

동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및
환경특성연구

Eco-mapping and characterization of soft-hard
bottom area in the middle shore of the East Sea

2016. 2. 29

한국해양과학기술원

동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및
환경특성연구

Eco-mapping and characterization of soft-hard
bottom area in the middle shore of the East Sea

2016. 2. 29

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및 환경특성연구”
과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2016년 2월 29일

총괄연구책임자: 노현수

참여연구원: 강태욱, 권지남, 김기영, 김동성, 김상미, 김석현,
김선정, 김 성, 김소연, 김영일, 김원혁, 김윤배,
김창준, 김창환, 김현욱, 김혜리, 김혜은, 민원기,
박근하, 박준용, 박재훈, 박요섭, 박응현, 박찬홍,
신아영, 양현성, 오승용, 오제혁, 윤동영, 윤진영,
이명훈, 이문숙, 이상규, 이유정, 이지민, 이재호,
이효진, 이희갑, 이희열, 임혜선, 장영석, 장요순,
전찬형, 정의영, 정창수, 조명래, 최기영, 최순영,
최현우, 최해영, 최혜권, 홍기훈

요 약 문

I. 제 목

동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및 환경특성연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 필요성

- 연안역은 대기와 육상에 직접 접하고 연결되어 있는 환경권으로 각 환경권 상호간의 Process가 복잡하게 작용하는 곳으로 연안환경을 이해하기 위해서는 각 환경권 사이의 상호작용(물질교환 기작, 물질수지 등)을 파악하는 기술이 반드시 필요하다.
- 연안의 복잡한 환경특성을 이해/평가하는 기술이 개발되고 있지만 각 지역 별로 서로 특성이 다르고 영향요소도 다르기 때문에 이러한 상황들을 고려한 연안환경에 영향을 미치는 환경권 사이의 상호작용에 의한 영향요소를 정량적으로 파악하는 기술은 아직도 부족하다.
- 따라서 복잡한 연안환경 프로세스에 대한 이해와 정량적인 영향요소의 파악을 위해 동해연구소의 연안 접근성을 최대로 활용하고, 다양한 첨단 조사장비와 분석방법을 이용한 장기적 시계열 자료의 획득이 선행되어야 하고, 이들 자료를 바탕으로 다각도로 해석하는 다양한 접근 방식의 연구가 필요하다.
- 또한 지속적으로 환경에 반응하고 변화하는 연안 생태계 특성을 이해하고 그 변동을 조절하는 자연적/인위적 요인에 대한 프로세스를 이해하기 위해서는, 연안의 환경 전이지역에 장기 관찰과 생태계 반응실험이 가능한 영구적인 장기 모니터링 스테이션 구축이 필요하다.

2. 연구개발의 목적

- 대기와 해양의 물질 이동 및 수지 파악
- 하천 유입역 해양내부 과정에 의한 물질 이동 및 수지 파악
- 육지와 해양의 물질 이동 및 수지 파악
- 동해연안 하천유입해역 서식지 특성 및 생태계 특성 파악
- 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 조사
- 동해 연안 생태계 서식환경 특성 연구
- 동해 연안 종합 Eco-mapping 기법 확립

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구기간

2013. 01. 01 ~ 2015. 12. 31

2. 연구개발의 내용 및 범위

가. 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악

- 시계열 에어로졸 및 강수 중 주요화학성분 파악
- 하천유입해역 대기 박테리아 군집특성 파악
- 표층 이산화탄소 인자 측정 조사

나. 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지파악

- 저염수 공간분포 조사
- 하천 유입해역 해수의 주요성분 배경농도 파악
- 하천 및 하구역 해수 특성 자료 분석

다. 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악

- 단주기 수온변동 특성 및 수온장기변화 조사
- 유입하천에 대한 기초자료 수집 및 하천수 주요 성분 배경 농도 파악

라. 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악

- 동해 연안 하천유입해역 서식지 특성 및 생태 특성 파악

마. 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 파악

- 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 변동성 조사
- 해빈/조하대 사질 퇴적물 변화에 따른 간극생물 군집 변동성 파악
- 사질·수중암반 서식 대형저서동물 유생의 변동성 파악

바. 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구

- 서식지 주변 기본환경(지질, 물리, 화학) 조사
- 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균 입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악
- 조사자료 DB 구축

IV. 연구개발 결과

가. 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악

- Wet, dry 대기 집진/포집 장치를 이용하여 High Resolution 시계열 대기유래 유입 물질 특성 파악
- 대기 이산화탄소 흡수량 파악을 위한 연안 표층 이산화탄소 인자 측정
- 대기 입력 물질에 존재하는 박테리아 종 파악을 위한 pyrosequencing 및 RDP classifier를 활용한 대기 박테리아의 군집특성 분석

나. 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지파악

- 왕피천 하류 및 하구역 용존 물질 배경 농도 측정

다. 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악

- 물리환경 현장 조사를 통한 염분 구배를 고려한 왕피천 유입해역/대조 사질해역 장기 모니터링 거점 설정
- 해양으로 들어오는 하천 퇴적물과 해빈/해저 표층퇴적물을 채취하여 퇴적물 특성을 분석

라. 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악

- 멀티빔 음향측심기를 이용한 정밀 해저지형조사
- 표층퇴적물 채니기를 이용한 시료 채취 및 입도/유기물 분석
- 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악
- 물리/화학적 특성(수온, 염분, pH, 용존산소, 영양염, 탄소인자)의 사계절 수직/수평 분포 파악

마. 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 파악

- 서식환경 유형별 저서생물의 거점 설정 후 4계절 생물종 조사
- 서식 저서생물의 생태사진 및 표본 확보 제작
- 사질·수중암반 해역 서식지별/환경별 우점 해조류 다양성 및 구성성분 분석
- 간극생물 분포 및 특성 파악

바. 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구

- 수중암반 서식지영상합성지도 작성
- 서식지 주변 기본환경 모니터링
- 서식환경/생물자료 DB 구축
- 다각적 환경/생물 주제도 작성
- 동해 연안의 대표적인 서식지인 사질·수중암반을 동시에 고려한 종합 Eco-mapping 기법 적용 및 확립

V. 연구개발 결과의 활용 계획

- 동해 연안 물질 수지 계산을 통해 동해 연안의 물질 순환 및 축적 과정을 이해하고, 환경변화에 따른 이들 순환 기구 영향 파악 및 유기물, 이산화탄소, 오염물질 등의 정량적 평가에 활용함.
- 동해연안 물질 거동 연구를 통해 연안 오염물질 유입 과정 규명으로 지속가능한 연안개발을 위한 관리 정보 구축 및 오염원 축소/제거 정책 개발에 활용될 것임.
- 지속적인 연안역 해양환경 관측자료의 확보를 통하여 기후변화에 따른 해양환경 변화를 비교 평가가 가능함.
- 동해안 지방자치단체의 종합적이고 효율적인 국가 연안역 통합관리를 위한

해양환경 자료를 제공함.

- 환경변화 반응 지표생물 탐색 연구분야에 적용 가능한 신기술 개발이 가능함.
- 장기 생태계 모니터링의 미디어 자료는 지역사회의 해양생태적 가치의 홍보, 해양과학교육용 자료, 해양레저 관광객의 지역 생태관광용 홍보 및 가이드 자료로 활용 가능함.
- 동해 연안의 Eco-mapping 작성으로 동해안을 기반으로 한 해양산업(양식, 환경기술 등)에 적용하여 산업적으로 성공확률이 높은 생태 및 환경 자료를 제시함.
- 동해 연안에 대한 통합 Eco-map 작성으로 지역 교육기관(초, 중, 고)의 해양과학 교육 자료에 적극 활용함.

SUMMARY

I . Title

Eco-mapping and characterization of soft-hard bottom area in the middle shore of the East Sea

II . Necessaries and Objectives of the Study

1. Necessities the study

- Coastal area is where atmosphere and land have direct contacts, and as such processes of each environmental sphere are intricately interrelated. Therefore, to understand coastal environment properly, technology that is needed to grasp interaction (mass exchange process, mass balance, etc.) between each environmental sphere is essential.
- Currently, technologies that are used to understand and evaluate complex environmental characteristics and of coast area are being developed. However, as these characteristics and influential factors are different from each other by region, the technology that is required to grasp influential factors regarding interaction between environmental spheres which affect coastal environment quantitatively taking these conditions into consideration is still lacking.
- Accordingly, for understanding of complex processes of coastal environment and grasping of quantitative influential factors, acquisition of long term time-series data is a prerequisite utilizing coastal access of the East Sea Research Institute and using state-of-the-art investigation equipment and analysis methods, and based on those data, research on diverse access methods is necessary that would enable multi-faceted interpretations.
- Furthermore, to respond to the environment on an on-going basis, to

understand characteristics of changing coastal ecosystem, and to comprehend processes for natural and man-made factors that are used to adjust its fluctuation, construction of a permanent monitoring system that would enable long-term observation of coastal environment transition areas and ecosystem response experiments is necessary.

2. Objectives of the study

- Grasping mass movement and processes of atmosphere and ocean
- Grasping mass movement and process caused by internal processes of ocean around a river estuary
- Grasping mass movement and process on land and under sea
- Grasping habitat characteristics around river estuaries of East Sea coast and ecosystem characteristics
- Investigating biota (benthic organisms/ interstitial organisms/ medulary layer organisms) characteristics by habitat
- Conducting research on environment characteristics of East Sea coast
- Establishing an integrated eco-mapping technology of East Sea coast

III. Contents and scopes of the study

1. Research period

January 1, 2013 - December 31, 2015

2. Contents and scopes of the study

A. Grasping Mass Movement and Process between Atmosphere and Ocean

- Grasping major chemical components in time-series aerosol and cipitation
- Grasping bacterial communities characteristics of the atmosphere around

river estuary coastal area

- Measuring and investigating surface layer carbon species

B. Grasping Mass Movement and Process Caused by Internal Processes of River Estuary Ocean

- Investigating spatial distribution of low salinity water
- Grasping background concentration of major components for river estuary coastal area sea water
- Analyzing characteristics data of river and river estuary sea water

C. Grasping Mass Movement and Process between Land and Ocean

- Investigating short-term water temperature fluctuation characteristics and long-term water temperature change
- Collecting basic data on river in-flow and grasping background concentration of major components of river water

D. Grasping Habitat Environment of River In-flow Coastal Area and Fluctuation Pattern of Ecological Characteristics

- Grasping habitat characteristics and ecological characteristics for river in-flow area of East Sea coast

E. Grasping Biota (Macrofauna/Meiofauna/Medulary layer organisms) Characteristics by Habitat

- Investigating variability of large benthic organism species by sandy underwater base rock habitat environment type
- Grasping variability of interstitial organism communities based on sandy sediment change of the beach and subtidal zone
- Grasping variability of large benthic organism larvae inhabiting near sandy underwater base rock

F. Conducting Research on Habitat Environment

Characteristics of East Sea Coastal Ecosystem

- Investigating basic environment (geological, physical, and chemical) of habitat surroundings
- Grasping spatial distribution of sediment characteristics (organic content, heavy metal content, average particle size) and time-series change
- Constructing investigation data DB

IV. Result

A. Grasping Mass Movement and Process between

Atmosphere and Ocean

- Grasping characteristics of the mass coming from high resolution time-series atmosphere using wet and dry atmospheric dust collection equipment
- Measuring surface layer carbon species of coastal area for grasping atmospheric carbon uptake
- Analyzing clustering characteristics of atmospheric bacteria for grasping bacteria species that exist in the mass coming from atmosphere utilizing pyrosequencing and RDP classifier

B. Grasping Mass Movement and Process Caused by

Internal Processes of Ocean near River In-flow

- Measuring background content of dissolved compounds in Wangpicheon downstream and river estuary area

C. Grasping Mass Movement and Process between Land and

Ocean

- Setting up a long-term monitoring base at Wangpicheon in-flow and the sandy tidal area taking the salinity gradient into consideration through investigation of a physical environment site
- Analyzing sediment characteristics through collection of in-flowing river

sediment and marine and beach surface layer sediment

D. Grasping Fluctuation Pattern of Habitat Environment and Ecological Characteristics near River In-flow

- Conducting a precise seabed terrain investigation using multi-beam echo sounder
- Conducting a sample collection and particle size/organic matter analysis using surface layer sediment clay collector
- Grasping spatial distribution of sediment characteristics (organic content, heavy metal content, average particle size) and time-series change
- Grasping 4-season vertical/horizontal distribution of physical and chemical characteristics (water temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nutrient salt, carbon species)

E. Grasping Biota (Macrofauna/Meiofauna/Medulary layer organisms) Characteristics by Habitat

- Conducting a 4-season bio species investigation after establishing benthic organism bases by habitat environment type
- Securing and producing ecological pictures and samples of inhabiting benthic organisms
- Analyzing diversity of major seaweeds and their components by sandy underwater base rock by habitat/environment type
- Grasping distribution and characteristics of interstitial organisms

F. Conducting Research on Habitat Environment Characteristics of East Sea Coast

- Preparing an image synthesis map of underwater basic rock habitat
- Monitoring basic environment of habitat surroundings
- Constructing a habitat environment/biological data DB
- Preparing multi-faceted environment/biological subject map
- Applying and establishing an integrated eco-mapping technology taking simultaneous sandy and underwater base rock, the two representative habits of the East Sea coast, into consideration

V. Application plans of the results of the study

- Can be utilized for understanding the process of mass circulation and accumulation in the East Sea coast through calculation of mass process, grasping the effects of these circulation instruments based on environmental change, and conducting a quantitative evaluation of organic matters, carbon dioxide, and pollutants.
- Can be utilized for construction of management information for sustainable coastal development by finding out in-flowing process of coastal pollutants through a research of mass behavior along the East Sea coast and for developing a reduction and removal policy of pollution sources.
- Can be utilized for comparison and evaluation of changes in marine environment by securing marine environment observation data of coastal areas continuously.
- Can provide data on marine environment that is used for integrated and efficient management of the nation's coastal area by local self-governments of the East Sea coast.
- Can be used for developing new technologies that can be applied to the research field on indicator organism search which responds to environmental changes.
- Media data on long-term ecosystem monitoring can be utilized for promotion of marine ecological value of local societies, education data for marine science, and PR and guidance material for ecological tourism of localities which can be used by marine leisure tourists.
- Can be used to present ecological and environmental data for East Sea-based marine industry (including fish farming and environmental technology) that has a great industrial potential through preparation of the East Sea coast eco-mapping.
- The resulting eco-map can be utilized with great benefit by educational institutions of localities (for elementary, intermediate, and high education) along the East Sea coast for education of marine science.

목 차

요 약 문	I
목 차	XII
표 목 차	XVI
그림목차	XVIII
제 1 장 서 론	3
제 1 절 연구개발의 필요성	3
제 2 절 연구개발 목표 및 내용	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황	19
제 1 절 국내 연구동향	19
제 2 절 국외 연구동향	21
제 3 절 연구 수행 내용 및 방법	24
제 3 장 연구결과	29
제 1 절 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악	29
제 2 절 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지파악	47
제 3 절 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악	56
제 4 절 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악	77
제 5 절 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 파악	100
제 6 절 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구	152

제 4 장 목표 달성도 및 대외 기여도	210
제 1 절 목표 달성도	210
제 2 절 대외 기여도	214
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획	220
제 6 장 부 록	225

C O N T E N T S

Summary	I
Contents	XII
List of Tables	XVI
List of Figures	XVIII
Chapter I Outline of the study	3
Section 1 Necessity of the study	3
Section 2 Objectives and contents of the study	9
Chapter II States of technical development in the home and foreign countries	19
Section 1 Trends of study in Korea	19
Section 2 Trends of study in foreign countries	21
Section 3 Research contents and methods	24
Chapter III Results of the study	29
Section 1 Grasping Mass Movement and Process between Atmosphere and Ocean	29
Section 2 Grasping Mass Movement and Process Caused by Internal Processes of Ocean near River In-flow	47
Section 3 Grasping Mass Movement and Process between Land and Ocean	56
Section 4 Grasping Fluctuation Pattern of Habitat Environment and Ecological Characteristics near River In-flow	77

Section 5 Grasping Biota (Macrofauna/Meiofauna/Medulary layer organisms) Characteristics by Habitat	100
Section 6 Conducting Research on Habitat Environment Characteristics of East Sea Coast	152
Chapter IV Achievements of objectives and contributions to the related	210
Section 1 Achievements of objectives	210
Section 2 Contributions to the related area	214
Chapter V Application plans of the results of the study	220
Chapter VI Appendix	225

표 목 차

표 3-1-1. 박테리아 16S rRNA 유전자 영역 증폭을 위한 barcode primer	34
표 3-1-2. 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 조사시기별 출현 종 및 빈도	36
표 3-1-3. 2013년 8월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람 방향에 따른 출현 종 및 빈도	38
표 3-1-4. 2013년 9월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람 방향에 따른 출현 종 및 빈도	40
표 3-1-5. 2013년 동해 연안역 대기시료 내 박테리아 군집 분포 특성 (Phylum level)	41
표 3-1-6. 2013년 동해 연안역 대기시료 내 박테리아 군집 분포 특성 (Genus level)	42
표 3-1-7. 2013년 동해 연안역 대기시료 내 미생물 다양성	43
표 3-2-1. 관측정점	47
표 3-2-2. 수은계 계류 조사 내용	52
표 3-3-1. 왕피천 하천연장, 유로연장 및 유역 면적	56
표 3-3-2. 왕피천 하천유사량 산정결과 (2010년 9월 2일, 3개 측선)	57
표 3-3-3. 하천단면도의 최대수심, 강폭 및 단면적	65
표 3-3-4. 표층퇴적물 입도분석 결과(2013년 6월)	69
표 3-3-5. 표층퇴적물 입도분석 결과(2013년 9월)	70
표 3-3-6. 2013년 6월 퇴적물의 중금속함량, 총유기탄소량, 총질소량	73
표 3-4-1. 장목2호 주요 제원	80
표 3-4-2. 정밀해저지형탐사에 사용된 주요 장비 제원	81
표 3-4-3. 2013년 3월 왕피천 멀티빔 에코사운더 로깅시트	81
표 3-4-4. 2013년 3월 대조군(산포리) 멀티빔 에코사운더 로깅시트	82
표 3-4-5. 2013년 7월 왕피천 멀티빔 에코사운더 로깅시트	82
표 3-4-6. 2013년 7월 대조군(산포리) 멀티빔 에코사운더 로깅시트	83

표 3-4-7. 2013년 3월 왕피천 및 대조군(산포리) 사이드 스캔소나 로깅시트 ...	87
표 3-4-8. 2013년 7월 왕피천 및 대조군(산포리) 사이드 스캔소나 로깅시트 ...	87
표 3-4-9. 왕피천 인근 하천유입해역 및 대조군 해역 grab 정점	90
표 3-5-1. 동해서식 종리스트 예시	101
표 3-5-2. 동계 현장조사 결과 해조류 종 리스트	138
표 3-5-3. 춘계 현장조사 결과 해조류 종 리스트	140
표 3-5-4. 하계 현장조사 결과 해조류 종 리스트	142
표 3-5-5. 동해 중부연안 후암 인근 해조류의 구성성분 연구	145
표 3-5-6. Miseq sequencing을 위한 site specific amplicon PCR primer 정보	150
표 3-5-7. Miseq 분석으로 확보한 조사해역 수층 서식 생물의 염기서열	151
표 3-6-1. 2014년 10월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소 농도	166
표 3-6-2. 2015년 3월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도 ...	167
표 3-6-3. 2015년 6월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도 ...	168
표 3-6-4. 2015년 10월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소 농도	169
표 3-6-5. 수온/염분의 최대/최소값	177
표 3-6-6. 중점조사지역에서의 수온/염분의 최대/최소값	180
표 3-6-7. 표층퇴적물의 입도분석 결과	191
표 3-6-8. 연구해역 자료관리 항목	203

그림 목 차

그림 3-1-1. 동해연구소 옥상에 설치된 기상관측장비	29
그림 3-1-2. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 바람자료를 평균한 시간당 풍향의 변화 및 풍속의 변화	29
그림 3-1-3. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 기온, 바람, 풍속, 강수량, 일사량, 대기압	30
그림 3-1-4. 동해연구소 기상관측장비에서 월평균 바람장미	30
그림 3-1-5. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 일평균 바람분포	31
그림 3-1-6. 대기강우시료 중 영양염류의 농도 (기간: 2013년 3월 11일 ~ 8월 23일)	32
그림 3-1-7. 울진 연간 강수량 (mm/년), 2013년의 경우 1월에서 10월까지 의 누적 강수량	32
그림 3-1-8. 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 조사시기별 군 집특성	37
그림 3-1-9. 2013년 8월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바 람방향별 군집특성	38
그림 3-1-10. 2013년 9월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람방향별 군집특성	39
그림 3-1-11. Pyrosequencing을 활용한 대기시료 내 박테리아 종 조성 변 화 (Genus level)	43
그림 3-1-12. 이산화탄소 표층 조사 정점도 (총 16개)	44
그림 3-1-13. 표층 수온, 염분, 용존산소 분포도	44
그림 3-1-14. 표층 영양염 (질산염, 인산염, 규산염) 농도 분포도	45
그림 3-1-15. 표층 총 용존무기탄소(TCO ₂)와 총 알칼리도(Talk) 분포 · 45	45
그림 3-1-16. 추정된 해양 표층 이산화탄소 분압 (fCO ₂ SW)	45
그림 3-1-17. 대상해역의 대기 이산화탄소 흡수량 (mol m ⁻² yr ⁻¹) 분포도. 음의 값은 대기로부터 해양 표층으로의 흡수를 뜻함	46

그림 3-1-18. 연구해역 국내 주요 기관 관측정점	46
그림 3-2-1. 왕피천 인근 해역 3개 정점에서 월별 수심별 수온 및 염분 분포	48
그림 3-2-2. W3 정점에서의 월별 수온 염분 수직구조	48
그림 3-2-3. 2013년 6월 20일의 관측정점 및 2 m에서의 수온 및 염분 분포(위), 단면에서의 수심별 수온, 염분 분포(아래)	49
그림 3-2-4. 2013년 9월 26일의 관측정점 및 2 m에서의 수온 및 염분 분포(위), 단면에서의 수심별 수온, 염분 분포(아래)	50
그림 3-2-5. 2013년 10월 19일의 표면에서의 수온 및 염분 분포	51
그림 3-2-6. 국립수산과학원 죽변 연안정지 수온관측 자료	51
그림 3-2-7. 조사정점 (좌 :왕피천 인근, 우: 동해연구소 인근)	52
그림 3-2-8. 왕피천 인근 해역의 수심 0 (빨강), 10 (검정), 20 m(파랑)의 2013/6/19~21일 동안의 수온변동	52
그림 3-2-9. 동해연구소 인근 해역의 수심 0 (빨강), 10 (검정), 20 m(파랑)의 2013년 7월 4일 ~ 7월 23일 동안의 수온변동과 후포항 조위 (분홍색)	53
그림 3-2-10. 동해연구소 인근 해역의 수심 0 (빨강), 10 (검정), 20m (파랑) 의 2013년 7월 11일의 수온변동(위 그림)과 18 (파랑), 20 (검정), 22 °C(빨강) 등수온선의 수온 변동 (아래 그림)	53
그림 3-2-11. 2013년 7월 4일~7월 23일 동안의 동해연구소 인근 정점에서 수심 10 m의 수온변동(좌측)과 후포항 조위의 스펙트럼 분석 결과	53
그림 3-2-12. 내부파가 발달된 2013년 7월 11일 09시 29분 40초의 해표면 모습 (동해연구소 전면 해상)	54
그림 3-2-13. 왕피천 입구 정점도 (W1-3)	54
그림 3-2-14. 왕피천 입구 3개 정점 (W1-3)에서의 표층 수온과 염분 변화	55
그림 3-2-15. 왕피천 입구 3개 정점 (W1-3)에서의 영양염 (질산염, 규산염, 인산염) 농도 ($\mu\text{mol kg}^{-1}$)변화	55
그림 3-3-1. 낙동강수계	56
그림 3-3-2. 항공사진과 지형조사에서 보이는 왕피천 개방의 방향	57
그림 3-3-3. 기상청 울진 AWS에 관측된 일 강수량 및 월평균 강수량과	

한국수자원공사 왕피천 일 수위관측 자료 및 월 평균 수위 변동 자료	58
그림 3-3-4. 하천 유입원 (왕피천, 남대천)과 하구역 정점	58
그림 3-3-5. 하천 유입원 (왕피천, 남대천)과 하구역에서의 클로로필-a와 암모늄 농도 분포도	59
그림 3-3-6. 하천 유입원 (왕피천, 남대천)과 하구역에서의 아질산염과 질 산염 농도 분포도	59
그림 3-3-7. 하천 유입원 (왕피천, 남대천)과 하구역에서의 규산염과 인산 염 농도 분포도	59
그림 3-3-8. 연안지형 조사지역	60
그림 3-3-9. 왕피천 하구 부근의 해저지형도	61
그림 3-3-10. 왕피천 하구 부근의 지형	62
그림 3-3-11. 왕피천 하구 부근의 주요 지형단면도	62
그림 3-3-12. 왕피천 내부의 하천지형 단면조사 위치도	63
그림 3-3-13. 왕피천 내부의 하천지형 단면도(계속)	64
그림 3-3-14. 왕피천 내부의 하천지형도	66
그림 3-3-15. 왕피천 내부의 3차원 하천지형도	66
그림 3-3-16. 왕피천 하구지역의 표층퇴적물 채취 위치도	67
그림 3-3-17. 왕피천 하구지역 표층퇴적물의 평균입도(phi) 분포	71
그림 3-3-18. 왕피천 하구지역 표층퇴적물의 퇴적상 분포	72
그림 3-3-19. 중금속함량, 총유기탄소량 그리고 총질소량 분석 정점	73
그림 3-3-20. 하천에서부터 해양까지의 퇴적물 특성비교 정점	74
그림 3-3-21. 왕피천 하구역 하천-해양 평균입도 변화	75
그림 3-3-22. 왕피천 하구역 하천-해양 분급도 변화	75
그림 3-3-23. 왕피천 하구역 하천-해양 왜도 변화	75
그림 3-3-24. 하천-해양의 중금속 함량, 총유기탄소량, 총질소량과 평균입 도 분포	76
그림 3-4-1. 3월 정밀해저지형탐사 축선도	77
그림 3-4-2. 7월 정밀해저지형탐사 축선도	78
그림 3-4-3. 3월 해저면영상조사 축선도	78
그림 3-4-4. 7월 해저면영상조사 축선도	79

그림 3-4-5.	항구에 정박중인 장목2호	79
그림 3-4-6.	멀티빔에코사운더와 동일 수직선상에 위치하도록 각각의 센서들을 설치	83
그림 3-4-7.	장목2호에 설치한 SV센서	84
그림 3-4-8.	Transducer를 선박의 외곽 방향으로 30°회전시켜 설치	84
그림 3-4-9.	Transducer 30°회전 시(위)과 수직방향(아래)에 조사한 조사라인 커버리지 비교	85
그림 3-4-10.	사이드 스캔소나 EdgeTech 4125	86
그림 3-4-11.	사이드 스캔소나 자료획득 모습	86
그림 3-4-12.	3월 왕피천 정밀해저지형	88
그림 3-4-13.	3월 대조군(산포리) 정밀해저지형	88
그림 3-4-14.	7월 왕피천 정밀해저지형	89
그림 3-4-15.	7월 대조군(산포리) 정밀해저지형	89
그림 3-4-16.	왕피천 인근 하천유입해역 및 대조군 해역 grab 정점	90
그림 3-4-17.	왕피천 정점에서 채집한 표층 퇴적물	91
그림 3-4-18.	대조군(산포리) 정점에서 채집한 표층 퇴적물	91
그림 3-4-19.	퇴적물의 자갈, 모래, 머드의 삼각 다이어그램	92
그림 3-4-20.	퇴적물의 입도 조성별, 함량 분포도	92
그림 3-4-21.	퇴적물의 조직매개변수	93
그림 3-4-22.	퇴적물의 정점 별 TOC	93
그림 3-4-23.	grain size 별 유기탄소 분포	94
그림 3-4-24.	수심별 유기탄소 분포	94
그림 3-4-25.	navigation editor 처리 과정	96
그림 3-4-26.	attitude editor 처리 과정	96
그림 3-4-27.	calibration tool을 이용한 보정 과정	97
그림 3-4-28.	Swath Editor를 이용한 보정 과정	97
그림 3-4-29.	Subset editor를 이용한 보정 과정	98
그림 3-4-30.	하천유입해역(왕피천)의 해저면영상	99
그림 3-4-31.	대조사질해역(산포리)의 해저면영상	99
그림 3-5-1.	동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및 환경특성연구 조사 정점 (붉은색 동그라미)	100

그림 3-5-2.	동해안에 서식하는 종 리스트	101
그림 3-5-3.	조사 기간별 수온, 염도, 조사 수심	102
그림 3-5-4.	하계에 후암주변 지천에서 태풍과 폭우로 인해 담수와 퇴적 물이 바다로 유입되는 현상	102
그림 3-5-5.	2014년 후암 무척추동물의 종 다양성	103
그림 3-5-6.	2015년 후암 대형무척추동물의 종 다양성	104
그림 3-5-7.	2015년 후암 대형무척추동물의 종 개체수	105
그림 3-5-8.	2014년 동계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	106
그림 3-5-9.	2014년 춘계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	107
그림 3-5-10.	2014년 하계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	108
그림 3-5-11.	2015년 동계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	109
그림 3-5-12.	2015년 춘계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	110
그림 3-5-13.	2015년 하계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교	111
그림 3-5-14.	2014년 계절별 조사지역의 종다양도, 풍부도 및 균등도 지수	112
그림 3-5-15.	2015년 계절별 조사지역의 종다양도, 풍부도 및 균등도 지수	114
그림 3-5-16.	하천유입해역 및 대조사질해역의 해양선형동물 종 수 및 개체수	116
그림 3-5-17.	하천유입해역 및 대조사질해역의 해양선형동물 종다양도지수	116
그림 3-5-18.	후암 주변 간극생물 조사지역	132
그림 3-5-19.	2014년과 2015년의 춘계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군수 비교	132
그림 3-5-20.	2014년과 2015년의 하계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군수 비교	133
그림 3-5-21.	2014년과 2015년의 추계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군수 비교	134
그림 3-5-22.	2014년과 2015년의 간극생물 분류군 다양도지수 비교	135
그림 3-5-23.	후암 주변 해조류 조사지역	136
그림 3-5-24.	후암인근 해조류 정량조사 결과	137

그림 3-5-25. 동계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석	137
그림 3-5-26. 춘계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석	139
그림 3-5-27. 하계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석	141
그림 3-5-28. 연구 조사 정점의 해저 지형도, 계절별 수온변화 및 계절에 따른 해조류 종 다양성	143
그림 3-5-29. 조사해역 서식 수층 서식 생물 시료 채집시의 해수온도 분포 ..	147
그림 3-5-30. 수층 서식 생물 중 16S rRNA 유전자 영역의 PCR-RFLP 분석 결과	147
그림 3-5-31. 수층 서식 생물 중 COI 유전자 영역의 PCR-RFLP 분석 결과	148
그림 3-5-32. 수층 서식 생물 분석시 사용 가능한 16S rRNA 및 COI 표준염기서열 데이터세트	149
그림 3-5-33. Miseq V3 platform을 사용한 수층 서식 생물의 NGS 분석 흐름도	150
그림 3-5-34. Miseq 분석으로 확보한 대량 염기서열의 길이 분포	151
그림 3-5-35. Miseq platform으로 분석한 염기서열 BLAST 검색 결과 요약	151
그림 3-6-1. 서식지 주변 화학환경 조사 정점도(퇴적물 채취: blue, 화학인자 및 YSI 측정: red, YSI 측정: green)	152
그림 3-6-2. 생태계 중점 조사 구역 내 환경조사 정점도(퇴적물 채취: blue, 화학인자 및 YSI 측정: red, YSI 측정: green)	153
그림 3-6-3. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포 (3월 동계조사)	153
그림 3-6-4. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포 (6월 춘계조사)	154
그림 3-6-5. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포 (10월 조사)	155
그림 3-6-6. 중점 조사 지역에서의 3월(왼쪽)과 6월(오른쪽) 걸보기 산소 소모량 (AOU)	155
그림 3-6-7. 중점 조사 지역에서의 10월 걸보기 산소 소모량(AOU) ..	156
그림 3-6-8. 3월(왼쪽)과 6월(오른쪽) pH 분포도	157
그림 3-6-9. 3월 총 용존 무기탄소(TCO ₂) 분포도	157
그림 3-6-10. 서식지 주변 및 생태계 중심 조사 구역 내 표층 퇴적물 조	

사 정점	158
그림 3-6-11. 퇴적물 내 총 유기탄소 함량	159
그림 3-6-12. 퇴적물 내 알루미늄 함량	159
그림 3-6-13. 퇴적물 내 철 함량	160
그림 3-6-14. 퇴적물 내 망간 함량	160
그림 3-6-15. 퇴적물 내 리튬 함량	161
그림 3-6-16. 퇴적물 내 바나듐 함량	161
그림 3-6-17. 퇴적물 내 크롬 함량	162
그림 3-6-18. 퇴적물 내 코발트 함량	162
그림 3-6-19. 퇴적물 내 니켈 함량	163
그림 3-6-20. 퇴적물 내 구리 함량	163
그림 3-6-21. 퇴적물 내 아연 함량	164
그림 3-6-22. 퇴적물 내 비소 함량	165
그림 3-6-23. 퇴적물 내 카드뮴 함량	165
그림 3-6-24. 퇴적물 내 납 함량	166
그림 3-6-25. 조사지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2014년 5월)	170
그림 3-6-26. 조사지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2014년 6월)	171
그림 3-6-27. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2014년 10월)	172
그림 3-6-28. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2015년 3월)	173
그림 3-6-29. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도 (2015년 6월)	174
그림 3-6-30. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도 (2015년 10월)	175
그림 3-6-31. 수온/염분 조사정점 분포도	176
그림 3-6-32. 중점조사지역의 수온/염분 정점도	177
그림 3-6-33. 조사기간 동안의 수온/염분의 평균값 변화	178
그림 3-6-34. 배수구로부터 해안선에 평행한 방향의 표층수온 분포	178

그림 3-6-35. 배수구에서의 거리에 따른 표층-해저면 수온차 변화	179
그림 3-6-36. 수심별 수온분포 예(EP 11과 EP16)	179
그림 3-6-37. 해안선으로부터 수직한 방향의 표층수온 분포	180
그림 3-6-38. 중점조사지역에서의 평균 수온 분포	181
그림 3-6-39. 중점조사지역에서의 표층 수온 분포	182
그림 3-6-40. 중점조사지역에서의 해저면 수온 분포	183
그림 3-6-41. 중점조사지역에서의 평균 염분 분포	184
그림 3-6-42. 중점조사지역에서의 표층 염분 분포	185
그림 3-6-43. 중점조사지역에서의 해저면 염분 분포	186
그림 3-6-44. 수온계 계류 위치	187
그림 3-6-45. 수온계 계류 사진	187
그림 3-6-46. 죽변면 주변의 수온에 대한 시계열 변화(KMA: 기상청, KIOST: 한국해양과학기술원)	188
그림 3-6-47. 2014년 죽변면 부근 수온 관측결과(한국해양과학기술원)	188
그림 3-6-48. 2014년 죽변면 부근 수온 관측결과(기상청)	189
그림 3-6-49. 2015년 죽변면 부근 수온 관측결과(기상청)	189
그림 3-6-50. 표층퇴적물 채취 위치도	190
그림 3-6-51. 표층퇴적물 평균입도(Φ) 분포	192
그림 3-6-52. 표층퇴적물 퇴적상 분포	193
그림 3-6-53. 후암 바위(노출암) 주변 정밀 해저 지형도	195
그림 3-6-54. 후암 바위(노출암) 주변 해저면 영상도	196
그림 3-6-55. 정밀 해저 지형도와 해저면 영상도를 통합한 서식지 해저환경 맵핑 주제도 개념도	197
그림 3-6-56. 후암 바위(노출암) 주변 해역의 서식지 해저환경 맵핑 주제도	198
그림 3-6-57. 후암 바위(노출암) 주변 해역의 서식지 해저환경 맵핑 주제도(3차원 영상)	198
그림 3-6-58. 후암 바위(노출암) 주변 해저면 분류도(Classification)	199
그림 3-6-59. 정밀 해저 지형도와 수중 영상을 통합한 서식지 맵핑 주제도(4월)	200
그림 3-6-60. 정밀 해저 지형도와 수중 영상을 통합한 서식지 맵핑 주제도(7월)	201

그림 3-6-61. 수중암반 서식지영상합성지도	202
그림 3-6-62. 후암 수중생태지도	203
그림 3-6-63. 연구해역 해양자료 모델	204
그림 3-6-64. 데이터셋과 테이블 명세	205
그림 3-6-65. 연구해역 분포주제도	206
그림 3-6-66. 연별 해양환경 정보도 초안	206
그림 3-6-67. 해양환경정보 핸드북 가안	207
그림 6-6-1 <i>Enoploides</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, spicule region	240
그림 6-6-2. <i>Oxyonchus</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, spicule region; D, tail region.	241
그림 6-6-3. <i>Mesacanthion</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B-C, head region; D, spicule region; E, tail region.	242
그림 6-6-4. <i>Anticoma</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea.	243
그림 6-6-5. <i>Odontanticoma</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, haed region; C, amphidial fovea; D, tail region. ·	244
그림 6-6-6. <i>Oncholaimus</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.	245
그림 6-6-7. <i>Axonolaimus</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.	246
그림 6-6-8. <i>Actarjania</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region and amphidial fovea; C, spicule region.	247
그림 6-6-9. <i>Rhyps</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region. ...	248
그림 6-6-10. <i>Paralongicyatholaimus</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D,	

	spicule region.	249
그림 6-6-11.	<i>Paracyatholaimus</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.	250
그림 6-6-12.	<i>Gammanema</i> sp., A, habitus; B-C, head region; D, amphidial fovea; E, tail region.	251
그림 6-6-13.	<i>Richtersia</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, body cuticle pattern; E, spicule region; F, spicule and tail region.	252
그림 6-6-14.	<i>Paramonhystera</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head and pharyngeal region; C, head region; D, spicule region.	253
그림 6-6-15.	<i>Monoposthia</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, pharyngeal region; D, amphidial fovea; E, body cuticle pattern.	254
그림 6-6-16.	<i>Rhinema</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, spicule region; D, body cuticle pattern; E, spicule region.	255
그림 6-6-17.	<i>Synonema</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea.	256
그림 6-6-18.	<i>Ceramonema</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, tail region; E, body cuticle pattern.	257
그림 6-6-19.	<i>Pselionema</i> sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, body cuticle pattern.	258

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

제 2 절 연구개발 목표 및 내용

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 연구의 경제·사회 기술적 필요성

가. 기술적 측면

1) 1차년도(2013년)

- 연안역은 대기와 육상에 직접 접하고 연결되어 있는 환경권으로 각 환경권 상호간의 Process가 복잡하게 작용하는 곳으로 연안환경을 이해하기 위해서는 각 환경권 사이의 상호작용(물질교환 기작, 물질수지 등)을 파악하는 기술이 반드시 필요하다.
- 그러나 연안환경은 얇고, 좁기 때문에 육상과 해저의 영향이 크고, 하천, 대기 등과 같은 자연적 요인 이외에도 수산업, 해운, 연안개발 등의 인간활동에 의한 인위적인 요인들이 서로 복잡하게 얽혀있다.
- 연안의 복잡한 환경특성을 이해/평가하는 기술이 개발되고 있지만 각 지역별로 서로 특성이 다르고 영향요소도 다르기 때문에 이러한 상황들을 고려한 연안환경에 영향을 미치는 환경권 사이의 상호작용에 의한 영향요소를 정량적으로 파악하는 기술은 아직도 부족하다.
- 따라서 복잡한 연안환경 프로세스에 대한 이해와 정량적인 영향요소의 파악을 위해 동해연구소의 연안 접근성을 최대로 활용하고, 다양한 첨단 조사장비와 분석방법을 이용한 장기적 시계열 자료의 획득이 선행되어야 하고, 이들 자료를 바탕으로 다각도로 해석하는 다학제적인 접근 방식의 연구가 필요하다.
- 또한 지속적으로 환경에 반응하고 변화하는 연안 생태계 특성을 이해하고 그 변동을 조절하는 자연적/인위적 요인에 대한 프로세스를 이해하기 위해서는, 연안의 환경 전이지역에 장기 관찰과 생태계 반응실험이 가능한 영구적인 장기 모니터링 스테이션 구축이 필요하다.
- 동해연구소가 위치한 북위 37도 주변의 동해 중부 연안은 동해연안을 따라 북상하는 동한난류가 남하하는 북한한류를 만나면서 연안으로 이안(separation) 되는 지역으로서 일종의 한·난류의 경계면으로서 흥미로운 지

역이다.

- 또한 연안지역으로서 육상과 해양이 접하는 공간이며, 동해안 중에서 상대적으로 큰 규모의 하천을 차지하는 왕피천이 위치해 있어 하천과 해양이 접하는 경계면이 위치해 있고, 울진 원자력발전소 온배수 유출에 따른 인위적인 환경과 자연적인 환경이 접하는 공간이다.
- 개발 및 기후 변화에 따른 수온·해수면 상승 및 태풍/해일 등 인위적/자연적 요인에 의한 해안선변화, 침식, 퇴적환경 변화, 생태계 변화 등 다양한 연안 해양환경 변화가 지속적으로 일어나고 있다.
- 그러나 기후변화 및 인간활동에 의한 동해 연안환경 변화의 해석에 필요한 과거 과학적인시계열 자료는 절대적으로 부족하다.
- 따라서 다양한 환경경계면(한류와 난류, 육상과 해양, 인위적 요소와 자연적 요소, 하천과 해양, 대기와 해양)이 복합적으로 존재하고 있기 때문에 이러한 환경경계면이 상존하는 동해중부 연안역을 현장실험장으로 이용하여 장기적인 시계열 조사를 통한 체계적인 연안환경의 변화를 연구하고 관리하기 위한 종합적인 기술개발이 반드시 필요하다.
- 하천에서 유입되는 퇴적물 이동특성을 파악하기 위해 하천 및 하구역에 대한 지형 조사 및 퇴적물 특성에 대한 연구가 선행되어야 한다.

2) 2~3차년도(2014~2015년)

- 동해 연안을 대표할 수 있는 해저 서식지 생태계의 Eco-mapping 연구의 필요성이 있다.
- 동해 연안을 대표하는 서식지는 크게 두 가지로 나뉘는데, 육지와 연이은 기저암반에서 직벽으로 떨어지는 서식지와, 다른 하나는 사질(연성기질)에서 암반(경질기질)으로 이어지는 서식지가 있음. 그러나 현재까지의 연안생태계 연구에서 이러한 서식지와 생태계와의 연관성에 관한 연구는 거의 수행된 바가 없다.
- 사질·수중암반 해저 서식지는 생물다양성이 매우 높으며, 직벽으로 떨어지는 서식지에 비하여 연구 접근성이 용이하다는 장점이 있다.
- 한국해양과학기술원 동해연구소가 위치한 북위 37° 주변의 동해 중부연안은 동해 연안을 따라 북상하는 동한난류가 북쪽에서 남하하는 북한한류를 만나면서 연안으로 이안되는 지역으로 일종의 한·난류의 경계면으로 생물다양성이 매우 높은 해역이나, 해변에 접한 연안 근접해역을 중심으로 한 연구는 매우 부족한 실정이다.
- 기후변화에 따른 해양의 수온과 해수면 상승은 연안역에서의 침식과 생태

계 변화를 유발시키므로 중장기적인 해양환경변화에 대비하기 위해서는 우리나라 동해 연안에서 향후 나타날 수 있는 해양환경 및 생태계 변화, 그리고 연안 지형 및 퇴적환경 변화 등의 연구가 종합적인 차원에서 수행될 필요가 있다.

- 동해 연안의 해양환경변화에 따른 해저 서식지(사질·수중암반) 생태계 특성의 변화를 분석하기 위하여 연속적인 연안생태계의 시계열 변화 분석이 필요하다.
- 사질·수중암반 해저 생태계는 해양생물 다양성 보전 및 생물자원량 파악에 있어서 해양생태계의 변화를 감시하고 피해를 예방하는데 필수적이다.
- 동해 연안의 침식 취약해역인 해빈(사질해안)에는 사구식물 군락이 대규모로 발달한 지역이 많으며, 퇴적물 표면이나 내부에 굴을 파고 살아가는 대형저서생물과 보다 작은 생물인 선형동물, 저서성 요각류 등의 다양성이 높은 간극생물도 높은 밀도로 서식하여, 침식 대응 서식생물의 변동영향에 대한 모니터링이 요구된다.
- 국외의 경우 사질·수중암반 해저 서식지에 대해 멀티빔을 활용한 정밀 해저지형 결과와 후방산란강도에 의하여 도시되는 해저면 영상과의 상관성 연구가 진행되고 있으나, 국내에서는 체계적인 연구가 진행된 바가 아직 미흡한 실정이다.

나. 경제·산업적 측면

1) 1차년도(2013년)

- 연안은 지구상에서 가장 생산성이 높은 생태계를 가진 공간이며, 전 세계 인구의 40%, 세계 50대 도시의 2/3가 연안에 위치하고 있어 인간생활과 직접적인 관련을 맺고 있는 경제·산업적으로 중요한 공간이기 때문에 체계적인 관리가 필요함.
- 우리나라 연안에는 전체 시군구 중 78개(26개 시, 34개 군, 18개 자치구)가 위치하고 있고, 전 국토의 32%를 차지하고, 전 인구의 33%가 살고 있으며, 2030년에는 전 인구의 40%가 거주하고 국내 총 생산의 50%를 생산할 것으로 전망되는 등 그 중요성이 강조되고 있음.
- 연안은 연안가두리, 정치망, 해조류 채취 등 다양한 수산업 활동이 이루어지는 곳으로 연안환경보전은 국가적 차원의 경제, 산업적 측면에서도 중요한 지역임.
- 각 종 육상활동 (농업, 공업 등)의 영향을 직접 받는 곳으로 오염압력이 큰

지역임.

- 동해 연안은 많은 항구와 해수욕장이 개발되어 있으며 수산업과 관광 등 해양경제활동이 활발한 지역임. 특히, 해수욕장은 모래유실로 인하여 인공양빈이 필요함. 효율적인 해수욕장 인공양빈을 위한 퇴적물 이동에 대한 기초연구가 필요함.
- 또한 매년 태풍, 너울성 풍랑 및 폭풍해일 내습 등에 의하여 연안지역이 침수되어 해안선이 후퇴하고 있으며, 해안 저지대의 가옥침수, 해안도로 파손, 선박파손 등의 경제적 피해규모는 최근 10년간(1993~2002년) 4조 6천억 원 이상으로 나타남.
- 주요 기간산업과 경제활동이 집중되어 있는 동해 연안에서의 물질순환은 연안에 집중적으로 살고 있는 연안 거주인들의 생활과 밀접한 관련이 있으며, 이들의 안전한 생활권을 보장하기 위해 연안 해양환경 연구가 필요함.

2) 2~3차년도(2014~2015년)

- 연안은 지구상에서 가장 생산성이 높은 생태계를 가진 공간이며, 전 세계 인구의 40%, 세계 50대 도시의 2/3가 연안에 위치하고 있어서 인간생활과 직접적인 관련을 맺고 있는 경제·산업적으로 중요한 공간이기 때문에 체계적인 관리가 필요함.
- 연안은 연안가두리, 정치망, 해조류 채취 등 다양한 수산업 활동이 이루어지는 곳으로 연안 생태환경 연구는 국가적 차원의 경제, 산업적 측면에서도 중요함.
- 연안은 중요 기간산업 및 인구가 집중된 지역으로 경제활동이 활발하여 자연적/인공적 환경변화 요인이 많음. 특히 연안 생태를 비롯한 해양환경은 이러한 요인으로 인하여 중요도에 비하여 많은 조사가 이루어지지 않았음.
- 연안 생물의 생육장으로 중요한 동해안의 해빈 주변 중·소하천 하구와 수중암반 생태계는 연안역의 개발에 따라 그 생태적 기능과 구조가 가장 먼저 영향을 받고 있기 때문에 효과적인 분석과 관리 연구가 시급한 실정임.
- 동해안에 발달되어 있는 중·소하천 하구 및 해조류가 무성한 수중암반의 경우, 연안 생물의 생육장으로 수산자원의 보전 측면에서 그 가치가 매우 중요한 지역임. 그러나 연안역의 개발과 호안 및 방파제 건설 등으로 자연적인 해안이 변하여 이들의 상대적 기능과 구조에 영향을 미치고 있으며, 그 범위도 점차 확대되고 있기 때문에 이를 효과적으로 평가하고 관

리하는 연구가 절실히 시급한 실정임.

- 생태 맵핑(Eco-mapping)은 해양환경 변화나 오염으로 인한 연안생태계 피해 발생시, 해양 생태계 복원에 필요한 신속한 정보 제공이 가능함.

다. 사회·문화적 측면

1) 1차년도(2013년)

- 연안의 이용 및 개발과 연안환경 보호는 서로 상충되는 이해관계 속에 있기 때문에 정확한 해양 과학적 기반에서 자료를 확보하여 국민의 인식과 합리적 해결방안을 도출하는 과정이 중요함.
- 최근 동해의 수온 증가 현상과 연안에 건설되어 가동되고 있는 대규모의 원자력 발전소 부근에는 취수 및 온배수 방류로 인한 환경 문제가 끊임없이 대두되고 있으며, 이에 따른 연안 해양환경 보호에 대한 국가적 대책 요구가 국민 및 각종 환경단체로부터 지속적으로 대두되고 있음.
- 동해연구소에 위치한 동해 중부 연안은 국내 원전발전량의 34.2%, 국내 총 전력의 11% 에너지를 생산하고 있는 울진 원자력발전소가 위치하고 있음.
- 또한 규모는 작지만 환경부 지정 국내 5대 생태관광 지정제 시범지역으로서 연어가 회귀하는 왕피천이 자리하고 있어 연안 생태계보존을 위한 체계적인 노력이 필요한 해역임.
- 따라서 동해 연안의 환경 및 생태계 변화를 지속적으로 모니터링하고 관리하는 것은 학술 및 환경적 필요성뿐만 아니라, 국민의 경제·사회·문화적인 측면에서 어업 및 관광업과 관련된 매우 중요한 과제임.

2) 2~3차년도(2014~2015년)

- 연안 해역 관리 및 활용을 위한 연안의 체계적인 환경정보의 요구성이 증대되고 있음.
- 우리나라에서 전체 시군구 중 78개(26개 시, 34개 군, 18개 자치구)가 연안에 위치하고 있고, 전 국토의 32%와 전 인구의 33%가 살고 있으며, 2030년에는 전 인구의 40%가 거주하고, 국내 총 생산의 50%를 생산할 것으로 전망되는 등 그 가치와 중요성이 나날이 부각되고 있음.
- 연안 생태계의 변화를 지속적으로 모니터링하고 관리하는 것은 학문적·환경적 필요성 뿐만 아니라, 어업 및 관광업과 관련된 국민의 경제·사회·문화적인 측면에서 매우 중요함.
- 연안 해역 관리 및 활용을 위한 연안의 복합적 환경정보가 필요함. 연안

개발, 오염원 유입, 발전소 가동 등에 따른 영향으로 연안 어획량 감소와 양식장 피해가 빈번해지면서 환경문제에 대한 인식이 매우 높아져, 1980년대부터 환경영향평가를 비롯한 연안환경에 대한 지속적인 조사가 수행되고 있지만, 통합적인 연안 생태계 변화 연구나 효과적인 생태계 맵핑 기술 및 연안 서식지의 건강도에 대한 환경평가기법에 대한 연구는 매우 부족한 실정임.

- 연안역 관리법에서는 연안역 관리를 위하여 매 5년마다 대상 연안의 실태에 관한 기초 조사를 실시하도록 규정함. 그러나 5년마다 실시되는 단기간의 조사에 의해서 복잡적이고 지속적인 환경변화에 따른 생태계 변동을 이해하기에는 매우 부족하며, 종합적인 연안역의 해양환경 변화 특성 규명을 통하여 연안역 통합 관리의 모델 연구가 필요한 실정임.
- 이미 일본, 러시아, 중국 등은 해양자원 및 생태계 정보파악과 구축에 많은 노력을 기울이고 있으나, 우리나라는 상대적으로 부족한 실정임.

제 2 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표

본 연구의 1차년도 최종목표는 동해연안 하천유입해역의 대기-하천-해양 경로 유입물질의 특성분석 및 수지 산정을 통해 유입요소별 연안 환경 영향을 파악하고, 장기 모니터링을 통한 저서생태계 및 서식지 변동 양상을 파악하는데 있다.

2차년도, 3차년도 연구 목표는 동해 중부연안의 해양생태계 특성을 효과적으로 장기모니터링하고, 이를 효율적으로 Eco-mapping하여 연안 환경 특성을 시각화하고 해양환경변화 감시 및 생태계 특성을 파악하며, 동해 연안의 이용 및 보존을 위한 환경요서 통합관리방안을 위한 기반 자료 제시를 최종목표로 하고 있다. 최종목표를 달성하기 위한 연차별 목표는 다음과 같다.

가. 1차년도(2013년)

- 1) 대기과 해양의 물질 이동 및 수지 파악
 - 대기 입력 물질 특성/플럭스 파악 및 변화 조사
 - 대기 입력물질 중 미생물 조사
 - 연안역 대기 이산화탄소 흡수량 파악 및 변동 조사
- 2) 하천유입역 해양내부 과정에 의한 물질 이동 및 수지 파악
 - 하천유입역 저염수 확산 특성 파악
 - 하천유입역 수온 및 해수 순환 특성 파악
 - 하천유입역 해수 특성 파악
- 3) 육지와 해양의 물질 이동 및 수지 파악
 - 하천수(왕피천)를 통한 입력 물질 특성 파악
 - 하천 및 하구역 표층퇴적물 특성 조사
- 4) 동해연안 하천유입해역 서식지 특성 및 생태계 특성 파악
 - 동해하천 유입 해역 장기 모니터링 거점 설정
 - 서식지 정밀 해저면 특성 조사
 - 서식지 간극생물 특성 분석

나. 2차년도(2014년)

- 1) 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 조사
 - 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 다양성 조사
 - 사질·수중암반 해역 서식지별/환경별 우점 해조류 다양성 및 구성성분 분석
 - 서식지 저서생물 생태사진 및 표본 확보 제작
 - 해빈 포말대/쇄파대 간극생물 군집 특성 분석
 - 조하대 사질·수중암반 혼재 해역의 간극생물 군집 분석
 - 사질·수중암반 서식 부유생물 특성 파악
- 2) 동해 연안 생태계 서식환경 특성 연구
 - 서식지 주변 지질/물리/화학 기본환경 조사
 - 서식지 주변 기본환경 모니터링
 - 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악
 - 서식지의 지형적 및 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)과 서식생물과의 상관성 분석
 - 생태 서식지 Mapping을 위한 주변 환경 조사 기법 개발
 - 서식지별 주변환경 조사 기법 적용 및 보완
 - 연안해역 자료 관리 기반 마련(조사자료 DB 구축)

다. 3차년도(2015년)

- 1) 동해 연안 서식지별 생물군(저서/간극) 변동성 연구
 - 해저 서식지 환경 유형별 저서 생물 군집 특성 파악
 - 조하대 사질·수중암반 혼재 해역의 간극생물 군집 분석
 - 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 다양성 조사
 - 조사해역의 해빈/조하대 사질 퇴적물 채집 각 해역의 정점별 간극생물 군집 특성 연구
 - 서식지 유형별 대형무척추동물의 계절별 군집특성 분석
 - 서식지 유형별 간극생물의 계절별 군집특성 분석
- 2) 동해 연안 생태계 서식환경 특성 연구
 - 서식지 주변 수온/퇴적/해저지형 기본 환경 조사
 - 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악

- 서식지의 지형적 및 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)과 서식생물과의 상관성 분석
 - 연안해역 자료관리 기반 마련
 - 조사자료 GIS/DB 구축
- 3) 동해 연안 종합 Eco-mapping 기법 확립
- 동해 연안의 대표적인 서식지인 사질·수중암반을 동시에 고려한 종합 Eco-mapping 기법 개발
 - 동해 연안 Model Station에 대한 종합 Eco-mapping 기법 적용 및 확립
울진 후암 해역 Eco-mapping 작성

2. 연차별 연구개발 세부목표 및 내용

구분	세부목표	세 부 내 용 및 범 위
1차년도 (2013)	<ul style="list-style-type: none"> · 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악 · 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지파악 · 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악 	<ul style="list-style-type: none"> · 시계열 에어로졸 및 강수 중 주요화학적성분 파악 · 하천유입해역 대기 박테리아 군집특성 파악 · 표층 이산화탄소 인자 측정 조사 · 저염수 공간분포 조사 · 단주기 수온변동 특성 및 수온장기변화 조사 · 하천 유입해역 해수의 주요성분 배경농도 파악 · 유입하천에 대한 기초자료 수집 및 하천수 주요 성분 배경 농도 파악 · 하천 및 하구역 해수 특성 자료 분석
	<ul style="list-style-type: none"> · 동해연안 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악 	<ul style="list-style-type: none"> · 동해연안 하천유입해역 서식지 특성 및 생태 특성 파악
2차년도 (2014)	<ul style="list-style-type: none"> · 서식지별 생물군(저서/간극/수층새울) 특성 파악 	<ul style="list-style-type: none"> · 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 종 다양성 조사 · 해빈 포말대/쇄파대 간극생물 군집 특성 분석 · 사질·수중암반 서식 부유생물 특성 파악
	<ul style="list-style-type: none"> · 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구 	<ul style="list-style-type: none"> · 서식지 주변 기본환경(지질, 물리, 화학) 조사 · 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균 입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악 · 조사자료 DB 구축

구분	세부목표	세 부 내 용 및 범 위
3차년도 (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • 서식지별 생물군(저서/간극/수층새울) 특성 파악 	<ul style="list-style-type: none"> • 사질·수중압반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 변동성 조사 • 해빈/조하대 사질 퇴적물 변화에 따른 간극생물 군집 변동성 파악 • 사질·수중압반 서식 대형저서동물 유생의 변동성 파악
	<ul style="list-style-type: none"> • 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구 	<ul style="list-style-type: none"> • Model station 주변의 지형/지질/물리/화학 환경의 지속적 모니터링 및 시계열 변화 파악 • 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균 입도)과 간극생물 분포와의 상관성 분석 • 연안해역 자료 활용 정보 생산 • GIS를 이용한 속성별 주제도 작성

3. 연구 추진계획 및 수행 방법

가. 1차년도(2013년)

- Wet, dry 대기 집진/포집 장치를 이용하여 High Resolution 시계열 대기유래 유입 물질 특성 파악
- 대기 이산화탄소 흡수량 파악을 위한 연안 표층 이산화탄소 인자 측정
- 대기 입력 물질에 존재하는 박테리아 종 파악을 위한 pyrosequencing 및 RDP classifier를 활용한 대기 박테리아의 군집특성 분석
- 하천유입역 저염수 공간분포조사
- 단주기 수온변동특성 및 수온장기변화 기초조사
- 하천유입역 친생물원소(용존산소, 영양염, 클로로필-a 등) 배경농도 측정
- 동해 유입 하천 관리기관의 수위 변화 등 기존 기초자료 수집
- 왕피천 하류 및 하구역 용존 물질 배경 농도 측정
- 해양으로 들어오는 하천 퇴적물과 해빈/해저 표층퇴적물을 채취하여 퇴적물 특성을 분석
- 물리환경 현장 조사를 통한 염분 구배를 고려한 왕피천 유입해역/대조 사질해역 장기 모니터링 거점 설정
- 멀티빔 음향측심기를 이용한 정밀 해저지형조사
- 표층퇴적물 채취기를 이용한 시료 채취 및 입도/유기물 분석
- 간극생물 현장 조사 (채집 및 시료 고정) 및 생물 동정
- 조사정점별 간극생물 우점종, 서식밀도, 생체량, 다양도지수 분석

나. 2차년도(2014년)

- 서식환경 유형별 저서생물의 거점 설정 후 4계절 생물종 조사
- 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형 저서생물 종 다양성 조사: 50 x 50 cm 방향구를 제작하여 각 정점별 서식 개체수를 계수하고, 각 정점 반경 25 m 주위의 저서생물을 정성적으로 채집하여 기록
- 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영
- 서식 저서생물의 생태사진 및 표본 확보 제작
- 사질·수중암반 해역 서식지별/환경별 우점 해조류 다양성 및 구성성분 분석
- 간극생물 분포 및 특성 파악

- 조하대 사질의 퇴적물 채집 및 정량 분석
- 서식지 이미지와 천해 정밀환경조사 결과(사질·수중암반 구분, 해저지형 기울기, 암반 지형의 거칠기, 퇴적물 분포)의 비교를 통한 서식환경 분류
- 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악
- 물리/화학적 특성(수온, 염분, pH, 용존산소, 영양염, 탄소인자)의 사계절 수직/수평 분포 파악
- 천해의 서식환경에 특화된 주변환경 조사 기법 및 분석기법 개발(수직/수평 분포 조사기법, 저서환경 이미지 분석 기법, 해조류 분포범위 파악 기법, 정확도 향상 등)
- 연구해역의 해양환경 및 생물 조사자료 수집 및 관리 항목 선정
- 데이터 모델 설계 및 GIS DB 구축
- 현행 연안관리법 및 연안통합관리 계획 분석

다. 3차년도(2015년)

- 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 종 다양성 조사 : 서식종 리스트, 우점종, 서식밀도 조사
- 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영
- 대형 우점 저서생물 확대표본 확보
- 수중암반 서식지영상합성지도 작성
- 조사해역의 해빈/조하대 사질 퇴적물 채집
- 각 해역의 정점별 간극생물 군집특성 분석
- 간극생물 군집의 간극생물 우점종 영구보존 슬라이드 제작 및 고배율 현미경 영상 확보
- 환경인자(수온, 염분 등) 변화에 따른 서식종과의 연관성 분석
- 서식지 주변 기본환경 모니터링
- 서식지 주변 필수 환경 인자 확보
- 서식지 주변 정밀해저지형(멀티빔) 및 해저면 특성(해저면영상탐사기) 조사
- 서식지의 지형적 및 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)과 서식생물과의 상관성 분석
- 서식환경/생물자료 DB 구축
- 다각적 환경/생물 주제도 작성
- 동해 연안의 대표적인 서식지인 사질·수중암반을 동시에 고려한 종합

Eco-mapping 기법 적용 및 확립

- 동해 연안의 장기해양생태계 연구에 관한 보고서, 논문, 연구사업에 대한 자료 확보
- 타 기관 자료 분석을 통한 적극적 활용

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구 동향

제 2 절 해외 연구 동향

제 3 절 연구 수행 내용 및 방법

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구 동향

1. 1차년도(2013년)

- 2000년~2003년 해양연구원에서 연안역에서의 육지와 해양 상호작용 연구로 남해 동부 연안역의 영양물질 유입과 생물생산력 개발 환경조성 기반 기술을 통하여 지하수를 통한 연안역으로의 영양염 공급량 산정 연구를 수행하였음.
- 해양환경관리공단에서 국내 해양환경 측정망의 일환으로 전국 연안의 해양 환경 실태 조사를 하고 있으나 이 조사는 광역 해역에서의 오염 모니터링을 목적으로 수행되는 것임.
- 국립해양조사원 등에서 계획하고 있는 연안환경도 작성은 기본적으로 현황 조사이고, 수심측량 등은 국립해양조사원 고유 업무임.
- 동해 연안역에서 실시된 환경과 생태계 관련 주요 연구들로는 해양수산부의 울진 후포 주변에서 이루어진 “동서제주 바다목장화 개발연구”, 왕돌초 해역의 다양성을 중심으로 “왕돌초 해역 해양생물 조사”, “해양생물다양성 보전 대책 연구”등의 단편적인 연구가 있음.
- 백화현상에 대한 대책연구로서 강릉대학교에 의해 수행된 “갯녹음(백화) 현상의 원인 규명 및 대책”등이 있음.
- 원자력 발전소와 연관된 여러 건의 피해조사용역의 일환으로 해양생태계 조사내용이 있음.
- 국내에서는 주로 연안의 개발을 위한 해저지형조사 및 해저면 영상탐사 등의 주요 사업들이 수행되었으며 서식지 환경에 대한 연구는 단기간에 걸친 단편적인 연구만 수행되어 왔음.

2. 2~3차년도(2014~2015년)

- 국립수산과학원에서는 국내 해양환경 측정망의 일환으로 전국 연안의 해양 환경 실태조사를 하고 있음. 그러나 이 연구는 광역 해역에서의 오염 모니터링을 목적으로 수행되는 것임.

- 또한, 동해 연안역에서 실시된 환경과 생태계 관련 주요 연구들로는 해양수산부의 울진 후포 주변에서 이루어진 “동서제주 바다 목장화 개발 연구”, 왕돌초 해역의 다양성을 중심으로 “왕돌초 해역 해양생물 조사”, “해양생물다양성 보전대책 연구” 등의 단편적인 연구가 있으며, 연안 해양환경과 같이 조사를 하여 정량적 분석과 상관성 연구를 한 사례는 전무함.
- 국립해양조사원 등에서 수행하고 있는 연안환경도 작성은 기본적인 현황조사이고, 수심 측량은 단편적인 지형도 작성에 국한되어 있음. 주요 항만에 대하여 기본적인 지형도 작성을 위한 조사는 수행되고 있으나, 생태환경과 관련한 조사 및 연구는 수행되지 않고 있음.
- 국내에서는 주로 연안의 개발을 위한 해저지형조사 및 해저면 영상 탐사 등의 주요 사업들이 수행되었으며, 서식지 환경에 대한 연구는 단기간에 걸친 단편적인 연구만 수행되어 있음.
- 국내에서는 주로 연안의 개발을 위한 해저지형조사 및 해저면 영상 탐사 등의 주요 사업들이 수행되었으며 서식지 환경에 대한 연구는 단기간에 걸친 단편적인 연구만 수행되어 왔음.
- 한국해양과학기술원에서는 “전략 무인도서 해양생태계 기반관리 기술 개발”의 일환으로 무인도서의 체계적 유지·관리를 위해 효과적인 과학적 시스템 구축에 필요한 기본 자료를 획득(지질, 지형학적 환경·물리환경·기초생태계 특성·서식 수중생물 등)하여 서식지 매핑을 기반으로 장기생태모니터링을 위한 기틀을 마련하였으나, 1단계 종료로 인하여 benthic habitat mapping 기법의 초안만 만들어졌을 뿐 지형/지질자료와 생태환경과의 상관성에 대한 연구는 수행되지 못하였음.
- 한국해양과학기술원 독도전문연구센터는 독도의 지속가능한 이용과 관리 차원의 일환으로 독도의 해저 지형·지질 연구·주변 수중 생태계 진단 결과 등을 결합한 서식지 매핑을 통해 독도 연안역을 중심으로 한 해양 생태계 보전 관련 국가적 관리 시스템 구축 및 정책수립에 활용.

제 2 절 국외 연구 동향

1. 1차년도(2013년)

- 국제공동 프로그램인 LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone)를 통해서 대기-해양-육지 경계면에서의 물질 교환 및 프로세스에 관한 다양한 연구가 진행되었고, 그 중요성이 강조되고 있지만, 지역별로 연안 환경 특성이 서로 다르고 영향요소의 종류 및 범위가 크기 때문에 현재에도 정확한 교환량 및 프로세스를 밝히기 위하여 많은 국가들이 지속적으로 예산을 투입하여 노력하고 있음.
- 미연방정부는 해양 및 해안관측 법안 2005 (Ocean and Coastal Observation Act)에 의거, 국가해양연구 리더쉽 위원회에서 통합된 해양 및 연안관측시스템을 개발하고 운영하도록 지시함.
- 미국의 해양과 연안관측시스템에는 해양 모니터링, 데이터 분석, 공공 교육과 연구 등이 포함된 통합 연안해양정보시스템의 운영과 개발이 포함되어 있음.
- Coastal services center (<http://www.csc.noaa.gov/>)를 운영하여 기술, 정보, 연안관리 전략 등을 공유하고 있음.
- Tampa Bay, San Francisco Bay, Chesapeake Bay, Boston 내항 및 외항 해역 등을 대상으로 한 종합적인 연구를 수행하고 있고, 현재 실시간 예측 시스템을 구축하여 운용하고 있으며 최근에는 생태모델링의 도입이 보고되고 있음.
- NOAA, 해양 및 연안 자원 관리국 등과 오레곤 대학 등 미국의 연구기관들은 국가연안역관리 효율성 연구(National Coastal Zone Management Effectiveness: CZME) 사업을 수행하고 있음.
- 퇴적물 이동 관측을 위해 수십 년 동안 연안지형변화에 대한 관측 시스템을 개발하고 자료를 축적해 오고 있음. 하지만, 국내에서는 아직 장기적인 관측이 이루어지지 않고 있음.
- 연안역에서 일어나는 각종 프로세스 연구들을 활발히 수행 중.
- 자연적/인공적 대기 침적이 해양 표층 영양염 변동 및 생물생산량에 미치는 영향, 기후변동에 따른 해수면 상승에 의한 연안 취약성 평가, 지중해 연안에서 일어나는 생지화학 변화, 용존 산소 고갈 모니터링, 연안 물질 순환 및 모델링 등의 연구를 수행하였거나 수행 중임.

- MESH(Mapping European Seabed Habitats) 등과 같은 대규모의 체계적인 서식처 Mapping 프로젝트가 지속적으로 수행되고 있음.
- Yellow river에서 육지-해양 상호작용 연구를 수행하여 지하수와 하천수 유입 및 이에 따른 유기물 이동량을 평가하고 강과 지하수, 바다 사이의 상호작용을 평가 (200301-200803), 육지-대기와의 상호작용도 추후 연구할 예정.
- LOICZ 프로그램에 참여하여 양쯔강 주변 퇴적물 이동, 해안선 침식 모니터링, 염수 침해 연구, 분지-하구역 생태계 건강성, 사회경제적인 관점에서의 통합적인 연안관리 등에 대한 연구를 수행하고 있음.
- 북극해에서 육지-해양 상호작용 연구 수행(199601-200601).

2. 2~3차년도(2014~2015년)

- 미국 해양대기청에서는 Coastal services center (<http://www.csc.noaa.gov/>)를 운영하여 기술, 정보, 연안관리 전략 등을 공유하고 있음.
- 연안역 관리에 있어서 Tampa Bay, San Francisco Bay, Chesapeake Bay, Boston 내항 및 외항 해역 등을 대상으로 한 종합적인 연구를 수행하고 있고, 현재 실시간 예측 시스템을 구축하여 운용하고 있으며 최근에는 생태모델링의 도입이 보고되고 있음.
- NOAA, 해양 및 연안 자원 관리국 등과 오레곤 대학 등 미국의 연구기관들은 국가 연안역관리 효율성 연구(National Coastal Zone Management Effectiveness: CZME) 사업을 수행하고 있음.
- NOAA Coastal Services Center의 Humboldt Bay의 저서 생태계 지도화 Humboldt Bay는 캘리포니아 북쪽의 폐쇄성 만으로 100종의 어류, 200종의 물새 그리고 수십만 마리의 철새가 오는 지역으로 인근 도시가 발달하면서 개발 압력도 상존.
- 서식지 손실, 생물다양성의 훼손과 환경파괴, 해수면상승으로 인한 해안가의 취약성 증가 등이 문제시 되고 있음.
- 이러한 문제해결을 위해 각종 자료를 활용하고 있는데 자료의 활용은 서식지 보전, 기후변화적응 등에 도움을 줄 수 있고, 특히 갯벌의 저서생태계를 구분하여 지도화 함으로써 복원사업 및 연안관리에 큰 기여를 함.
- 이러한 자료는 생태계 기반의 연안관리 등에 있어 큰 도움이 됨.
- 유럽연합의 경우 Habitat mapping에 필요한 퇴적물과 지형에 대한 표준화 시도를 2009년부터 수행하여 매뉴얼 초안을 발간하였음.
- 연안역에서 일어나는 각종 프로세스 연구들을 활발히 수행 중.

- 자연적/인공적 대기 침적이 해양표층 영양염 변동 및 생물생산량에 미치는 영향, 기후변동에 따른 해수면 상승에 의한 연안 취약성 평가, 지중해 연안에서 일어나는 생지화학 변화, 용존산소 고갈 모니터링, 연안 물질 순환 및 모델링 등의 연구를 수행하였거나 수행중임.
- MESH (Mapping European Seabed Habitats) 등과 같은 대규모의 체계적인 서식지 mapping 프로젝트가 지속적으로 수행되고 있으며, habitat mapping 기법들에 대한 매뉴얼을 발간하였음.
- 영국 런던의 The Marine Environmental Mapping Programme(MAREMAP)의 서식지 매핑, 연안 및 암초 퇴적물 변동 및 해양환경에 있어 인간 및 지질재해에 따른 평가.
- 최신 기후모형을 사용하여 전 세계 해양에서 공급하는 먹이의 양 변화를 예측하고 이를 이용하여 전 지구 해양생물에 대한 데이터베이스에서 추정된 생체량과의 관계를 구해 해양생물 변화에 대한 전망이 해역에 따라 다르지만 주로 줄어들 것으로 판단되고 생물의 크기도 줄 것으로 전망함.
- 미국 및 유럽에서는 멀티빔 장비를 이용한 정밀 해저지형자료와 이와 동시에 획득되는 후방산란강도를 이용한 해저면 영상을 이용하여 서식지별 생태환경에 대한 정량적 연구를 수행하고 있음.

제 3 절 연구 수행 내용 및 방법

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
1차년도 (2013)	<p>울진연안 대기-해양-육지 물질 이동 및 수지 파악 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악 <ul style="list-style-type: none"> - Wet, dry 대기 집진/포집 장치를 이용하여 High Resolution 시계열 대기유래 유입 물질 특성 파악 - 대기 이산화탄소 흡수량 파악을 위한 연안 표층 이산화탄소 인자 측정 - 대기 입력 물질에 존재하는 박테리아 종 파악을 위한 pyrosequencing 및 RDP classifier를 활용한 대기 박테리아의 군집특성 분석 · 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 하천유입역 저염수 공간분포조사 - 단주기 수온변동특성 및 수온장기변화 기초조사 - 하천유입역 친생물원소(용존산소, 영양염, 클로로필-a 등) 배경농도 측정 · 육지-해양 간 이동물질 특성 파악 <ul style="list-style-type: none"> - 동해 유입 하천 관리기관의 수위 변화 등 기존 기초자료 수집 - 왕피천 하류 및 하구역 용존 물질 배경 농도 측정 - 해양으로 들어오는 하천 퇴적물과 해빈/해저 표층퇴적물을 채취하여 퇴적물 특성을 분석
	<p>하천유입 연안 서식지 및 생태 특성 영향 연구</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 왕피천 유입해역 및 대조 사질해역 장기 모니터링 거점 설정 <ul style="list-style-type: none"> - 물리환경 현장 조사를 통한 염분 구배를 고려한 왕피천 유입해역/대조 사질해역 장기 모니터링 거점 설정 · 조사해역 서식지 정밀 해저면 특성 조사 <ul style="list-style-type: none"> - 멀티빔 음향측심기를 이용한 정밀 해저지형조사 - 표층퇴적물 채니기를 이용한 시료 채취 및 입도/유기물 분석 · 조사해역 간극생물 군집 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 간극생물 현장 조사 (채집 및 시료 고정) 및 생물 동정 - 조사정점별 간극생물 우점종, 서식밀도, 생체량, 다양도지수 분석

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
2차년도 (2014)	서식환경별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 동해 중부연안 사질-수중암반 서식 대형저서생물 중 다양성 특성 조사 - 서식환경 유형별 저서생물의 거점 설정 후 4계절 생물종 조사 - 사질-수중암반 서식환경 유형별 대형 저서생물 중 다양성 조사: 50cm × 50cm 방형구를 제작한 뒤 각 정점별 서식 개체수를 계수하고, 각 정점 반경 25m 주위의 저서생물을 정성적으로 채집하여 기록 - 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영 - 서식 저서생물의 생태사진 및 표본 확보 제작 - 사질-암반해역 서식지별/환경별 우점 해조류 다양성 및 구성성분 분석 · 동해 중부연안 해변-조하대 사질 퇴적물 서식지 간극생물 군집 특성 파악 - 간극생물 분포 및 특성 파악 - 조하대 사질의 퇴적물 채집 및 정량 분석 · 동해 중부 연안 사질-수중암반 서식 수층 부유생물종 특성 파악 - 수중암반에 고착하여 서식하는 대형저서동물의 유생 채집 (월 1회) - 대형 우점 저서생물 분자지표 확보 - RFLP 기법을 응용한 대형저서동물의 유생 구성종 scanning - 분자마커 정보를 활용한 바코드 프라이머 제작 및 pyrosequencing - 수층 구성 대형저서동물의 유생 분석을 위한 reference 염기서열 데이터베이스 확보
	동해 연안생태계 주변환경 특성 연구	<ul style="list-style-type: none"> · 서식지 주변 기본환경 조사 - 서식지 이미지와 천해 정밀지형조사 결과(사질-암반 구분, 해저지형 기울기, 암반지형의 거칠기, 퇴적물 분포)의 비교를 통한 서식환경 분류 - 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악 - 물리/화학적 특성(수온, 염분, pH, 용존산소, 영양염, 탄소인자)의 사계절 수직/수평 분포 파악 - 천해의 서식환경에 특화된 주변환경 조사기법 및 분석기법 개발(수직/수평 분포 조사기법, 저서환경 이미지 분석 기법, 해조류 분포범위 파악 기법, 정확도 향상 등) · 연안해역 자료관리 기반 마련 - 연구해역의 해양환경 및 생물 조사자료 수집 및 관리항목 선정 - 데이터 모델 설계 및 GIS DB 구축 - 현행 연안관리법 및 연안통합관리계획 분석

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법
3차년도 (2015)	해저 서식지 환경 유형별 저서 생물군집 특성 파악	<ul style="list-style-type: none"> - 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 종 다양성 조사: 서식종 리스트, 우점종, 서식밀도 조사 - 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영 - 대형 우점 저서생물 확증표본 확보 - 수중암반 서식지영상합성지도 작성
	해빈 포말대/쇄파대 간극생물 군집분석/ 조하대 사질·수중암반 혼재 해역의 간극생물 군집 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 조사해역의 해빈/조하대 사질 퇴적물 채집 - 각 해역의 정점별 간극생물 군집특성 분석 - 간극생물 군집의 간극생물 우점종 영구보존 슬라이드 제작 및 고배율 현미경 영상 확보
	사질·수중암반 생태계 구성 생물종 변동성 파악	<ul style="list-style-type: none"> - 환경인자(수온, 염분 등) 변화에 따른 서식종과의 연관성 분석
	사질·수중암반 서식지 주변 기본환경 특성파악	<ul style="list-style-type: none"> - 서식지 주변 기본환경 모니터링 - 서식지 주변의 필수 환경인자 확보 - 서식지 주변 정밀해저지형(멀티빔) 및 해저면특성(해저면영상탐사기) 조사 - 서식지의 지형적 및 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)과 서식생물과의 상관성 분석
	연안 해역 자료활용 정보 생산	<ul style="list-style-type: none"> - 서식환경/생물자료 DB 구축 - 다각적 환경/생물 주제도 작성
	수중에서의 정량조사를 통한 서식생물 현장조사 기법 확립/ 해저면 특성 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 동해 연안의 대표적인 서식지인 사질·수중암반을 동시에 고려한 조합 Eco-mapping 기법 적용 및 확립
	타 기관 연구사업, 학술보고서, 학술논문 확보 및 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 동해 연안의 장기해양생태계 연구에 관한 보고서, 논문, 연구사업에 대한 자료 확보 - 타 기관 자료 분석을 통한 적극적 활용

제 3 장 연구개발 결과

제 1 절 대기-해양 간 물질 이동 및 수지파악

제 2 절 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지파악

제 3 절 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악

제 4 절 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악

제 5 절 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 파악

제 6 절 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악

1. 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악

대기-해양 간 물질 이동 파악을 위해 동해연구소 옥상에 장기 기상관측장비(WS-501)를 2013년 3월 27일부터 설치하여 1분 간격으로 자료 수집하였으며, 기온, 습도, 풍속, 풍향, 대기압, 일사량, 강수량 등을 관측하였다(그림 3-1-1).

2013년 3월 27일 ~ 10월 20일까지 관측기간 동안 최대 기온 37℃, 최대 풍속 19.7 m/s, 일 최대강수량(75mm), 최대 일사량 1258.2 W/m²가 관측되었으며, 관측기간 동안 바람자료를 시간 평균한 결과, 오전 8시와 오후 6시에 바람 방향이 달라지는데, 즉, 오후 7시부터 오전 7시까지는 육지에서 바다 쪽으로, 반대로 오전 9시부터 오후 5시 사이에는 바다에서 육지로 바람이 불어오고 시간평균 최대 풍속은 새벽 5시에 나타나며, 최저값은 오후 6시에 나타났다(그림 3-1-2~5).



그림 3-1-1. 동해연구소 옥상에 설치된 기상관측장비

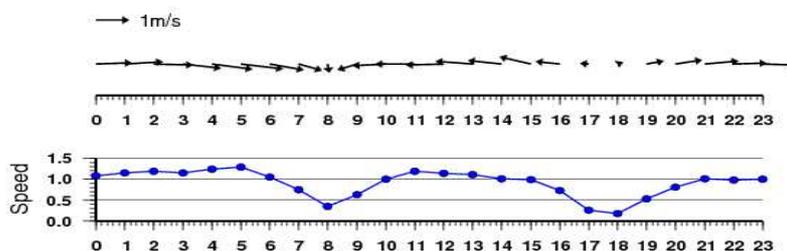


그림 3-1-2. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 바람자료를 평균한 시간당 풍향의 변화 및 풍속의 변화

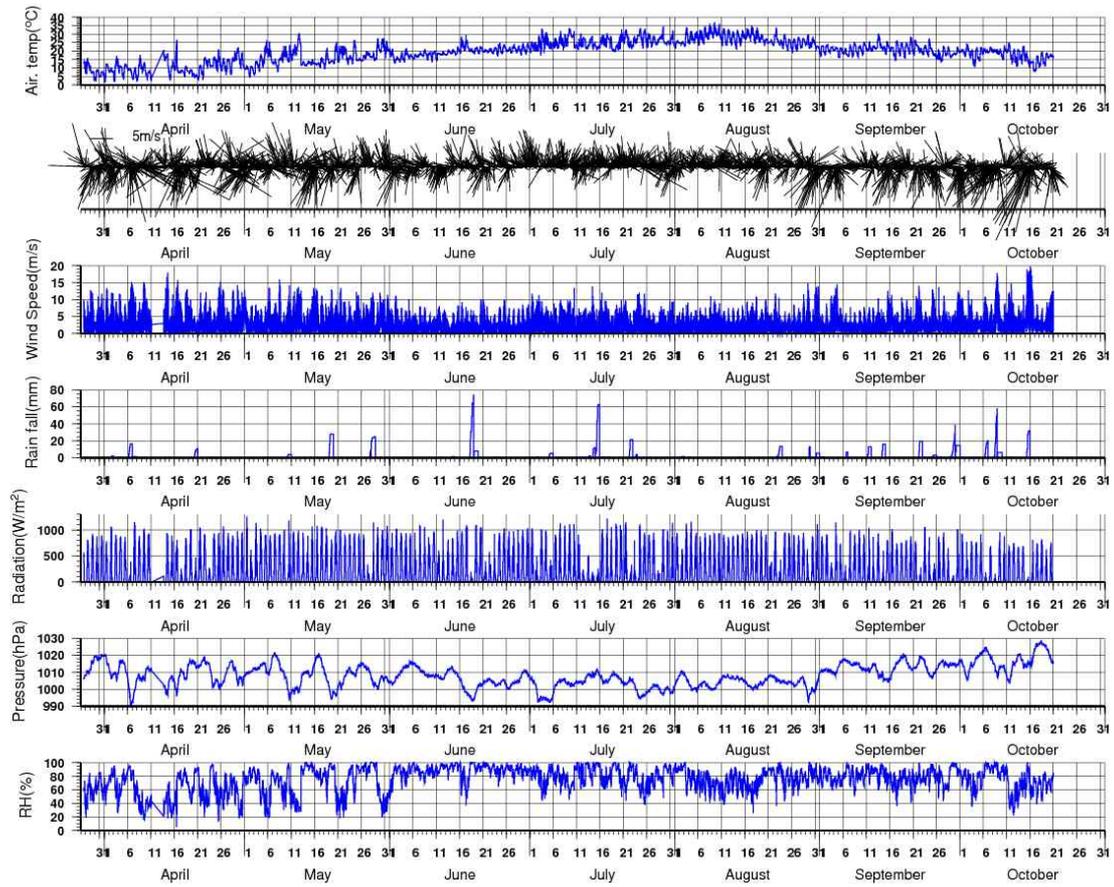


그림 3-1-3. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 기온, 바람, 풍속, 강우량, 일사량, 대기압

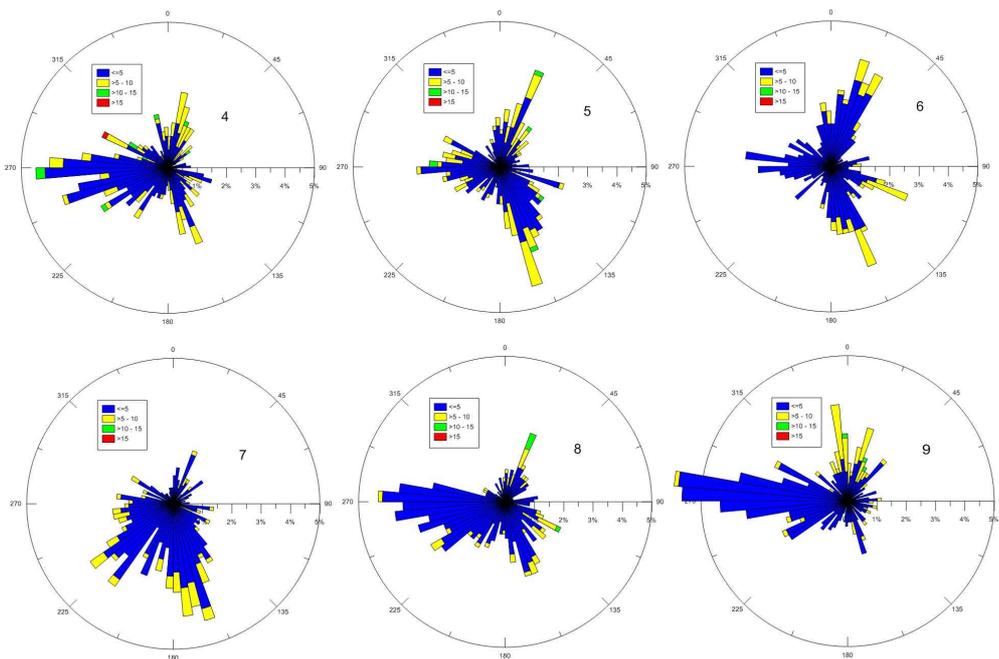


그림 3-1-4. 동해연구소 기상관측장비에서 월평균 바람장미

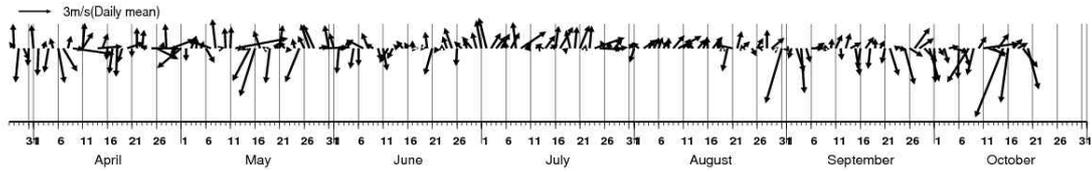


그림 3-1-5. 동해연구소 기상관측장비에서 관측된 2013년 3~10월 동안의 일평균 바람분포

2. 대기 입력 물질특성/플럭스 파악 및 변화 조사

동해 연구소 옥상에 설치된 대기 입력물질 채집 장치를 이용하여 3~4일 간격으로 시료를 채취하여(wet & dry), 비가 내렸을 때 강우에 포함된 영양염류 농도를 분석하였다(그림 3-1-6).

분석이 완료된 시기의 빗물 속 영양염 농도 범위를 살펴보면, 암모늄 $30\sim 830\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 아질산염 $0.03\sim 7\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 질산염 $19\sim 2,690\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 인산염 $0.02\sim 0.97\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 규산염 $0.07\sim 14.4\ \mu\text{mol kg}^{-1}$ 으로 질산염과 암모늄 농도가 비교적 높게 관찰되었다. 질소계열의 영양염과 규산염은 전반적으로 같은 시기에 피크를 보이는 등 비슷한 경향을 가지고 변화하는 반면, 인산염은 다른 영양염들과 피크가 일치하는 경우와 그렇지 않은 경우가 있는 것으로 보아 다른 영향 인자나 유입원이 있을 가능성이 크며, 지속적인 시계열 조사를 통해 분포 경향을 살펴야 할 필요가 있다.

전체 분석 기간 동안 빗물에 포함된 평균 용존 무기 질소농도는 $380\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 인농도는 $0.31\ \mu\text{mol kg}^{-1}$, 규소농도는 $1.8\ \mu\text{mol kg}^{-1}$ 이었으며, 강우에 의해 이러한 성분들이 동해 연안에 공급될 수 있음을 지시하고 있으며, 또한 인에 비해 많은 양의 질소가 연안에 공급될 수 있음을 시사한다.

울진 지역의 연강수량 변화를 살펴보면 그림 3-1-7과 같고, 2003년부터 2012년까지 10년 평균 연강수량은 $1,294 \pm 403\ \text{mm yr}^{-1}$ 였다.

Nutrients in rain

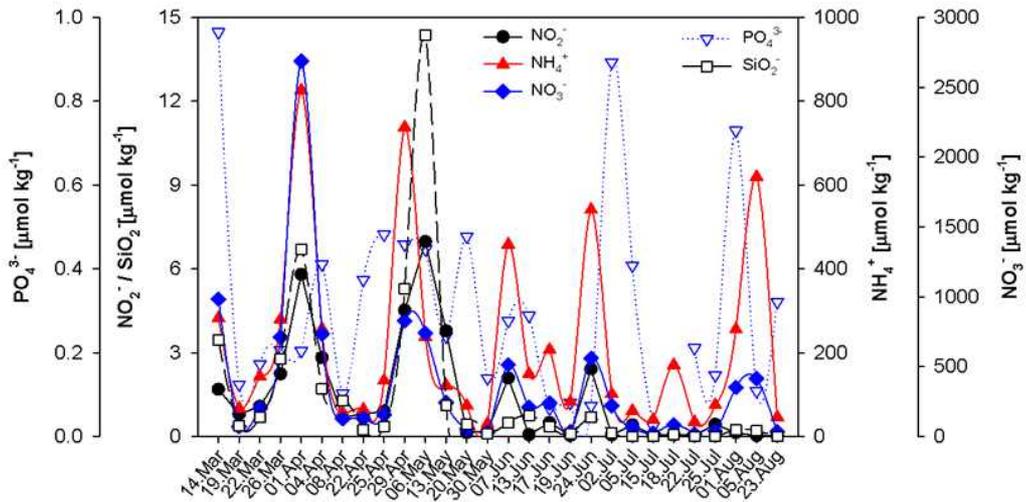


그림 3-1-6. 대기강우시료 중 영양염류의 농도(기간:2013년 3월 11일 ~ 8월 23일)

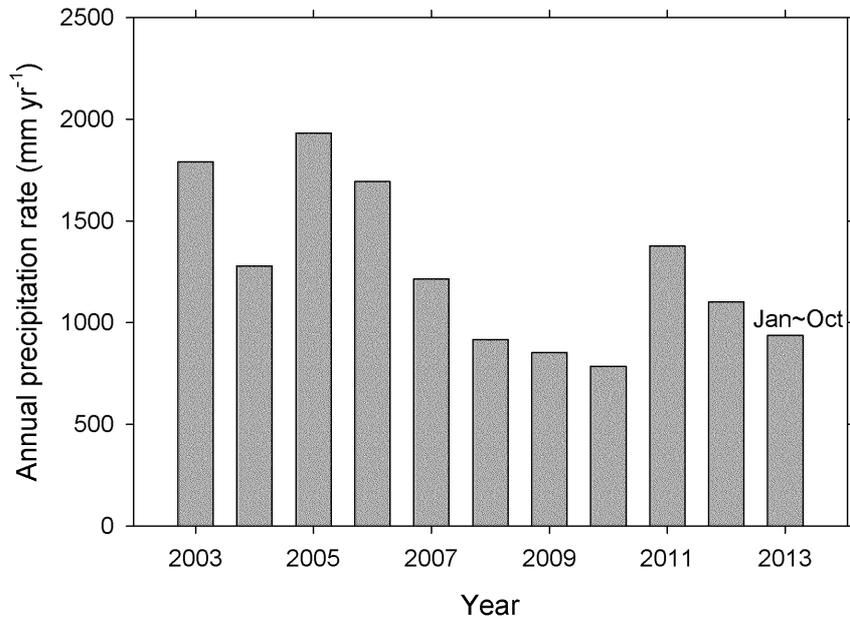


그림 3-1-7. 울진 연간 강수량(mm/년), 2013년의 경우 1월에서 10월까지의 누적 강수량

3. 하천유입해역 대기 입력물질 중 미생물 조사

대기입력 물질에 존재하는 미생물 시료는 강수채집기[PVC재질, 개구부 면적 0.25m²(0.5m×0.5m), 깊이 40cm, Total; wet + dry deposition]로 확보한 대기시료 50ml를 membrane filter (pore size 0.2μm, Φ25mm)로 여과하여 멸균수 300μl에 녹여내어 회수하였고, 낙하세균 방법으로도 확보하였다. 미생물 시료는 조사시기 및 바람방향에 따라 월별 및 오전과 오후로 구분하여 채취하였고, Tryptic Soy Agar를 1/2로 희석한 배지에서 배양하였다.

대기시료에 존재하는 미생물은 16S rRNA 유전자 정보를 이용하여 분석하였으며, 27F(5'-AGAGTTTGGATCMTGGCTCAG-3')와 1492R(5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3') 프라이머 세트를 미생물 종 분석에 이용하였다. 16S rRNA 유전자 증폭반응은 filtrate 5μl를 primer 20 pmole과 혼합한 후 AccuPower® Taq PCR PreMix (Bioneer Inc. Korea)를 사용하여 PCR 반응액의 최종 부피를 20μl로 맞추어, 94°C에서 5분간 미리 변성시킨 후 94°C에서 1분, 55°C에서 1분, 72°C에서 2분의 조건으로 40회 반응(PTC-200, MJ Research, USA)시켰다. PCR 증폭산물은 1.5% agarose gel에 전기영동하여 증폭여부를 확인한 후, Dyne PCR Purification Kit (DYNE BIO, Korea)을 사용하여 증폭산물을 정제하였다. BigDye Terminator Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems, USA)를 이용하여 염기서열 결정반응을 실시하였으며, 염기서열 반응산물은 알코올 정제 후, ABI 377 DNA Sequencer (Applied Biosystems, USA)로 염기서열을 결정하였다. 염기서열 데이터는 BLAST 검색을 이용하여 대략적인 미생물 종을 확인하였다.

대기시료에 존재하는 미생물의 군집특성은 표 3-1-1에 나타난 barcode primer를 이용하였다. PCR 반응은 filtrate 5μl를 primer 16 pmole과 혼합 후, AccuPower®Taq PCR PreMix (Bioneer Inc. Korea)를 사용하였으며, PCR 반응액의 최종 부피를 20μl로 조정하였다. 94°C에서 10분간 미리 변성시켜, 94°C에서 30초, 53°C에서 30초, 72°C에서 1분의 조건으로 30회 반응(PTC-200, MJ Research, USA)시켜 증폭반응을 수행하였다.

PCR 증폭산물은 Dyne Gel Extrction Kit (DYNE BIO, Korea)을 이용해 정제하였으며, 단일가닥 DNA library 제작과 emulsion PCR을 진행한 후, 454 platform을 이용한 pyrosequencing을 수행하였다. Pyrosequencing 반응에 요구되는 모든 반응은 454 Life Science (Branford, USA)의 방법에 따라 수행하였으며, GS FLX Titanium system (454 Life Science)을 이용하여 염기서열을 결정하였다.

Pyrosequencing을 통해 얻은 염기서열 데이터는 GS FLX 소프트웨어를 이용

해서 adaptor key인 MID (multiple identifier sequence)를 인식시켜 각 시료별로 염기서열을 분류하였고, 결정된 염기서열에서 MID와 PCR primer에 해당하는 염기를 제거하였다.

표 3-1-1. 박테리아 16S rRNA 유전자 영역 증폭을 위한 barcode primer

Primer name	Sequence (5'→3')
MID01/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGACGAGTGCCTAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID02/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGACGCTCGACAAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID03/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAGACGCACTCAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID04/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAGCACTGTAGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID05/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGATCAGACACGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID06/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGATATCGCGAGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID07/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCGTGTCTCTAAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID08/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTCGCGTGTGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID10/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTCTATGCGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID11/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTGATACGTCTAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID13/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCATAGTAGTGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID14/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCGAGAGATACAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID15/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGATACGACGTAAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID16/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTACGTAAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID17/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCGTCTAGTACAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID18/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTACGTAGCAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID19/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTGTACTACTCAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID20/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGACGACTACAGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID21/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCGTAGACTAGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID22/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTACGAGTATGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID23/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTACTCTCGTGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID24/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTAGAGACGAGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID25/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCGTCGCTCGAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID26/Uni 16S-27F	CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGACATACGCGTAGAGTTTGATCMTGGCTCAG
MID /Uni16S-518R	CCTATCCCTGTGTGCTTGGCAGTCTCAGATTACCGCGCTGCTGG

대량의 염기서열 데이터 전처리는 Ribosomal Database Project (<http://rdp.cme.msu.edu/>) 사이트의 Pyrosequencing pipeline를 이용하였으며, 부정확하게 결정된 염기서열과 PCR 과정에서 발생할 수 있는 염기서열의 오류를 최소화하기 위해 300 bp 이하의 염기서열은 분석에서 제외하였다. Mothur 프로그램을 활용하여 chimera 염기서열 후보군도 제거하였으며, 전처리를 마친 염기서열은 RDP Classifier를 이용하여 미생물 종의 계통분류를 실시하였다. 또한,

RDP Aligner와 RDP Mothur: column distance matrix를 이용하여 distance matrix를 만들었으며, 이를 Mothur에 적용하여 observed OTU (operational taxonomic unit), Chao1 richness estimate, Shannon index 등의 다양성 인자들과 rarefaction curve를 분석하였다. RDP classifier를 이용하여 미생물의 군집을 분석하고 시료들 간의 다양성 차이를 조사하였으며, shannon과 chao1 값을 얻어 각각의 시료들의 다양성과 종의 풍부도를 계산하였다.

대기시료에 존재하는 미생물의 종 조성을 조사한 결과 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 미생물 중 박테리아는 조사시기에 따라 종 조성에 차이가 있었다 (표 3-1-2). *Bacillus* sp.가 우점종이었으나 5월 배양시료에서는 검출되지 않았고, *Bacillus* sp. 중 *Bacillus megaterium*은 월별 배양시료에서 항상 검출되는 박테리아 종이었으며 이들 종은 조사시기에 따라 출현빈도에도 차이를 나타내었다. *Bacillus pumilus*는 7~9월 배양시료에서만 검출되었다(그림 3-1-8).

표 3-1-2. 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 조사시기별 출현 종 및 빈도

2013년 3~4월 대기 미생물 배양시료	
균주명	빈도수
Bacillus aryabhatai	2
Bacillus beijingensis	1
Bacillus cereus	1
Bacillus coahuilensis	2
Bacillus drementensis	4
Bacillus flexus	2
Bacillus megaterium	15
Bacillus sp.	45
Uncultured bacterium	28
합계	100

2013년5월 대기 미생물 배양시료	
균주명	빈도수
Antarctic bacterium	1
Duganella sp.	18
Duganella zoogloeoides	8
Janthinobacterium	25
Massilia sp.	6
Massilia timonae	1
Oxalobacteraceae bacterium	5
Oxalobacteraceae bacterium	2
Uncultured bacterium	132
Zoogloea sp.	2
합계	200

2013년 7월 대기 미생물 배양시료			
균주명	빈도수	균주명	빈도수
Alteromonas sp.	2	Microbacterium sp.	1
Anoxybacillus sp.	1	Micrococcus sp.	1
Arthro bacter protophormiae	1	Oceanobacillus sp.	1
Arthro bacter sp.	6	Paenibacillus sp.	1
Bacillus algicola	1	Pantoea agglomerans	4
Bacillus alitudinis	1	Pantoea ananatis	1
Bacillus beijingensis	1	Pantoea sp.	2
Bacillus cereus	1	Pantoea vagans	1
Bacillus firmus	2	Paracoccus kamogawaensis	1
Bacillus horikoshii	1	Paracoccus sp.	4
Bacillus licheniformis	5	Planococcaceae bacterium	1
Bacillus megaterium	2	Planococcus donghaensis	1
Bacillus pumilus	7	Planococcus psychrotolerans	1
Bacillus sp.	21	Planococcus rfietsensis	2
Bacillus stratosphericus	1	Planococcus sp.	3
Bacillus subtilis	6	Planomicrobium sp.	1
Bacillus vietnamensis	2	Pseudomonas sp.	1
Bacterium	5	Psychrobacter celer	1
Brachybacterium sp.	2	Psychrobacter piscatorii	1
Corynebacterium casei strain	1	Rhodococcus sp.	1
Corynebacterium sp.	1	Salinicoccus sp.	1
Curtobacterium luteum	1	Sporosarcina luteola	2
Curtobacterium sp.	2	Staphylococcus saprophyticus	9
Enterobacter ludwigii	1	Staphylococcus succinus	1
Enterococcus mundtii	1	Streptomyces griseorubens	1
Exiguobacterium acetylicum	1	Streptomyces kunmingensis	1
Exiguobacterium aestuarii	1	Streptomyces sp.	3
Exiguobacterium aurantiacum	2	Uncultured bacterium	22
Exiguobacterium indicum	1	Uncultured Enterococcus sp.	1
Exiguobacterium oxidotolerans	1	Uncultured Erwinia sp.	1
Exiguobacterium profundum	1	Uncultured gamma	4
Exiguobacterium sp.	4	Uncultured Halomonas sp.	1
Halobacillus halophilus	1	Uncultured marine bacterium	1
Halobacillus hunanensis	1	Uncultured organism clone	1
Halobacillus sp.	1	Uncultured Paracoccus sp.	1
Jeotgallcoccus psychrophilus	1	Uncultured proteobacterium	1
Kocuria rosea	2	Uncultured Pseudomonas sp.	1
Kocuria sp.	2	Uncultured Streptomyces sp.	2
Listeria grayi strain	1	Zhihengliuella sp.	2
Lysinibacillus sphaericus	1	합계	182

2013년 8월 대기 미생물 배양시료			
균주명	빈도수	균주명	빈도수
Anas platyrhynchos collagen	1	Candidatus Lariskella arthropodarum	24
Bacillaceae bacterium	2	Enterococcus faecium	1
Bacillus acidicer	7	Exiguobacterium acetylicum	1
Bacillus alcalophilus	1	Exiguobacterium aestuarii	1
Bacillus aquimaris	23	Exiguobacterium arabatum	1
Bacillus aryabhatai	53	Exiguobacterium aurantiacum	13
Bacillus bataviensis	4	Exiguobacterium homiense	1
Bacillus beijingensis	5	Exiguobacterium indicum	1
Bacillus cereus	7	Exiguobacterium mexicanum	12
Bacillus cibi	1	Exiguobacterium profundum	2
Bacillus circulans	1	Exiguobacterium sp.	34
Bacillus firmus	11	Jeotgallcoccus sp.	1
Bacillus flexus	3	Kocuria sp.	1
Bacillus funiculus	4	Lactobacillus sakei	1
Bacillus halmapalus	1	Lactobacillus salivarius	1
Bacillus horikoshii	1	Lactobacillus vaginalis	1
Bacillus licheniformis	74	Lysinibacillus sphaericus	1
Bacillus luciferensis	3	Pasteurella pneumotropica	1
Bacillus marisflavi	7	Rhizobiaceae bacterium	1
Bacillus megaterium	136	Rickettsiales bacterium	1
Bacillus mycoides	1	Staphylococcaceae bacterium	1
Bacillus oceanisediminis	7	Staphylococcus haemolyticus	1
Bacillus pumilus	12	Staphylococcus saprophyticus	2
Bacillus safensis	2	Staphylococcus sp.	3
Bacillus shandongensis	4	Uncultured Anaerococcus sp.	1
Bacillus simplex	1	Uncultured Bacillus sp.	35
Bacillus sonorensis	1	Uncultured bacterium	116
Bacillus sp.	288	Uncultured compost bacterium	1
Bacillus stratosphericus	1	Uncultured eubacterium	1
Bacillus subtilis	5	Uncultured Exiguobacterium sp.	6
Bacillus teguensis	1	Uncultured Firmicutes bacterium	1
Bacillus thuringiensis	2	Uncultured low G+C Gram-positive	1
Bacillus vietnamensis	4	Uncultured organism	5
Bacillus zhanjiangensis	1	Uncultured soil bacterium	9
Bacterium	19	Unidentified Hailaer soda lake bacterium	2
Bhargavaea cecembensis	10	Unidentified marine bacterioplankton	2
Bhargavaea sp.	2	합계	993

2013년 9월 대기 미생물 배양시료	
균주명	빈도수
Bacillus sp.	122
Bacillus megaterium	69
Bacillus flexus	47
Bacillus aryabhatai	26
Uncultured bacterium	23
Bacillaceae bacterium	3
Uncultured Bacillus sp.	3
Bacillus horikoshii	1
Bacillus pumilus	1
Bacillus thuringiensis	1
Bacterium	1
Kocuria sp.	1
Staphylococcus sp.	1
합계	299

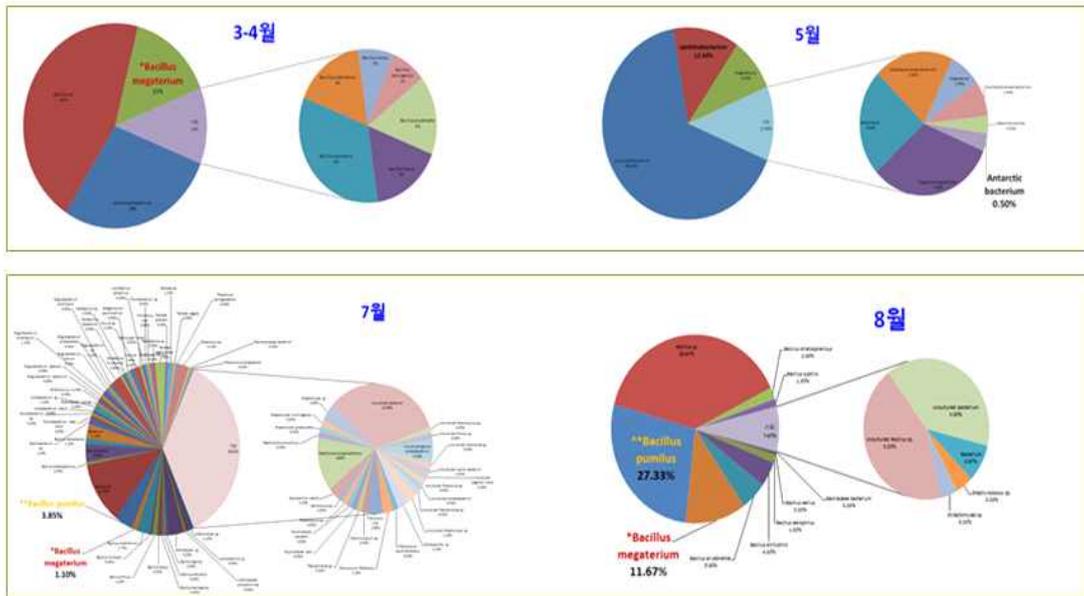


그림 3-1-8. 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 조사시기별 군집특성

바람의 방향에 따른 대기 미생물의 종 조성을 분석하기 위하여 낮 (오전 10시-오후 4시)과 밤 (오후 10시 - 오전 4시)으로 구분하여 시료를 채취하여 분석한 결과, 바람의 방향에 따라 대기 박테리아의 종 조성 및 분포에 차이 있음을 확인하였다. *Bacillus megaterium*과 *Bacillus pumilus*의 출현빈도는 낮과 밤에 대조를 이루었고, *Curtobacterium* sp.는 밤 시료에서만 검출되었다. 8월 조사시료에서 *Bacillus megaterium*은 출현빈도가 밤에 약간 감소하는 경향을 보였고, *Bacillus pumilus*는 출현빈도가 밤에 급격하게 증가하였으며, 낮 시료에서는 검출되지 않은 *Curtobacterium* sp.가 검출되었다(표 3-1-3, 그림 3-1-9).

표 3-1-3. 2013년 8월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람방향에 따른 출현 종 및 빈도

2013년 8월 (낮) 대기 미생물 배양시료			
군주명	빈도수	군주명	빈도수
Anas platyrhynchos collagen	1	Candidatus Lariskella arthropodarum	24
Bacillaceae bacterium	2	Enterococcus faecium	1
Bacillus acidicerer	7	Exiguobacterium acetylicum	1
Bacillus alcalophilus	1	Exiguobacterium aestuarii	1
Bacillus aquimaris	23	Exiguobacterium arabatum	1
Bacillus aryabhatai	53	Exiguobacterium aurantiacum	13
Bacillus bataviensis	4	Exiguobacterium homiense	1
Bacillus beijingensis	5	Exiguobacterium indicum	1
Bacillus cereus	7	Exiguobacterium mexicanum	12
Bacillus elta	1	Exiguobacterium profundum	2
Bacillus circulans	1	Exiguobacterium sp.	34
Bacillus firmus	11	Jeotgaliococcus sp.	1
Bacillus flexus	3	Kocuria sp.	1
Bacillus funiculus	4	Lactobacillus sakei	1
Bacillus halmagpalus	1	Lactobacillus salivarius	1
Bacillus horikoshii	1	Lactobacillus vaginalis	1
Bacillus licheniformis	74	Lysinibacillus sphaericus	1
Bacillus luciferensis	3	Pasteurella pneumotropica	1
Bacillus marisflavi	7	Rhizobiaceae bacterium	1
Bacillus megaterium	136	Rickettsiales bacterium	1
Bacillus mycoides	1	Staphylococcaceae bacterium	1
Bacillus oceanisediminis	7	Staphylococcus haemolyticus	1
Bacillus pumilus	12	Staphylococcus saprophyticus	2
Bacillus safensis	2	Staphylococcus sp.	3
Bacillus shandongensis	4	Uncultured Anaerococcus sp.	1
Bacillus simplex	1	Uncultured Bacillus sp.	35
Bacillus sonorensis	1	Uncultured bacterium	116
Bacillus sp.	288	Uncultured compost bacterium	1
Bacillus stratosphericus	1	Uncultured eubacterium	1
Bacillus subtilis	5	Uncultured Exiguobacterium sp.	6
Bacillus tequilensis	1	Uncultured Firmicutes bacterium	1
Bacillus thuringiensis	2	Uncultured low G+C Gram-positive	1
Bacillus vietnamensis	4	Uncultured organism	5
Bacillus zhanjiangensis	1	Uncultured soil bacterium	9
Bacterium	19	Unidentified Haller soda lake bacterium	2
Bhargavaea cecembensis	10	Unidentified marine bacterioplankton	2
Bhargavaea sp.	2	합계	993

2013년 8월 (밤) 대기 미생물 배양시료			
군주명	빈도수	군주명	빈도수
Bacillaceae bacterium	4	Enterobacteriaceae bacterium	4
Bacillus aerius	3	Erwinia milletiae	1
Bacillus aerophilus	9	Exiguobacterium indicum	1
Bacillus altitudinis	27	Kocuria sp.	1
Bacillus aryabhatai	24	Marine bacterium	1
Bacillus cereus	2	Pantoea agglomerans	38
Bacillus cohnii	1	Pantoea ananatis	7
Bacillus flexus	2	Pantoea sp.	22
Bacillus halodurans	1	Pantoea vagans	1
Bacillus horikoshii	2	Salinicoccus roseus	1
Bacillus licheniformis	2	Staphylococcus saprophyticus	2
Bacillus megaterium	76	Staphylococcus sp.	1
Bacillus pumilus	224	Streptomyces sp.	1
Bacillus safensis	10	Tetragenococcus doogicus	1
Bacillus sp.	247	Uncultured Bacillus sp.	8
Bacillus stratosphericus	12	Uncultured bacterium	19
Bacillus subtilis	13	Uncultured Enterobacter sp.	1
Bacillus thuringiensis	1	Uncultured gamma proteobacterium	4
Bacterium	9	Uncultured organism	10
Curtobacterium plantarum	1	Uncultured Pantoea sp.	10
Enterobacter agglomerans	7	합계	802

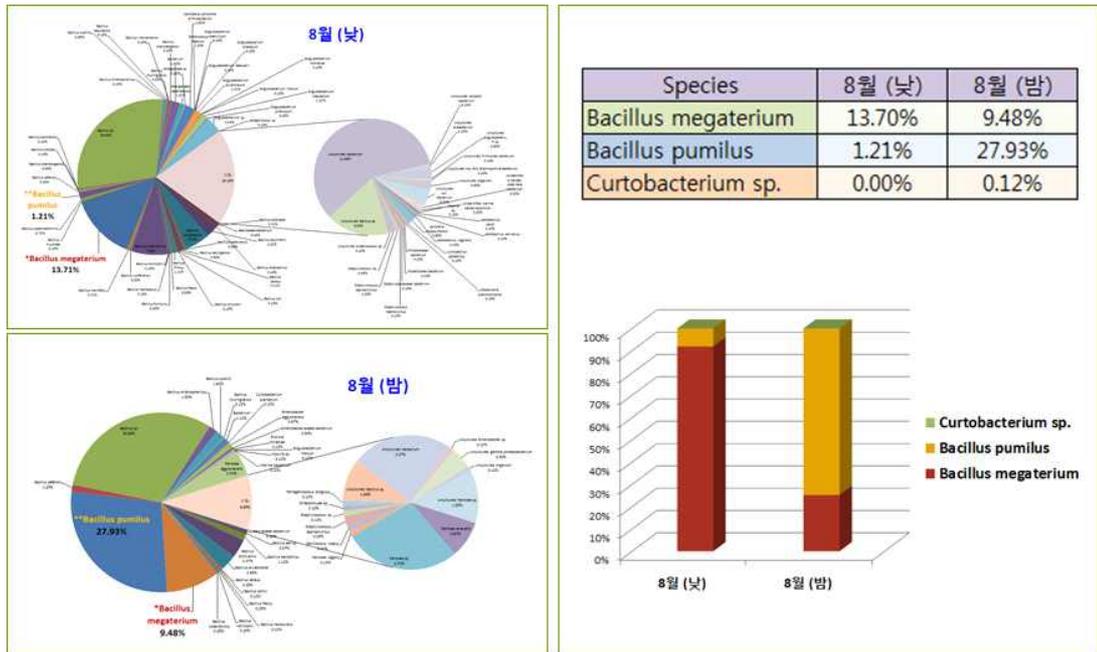


그림 3-1-9. 2013년 8월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람방향별 군집특성

9월 낮 조사시료는 배양 가능한 미생물 종이 현저히 감소하였으며, 밤 시료에서는 *Curtobacterium* sp. 종이 많이 검출되었다(표 3-1-4, 그림 3-1-10). 환경 변화 반응 candidate 카달로그화를 위해 출현 빈도 차이는 있지만 대기 중 항상

존재하는 *Bacillus megaterium*을 환경변화 반응 candidate 미생물로 선정하였고, 향후 연구에서는 *B. megaterium*의 전체 게놈 정보를 분석하고 환경변화에 반응 또는 적응하는 유전체를 파악하고자 한다. 또한, 3~5월 대기 미생물 배양시료에서는 검출되지 않았으나 7~9월 시료에서 검출되었고, 바람 방향에 따라 출현빈도 차이를 나타낸 *Bacillus pumilus*를 환경변화 반응 candidate 미생물로 선정하였으며 *B. pumilus*의 전체 게놈 정보를 확보하고, 환경변화에 따른 출현 여부 및 출현 빈도와 유전체 변이와의 상관관계를 분석하고자 한다.

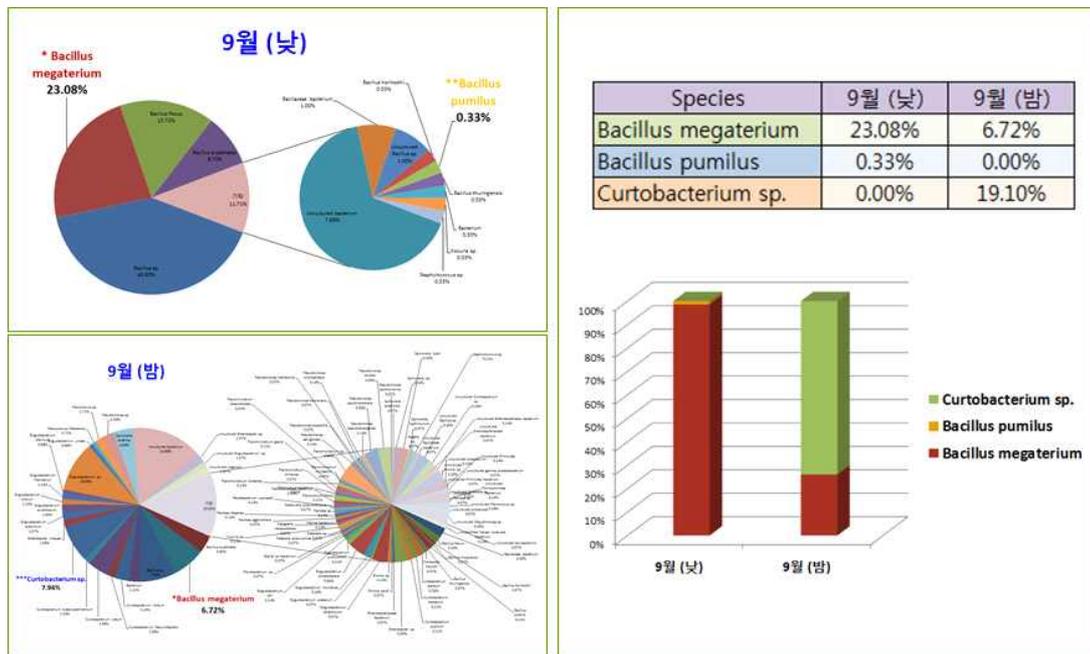


그림 3-1-10. 2013년 9월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람방향별 군집특성

표 3-1-4. 2013년 9월 동해연구소 옥상에서 채취한 대기 박테리아의 바람방향에 따른 출현 종 및 빈도

2013년 9월 (낮) 대기 미생물 배양시료	
균주명	빈도수
Bacillus sp.	122
Bacillus megaterium	69
Bacillus flexus	47
Bacillus aryabhattai	26
Uncultured bacterium	23
Bacillaceae bacterium	3
Uncultured Bacillus sp.	3
Bacillus horikoshii	1
Bacillus pumilus	1
Bacillus thuringiensis	1
Bacterium	1
Kocuria sp.	1
Staphylococcus sp.	1
합계	299

2013년 9월 (밤) 대기 미생물 배양시료					
균주명	빈도수	균주명	빈도수	균주명	빈도수
Bacillaceae bacterium	5	Exiguobacterium soli	2	Pseudomonas sp.	35
Bacillus aryabhattai	51	Exiguobacterium soli	2	Pseudomonas stutzeri	7
Bacillus flexus	4	Exiguobacterium sp.	148	Pseudomonas xanthomarina	1
Bacillus horikoshii	1	Exiguobacterium undae	12	Salmonella enterica	57
Bacillus megaterium	94	Flavobacterium sp.	1	Salmonella enteritidis	1
Bacillus mojavensis	1	Glacial ice bacterium	1	Salmonella sp.	2
Bacillus sp.	109	Klebsiella pneumoniae	1	Salmonella typhi	6
Bacillus subtilis	3	Klebsiella sp.	1	Salmonella typhimurium	1
Bacillus thuringiensis	1	Kocuria sp.	3	Shigella sp.	1
Bacterium	31	Margalefia venezuelensis	1	Staphylococcus sp.	3
Citrobacter freundii	1	Marine bacterium	2	Uncultured Bacillaceae bacterium	1
Curtobacterium albidum	4	Pantoea agglomerans	1	Uncultured Bacillus sp.	6
Curtobacterium citreum	44	Pantoea dispersa	2	Uncultured bacterium	208
Curtobacterium flaccumfaciens	19	Pantoea sp.	2	Uncultured Curtobacterium sp.	4
Curtobacterium herbarum	3	Pasteurella pneumotropica	1	Uncultured Enterobacter sp.	29
Curtobacterium luteum	64	Pectobacterium cypripedii	2	Uncultured Enterobacteriaceae bacterium	1
Curtobacterium oceanosedimentum	18	Planococcaceae bacterium	2	Uncultured Enterobacteriales bacterium	2
Curtobacterium pusillum	3	Planococcus citreus	3	Uncultured Erwinia sp.	6
Curtobacterium sp.	111	Planococcus maritimus	1	Uncultured eubacterium	2
Enterobacter cloacae	19	Planococcus rifietoensis	10	Uncultured Exiguobacterium sp.	15
Enterobacter sp.	7	Planococcus sp.	24	Uncultured Firmicutes	2
Enterobacteriaceae bacterium	1	Planomicrobium chinense	1	Uncultured Firmicutes bacterium	1
Erwinia psidii	1	Planomicrobium glaciei	3	Uncultured gamma proteobacterium	1
Erwinia sp.	2	Planomicrobium koreense	2	Uncultured Klebsiella sp.	3
Exiguobacterium acetylicum	22	Planomicrobium mcmeekinii	1	Uncultured Micrococcineae bacterium	2
Exiguobacterium antarcticum	8	Planomicrobium okeanokoites	1	Uncultured organism	22
Exiguobacterium arabatum	1	Planomicrobium sp.	9	Uncultured Pantoea sp.	1
Exiguobacterium aurantiacum	23	Pseudomonas aeruginosa	2	Uncultured Planococcus sp.	4
Exiguobacterium homiense	4	Pseudomonas alcaliphila	1	Uncultured prokaryote	1
Exiguobacterium indicum	16	Pseudomonas mendocina	1	Uncultured Pseudomonas sp.	6
Exiguobacterium mexicanum	16	Pseudomonas oleovorans	1	Uncultured soil bacterium	1
Exiguobacterium oxidotolerans	9	Pseudomonas oryzaehabitans	2	Unidentified Hailaer soda lake bacterium	2
Exiguobacterium profundum	3	Pseudomonas pseudoalcaligenes	2	합계	1398
Exiguobacterium sibiricum	12	Pseudomonas psychrotolerans	7		

Pyrosequencing을 이용하여 동해 연안역 대기시료 내 미생물 종을 분석한 결과, *Actinobacteria*, *TM7*, *Spirochaetes*, *Bacteroidetes*,

unclassified_“Bacteroidetes”, Proteobacteria, Cyanobacteria Gemmatimonadetes, Chlorobi, Acidobacteria, Firmicutes, Planctomycetes, OP11, Chloroflexi) 문(phylum)에 속하는 미생물이 군집을 이루고 있었고, proteobacteria가 우점하고 있었으며, 계절에 따라 우점하는 미생물 종이 달라지는 것을 확인하였다(표 3-1-5). 또한 속(genus) 수준에서 비교한 결과, *Novosphingobium*가 우점하였으며, *Phenylobacterium, Bradyrhizobium, Sphingomonas, Gemmatimonas, Parvibaculum* 등의 군집을 이루고 있었다(그림 3-1-11, 표 3-1-6). 표 3-1-7은 미생물 군집의 다양성과 풍부도를 나타낸 것으로 pyrosequencing 방법을 활용하여 각 시료간 미생물 군집의 종 다양성 정도를 계산하고 비교·분석하기 위해서는 시료마다 5000개 이상의 염기서열이 필요한 것으로 판단하였다.

표 3-1-5. 2013년 동해연안역 대기시료 내 박테리아 군집 분포 특성 (phylum level)

Phylum	Sample						
	URT107	URT110	URT116	URT120	URT126	URT130	URT132
Actinobacteria	7	0	0	0	0	3	3
TM7	196	0	0	0	0	1	0
Spirochaetes	0	0	0	0	0	0	1
Bacteroidetes	0	0	1	0	2	49	120
<i>unclassified_“Bacteroidetes”</i>	0	0	0	0	0	0	3
Proteobacteria	365	725	1623	1815	834	1512	562
Cyanobacteria	0	0	0	7	0	0	0
Gemmatimonadetes	0	92	1	214	0	0	0
Chlorobi	0	0	0	0	0	0	0
Acidobacteria	0	0	0	6	0	0	0
Firmicutes	0	0	0	0	0	0	0
Planctomycetes	0	0	0	0	0	18	1
OP11	0	0	0	0	0	0	0
Chloroflexi	0	0	0	0	0	0	0

표 3-1-6. 2013년 동해연안역 대기시료 내 박테리아 군집 분포 특성(Genus level)

	URT107	URT110	URT116	URT120	URT126	URT130	URT132
TM7_genera_incertae_sedis	196	0	0	0	0	1	0
Turneriella	0	0	0	0	0	0	1
Ohtaekwangia	0	0	0	0	0	0	1
Arcicella	0	0	0	0	0	1	0
Spirosoma	0	0	0	0	0	2	2
Filimonas	0	0	0	0	0	0	3
Segetibacter	0	0	0	0	0	5	9
Flavobacterium	0	0	1	0	0	0	2
Aquabacterium	0	0	0	0	0	2	0
Burkholderia	0	0	0	1	0	0	0
Ramlibacter	7	0	0	0	0	0	0
Caenimonas	1	0	0	0	3	0	0
Bradyrhizobium	38	3	6	79	6	0	7
Vasilyevaea	0	0	1	0	0	0	0
Pseudolabrys	0	0	1	0	0	0	0
Methylobacterium	9	2	0	4	6	3	0
Hyphomicrobium	0	0	0	1	0	0	0
Caulobacter	0	3	2	1	7	73	2
Asticcacaulis	0	0	0	0	0	0	0
Brevundimonas	0	2	57	3	0	0	0
Phenylobacterium	1	11	471	2	0	1278	142
Sphingomonas	1	258	19	137	130	9	0
Sphingopyxis	20	0	10	0	0	0	0
Novosphingobium	101	400	156	89	563	14	29
Sphingobium	6	0	6	0	0	0	0
Porphyrobacter	0	0	3	1	0	0	0
Roseomonas	0	0	4	2	0	0	0
Rhodobacter	0	0	1	0	0	0	0
Nevskia	0	0	1	0	0	0	0
Chlorarachniophyceae	0	0	0	2	0	0	0
Gemmatimonas	0	92	1	214	0	0	0
Edaphobacter	0	0	0	6	0	0	0
Schlesneria	0	0	0	0	0	0	1
Gemmata	0	0	0	0	0	2	0
Phycisphaera	0	0	0	0	0	11	0
Parvibaculum	0	5	748	0	0	11	0

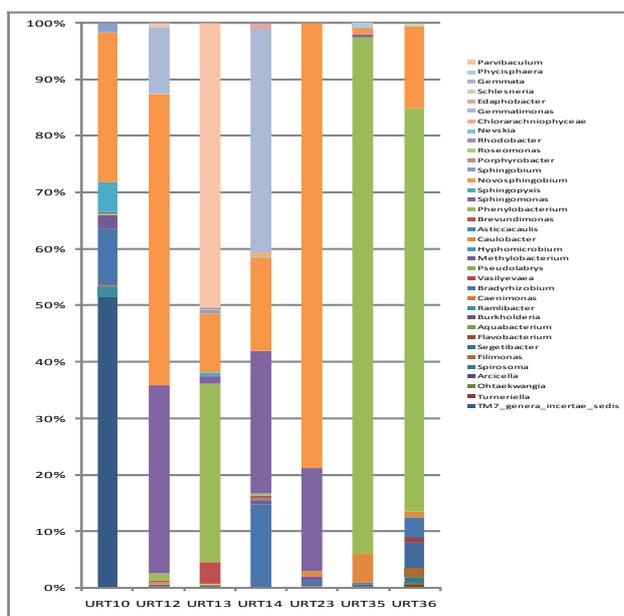


그림 3-1-11. Pyrosequencing을 활용한 대기 시료 내 박테리아 종 조성 변화 (Genus level)

표 3-1-7. 2013년 동해연안역 대기시료 내 미생물 다양성

Sample	No. of sequences analyzed	Observed OTU		Chao1 index		Shannon index	
		3% cutoff	5% cutoff	3% cutoff	5% cutoff	3% cutoff	5% cutoff
URT 107	568	24	19	31.00	26.00	2.01	1.83
URT 110	817	24	16	27.00	16.34	1.60	1.52
URT 116	1625	45	33	75.50	44.00	1.87	1.67
URT 120	2402	37	29	63.25	47.33	1.44	1.37
URT 126	836	30	21	37.00	24.75	1.84	1.22
URT 130	1597	52	39	95.88	66.20	1.08	1.03
URT 132	695	47	38	75.88	49.67	2.56	2.32

4. 하천 유입해역 대기 이산화탄소 흡수량 파악 및 변동 조사

2013년 6월 20일 동해연구소에서 왕피천까지 표층 16개 정점에 대한 이산화탄소 조사를 수행하였으며, 수온, 염분, 영양염, 클로로필-a, 이산화탄소 인자 등을 분석하였다(그림 3-1-12).

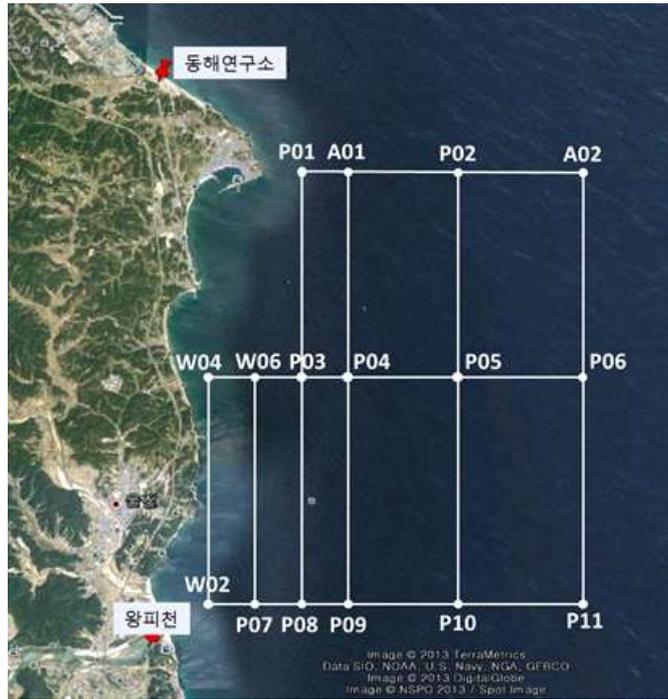


그림 3-1-12. 이산화탄소 표층 조사 정점도(총 16개)

수온, 염분, 용존 산소, 영양염 분포를 보면 조사 시기에 하천수 유입에 의한 영향이 나타나고 있다(그림 3-1-13~15).

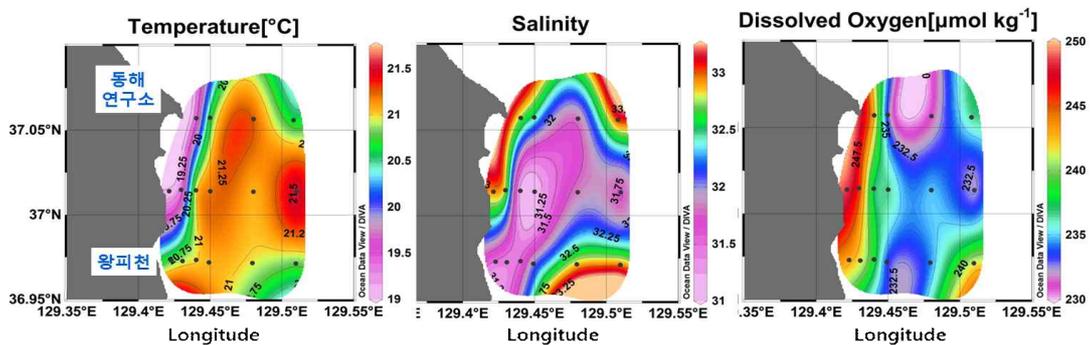


그림 3-1-13. 표층 수온, 염분, 용존산소 분포도

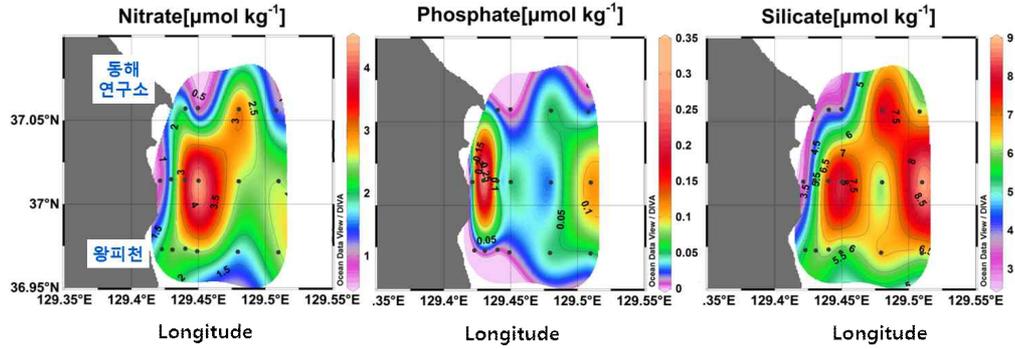


그림 3-1-14. 표층 영양염(질산염, 인산염, 규산염) 농도 분포도

이산화탄소 인자 분석 결과, 그림 3-1-11과 같은 표층 분포를 보이고 있다.

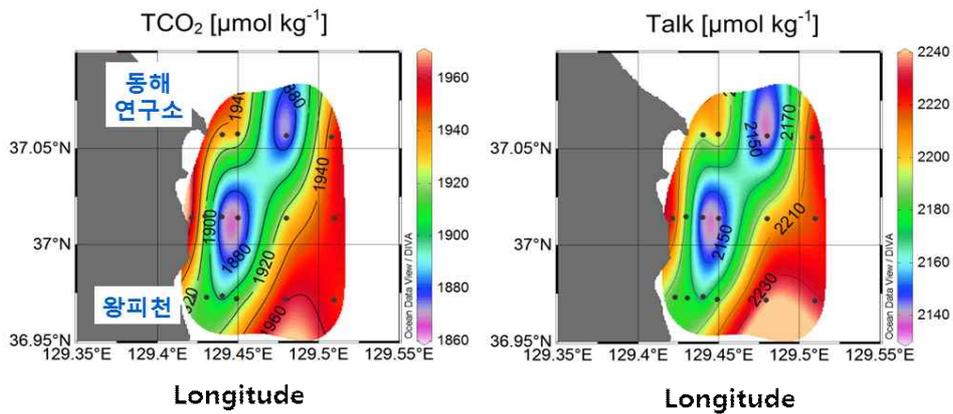


그림 3-1-15. 표층 총 용존무기탄소(TCO₂)와 총 알칼리도(Talk) 분포

분석된 총 용존무기탄소(TCO₂)와 총 알칼리도(Talk) 자료에 열역학적 모델식을 이용하여 해양 표층 이산화탄소 분압(fCO_{2SW})을 추정하였다(그림 3-1-16).

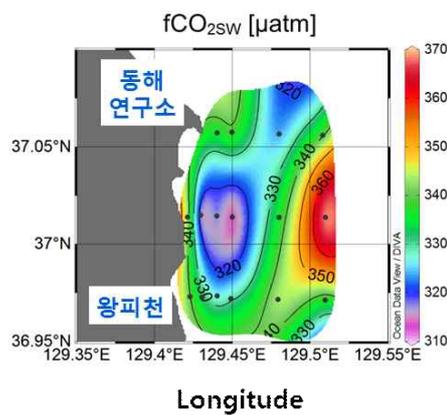


그림 3-1-16. 추정된 해양 표층 이산화탄소 분압(fCO_{2SW})

제 2 절 대기-해양 간 물질 이동 및 수지파악

1. 하천 유입역의 월별 수온, 염분 변동 특성

왕피천 인근 해역의 월별 수온 및 염분의 수직구조를 이해하기 위하여 표 3-2-1 과 같은 3개의 정점에서 2013년 2월부터 2013년 10월까지 약 1개월 간격으로 CTD 조사를 수행하였다.

표 3-2-1. 관측정점

정점	경도(E)	위도(N)	수심(m)
W1	129° 25.04 ′	36° 58.37 ′	11.5
W2	129° 25.35 ′	36° 58.47 ′	18.5
W3	129° 26.03 ′	36° 58.24 ′	41.5

W2 정점의 표층 수온의 경우 2월에 10.0℃에서 8월에 25.4 ℃ 까지 점차 증가하다가 9월에 23.7℃, 10월에 20.9℃로 다시 감소하는 경향을 보이며, 이러한 경향은 W1, W3 정점도 유사하게 나타났다(그림 3-2-1, 그림 3-2-2). W2 정점의 표층(2 m) 염분의 경우 2월 34.19, 3월 34.12, 4월 34.11, 5월 33.97, 6월 31.62, 7월 33.22, 8월 32.90, 9월 31.65, 10월 32.62를 보였다. 즉, W2 정점에서 표층 염분은 2월에서 5월에 갈수록 점차적으로 염분이 낮아지다가 6월에 32 미만으로 급격히 낮아지는 경향을 보이며, 32 미만의 염분은 9월에도 나타났다. 그러나 W2 정점에서 6월과 9월의 염분의 수직구조는 크게 다르다. 즉 정점 W2에서 6월은 32 미만의 저염수가 2 m까지 표층에 매우 얇게 분포하는 반면에, 9월에는 32 미만의 저염수가 12 m까지 비교적 깊게 나타났다. 이러한 염분의 수직 구조는 W1, W3 정점에서도 유사하게 관측되었다. 6월의 표층 저염수는 왕피천으로부터 하천수의 유입의 결과이며, 반면에 9월의 저염수는 고온 저염의 특성으로 보아 대한해협을 통해 동해로 유입하는 대마난류 표층수가 왕피천 인근 해역으로 유입된 결과로 사료된다.

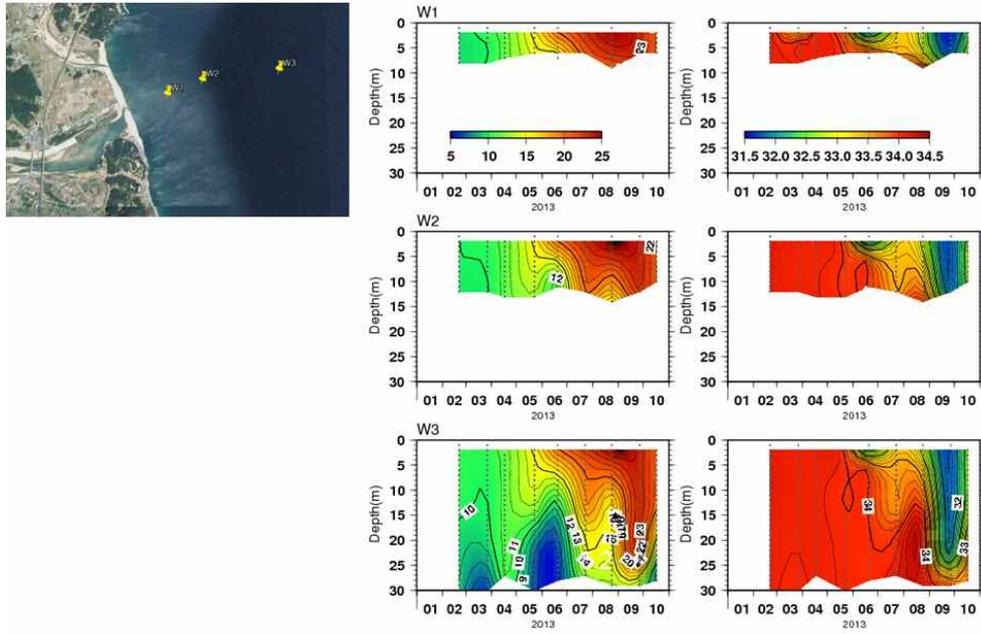


그림 3-2-1. 왕피천 인근 해역 3개 정점에서 월별 수심별 수온 및 염분 분포

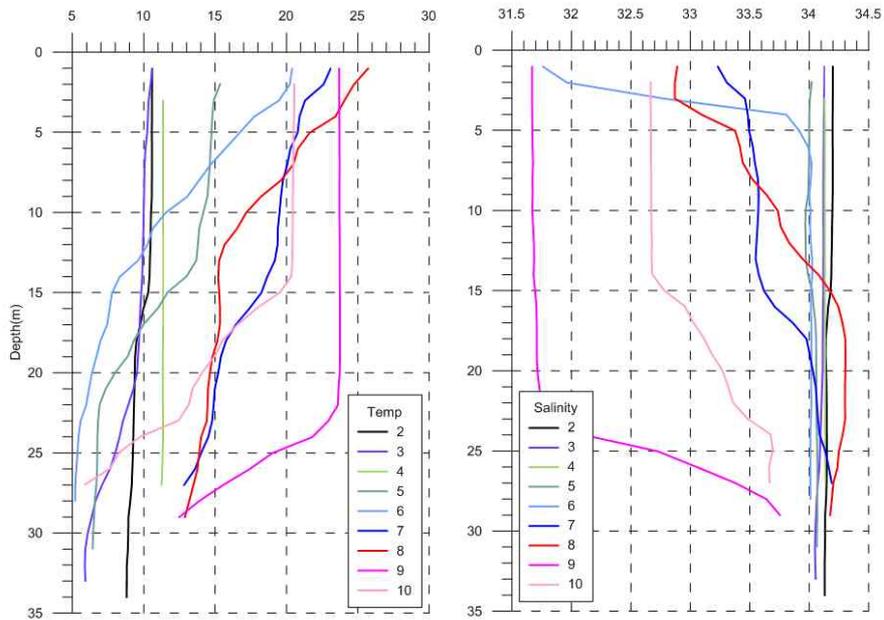


그림 3-2-2. W3 정점에서의 월별 수온 염분 수직구조

그림 3-2-3과 그림 3-2-4는 2013년 6월 20일과 2013년 9월 26일의 죽변 및 왕피천 하천 유입역 정점들에서 수심 2 m에서의 수온 및 염분과 위도 37도 북쪽과 남쪽 단면에서의 수온 및 염분 분포를 나타낸다. 2013년 6월 20일 조사의 경우,

조사 수행 직전인 2013년 6월 18일, 6월 19일에 걸쳐 동해연구소 옥상에 설치된 기상관측장비로부터 각각 일 강수량 75 mm 및 8 mm의 비가 내려 강수에 의한 하천 영향을 파악하기 위해 수행되었다. 바람은 동해연구소 AWS 자료에 따르면 6월 18일~19일에 걸쳐 일평균 0.1~0.3 m/s의 매우 약한 남서풍 혹은 북동풍이 불다가 6월 20일에는 일평균 1.7 m/s의 남풍이 조사해역에 불었다. 2013년 6월 20일의 경우, 표층 염분은 왕피천에서부터 북동 방향으로 주변에 비해 상대적으로 낮은 염분이 관측되었다(그림 3-2-3). 이러한 표층의 34 미만의 저염한 물은 수심 약 5 m 미만의 표층에 분포하였다(그림 3-2-3의 아래쪽).

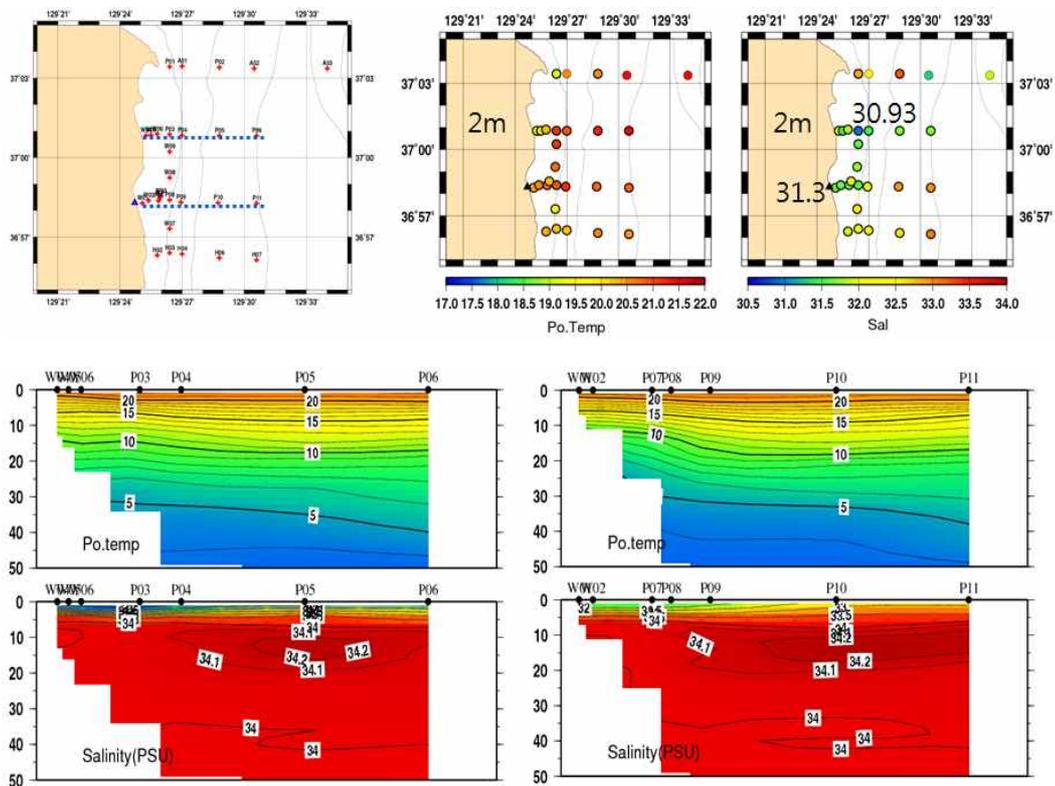


그림 3-2-3. 2013년 6월 20일의 관측정점 및 2 m에서의 수온 및 염분 분포(위), 단면에서의 수심별 수온, 염분 분포(아래)

2013년 9월 26일 조사의 경우, 조사 수행 직전인 2013년 9월 22일에 동해연구소 옥상에 설치된 기상관측장비로부터 일 강수량 19.5 mm, 9월 25일에 일 강수량 3 mm의 비가 내려 강수에 의한 조사 직전에 하천에 의한 영향은 6월 조사에 비교하여 상대적으로 적었다. 바람은 동해연구소 AWS 자료에 따르면 9월 25일에 일평균 3.8 m/s의 강한 북풍이 불었으며, 9월 26일에는 일평균 1.5 m/s의 북서풍이 조사 해역에 불었다. 현장 조사 결과, 왕피천 하구를 중심으로 북동 혹은

남동 방향으로 상대적으로 표층의 저염수가 관측되었으며, 6월 관측에는 34 미만의 저염수가 약 5 m 미만의 표층에 분포하였지만, 9월 조사에서는 수심 20 m까지 잘 혼합된 저염수가 존재하였다(그림 3-2-4).

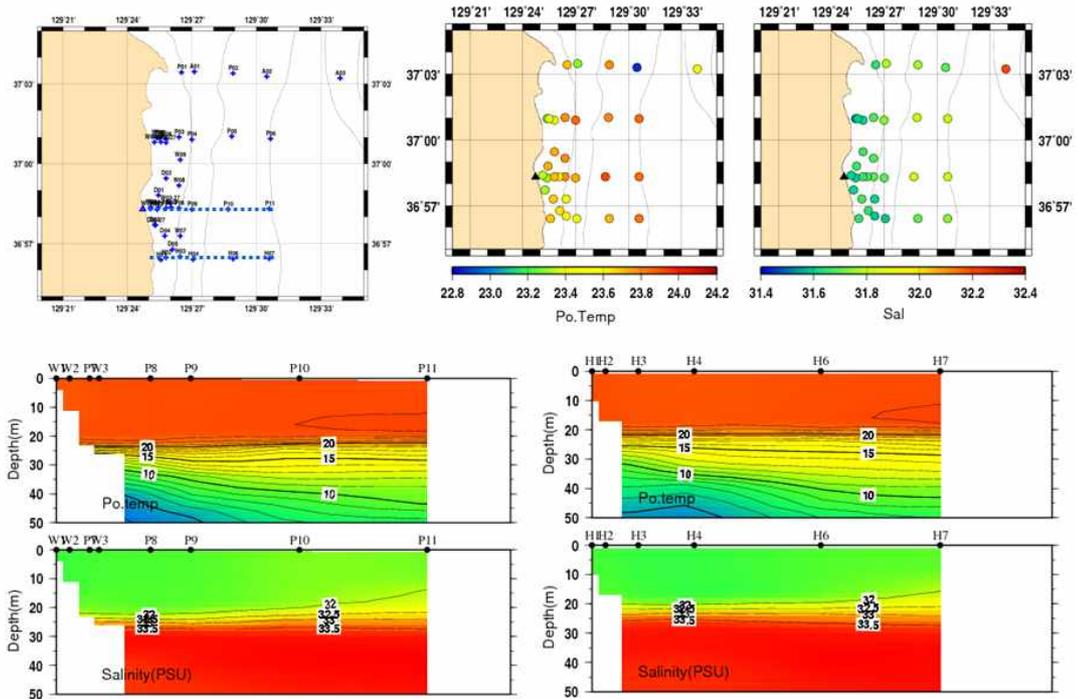


그림 3-2-4. 2013년 9월 26일의 관측정점 및 2 m에서의 수온 및 염분 분포(위), 단면에서의 수심별 수온, 염분 분포(아래)

2013년 10월 19일 조사의 경우, 조사 수행 5일 전인 10월 15일에 동해연구소 옥상에 설치된 기상관측장비로부터 일 강수량 32 mm의 강수가 관측되었다. 바람은 동해연구소 AWS 자료에 따르면 10월 18일에 일평균 1.1 m/s의 남서풍이 불었다가, 10월 19일에는 일평균 2.4 m/s의 남동풍이 조사해역에 불었다. 2013년 10월 19일의 현장 조사 결과 왕피천 하구를 중심으로 주로 남쪽으로 상대적으로 저염수가 관측되었다(그림 3-2-5).

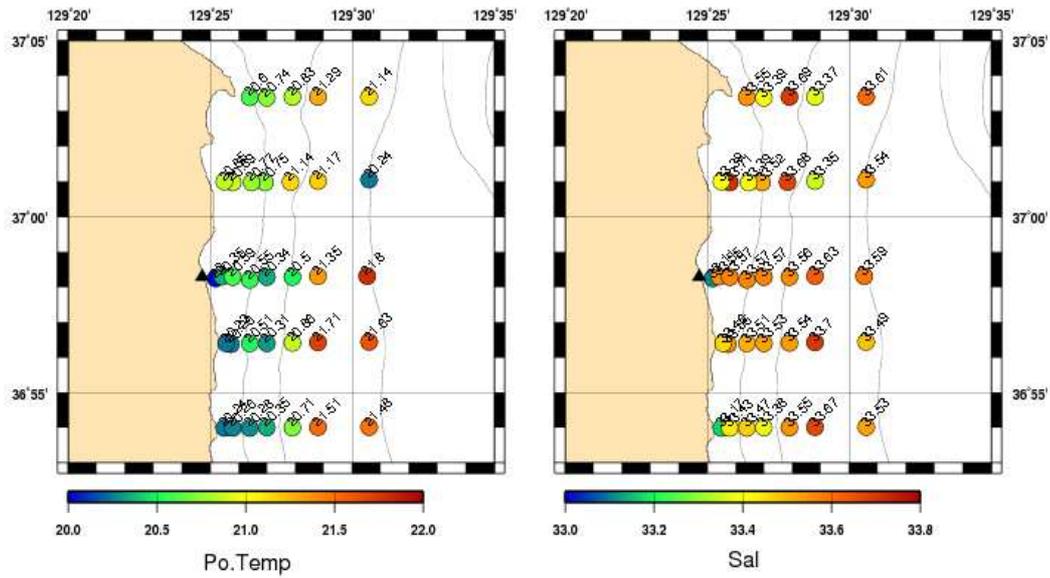


그림 3-2-5. 2013년 10월 19일의 표면에서의 수온 및 염분 분포

2. 하천 유입역의 장기 및 단기 수온 변동 특성

하천 유입역 수온 장기 변동 특성 파악을 위해 국립수산과학원의 죽변 연안정지 관측소에서 1955년 ~ 2012년까지 58년 동안의 표층 수온의 일 정지 관측 자료를 분석하였다(그림 3-2-6). 1955~2012년 동안 표층 수온은 2.78°C/100년의 비율로 수온의 상승을 보였다. 특히, 1990~2012년의 경우 10.46°C/100년의 비율로 수온 상승 경향이 나타나 최근에 수온 상승률이 특히 증가하고 있음을 보였다.

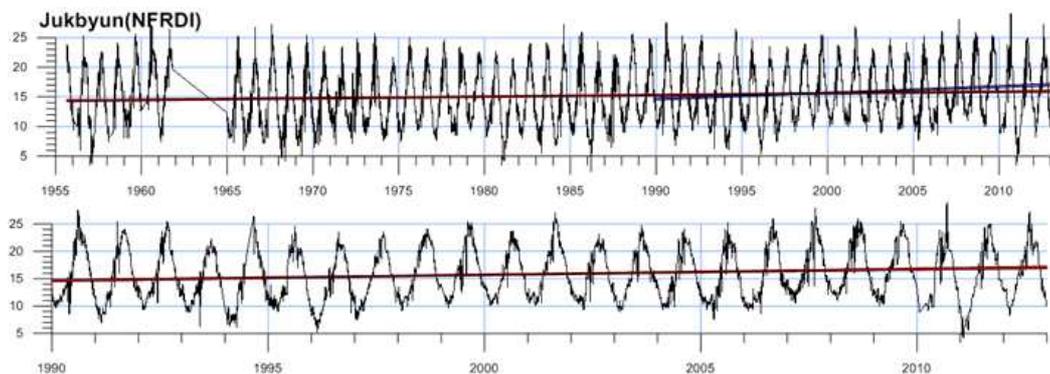


그림 3-2-6. 국립수산과학원 죽변 연안정지 수온관측 자료

하천 유입역의 단주기 해양 물리환경 변동 특성 파악을 위해 왕피천 인근 해역 1개 정점과 동해연구소 인근 해역 1개 정점에서 수온계 계류 조사를 수행하

였다. 표 3-2-2는 수온계 계류 정보를 나타낸다. 그림 3-2-7에서부터 그림 3-2-11은 조사 정점과 각 층에서의 수온 변동, 후포항에서의 조위 변동을 나타낸다. 2개의 정점에서 각각 2일 4시간, 19일 9시간 동안의 계류 조사를 통하여 조사 정점에서의 내부파 발달을 관측할 수 있었다. 관측된 내부파는 약 18분, 6시간 42분, 21시간 25분 주기에서 우세하게 변동하는 경향을 보였으며(그림 3-2-8), 표층 및 해저면 근처보다는 수온약층 근처에 계류된 10 m에서 내부파의 강한 발달특성을 보였다. 내부파에 의해 등온선은 최대 약 10 m 내외의 등온선 변동을 보였다. 또한, 내부파 발달 시기에 해표면은 내부파 발달에 의한 해표면의 거칠기의 강약정도가 반복적으로 나타났다(그림 3-2-9).

표 3-2-2. 수온계 계류 조사 내용

계류정점	왕피천인근	동해연구소 인근
계류좌표	36도 58.534분, 129도 25.887분	37도 4.851분, 129도 25.135분
계류기간	2013/6/19 09:54~6/21 14:13	2013/7/4 09:21~7/23 18:12
전체수심	30 m	30 m
계류장비	SBE56 수온계 (0, 10, 20 m)	SBE56 수온계 (0, 10, 20 m)
관측간격	10초	10초



그림 3-2-7. 조사정점(좌:왕피천 인근, 우: 동해연구소 인근)

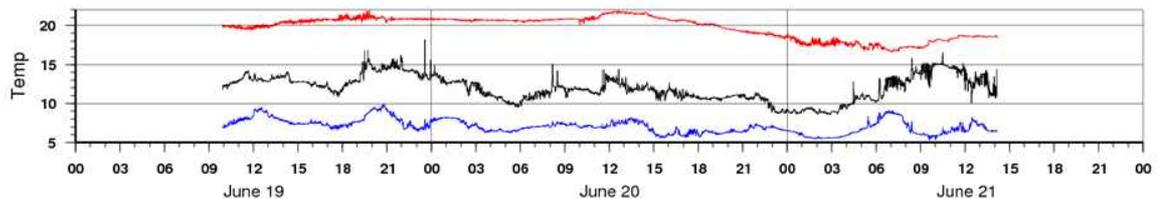


그림 3-2-8. 왕피천 인근 해역의 수심 0(빨강), 10(검정), 20 m(파랑)의 2013/6/19~21 일 동안의 수온변동

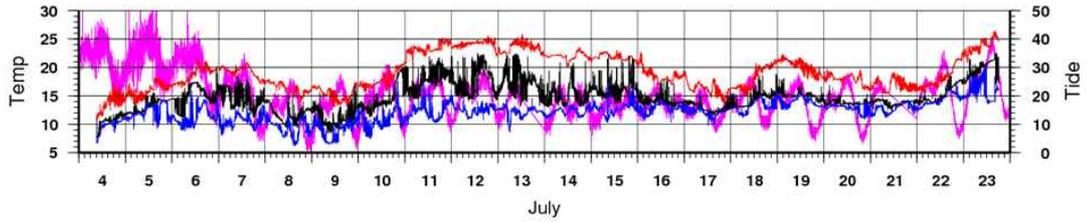


그림 3-2-9. 동해연구소 인근 해역의 수심 0(빨강), 10(검정), 20 m(파랑)의 2013년 7월 4일 ~ 7월 23일 동안의 수온변동과 후포항 조위(분홍색)

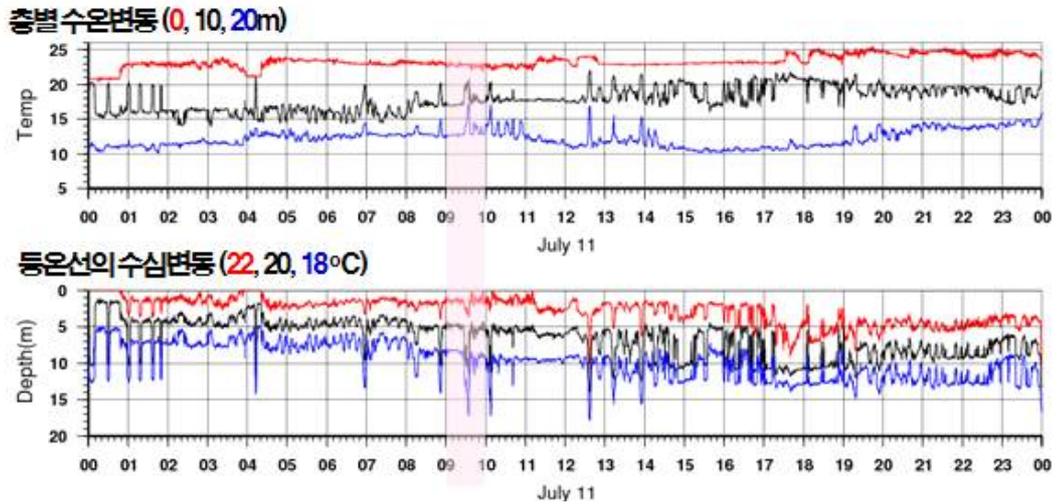


그림 3-2-10. 동해연구소 인근 해역의 수심 0(빨강), 10(검정), 20m(파랑)의 2013년 7월 11일의 수온변동(위 그림)과 18(파랑), 20(검정), 22°C(빨강) 등수온선의 수온 변동(아래 그림)

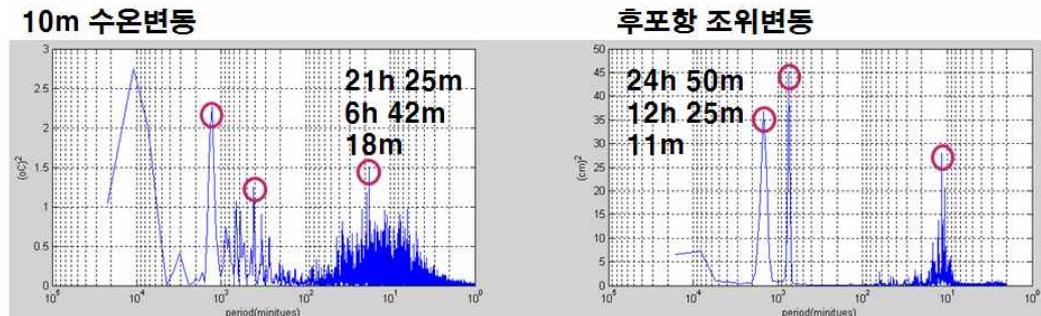


그림 3-2-11. 2013년 7월 4일~7월 23일 동안의 동해연구소 인근 정점에서 수심 10 m의 수온변동(좌측)과 후포항 조위의 스펙트럼 분석 결과



그림 3-2-12. 내부파가 발달된 2013년 7월 11일 09시 29분 40초 의
해표면 모습(동해연구소 전면 해상)

3. 하천유입역 해수 특성 파악

연안 해수 특성을 파악하고 왕피천 하천수 유입에 따른 연안 해수의 변동 특
성 파악을 위해 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10월에 왕피천 입구 3개 정점(W1~3)에 대한
조사를 수행하였다(그림 3-2-13).

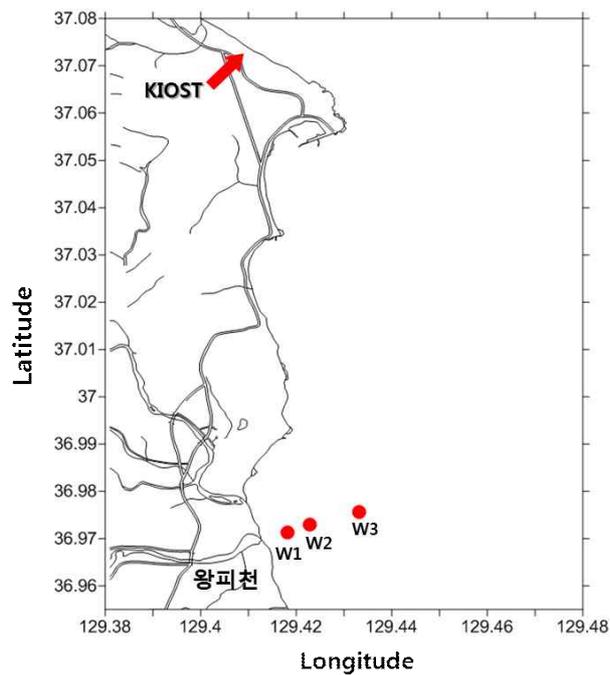


그림 3-2-13. 왕피천 입구 정점도(W1-3)

현재까지 분석이 완료된 영양염 농도 변화를 수온, 염분 변화와 함께 살펴보

면, 수온과 염분이 일정한 2, 3월에는 식물 생산성이 높지 않아 영양염 농도가 유지가 되었고, 3월에서 5월로 가면서 표층 수온이 5°C 이상 상승하면서, 표층 식물 생산성이 증가하여, 영양염인 질산염, 규산염 농도가 크게 감소하였고, 인산염은 거의 고갈되었다. 5월에서 6월로 넘어가면서 강우에 의한 하천수의 유량 증가로 하천수가 연안역에 유입되면서 염분이 2-3정도 감소하였고, 하천수 유입에 의해 질산염, 규산염이 연안역 공급되었음을 농도 증가로 확인함. 인산염의 경우는 하천수 내의 농도도 낮기 때문에 거의 변화가 없었으며, 하천수 유입에 의한 연안역으로의 영양염 공급이 확인이 되었다(그림 3-2-14~15).

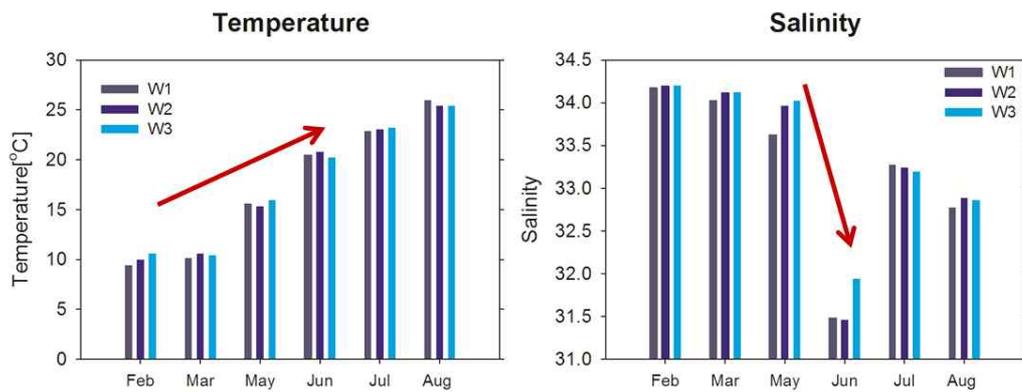


그림 3-2-14. 왕피천 입구 3개 정점(W1-3)에서의 표층 수온과 염분 변화

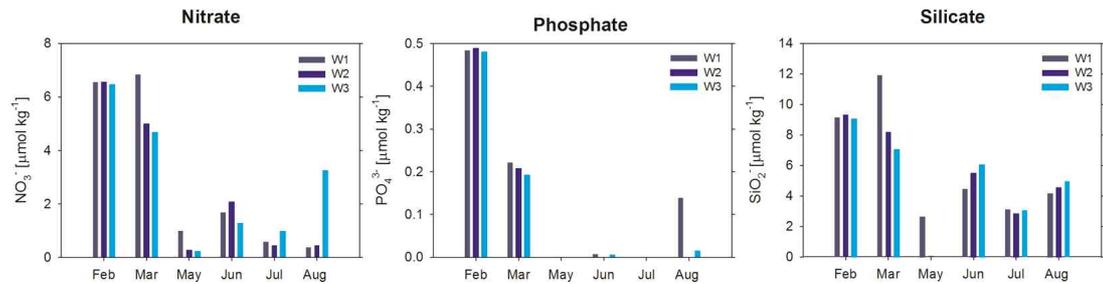


그림 3-2-15. 왕피천 입구 3개 정점(W1-3)에서의 영양염(질산염, 규산염, 인산염) 농도(μmol kg⁻¹)변화

제 3 절 육지-해양 간 물질 이동 및 수지파악

1. 왕피천 개요

경북 해안은 낙동강수계 중 대권역인 ‘낙동강동해’ 유역과 ‘형산강’ 유역에 포함되며, 낙동강동해 유역은 다시 중권역인 ‘왕피천’, ‘영덕오십천’, 그리고 ‘대중천’ 유역으로 구분된다(그림 3-3-1). 중권역인 왕피천 35개의 지방하천으로 나뉘며 왕피천은 이에 속하고 있으며, 왕피천의 하천 특성은 다음 표 3-3-1에 표기하였다.



그림 3-3-1. 낙동강수계

표 3-3-1. 왕피천 하천연장, 유로연장 및 유역 면적

하천연장			유로연장 (km)	유역면적 (km ²)
계 (km)	하천정비기본 계획 수립 (km)	하천정비기본 계획 미수립 (km)		
27	19	8	60.95	513.71

지방2급 하천인 왕피천은 동해 연안의 다른 하천과 마찬가지로 우기에 개방이 되고, 건기에 폐쇄되는 하천이지만, 수질관리를 위하여 인위적으로 개방하고 있다. 2009년 항공사진에서는 북쪽으로 개방되어 있으나 2013년 조사에서는 남쪽으로 개방되어 있다(그림 3-3-2).



그림 3-3-2. 항공사진과 지형조사에서 보이는 왕피천 개방의 방향

표 3-3-2. 왕피천 하천유사량 산정결과(2010년 9월 2일, 3개 측선)

하천명	평균수심 (m)	단면적 (m ²)	평균유속 (m/s)	유량 (m ³ /s)	총소류사량 (t/day)	총부유사량 (t/day)	총유사량 (t/day)
왕피천	0.25	35.23	0.26	9.16	1.00	3.72	4.72

경상북도 연안침식 모니터링 용역결과 보고서(경상북도, 2010)에 따르면 왕피천의 하천유사량 산정결과는 표 3-3-2와 같으며, 왕피천의 총유사량은 4.72 t/day이다. 동해 연안에 위치한 하천은 우기의 개방에 의하여 퇴적물 이동이 많으므로 주기적인 유사량 측정을 통하여 하천에서 유입되는 퇴적물의 분석이 필요하다.

2. 동해연안 유입하천 수위변화 등 기초자료 수집

동해연안 유입하천 수위 변화를 파악하기 위해 한국수자원공사 울진(왕피천) 관측소의 2000~2011년 수위변화 자료를 수집한 후 분석하였으며, 기상청 울진 AWS 측정자료의 2000~2012년 강수량 자료를 수집하였다. 월 평균 수위변동은 7월이 년 중 최대를 보이고 있으며 12월이 연중 최소를 나타냈고, 강수량의 경우 8월에 연중 최대, 12월에 연중 최소를 보였다(그림 3-3-3).

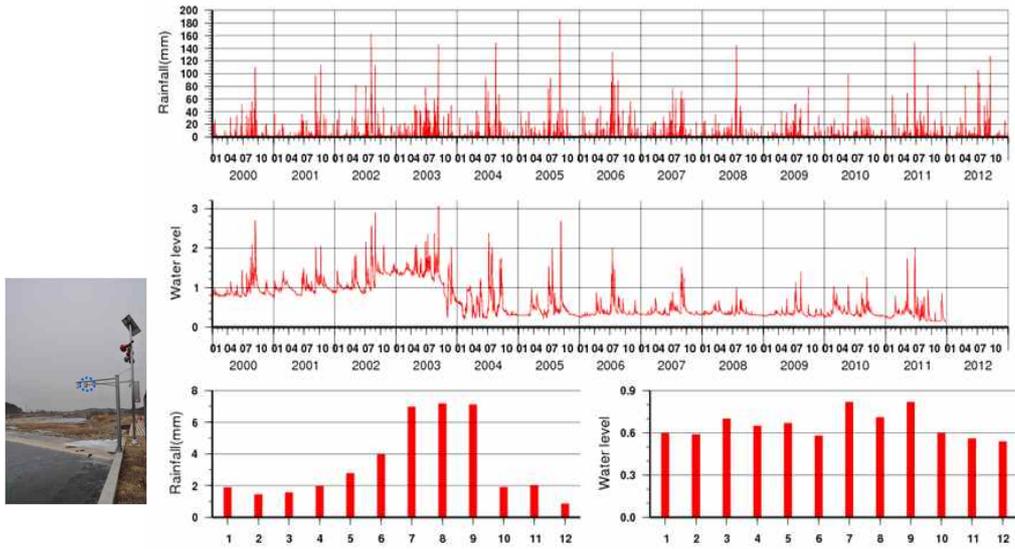


그림 3-3-3. 기상청 울진 AWS에 관측된 일 강수량 및 월평균 강수량과 한국수자원공사 왕피천 일 수위관측 자료 및 월 평균 수위 변동 자료

3. 하천수(왕피천)을 통한 입력물질 특성 파악

2013년 6월 27일과 28일에 하천 유입원인 왕피천과 남대천, 담수 유입역인 하구역에 대한 조사를 수행하였으며, 조사 항목은 수온, 염분, 영양염류, 클로로필-a, 입자성 유기탄소(POC), 부유물질(SS) 등 이었다. 연안 12개, 왕피천 5개, 남대천 1개, 총 18개 정점에 대한 조사 수행 후 시료 분석을 분석하였다(그림 3-3-4).

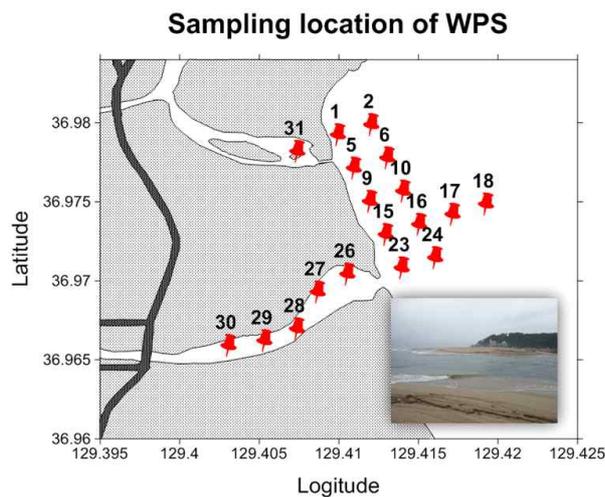


그림 3-3-4. 하천 유입원(왕피천, 남대천)과 하구역 정점

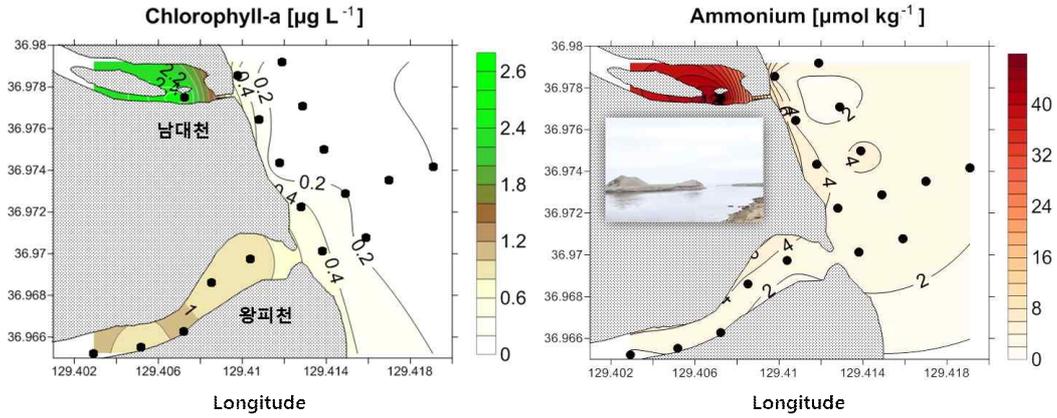


그림 3-3-5. 하천 유입원(왕피천, 남대천)과 하구역에서의 클로로필-a와 암모늄 농도 분포도

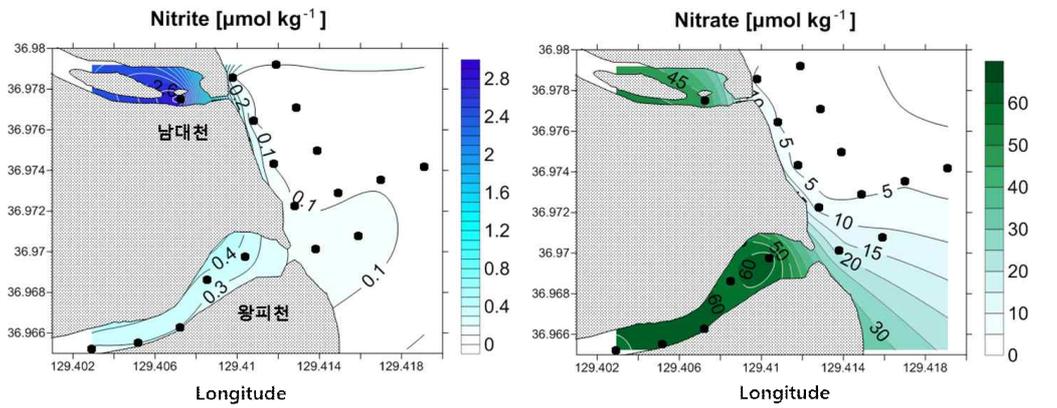


그림 3-3-6. 하천 유입원(왕피천, 남대천)과 하구역에서의 아질산염과 질산염 농도 분포도

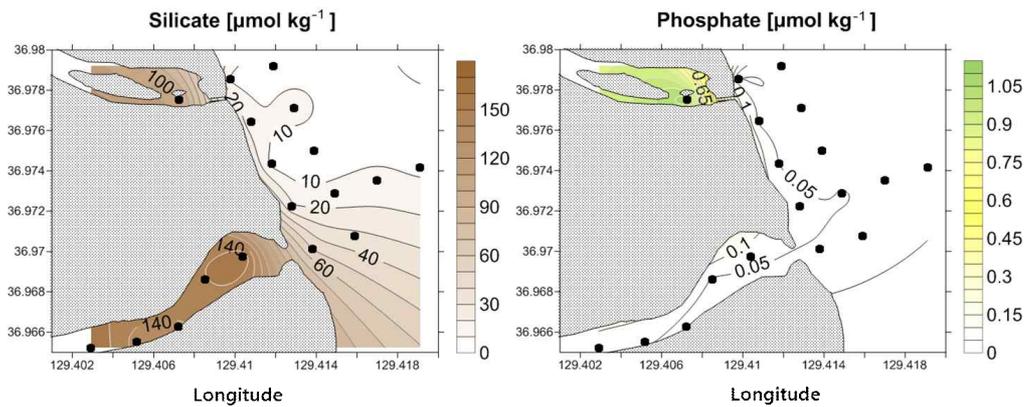


그림 3-3-7. 하천 유입원(왕피천, 남대천)과 하구역에서의 규산염과 인산염 농도 분포도

남대천은 유속이 낮고, 하구역과의 교환이 거의 이루어지지 않아, 유기물 분해가 활발히 일어나고 있는 것으로 보이며, 왕피천 하수는 영양염 중 질산염과 규산염의 농도가 매우 높고, 인산염은 고갈 수준인 것으로 나타났다(그림 3-1-5~7).

4. 왕피천 하구역 연안지형 조사

육지와 해양간 퇴적물 이동량을 파악하기 위하여 수행해야하는 작업은 현재의 연안지형을 조사하는 것이다. 이를 기초로 지형변화를 분석하여 하천으로부터의 퇴적물 이동에 대한 양을 추정할 수 있다. 경상북도 울진군에 위치한 조사지역인 왕피천 하구역 부근의 지형변화 특성을 분석하기 위하여 2013년 6월과 9월 2차례에 걸쳐 해빈지형과 해저지형을 조사하였다(그림 3-3-8~9).

연안지형을 조사하기 위하여 왕피천 부근 해수욕장에 RTK-GPS 기준점을 설치하였으며, RTK-GPS backpack 시스템을 이용하여 해빈지형조사를 수행하였다. 해저지형조사는 RTK-GPS 시스템, 시스템 제어 및 자료저장 노트북, 자세보정장치 및 음향측심기를 소형보트에 장착하여 수행하였으며, RTK-GPS 시스템에 얻어진 수직정보를 활용하는 RTK tide 보정법을 이용하여 해빈지형값과 같은 수직기준점을 활용할 수 있도록 하였다. 이 방법은 따로 인근의 조위관측소 값을 이용하거나 조위계를 설치하지 않고 해저지형값을 획득할 수 있는 방법이다.

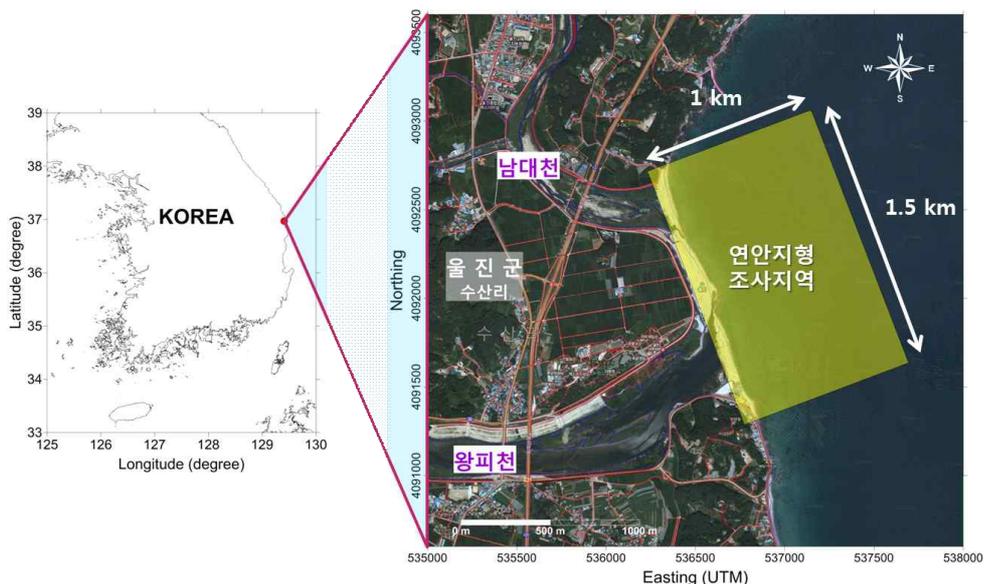
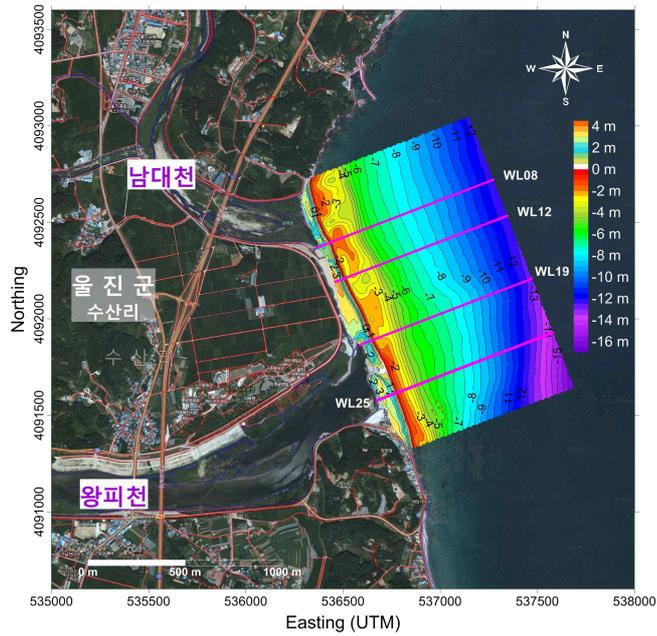
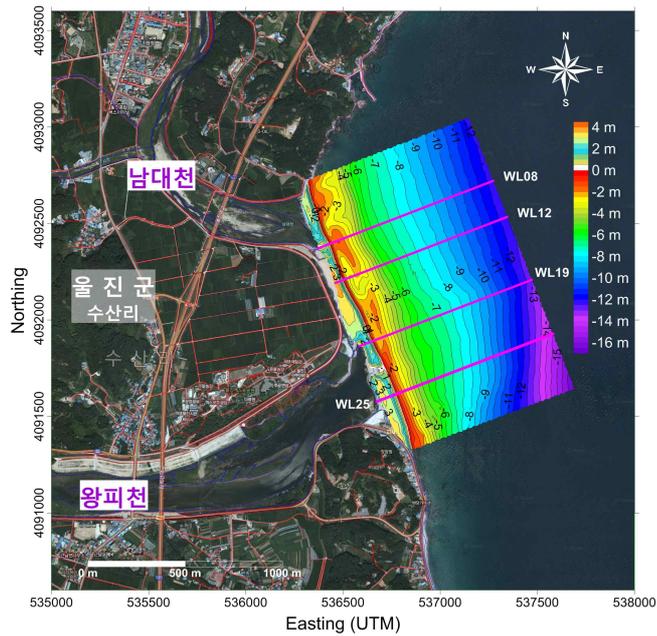


그림 3-3-8. 연안지형 조사지역

2013년 6월과 9월에 조사한 해빈지형과 해저지형 결과는 그림 3-1-42의 연안 지형도에 나타내었다. 해저지형조사 결과, 조사지역 북서쪽에 비하여 남동쪽을 갈수록 해저지형이 급해지는 특성을 가지고 있다. 수심 11 ~ 13 m의 지형기울기를 보면 조사지역 북쪽에 위치한 측선은 0.64°인 반면에 남쪽에 위치한 측선은 0.80°의 기울기를 가지고 있다.



(a) 2013년 6월



(b) 2013년 9월

그림 3-3-9. 왕피천 하구 부근의 해저지형도

2013년 6월과 2013년 9월 지형조사 변화를 보면, 그림 3-3-10과 같이 수심 4.5 m 이내에서 최대 1 m 이내의 수심변화가 있다. 측선의 단면도를 보면, 수심 약 4 m 부근의 바깥쪽 모래가 해안선 쪽으로 이동한 것이 관측된다(그림 3-3-11).

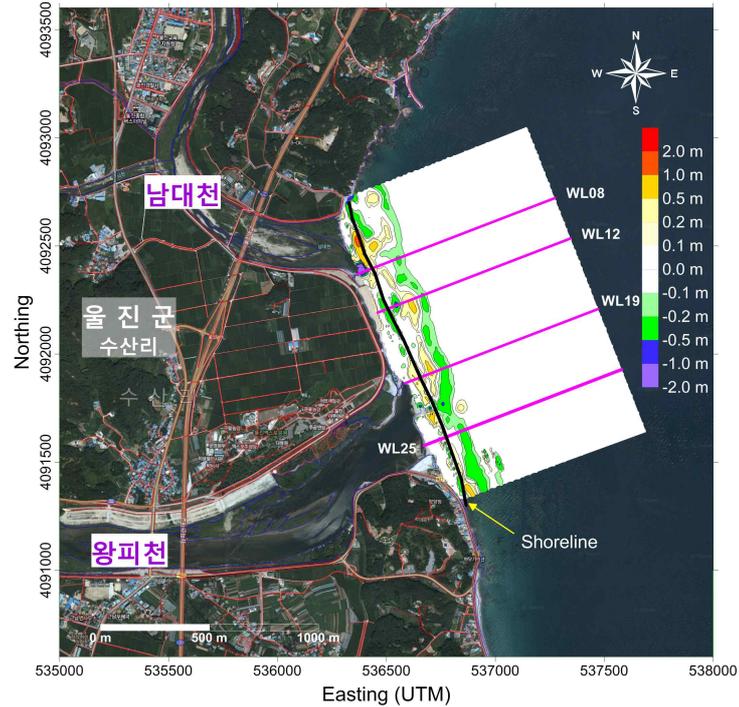


그림 3-3-10. 왕피천 하구 부근의 지형

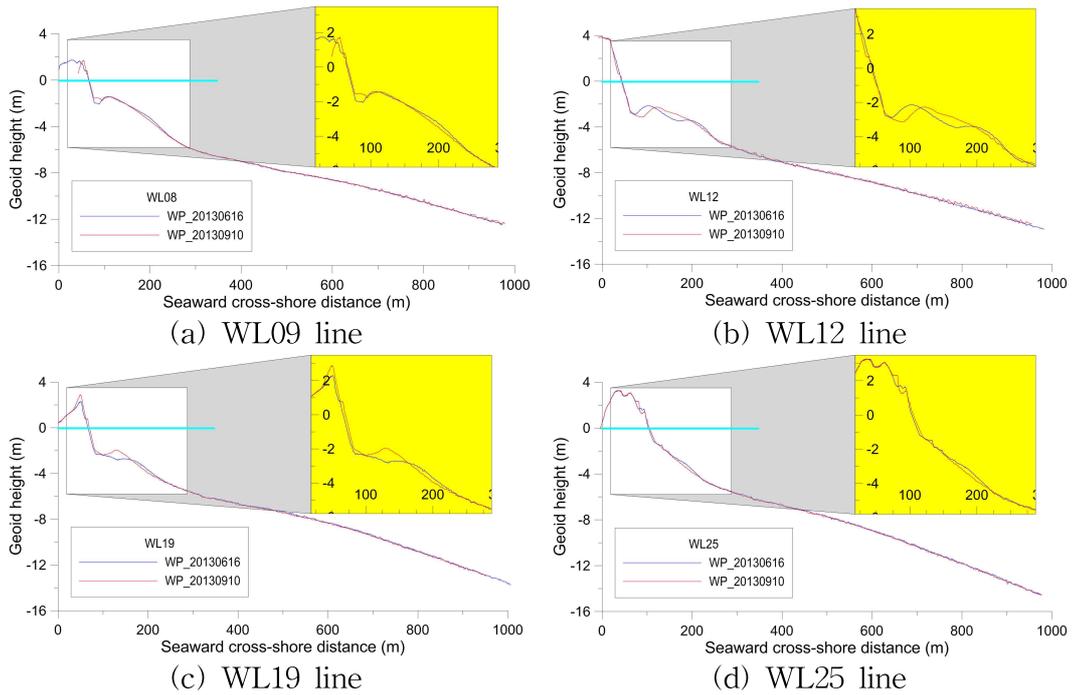


그림 3-3-11. 왕피천 하구 부근의 주요 지형단면도

5. 왕피천 하천지형조사

왕피천 하구역의 지형조사와 함께 왕피천에서의 하천 퇴적물 이동 특성을 파악하기 위하여 하천지형조사를 실시하였다. 해저지형조사 마찬가지로 소형보트에 RTK-GPS와 음향측심기를 이용하여 2013년 6월에 10 측선에 대하여 왕피천 하천지형조사를 실시하였다(그림 3-3-12). 수심이 낮아 소형보트로 접근이 불가능한 수심 0.7 m 이내의 지역에서는 RTK-GPS backpack 시스템을 이용한 직접 조사하였다.

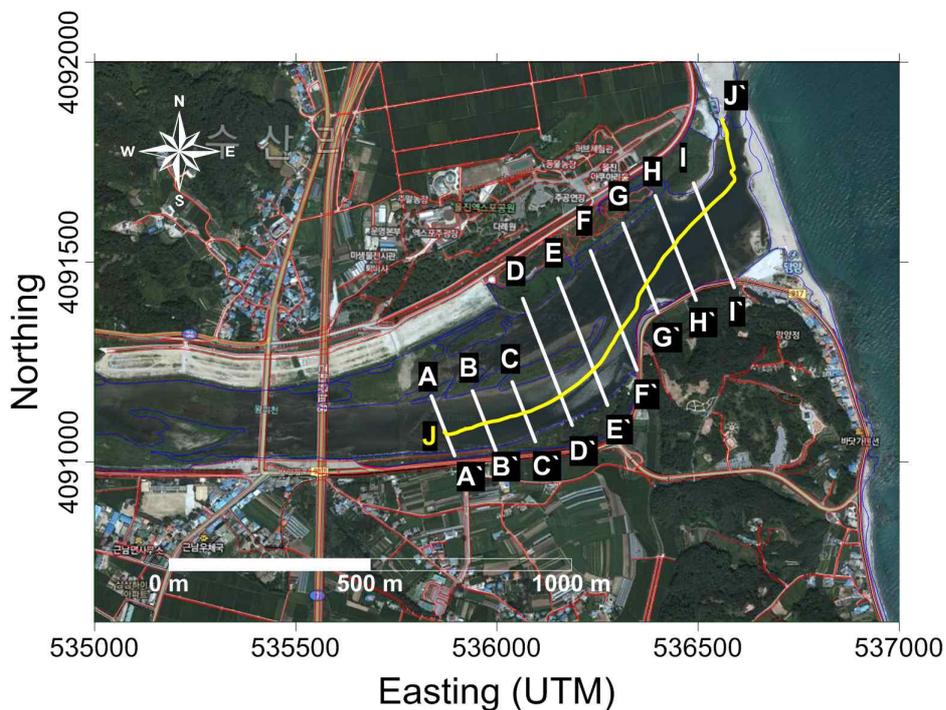


그림 3-3-12. 왕피천 내부의 하천지형 단면조사 위치도

왕피천 내부의 하천지형을 조사하기 위하여 초기 계획한 그림 3-3-12의 측선도를 따라 측정한 수심단면도는 3-3-13에 도시하였으며, 최대수심, 강폭, 단면적은 표 3-3-3에 표기하였다. A ~ E 측선의 경우 최대 수심은 2 m 이내이며, G 측선에서 하구역까지 3.5 m 이상의 수심을 가진다. J측선의 경우 최대 수심은 5.7 m이며, 강폭과 단면적은 H측선이 각각 250 m와 465 m로 가장 높은 값을 가진다.

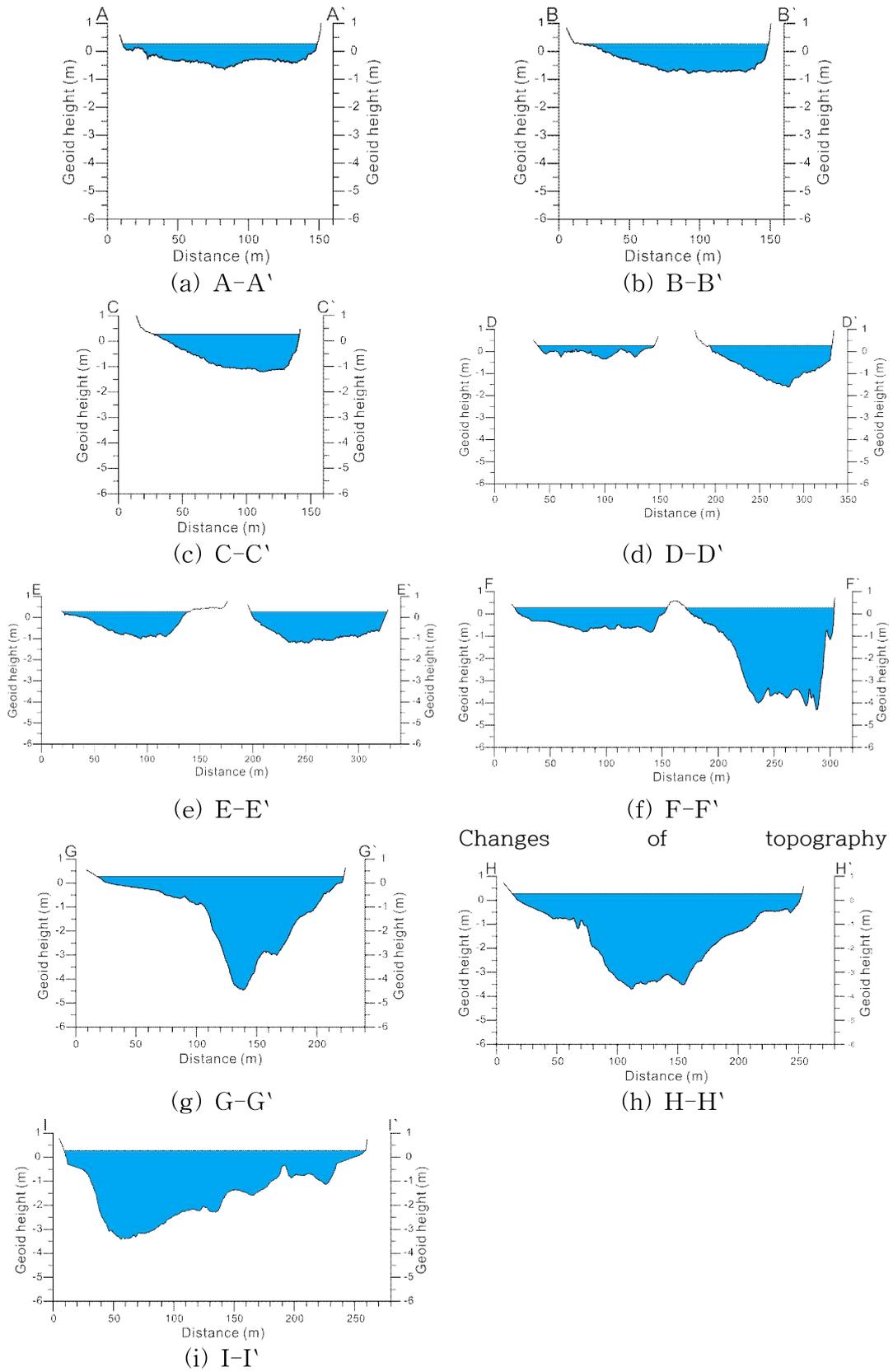
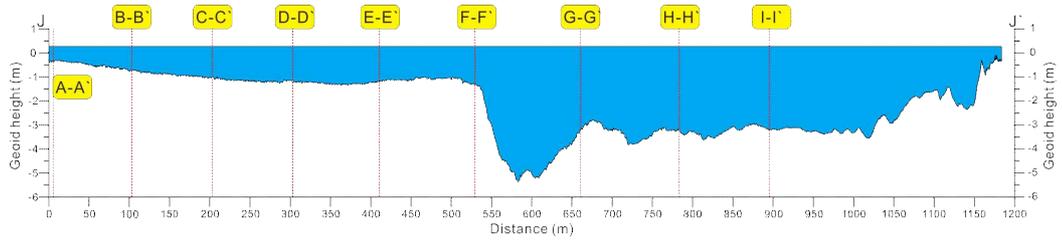


그림 3-3-13. 왕피천 내부의 하천지형 단면도(계속)



(j) J-J'

그림 3-3-13. 왕피천 내부의 하천지형 단면도

표 3-3-3. 하천단면도의 최대수심, 강폭 및 단면적

측선	최대수심(m)	강폭(m)	단면적(m ²)
A-A'	0.93	138	78
B-B'	0.87	137	98
C-C'	1.49	114	114
D-D'	1.90	(북)105 / (남)111	35/125
E-E'	1.49	(북)121 / (남)129	90/140
F-F'	4.58	(북)137 / (남)133	105/346
G-G'	4.75	205	345
H-H'	3.99	240	476
I-I'	3.69	250	465
J-J'	5.70	-	-

왕피천 입구에서 조사한 10개의 하천 단면도를 이용하여 하천 지형도를 작성하였다(그림 3-3-14).

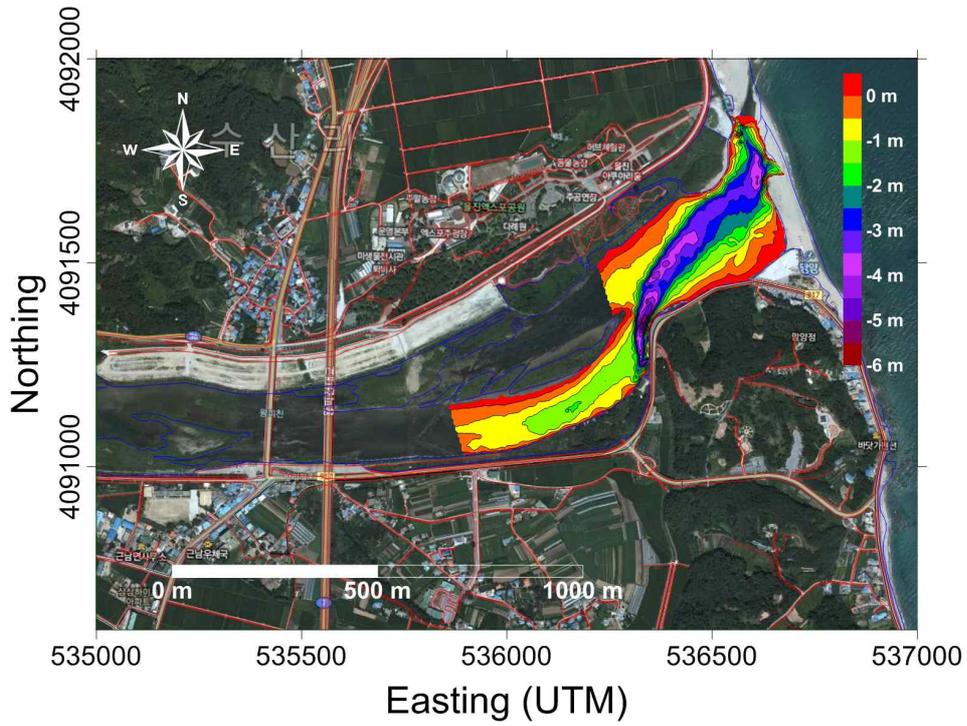


그림 3-3-14. 왕피천 내부의 하천지형도

2차원 하천수심도를 보면 E 측선과 F 측선 사이에서 수심 3 ~ 6 m로 급격이 깊어지는 지역이 있으며, 수심 3 m 이상의 물길은 2009년 항공사진의 개방된 부분까지 연결되어 있다. 이는 하천 정비공사로 인한 구조물과 우기의 빠른 유속에 의한 하천의 침식작용에 기인한 것으로 판단된다. 그림 3-3-15는 왕피천 입구의 하천 지형도를 3차원으로 도시한 것이다.

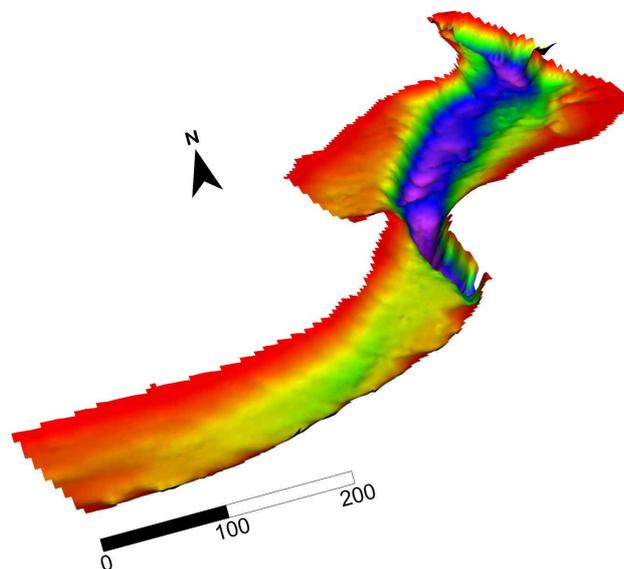
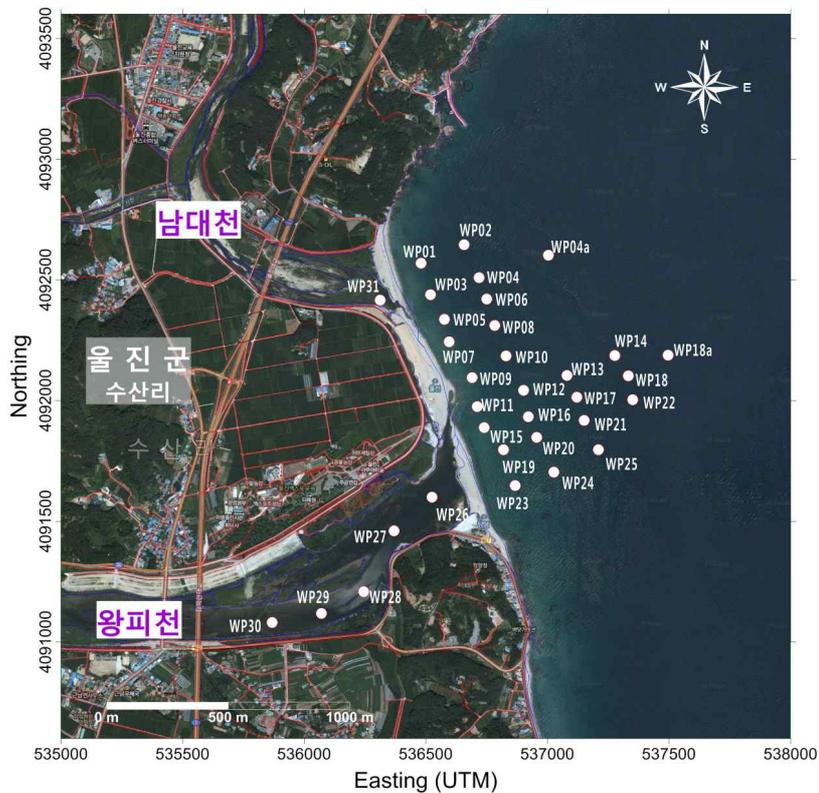


그림 3-3-15. 왕피천 내부의 3차원 하천지형도

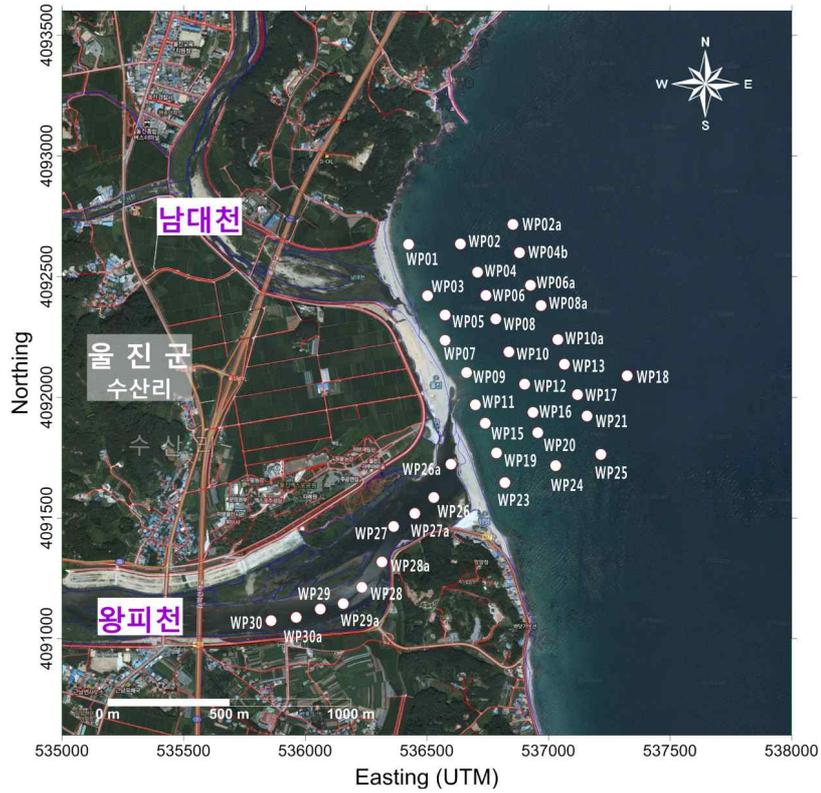
6. 하천 및 해양의 표층퇴적물 특성 분석

하천과 하천부근 해양의 표층퇴적물 채취 및 분석을 통하여 하천으로부터 해양까지의 퇴적물 특성 분포를 파악하고자 하였다. 2013년 6월과 9월에 그림 3-3-16과 같은 위치에서 퇴적물 채집기를 이용하여 표층퇴적물을 채취하였다. 외해의 세립퇴적물의 범위 변화를 보고자 2013년 9월(그림 3-3-16(b))은 6월(그림 3-3-16(a))에 비하여 외해 쪽의 시료를 더 채취하였으며, 왕피천 내의 퇴적물도 5개 정점에서 10개 정점으로 더 늘려서 채취하였다. 2013년 6월에 채취된 표층퇴적물의 일부에 대하여 중금속 분석을 실시하였다.



(a) 2013년 6월

그림 3-3-16. 왕피천 하구지역의 표층퇴적물 채취 위치도



(b) 2013년 9월

그림 3-3-16. 왕피천 하구지역의 표층퇴적물 채취 위치도(계속)

2013년 6월과 9월의 입도분석 결과는 표 3-3-4와 표 3-3-5에 표시하였다. 2013년 6월의 표층퇴적물은 전체적으로 $-0.57 \sim 3.17$ phi(평균 1.70 phi)의 평균 입도분포를 가진다. 남대천에서 채취한 퇴적물은 -0.57 phi로 평균입도가 가장 컸다. 왕피천의 하천 퇴적물은 $0.53 \sim 1.54$ phi(평균 1.09 phi)의 평균입도 분포를 가지며, 해양 표층퇴적물은 이보다 세립한 $1.04 \sim 3.17$ phi(평균 1.90 phi) 평균입도 특성을 가진다(표 3-3-4). 2013년 9월의 표층퇴적물은 전체적으로 $0.87 \sim 3.35$ phi(평균 1.74 phi)의 평균입도분포를 가진다. 왕피천의 하천 퇴적물은 $0.87 \sim 1.77$ phi(평균 1.29 phi)의 평균입도 분포를 가지며, 해양 표층퇴적물은 이보다 세립한 $1.11 \sim 3.35$ phi(평균 1.90 phi) 평균입도 특성을 가진다(표 3-3-5).

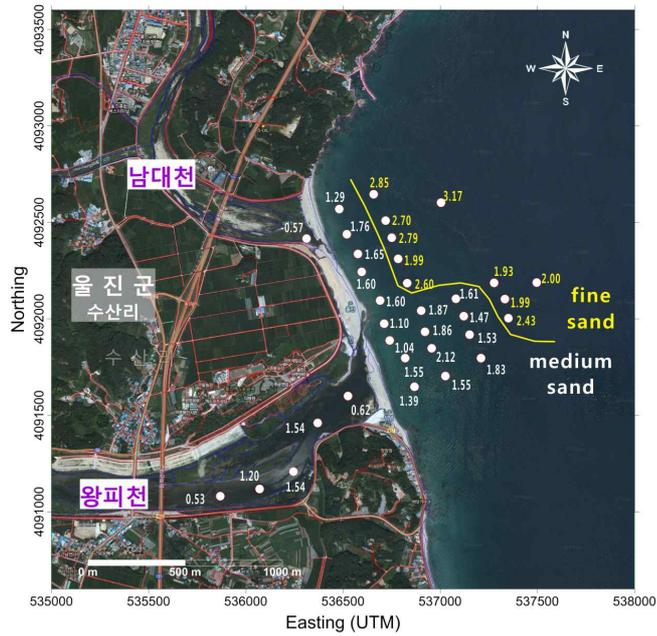
표 3-3-4. 표층퇴적물 입도분석 결과(2013년 6월)

St.	Sediment type	Composition (%)				Statistical Parameters (phi)			
		Gra.	Sand	Silt	Clay	Mean	Sorting	Skew.	Kurt.
WP01	(g)S	1.98	97.92	0.10	0.00	1.29	0.82	-1.07	5.53
WP02	S	0.00	98.00	2.00	0.00	2.85	0.63	-0.38	3.28
WP03	S	0.00	99.98	0.02	0.00	1.76	0.57	-0.37	3.39
WP04	S	0.00	98.67	1.33	0.00	2.70	0.85	-0.57	2.58
WP04a	S	0.00	94.56	5.44	0.00	3.17	0.58	-0.65	4.18
WP05	S	0.00	99.97	0.03	0.00	1.65	0.58	-0.46	3.40
WP06	S	0.00	98.93	1.07	0.00	2.79	0.63	-0.48	3.24
WP07	S	0.00	99.96	0.04	0.00	1.60	0.52	-0.10	3.82
WP08	S	0.00	99.81	0.19	0.00	1.99	0.74	0.07	2.47
WP09	S	0.00	99.97	0.03	0.00	1.60	0.53	-0.48	3.98
WP10	S	0.00	98.50	1.50	0.00	2.60	0.65	-0.53	3.80
WP11	S	0.00	100.00	0.00	0.00	1.10	0.42	-0.08	3.98
WP12	S	0.00	99.89	0.11	0.00	1.87	0.70	0.19	2.76
WP13	S	0.00	99.00	1.00	0.00	1.61	0.68	0.56	4.78
WP14	S	0.00	99.09	0.91	0.00	1.93	0.66	0.08	5.00
WP15	(g)S	0.47	99.37	0.17	0.00	1.04	0.46	0.30	11.16
WP16	S	0.00	99.89	0.11	0.00	1.86	0.57	-0.09	3.89
WP17	S	0.00	99.92	0.08	0.00	1.47	0.58	0.32	3.65
WP18	S	0.00	99.81	0.19	0.00	1.99	0.62	0.02	2.87
WP18a	S	0.00	98.45	1.55	0.00	2.00	0.68	0.43	3.75
WP19	(g)S	0.33	99.59	0.08	0.00	1.55	0.63	-0.59	4.94
WP20	S	0.00	99.90	0.10	0.00	2.12	0.54	-0.56	4.33
WP21	S	0.00	99.36	0.64	0.00	1.53	0.73	0.54	3.72
WP22	S	0.00	95.74	4.26	0.00	2.43	0.71	0.35	3.49
WP23	(g)S	0.17	99.65	0.18	0.00	1.39	0.60	0.19	5.34
WP24	S	0.00	98.01	1.99	0.00	1.55	0.85	0.74	4.00
WP25	S	0.00	97.42	2.58	0.00	1.83	0.76	0.76	4.26
WP26	gS	22.80	71.13	6.07	0.00	0.62	1.99	-0.22	2.25
WP27	(g)S	1.32	97.67	1.00	0.00	1.54	0.74	-1.00	9.45
WP28	(g)S	0.46	98.83	0.71	0.00	1.54	0.78	-0.63	4.74
WP29	(g)S	0.98	98.72	0.30	0.00	1.20	0.61	-0.94	9.08
WP30	(g)S	2.46	97.53	0.02	0.00	0.53	0.68	-0.63	3.58
WP31	gS	26.16	73.84	0.01	0.00	-0.57	0.95	-0.59	3.00

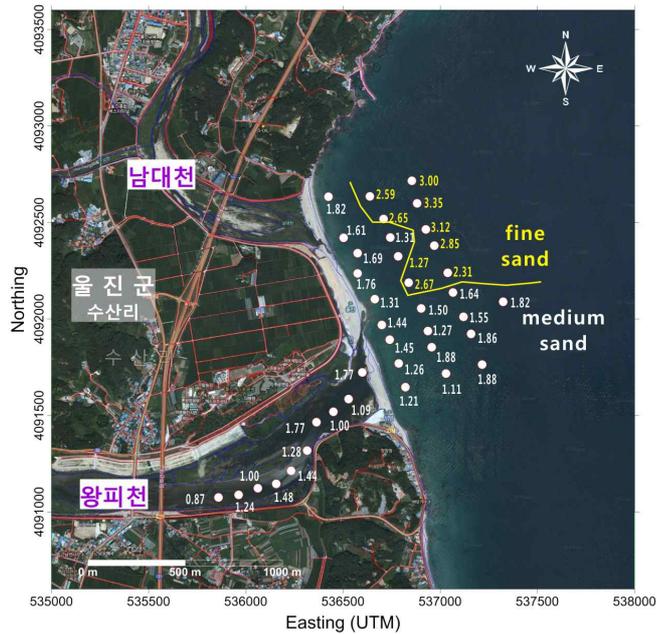
표 3-3-5. 표층퇴적물 입도분석 결과(2013년 9월)

St.	Sediment type	Composition (%)				Statistical Parameters (phi)			
		Gra.	Sand	Silt	Clay	Mean	Sorting	Skew.	Kurt.
WP01	S	0.00	99.96	0.04	0.00	1.82	0.56	-0.35	3.59
WP02	S	0.00	97.04	2.96	0.00	2.59	0.73	-0.18	3.55
WP02a	S	0.00	94.04	5.96	0.00	3.00	0.66	-0.66	5.05
WP03	S	0.00	99.98	0.02	0.00	1.61	0.64	-0.43	3.45
WP04	S	0.00	98.65	1.35	0.00	2.65	0.69	-0.28	2.82
WP04b	zS	0.00	76.07	23.93	0.00	3.35	0.71	-0.58	3.53
WP05	S	0.00	99.97	0.03	0.00	1.69	0.60	-0.64	3.53
WP06	S	0.00	99.92	0.08	0.00	1.31	0.84	0.45	2.96
WP06a	S	0.00	92.80	7.20	0.00	3.12	0.61	-0.45	3.99
WP07	S	0.00	99.96	0.04	0.00	1.76	0.58	-0.42	3.26
WP08	(g)S	0.08	99.82	0.10	0.00	1.27	0.81	0.22	3.01
WP08a	S	0.00	97.90	2.10	0.00	2.85	0.66	-0.62	3.82
WP09	S	0.00	99.96	0.04	0.00	1.31	0.50	-0.62	4.88
WP10	S	0.00	99.25	0.75	0.00	2.67	0.53	-0.31	3.98
WP10a	S	0.00	99.26	0.74	0.00	2.31	0.79	-0.10	2.38
WP11	S	0.00	99.95	0.05	0.00	1.44	0.53	-0.73	4.89
WP12	S	0.00	99.95	0.05	0.00	1.50	0.59	0.26	3.59
WP13	(g)S	0.09	99.83	0.08	0.00	1.64	0.60	-0.22	4.04
WP15	S	0.00	99.97	0.03	0.00	1.45	0.48	-0.57	5.18
WP16	(g)S	1.28	98.64	0.08	0.00	1.27	0.84	-0.61	4.12
WP17	S	0.00	99.87	0.13	0.00	1.55	0.60	0.11	3.86
WP18	S	0.00	99.86	0.14	0.00	1.82	0.61	0.17	2.99
WP19	(g)S	0.93	99.05	0.02	0.00	1.26	0.67	-1.22	5.58
WP20	(g)S	0.95	98.92	0.13	0.00	1.88	0.82	-1.50	6.21
WP21	S	0.00	99.90	0.10	0.00	1.86	0.62	-0.08	2.91
WP23	(g)S	1.60	98.39	0.02	0.00	1.21	0.78	-1.62	8.26
WP24	(g)S	0.57	99.29	0.14	0.00	1.11	0.86	-0.10	2.85
WP25	S	0.00	99.82	0.18	0.00	1.88	0.64	-0.11	3.19
WP26	gS	6.57	89.93	3.49	0.00	1.09	1.29	-0.63	5.03
WP26a	zS	0.00	86.70	13.30	0.00	1.77	1.22	0.92	2.87
WP27	(g)S	0.74	93.92	5.34	0.00	1.77	0.82	0.60	9.41
WP27a	(g)S	4.96	91.44	3.59	0.00	1.00	1.12	0.06	5.28
WP28	(g)S	2.75	97.15	0.10	0.00	1.44	0.91	-1.46	5.66
WP28a	(g)S	1.72	98.15	0.12	0.00	1.28	0.86	-1.08	4.80
WP29	gS	5.77	94.21	0.02	0.00	1.00	0.99	-2.37	9.08
WP29a	(g)S	1.78	98.14	0.08	0.00	1.48	0.73	-1.96	8.82
WP30	(g)S	0.26	99.71	0.03	0.00	0.87	0.50	-0.53	5.45
WP30a	(g)S	0.22	99.75	0.03	0.00	1.24	0.39	-0.99	11.37

2013년 6월과 9월의 표층퇴적물의 분포특성을 알아보기 위하여 왕피천 하구역의 표층퇴적물 평균입도값을 지도에 도시하였다(그림 3-3-17). 표층퇴적물 평균입도는 6월에 왕피천 하구부분에서만 중립질의 모래였으나 9월에는 외해까지 분포가 확대되는 모습을 볼 수 있다. 이는 장마철의 왕피천 개방에 따라 세립질의 퇴적물이 외해로 이동했을 가능성이 있음을 보여준다.



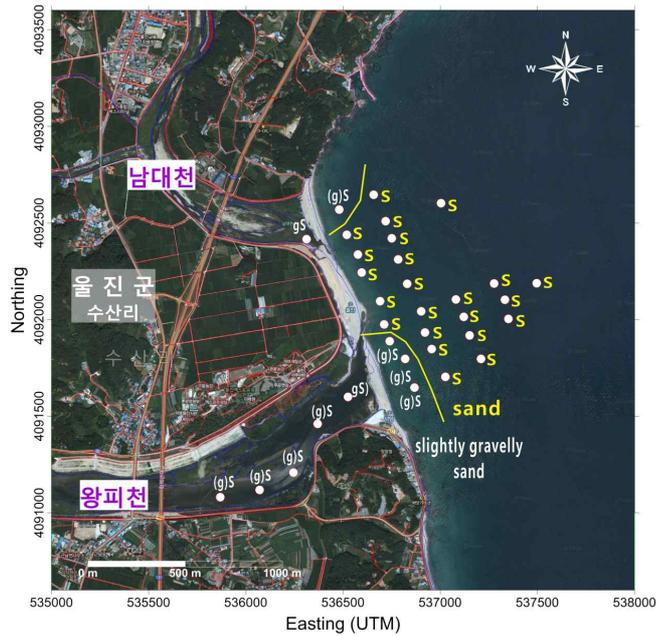
(a) 2013년 6월



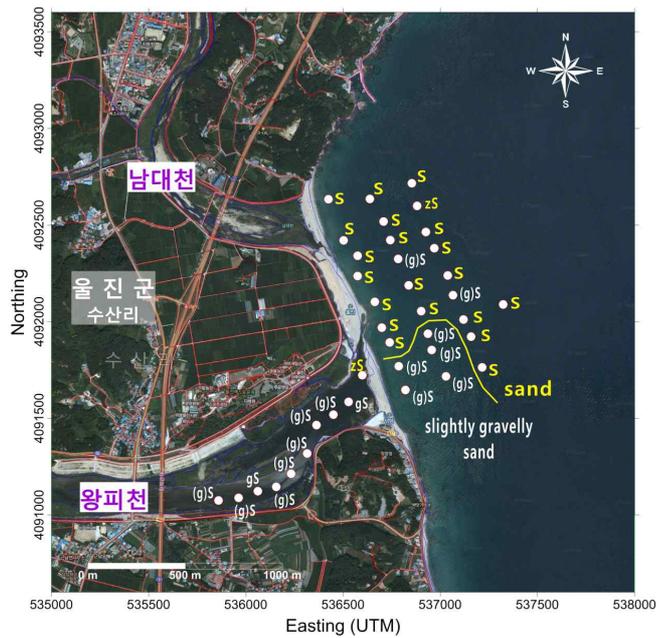
(b) 2013년 9월

그림 3-3-17. 왕피천 하구지역 표층퇴적물의 평균입도(phi) 분포

퇴적상 또한 6월에 왕피천 하구부분에서만 약간 자갈 섞인 모래였으나 9월에는 외해까지 분포가 확대되어 나타난다(그림 3-3-18).



(a) 2013년 6월



(b) 2013년 9월

그림 3-3-18. 왕피천 하구지역 표층퇴적물의 퇴적상 분포

2013년 6월 퇴적물 중 그림 3-3-19 정점의 퇴적물에 대하여 중금속 함량, 총 유기탄소량 그리고 총질소량 분석을 실시하였다(표 3-3-6).

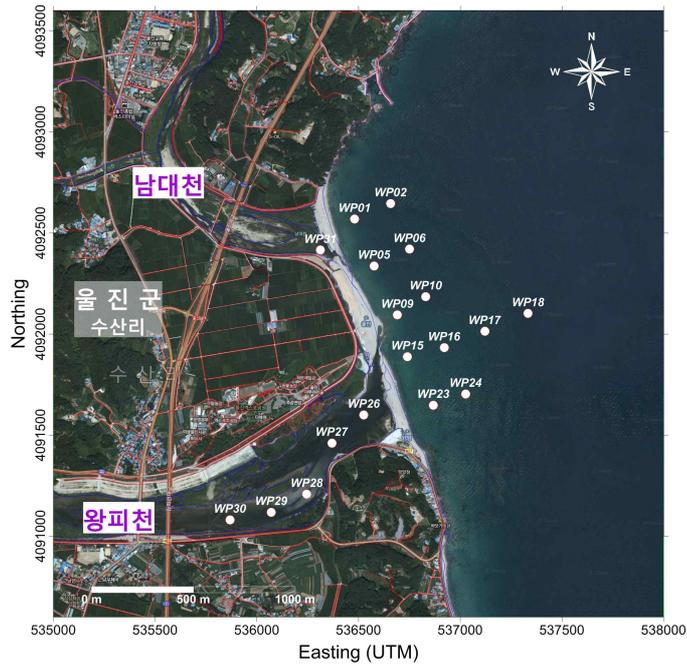


그림 3-3-19. 중금속함량, 총유기탄소량 그리고 총질소량 분석 정점

표 3-3-6. 2013년 6월 퇴적물의 중금속함량, 총유기탄소량, 총질소량

St.	Mz	Fe (%)	Mn (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	TOC (%)	TN (%)
WP01	1.29	2.32	228	32.6	18.4	9.5	77.4	0.17	29.6	0.095	0.018
WP02	2.85	2.66	451	47.5	16.6	11.4	75.9	0.16	27.6	0.115	0.023
WP05	1.65	1.30	204	26.6	10.0	4.5	60.9	0.09	24.0	0.086	0.019
WP06	1.31	2.27	290	46.5	17.2	12.0	66.1	0.25	24.6	0.113	0.022
WP09	1.60	1.25	120	22.7	10.7	8.4	70.9	0.14	34.7	0.080	0.019
WP10	2.60	2.75	367	50.8	17.0	13.0	79.3	0.27	26.7	0.099	0.022
WP15	1.04	0.84	101	17.9	6.4	4.5	64.0	0.20	23.8	0.094	0.018
WP16	1.86	1.51	138	24.2	13.7	6.5	72.4	0.13	21.5	0.086	0.019
WP17	1.47	2.04	291	38.8	14.3	13.3	57.4	0.16	21.0	0.076	0.018
WP18	1.99	1.80	177	30.7	16.7	8.2	89.5	0.24	20.7	0.118	0.021
WP23	1.39	1.21	155	20.7	10.8	9.0	75.6	0.19	35.1	0.108	0.019
WP24	1.55	1.51	166	19.0	9.9	9.8	81.3	0.25	37.3	0.143	0.021
WP26	0.62	2.87	523	53.3	21.4	14.0	94.5	0.33	24.8	0.495	0.055
WP27	1.54	2.01	257	35.9	13.0	9.8	77.1	0.19	21.2	0.150	0.019
WP28	1.54	2.18	275	42.0	16.5	12.5	63.6	0.18	20.2	0.140	0.019
WP29	1.20	2.17	229	33.9	17.9	10.9	54.8	0.18	23.8	0.109	0.019
WP30	0.53	0.74	77	8.2	6.1	4.6	49.9	0.15	16.9	0.084	0.014
WP31	-0.57	3.76	1511	4.7	3.5	3.5	50.9	0.17	24.8	0.086	0.017

하천으로부터 해양까지 분포하는 퇴적물의 특성을 보기위하여 그림 3-3-20에

표기된 정점에서 평균균입도 변화, 분급도 변화 및 왜도 변화를 거리별로 각각 도시하였다(그림 3-3-21~23).

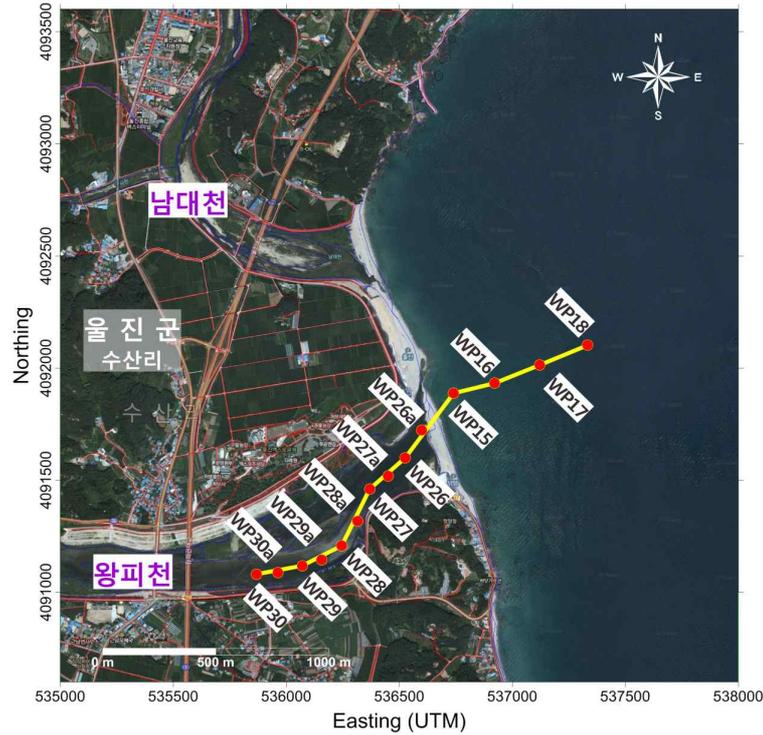


그림 3-3-20. 하천에서부터 해양까지의 퇴적물 특성비교 정점

퇴적물의 평균입도는 하천에서 해양으로 갈수록 세립해지는 경향이 있으나, 개방된 하구 부근 정점인 WP26에서 조립한 퇴적물이 존재한다. 분급도 또한 WS26 부근에서 가장 불량한데 이는 유량과 파랑에 의하여 개폐가 되는 동해연안의 하천환경이 퇴적물의 특성에 반영되어 있다고 판단된다.

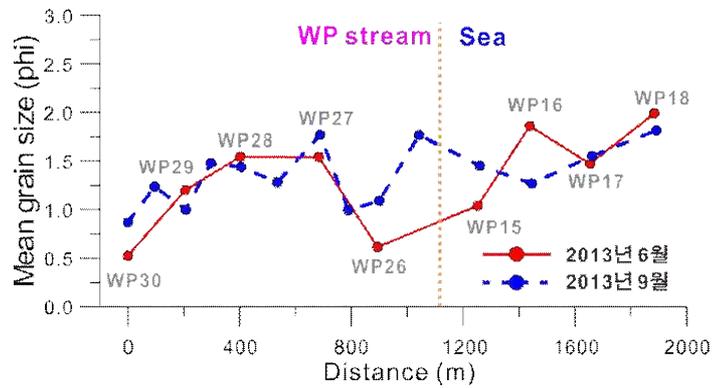


그림 3-3-21. 왕피천 하구역 하천-해양 평균입도 변화

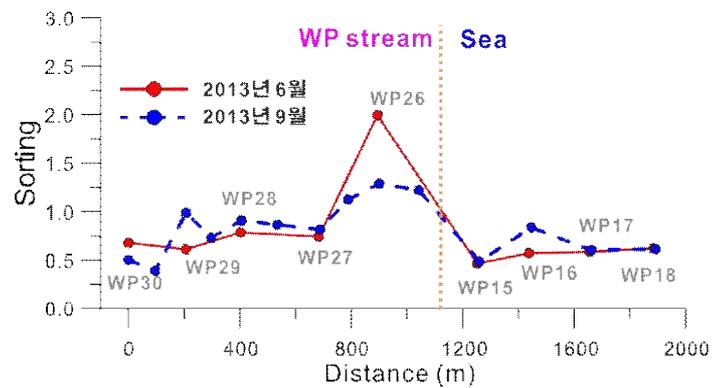


그림 3-3-22. 왕피천 하구역 하천-해양 분급도 변화

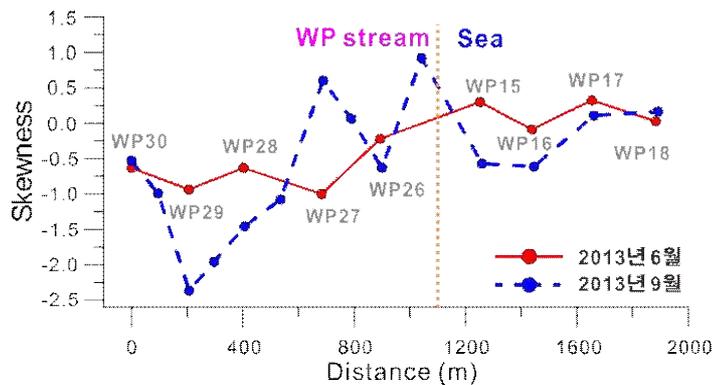
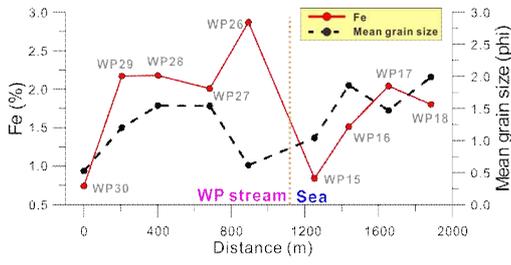
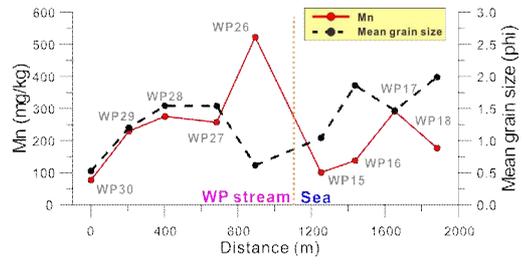


그림 3-3-23. 왕피천 하구역 하천-해양 왜도 변화

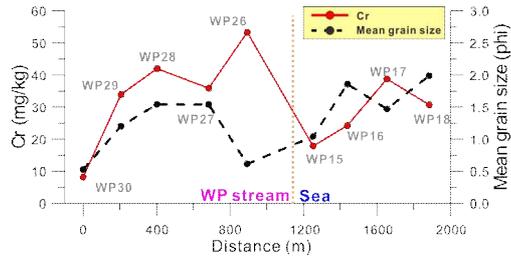
중금속함량, 총유기탄소함량 및 총질소함량은 퇴적물의 평균입도와 상관성을 가지고 있다. 세립한 퇴적물일수록 이들의 함량이 높게 나타나며 이러한 특성은 그림 3-3-24에 도시된 그래프에서 확인할 수 있다. 하지만 WP26의 경우 예외적으로 높은 함량이 나타나며 이는 분급도가 불량한 퇴적물의 특성 때문인 것으로 판단된다.



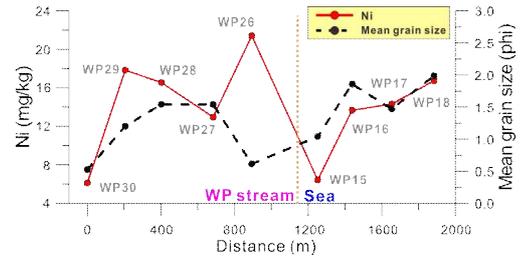
(a) Fe



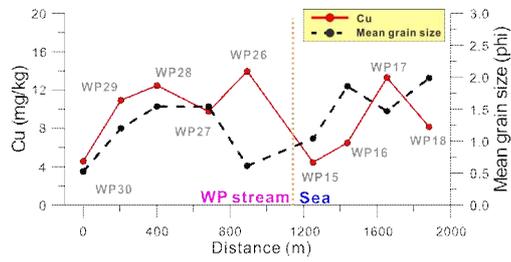
(b) Mn



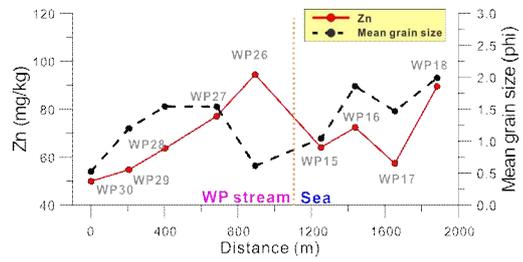
(c) Cr



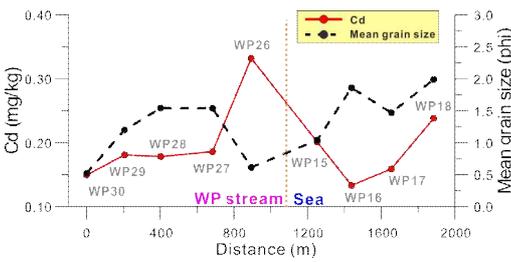
(d) Ni



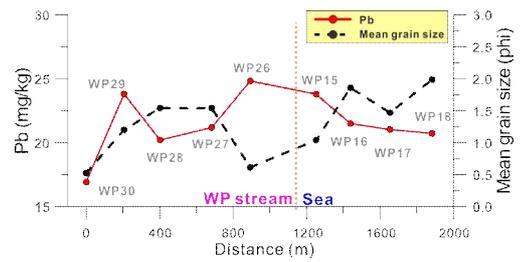
(e) Cu



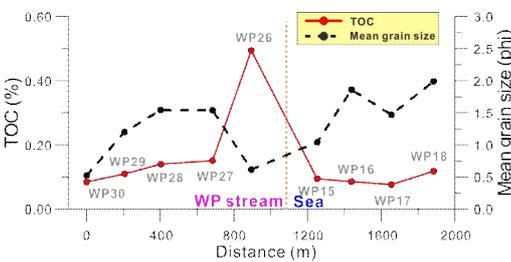
(f) Zn



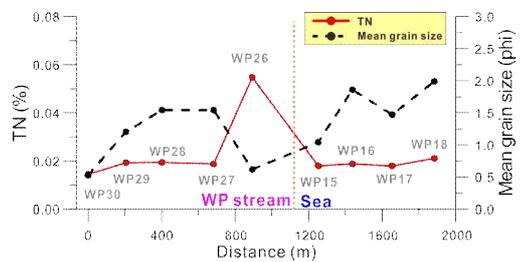
(g) Cd



(h) Pb



(i) TOC



(j) TN

그림 3-3-24. 하천-해양의 중금속 함량, 총유기탄소량, 총질소량과 평균입도 분포

제 4 절 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악

1. 왕피천 유입해역 및 대조 사질해역 장기 모니터링 거점 설정

본 2013년 “대기 및 하천 유입물질의 동해 연안역 영향 연구”사업에서는 왕피천 유입해역과 산포리 대조사질 해역에 관하여 2차례(3월과 7월)에 걸쳐 정밀해저지형조사와 해저면영상조사를 실시하였다. 그림 3-4-1~2는 정밀해저지형조사의 조사 측선도를 보여주며, 그림 3-4-3~4는 3월과 7월에 실시한 해저면영상조사의 측선도 이다. 본 조사는 해양과학기술원의 연구선인 장목2호를 이용하여 탐사를 실시하였다(그림 3-4-5, 표 3-4-1).



그림 3-4-1. 3월 정밀해저지형탐사 측선도



그림 3-4-2. 7월 정밀해저지형탐사 측선도



그림 3-4-3. 3월 해저면영상조사 측선도



그림 3-4-4. 7월 해저면영상조사 측선도



그림 3-4-5. 항구에 정박중인 장목2호

표 3-4-1. 장목2호 주요 제원

전장	23.97m(폭:4.80m)
총톤수	35ton
최대속력	24knots
항속거리	3000마일
승선인원	총12명(연구원 8명, 승무원 4명)

2. 조사해역의 서식지 정밀 해저면 특성 연구(해저지형, 해저면 영상, 퇴적상 분석)

정밀해저지형탐사는 2013년 3월(왕피천:5일, 6일, 12일, 대조 사질해역: 6일 22일)과 2013년 7월(왕피천:18일, 19일, 대조 사질해역:19일)에 한국해양과학기술원의 연구선인 장목2호를 이용하여 실시하였다. 이때 KONGSBERG사의 EM3001 멀티빔에코사운더를 사용하였는데, 이 장비는 최대 조사 수심이 150 m인 천해용 장비로서 조사선박의 우현에 장착하여 조사를 수행하였다. 멀티빔에코사운더(Multibeam Echo Sounder)는 음파가 진행하는 도중 매질의 성질이 바뀌면 일부는 경계면에서 되돌아오고 나머지는 굴절된 후 계속 진행하는 성질을 이용한 것으로 배가 이동하면서 다중음향신호를 발사하고, 이를 다시 수신함으로써 해저지형을 관측·기록 하는 장비이다. 이와 연동되는 장비로서 모션센서는 IXSEA사의 Octans, 선위측정을 위한 DGPS는 Trimble사의 Pathfinder Pro-XR, 항해 유도 프로그램은 ICMAP NAVI를 이용하여 해저지형조사를 수행하였다(표 3-4-2). DGPS란 위치를 정확하게 알고 있는 기준점에서 위치데이터와 위성위치 확인시스템 수신기를 이용하여 측정한 위치 데이터를 비교하여 오차를 보정함으로써 높은 정확도를 확보하는 GPS 측위기법을 말한다. 이 DGPS를 이용하여 선박의 위치정보를 획득하였다. 이 장비들은 멀티빔에코사운더와 동일 수직선상에 위치하도록 배치 및 설치하였고, 모니터링 시스템은 선실에 설치하여 작업을 수행하였다(그림 3-4-6). Calibration 라인은 해저지형조사 수행 전, 롤 보정라인과 피치 보정라인을 각각 획득하였고, SVP(Sound Velocity Profiler) 센서를 이용한 음속 보정은 작업수행 전/후에 실시하였다(그림 3-4-7). 일반적으로 멀티빔에코사운더는 Transducer를 수면의 직하방으로 설치하여 사용하지만 저수심 지역의 조사범위를 넓히기 위하여 3월 조사에서는 모든 조사라인에 대하여 멀티빔에코사운더

의 Transducer를 선박의 바깥쪽으로 30° 회전시켜 조사를 실시하였고 7월에는 선박의 접근이 용이한 지역에서는 Transducer를 선박의 직하방을 향하게 하여 조사하고 수심 5m이내의 최천해 지역에서만 Transducer를 기울여서 조사를 실시하였다.(그림 3-4-8~9, 표 3-4-3~6).

표 3-4-2. 정밀해저지형탐사에 사용된 주요 장비 제원

장비명	제작사	모델명
DGPS	Trimble	Pathfider Pro-XR
Sound Velocity Profiler	Kongsberg	Smart SV&P Sensor
Multibeam Echo sounder	Kongsberg	EM 3001
Motion & Gyro Sensor	IXSEA	Octans

표 3-4-3. 2013년 3월 왕피천 멀티빔 에코사운더 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013. 03.05	104(S→N)	02:02:39	02:09:39	2013. 03.06	54(S→N)	03:16:27	03:30:56
	103(N→S)	02:13:41	02:19:56		53(N→S)	03:35:50	03:38:09
	98(S→N)	02:22:04	02:27:22		50(S→N)	03:43:32	03:45:37
	97(N→S)	02:29:42	02:34:41		49(N→S)	03:51:48	03:56:38
	94(S→N)	02:36:37	02:41:49		46(S→N)	03:59:28	04:04:53
	93(N→S)	02:43:41	02:49:05		45(N→S)	04:07:28	04:12:17
	90(S→N)	02:51:46	02:56:56		43(S→N)	04:14:41	04:19:59
	89(N→S)	02:58:01	02:59:34		42(N→S)	04:22:38	04:27:33
	86(S→N)	03:04:20	03:09:33		40(S→N)	00:11:04	00:16:36
85(N→S)	03:14:38	03:27:05	38(N→S)	00:19:51	00:28:13		
2013. 03.06	82(S→N)	01:24:19	01:30:13	2013. 03.12	36(S→N)	00:33:30	00:38:31
	81(N→S)	01:32:04	01:37:52		34(N→S)	00:41:24	00:47:06
	78(S→N)	01:39:53	01:45:04		33(S→N)	00:49:40	00:54:31
	77(N→S)	01:47:03	01:53:04		32(N→S)	00:58:36	01:04:22
	74(S→N)	01:54:17	02:01:56		35(S→N)	01:06:39	01:11:28
	73(N→S)	02:09:26	02:14:27		39(N→S)	01:14:30	01:20:15
	70(S→N)	02:16:54	02:21:51		41(S→N)	01:22:01	01:26:50
	69(N→S)	02:24:12	02:29:54		43(N→S)	01:29:24	01:35:3
	66(S→N)	02:32:24	02:37:22		45(S→N)	01:37:52	01:42:43
	65(N→S)	02:40:07	02:45:30		103(N→S)	01:45:53	01:51:45
	62(S→N)	02:47:25	02:52:18		31(S→N)	01:54:13	01:59:08
	61(N→S)	02:54:29	02:59:54		31(N→S)	02:02:02	02:07:50
	58(S→N)	03:01:59	03:06:49		38(S→N)	02:09:57	02:14:44
57(N→S)	03:09:11	03:14:35	30(N→S)	02:17:29	02:23:14		

표 3-4-4. 2013년 3월 대조군(산포리) 멀티빔 에코사운더 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013. 03.06	30(S→N)	05:32:41	05:36:54	2013. 03.22	70(N→S)	00:49:00	00:53:48
	31(N→S)	05:38:34	05:43:01		70(S→N)	00:55:29	00:59:54
	32(S→N)	05:44:40	05:48:43		74(N→S)	01:01:59	01:06:47
	34(N→S)	05:50:24	05:54:03		74(S→N)	01:08:38	01:42:32
	35(S→N)	05:55:48	06:02:52		78(N→S)	01:44:43	01:49:51
	37(N→S)	06:04:43	06:09:49		78(S→N)	01:21:04	01:25:02
	38(S→N)	06:11:17	06:16:23		82(N→S)	01:26:47	01:30:04
	40(N→S)	06:17:41	06:21:48		82(S→N)	01:31:04	01:31:58
	41(S→N)	06:23:23	06:26:42		86(N→S)	01:33:07	01:37:14
	43(N→S)	06:29:36	06:32:51		86(S→N)	01:39:10	01:44:39
	44(S→N)	06:35:08	06:38:24		90(N→S)	01:46:09	01:50:12
	46(N→S)	06:40:37	06:44:54		90(S→N)	01:51:38	01:56:38
	47(S→N)	06:46:16	06:49:52		94(N→S)	01:58:14	02:01:01
	49(N→S)	06:52:10	06:55:21		94(S→N)	02:02:38	02:05:51
	50(S→N)	06:57:55	07:00:57		98(N→S)	02:06:46	02:08:57
	53(N→S)	07:03:47	07:06:02		98(S→N)	02:10:10	02:13:51
	54(S→N)	07:09:43	07:13:41		102-1(N→S)	02:15:07	02:18:49
	57(N→S)	07:15:50	07:19:37		102-1(S→N)	02:20:23	02:22:23
58(S→N)	07:22:11	07:23:35	106-1(N→S)	02:24:10	02:30:49		
61(N→S)	07:25:44	07:31:44	106-1(S→N)	02:32:11	02:33:34		
62(S→N)	07:33:46	07:40:01	102-2(N→S)	02:35:47	02:37:04		
2013.0 3.22	64(S→N)	00:29:46	00:34:21	102-2(S→N)	02:38:51	02:41:04	
	68(N→S)	00:36:00	00:40:51	102-2(N→S)	02:42:22	02:45:36	
	66(S→N)	00:42:21	00:47:24				

표 3-4-5. 2013년 7월 왕피천 멀티빔 에코사운더 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013. 07.18	calibration(S→N)	04:14:24	04:19:31	2013. 07.18	54(N→S)	07:40:57	07:45:59
	calibration(N→S)	04:48:08	04:53:19		52(S→N)	07:48:27	07:53:52
	105(S→N)	04:56:02	05:01:31		50(N→S)	07:56:10	08:01:07
	101(N→S)	05:03:51	05:08:43		48(S→N)	08:03:18	08:08:43
	98(S→N)	05:11:22	05:16:53		46(N→S)	08:10:51	08:15:54
	95(N→S)	05:19:12	05:24:05		44(S→N)	08:18:32	08:24:00
	92(S→N)	05:26:37	05:32:13		42(N→S)	08:26:09	08:31:06
	89(N→S)	05:34:26	05:39:24		40(S→N)	08:33:43	08:39:12
	86(S→N)	05:42:10	05:47:51		38(N→S)	08:41:25	08:46:33
	84(N→S)	05:49:40	05:54:36		36(S→N)	08:48:42	08:54:06
	82(S→N)	05:56:47	06:02:22		34(N→S)	08:56:11	09:01:18
	79(N→S)	06:04:19	06:09:18		33(S→N)	09:31:37	09:09:08
	76(S→N)	06:11:25	06:16:59		32(N→S)	09:11:06	09:16:16
	74(N→S)	06:19:06	06:23:56		35(S→N)	09:18:30	09:23:55
	72(S→N)	06:26:03	06:31:44		39(N→S)	09:25:59	09:31:08
	70(N→S)	06:33:39	06:38:29		41(S→N)	09:33:15	09:38:39
	68(S→N)	06:40:47	06:46:22		43(N→S)	09:40:39	09:45:49
	66(N→S)	06:53:28	06:58:20		45(S→N)	09:47:54	09:53:24
	64(S→N)	07:01:07	07:06:40		103(N→S)	23:48:35	23:53:49
	62(N→S)	07:08:40	07:13:37		31(S→N)	06:28:53	06:33:59
60(S→N)	07:16:02	07:21:28	31(N→S)	06:36:58	06:42:18		
58(N→S)	07:23:24	07:28:16	38(S→N)	06:44:26	06:49:22		
56(S→N)	07:33:04	07:38:31	30(N→S)	06:51:37	06:56:34		

표3-4-6. 2013년 7월 대조군(산포리) 멀티빔 에코사운더 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013.07. 19	98(N→S)	00:21:24	00:25:54	2013.07. 19	45(N→S)	02:56:59	03:00:47
	95(S→N)	00:28:24	00:33:18		42(S→N)	03:03:05	03:06:52
	87(N→S)	01:45:28	01:49:22		40(N→S)	03:09:01	03:12:48
	83(S→N)	01:52:21	01:54:58		38(S→N)	05:03:54	05:07:42
	79(N→S)	01:53:55	02:00:50		36(N→S)	05:09:50	05:13:31
	75(S→N)	02:03:08	02:06:54		34(S→N)	05:15:25	05:19:15
	71(N→S)	02:09:44	02:13:41		32(N→S)	05:21:17	05:25:08
	67(S→N)	02:15:42	02:19:16		30(S→N)	05:27:01	05:30:59
	63(N→S)	02:21:33	02:25:19		28(N→S)	05:32:57	05:36:43
	60(S→N)	02:27:06	02:30:45		26(S→N)	05:38:30	05:42:17
	57(N→S)	02:32:54	02:36:46		24(N→S)	05:44:24	05:48:36
	54(S→N)	02:38:45	02:42:24		24(N→S)	06:07:33	06:11:32
	51(N→S)	02:44:58	02:48:50		52(S→N)	06:13:55	06:15:46
	48(S→N)	02:51:04	02:54:45				



그림 3-4-6. 멀티빔에코사운더와 동일 수직선 상에 위치하도록 각각의 센서들을 설치



그림 3-4-7. 장목2호에 설치한 SV센서



그림 3-4-8. Transducer를 선박의 외곽 방향으로 30° 회전시켜 설치

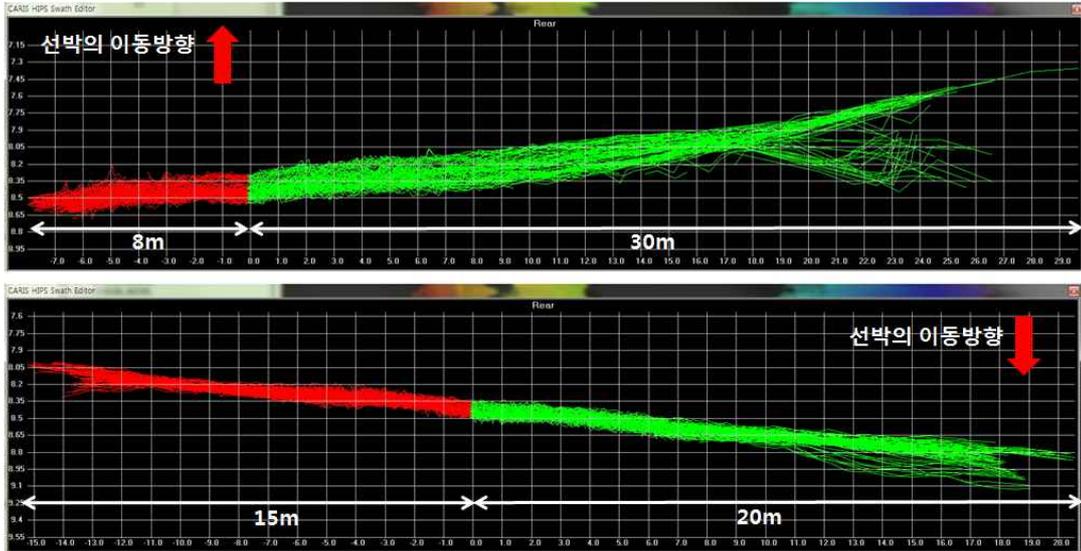


그림 3-4-9. Transducer 30° 회전 시(위)과 수직방향(아래)에 조사한 조사라인 커버리지 비교

해저면영상탐사 또한 2013년 3월(20일)과 7월(25일)에 장목2호를 이용하여 실시하였다. 이때 사용된 사이드스캔소나는 EdgeTech사의 4125 shallow water side scan sonar system으로 최대조사수심은 300m이고 roll, pitch, heading, depth sensor가 장착되어 있으며 400kHz와 900kHz의 Dual frequencies의 장비이다(그림 3-4-10~11). 사이드스캔소나(Side scan sonar)는 수중에서 초음파를 이용하여 양방향 측면을 탐색하는 장비이다. 일반적으로 사이드스캔소나는 수중탐사체(Towfish)를 선박을 이용하여 견인하면서 수중탐사체의 양측면에 있는 Transducer에서 수중으로 초음파를 발신하고 수중의 물체에 반사된 신호를 수신하여 수중의 형태를 영상으로 복원한다. 탐사는 선박의 후미에 수중탐사체를 내려 견인하는 방식으로 진행하였고 이때 수중탐사체는 해저면에서 5~10 m 정도의 이격거리를 유지하였다(표 3-4-7~8).

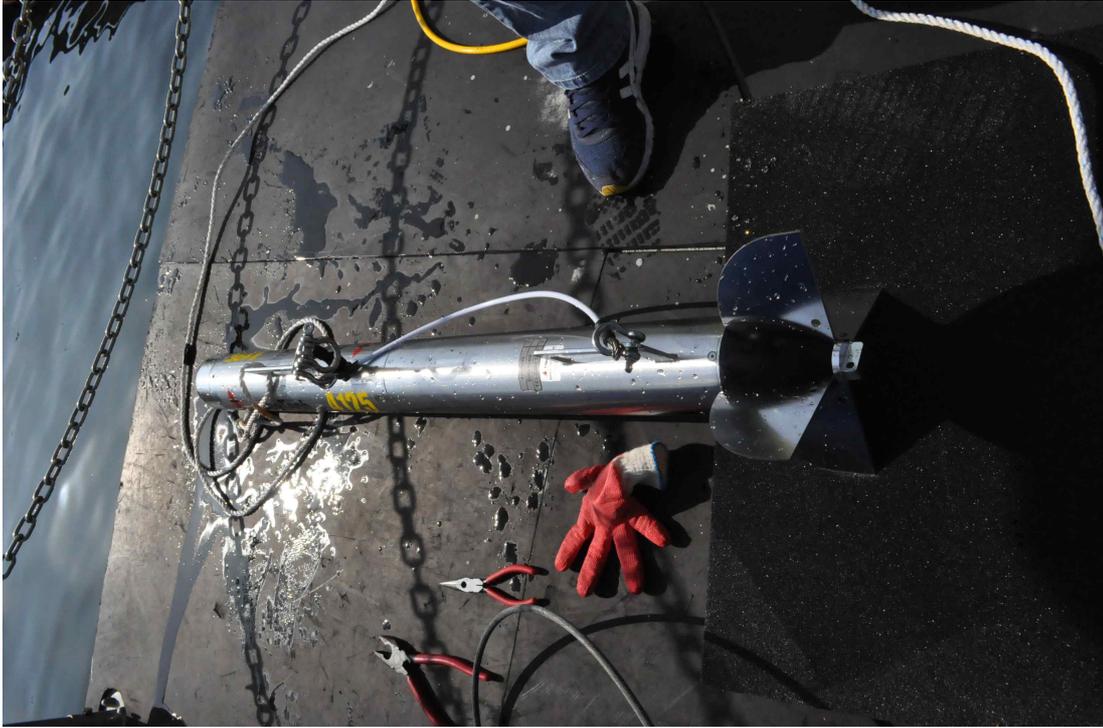


그림 3-4-10. 사이드 스캔소나 EdgeTech 4125

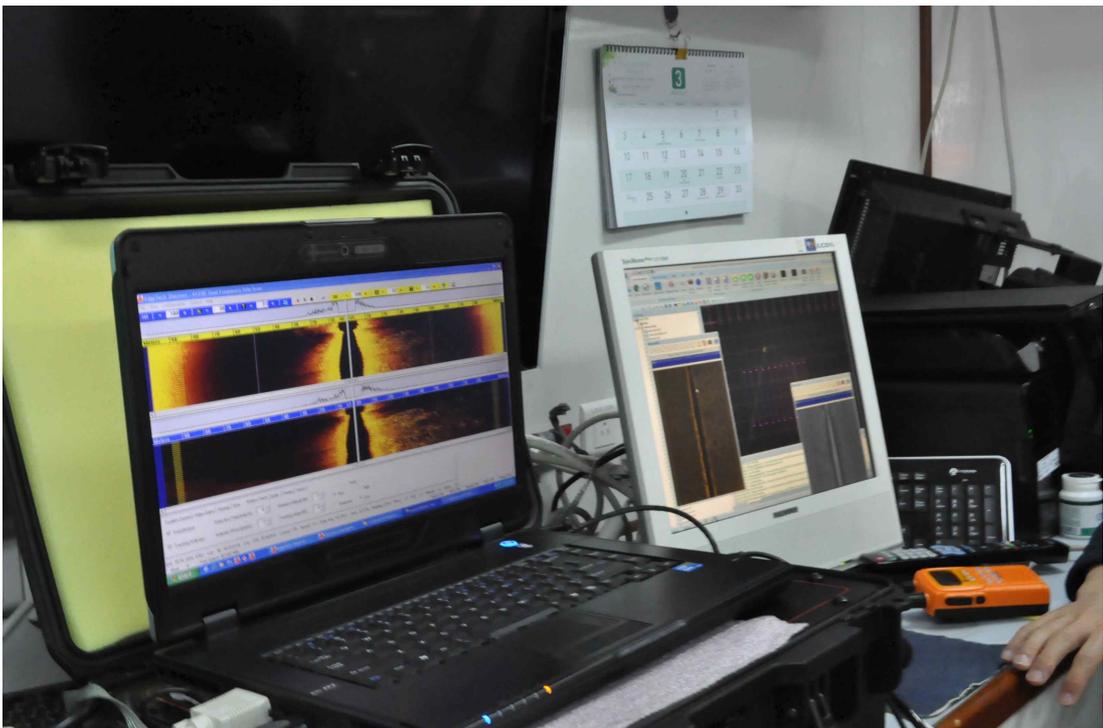


그림 3-4-11. 사이드 스캔소나 자료획득 모습

표 3-4-7. 2013년 3월 왕피천 및 대조군(산포리) 사이드 스캔소나 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013.03. 20.(왕피 천)	105(N→S)	02:47:04	02:56:10	2013.03 .20.(대 조군)	22(N→S)	05:56:03	06:02:14
	93(S→N)	02:57:40	03:06:25		34(S→N)	06:08:07	06:17:18
	85(N→S)	03:07:34	03:17:01		46(N→S)	06:18:27	06:26:54
	78(S→N)	03:18:24	03:28:34		54(S→N)	06:28:21	06:33:48
	67(N→S)	03:30:04	03:39:21		60(N→S)	06:34:09	06:40:37
	56(S→N)	03:41:11	03:50:34		66(S→N)	06:43:20	06:49:32
	45(N→S)	03:52:14	04:00:49		82(N→S)	06:51:54	06:56:20
	33(S→N)	04:02:24	04:11:31				
22(N→S)	04:13:54	04:23:29					

표 3-4-8. 2013년 7월 왕피천 및 대조군(산포리) 사이드 스캔소나 로깅시트

Date	Line No.	Time(UTC)		Date	Line No.	Time(UTC)	
		start	end			start	end
2013.07. 25.(왕피 천)	105(N→S)	03:09:05	03:17:10	2013.07 .25.(대 조군)	22(N→S)	05:56:03	06:01:14
	93(S→N)	04:07:40	04:16:35		34(S→N)	06:07:08	06:11:15
	81(N→S)	04:20:04	04:27:20		46(N→S)	06:17:27	06:22:54
	69(S→N)	04:30:39	04:37:20		58(S→N)	06:26:09	06:30:37
	57(N→S)	04:41:12	04:47:33		70(N→S)	06:33:20	06:39:32
	45(S→N)	04:52:31	04:58:52		82(S→N)	06:41:54	06:46:20
	33(N→S)	05:02:11	05:08:45				
	22(S→N)	05:11:27	05:17:47				

왕피천 해역의 수심은 약 2 m에서 약 18 m의 깊이를 보이며 조사구역의 남쪽 연안에 암반지역이 나타난다. 해안선을 따라 수심이 평행하게 깊어지지 않고 북쪽보다 남쪽의 수심이 깊게 나타나고 있다. 이는 왕피천에서 발생한 퇴적물이 북쪽으로 이동하여 퇴적 되었을 것으로 판단되지만 정확한 원인 규명을 위해서는 해류의 흐름 및 퇴적물의 이동 등의 추가조사가 필요 할 것으로 보인다.(그림 3-4-12~13). 대조군(산포리) 조사해역의 수심은 약 3 m에서 35 m의 깊이를 보이며 연안 쪽으로는 암반이 많이 산재하여 있어서 조사선의 접근이 어려웠다. 남쪽해안과 수심 약 30 m 지역에 암반이 형성되어 있으며 해안선을 따라 수심이 거의 평행하게 깊어지지만 연안에서는 왕피천에 비해 지형기복이 많이 나타난다(그림 3-4-14~15). 이는 육지로부터 연장되어 나온 암반위에 퇴적층이 얇게 퇴적되어 나타나는 지형기복으로 판단된다. 3월과 7월의 정밀해저지형에서는 큰 변화가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

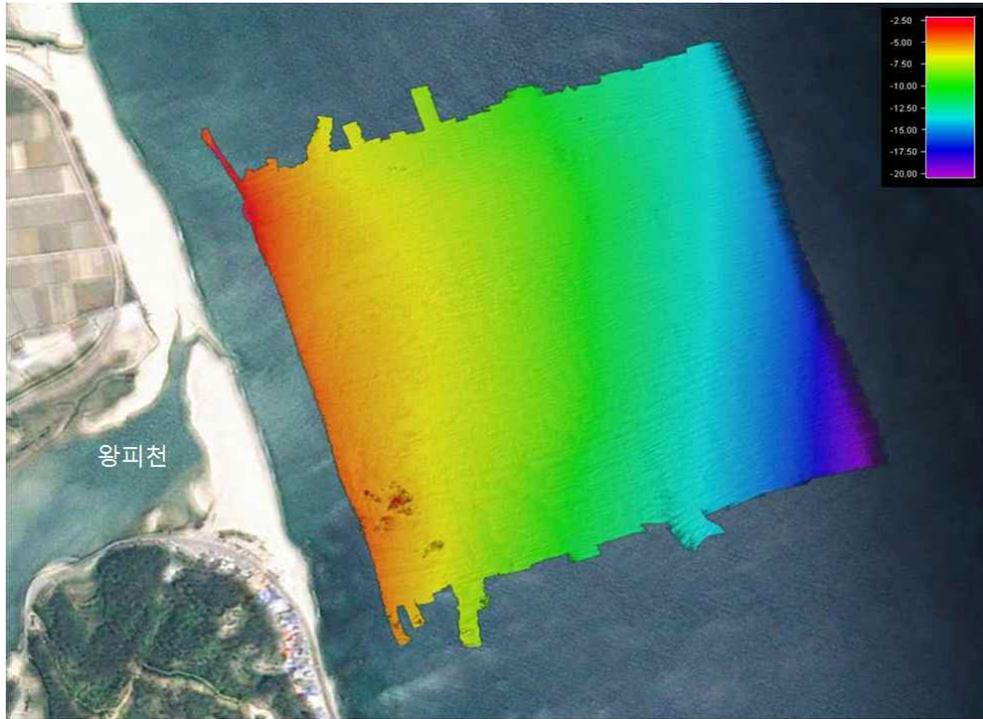


그림 3-4-12. 3월 왕피천 정밀해저지형

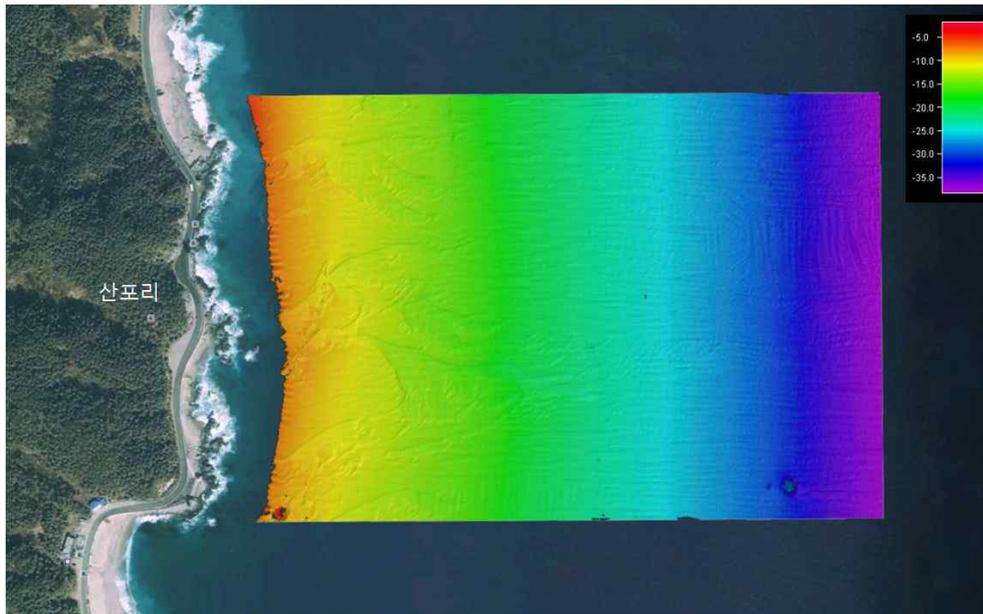


그림 3-4-13. 3월 대조군(산포리) 정밀해저지형

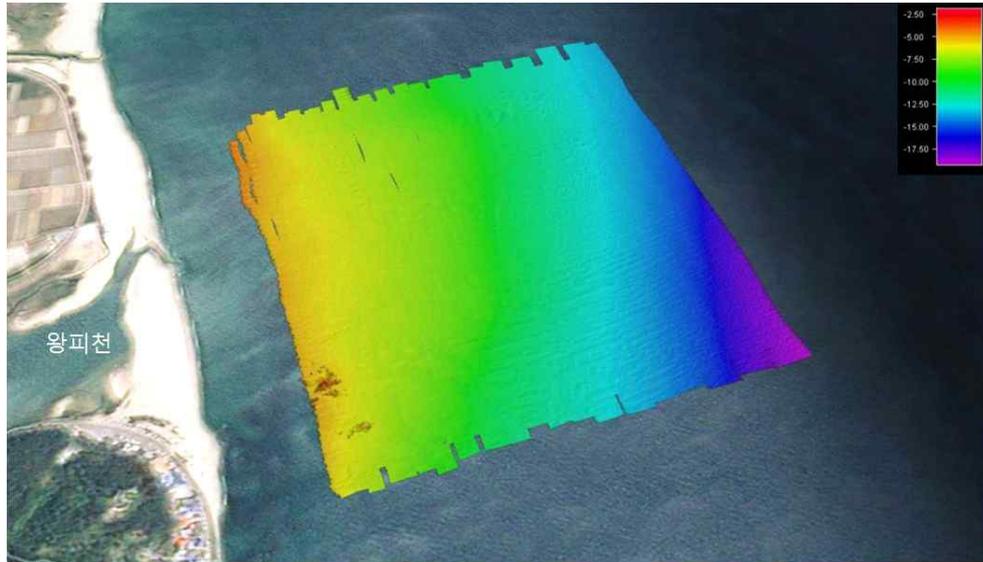


그림 3-4-14. 7월 왕피천 정밀해저지형

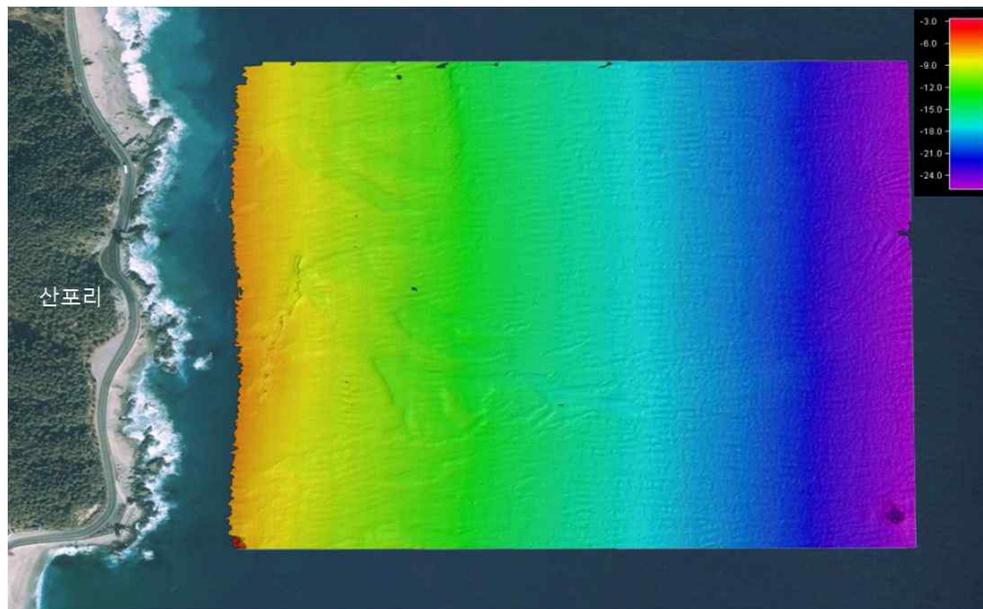


그림 3-4-15. 7월 대조군(산포리) 정밀해저지형

또한 5월(24일)과 8월(26일)에 왕피천 인근 하천유입해역 및 대조군 해역에서 그랩(grab)을 이용하여 표층표적물을 채집하였다. 5월에는 장목2호를 이용하여 채집하였고 8월에는 어선을 이용하여 퇴적물을 채집하였다(그림 3-4-16~18, 표 3-4-9).

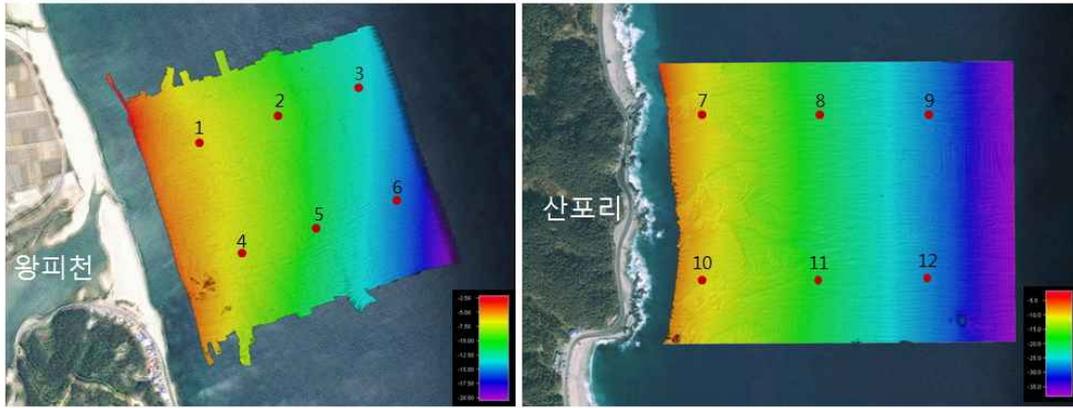


그림 3-4-16. 왕피천 인근 하천유입해역 및 대조군 해역 grab 정점

표 3-4-9. 왕피천 인근 하천유입해역 및 대조군 해역 grab 정점

조사구역	정점번호	위도(DM)	경도(DM)	수심(m)
왕피천 정점	1	36°58.4100 ′	129°24.9100 ′	5.7
	2	36°58.4656 ′	129°25.1000 ′	9.7
	3	36°58.5212 ′	129°25.2900 ′	13
	4	36°58.1813 ′	129°25.0139 ′	6.4
	5	36°58.2369 ′	129°25.2039 ′	10.5
	6	36°58.2925 ′	129°25.3939 ′	15.6
대조군(산포리) 정점	7	36°56.4200 ′	129°25.3600 ′	7.6
	8	36°56.4200 ′	129°25.5621 ′	14.8
	9	36°56.4200 ′	129°25.7643 ′	22.5
	10	36°56.2307 ′	129°25.3600 ′	7.5
	11	36°56.2307 ′	129°25.5621 ′	14
	12	36°56.2307 ′	129°25.7643 ′	22.8

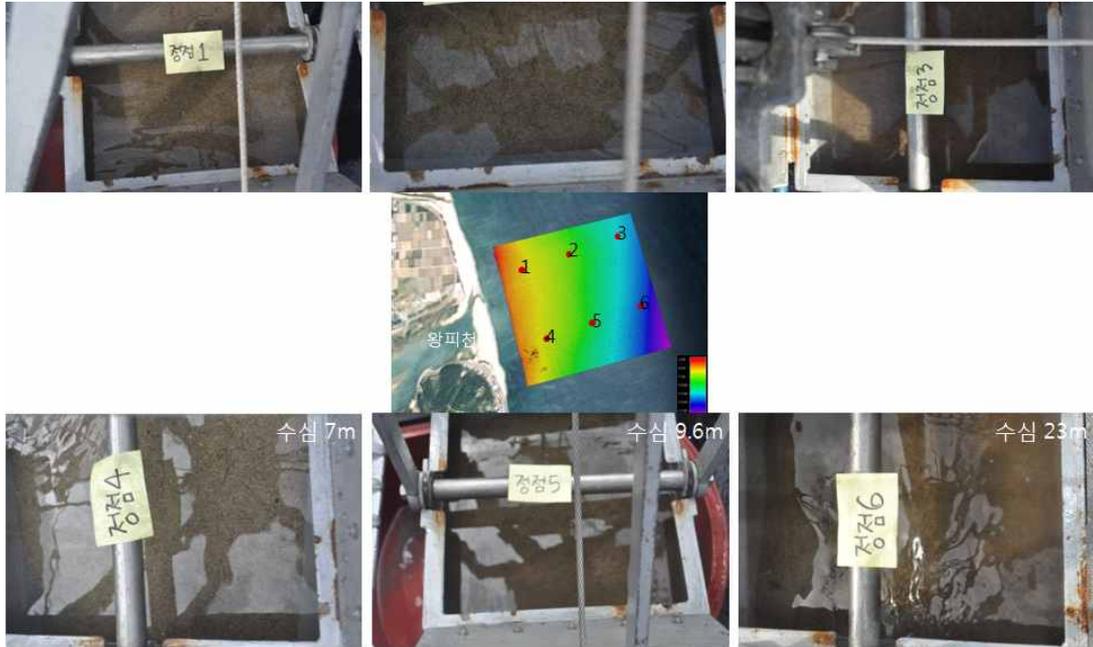


그림 3-4-17. 왕피천 정점에서 채집한 표층 퇴적물

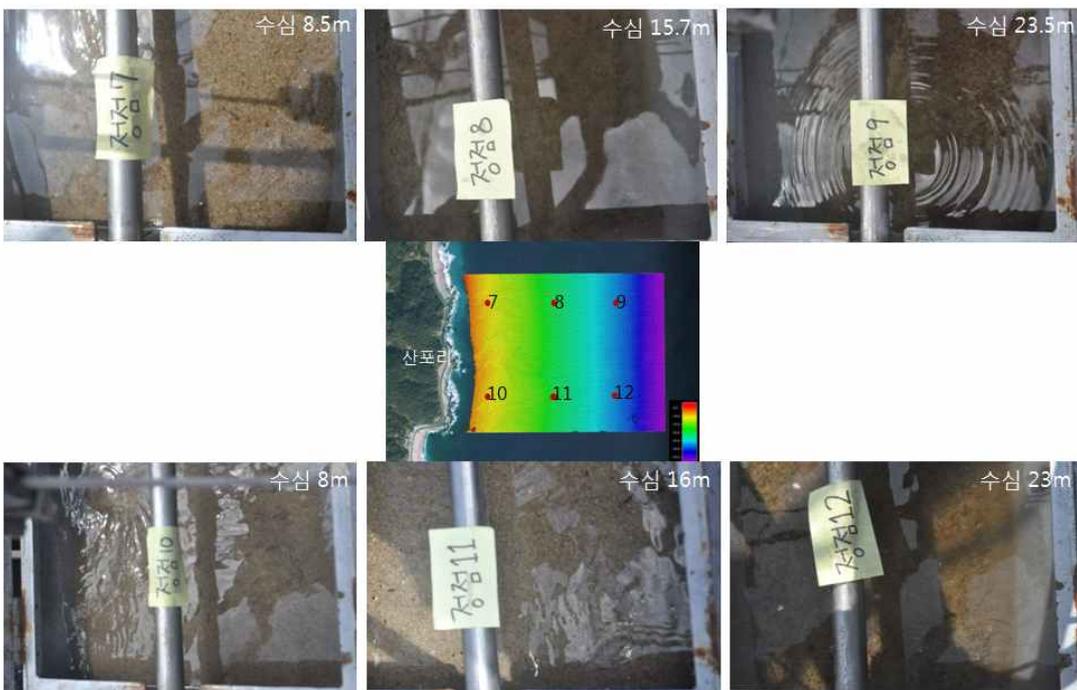


그림 3-4-18. 대조군(산포리) 정점에서 채집한 표층 퇴적물

5월과 8월에 채집한 표층퇴적물에 대하여 입도 분석 및 TOC 분석을 실시하였다. 퇴적물의 자갈, 모래, 머드의 삼각 다이어그램과 퇴적물의 입도 조성별, 함량 분포도를 보면 5월과 8월 조사 모두에서 모래 성분이 우세하게 나타났으며 약간의 실트가 분포하는 것을 볼 수 있다(그림 3-4-19~20). 퇴적물의 조직매개변수

는 하천유입해역에서 입도 평균값, 분급, 왜도, 첨도 등이 정점마다 유사한 경향을 보이며 대조사질해역에서는 불규칙한 경향을 보인다(그림 3-4-21). 퇴적물의 정점 별 TOC를 살펴보면 5월에는 하천유입해역의 TOC가 높게 나타났으며 8월에는 대조사질해역의 TOC가 높게 나타났다(그림 3-4-22~24).

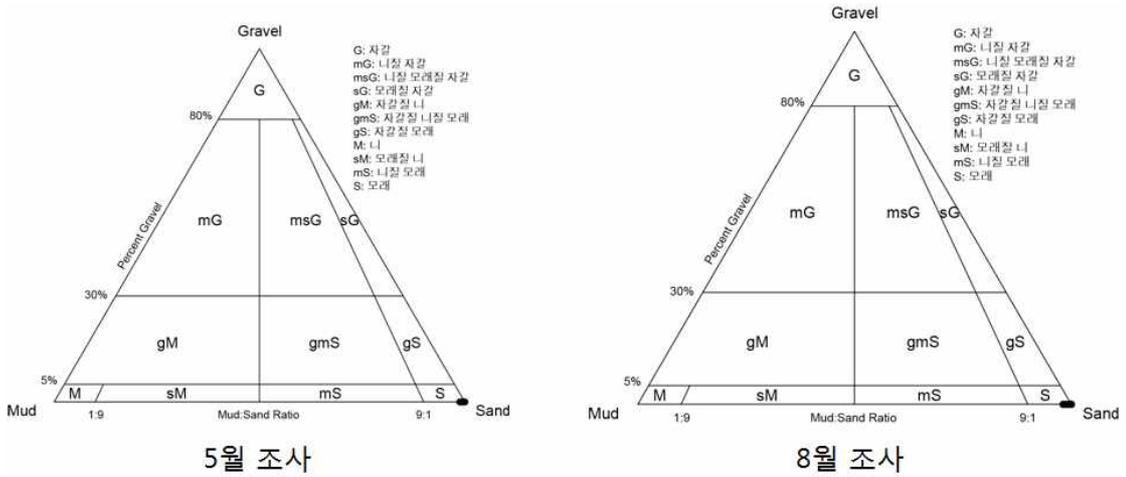


그림 3-4-19. 퇴적물의 자갈, 모래, 머드의 삼각 다이어그램

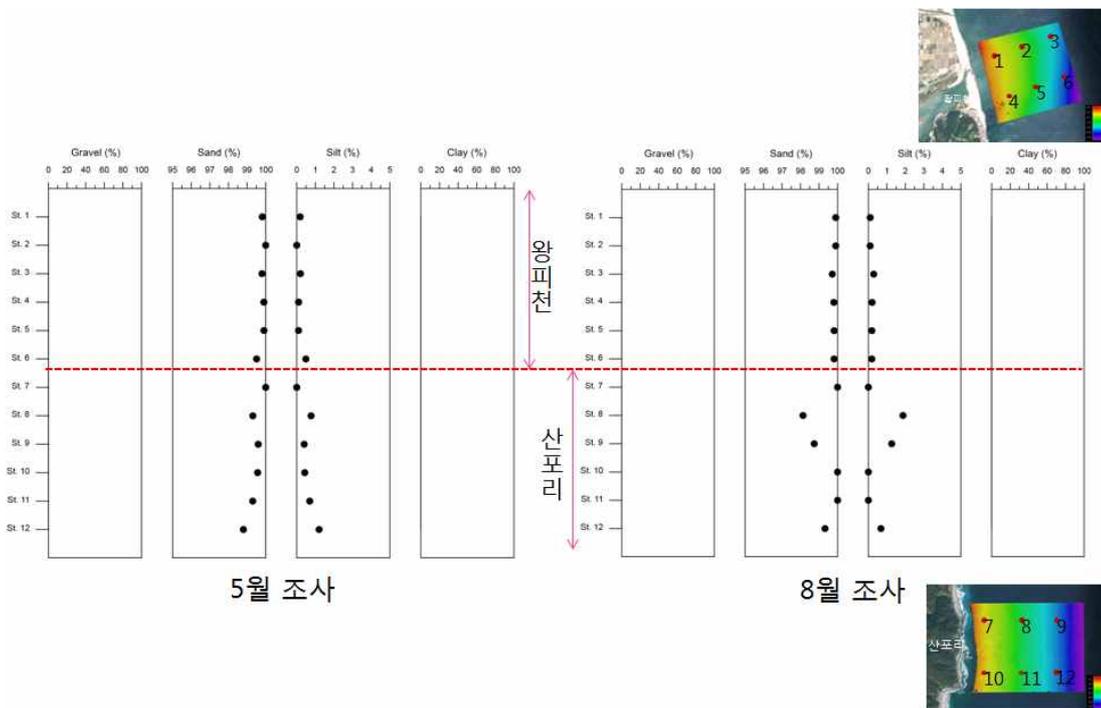


그림 3-4-20. 퇴적물의 입도 조성별, 함량 분포도

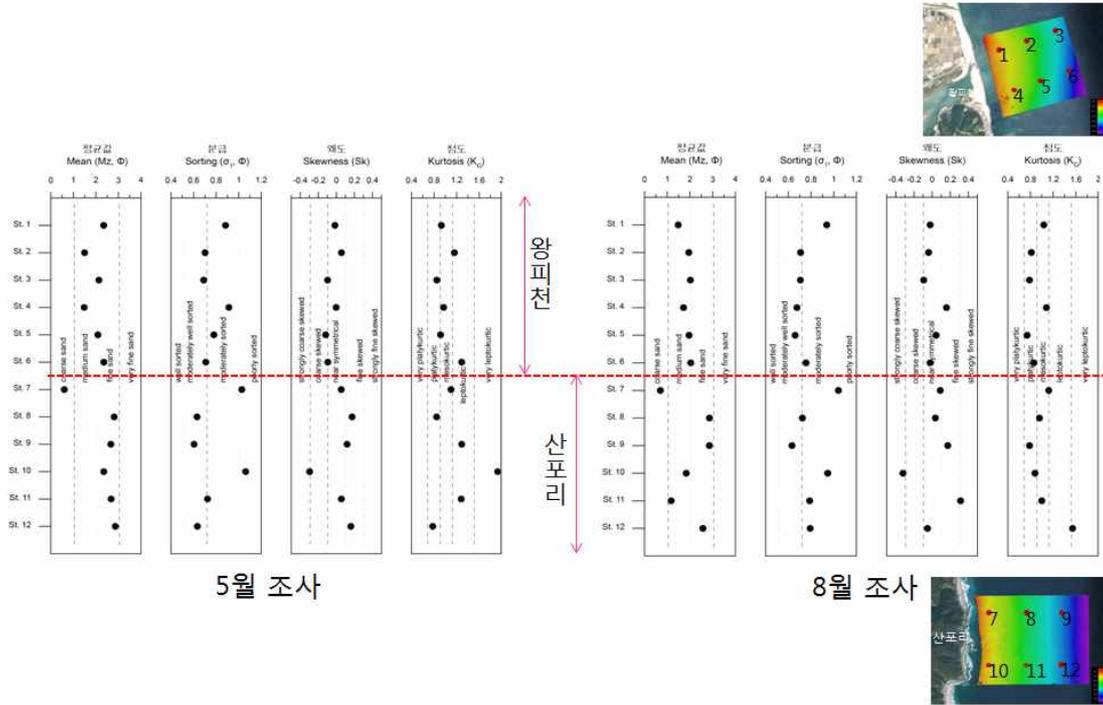


그림 3-4-21. 퇴적물의 조직매개변수

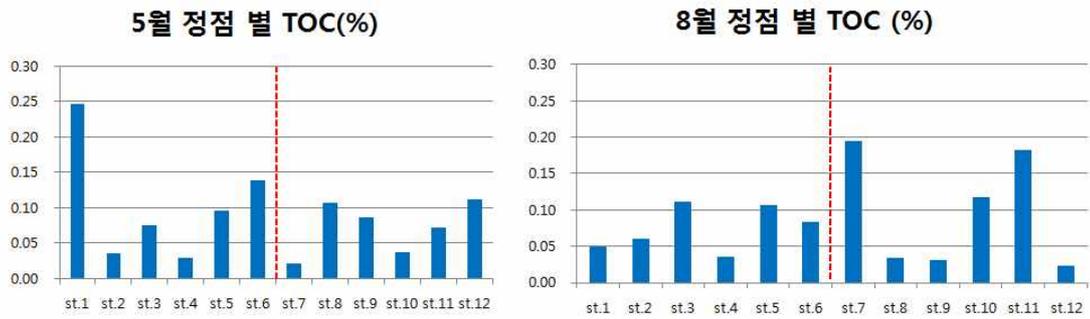


그림 3-4-22. 퇴적물의 정점 별 TOC

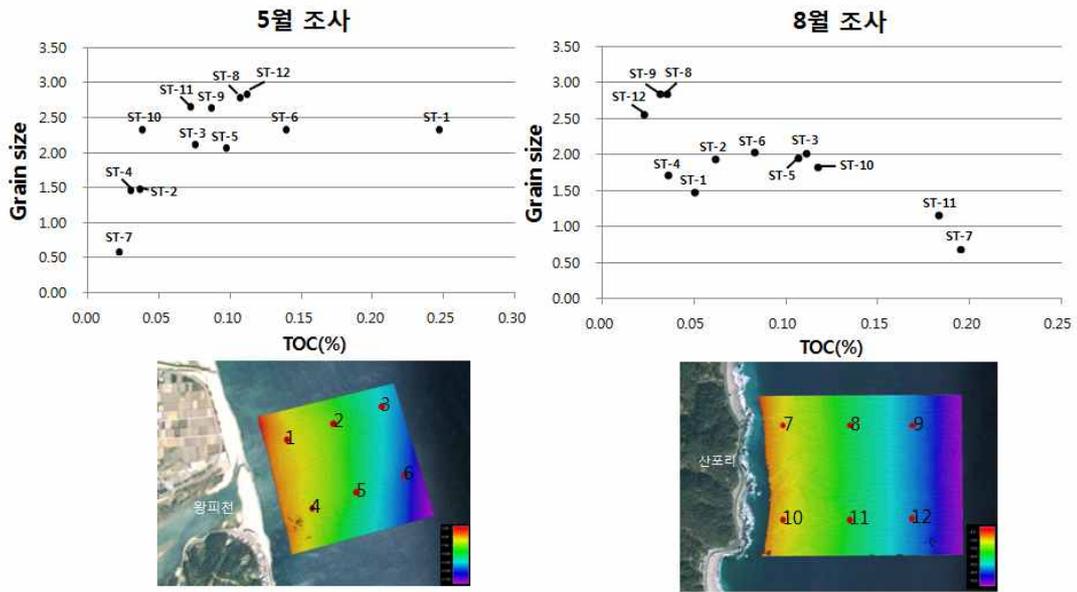


그림 3-4-23. grain size 별 유기탄소 분포

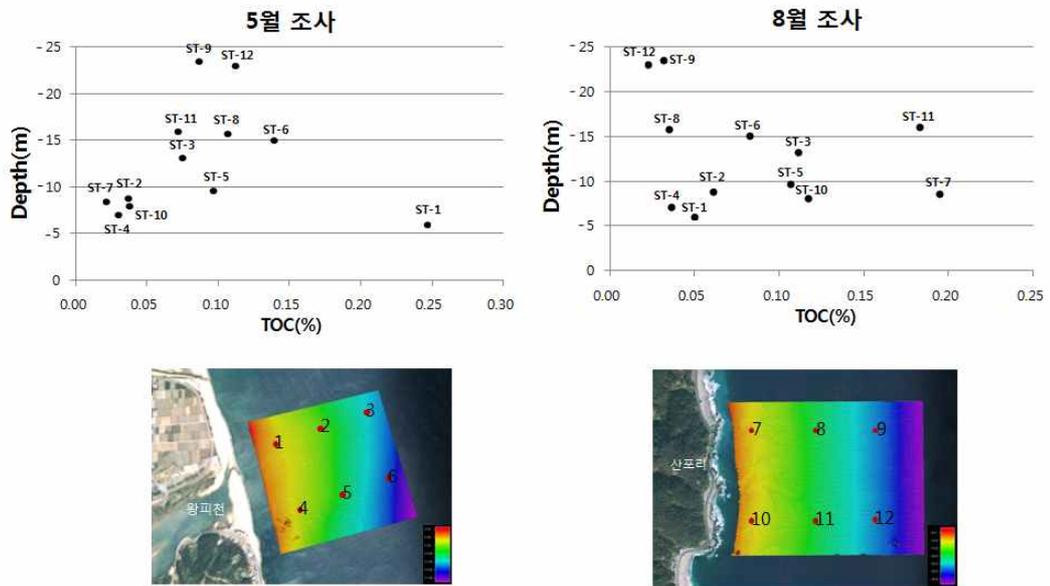


그림 3-4-24. 수심별 유기탄소 분포

왕피천 및 대조군(산포리)에서 획득한 자료에 대하여 자료 처리 및 보정을 실시하였다. 자료처리는 자료보정, 음속보정, 조석보정, 오측심 자료제거 등의 후처리 과정을 일괄적으로 처리할 수 있는 CARIS의 HIPS & SIPS를 이용하여 수행하였다. 먼저 HIPS & SIPS에서 조사수행에 이용된 Vessel에 날짜에 따라 원시 데이터를 입력하고 국립해양조사원에서 관측한 조위 자료를 다운받아 HIPS & SIPS프로그램의 형식에 맞게 변환과 재가공한 후 입력한다. 이렇게 조석에 대하여 보정이 완료되고 나면 모든 라인들에 대하여 Merge 작업을 수행하여 수심 자료에 대한 보정, 오측심 자료제거 등의 처리 작업이 이루어진다. 먼저 모든 라인에 대해서 navigation editor(그림 3-4-25), attitude editor(그림 3-4-26) 명령을 이용하여 조사라인을 벗어난 영역의 제거 및 내삽을 이용하여 오차가 큰 heave, roll, pitch 데이터의 보정 작업을 하였다. 그 데이터를 이용하여 Field Sheets 생성하고 0.1 m resolution의 BASE(Bathymetry Associated with Statistical Error) surface를 생성하여 자료를 이미지화 하였으며 여기서 전체 데이터의 오차들을 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 자료의 roll 오차는 프로그램에 내장되어 있는 calibration tool을 이용하여 현장조사 완전히 보정하지 못했던 roll의 값을 보정하였다(그림 3-4-27). 또한 velocity 오차는 swath editor를 통하여 보정하였다(그림 3-4-28). 마지막으로 위의 과정에서 처리되지 않은 오측자료들은 subset editor 작업을 이용하여 보정하였다(그림 3-4-29). 이 과정은 반복적인 보정 작업 수행과 지속적인 데이터의 확인을 병행하면서 검토 및 반복 수행을 통해 최종 결과물이 좋은 품질의 자료를 나타낼 수 있도록 하였다.

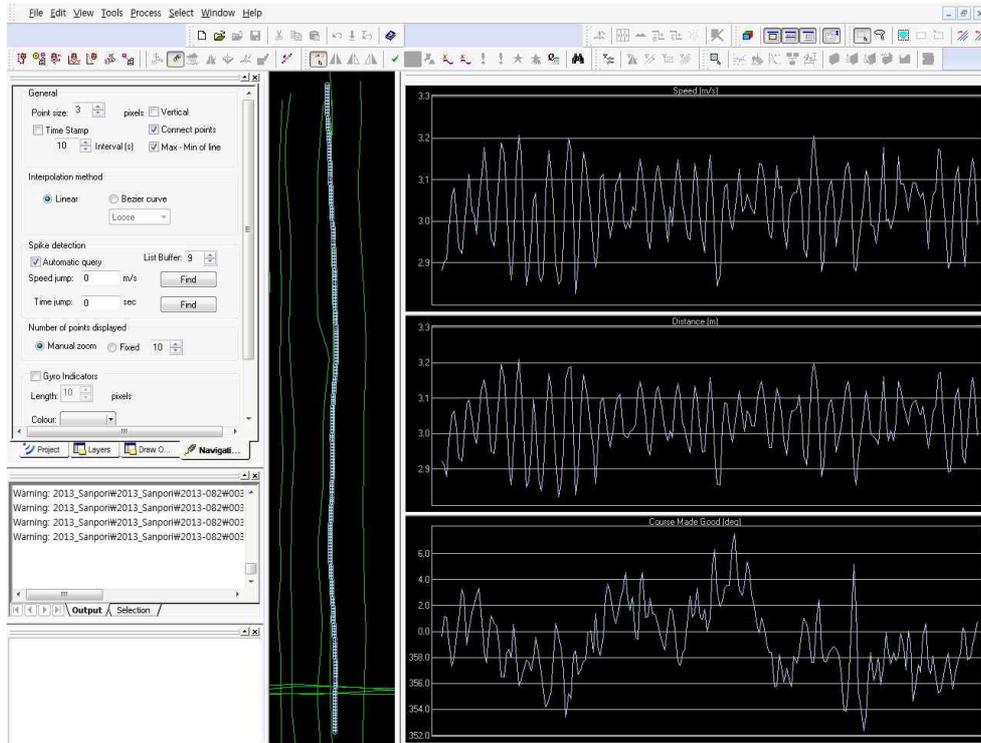


그림 3-4-25. navigation editor 처리 과정

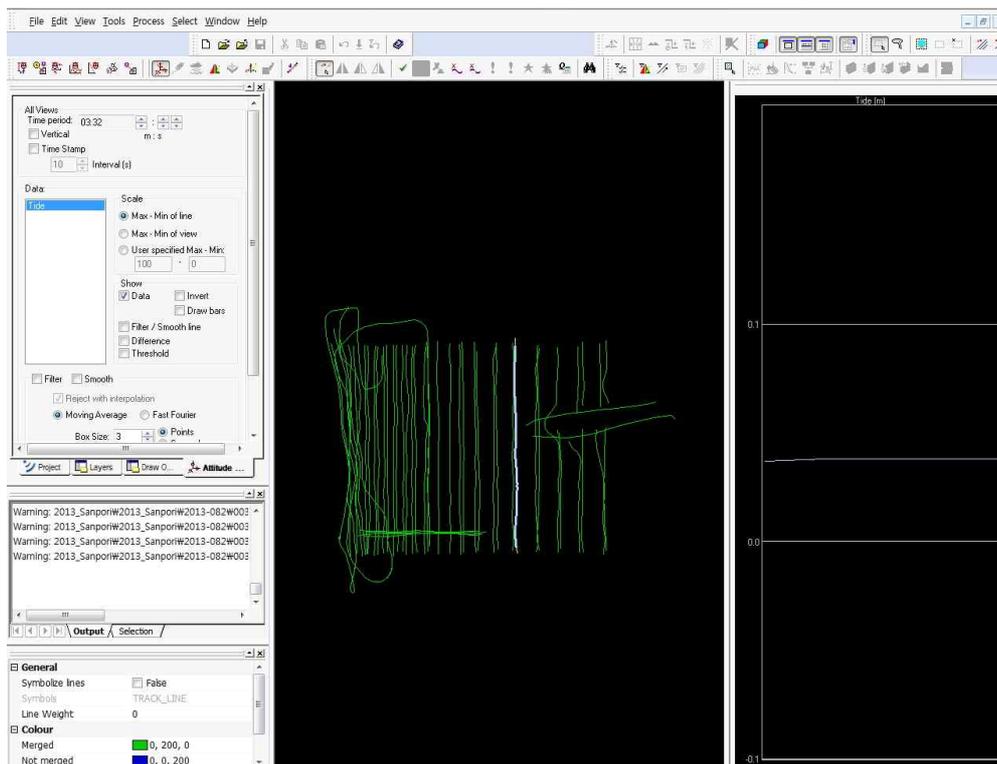


그림 3-4-26. attitude editor 처리 과정

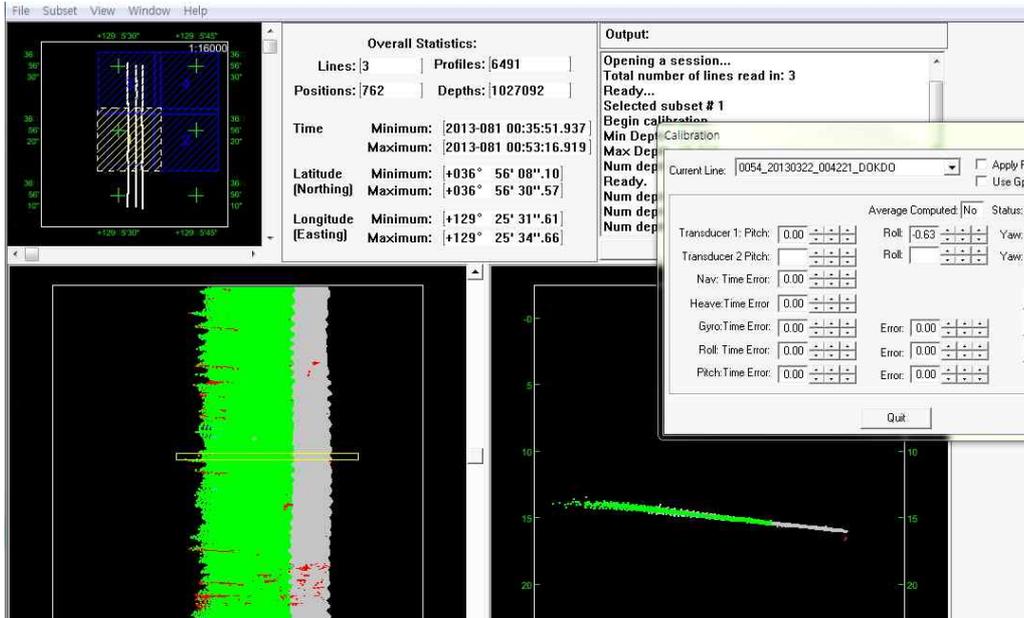


그림 3-4-27. calibration tool을 이용한 보정 과정

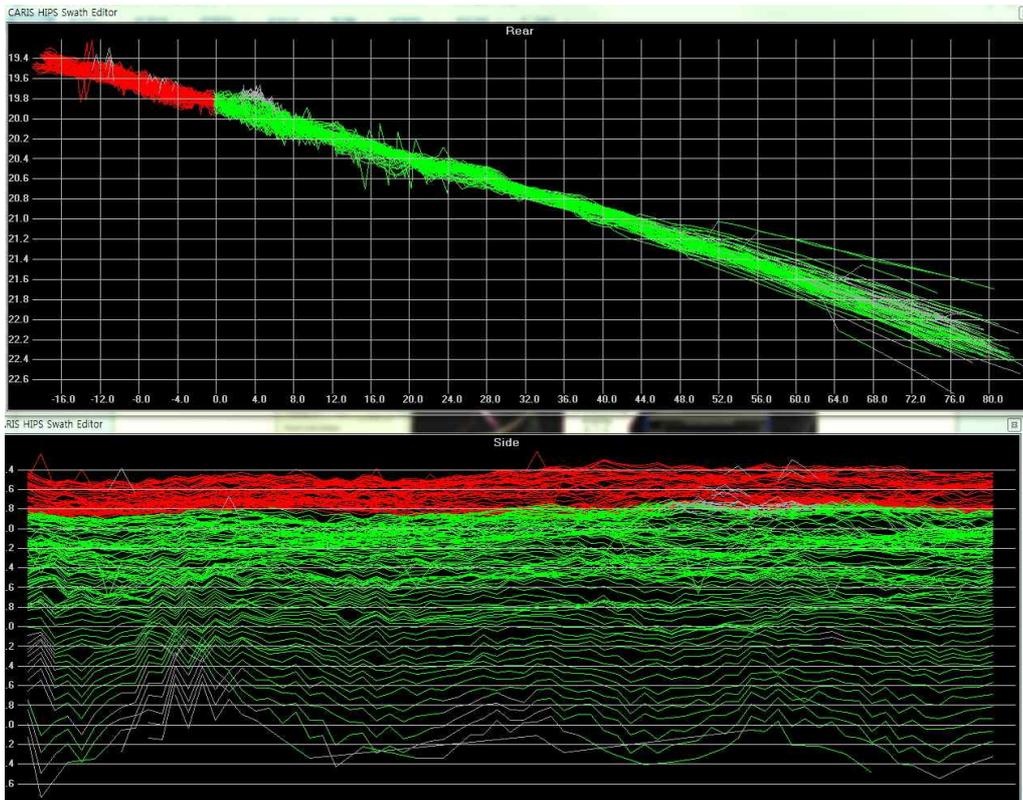


그림 3-4-28. Swath Editor를 이용한 보정 과정

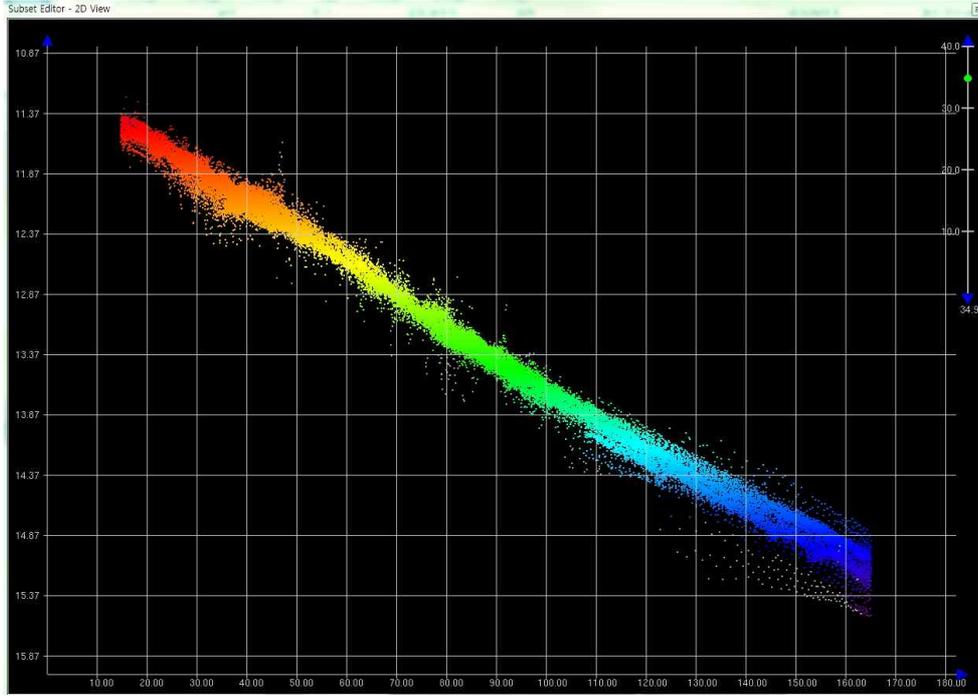


그림 3-4-29. Subset editor를 이용한 보정 과정

하천유입해역(왕피천)의 해저면영상에서는 연안 쪽의 암반지역을 제외하고 대부분의 지역이 모래로 이루어져 있는 것을 볼 수 있다. 대조사길해역(산포리)의 해저면영상에서는 대부분의 지역이 모래로 이루어져있으며 수심이 낮은 지역의 지형기복 형태도 잘 나타나있다(그림 3-4-30~31).

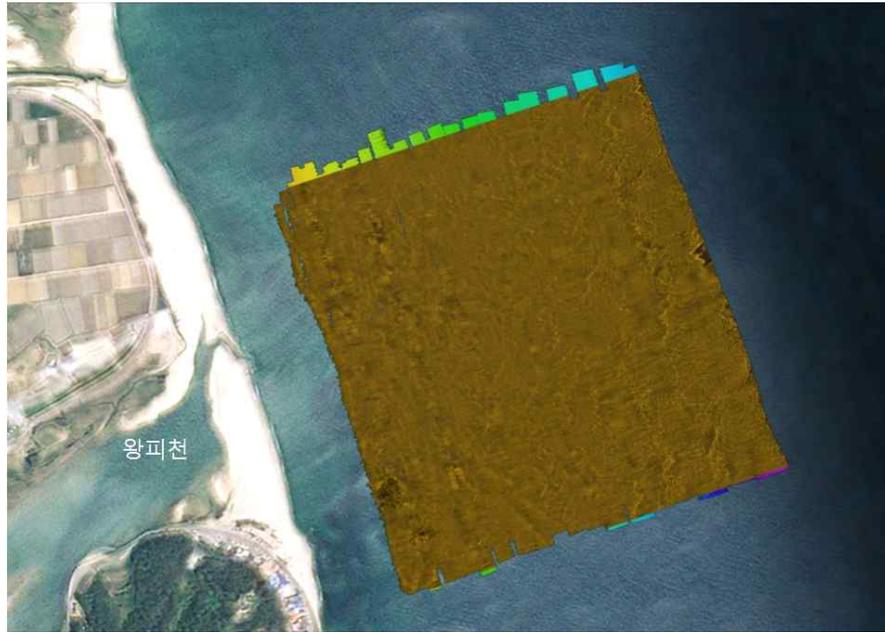


그림 3-4-30. 하천유입해역(왕피천)의 해저면영상



그림 3-4-31. 대조사길해역(산포리)의 해저면영상

제 5 절 서식지별 생물군(저서/간극/수층생물) 특성 파악

1. 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 변동성 연구

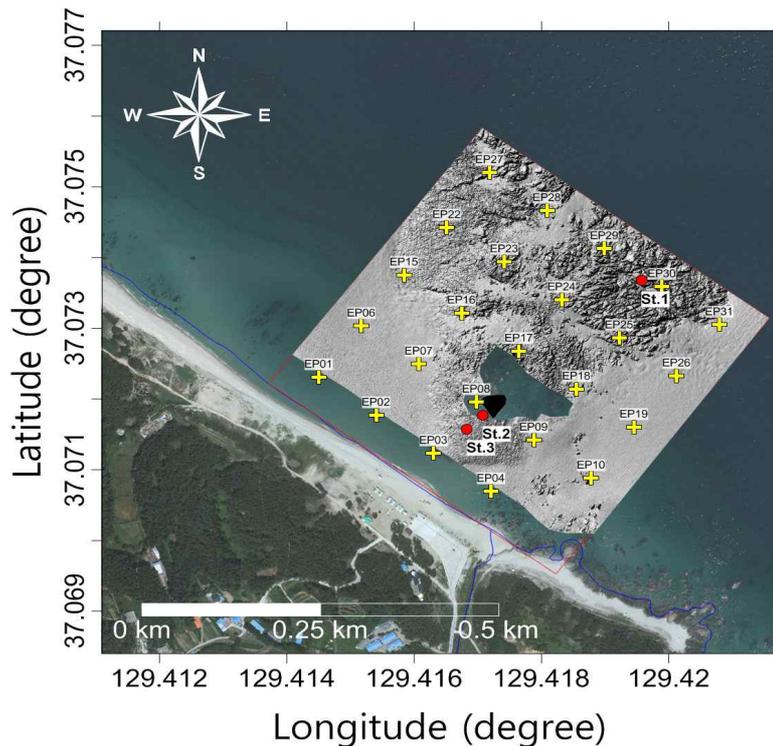


그림 3-5-1. 동해 중부연안 해저 Eco-mapping 및 환경특
성연구 조사 정점(붉은색 동그라미)

경상북도 울진군 죽변면 후정리 후암으로 거점을 설정하여 동해 중부 연안 사질·수중암반 주변의 대형저서생물 중 다양성 특성 조사 및 계절별 변화 분석을 위해 2014년 4계절(동계, 춘계, 하계, 추계), 2015년 3계절(동계, 춘계, 추계) 조사를 실시하였다(그림 3-5-1). 정량조사는 수중암반을 상, 중, 하부로 나누고 SCUBA를 이용하여 50 x 50 cm 방형구로 대형무척추동물물 채집하였으며, 정성 조사를 추가적으로 실시하여 후암 지역의 종 다양성을 조사하였다. 시료의 분석은 계절별 서식밀도, 종 조성비, 집괴분석, 종 다양성 분석을 통해 조사지역의 대형무척추동물 군집특성을 파악하고자 하였다.

가. 연구지역의 종다양성 연구

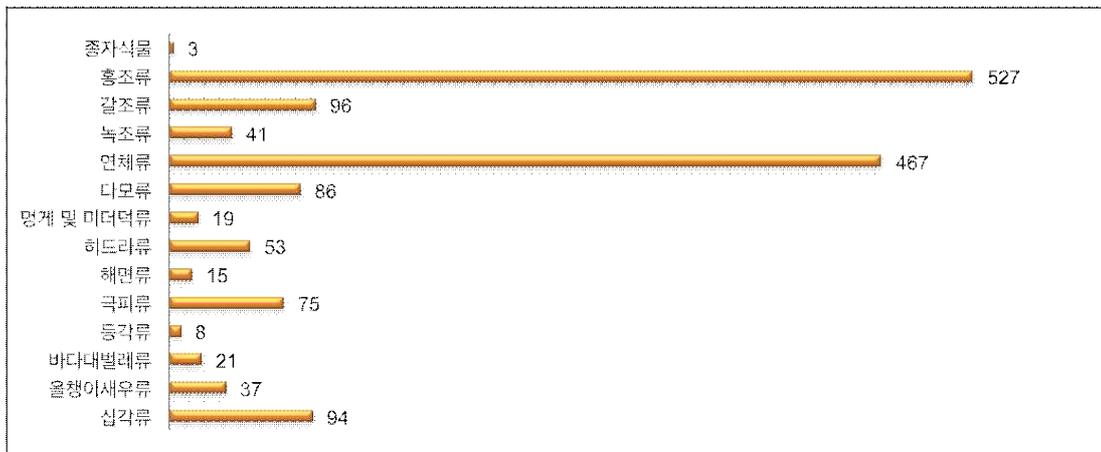


그림 3-5-2. 동해안에 서식하는 종 리스트

표 3-5-1. 동해서식 종리스트 예시

Phylum	Family	Species	채집지 또는 조사지	References
	Matutidae De Haan, 1835 금게과	<i>Matuta victor</i> (Fabricius, 1791) 금게	구룡포	Kim, H. S., 1973: 321
Arthropoda	Cancridae Latreille, 1802 은형게과	<i>Glebocarcinus amphioetus</i> Rathbun, 1898 꼬마은형게	울릉도, 송정	Kim, H. S., 1973: 332
	Cancridae Latreille, 1802 은형게과	<i>Glebocarcinus amphioetus</i> Rathbun, 1898 꼬마은형게	울진	Kamita, 1941: 113
.....				

동해안의 종다양성 연구를 위해 과거 문헌과 저서(도감: 58권, 생물지, 전문학술지)등을 분석한 결과 현재 동해안에 서식하는 해양생물은 총 1,231종이 확인되었다(그림 3-5-2, 표 3-5-1). 분류군별로 종자식물 2종, 홍조류 527종, 갈조류 96종, 녹조류 41종, 연체류 467종, 다모류 86종, 멧게 및 미더덕류 19종, 히드라류 53종, 해면류 15종, 극피류 75종, 등각류 8종, 바다대벌레류 21종, 올챙이새우류 37종, 십각류 94종이 출현하는 것으로 보고되었다. 현재까지 조사된 결과 동해에서는 홍조류와 연체류가 가장 많이 서식하는 것으로 보고되었으며, 십각류, 갈조류, 다모류 순으로 종이 다양하게 나타났다.

나. 연구지역의 환경특성

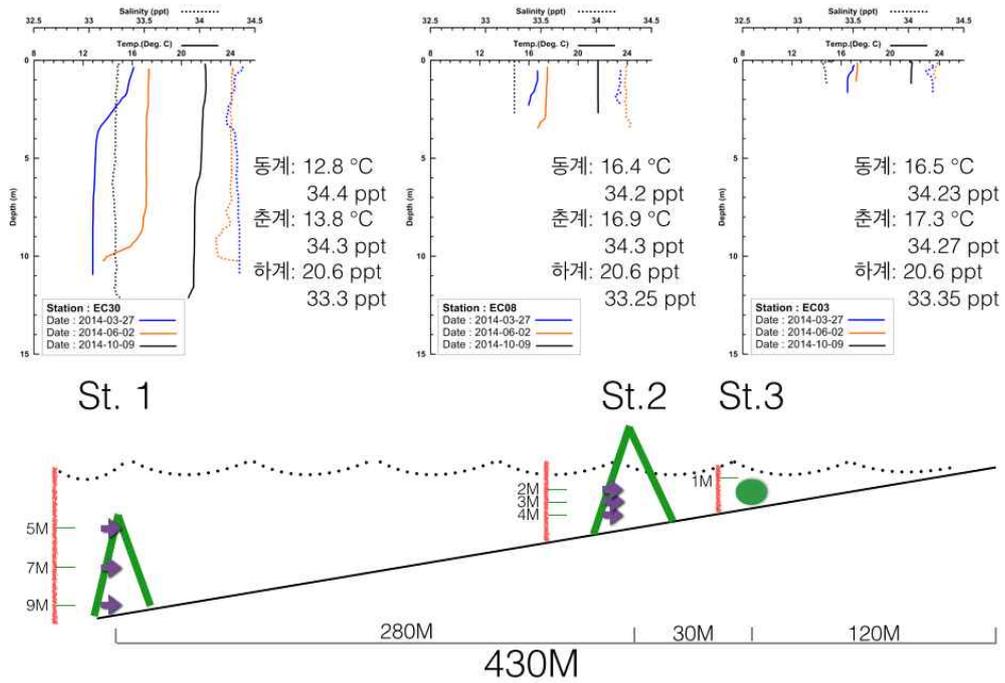


그림 3-5-3. 조사 기간별 수온, 염도, 조사 수심



그림 3-5-4. 하계에 후암주변 지천에서 태풍과 폭우로 인해 담수와 퇴적물이 바다로 유입되는 현상

본 연구지역인 후암의 연안에서 각 정점별 거리는 정점 1 430 m, 정점 2 150

m, 정점 3 120 m이며, 조사 수심은 연안에서 가장 먼 거리에 위치한 정점 1 5 m, 7 m, 9 m, 정점 2 2 m, 3 m, 4 m, 정점 3은 전체적으로 1.2~1.8 m의 수심 구배를 나타냈다(그림 3-5-3). 수온은 동계에 정점 1은 12℃, 정점 2와 2은 16.5℃로 4℃정도 차이를 보이지만, 춘계, 하계는 정점별로 큰 차이를 나타내지 않았다(그림 3-5-3). 염분은 동계와 춘계는 34 psu의 수준을 보이거나 하계에는 33 psu 수준을 나타냈으며, 하계에 정점 1, 2, 3에서 염분 값이 모두 낮아지는 것으로 보아 태풍과 폭우 등으로 인한 후암 주변의 지천에서 담수유입이 급증하여 염분변화가 나타난 것으로 생각된다(그림 3-5-4).

다. 대형무척추동물의 종 다양성

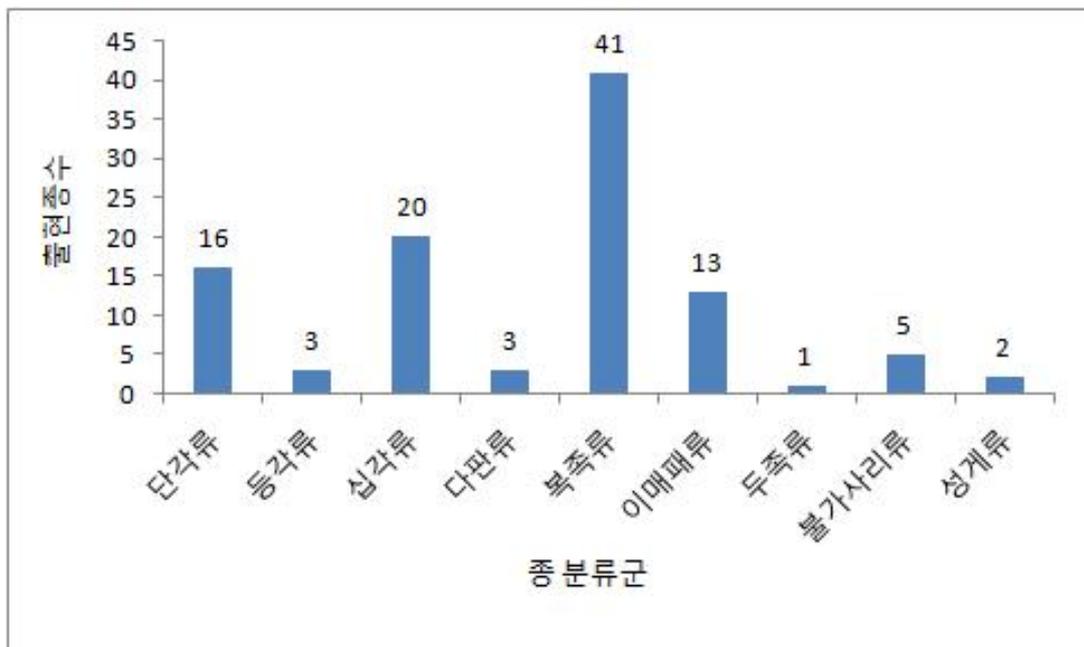


그림 3-5-5. 2014년 후암 무척추동물의 종 다양성

2014년 후암 주변의 수중 경성암반 부착 저서생물의 조사 결과 총 104종 1913 개체가 출현하였다. 복족류가 41종이 출현하여 가장 높은 종 다양성을 나타냈으며, 그 다음으로 십각류가 20종으로 높은 종 다양성을 나타냈고, 두족류(문어)가 1종으로 가장 낮은 종 다양성을 나타냈다(그림 3-5-5).

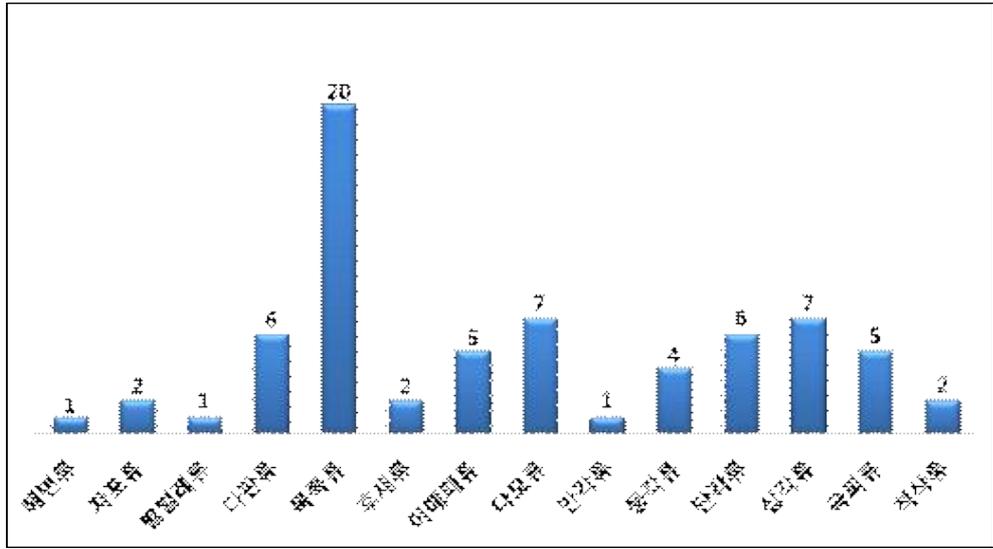


그림 3-5-6. 2015년 후암 대형무척추동물의 종 다양성

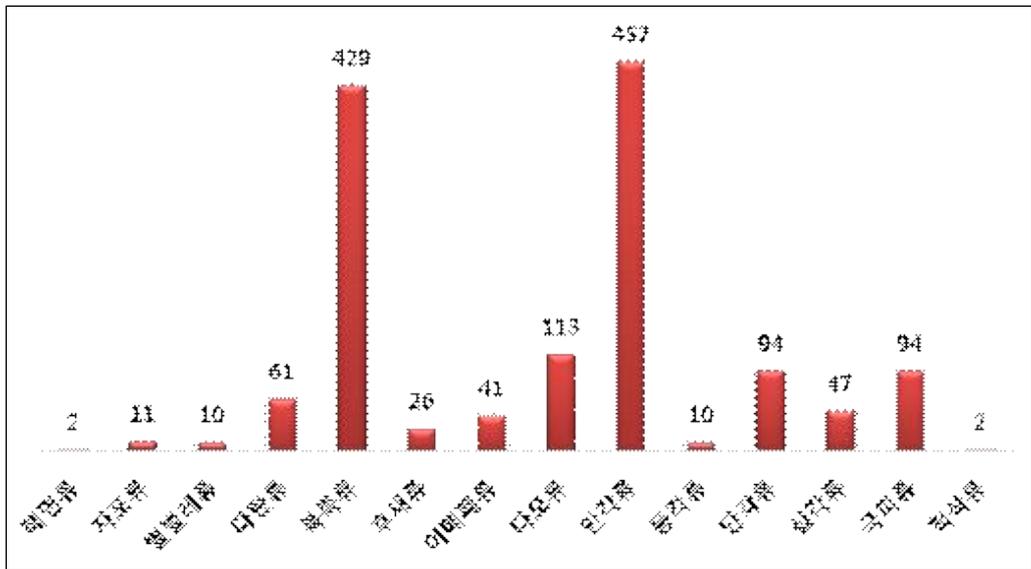


그림 3-5-7. 2015년 후암 대형무척추동물의 종 개체수

2015년 후암 주변의 수중 경성암반 부착 저서생물의 조사 결과 총 69종 1397 개체가 출현하였다(그림 3-5-6~7). 후암 지역의 대형무척추동물을 상위 14개의 분류군으로 나누어 본 결과 복족류가 20종으로 가장 많았으며, 그 다음 다모류 7종, 십각류 7종 등의 순으로 나타났다. 따개비류가 동계, 춘계, 하계 조사기간 중 가장 많이 출현하였으며, 그 다음 뿔두드럭고등, 별불가사리 순으로 나타났다. 개체수도 따개비류가 457개체로 가장 많이 채집되었으며, 그 다음 등근입얼룩고등, 뿔두드럭고등, 구멍밤고등 등의 순으로 높게 나타났다. 조사시기에 관계없이 말

미잘류, 벌벌레류, 다관류는 St.1 보다 St.2, 3에 많은 개체수가 서식하고 있으며, 이는 St.1 지역의 은폐할 지역이 적고 넓게 퍼진 지형보다 St.2, 3 지역의 크고 작은 돌의 틈새가 있어 서식하기 좋은 환경의 영향으로 판단된다. 하계 조사에서는 군소가 다른 조사시기 보다 많이 출현하여 나타났다.

라. 계절별 조사지역의 분류군 조성 특성

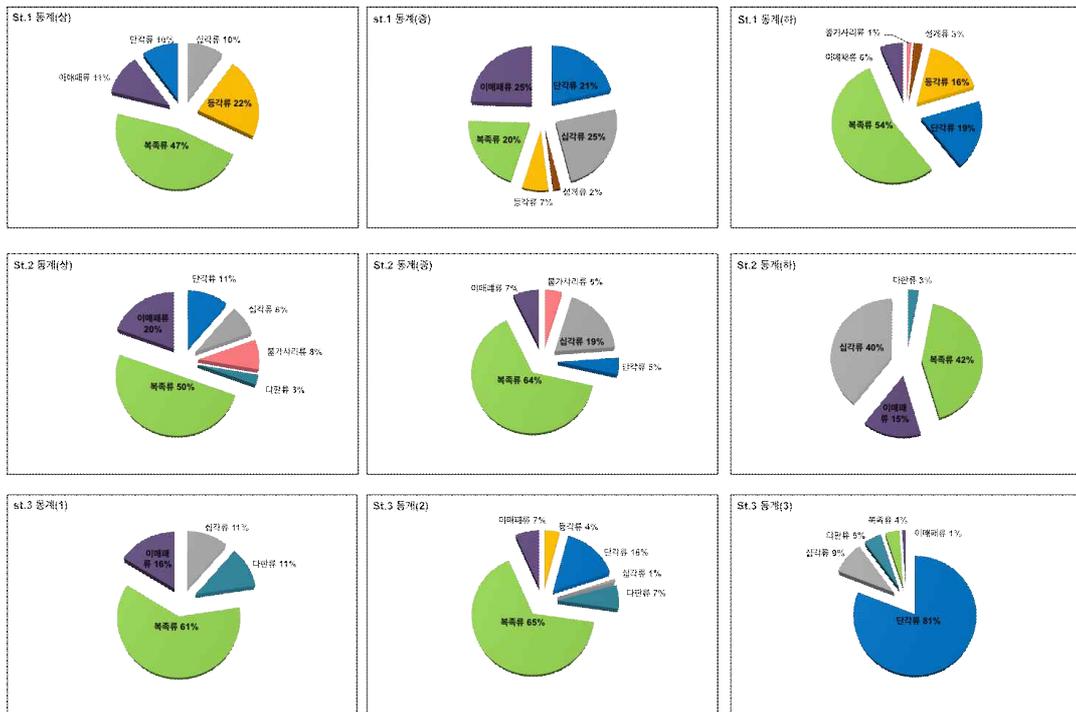


그림 3-5-8. 2014년 동계의 정점별 무척추동물 중 구성 비교

2014년 후암 주변 대형무척추동물의 서식밀도는 계절별로 동계와 춘계는 전 정점 암반 중앙부에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈지만 하계에는 정점 1, 3 암반 상부에서 가장 높은 서식밀도를 나타내 동계와 춘계의 서식밀도 경향과는 다른 결과를 나타냈다(그림 3-5-7). 계절별 서식밀도는 하계에 정점 1의 상부에서 가장 높은 서식밀도를 나타냈으며, 정점 2의 상부에서 가장 낮은 서식밀도를 나타냈다. 하계 정점 1의 상부에는 만각류(삼각따개비)가 암반을 뒤덮는 높은 우점을 나타냈으며, 긴네모돌조개(69개체), 애기털보부채게(59개체), 작은꽃부채게(44개체)가 높은 출현을 나타냈다. 하계 정점 1에서 높은 서식밀도는 나타낸 것은 만각류 다음으로 높은 우점을 나타낸 긴네모돌조개와 애기털보부채게, 작은꽃부채게가 만각류 군집의 틈새를 서식처로 이용하여 다른 정점과 비해 높은 서식밀도를 나타낸 것으로 판단된다. 정점 3은 비슷한 수심대의 바위 위쪽을 조사한 것으로 동계는 평균 94개체, 춘계는 70개체, 하계는 42개체가 출현하였으며, 수온이 상승함에 따라 해조류가 녹음으로써 먹이와 은신처의 감소로 인한 연체류 개체수가 영향을 받았을 것이라 판단된다(그림 3-5-7).

2014년 계절별 무척추동물의 종 구성을 살펴보면 춘계에는 각 정점 및 수심별로 대형무척추동물이 10~27종 출현하였으며, 정점 1의 암반 중앙부에서 27종의

로 가장 높은 종수를 나타냈고, 정점 2에서 10~13종이 출현하여 다른 조사 정점에 비해 상대적으로 가장 낮은 출현종수를 나타냈다(3-5-8). 분류군별 종조성은 정점 3의 암반 하부를 제외하고 대부분 복족류가 우점하였으며, 다음으로 이매패류, 십각류 또는 단각류 등이 우점하여 나타났다. 수심이 가장 깊은 정점 1에서 다른 정점의 암반 상, 중, 하부보다 상대적으로 다양한 분류군 조성비를 나타냈으며, 정점 1의 중부에서 복족류, 이매패류, 단각류, 십각류의 종 조성이 고른 분포를 나타내 다양한 분류군이 서식하기에 유리한 조건으로 생각됨(그림 3-5-8).

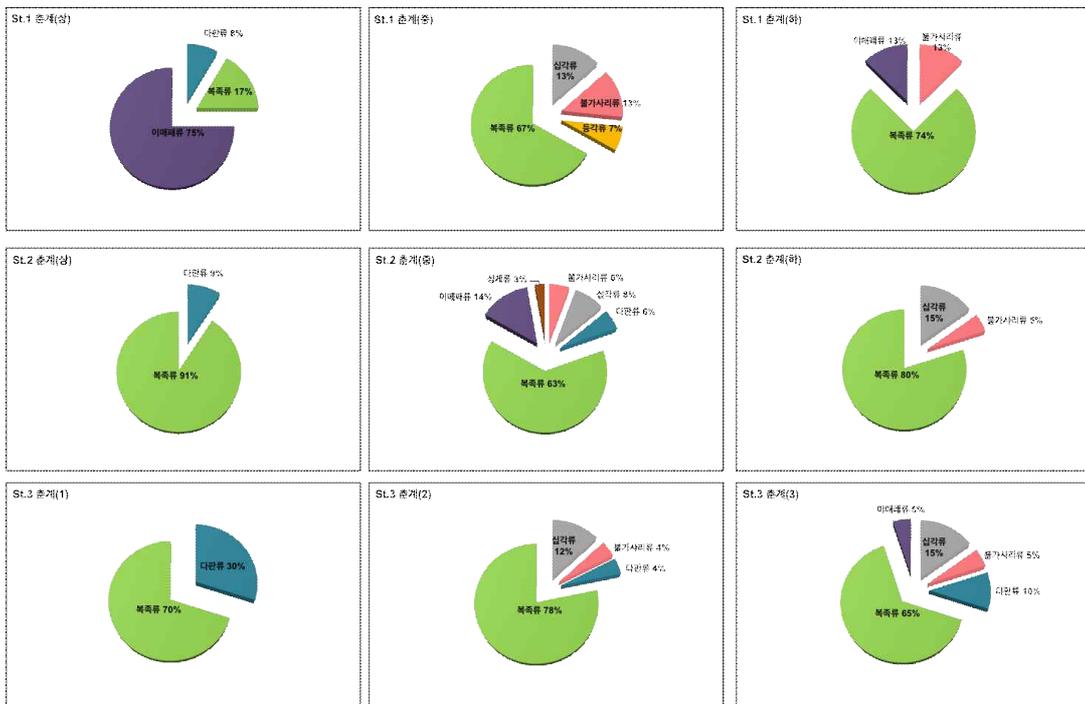


그림 3-5-9. 2014년 준계의 정점별 무척추동물 종 구성 비교

준계는 각 정점 및 수심별로 대형무척추동물이 3~16종이 출현하여 조사기간 중 가장 낮은 출현을 나타냈다. 정점 2의 암반 중앙부를 제외하고 대부분 10종 미만으로 조사되어 조사기간 중 가장 빈약한 출현을 나타냈으며, 정점 1의 암반 상부를 제외하고 대부분 조사정점에서 복족류가 우점하는 것으로 나타나 우점 분류군의 경향이 동계와 유사한 결과를 나타냈지만 복족류가 대부분의 정점에서 약 60% 이상을 차지해 종 조성의 경향은 다르게 나타났다(그림 3-5-9). 또한 복족류 외에 다른 분류군의 출현이 동계와 추계에 비하여 매우 빈약하고 단조로운 경향을 나타냈으며, 특히 대부분의 정점에서 암반 상부와 하부는 암반 중앙부 비해 매우 단순한 군집구조를 나타냈다(그림 3-5-9).

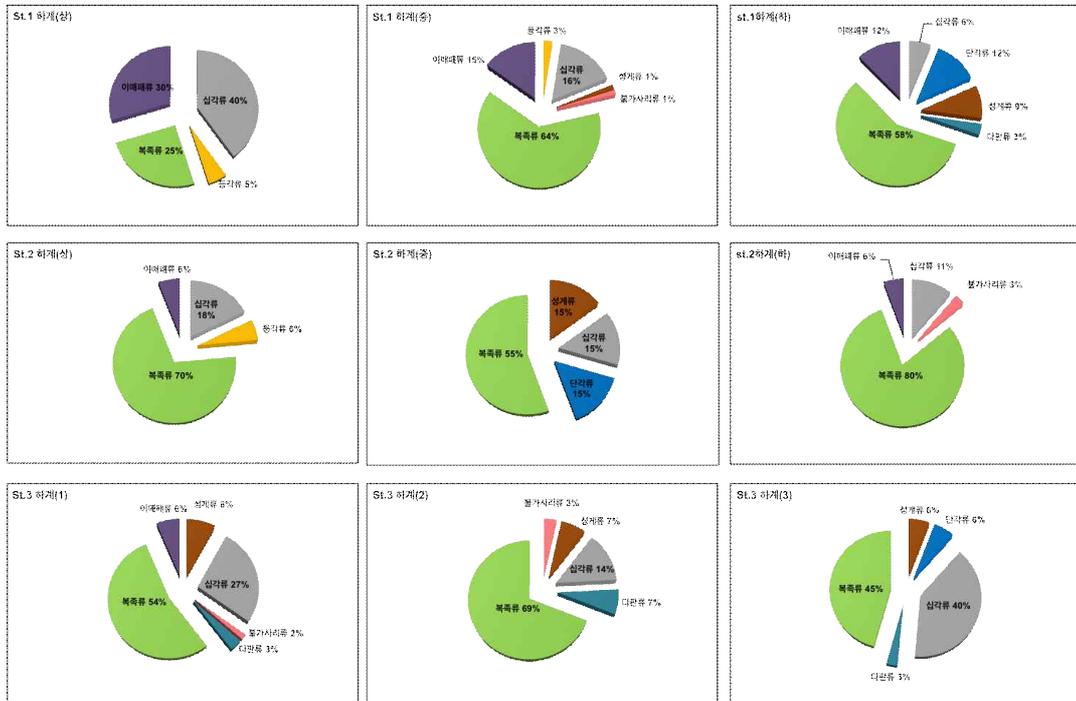


그림 3-5-10. 2014년 하계의 정점별 무척추동물 중 구성 비교

하계는 각 정점 및 수심별로 대형무척추동물이 9~26종이 출현하여 동계와 유사한 출현 종수를 나타냈다. 수심이 가장 깊은 정점 1이 다른 조사 정점에 비해 상대적으로 가장 다양한 분류군이 출현하였다. 정점 1의 암반 중앙부와 하부는 복족류가 높은 비율로 출현을 나타냈으나 상부에서는 십각류와 이매패류가 높은 출현을 나타냈는데 이러한 결과는 암반 상부를 뒤덮고 있는 만각류가 십각류에 속하는 애기털보부채게와 이매패류에 속하는 긴네모돌조개의 서식처를 제공한 결과로 판단된다. 정점 2는 9~12종의 출현 종수를 나타내 다른 정점과 비교하여 상대적으로 가장 낮은 출현 종수를 나타냈으며, 복족류 외에 다른 분류군의 출현이 빈약하게 나타나 단조로운 군집구조를 나타냈다. 연안과 가장 인접한 정점 3 또한 평균적으로 복족류가 가장 높은 출현 비율을 나타냈으며, 다른 정점과 비교하여 상대적으로 십각류의 출현이 높은 비율로 나타났다(그림 3-5-10).

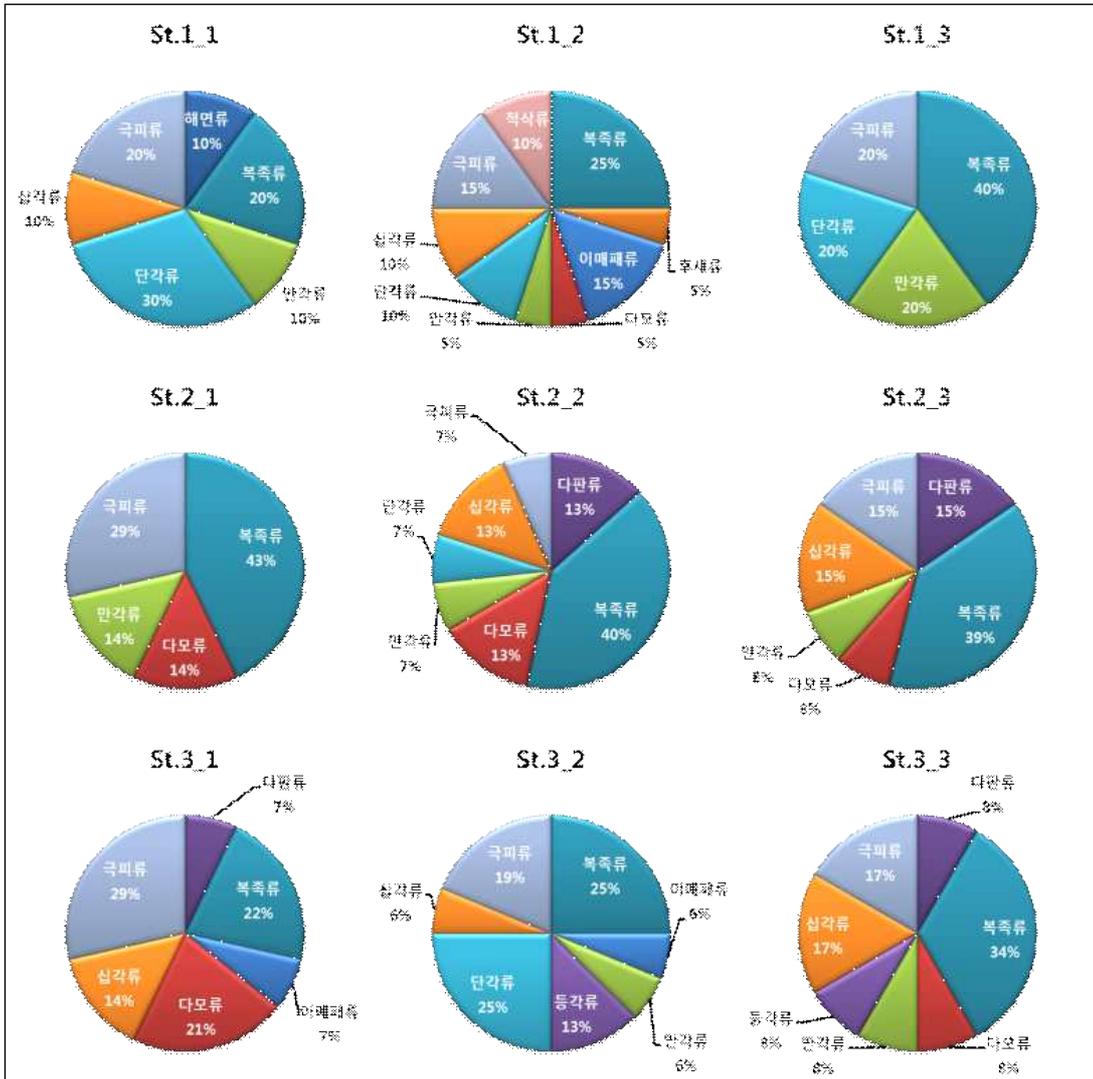


그림 3-5-11. 2015년 동계의 정점별 무척추동물 중 구성 비교

2015년 계절별 무척추동물의 종 구성을 살펴보면 동계에는 각 정점 및 수심별로 대형무척추동물이 총 45종 400개체가 출현하였다. 정점별로 정점 1은 정점 1-2 가장 많은 종(20종)이 출현하였으며, 정점 1-3에서 가장 적은 종(5종)이 출현하였다. 정점 2는 정점 2-3에서 가장 많은 개체수(85개체)가 출현하였으며, 정점 3은 정점 3-1에서 가장 적은 개체수(28개체)가 출현하였다. 따개비류(*Balanus* sp.)는 정점 3-1을 제외하고 모든 정점에서 출현하였으며, 그 다음 별불가사리(*Asterina pectinifera*), 빨두드럭고둥(*Reishia luteostoma*) 등의 순으로 나타났다. 개체수도 따개비류가 가장 많이 출현하였으며(25개체), 빨두드럭고둥, 구멍밤고둥(*Chlorostoma argyrostoma turbinatum*) 등의 순으로 출현하였다(그림 3-5-11).

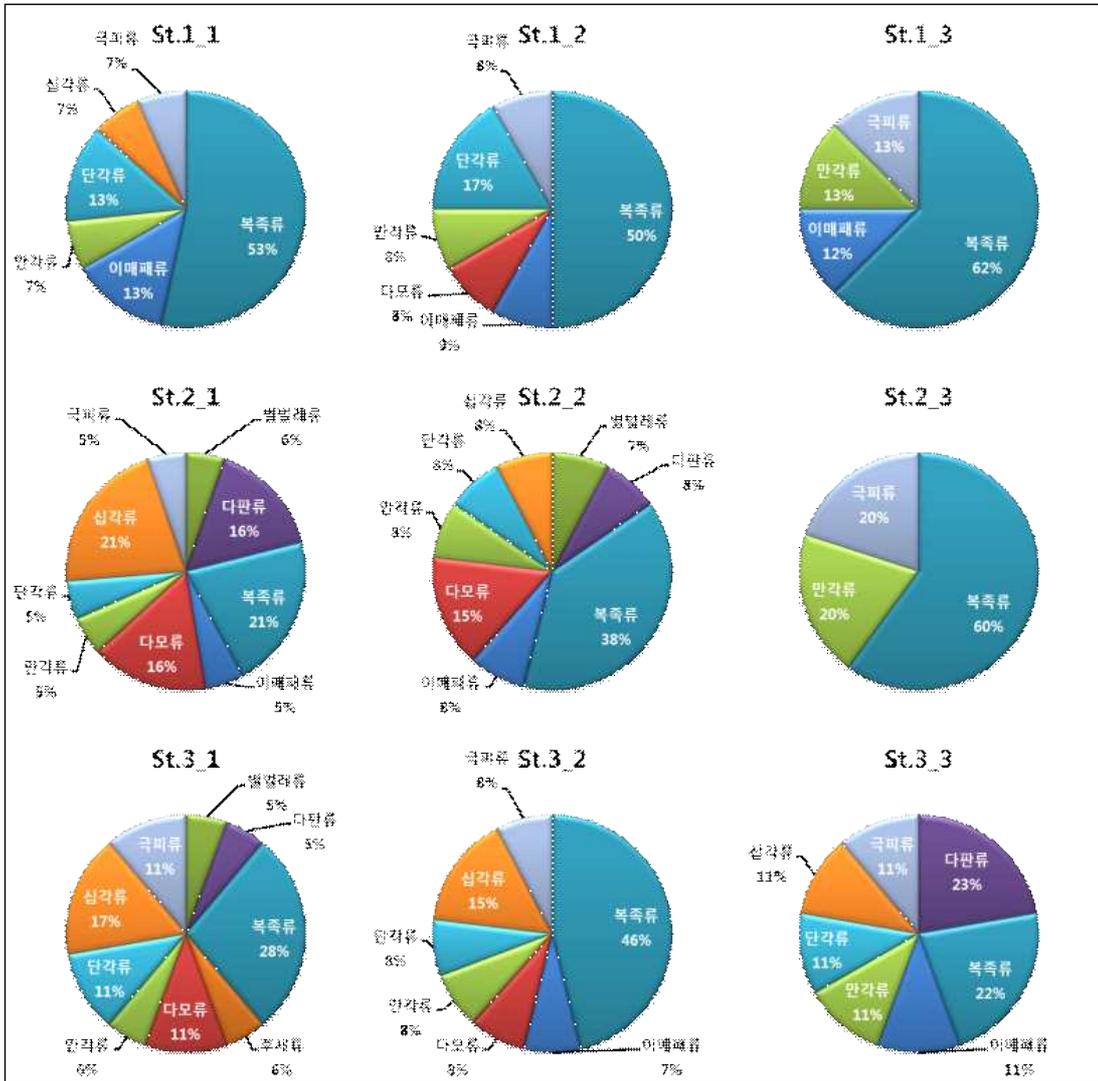


그림 3-5-12. 2015년 춘계의 정점별 무척추동물 중 구성 비교

춘계에는 총 43종 533개체 출현하였으며, 정점별로 정점 2는 정점 2-1에서 가장 많은 종(19종)이 출현하고, 정점 2-3에서 가장 적은 종(5종)이 출현하였다. 정점 3은 정점 3-1에서 가장 많은 개체수(119개체)가 출현하였으며, St.3-3에서 가장 적은 개체수(21개체)가 출현하였다. 따개비류는 모든 정점에서 채집하였으며, 그 다음 뿔두드럭고등, 구멍밤고등, 둥근입얼룩고등(*Cantharidus jessoensis*) 등의 순으로 나타났다. 개체수도 따개비류가 가장 많이 채집되었으며(142개체), 둥근입얼룩고등, 석회관갯지렁이류 2(*Serpula* sp. 2) 등의 순으로 나타났다(그림 3-5-12).

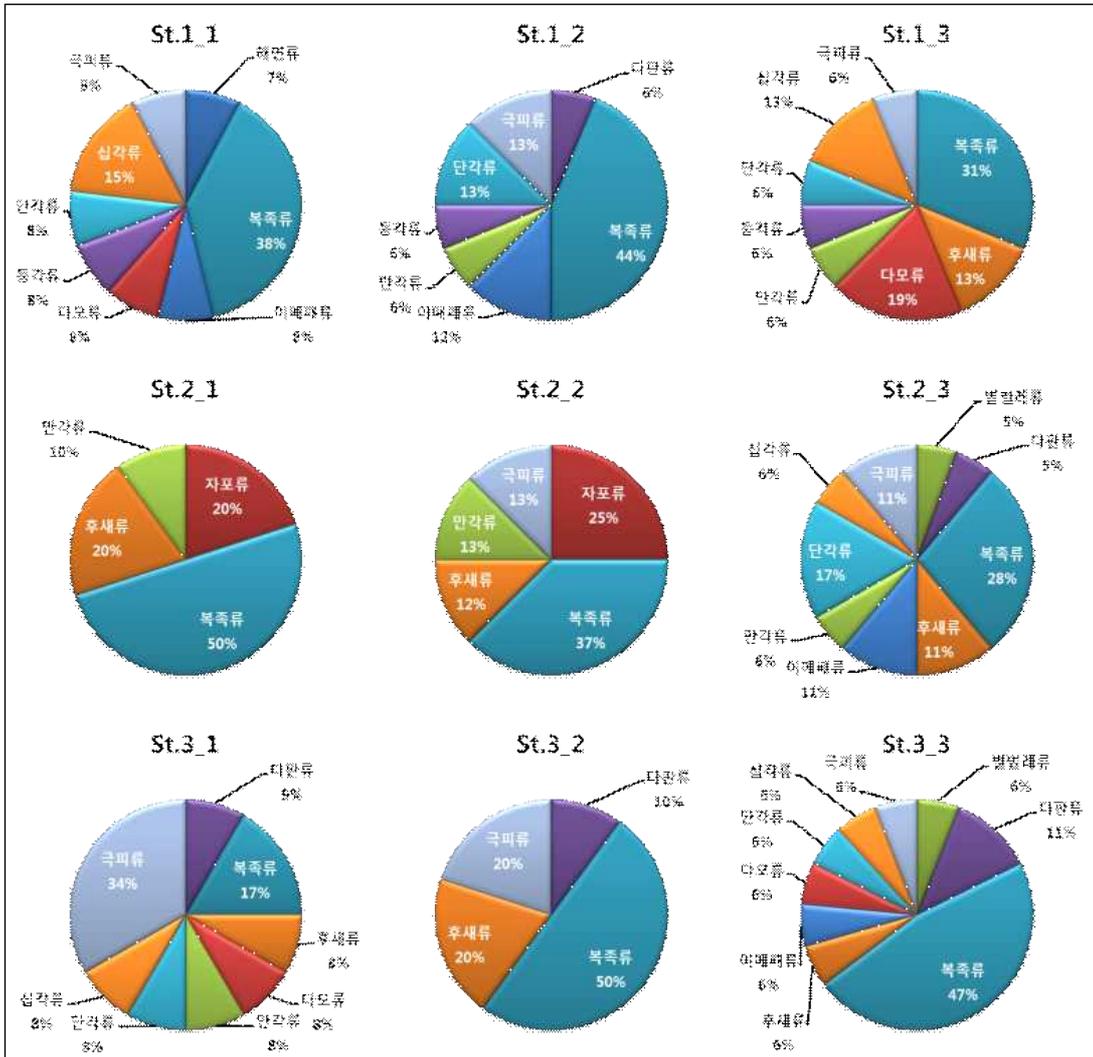
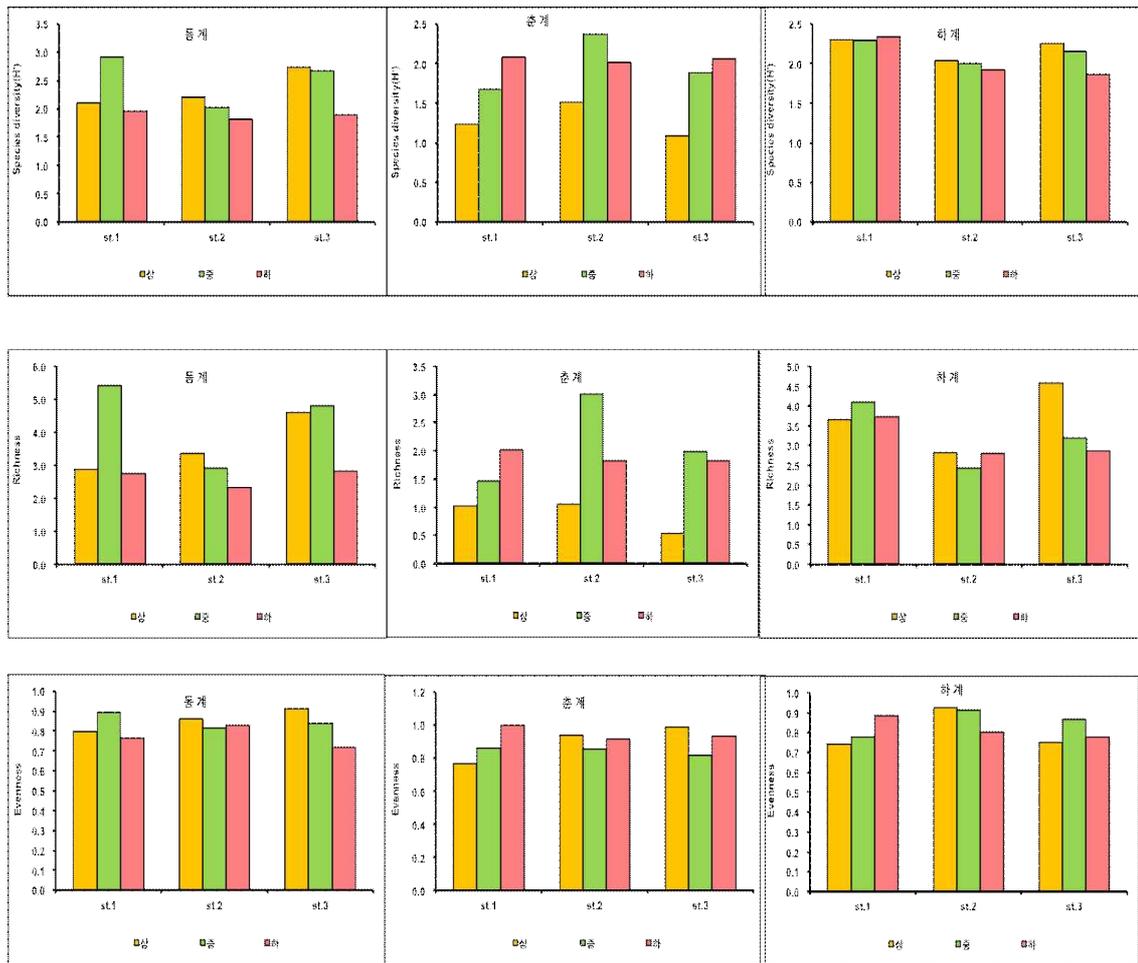


그림 3-5-13. 2015년 하계의 정점별 무척추동물 중 구성 비교

하계에는 총 46종 464개체 출현하였으며, 정점별로 정점 2-3에서 가장 많은 종 (18종)이 출현하였고, 정점 2-2에서 가장 적은 종(8종)이 출현하였다. 정점 1-3에서 가장 많은 개체수(137개체)가 출현하였으며, 정점 2-2와 3-2에서 가장 적은 개체수(24개체)가 출현하였다. 빨두드럭고등과 군소(*Aplysia kurodai*)가 가장 많은 정점(7정점)에서 채집되었으며, 개체수는 따개비류, 둥근입얼룩고등, 구멍밤고등, 별불가사리 순으로 나타났다. 하계는 각 정점 및 수심별로 대형무척추동물이 8~18종 출현하였고, 전체적으로 복족류가 최우점 분류군으로 나타났다(그림 3-5-13).

마. 계절별 조사지역의 종다양성, 풍부도, 균등도 특성



		St.1			St.2			St.3		
		상	중	하	상	중	하	상	중	하
동계	종다양도	2.10	2.91	1.97	2.21	2.03	1.82	2.73	2.67	1.90
	풍부도	2.89	5.41	2.75	3.35	2.91	2.33	4.60	4.80	2.82
	균등도	0.80	0.89	0.77	0.86	0.82	0.83	0.91	0.84	0.72
여름	종다양도	1.23	1.68	2.08	1.52	2.38	2.01	1.09	1.89	2.06
	풍부도	1.03	1.47	2.02	1.06	3.02	1.83	0.54	1.99	1.83
	균등도	0.80	0.84	0.77	0.94	0.86	0.92	0.99	0.82	0.94
하계	종다양도	2.30	2.30	2.34	2.04	2.00	1.92	0.92	0.84	0.72
	풍부도	3.67	4.11	3.72	2.82	2.43	2.79	4.59	3.20	2.86
	균등도	0.74	0.78	0.89	0.93	0.91	0.80	0.75	0.87	0.78

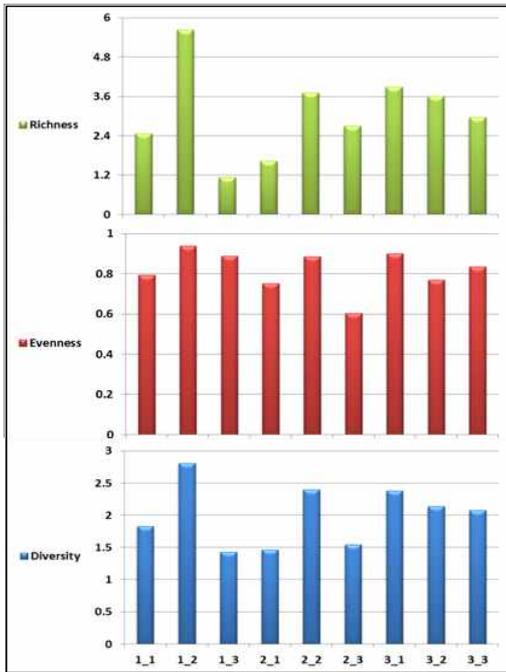
그림 3-5-14. 2014년 계절별 조사지역의 종다양도, 풍부도 및 균등도 지수

2014년 후암의 조사 기간 동안 각 조사 정점 및 계절별 종 다양성 지수는 평균 0.83~2.43의 범위를 나타냈다(그림 3-5-14). 계절별 평균 종다양성 지수는 동계가 2.26으로 1.77과 1.71을 보인 춘계와 하계에 비해 높은 값을 나타냈으며, 정

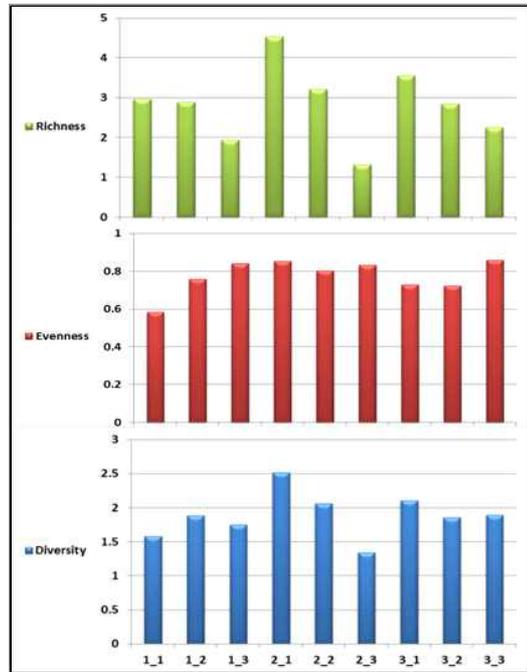
점별 평균 종다양성 지수는 정점1에서 2.10으로 정점 2(1.99)와 정점 3(1.65)에 비해 높은 값을 나타냈다. 상대적으로 연안으로부터 멀리 떨어진 정점 1이 정점 2와 3에 비해 다양한 대형무척추동물이 서식하기에 유리한 조건으로 판단된다.

수심별 종 다양성 분석 결과 하계는 수심별 종 다양성 지수가 큰 차이를 보이지 않았으며, 동계에서는 암반 상부와 중부가 상대적으로 하부와 비교하여 높은 값을 나타냈고, 춘계는 암반 중부와 하부의 다양성 지수가 상대적으로 상부보다 다소 높게 나타났다. 계절적인 평균 종 풍부도는 동계(3.54)와 하계(3.35)가 춘계(1.64)에 비해 높은 값을 나타내 춘계가 상대적으로 가장 빈약한 종 풍부도를 나타냈다. 정점별 평균 종 풍부도는 정점 1(3.01), 정점 3(3.03)이 정점 2(2.50) 보다 높은 값을 나타내어 상대적으로 가장 빈약한 종 풍부도를 나타냈다. 동계는 암반 상부와 중부에서 하부에 비해 상대적으로 높은 종 풍부도 값을 나타냈으나 춘계는 암반 중부와 하부에서 상부에 비해 상대적으로 높은 종 풍부도 값을 나타내 다른 경향을 나타냈다. 반면 하계의 경우 암반 상, 중, 하부가 유사한 종 풍부도 값을 나타내 계절별로 조사지역의 종 풍부도가 다른 경향을 나타냈다. 조사지역의 수심별 종 풍부도는 종 다양성 지수와 유사한 경향을 나타냈으며, 종 다양성 지수가 높을수록 풍부도 역시 높게 나타났다.

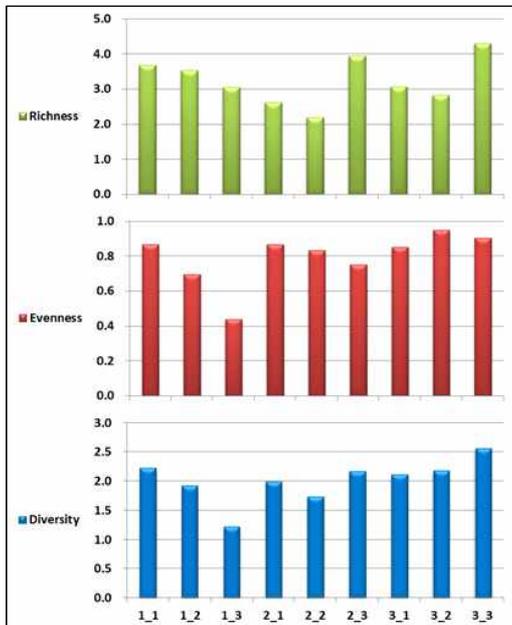
계절별 평균 균등도는 동계와 하계에 0.83을 나타냈으며, 춘계에 0.87로 계절별로 유사한 값을 나타냈다. 또한 조사 정점별 평균 균등도 역시 큰 차이를 보이지 않았다. 계절별로 조사지역의 균등도가 유사한 값을 나타낸 것은 조사기간 동안 대부분 복족류가 높은 우점을 나타내어 균등도 값이 유사하게 나타난 것으로 판단된다.



2015년 동계



2015년 준계



2015년 하계

그림 3-5-15. 2015년 계절별 조사지역의 종다양도, 풍부도 및 균등도 지수

2015년 후암의 조사 기간 동안 각 조사 정점 및 계절별 종 다양성 지수는 정점1-2에서 다양도 지수가 2.815로 가장 높게 나타났으며, 다른 정점과 비교하여 균등도(0.939) 및 풍부도 지수(5.643)도 가장 높게 나타났다(그림 3-5-15). 정점 2-1에서 다양도 지수가 2.514로 가장 높게 나타났으며, 다른 정점과 비교하여 균등도(0.853) 및 풍부도(4.534) 지수도 가장 높게 나타났다. 정점 3-3 정점에서 다

양도 지수(2.559)와 풍부도 지수(4.309)가 가장 높게 나타났으며, 균등도 지수는 St.3-2 정점에서 가장 높게 나타났다.

정점별 평균 다양도 지수는 정점1은 1.852, 정점 2는 1.915, 정점 3은 2.147로 정점 3에서 가장 높은 값을 나타냈다. 조사시기에 따른 다양도 지수는 동계 2.010, 춘계 1.887, 하계 2.015로 동계와 하계가 비슷한 값을 나타내고, 춘계에 약간 낮은 값을 나타냈다. 조사시기에 따른 종 풍부도는 동계(3.088)와 하계(3.248)가 춘계(2.833)에 비해 높은 값을 나타냈다.

정점별 평균 종 풍부도는 정점 1에서 3.035, 정점 3은 3.259, 정점 2는 2.876로 정점 3에서 가장 높은 풍부도 값을 나타냈고, 정점 2에서 가장 빈약한 풍부도 값을 나타냈다. 조사시기에 따른 종 균등도는 동계 0.820와 하계 0.795로 춘계 0.776에 비해 높은 값을 나타냈다. 정점별 평균 종 균등도는 정점 2에서 0.799, 정점 3에서 0.837, 정점 1에서 0.757로 정점 3에서 가장 높고, 정점 1에서 가장 빈약한 종 풍부도를 나타냈다. 보다 높은 값을 나타내어 상대적으로 가장 빈약한 종 풍부도를 나타냈다. 춘계 조사에서는 비교적 깊은 수심인 정점 1에서 등근입얼룩고둥의 개체수가 급격하게 증가하는데 이는 종 균등도에 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다(그림 3-5-15).

2. 사질·수중암반 서식환경 유형별 간극생물의 종 변동성 연구

가. 왕피천 유입해역 및 대조 사질해역에 서식하는 해양선형동물의 종 다양성 연구

경북 울진 왕피천 유입해역과 대조 사질해역에 서식하는 해양선형동물의 종 다양성 연구를 위해 2013년 총 2회(5월, 8월) 조사를 실시하여 1장 3목 27과 80속 90종 386개체의 종 목록을 작성하였다. 그리고 하천유입 해역과 대조사질 해역에서 우점하여 서식하는 해양선형동물에 관한 디지털 영상도판을 작성하였다. 또한 왕피천 유입해역과 대조 사질해역의 해양선형동물 생태군집특성 분석을 실시하였다.

1) 서식지별 해양선형동물의 생태특성 분석

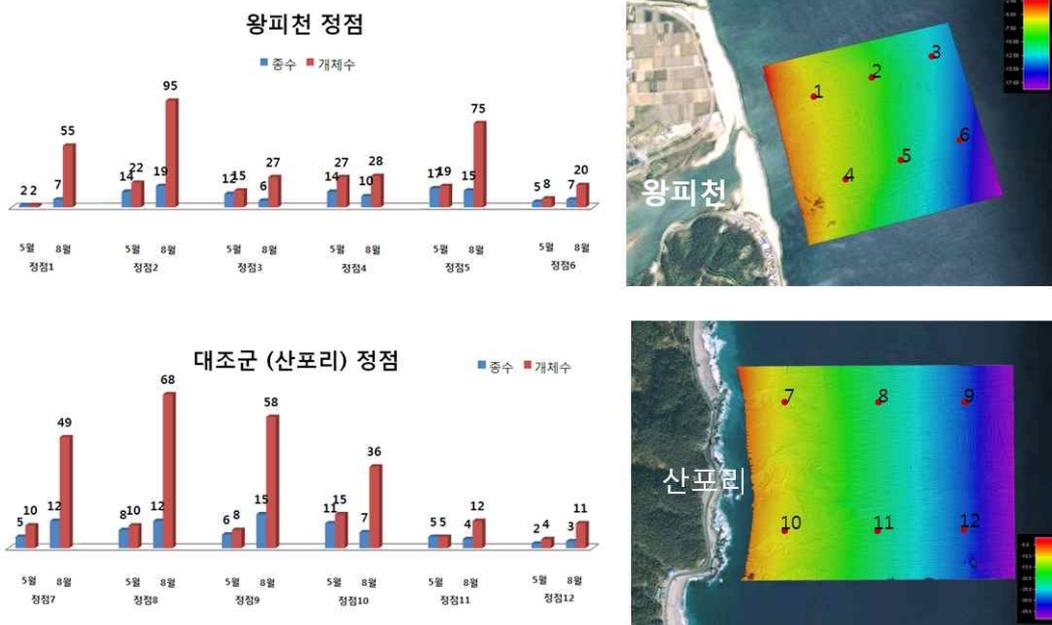


그림 3-5-16. 하천유입해역 및 대조사질해역의 해양선형동물 종 수 및 개체수

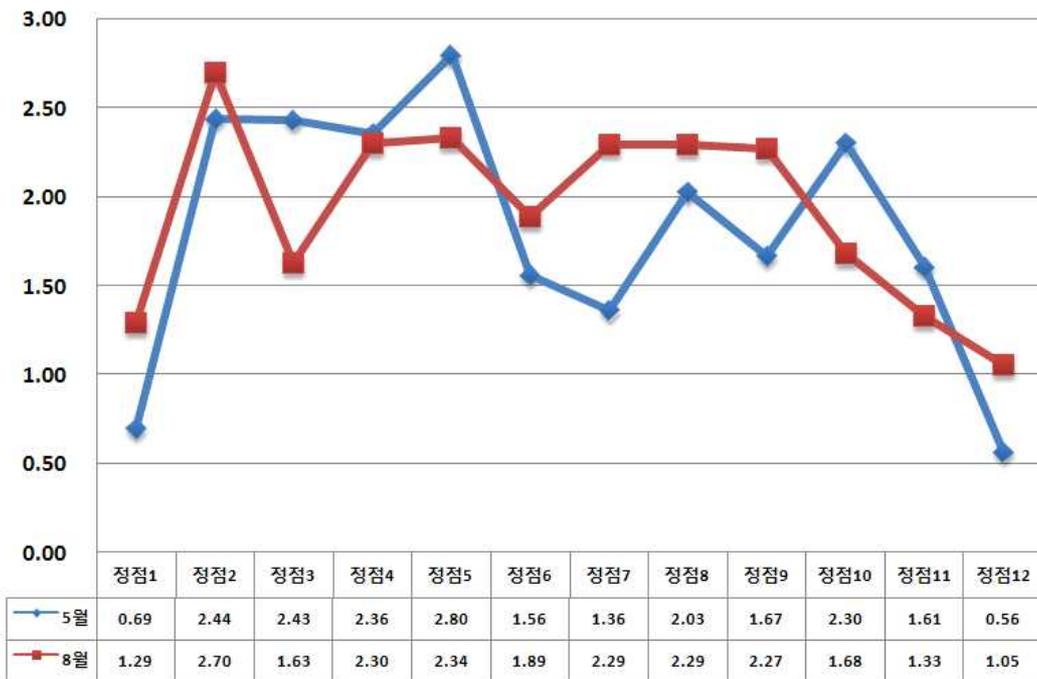


그림 3-5-17. 하천유입해역 및 대조사질해역의 해양선형동물 종다양도지수

왕피천 하천유입해역 및 울진 산포리 대조사질 해역의 해양선형동물 군집특성을 파악하기 위하여 종 수, 개체수, 종다양도 지수에 대한 자료를 분석한 결과

하천유입해역의 종 수는 1차 조사인 5월에는 정점 1에서 2종으로 가장 낮은 출현을 나타냈으며, 정점 5에서 17종으로 가장 높게 나타났다. 2차 조사인 8월에는 정점 3에서 6종으로 가장 낮은 종수를 나타냈으며, 정점 2에서 19종으로 가장 종수를 나타냈다(그림 3-5-16).

하천유입해역의 개체수는 1차 조사인 5월에는 정점 1에서 2개체로 가장 적었으며 정점 4에서 27개체로 가장 많았고 2차 조사인 8월에는 정점 6에서 20개체로 가장 적었으며, 정점 2에서 95개체로 가장 높게 나타났다. 대조구 사질 해역의 종 수는 1차 조사인 5월에는 정점 12에서 2종으로 가장 적었으며, 정점 10에서 11종으로 가장 많았고 2차 조사인 8월에는 정점 12에서 3종으로 가장 낮고 정점 9에서 15종으로 가장 높게 나타났다.

대조구 사질 해역의 개체수는 1차 조사인 5월에는 정점 12에서 4개체로 가장 적었으며 정점 10에서 15개체로 가장 많았고 2차 조사인 8월 달에는 정점 12에서 11개체로 가장 적었으며, 정점 8에서 68개체로 가장 높게 나타났다.

조사시기별 종 다양도는 5월에 하천유입 해역인 정점 5에서 2.80으로 종 다양도가 가장 높게 나타나고 대조사질 해역인 정점 12에서 0.56로 가장 낮게 나타났으며, 8월에는 하천유입 해역인 정점 2에서 2.70으로 종 다양도가 가장 높게 나타나고 대조사질 해역인 정점 12에서 1.05로 가장 낮게 나타났다(그림 3-5-17).

2) 서식지별 해양선형동물의 종 다양성 연구

왕피천 유입해역 및 대조 사질해역에 서식하는 해양선형동물의 종 다양성 연구를 위해 종 목록 및 관찰재료의 목록을 작성하였다.

Phylum Nematoda

Class Adenophora

Subclass Enoplia

Order Enoplida

Suborder Enoplina

Superfamily Enoploidea

Family Anoplostomatidae

Subfamily Anoplostomatinae

Genus *Anoplostoma* Bütschli, 1874

1. *Anoplostoma* sp.

관찰재료: 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m

Subfamily Chaetonematinae

Genus *Chaetonema* Fiipjev, 1927

2. *Chaetonema* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m; 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Family Thoracostomopsidae

Subfamily Enoplolaiminae

Genus *Enoploides* Saweljev, 1912

3. *Enoploides* sp. (Fig. 1)

관찰재료: 2개체. 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m

Genus *Enoplolaimus* De Man, 1893

4. *Enoplolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m/ 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m

Genus *Oxyonchus* Filipjev, 1927

5. *Oxyonchus* sp. (Fig. 2)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m

Genus *Paramesacanthion* Wieser, 1953

6. *Paramesacanthion* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m

Genus *Mesacanthion* Filipjev, 1977

7. *Mesacanthion* sp. (Fig. 3)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m; 관찰재료: 6개체, 2013.08.26. 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 3개체, 2013.08.26. 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m/ 1개체, 2013.08.26. 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 12개체. 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m

Genus *Enoploides* Saweljev, 1912

8. *Enoploides* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m

Subfamily Trileptiinae

Genus *Trileptium* Cobb, 1933

9. *Trileptium* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 점점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Family Phanodermatidae

Subfamily Crenopharynginae

Genus *Phanodermopsis* Ditlevsen, 1926

10. *Phanodermopsis* sp.

관찰재료: 6개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Family Anticomidae

Genus *Anticoma* Bastian, 1865

11. *Anticoma* sp. (Fig. 4)

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점12, 21m

Genus *Cephalanticoma* Platonova, 1976

12. *Cephalanticoma* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Odontanticoma* Platonova, 1976

13. *Odontanticoma* sp. (Fig. 5)

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 4개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m/ 10개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 2개체, 경북 울진 산포리 정점12, 21m

Genus *Paranticoma* Micoletzky, 1930

14. *Paranticoma* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점12, 21m

Superfamily Ironoidea

Family Leptosomatidae

Subfamily Platycominae

Genus *Platycomopsis* Ditlevsen, 1926

15. *Platycomopsis* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Superfamily Oncholaimoidea

Family Oncholaimidae

Subfamily Oncholaimellinae

Genus *Viscosia* De Man, 1890

16. *Viscosia* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 4개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m

17. *Viscosia* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m

Subfamily Oncholaiminae

Genus *Metoncholaimus* Filipjev, 1918

18. *Metoncholaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Oncholaimus* Dujardin, 1845

19. *Oncholaimus* sp. (Fig. 6)

관찰재료: 7개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점7, 7.6m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 6개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m

Genus *Prooncholaimus* Micoletzky, 1924

20. *Prooncholaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m

Family Enchelidiidae

Genus *Eurystomina* Filipjev, 1921

21. *Eurystomina* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Genus *Symplocostoma* Bastian, 1865

22. *Symplocostoma* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Suborder Tripyloidina

Family Tripyloididae

Genus *Tripyloides* De Man, 1886

23. *Tripyloides* sp.

관찰재료: 5개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점7, 7.6m

Family Rhabdodemaniidae

Genus *Rhabdodemia* Baylis & Daubney, 1926

24. *Rhabdodemia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m

Order Trefusiida

Family Trefusiidae

Subfamily Trefusiinae

Genus *Trefusia* De Man, 1893

25. *Trefusia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m

Subclass Chromadoria

Order Chromadorida

Superfamily Siphonolaimoidea

Family Linhomoeidae

Subfamily Eleutherolaiminae

Genus *Eleutherolaimus* Filipjev, 1922

26. *Eleutherolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Genus *Eumorpholaimus* Schulz, 1922

27. *Eumorpholaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Subfamily Desmolaiminae

Genus *Metalinhomoeus* De Man, 1907

28. *Metalinhomoeus* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Genus *Terschellingia* De Man, 1888

29. *Terschellingia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m

Suborder Chromadorina

Family Axonolaimidae

Genus *Axonolaimus* De Man, 1889

30. *Axonolaimus* sp. (Fig. 7)

관찰재료: 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점1, 22.8m; 5개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Odontophora* Bütschli, 1874

31. *Odontophora* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Family Comesomatidae

Subfamily Sabatieriinae

Genus *Actarjania* Hopper, 1967

32. *Actarjania* sp. (Fig. 8)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Superfamily Chromadoidea

Family Chromadoridae

Subfamily Chromadorinae

Genus *Chromadora* Bastian, 1865

33. *Chromadora* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Genus *Chromadorella* Filipjev, 1918

34. *Chromadorella* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m

Subfamily Hypodontolaiminae

Genus *Chromadorita* Filipjev, 1922

35. *Chromadorita* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m

Genus *Dichromadora* Kreis, 1929

36. *Dichromadora* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m

Genus *Neochromadora* Micoletzky, 1924

37. *Neochromadora* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Genus *Ptycholaimellus* Cobb, 1920

38. *Ptycholaimellus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m; 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m

Subfamily Euchromadorinae

Genus *Endeolophos* Boucher, 1976

39. *Endeolophos* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Genus *Rhips* Cobb, 1920

40. *Rhips* sp. (Fig. 9)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30. 경북 울진 왕피천 정점1, 5.7m

Family Cyatholaimidae

Subfamily Cyatholaiminae

Genus *Metacyatholaimus* Stekhoven, 1942

41. *Metacyatholaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Genus *Marylynnia* Hopper, 1977

42. *Marylynnia* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

43. *Marylynnia* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30. 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m

Genus *Paralongicyatholaimus* Stekhoven, 1942

44. *Paralongicyatholaimus* sp. (Fig. 10)

관찰재료: 8개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Subfamily Paracanthonchinae

Genus *Paracanthonchus* Micoletzky, 1924

45. *Paracanthonchus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

Genus *Paracyatholaimoides* Gerlach, 1953

46. *Paracyatholaimoides* sp.

관찰재료: 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m

Genus *Paracyatholaimus* Micoletzky, 1922

47. *Paracyatholaimus* sp. (Fig. 11)

관찰재료: 4개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m/ 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Subfamily Pomponematinae

Genus *Pomponema* Cobb, 1970

48. *Pomponema* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5/ 1개체, 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m

49. *Pomponema* sp. 2

관찰재료: 1개체, 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m

Genus *Nannolaimoides* Ott, 1972

50. *Nannolaimoides* sp. 1

관찰재료: 1개체, 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

51. *Nannolaimoides* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m

Genus *Kraspedonema* Gerlach, 1954

52. *Kraspedonema* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m

Family Selachinematidae

Genus *Gammanema* Cobb, 1920

53. *Gammanema* sp. (Fig. 12)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m

Genus *Halichoanolaimus* De Man, 1886

54. *Halichoanolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Genus *Richtersia* Steiner, 1916

55. *Richtersia* sp. (Fig. 13)

관찰재료: 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m/ 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점11, 14m; 5개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Superfamily Desmodoroidea

Family Desmodoridae

Subfamily Spiriniinae

Genus *Chromaspirina* Filipjev, 1918

56. *Chromaspirinia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m

Genus *Metachromadora* Filipjev, 1918

57. *Metachromadora* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점7, 7.6m

58. *Metachromadora* sp. 2

관찰재료: 5개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m

Genus *Papillonema* Verschelde, Muthumbi & Vincx, 1995

59. *Papillonema* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Polysigma* Cobb, 1920

60. *Polysigma* sp.

관찰재료: 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Genus *Spirinia* Gerlach, 1963

61. *Spirinia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점1, 5.7m/ 1개체, 2013.05.30., 경북

울진 왕피천 정점3, 13m

Family Epsilonematidae

Subfamily Epsilonematinae

Genus *Metepsilonema* Steiner, 1927

62. *Metepsilonema* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m

63. *Metepsilonema* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m

Family Draconematidae

Subfamily Prochaetosomatinae

Genus *Prochaetosoma* Micoletzky, 1922

64. *Prochaetosoma* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m

Superfamily Monhysteroidea

Family Sphaerolaimidae

Subfamily Sphaerolaiminae

Genus *Doliolaimus* Lorenzen, 1966

65. *Doliolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m

Genus *Subsphaerolaimus* Lorenzen, 1978

66. *Subsphaerolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m

Family Xyalidae

Genus *Cobbia* De Man, 1907

67. *Cobbia* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m

Genus *Daptonema* Cobb, 1920

68. *Daptonema* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m/ 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점7, 7.6m; 1개체,

2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 5개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점3, 12.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 4개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m

69. *Daptonema* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m

70. *Daptonema* sp. 3

관찰재료: 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Genus *Paramonhystera* Wieser, 1956

71. *Paramonhystera* sp. (Fig, 14)

관찰재료: 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 3개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m

Genus *Paramonhystera* Steiner, 1916

72. *Paramonhystera* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Genus *Linhystera* Juario, 1974

73. *Linhystera* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점9, 22.5m

Genus *Pseudosteineria* Wieser, 1956

74. *Pseudostineria* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Scaptrella* Cobb, 1917

75. *Scaptrella* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m

Genus *Stylotheristus* Lorenzen, 1977

76. *Stylotheristus* sp. 1

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점9, 21m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m

77. *Stylotheristus* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Genus *Theristus* Bastian, 1865

78. *Theristus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점12, 22.8m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m

Superfamily Microlaimoidea

Family Microlaimidae

Genus *Microlaimus* De Man, 1880

79. *Microlaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m

Family Monoposthiidae

Genus *Monoposthia* De Man, 1889

80. *Monoposthia* sp. 1 (Fig. 15)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m

81. *Monoposthia* sp. 2

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점7, 7.6m

Genus *Rhinema* Cobb, 1920

82. *Rhinema* sp. (Fig. 16)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점10, 7.5m; 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Family Aponchiidae

Genus *Synonema* Cobb, 1920

83. *Synonema* sp. (Fig. 17)

관찰재료: 4개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점2, 9.7m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점4, 6.4m; 15개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점1, 5m/ 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점4, 6m/ 5개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m/ 3개체, 2013.08.26., 경북 울진 정점10, 7m

Suborder Desmoscolecina

Superfamily Desmoscolecoida

Family Desmoscolecidae

Subfamily Tricominae

Genus *Tricoma* Cobb, 1893

84. *Tricoma* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점5, 10.5m

Suborder Leptolaimina

Family Ceramonematidae

Genus *Ceramonema* Cobb, 1920

85. *Ceramonema* sp. (Fig. 18)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점2, 8m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Genus *Dasynemoides* Chitwood, 1936

86. *Dasynemoides* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 왕피천 정점5, 10m/ 2개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점10, 7m

Genus *Metadasynemoides* Haspesslagh, 1973

87. *Metadasynemoides* sp. (Fig. 19)

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점11, 14m

Genus *Pselionema* Cobb, 1933

88. *Pselionema* sp. (Fig. 20)

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점3, 13m/ 2개체, 2013.05.30., 경북 울진 왕피천 정점6, 15.6m/ 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점11, 14m; 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점8, 14m

Genus *Pterygonema* Gerlach, 1954

89. *Pterygonema* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.05.30., 경북 울진 산포리 정점8, 14.8m

Family Leptolaimidae

Subfamily Camacolaiminae

Genus *Camacolaimus* De Man, 1889

90. *Camacolaimus* sp.

관찰재료: 1개체, 2013.08.26., 경북 울진 산포리 정점7, 7m

나. 후암 주변해역 사질·암반 해역에 서식하는 간극생물 군집 특성 파악

1) 간극생물의 총 서식밀도 및 출현분류군수

동해 중부연안 해저 암반 주변 퇴적물에 서식하는 간극생물의 군집특성 파악을 위해 2014년 3회 11개 정점(정점 EP 2~4, 7~9, 16~18, 34, 36), 2015년 3회 9개 정점(정점 EP 2~4, 7~9, 16~18, 36)에서 조사를 실시하였다(그림 3-5-18).

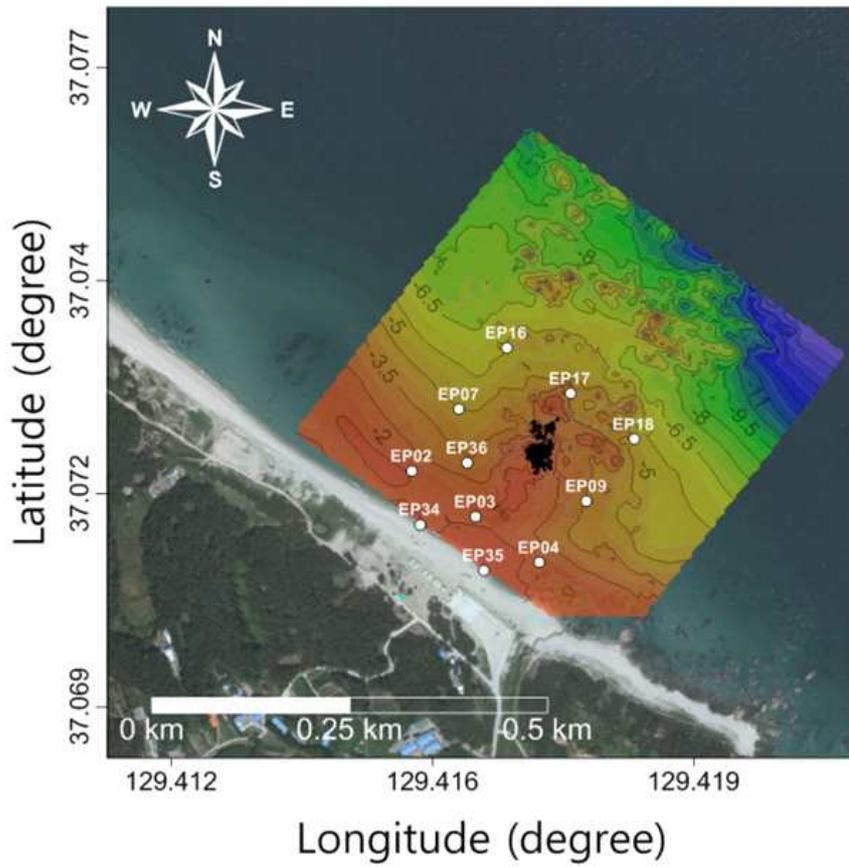


그림 3-5-18. 후암 주변 간극생물 조사지역

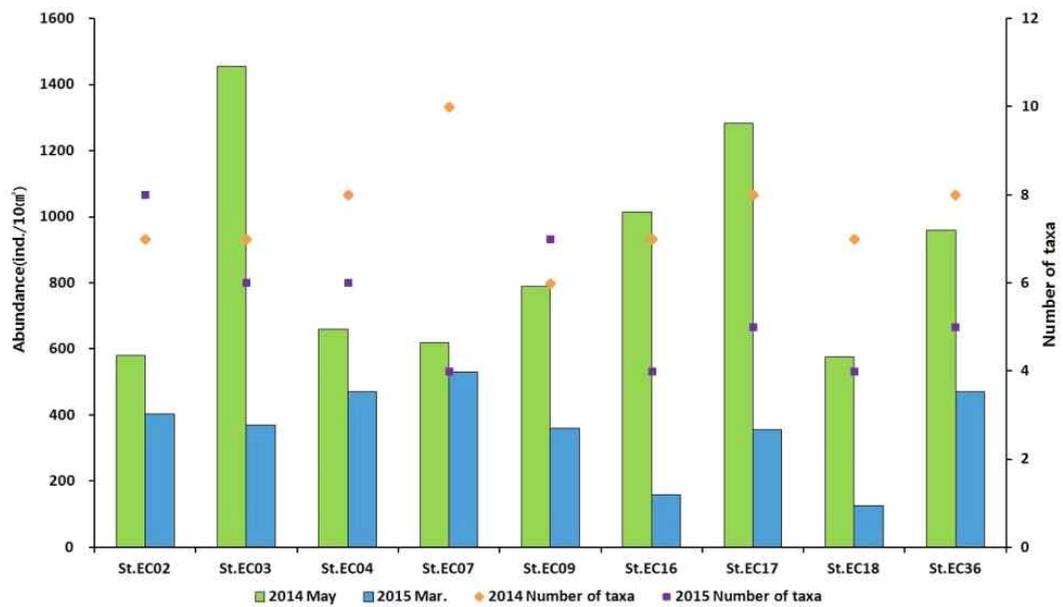


그림 3-5-19. 2014년과 2015년의 춘계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군 수 비교

2015년 춘계 간극생물의 총 서식밀도는 125 ~ 529 ind./10cm² 범위를 나타냈다. 정점별로 연안인접 정점(EP 2 ~ 4, 36)의 평균 서식밀도가 상대적으로 연안에서 거리가 먼 정점(EP 7, 9, 16 ~ 18)에 비해 높게 나타났다. 유사한 시기인 2014년 춘계의 서식밀도와 비교하여 2015년 3월의 서식밀도가 전 정점에서 낮은 값을 나타냈다. 2015년 조사지역에서 출현한 간극생물의 출현분류군수는 4 ~ 8개 분류군이 출현하였으며, 상대적으로 연안인접 정점들의 평균 출현분류군수가 높게 나타났다. 유사한 시기인 2014년 춘계 출현분류군수와 비교하여 2015년의 출현분류군수는 상대적으로 낮게 나타났다(3-5-19).

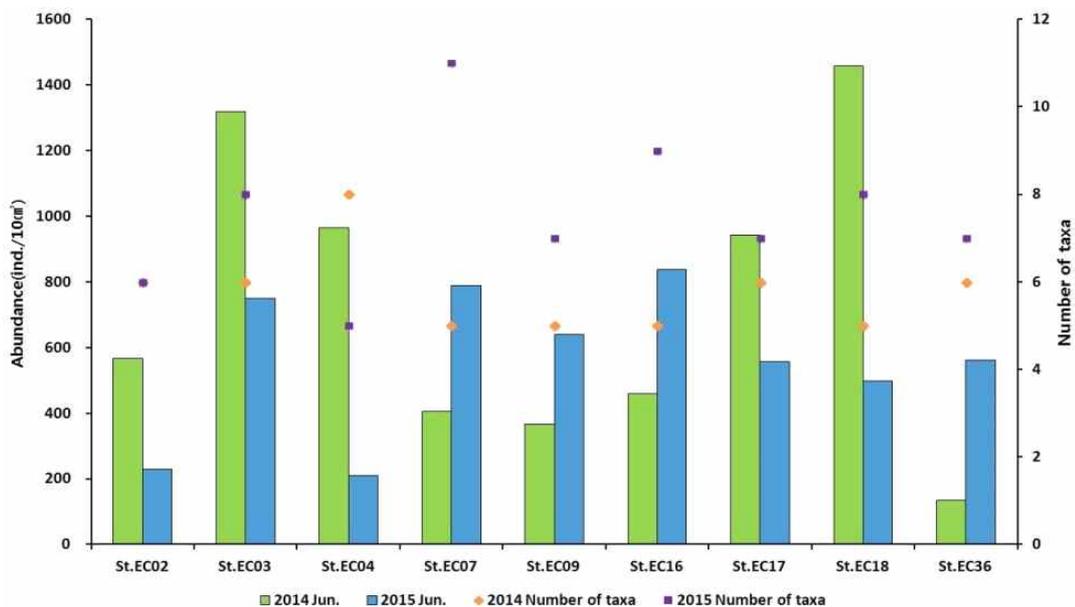


그림 3-5-20. 2014년과 2015년의 하계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군 수 비교

2015년 하계 간극생물의 총 서식밀도는 209 ~ 836 ind./10cm² 범위를 나타냈으며, 정점별로 연안에서 거리가 먼 정점(EP 7, 9, 16 ~ 18)의 평균 서식밀도가 상대적으로 연안 인접 정점(EP 2 ~ 4, 36)에 비해 높게 나타났다. 2015년 3월과는 다른 정점별 서식밀도 패턴이 나타났으며, 2014년 하계의 서식밀도와 비교하여 연안 인접 정점들은 총 서식밀도가 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 반면 상대적으로 연안에서 거리가 먼 일부 정점들은 총 서식밀도가 증가하는 경향을 나타냈다. 2015년 하계 조사지역에서 출현한 간극생물의 출현분류군수는 5 ~ 11개 분류군이 출현하였다. 동 계절인 2014년과 비교하여 높은 출현분류군수를 나타냈으

며, 2015년 3월과 비교하여 출현분류군수가 증가하는 경향이 나타났다(그림 3-5-20).

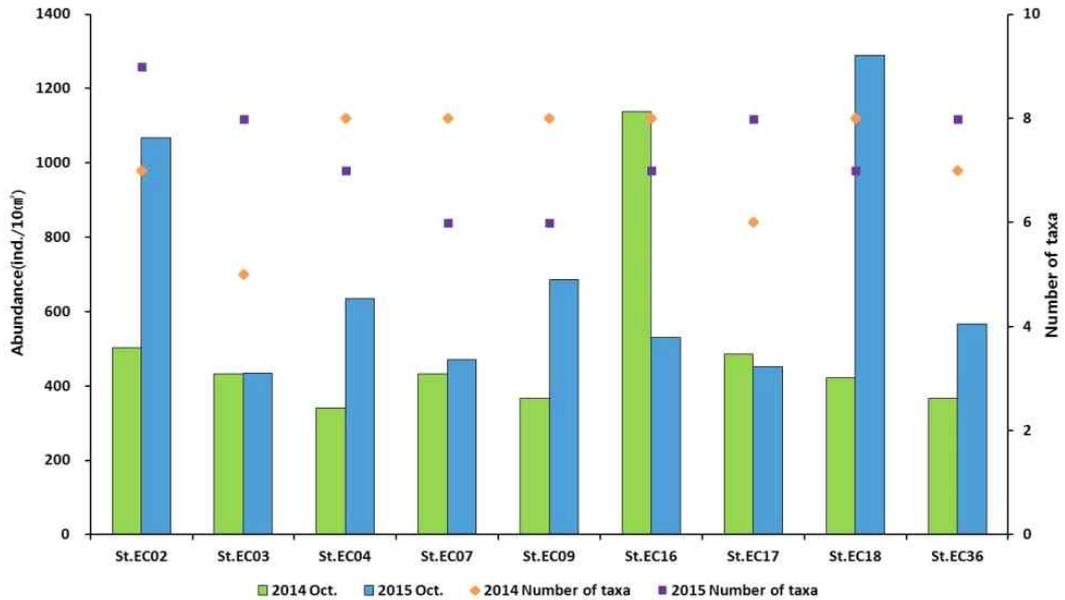


그림 3-5-21. 2014년과 2015년의 추계 간극생물 총 서식밀도 및 출현분류군수 비교

2015년 추계 간극생물의 총 서식밀도는 435 ~ 1289 ind./10cm² 범위를 나타냈으며, 전 계절 중 가장 높은 서식밀도를 나타냈다. 정점별로 연안에서 거리가 먼 정점(EP 7, 9, 16 ~ 18)의 평균 서식밀도가 상대적으로 연안 인접 정점(EP 2 ~ 4, 36)에 비해 높게 나타났으며, 2015년 하계와 유사한 경향을 나타냈다. 2014년 추계 서식밀도와 비교하여 정점 16을 제외한 전 정점에서 2015년 추계의 서식밀도가 높게 나타났다. 2015년 추계 조사지역에서 출현한 간극생물의 출현분류군수는 5 ~ 8개 분류군이 출현하였으며, 정점별로 유사한 출현분류군수를 나타냈다.

조사지역에서 나타난 간극생물의 총 서식밀도는 2015년 조사결과 연안 인접 정점들은 춘계를 제외한 하계, 추계에 상대적으로 연안에서 거리가 먼 정점들에 비해 서식밀도가 감소하였다. 계절적으로 2014년과 2015년의 총 서식밀도를 비교한 결과 춘계는 전 정점에서 2014년의 서식밀도가 높게 나타났다. 하계는 연안 인접 정점은 2014년의 서식밀도가 2015년에 비해 상대적으로 높은 서식밀도를 나타냈지만 상대적으로 연안에서 거리가 먼 정점들은 2015년의 서식밀도가 2014년에 비해 상대적으로 높게 나타났다(그림 3-5-21).

추계는 춘계와는 반대로 2015년의 서식밀도가 2014년의 조사 정점들에 비해 높은 서식밀도를 나타냈으며, 2014년과 2015년의 총 서식밀도 계절별 변화 양상은 춘계의 경우 3월과 5월이라는 조사시점 차이로 인해 발생한 것으로 판단된다. 하계의 경우 2015년에 수심이 낮은 연안 인접 정점들의 서식밀도 감소가 발생하는데, 조사시기에 발생한 수온이 낮은 냉수대의 영향으로 판단된다. 추계의 경우 춘계의 총 서식밀도 변화와 반대의 경향이 나타났으며, 2015년의 서식밀도가 증가하는 경향을 나타냈다(그림 3-5-21).

2) 간극생물의 분류군 다양도 지수

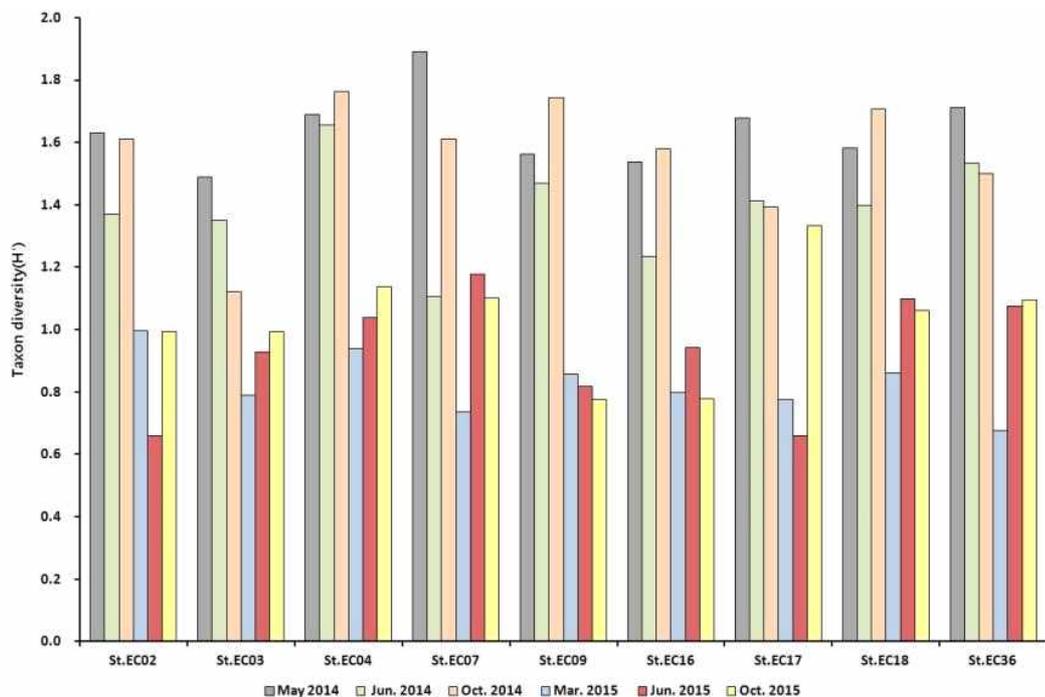


그림 3-5-22. 2014년과 2015년의 간극생물 분류군 다양도지수 비교

2015년 간극생물의 계절별 분류군 다양도 지수 결과 춘계는 연안에 인접한 정점들이 상대적으로 연안에서 거리가 먼 정점들에 비해 분류군 다양도 지수 값이 높게 나타났다. 하계는 춘계에 비해 대부분의 정점에서 분류군 다양도 지수 값이 증가하는 경향을 나타냈으며, 연안 인접 정점과 연안에서 거리가 먼 정점들의 분류군 다양도 지수 값이 유사한 경향을 나타냈다. 동계는 하계에 비해 분류군 다양도 지수 값이 유사하거나 증가하는 경향을 나타냈으며, 연안 인접 정점들이 상

대적으로 높은 분류군 다양도 지수 값을 나타냈다. 2014년 계절별 분류군 다양도 지수 값에 비해 2015년이 계절별로 크게 감소하는 경향을 나타냈으며, 연안 인접 정점들에 비해 연안에서 거리가 먼 정점들의 감소 폭이 더 크게 나타났다.

3. 후암 주변해역에 서식하는 해조류 다양성 및 구성성분 분석

가 서식지별 해조류 다양성 분석

동해 중부연안에 위치한 후암을 Model station으로 정하여 2014년 3월, 6월, 9월에 각각 동계, 춘계, 하계 현장조사를 수행하였다. 현장조사는 50 x 50cm 방형구를 이용하여 정량조사를 수행하였으며, 그 주위를 수중과학잠수를 이용하여 정성조사를 수행하였다(그림 3-5-23). 동계, 춘계, 하계 현장조사 결과 후암인근의 해조류 조성은 녹조류 2종, 갈조류 10종, 홍조류 26종, 해산종자식물 1종으로 조사되었다(그림 3-5-24).

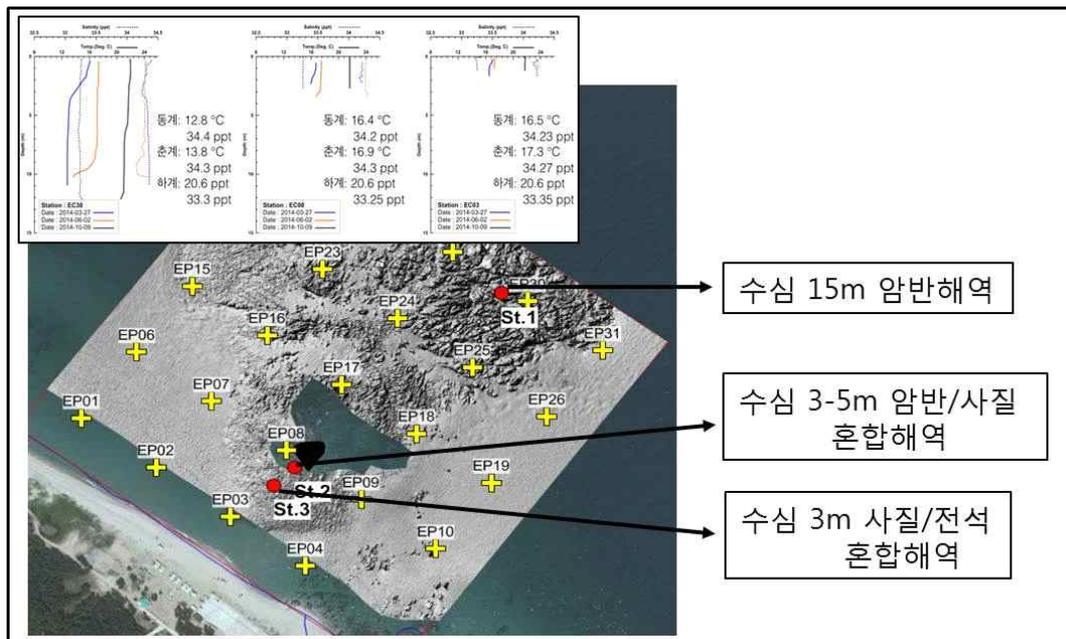


그림 3-5-23. 후암 주변 해조류 조사지역

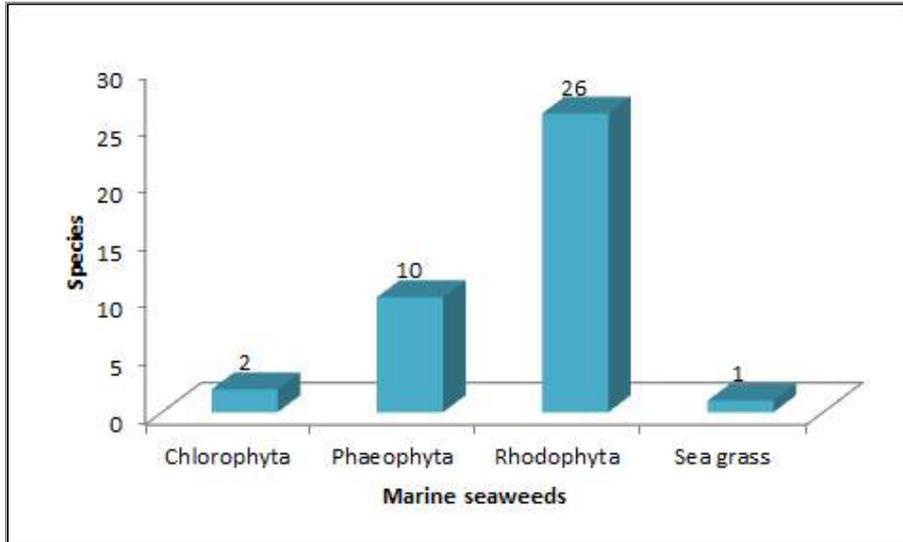


그림 3-5-24. 후암인근 해조류 정량조사 결과

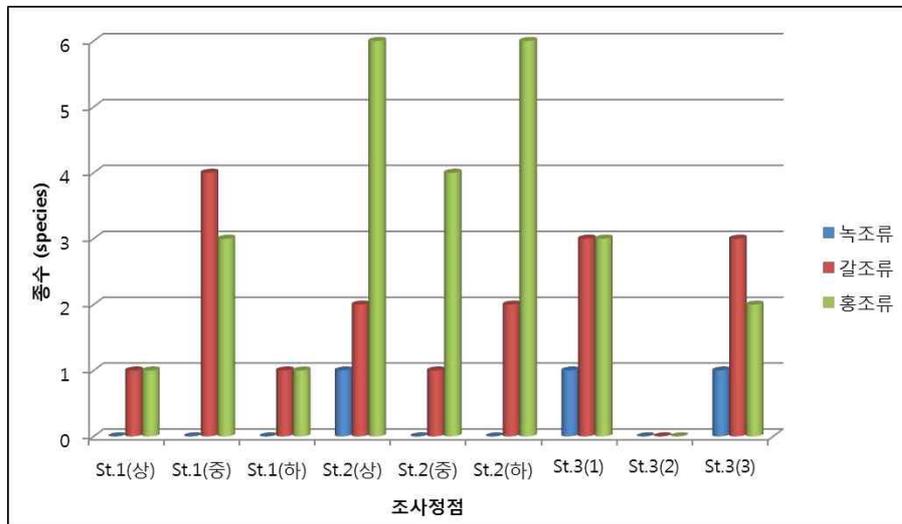


그림 3-5-25. 동계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석

동계현장조사 결과 그림 3-5-25에서 보듯이 해조류 종 다양성은 St.1에서는 갈조류와 홍조류가 거의 비슷한 비율로 나타났으나, St.2에서는 홍조류가 녹조류, 갈조류와 비교하였을 때 높은 비율로 출현하였다. 하지만, St.3에서는 약 2종의 녹조류와 6종의 갈조류, 5종의 홍조류가 출현하였다.

표 3-5-2. 동계 현장조사 결과 해조류 종 리스트

채집지	시료명	분류군	m ² 당 생물량 (g)	우점/ 준우점
St. 1(상) (수심 4.6m)	잔금분홍잎	홍조류	4.16	
	참그물바탕말	갈조류	3.56	
	팽생이모자반	갈조류	28.52	준우점
St. 1(중) (수심 7.3m)	불레기말	갈조류	0.96	
	참그물바탕말	갈조류	3.52	
	모로우붉은실	홍조류	0.56	
	돌가사리	홍조류	0.86	
	잔금분홍잎	홍조류	2.98	
	팽생이모자반	갈조류	31.80	우점
St. 1(하) (수심 9.6m)	미역	갈조류	55.48	우점
	잔금분홍잎	홍조류	0.96	
Total	참그물바탕말	갈조류	3.52	
			136.88	
St. 2(상) (수심 2.0m)	지누아리	홍조류	1.74	
	잔금분홍잎	홍조류	1.24	
	참그물바탕말	갈조류	0.86	
	솜털말	갈조류	0.74	
	애기돌가사리	홍조류	0.06	
	떡청각	녹조류	0.18	
	납작갈라가라	홍조류	0.30	
	참산호말	홍조류	0.08	
	돌가사리	홍조류	1.46	
St. 2(중) (수심 4.0m)	마디잘록이	홍조류	1.74	
	잔금분홍잎	홍조류	1.24	
	돌가사리	홍조류	0.86	
	참그물바탕말	갈조류	0.76	
	작은구슬산호말	홍조류	0.06	
St. 2(하) (수심 7.0m)	모로우붉은실	홍조류	13.62	준우점
	잔금분홍잎	홍조류	17.64	준우점
	참그물바탕말	갈조류	4.08	
	납작갈라가라	홍조류	17.26	준우점
	미역	갈조류	56.00	우점
	참도박	홍조류	3.10	
	마디잘록이	홍조류	15.98	준우점
	작은구슬산호말	홍조류	2.36	
Total			141.34	
St. 3(1)	참그물바탕말	갈조류	3.22	
	돌가사리	홍조류	0.50	
	떡청각	녹조류	6.60	
	불레기말	갈조류	6.00	
	미역	갈조류	19.06	준우점
	부챗살	홍조류	0.96	
	작은구슬산호말	홍조류	65.84	우점
St. 3(2)				
St. 3(3)	떡청각	녹조류	0.90	
	미역	갈조류	9.12	
	불레기말	갈조류	0.82	
	납작갈라가라	홍조류	1.70	
	참그물바탕말	갈조류	8.96	
	작은구슬산호말	홍조류	59.18	우점
Total			182.86	

계절별 동해 중부연안 해조류의 동계 정량조사 결과, 정량조사에서 해조류는 슴털말, 떡칭각 등 녹조류 2종, 참그물바탕말, 팽생이모자반, 불레기말, 미역 등 갈조류 4종, 잔금분홍잎, 모로우붉은실, 돌가사리, 지누아리, 애기돌가사리, 납작갈라가라, 참산호말, 작은구슬산호말, 모로우붉은실, 마디잘록이, 부챗살 등 홍조류 11종으로 총 17종이 출현하였다(표 3-5-2).

특히 St.1(상), St.1(중)에서 팽생이 모자반이 우점하고 있었으며, St.1(중)에서는 미역 또한 우점종으로 조사되었다. 그러나, St.1(하)에서는 우점종이 없는 것으로 조사 되었으며, 해조류의 다양성 및 생물량도 미미한 정도로 나타났다. St.2(상)에서는 녹조류 2종, 갈조류 1종, 홍조류 6종으로 동계조사 site 중에서 가장 높은 해조류 다양성을 보였으나, 우점 및 준우점종은 형성되지 않았다. 하지만, St.2(하)에서는 높은 해조류 다양성(갈조류 2종, 홍조류 6종) 및 가장 높은 해조류 생물량을 보였으며, 모로우붉은실, 잔금분홍잎, 납작갈라가라, 마디잘록이가 준우점종으로 형성되었고, 미역이 우점종으로 형성되어 있었다. 후암 내해인 St.3(하)에서는 미역, 작은구슬산호말등이 준우점 및 우점종으로 형성되어 있었으며, 녹조류 1종, 갈조류 3종, 홍조류 3종의 해조류가 자생하고 있었고, St.3(상)에서는 작은구슬산호말만이 우점종으로 형성되어 있었다.

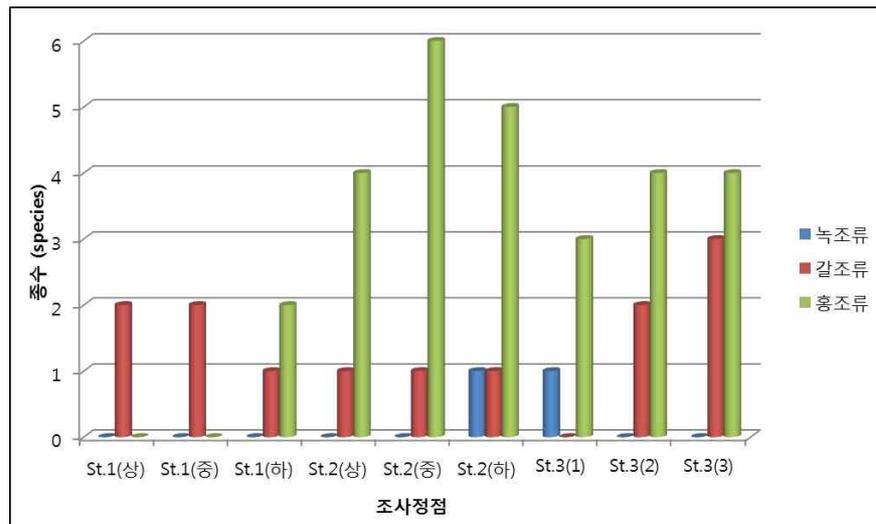


그림 3-5-26. 춘계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석

춘계현장조사 결과 전체적으로 녹조류는 St.2(하)와 St.3(1)에서 각 1종씩만 출현하였으며, 홍조류의 비율이 높게 나타났다. 세부적으로 살펴보면, St.1(상), St.1(중)에서는 갈조류만 출현하였고, St.1(하)에서는 갈조류 1종과 홍조류 2종이 출현하였다. St.2에서는 홍조류가 녹조류, 갈조류와 비교하였을 때 높은 비율로 출현하였으며, 특히 St.2(중)에서는 가장 많은 6종의 홍조류가 출현하였다. 또한,

St.3에서 역시 높은 홍조류의 출현을 확인하였으며, St.3(중), St.3(하)에서는 각각 2종, 3종의 갈조류를 확인하였다(그림 3-5-26).

표 3-5-3. 춘계 현장조사 결과 해조류 종 리스트

채집지	시료명	분류군	m ² 당 생물량 (g)	우점/준우점
St. 1(상) (수심 4.6m)	참그물바탕말	갈조류	10.52	준우점
	팽생이모자반	갈조류	109.04	우점
St. 1(중) (수심 7.3m)	팽생이모자반	갈조류	1189.04	우점
	부챗말	갈조류	0.96	
St. 1(하) (수심 9.6m)	참곱슬이	홍조류	0.36	
	우뭇가사리	홍조류	1.16	
	팽생이모자반	갈조류	77.16	우점
Total			1388.24	
St. 2(상) (수심 2.0m)	납작갈라가라	홍조류	12.32	준우점
	참그물바탕말	갈조류	2.32	
	잔금분홍잎	홍조류	2.92	
	가는마디잘록이	홍조류	0.96	
	작은구슬산호말	홍조류	2.8	
St. 2(중) (수심 4.0m)	진두발	홍조류	23.44	준우점
	참깃꼴진두발	홍조류	26.92	준우점
	납작갈라가라	홍조류	2.6	
	마디잘록이	홍조류	27.36	준우점
	참그물바탕말	갈조류	2.56	
	작은구슬산호말	홍조류	0.92	
St. 2(하) (수심 7.0m)	잔금분홍잎	홍조류	4.84	
	미역	갈조류	311.16	우점
	우뭇가사리	홍조류	11.08	준우점
	떡칭각	녹조류	3.32	
	참도박	홍조류	12.80	준우점
	납작갈라가라	홍조류	2.12	
	돌가사리	홍조류	7.08	
작은구슬산호말	홍조류	2.44		
total			459.96	
St. 3(1)	떡칭각	녹조류	6.44	
	우뭇가사리	홍조류	1.04	
	낮꼴갈라가라	홍조류	1.92	
	게발	홍조류	3.96	
	작은구슬산호말	홍조류	4.16	
St. 3(2)	미역	갈조류	721.72	우점
	참그물바탕말	갈조류	2.52	
	진두발	홍조류	11.68	준우점
	게발	홍조류	5.48	
	우뭇가사리	홍조류	5.12	
	작은구슬산호말	홍조류	5.12	
St. 3(3)	미역	갈조류	643.48	우점
	팽생이모자반	갈조류	136.96	우점
	참도박	홍조류	43.52	우점
	우뭇가사리	홍조류	1.68	
	낮꼴갈라가라	홍조류	2.72	
	참그물바탕말	갈조류	6.32	
	작은구슬산호말	홍조류	1.64	
total			1605.48	

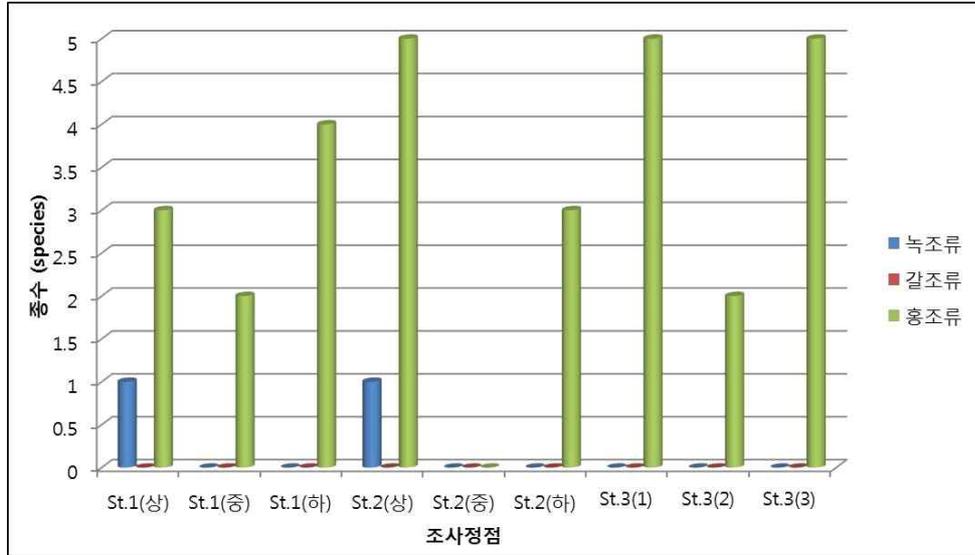


그림 3-5-27. 하계현장조사 결과 해조류 종 다양성 분석

그림 3-5-27에서 보면, 하계현장조사 결과를 동계, 춘계현장조사 결과와 비교하였을 때 전체적인 종 다양성이 많이 낮아졌으며, 홍조류의 출현비율이 높아졌다. 또한, St.1, St.2, St.3에서는 총 2종의 녹조류를 제외하면 모두 홍조류만 출현하였음. 세부적으로 살펴보면, St.1에서는 St.1(상)에서만 1종의 녹조류를 관찰하였으며, St.2, St.3에서는 모두 홍조류만 출현하였다. St.2에서도 마찬가지로, St.2(상)에서 1종의 녹조류를 관찰하였고, 나머지는 모두 홍조류가 관찰되었다. 또한, St.3에서는 어떠한 녹조류, 갈조류의 출현도 관찰할 수 없었으며, 특히 St.3(1), St.3(3)에서는 각각 5종의 높은 홍조류 출현만을 관찰하였다.

표 3-5-4. 하계 현장조사 결과 해조류 종 리스트

채집지	시료명	분류군	m ² 당 생물량 (g)	우점/준우점
St. 1(상) (수심 4.6m)	떡청각	녹조류	1.64	
	서실류	홍조류	0.22	
	애기가시덤불	홍조류	1.28	
	우뭇가사리	홍조류	2.00	
St. 1(중) (수심 7.3m)	잔금분홍잎	홍조류	2.00	
	서실류	홍조류	5.32	
St. 1(하) (수심 9.6m)	우뭇가사리	홍조류	45.22	
	진두발	홍조류	2.16	
	작은구슬산호말	홍조류	0.76	
	납작갈라가라	홍조류	7.5	
Total		68.10		
St. 2(상) (수심 2.0m)	도박류	홍조류	16.41	준우점
	떡청각	녹조류	0.40	
	애기가시덤불	홍조류	15.84	준우점
	사이다가시우무	홍조류	4.00	
	게발	홍조류	0.70	
	작은구슬산호말	홍조류	0.62	
St. 2(중) (수심 4.0m)				
St. 2(하) (수심 7.0m)	누른끈적이	홍조류	2.80	
	우뭇가사리	홍조류	1.70	
	납작갈라가라	홍조류	0.68	
	도박류	홍조류	2.40	
total		45.28		
St. 3(1)	작은구슬산호말	홍조류	16.72	준우점
	사이다가시우무	홍조류	21.38	준우점
	서실류	홍조류	96.68	우점
St. 3(2)	애기가시덤불	홍조류	42.14	우점
	서실류	홍조류	34.06	우점
St. 3(3)	납작갈라가라	홍조류	3.62	
	지누아리	홍조류	5.20	
	서실류	홍조류	129.02	우점
	애기가시덤불	홍조류	15.78	준우점
	작은구슬산호말	홍조류	2.22	
total		366.82		

하계 현장조사 결과, 정량조사에서 녹조류는 떡청각 1종만이 조사되었으며, 갈조류는 출현하지 않았다. 홍조류는 동계와 춘계에서 조사되지 않았던 서실류, 애기가시덤불, 사이다가시우무, 누른끈적이가 추가로 조사되었으며, 납작갈라가라, 잔금분홍잎, 우뭇가사리, 작은구슬산호말, 게발 등 9종으로 나타났으며, 총 해조류 종수는 10종으로 동계와 춘계보다 적은 해조류 다양성을 보였다(표 3-5-3).

St.1(상), St.1(중)에서는 특별한 우점 해조류를 발견하지 못하였으며, 소량의 홍조류들이 조사되었다. 그러나 St.1(하)에서는 우뭇가사리가 우점종으로 나타났으며, 그 외 납작갈라가라, 진두발, 작은구슬산호말등이 서식하는 것으로 조사되었다. St.2에서는 St.2(상)에서 도박류와 애기가시덤불이 준우점종으로 조사되었

으며, 사이다가시우무, 계발, 작은구슬산호말등의 홍조류와 떡칭각이 출현하였다. 그러나, St.2(중)에서는 해조류가 출현하지 않았으며, St.2(하)에서는 특별한 준우점/우점종없이 누른끈적이, 우뭇가사리, 납작갈라가라, 도박류가 출현하였다. St.2(하)에서 특이한 점은 동계와 춘계조사에서 출현하지 않았던 누른끈적이가 출현하였다. St.3은 St.1, St.2에 비하여 높은 생물량과 해조류 다양성을 보였다. 특히 St.1(1)에서는 서실류가 우점종으로 나타났으며, 작은구슬산호말과 사이다가시우무가 준우점종으로 출현하였다. 또한, St.3(2), St.3(3)에서는 서실류와 애기가시덤불이 우점종으로 출현하였으며, St.3(3)에서는 서실류, 애기가시덤불외에도 납작갈라가라, 지누아리, 작은구슬산호말등의 홍조류가 출현하였다.

전체적인 해조류의 다양성 및 생물량은 하계조사가 동계 및 춘계조사와 비교하였을 때, 해조류 다양성 및 생물량이 낮게 나타났는데, 이러한 이유는 단년생 해조류의 경우 동계부터 춘계에 이르기까지 자라다가, 하계에 해수온이 상승하면 사라지는 현상을 보이기 때문이라고 판단된다. 또한, 하계가 지나고 해수온이 낮아지면 지금까지 출현되지 않은 다른 종의 해조류가 자라는 것을 관찰할 수가 있기 때문에, 차후에 조사를 통하여 조사지역에 다양한 해조류 자생을 관찰할 필요가 있을 것으로 생각된다.

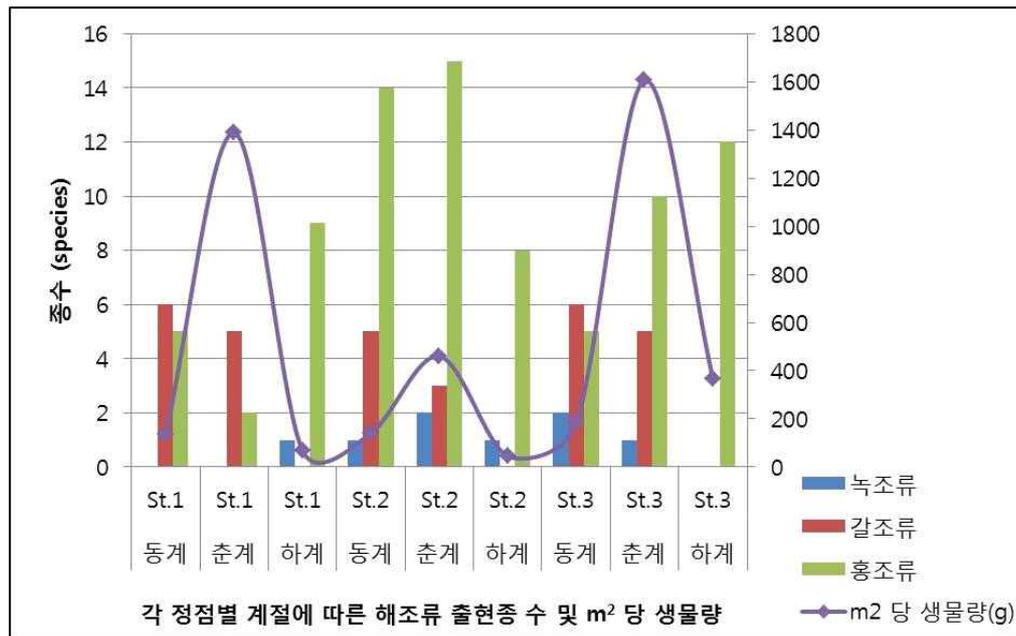


그림 3-5-28. 연구 조사 정점의 해저 지형도, 계절별 수온변화 및 계절에 따른 해조류 종 다양성

각 정점별 해조류의 m² 당 생물량을 보면 St.3에서 가장 높은 생물량을 보였

으며, St.1, St.2의 순으로 나타났다. 또한 계절별로는 춘계의 생물량이 동계나 하계보다는 월등히 많았으며, 동계의 m^2 당 생물량과 하계의 m^2 당 생물량은 큰 차이를 보이지 않았다(그림 3-5-28). 그러나, 해조류의 종 다양성을 분석해보면, St.2에서 홍조류의 높은 다양성을 보였으며, St.3이 St.1 보다 홍조류의 다양성은 더 높게 나타났다. 또한, 갈조류는 동계에 가장 높은 다양성을 보이다가, 춘계에는 점차 감소하고, 하계에는 거의 갈조류가 존재하지 않는 것으로 나타났다.

다른 분야 연구 결과(지질, 화학)와 상호분석을 하면, 홍조류의 경우 St.2, St.3 해역, 즉, 암반/사질해역과, 사질/전석 혼합해역에서 동계보다는 춘계, 하계에 가장 다양하게 분포하는 것을 알 수 있었다.

동해 중부연안의 갈조류는 지형 및 수심과는 크게 관계가 없었으며, 수온과 밀접한 관계가 있는 것으로 분석되었다. 특히, 동계에는 St.1, St.2, St.3에서 약 5-6종의 높은 종 다양성을 보이다가, 춘계에는 3-5종 정도로 다양성이 낮아졌으며, 하계의 정량조사에서는 거의 출현하지 않았다. 녹조류는 동해 중부연안에서는 거의 출현하지 않았으며, 전체적으로 2종 이하로 출현되어 정확한 분석을 하기에는 어려움이 있다고 판단된다.

나. 서식지별/환경별 우점 해조류 구성성분 연구

동계 현장조사에서 우점으로 자생하는 해조류를 정성조사를 통하여 연구하고, 수분과 회분, 유용탄수화물인 합황다당류의 함량을 연구하였다. St.1에서는 팽생이모자반, 알송이모자반, 미역, 불레기말, 참그물바탕말, 참가죽그물바탕말, 큰그물바탕말, 참도박, 마디잘록이, 잔금분홍잎, 거머리말이 채집되었으며, 춘계조사에서는 사카이대마디말, 가는개도박, 참가죽그물바탕말, 부채분홍잎, 부챗말, 야기시리구멍쇠미역, 팽생이모자반, 알송이모자반, 마디잘록이, 참곱슬이, 거머리말을 채집하였다. 하지만, 하계조사에서는 청각만을 채집하였다. St.3에서는 동계에 큰그물바탕말이 우점적으로 자생하였고, 춘계에는 참그물바탕말, 가는개도박, 개도박, 미역, 마디잘록이, 참도박이 자생하였다. 하계에는 바탕말류와 납작갈라가라가 우점적으로 자생하는 것으로 조사되었다. 따라서, 동계와 춘계에 공통으로 자생하는 해조류를(갈조류-미역, 참그물바탕말, 홍조류-참도박, 마디잘록이) 대상으로 구성성분 연구를 수행하였다.

표 3-5-5. 동해 중부연안 후암 인근 해조류의 구성성분 연구

해조류	수분 (%)	회분 (%)	함황 다당류 (%)
미역	5.04±0.18	13.13±0.12	6.30±0.05
참그물바탕말	6.92±0.08	22.15±1.28	3.12±0.10
마디잘록이	4.58±0.08	27.78±0.60	10.23±1.40
참도박	3.98±0.06	14.08±0.07	

<동계>

해조류	수분 (%)	회분 (%)	함황 다당류 (%)
미역	8.08±0.71	15.40±0.92	5.87±1.11
참그물바탕말	7.41±0.06	20.43±1.23	3.69±0.12
마디잘록이	10.10±0.05	20.93±0.45	10.12±0.48
참도박	6.95±0.47	13.08±0.80	

<춘계>

표 3-5-5에서 보면, 동계와 춘계에 채집한 갈조류(미역, 참그물바탕말)의 수분은 5.04-7.14%로 거의 차이를 보이지 않았으며, 회분함량을 살펴보면 미역이 동계는 13.13%, 춘계는 15.40%로 크게 차이를 보이지 않았고, 참그물바탕말 역시 동계 22.15%, 춘계 20.43%로 큰 차이를 보이지 않았다. 한편, 홍조류에 함유된 수분 및 회분함량을 살펴보면, 참도박의 수분은 동계 3.98%, 춘계 6.95%로 크게 차이를 보이지 않았으며, 회분함량은 동계 14.08%, 춘계 13.08%로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 마디잘록이의 수분함량은 동계 4.58%, 춘계 10.10%로 조금 차이를 보였으며, 회분함량 역시 동계 27.78%, 춘계 20.93%로 차이를 보였다. 마디잘록이의 수분함량 및 회분함량의 차이는 수온에 의한 영향으로 사료되어지나, 정확한 분석을 위해서는 ICP-MS를 이용한 미네랄 함량등을 측정해야 할 것으로 생각된다. 한편, 동계와 춘계에 채집한 미역의 함황다당류 함량은 동계 6.30%, 춘계 5.87%로 큰 차이를 보이지 않았으며, 마디잘록이 역시 함황다당류의 함량은 동계 10.23%, 춘계 10.12%로 큰 차이를 보이지 않았다. 참그물바탕말의 함황다당류 역시 동계 3.12%, 춘계 3.69%로 크게 차이를 보이지 않았다.

4. 후암 주변해역에 서식하는 수층 부유생물종 특성 파악

조사해역의 수층 서식 생물 종 특성을 파악하기 위하여 60um 플랑크톤 네트를 이용하여 봉수항 일대에서 2014년 4월 20일부터 2014년 10월 24일까지 수층 서식 생물을 채집(3회/주)하였다. 채집한 시료는 유전자 분석을 위하여 phosphate buffer saline (PBS)용액으로 씻어 낸 후 냉동 보관하였다. 수층 서식 생물 종 파악을 위해 PCR-RFLP 기법을 이용한 수층 서식 생물 종 스캐닝을 실시하였다. 조사해역에서 채집한 수층 서식 생물 시료의 일부(0.2g)를 취하여 genomic DNA를 분리·정제하였다. 미토콘드리아 DNA의 16S rRNA와 COI 유전자 영역을 증폭한 후, 제한효소 *Afa* I, *Hae* III, *Hsp92* II, *Mbo* I, *Msp* I, *Xsp* I 을 사용하여 DNA 단편을 절단하고 전기영동하여 절단패턴을 분석하였다. 수층 서식 생물의 종 조성 분석을 위한 염기서열 해독은 Miseq V3를 이용하여 수층 서식 생물의 마커 염기서열 해독을 위하여 16S rRNA 유전자 영역과 COI 유전자 영역을 대상으로 Site specific Amplicon PCR 프라이머를 합성하였다. 채집한 수층 서식 생물의 16S rRNA Amplicon과 COI Amplicon을 각각 제작하고 정제하여 illumina 사의 Miseq platform을 사용하여 염기서열을 결정하였다. 표준염기서열(Reference sequence) 데이터세트 제작은 Miseq platform을 사용하여 확보한 염기서열 데이터를 비교하기 위하여 NCBI에 등록된 염기서열 정보를 이용하여 16S rRNA와 COI 표준염기서열 데이터세트를 각각 제작하였다.

가. 수층 서식 생물 채집 정보

조사해역의 해양환경 변화에 따른 수층 서식 생물 종 분포 특성을 파악하기 위하여, 2014년 4월 20일부터 2014년 10월 24일까지 2일 간격(3회/주)으로 수층 서식 생물을 채집하였다. 해수온도 변화에 따른 수층 서식 생물 종 구성의 변화를 파악하기 위하여 시료채집시 해수온도를 측정하였다. 시계열로 확보한 수층 서식생물 채집 당시의 수온은 9.2℃ ~ 27℃까지 분포하였다(그림 3-5-29).



그림 3-5-29. 조사해역 서식 수층 서식 생물 시료 채집시의 해수 온도 분포

나. PCR-RFLP 기법을 이용한 수층 서식 생물 종 스캐닝

수층 서식 생물 종의 16S rRNA 유전자 영역과 COI 유전자 영역을 제한효소 *Afa* I, *Hae* III, *Hsp92* II, *Mbo* I, *Msp* I, *Xsp* I을 사용하여 절단한 후, DNA 단편을 전기영동하여 생물 종을 스캐닝하였다. 시계열로 확보한 수층 서식 생물시료의 수온 및 채집시기에 따른 종 구성 패턴을 PCR-RFLP 방법으로 확인한 결과(그림 3-5-30~31)로 부터 각 시료의 군집을 이루는 생물 종이 다양한 것으로 판단하였다. 조사해역에서 채집한 다양한 수층 서식 생물 혼합시료에서 생물 종을 정확하게 파악하기 위하여 염기서열을 분석하였으며 NGS(Next Generation Sequencing) 기법을 이용하였다.

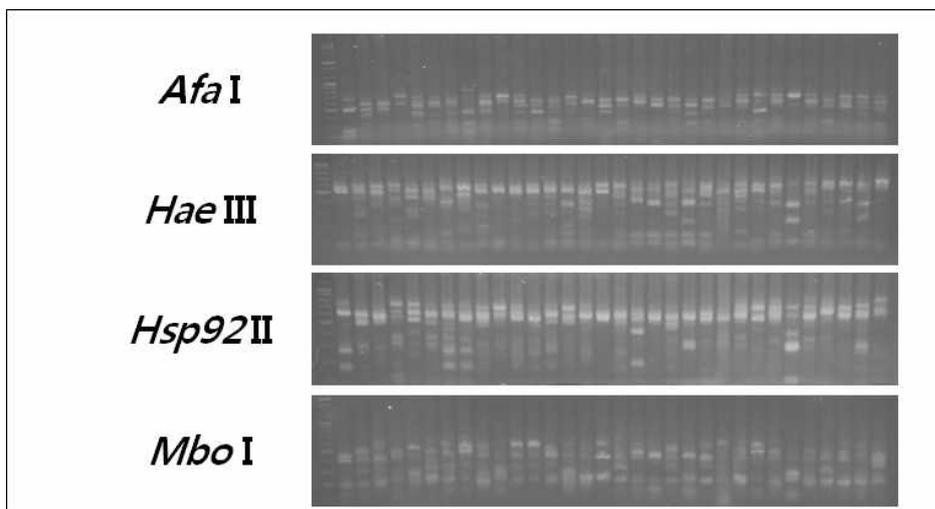


그림 3-5-30. 수층 서식 생물 종 16S rRNA 유전자 영역의 PCR-RFLP 분석 결과

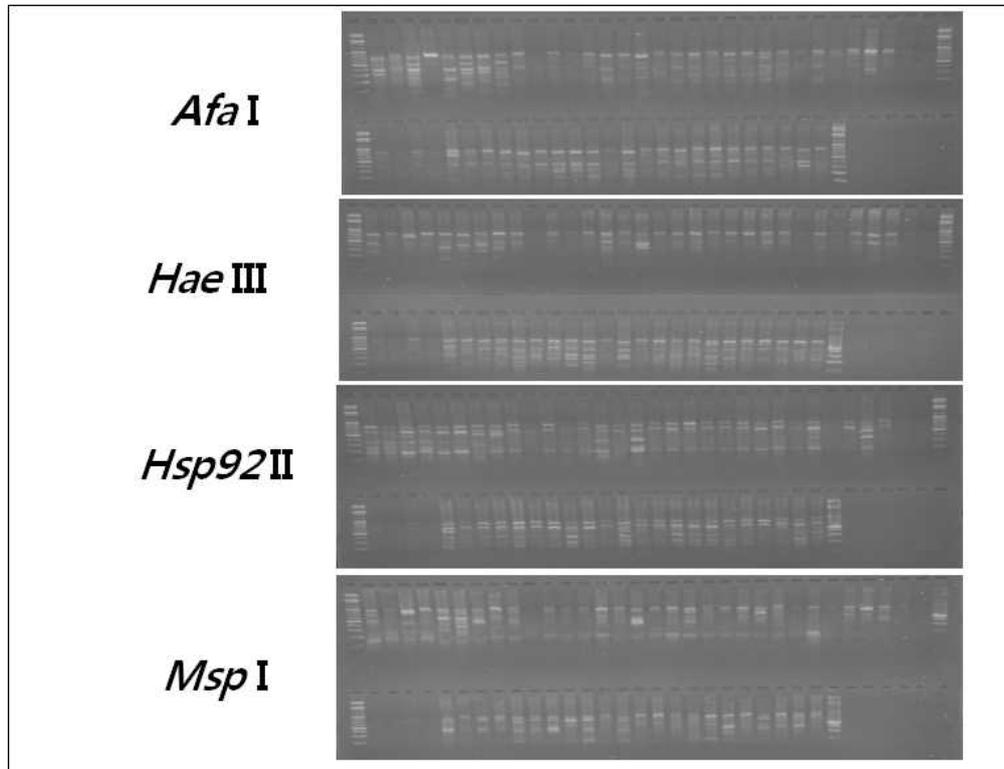


그림 3-5-31. 수층 서식 생물 중 COI 유전자 영역의 PCR-RFLP 분석 결과

다. 표준염기서열(Reference sequence) 데이터세트 제작

조사해역 수층에 서식하는 생물 종을 정확하게 파악하고 수층 구성 생물의 유생 분석시 사용할 수 있는 표준염기서열 데이터세트를 확보하였다(그림 3-5-32). 조사해역의 수층에 서식하는 생물 중 분석에 사용 가능한 표준염기서열 데이터 세트는 동해안에 서식하는 것으로 보고된 극피동물 75종, 등각류 8종, 바다대벌레 21종, 십각류 96종, 만각류 29종, 연체동물 473종, 올챙이새우류 37종, 해면 및 히드라, 해초류 86종, 환형동물(갯지렁이류) 85종을 대상으로 NCBI에 등록된 16S rRNA 및 COI 유전자 정보를 사용하여 제작하였다.

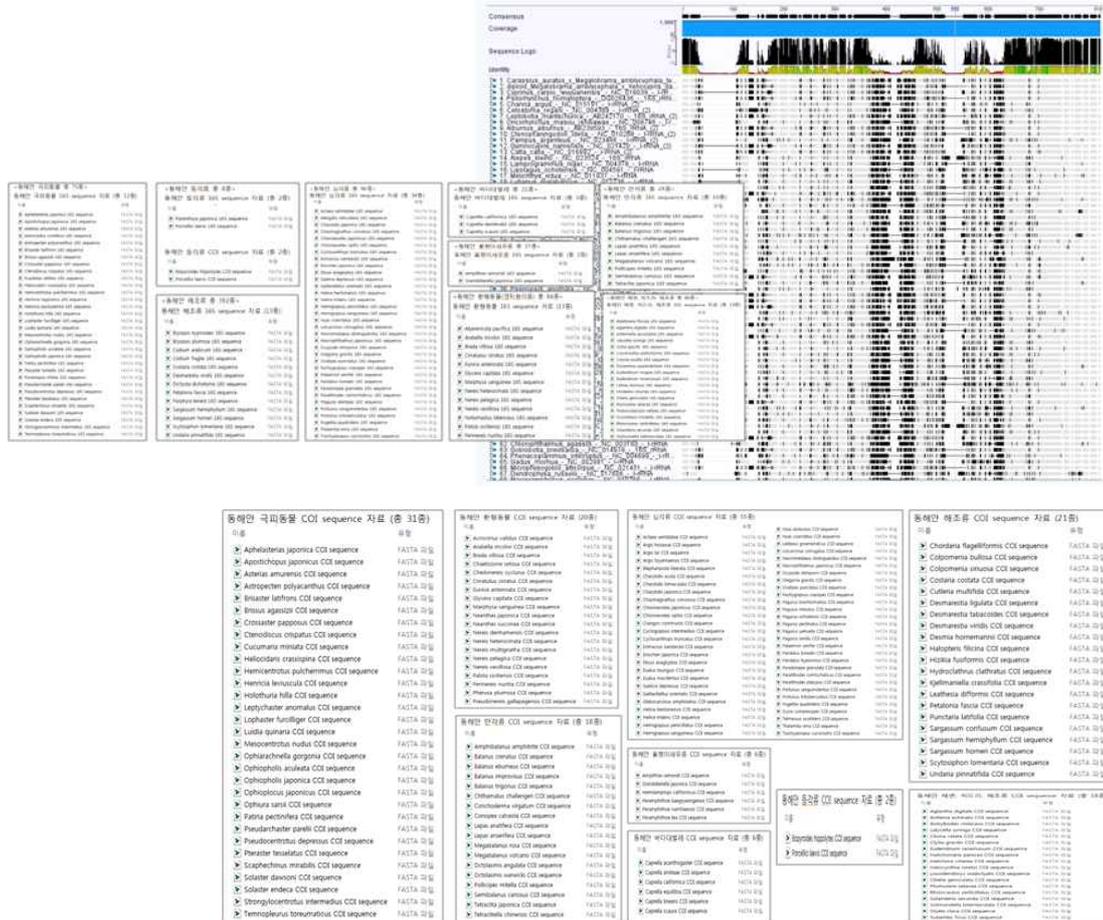


그림 3-5-32. 수층 서식 생물 분석시 사용 가능한 16S rRNA 및 COI 표준염기서열 데이터세트

라. 수층 서식 생물의 종 조성 분석을 위한 염기서열 해독

생물의 염기서열 정보를 사용하여 조사해역에서 시계열로 확보한 수층 서식 생물종 정보를 파악하기 위하여 16S rRNA 유전자와 COI 유전자 염기서열 기반의 바코드 프라이머인 Site specific Amplicon PCR 프라이머를 합성하였다(표 3-5-6). 2014년 4월 20일 부터 2014년 10월 24일 까지 채집한 시료의 16S rRNA 유전자 및 COI 유전자 각각의 amplicon library를 제작하여 Miseq platform(그림 3-5-33)으로 염기서열을 해독하였다(표 3-5-7, 그림 3-5-34). 염기서열 정보를 BLAST(<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) 검색한 결과, *Patellogastropoda* (삿갓조개류), *Heliocidaris crassispina*(보라성게), *Mesocentrotus nudus*(둥근성게), *Apostichopus japonicus*(돌기해삼), *Thais luteostoma*(뿔두드럭고둥), *Septifer virgatus*(굵은줄격판담치), *Pachygrapsus crassipes*(바위게), *Lottia septiformis*, *Scurria viridula*, *Rotaria sordida*, *Balanus trigonus*, *Ampithoidae*

Stebbing로 확인되었다(그림 3-5-35).

표 3-5-6. Miseq sequencing을 위한 site specific amplicon PCR primer 정보

Gene	Miseq-primer	Illumina overhang adapter sequences
mt-COI	jpgLCO1490-Miseq	TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACA GTITCIACIAAYCAYAARGAYATTGG
	jpgHCO2198-Miseq	GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGAC AGTAIACYTCIGGRTGICCRAARAAYCA
mt-16S rRNA	16Sar-Miseq	TCGTCGGCAGCGTCAGATGTGTATAAGAGACA GCGCCTGTTTATCAAAAACAT
	16Sbr-Miseq	GTCTCGTGGGCTCGGAGATGTGTATAAGAGAC AGCTCCGGTTTGAAGTCTCAGATC

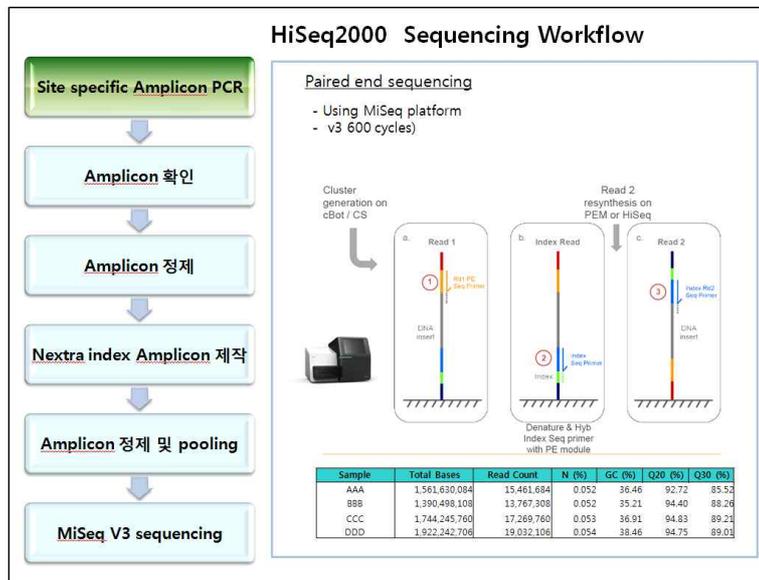


그림 3-5-33. Miseq V3 platform을 사용한 수층 서식 생물의 NGS 분석 흐름도

표 3-5-7. Miseq 분석으로 확보한 조사해역 수층 서식 생물의 염기서열

	Forward	Reverse
number of reads	16,059	16,434
number of cotings	539	536
contig>100	512	485
used reads	14,443	14,188
unused reads	1,616	2,246
unused reads>100	1,137	1,442

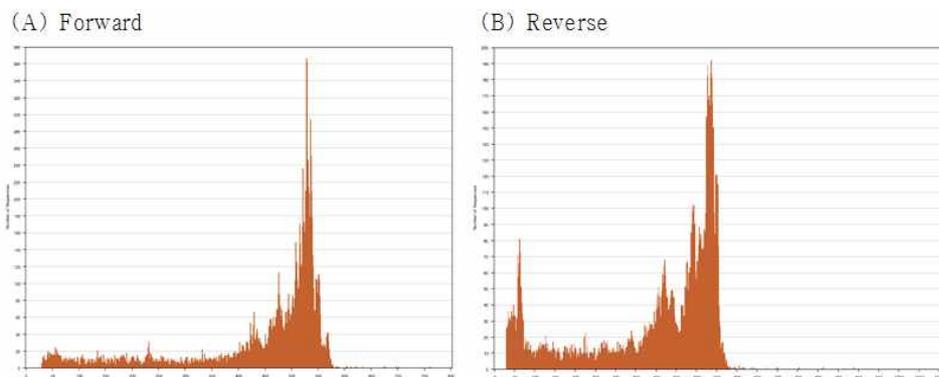


그림 3-5-34. Miseq 분석으로 확보한 대량 염기서열의 길이 분포

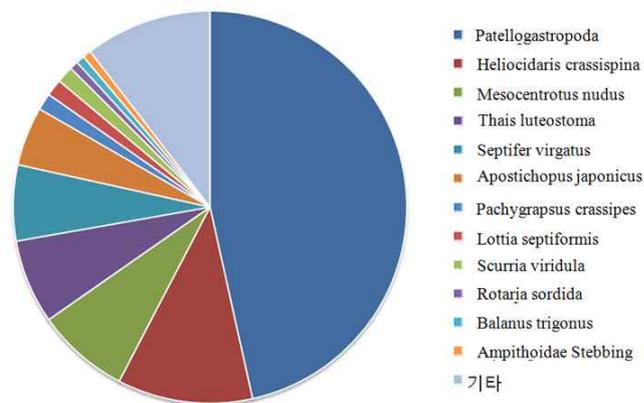


그림 3-5-35. Miseq platform으로 분석한 염기서열 BLAST 검색 결과 요약

제 6 절 동해 연안 생태계 서식환경 특성연구

1. 서식지 주변 기본환경 연구

가. 서식환경 주변 수층화학환경 연구

서식지 주변 수층 화학환경 조사는 계절 조사로 계획되었고, 2014년 3월 27일, 6월 2일, 10월 9일에 조사를 실시하였다. 총 32개 정점에서 YSI를 이용하여 온도, 염분, pH와 용존산소 농도를 측정하였고, 그 중 29개 정점에서 표층과 저층에서 영양염과 탄소 인자(총 용존 무기탄소 및 총 알칼리도) 측정을 위해 해수를 채수하여, 실험실에서 분석하였다(그림 3-6-1~2).

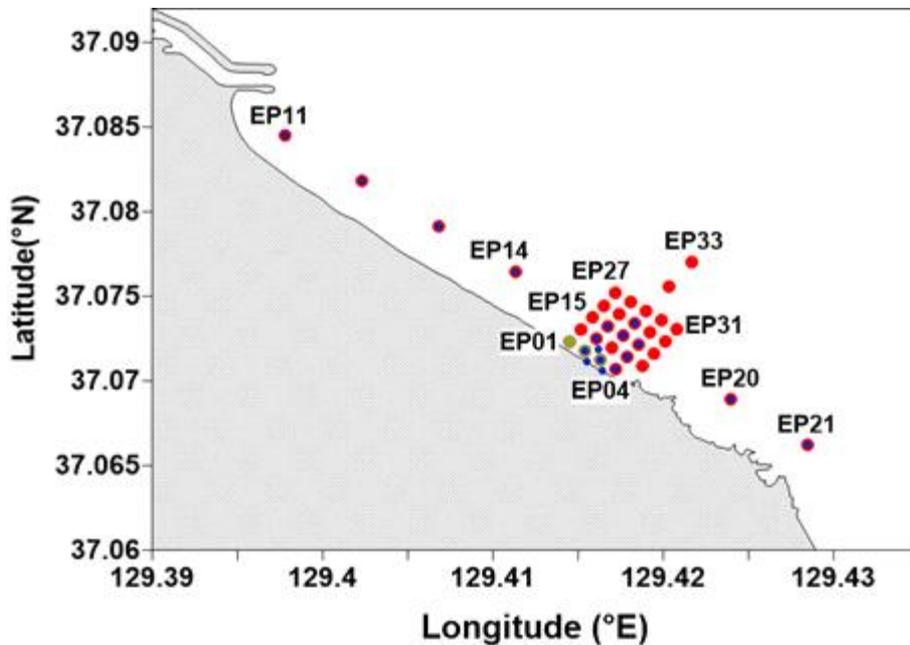


그림 3-6-1. 서식지 주변 화학환경 조사 정점도(퇴적물 채취: blue, 화학인자 및 YSI 측정: red, YSI 측정: green)

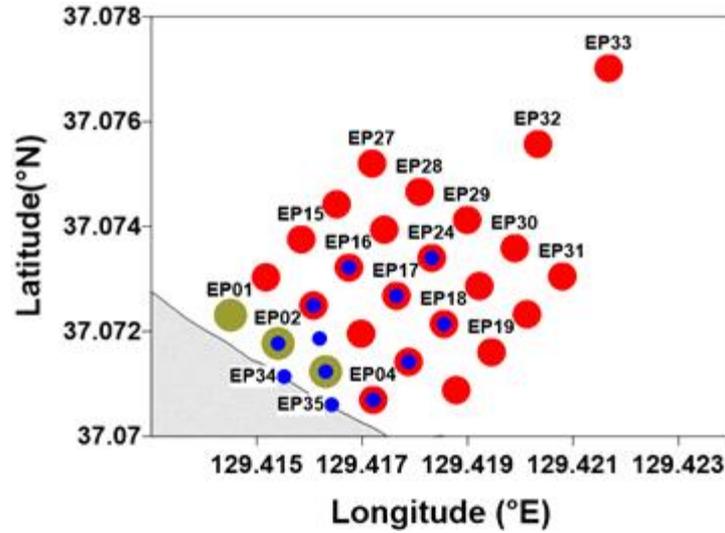


그림 3-6-2. 생태계 중점 조사 구역 내 환경조사 정점도(퇴적물 채취: blue, 화학인자 및 YSI 측정: red, YSI 측정: green)

3월 동계 조사에서 얻어진 영양염 분포도를 살펴보면, 질산염은 2-4.7 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 인산염은 0.25-0.47 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 규산염은 4.8-7.6 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 의 농도 분포를 보였다(그림 3-6-3). 표층과 저층의 차이는 거의 없었으며, 다만, 깊이가 깊은 정점 EP-32와 EP-33에서는 저층의 농도가 표층보다 높았다.

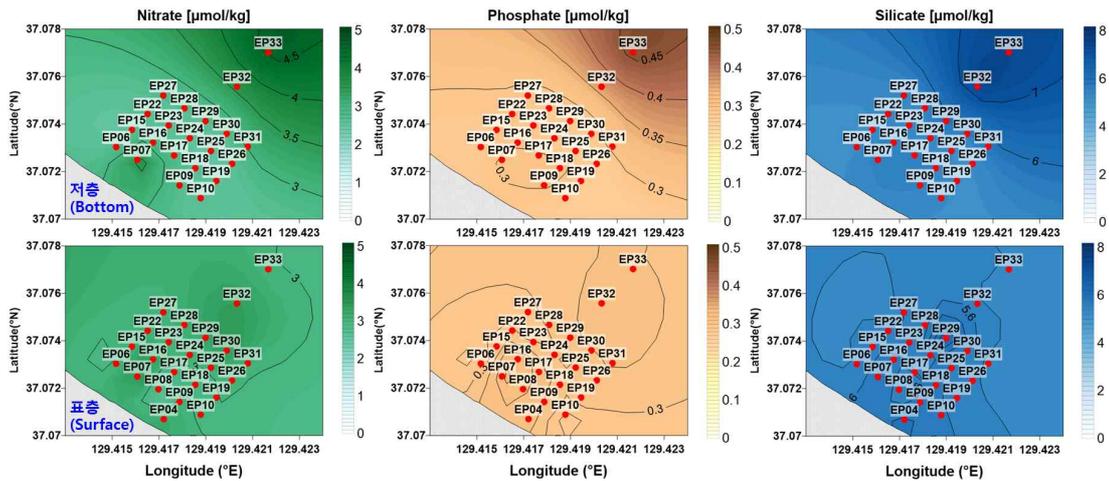


그림 3-6-3. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포(3월 동계조사)

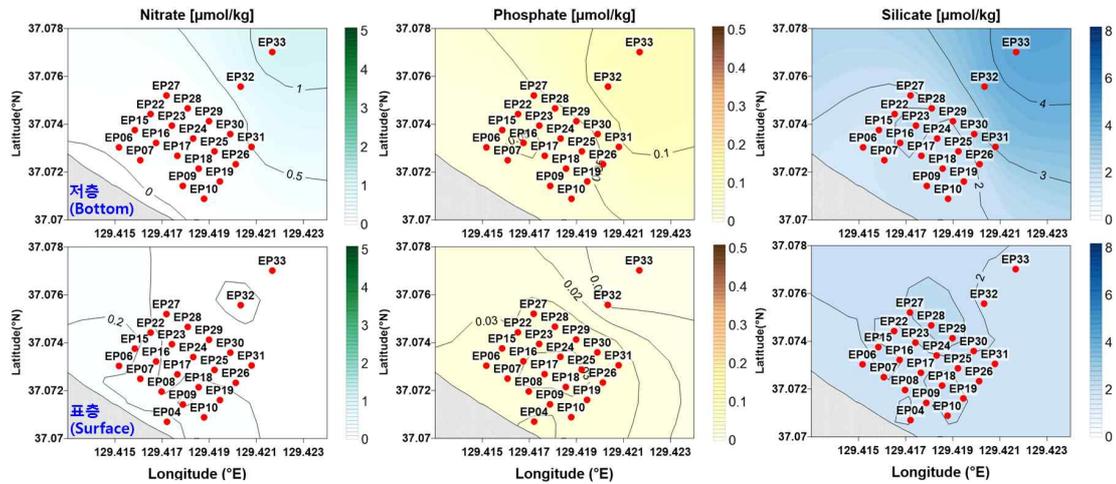


그림 3-6-4. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포(6월
 춘계조사)

6월 2일에 실시한 춘계 화학환경 조사에서는 표층 식물생산성의 증가로 동계와 비교하였을 때 영양염 농도가 많이 낮아졌으며, 규산염을 제외한 질산염과 인산염은 고갈 상태를 보였다(그림 3-6-4). 농도범위는 질산염 0-1.2 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 인산염 0-0.13 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 규산염 1.7-4.5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 을 나타냈다. 규산염 농도로 볼 때 규조류에 의한 변성은 아닌 것으로 생각된다.

10월 9일에 실시한 화학환경 조사 결과, 6월과 마찬가지로 규산염을 제외한 질산염과 인산염의 농도는 표층에서 매우 낮았다. 저층의 경우 맨 바깥 쪽 정점에서 연안 쪽으로 갈수록 농도가 낮아지는 형태를 보이고 있다. 이는 깊이가 깊은 바깥 쪽 정점들의 경우 표층에서 생산된 유기물이 저층에서 재생산되어 나타난 결과로, 저층 영양염 농도가 표층에 비해 2배 이상 높다(그림 3-6-5). 농도 범위는 질산염 0.18-3.5 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 인산염 0.03-0.33 $\mu\text{mol kg}^{-1}$, 규산염 2.6-8.1 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ 을 보였다.

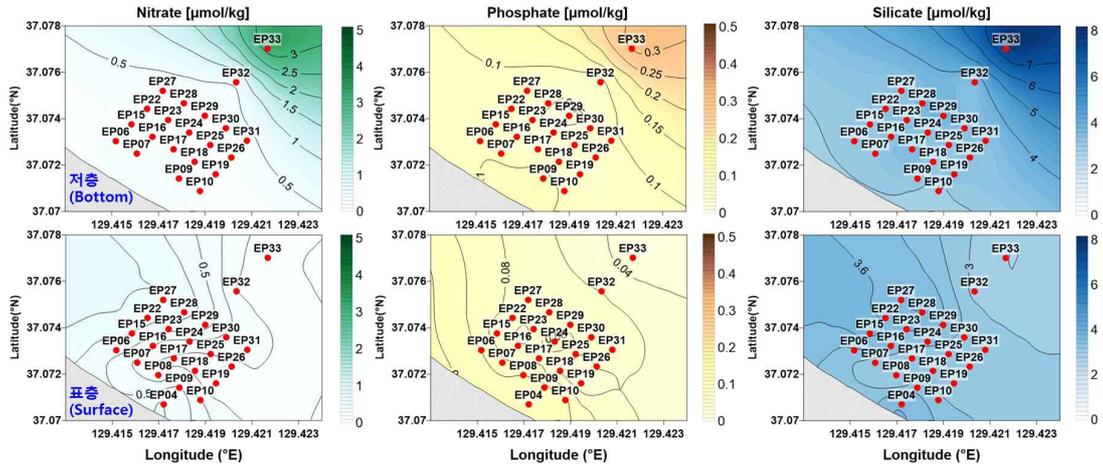


그림 3-6-5. 중점 조사 지역에서의 질산염, 인산염, 규산염의 농도 분포(10월 조사)

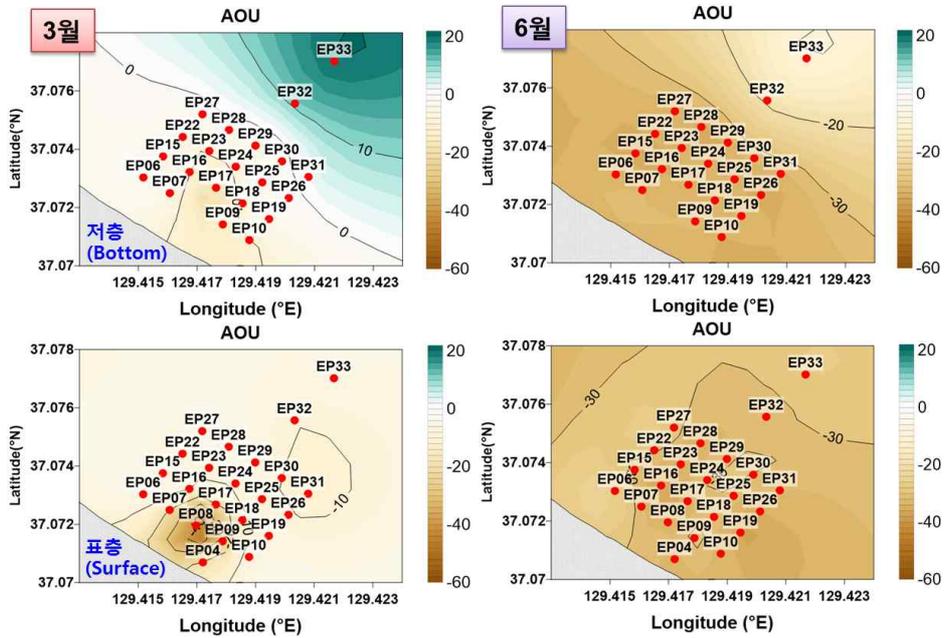


그림 3-6-6. 중점 조사 지역에서의 3월(왼쪽)과 6월(오른쪽) 겉보기 산소 소모량 (AOU)

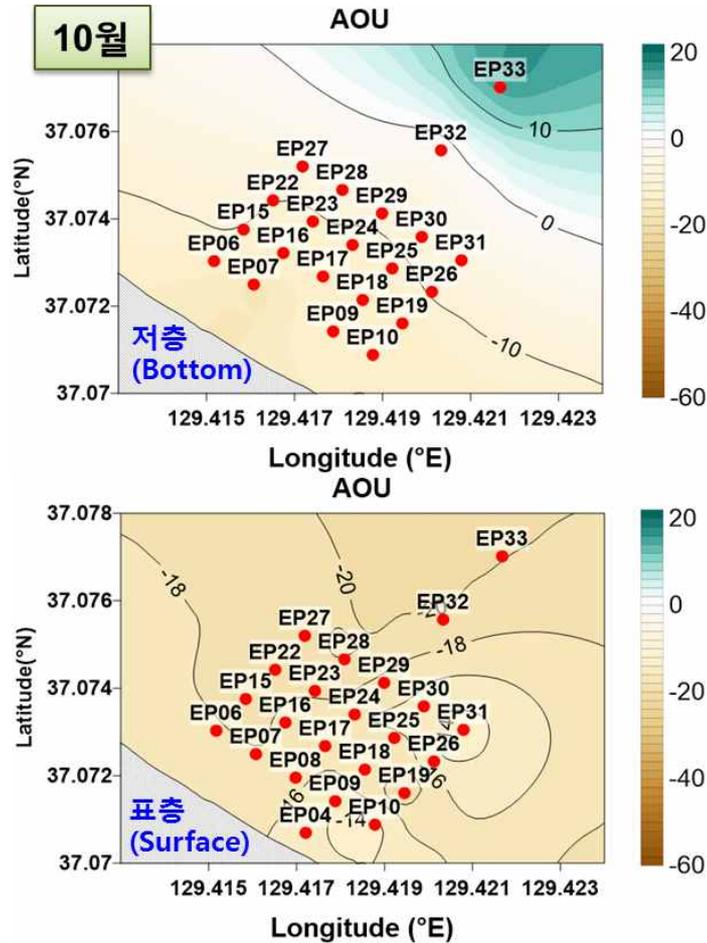


그림 3-6-7. 중점 조사 지역에서의 10월 결보기 산소 소모량(AOU)

결보기 산소 소모량(Apparent Oxygen Utilization; AOU; 산소 포화농도 - 측정값으로 계산)의 분포를 보면 3월에 비해 6월에 산소 과포화 정도가 크게 증가하여 식물 생산성이 큼을 알 수 있다(그림 3-6-6).

10월 저층의 결보기 산소 소모량 분포는 3월과 매우 유사하며, 바깥 쪽 수심이 깊은 정점에서 결보기 산소 소모량이 연안 쪽 보다 높은 것은 표층에서 생산된 유기물이 저층에서 재생산되는 과정에서 산소가 소모되었기 때문이다. 표층은 광합성으로 인해 산소가 과포화되어 있음을 알 수 있다(그림 3-6-7). 산소의 과포화 정도가 연안 쪽으로 갈수록 낮아지는 것으로 볼 때, 식물 생산성도 연안 쪽이 약간 낮음을 알 수 있다.

6월 pH는 3월 분포와 비교하였을 때 전반적으로 증가하였으며, 이는 식물 생산성 증가에 따른 탄소 농도 감소에 의한 것으로 보인다(그림 3-6-8). 맨 바깥 정점인 EP-32와 EP-33의 경우 저층의 pH가 낮은 것은 표층 생산성 증가에 따른 저층에서의 유기물 분해가 활발했기 때문인 것으로 생각된다.

3월에 분석된 총 용존 무기탄소(Total dissolved inorganic carbon, TCO₂)농도

를 살펴보면, 정점 EP-8, EP-9, EP-17에서 저농도가 관찰되었다(그림 3-6-9). 이는 pH와 겉보기 산소 소모량에서도 값의 차이 (pH는 높고, 겉보기 산소 소모량은 낮음)가 나타나며, 이는 이 지역의 광합성이 상대적으로 활발함을 나타낸다. 하지만 영양염 농도 분포에서는 그 차이가 나타나지 않으며, 해저면 영상에서도 크게 차이를 보일 이유를 발견하지 못하였다. 다만 이 지역의 염분이 주위보다 약 0.1정도 낮은 것으로 보이고, 6월에는 이러한 현상이 나타나지 않는 것으로 볼 때 저염수 유입과 같은 이벤트에 의한 농도 분포로 판단된다.

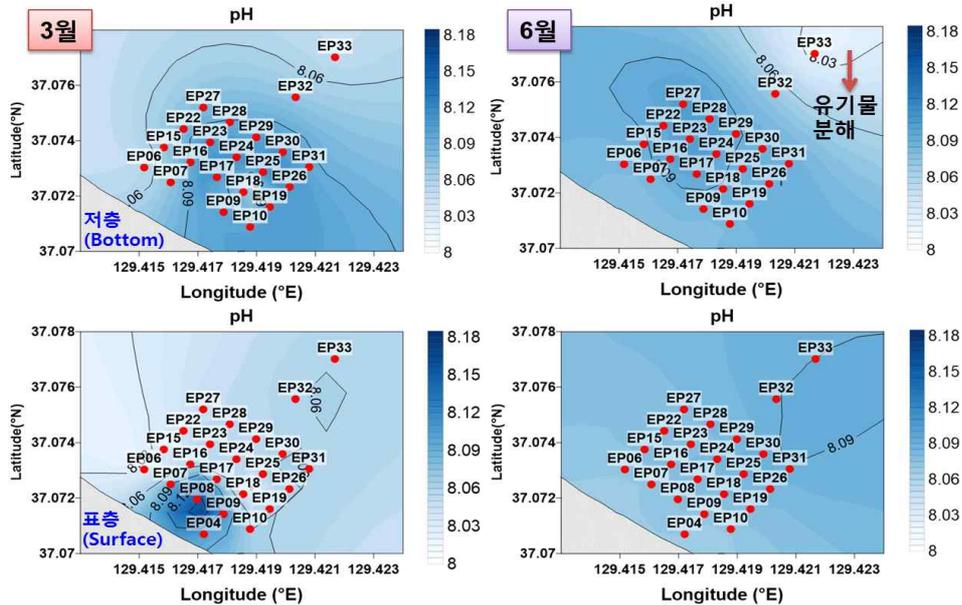


그림 3-6-8. 3월(왼쪽)과 6월(오른쪽) pH 분포도

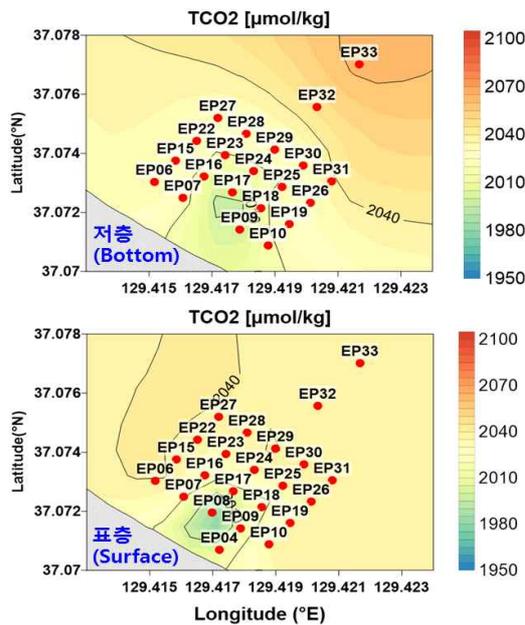


그림 3-6-9. 3월 총 용존 무기탄소 (TCO₂) 분포도

나. 서식환경 주변 퇴적화학환경 연구

2014년 5월, 6월에 각각 18개 정점과 2014년 10월, 2015년 3월, 6월, 10월에 각각 9개 정점에서 표층퇴적물을 그랩 채니기를 이용하여 채취하였으며, 20조사 정점 중에서 간극생물 조사를 같이 수행한 12개 정점에 대하여 입도, 총유기탄소 (TOC), 미량금속(Trace elements)을 분석하였다(그림 3-6-10).

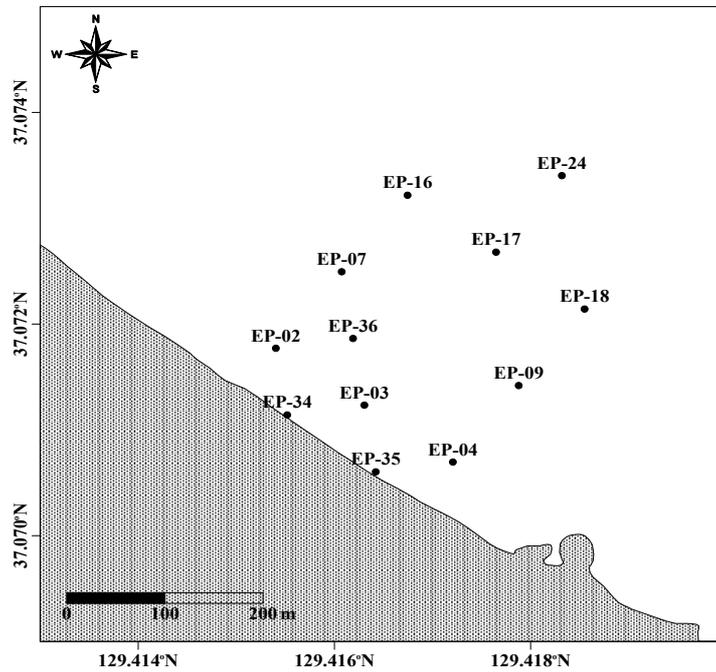


그림 3-6-10. 서식지 주변 및 생태계 중심 조사 구역 내 표층 퇴적물 조사 정점

2014년 5월에 채취한 퇴적물의 총 유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 함량은 0.025~0.039 %의 범위로 정점별로 큰 차이가 없었고, 6월에는 0.026~0.066 % 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02, EP-03, EP-04, EP-07의 총 유기탄소 함량이 0.040 %로 다른 정점들 보다 상대적으로 높게 나타났다. 이는 5월과는 다른 유입원이 있을 것으로 생각된다(그림 3-6-11).

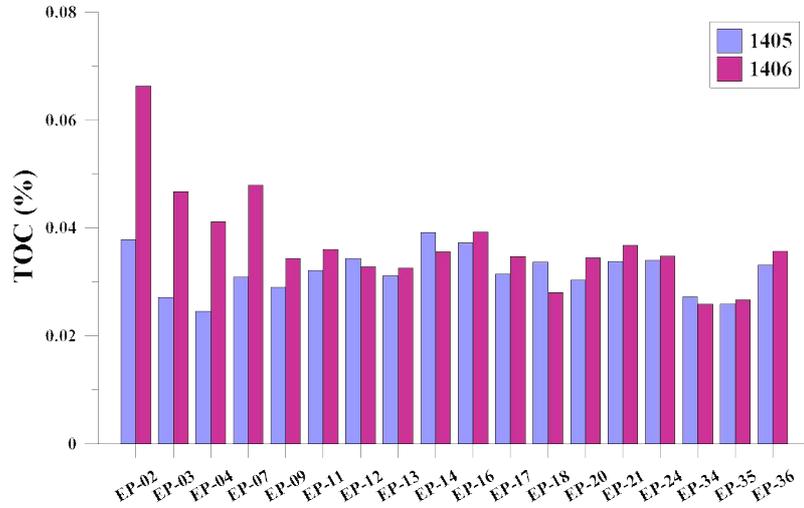


그림 3-6-11. 퇴적물 내 총 유기탄소 함량

알루미늄(Al)은 암반주변 지역의 정점인 EP-07, EP-09, EP-17, EP-18에서 상대적으로 낮게 나타나고 있으며 이는 퇴적물의 입자가 암반의 영향으로 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 해변 근처의 정점 EP-34, EP-35는 5월과 6월에 큰 농도 차이를 보였으며 이는 파도의 세기에 따라 퇴적물의 양상이 크게 달라지는 것으로 보인다(그림 3-6-12).

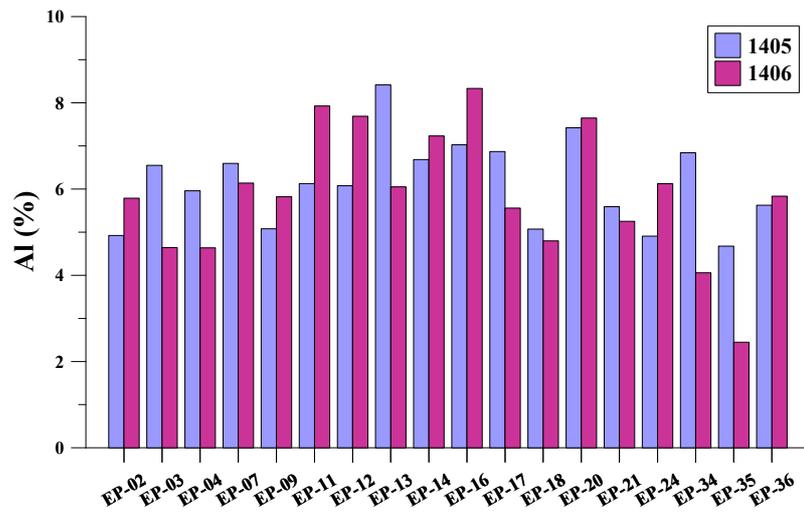


그림 3-6-12. 퇴적물 내 알루미늄 함량

철(Fe)은 알루미늄과 비슷한 분포양상을 나타내어 암반주변 지역의 정점인 EP-07, EP-09, EP-17, EP-18에서 상대적으로 낮게 나타나고 있으며 해변 근처의 정점 EP-34, EP-35는 5월과 6월에 큰 농도 차이를 보였다(그림 3-6-13).

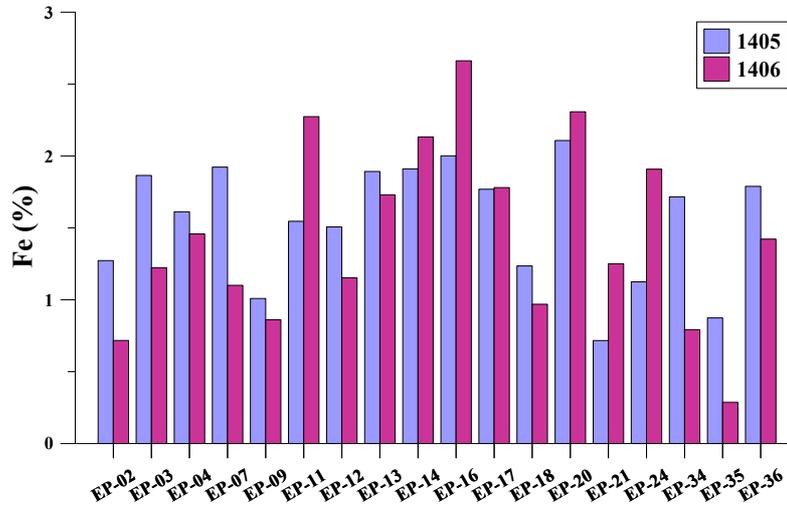


그림 3-6-13. 퇴적물 내 철 함량

망간(Mn)은 5월에 106~268 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02, EP-03, EP-04, EP-07의 망간 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다. 6월에는 96~308 mg kg⁻¹의 범위로 5월과 달리 암반 뒤에 위치한 정점 EP-14, EP-16, EP-17, EP-20의 망간 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다. 이는 5월과 6월에 퇴적물 내 산화·환원 환경의 변화가 있었을 것으로 생각된다(그림 3-6-14).

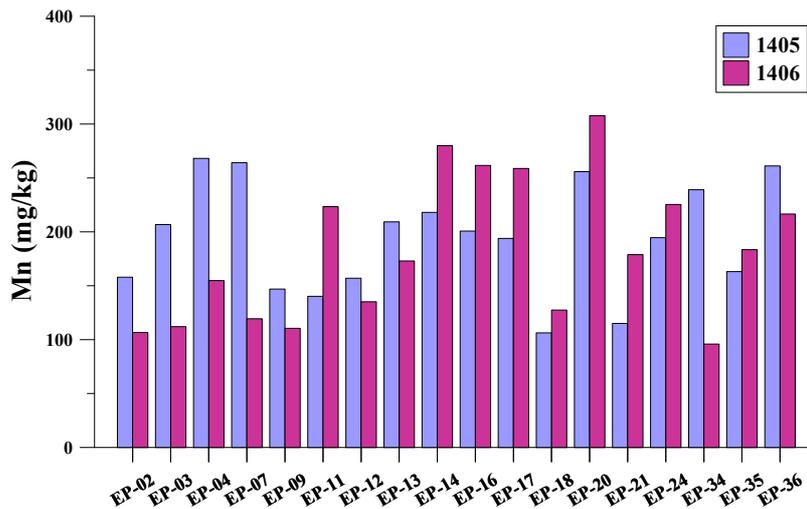


그림 3-6-14. 퇴적물 내 망간 함량

리튬(Li)은 철과 비슷한 분포양상을 나타내어 암반주변 지역의 정점인 EP-07, EP-09, EP-17, EP-18에서 상대적으로 낮게 나타나고 있으며 해빈 근처의 정점 EP-34, EP-35는 5월과 6월에 큰 농도 차이를 보였다(그림 3-6-15).

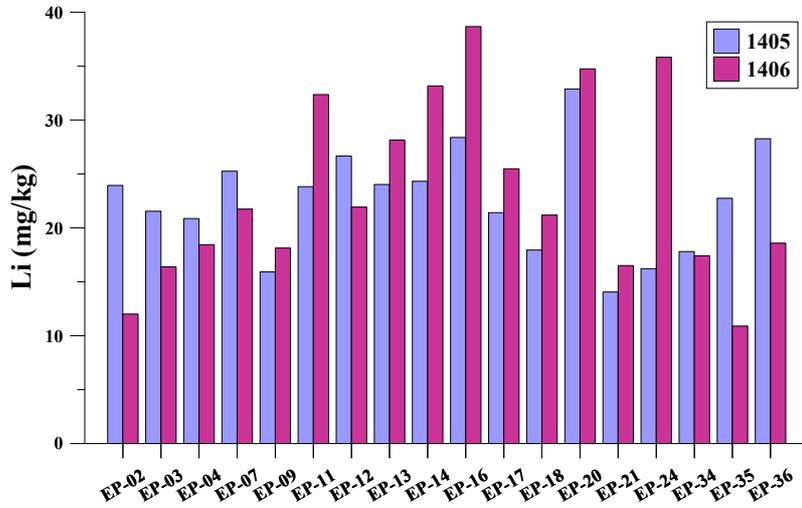


그림 3-6-15. 퇴적물 내 리튬 함량

바나듐(V)은 5월에 9.1~35.7 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02, EP-03, EP-04, EP-07의 바나듐 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다. 6월에는 6.8~41.6 mg kg⁻¹의 범위로 5월과 달리 암반 뒤에 위치한 정점 EP-14, EP-16, EP-17, EP-20의 바나듐 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-16).

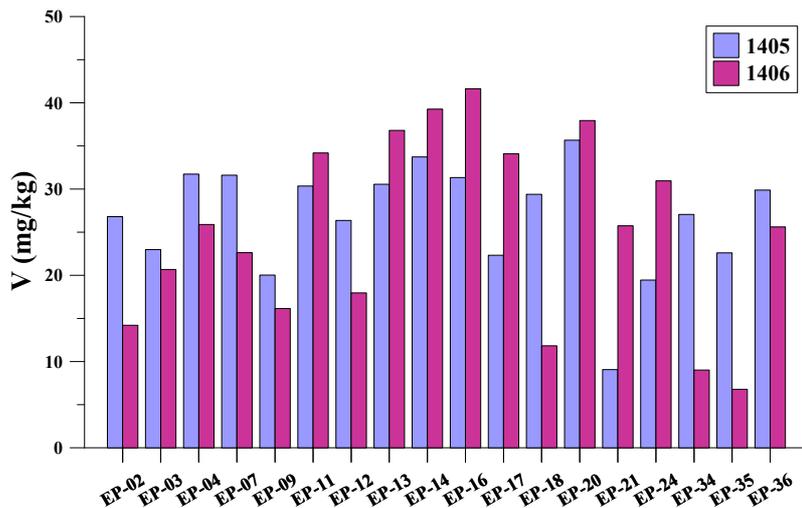


그림 3-6-16. 퇴적물 내 바나듐 함량

크롬(Cr)은 5월에 5.7~51.6 mg kg⁻¹의 범위로 정점 EP-21에서 가장 낮았고 정점 EP-14에서 가장 높은 농도를 나타내었으며 나머지 다른 정점에서는 비슷한 농도 값을 보였다. 6월에는 4.0~180.9 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17,

EP-24의 크롬 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-17).

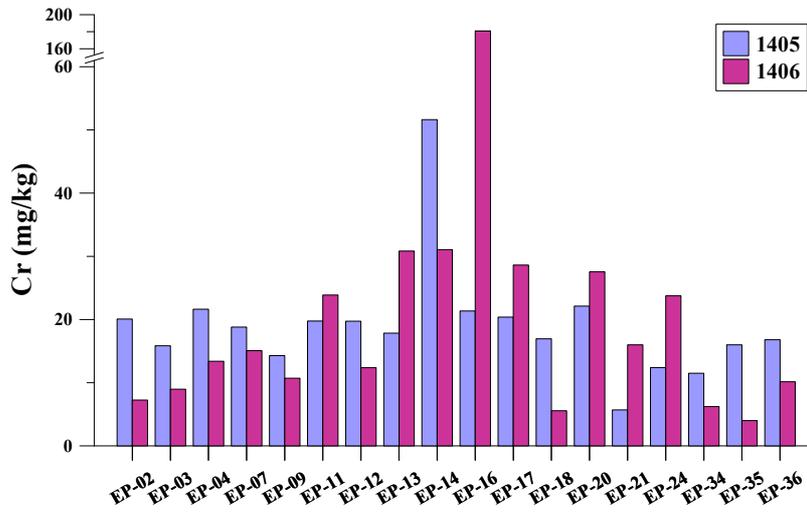


그림 3-6-17. 퇴적물 내 크롬 함량

코발트(Co)는 5월에 1.46~5.54 mg kg⁻¹의 범위로 해변 근처 정점 EP-34, EP-35에서 상대적으로 낮은 농도를 나타내었으며 나머지 다른 정점에서는 비슷한 농도 값을 보였다. 6월에는 1.50~35.65 mg kg⁻¹의 범위로 해변 근처 정점 EP-35에서 가장 높은 농도를 보였으며, 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-24의 코발트 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-18).

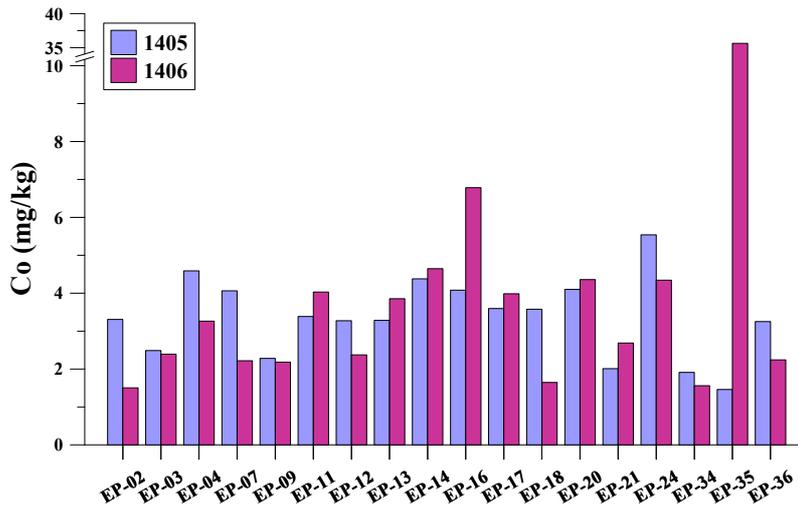


그림 3-6-18. 퇴적물 내 코발트 함량

니켈(Ni)은 5월에 2.63~19.05 mg kg⁻¹의 범위로 정점 EP-35에서 가장 낮았고

정점 EP-14에서 가장 높은 농도를 나타내었으며 나머지 다른 정점에서는 비슷한 농도값을 보였다. 6월에는 1.96~105.1 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-24의 니켈 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-19).

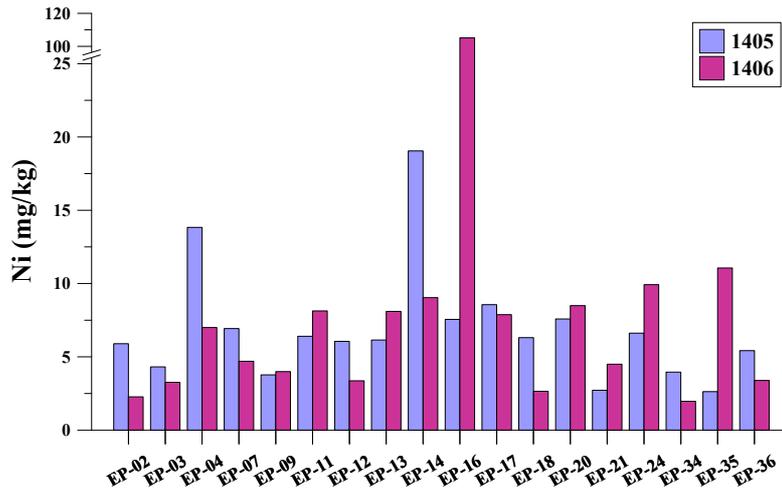


그림 3-6-19. 퇴적물 내 니켈 함량

구리(Cu)는 5월에 2.93~13.72 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02에서 가장 높은 농도를 나타내었으며 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-13, EP-14에서 상대적으로 높은 함량을 보였다. 6월에는 1.70~9.43 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-20의 구리 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-20).

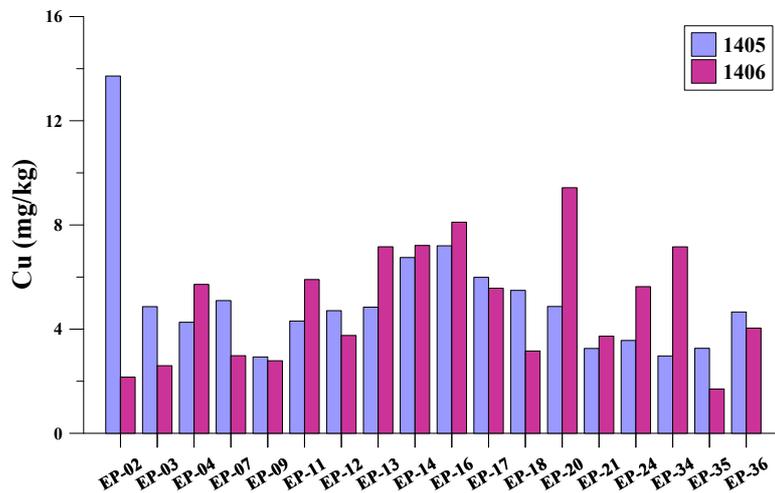


그림 3-6-20. 퇴적물 내 구리 함량

아연(Zn)은 5월에 18.0~41.3 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02에서 가장 높은 농도를 나타내었으며 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-20에서 상대적으로 높은 함량을 보였다. 6월에는 8.3~52.0 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-20의 아연 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-21).

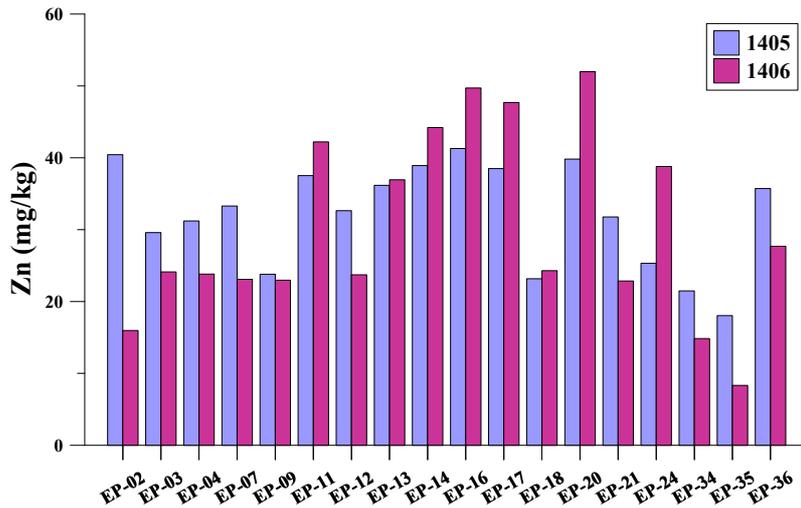


그림 3-6-21. 퇴적물 내 아연 함량

비소(As)는 5월에 5.4~15.3 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02, EP-07, 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-13과 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-20에서 상대적으로 높은 함량을 보였다. 6월에는 3.5~15.0 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-20의 비소 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-22).

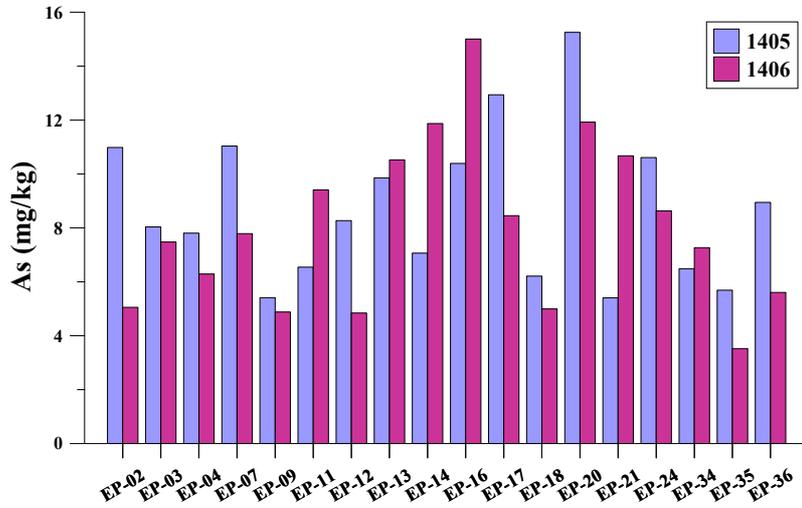


그림 3-6-22. 퇴적물 내 비소 함량

카드뮴(Cd)은 5월에 0.018~0.076 mg kg⁻¹의 범위로 해안선에 인접한 정점 EP-02, EP-03, EP-04, EP-07과 암반중심으로 북서쪽 외측 정점인 EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, EP-17, EP-21에서 상대적으로 높은 함량을 보였다. 6월에는 0.021~0.059 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 남동쪽 외측 정점인 EP-20, EP-21과 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16의 아연 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-23).

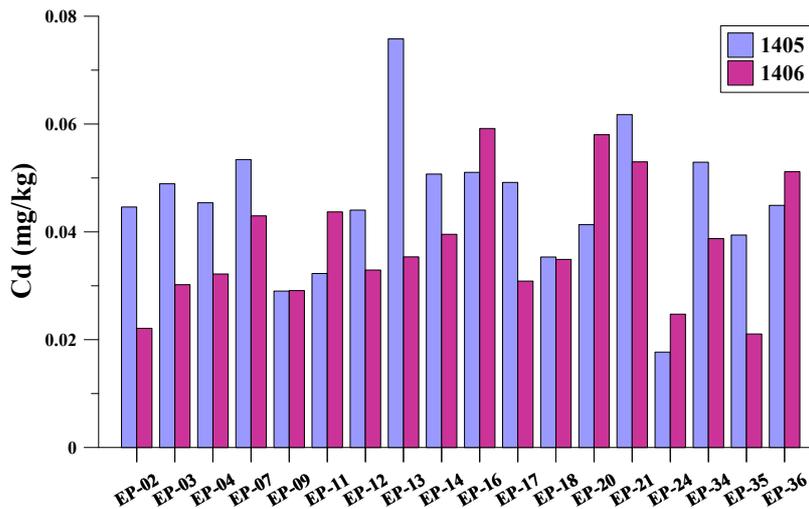


그림 3-6-23. 퇴적물 내 카드뮴 함량

납(Pb)은 5월에 14.8~27.4 mg kg⁻¹의 범위로 해변 근처 정점 EP-34, EP-35에서 상대적으로 낮은 함량을 나타냈으며, 나머지 다른 정점에서는 비슷한 농도를 보였다. 6월에는 10.5~25.9 mg kg⁻¹의 범위로 암반중심으로 북서쪽 외측

정점인 EP-11, EP-13, EP-14와 암반 뒤에 위치한 정점 EP-16, 암반중심으로 남동쪽 외측 정점인 EP-20, EP-21의 납 함량이 다른 정점들 보다 상대적으로 높았다(그림 3-6-24).

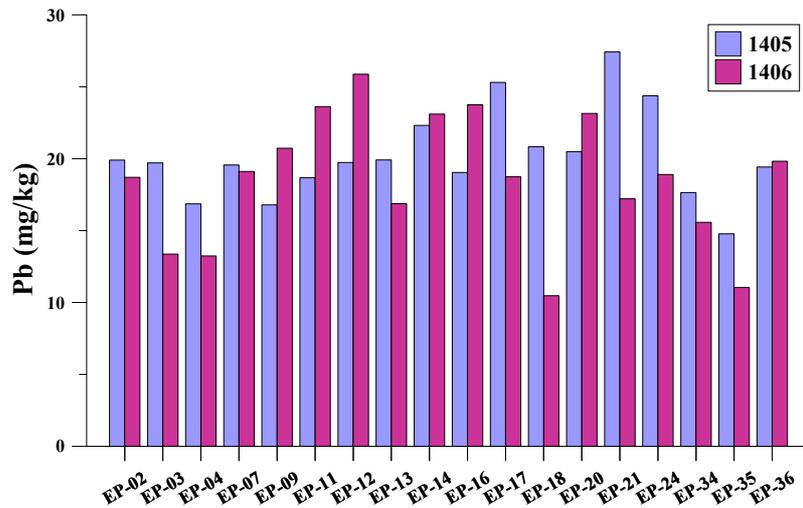


그림 3-6-24. 퇴적물내 납 함량

2014년 10월의 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 함량은 nd이었다. 알루미늄(Al)은 2.68~6.47%(평균 4.32±1.25%)범위로 정점 EC-16, EC-17, EC-18, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 철(Fe)은 0.31~1.79%(평균 1.00±0.46%)범위로 정점 EC-7, EC-9에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-1).

표 3-6-1. 2014년 10월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도

St	TOC	Al	Fe	Mn	Li	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	%			mg/kg									
EC-2	nd	3.96	0.87	99	15.3	8.4	1.73	3.37	3.06	22.3	6.03	0.013	17.3
EC-3	nd	2.68	0.62	74	8.8	5.2	1.38	2.01	3.93	15.1	4.94	0.007	13.3
EC-4	nd	3.26	0.31	59	10.5	4.9	0.95	1.42	1.58	13.4	5.27	0.016	17.4
EC-7	nd	3.44	1.61	99	14.4	20.6	2.87	6.80	5.36	27.5	4.84	0.019	18.9
EC-9	nd	3.69	1.06	101	15.4	13.6	2.39	4.76	2.97	22.3	7.81	0.027	19.7
EC-16	nd	6.47	1.79	254	31.2	25.2	5.16	8.27	5.87	48.0	9.72	0.026	22.4
EC-17	nd	5.48	1.04	126	17.5	16.0	2.82	5.29	4.42	25.5	7.93	0.017	19.6
EC-18	nd	4.38	0.69	128	9.4	7.2	1.45	1.94	3.14	17.3	4.21	0.010	21.2
EC-36	nd	5.50	0.98	97	18.6	25.9	2.47	5.23	4.89	27.4	10.18	0.021	17.6

2014년 10월의 망간(Mn)은 59~254 mg/kg(평균 115±57 mg/kg) 범위로 정점 EC-16, EC-17, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 리튬(Li)은 8.8~31.2 mg/kg(평균 15.7±6.8 mg/kg)의 범위로 정점 EC-2, EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 크롬(Cr)은 4.9~25.9 mg/kg(평균 14.1±8.3 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 코발트(Co)는 0.95~5.16 mg/kg(평균 2.36±1.25 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 니켈(Ni)은 1.42~8.27 mg/kg(평균 4.34±2.34 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 구리(Cu)는 1.58~5.87 mg/kg(평균 3.91±1.36 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 아연(Zn)은 13.4~48.0 mg/kg(평균 24.3±10.3 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 비소(As)는 4.21~10.18 mg/kg(평균 6.77±2.21 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 카드뮴(Cd)은 0.007~0.027 mg/kg(평균 0.017±0.007 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 납(Pb)은 13.3~22.4 mg/kg(평균 18.6±2.6 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-17, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-1).

표 3-6-2. 2015년 3월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도

St	TOC	Al	Fe	Mn	Li	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	%			mg/kg									
EC-2	nd	2.98	0.90	207	13.2	8.2	2.05	3.28	3.01	33.8	6.75	0.007	12.7
EC-3	nd	4.81	0.88	123	11.5	13.7	2.59	4.84	4.16	23.0	7.04	0.011	23.4
EC-4	nd	4.29	1.06	94	22.6	18.6	2.20	4.05	5.05	23.3	5.98	0.015	16.6
EC-7	nd	4.25	1.36	189	23.6	16.7	3.37	5.28	6.08	36.0	6.48	0.020	15.7
EC-9	nd	5.19	1.78	174	24.0	29.8	4.50	8.79	8.61	43.4	8.93	0.030	23.7
EC-16	nd	4.10	1.50	267	18.8	15.5	2.73	6.26	6.83	66.2	8.96	0.082	37.4
EC-17	nd	4.64	1.48	133	20.8	23.0	3.52	7.15	6.08	39.1	11.20	0.015	23.4
EC-18	nd	3.56	0.85	80	12.3	8.0	1.84	3.43	3.08	24.8	7.08	0.010	16.8
EC-36	nd	4.39	1.57	266	24.8	29.8	4.18	8.81	7.57	46.3	14.93	0.024	22.8

2015년 3월의 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 함량은 nd이었다. 알루미늄(Al)은 2.98~5.19%(평균 4.25±0.66 %)범위로 정점 EC-3, EC-9, EC-17에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 철(Fe)은 0.85~1.78%(평균 1.26±0.35 %)

범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-2).

2015년 3월의 망간(Mn)은 80~267 mg/kg(평균 170±69 mg/kg) 범위로 정점 EC-2, EC-16, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 리튬(Li)은 11.5~24.8 mg/kg(평균 19.1±5.4 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-7, EC-9, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 크롬(Cr)은 8.0~29.8 mg/kg(평균 18.1±8.1 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 코발트(Co)는 1.84~4.50 mg/kg(평균 3.00±0.95 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-9, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 니켈(Ni)은 3.28~8.81 mg/kg(평균 5.76±2.13 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 구리(Cu)는 3.01~8.61 mg/kg(평균 5.61±1.95 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 아연(Zn)은 23.0~66.2 mg/kg(평균 37.3±13.8 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 비소(As)는 5.98~14.93 mg/kg(평균 8.59±2.88 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 카드뮴(Cd)은 0.007~0.082 mg/kg(평균 0.024±0.023 mg/kg)의 범위로 정점 EC-9, EC-16에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 납(Pb)은 12.7~37.4 mg/kg(평균 21.4±7.3 mg/kg)의 범위로 정점 EC-3, EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-2).

표 3-6-3. 2015년 6월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도

St	TOC	Al	Fe	Mn	Li	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	%			mg/kg									
EC-2	nd	5.33	0.95	121	21.7	10.3	2.47	3.63	3.65	26.5	7.96	0.012	21.5
EC-3	nd	4.78	0.72	109	13.1	18.4	1.46	3.31	4.00	22.9	4.74	0.015	20.3
EC-4	nd	5.30	1.46	196	23.3	22.9	3.87	8.18	6.20	37.4	9.13	0.018	19.0
EC-7	nd	5.45	0.85	118	16.1	13.3	2.25	4.11	4.14	25.0	4.77	0.034	21.7
EC-9	nd	4.57	1.19	128	17.5	17.9	2.95	4.72	6.98	33.6	9.03	0.014	18.8
EC-16	nd	5.01	1.22	138	20.0	27.8	3.42	6.43	7.50	32.4	8.02	0.028	16.1
EC-17	nd	4.76	1.67	191	24.1	19.9	3.69	7.64	6.04	40.1	12.85	0.041	16.0
EC-18	nd	4.21	1.04	134	14.6	14.5	2.59	5.29	3.86	22.8	8.01	0.016	16.9
EC-36	nd	4.55	1.57	171	18.5	19.7	3.58	6.11	4.46	36.3	7.91	0.023	20.5

2015년 6월의 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 함량은 nd이었다. 알루미늄(Al)은 4.21~5.45%(평균 4.88±0.42 %)범위로 정점 EC-2, EC-3, EC-4,

EC-7, EC-16에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 철(Fe)은 0.72~1.67%(평균 1.19±0.33%)범위로 정점 EC-4, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-3).

2015년 6월의 망간(Mn)은 109~196 mg/kg(평균 145±32 mg/kg) 범위로 정점 EC-4, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 리튬(Li)은 13.1~24.1 mg/kg(평균 18.8±3.8 mg/kg)의 범위로 정점 EC-2, EC-4, EC-16, EC-17에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 크롬(Cr)은 10.3~27.8 mg/kg(평균 18.3±5.2 mg/kg)의 범위로 정점 EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 코발트(Co)는 1.46~3.87 mg/kg(평균 2.92±0.80 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 니켈(Ni)은 3.31~8.18 mg/kg(평균 5.49±1.73 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 구리(Cu)는 3.65~7.50 mg/kg(평균 5.20±1.48 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-9, EC-16에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 아연(Zn)은 22.8~40.1 mg/kg(평균 30.8±6.6 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-9, EC-16, EC-17, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 비소(As)는 4.74~12.85 mg/kg(평균 8.05±2.42 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-9, EC-17에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 카드뮴(Cd)은 0.012~0.041 mg/kg(평균 0.022±0.010 mg/kg)의 범위로 정점 EC-7, EC-16, EC-17에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 납(Pb)은 16.0~21.7 mg/kg(평균 19.0±2.2 mg/kg)의 범위로 정점 EC-2, EC-3, EC-7, EC-36에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-3).

표 3-6-4. 2015년 10월 조사지역 표층퇴적물 내 총유기탄소 및 금속원소농도

St	TOC	Al	Fe	Mn	Li	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
	%			mg/kg									
EC-2	nd	3.26	1.20	191	9.3	10.5	2.10	3.88	1.43	29.5	12.79	0.107	19.8
EC-3	nd	2.32	0.79	122	13.2	8.2	1.84	5.13	3.53	38.6	7.34	0.106	12.7
EC-4	nd	4.27	1.45	189	21.7	22.3	4.07	8.05	5.84	43.5	9.75	0.097	21.1
EC-7	nd	4.02	0.96	127	17.9	14.3	2.18	4.11	2.53	37.6	8.66	0.076	19.2
EC-9	nd	3.16	0.70	134	20.7	10.7	1.74	5.31	4.90	41.7	8.47	0.095	17.3
EC-16	nd	4.23	1.18	129	19.4	18.3	2.78	6.28	5.71	38.5	16.19	0.088	25.1
EC-17	nd	5.53	0.20	51	8.2	3.1	0.59	3.86	2.69	25.0	2.98	0.092	23.8
EC-18	nd	5.59	1.73	255	30.2	29.7	4.44	10.63	5.83	63.2	9.25	0.092	20.0
EC-36	nd	4.16	0.69	146	16.6	10.3	1.30	3.83	4.73	34.1	5.83	0.091	16.8

2015년 10월의 총유기탄소(Total Organic Carbon : TOC) 함량은 nd이었다. 알

루미늄(Al)은 2.32~5.59%(평균 4.06±1.06 %)범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-17, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 철(Fe)은 0.20~1.73%(평균 0.99±0.46%)범위로 정점 EC-2, EC-4, EC-16, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다(표 3-6-4).

2015년 10월의 망간(Mn)은 51~255 mg/kg(평균 149±57 mg/kg) 범위로 정점 EC-2, EC-4, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 리튬(Li)은 8.2~30.2 mg/kg(평균 17.5±6.8 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-7, EC-9, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 크롬(Cr)은 3.1~29.7 mg/kg(평균 14.2±8.1 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 코발트(Co)는 0.59~4.44 mg/kg(평균 2.34±1.25 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 니켈(Ni)은 3.83~10.63 mg/kg(평균 5.68±2.33 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 구리(Cu)는 1.43~5.84 mg/kg(평균 4.13±1.64 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-16, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 아연(Zn)은 25.0~63.2 mg/kg(평균 39.1±10.8 mg/kg)의 범위로 정점 EC-4, EC-9, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 비소(As)는 2.98~16.19 mg/kg(평균 9.03±3.81 mg/kg)의 범위로 정점 EC-2, EC-4, EC-16에서 상대적으로 높은 농도를 보였다. 카드뮴(Cd)은 0.076~0.107 mg/kg(평균 0.094±0.009 mg/kg)의 범위로 정점 EC-2, EC-3, EC-4에서 상대적으로 높은 농도를 나타냈으며, 납(Pb)은 12.7~25.1 mg/kg(평균 19.3±3.7 mg/kg)의 범위로 정점 EC-16, EC-17, EC-18에서 상대적으로 높은 농도를 보였다.

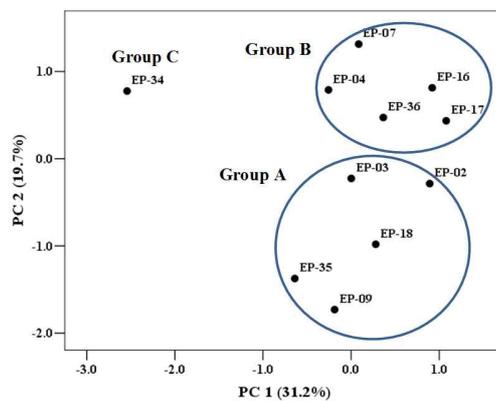


그림 3-6-25. 조사지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2014년 5월)

후암 사질 퇴적물에 서식하는 간극생물의 서식밀도와 표층 퇴적물 내 존재하

는 화학환경요인과의 연관성을 파악하기 위하여 주성분 분석(Principal component analysis : PCA)을 실시하였다(그림 3-6-25).

2014년 5월에 출현종 분포와 관련 있는 환경요인을 파악하기 위해 환경요인 16항목과 출현종 12종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 입도(Mz), 총유기탄소(TOC), 크롬(Cr), 아연(Zn), 비소(As), 구리(Cu), 납(Pb), 코발트(Co)와 높은 상관관계 ($r>0.57$)를 나타내고 있다. Nematodes의 서식밀도는 앞에서 언급된 환경요인과 강한 양의 상관관계($r=0.79$)를 보이고 있고 Polychaetes의 서식밀도와 유의한 양의 상관관계($r=0.50$)를 나타내고 있으며, Halacaloideans, Bivalves, Cnidarians의 서식밀도와는 강한 음의 상관관계($r<-0.83$)를 보이고 있다. 주성분2(PC 2)은 카드뮴(Cd), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 철(Fe), 바나듐(V)과 높은 상관관계 ($r>0.52$)를 나타내고 있으며, 이들 환경요인은 Ostracods의 서식밀도와 유의한 양의 상관관계($r=0.54$)를 보이고 있다.

주성분분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 세 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 주로 해변에 가까운 정점으로 육상환경요인에 상대적으로 영향을 받는 정점들이고 정점군 B(Group B)는 주로 후암 주변의 정점들로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군 C(Group C)는 해변 정점에 해당된다.

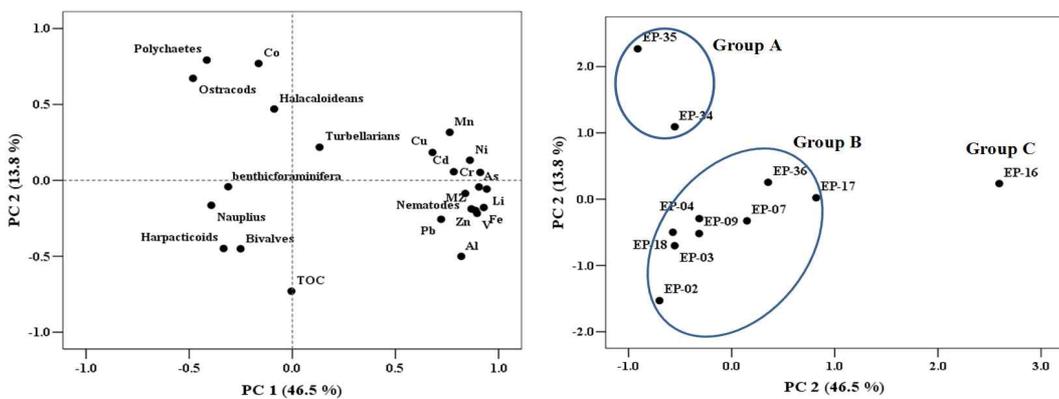


그림 3-6-26. 조사지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인 점수 산포도(2014년 6월)

2014년 6월에는 환경요인 16항목과 출현종 9종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 리튬(Li), 철(Fe), 크롬(Cr), 아연(Zn), 비소(As), 입도(Mz), 구리(Cu), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 철(Fe), 바나듐(V)과 높은 상관관계 ($r>0.68$)를 나타내고 있어 육상으로부터 유입되는 거동과 관계가 있는 것으로 생각되며, 선형동물(Nematodes)의 서식밀도와 강한 양의 상관관

계($r=0.84$)를 보이고 있다. 주성분2(PC 2)은 코발트(Co)와 높은 양의 상관관계($r=0.77$)를 나타냈고 총유기탄소(TOC)와는 강한 음의 상관관계($r=-0.73$)를 보이고 있는데 육상으로부터의 유입 외에 다른 거동이 있는 것으로 생각되며, Ostracods의 서식밀도와 유의한 양의 상관관계($r=0.54$)를 보이고 있고 다모류(Polychaetes)의 서식밀도와 유의한 양의 상관관계($r=0.79$)를 나타내고 있다(그림 3-6-26). 주성분분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 세 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 해변 정점에 해당되는 정점으로 육상 환경요인에 직접적인 영향을 받는 정점들이고 정점군 B(Group B)는 주로 후암 주변의 정점들로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군 C(Group C)는 상대적으로 후암주변과 다른 외부의 환경요인에 영향을 받는 지역으로 생각된다. 주성분분석을 통해 얻어진 간극생물과 표층퇴적물에서의 화학환경요인을 살펴본 결과 대체로 해변지역과 후암 주변의 사질·수중암반 지역의 서식환경이 차이를 나타내고 있음을 판단할 수 있었으며, 계절에 따른 환경요인의 변화에 따라 서식밀도가 변동될 가능성이 있음을 시사한다. 이에 지속적인 연구를 통해 간극생물과 환경요인의 변화에 대한 연관성을 자세히 파악할 필요가 있다.

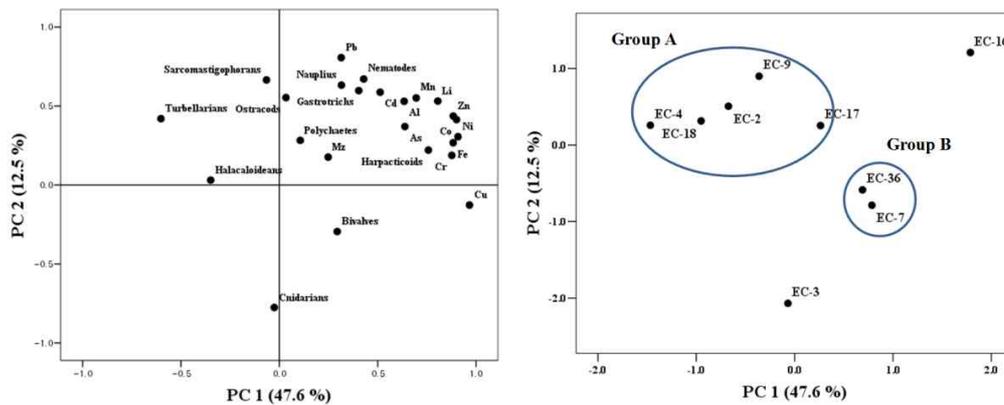


그림 3-6-27. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2014년 10월)

2014년 10월에 출현종 분포와 관련있는 환경요인을 파악하기 위해 환경요인 13항목과 출현종 11종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 구리(Cu), 니켈(Ni), 코발트(Co), 아연(Zn), 철(Fe), 크롬(Cr), 리튬(Li), 망간(Mn), 비소(As), 알루미늄(Al)과 높은 상관관계 ($r>0.63$)를 나타내고 있다(그림 3-6-27).

Harpacticoids의 서식밀도는 앞에서 언급된 환경요인과 강한 양의 상관관계($r=0.76$)를 보이고 있으며, Turbellarians의 서식밀도와는 강한 음의 상관관계($r<-0.60$)를 나타내고 있다. 주성분2(PC 2)은 납(Pb), 카드뮴(Cd), 망간(Mn), 알루미늄(Al), 리튬(Li)과 높은 상관관계 ($r>0.53$)를 나타내고 있으며, 이들 환경요인은 Nematodes, Sarcomastigophorans, Nauplius, Gastrotrichs, Ostracods의 서식밀도와 유의한 양의 상관관계($r>0.55$)를 보이고 있으며, Cnidarians의 서식밀도와는 강한 음의 상관관계($r<-0.78$)를 나타내고 있다.

주성분분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 두 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 주로 해변에 가까운 정점과 후암 동쪽주변에 위치한 정점으로 육상에서 퇴적물로 유입되는 화학요인에 의해 영향을 받는 정점들이고 정점군 B(Group B)는 주로 후암 서남쪽 주변의 정점들로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군으로 분류하지는 않았지만 Cnidarians이 출현한 정점 EC-3은 조사기간 내에 분석하지 않은 다른 환경요인에 의하여 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

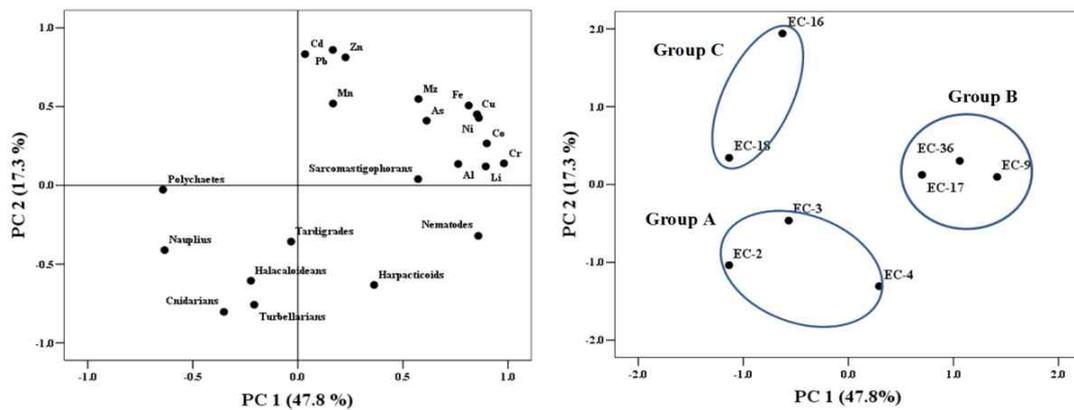


그림 3-6-28. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도(2015년 3월)

2015년 3월에는 환경요인 13항목과 출현종 9종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 크롬(Cr), 코발트(Co), 리튬(Li), 니켈(Ni), 구리(Cu), 철(Fe), 알루미늄(Al), 비소(As), 입도(Mz)와 높은 상관관계 ($r>0.57$)를 나타내고 있으며, Nematodes의 서식밀도와 강한 양의 상관관계($r=0.86$)를 보이고 있고 Sarcomastigophorans의 서식밀도와도 유의한 양의 상관관계($r=0.57$)를 나타내고 있으며, Polychaetes, Nauplius의 서식밀도와는 강한 음의 상관관계($r<-0.63$)를 나타내고 있다(그림 3-6-28).

주성분2(PC 2)은 납(Pb), 카드뮴(Cd), 아연(Zn)과 높은 양의 상관관계 ($r>0.81$)를 나타냈고 망간(Mn), 철(Fe)과도 양의 상관관계($r>0.51$)를 보이고 있는데 퇴적물 내 물질의 산화환원 거동과 관계가 있는 것으로 생각되며, Cnidarians, Turbellarians, Harpacticoids, Halacaloideans의 서식밀도와 강한 음의 상관관계($r<-0.61$)를 보이고 있다.

주성분분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 세 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 해변에 가까운 정점에 해당되는 정점으로 육상 환경요인에 영향을 받는 정점들이고 정점군 B(Group B)는 주로 후암 주변의 정점들로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군 C(Group C)는 상대적으로 후암주변과 다른 외부의 환경요인에 영향을 받는 지역으로 생각된다.

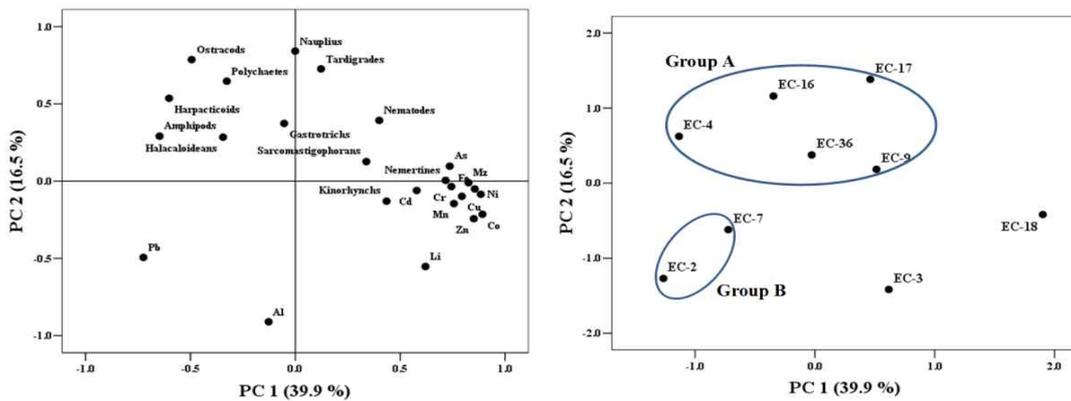


그림 3-6-29. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도 (2015년 6월)

2015년 6월에는 환경요인 13항목과 출현종 12종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 코발트(Co), 니켈(Ni), 철(Fe), 아연(Zn), 입도(Mz), 구리(Cu), 망간(Mn), 크롬(Cr), 비소(As), 리튬(Li)과 높은 상관관계 ($r>0.62$)를 나타내고 있으며, Nemertines의 서식밀도와 강한 양의 상관관계($r=0.72$)를 보이고 있고, Amphipods와는 강한 음의 상관관계($r=-0.65$)를 나타내고 있다. 주성분 2(PC 2)은 알루미늄(Al)와 높은 음의 상관관계 ($r=-0.91$)를 나타내고 있으며, Nauplius, Ostracods, Tardigrades, Polychaetes의 서식밀도와 강한 양의 상관관계($r>0.65$)를 보이고 있다(그림 3-6-29).

주성분 분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 두 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 후암 주변에 위치한 정점으로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군 B(Group B)는 주로 후암

서남쪽 주변의 정점들이었으며, 정점군으로 분류하지는 않았지만 정점 EC-3, EC-18은 조사기간 내에 분석하지 않은 다른 환경요인에 의하여 영향을 받고 있는 것으로 판단된다.

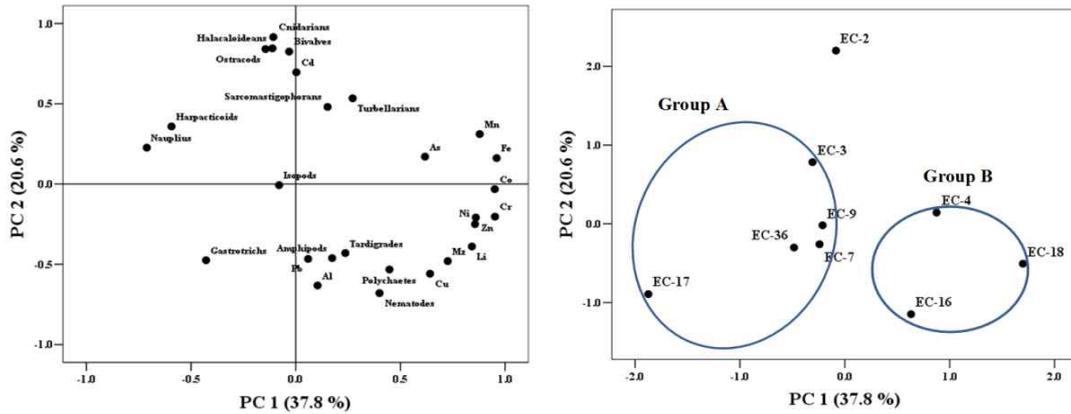


그림 3-6-30. 연구 지역 표층퇴적물에서의 주성분분석에 의한 성분도표와 요인점수 산포도 (2015년 10월)

2015년 10월에는 환경요인 13항목과 출현종 14종을 대상으로 주성분분석을 실시하였으며 주성분1(PC 1)은 철(Fe), 크롬(Cr), 코발트(Co), 망간(Mn), 아연(Zn), 니켈(Ni), 리튬(Li), 입도(Mz), 구리(Cu), 비소(As)와 높은 상관관계 ($r>0.62$)를 나타내고 있으며, Nauplius의 서식밀도와 강한 음의 상관관계($r=-0.71$)를 보이고 있다. 주성분2(PC 2)은 카드뮴(Cd)와 높은 양의 상관관계 ($r=0.70$)를 나타냈고 알루미늄(Al)과는 강한 음의 상관관계($r=-0.63$)를 보이고 있으며, Cnidarians, Halacaloideans, Ostracods, Bivalves의 서식밀도와 강한 양의 상관관계($r>0.83$)를 보이고 있고 Polychaetes의 서식밀도와 유의한 음의 상관관계($r=-0.53$)를 나타내고 있다(그림 3-6-30).

주성분분석을 통해 얻어진 요인점수의 산포도를 살펴보면 두 개의 정점군으로 나누어 볼 수 있는데 정점군 A(Group A)는 후암 주변에 위치한 정점으로 사질과 수중암반 지역의 특성을 나타내고 있으며 정점군 B(Group B)는 주로 후암 외쪽(북쪽) 주변의 정점들이었으며, 정점군으로 분류하지는 않았지만 Bivalves가 출현한 정점 EC-2는 조사기간 내에 분석하지 않은 다른 환경요인에 의하여 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 주성분분석을 통해 얻어진 간극생물과 표층퇴적물에서의 화학환경요인을 살펴본 결과 대체로 후암 주변의 사질·수중암반 지역과 그 외 지역으로 분류될 수 있으며, 계절에 따른 환경요인의 변화에 따라 서식밀도가 변동될 가능성이 있음을 시사한다. 또한 계절적인 환경요인에 의해 출

현하는 간극생물 종의 변화와 서식밀도가 다양한 양상으로 변화되고 있음을 보여주고 있으며 간극생물이 퇴적물의 화학적인 환경변화에 민감하게 반응함으로써 환경변화의 지시자 역할이 가능함을 나타내주고 있다.

다. 서식환경 주변 물리환경 특성연구

1) 서식환경 주변 수온/염분 특성 연구

서식종과 상관관계 분석을 위한 환경인자(수온, 염분) 조사를 위하여 그림 3-6-31과 같이 조사지역 주변에서 2014년과 2015년에 수온과 염분을 매년 3회 조사하였다. 그리고 원자력발전소 배수구에서부터 중점조사지역까지 온배수의 영향을 보기 위하여 EP11 ~ EP14, EP20 ~ EP21 정점에서 해안선과 수직방향의 수온 및 염분 분포를 보기 위하여 EP32와 EP33 정점에서 조사를 수행하였다. 서식지 Eco-mapping을 위한 서식지 중점조사지역(Eco-mapping 지역)의 경우 100 m 간격으로 5 x 5의 배열로 정점을 계획하여 수심별 수온/염분자료를 획득하였다(그림 3-6-32.).

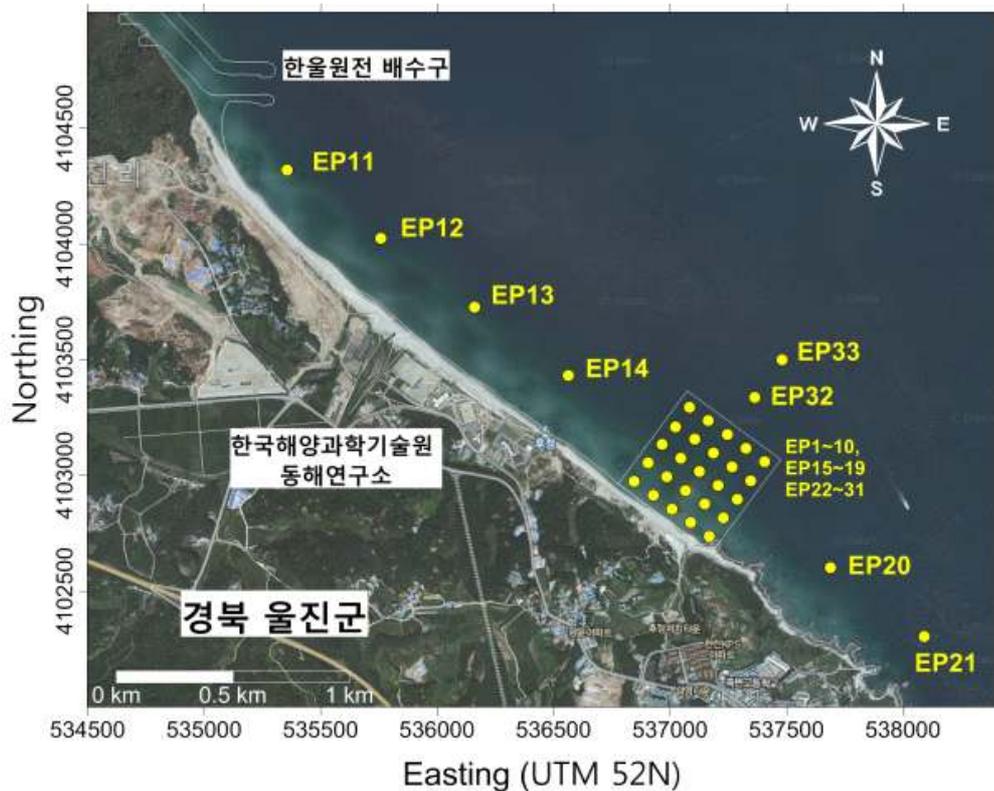


그림 3-6-31. 수온/염분 조사정점 분포도

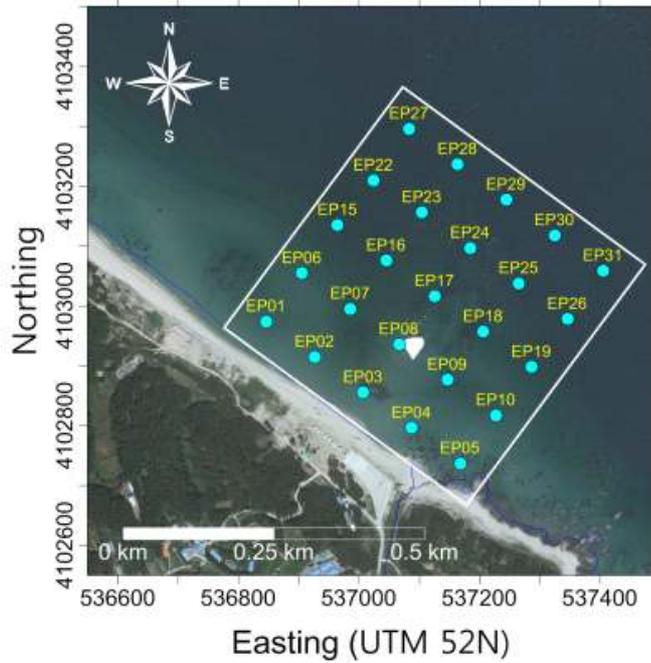


그림 3-6-32. 중점조사지역의 수온/염분 정점도

2014년부터 2015년까지 총 6회의 수온/염분 조사를 수행하였으며 각 조사시기별 평균값, 최소값 및 최대값은 표 3-6-5에 표시하였으며, 조사시기별 평균 수온 및 평균 염분은 그림 3-6-33에 나타내었다.

2015년 조사는 2014년의 조사시기와 같은 월에 조사 수행하였다. 2015년 3월 수온은 평균 11.4℃로 2014년의 14.4℃보다 3℃ 낮았으며, 6월의 경우 2014년에 비하여 평균 수온이 8℃가 더 낮은 것으로 확인되었다. 이는 냉수대의 영향으로 판단된다. 10월의 평균수온은 22.3℃로 2014년과 유사한 값을 가진다. 염분의 경우 전체적으로 32.5 ~ 34.3 psu로 2014년과 비슷한 값으로 조사되었으며, 10월(평균 염분 33.0 psu)이 3월(평균 염분 34.2 psu)과 6월(평균 염분 34.0 psu)에 비하여 약 2 psu가 낮은 것으로 나타났다(표 3-6-5).

표 3-6-5. 수온/염분의 최대/최소값

구분	2014년 3월		2014년 6월		2014년 10월		2015년 3월		2015년 6월		2015년 10월	
	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)
평균값	14.4	34.3	16.5	34.3	21.4	33.3	11.4	34.2	8.5	34.0	22.3	33.0
최소값	10.2	34.1	8.3	34.1	16.2	32.5	7.9	33.3	4.3	33.3	17.0	32.5
최대값	18.1	34.4	19.3	34.3	25.5	33.8	15.9	34.3	12.6	34.3	25.6	33.6

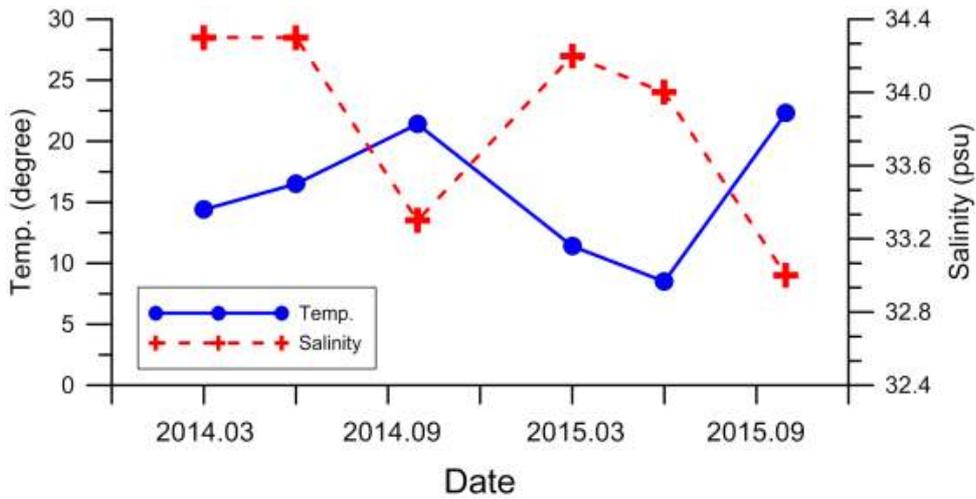


그림 3-6-33. 조사기간 동안의 수온/염분의 평균값 변화

원전 배수구에서 나오는 온배수의 영향을 보기 위하여 배수구로부터 해안선에 평행한 방향으로 조사한 정점들에 대한 거리에 따른 표층수온 변화를 그림 3-6-34에 도시하였다. 2014년 10월과 2015년 10월에 조사한 표층수온이 가장 높은 값을 가지고 있음을 알 수 있으며 2015년 6월에 조사한 표층수온이 가장 낮은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 가장 높은 표층수온 변화선과 낮은 표층수온 변화선은 약 13℃의 차이가 발생하였다. 배수구와 가까운 EP11의 표층수온이 다른 정점에 비하여 높은 값을 가지고 있으며, 배수구에서 멀어질수록 표층수온이 낮아짐을 알 수 있다. 각 변화구배는 거의 일정한 값을 가지고 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 추세선 분석 결과, 배수구에서 1 km 떨어졌을 때 약 1℃가 낮아지는 것을 알 수 있다.

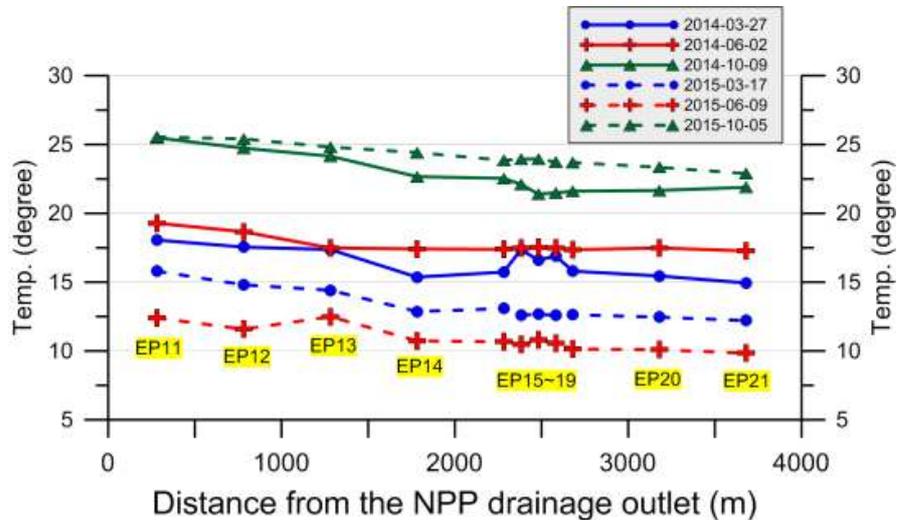


그림 3-6-34. 배수구로부터 해안선에 평행한 방향의 표층수온 분포

온배수로 인한 표층 수온과 해저면 부근의 온도 차이를 보기 위하여 그림 3-6-35에 배수구부터 거리에 따른 표층수온과 해저면수온의 차이를 도시하였다. 정점 EP11에서 가장 높아 최대 약 6°C의 차이가 나는 것으로 판명되며, 이러한 영향은 EP16 정점까지 미치는 것으로 보인다.

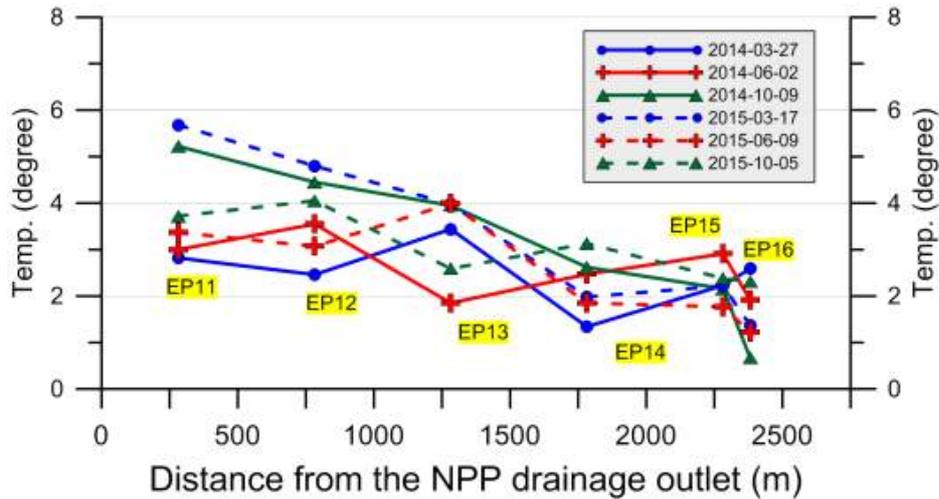


그림 3-6-35. 배수구에서의 거리에 따른 표층-해저면 수온차 변화

그림 3-6-36은 EP11과 EP16에 대한 수심별 수온변화를 도시하여 표층에서 해저면까지 온도변화가 EP11에서 확연하게 나타남을 보여준다. EP16에서는 2015년 10월 조사결과를 제외하고 표층에서 해저면까지 거의 변화가 없음을 알 수 있다.

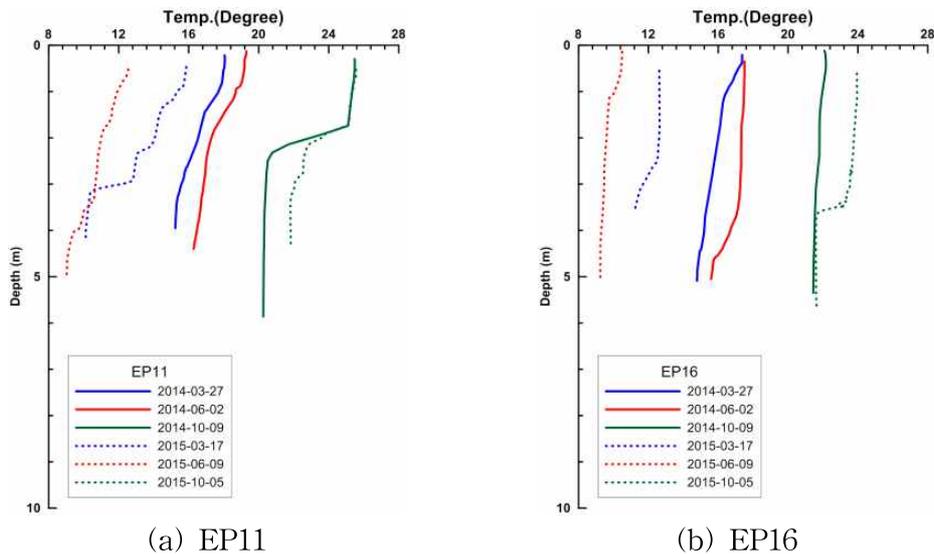


그림 3-6-36. 수심별 수온분포 예 (EP 11과 EP16)

해안선에서 외해로 갈수록 표층수온의 변화를 보기 위하여 그림 3-6-37에 해안선과 수직방향에 있는 정점 EP03, EP08, EP17, EP24, EP29, EP31 및 EP32의 표층수온 분포를 도시하였다. 해안선에 수직방향으로의 표층수온은 외해로 갈수록 낮아지는 경향을 보이며, 2015년 10월 자료를 제외하면 표층수온이 1.5°C 이내에서 변화하고 있다.

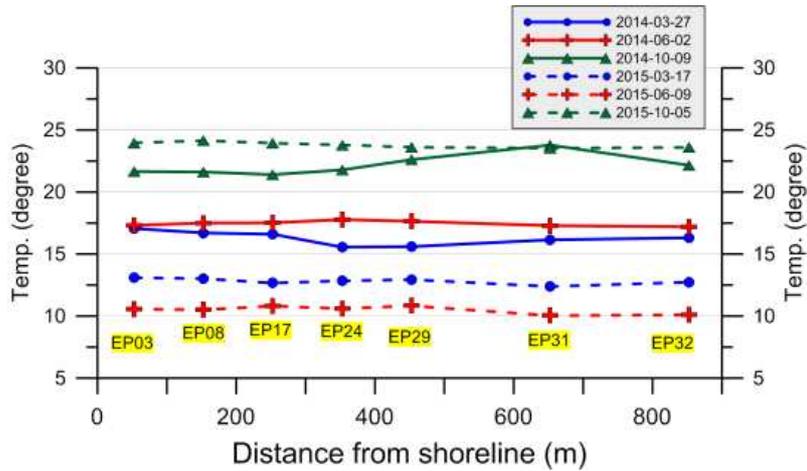
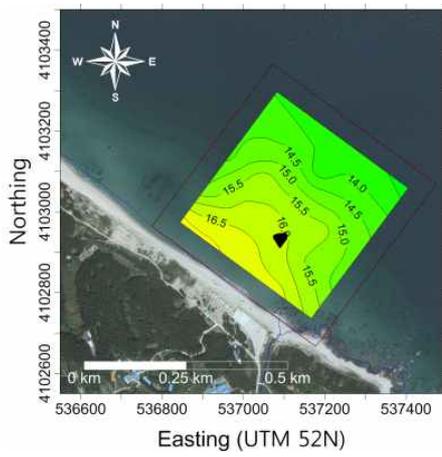


그림 3-6-37. 해안선으로부터 수직한 방향의 표층수온 분포

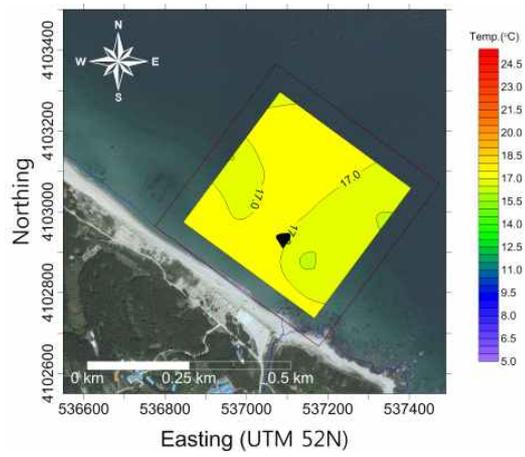
서식지별 생물군 변동성 분석 중인 중점조사지역에 대하여 조사한 조사시기별 수온과 염분 조사결과를 표 3-6-6과 그림 38 ~ 43에 표시하였다.

표 3-6-6. 중점조사지역에서의 수온/염분의 최대/최소값

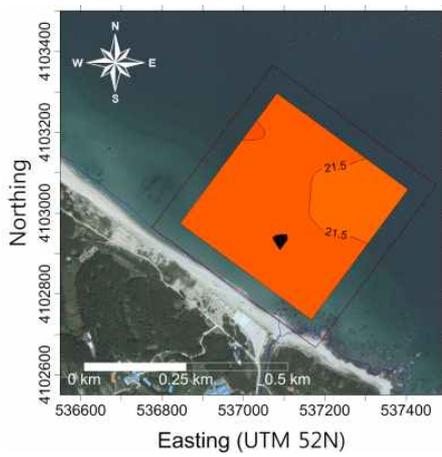
구분	2014년 3월		2014년 6월		2014년 10월		2015년 3월		2015년 6월		2015년 10월	
	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)	수온 (°C)	염분 (psu)
전체 평균값	14.7	34.2	16.9	34.2	21.6	33.2	11.5	34.2	8.6	34.0	22.5	33.0
전체 최소값	11.9	34.1	13.0	34.1	20.0	33.1	9.3	33.0	5.6	33.3	19.6	32.5
전체 최대값	17.5	34.4	17.5	34.4	22.9	33.4	13.3	34.4	11.2	34.3	24.2	33.0
표층 평균값	16.3	34.3	17.5	34.3	22.0	33.3	12.9	33.8	10.5	33.8	23.8	32.9
표층 최소값	15.5	34.2	16.9	34.2	21.4	33.2	12.6	33.5	9.7	33.5	23.3	32.7
표층 최대값	17.5	34.4	18.1	34.3	22.8	33.4	13.3	34.1	11.1	34.0	24.1	33.0
해저면 평균값	14.2	34.3	15.5	34.3	21.1	33.3	11.1	34.3	8.3	34.0	22.1	33.0
해저면 최소값	11.9	34.2	13.0	34.1	20.0	33.2	9.3	34.0	5.6	33.9	19.6	32.9
해저면 최대값	17.3	34.4	17.4	34.3	22.0	33.3	13.1	34.4	10.6	34.1	24.2	33.3



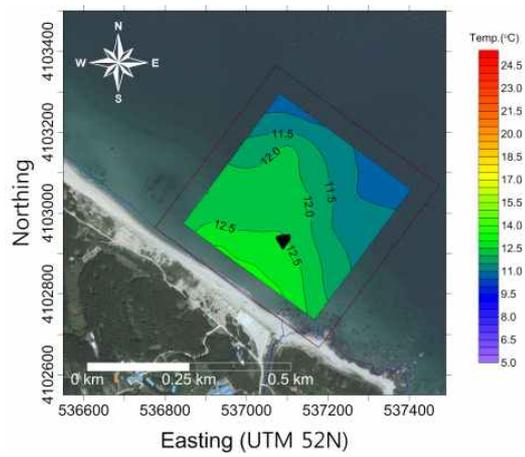
(a) 2014-03-27



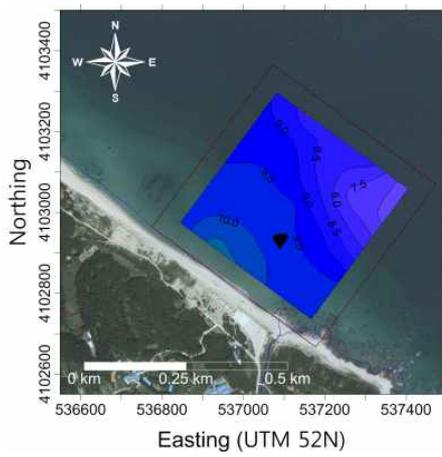
(b) 2014-06-02



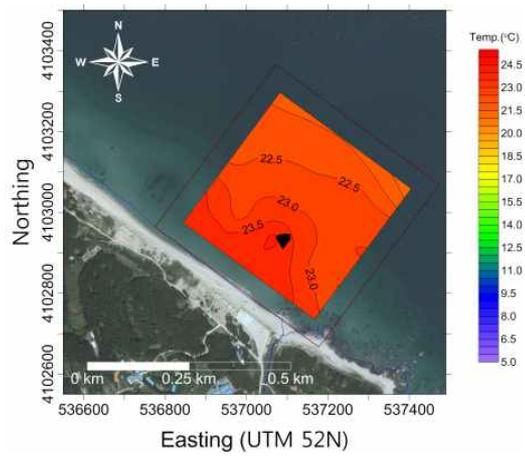
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

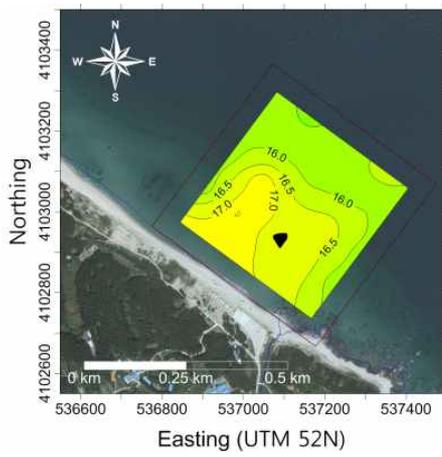


(e) 2015-06-09

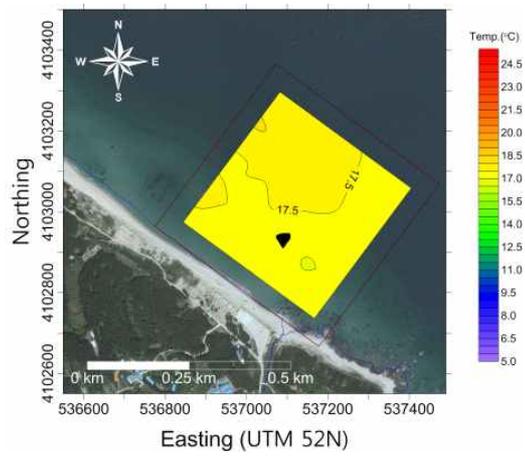


(f) 2015-10-05

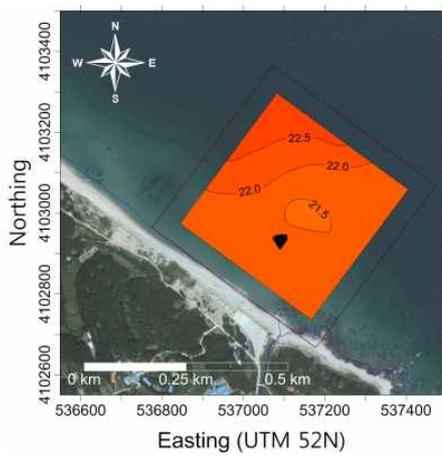
그림 3-6-38. 중점조사지역에서의 평균 수온 분포



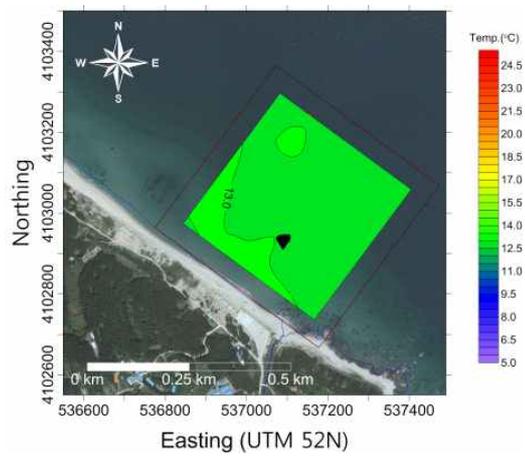
(a) 2014-03-27



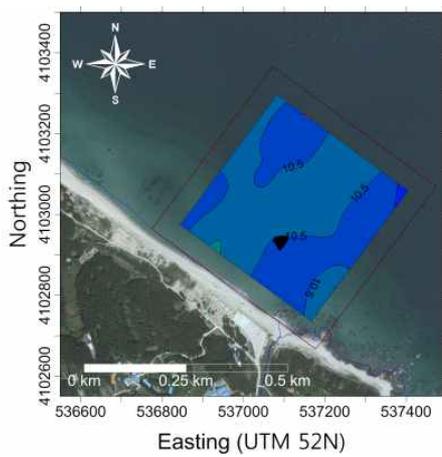
(b) 2014-06-02



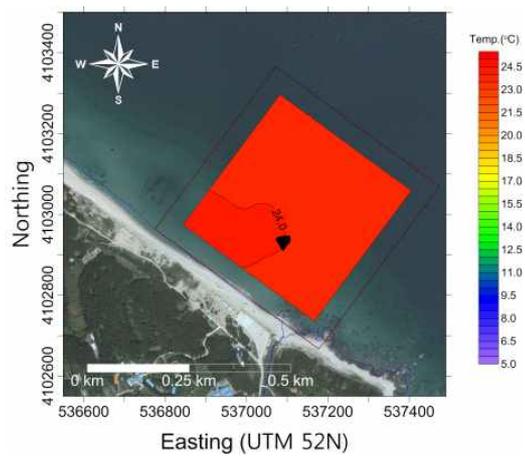
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

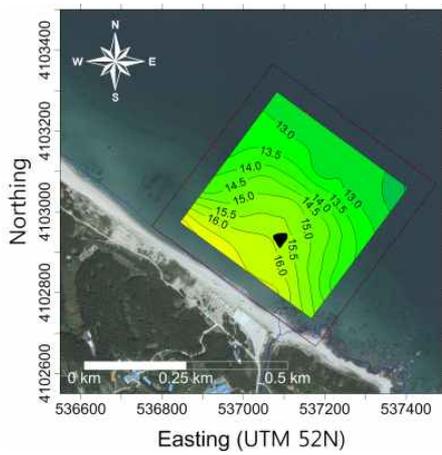


(e) 2015-06-09

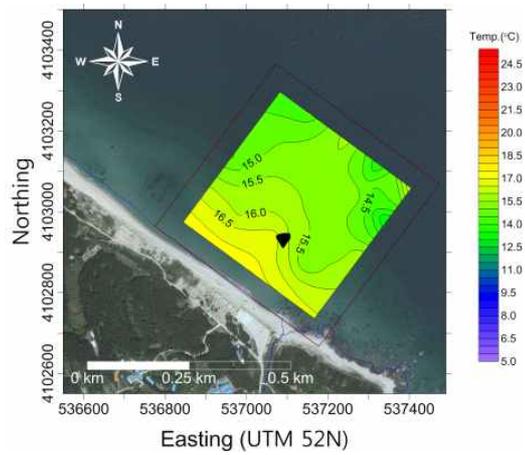


(f) 2015-10-05

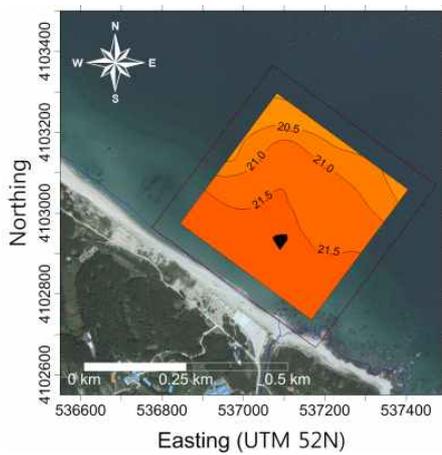
그림 3-6-39. 중점조사지역에서의 표층 수온 분포



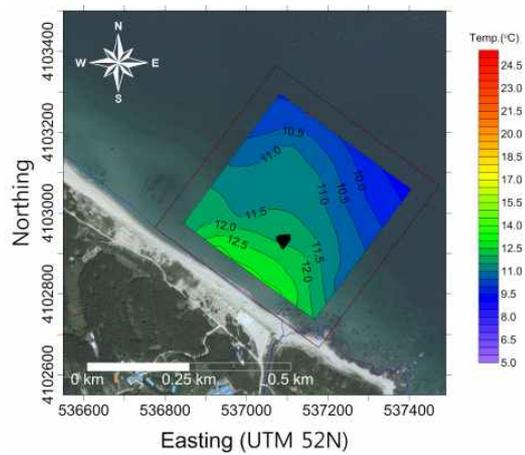
(a) 2014-03-27



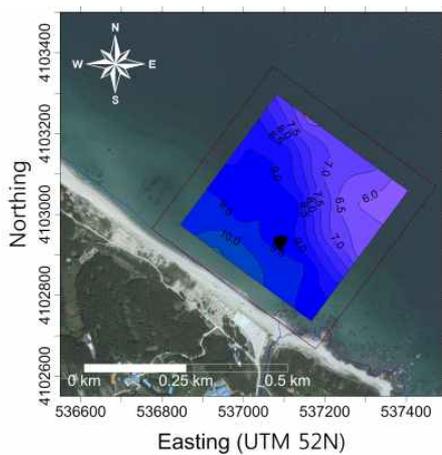
(b) 2014-06-02



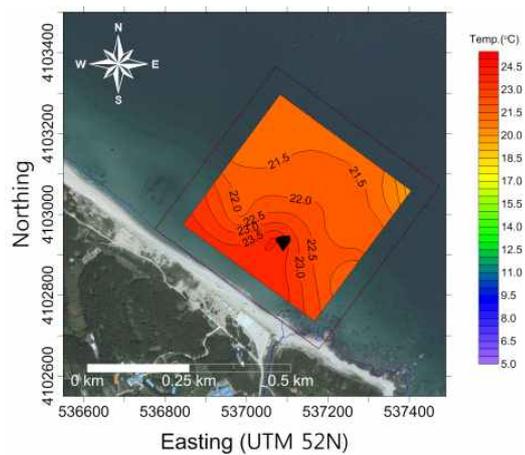
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

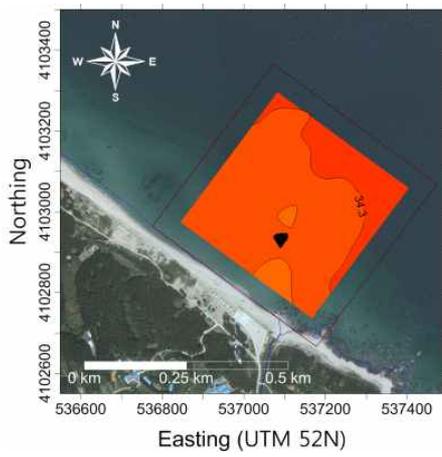


(e) 2015-06-09

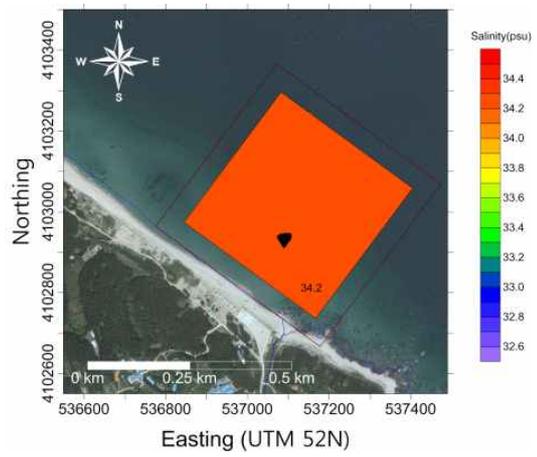


(f) 2015-10-05

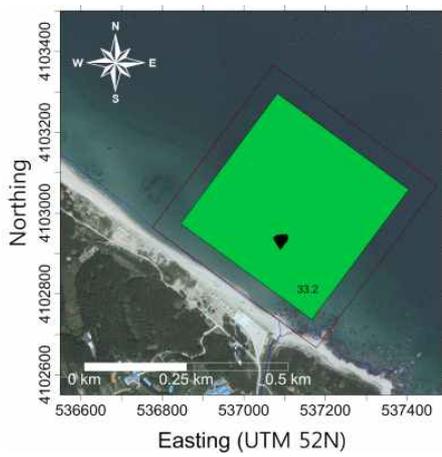
그림 3-6-40. 중점조사지역에서의 해저면 수온 분포



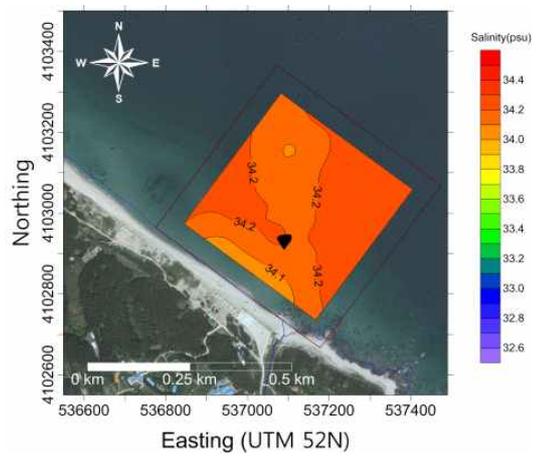
(a) 2014-03-27



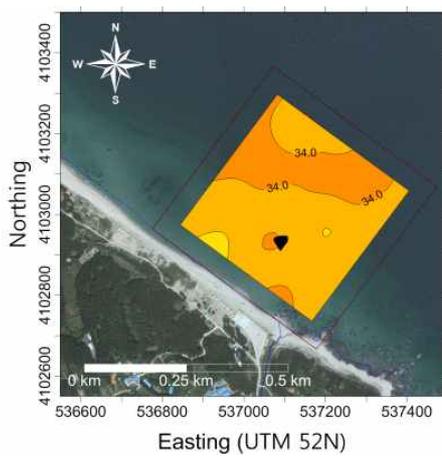
(b) 2014-06-02



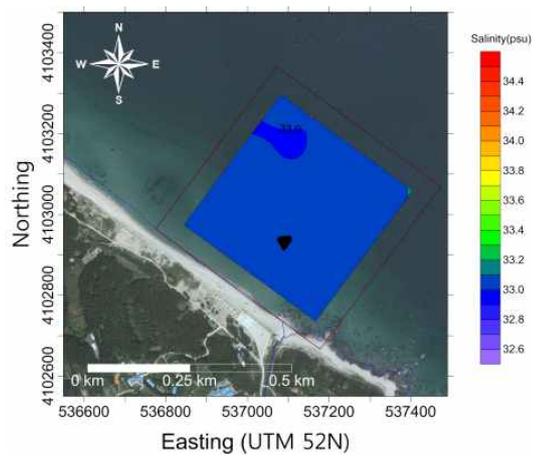
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

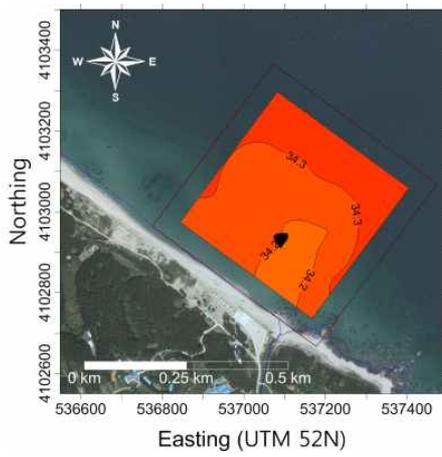


(e) 2015-06-09

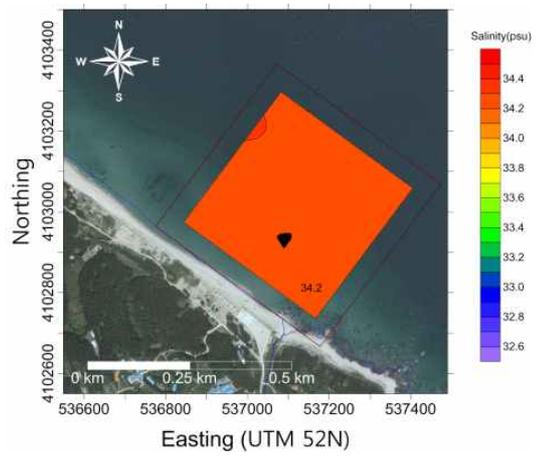


(f) 2015-10-05

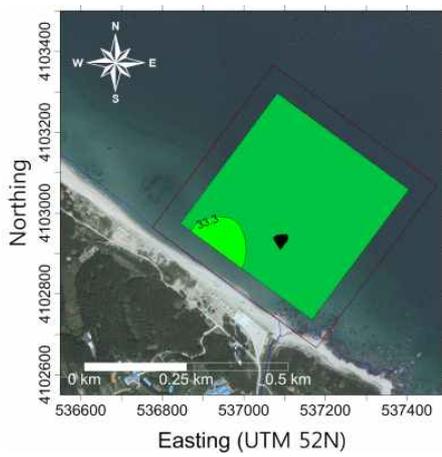
그림 3-6-41. 중점조사지역에서의 평균 염분 분포



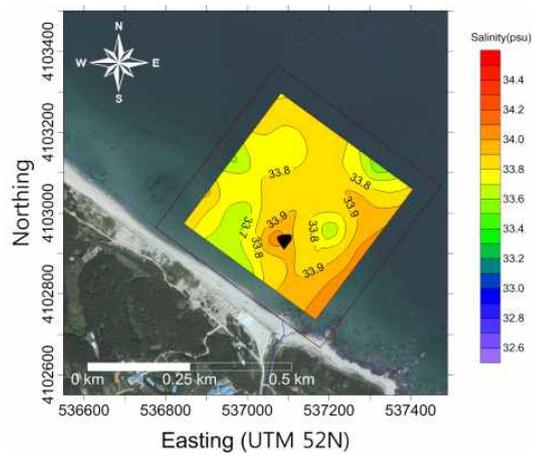
(a) 2014-03-27



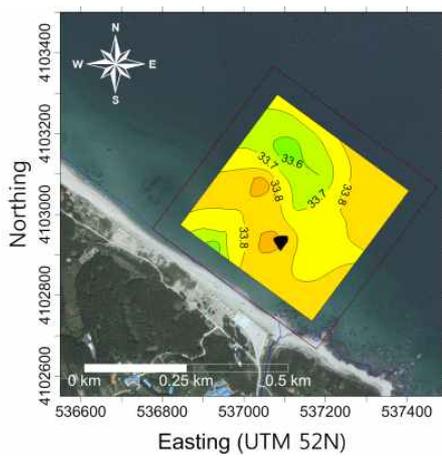
(b) 2014-06-02



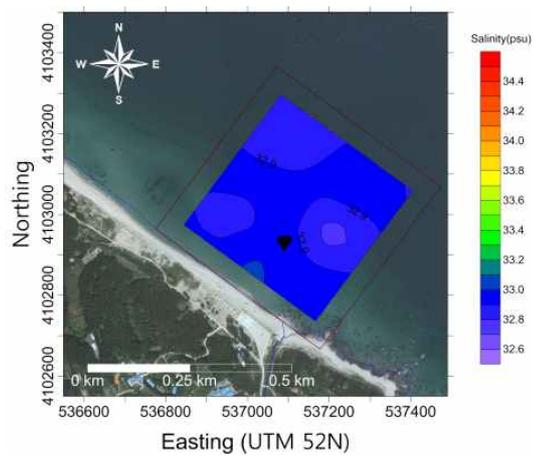
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

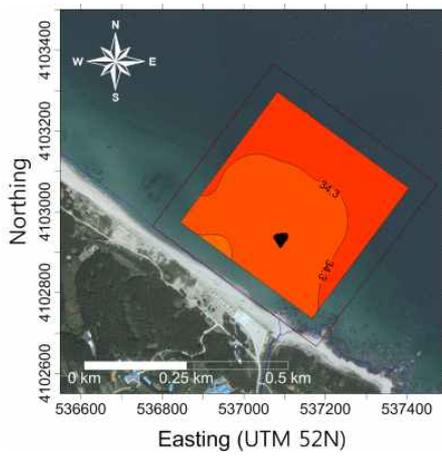


(e) 2015-06-09

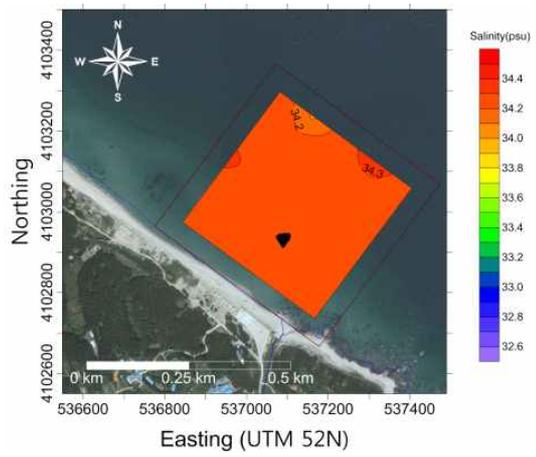


(f) 2015-10-05

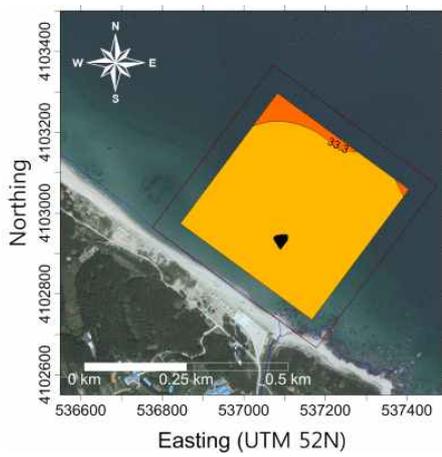
그림 3-6-42. 중점조사지역에서의 표층 염분 분포



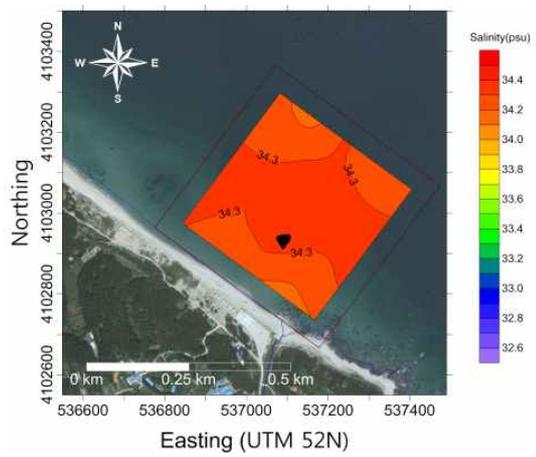
(a) 2014-03-27



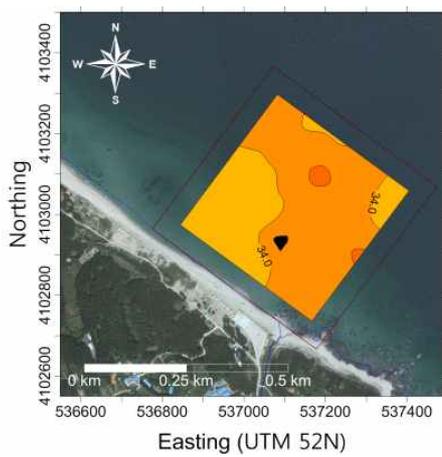
(b) 2014-06-02



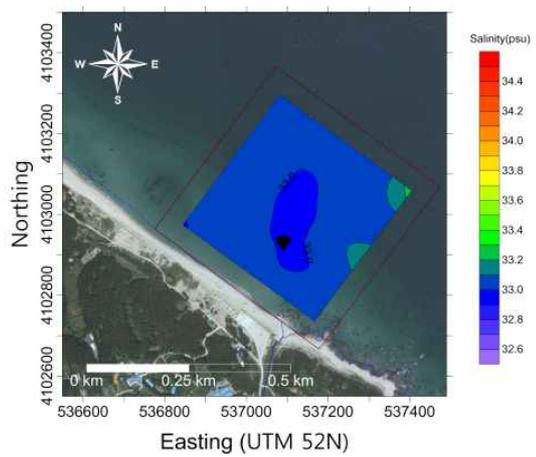
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17



(e) 2015-06-09



(f) 2015-10-05

그림 3-6-43. 중점조사지역에서의 해저면 염분 분포

깊이에 따른 수온변화로 인하여 표층수온에 비하여 조사지역내의 해저면 수온 변화가 큰 것으로 보이며, 염분의 경우 공간적인 변화가 거의 없는 것으로 보아 공간적인 변화보다는 시간적인 변화에 따라 변하는 것으로 판단된다. 해양생물들은 수온과 염분에 민감하므로 수심별 수온과 염분 분포 파악은 생물 다양성과 성장률을 연구하는 중요한 환경인자로 작용한다. 이를 위하여 단주기의 수심에 다른 생물의 분포양상 조사와 함께 수온/염분 모니터링을 장기간 수행하여 수심, 수온 및 염분에 따른 생태계 변화에 대한 상관성 연구를 할 필요가 있다고 생각된다.

2) 서식환경 주변 수온 년 변화 연구

중점조사지역 내 해저면 부근의 온도변화를 모니터링 하기 위하여 2014년 5월에 수온계를 그림 3-6-14에 표시된 지점(수심 약 10 m의 암반)에 그림 3-6-45와 같이 계류하였다. 모니터링 기간은 2014년 5월부터 12월까지이며 10분 간격으로 자료를 자동 저장하였다.

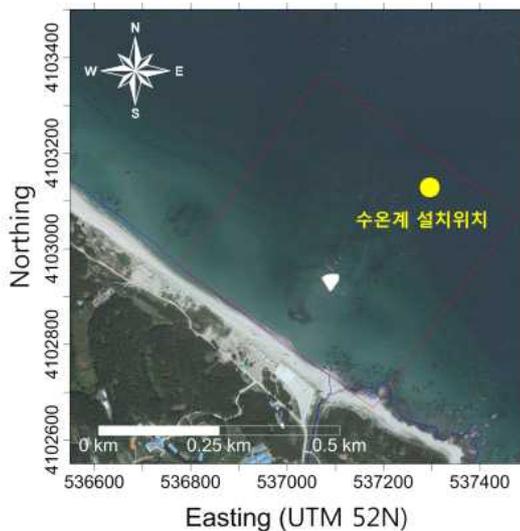


그림 3-6-44. 수온계 계류 위치



그림 3-6-45. 수온계 계류 사진

해저면 수온자료와 비교를 위하여 기상청의 파랑부이에서 얻어지는 2014년과 2015년 표층 수온값을 이용하였다. 기상청의 파랑부이(37°06' 15" N 129°23' 22" E)는 중점조사지역에서 북서쪽으로 약 4 km 떨어진 원자력발전소 연안부근에 설치되어 있다. 그림 3-6-46은 중점조사지역에 계류한 수온계의 해저면수온 자료와 기상청 파고부이의 표층수온 자료를 월별로 도시한 것이다. 9월 초에 가장 높은 값을 가지며, 2월 말에 가장 낮은 값을 가진다. 5월에서 8월 사이에는

냉수대의 영향으로 갑자기 5℃ 이상 낮아지는 수온값을 가진다.

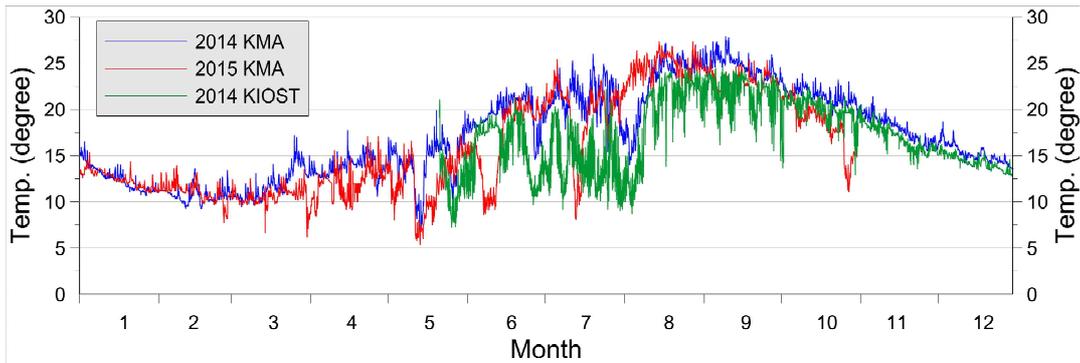


그림 3-6-46. 죽변면 주변의 수온에 대한 시계열 변화 (KMA: 기상청, KIOST: 한국해양과학기술원)

그림 3-6-47~49는 중점조사지역에서 계류한 수온계의 수온자료와 2014년 2015년의 기상청 표층수온자료를 각각 표시한 것이다. 냉수대의 영향은 그림 3-6-47과 같이 해저면까지 영향을 미치는 것으로 저서생태계에도 영향을 줄 것으로 보인다.

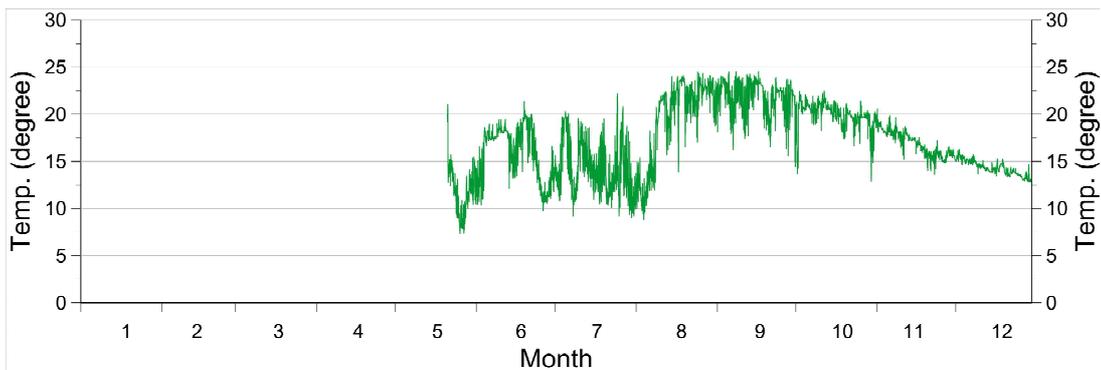


그림 3-6-47. 2014년 죽변면 부근 수온 관측결과 (한국해양과학기술원)

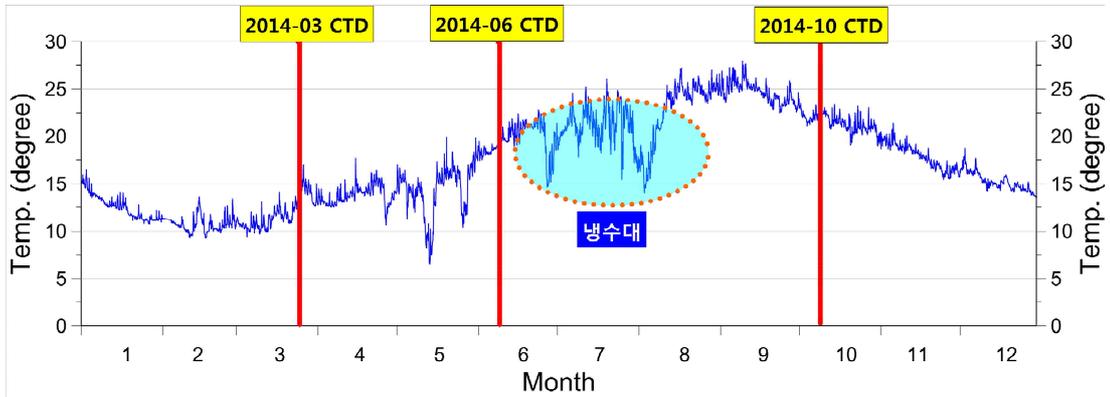


그림 3-6-48. 2014년 죽변면 부근 수온 관측결과 (기상청)

그림 3-6-49의 기상청 표층수온 년변화 그림에는 수온/염분 조사시기와 냉수대 시기를 같이 표시하였다. 2014년에는 6월 말과 8월 초에 냉수대가 동해연안에 있었으며, 2015년에는 5월 중순, 6월 초, 7월 중순에 연안에 냉수대가 발달해 있었다. 2015년 6월의 수온/염분 조사는 6월 초에 있었던 냉수대 시기에 조사한 것으로 평균 표층수온이 8.5℃로 2015년 3월의 11.4℃보다 낮았다.

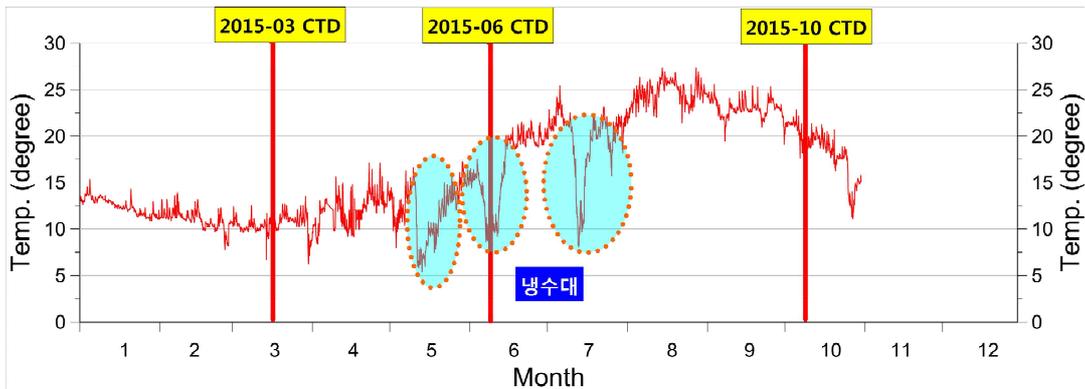


그림 3-6-49. 2015년 죽변면 부근 수온 관측결과 (기상청)

냉수대는 동해연안을 따라 6월 ~ 8월 중에 발생하는 것으로 양식장에 큰 피해를 주고 있어 서식지 환경에 영향을 주는 인자로서 지속적 모니터링이 필요하다.

3) 서식지 환경 주변 퇴적물 분석

중점조사지역의 9개 정점에 대하여 2014년과 2015년에 매년 3회에 걸쳐 표층 퇴적물을 채취하여 입도분석을 실시하였다(그림 3-6-50).

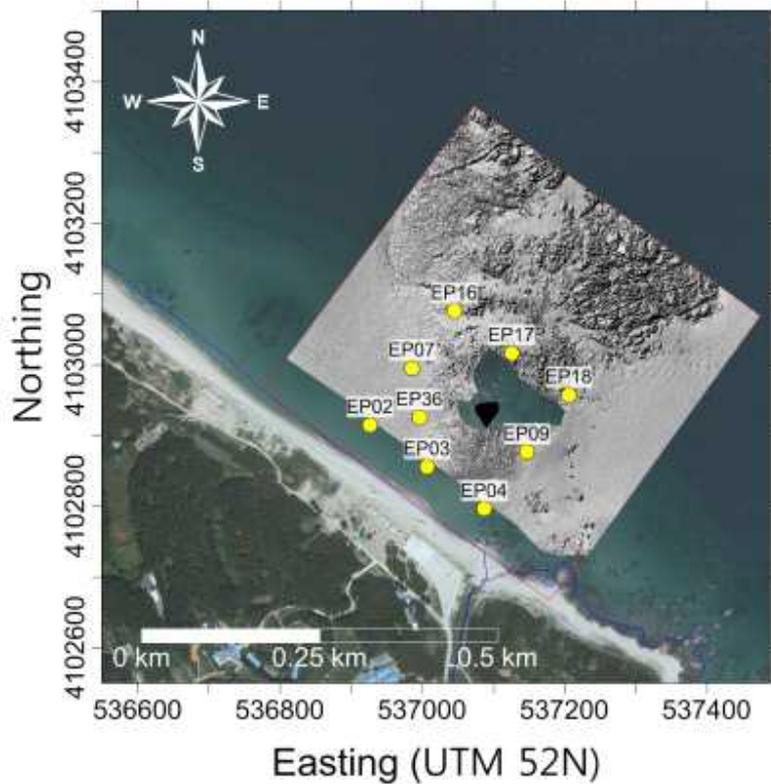


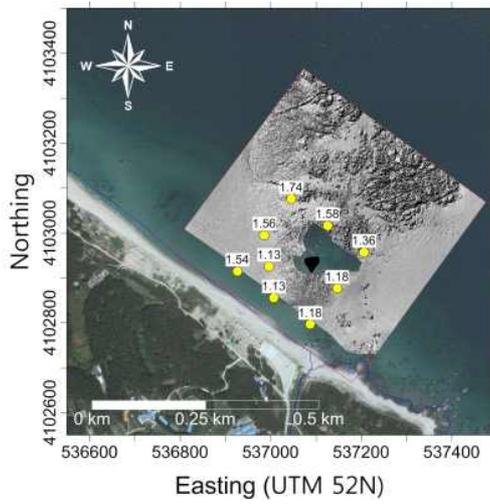
그림 3-6-50. 표층퇴적물 채취 위치도

2014년과 2015년에 총 6회에 걸쳐서 수행 표층퇴적물 입도분석 결과(평균입도, 분급도, 왜도, 첨도)를 표 3-6-7에 나타내었다. 중점조사지역의 표층퇴적물 평균 입도 분포와 퇴적상 분포는 그림 3-6-51~52에 각각 도시하였다. 평균입도는 전체적으로 0.89 ~ 2.14 phi로 medium sand가 우세하며, 분급도는 0.31 ~ 0.57 phi로 양호한 분급도를 가진다.

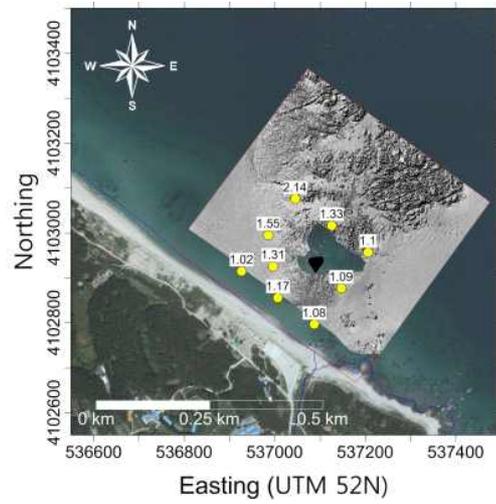
표 3-6-7. 표층퇴적물의 입도분석 결과

채취일자	구분	평균입도 (phi)	분급도 (phi)	왜도	첨도
2014년 5월 14일	평균	1.38	0.45	0.03	4.37
	최소	1.13	0.36	-0.19	2.97
	최대	1.74	0.57	0.37	6.48
2014년 6월 26일	평균	1.31	0.40	0.06	5.27
	최소	1.02	0.31	-0.41	3.22
	최대	2.14	0.51	0.35	7.92
2014년 10월 9일	평균	1.23	0.42	-0.03	4.76
	최소	0.98	0.32	-0.28	3.30
	최대	1.63	0.50	0.25	8.21
2015년 3월 17일	평균	1.38	0.46	-0.15	4.94
	최소	0.89	0.39	-0.63	3.45
	최대	1.75	0.52	0.30	7.03
2015년 6월 9일	평균	1.49	0.52	-0.21	3.61
	최소	1.16	0.45	-0.69	2.60
	최대	1.69	0.58	0.23	4.95
2015년 10월 5일	평균	1.22	0.46	0.11	4.89
	최소	1.02	0.38	-0.55	3.46
	최대	1.59	0.55	0.68	6.83

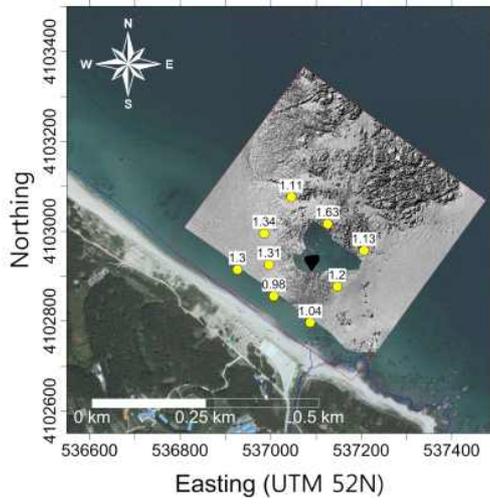
일반적으로 외해로 갈수록 세립한 경향을 보이며, 퇴적상은 모래에서 자갈이 약간 섞인 모래로 되어 있다. EP02, EP03, EP04, EP07, EP18, EP36의 경우 해저면이 모래로 되어있으나, EP09, EP16, EP17의 경우 암반이 모래층 위에 돌출되어 있거나 암반들 사이에 모래가 포획되어 있다. 이러한 퇴적환경 때문에 EP09, EP16, EP17에서 평균입도의 변화가 큰 것으로 판단된다.



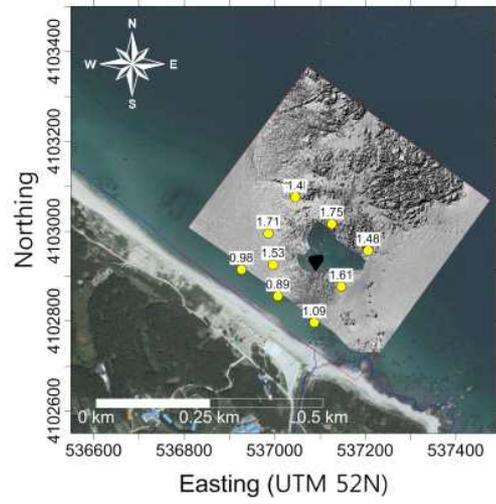
(a) 2014-05-14



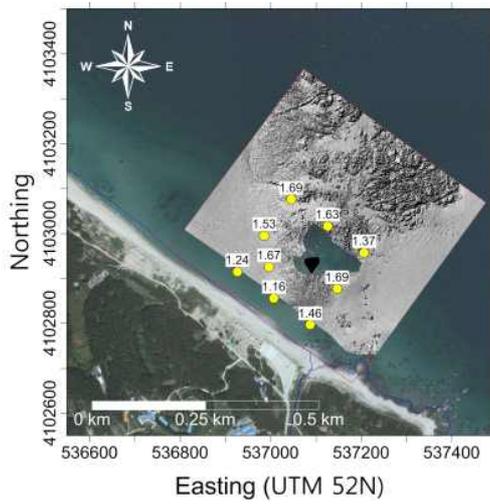
(b) 2014-06-26



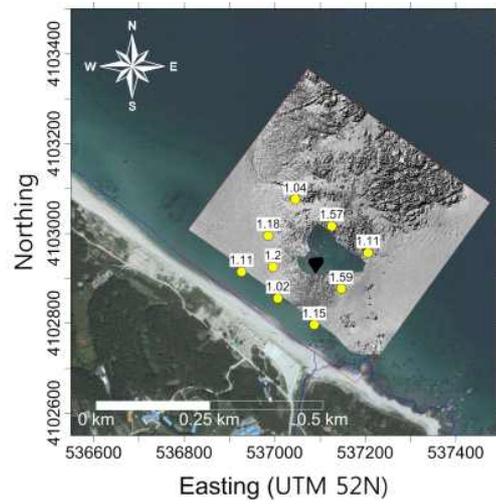
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17

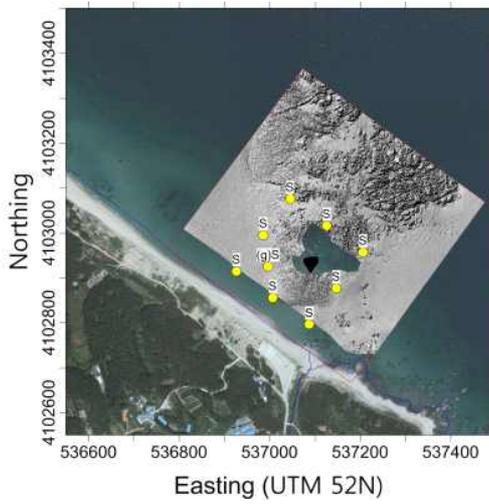


(e) 2015-06-09

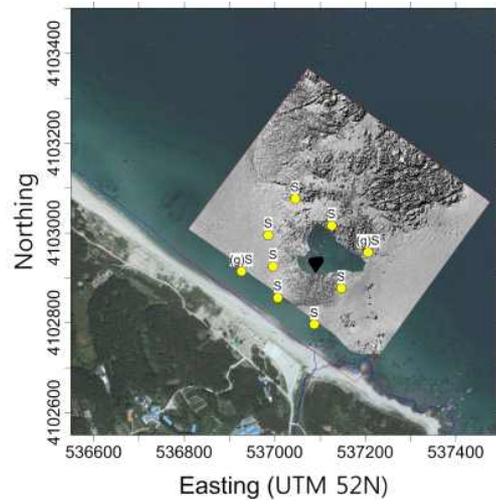


(f) 2015-10-05

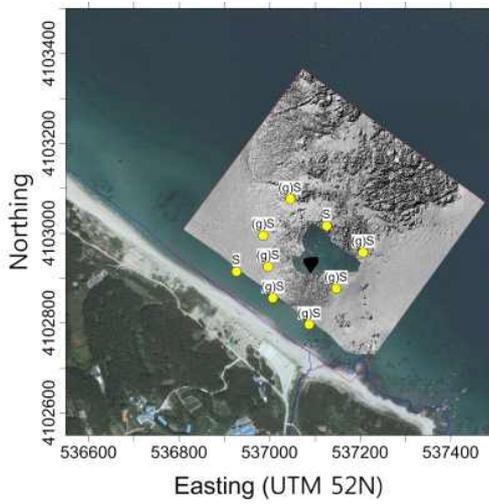
그림 3-6-51. 표층퇴적물 평균입도(Φ) 분포



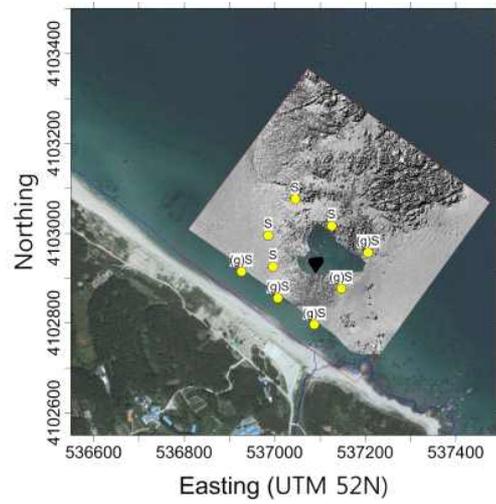
(a) 2014-05-14



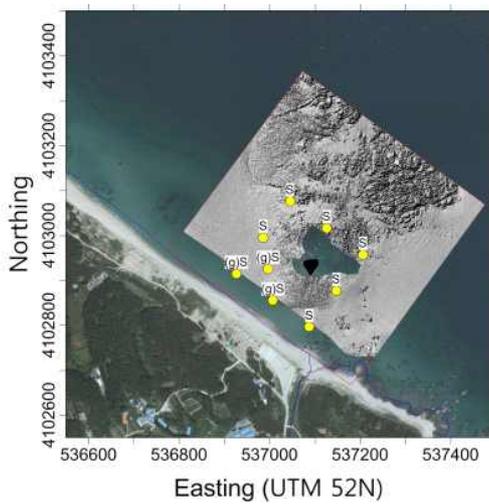
(b) 2014-06-26



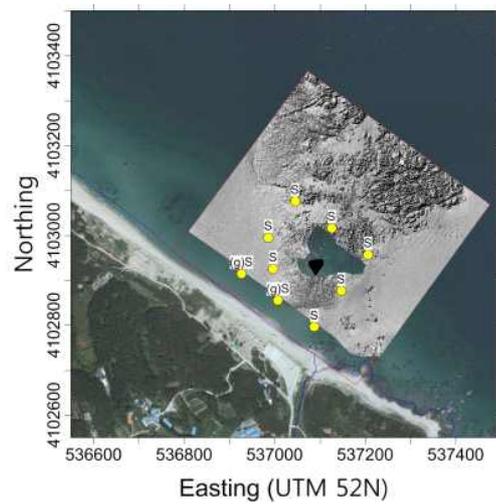
(c) 2014-10-09



(d) 2015-03-17



(e) 2015-06-09



(f) 2015-10-05

그림 3-6-52. 표층퇴적물 퇴적상 분포

2. 서식환경 주변 해저지형 연구

동해 중부 연안의 사질·수중 암반 지대의 해저면 지형·지질 환경 특성에 대한 정보를 획득하고, Eco-mapping 기법을 적용하여 분석에 활용하기 위한 기반 자료인 정밀 해저 지형도, 해저면 영상도, 서식지 맵핑 자료를 작성하였다. 다중빔 음향 측심기(멀티빔 에코사운더 : Multibeam echosounder)를 활용하여 정밀 해저지형 조사(수심 측량)를 수행하고, 해저면 영상 탐사기(사이드 스캔 소나 : Side scan sonar)를 활용하여 해저면 영상 조사를 수행하였다.

본 연구는 수심이 얇은 연안의 사질·수중 암반 지대 범위를 대상으로 수행하였기 때문에, 얇은 수심 해역에 활용이 가능한 소형 선박을 활용이 필요하였다. 죽변항 선적의 소형 선박 원양호(3 톤)를 활용하였으며, 다중빔 음향 측심기, 해저면 영상 탐사기, DGPS 안테나, 모션 센서 등 현장 조사 연구 장비를 직접 설치하여 현장 조사를 수행하였다. 현장조사는 총 4 회에 걸쳐 수행하였다. 2015년 5월 7일, 10월 15일은 정밀 해저지형 조사를 수행하였으며, 2015년 5월 8일, 11월 2일에는 해저면 영상 탐사를 수행 완료하였다. 경북 울진군 죽변면 후정리의 후정 해변에 위치한 후암 바위(노출암)를 중심으로 하는 주변 해역에 대한 서식지 주변 기본 환경 특성 현장 조사(정밀 해저지형 조사, 해저면 영상 탐사)를 수행하였다. 본 조사 구역은 동해 중부 연안의 대표적인 서식 환경 중 하나인 사질·수중 암반 지대가 형성된 Model Station으로 선정된 해역이다.

가. 서식환경 주변 정밀 해저지형 조사

동해 중부 연안의 대표적인 사질·수중 암반 지대인 경북 울진군 죽변면 후암 해변의 후암 바위(노출암) 주변 해역에 대해 정밀 해저 지형도를 작성하였다. 후암 바위(노출암) 주변의 약 0.273 km²(약 650 m x 420 m) 면적 범위이며, WGS 84 UTM 52N 좌표체계를 적용하여 약 10 cm 해상도로 작성하였다. 연구 범위 내의 전체 수심 분포는 후암 바위(노출암) 주변에서 가장 얇은 수심대인 약 2 m 범위가 나타나며, 북동쪽 해역에서 최대 수심 약 18 m로 전체적으로는 얇은 수심대가 형성되어 있다. 수중 암반 지대는 후암 바위(노출암) 주변을 포함하여 크게 3 구역에서 나타나는데, 후암 바위(노출암) 기준, 북쪽과 북동쪽 방향에서 수중 암반 지대가 발달되어 있다. 후암 바위(노출암) 북동쪽에 형성된 수중 암반 지대에서는 동-서 방향으로 암반들이 갈라진 형태의 물골 또는 크랙(Crack)이 나타나는 것이 특징적이다. 수중 암반 지대를

제외한 주변 해역은 사질의 퇴적물이 넓고 고르게 형성되어 있는 것이 특징이다(그림 3-6-53).

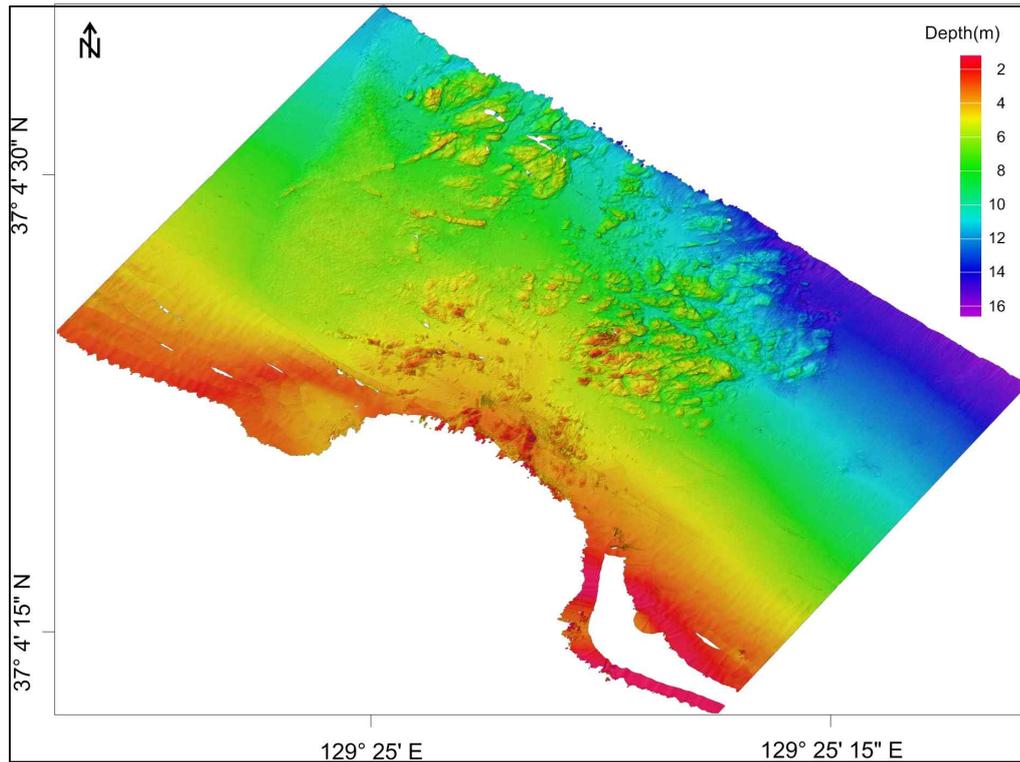


그림 3-6-53. 후암 바위(노출암) 주변 정밀 해저 지형도

나. 해저면 영상도 작성

동해 중부 연안의 대표적인 사질·수중 암반 지대인 경북 울진군 죽변면 후암 해변의 후암 바위(노출암) 주변 해역에 대해 정밀 해저 지형도와 동일한 범위에 대해 해저면 영상도를 작성하였다(그림 3-6-54). 후암 바위(노출암) 주변의 약 0.273 km²(약 650 m x 420 m) 면적 범위이며, WGS 84 UTM 52N 좌표체계를 적용하였다. 해저면 영상도에서 진한 색으로 표현된 구역은 수중 암반 지대를 의미한다. 정밀 해저 지형도와 비교 분석 결과를 보면, 동일하게 후암 바위(노출암)를 포함해 총 3 구역에서 수중 암반 지대가 형성된 것을 알 수 있다. 수중 암반 지대를 제외한 구역은 밝은 색으로 표현되는데, 이는 사질의 퇴적층이 형성된 것을 의미한다.

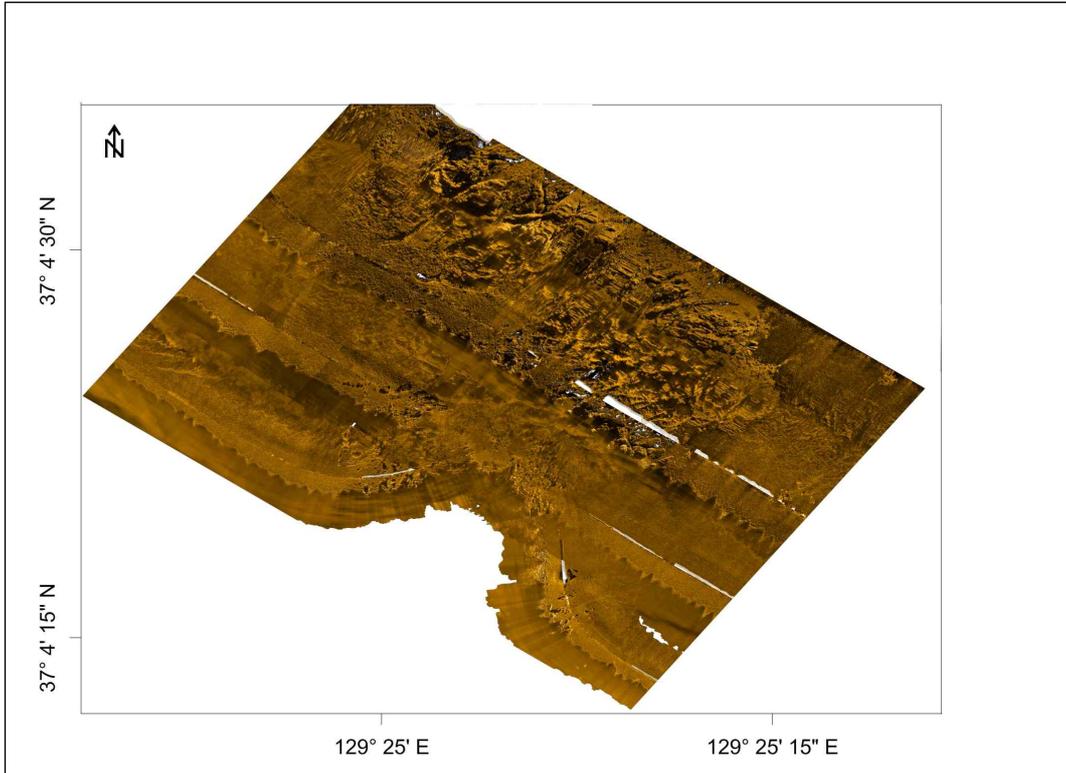


그림 3-6-54. 후암 바위(노출암) 주변 해저면 영상도

다. 서식지 맵핑

1) 정밀해저지형과 해저면 영상 맵핑

동해 중부 연안의 대표적인 사질·수중 암반 지대인 경북 울진군 죽변면 후암 해변의 후암 바위(노출암) 주변 해역에서 획득한 정밀 해저 지형도와 해저면 영상도를 중첩·통합하여 후암 바위(노출암) 주변 해역에 대한 해저환경 맵핑 자료를 작성하였다. 해저 지형 정보를 제공하는 3 차원 정밀 해저 지형도와 해저면 환경 정보를 담고 있는 2 차원의 해저면 영상도를 하나의 주제도로 작성하여 통합 시각화 자료로 제공이 가능하다. 이러한 맵핑 분석으로 작성한 해저환경 주제도는 동해 중부 연안의 사질·수중 암반 지대 서식지의 기본 환경 특성 파악 및 모니터링 등의 기반 자료로 활용도가 높을 것으로 판단된다 (그림 3-6-55~57).

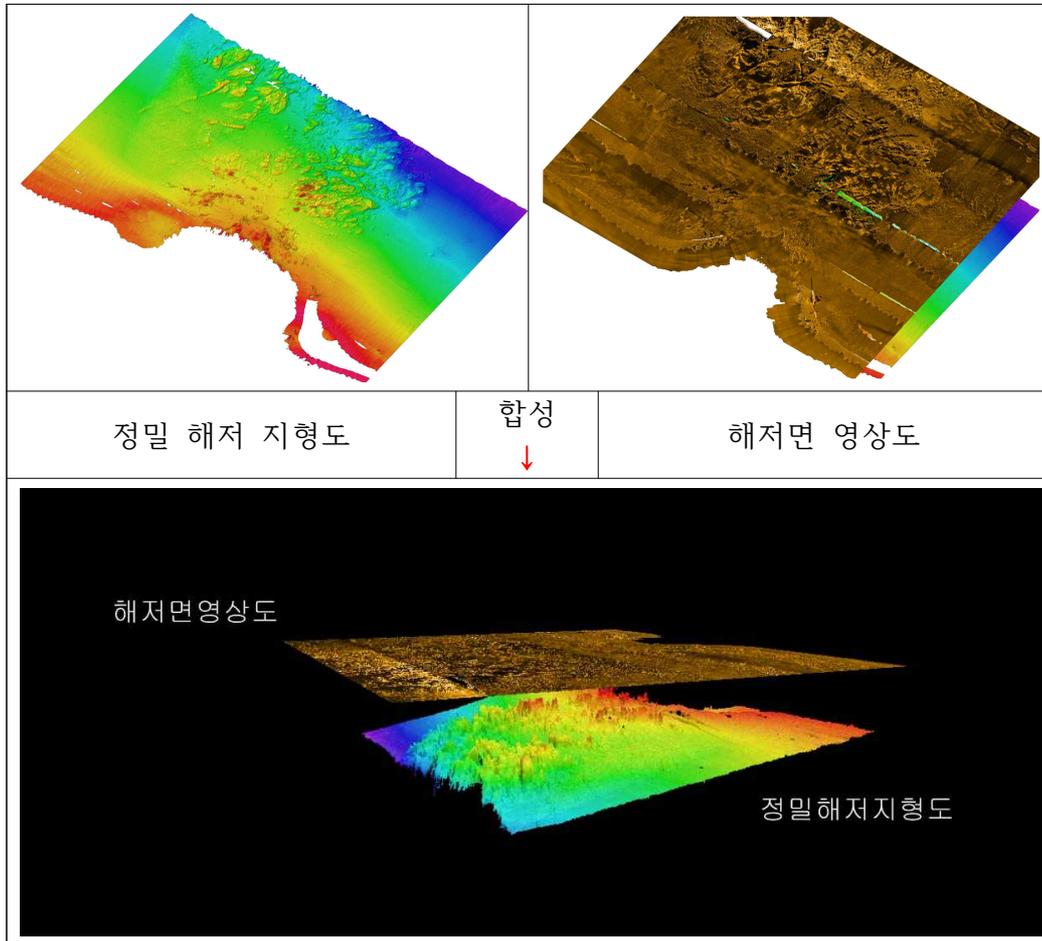


그림 3-6-55. 정밀 해저 지형도와 해저면 영상도를 통합한 서식지 해저환경 맵핑 주제도 개념도

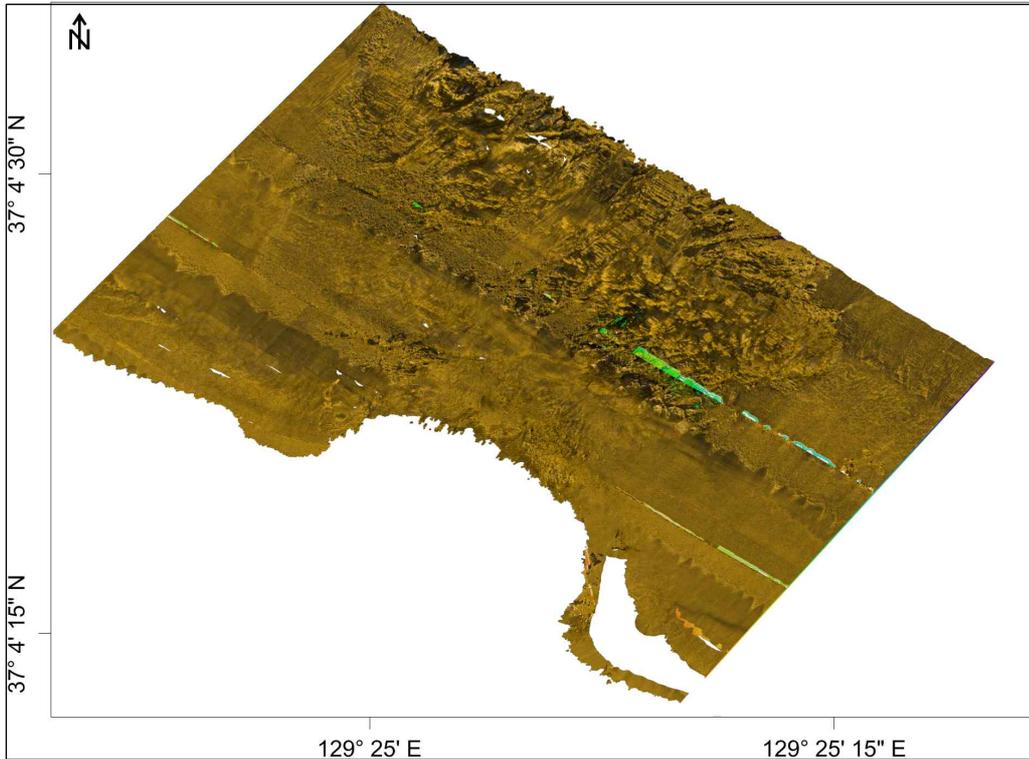


그림 3-6-56. 후암 바위(노출암) 주변 해역의 서식지 해저환경 맵핑 주제도

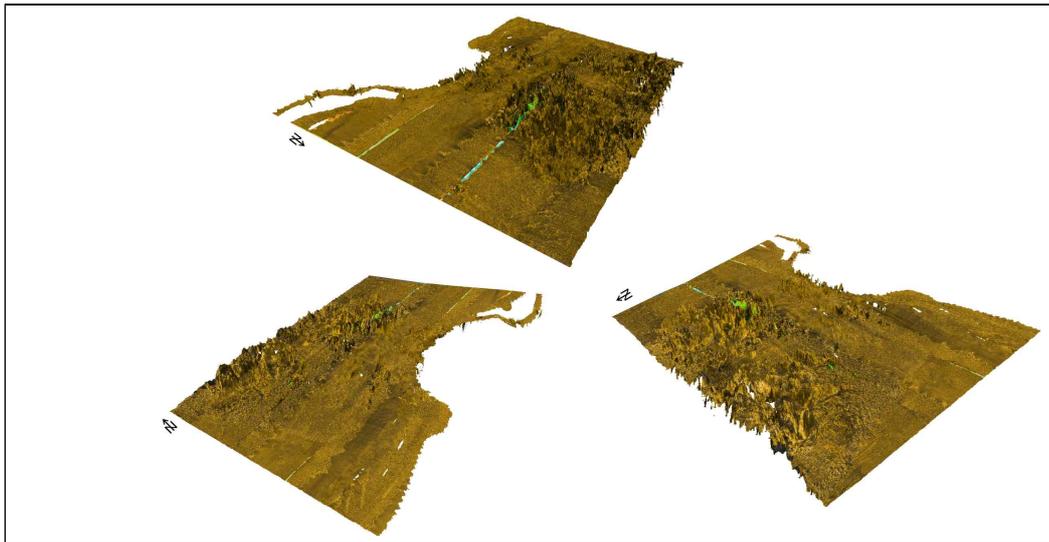


그림 3-6-57. 후암 바위(노출암) 주변 해역의 서식지 해저환경 맵핑 주제도(3차원 영상)

정밀 해저 지형도와 해저면 영상도의 비교 분석 결과를 활용하여 해저면 지질 환경을 기준으로 해저면 분류도(Classification)를 작성하였다. 후암 바위(노출암)를 기준으로 북쪽 및 북동쪽 구역은 암반(수중 암반 지대)으로 분류되며,

주변으로는 모래 퇴적층(사질)이 형성되어 있는 것이 특징이다. 후암 바위(노출암) 북서쪽 일부 해역에서는 연구 범위 내의 모래 퇴적층(사질)보다 조립한 모래 퇴적층 또는 자갈질 모래 퇴적층이 형성된 것이 특징적이다(그림 3-6-58).

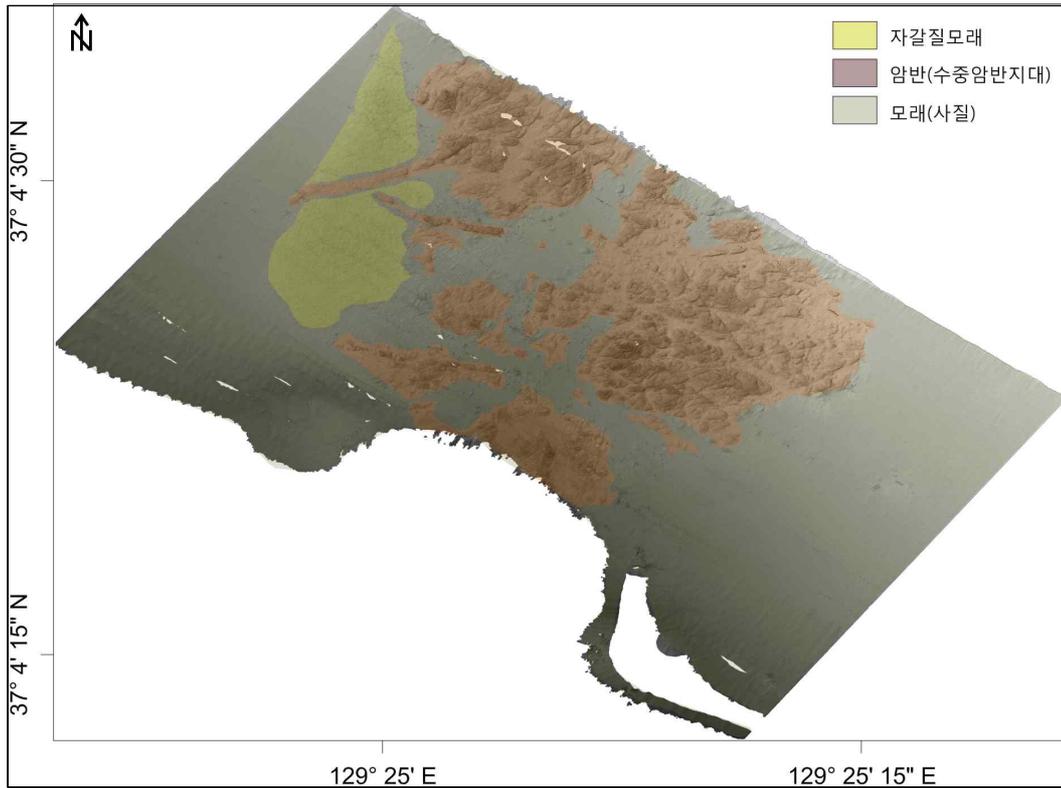


그림 3-6-58. 후암 바위(노출암) 주변 해저면 분류도(Classification)

2) 정밀해저지형과 수중영상 맵핑

동해 중부 연안의 대표적인 사질·수중 암반 지대인 경북 울진군 죽변면 후암 해변의 후암 바위(노출암) 주변 해역에서 획득한 정밀 해저 지형도와 수중 영상을 중첩·통합하여 후암 바위(노출암) 주변 해역의 서식지에 대한 맵핑 주제도를 작성하였다. 서식지의 해저 지형 환경을 담고 있는 3 차원 정밀 해저 지형도와 서식지의 실제 수중 환경이 표현되어 있는 고해상도 수중 영상을 하나의 주제도로 작성하여 통합 시각화 자료를 도출하였다. 수중 영상 맵핑 주제도는 후암 바위(노출암) 주변 해역 중 주요 사질·수중 암반 서식지라 대표되는 구역을 선정하여 수행하였다. 후암 바위(노출암) 북동쪽에 형성된 수중 암반 지대 내의 약 15 m x 15 m 구역 범위에서 수행하였으며, 동일한 구역에서 4월과 7월에 각각 수중 영상을 획득하였다. 시기적으로 차이가 있는 수중 영상을 비교 분석하여 수중 암반 지대에 실제 조성되어 있는 해저면 환경을 파악하고자 하였다. 4월 수중 영상을 활용한 서식지 맵핑 주제도에서는 큰 암반들 주변으로 많은 개체수의 해조류가 암반에 부착하여 서식하고 있는 것이 확인되었다. 반면에 7월 서식지 맵핑 주제도에서는 4월 자료와 동일한 암반임에도 불구하고, 해조류의 부착 개체수가 감소하여 형성되어 있는 등 서식 환경의 변화 양상이 나타났다(그림 3-6-59~60).

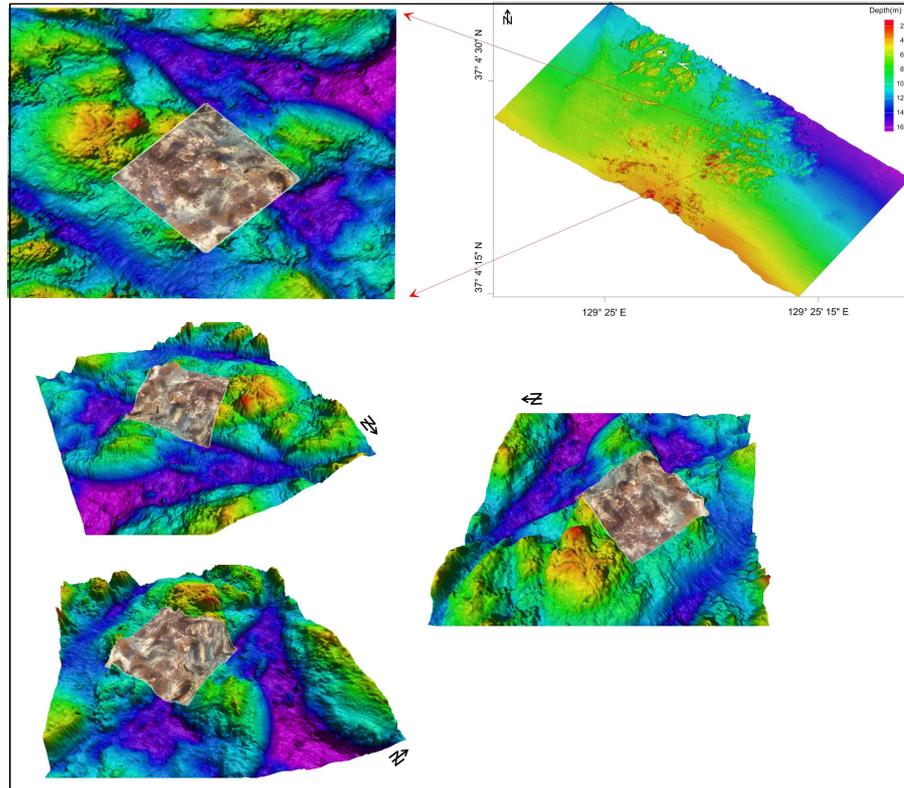


그림 3-6-59. 정밀 해저 지형도와 수중 영상을 통합한 서식지 맵핑 주제도(4월)

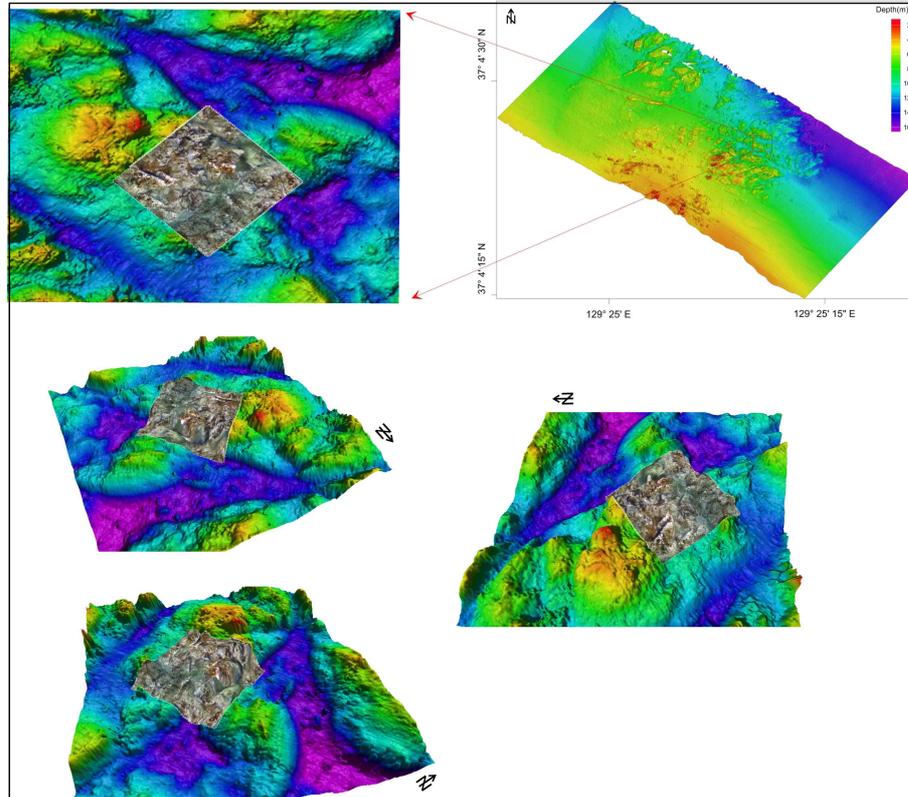


그림 3-6-60. 정밀 해저 지형도와 수중 영상을 통합한 서식지 맵핑 주제도(7월)

3) 수중암반 서식지영상합성지도 작성

후암 주변 서식지의 사질·수중 암반을 동시에 고려한 종합 Eco-mapping 기법 적용을 목적으로 후암 주변의 조하대 장기 고정 모니터링 조사지역에서 서식지영상합성지도를 작성하였다. 조사를 위해 후암 수중암반 주변에 15 m x 15 m의 구역에서 5000여장의 영상을 합성한 서식지영상합성지도를 제작하였다(그림 3-6-61). 고정 모니터링 정점의 서식지영상합성지도 분석을 통해 후암 해역 암반저서생태계의 계절별 변화상을 모니터링이 가능 할 것으로 기대된다. 그리고 이를 기반으로 동해 중부연안 후암 지역의 수중생태지도를 제작하여 연안의 환경변동성을 시각화하고 연안환경 및 생태계 관측 자료 제공을 통해 어업 생산성 증진에 간접적으로 기여할 것으로 판단된다(그림 3-6-62).



<2015년 춘계 서식지영상합성지도>



<2015년 하계 서식지영상합성지도>



<2015년 추계 서식지영상합성지도>



<2015년 동계 서식지영상합성지도>

그림 3-6-61. 수중암반 서식지영상합성지도



그림 3-6-62. 후암 수중생태지도

3. 연안해역 자료관리 DB 구축

가. 연구해역의 조사자료 수집 및 관리항목 선정

연구해역의 해양자료를 효율적으로 관리하고 제공하기 위해 조사자료의 DB구축을 목적으로 서식환경 및 생물 조사자료를 수집하고, 해수환경정보, 서식생물 정보, 해저환경정보, 기본연안지리정보 등에 대하여 관리항목을 선정하였다(표 3-6-8).

표 3-6-8. 연구해역 자료관리 항목

구분	항목	속성
해수환경정보	물리 및 화학적 요소	수온, 염분, 밀도, pH, 용존산소, 영양염, TCO ₂
서식생물정보	저서생물, 간극생물	출현종, 개체수
해저환경정보	해저지형, 퇴적물 입도	수심, 등심도, 퇴적유형
공통정보	조사정점도, 조사구역도	위도, 경도
기본연안지리정보	해안선, 하천, 도로, 건물, 인공구조물	공간정보

나. 데이터 모델 설계 및 GIS DB 구축

연구해역의 해양자료는 ArcGIS의 Common Marine Data Model을 적용하여 연구해역에서 관측되는 데이터의 관측방법, 형태 등에 따라 그림 3-6-63과 같이 데이터 모델을 설계하고, 각 속성은 GIS의 대표적인 피쳐 유형인 점(point), 선(line), 면(polygon), 래스트(raster)로 객체 클래스(feature classes)로 정의하였다(그림 3-6-63).

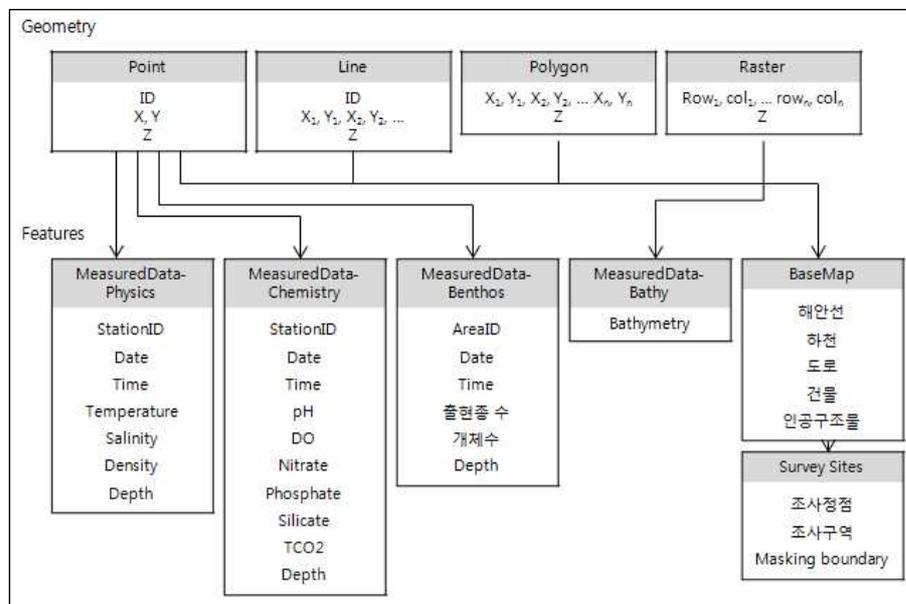


그림 3-6-63. 연구해역 해양자료 모델

연구해역의 해양자료는 연안 서식환경에 따른 생물 군집 특성을 조사한 자료이므로 본 연구의 자료관리를 위해서는 GIS 기반 DB로 구축하는 것이 효과적이다. 따라서 점, 선, 면, 래스트로 설계된 해양자료는 해수물리환경, 해수화학환경, 해저지형, 간극생물, 절지동물, 연체동물, 해조류 데이터셋으로 분류하고 각 속성 정보를 객체클래스로 생성하여 ArcGIS의 Personal Geodatabase로 구축하였다(그림 3-6-64).

EcoMapping_Datasets		해수환경-물리/화학									
Anthropods	Anthropods_201403	ObjectID	StationID	Date	Time	Depth	Temperature	Salinity	Shape		
	Anthropods_201403_individual	1	EP01	2014.3.28	16:55:04	0.211	17.33	34.20649	Point		
	Anthropods_201403_numspices	1	EP04	2014.3.28	17:07:48	0.445	8.1	8.47	3.355	0.119	5.871
	Anthropods_201403_species_total	2	EP06	2014.3.27	9:49:46	0.459	8.02	8.16	2.843	0.284	5.330
Base_Eco_map	Base_Eco_map	3	EP06	2014.3.27	9:50:24	2.635	8.05	8.3	2.617	0.281	5.123
Areas	Land	ObjectID	StationID	Date	Time	Depth	Temperature	Salinity	Shape		
	River	1	Hu1	2014.3.28		36	40	44	5	33	Point
	Road	ObjectID	SiteID	SiteName	Date	Decapoda	Isopoda	Amphipoda	Echinoderm	Cirripedia	Shape
	Sea	1	Hu1	Outside	2014.3.28	9	3	13	3	1	Point
Structures	Structures	ObjectID	SiteID	Date	ClassGroup	SpeciesName	Individuals	Depth			
	Hujung_Bathy_contour	1	Hu1	2014.3.28	Decapoda	뽕새끼문지렁이	3	Top			
	Hujung_map	2	Hu1	2014.3.28	Decapoda	뽕새끼문지렁이	1	Top			
	Hujung_map	3	Hu1	2014.3.28	Decapoda	뽕새끼문지렁이	5	Top			
chemistry	chemistry_201403_BD	연체동물 개체수/총원종 목록									
	chemistry_201403_S	ObjectID	SiteID	SiteName	Date	Polysplachophora	Gastropoda	Bivalves	Shape		
	chemistry_201403_total	1	Hu1	Outside	2014.3.28		106	40	Point		
	chemistry_201406_BD	ObjectID	SiteID	SiteName	Date	Polysplachophora	Gastropoda	Bivalves	Shape		
	chemistry_201406_S	1	Hu1	Outside	2014.3.28	2	10	7	Point		
	chemistry_201406_total	2	Hu2	Around	2014.3.28	3	23	8	Point		
Mollusca	Mollusca_201403_Individual	3	Hu3	Inside	2014.3.28	3	32	11	Point		
	Mollusca_201403_Num_species	해조류 개체수/건중량									
	Mollusca_201403_total	ObjectID	SiteID	SiteName	Date	Phaeophyta	Rhodophyta	Chlorophyta	Shape		
	Mollusca_201406_Individual	1	Hu1	Outside	2014.3.28	7	5		Point		
	Mollusca_201406_Num_species	ObjectID	SiteID	SiteName	Date	SpeciesName	DryWeight	Depth	Shape		
	Mollusca_201406_total	1	Hu1	Outside	2014.3.28	간염부흥균	2.08	Top	Point		
	Mollusca_201406_total	2	Hu1	Outside	2014.3.28	홍조류(미기록)	1.78	Top	Point		
	Mollusca_201406_total	3	Hu1	Outside	2014.3.28	표지박(미기록)	14.26	Top	Point		
physics_YSI	physics_201403_BD	간극생물 서식밀도									
	physics_201403_S	ObjectID	StationID	Date	Harpacticoids	Nauplius	Nematodes	BenthicForaminifera	Others	Total	Shape
	physics_201403_SBD	1	EP02	2014.5	330	65	154	6	26	581	Point
	physics_201403_total	ObjectID	StationID	Date	Copepods	Nematodes	BenthicForaminifera	Others	Total	Shape	
	physics_201406_BD	1	EP02	2014.5	235.9	66.1	1.2	60.1	363.3	Point	
	physics_201406_S	ObjectID	StationID	Date	Diversity	Shape					
	physics_201406_SBD	1	EP02	2014.5	7	Point	3.6	69.9	277.1	Point	
	physics_201406_Total	2	EP03	2014.5	8	Point	1.8	41.8	191.3	Point	
	physics_201406_Total	3	EP04	2014.5	8	Point					
Seaweed	seaweed_201403	수심									
	seaweed_201403_Alga_all	ObjectID	Shape	Stretch_Value	Pixel_Value	ObjectID	Shape	Id	Contour	Shape_Length	
	seaweed_201403_Quan_g	1	Raster				Polygon				
	seaweed_201406	조사구역/조사범위/Masking Barrier									
	seaweed_201406_Alga_all	ObjectID	Shape	StationID	Lon	Lat	ObjectID	Shape	Shape_Length	Shape_Area	
	seaweed_201406_Quan_g	1	Polygon				Polygon				
Station	Barriers_Polygon	계단선/러친/도로/구조물									
	Barriers_Polyline	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	Shape_Area	
	Station_Area	1	Polyline				Polygon				
	station_XY	ObjectID	Shape	StationID	Lon	Lat	ObjectID	Shape	Shape_Length	Shape_Area	
	station_XY_33	1	Point				Polygon				
	station_XY_33anno	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	Shape_Area	
	thalassosammon	1	Polyline				Polygon				
	thalassosammon_biomass_201405	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	Shape_Area	
	thalassosammon_biomass_201406	1	Polyline				Polygon				
	thalassosammon_habitat_density_201405	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	ObjectID	Shape	Id	Shape_Length	Shape_Area	
	thalassosammon_habitat_density_201406	1	Polyline				Polygon				

그림 3-6-64. 데이터셋과 테이블 명세

다. 분포주제도 작성

연구해역의 Eco-mapping을 위한 초기 매핑 단계로써 조사자료를 바탕으로 해양환경 및 생물분포를 가시적으로 표현한 각종 분포주제도를 작성하였다(그림 3-6-65). 또한 분야별 주제도를 활용하여 지자체, 지역 일반인들의 연안 해역에 대한 이해 및 활용 증대를 위한 기초정보를 제공할 수 있는 ‘연별 해양환경 정보도’ 또는 ‘핸드북(소책자)’ 초안을 제작하였다(그림 3-6-66~67).

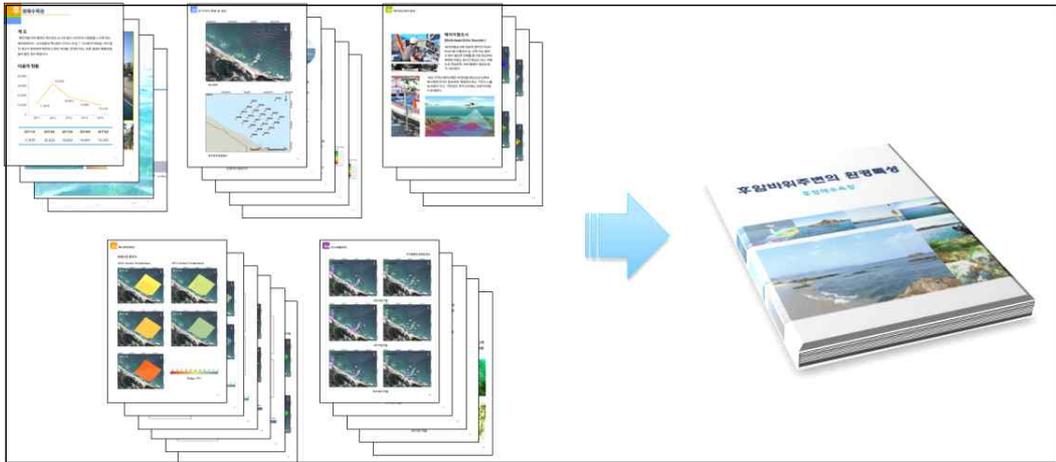


그림 3-6-67. 해양환경정보 핸드북 가안

제 4 장 목표달성도 및 대외기여도

제 1 절 목표 달성도

제 2 절 대외 기여도

제 4 장 목표달성도 및 대외기여도

제 1 절 목표 달성도

1. 총 연구기간 내 연구내용 대비 달성율(%)

가. 1차년도(2013년)

년차	달성내용	년차별 계획대비 연구실적 달성율(%)	총연구기간 대비 연구진척율 (%)
1차년 (2013)	1. 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악 - 3~4일 간격 대기 시료 채취(wet & dry)를 통한 주요이온 분석 - 빗물 중 영양염 농도 분석을 통한 입력량 분석 - 하천유입해역 대기 박테리아 군집특성 파악 - 대상해역에 대한 표층 이산화탄소 조사를 통한 조사 시기의 이산화탄소 흡수량 분석	100	100
	2. 하천유입역 해양내부과정에 의한 물질 이동 및 수지 파악 - 하천유입역 해양물리환경 특성 파악 - 하천유입역 수온 장단기 변동 특성 파악 - 왕피천 입구 해역에서의 영양염 변화를 통한 하천 영향 분석	100	100
	3. 육지-해양 간 물질 이동 및 수지 파악 - 하천 유입원 및 담수 유입역에 대한 조사를 통해 수지 분석을 위한 기본 자료 (영양염, 클로로필-a 등) 획득 - 하천 및 해양 표층 퇴적물 채취 및 분석 - 왕피천 하천지형조사 - 하구역 해빈/해저지형조사	100	100
	4. 동해연안 하천유입해역 서식지 환경 및 생태특성 변동 패턴 파악 - 동해하천 유입해역 장기 모니터링 거점 설정 - 서식지 정밀 해저면 특성 조사 - 서식지 간극생물 종 다양성 및 생태특성 분석	100	100

나. 2차년도(2014년)

년차	달성내용	년차별 계획대비 연구실적 달성율(%)	총연구기간 대비 연구진척율 (%)
2차년 (2014)	1. 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 다양성 및 생태 특성 조사 - 동해 중부연안 사질·수중암반 Model station 지정 및 구축 - 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 중 다양성 및 생태특성 조사 : 서식 중 목록, 우점종, 서식밀도 분석 및 조사 - 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영을 통한 데이터베이스 구축 - 사질·암반해역 서식지별/환경별 우점 해조류 다양성 및 구성성분 분석 - 수중암반 서식지영상합성지도 작성	100	100
	2. 조하대 사질·수중암반 해역의 간극생물 군집 생태특성 분석 - 조사해역 해빈/조하대 사질의 퇴적물 채집 - 각 해역의 정점별 간극생물 생물상, 생태량, 크기분포, 다양도지수, 수직분포 분석 - 간극생물 군집의 간극생물 우점종 영구 보존슬라이드 제작 및 고배율 현미경 영상 확보	100	100
	3. 사질·수중암반 서식 부유생물 특성 파악 - 조사해역 수층 부유생물종(대형저서동물 유생)확보 - 대형 우점 저서생물 분자지표 확보 - 유전자 분석을 통한 수층 부유생물종 파악 및 분석	100	100
	4. 대기-해양 간 물질 이동 및 수지 파악 - 유럽 MESH, 미국 NOAA, 호주의 OzCoasts 등의 현재 수행중인 연구 조사 및 분석 - 멀티빔을 활용한 정밀 해저지형 조사 - 사질 서식환경 퇴적물 채취 및 분석 - 퇴적물 특성(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)의 공간적 분포 및 시계열 변화 파악 - 서식지 주변 수층별 물리/화학 서식환경 조사 - 서식지 Mapping을 위한 서식환경 조사 기법 개발	100	100
	5. 연안해역 자료관리 기반 마련 - 서식환경/생물 자료관리 설계 및 DB 구축	100	100

다. 3차년도(2015년)

년차	달성내용	년차별 계획대비 연구실적 달성율(%)	총연구기간 대비 연구진척율 (%)
3차년 (2015)	1. 동해 연안 서식지별 생물군(저서/간극) 변동성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 사질·수중암반 서식환경 유형별 대형저서생물 종 다양성 조사 - 우점 저서생물의 디지털이미지 및 동영상 촬영 - 대형 우점 저서생물 확대표본 확보 - 조사해역 해빈/조하대 사질 퇴적물 채집 - 각 해역의 정점별 간극생물 군집 분석 - 간극생물 군집의 간극생물 우점종 영구보존 슬라이드 제작 및 고배율 현미경 영상 확보 - 수중암반 서식지영상합성지도 작성 	100	100
	2. 동해 연안 생태계 서식환경 특성 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 서식지 주변 기본 환경 모니터링 - 서식지 주변의 필수 환경 인자 확보 - 서식지 주변 정밀해저지형(멀티빔) 및 해저면특성(해저면 영상탐사기) 조사 - 서식지의 지형적 및 퇴적물 조사(유기물 함량, 중금속 함량, 평균입도)와 서식생물과의 상관성 분석 - 서식환경/생물자료 DB 구축 - 다각적 환경/생물 주제도 작성 	100	100
	3. 동해 중부 연안 종합 Eco-mapping 기법 확립 <ul style="list-style-type: none"> - 동해 중부 연안의 대표적인 서식지인 사질·수중암반을 동시에 고려한 종합 Eco-mapping 기법 적용 및 확립 	100	100

2. 정량적 목표 달성도

구 분		1차년도 (2013년)		2차년도 (2014년)		3차년도 (2015년)	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문 게재	SCI(E)	1	1	2	2	1	2
	기타 국외 학술지						
	국내 학술지	4		2	1		1
학회 발표	국외	3	2		1	1	3
	국내	7	4	6	7	2	8
특허	국외	출원					
		등록					
	국내	출원		1	2	2	
		등록				1	
단행본(기타 지적재산권)			1	1	1		
세미나(워크샵), 전문가활용 등		1	1				

제 2 절 대외 기여도

1. 기술적 측면

가. 1차년도(2013년)

- 해양으로 유입되는 대기 및 하천경로 입력 물질들의 농도 및 플럭스 변동량을 살펴봄으로써 이들 입력 물질들이 연안환경에 미치는 영향에 대한 정량적 평가가 가능하다.
- 대기 이산화탄소 흡수에 있어서 우리나라 동해 연안역의 역할을 평가함으로써 탄소 순환 연구에 기여한다.
- 대기입력물질 거동 연구를 통한 대륙환경변화(토양분진/황사)가 동해 연안에 미치는 환경영향 파악 및 동해 연안의 물질 순환에 영향을 미치는 대기 기원물질의 정량적 평가 및 역할 규명이 가능하다.
- 해양오염 중 근원요인을 구분하여 오염원별 관리기술의 진일보를 이룰 수 있다.
- Vertical Profiler를 이용하여 해수의 물리적 변동특성 연구에 가장 기본이 되는 연직 수온, 염분 및 유속 분포의 시계열 관측이 가능하게 되어 동해 연안 해수특성 연구에 신연구기법 적용이 가능하다.
- 연안역 해양생태계 변동에 영향을 미치는 해양-대기 상호작용에 의한 내부 파 등 해양물리환경 변동 특성 파악이 가능하다.
- 연안역 장기 수온 변동 자료의 확보가 가능하다.
- 동해연구소 주변 장기 해양물리환경 변동 관측자료 확보를 통한 동해연구소의 임해연구기능을 극대화 할 수 있다.
- 울진-울릉도-독도 해양물리환경자료 연계를 통한 동해 해양물리환경변동 연구를 업그레이드 할 수 있다.
- 하천유입역에서의 육상-해양 경계면에서의 퇴적물 이동 및 특성을 분석하여, 동해 연안환경변동에 대한 기초자료를 제공하고 연안 프로세스를 이해하기 위한 초석마련이 가능하다.
- 임해연구소인 동해연구소의 입지조건을 활용하여 동해 연안의 해양환경자료를 모니터링하고 데이터베이스화하여 향후 기후변화에 의한 해양환경변동 연구의 기초자료를 축적이 가능하다.
- 하천유입역에 대한 다분야 시계열 관측 및 공동연구를 통하여 육상-해양-대

기의 경계인 연안에서 복잡한 상호작용을 보이는 프로세스를 이해하기 위한 기초연구를 수행한다.

- 연안 및 해안환경의 급속한 변화에 대비한 동해 연안 지형, 물리, 퇴적, 생태계, 온배수 환경 모니터링 자료를 확보한다.
- 동해연구소의 활용도를 극대화함으로써 해양생명환경산업과의 시너지효과를 기대할 수 있으며, 해양특성 변동 메커니즘 규명 및 해양생태계·수산자원 변동 예측연구 연계를 통하여 해양자원의 효율적 이용 및 관리기반 구축 활용이 가능하다.
- 연안 환경변동 규명 및 해양생태계/온배수 특성 연구를 통하여 해양자원의 효율적 이용 및 관리기반 구축에 활용 될 수 있다.
- 동해 연안 핵심해역에 대한 서식지 환경 연구를 통하여 해양환경의 급속한 변화에 대비한 동해 생태계 환경 모니터링 자료 확보가 가능하다.

나. 2-3차년도(2014-2015년)

- 동해연구소의 활용도를 극대화함으로써 해양생명환경산업과의 시너지효과를 기대할 수 있으며, 해양특성 변동 메커니즘 규명 및 해양생태계·수산자원 변동 예측연구 연계를 통하여 해양자원의 효율적 이용 및 관리기반 구축 활용이 가능하다.
- 임해연구소인 동해연구소의 입지조건을 활용하여 동해 연안의 해양환경자료를 모니터링하고 데이터베이스화하여 향후 기후변화에 의한 해양환경변동 연구의 기초기반자료를 축적한다.
- 동해 연안의 생태환경과 서식지환경(지질, 물리, 화학)의 총체적 융합 조사 및 연구를 통하여 서식지 생태환경에 대한 연관성 연구 시도한다.
- 해양생물 다양성 보전 및 생물자원량 파악을 위한 inventory 구축 및 Eco-map 작성한다.
- 환경요인이 해저생물에 미치는 직·간접적인 인과를 고려한 다중회귀분석의 확장 개념인 경로분석(path analysis)을 통해 동해 중부 연안의 사질·수중암반의 생태계 통계모형을 구축함으로써, 정량적인 해저생태계 이해 및 변화를 예측 가능하다.
- 멀티빔을 이용한 서식지의 생태환경 조사에 대한 기법 개발 및 분석 시도한다.
- 동해 연안에 대한 Eco-mapping 기술 개발 및 Eco-map을 작성한다.

2. 경제 산업적 측면

가. 1차년도(2013년)

- 해양과정과 물질 거동 접합기술로 해양환경관리 산업 핵심기술을 증대한다.
- 환경 감시 모니터링 선진기술의 개도국 기술이전으로 국가 수출경제에 부양한다.
- 연안역 해양관측기법 및 해양장비계류 기술 개발을 증대한다.
- 어업인에게 수온 등 해양물리환경자료 공유를 통한 어업활동 예측력을 증대한다.
- 기후변화에 기인한 경제, 산업적 손실을 줄일 수 있는 한반도 기후의 장기 변화 예측 기술 검증의 기반이 되는 연직 수온, 염분 및 유속 시계열 관측 자료를 제공한다.
- 육상에서 기인한 오염물의 해양으로의 이동경로 파악으로 해양오염 최소화 방안 마련이 가능하다.
- 양빈에 필요한 기초자료 제공으로 효율적인 해빈관리가 가능하다.
- 연안환경/생태계 관측 자료 제공을 통한 대어민 서비스 및 어업 생산성 증진에 간접적으로 기여한다.
- 생태계 모니터링 자료의 장기간의 축적 및 홍보는 지역사회의 경제적 편익, 지역의 홍보, 주민참여 필요성 제고, 관광객의 지역 생태관광에 대한 지식상승 및 해양보전의 필요성에 대한 인식 증대를 가져올 것으로 예상된다.
- 연안환경/생태계 관측 자료의 장기간 축적 및 홍보는 지역사회의 경제적 편익, 지역 홍보, 어업생산성/생태관광 증진 기여 및 해양보전 필요성에 대한 인식의 증대를 가져올 것으로 예상된다.

나. 2-3차년도(2014-2015년)

- 동해 연안생태환경을 통한 연안생태도 작성, 연안가두리, 수산양식 적지 선정 등 수산자원 관리 및 활용에 대한 연구를 수행한다.
- 수중 생태계의 구성과 분포에 대한 연구는 그 지역 수산자원의 보존과 활용 등의 계획 수립에 기초 자료로 이용이 가능하다.
- 연안환경/생태계 관측 자료 제공을 통한 대어민 서비스 및 어업 생산성 증진에 간접적으로 기여한다.
- 생태계 모니터링 자료의 장기간의 축적 및 홍보는 지역사회의 경제적 편익, 지역의 홍보, 주민참여 필요성 제고, 관광객의 지역 생태관광에 대한 지식상승 및 해양보전의 필요성에 대한 인식 증대를 가져올 것으로 예상된다.
- 연안 생태계 보전 및 복원을 위한 기본 가이드라인 제시가 가능하다.

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

- 동해 연안 물질 수지 계산을 통해 동해 연안의 물질 순환 및 축적 과정을 이해하고, 환경변화에 따른 이들 순환 기구 영향 파악 및 유기물, 이산화탄소, 오염물질 등의 정량적 평가에 활용한다.
- 오염물 이동경로 및 영향 파악을 통해 지속가능한 연안 개발을 위한 관리 정보 구축 및 오염원 축소/제거 정책 개발에 활용한다.
- 대기, 해양을 포함한 High Resolution 장기시계열 관측자료는 기후변화에 따른 국가 미래 연안 환경변화 대응 전략 수립에 활용될 것으로 생각된다.
- 동해연안 물질 거동 연구를 통해 연안 오염물질 유입 과정 규명으로 지속가능한 연안개발을 위한 관리 정보 구축 및 오염원 축소/제거 정책 개발에 활용될 것이다.
- 연안역 해양환경영향 평가 능력 개선을 통한 효율적 해양환경보존 정책 수립에 활용 될 것이다.
- 국가해양관측망 활용도 증대 및 관측자료의 품질 개선이 가능하다.
- 동해연구소 주변 장기 해양물리환경 변동 관측자료 확보를 통한 동해연구소 임해연구기능이 극대화 될 것이다.
- 지속적인 연안역 해양환경 관측자료의 확보를 통하여 기후변화에 따른 해양환경 변화를 비교 평가가 가능하다.
- 동해안 지방자치단체의 종합적이고 효율적인 국가 연안역 통합관리를 위한 해양환경 자료를 제공한다.
- 신울진 원자력 발전소 건설에 따른 퇴적물 이동 자료를 축적하여 향후 건설 전후에 대한 해양환경변화 자료 제공이 가능하다.
- 환경변화 반응 지표생물 탐색 연구분야에 적용 가능한 신기술 개발이 가능하다.
- 개발된 환경반응 지표생물 및 생물학적 생태지수의 적용을 통한 효율적인 연안 환경 평가에 활용 될 것이다.
- 장기 생태계 모니터링의 미디어 자료는 지역사회의 해양생태적 가치의 홍보, 해양과학교육용 자료, 해양레저 관광객의 지역 생태관광용 홍보 및 가이드 자료로 활용 가능하다.
- 핵심해역의 연구범위를 점차 확대하고 동해안 전체로 넓혀 각 유역별로 다양한 환경에서의 생태계 반응을 지속적으로 모니터링하여 동해연구의 연구 경쟁력 확보가 가능하다.

- 연안역 해양환경영향 평가 능력 개선을 통한 효율적 해양환경보존정책 관련 기반자료 제공 가능하다.
- 지속적인 연안역 해양환경 관측자료 확보를 통해 해양 환경 변화(기후변화 등)를 비교 평가할 수 있다.
- 동해안 지방자치단체의 종합적이고 효율적인 국가 연안역 통합관리를 위한 해양환경 자료로 활용 가능하다.
- 동해 연안의 Eco-mapping 작성으로 동해안을 기반으로 한 해양산업(양식, 환경기술 등)에 적용하여 산업적으로 성공확률이 높은 생태 및 환경 자료를 제시 할 수 있다.
- 동해 연안에 대한 통합 Eco-map 작성으로 지역 교육기관(초, 중, 고)의 해양과학 교육 자료에 적극 활용한다.
- 동해 연안의 통합적인 Eco-map을 동해안 문화산업(생태관광, 레저산업)과 접목하면, 동해 연안을 기반으로 한 해양관광산업 활성화를 기대할 수 있다.

제 6 장 부 록

제 6 장 부 록

부록 1. 발간 논문 목록

계재일	논문명	저 자			학술지명	Vol. (No.)	국 가 명	SCI 구 분
		주저자	교신 저자	공동 저자				
2013. 11.29	The Complete Mitochondrial Genome of the Hwanghae Rockfish <i>Sebastes koreanus</i> (Scorpaenidae, Scorpaeniformes)	장요순	김성		Mitochondrial DNA		영국	SCI
2014. 10.30	New Record of Two Xanthid Crabs (Crustacea: Decapoda: Xanthidae) from Korea	Lee, SK	Lee, SK	Kim DS, Rho HS	Animal Systematics, Evolution and Diversity	30(4)	한국	비SCI
2014. 11.26	Molecular characterization and immunomodulatory activity of sulfated fucans	MyoungLae Cho	SangGuan You	Dong-Jin Lee, Jin-Kyung Kim	Carbohydrate Polymers	113 (1)	미국	SCI (우수)
2014. 12.30	Complete mitochondrial genome of <i>Sebastes vulpes</i> (Scorpaenidae, Scorpaeniformes) from the East Sea, Korea	Yo-Soon Jang	Sung Kim	Sung-Yong Oh, Eun Kyung Lee, Jung-Go Myoung, Jeong-Ho Park, Ki-Yong Kim	Mitochondrial DNA	26(1)	영국	SCI
2015. 02.15	<i>Zelinkaderes yong</i> sp. nov. from Korea—the first recording of <i>Zelinkaderes</i> (Kinorhyncha: Cyclorhagida) in Asia	Andreas Altenburger	Andreas Altenburger	노현수, 장천영, Martin Vinther Sorensen	Zoological Studies	54권 25호 (p. 1 - 13)	미국	SCI
2015. 03.31	동해 울릉분지와 후포분지 해양 퇴적물 코어의 광물학적 특성	이수지	김영규	김창환, 전창표, 이성주	한국광물학회	28권 2호 (p. 71~81)	한국	-
2015. 07.30	Phylogeny of Kinorhyncha based on morphology and two molecular loci	Martin V. Sorensen	Martin V. Sorensen	Matteo Dal Zotto, 노현수, Maria Herranz, Nuria Sanchez, Fernando Pardos, Hiroshi Yamasaki	PLoS ONE	10권 7호 (p. 1~33)	미국	SCI(E)

부록 2. 학술회의 발표 목록

발표일	논문명	저자		학술회의명	구분
		주 발표자	공동발표자		
2013. 06.03	Global ocean carbon uptake: magnitude, variability and trends	Rik Wanninkhof	박근하, T.Takahashi, C.Sweeney, R.Feely, Y.Nojiri, N.Gruber, S.C.Doney, G.A.McKinley, A.Lenton, C.LeQuéré, C.Heinze, J.Schwinger, H.Graven, S.Khatiwala	The 9 th International Carbon Dioxide Conference	국외
2013. 06.05	Regional distribution and seasonal mechanisms of carbon uptake in the global oceans	Galen A. McKinley	S. Doney, R. Feely, N. Gruber, C. LeQuéré, 박근하, C. Sabine, U. Schuster, T. Takahashi, R. Wanninkhof	The 9 th International Carbon Dioxide Conference	국외
2013. 10.23	독도 연안 주요 서식지 연구를 위한 해저지형 및 해저면 조사	김창환	김원혁	2013 추계지질과학연합 학술대회	국내
2013. 10.23	죽변항과 동해연안 저수심 지역에서의 멀티빔 에코사운더 탐사방법 연구	김원혁	김창환	2013 추계지질과학연합 학술대회	국내
2013. 11.08	수상오토바이를 이용한 멀티빔 해저지형조사 시스템 구축	정의영	박준용	2013 한국해양학회 추계학술대회	국내
2013. 11.08	울진 해역의 과거 3년간 sandbar 이동 연구	정의영	박준용	2013 한국해양학회 추계학술대회	국내
2014. 05.22	울진 후정리 해빈 및 연안 조하대 퇴적물에 서식하는 간극생물 분포 특성	민원기	노현수, 강태욱, 김상미, 이희갑, 김동성	한국해양과학공동 학술대회	국내
2014. 08.20	New record of two xanthid crabs (Crustacea: Decapoda: Xanthidae) from Korea	Lee, SK	Kim DS, Rho HS	2014 한국환경생물학회 하계학술대회	국내
2014. 08.25	Molecular characterization and immunomodulatory activity of sulfated fucans	Myoung Lae Cho	Dong-Jin Lee, SangGu an You	2014 한국식품과학회	국내

2014. 10.02	Morphology and immune-related activities of hemocytes of the Korean mussel <i>Mytilus coruscus</i> (Gould, 1861) from East Sea of Korea	Yang HS	Hong HK, Donaghy L, Noh CH, Park HS, Kim DS, Choi KS	The 2nd Asian Marine Biology Symposium	국내
2014. 10.30	동해 중부 연안역 Eco-mapping을 위한 해양환경정보 구축	김현욱		한국지리정보학회	국내
2014. 11.06	멀티빔 조사에서의 RTK tide 보정법 적용	정의영	박준용 박응현	2014 추계 학술대회 (한국해양학회)	국내
2014. 11.06	울진 후정리 해저 암반 주변 퇴적물에 서식하는 간극생물 춘계 분포 특성	민원기	노현수 이희갑 김동성 김상미 정의영	2014 한국해양학회 추계학술발표대회	국내
2014. 12.19	Seasonal variability of aragonite saturation state in the North Pacific Ocean predicted by multiple linear regression	김태욱	박근하	AGU Fall Meeting	국외
2015. 04.22	해안지형 측량을 위한 해상 모바일 레이저 지형 스캔 시스템 구축	김창환	강길모, 박찬홍, 김현욱, 김원혁	2015년 춘계지질과학연합학술대회	국내
2015. 04.22	독도 남부 연안 해저면 영상 자료와 후방산란자료의 특성 비교 연구	이명훈	김창환, 박찬홍	2015년 춘계지질과학기술훈공동학술대회	국내
2015. 05.14	해안 침식연구를 위한 해상 라이다(LiDAR) 시스템 구축	김창환	강길모, 박찬홍, 김현욱, 김원혁, 박현영	한국지구물리·물리탐사학회 ; 2015년 학술발표회 및 심포지움	국내
2015. 05.14	해저면 영상 자료와 후방산란자료의 비교분석을 이용한 독도 연안 주요 서식지의 해저면 분류 특성 분석	이명훈	김창환, 박찬홍, 박현영	한국지구물리·물리탐사학회 ; 2015년 학술발표회 및 심포지움	국내
2015. 05.21	동해 후포분지 특이지형 예비연구	김창환	이명훈, 노현수, 박찬홍, 이성주	2015년 한국해양학회 춘계공동학술대회	국내

2015. 05.21	First report of sponge traces from Korea:modern and fossil Entobia on carbonate rocks and shells	이미희	공달용, 김창환, Stjepko Golubic, 이성주	2015년 한국해양과학기술 술회의 공동학술대회	국내
2015. 05.21	동해 중부연안 해저암반 주변 퇴적물에 서식하는 중형저서동물의 분포특성	이희갑	민원기, 김동성, 노현수	2015년 한국해양과학기술 술회의 공동학술대회	국내
2015. 05.21	동해 연안 암반지역에서의 저서생물과 서식지 주변 화학환경과의 상관관계	최기영	민원기, 김영일	2015년 한국해양과학기술 술회의 공동학술대회	국내
2015. 08.07	Deep-tow magnetic survey of Fonualei Rift and Spreading Center(FRSC) at 16° 35	김창환	이명훈, 박찬홍, 박현영	Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society 2015	국제
2015. 10.06	Shipborne mobile LiDAR(Lighe Detection And Ranging) system for mornitoring beach erosion	김창환	강길모, 박찬홍, 김현욱, 김원혁, 박현영	The 8 th International Conference on Asian Marine Geology	국제
2015. 10.06	A study of integrated seafloor visualization and geological characteristic for habitat mapping around the nearshore area of Dokdo in the East Sea	이명훈	김창환, 박찬홍, 박현영	The 8 th International Conference on Asian Marine Geology	국제

부록 3. 발간 저서 목록

구 분	제 목	저 작 자		출판일	등록 번호	구 분
		주저작자	공동 저작자			
저 서	Springer Handbook of Marine Biotechnology, Chap 40. Sulfated polysaccharides from Green seaweeds	MyoungL ae Cho	SangGua n You	2014. 11.14	ISSN 978-3- 642-53 970-1	독 일
역 서	동물 다양성	김원	노현수	2013. 09.01	978-89 -6154- 161-9	한 국

부록 4. 특허 성과 목록

출원된 특허의 경우				
특허명	발명자	출원일	출원번호	출원국가
퇴적물 입도분석에서의 반자동 염분제거 장치	정의영, 박준용, 황영일	2013. 11.13	10-2013-013 7937	한국
프레임형 해저면 영상 촬영장치	정의영, 민원기, 장영석, 박준용	2014. 09.04	10-2014-011 7981	한국
지형조사용 지지대	정의영, 박준용	2014. 11.26	10-2014-016 6571	한국
천해 해저지형조사용 프레임장치	정의영, 박준용	2014. 01.08	10-135214	한국

부록 5. 연구지역에서 출현한 무척추동물 List

Phylum Porifera 해면동물 문

Class Demospongia 보통해면 강

Order Hadromerida 경해면 목

Family Clionidae 호박해면 과

Genus *Cliona* Grant, 1826

1. *Cliona celata* Grant, 1826 호박해면

Phylum Cnidaria 자포동물 문

Class Anthozoa 산호충 강

Order Actiniaria 해변말미잘 목

Family Actiniidae 해변말미잘 과

Genus *Anthopleura* Duchassaing and Michelotti, 1860 꽃해변말미잘 속

2. *Anthopleura midori* Uchida and Muramatsu, 1958 풀색꽃해변말미잘

3. *Anthopleura kurogane* Uchida and Muramatsu, 1958 검정꽃해변말미잘

Phylum Sipunculida 성구동물 문

Class Phascolosomatidea 등촉수벌벌레 강

Order Phascolosomatiformes 등촉수벌벌레 목

Family Phascolosomatidae 등촉수벌벌레 과

Genus *Phascolosoma* Leuckart, 1828 등촉수벌레 속

4. *Phascolosoma* sp. 벌벌레류

Phylum Mollusca 연체동물 문

Class Polyplacophora 다판 강

Order Neoloricata 신군부 목

Family Ischnochitonidae 연두군부 과

Genus *Ischnochiton* Gray, 1847

5. *Ischnochiton comptus* (Pilsbry, 1893) 연두군부

Genus *Lepidozona* Pilsbry, 1892

6. *Lepidozona coreanica* (Reeve, 1874) 줄군부

Family Mopaliidae 따가리 과

Genus *Placiphorella* Dall, 1879

7. *Placiphorella stimpsoni* (Gould, 1859) 따가리

Family Chitonidae 군부 과

Genus *Chiton* Linnaeus, 1758 군부 속

8. *Chiton kurodai* (Is. and Iw. Taki, 1929) 꼬마군부

Genus *Onithochiton* Gray, 1847

9. *Onithochiton hirasei* Pilsbry, 1901 비단군부

Family Acnathochitonidae 가시군부 과

Genus *Acanthochitona* Gray, 1821

10. *Acanthochitona achates* (Gould, 1859) 춤털군부

Class Gastropoda 복족 강

Order Archaeogastropoda 원시복족 목

Family Patellidae 삿갓조개 과

Genus *Cellana* H. Adams, 1869 진주배말 속

11. *Cellana toreuma* (Reeve, 1855) 애기삿갓조개

Family Acmaeidae 흰삿갓조개 과

Genus *Notoacmea* Iredale, 1915 배무래기 속

12. *Notoacmea schrenkii* (Lischke, 1868) 배무래기

Genus *Collisella* Dall, 1871 두드럭배말 속

13. *Collisella dorsuosa* (Gould, 1859) 두드럭배말

Genus *Acmaea* Eschscholtz, 1893

14. *Acmaea pallida* (Gould, 1859) 흰삿갓조개

Family Trochidae 밤고둥 과

Genus *Chlorostoma* Swinson, 1840 밤고둥붙이 속

15. *Chlorostoma argyrostoma* lischkei (Tapparone Canefri, 1874) 밤고둥

16. *Chlorostoma turbinata* (A. Adams, 1893) 구멍밤고둥

Genus *Cantharidus* Montfort, 1810 얼룩고둥 속

17. *Cantharidus jessoensis* (Schrenck, 1863) 둥근입얼룩고둥

Genus *Calliostoma* Swainson, 1840

18. *Calliostoma multiliratum* (Sowerby, 1875) 얼룩방석고둥

Genus *Homalopoma* Carpenter, 1864 팔알고둥 속

19. *Homalopoma sangarensis* (Schrenck, 1862) 산팔알고둥

Order Mesogastropoda 중복족 목

Family Calyptraeidae 배고둥 과

Genus *Crepidula* Lamarck, 1799 짚신고둥 속

20. *Crepidula onyx* (Sowerby, 1824) 똥똥이짚신고둥

Family Vermetidae 뱀고둥 과

Genus *Serpulorbis* Sassa, 1827 큰뱀고둥 속

21. *Serpulorbis imbricatus* (Lamarck, 1860) 큰뱀고둥

Order Neogastropoda 신복족 목

Family Muricidae 빨소라 과

Genus *Ceratostoma* Herrmannsen, 1846

22. *Ceratostoma burnetti* (Adams and Reeve, 1848) 입빨고둥

23. *Ceratostoma* sp. 1

24. *Ceratostoma* sp. 2

Genus *Reishia* Kuroda and Habe, 1971 대수리 속

25. *Thais (Reishia) luteostoma* (Holten, 1803) 빨두드럭고둥

26. *Reishia clavigera* (Küster, 1882) 대수리

27. *Reishia bronni* (Dunker, 1860) 두드럭고둥

Family Columbellidae 무릅과 과

Genus *Mitrella* Risso, 1826 보리무릅속 속

28. *Mitrella* sp. 무릅류

Family Buccinidae 물레고둥 과

Genus *Buccinum* Linne, 1758 물레고둥 속

29. *Buccinum* sp. 1 물레고둥류 1

30. *Buccinum* sp. 2 물레고둥류 1

Order Aplysiomorpha 군소 목

Family Aplysiidae 군소 과

Genus *Aplysia* Linné, 1767 군소 속

31. *Aplysia parvula* Guilding, 1863 검은테군소

32. *Aplysia kurodai* (Baba, 1937) 군소

Class Bivalvia 이매패 강

Order Mytiloida 홍합 목

Family Mytilidae 홍합 과

Genus *Lithophaga* Röding, 1798

33. *Lithophaga curta* (Lischke, 1874) 애기돌맛조개

Genus *Modiolus* Lamarck, 1799

34. *Modiolus (Modiolus) agripetus* (Iredale, 1939) 개적구

Genus *Mytilus* Linnaeus, 1758

35. *Mytilus* sp. 홍합류

Genus *Arvella* Bartsch and Scarlato, 1960

36. *Arvella* sp. 빨담치류

Order Arcoida 돌조개 목

Family Arcidae 돌조개 과

37. *Arca avellana* Lamarck, 1819 돌조개

Phylum Annelida 환형동물 문

Class Polychaeta 다모 강

Order Phyllodocida 부채발갯지렁이 목

Family Glyceridae 미갑갯지렁이 과

38. Glyceridae unid. 1 미갑갯지렁이류 1

39. Glyceridae unid. 2 미갑갯지렁이류 2

40. Glyceridae unid. 3 미갑갯지렁이류 3

Family Nereidae 참갯지렁이 과

41. Nereidae unid. 참갯지렁이류

Family Polynoidae 비늘갯지렁이 과

42. Polynoidae unid. 비늘갯지렁이류

Order Sabellida 꽃갯지렁이 목

Family Serpulidae 석회관갯지렁이 과

Genus *Serpula* Linnaeus, 1767 석회관갯지렁이 속

43. *Serpula* sp. 1 석회관갯지렁이류 1

44. *Serpula* sp. 2 석회관갯지렁이류 2

Phylum Arthropoda 절지동물 문

Class crustacea 갑각 강

Order Thoracica 완홍 목

Family Balanidae 따개비 과

Genus *Balanus* Da Costa, 1778 따개비 속

45. *Balanus* sp. 따개비류

Order Isopoda 등각 목

Family Sphaeromatidae 잔벌레 과

46. Sphaeromatidae sp. 1 잔벌레류 1

47. Sphaeromatidae sp. 2 잔벌레류 2

Genus *Cymodoce*

48. *Cymodoce japonica* Richardson, 1907 두혹잔벌레

Family Idoteidae 주걱벌레 과

49. Idoteidae unid. 주걱벌레류

Order Amphipoda 단각 목

Family Ampithoidae 참옆새우 과

50. Ampithoidae unid. 1 옆새우류 1

51. Ampithoidae unid. 2 옆새우류 2

52. Ampithoidae unid. 3 옆새우류 3

53. Ampithoidae unid. 4 옆새우류 4

Family Caprellidae 바다대벌레 과

Genus *Caprella* Lamarck, 1801 바다대벌레 속

54. *Caprella* sp. 1 바다대벌레류 1

55. *Caprella* sp. 2 바다대벌레류 2

Order Decapoda 십각 목

Family Paguridae 집게 과

Genus *Pagurus* Fabricius, 1775 참집게 속

56. *Pagurus* sp. 참집게류

Family Porcellanidae 게불이 과

Genus *Pachycheles* Stimpson, 1858 게불이 속

57. *Pachycheles stevensii* Stimpson, 1858 게불이

Family Majidae 물맞이게 과

Genus *Oregonia* Dana, 1851 물맞이게 속

58. *Oregonia* sp. 물맞이게류

Family Portunidae 꽃게 과

Genus *Thalamita* Latreille, 1829 두갈래민꽃게 속

59. *Thalamita sima* H.M. Edwards, 1834 두갈래민꽃게

Family Xanthidae 부채게 과

Genus *Cycloxanthops*

60. *Cycloxanthops truncatus* (De Haan, 1837) 차양부채게

Genus *Leptodius* A.M. Edwards, 1863 부채게 속

61. *Leptodius* sp. 1 부채게류 1

62. *Leptodius* sp. 2 부채게류 2

Phylum Echinodermata 극피동물 문

Class Stelleroidea 불가사리 강

Order Spinulosa 유극 목

Family Asterinidae 별불가사리 과

Genus *Asterina* Nardo, 1834 별불가사리 속

63. *Asterina pectinifera* Muller and Troschel, 1842 별불가사리

Order Myophiuroda 폐사미 목

Family Ophiotrichidae 가시거미불가사리 과

Genus *Ophiotrix* Müller and Troschel, 1840 가시거미불가사리 속

64. *Ophiotrix exigua* (Lyman, 1874) 짧은가시거미불가사리

Class Echinoidea 성게 강

Order Echinoida 성게 목

Family Strongylocentrotidae 둥근성게 과

Genus *Strongylocentrotus* Brandt, 1835 둥근성게 속

65. *Strongylocentrotus nudus* (A. Agassiz, 1863) 둥근성게

Genus *Hemicentrotus* Mortensen, 1942 말뚱성게 속

66. *Hemicentrotus pulcherrimus* (A. Agassiz, 1863) 말뚱성게

Class Holothuroidea 해삼 강

Order Aspidochirotida 순수 목

Family Stichopodidae 돌기해삼 과

Genus *Stichopus* Brandt, 1835 돌기해삼 속

67. *Stichopus japonicus* Selenka, 1867 돌기해삼

Phylum Chordata 척삭동물 문

Class Ascidiacea 해초 강

Order Pleurogona 측성해초 목

Family Styelidae 미더덕 과

Genus *Styela* Fleming, 1822

68. *Styela clava clava* Herdman, 1881 미더덕

Family Pyuridae 멍게 과

Genus *Boltenia* Savigny, 1816

69. *Halocynthia roretzi* (Drasche, 1884) 멍게

부록 6. 연구지역에서 출현한 해양선형동물 디지털 영상 도판

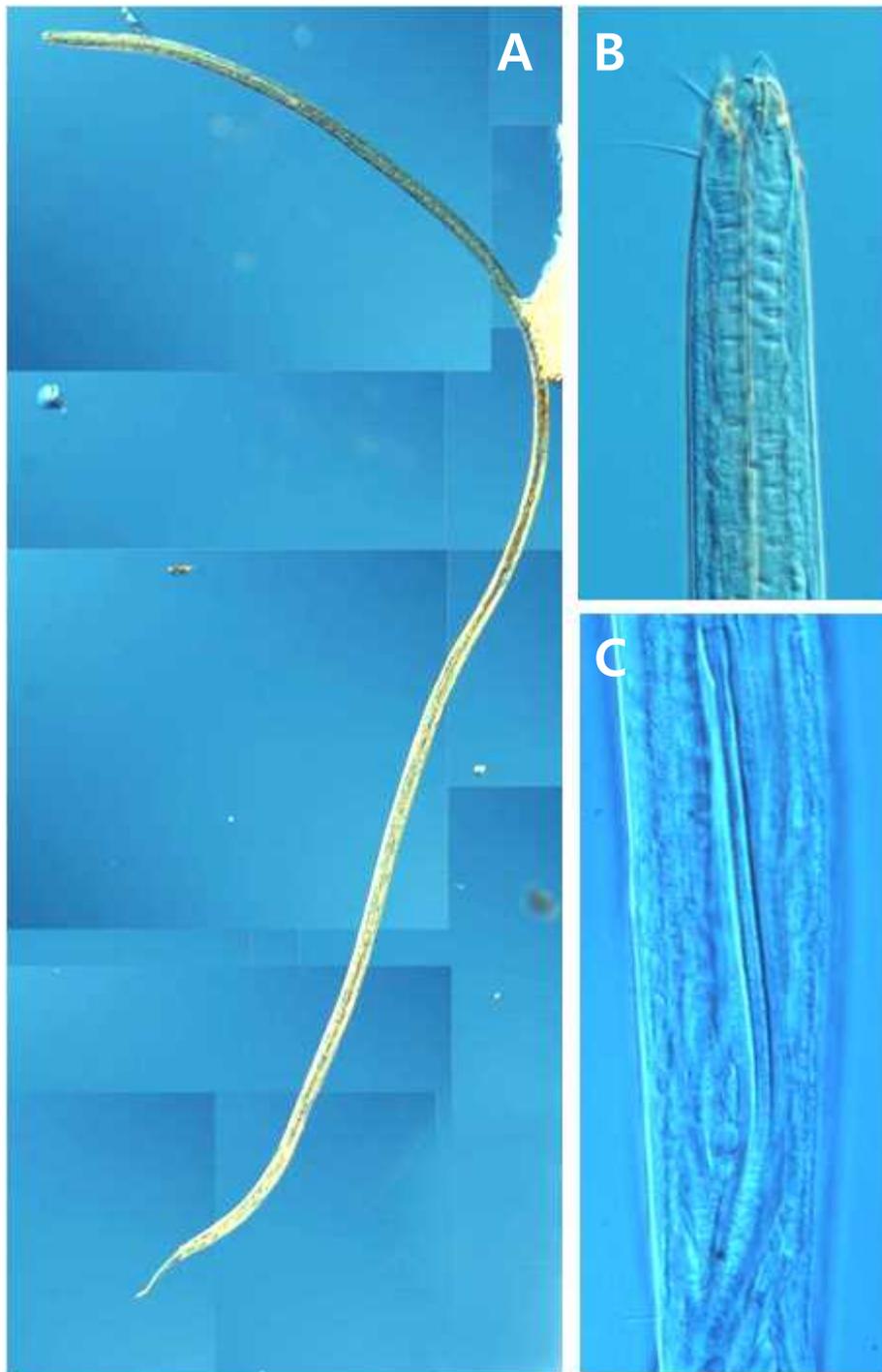


그림 6-6-1 *Enoploides* sp., DIC Photomicrographs, lateral view.
A, habitus; B, head region; C, spicule region

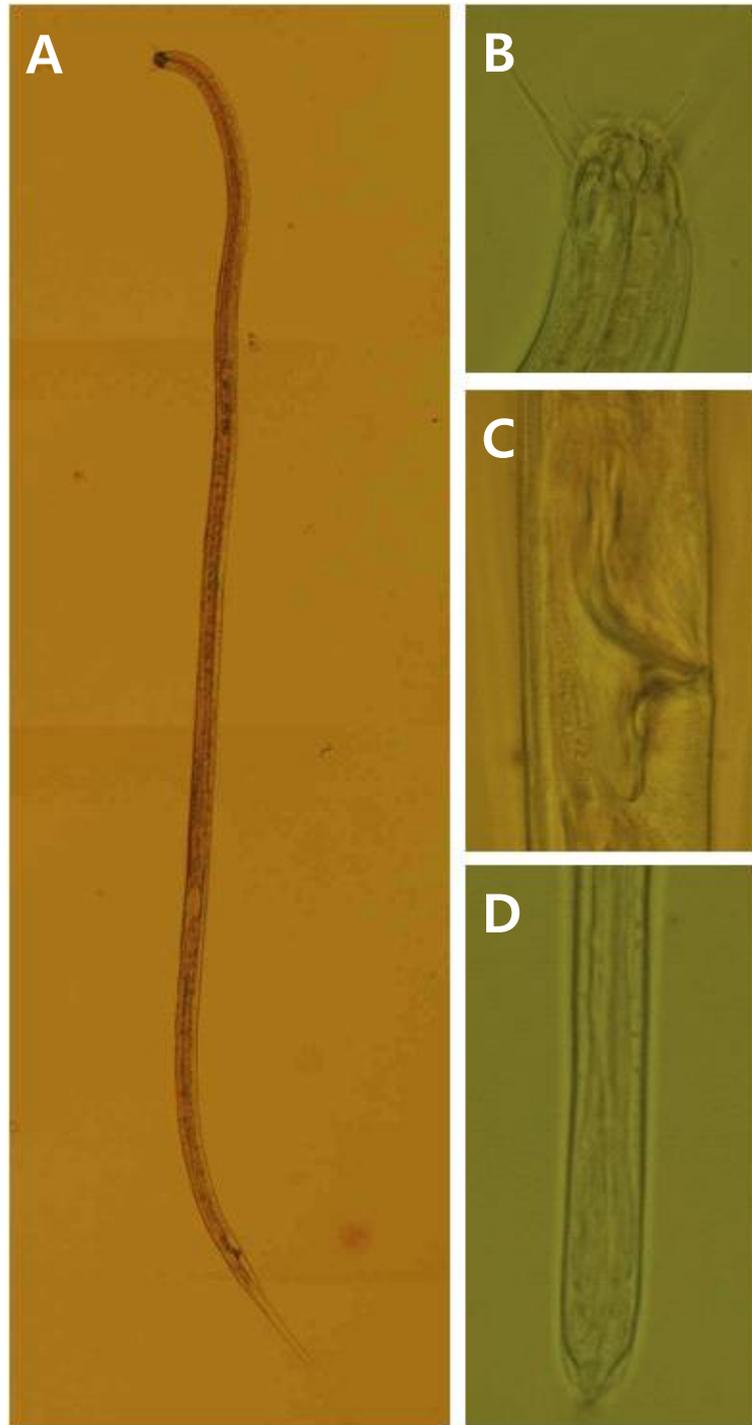


그림 6-6-2. *Oxyonchus* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, spicule region; D, tail region.

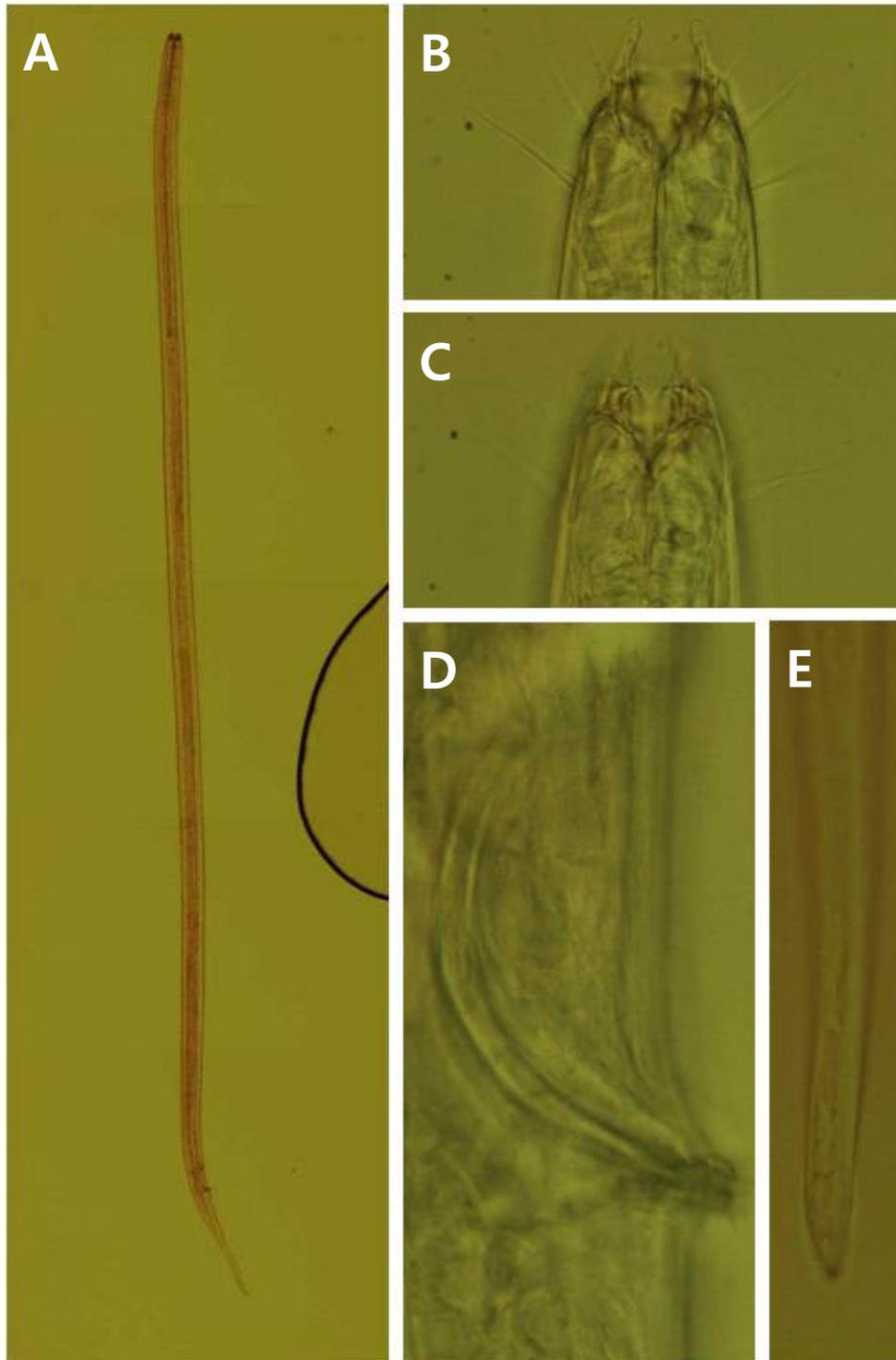


그림 6-6-3. *Mesacanthion* sp., DIC Photomicrographs, lateral view.
 A, habitus; B-C, head region; D, spicule region; E, tail region.

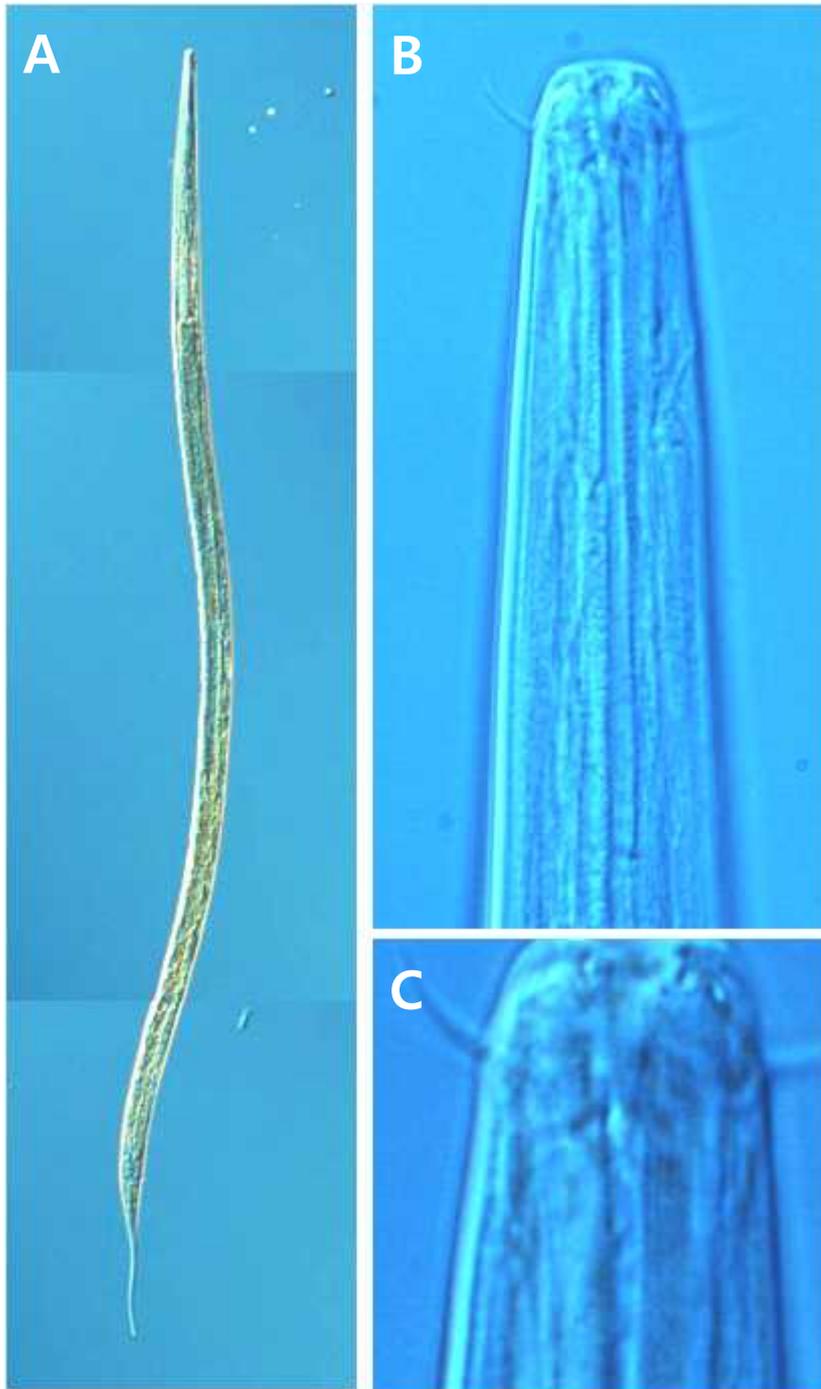


그림 6-6-4. *Anticoma* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea.

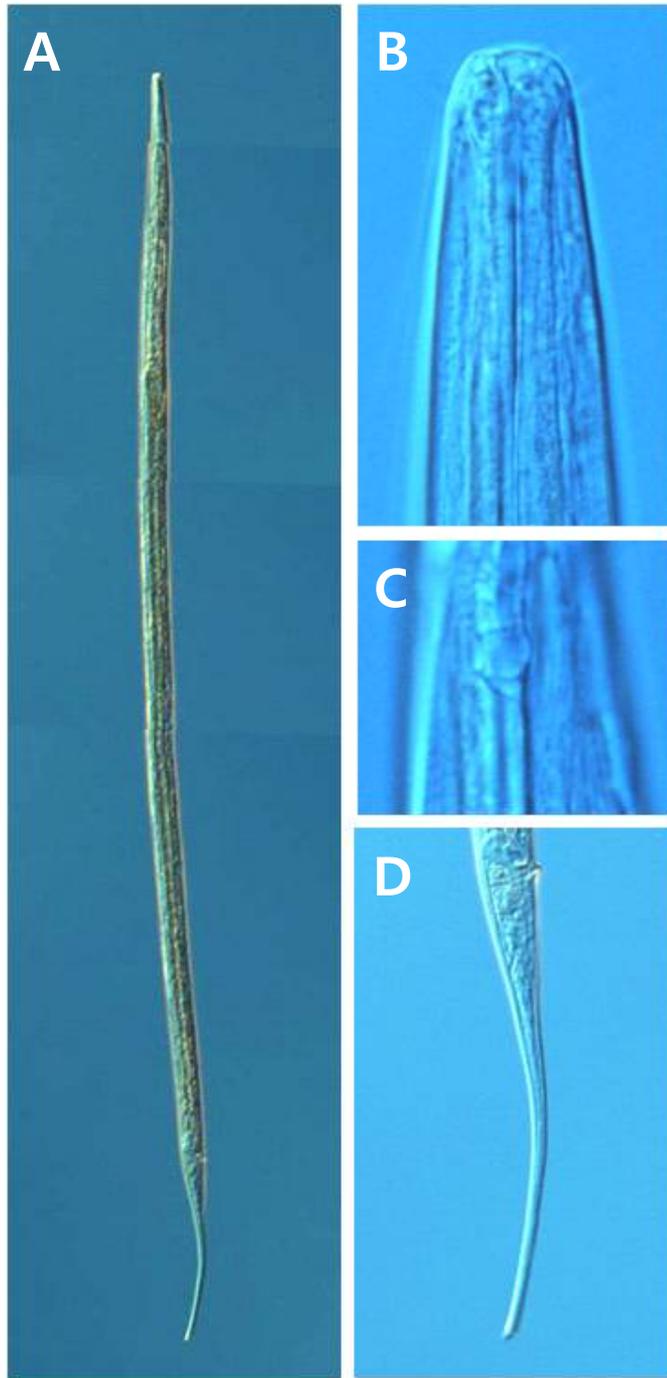


그림 6-6-5. *Odontanticoma* sp., DIC
Photomicrographs, lateral view. A,
habitus; B, haed region; C,
amphidial fovea; D, tail region.

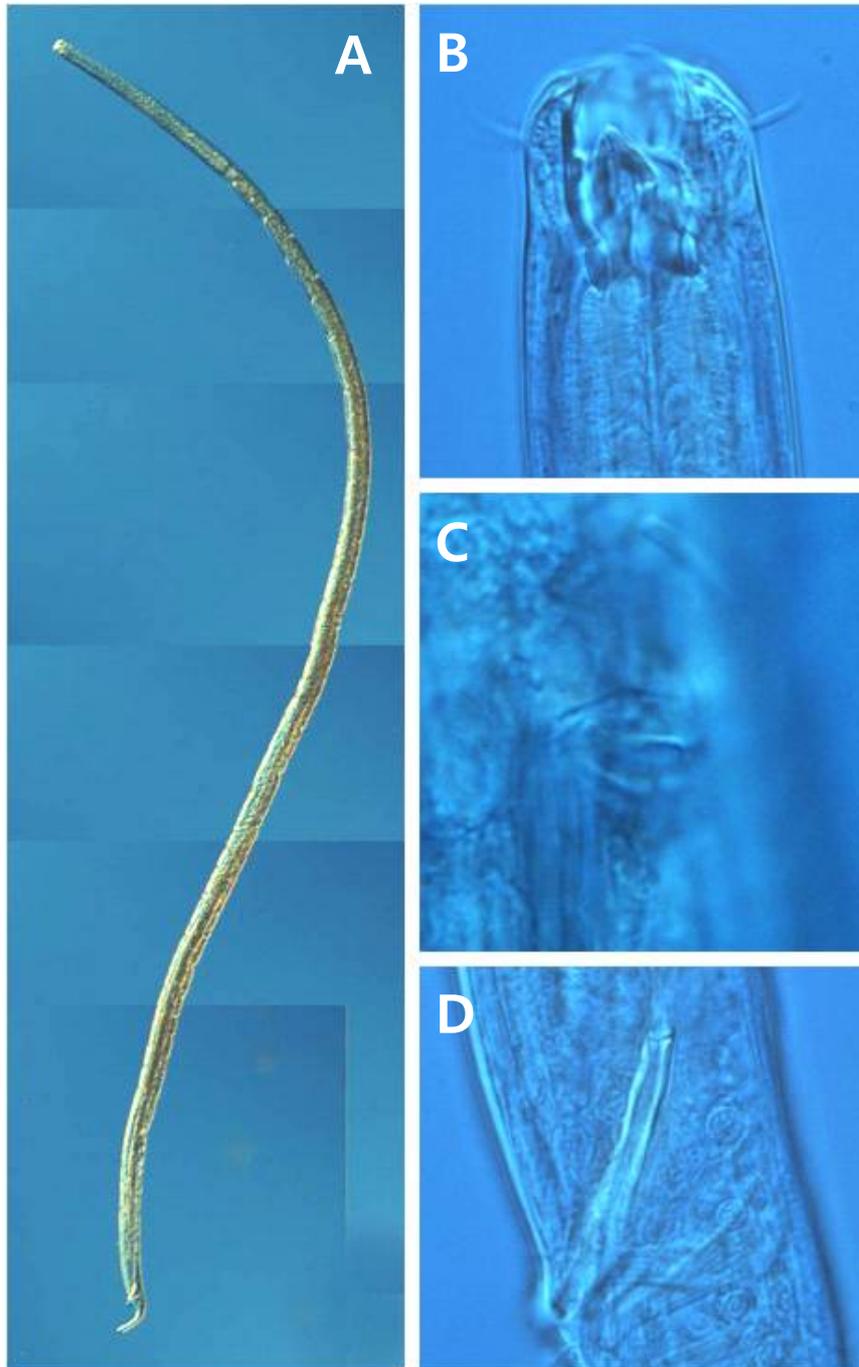


그림 6-6-6. *Oncholaimus* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.



그림 6-6-7. *Axonolaimus* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.

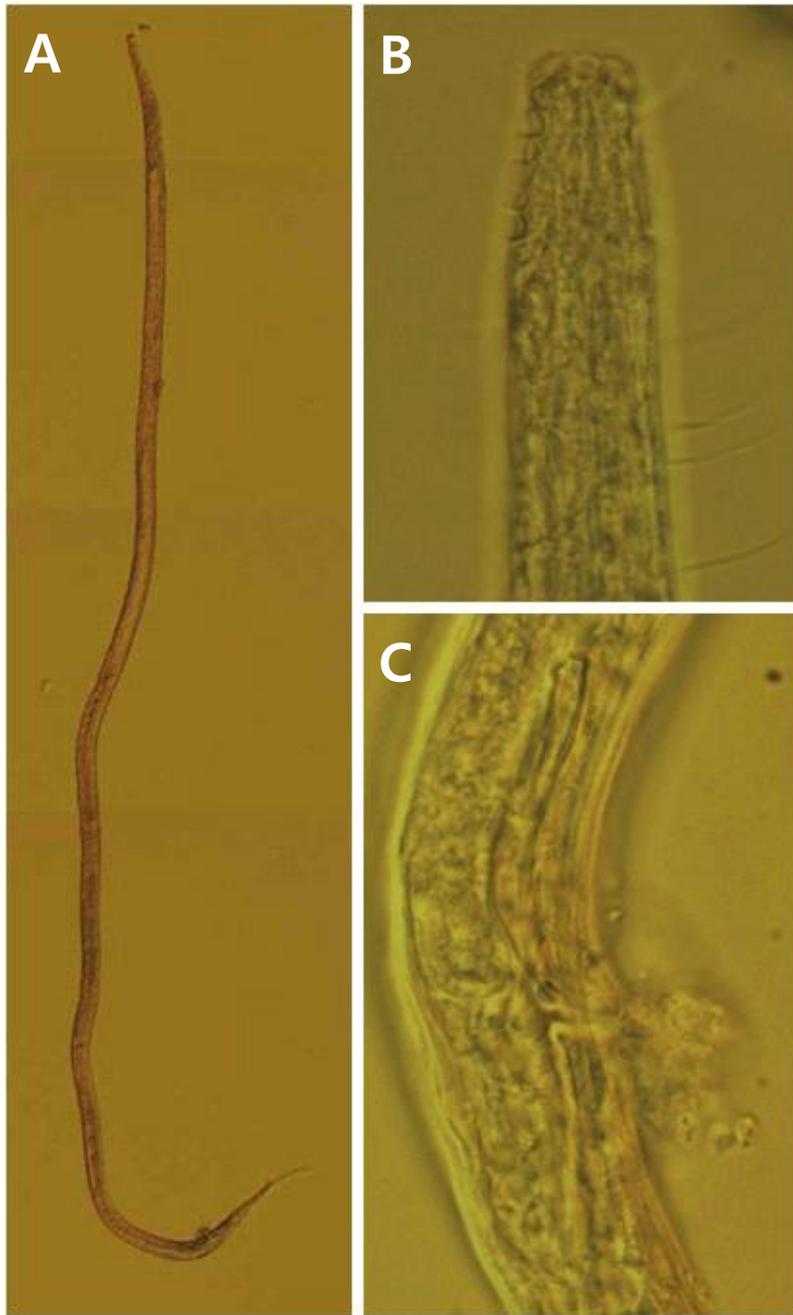


그림 6-6-8. *Actarjania* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region and amphidial fovea; C, spicule region.

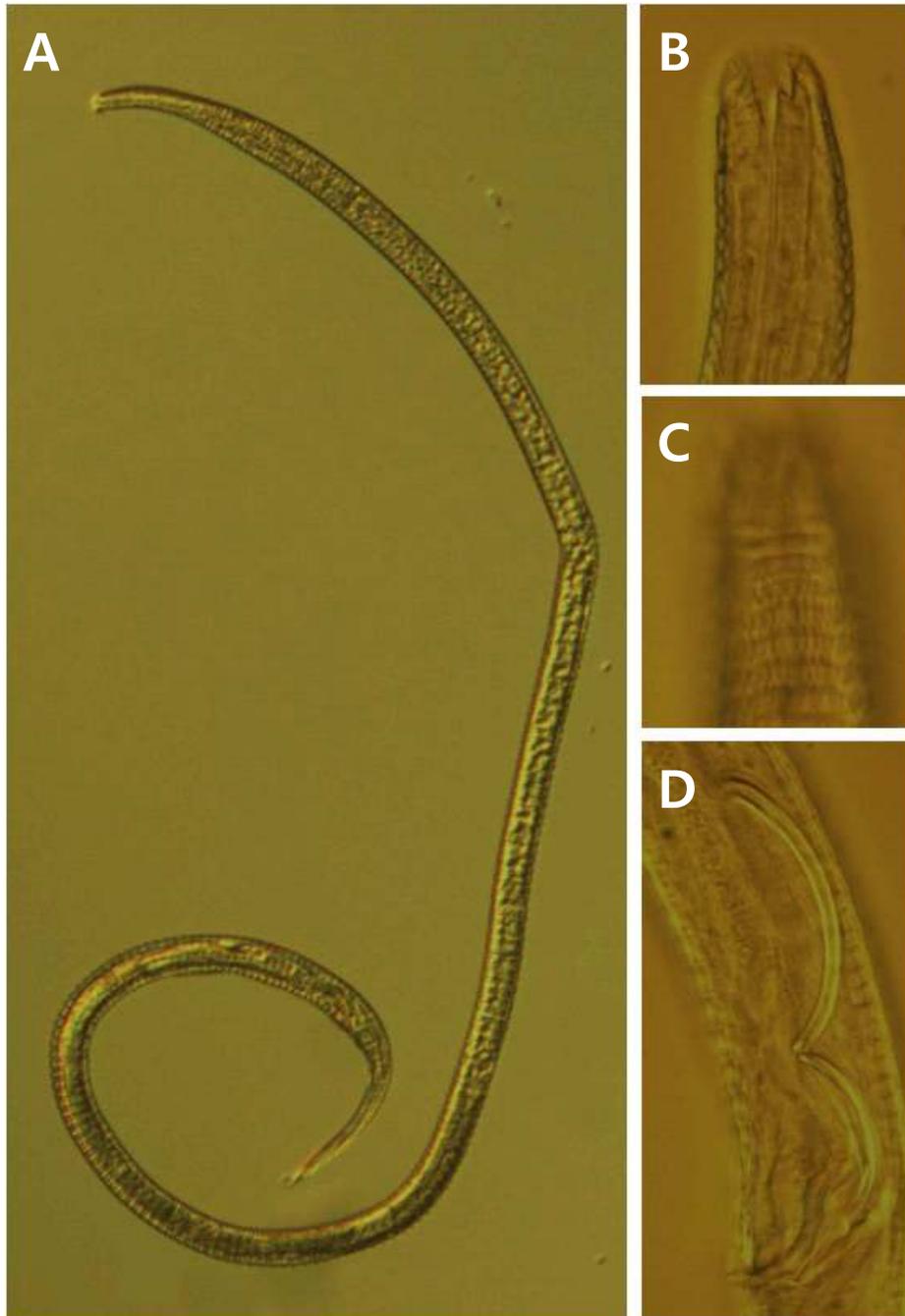


그림 6-6-9. *Rhips* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.

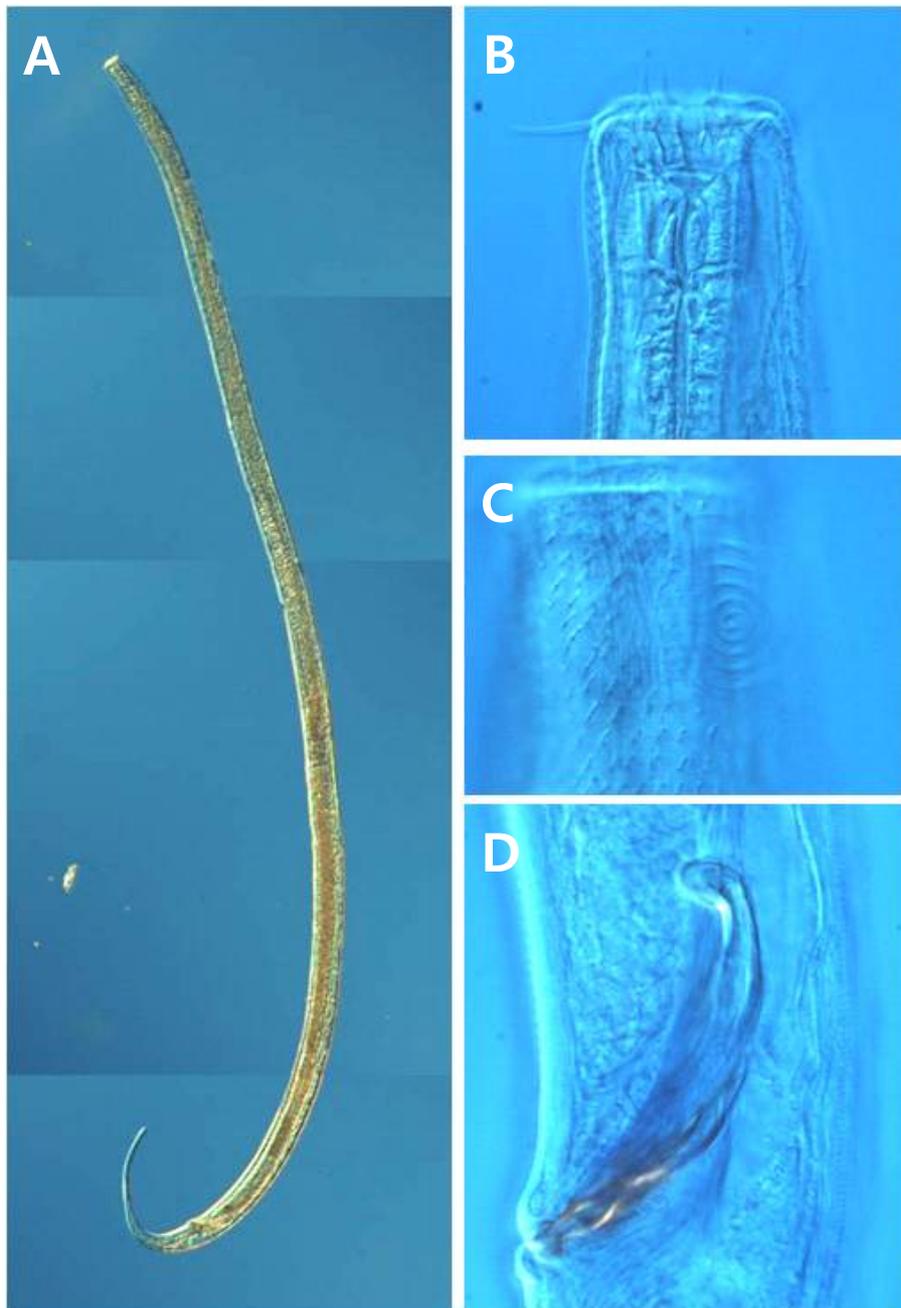


그림 6-6-10. *Paralongicyatholaimus* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.



그림 6-6-11. *Paracyatholaimus* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, spicule region.

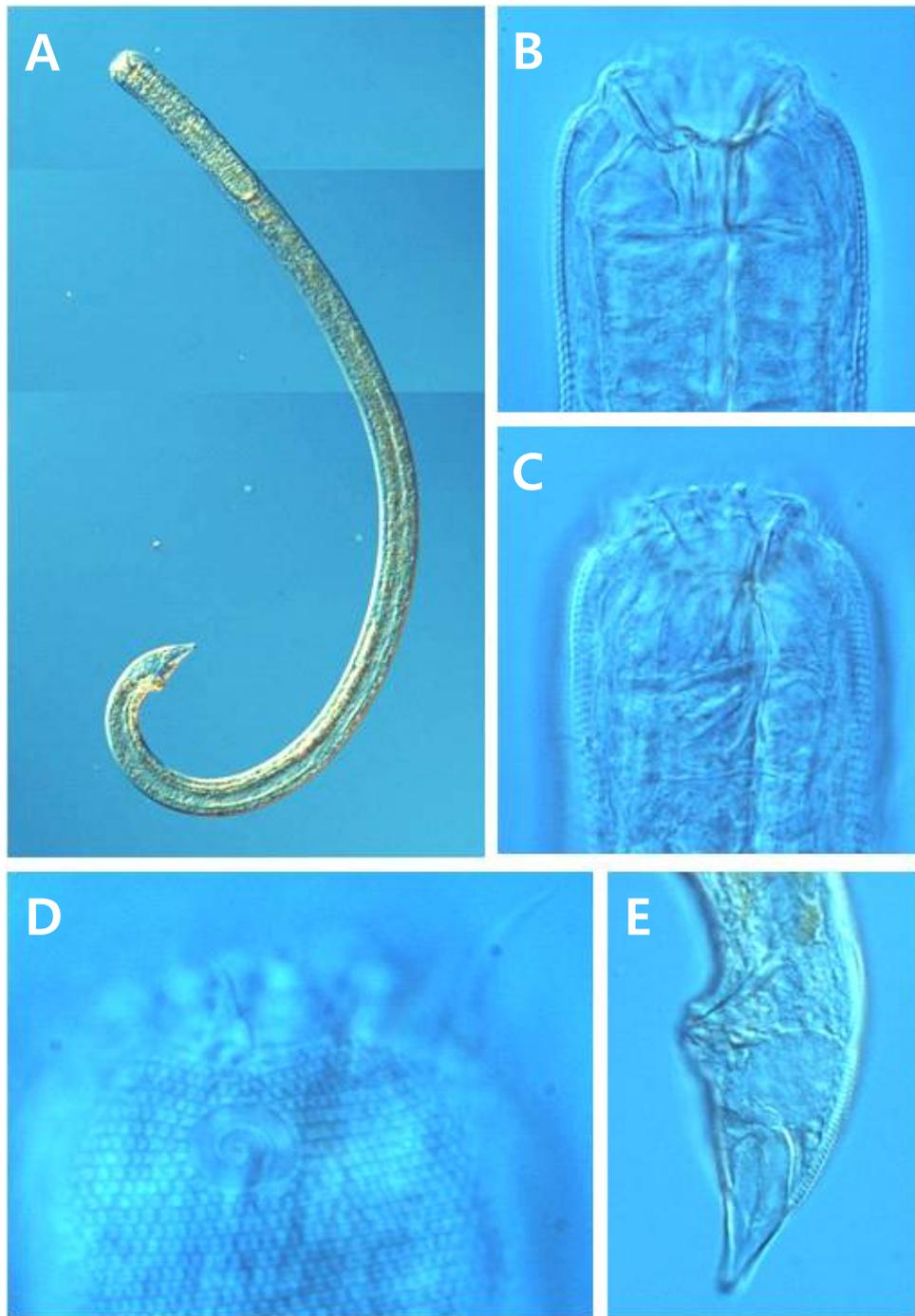


그림 6-6-12. *Gammanema* sp., A, habitus; B-C, head region; D, amphidial fovea; E, tail region.

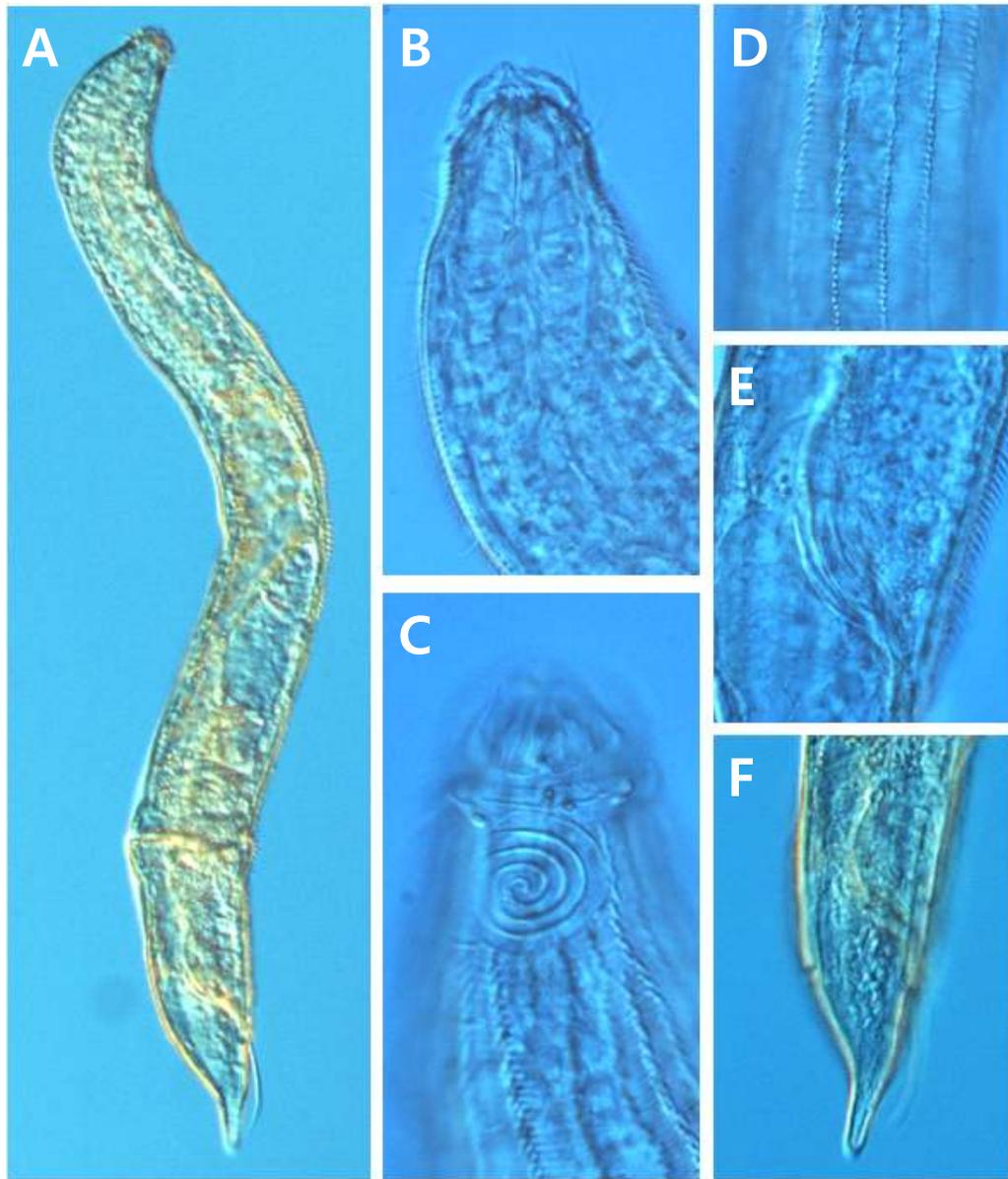


그림 6-6-13. *Richtersia* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, body cuticle pattern; E, spicule region; F, spicule and tail region.

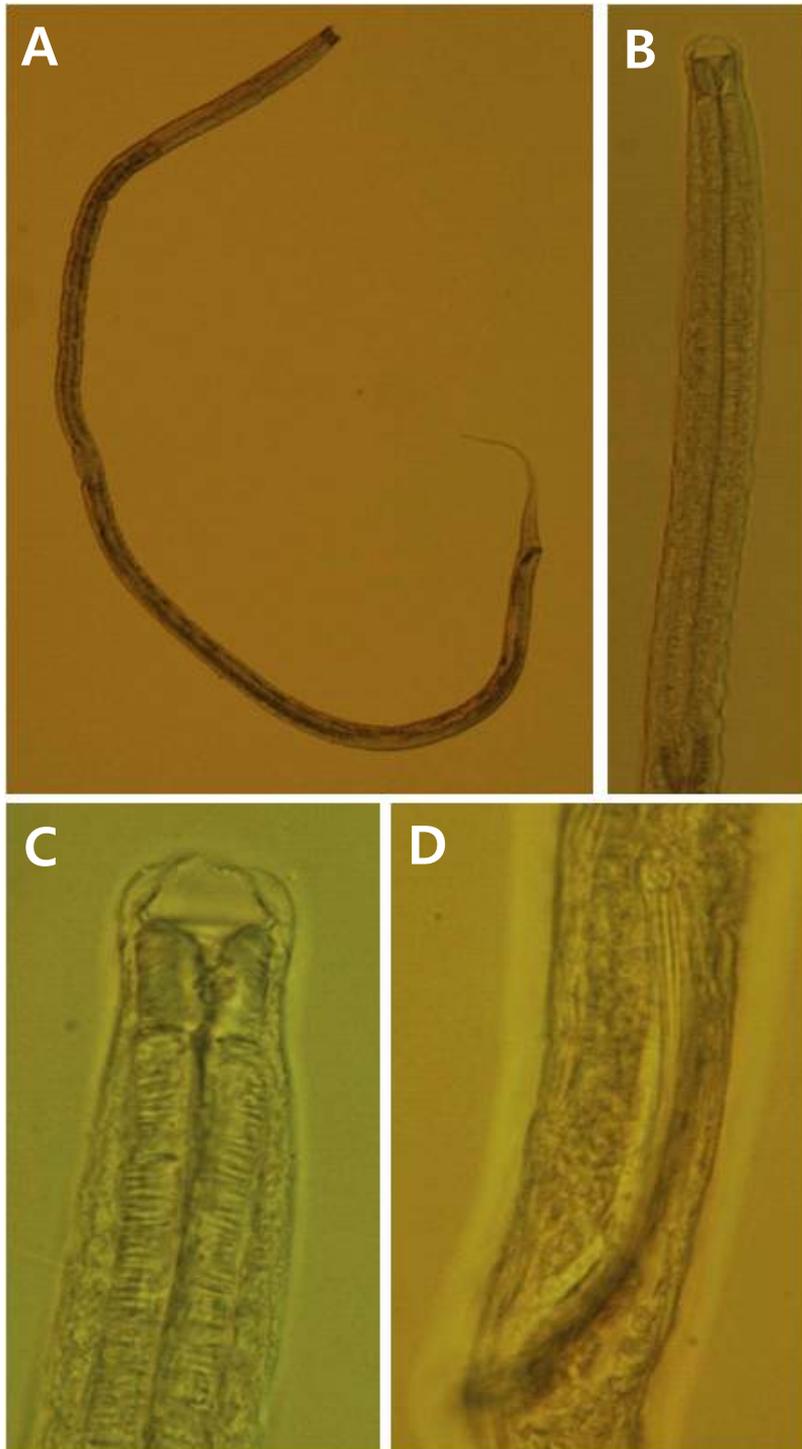


그림 6-6-14. *Paramonhystera* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head and pharyngeal region; C, head region; D, spicule region.

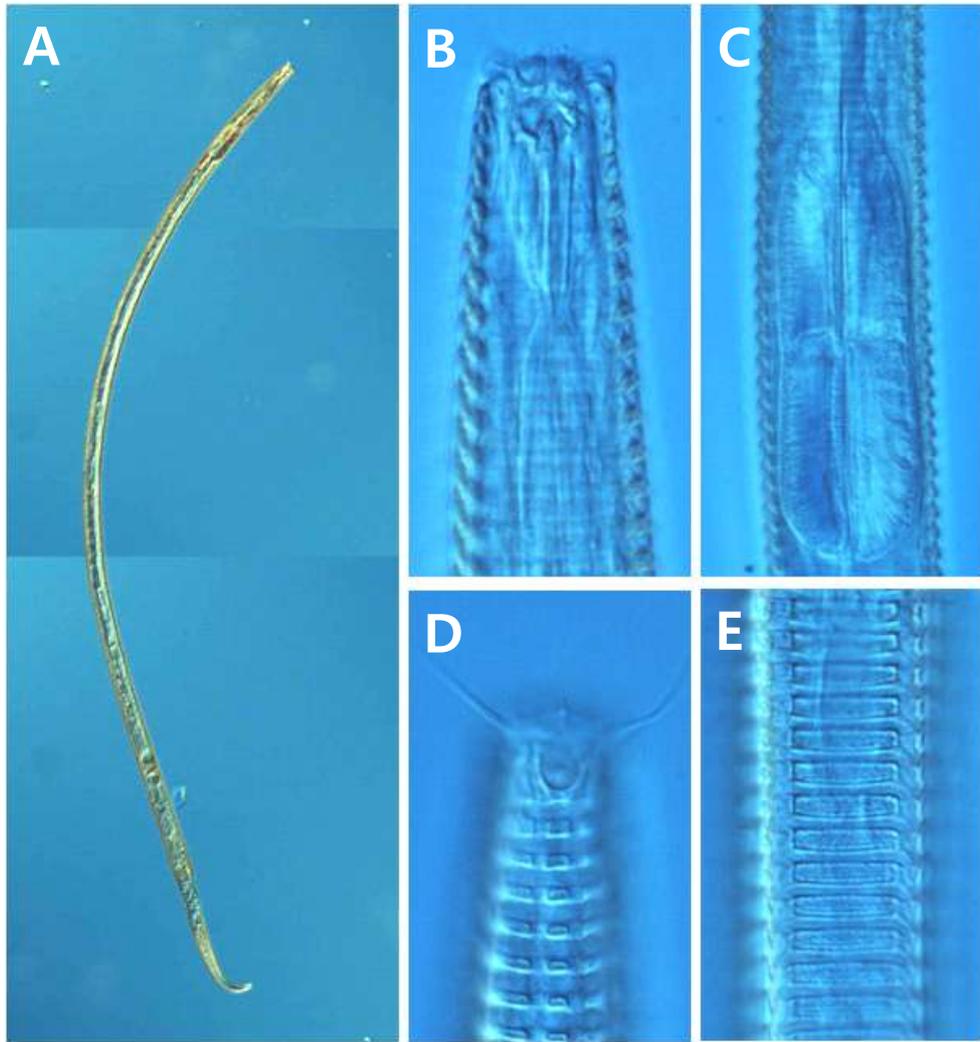


그림 6-6-15. *Monoposthia* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, pharyngeal region; D, amphidial fovea; E, body cuticle pattern.

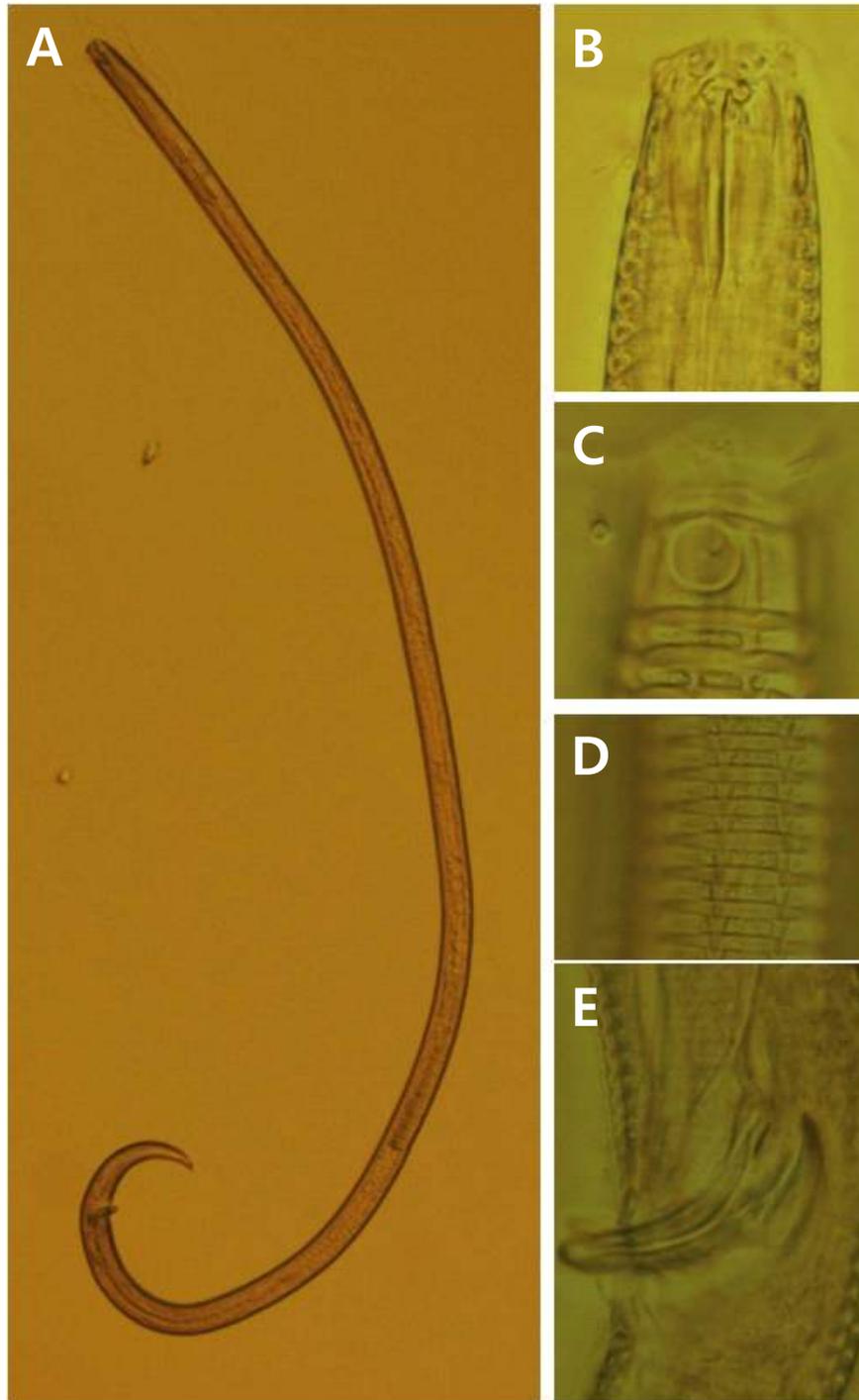


그림 6-6-16. *Rhinema* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, spicule region; D, body cuticle pattern; E, spicule region.

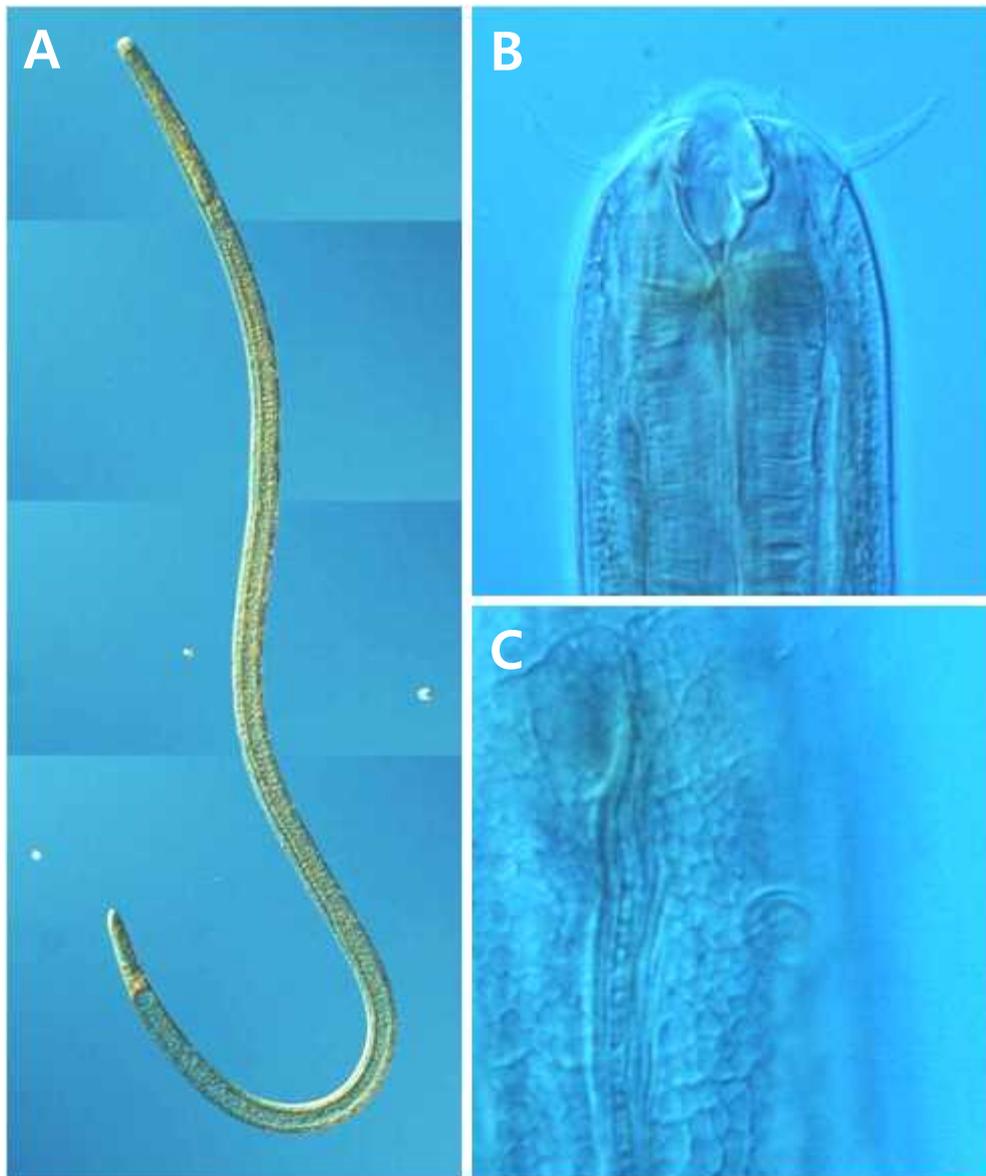


그림 6-6-17. *Synonema* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea.

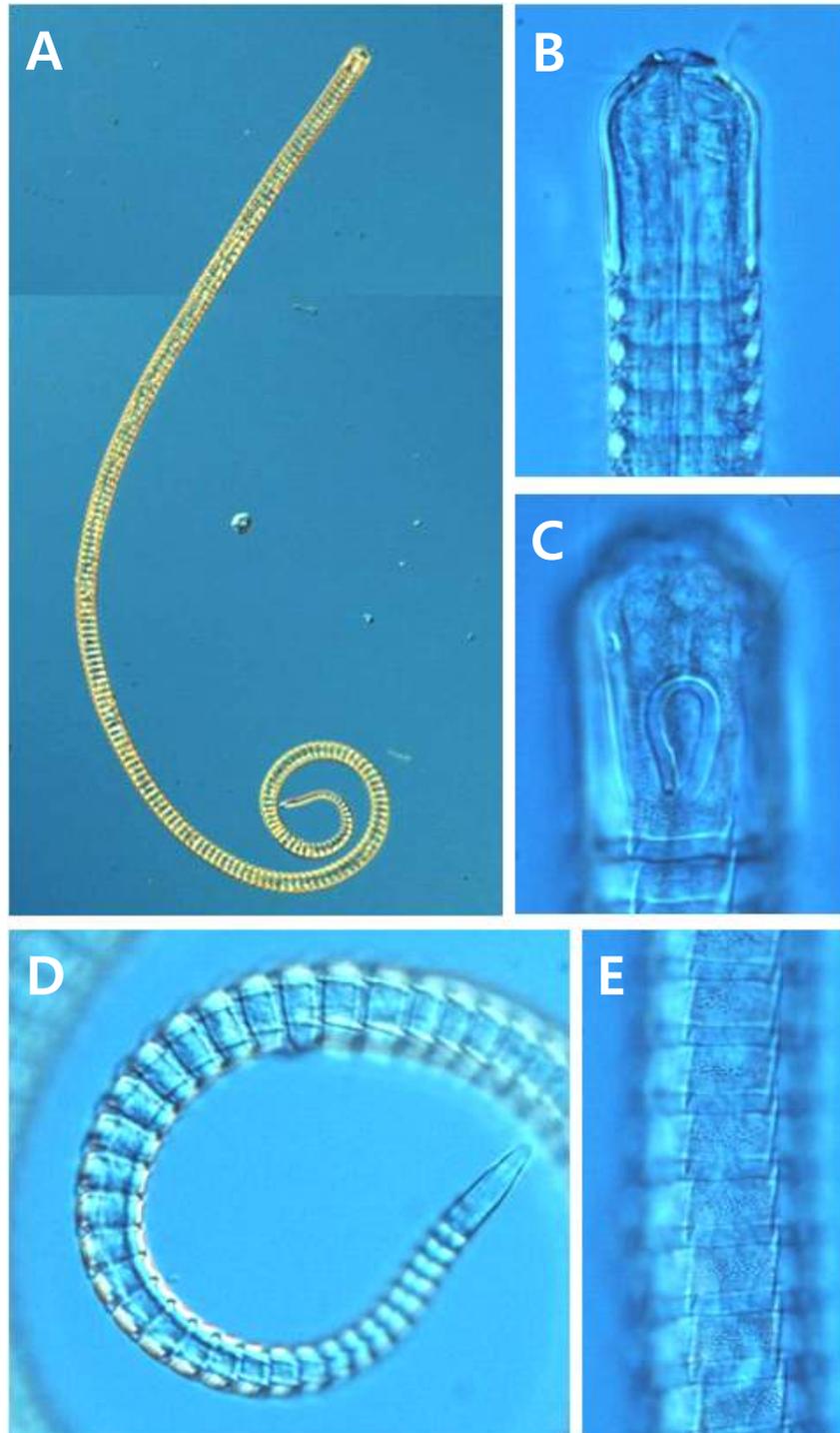


그림 6-6-18. *Ceramonema* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, tail region; E, body cuticle pattern.

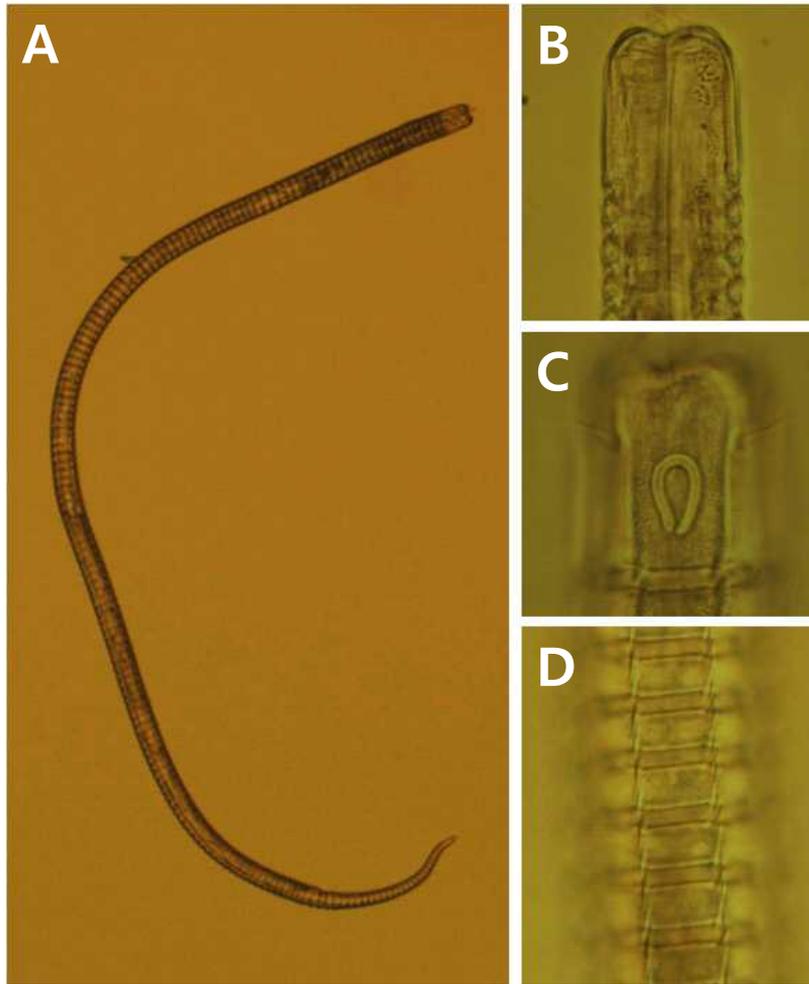


그림 6-6-19. *Pselionema* sp., DIC Photomicrographs, lateral view. A, habitus; B, head region; C, amphidial fovea; D, body cuticle pattern.

주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 기본연구사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 기본연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.