조건을 가정하였다.

첫째, 경제성 분석의 모든 비용과 편익은 분석 직전년도 말 기준 불변가격으로 산정함. 둘째, 편익의 발생기간은 예비타당성조사의 일반지침 상 투자완료 후 30년으로 가정하고 분석함. 셋째, 동 사업은 그 성격상 비용이 초기에 집중 발생하는 반면 편익은 건설 후 장기간 동안 발생하기 때문에 분석기간 동안 예상되는 비용과 편익에 사회적 할인율을 적용하여 현재가치로 환산하여 평가하였으며, 본 연구에서는 사회적 할인율은 「예비타당성조사 일반지침(제5판)의 수정·보완: 사회적 할인율의 조정」 등 예비타당성 관련 연구 사례를 참고하였다.

연구개발사업이 수행되자마자, 사업화 또는 실용화 등 연구 성과가 바로 시현되는 것이 아니기 때문에 경제성 분석 시 편익 회임기간도 고려하였다.

본 조성사업은 『지속가능한 수산자원 관리 및 이용 기술개발사업 예비타당성조사』(KISTEP, 2015)의 사례를 준용하나, 편익시작 시점은 바로 상업화 가능한 상황을 감안하여 사업 수행 후 바로 시현 되는 것으로 가정하였다. 한편, 본 연구개발사업이 머신러닝학습, IoT, 빅데이터 활용 등의 IT 최신의 기술을 적용하는 점을 감안하여, 편익기간은 『스마트 양식장 통합관리시스템 개발 기획연구』(해양수산부, 2016)의 빅데이터 기술 수명 주기를 활용한 기간을 준용, 총 10년으로 가정하였다.

○ 경제성 분석의 전제사항

- 분석 시점 : 본 사업 종료 시점 기준
- 비용은 연차별 투입예산 및 민간부담금 포함하는 것이 원칙, 다만 생장효과가 명확하게 계량된 상황에 비춰 2019년 기준으로 총사업비(250백만원)가 투입된 것으로 가정함
- 분석 기간 : R&D 기술수명주기에 따라 10년 적용
- 할인율 : 예비타당성조사 일반지침에 근거하여 4.5% 적용

○ 편익 분석 전제

- 말백합 복원 사업은 복원에 따라 자체 생장과 확산을 거칠 수 있으나, 복원사업 자체의 효과를 보수적으로 분석하는 관점에서, 연간 생장은 동일하다고 가정함. 즉, 수산자원 증대 편익은 매년 일정하게 발생하는 것으로 분석함

○ 경제성 분석 결과

- 비용편익 분석 결과, 복원사업의 B/C는 1.21로 사업타당성을 확보한 것으로 분석함
- 해양생태계 보전 효과가 추가로 식별 가능한 것을 감안할 때 본 사업의 사업성은 충분히 확보한 것으로 평가함

표 28. 비용편익비율 측정결과

구 분	복원 사업
편익의 현재가치 (백만원)	302.4
비용의 현재가치 (백만원)	250.0
순현재가치 (백만원)	52.4
B/C	1.21
내부수익률 (%)	10.1%

사업 평가가 비용과 편익요소의 변화에 따라 변화할 수 있음을 감안하여 편익 및 비용의 20% 전후 변화에 따른 민감도 분석을 수행하였으며, 민감도 분석결과 편익의 -20% 변화 분을 제외하고 모든 경우에 있어 사업타당성을 확보한 것으로 분석하였다.

표 29. 민감도 분석 결과

구 분	변화분	총편익의 현재가치	총비용의 현재가치	순현재가치	B/C
편익의 변화	-20%	241.90	250.00	-8.10	0.968
	-10%	272.14	250.00	22.14	1.089
	0%	302.37	250.00	52.37	1.209
	10%	332.61	250.00	82.61	1.330
	20%	362.85	250.00	112.85	1.451
비용의 변화	-20%	302.37	200.00	102.37	1.512
	-10%	302.37	225.00	77.37	1.344
	0%	302.37	250.00	52.37	1.209
	10%	302.37	275.00	27.37	1.100
	20%	302.37	300.00	2.37	1.008

표 30. 비용편익 분석 흐름

(단위 : 백만원)

구 분	사업비	비용의 현재가치	자원증대	편익의 현재가치	순가치	순현재가치
2019	250.0	250.0			-250.0	-250.0
2020		0.0	40.8	39.1	40.8	39.1
2021		0.0	40.8	37.4	40.8	37.4
2024		0.0	40.8	32.8	40.8	32.8
2025		0.0	40.8	31.4	40.8	31.4
2026		0.0	40.8	30.0	40.8	30.0
2027		0.0	40.8	28.7	40.8	28.7
2028		0.0	40.8	27.5	40.8	27.5
2029		0.0	40.8	26.3	40.8	26.3
2030		0.0	40.8	25.2	40.8	25.2
2031		0.0	40.8	24.1	40.8	24.1
합계	250.0	250.0	408.4	302.4	158.4	52.4

(4) 소득분석

연구교습어장 운영 결과 3개 어촌계가 있는 남해포 어장 소득을 분석하였다(표 31).

표 31. 연구교습어장 운영에 따른 소득 추정

항 목			금액(천원)	산 출 내 역
조수입	계		147,000	
	판 매 소 득(추정)		147,000	태안군 남해포 성패(3cm 이상) 24.5ton 서식 추정 6,000천원/kg('19.10 영흥위판장 단가 기준)
생산비	경영비	시 설 비	12,000	
		수 선 비	-	
		종 패 비	71,500	- '17년 2,970kg 매입 살포 - '18년 3,850kg 매입 살포
		유 류 비	-	
		사 료 비	-	
		약 품 비	-	
		전기요금	-	
		얼 음 대	-	
		주부식비	-	
		조세공과금	-	
		공제 및 보험료	-	
		기타 지출	-	
		감가상각비	-	
		인 건 비	-	
	자 가 노 력 비		-	
	자 본 용 역 비		-	
	총 계		83,500	
총소득(조수입-경영비)			63,500	147,000 - 83,500
소득율(총소득÷조수입)×100			43.1%	(63,500 ÷ 147,000) × 100
순소득(조수입-생산비)			63,500	147,000 - 83,500
이익률(순소득÷조수입)×100			43.1%	(63,500 ÷ 147,000) × 100

○ 사업규모 : 남해포(256ha, 백합어장 및 시험연구시설 포함)

(5) 경제성 효과

말백합 자원 복원사업의 확대 보급에 따른 간적접 경제적 효과는 인근 어촌계 경제 활성화에 기여하였고, 이에 충남 패류 양식 어장(58.2㎢, 충남연구원(2018) 기준)으로 말백합 자원 복원성과가 확대 보급된다면 지역 어민 소득을 추가로 창출할 것으로 판단되어진다.

충남 패류 양식 면적 중 타 패류의 소득 자원화를 감암하여 말백합 자원 복원사업의 성과를 50% 정도 적용하는 것으로 가정하고, 말백합 자원조성 복원사업의 직접적 비용편익 분석 결과를 활용한 결과, 말백합 자원 복원사업의 확대 보급 사업이 본 사업처럼 성공적으로 수행된다면, 충남지역의 경제적 효과는 연간 4억 7천 5백만원에 이르는 것으로 분석된다.

이를 경제성 분석 기간인 10년으로 확장할 경우 총 475백만원의 경제적 효과가 발생하는 것으로 분석된다.

Ⅳ. 종합고찰

Ⅳ. 종합고찰

전복이 패류의 왕이라면, 백합은 패류의 여왕이라고 부른다. 그만큼 귀한 품종이고 고부가 가치 있는 패류이다. 그러한 백합이 충남 서해안 지역에서 전국 대비 36% 수준의 생산량을 보였지만 1972년도에서 1975년도 사이에 대량 폐사가 진행되고, 새만금간척사업으로 28,000ha 정도의 백합 양식장이 사라지면서 충남뿐만 아니라 전국적으로 양식 생산이 대폭 감소하였고 충남 백합 양식은 거의 사라져가고 있는 실정이다.

그리하여 서해안지역에 백합양식을 부활시키고자 말백합을 활용하여 자원량 증가 목표로 본 연구교습어장 사업을 추진하였다.

말백합 모패·종패를 활용한 시험연구 결과, 약 30개월간 종패 약 3cm이상 성장, 어장환경조사를 통한 서식환경조건 구현, 태안연안 말백합 산란성기 파악, 치패 갯벌 이식 시 생존율을 높일 수 있는 중간육성(1~2cm)의 치패 대량 자연 발생 가능성 확인, 말백합 자원량(성패) 47% 증가의 연구교습어장 사업성과 결과로 보아 지속적인 말백합 모패·종패 살포 사업을 추진한다면 서해안 백합 자원회복에 큰 기여가 될 수 있을 것으로 사료된다.

특히, 중간육성(1~2cm) 치패 자연 발생량이 지속적으로 증가하는 결과로 보아 말백합의 안정적 정착과 지속적인 자원량 증가 가능성을 평가하는데 큰 의미가 있다.

갯벌 환경에 서식하는 생물들은 조석 주기에 따라 그 지역의 기온, 수온 및 지온에 연속적으로 노출되어 영향을 받게 되며, 특히 우리나라와 같은 온대지방의 갯벌에서는 여름과 겨울철 저조시에 갯벌이 공기 중에 노출되는 동안 폭염이나 결빙 상태 같은 온도의 극한 상황을 경험하기 쉽다. 이러한 갯벌 환경 조건에서의 시험연구시설에 설치한 조위망은 조류에 따라 자연스럽게 이동하는 말백합의 생태적 습성과는 상반되는 장애물이다. 과거에는 말백합의 강한 이동능력 때문에 조위망을 설치하여 말백합의 이동을 차단하는 양식방법을 많이 사용하였으나 이러한 양식방법은 이동능력이 강한 말백합에게 스트레스를 주어 폐사를 발생 원인이 되기 때문에 향후 이러한

양식 방법은 지양하여야 한다.

본 연구에서도 조류 방향 조위망 아래에 말백합이 밀집되어 갯벌에 잠입을 하지 못하고 갯벌 지표면에 노출된 상태에서 폐사가 발생하였다. 또한, 여름철 고수온기에 가열된 지온으로 조위망 아래 밀집된 말백합이 대량폐사로 발생할 위험이 있다. 결과적으로 조위망 양식방법은 부적합하며, 수확시기 일정 기간 조류방향으로 조위망을 시설하여 말백합을 모이게 하여 채취를 수월하게 할 수 있도록 하고, 채취 후 조위망을 철거하는 일시적 시설 양식법이 적합하다고 사료된다.

말백합의 서식밀도나 전중량은 치패나 모패를 어느 곳에 얼마만큼 살포하느냐, 또는 성패를 얼마만큼 포획하느냐에 따라서 달라지지만 비만도는 모패나 치패의 살포여부와 상관없이 그 지역의 서식환경을 대변하기 때문에 서식환경을 파악하는 것이 중요한 변수로 이용된다. 본 연구에서는 비만도가 7월 상순부터 25℃ 이상 상승하면서 비만도 수치 상승과 생식소 성숙정도 변화 결과와 상관관계를 보였다.

말백합 산란성기는 수온뿐만 아니라, 노출시간, 염분과도 연관성 있다고 생각되므로 추후 검토할 필요성이 있다. 말백합 생식소가 발달함에 따라 비만도가 증가하고 있어 생식소의 발달정도가 개체 체중의 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다.

퇴적물의 조성 차이는 퇴적물의 함수율(WC)과 퇴적물 내 유기물 함량비를 나타내는 강열감량(IL)과 밀접한 상관관계를 갖는다.

주기적으로 침수와 노출을 반복하는 갯벌에 서식하는 생물들, 특히 모래를 기질로 살아가는 말백합과 같은 생물들은 퇴적물의 함수율과 강열감량의 함량비에 영향을 받는 것으로 판단된다. 영향을 받는 임계값을 명확히 판단할 수는 없지만 본 시험연구 서식량 조사에서 함수율과 강열감량의 비가 높은 지형에 상대적으로 말백합 서식밀도가 높은 것을 현장조사를 통해 알 수 있었다.

따라서 대조구 퇴적물에 비해 조사구 퇴적물의 낮은 함수율과 강열감량은 향후 남해포 연안 지역에서 말백합 어장을 개발할 때 중요하게 고려되어야 한다.

말백합 성장과정에서는 시기별로 말백합의 생물학적 활성 요인들이 제대로 유

지될 수 있도록 환경이나 서식밀도를 조절해 주어야 한다.

판매가 가능할 정도로 자란 성패의 경우에는 번식활동 등으로 인해 말백합 자체의 생물학적 활성이나, 상품으로서의 가치가 낮아지는 시기에 이르기 전에 채취하여 판매하는 것이 대량폐사의 피해를 줄이고 소득을 높일 수 있는 방안이 될 수 있다. 이러한 관점에서 말백합의 주요 폐사시기를 전후하여 환경요인과 생물학적 활성을 잘 반영해 줄 수 있는 요인들에 대하여 검토할 필요성이 있다.

시험연구 추진 중 애로사항으로는 자연환경에 노출된 개방적 시설이라는 점에서 조위망 시설 관리에 많은 노동력이 투입 되어 어려움이 있으며, 모패·종패 살포 후 초기 생존율 저하, 어업인 말백합어장 자원관리 소홀, 갯벌 환경변화 대응 어려움 등이 있었다.

이에 따른 대책방안으로는 모패·종패 살포 시 방양밀도는 ㎡당 20~30개체로 석시법으로 살포하며, 살포 시기는 5월 이전 수온 10℃ 전후가 초기 생존율을 높일 수 있다는 것을 본 시험연구를 통해 확인할 수 있었다. 종패 크기는 각장 2.5㎝전후로 운송 중 패각 손상이 적어 종패 크기로 적당하며, 당일 운송된 종패는 그 날 바로 살포 하는 것이 좋다.

백합어장관리는 금지체장 준수 및 남획금지 등 어업인 스스로가 자율적으로 어장 자원량을 관리할 수 있도록 기관에서 어업인 의식을 개선하기 위한 지도 및 교육을 지속적으로 실시해야 한다.

마지막으로 육상시설(축제식 등)에서 말백합 서식환경조성을 통한 양식 연구를 추진하여 수확이 용이하고 어장관리가 수월하도록 하여 변화해 가는 갯벌환경에 대응하도록 한다. 또한, 말백합 중간육성(각장 1㎝) 대량생산을 위한 축제식 어장을 활용하여 먹이생물 공급량 한계를 해결할 수 있는 양식기술 연구를 추진하도록 추후 검토할 필요성이 있다.

이번 사업의 경제적 효과는 말백합 자원 복원사업의 확대 보급에 따른 간접적 경제적 효과로 지역경제 활성화에 기여하며, 이에 충남 패류 양식 어장(58.2㎢, 충남연구

원(2018) 기준)으로 말백합 자원 회복 성과가 확대 보급된다면 충남 패류 양식면적 중 타 패류 소득 자원화를 감안하여 말백합 자원회복 사업의 성과를 50% 정도 적용하는 것으로 가정하고, 직접적 비용편익 분석 결과를 활용한 결과 경제적 효과 연간 475백만원으로 분석되어 지역 어민 소득증대에 큰 기여가 될 수 있다.

연구교습어장 사업추진 결과로 시험어장에 해당되는 3개 어촌계 체험어장에서 말백합 채취량이 증가하여, 체험어장 관광객으로부터 호응이 좋았으며, 어촌계 활성화에도 큰 기여가 되었다.

본 연구결과는 향후 지속적이고 안정적인 유용 패류 양식생산을 위한 기초자료로 충분히 활용 가능할 것으로 판단되며, 연구교습어장 사업추진 기대효과로 충청남도 서해안 말백합 양식단지 조성으로 지역특화 품목 육성 및 어촌 체험어장 활용 등으로 패류산업 경쟁력 향상에 기여될 것으로 기대한다.

Ⅴ. 참고문헌

Akashige, S. and T. Fushimi. 1992. Growth, survival and glycerol content of triploid Pacific oyster (Crassostrea gigas) in the waters of Hiroshima, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi, 58, 1063-1071.

Chang, Y.J. and T.Y. Lee, 1982. Gametogenesis and reproductive cycle of the cockle (Fulviamutica) (Reeve). Bull. Korean Fish., 15, 241-253.

Choi, K.C. 1971. Ecological studies of the clam (Meretrix lusoria) and (Cyclina sinenis) for the increasing seed clam yield. Korean J. Limnol., 4, 9-19.

Choi, S.S. 1975. Comparative studies on the early embryonic development and growth of hard clam (Meretrix lusoria) and (Cyclina sinensis). Bull. Korean Fish. Soc., 8,185-195.

Choi, S.S. and Y.K. song, 1974. Studies on the artificial fertilization and development of Meretrix lusoria. Bull. Korean Fish. Soc., 7, 1-6. (in Korean)

Chung, E.Y. and D.K. Ryon, 2000. Gametogenesis and sexual maturation of the surf clam, Mactra venerifom is on the west coast of Korea. Malacologia, 42, 149-163.

Chung, E.Y. and Y.M. Kim, 2000. Ultrastructural study of germ cell development and sexual maturation of the hard clam (Meretrix lusoria) (Bivalvia: Veneridae), on the west coast of Korea. J. Med. Appl. Malacol., 10, 181-202.

Duncan, D.B. 1955. Multiple range and multiple F tests, Biometrices, 11: 1-42.

Gauuza E, T. Benitez-Santana, E. Atalah, O. Vega-Orellana, R. Ganga and M.S. Izquierdo. 2008. Crythecodinium cohinii and Schizochytrium sp. as potential substitutes to fisheries-derivid oils form seabream (Sparus aurata) microdiets. Aquaculture, 277:109-116.

Giese, A.C. and H. Kanatani. 1987. Maturation and spawning. pp. 251～329.

In; A.C. Giese,J.S. Pearse and V.B. Pearse (eds). Reproduction of marine invertebrates.

Vol. 9.Blackwell Scientific Publications, Palo Alto, California.

Harel, M., W. Koven, I. Lein, Y. Bar, P. Behrens, J. Stubblefield, Y. Zohar and A.R. Place. 2002 Advanced DHA, EPA and enrichment materials for marine aquaculture using single cell heterotrophs. Aquaculture, 213: 347-362.

Ikuta, K. 1988. Heavy metal concentrations and year-class structure of avenus clam (Meretrix lusoria). Nippon Suisan Gakkaishi, 54, 709-715.

Jiang, Y., F. Chen and S.Z. Liang. 1999. Production potential of docosahexaenoic acid by the heterotrophic marine dinoflagellate Crythecodinium cohinii. Process. Biochem., 34, 633-637.

Kamlangdee, N. and K.W. Fan. 2003. Polyunsaturated fatty acids production by Schizochytrium sp. isolated from mangrove. Songklanakarin J. Sci. Technol., 25: 643-650

Khotimchenko, Y.S. and I.I. Deridovich. 1991. Monoaminergic and cholinergic mechanisms of reproduction control in marine bivalve molluscs and echionoderms: A review. Comp. Biochem. Physiol., 100, 311-317.

Kim, B.H., T.S. Moon, Y.G. Park, P.G. Jo and M.C. Kim. 2010. Study on spawning induction and larvae breeding of the hard clam (Meretrix petechiails) (LAMARCK). Kor. J. Malacol., 26, 151-156.

Kim, B.H., T.S. Moon, Y.G. Park, Y.G. Jin and Y.K. Shin. 2009. Effect of temperature on induced sexual maturation of the hard clam (Meretrix petechiails) (LAMARCK) broodstock. Kor. J. Malacol., 25, 113-119.

Kim, J.J., S.C. Kim and H.C. Hong. 2004. Molecular phylogeny of veneridae on the basis of partial sequences of mitochondrial cytochrome oxidase I. Kor. J. Malacol., 20, 171-181.

Kim, J.R., E.Y. Chung, M.S. Choi and M.H. Ryn, 1986. Studies on environment and biology of aquatic living resources in Pusa Bay. Bull. Natu. Sci. Kunsan Nat. Univ., 1, 151-197.

Lee, C.S. and S. Rho, 1997. Studies on the artificial seedling production of geoduck clam(panope japonica) II. Development of egg and larvae. J. Aquaculture, 10, 25-32.

Lee, J.H. 1997a. Histological studies on the gametogenesis and reproductive cycle of the hard clam (Meretrix lusoria). Kor. J. Malacol., 13, 131-141.

Loosanoff, V.L. 1950. Rate of water pumping and shell movements of oyster in relation to temperature (Abstract). Anat. Rec., 108, 620 pp.

Min, D.K. 2005. Molluks in Korea. Hangule Co., 230pp.

Park, J.J., J.Y. Lee, J.S. Lee and Y.J. Chang. 2003. Gonadal development and gametogenic cycle of the equilateral venus (Gomphina veneriformis) (Bivalvia: Veneridae). J. Korean. Fish. Soc., 36, 352-357.

Taki, I. 1949. Spawning season of Meretrix lusoria (Bivalve). Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 15, 479-486.

Thorarinsdottir, G.G. 1991. The Iceland scallop, Chlamys islandica (O.F. Muller) in breidafjordur, west Iceland I. Spat collection and growth during the first year. Aquaculture, 97, 13-23.

Waline, P.R. 1974. Shellfish culture. In: Sea Fisheries Research (ed. by Jones, F.R.H.). Elek, London, 379-398.

정태준 등. 2004. 백합시험양식. 군산지방해양수산청 부안해양수산사무소. 최종보고서, 1-45

정춘구 등. 2012. 백합 인공종묘생산 생산기술 개발. 국립수산과학원 남동해수산연구소 사업보고서

송재희 등. 2007. 한국 서해안 백합(*Meretrix lusoria*)의 생물학적 활성요인의 계절성. 서국립수산과학원 갯벌연구센터, 중부내수면연구소, 군산대학교 수산생명의학과 한국패류학회지

박광재 등. 2014. 유류피해지역 어장환경 변화에 적합한 양식품종(백합, 꼬막, 새꼬막) 개발. 국립수산과학원 갯벌연구소 최종보고서, 141-146

황인준 등. 2017. 말백합 축제식 양식기술 개발. 국립수산과학원 서해수산연구소 사업보고서

이동일 등. 2015. 천해역 백합자원관리 및 종패양산시험. 인천광역시수산사무소, 2-50

김병학 등. 2009. 패류양식 기술개발(백합 종묘생산 기술개발). 남해특성화연구센터 자원조성사업단

유성규. 2000. 천해양식. 구덕출판사. 부산, 251-261

Ⅵ. 참고사진

조위망 시설 설치













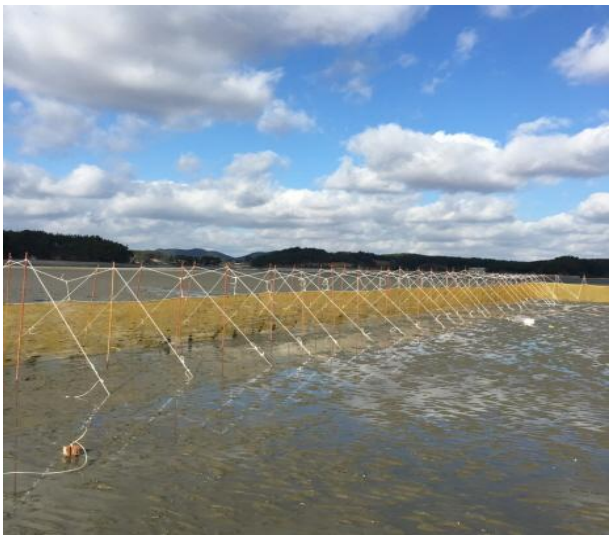
조위망 시설 전경

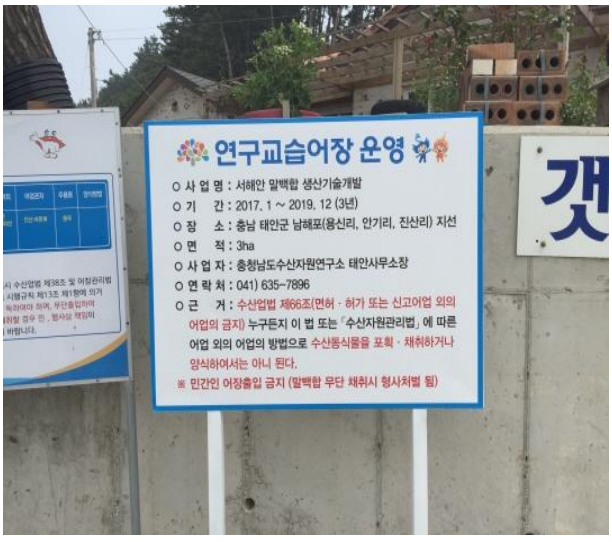











연구교습어장 운영
○ 사 업 명 : 서해안 말백합 생산기술개발
○ 기 간 : 2017. 1 ~ 2019. 12 (3년)
○ 장 소 : 충남 태안군 남해포(용신리, 안기리, 진산리) 지선
○ 면 적 : 3ha
○ 사 업 자 : 충청남도수산자원연구소 태안사무소장
○ 연 락 처 : 041) 635-7896
○ 근 거 : 수산업법 제66조(면허 · 허가 또는 신고어업 외의 어업의 금지) 누구든지 이 법 또는 「수산자원관리법」에 따른 어업 외의 어업의 방법으로 수산동식물을 포획 · 채취하거나 양식하여서는 아니 된다.
※ 민간인 어장출입 금지 (말백합 무단 채취시 형사처벌 됨)

조위망 시설 태풍피해








시험어장 환경조사-1


연구교습어장
수질측정기
수산자원연구소








-58 to 300°F/-50 to 150°C
D-H/CAL
WATERPROOF
ON/OFF
315C



시험어장 환경조사-2








말백합 살포(조시법)













말백합 살포(석시법)







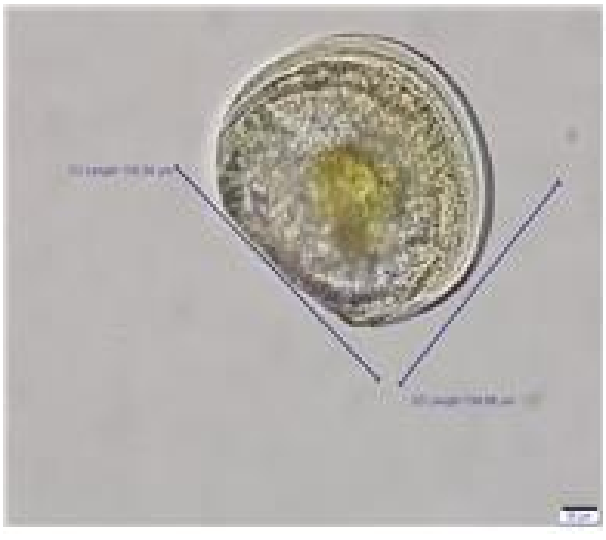

유생 조사













치패발생 조사





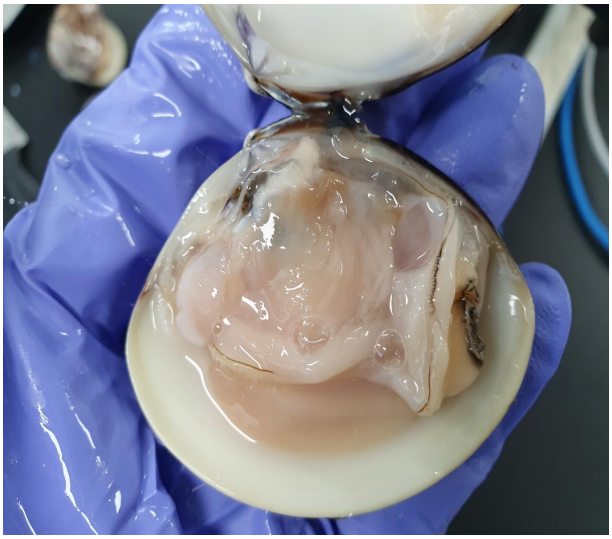








산란성기 조사

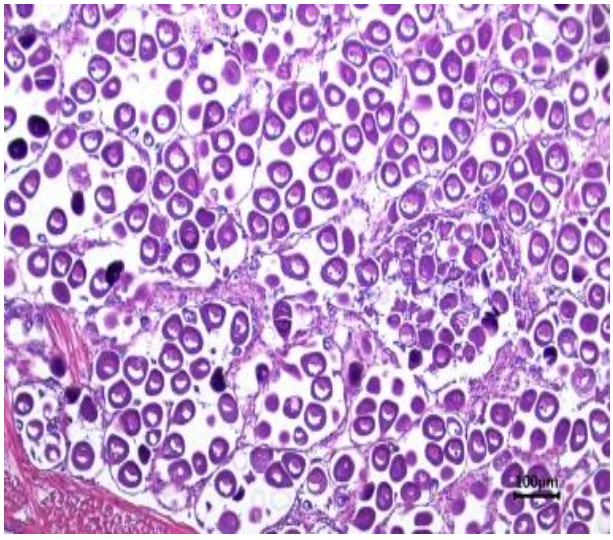












성장도 조사













서식량 조사








연구교습어장 사업 결과보고













연구교습어장 사업보고서

서해안 말백합 생상 기술 개발

2019년 12월 인쇄

2019년 12월 발행

발행인 : 충청남도수산자원연구소장

편집인 : 충청남도수산자원연구소 태안사무소장

발행처 : 충청남도수산자원연구소 태안사무소

충남 태안군 태안읍 동백로 108

전화 : 041) 635-7894

FAX : 041) 635-7997

충청남도
Chungcheongnam-do

충청남도수산자원연구소
태 안 사 무 소