

BS  
PE  
99  
49  
5-  
11  
56  
8-5

원격탐사기반

주제별

연안국가기본도

제작기술

확립

한국해양과학기술원

BSPE99495-11568-5

원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도  
제작기술 확립

Establishment of the standard thematic mapping  
technique based on the remotely sensed data

2018.10.23

한국해양과학기술원

# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도 제작기술 확립” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2018. 10.

총괄연구책임자 : 유 주 형

참 여 연 구 원 : 구 본 주  
이 윤 경  
김 범 준  
김 계 림  
김 민 규  
서 재 환  
장 민 성  
신 지 현  
김 근 용

## 보고서 초록

과제고유 번호	PE99495	해당단계 연구기간	2015.06-2017.12	단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도 제작기술 확립			
연구책임자	유 주 형	해당단계 참여연구원수	총 :       명 내부:       명 외부:       명	해당단계 연구비	정부:       천원 기업:       천원 계 :        천원
		총연구기간 참여연구원수	총 :    10 명 내부:    2 명 외부:    8 명	총 연구비	정부: 146,000 천원 기업:       천원 계 :        천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양위성센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	102 page
<p>본 연구에서는 기존 국가기본도와 연계하여 연안 생태환경도를 제작함으로써 인위적 변화와 자연적 변화를 연계하여 분석할 수 있는 기반을 확립하고자 한다. 이를 위해서 다중위성자료 및 무인항공시스템을 사용한 연안환경의 분류 가능한 항목을 확인하고자 한다. 또한 연안생태환경도(퇴적상분포도, 지형도, 염생식물 분포도, 저서생물상 분포예측도 등)를 제작해 보고자 한다. 이를 위해 다른 특성을 갖는 갯벌이나 하구 3 곳을 선정하여 1:5000 및 1:25000 연안 생태환경도를 작성하고자 한다. 그리고 이들 주제도들이 국가기본주제도로 활용되기 위한 제도 개선안을 제시하고 주기적 업데이트를 위한 연안생태환경도 제작 표준안을 제시하고자 한다.</p> <p>이 연구를 통해 과학적 근거가 있는 연안생태환경도가 생성됨으로써 국내 연안환경의 단/장기적 변화 모니터링을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것이다. 또한, 해양환경변화 뿐만 아니라 연안의 양식장, 연안역 개발, 항만시설 등에 육상 환경 변화와 연계하여 사용가능하여 공유수면 관리 등 효율적인 연안역 관리에 사용될 수 있을 것이다.</p>					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	원격탐사, 연안, 국가기본도, 연안생태환경도, 공간변동성			
	영 어	Remote sensing, Coastal area, standard thematic map, coastal ecological map, Spatial variability			

# 요 약 문

## I. 제 목

### 원격탐사 기반 주제별 연안국가기본도 제작기술 확립

우리나라 연안은 대규모 간척사업(영종도, 시화호, 새만금 사업 등) 및 방조제 건설 등의 인위적 변화와 함께 해수면 상승과 같은 전 지구적 변화로 인하여 빠르게 변화하고 있다. 특히, 연안개발에 의하여 1998년을 기준으로 연안습지의 약 25% 이상이 소멸되었으며, 대규모 간척사업인 새만금 방조제가 완성되어 습지의 소멸은 더욱더 가속되는 실정이다. 따라서, 연안육역과 자연환경을 지속적으로 모니터링하고 관리하는 것은 학문적·환경적 필요성뿐만 아니라, 어업 및 관광업과 관련된 국민의 경제·사회·문화적인 측면에서 매우 중요한 과제이다. 또한, 연안에서 발생하는 연안 생태계 환경문제에 능동적으로 대처하기 위해서는 연안환경에 대한 신뢰성 있는 자료와 관리 시스템이 필수적이다. 현재, 원격탐사를 활용한 연안 연구는 활발히 수행되었지만 아직까지 해양수산부의 연안주제도 제작이나 연안습지 면적조사 등에 실질적으로 사용되고 있지 않다.

본 연구에서는 기존 국가기본도와 연계하여 연안 생태환경도를 제작함으로써 인위적 변화와 자연적 변화를 연계하여 분석할 수 있는 기반을 확립하였다. 서 다중위성자료 및 무인항공시스템을 사용한 연안환경의 분류 가능한 항목을 확인하였으며, 연안생태환경도(퇴적상분포도, 지형도, 염생식물 분포도, 저서생물상 분포예측도 등)를 제작하였다. 이를 위해 다른 서식지 특성을 갖는 황도갯벌, 낙동강 하구, 가로림만 갯벌을 연구지역 선정하여 1:5000 및 1:25000 연안 생태환경도를 작성하였다.

이 연구를 통해 과학적 근거가 있는 연안생태환경도가 생성됨으로써 국내 연안환경의 단/장기적 변화 모니터링을 위한 기초자료로 활용이 가능할 것이다. 또한, 해양환경변화 뿐만 아니라 연안의 양식장, 연안역 개발, 항만시설 등에 육상 환경 변화와 연계하여 사용가능하여 공유수면 관리 등 효율적인 연안역 관리에 사용될 수 있을 것이다.

## S U M M A R Y 및 KEYWORDS

The coast of Korea is rapidly changing due to artificial influences in large reclamation projects (Yeongjongdo, Sihwa Lake, Saemangeum Project, etc.) with global changes such as rising sea level. In particular, more than 25 percent of coastal wetlands were destroyed as of 1998 by coastal development, and the destruction of wetlands became even more aggravated as large reclamation projects were completed. Therefore, continuous monitoring and management of coastal areas and natural environment is a urgent task not only in academic and environmental needs, but also in terms of economic, social and cultural aspects of the people involved in fishing and tourism. In addition, reliable data and management systems for offshore environments are significant to proactively address coastal ecosystem environmental issues. Currently, the researches of coastal environment using remote sensing techniques have been conducted actively, but it has not yet been used to produce coastal thematic maps by the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries or to survey the area of coastal wetlands.

In this project, we intend to establish a basis for analyzing natural and artificial changes by creating coastal ecological maps in conjunction with existing national fundamentals. Firstly, we identified the categorizable classes of offshore environment using multiple satellite data and unmanned aerial systems. The thematic map of coastal environment (distribution map of sedimentary facies, topography, halophyte, macrobenthos) was produced with scale 1:5000 and 1:25000 on Hwang-Is, estuarine of Nakdong-river, and tidal flat of Garolim Bay. Finally, we propose a plan to improve the system to be used as a basic national agenda, and standards for producing coastal ecosystems for periodic updates. It would be considered that the development of

the coastal thematic maps produced with this project will be used as basic data for monitoring short- and long-term changes in the local coastal environment.

KEYWORDS : Remote sensing, Coastal area, standard thematic map, coastal ecological map, Spatial variability

# C O N T E N T S

## I . Introduction

## II . Trends in the research at domestic and overseas

1. Domestic
2. Overseas

## III. Result

1. Establishment of the thematic mapping system and standardization
2. Study area and in-situ data
3. Coastal area elevation mapping
4. Sedimentary facies mapping
5. Benthos habitat mapping

## IV. Achievement of research estimation and contribution to other area

1. Achievement estimation
2. Contribution

## V. Plan to application of the study

## VI. References

# 목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

- 1 절 국내동향
- 2 절 국외동향

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

- 1 절 주제도 분류체계 수립 및 표준안 제시
- 2 절 연구지역 및 자료
- 3 절 연안지형고도
- 4 절 연안표층분포도
- 5 절 연안저서생물분포 예측도

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

- 1 절 연구개발목표 달성도
- 2 절 대외기여도

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 6 장 참고문헌



## 제 1 장 서론

- 연안은 해안선으로부터 해양환경에 영향을 미치는 일정 범위의 육역과 육역에서의 활동에 의해 영향을 받는 바다를 포함하는 접이지대로서 만, 갯벌, 백사장, 해식애, 삼각주, 기수역 등의 다양한 자연환경 형태로 구성되어 있다(윤 등, 2003).
- 연안습지에서는 부유물질과 용존성 물질이 침전/여과되며, 호기/혐기 과정에 의해서 영양염류가 소화/분해되는 등의 과정을 통해 해양 및 육지로부터 유입되는 오염물질들을 자연적으로 정화하는 역할을 하고있다(김과 양, 2001).
- 최근에는 탄소흡수원으로써의 연안습지의 역할이 대두되고 있다. 연안습지에 주로 서식하는 갈피, 염생식물, 저서미세조류의 광합성을 통해 탄소가 흡수되고 조석/파도 등의 물리적 작용에 의해 갯벌퇴적물에 탄소가 포집되는 현상이 연구되었다(Mcleod et al., 2011).
- 우리나라 경우 다양한 연안개발 활동에 의하여 1998년을 기준으로 연안습지의 약 25% 이상이 소멸되었으며, 대규모 간척사업인 새만금 방조제가 완성된 이후 습지의 소멸은 더욱더 가중되는 실정이다(제종길, 2001).
- 중국 역시 1950년부터 매립을 통해 약 57%의 연안습지가 사라졌으며, 특히 급격한 도시화와 경제성장으로 인한 사회기반시설 조성을 위하여 2006년부터 2010년까지 연평균 약 400 km<sup>2</sup>의 연안습지가 간척된 것으로 알려져 있다 (최영래, 2011).
- 연안습지는 육상과 해양이 연결되는 일종의 전이지대로서 두 공간의 특성을 공유하고 있다. 연안습지는 전국토 영역 중 2.4%의 높은 비율을 차지하고 있으며, 수산물의 생산지, 오염물질의 정화지, 환경교육장, 관광지 등의 다양한 기능을 갖추고 있지만 효과적인 관리가 부족하여 그 기능을 충분히 활용하지 못하고 있다.
- 연안 갯벌과 그 주변 연안 습지대는 바지락, 동죽, 백합류, 낙지, 갯지렁이, 김 등 여러 연안 수산물의 생산지이면서 어류와 유용 무척추동물 등 해양생물의 주 산란장이자 성육장이다. 우리나라의 연안습지는 세계적으로 주목받는 연안 습지 가운데 하나이며 국제협약 (람사르협약) 상에 반드시 보존해야 할 철새와 해조류의 서식지로 주목받는 곳이다(MacKinnon et al., 2012).
- 우리나라 연안은 대규모 간척사업(영종도, 시화호, 새만금 사업 등) 및 방조제 건설 등의 인위적 변화와 함께 해수면 상승과 같은 전 지구적 변화로 인하여 빠르게 변화하고 있으며, 이로 인한 생태계 파괴는 먹거리의 감소뿐만 아니라 해당 지역 주민의 경제적 기반을 위협하고 있다.
- 간척·매립과 연안오염 증대로 인해 연안습지와 주변 서식지가 심하게 유실되고 있으며, 이미 연안습지의 약 25% 이상이 유실되었다. 유실되지 않은 지역들도 심각하게 훼손되고 있어 해양 생물다양성의 유지를 위해 연안습지의 보존이 시급히 요구된다.

- 연안에 위치한 원자력발전소에서 배출되는 온배수로 인한 연안해수환경의 변화, 허베이스피리트호 기름유출사고와 같은 유류유출에 의한 연안 환경오염으로 인해 어장환경이 악화되고 있다.
- 연안습지에 대한 사회적인 인식 변화로 연안습지의 공공적인 이용 - 관광, 교육, 연구 장소로서의 가치나 활용도가 급격히 높아지고 있어, 사회적으로 연안습지 복원 및 관리의 필요성이 제기되고 있다.
- 민간단체를 중심으로 연안습지 보전의 노력은 활발하게 이루어지고 있지만, 연안습지에 대한 기초 자료와 연안습지의 가치, 보호구역, 생태관광 등과 관련한 이해 부족으로 실질적인 보전 효과가 크지 않다.
- 연안 습지를 비롯한 해양환경 보전에 대한 국민의식이 고취되고 있고, 연안습지의 기능에 대해 알고자 하는 사회적인 욕구가 급등하고 있으나 연안습지 특성과 가치에 대한 정량화된 자료가 없어 개발과 보전 입장 사이에 심각한 갈등 구조가 형성되고 있다.
- 최근에는 블루카본(Blue carbon)과 같은 연안습지에 대한 새로운 가치가 발견되기도 하였으며, 사회적 인식의 변화로 연안습지의 활용 및 관리에 대한 요구가 급격하게 커지고 있다.
- 연안유역과 자연환경을 지속적으로 모니터링하고 관리하는 것은 학문적·환경적 필요성뿐만 아니라, 어업 및 관광업과 관련된 국민의 경제·사회·문화적인 측면에서 매우 중요한 과제이다. 일례로 농업용수 확보와 농경지 염해 방지를 위해 설치된 방조제로 인하여 연안에서 발생하는 생태계 및 환경문제에 능동적으로 대처하기 위해서는 연안환경에 대한 신뢰성 있는 자료와 관리 시스템이 필수적이다.
- 연안습지의 효율적인 관리 및 복원과 해양오염에 과학적, 체계적으로 대처하기 위해서는 연안습지의 변화를 세부적으로 확인할 수 있는 지도가 필요하다. 또한, 시군구 단위 지자체의 경우 해안침식, 바지락 폐사, 유류유출로 인한 피해보상, 갯끈풀 침입에 따른 저서생물의 변동 등의 현안 해결을 위해서, 군(軍)의 경우 상륙작전 및 특수전 수행을 위한 작전환경데이터 구축을 위해서 대축척 급 연안주제도 제작에 대한 요구가 증가하고 있다.
- 동아시아 철새의 개체 수 급감의 원인을 밝히기 위해 동아시아 철새이동 중간기착지인 황해연안의 갯벌면적변화와 연안환경 변화에 대한 모니터링이 요구되고 있다. 하지만, 현재 국가기관에서 제공하고 있는 연안주제도의 경우 이러한 사용자의 요구사항을 충족시키기에 한계가 있다.
- 환경부에서 제공하는 토지피복도에서 연안은 중분류로 연안습지 1항목, 세분류로 갯벌, 염전의 2항목으로만 분류하고 있으며, 생태적 가치를 등급화하는 생태·자연도에서 별도관리구역으로 대부분 제외되어 있다.
- 반면 해양수산부의 연안주제도는 해안, 해상구역, 양식장, 산업단지, 연안항 등의 15 항목으로 분류되어 있으나, 원격탐사 기반이 아니라 축척이나 분류방법이 제

계적이지 않아 지속적 관리와 업데이트가 어려운 실정이다.

- 또한, 1998년부터 5년 주기로 해양수산부에서 실시하는 연안습지 면적조사의 경우 면적산출시기마다 습지의 면적을 결정하는 기준이 달라 갯벌 면적 및 그 변화를 계산하기 어렵다.
- 절대농지나 산업용지 확보 차원에서 연안습지 매립·간척되어 왔으나 이 과정에서 지나치게 많은 연안습지생태계가 훼손되어 수산물 생산량의 감소를 초래하였고, 수산자원의 지속적인 이용에도 많은 문제점을 야기하고 있으나 정확한 훼손 면적이나 손실자료를 통계화 할 수 없다 (1987년 이후에만 전체의 연안습지 15% 이상이 훼손되어진 것으로 파악된다).
- 해양환경관리공단에서 제공하는 바다생태정보나라 전자지도는 해양생태계조사를 통해 조사정보는 제공하나 도면화 된 정보는 제공하지 않는다.
- 국가 해양생태계 종합조사에서 갯벌지형은 지역에 따라 측선을 설정한 후 만조선에서 간조선에 이르는 지형단면과 고저차를 수준측량을 통해 실측한다. 이때, 연안을 대표할 수 있는 측선을 설정하여 실측하지만 갯벌의 3차원적인 정보를 획득하기 어렵고, 이를 통해 갯벌의 침/퇴적 양상을 파악하는 것 역시 어려운 상황이다.
- 음향측심기 (Eco-sounder)를 사용하여 연안의 수심을 실측하지만 수심이 낮아 배의 진입이 어려운 곳에서는 측량이 어렵다. 수심 기준면에 있어서도, 해도/전자해도의 경우 수심을 일정 수준 이하로 내려가지 않는 면으로 규정하고 있다. 그에 따라 통상적으로 해도/전자해도는 수심기준면으로 약최저저조면을 사용하지만, 수치지형도에서의 표고 기준은 평균해면이다. 이렇게 육상과 해상의 기준점이 다르기 때문에 육상과 해상이 연계된 연안지형도 생성을 위해서는 기준점을 일원화하는 과정이 필요하다.
- 따라서 기존 국가기본도와 연계하여 연안토지피복에 대한 체계 수립이 필요하며 연안생태환경도 제작을 추가함으로써 인위적 변화와 자연적 변화를 연계하여 분석할 수 있는 공간 DB를 확보하고자 한다.

## 제 2 장 국내외 기술개발 현황

### 1 절. 국내동향

#### 1. 원격탐사 기반 주제별 연안생태환경도 작성 연구

- 1970년대 이후 다양한 인공위성 원격탐사 기술의 발달과 관측 자료의 축적으로 위성 원격탐사 자료와 연안 퇴적환경과의 관계 분석을 통한 연안 환경 모니터링 연구가 진행되고 있다.
- 광학영상의 시계열 자료를 이용한 갯벌의 퇴적 변화량 측정 및 퇴적 작용의 경향성, 염생식물 분포, 저서생물 분포 예측도 생성 등의 갯벌 연구가 활발히 이루어지고 있다 (Ryu et al., 2008; Lee et al., 2011; Choi et al., 2011).
- 또한, 최근에는 무인 항공시스템을 사용하여 연안의 지질/생태 환경 모니터링에 정밀도를 향상시키는 연구가 진행되고 있다.
- 하지만, 원격탐사 기반으로 생성된 다양한 생태환경도면들이 해양수산부에서 제공하는 연안주제도 서비스에 포함되어 있지 않다. 또한 해양환경관리공단에서 실시하는 해양생태계조사 항목 중 원격탐사를 기반으로 분석이 가능한 조사항목(자연환경, 퇴적환경, 염생식물, 저서생태의 시공간적 패턴 등)이 있음에도 원격탐사를 활용이 미비한 실정이다.

#### 2. 다중위성 기반 연안환경 연구

- 2000년대 이후 다중위성자료를 사용하여 우리나라 서해안 갯벌의 해안선 변화, 면적변화, 미세저서조류, 생물상의 특성 등이 집중적으로 연구된다.
- 다중위성자료 뿐만 아니라 고해상도의 LiDAR 자료와 GIS 기술을 접목하여 정량적인 갯벌의 퇴적물과 퇴적상의 변화 및 염생식물의 분포변화를 분석하는 등 다양한 갯벌 환경 변화를 관측하는 연구가 이루어지고 있다 (Choi et al., 2010; Choi et al., 2011). 또한, 최근에 발사된 TanDEM-X Pol-InSAR inversion 기법으로 광역적인 지역에 대한 정밀도 높은 3차원 지형도를 생성하는 연구가 진행되고 있다 (Lee et al., 2015).
- 또한, 새만금 방조제 건설에 따른 해류변화에 의하여 주변 갯벌에서 일정 시간을 가지고 지연적으로 나타나는 지형변화를 다중위성 자료로부터 분석한 연구가 있다 (Lee et al., 2015).
- 지금까지 다중위성을 사용하여 연안의 일부지역이나, 또는 육역과 해역을 나누어 연구한 적은 많으나 이들을 통합적으로 연구하여 종합적으로 해석하려는 노력

은 부족하였다.

- 따라서, 기존의 국가기본주제도와 연계하여 다중위성을 활용한 연안토지피복분류에 대한 체계수립이 필요하며, 연안생태환경도 제작을 위해 기 수행된 연안환경 연구를 바탕으로 주제도별·축적별로 최적화된 알고리즘에 설정에 대한 학문적 정의가 필요하다.

## 2 절. 국외동향

### 1. 원격탐사 자료기반 연안환경 연구

- 연안습지는 짧은 간조로 인하여 광역적인 변화 측정에 어려움이 따르기 때문에 인공위성을 이용한 연구가 시작되었으며 (Butle and Walsh, 1998) 특히 위성원격탐사는 전지구 또는 중/대규모의 해양 현상을 탐지할 수 있는 유일한 도구이다.
- 호주의 Murray et al. (2012, 2014)은 황해 및 동중국해 연안의 갯벌 면적과약을 위해 Landsat TM/ETM+ 자료를 사용하여 NDWI (Normalized differenced water index)지수를 생성하여 적용한 결과, 1980년대 이후 황해 및 동중국해 연안의 갯벌이 약 28% 감소한 것으로 분석하였다. 하지만, 황해 연안 갯벌의 낮은 이해도와 원격탐사기법의 제약으로 인하여 정성적 추정에 그쳤다.

### 2. 원격탐사 및 GIS기법을 사용한 연안 환경변화 연구 및 활용

- 영국·네덜란드·스페인·루마니아의 연구진들은 유럽연합 (European Union, EU)에서 펀드를 받는 FAST (Foreshore Assessment using Space Technology) 사업을 통해 강 하구 및 연안의 환경변화를 공간DB화하여 연안 특성 별 환경변화를 예측하는 연구를 수행 중이다. 이를 위해 다중위성자료 및 현장자료를 공간 DB화한 뒤 GIS기법을 사용하여 연안의 퇴적상, 생물상, 지형에 대한 종합적인 분석을 진행 중에 있다.
- 미합중국 지질조사국 (United states Geological Survey, USGS)은 장·단기 해안 변화분석 및 연안관리 목적으로 고해상도 항공사진과 위성영상을 적극 활용하고 있다. 특히, 허리케인에 의해 침수가 빈번이 일어나는 걸프만의 연안변화분석을 위해 항공사진 기반의 연안분류맵핑 연구가 수행 중이다.
- 독일, 미국, 호주 등은 일부 연안에 대하여 연안토지피복도를 오픈플랫폼 형식의 웹서비스로 제공하고 있다.

## 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

### 1 절. 주제도 분류체계 수립 및 표준안 제시

#### 1. 원격탐사기반 연안 토지피복도/생태환경도 체계 분석

##### 가. 2017년도 국가공간정보정책 시행계획 - 해양분야

- 공간정보는 ‘공간’을 기반으로 정보(Information)를 연결·융합하여 새로운 부가가치를 가진 지식(Knowledge)을 창출하고, 이를 기반으로 국토를 안전하게 관리할 수 있는 자원이다.
- 2017년도에 추진한 공간정보 사업은 총 722개 사업으로 예산은 3,133억원 규모이다. 해양분야 사업은 6개 사업으로 전체예산의 약 6%인 24,148백만원 규모이다 (국토교통부, 2017). 이 중 국가연안기본조사와 국가해양기본도구축사업이 가장 큰 예산을 차지한다.
- 2015년도 중앙부처 국가공간정보정책 중 해양분야는 7가지이다
  - 국가해양기본도 구축사업 (해양수산부)
  - 국가연안기본조사 (해양수산부, 국립해양조사원)
    - 목표: 최신측량장비를 이용한 정밀측량 시행으로 대축척 해도제작
    - 사업기간: 2001 ~ 계속
    - 당해년도 계획: 연차별 수립계획에 따라 1/5,000 축적 수준의 조사 실시
  - 실시간해양관측정보시스템구축 (해양수산부, 국립해양조사원)
    - 목표: 해양정보 및 예보 제공
    - 사업기간: 2007 ~ 계속
    - 당해년도 계획: 해양관측자료 표준화 적용 강화 /표준데이터 필터 및 제공시스템개발 / 최적화 스마트기반 마련
  - 연안관리정보시스템 구축사업 (해양수산부)
    - 목표: 연안지도, 연안 통계 등 대민 서비스 제공 / One-Stop 행정업무시스템 구축 및 공유체계 확립/ 연안침식통합관리시스템 구축
    - 사업기간: 1999 ~ 계속
    - 당해년도 계획: 공유수면통합행정업무시스템 구축 및 연안관리정보시스템 재개편/ WebGIS 기반 연안침식통합관리시스템구축/연안관리정보시스템 DB구축
  - 항만지하시설물정보구축용역 (해양수산부)
    - 목표: 항만공간정보 스마트워크 환경구축

- 사업기간: 2002 ~ 계속
  - 당해년도 계획: 항만지하시설물 정보구축
  - 종합해양정보시스템(TOIS)사업 (해양수산부, 국립해양조사원)
    - 목표: 해양조사, 측량 및 관측자료를 표준화된 공간 DB로 체계적인 관리
    - 사업기간: 2001 ~ 계속
    - 당해년도 계획: 해양공간정보 DB구축/해양조사서비스 고도화
  - 전자해도제작사업 (해양수산부, 국립해양조사원)
    - 목표: 관할해역에 대한 고정밀 전자해도 DB구축/ 전자해도 최신화 유지관리
    - 사업기간: 2000 ~ 계속
    - 당해년도 계획: 전자해도 제작 및 개발
- 2015년에 추진하는 공간정보사업은 총 381개 사업으로 예산은 3,204억원 규모이며, 전년 2,975억원 대비 229억원(7.6%)이 증가하였다. 해양분야 예산은 총 18,247백만원으로 전체예산의 5.7%에 해당한다. 해양분야 예산 중 29,987백만원이 해양수산부 시행계획 예산이다.
- 해양수산부에서 주관하는 7개 사업에 대한 지난 3년간의 예산은 그림 3-1-1-1과 같다. 국가연안기본조사가 약 12,500백만원, 국가해양기본도구축사업이 약 11,000백만원으로 해양수산부에서 가장 큰 사업이다. 또한 전자해도제작사업에 대한 예산이 꾸준히 증가되고 있다.

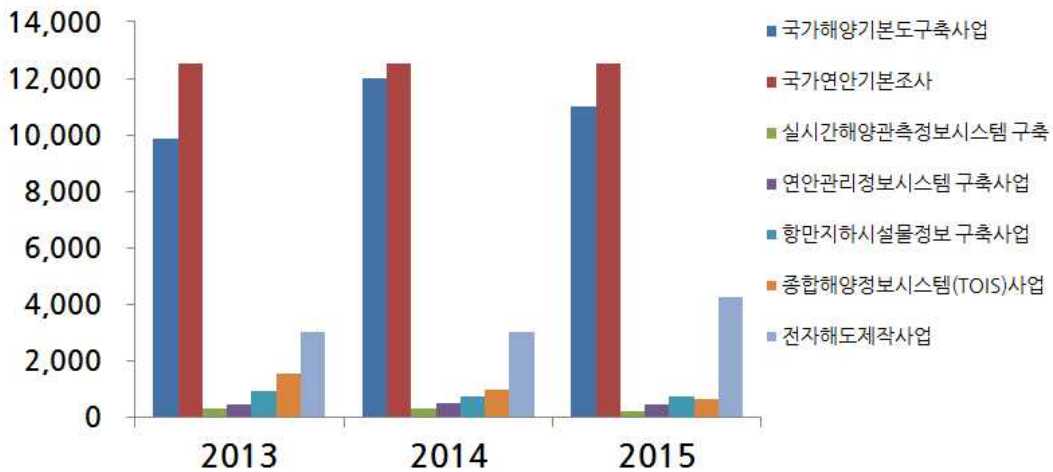


그림 3-1-1-1. 해양분야 공간정보 사업 예산

#### 나. 국외 토지피복 분류체계 분석

- 미국은 1990년대부터 연방지리정보위원회(FGDC : Federal Geographic Data Committee)가 주축이 되어 국가공간정보기반을 구축하였다.
- 또한 미국 내의 다양한 공공기관들로부터 제공된 공간자료를 바탕으로

MRLC(Multi-Resolution Land Characteristics) 컨소시엄을 구성하여 미국 전체를 대상으로 한 토지피복 주제도 데이터베이스인 NLCD(National Land Cover Database)를 구축하였다(그림 3-1-1-2).

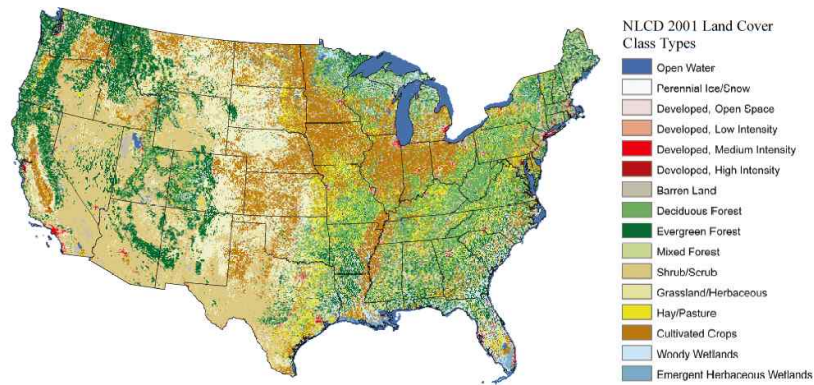


그림 3-1-1-2. 미국 NLCD 2001 구축 현황

- 영국의 토지피복지도(Land Cover Map, LCM)는 생태·수자원센터(CEH : Center for Ecology & Hydrology)에서 생산되고 있다.
  - CEH는 영국의 환경청(Natural Environment Research Council) 산하기구로 토지, 토양 및 수질에 관련된 연구 및 기초자료를 수집/생산하는 기관이다.
  - 토지피복분류정보(BHSub & BHSub Var)외에 위성영상으로부터 추출된 픽셀 정보 및 작업이력정보 등을 제공함으로써 사용자의 정보활용성을 높이고 있다.

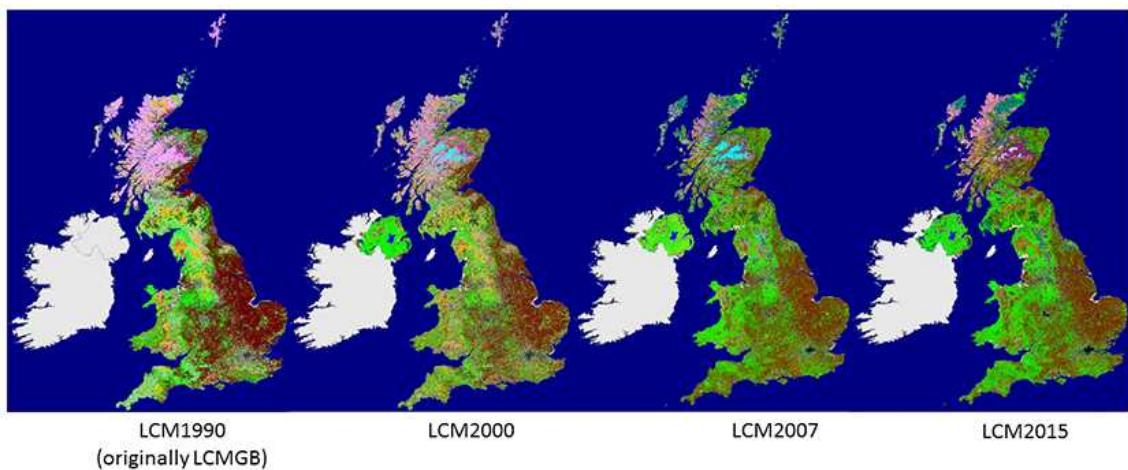


그림 3-1-1-3. 영국 LCM 시리즈(CEH 홈페이지 제공)

- 유럽연합은 1985년 CORINE (Coordination of information on the Environment) 프로젝트를 발주하여 유럽의 토지피복데이터인 CLC90 (Corine Land Cover)을 구



축하였고, 이를 2000년 대에 들어서 CLC2000으로 갱신하였다(그림 3-1-1-4). 표 3-1-1-1에서 참여국가의 현황을 확인할 수 있다.



그림 3-1-1-4. CLC 2000 자료 화면(Copernicus 프로그램 홈페이지 제공)

표 3-1-1-1 유럽 연합 각국의 CLC 2000 구축 현황

Country	Scale	Projection	Number of sheets
Belgium (B)	1:100,000	Lambert	24
	1:50,000	Lambert	74
Denmark (DK)	1:100,000	UTM	34
Germany (D)	1:100,000	Gauss Kruger	
- former Federal Republic of Germany			151
- former German Democratic Republic			115
Greece (GR)	1:200,000	UTM	54
	1:100,000	UTM	134
	1:50,000	Azimuthal equidistance	333
Spain (E)	1:100,000	UTM	297
France (F)	1:100,000	Lambert	293
Ireland (IRE)	1:126,720	Transverse Mercator	20
Italy (I)	1:100,000	Gauss Boaga	278
Luxembourg (L)	1:100,000	Gauss	1
Netherlands (NL)	1:100,000	Stereographic	8
Portugal (P)	1:100,000	Bonne	53
United Kingdom (UK)	1:50,000	Transverse Mercator	204
	1:250,000	Transverse Mercator	17
- Northern Ireland	1:126,720	Transverse Mercator	5
<b>Total number of sheets(1:100,000 and 1:126,720)</b>			<b>1,413</b>

다. 환경부의 토지피복도 분석

- 환경부에서는 친환경적인 국토이용 및 관리를 위해 1998년부터 대분류(1/50,000) 토지피복도 구축을 시작으로, 중분류(1/20,000) 토지피복도의 구축 및 갱신을 진행하고 있다. 정부의 국정과제 정책수립에 따라 자연환경, 수질환경 및 국토환경보전 관리에 더 정밀한 국토정보가 필요하게 되어, 2002년부터 대축척 토지피복도가 시범적으로 제작되고 있다.

분류항목명	대분류 (7개 항목)				중분류 (22개 항목)					세분류 (41개 항목)													
	분류코드	분류색상	색상코드			분류항목명	분류코드	분류색상	색상코드			분류항목명	분류코드	분류색상	색상코드								
			R	G	B				R	G	B				R	G	B						
시기화·건조지역	100	[Red]	255	0	0	주거지역	110	[Light Yellow]	254	230	194	단독주거시설	111	[Light Yellow]	254	230	194						
						공업지역	120	[Brown]	192	132	132	공동주거시설	112	[Light Yellow]	233	193	111						
						상업지역	130	[Pink]	237	131	184	공업시설	121	[Brown]	192	132	132						
						문화·체육·휴양지역	140	[Red]	246	113	138	상업·업무시설	131	[Pink]	237	131	184	문화·체육·휴양지역	132	[Brown]	223	176	164
												문화·체육·휴양시설	141	[Red]	246	113	138						
						교통지역	150	[Red]	247	65	42	공항	151	[Magenta]	229	38	254	항만	152	[Red]	197	50	81
												철도	153	[Red]	252	4	78	도로	154	[Red]	247	65	42
												기타 교통·통신시설	155	[Red]	190	0	0	환경기초시설	161	[Orange]	246	117	18
												교육·행정시설	162	[Orange]	255	122	0	기타 공공시설	163	[Orange]	199	88	27
												공공시설지역	160	[Yellow]	246	177	18	경지정리가 된 논	211	[Light Yellow]	255	255	191
						농업지역	200	[Yellow]	238	233	7	논	210	[Light Yellow]	255	255	191	경지정리가 안 된 논	212	[Light Yellow]	244	230	168
												밭	220	[Yellow]	247	249	102	경지정리가 된 밭	221	[Yellow]	247	249	102
																		경지정리가 안 된 밭	222	[Yellow]	245	228	10
시설재배지	230	[Yellow]	223	220	115							시설재배지	231	[Yellow]	223	220	115						
과수원	240	[Yellow]	184	177	44							과수원	241	[Yellow]	184	177	44						
기타재배지	250	[Yellow]	184	145	18							목장·양식장	251	[Yellow]	184	145	18						
												기타재배지	252	[Yellow]	170	100	0						
산림지역	300	[Green]	42	75	45	활엽수림	310	[Green]	51	160	44	활엽수림	311	[Green]	51	160	44						
						침엽수림	320	[Green]	10	79	64	침엽수림	321	[Green]	10	79	64						
						혼효림	330	[Green]	51	102	51	혼효림	331	[Green]	51	102	51						
						자연초지	410	[Green]	161	213	148	자연초지	411	[Green]	161	213	148						
초지	400	[Green]	57	153	38	인공초지	420	[Green]	96	126	51	골프장	421	[Green]	128	228	90						
						묘지	422	[Green]	113	176	90	기타 초지	423	[Green]	96	126	51						
												내륙습지	510	[Purple]	180	167	208	내륙습지	511	[Purple]	180	167	208
습지	500	[Purple]	124	34	126	연안습지	520	[Purple]	153	116	153	갯벌	521	[Purple]	153	116	153						
						염전	522	[Purple]	124	30	162												
나지	600	[Cyan]	89	206	202	자연 나지	610	[Cyan]	193	219	236	해변	611	[Cyan]	193	219	236						
						기타 나지	620	[Cyan]	159	242	255	강기슭	612	[Cyan]	171	197	202						
												암벽·바위	613	[Cyan]	171	182	185						
												채광지역	621	[Cyan]	88	90	138						
												운동장	622	[Cyan]	123	181	172						
기타 나지	623	[Cyan]	159	242	255																		
수역	700	[Blue]	6	2	250	내륙수	710	[Blue]	62	167	255	하천	711	[Blue]	62	167	255						
						해양수	720	[Blue]	23	57	255	호소	712	[Blue]	93	109	255						
												해양수	721	[Blue]	23	57	255						

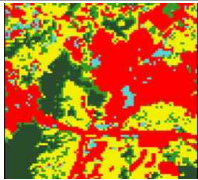


그림 3-1-1-5. 환경부 토지피복도 분류항목

- 환경부 토지피복지도 분류체계는 미국 USGS의 National Land Cover Characterization Project 와 유럽연합의 CORINE Project에서 채용한 분류체계를 우리나라 현실에 적합하도록 수정·보완한 것이다(그림 3-1-1-5).
- 우리나라 국토환경의 특성을 반영하고 국토이용, 공간계획 등의 여타분야에서 요구하는 항목들을 반영하여 대분류, 중분류, 세분류의 3단계 피복분류체계로 구성되어 있으며, 대분류 7개 항목, 중분류 22개 항목, 세분류 41개 항목으로 분류

하고 있다.

- 대분류 (1:50,000)의 토지피복도의 경우 해상도 30m 급으로 Landsat TM을 이용하였고, 중분류 (1:25,000)의 토지피복도의 경우 해상도 5m 급으로 SPOT-5를 사용하였으며, 세분류 (1:5,000)의 경우 해상도 1m 급으로 아리랑 2호와 항공촬영정사영상을 사용하여 지역별로 구축하였다(표 3-1-1-2).

표 3-1-1-2. 환경부의 토지피복도 구축 현황

	위성영상	토지피복지도	구축현황	구축물량
대분류 (1:50,000)	- Landsat TM		- 1998년: 남한지역 - 2000년: 남·북한지역 - 2010년: 남·북한지역	- 238도엽 - 736도엽 - 487도엽
중분류 (1:25,000)	- Landsat TM + IRS 1C - SPOT5, 아리랑 2호		- 2000-2005년: 남한지역 - 2007년: 1차 갱신 - 2009년: 2차 갱신(수도권) - 2013년: 3차 갱신	- 838도엽 - 813도엽 - 130도엽 - 584도엽
세분류 (1:5,000)	- 아리랑 2 호 - IKONOS - 항공사진		- 2010년: 한강 유역 - 2011-2013년: 낙동강 유역 - 2014년: 한강 수계	- 760도엽 - 5707도엽 - 2354도엽

- 토지피복도 분류체계 중 연안에 관련된 항목은 대분류 항목 중 습지, 나지, 수역이다. 습지로 분류된 항목들은 중분류 항목인 내륙습지와 연안습지로 구분되고, 연안습지는 다시 갯벌과 염전으로 세분류된다. 나지는 중분류 항목인 자연나지로 구분되고, 자연나지는 해변, 강기슭, 암벽·바위로 세분류된다. 마지막으로 수역은 중분류 항목인 내륙수와 해양수로 구분되고, 내륙수는 하천과 호소로 세분류된다(표 3-1-1-3).
- 그림 3-1-1-6, 7을 통해 실제 대분류 토지 피복도의 예시를 표현하였다. Landsat-7 ETM+ 영상을 활용하였으며 영상 촬영 날짜는 2008년 5월 5일과 2009년 10월 15일이다.

표 3-1-1-3. 환경부 토지피복도 분류체계 중 연안과 관련 있는 분류항목의 분류기준

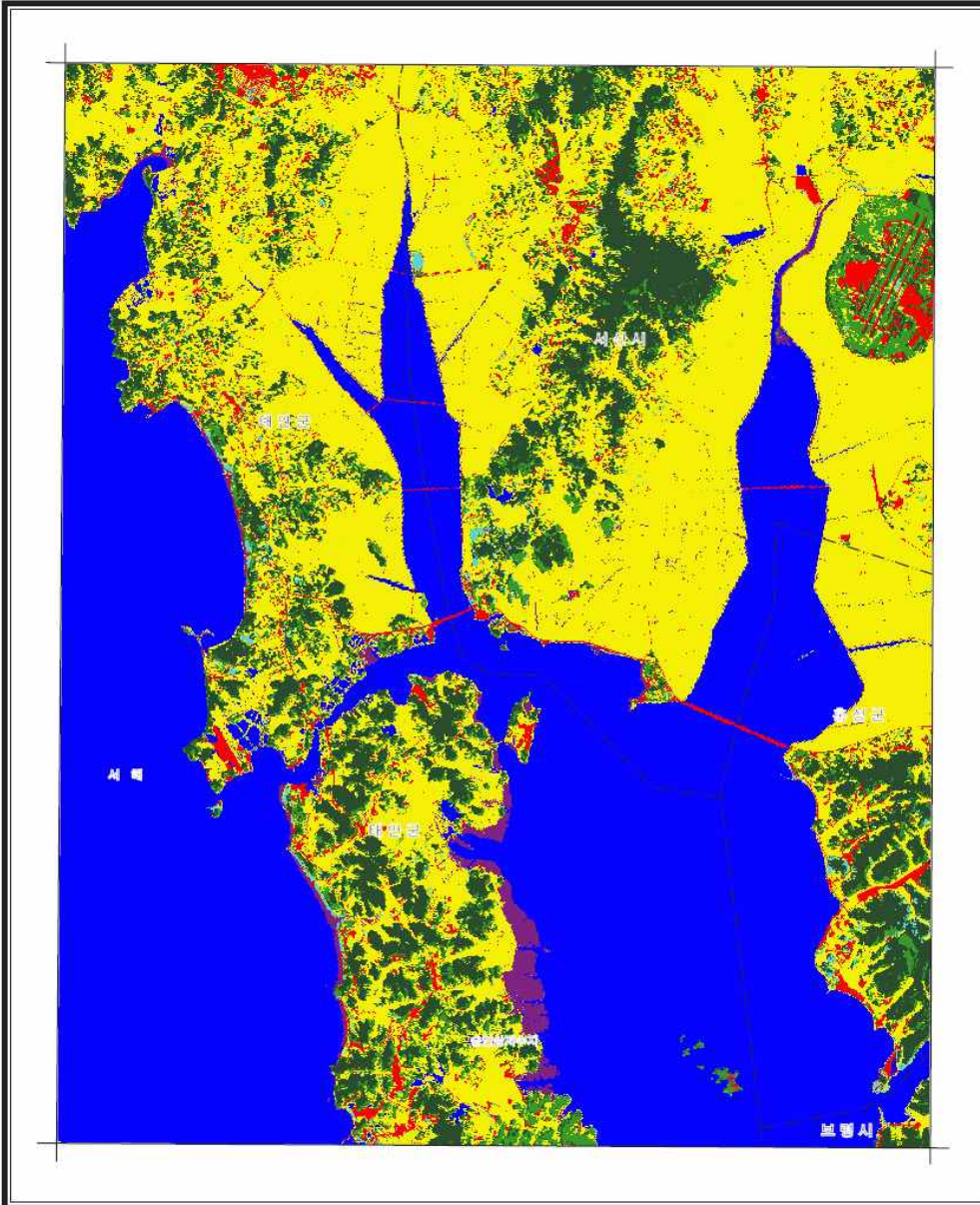
중분류	세분류	분류기준	비고
연안 습지	갯벌	- 만조 시에 수위선과 지면이 접하는 경계선으로부터 간조 시에 수위선과 지면이 접하는 경계선까지의 지역	투수
	염전	- 소금을 만들기 위해 바닷물을 끌어 들여 논처럼 만 든 지역 - 염전 내의 부대시설은 상업·업무지역으로 분류	투수
자연 나지	해변	- 만조 시 해안의 수애선에서 갯벌 및 해안 백사장의 육지 쪽 경계까지 포함	투수
내륙수	하천	- 하천 제방 내의 물이 흐르는 곳 - 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 흐르는 지역 을 분류 - 하천과 호소의 경계는 시설물을 기준으로 하며, 시설 물이 없을 경우 수치지형도의 호수/저수지 레이어를 활 용	투수
해양수	해양수	- 해안선으로 구획되는 바다의 부분으로, 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 있는 지역을 포함 - 내륙수와 해양수의 경계는 폭 1해리(1,850m)미만의 하천 후미를 가로 지르는 일직선에서 해양쪽을 의미 - 하구둑이나 방조제가 있는 경우 그 시설을 경계로 함	투수



# 신 은

대분류 토지피복지도

도엽번호 CM36606



Landsat-7 2008.05.05 영상  
Landsat-7 2009.10.15 영상



축척 1:50,000



2010년 12월 발행 환경부

< 범례 >

	1. 시가지 / 건조지역		4. 초지
	2. 농업지역		5. 습지
	3. 산림지역		6. 나지
			7. 수역

인접지역색인도

만리포 36601	서산 36602	당진 36603
근흥 36605	<b>신은 36606</b>	홍성 36607
	고남 36610	보령 36611



충청남도  
1.태안군 2.서산시  
3.홍성군 4.보령시

참고문

환경부의 사전승인 없이 본 지도의 복제, 무단반출 및 본 지도를 이용한 다른 지도의 간행을 금함.  
No one should duplicate, carry abroad, and publish the other map by this map without permission of the Ministry of Environment.

그림 3-1-1-7. 1:50,000 급 축척 대분류 토지피복도의 예(계속)

#### 라. 환경부의 생태자연도 분석

- 생태자연도는 산, 하천, 내륙습지, 호소, 농지, 도시 등에 대하여 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 등급화 (1-3 등급 및 별도관리지역)한 지도이다(그림 3-1-1-8).
- 지형현황도, 현존식생도, 동·식물 분포도, 생태계 정밀조사, 별도관리 지역의 생태 관련 개별 주제도의 통합 분석을 통하여 생태자연도가 생성된다.
- 각 등급별 권역
  - 생태 1등급 권역: 자연환경의 보전 및 복원
  - 생태 2등급 권역: 자연환경의 보전 및 개발·이용에 따른 훼손의 최소화
  - 생태 3등급 권역: 체계적인 개발 및 이용
- 문제점 및 시사점
  - 토지피복도 내에서 연안 토지피복에 관련된 항목은 중분류 4개 항목에 걸쳐 5개로 항목으로 세분류 되어있어 실제 다양한 연안의 토지피복을 표현하는데 한계가 있다.
  - 1:5,000 급의 세분류는 한강 및 낙동강 유역, 서울, 인천 및 영남 일부 지역에 대해서만 작성되어있다. 또한 연안 쪽으로는 경기만, 강화, 시화 연안에 대한 1:5,000 급의 세분류 토지피복도만 제작되어 있다. 따라서 다른 연안에 대한 세분류 토지피복도에 대한 획득이 불가능한 실정이다.
  - 생태자연도의 경우 연안은 대부분 별도관리지역에 속한다. 즉, 해당 법률에 따른 행위규제가 적용되기 때문에 연안에 대한 사전환경성검토 및 환경영향평가지 객관적인 결과를 뒷받침할 수 있는 국가연안주제도가 필요하다.





마. 해양수산부의 연안주제도 분석

- 해양수산부는 웹 기반 지리정보시스템(Web Geographic Information System, WebGIS)을 활용하여 해양생태 WebGIS인 바다생태 정보나라를 구축하였다. 바다생태 정보나라는 해양생태계 기본조사, 연안습지 기초조사, 해양보호구역 조사 관찰을 통한 조사정점에 대한 정보를 제공하고 있다.
- 연안의 경우 1999년에 습지보전법이 제정되면서 매 5년 마다 전국 갯벌을 대상으로 갯벌의 생태계 현황, 오염현황, 사회경제적 현황에 대한 기초조사를 실시할 법적근거가 마련되었다. 이에 따라 지난 1999년부터 2005년까지 제1차 전국 연안습지 기초조사가 수행되었고, 그 결과를 기반으로 하여 총 533개(인천·경기 64개, 충청남도 81개, 전라북도 18개, 전라남도 194개, 경상남도 127개, 제주도 9개)의 갯벌목록(해양수산부, 2005)이 완성되었다. 그러나 이는 정성적인 관찰 조사에 불과하였기 때문에, 제2차 전국 연안습지 기초조사(2008-2013년)에서는 정량조사를 위한 조사지침서를 만들고 그에 준하여 모든 조사를 수행하였다.

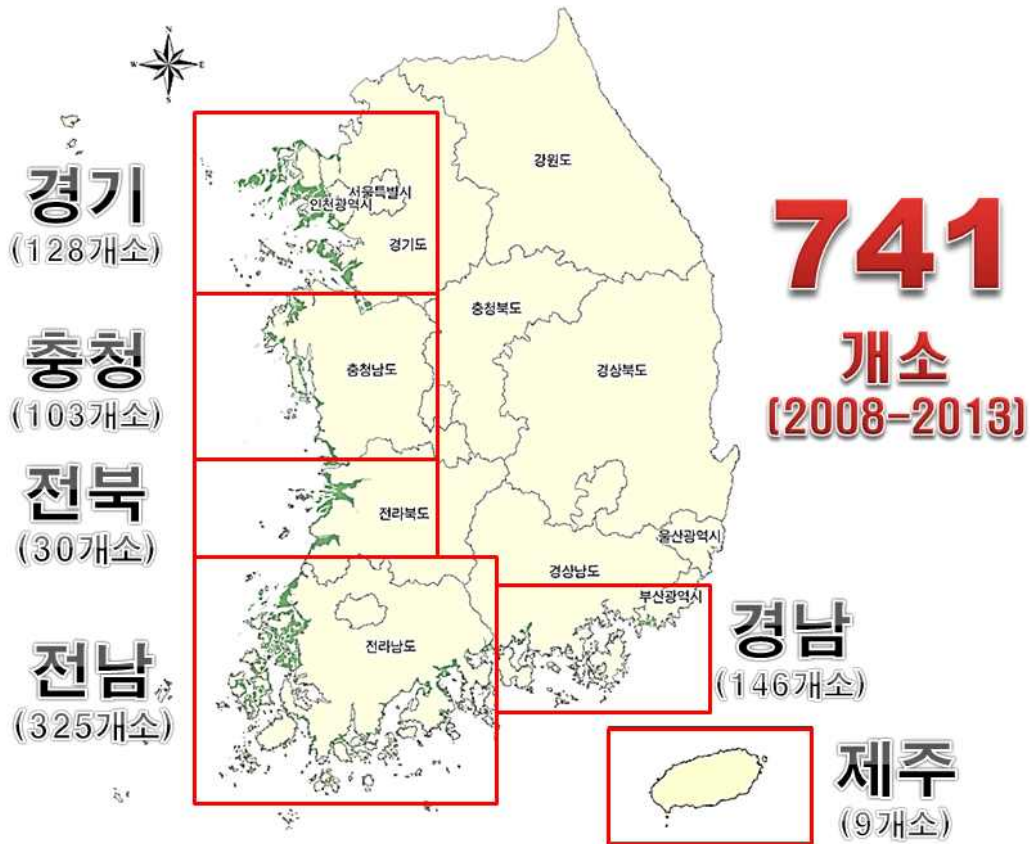


그림 3-1-1-9. 연안습지 기초조사 권역

- 연안습지 기초조사는 전국을 인천·경기(GG), 충청남도(CH), 전라북도(CB), 전라남도(CN), 경상남도(GN), 제주(JJ) 등 6개 대권역으로 구분하고, 이를 다시 섬과 만 지역을 중심으로 77개 구역으로 중분류 하였다(그림 3-1-1-9).
- 조사 방식은 기본조사, 정밀조사, 긴급조사, 보호지역 모니터링으로 나누어 실시되었으며, 그 중 “기본조사”는 우리나라 전 연안에 분포하는 갯벌을 전수 조사하여 과학적 정량자료를 구축하는데 목적이 있으며, 퇴적환경, 대형저서동물, 갯벌건강도, 갯벌생태등급도, 갯벌의 사회경제현황 및 경제적 가치평가 등 5개 분야로 구성되어 있다. 이를 통해 권역별 갯벌 또는 연안역(조하대)의 해양환경과 해양생물에 대한 현황을 파악하였다(해양환경관리공단, 2015).
- 바다생태정보나라의 WebGIS를 통해 조사 정점에 대한 위·경도, 조사번호, 조사년도와 상세조회를 통해 조사결과를 볼 수 있다(그림 3-1-1-10).

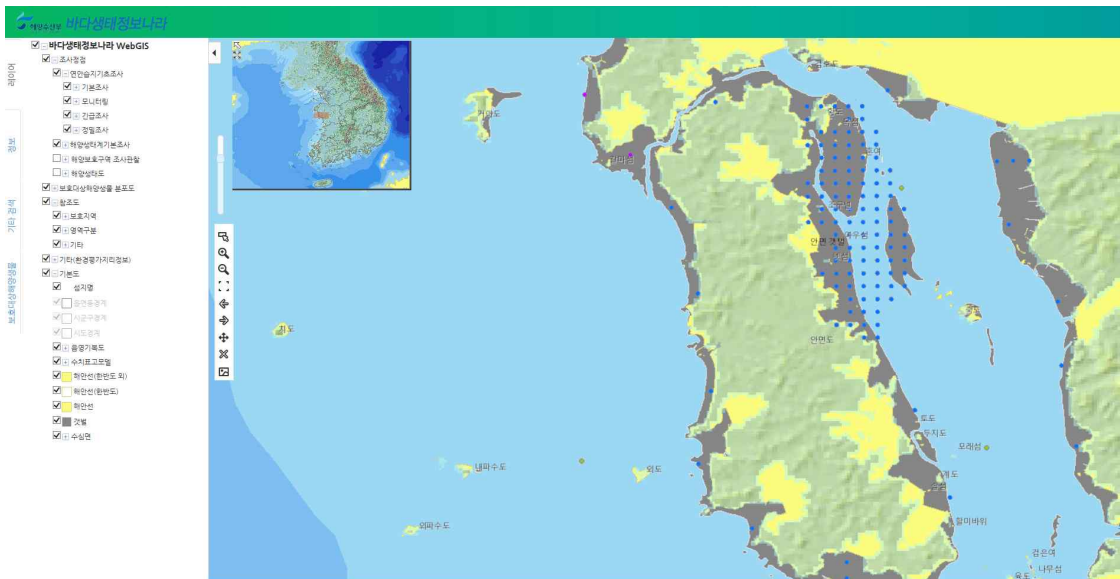


그림 3-1-1-10. 바다생태정보나라의 WebGIS에서의 연안습지기초조사 정점의 예

- 바다생태정보나라에서는 해양생태도 역시 제공하고 있다. 해양생태계 보전법 1장 2조 6항에서 “해양생태도라 함은 해양생태계를 생태적·경관적 가치 등에 따라 등급화하여 제 12조의 규정에 의해 작성된 지도를 말한다”라고 정의되어 있다. 해양생태도는 환경부의 생태·자연도의 지침을 따라 아래의 등급으로 구분한다.
  - 1등급 권역: 보호대상 해양생물의 주된 서식지, 산란지, 이동경로 등을 포함한 해역
  - 2등급 권역: 1등급 권역의 외부지역 및 해역으로서 등급 권역의 보호를 위하여 필요한 지역 및 해역
  - 3등급 권역: 위 3가지 권역 이외의 지역 및 해역
  - 별도관리지역: 다른 법률의 규정에 의해 의하여 보전되는 지역

- 해양생태도는 격자형태로 그 결과를 제공하고 있다(그림 3-1-1-11). 그러나 해양 생태도 작성을 위한 저서환경생태, 부유환경생태, 유영생물에 대한 정보가 한정적이었기 때문에, 동일 해역이어도 다른 격자에 속할 경우 해양생태도 내에서 다른 등급을 가지고 있는 경우가 있다.

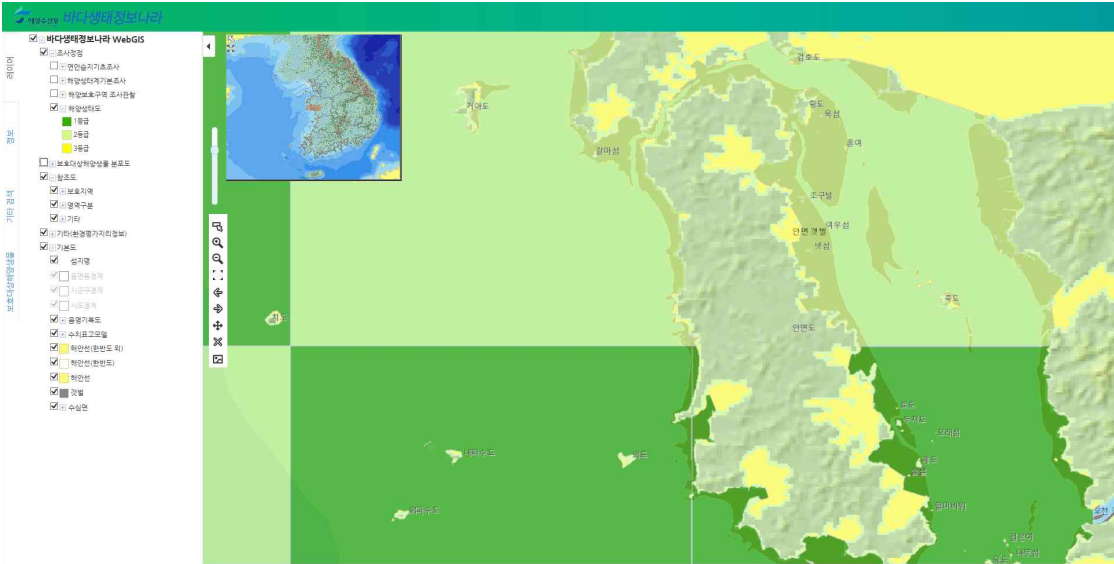


그림 3-1-1-11. 바다생태정보나라의 WebGIS 상의 해양생태도의 예

○ 문제점 및 시사점

- 해양환경관리공단에서 관리하는 바다생태정보나라는 해양생태계 기본조사 및 연안습지 기초조사에서 수행한 정점별 정보는 제공하지만 도면화 된 주제도를 제공하지 않고 있다.
- 조사시기가 서로 달라 갯벌과 주변 바다생태계를 연계해서 현황을 파악하기 어려운 실정이다.
- 제공되는 해양생태도의 경우 약 1:25,000 축척이다. 하지만, 연속적인 연안 지형 이어도 도엽이 달라짐에 따라 생태등급이 변하는 한계가 있다.
- 전국 연안을 권역으로 나누고 권역별로 조사를 하기 때문에 동일 권역이 다시 조사되기 까지 5년 이상이 걸린다. 그에 따라 해안침식, 제방축조, 매립 등에 의한 연안 변화에 대한 장·단기 모니터링이 어렵다. 또한 유류유출 등 연안생태계에 큰 영향을 미치는 사건이 발생했을 때, 이에 따른 연안 생태계의 피해를 정량적으로 파악하기가 어렵다.
- 이를 보완하기 위해서 2016년부터 국가해양생태계 종합조사 사업에서 남해동부, 동해, 제주 권역에 대해 갯벌에 대해 연 1회(8월) 285정점, 강화도, 가로림만, 증도, 순천만 갯벌에 대해서는 하계에 1회 해양환경, 저서생물에 대한 조사를 수행 중에 있다.

- 조사 결과는 바다생태정보나라의 WebGIS를 통해 정점정보(정점번호, 위도, 경도), 조사를 수행한 조사사업정보(세부사업, 조사년도), 조사결과 정보(분석결과)로 제공된다. 하지만, 이를 기반으로 도면화 된 주제도를 제공하지는 않고 있다.

바. 원격탐사 기반 연안 토지피복도/생태환경도 분류체계 개선방안

- 연안, 특히 갯벌은 지형적 특성에 따라 하구형, 만입형, 외해형, 섬 갯벌로 구분이 가능하다. 또한 퇴적물 특성에 따라 모래, 혼합, 펄 갯벌로 분류될 수 있다. 이러한 지형적·퇴적물 특성에 따라 갯벌의 소환경이 달라지게 되어 세분류 항목이 달라질 수 있다.
- 그림 3-1-1-12의 낙동강 하구의 소환경 분류에서 볼 수 있듯이, 보초도(barrier island) 같은 지형은 외해형 갯벌에서는 보기 힘든 소환경 지형이다. 따라서 우리나라 연안에서 대표적인 하구형, 만입형, 외해형, 섬 갯벌에 대한 소환경 분석 및 분류가 이루어져야 우리나라 전체 갯벌에 적용이 가능한 분류체계 생성이 가능하다.
- 현재는 노출시간에 따른 상·중·하부 갯벌의 구분이 모든 갯벌에 적용이 가능하다.

Sub-environment (a priori group no.)	Location	Stations
Inner protected delta fringe marsh (1)	1. Middle of Ulsuk-do	MUS1
Outer delta fringe marsh (2)	2. Middle of Ulsuk-do	MUS1
	3. Southern of Ulsuk-do	SUS1
Delta sand flat (3)	4. Delta area of Ulsuk-do	DUS1
Sand bar (4)	5. Delta area of Ulsuk-do	DUS2
	6. Delta area of Ulsuk-do	DUS3
Artificial structure dike marsh (5)	7. Southern of Sinho downtown	SSD1
Replacement marsh (6)	8. Inside of Daemedeung	IDM1
	9. Inside of Daemedeung	IDM2
Back barrier fringe marsh (7)	10. Northern of Sinja-do	NSJ1
	11. Northern of Sinja-do	NSJ2
	12. Northern of Jinwoo-do	NJW1
	13. Northern of Jinwoo-do	NJW2
Inner lagoon sand flat (8)	14. Middle of Myungji and Sinha-do	MMS1
Middle lagoon sand flat (9)	15. Middle of Myungji and Sinha-do	MMS2
	16. Middle of Myungji and Sinha-do	MMS3
Outer lagoon sand flat (10)	17. Middle of Myungji and Sinha-do	MMS4
Barrier beach (11)	18. Front of Sinja-do	FSJ1
	19. Front of Sinja-do	FSJ2
	20. Front of Jinwoo-do	FJW1
	21. Front of Jinwoo-do	FJW2
Sand spit (12)	22. Western of Sinja-do	WSJ1
	23. Eastern of Singa-do	ESJ1
	24. Western of Sinja-do	WS2
Shallow channel (13)	25. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS1
	26. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS2
Deep channel (14)	27. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS3
	28. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS4
Channel margin (15)	29. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS5
	30. Middle of Jinwoo-do and Sinja-do	MJS5



그림 3-1-1-12. 낙동강 하구역 소환경 분류의 예

- 현재 구축된 환경부/해양수산부의 해양공간정보 자료 분석을 통해 현 분류체계의 한계를 파악하는 과정이 필요하다.
- 국가공간정보정책에서 해양공간정보에 속하는 연안의 경우 공공·민간에서의 공간정보 활용이 매우 낮다.
- 갯벌 관련 사업자료는 조사주기가 길고 재가공 자료가 대부분이며, 관측자료는 일부영역에 대해서 조사되고 있다.
- 활용도가 높은 갯벌 기초적인 정보는 측량사업에서 생산되고 있으나 비공개 자료이며, 매년 해당 사업 구역만 생산된다.

	Large Category (Grade 30m)	Middle Category (Grade 5m)	Sub Category (Grade 1m)
<b>Sedimentary facies</b>	Sand	Sand	Gravelly Sand
	Mud	Mixed	Sand
		Mud	Gravelly muddy sand
			Silty sand
			Sandy silt
			Silty mud
<b>Tidal elevation</b>	Elevation	Elevation	Elevation
		Channel	Channel
			Runnel
			Local curvature
<b>Tidal vegetation</b>	Vegetated area	Perennial plant	
		Annual plant	
<b>Tidal surface classification</b>	Sand	Sand	Gravelly Sand
	Mud	Mixed	Sand
	Vegetated area	Mud	Gravelly muddy sand
		Perennial plant	Silty sand
		Annual plant	Sandy silt
		Oyster and Rock	Silty mud
			Elevation
			Channel
			Runnel
			Perennial plant
			Annual plant
			Oyster
			Rock

그림 3-1-1-13. 본 연구에서 제안하는 연안주제도 분류항목 표준안

- 본 연구에서는 연안 주제도 관련 게재 논문을 분석하고, 만입형/반폐쇄형 연안 환경을 고려하여 대분류(30 m 급), 중분류(5 m 급), 세분류(1 m 급)의 3단계로 연안주제도체계를 구성하였다(그림 3-1-1-3).
- 연안표층퇴적상분포도와 연안식생분포도의 경우 2D자료이고 연안지형도는 3D자료로 제작되었다.
- 연안표층분류도에서 연안지형고도는 레스터(raster) 영상으로, 조류로와 미세조류로는 폴리라인으로 표현하였다. 하지만, 지역적인 지형의 경우 연안표층퇴적상과 혼란을 일으켜 제외하였다.

## 2 절. 연구지역 및 자료

### 1. 연구지역 및 현장자료

#### 가. 황도 갯벌

##### 1) 연구지역 개관

- 황도 갯벌은 충청남도 태안군 천수만에 위치한 황도 주변의 갯벌을 일컬으며, 가로 1.65 km, 세로 5.15 km에 이르는 넓은 영역의 갯벌이다(그림 3-2-1-1).

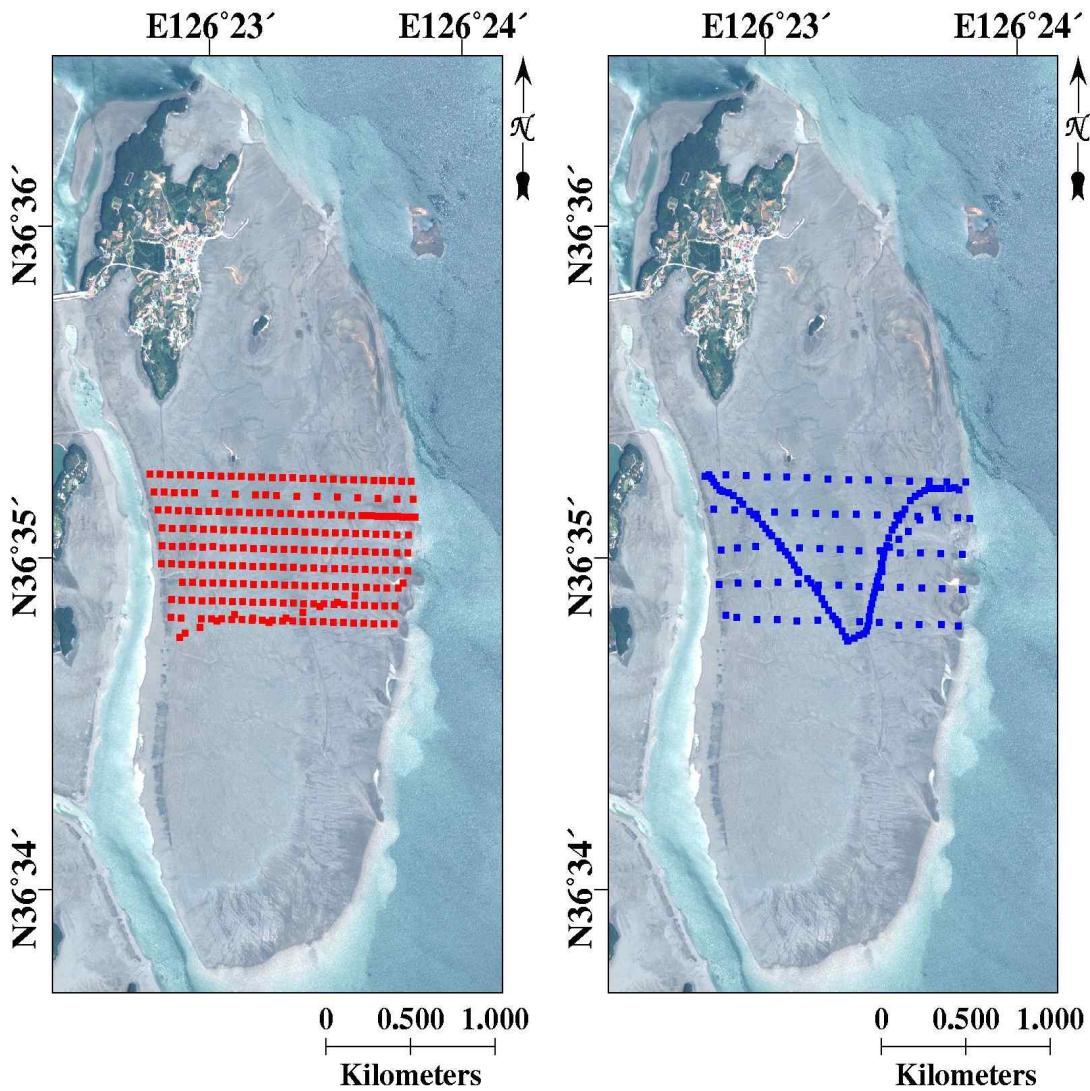


그림 3-2-1-1. 황도 갯벌의 관측 정점(좌: 퇴적물 채취 정점, 우: RTK-GPS 측량 정점)



- 황도 갯벌이 위치한 천수만은 서해 중부 연안에 위치하며, 수심 25m 이내의 천해성, 반폐쇄성 만이다. 조석은 반일주조이며, 대조차는 6.33m, 소조차는 2.86m로 평균 조차가 4.59m에 이르는 대조차 환경이다. 창조류의 유속이 약 1 m/s, 낙조류의 유속이 약 0.7 m/s로 창조 우세의 환경을 가진다.
- 퇴적상의 경우, 니질, 사니질 혼합, 사질의 순서로 조간대 상부에서 조간대 하부 방향으로 가면서 분포한다(우 등, 2005; 김여상, 1989; Choi et al., 2011)

2) 현장자료

- 황도지역의 현장조사는 2015년 9월 진행되었으며, 표층퇴적물 입도 시료 채취, 지형고도 측량, 대형저서동물 서식지 분석을 진행하였다(그림 3-2-1-2).

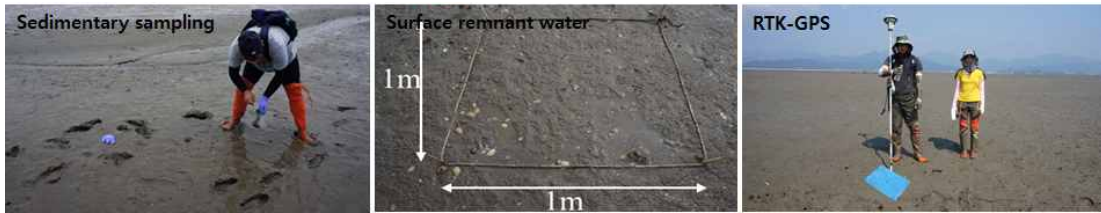


그림 3-2-1-2. 황도 지역 현장관측 자료 사진

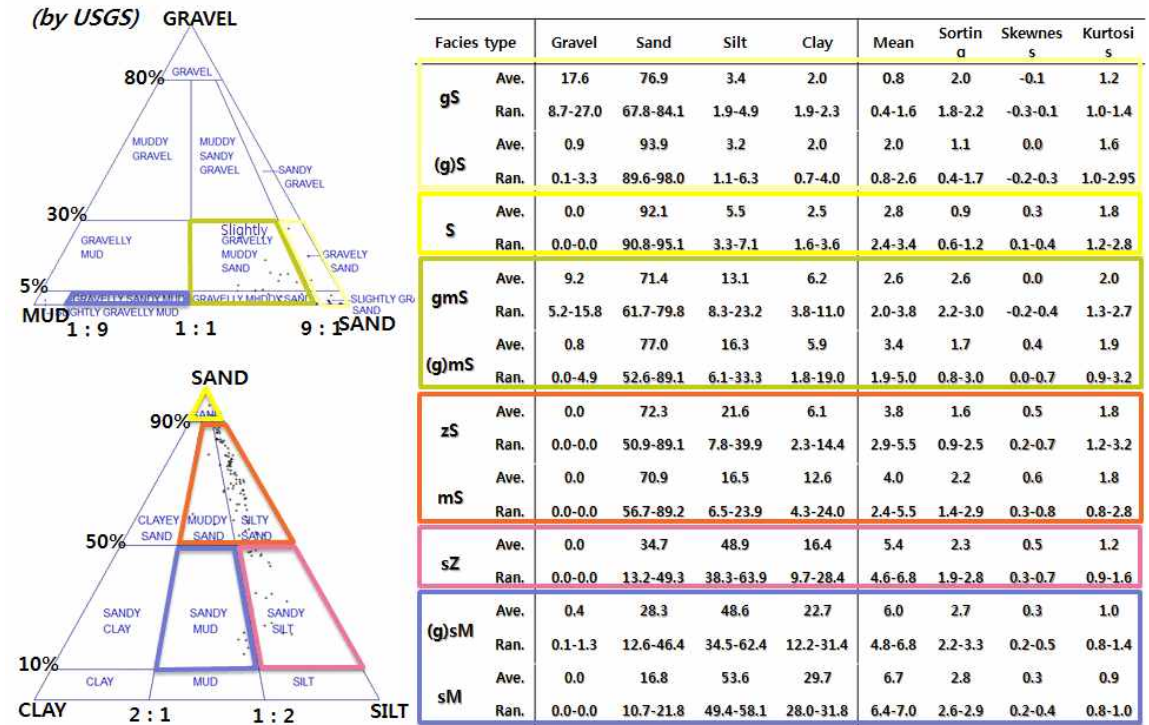


그림 3-2-1-3. Folk 분류에 따른 황도지역 표층퇴적물 입도분석 결과(종합)

○ 표층퇴적물 입도분석

- 2015년 9월, 황도 갯벌 내의 232개의 정점을 선택한 후 표층의 퇴적물 시료를 채취하였다.
- 염산과 과산화수소를 사용하여 시료의 유기물을 제거하는 전처리 과정을 진행하였다.
- 전처리 후 입도 분석 기기인 Gradex 2000과 Sedi-graph 5100을 사용하여 각 시료의 입도 분포, 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도 등의 통계 자료를 획득하였다.
- 이를 Folk 분류 방식에 따라 10가지 타입의 퇴적상으로 분류하고(gS, (g)S, S, gmS, zS, mS, (g)sM, sM), 여기서 각 타입별 평균 값을 기준으로 6개의 클래스로 다시 재분류 하였다(gS, (g)S, S, gmS, (g)mS, zS, mS, sZ, (g)sM, sM)(그림 3-2-1-3).
- H line의 경우 1-1 ~ 53 정점까지 퇴적물 시료를 분석하였으며, 위치 별로 1-1~12-1, 15~25-1, 27~39, 40~53 번으로 나누어 분석하였다(그림 3-2-1-4).
- 1-1~12-1 정점은 평균입도(Mean)의 분포가 2.93 ~ 7.02  $\phi$  의 범위에 분포하며, 전체정점의 평균입도는 4.22  $\phi$  이다. 대체로 사질 혹은 실트질 퇴적물로 구성되어 있으며, 분급도(Sorting)는 평균 1.73으로 전체적으로 분급이 좋지 않은 (poorly sorted) 환경을 보인다. 분포의 비대칭 정도를 나타내는 왜도(Skewness)는 모두 양의 왜도를 보이며, 1.0 미만의 좌우대칭에 가까운(Near-symmetrical) 값을 보인다. 마지막으로 자료의 분포가 중심경향값에 얼마나 집중되어 있는 지를 나타내는 첨도(Kurtosis)는 평균 1.78의 값을 보이며, 이는 매우 급첨적인 (Very leptokurtic) 값을 보인다고 말할 수 있다. 즉, 각 정점의 퇴적물의 입도는 해당 정점의 평균입도 값을 중심으로 크게 벗어나지 않는 범위 안에 대부분 분포한다는 의미이다. 다만 분급도가 좋지 않은 것은 많은 비율은 아니지만, 해당 정점 내에서 평균입도 값에서 벗어나는 값들이 어느 정도 존재한다는 것을 의미하고 있다.
- 15~25-1 정점은 평균입도의 분포가 0.40 ~ 5.57  $\phi$  의 범위에 분포하며, 전체정점의 평균입도는 3.63  $\phi$  로 나타난다. 사질 퇴적물이 우세한 환경으로 보여지며, 분급도는 평균 1.73 으로 1-1~12-1 정점과 동일하게 분급이 좋지 않은 환경을 보인다. 왜도는 평균 0.35의 값을 보이며 역시 모든 정점에서 좌우대칭에 가까운 값을 보인다. 첨도는 평균 1.70으로 매우 급첨적인 환경을 보이고 있다. 종합적으로 15~25-1 정점은 사질 퇴적물이 우점한 환경이며, 분급이 좋지는 않지만 대체로 4  $\phi$  정도의 입도를 보이는 입자들이 많은 것으로 보여진다.
- 27~39 정점의 평균입도는 3.59  $\phi$  로 15~25-1 정점과 유사한 분포를 보인다. 서쪽의 27, 27-1, 28번 정점을 제외하면 대체로 사질 퇴적물이 우세하다. 분급도는 앞서 기술한 다른 정점들과 유사하게 평균 1.84의 값을 보이며 분급이 좋지 않은 환경이다. 왜도와 첨도 역시 비슷한 경향을 보인다.
- 40~53 정점 역시 마찬가지로 전체 평균입도가 3.27  $\phi$  로 사질 퇴적물이 우세한

환경이다. 다만 서쪽의 40, 40-1, 41, 41-1의 네 개의 정점들은 모두 4  $\phi$  이상의 평균입도를 보이며, 동쪽으로 갈수록 입자가 조립해지는 경향을 보인다. 분급도는 다른 H line 정점들과 마찬가지로 분급이 좋지 않은 환경을 보이고 있다. 왜도와 첨도 역시 평균값이 각각 0.29와 1.89의 값을 보이며 좌우 대칭에 가까운 매우 급침적인 환경을 보이고 있다.

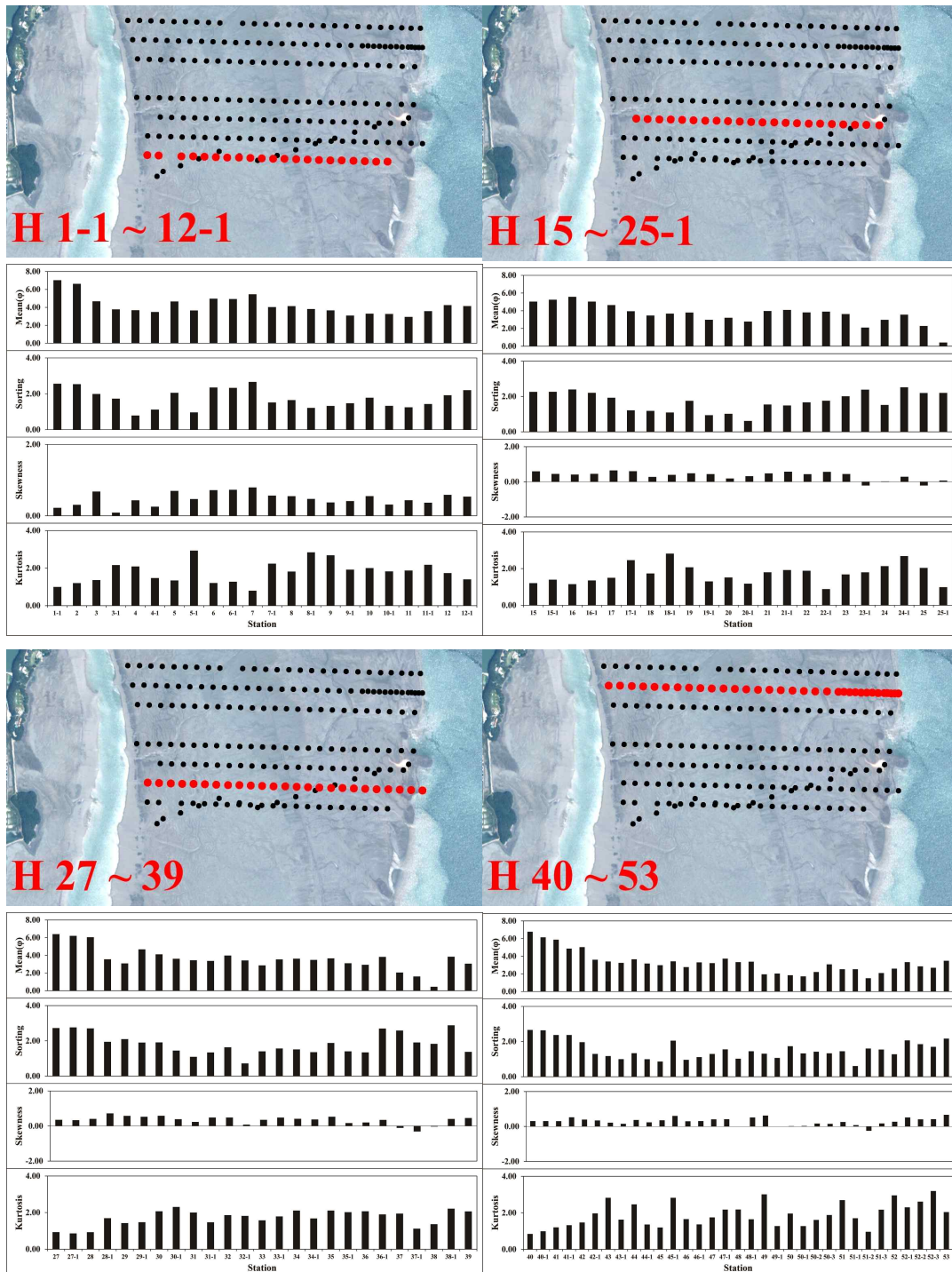


그림 3-2-1-4. 황도 갯벌 H line 입도분석 결과

- B, C, D line 역시 평균입도는 앞선 H line과 유사한 평균입도를 보인다. 각각 3.97, 3.79, 3.66  $\phi$ 의 값을 보이며, 분급도 역시 1.00 ~ 2.00 사이의 분급이 좋지 않은 환경을 보이고 있다. 왜도는 약한 양의 왜도값을 보이지만, 대체적으로 좌우대칭에 가까운 값을 보이며, 첨도 또한 세 line 모두에서 매우 급침적인 경향을 보이고 있다(그림 3-2-1-5).

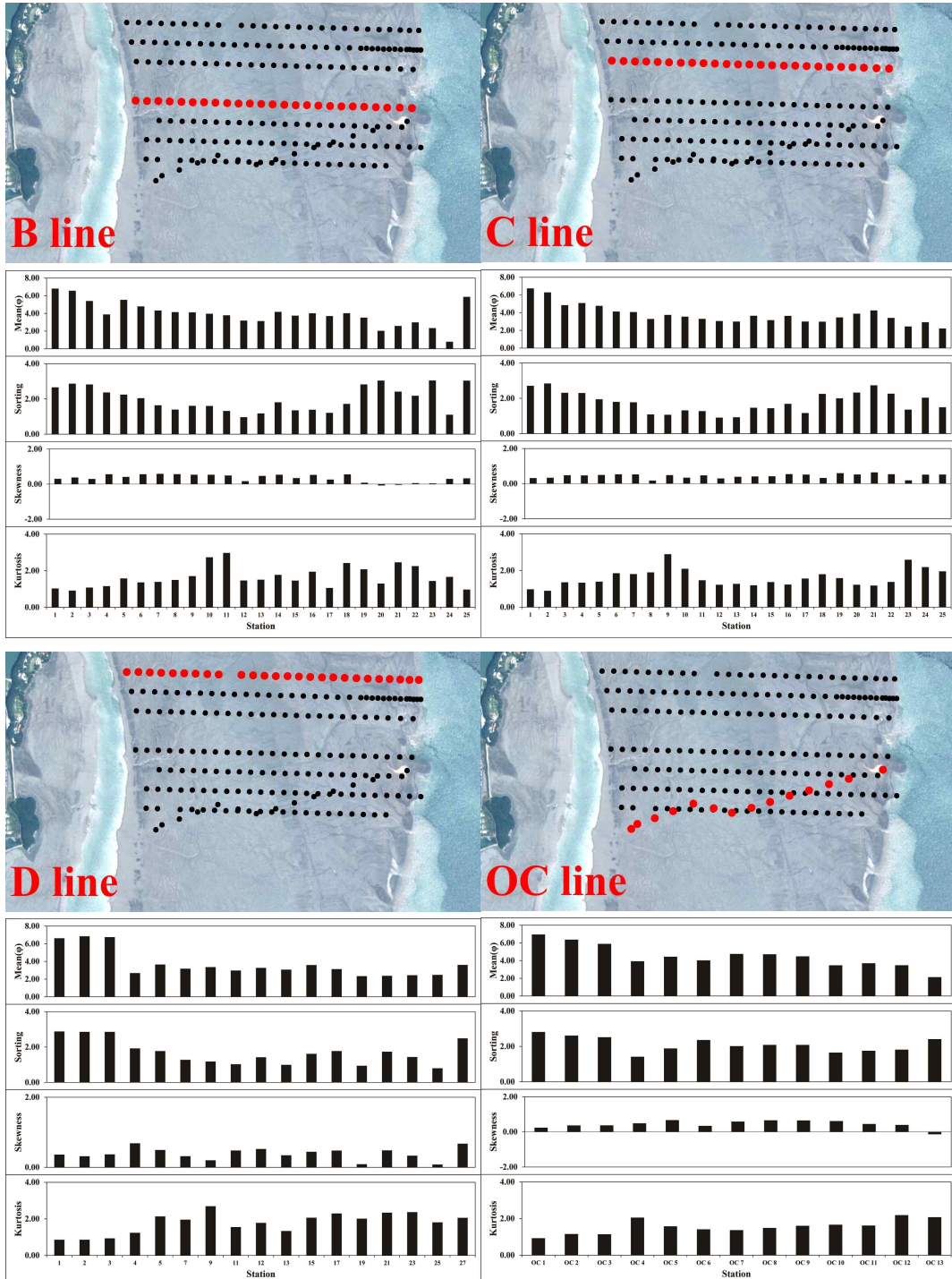


그림 3-2-1-5. 황도 갯벌 B, C, D, OC line 입도분석 결과

- 마지막으로 OC line은 평균입도가 4.48 φ로 실트질이 우세한 환경으로 나타나며, 평균 분급도 또한 2.10으로 매우 분급이 좋지 않은(Very poorly sorted) 환경으로 나타났다. 그러나 왜도와 침도는 앞선 다른 정점과 유사한 경향을 보인다.

○ 지형고도측량

- 정밀 지형고도 측량은 Leica사에서 제작한 Real-Time Kinetic Global Positioning System(RTK-GPS)인 Viva 시리즈 장비를 사용하였다.
- 지속적인 변화 관측을 위한 기선 프로파일링(profiling) 관측과 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 기반 수치표고모델(Digital Elevation Model, DEM) 제작을 위한 지상기준점 측량을 진행하였다.
- 기선 프로파일링 관측 정점중 C line을 대상으로 한 관측은 기존의 다른 연구를 통해 2010년부터 지속적으로 관측해왔다(그림 3-2-1-6)
- C line 측량 결과를 비교해보면 황도 갯벌은 2010년 5월부터 2015년 9월에 이르기까지 변화가 거의 나타나지 않았음을 관측할 수 있다. 다만 C-7 ~ C-11 정점 사이에서 지형고도가 최대 0.5m 까지 상승하였음을 관측할 수 있었다.
- 측량 정점 개수는 총 149개이며 이중 97개의 정점에서는 추가적으로 1 m × 1 m 사이즈의 범위 내에서 잔존수량을 측정하였다.

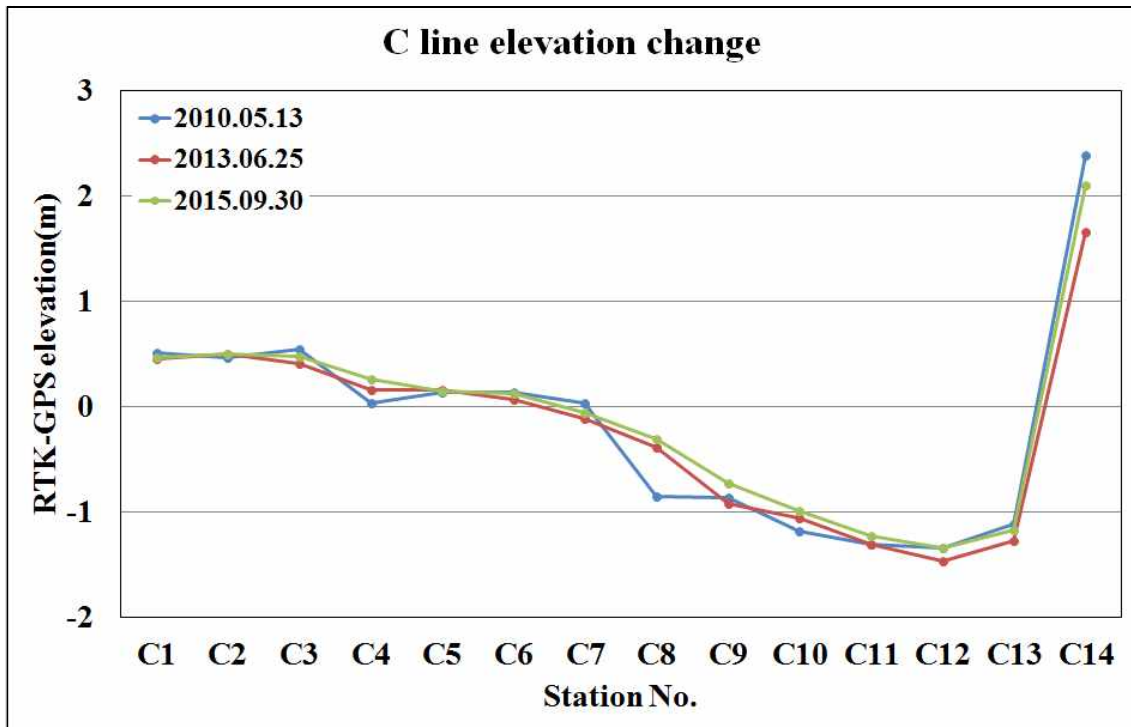


그림 3-2-1-6. 황도 갯벌 C line RTK-GPS 측량 결과

○ 저서생물 서식 분석

- 대형저서동물 분석을 위한 조사는 대형저서동물을 대상으로 도보로 이동하며 수행하였다.
- 조사 정점은 30 - 60m 간격으로 설정된 27개의 정점으로 0.5 m × 0.5 m 크기의 방형구를 이용하여 정점별로 3회씩 반복하여 방형구 내의 종별 개체수를 계수하였다.
- 종의 판단은 저서동물 굴(burrow)의 모양이나 생물의 활동 흔적을 통해 이루어졌으며, 이 과정에서 확인되지 않거나 혹은 알 수 없는 생물의 흔적은 직접 파서 생물을 잡거나, 굴 내에 레진을 투입하여 굴의 모양을 본 떠, 종을 확인하였다.
- 방형구 조사를 통해 분석된 황도 갯벌에 서식하는 대형저서동물은 길게, 칠게, 펼털콩게, 바지락, 쪽 등 총 27종이었으며, 퇴적상과 노출시간에 따른 서식지 분화가 관찰되었다.

나. 낙동강 하구 갯벌 - 을숙도 일대

1) 연구지역 개관

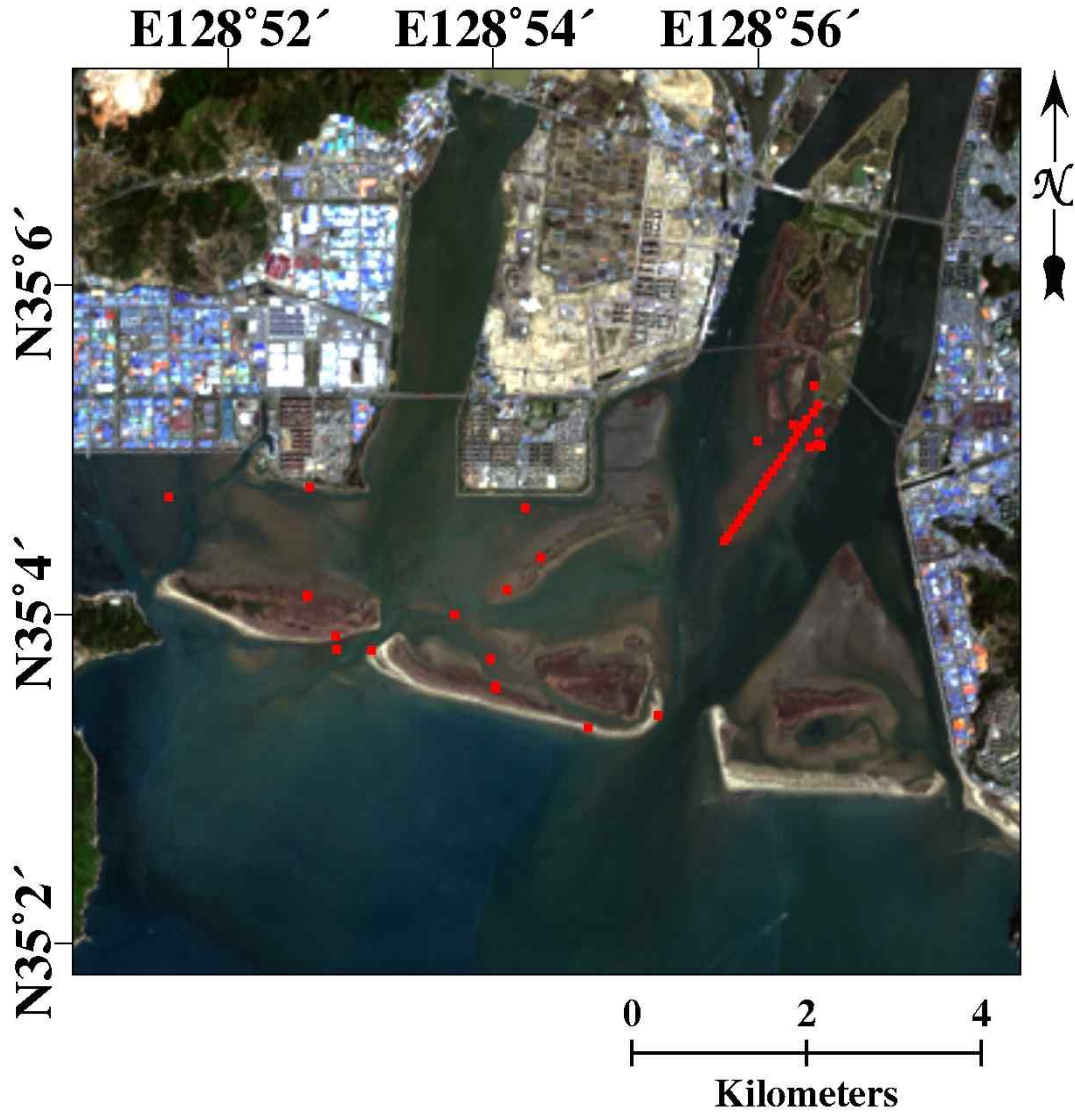


그림 3-2-1-7. 낙동강 하구 갯벌 조사 지역 및 현장관측 정점

- 경상남도를 관통하며 흐르는 낙동강이 바다와 만나는 지역인 부산광역시의 가덕도와 다대포 사이에 위치한 낙동강 하구의 갯벌은 삼각주와 사주가 발달해 있고, 낙동강으로부터 유입된 퇴적물이 하구 지역에 퇴적되어 강물의 흐름에 수직인 동-서 방향으로 다양한 크기의 사주들이 형성되어 있다. 이 사주들은 파랑과 조류, 강의 범람, 태풍 등의 영향으로 그 형태가 지속적으로 변화하고 있다 (반용부, 1986).

- 해저 지형의 경우 남쪽으로 내려오면서 점진적으로 수심이 깊어지는 형태이며, 전형적인 해저 삼각주 지형이 발달해 있다.
- 조석은 1일 2회의 만조 혹은 간조가 나타나는 반일주조가 우세하고, 낙조의 유속이 강한 낙조 우세의 성격을 가진다. 조류의 방향은 해안선에 거의 평행하게 나타난다. 조위는 평균적으로 소조기에는 0.4 m, 대조기에는 1.5 m로 나타나며 평균 1.1m의 조차를 보인다 (김과 하, 2001).
- 표층 퇴적물은 대부분 사질이 우세한 니사질의 퇴적물이며, 평균입도는 2.6 ~3.9  $\phi$  구간에 분포한다고 알려져있다 (Choy et al., 2008).
- 현장조사는 을숙도 갯벌, 신자도, 진우도, 대마등 일부의 정점을 대상으로 진행하였다. 정점의 위치와 목록은 그림 3-2-1-7와 표 3-2-1-1에 기술하였다.

표 3-2-1-1. 현장자료 획득 정점 목록



2) 현장자료 획득

- 2016년 5월 총 46개의 정점에서 지형고도 측량, 퇴적물 시료 채취, 생물상 조사를 실시하였다.
- 표층퇴적물 입도분석
  - 황도지역과 동일하게 염산과 과산화수소로 유기물을 제거하는 전처리 과정을 거친 후, Sedigraph 기기를 활용하여 입도를 분석하였다.
  - 역질, 사질, 니질 퇴적물의 구성 비율과 평균입도, 분급도, 왜도, 첨도의 통계자료를 획득하였다.

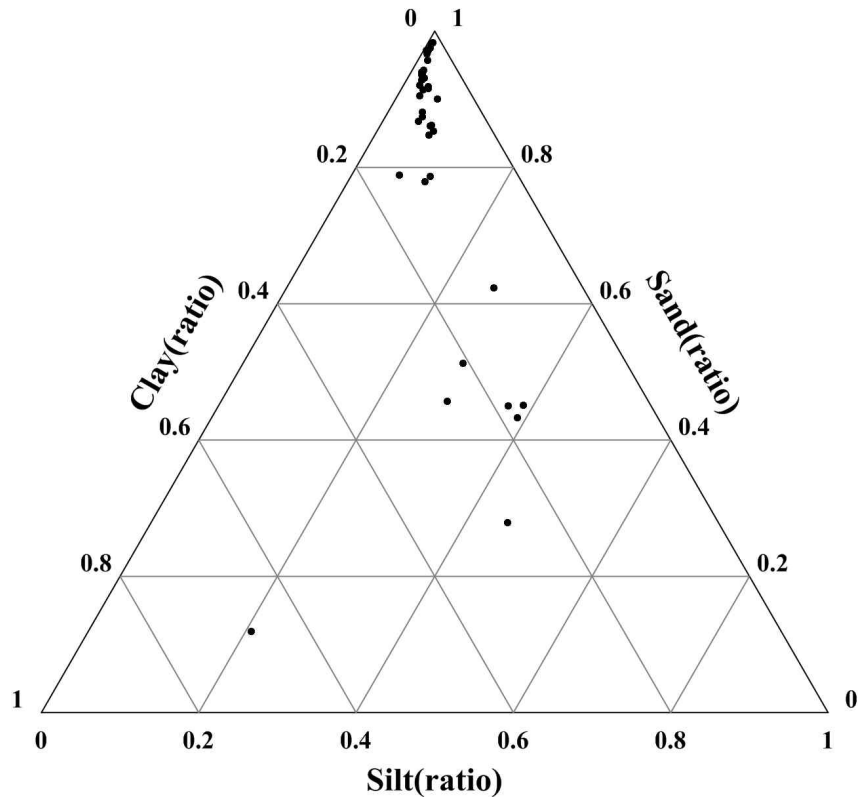


그림 3-2-1-8. Folk 분류에 따라 분류한 낙동강 하구 갯벌의 입도분석 결과 삼각다이어그램

- 분석 결과 모든 정점에서 역질 퇴적물은 0%의 함량을 보였으며, 그로 인해 삼각 다이어그램은 사질, 실트질, 점토질의 비율로 나타내었다(그림 3-2-1-8). 전체적으로 사질 퇴적물의 비율이 높은 분포를 보이며, 일부 정점에서 사질과 니질 퇴적물이 혼합된 분포를 보인다. 신자도 중심부에서는 니질 퇴적물이 우세한 환경을 보였다.
- 평균입도를 포함한 입도분석 통계자료는 그림 3-2-1-9에 나타내었다. 전체정점에서의 평균입도는  $3.66 \phi$  이며, 입도 분포는  $2.5 \sim 9 \phi$  사이의 값을 보였다.

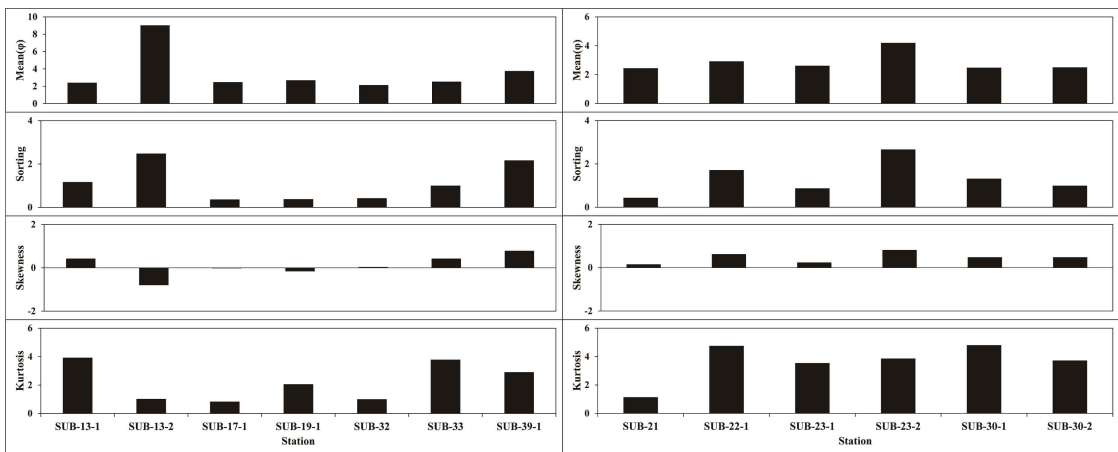
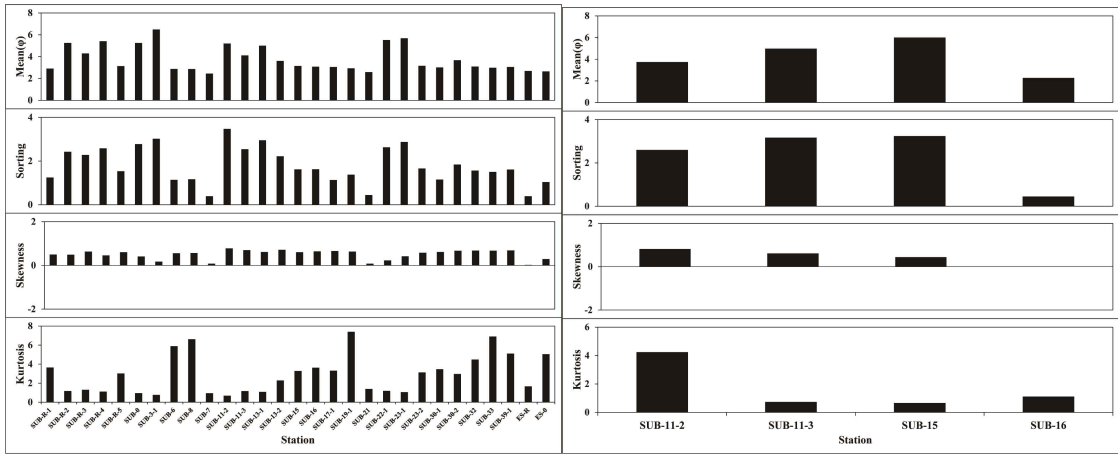
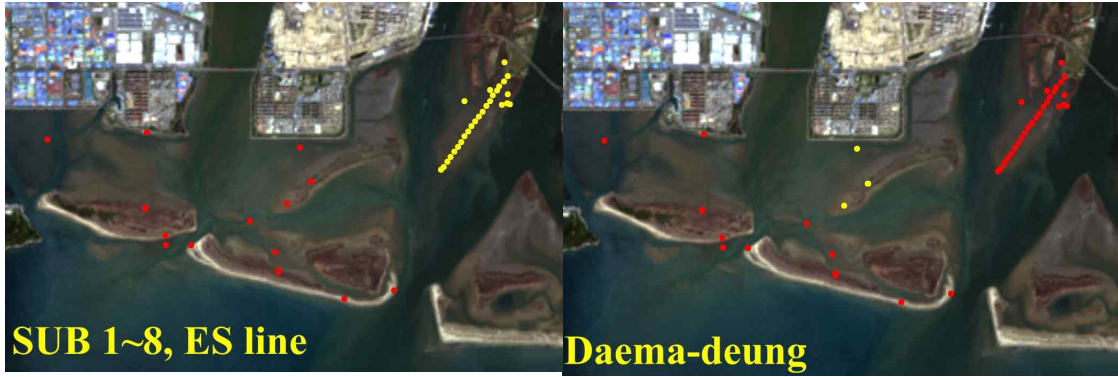


그림 3-2-1-9. 낙동강 하구 지역 갯벌 및 사주 퇴적물 입도분석 결과

- 을숙도 갯벌의 조사 정점은 총 30개로 을숙도를 대각선으로 가로지르는 측선 관측과 추가로 정점 관측을 진행하였다. 을숙도 내의 정점의 평균입도는 3.77  $\phi$  로 대체로 세립한 사질 퇴적물로 나타났다. 다만 일부 정점의 경우 실트질이 우세한 환경이다. 분급도는 평균 1.80 으로 대체로 분급이 좋지 않은 환경을 보였다. 왜도는 약한 양의 왜도를 보였지만, 좌우대칭에 가까운 0.47 의 값을 보였다. 첨도는 대체로 낮게 나타나지만 일부 5.00 이상의 극도로 급첨적(Extremely leptokurtic)인 환경의 정점들로 인하여 평균값이 높게 나타난다. 높은 첨도를 가지는 정점들의 경우 분급도 역시 1.00에 적당히 분급된(Moderately sorted) 환경을 보이며, 퇴적물 입자들이 평균입도를 중심으로 몰려 있음을 나타내고 있다.
- 대마등 일대의 사주에서는 4개의 시료를 분석하였지만 실제 정점은 3곳으로, 한 정점에서 두 번 시료를 채취하였다. 세 정점 중, SUB-16 정점은 평균입도가 2.28  $\phi$ 로 사질이 우세한 환경을 보였고, 그 외의 정점들은 4  $\phi$  근처의 니사질 입자가 우점한 것으로 나타난다. 분급도는 SUB-16 정점에서만 분급이 잘 된(Well sorted) 환경을 보였고, 다른 정점에서는 매우 분급이 좋지 않은(Very poorly sorted) 환경을 보였다. SUB-16 정점에서는 왜도가 매우 낮아 좌우 대칭에 가까운 환경을 보이며, 첨도 또한 1.11 로 급첨적이긴 하지만 상대적으로 낮은 값을 보여 평균입도를 중심으로 정규분포곡선에 가까운 입도 분포를 보인다고 할 수 있다. 다른 두 개의 정점에서는 왜도의 경우 양의 왜도를 보이지만, 평균입도를 중심으로 좌우대칭에 가까운 분포를 보인다고 할 수 있다. 다만 첨도의 경우 동일한 정점에서 관측한 11-2와 11-3 시료가 큰 차이를 보이고 있으며, 이는 좌표 상으로는 동일한 정점이지만 실제 각 시료를 채취한 위치가 퇴적상이 다르게 분포하고 있었을 것으로 보여진다.
- 신자도 일대의 사주에서는 총 7개의 시료를 분석하였으며, SUB-13-2 시료를 제외하면 전부 4  $\phi$  미만의 사질 퇴적물이 우세한 것으로 나타난다. SUB-13-2 정점은 평균입도가 9.02  $\phi$  로 점토질이 우세한 환경을 보였다. 분급도는 매우 분급이 좋지 않게 나타난 13-2 정점과 39-1 정점을 제외하면, 1.00 미만의 대체로 분급이 잘 된 환경을 보였다. 왜도는 양의 왜도, 음의 왜도가 모두 나타났지만 모두 -1.0 ~ 1.0 사이의 값을 보이며, 좌우대칭에 가까운 값을 보였다. 마지막으로 첨도는 SUB-13-1, 33, 39-1 정점에서는 매우 급첨적인(Very leptokurtic) 환경을 보였지만, 그 외의 정점들은 2.0 미만의 약간 급첨적인 환경을 보였다.
- 마지막으로 진우도 일대 사주의 경우 평균입도는 23-2 정점을 제외하면 모두 2  $\phi$  안팎의 사질 환경을 보였고, 분급도 역시 23-2 정점을 제외하고는 2.00 미만의 분급도를 보였다. 왜도는 전체 정점에서 양의 왜도를 가지지만, 좌우대칭에 가까운 값을 보였으며, 첨도는 SUB-21 정점을 제외하면 극도로 급첨적인 환경을 보였다.
- 평균 값을 이용해 비교해보자면 낙동강 하구의 표층 퇴적물은 사질이 우점한 환경이며, 분급은 좋지 않지만 대체로 왜도가 낮고 첨도가 높아 평균입도에 가

까운 값들에 분포하는 경향을 보인다.

○ 지형고도 측량

- Laica 사의 Viva RTK-GPS 장비를 활용하여 43개의 정점에서 지형고도 값을 획득하였다.
- 갯벌 전체의 변화를 보기 위하여 대표적으로 을숙도 갯벌의 기선 프로파일링 관측 결과를 도식화하였다(그림3-2-1-10).
- ES line의 지형고도 측량 결과 을숙도 갯벌은 북동쪽의 육지쪽에서 남서쪽의 바다쪽까지 고도의 변화가 0.5 m 이내로 매우 완만한 경사를 보였다.
- 변화 폭이 작긴 하지만, 갯벌 중심부인 ES-2 정점부터 ES-7 정점에 이르는 구간에서 고도 0.1 m 정도 되는 둔덕이 나타난다.

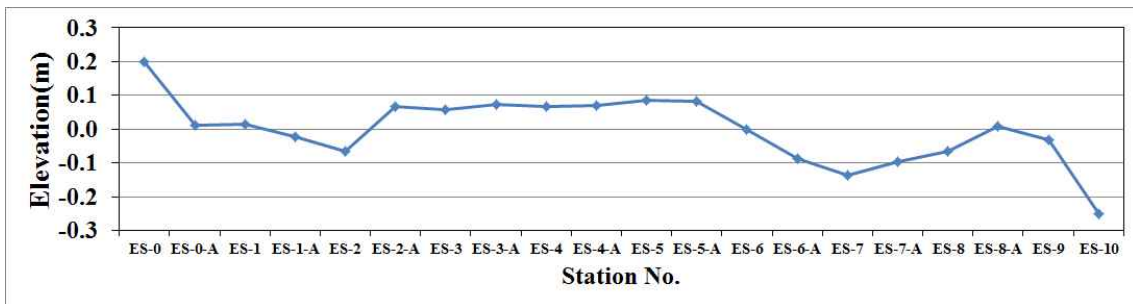


그림 3-2-1-10. 을숙도 갯벌의 기선 프로파일링 관측 결과

○ 저서생물 서식 분석

- 대형저서동물 분석을 위한 조사는 대형저서동물을 대상으로 도보로 이동하며 수행하였다.
- 조사 정점은 서식지특성에 따라 설정된 40개의 정점으로 표서조사와 내서조사로 나뉘어 진행하였다. 기본적으로 0.5 m × 0.5 m 크기의 방형구를 이용하여 정점별로 3회씩 반복하여 방형구 내의 종별 개체수를 계수하는 표서조사를 선행하였으며, 서식지특성에 따라 서식굴 입구의 형태나 생물활동 흔적의 확인이 어려운 정점에서는 내서조사를 수행하였다.
- 표서조사를 통한 종의 판단은 저서동물 굴(burrow)의 모양이나 생물의 활동 흔적을 통해 이루어졌으며, 이 과정에서 확인되지 않거나 혹은 알 수 없는 생물의 흔적은 직접 파서 생물을 잡거나, 굴 내에 레진을 투입하여 굴의 모양을 본 때, 종을 확인하였다.
- 내서동물 조사는 주상시료채취기(채집면적 0.025 m<sup>2</sup>)를 이용하여 각 정점 당 퇴적물을 4회 반복 채취하여 수행하였으며, 채취한 퇴적물은 직경 0.5 mm인 체에 걸러서 남은 잔존물을 해수로 중화된 약 10% 포르말린용액에 고정하여 보관하였다. 채취한 대형저서동물 시료는 실험실로 운반한 이후 1차 저서동물 선별 작업(sorting)을 수행하였음. 선별된 생물은 해부현미경 하에서 종 수준까지 동

정하였다.

- 표서 및 내서조사를 통해 분석된 을숙 갯벌에 서식하는 대형저서동물은 칠게, 길게, 엽낭게, 말뚝게, 넓적콩게, 가재붙이, 동죽, 맛조개, 가무락, 가리맛, 흰이빨 참갯지렁이 등 총 72종이었으며, 퇴적상과 노출시간에 따른 서식지 분화가 관찰되었다.

#### 다. 가로림만

##### 1) 연구지역 개관

- 가로림만은 충청남도 서산군과 태안군 사이에 위치한 반폐쇄형 만으로 만 내부의 폭은 약 8 km, 길이는 약 20 km이며, 갯벌의 면적은 약 70 km<sup>2</sup>로 넓게 발달된 형태를 보인다(신동혁, 1998).
- 만 입구 부근에서의 평균 조차는 4.7 m이며, 대조차 때 조위가 6.5 m에 이르는 대조차 환경을 가진다. 창조류는 평균 1.4 m/s, 낙조류는 평균 1.1 m/s 의 유속을 보이며 만 내부로 갈수록 조류가 약해지는 모습을 보인다(한국해양연구소, 1993).
- 표층 퇴적물은 만 입구에서는 사질 퇴적물이 우세한 환경이며, 만 안쪽의 갯벌 중 동부는 니질 퇴적물이 우세하게 나타난다. 그 밖에 서부와 남부 지역은 사질과 니질이 혼합되어 나타나고 있다(Lee et al., 2004).
- 가로림만에는 담수의 유입원이 되는 대형 하천이 없기 때문에 염분 분포가 충남 연안의 다른 해역에 비하여 높은 편이며, 만 내부에서는 분포가 고르게 나타난다. 다른 만과는 다르게 용존산소가 90 ~ 100 %의 포화도를 보이고 있는데 이는 담수유입이 극히 적은 관계로 육상 오염물의 유입이 제한되었기 때문으로 알려져 있다(해양수산부, 2002).

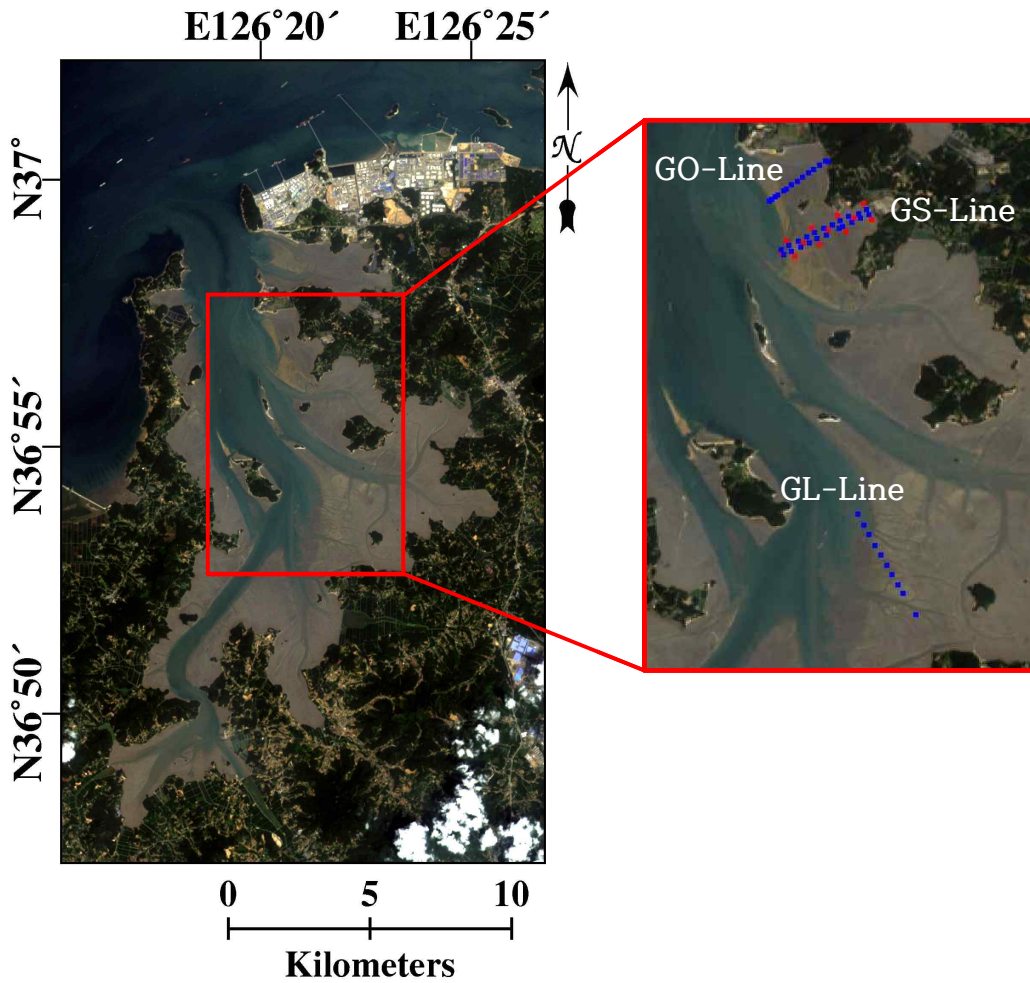


그림 3-2-1-11. 가로림만 지역의 Landsat 영상과 조사정점(파랑: 퇴적물 채취 및 분광스펙트럼 관측 정점, 3개의 line으로 나누어 관측; 빨강: 지형고도측량 정점-GH line)

## 2) 현장조사 자료

- 2016년 11월 현장조사를 통해 가로림만 지역의 동쪽 갯벌에서 46 개의 정점에서 진행하였다. 그림 3-2-1-11의 파란색으로 표시된 GO, GS, GL line 정점에서는 표층 퇴적물 입도 시료를 채취하였고, GS line 근처의 붉은색 정점에서는 지형고도를 측량하였다. 추가적으로 GS line 상에서 5개의 정점에서 갯벌의 반사도 스펙트럼을 관측하였다.
- 표층퇴적물 입도분석
  - 총 46개의 정점에서 시료를 채취하였으며, GO, GS, GL line에서 각각 14, 22, 10개의 정점에서 표층 퇴적물을 채취하였다.
  - 앞선 다른 지역과 마찬가지로 염산과 과산화수소로 유기물을 제거하였으며,

Sedigraph 기기로 입도 분석을 진행하였다.

- 정점 전체의 입도분석 결과는 사질 퇴적물과 니질 퇴적물이 혼합된 환경이 우세하게 나타났으며, 일부 정점에서는 역질과 사질 퇴적물이 혼합된 환경을 보였다(그림 3-2-1-12).

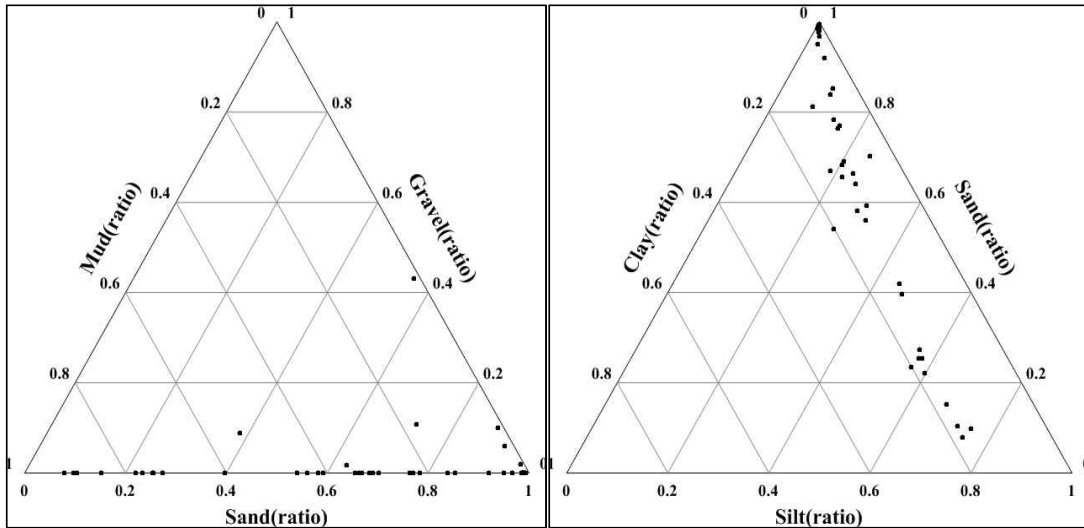


그림 3-2-1-12. Folk 분류에 따른 가로림만 갯벌 지역 입도분석 결과

- 전체 정점들 중 니질 퇴적물이 우세한 정점들의 경우 실트질과 점토 퇴적물 중 실트질이 보다 우세하게 나타난다.
- GO line의 정점들은 그 평균입도가  $-0.72 \sim 5.91 \phi$  사이에 분포하며 평균  $2.24 \phi$  의 값을 보이며, 전체적으로 사질의 퇴적물이 8 ~ 90 % 에 이르는 함량을 보인다(그림 3-2-1-13). 다만 중간의 GO-03, 04 정점은 사질 퇴적물의 함량이 40 % 미만이며, 평균입도 또한 보다 세립한 경향을 보인다. 평균입도가 세립 할수록 분급도는 좋지 않게 된다. 왜도는 좌우대칭에 가까운 값을 보이며, 첨도는 전체적으로 급첨적인 환경을 보인다.
- GS line의 정점들은 평균입도가 다소 세립한 편이다(그림 3-2-1-14). 평균입도 분포가  $0.93 \sim 6.22 \phi$ 의 범위에 있으며 평균  $3.60 \phi$ 의 입도를 보인다. 육지에 가까운 정점으로부터 물 쪽으로 가면서 입도는 조립해진다. 안쪽의 GS 03 ~ 40 정점들은 모두  $4\phi$  이상의 실트질 혹은 사질 퇴적물이 우세한 경향을 보이고 있으며, GS 44 이후의 정점들은 사질이 우세한 환경을 보인다. 분급도의 경우, 물에 가까운 사질 퇴적물이 우세한 정점들의 경우 분급이 좋은 편이지만, 육지쪽의 세립한 입도의 정점들은 분급이 매우 좋지 않다. GO line과 마찬가지로 좌우대칭에 가까운 형태를 보이며, 첨도는 전반적으로 1.11 이상의 급첨적이거나 매우 급첨적인 환경을 보인다.

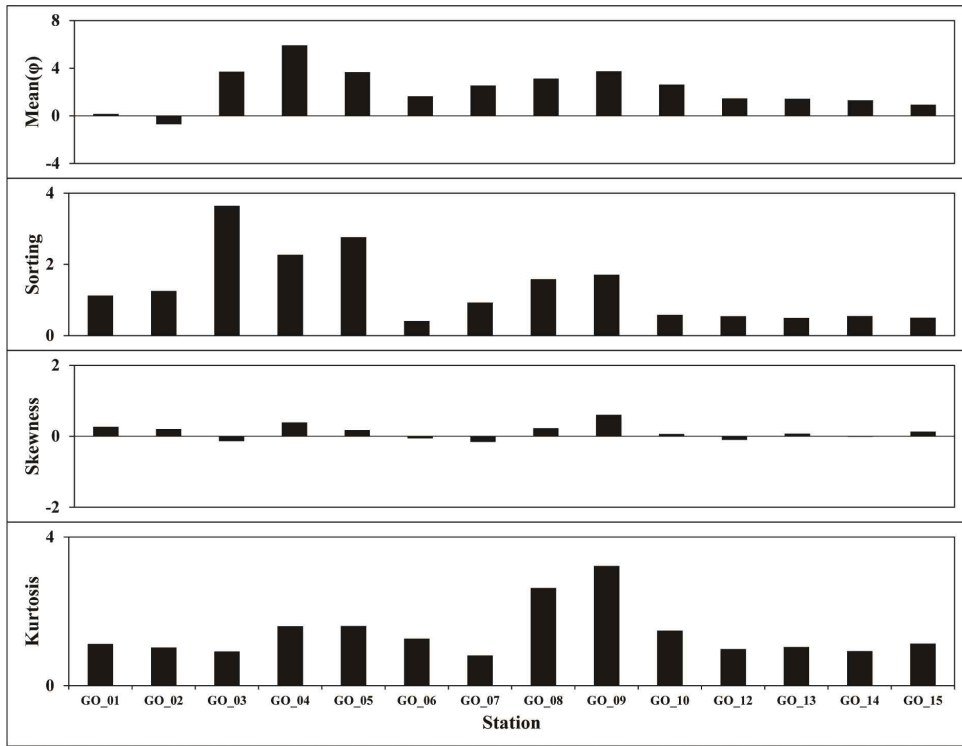


그림 3-2-1-13. GO line 입도분석 통계 결과

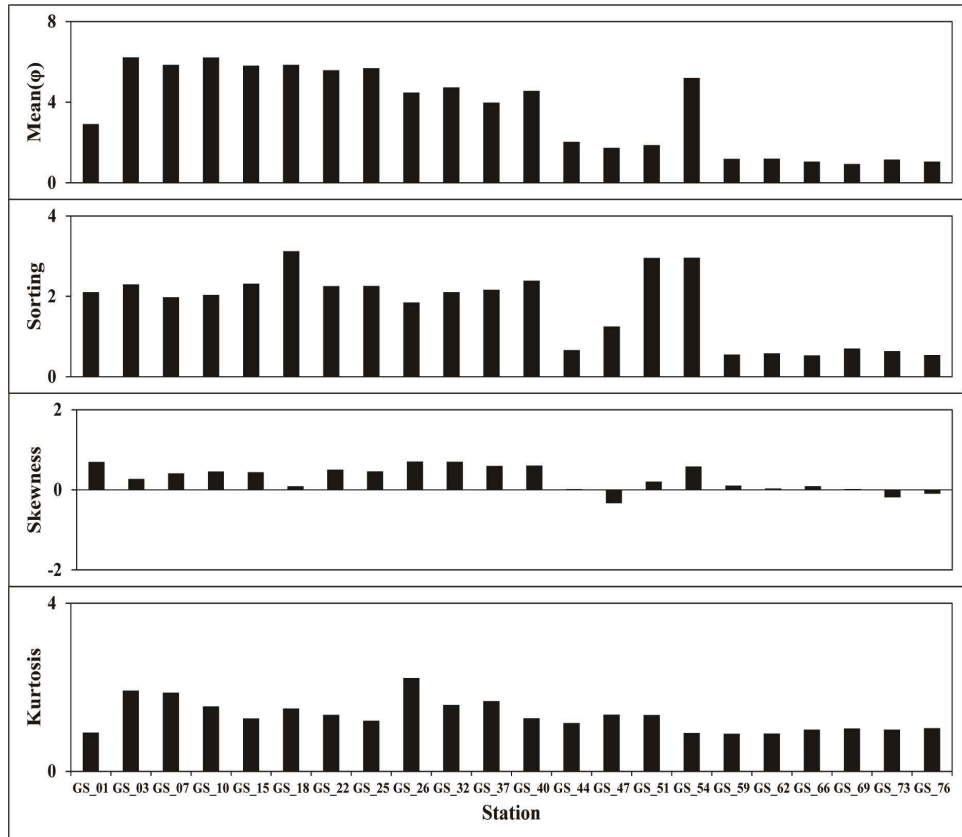


그림 3-2-1-14. GS line 입도분석 통계 결과



- GL line은 1.56 ~ 5.75  $\phi$ 의 평균입도 분포를 보이며 평균 3.81  $\phi$ 의 사질 퇴적물과 실트질 퇴적물이 우세한 환경을 보인다(그림 3-2-1-15). 평균입도는 1.56 ~ 5.75  $\phi$  사이의 분포를 보이며, 평균적으로 3.81  $\phi$ 의 입도를 보인다. 분급도는 전반적으로 2.00 이상의 매우 좋지 않은 분급을 보이고 있다. 왜도는 대체로 좌우대칭에 가까운 환경을 보이며, 첨도 역시 GL 07을 제외하면, 중첨적인(mesokurtic) 환경을 보이고 있다.

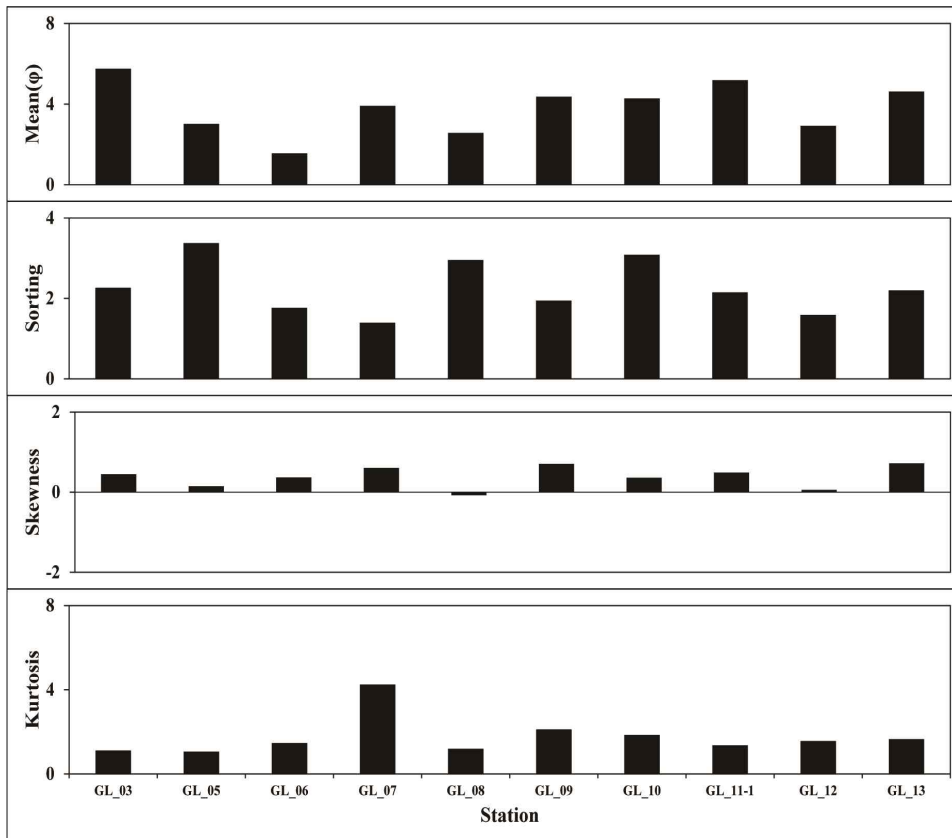


그림 3-2-1-15. GL line 입도분석 통계 결과

○ 지형고도측량

- Laica 사의 RTK-GPS 장비인 Viva 시스템을 사용하여 정밀고도를 측정하였다(그림 3-2-1-16). 측정한 정점의 자료는 UAV 기반 DEM을 제작하는데 사용하였으나, 육지로부터 물까지의 지형고도의 변화를 관측하기에 용이한 정점으로 판단되어 분석하였다.
- GT01 ~ 12의 총 12개의 정점에서 관측을 진행하였다.
- 육지에서 물 쪽으로 갈수록 지형고도는 지속적으로 감소하는 경향을 보였으며, 최대 2.04 m에서 -2.48 m 까지 감소하였다.

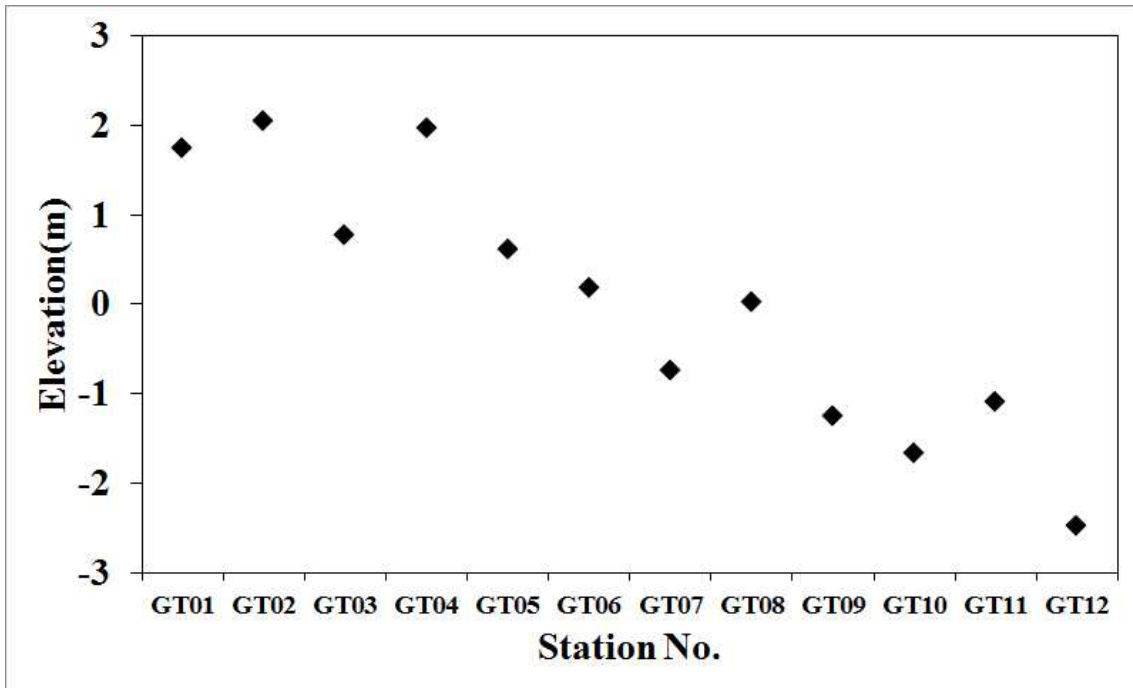


그림 3-2-1-16. 가로림만 갯벌 GT line 지형고도측량 결과

○ 저서생물 서식 분석

- 대형저서동물 분석을 위한 조사는 대형저서동물을 대상으로 도보로 이동하며 수행하였다.
- 조사 정점은 서식지 특성에 따라 설정된 24개의 정점으로 0.5 m × 0.5 m 크기의 방형구를 이용하여 정점별로 3회씩 반복하여 방형구 내의 종별 개체수를 계수하였다.
- 종의 판단은 저서동물 굴(burrow)의 모양이나 생물의 활동 흔적을 통해 이루어졌으며, 이 과정에서 확인되지 않거나 혹은 알 수 없는 생물의 흔적은 직접 파서 생물을 잡거나, 굴 내에 레진을 투입하여 굴의 모양을 본 때, 종을 확인하였다.
- 방형구 조사를 통해 분석된 황도 갯벌에 서식하는 대형저서동물은 길게, 칠게, 펼털콩게, 가재붙이, 동죽, 바지락, 흰이빨참갯지렁이 등 총 32종이었으며, 퇴적상과 노출시간에 따른 서식지 분화가 관찰되었다.

라. 강화도 갯벌(동막리 일대)

1) 연구지역 개관

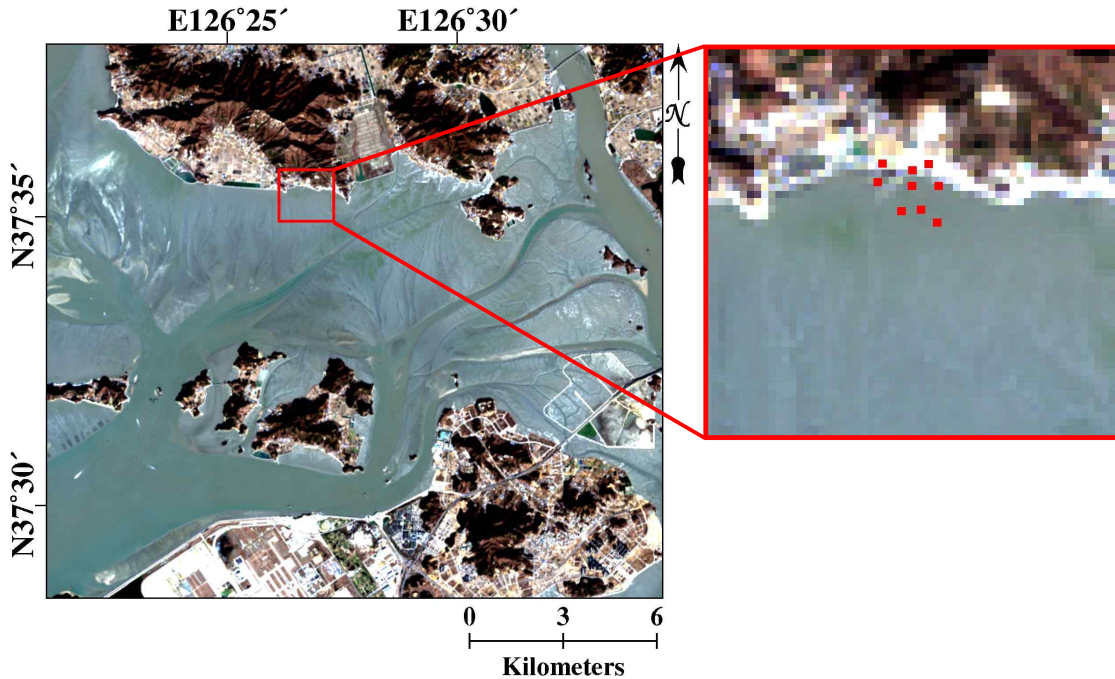


그림 3-2-1-17. 강화도 연구 지역 및 조사정점

- 인천광역시 강화군에 위치한 강화도의 남단 갯벌은 서해안에서 가장 큰 규모의 갯벌 중 하나이며, 한강, 임진강, 예성강 등의 강으로부터 유입된 퇴적물에 의하여 형성된 하구 갯벌이다.
- 면적은 약 90km<sup>2</sup> 정도로 강화도 전체 갯벌 면적의 약 86 %를 차지한다(오 등, 2006, 유와 최, 2005).
- 갯벌 동쪽에는 염하수로, 서쪽에는 석모수로, 남쪽에는 장봉수로가 존재하여, 퇴적물의 유입과 유출을 담당한다.
- 조석은 하루에 두 번 만조와 간조가 나타나는 반일주조가 우세하며, 최대 조차는 8 m 정도인 대조차 환경이다.
- 갯벌 남쪽의 장봉 수로에서는 창조류가 우세하며, 서쪽의 석모수로에서는 낙조류가 우세하게 나타난다. 한편, 동쪽의 염하수로에서는 조류의 세기가 시기별로 다르게 나타나며, 5월과 8월 중에는 낙조류가 우세하게 나타난다(오 등, 2006, 유와 최, 2005).
- 갯벌의 표층 퇴적물의 경우 사질, 니질, 혼합 환경의 다양한 종류로 구성되며, 인천국제공항 건설, 송도 신도시 개발 등의 인천 연안에서의 대규모 공사 이후, 퇴적상이 부분적으로 변화되었다. 특히 연구지역 내의 동검도 갯벌과 동막리 갯

별은 퇴적이 진행되었고, 그 밖의 다른 일부 갯벌에서는 침식이 일어나는 등, 집적률의 변화가 생겼다(Woo et al., 2002).

○ 이 연구에서 중점적으로 연구한 지역은 그림 3-2-1-17에서 강조된 지역이다.

## 2) 현장자료 획득

○ 표층 퇴적물 입도분석

- 표층 퇴적물 시료는 총 8개의 정점에서 채취하였으며, 염산과 과산화수소수로 유기물을 제거한 후 Sedigraph 기기를 사용하여 입도분석을 진행하였다.
- 역질 퇴적물의 비율은 0 %로 나타났으며, 사질 퇴적물의 함량이 전체 정점에서 10 % 미만으로 나타났다. 대부분 실트질과 점토질 퇴적물에 속한다(그림 3-2-1-18).
- 평균입도는 7.11 ~ 10.71  $\phi$  사이의 분포를 보이며, 평균 8.31  $\phi$ 의 값을 가진다(그림 3-2-1-19).
- 분급도는 0.42 ~ 2.63 사이의 분포를 보이며, 대부분 2.00 이상의 매우 좋지 않은 분급을 보인다.
- 왜도는 음의 왜도와 양의 왜도가 모두 나타나며, -0.63 ~ 0.51 사이의 좌우대칭에 가까운 형태를 보인다.
- 첨도는 GA01 정점에서만 11.01 의 극도로 급침적인 환경을 보이며, 그 밖의 정점에서는 대체로 중침적인 환경을 보인다.

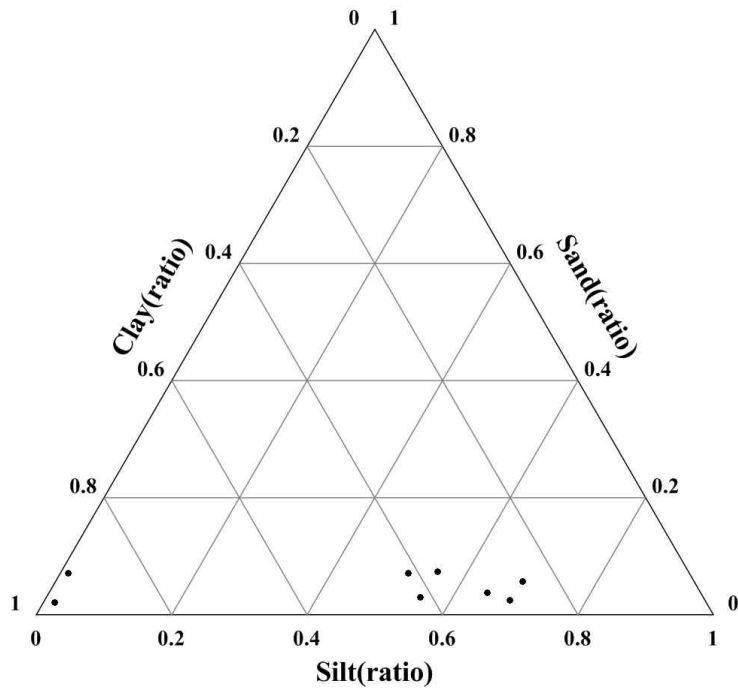


그림 3-2-1-18. Folk 분류에 따른 강화도 동막리 갯벌 입도분석 결과

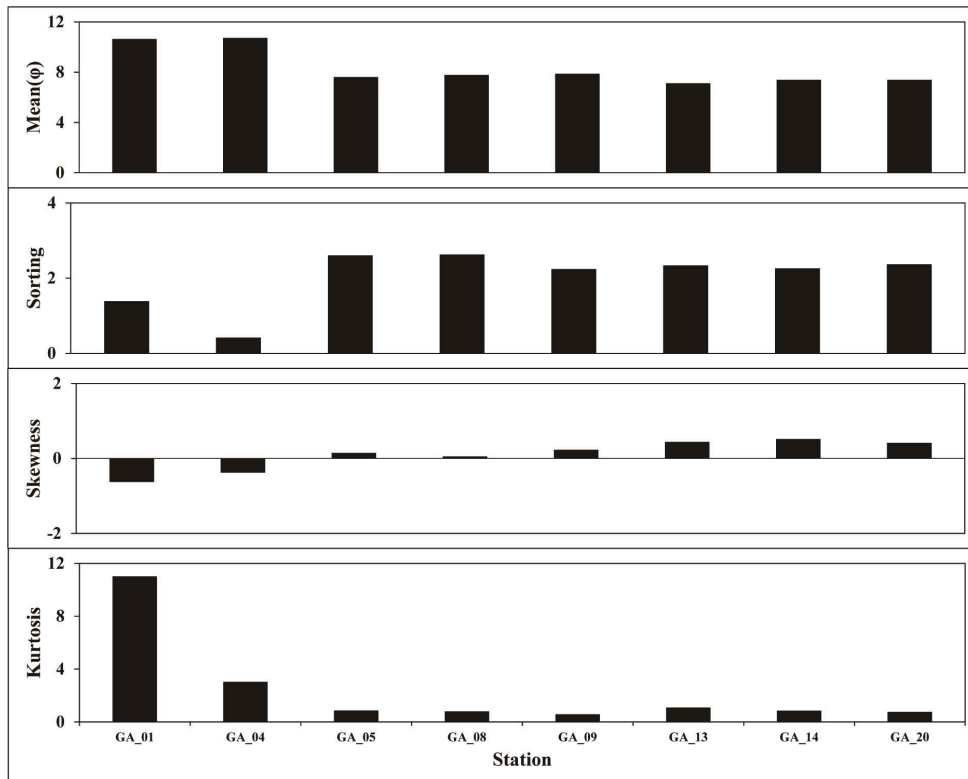


그림 3-2-1-19. 강화도 동막리 갯벌 지역 입도분석 통계값

○ 지형고도측량

- 무인항공기 기반의 DEM 제작을 위한 지상기준점을 위하여 총 9개의 정점에서 정밀 지형 고도를 측량하였다(그림 3-2-1-20).
- 측량에는 Laica 사의 RTK-GPS 장비인 Viva 시스템을 활용하였다.
- 육지에 가까운 지상기준점(Ground Control Points, GCP) 09 번을 제외한 다른 정점에서는 변화폭이 1m 이내의 값을 보였다.
- 육지에서 바다쪽으로 갈수록 완만하게 고도가 감소하는 경향을 보이고 있다.

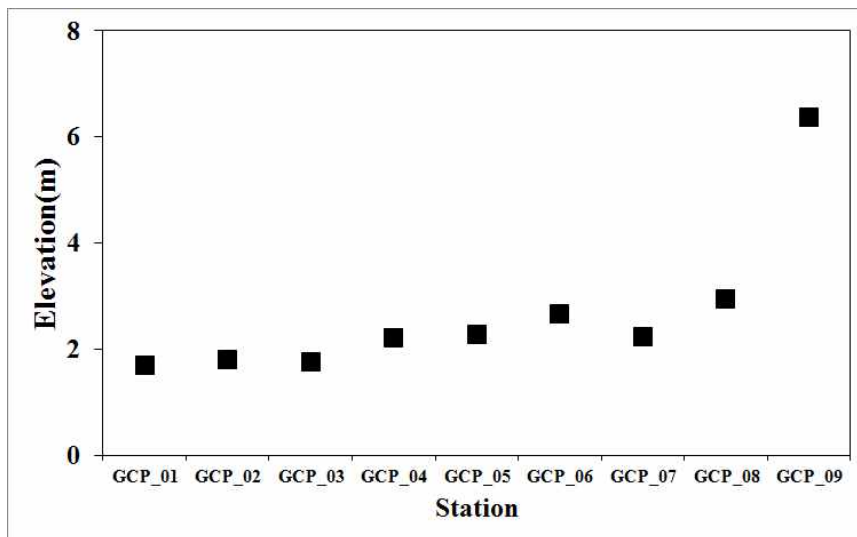
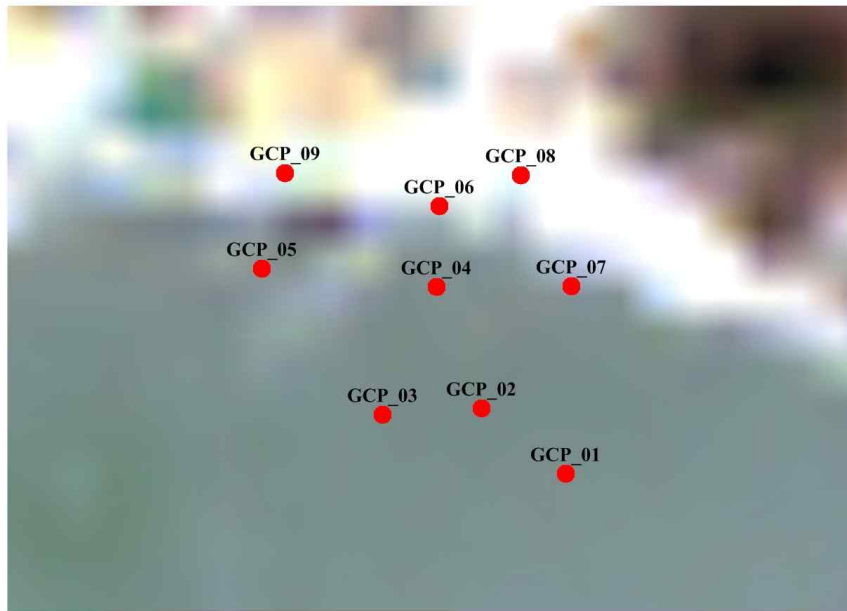


그림 3-2-1-20. 정점별 지형 고도

## 2. 원격탐사 자료

### 가. 무인항공기

#### 1) 개요

- UAV는 인간이 탑승하지 아니한 상태에서 비행하는 비행체를 통칭하는 단어이다.
- UAV를 이용한 갯벌 연구는 사람이 직접 갯벌에 들어가야 하는 수고를 줄이고, 유인항공기에 비해서 저비용 고효율의 장점을 갖는 시스템이다.
- 인공위성 원격탐사 자료는 UAV에 비해 시공간 해상도가 낮고 날씨의 영향으로 인한 Noise나 No data 인 픽셀이 발생할 확률이 높다. 이와 다르게 UAV는 원하는 날씨, 시간에 맞추어 관측을 할 수 있다는 장점을 보인다.
- 다만 관측 영역에 있어서는 UAV가 인공위성 원격탐사에 비하여 협소한 영역만을 관측할 수 있지만, 지역 갯벌, 하구역 등의 연안의 제한된 영역에 대해서는 1m 미만의 공간해상도 급의 초고해상도 영상을 획득할 수 있다.
- 본 연구에서는 고도 500 m 미만의 저고도 비행체를 이용하여 갯벌 지역의 영상을 촬영하였다.

#### 2) 무인항공기 시스템 구축

- 연안, 특히 갯벌의 변화를 자세히 관측하기 위하여 1 m 미만의 공간해상도를 갖는 정사영상을 제작할 수 있는 회전익 UAV 시스템을 사용하였다.
- 회전익 UAV는 고정익 UAV 시스템에 비하여 넓은 영역의 촬영은 어렵지만, 자세제어가 쉽고, 보다 안정된 상태로 관측이 가능하다는 장점이 있다.
- 이 연구에서 사용된 회전익 UAV는 신호의 송수신 거리는 최대 2 km이며, 비상시 자동 이/착륙이 가능하며, 미리 경로를 설정하여 비행이 가능하다(표 3-2-2-1).
- UAV에 탑재한 센서는 Full frame으로 광학 영상을 촬영할 수 있는 Canon 6D DSLR 카메라와 근적외성 파장 영역까지 촬영가능한 다분광 센서인 Micasense사의 Rededge(VIS/NIR) 센서 두 종류를 사용하였다.

표 3-2-2-1. 회전익 무인항공기 시스템

모델	회전익 무인항공기	
무게	약 9 kg (센서 포함)	
길이	90 cm	
비행 시간	약 15분	
비행 속도	10 m/s	
송·수신거리	약 2 km	
비행 형식	자동 이·착륙 및 경로비행	

- 일반적인 UAV의 경우 조종기를 사용하여 사람이 직접 조종하지만, 본 연구에서는 갯벌의 DEM 제작을 위하여 자동 조종 시스템을 사용하였다.
- DEM 제작의 경우, 촬영한 사진들의 오버랩(Overlap) 비율이 중요하고, 영상의 왜곡이 생기지 않도록 자세제어가 필요하기 때문에 UAV의 자세와 경로를 자동으로 설정하고 유지하여 주는 자동조종 시스템이 유리하다.
- 이 경우 기체에 맞게 설계된 전용 소프트웨어를 통해 고도, 속도, 방향, 항로, 경로 등의 값을 초기에 입력한 후 이러한 요인들을 유지한 상태로 관측이 시행된다.
- 지상제어 시스템을 이용하여 안정성을 추가로 확보할 수 있다. 지상제어 시스템은 컴퓨터, 송신기, 통신장치, 조종기, GPS, 관성측정장치(IMU) 등으로 구성되어 있으며, 조종사의 주관에 따라 상황에 맞게 UAV를 모니터링 혹은 제어할 수 있다.

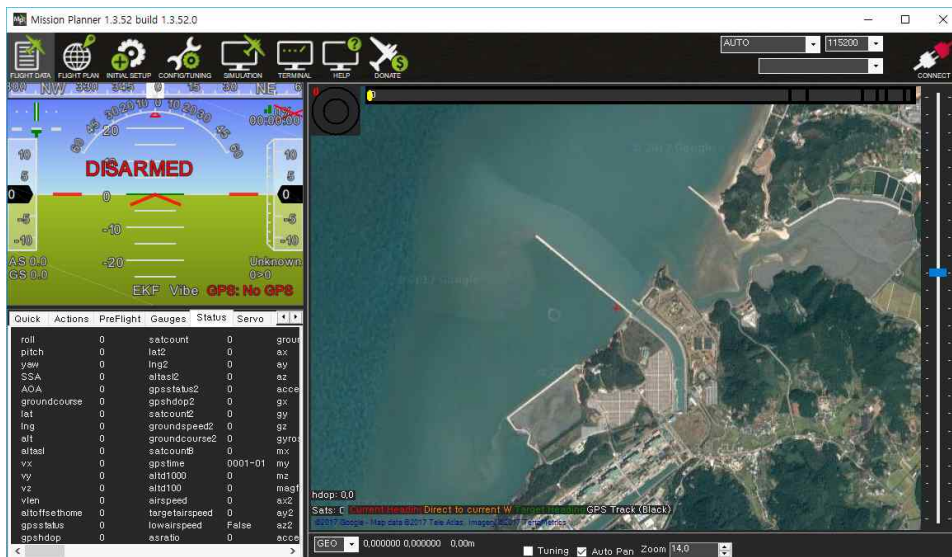


그림 3-2-2-1. 비행 모니터링 및 제어 소프트웨어

- 추가적으로 기체의 자세변화에 따른 영상의 왜곡을 감소시키기 위하여, 자세제



어장치인 자이로스코프 센서가 장착된 짐벌을 사용하여 카메라가 항상 직하 방향을 촬영할 수 있도록 하였다.

- 무인항공기 운용 시 해발고도가 1 m 이하가 되면 GPS/IMU 자세정보 시스템의 오작동으로 인하여 지정한 위치를 찾지 못하게 되므로 주의가 필요하다.
- 이 연구에서는 UAV를 사용하여 황도, 을속도, 강화도, 가로림만 깃벌의 촬영영상을 획득하였고, 이 영상들을 통해 정사영상과 DEM을 제작하였다(표 3-2-2-2).

표 3-2-2-2. 무인항공기 자료 목록

날짜	연구지역	플랫폼	종류	센서
2015-10-27	황도	회전익	정사영상, DEM	캐논 6D
2016-05-05	을속도	회전익	정사영상, DEM	캐논 6D
2016-09-08	강화도	회전익	정사영상, DEM	캐논 6D, Rededge
2016-11-29	가로림만	회전익	정사영상, DEM	Rededge
2017-09-20	황도	회전익	정사영상, DEM	캐논 6D
2017-10-20	강화도	회전익	정사영상, DEM	캐논 6D, Rededge

나. 유인항공기

다. 센티넬 시리즈

- 센티넬-2(Sentinel-2) 위성은 유럽우주국(European Space Agency, ESA)에서 주관하는 Global Monitoring for Environment and Security(GMES) 계획에서 진행되는 센티넬 미션의 일환으로 개발된 지상 관측용 위성이다.
- 계획상으로는 총 15년의 관측기간이 설정되어 있다.
- 기존의 지상 관측용 위성인 Landsata 시리즈의 위성보다 높은 해상도의 육상 및 해양 영상을 제공하며, A와 B 두 개의 위성이 한 쌍을 이루어 마주보고 공전하는 방식으로 운영되고 있다.
- 극궤도를 따라서 움직이며 궤도는 768 km 상공에 위치한다. 관측 범위는 남위 56도에서 북위 84도 사이이다.
- 적도에서 A와 B가 각각 10일의 재방문 주기를 가지며, 결과적으로 5일의 재방문 주기를 갖는다. 중위도에서는 그보다 짧은 2~3일의 재방문 주기를 갖는다.
- 센티넬-2 위성의 기본 정보는 표 3-2-2-3에 기술하였다.

표 3-2-2-3. 센티넬 2 기본 성능

Sentinel-2 mission features.

Mission features	Data
Mission lifetime	15 years
Number of satellites	2
Nominal in orbit satellite lifetime	7.25 years with consumables for additional 5 years
Nominal orbit	Sun synchronous 786 km (mean altitude), 10:30 LTDN
Land coverage	-56° to +84°
Global revisit time	<5 days
Global NRT latency	<2 h to reception on ground
High quality mission products	Level 0, 1
Mission phases	LEOP, commissioning, operational, de-orbiting

표 3-2-2-4. 센티넬-2 관측 파장 대역 및 밴드별 공간해상도(ESA 홈페이지 제공)

Spatial Resolution (m)	Band Number	S2A		S2B	
		Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central Wavelength (nm)	Bandwidth (nm)
10	2	496.6	98	492.1	98
	3	560.0	45	559	46
	4	664.5	38	665	39
	8	835.1	145	833	133
20	5	703.9	19	703.8	20
	6	740.2	18	739.1	18
	7	782.5	28	779.7	28
	8a	864.8	33	864	32
	11	1613.7	143	1610.4	141
	12	2202.4	242	2185.7	238
60	1	443.9	27	442.3	45
	9	945.0	26	943.2	27
	10	1373.5	75	1376.9	76

- 센티넬-2 위성의 센서는 다분광 센서로 표 3-2-2-4에서 기술한 바와 같이 1~12 번으로 명명된 총 13개 밴드의 파장대역을 가지며, 그 범위가 가시광 대역부터 단파장 적외선(Short Wave Infra Red, SWIR) 영역에까지 이른다.
- 공간해상도는 파장대역에 따라 10, 20, 60 m의 해상도를 가진다. 최대 관측 범위는 290 km이며, 이는 랜셋(Landsat) 185 km, SPOT(*Satellite Pour l'Observation de la Terre*; Satellite for observation of Earth) 120 km에 비해 월등히 넓은 범위이다(Drush et al., 2012).
- 영상은 기본적으로 압축된 L0 단계로 제공되며, 압축을 풀게 되면 L1A 단계다

된다. L1A 단계 영상을 방사보정을 통해 L1B 단계로 향상시키고, 여기에 좌표를 부여하여 L1C 단계로 향상시킨다. L1C 단계의 영상은 기본적으로 TOA(Top Of Atmosphere) 반사도 자료를 포함하고 있으며, 구름, 육지, 해상에 대한 mask 과일을 포함하고 있다. 산출물은 L2, L3 단계의 영상으로 제공되며 BOA(Bottom Of Atmosphere) 반사도, Generic land cover, FPAR(Fraction of absorbed Photosynthetically Active Radiation) 등의 산출물을 제공할 수 있을 것으로 기대된다(표 3-2-2-5).

표 3-2-2-5. 센티넬 2에서 생산 가능한 산출물

Potential future Levels 2 and 3 data products.

Name	Description	Goal accuracy	Product level
Bottom-of-atmosphere reflectance	Atmospherically-corrected product including cloud screening, and adjacency/slope effects correction.	5%	2A
Generic land cover	Land cover with a set of basic generic classes compatible with those already used for generic services such as GLC 2000 and CORINE.	TBD	2B
Fraction of absorbed photosynthetically active radiation	Fraction of the radiation in the photosynthetic domain (400-700 nm) that is absorbed by leaves. Values range between 0 and 1. Product to provide continuity of MGVI [RD-34]. For Sentinel-2 this index would provide MGVI at high resolution.	RMS=0.05 S/N=21	2B
Leaf area index	Map with the green leaf area per unit soil area.	10%	2B
Fraction of vegetation cover	% of the land surface covered by vegetation.	TBD	2B
Leaf chlorophyll content	The amount of chlorophyll per square centimeter. This product would provide continuity of MTCI [RD-31]. For Sentinel-2 this index would provide MTCI at high resolution. This index is directly related to the chlorophyll content of vegetation.	TBD	2B
Leaf water content	The amount of water in weight (grams) or volume (cubic centimeters) per unit leaf weight (grams) or volume (cubic centimeters). This parameter can be remotely sensed and is important in estimating the potential of transpiration and the vegetation energy balances.	TBD	2B
Spatio-temporal syntheses of Level 1C or 2A products.	N/A	N/A	3

## 라. TanDEM-X

### 1) TanDEM-X 개요

- TanDEM-X(TDX)는 독일 항공우주센터(Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V., DLR) 의 고해상도 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR) 계획의 일환으로 개발된 인공위성이며, TerraSAR-X(TSX)와 한 쌍으로 가동하도록 설계된 위성이다.
- 두 위성은 Inteferometric SAR 방식으로 지표를 관측하게 되는데 이 때 중요하게 생각되는 요소는 두 영상의 위상차(Phase difference)이다. 일반적으로 서로 다른 두 영상이 위상차를 계산할 때 기선(baseline)의 길이에 따라 정확도가 결정되게 되며, TSX와 TDX는 이 기선의 길이를 조정하여, 지표의 굴곡이 심하지 않은 갯벌에서도 지형표고를 매우 정밀하게 측정할 수 있다는 장점을 가진다.
- TDX를 이용한 관측 방식은 크게 PM(pursuit Monostatic), LB(Large baseline Bistatic), SB(Short baseline Bistatic mode) 로 나뉜다.
- PM mode는 TDX와 TSX 두 위성이 독립적으로 움직이며, 각 위성에 탑재된 송신기와 수신기를 사용하여 한 지역의 영상을 각각 관측한다. 이 때 두 위성의 간격은 보통 30에서 50 km 사이이다.
- SB mode는 한 개의 위성에서 신호를 보낸 후 두 위성이 동시에 신호를 받는

mode이다.

- LB mode는 두 위성 간의 거리를 조정하여 위상차이를 더 민감하게 감지할 수 있도록 하는 방식이며, 고해상도의 지표 변위 영상을 얻을 수 있다. 이를 통해 비교적 표면의 위상차이가 적게 나는 해빙이나 갯벌 지역들의 수치지형도를 제작할 수 있다(Lee & Ryu, 2017).

## 2) TanDEM-X의 관측 방식과 정확도

- SB mode의 경우 일반적인 지상에서의 변위를 관측하는데에는 탁월하지만, 지표 변위가 매우 적은 갯벌 등의 지역을 연구하기 위해서는 기선의 길이가 길어야 하기 때문에 갯벌의 DEM을 만드는 과정에서는 제외하였다.
- PM mode에서 두 위성은 약 76 km 정도의 거리가 떨어져 있으며, 시간적 기선으로는 약 10 초의 차이를 보인다. 공간적 기선은 0에서 750 m 범위에서 다양하다. 이 때 수직 변위에 대한 민감도는 일반적인 bistatic mode에 비하여 두 배 높기 때문에 높이에 대한 모호성(Height of Ambiguity, HoA)이 절반으로 줄어든다.
- LB mode에서는 두 위성간의 공간 기선을 3~4 km 까지 증가시키므로, HoA가 더 줄어들어 불과 수 미터 정도이다.
- DEM 제작에 사용된 PM, LB mode는 TSX와 TDX가 촬영하는 방식에 따라 3가지 방식으로 나뉘는데, 각각 Stripmap(SM), Spotlight(SL), ScanSAR(SC)로 칭해진다. SC는 상대적으로 해상도가 떨어지기 때문에 영상 관측에선 제외되었다.
- SM mode의 경우 일반적인 SAR 영상 촬영 모드로, 1.0 ~ 1.5 m의 해상도를 가지며 30 km의 관측 범위를 가진다. SL mode는 10 × 10 km의 관측 범위를 가지며 1.7 m의 공간해상도를 가진다. HS mode는 5 × 10 km의 관측 범위와 0.74 ~ 1.77 m의 공간해상도를 가진다.
- HoA가 10 m 미만으로 낮아졌기 때문에 그에 따른 고도 오차가 매우 적게 나타난다. 그에 따라 DEM의 정확도 역시 매우 높은 편이다. 그림 3-2-2-2, 3은 각각 5 m, 7 m 해상도 DEM에서 HoA와 고도 오차의 관계를 보여주고 있다. 7 m 해상도의 DEM이 유효 표정 수가 더 많기 때문에 적은 오차를 보이고 있다.
- 5 m, 7 m 해상도의 DEM 모두 10 m 미만의 HoA를 보이며, 그에 따라 0.16 m 미만의 고도 오차를 보였다. 특히 SM mode의 경우 HoA가 5 m 미만의 값을 보이며, 0.1 m 미만의 오차를 보인다.
- 이 연구에서는 황도 갯벌을 대상으로 TDX를 활용한 DEM을 제작하였으며, 영상 촬영 날짜는 2015년 1월 31일, 2015년 10월 28일이었다. 2015년 1월 31일의 영상으로 테스트 후 2015년 10월 28일의 영상을 활용하여 최종적으로 DEM을 제작하였다.

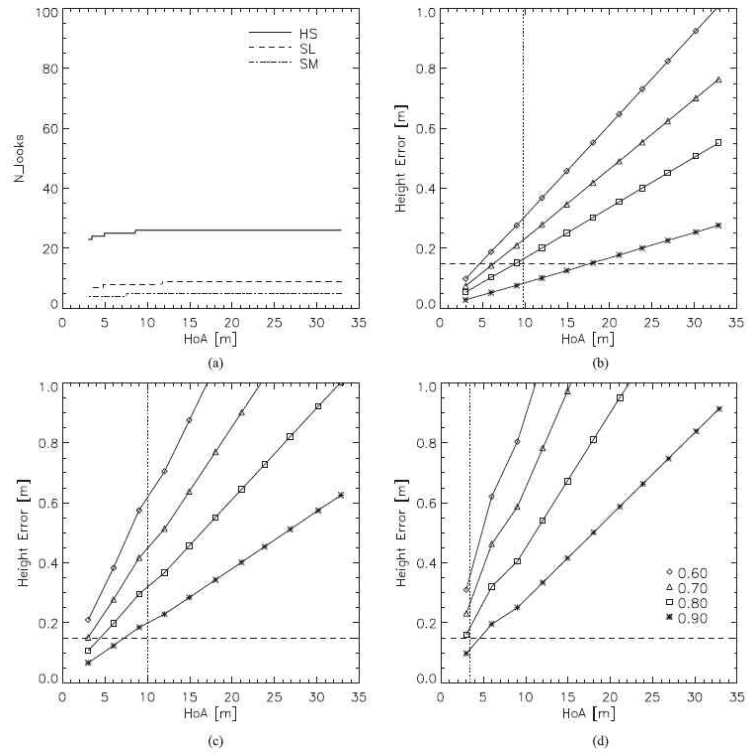


그림 3-2-2-2. 5m 해상도의 DEM 제작시 고도 에러값. (a) HS, SL, SM 모드의 각 유효 표정 수(effective number of looks), (b) HS 모드 고도 에러, (c) SL 모드 고도 에러, (d) SM 모드 고도 에러

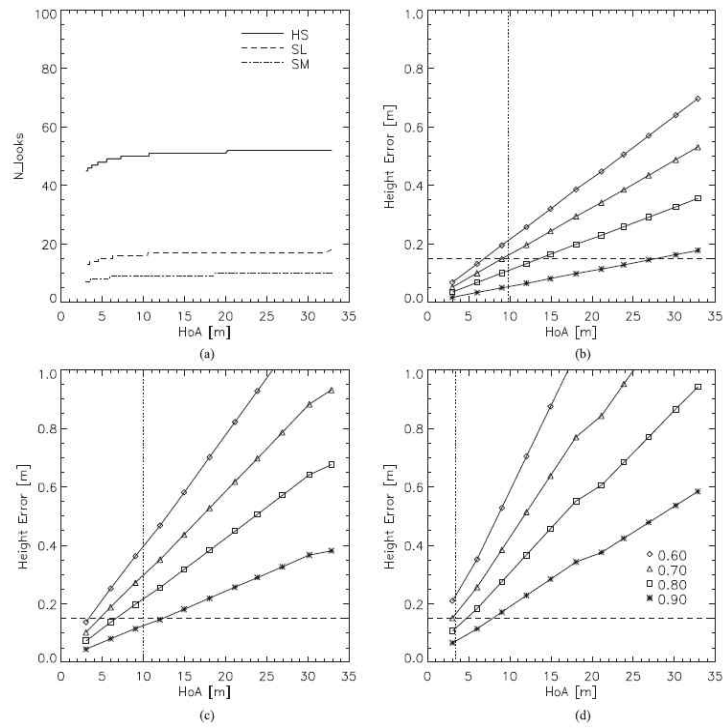


그림 3-2-2-3. 7m 해상도의 DEM 제작시 고도 에러값. (a) HS, SL, SM 모드의 각 유효 표정 수(effective number of looks), (b) HS 모드 고도 에러, (c) SL 모드 고도 에러, (d) SM 모드 고도 에러

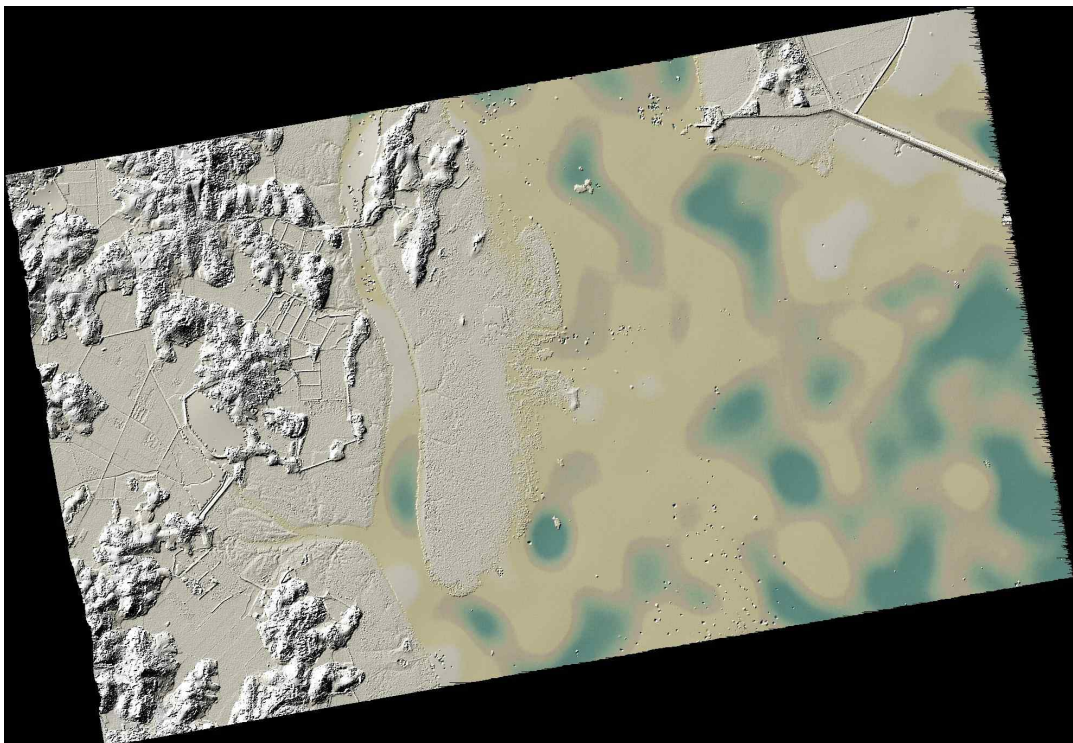


그림 3-2-2-4. 황도 지역의 TDX 촬영 영상(2015년 1월 31일)

마. 기타영상

1) Landsat

- Landsat 미션은 미국 지질조사국(United State Geological Survey, USGS)과 미 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)이 공동으로 운영하는 프로젝트이며, 북미 대륙의 육지 지역을 관측하는 프로그램인 USGS Land Remote Sensing (LRS) program의 필수 요소이다(USGS 홈페이지 제공).
- 주로 육상과 연안 지역을 관측하는데 최적화 되어 있으며, 1972년 7월 23일 Landsat-1 위성이 관측을 시작한 이래로 Landsat-1~8 까지의 위성이 지속적으로 관측을 이어오고 있다(Landsat-6의 경우 관측 궤도에 정상적으로 진입하지 못하였음).
- 현재는 Landsat-7, 8 위성만 관측을 지속하고 있으며, 다른 위성들의 경우 임무 기간이 종료되었다.
- Landsat-7은 Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+) 센서를 탑재하였으며, 30 m의 공간해상도를 가진다. 재방문 주기는 16일이며, 전 지구를 관측 범위에 따라 구역별로 나누어 촬영하는데 우리나라는 114 ~ 116 열과 34 ~ 36 행에 위치한다. 탑재된 ETM+ 센서는 다분광센서(Multi-Spectral Sensor, MSS)로 밴드 1~8까지 8개의 대역에서 촬영이 이루어진다(표 3-2-2-6. 밴드 1~3 번은 가시광선(Visible, VIS), 4번은 근적외선(Near Infra-Red, NIR), 5번과 7번은 단파장적외선(Short-Wave Infra-Red, SWIR), 6번은 열적외선(Thermal Infra-Red, TIR), 마지막으로 8번은 전정색(Panchromatic, PAN) 영역으로 VIS/NIR 영역의 합성영상이다. TIR 영상은 원래 60 m 공간해상도를 가지지만, 30 m 해상도로 resampling 되어 제공되며, PAN 영상은 15m 해상도로 제공된다.

표 3-2-2-6. Landsat-7 밴드 정보

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Blue	0.45-0.52	30
Band 2 - Green	0.52-0.60	30
Band 3 - Red	0.63-0.69	30
Band 4 - Near Infrared (NIR)	0.77-0.90	30
Band 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.55-1.75	30
Band 6 - Thermal	10.40-12.50	60 * (30)
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.09-2.35	30
Band 8 - Panchromatic	.52-.90	15

- Landsat-8 은 Operational Land Imager(OLI) 센서와 Thermal Infra-Red Sensor(TIRS)를 탑재하였으며, Landsat-7과 동일한 30 m의 공간해상도를 가진다. 재방문 주기 역시 16일이며, 7과 함께 관측할 경우 8일의 재방문 주기를 가지게 된다. OLI 센서는 MSS 센서이며 파장대역은 7보다 확장되어 총 11개의 밴드를 가진다(표 3-2-2-7).

표 3-2-2-7. Landsat-8 밴드 정보

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
Band 1 - Ultra Blue (coastal/aerosol)	0.435 - 0.451	30
Band 2 - Blue	0.452 - 0.512	30
Band 3 - Green	0.533 - 0.590	30
Band 4 - Red	0.636 - 0.673	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.851 - 0.879	30
Band 6 - Shortwave Infrared (SWIR) 1	1.566 - 1.651	30
Band 7 - Shortwave Infrared (SWIR) 2	2.107 - 2.294	30
Band 8 - Panchromatic	0.503 - 0.676	15
Band 9 - Cirrus	1.363 - 1.384	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)



### 3절 연안지형고도

#### 1. 개요

- 전자해도는 전자해도표시시스템(Electronic Chart Display and Information System, ECDIS)에서 사용하기 위하여, 종이해도 상에 나타내는 해안선, 수심, 항로표지, 위성물, 항도 등 선박의 항해와 관련된 모든 해도 정보를 국제수로기구(International Hydrographic Organization, IHO)의 표준규격(S-57)에 따라 제작된 디지털해도이다.
- 국립해양조사원은 연구소와 해양업계의 참여로 1996년부터 1999년까지 전자해도 개발 사업을 완료하였으며, 최신의 항해안전정보 유지를 위해, 매년 신/개판 전자해도를 제작하고 있다.
- 육상의 경우, 2개의 권역으로 분할하여 2년마다 항공사진 촬영을 통하여 1:5,000 급 수치지도를 갱신하거나, 필요에 따라 신규로 제작하고 있다.
- 2013년부터는 2년 주기의 전국단위 수정 외에 준공도면을 활용한 2주 단위 수시 수정 도입으로 국가기본도 수정주기를 단축하였다.
- 하지만 휴전선 인근의 접경지역의 경우 비행금지 구역에 포함되어 있어 항공사진 촬영이 어렵다.
- 이를 극복하기 위하여 1 m 공간해상도급의 고해상도 위성영상을 사용하여 파주, 문산, 연천, 고성 등 접경지역에 대하여 1:5,000 급 수치지형도를 제작하였다(박과서, 2013).
- 해양수산부에서 운영하는 연안통합지도서비스에서 제공하는 1:25,000 급의 연안정보도의 경우 해양조사원의 수심측량원도, 수치해도, 국립지리원의 육상지형도와 1998년 11월~2004년 11월 사이에 획득한 위성영상을 사용하여 생성하였다.
- 1:5,000 급의 연안정보도는 1:25,000 급 수치지형도, 2011년도 기준의 해안선조사측량자료, 전자해도, 연안관리정보시스템의 주제도, 한국토지정보시스템의 지적도, 용도지역/지구도, 해당지자체의 양식장 자료로부터 제작하였다.
- 그러나 수심 약 10m 이내의 연안은 해도/전자해도나 수치지형도에서도 수심, 지형에 대한 정보를 제공하지 않는다.
- 그에 따라 수심 10m 이내의 연안지역, 이른바 조간대 혹은 갯벌 지역에 대해서는 본 연구에서 제시하는 방법을 통하여 연안지형고도 주제도를 제작하였다.
- 무인항공기(UAV), 중해상도 위성영상, 고해상도 위성영상을 활용하여 갯벌 지역의 연안지형고도 분포도, 즉 DEM을 제작하였다.
- 연구지역은 현장조사가 함께 진행된 황도 지역, 을숙도 지역, 가로림만 갯벌, 강화도 갯벌이다.

## 1. 무인항공기

### 가. 무인항공기를 활용한 DEM 제작

#### 1) 정사영상 제작

- UAV를 이용해 촬영한 영상은 연구지역에 따라 수백 ~ 수천 장의 영상이 된다. 촬영된 영상들을 합성하여 갯벌 영역 전체에 대한 정사영상을 제작하였다.
- 정사영상 생성에 사용된 영상 편집 알고리즘은 Lowe(2004)에서 소개된 Scale-Invariant Keypoints(SIFT) 알고리즘이다.
- SIFT 알고리즘은 서로 겹치는 영역을 보유하는 최소 3장 이상의 영상에서 극값을 보이는 픽셀을 추출하여 비교한 후, 동일한 특성을 보이는 특징점을 이용해 영상을 접합하는 기술이다(Kim et al., 2015).
- 생성된 정사영상의 경우, UAV에 탑재된 GPS와 IMU에 의해 각 영상의 위치 및 자세가 보정이 되었기 때문에, 탑재된 GPS와 IMU의 성능에 따라 실제 위치에 비해 위치 오차가 발생하게 된다.
- 위치오차의 보정 및 정사영상을 활용한 정밀한 DEM 제작을 위해서는 위치와 고도를 정확하게 알 수 있는 영상에서 확인할 수 있는 점인 지상기준점이 필요하다.
- 본 연구에서 생성된 정사영상의 경우, DEM보다 높은 공간해상도를 가지며, 0.04 ~ 0.1 m 에 달하는 초고해상도를 보인다. 공간해상도는 센서에서 빛을 감지하는 CCD(Charge Coupled Device)와 센서의 시야각(Field of View, FoV), UAV의 촬영고도에 의해 결정된다(그림 3-3-1-1).
- 한편, 촬영된 영상을 통해 정사영상을 생성하는 과정에서 극값, 즉 SIFT 알고리즘에서 추출할 수 있는 point가 존재하지 않는, 잔존수가 많은 지역 같은 경우 정사영상이 생성되지 않을 수 있어 제작시 주의가 필요하다.

#### 2) 지상기준점

- 일반적으로 육지에서는 영상에서 특징할 수 있는 point들이 다양하며, 지상의 다양한 사물의 모서리, 색이 구분되는 경계 등을 지상기준점으로 설정할 수 있다.
- 갯벌의 경우 영상 내에서 특징되는 점이 존재하지 않는다.
- 때문에 UAV를 활용한 촬영 영상 내에서 확인할 수 있는 특징점인 타프(tarp)점을 갯벌 내에 설치하여 지상기준점으로 활용하였다.
- 타프점은 DEM 제작을 원하는 영역 전체에 대하여 설치하며, 간격은 UAV의 촬영고도, 영역, 해상도에 따라 다르게 설정한다.

- **Field of View (°) =  $2 \tan^{-1} \left( \frac{CCD \text{ width}}{2 \times Focal \text{ length}} \right)$**
- **Width Coverage (m) =  $2 \times Altitude \times \tan \left( \frac{Field \text{ of View}}{2} \right)$**
- **Ground Sample Distance (m) =  $\frac{Width \text{ Coverage}}{Width \text{ Pixels}}$**

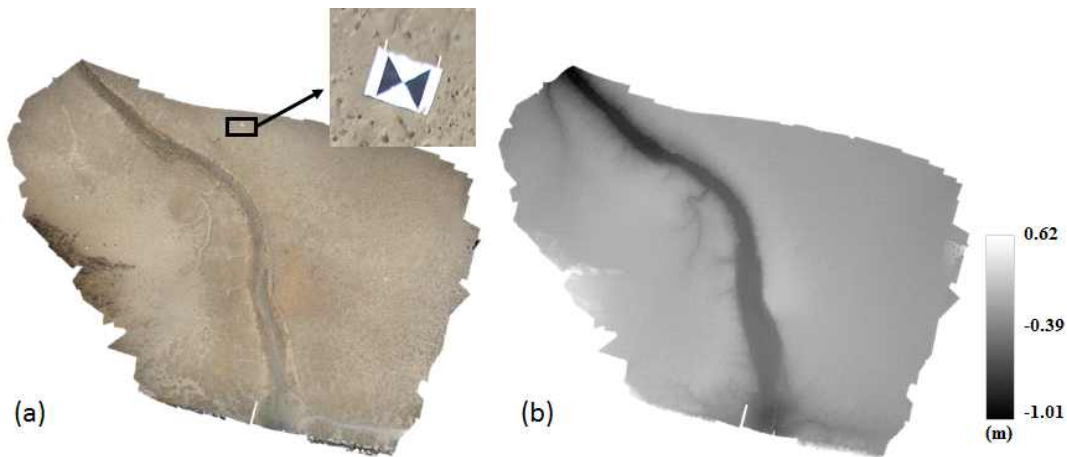
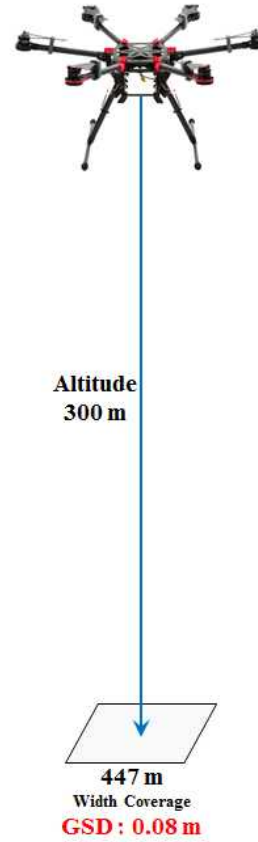
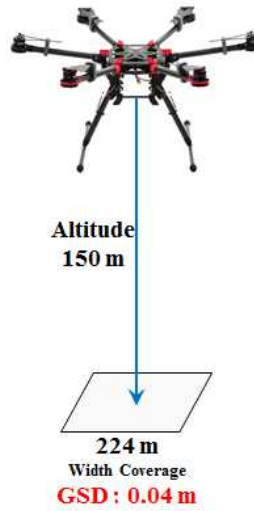
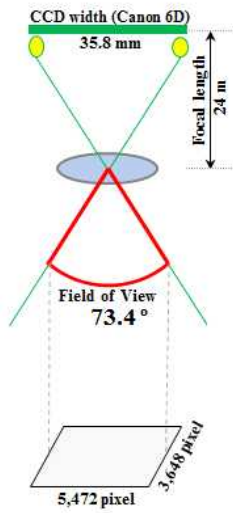


그림 3-3-1-1. 회전익 무인항공기에 장착된 센서와 고도에 따른 공간해상도 변화 및 촬영 예시

### 3) DEM 제작

- SIFT 알고리즘을 통해 제작된 정사영상의 경우, 한 극점에 대하여 3장의 영상을 사용하기 때문에 각 픽셀마다 3개의 특징점이 생성된다.
- 이 3개의 특징점을 항공삼각측량법을 사용하면 정사영상의 각 픽셀에 XYZ 방향

의 좌표를 부여할 수 있다. 다만 이 경우, 인접한 픽셀의 값을 함께 사용하기 때문에 DEM의 공간해상도는 정사영사에 비하여 성능이 떨어진다.

- 갯벌에서의 DEM 제작은 시간에 따라 갯벌의 면적이 변화하기 때문에 최간조 시간의 영상을 활용하는 것이 좋다.
- 갯벌에서의 DEM 제작과정은 그림 3-3-1-2 에 나타내었다.

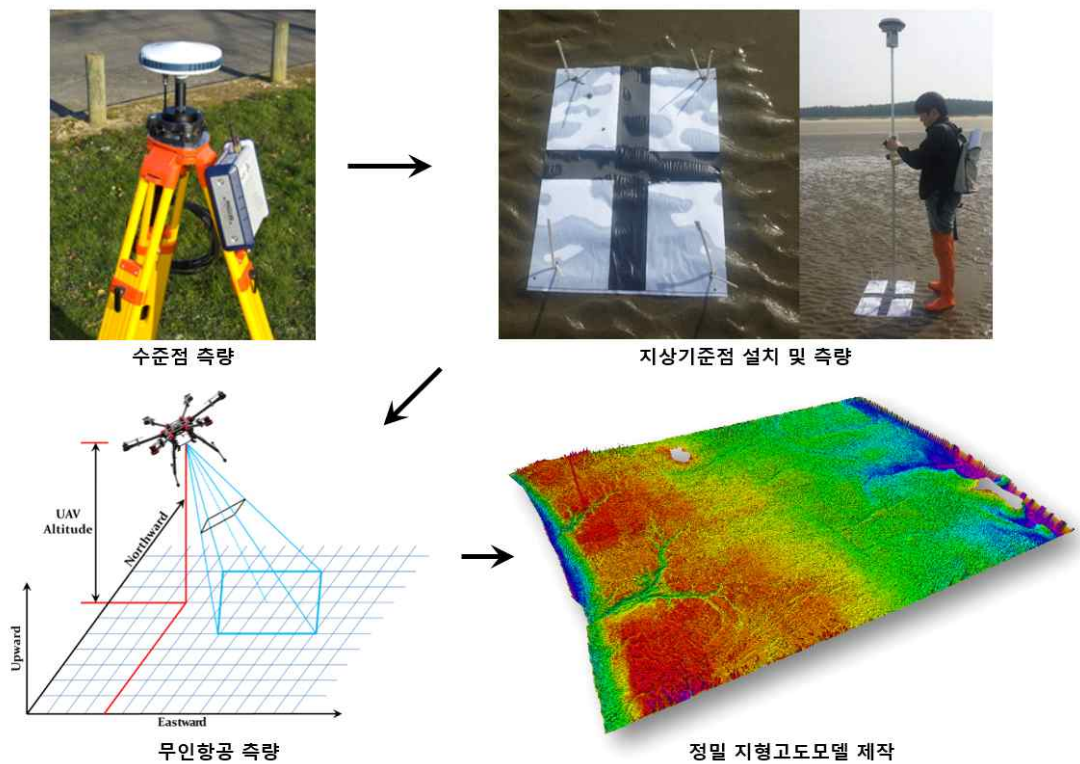


그림 3-3-1-2. 무인항공기를 활용한 DEM 제작 과정 모식도

나. 무인항공기를 활용하여 제작된 연안지형고도 주제도

1) 황도 갯벌

- UAV를 활용하여 황도 갯벌 일부 지역의 DEM을 제작하였다(그림 3-3-1-3).
- 황도 지역 갯벌의 경우 그 크기가 남북 방향으로 5 km, 동서 방향으로 1.5 km에 달하여 회전익 UAV를 이용해 전체 영역을 촬영하는데에는 시간적으로 어려움이 있다. 때문에 일부 지역을 대상으로 DEM을 제작하였다.
- 촬영은 2015년 10월에 이루어 졌으며, 공간해상도는 0.26 m로 제작되었다.
- DEM을 통해 관측한 황도 갯벌은 서쪽이 동쪽에 비해 고도가 높게 나타나며, 경사도의 경우 서쪽보다 동쪽이 더 완만하게 나타난다.
- 갯벌 전체적으로 조류로가 잘 발달해 있다.

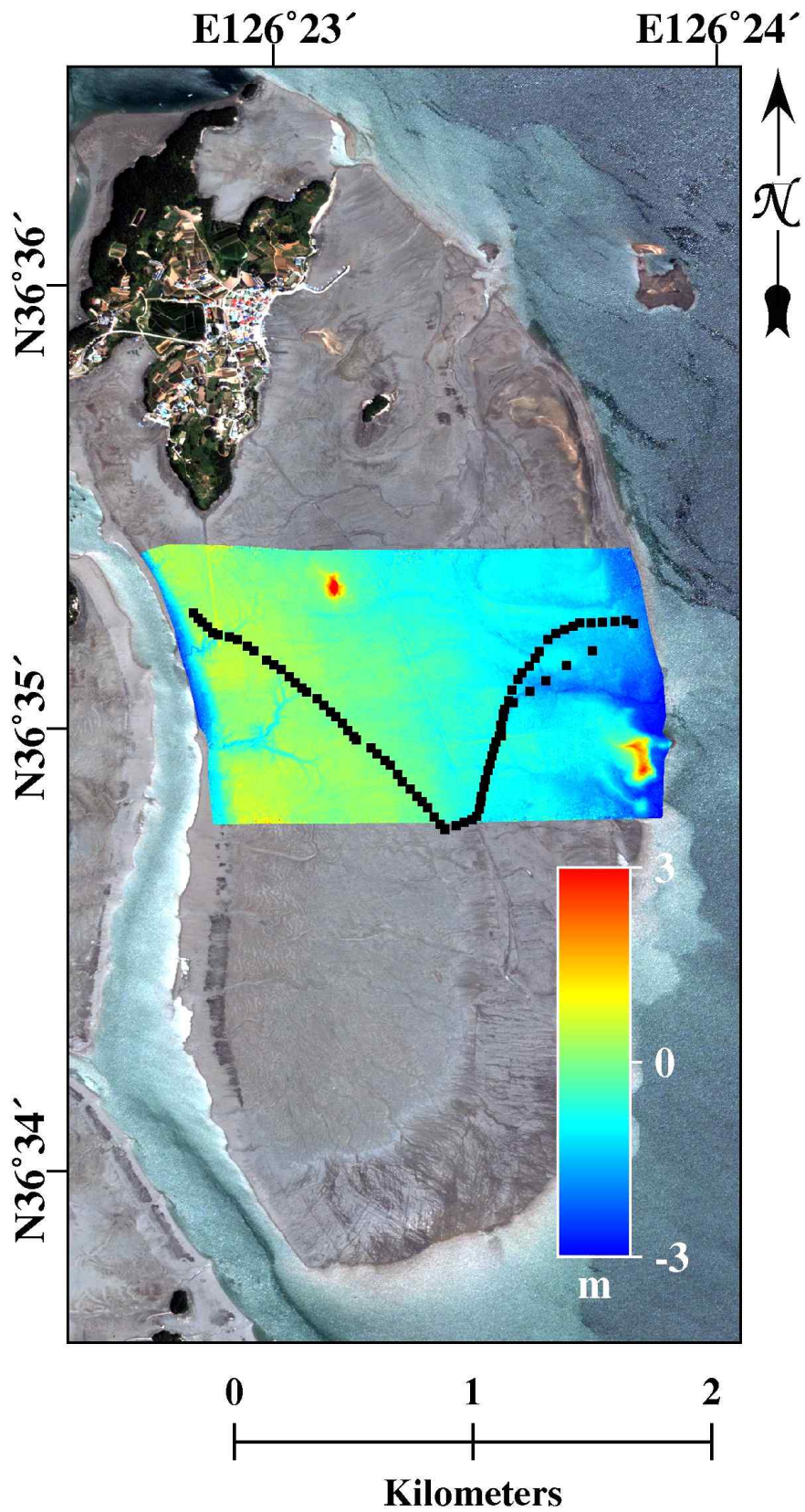


그림 3-3-1-3. 황도 지역 갯벌의 UAV 기반 DEM 과 검증에 사용한 profiling 정점

- 고도는 중심부를 기준으로 서쪽의 경우 약 1 m 고도에서 외곽으로 갈수록 낮아져 약 -1 m 미만에 이른다. 동쪽의 경우, 중심부는 약 0 m 의 고도분포를 보이며 외곽으로 가면 약 -3 m 의 고도를 보인다. 서쪽에 비하여 동쪽의 경사도가 더 높은 편이며, 그에 따라 갯벌의 노출 시간 역시 서쪽이 더 많이 노출되는 편이다.
- 제작된 DEM의 검증은 촬영일과 동일한 기간에 시행한 현장조사에서 획득한 RTK-GPS 정밀지형고도 자료와 비교하여 진행하였다(그림 3-2-2-8). 정점은 그림 3-3-1-3에서 검은색 점으로 표시하였다.
- 두 자료 간의 pearson 상관계수는 0.98로 매우 높은 상관관계를 보였고, 평균제곱근편차(Root Mean Square Error, RMSE) 또한 약 0.16 m로 DEM이 실제 지형 고도에 비하여 10 cm 미만의 오차를 보였다.
- -1 ~ 1 m 구간에서는 현장조사 자료와 DEM의 표고가 유사한 경향을 보이지만, -1 m 미만의 점들의 경우 UAV 기반 DEM이 다소 과대추정되는 경향을 보인다.

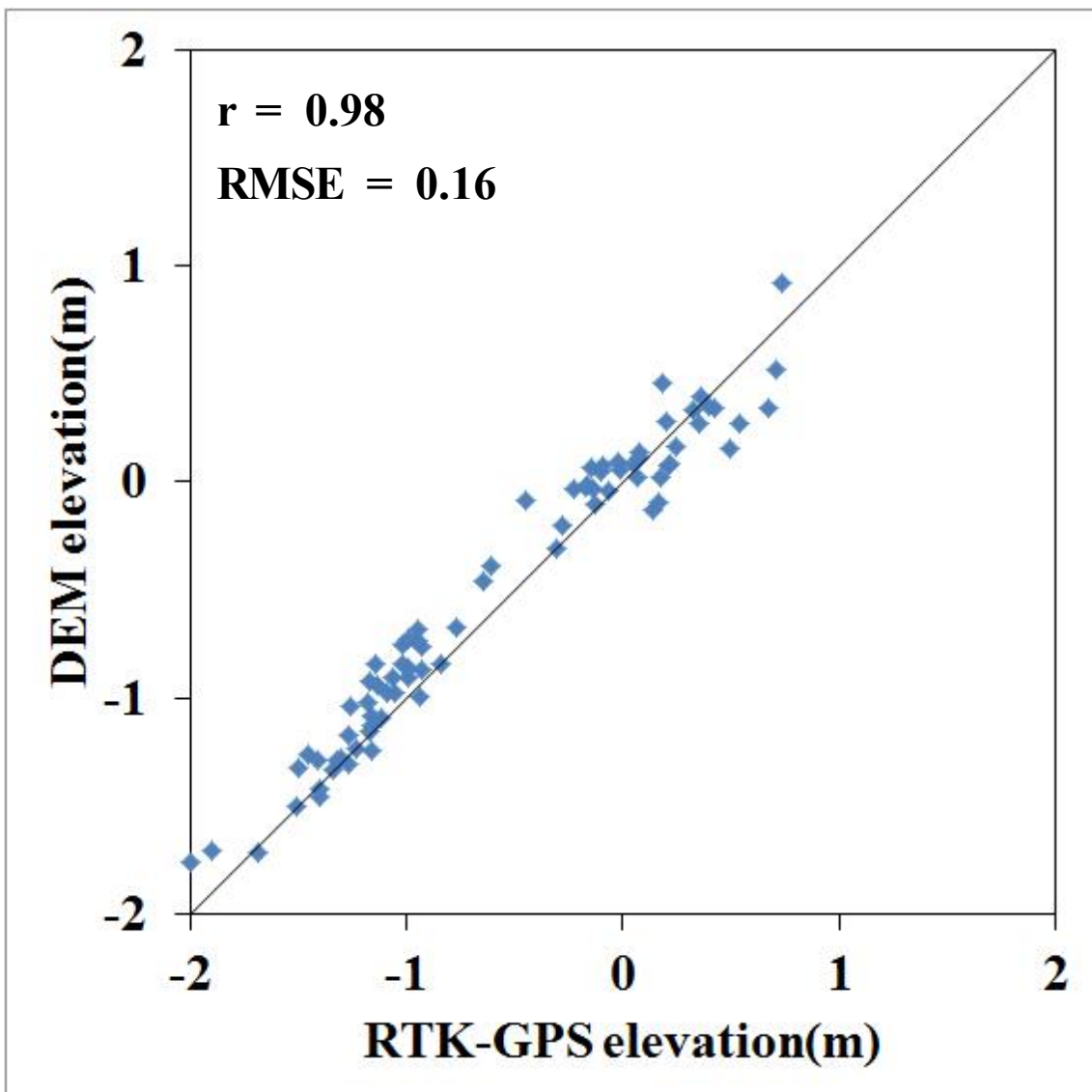


그림 3-3-1-4. 황도 UAV 기반 DEM 검증 결과

2) 낙동강 하구 갯벌

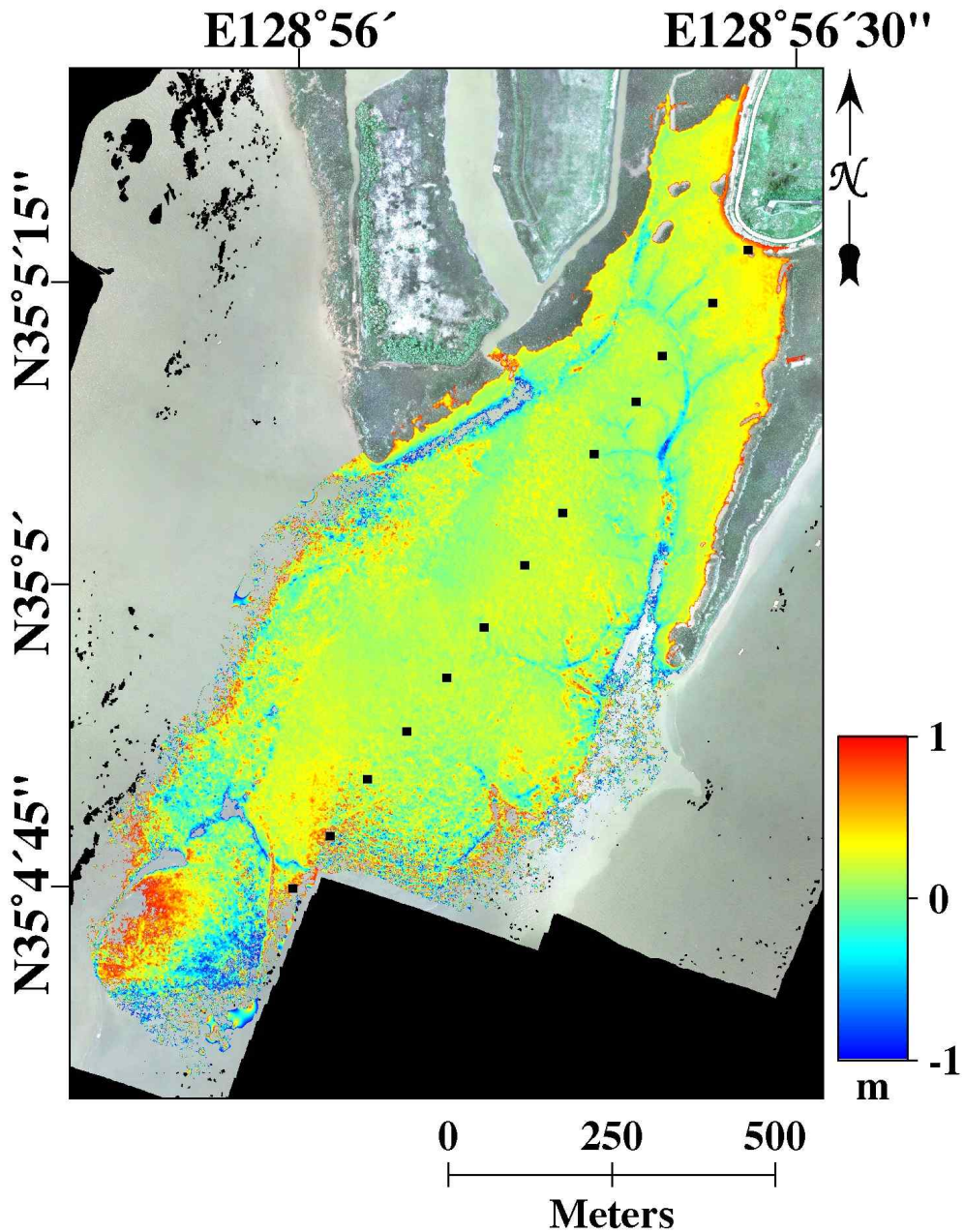


그림 3-3-1-5. 을숙도 갯벌 UAV 기반 DEM과 검증에 사용한 profiling 정점

- 낙동강 하구 일대의 갯벌 중 을숙도 지역의 UAV 기반 DEM을 제작하였다(그림 3-3-1-5).
- 제작된 DME의 공간해상도는 0.35 m이다.
- 촬영은 2016년 5월에 진행하였으며, 동일한 기간에 검증을 위하여 정밀지형고도를 측정하였다. 측정한 정점은 그림 3-3-1-5 에서 검은색 점으로 표현하였다.

- 을숙도 지역의 경우 갯벌 내에 잔존수가 많고, 촬영 시간이 부족하여 일부 지역에는 해수가 들어와 갯벌의 노출이 완전하지 않은 부분이 있었다. 그로 인하여 픽셀별로 noise가 발생하여 갯벌 외곽에서는 오차가 많이 분포하게 되었다.
- 을숙도 전체의 고도는 -0.2 ~ 0.4 m 범위에 대부분이 분포하며, 조류로나 물과 맞닿은 갯벌 외곽 부근에서는 고도가 급격하게 낮아지는 경향을 보인다.
- 현장관측을 통해 획득한 RTK-GPS 기반 정밀지형고도와 UAV 기반 DEM의 표고를 비교검증하였다(그림 3-3-1-6).
- UAV 기반 DEM이 전반적으로 RTK-GPS 지형고도보다 과대 추정되는 경향을 보인다.
- Pearson 상관계수는 0.63 으로 높지는 않지만 유의미한 상관관계를 보였고, RMSE는 0.22 m로 비교적 높은 오차를 보였다.
- 을숙도 지역의 갯벌은 잔존수의 영향이 크고, 창조시 물이 급격하게 들어와 갯벌의 노출이 빠르게 감소하는 특성을 가지므로, 이를 고려하여 연구를 진행해야 할 것으로 사료된다.

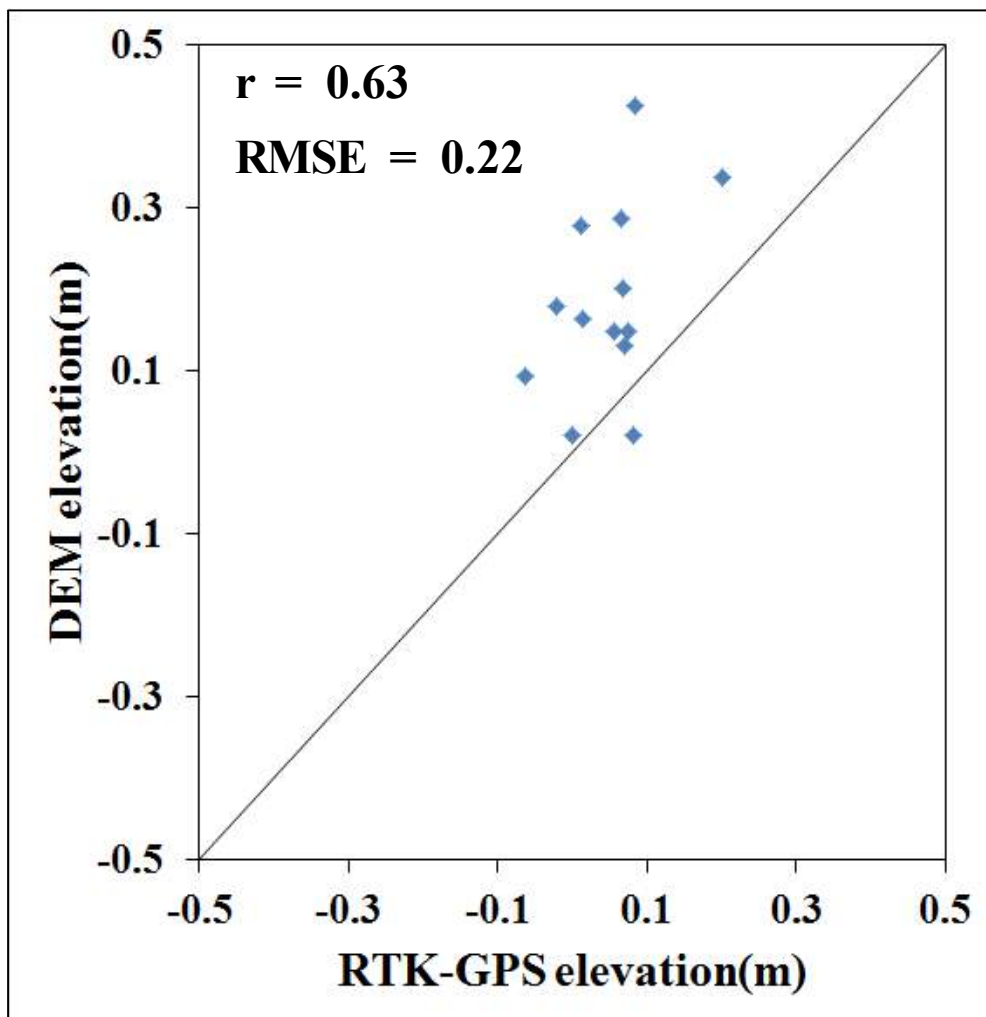


그림 3-3-1-6. 을숙도 UAV 기반 DEM의 검증 결과



### 3) 가로림만 갯벌

- 가로림만 갯벌의 촬영은 2016년 11월 현장조사를 통해 이루어졌다. 갯벌 전체 영역을 촬영하기엔 시간적으로 또한 비용적으로 문제가 있어 동부 지역의 일부 영역을 대상으로 DEM을 제작하였다(그림 3-3-1-7).
- 지상기준점은 총 12개를 사용하였으며, 검증을 위한 정밀지형고도는 측정하지 아니하였다.
- DEM의 넓이는 약 2.4 km<sup>2</sup>이며, 공간해상도는 0.89 m로 제작되었다.
- 연구지역의 표고는 0 ~ 6 m 사이에 분포하였으며, 만 내부에서 외곽으로 갈수록 표고가 점진적으로 감소하는 전형적인 갯벌의 경향을 보였다.
- 갯벌 전체 지역에서 조류로가 잘 발달해있다.
- DEM을 이용하여 연구지역의 경사도와 경사경향도를 분석하였다(그림 3-3-1-8).
- 경사도의 경우 전체적으로 완만한 경사도를 보이지만, 조류로 근처에서는 급격하게 경사도가 증가하는 경향을 보인다.
- 그와 더불어 조간대 하부에서도 급격한 경사도의 변화를 볼 수 있는데, 이를 경사경향도와 함께 비교해보면 해당 지역에 연흔이 강하게 발달해 있음을 알 수 있다.
- 경사경향도의 경우 북쪽의 0도를 기준으로 하여 방위각을 시계방향으로 0~360도로 표현한 영상으로, 연구지역의 상부조간대에서는 중심부의 조류로를 기준으로 조류로 남부 지역에서는 남서방향의 경사경향을, 북부에서는 동남방향의 경사경향을 보인다.

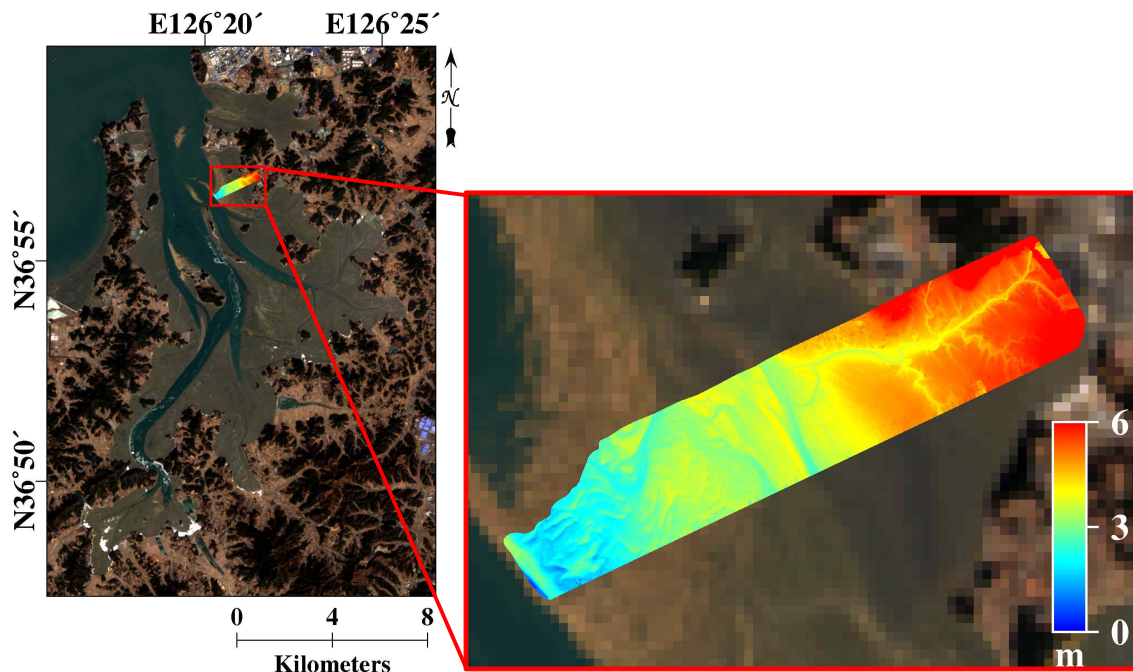


그림 3-3-1-7. 가로림만 갯벌의 UAV 기반 DEM

- 하부 조간대의 연흔은 동남쪽 방향을 향해서 생성이 되어있으며, 길이가 수백미터에 이르는 형상을 보인다.

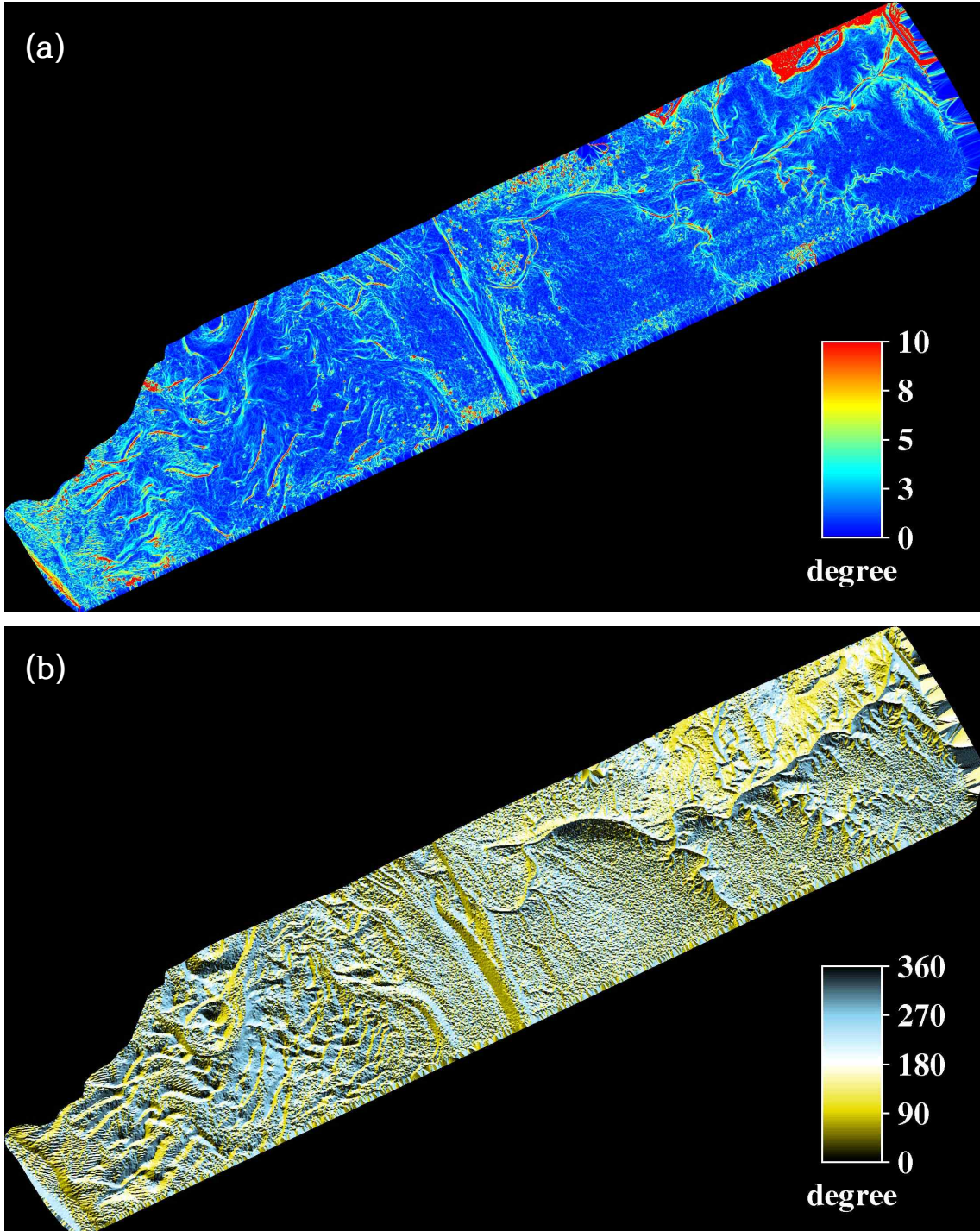


그림 3-3-1-8. UAV 기반 DEM을 사용하여 제작한 가로림만 지역이 경사도(a)와 경사경향도(b)

#### 4) 강화도 갯벌

- 강화도 남부 갯벌 중 동막리 일대의 갯벌 일부를 대상으로 UAV 기반 DEM을 제작하였다(그림 3-3-1-9). 공간해상도는 0.27 m로 제작되었다.
- 총 9개의 지상기준점이 사용되었으며, 을숙도의 경우와 마찬가지로 잔존수 및 해수의 영향으로 외곽으로 갈수록 오차가 생겨났다.
- 그로 인해 UAV 기반 DEM을 활용한 세분류 분석은 불가능하였으나, 정사영상을 활용한 염생식물의 분포를 관찰할 수 있었다.
- 연구지역의 표고는 평균적으로 1 ~ 4 m 내에 분포하며, 완만한 경사를 이루고 있다.
- 조류로의 발달이 미미한 지역이며, 갯벌의 북쪽인 육지 근처에 염생식물이 다량 분포하고 있다.
- VIS/NIR 센서인 Rededge를 탑재하여 관측한 결과 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)를 정사영상에 적용하여, 식생의 분포를 파악할 수 있다(그림 3-3-1-10).
- 해당 연구지역에서는 광학영상을 통해서도 쉽게 식생을 파악할 수 있었으며, NDVI 영상 또한 광학영상과 동일한 위치에서 높은 값을 보였다.
- 연구지역 내의 식생들은 고도 2.5m 이상의 조간대 상부지역에 분포하고 있었다.

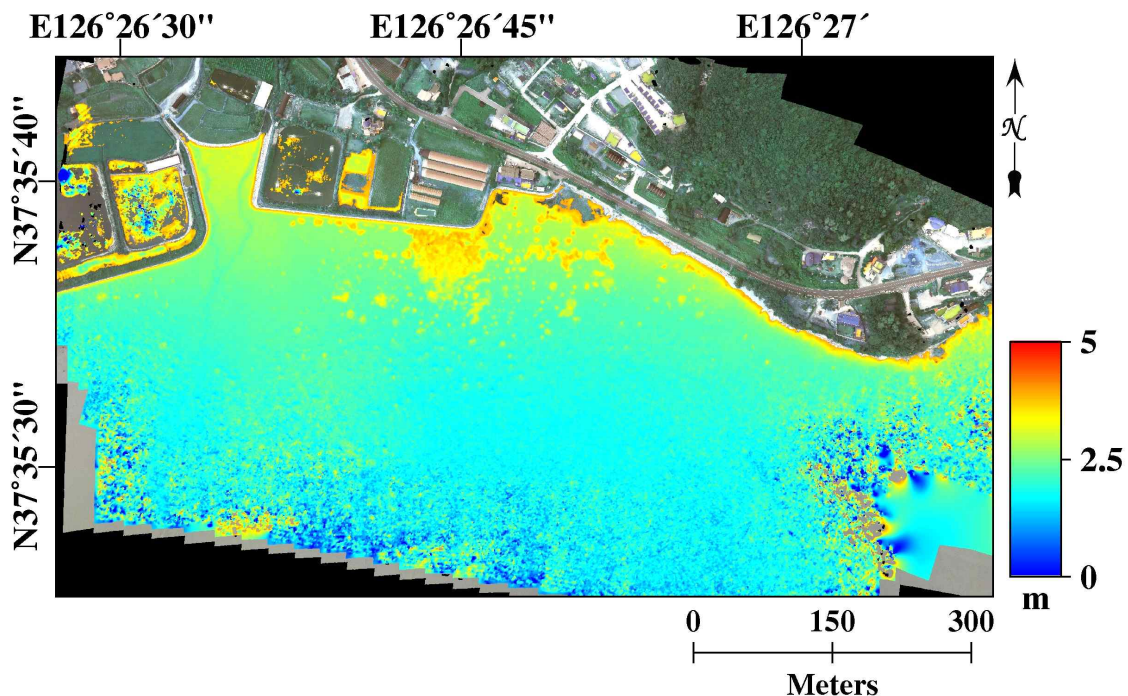


그림 3-3-1-9. 강화도 갯벌의 UAV 기반 DEM

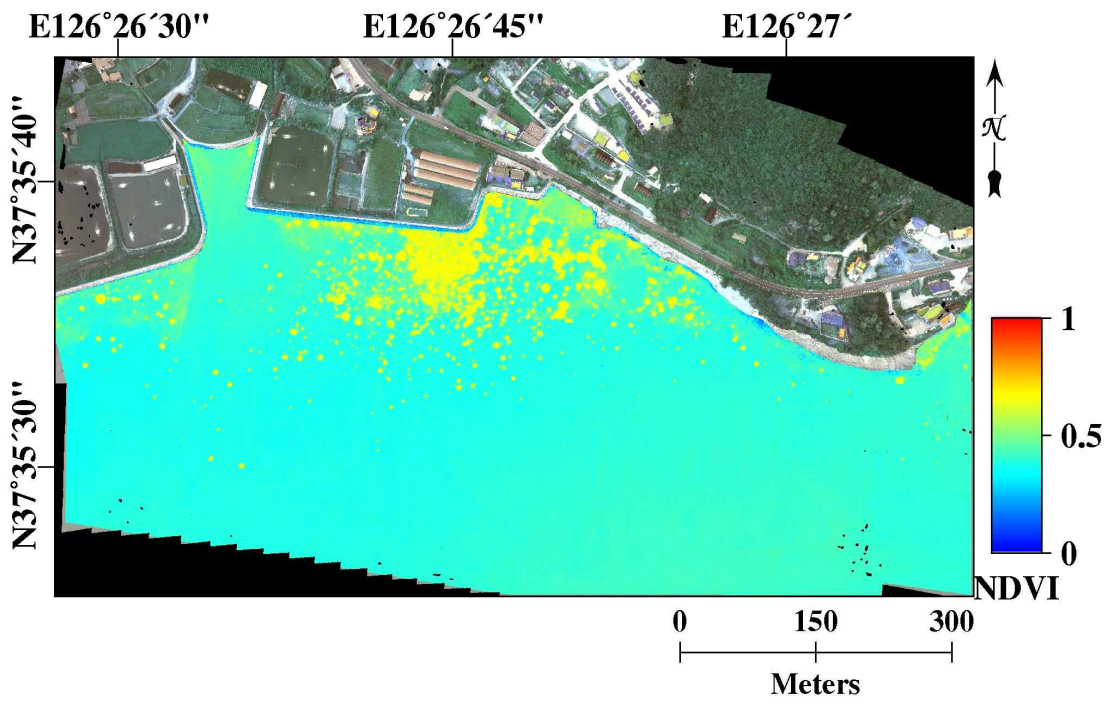
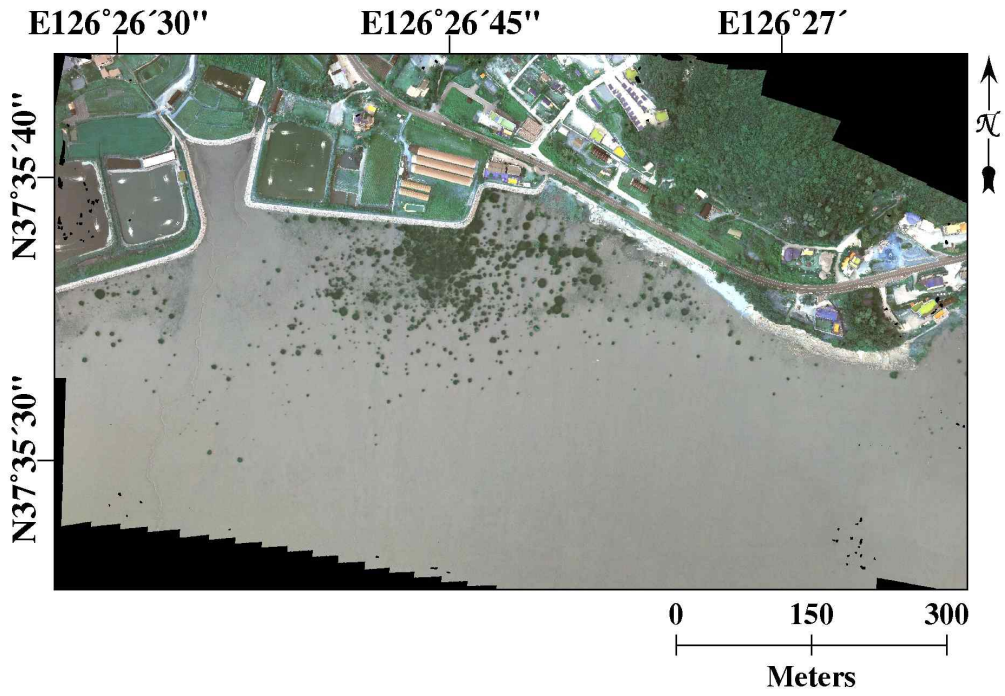


그림 3-3-1-10. 강화도 갯벌 지역의 정사 영상과 NDVI 영상 예시

## 2. TanDEM-X InSAR

### 가. 방법

#### 1) 합성개구레이더 간섭기법 (Interferometric Synthetic-Aperture Radar, InSAR)

- InSAR는 합성개구레이더(SAR)를 이용한 관측기법 중 하나로 연구 지역을 다른 시간 혹은 다른 각도에서 관측한 두 장 이상의 영상을 간섭하여 대상 지역의 지표 변위를 분석하는 기법이다.
- 한 지역을 서로 다른 시기 혹은 각도에서 촬영한 두 장 이상의 영상은 영상 내의 각 픽셀에서 위상의 차이를 보이는데 이 차이를 계산하여 해당 지점의 3차원 정보를 얻게 된다. 이렇게 얻은 3차원 정보를 통하여 연구 지역 내의 지표 변위를 정밀하게 취득할 수 있게 되며, DEM 제작 등에 널리 쓰이고 있는 기법이다 (Graham, 1974; Gabriel & Goldstein, 1988; Massonnet & Feigl, 1998).
- InSAR 기법을 이용한 분석은 SAR가 기본적으로 가지고 있는 기상 조건과 시간대의 제약 없이 영상자료를 취득할 수 있다는 장점을 가지고 있다.
- InSAR의 자료취득 방법에는 크게 single-pass 방식과 repeat-pass 방식 두가지가 있다. Single-pass 방식은 하나의 탑재체에 두 개의 안테나가 장착되어 동시에 두 개의 자료를 얻는 방법이며, repeat-pass 방식은 동일한 센서를 가지는 두 위성이 서로 다른 위치에서 한 곳을 찍은 영상을 이용하거나, 동일한 위성이 서로 다른 시간에 두 번 촬영한 영상을 이용하는 방법이다.

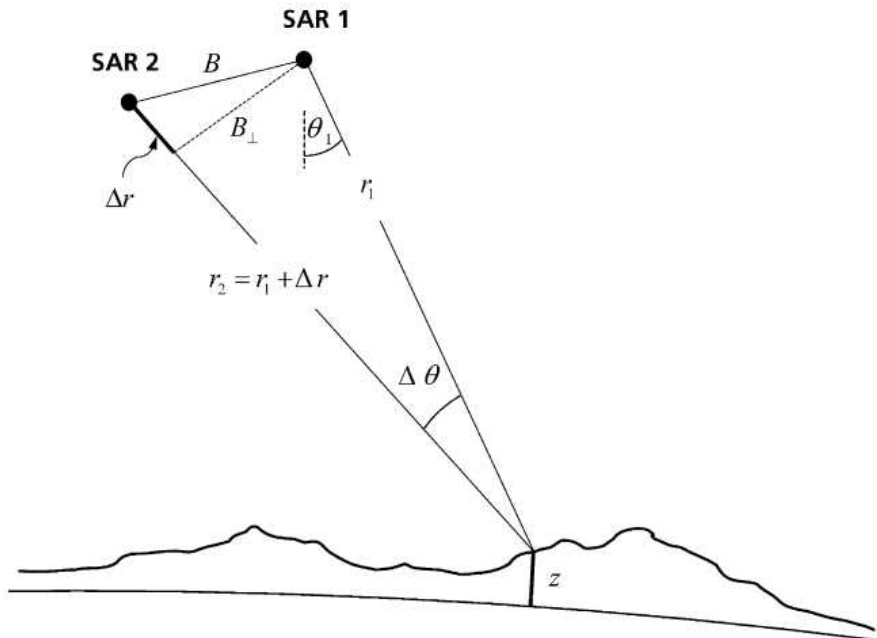


그림 3-3-2-1. 레이더 간섭기법의 기하학적 구성(Rabus et al.,2003)

- 그림 3-3-2-1은 InSAR 기법의 기하학적 모식도를 나타낸 것이다. 관측 안테나인 SAR 1과 SAR 2로부터 관측지점까지의 거리를 각각  $r_1$ ,  $r_2$  라고 하였을 때,  $r_2$  는  $r_1 + \Delta r$  ( $r_1$ 과  $r_2$ 의 차)로 표현할 수 있다. 이 때 두 안테나의 위상 차이( $\phi$ )는 식 1과 같이 표현된다.  $\lambda$ 는 파장이다.

$$\phi = -(4\pi/\lambda) * \Delta r \quad (\text{식 1})$$

- 이 때 위상 차이는 관측 지점의 높이  $z$ 에 의존하게 되며 위상차에 대한 민감도는 식 2와 같이 표현할 수 있다.

$$\delta\phi/\delta z = (4\pi * B_{\perp}) / (\lambda * r_1 * \sin\theta_1) \quad (\text{식 2})$$

- 즉, InSAR를 통한 지표 변위 감지의 민감도는 SAR 1과 SAR 2의 수직기선(perpendicular baseline,  $B_{\perp}$ )에 비례하며, SAR 1의 천정각(view zenith angle)에 반비례한다고 할 수 있다(Rabus et al., 2003; 김 등, 2005).
- 관측한 영상의 전체 영역에 대하여 각 픽셀 별로 지표 변위를 계산하고 위치를 3차원 좌표계로 변환한 뒤, 지상기준점의 표고를 기준으로 연구지역의 DEM을 제작하였다.

## 2) TanDEM-X를 활용한 DEM 제작

- TDX를 이용한 DEM 제작은 황도 지역을 대상으로 진행되었다.
- DEM 제작에 사용된 영상은 2015년 1월 31일에 촬영되었으며, 2015년 10월 28일에 측정된 정밀지형고도를 지상기준점으로 활용하였다.
- TDX 촬영 모드 중 HS 모드로 촬영하였으며, 편광은 수평 송수신(Horizontal transmit & horizontal receive) 단계로 진행되었다.
- 시간적 기선(Temporal baseline)은 10초 간격을 두고 촬영되었고,  $B_{\perp}$ 은 491.27 m였으며, HoA는 9.82 m였다.
- 공간해상도는 최초  $0.97 \times 0.93$  m로 제작되었으나, DEM의 정확도를 높이기 위하여 5 m로 resampling하였다.
- 그림 3-3-2-2 에서 위성에서 관측한 펄스의 강도, 긴밀도, 간섭위성 영상을 이용하는 과정을 나타내었다.
- 그림 3-3-2-3 에서는 TDX 기반 DEM의 검증 결과를 제시하였다(Lee & Ryu, 2017).

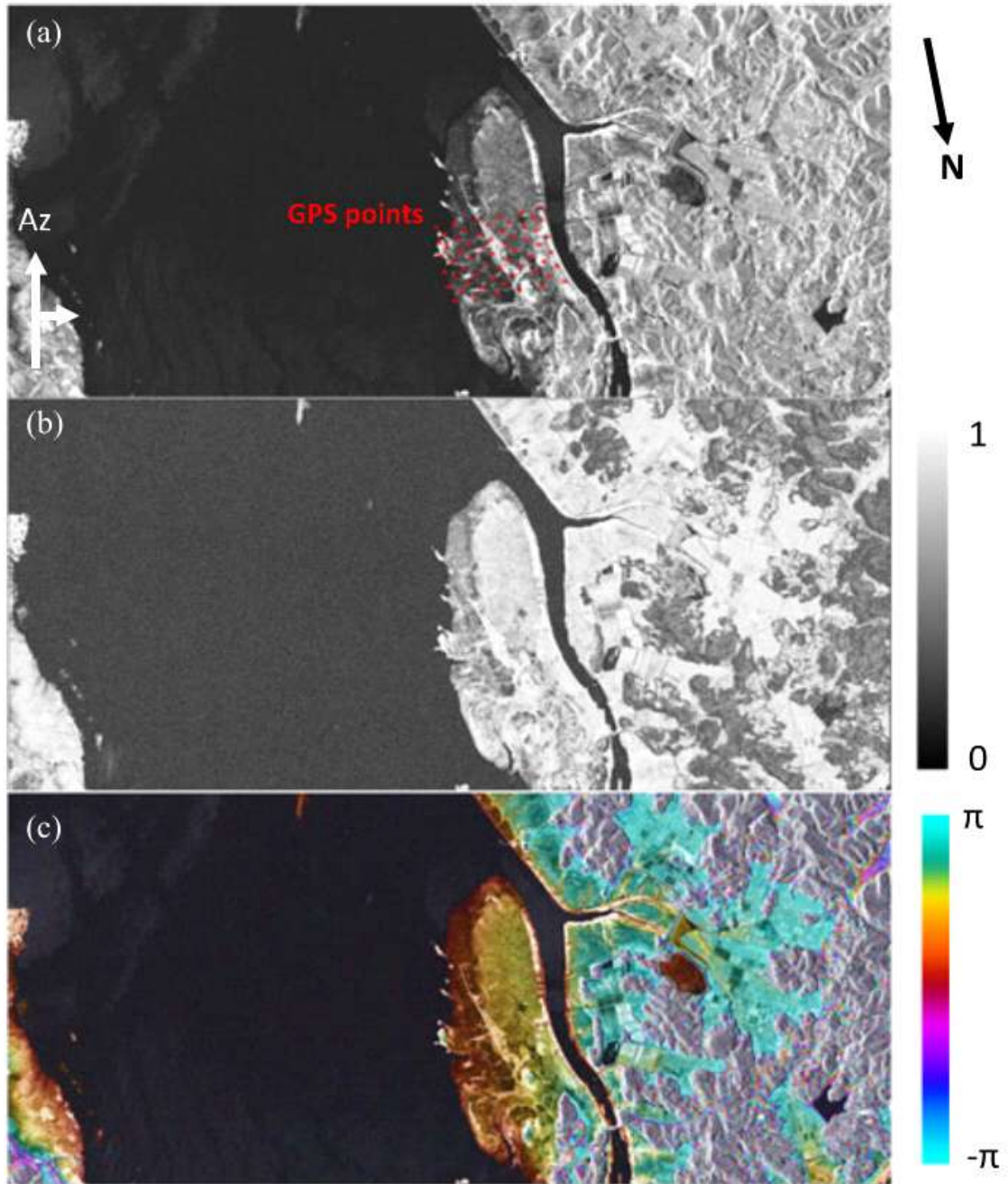


그림 3-3-2-2. 황도지역의 DEM 제작과정. (a) 펄스의 강도(amplitude) 영상, (b) 긴밀도 (coherence) 영상, (c) 간섭위상 영상

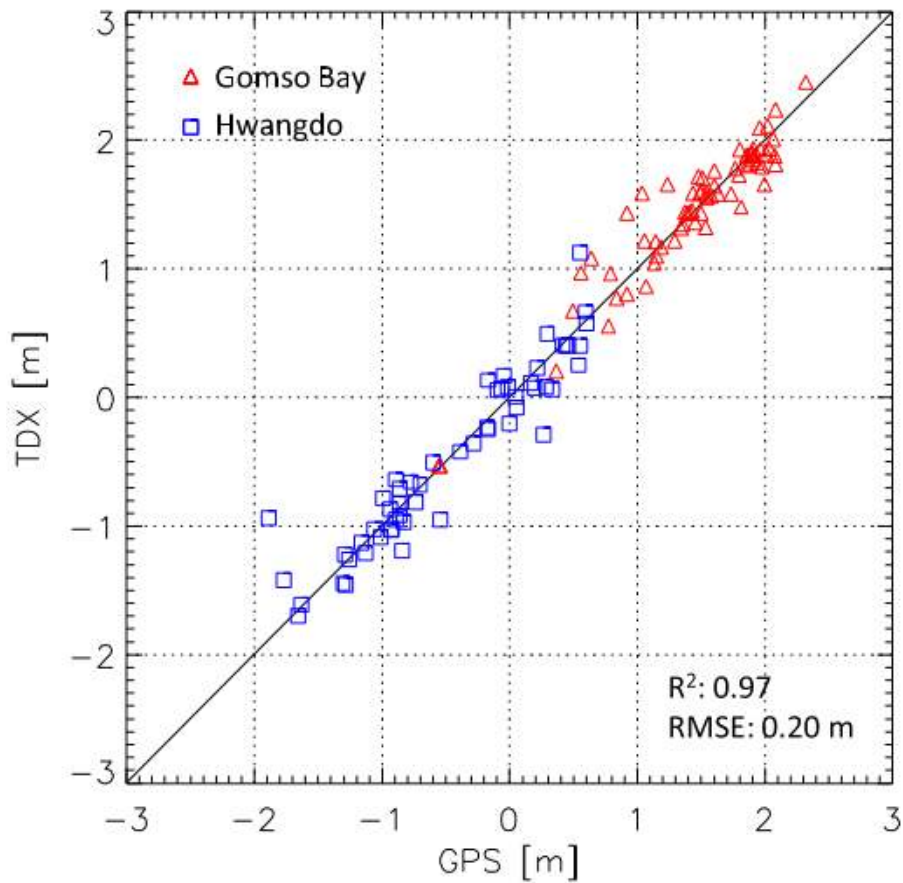


그림 3-3-2-3. TDX 기반 DEM의 검증 결과. 푸른색 네모가 황도의 정밀 지형고도 측정결과와 TDX-DEM의 고도를 비교한 정점자료

#### 나. 결과

##### 1) DEM

- 황도 지역의 TDX 기반 DEM을 그림 3-3-2-4 에 나타내었다.
- 영상 관측 시 조위 값은 영광 조위관측소를 기준으로 1.88 m 의 간조(ebb) 시간 대였다.
- 황도 지역 갯벌의 경우 전체적으로 서쪽이 동쪽보다 고도가 높게 나타나며, 그로 인해 서쪽의 경사가 동쪽의 경사에 비하여 급경사인 경향을 보인다.
- 갯벌 북부에서 남쪽으로 내려갈수록 조류로의 발달이 강해지는 특성을 보인다.
- DEM에서 나타나는 갯벌의 지형고도는 주로 -1 ~ 1 m 사이에 분포하며, 동쪽의 완만한 경사 이후의 조하대 부근에서는 최저 -3 m 까지 분포한다.
- 갯벌 중간의 암초 및 암반 지역 부근에서는 급경사가 나타난다.



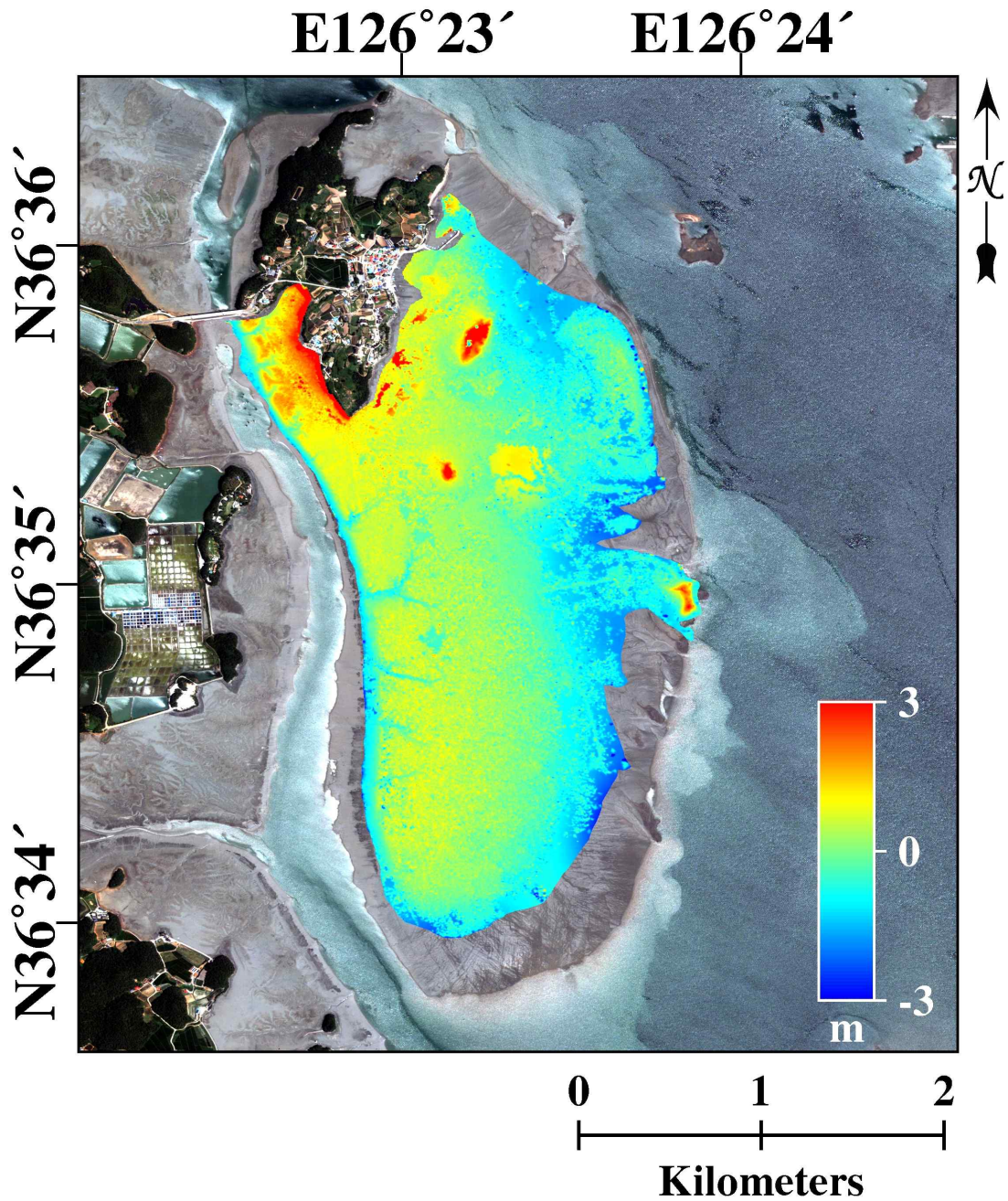


그림 3-3-2-4. TDX 기반 황도 지역 갯벌의 DEM

2) 검증결과

- TDX 기반 DEM의 검증은 황도 지역에서 RTK-GPS를 이용해 측정한 정밀 지형고도 자료와 측선 프로파일링 자료를 이요하여 검증하였다(그림 3-3-2-5).
- 제작된 DEM은 현장조사 결과와 비교하면 pearson 상관계수  $r$ 은 0.87이고, RMSE는 0.52 m로 평균적으로 약 50 cm의 적지 않은 오차를 보였다.

- 다만 TDX 영상의 촬영 날짜가 2015년 1월 31이며, RTK-GPS 현장조사의 날짜가 2015년 10월 28일로 두 자료 간의 날짜가 10개월 가까이 차이가 나는 것을 고려해보면, TDX 기반 DEM은 황도 지역 갯벌의 지형적 특성을 충분히 반영하고 있다고 볼 수 있다.

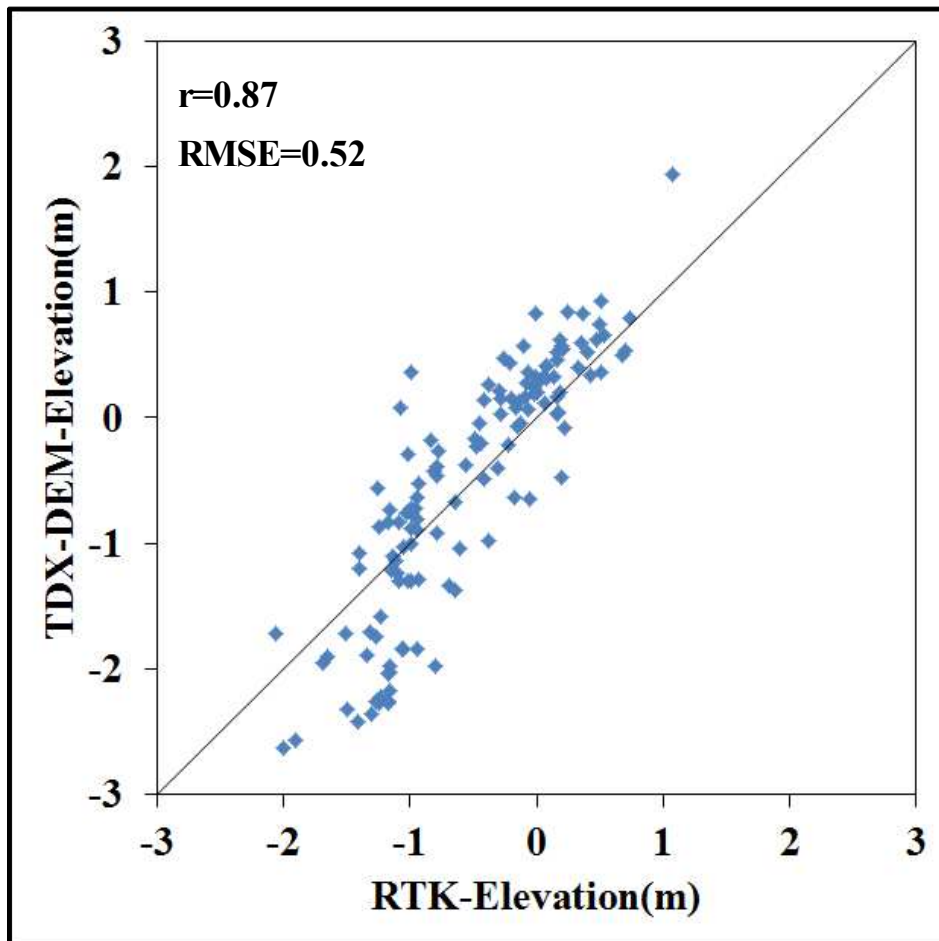


그림 3-3-2-5. RTK-GPS와 TDX-DEM 간의 지형고도 검증 결과

### 3. Landsat 기반 DEM

#### 가. 방법

##### 1) Waterline 추출법

- Waterline 추출법을 활용한 DEM의 제작은 Ryu et al.(2002)에서 소개된 방법으로 광학위성의 NIR 밴드 혹은 SWIR 밴드를 활용하여 다양한 시간대 및 조위에서 촬영된 갯벌의 waterline을 추출한 뒤 이를 DEM으로 변환해주는 방법이다.
- NIR 밴드의 경우 퇴적물의 반사도가 높게 나타나는 밴드로 간조 시간대에 노출

되는 갯벌의 영역을 파악하는데 유리하다. 다만 잔존수에 의한 영향을 배제할 수 없어 밀물 때 보다는 썰물(ebb) 때 적용하는 것이 보다 명확하게 갯벌의 waterline을 파악할 수 있다.

- SWIR 밴드는 잔존수의 영향을 무시하고 갯벌의 반사도를 명확하게 확인할 수 있어 밀물(flood) 때의 영상의 경우, SWIR 밴드를 활용하여 waterline을 추출하였다.
- 이 연구에서는 가로림만 갯벌을 대상으로 waterline 추출법을 적용하였으며, Landsat 8 OLI 영상을 사용하였다. 사용된 영상의 날짜와 조위 및 조시는 표 3-3-3-1에 기술하였다.

표 3-3-3-1. DEM 제작에 사용된 Landsat-8 영상

영상촬영날짜	시간(local)	조위(cm)	Tide condition
2014.01.22	11:12	351	ebb
2014.05.30	11:10	152	ebb
2015.03.14	11:10	546	high tide
2015.09.22	11:11	521	ebb
2016.03.16	11:11	614	ebb
2016.12.29	11:11	62	flood
2017.02.15	11:11	248	ebb
2017.10.29	11:11	488	ebb
2017.11.30	11:11	396	flood
2018.02.02	11:11	5	ebb
2018.03.22	11:10	311	ebb
2018.05.09	11:10	585	high tide

- 총 12장의 영상이 사용되었으며, 조위는 최저 5 cm에서 최대 614 cm의 범위를 보였다. 조위자료는 국립해양조사원에서 제공하는 과거해양관측자료 중 대산 조위관측소에서 관측한 각 영상별 날짜 및 시간의 조위 값을 사용하였다.
- Ebb tide 시간대의 영상은 NIR 밴드를, flood tide 시간대의 영상은 SWIR 밴드를 사용하였으며, 각 영상을 density slice 기법을 사용하여 waterline을 추출하였다.
- Density Slice 기법은 영상의 밝기 값 히스토그램을 통해 특정한 값을 기준으로 영상의 영역을 구분하는 기법이다(그림 3-3-3-1). 이 연구에서는 Landsat 영상의 단일밴드의 히스토그램을 통해 해수영역과 갯벌, 육지 영역을 각각 검은색, 흰색 영역으로 분리하였고, 경계선을 수치화하여 waterline을 추출하였다.
- 추출된 가로림만의 waterline은 그림 3-3-3-2와 같다. 육지의 경계는 흰색으로 표현하였다. 각 조위 별로 색상을 다르게 하여 표현하였으며, 서로 겹치거나 중복되는 선의 경우 보다 높은 조위 값으로 통일해 주었다.

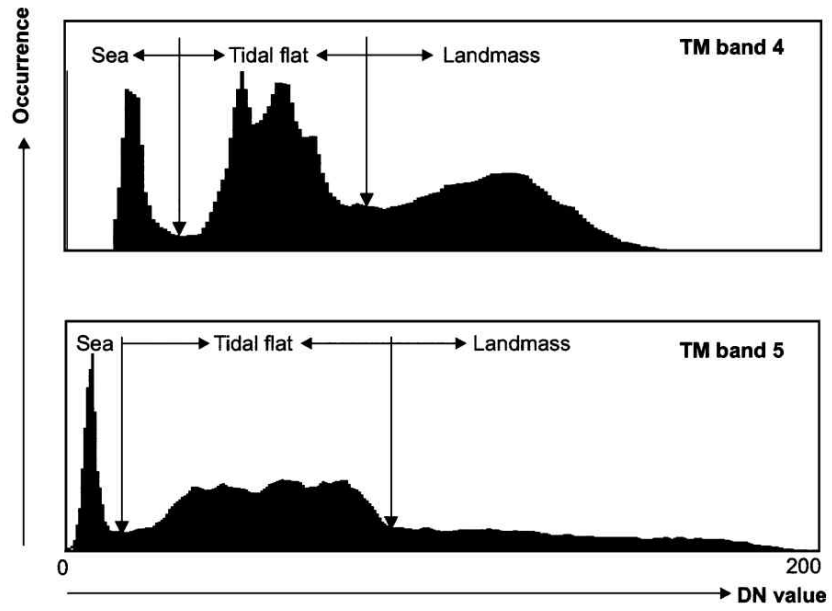


그림 3-3-3-1. Density slice 기법 소개(Ryu et al., 2002)

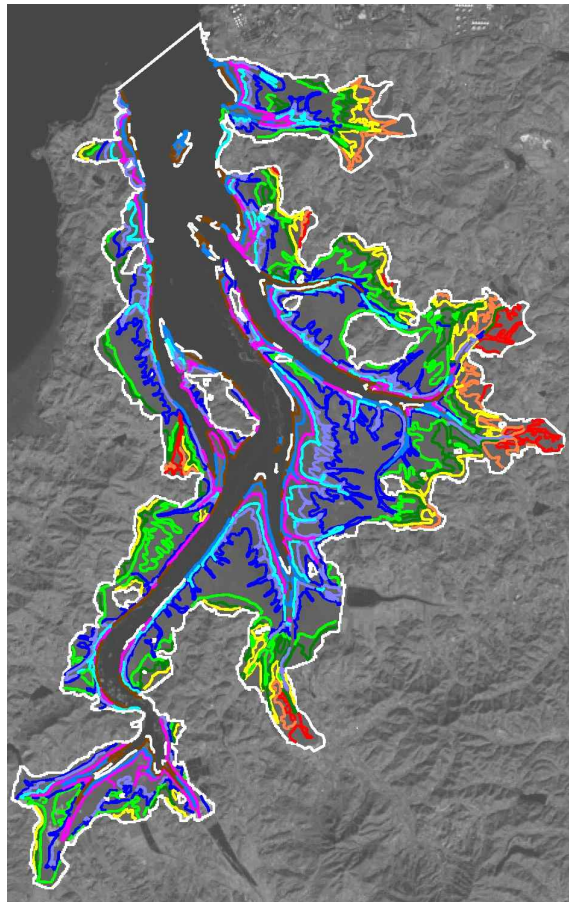


그림 3-3-3-2. 가로림만 Landsat-8 영상에서 획득한 각 조위별 waterline

## 2) DEM 제작

- 추출된 각 waterline에 촬영된 시간의 조위 값을 부여한다. 선으로 표시되었던 waterline은 조위값 자료를 z값으로 하여 XYZ 값을 가지는 그리드로 변환된다.
- 각 그리드 자료들을 minimum curvature interpolation 방식을 통하여 보간하면 DEM이 완성된다.
- 조위값의 경우 해발고도 기준이 아닌 각 지역의 평균해수면을 기준으로 하고 있어, 제작된 DEM과 실제 정표고 사이에 오차가 생길 수 있다. 이를 보정하여 정표고로 변환해 주기 위하여, DEM에서 각 지역의 평균 해수면 높이를 빼고 인천 조위 관측소의 평균해수면과의 편차를 더하여 주었다.

### 나. 결과

#### 1) 가로림만 DEM

- Landsat-8 영상을 이용하여 waterline 추출법을 사용해 제작한 DEM을 그림 3-3-3-3 에 표현하였다.
- 표고 -2m 미만의 영역은 대부분 해수가 들어와 있고, 갯벌이 노출 되지 않는 영역이다.
- 가로림만은 만 내의 갯벌에 조류로가 잘 발달해 있으며, 정표고를 기준으로 평균적으로 -1~4 m 정도의 고도 분포를 보인다.
- 연간 노출시간이 짧은 조하대 일부 지역은 -1 m 미만의 고도를 보이는 영역도 있다.
- 조류로의 경우 폭이 넓은 경우 Landsat 영상에서도 관측 가능한 수십 m에 달하는 폭을 가지는 경우도 있으며, 그 외의 30 m 해상도에서 관측이 불가능한 좁고 구불구불한 수많은 조류로를 보인다.
- 조간대 상부는 1~3 m의 고도 분포를 보이며 상대적으로 높은 경사도를 나타냈다. 조간대 중부의 면적이 제일 넓다고 볼 수 있으며, 0~1 m 사이의 고도를 보이며 완만한 경사를 보인다. 조간대 하부의 경우 0 m 미만의 고도를 보이며 적은 영역이지만 급격한 경사를 보인다. 다만 이는 interpolation 과정에서 나타난 현상이므로, 실제 경사도는 보다 완만할 것으로 보여진다.

#### 2) 검증

- 현장관측을 통해 얻은 지형 고도 값과 비교를 진행한 결과, pearson 상관계수는 0.96으로 매우 높은 상관관계를 보였다. RMSE는 0.56 m로 약 50 cm 이상의 비교적 큰 오차를 보였다(그림 3-3-3-4).

○ 그러나, 영상의 해상도가 30 m인 점, 수년간에 걸친 영상을 기반으로 제작되었다는 점, 현장관측 자료가 11월에 한정되어 있다는 점으로 미루어 볼 때, Landsat 기반의 DEM은 가로림만의 지형을 충분히 반영하고 있는 것으로 보여진다.

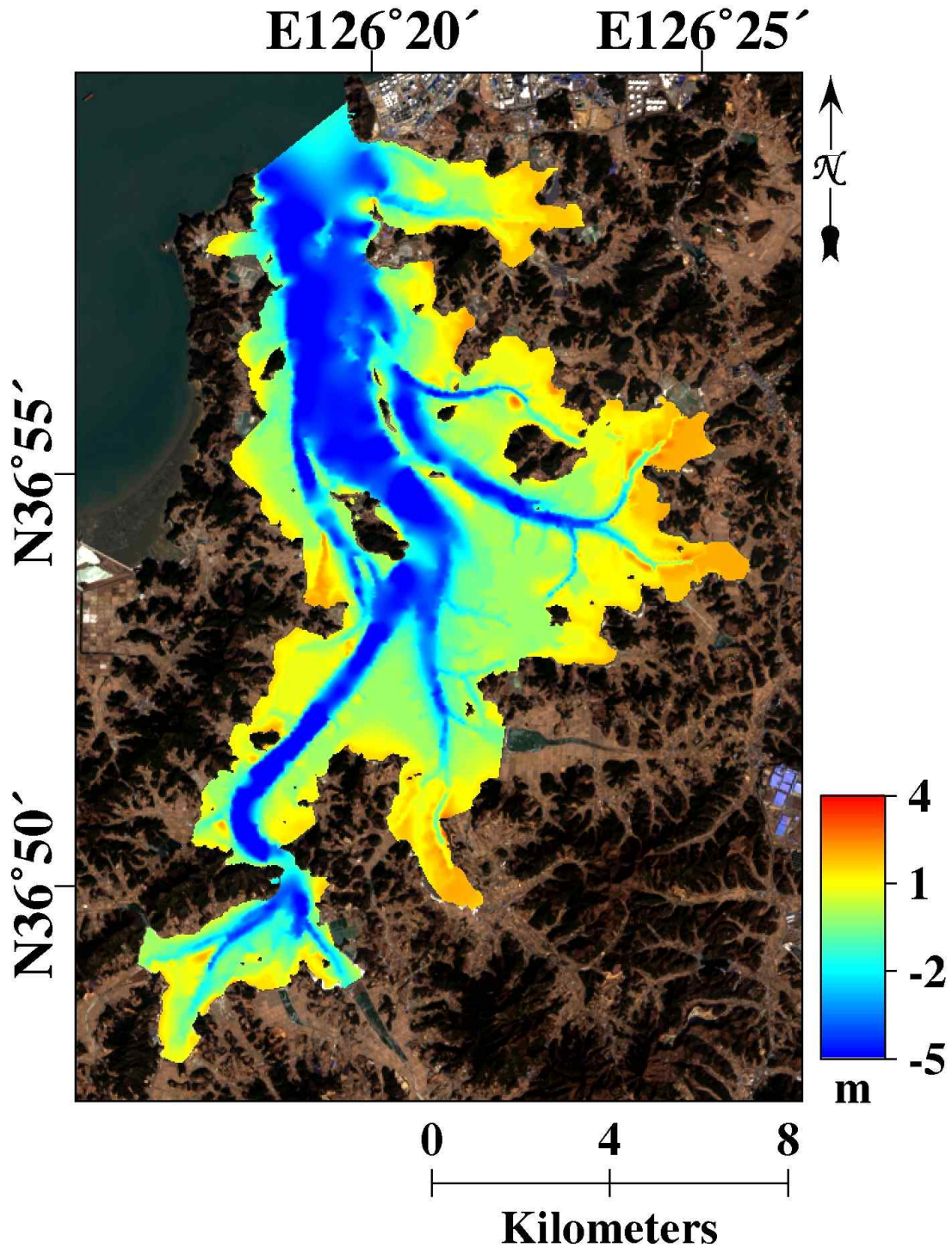


그림 3-3-3-4. 가로림만 갯벌 지역의 waterline DEM 분석 결과

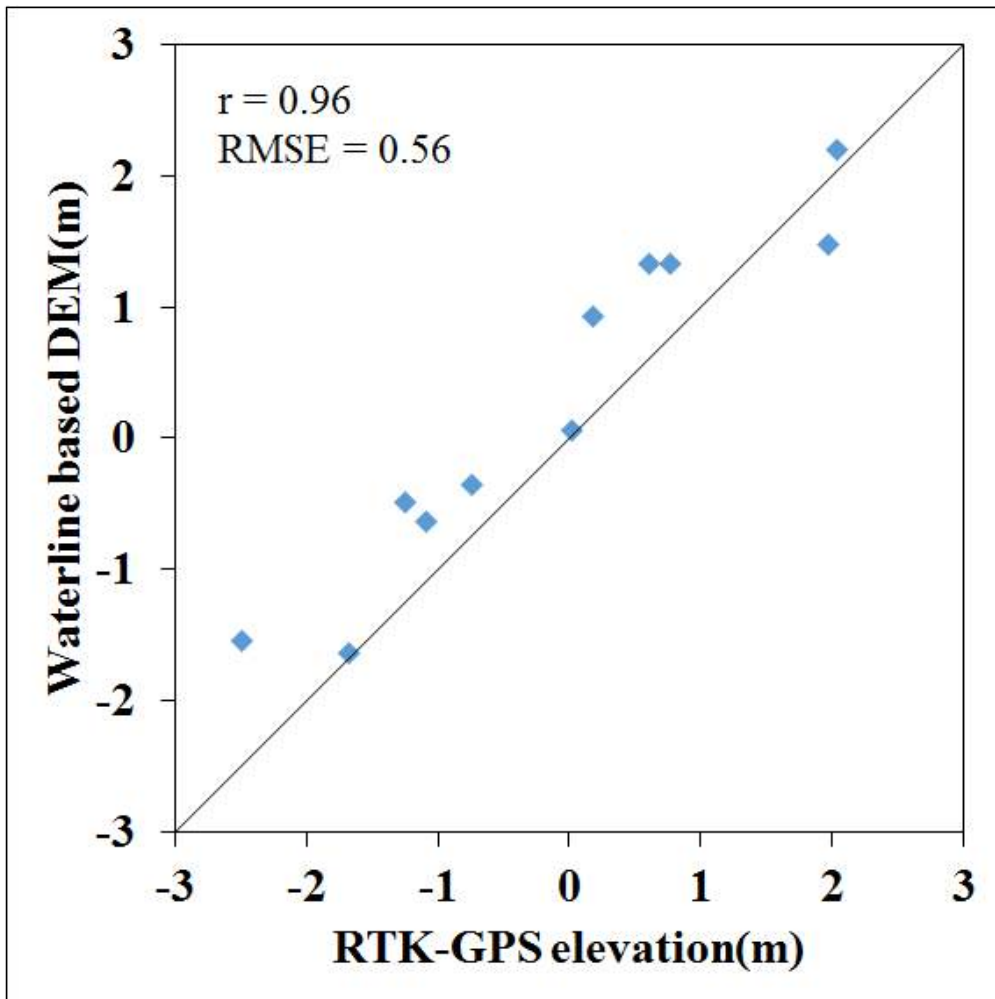


그림 3-3-3-5. Landsat 영상 기반 DEM 과 현장관측 결과 비교

#### 4절 연안표층분포도

##### 1. 개요

- 갯벌은 구성하는 퇴적물의 입도에 따라 크게 모래갯벌, 펄갯벌, 혼합갯벌로 구분된다.
- 갯벌의 퇴적상은 서식하는 저서생물의 생태계를 결정하고, 조류로의 분포특성을 구분한다.
- 최근에는 갯벌 주변의 인공구조물 건설에 의한 해류변화로 인하여 퇴적상이 변화하고, 변화된 퇴적상으로 인하여 침식 혹은 퇴적 현상이 빈번하게 발생하고 있다(Choi et al., 2011).
- 위에서 기술한 바와 같이, 퇴적상은 갯벌을 구성하는 기본적인 요소일 뿐만 아니라 해당 지역의 물리적 특성을 반영하고 환경을 이해하는데 중요한 요소이다.

- 위성영상을 기반으로 한 연안표층퇴적상분포도는 표층퇴적상, 즉 표층 퇴적물의 입도에 대한 정보를 이차원 영상으로 제공한다.
- 그러나 감열감량, 총 유기탄소, 총 질소, 중금속등의 해양환경공정시험기준에 따른 퇴적물의 특성을 제공하기는 어렵다.
- 30m 공간해상도를 갖는 Landsat 등의 광학위성의 경우, 0.025 mm(약 5 phi) 이상의 입도에 대한 퇴적상 분포도 제작이 가능하다(Ryu et al., 2004).

## 2. 중분류 연안표층분포도

### 가. 황도 갯벌

#### 1) 방법

- 면적이 약 10 km<sup>2</sup> 인 황도 갯벌 내에서 72개의 정점을 선택한 후 표층 퇴적물 시료를 채취하였다.
- 채취한 시료는 앞선 다른 현장조사 결과들과 동일한 방식으로 입도분석을 진행하였다.
- 입도분석 결과를 토대로 각 정점의 좌표에 입도 자료를 대입하여 XYZ grid를 생성한 후 maximum curvate interpolation 기법을 적용하여 2차원 퇴적상 분포도를 작성하였다.
- 작성된 분포도를 통하여 분석된 연구지역의 퇴적환경에 따라, 공간해상도가 4 m 인 위성영상의 광학반사도 특성을 고려하여 혼련집합을 설정하였다.
- 설정된 혼련집합들을 최대 우도법(Maximum likelihood method)을 이용하여 퇴적상을 분류하였다.
- 입도분석 결과를 기반으로 보간법을 적용하여 작성한 2차원 퇴적상 분포도 자료를 Folk 분류 방법에 의하여 크게 펄, 혼합, 모래 퇴적상으로 분류하였다.
- 위성영상은 4m 해상도인 Kompsat-2와 2.8m 해상도인 Kompsat-3 다중분광영상을 사용하였으며, 객체기반 분류기법을 적용하여 분류하였다.

#### 2) 결과

- 2차원 표층 분포도는 황도갯벌의 대략적인 표층의 입도만 파악할 수 있다.
- 니질, 사질, 혼합 형태로 분류하였으며, 갯벌중심부에는 혼합 형태의 퇴적물이 우세하게 나타났고, 이를 중심으로 서쪽과 북쪽에는 니질 퇴적물이, 동쪽과 남쪽에는 사질 퇴적물이 우세하게 나타났다(그림 3-4-2-1.(b)).
- Kompsat-2 영상을 활용한 분류결과 표층 피복은 니질 I 과II, 혼합, 모래 퇴적상과 사주의 5개의 분류를 나타내었다(그림 3-4-2-1.(c)).



- Kompsat-2를 활용한 분류 결과는, 고도가 높게 나타나는 중심부는 혼합 형태의 갯벌이 나타나며, 그로부터 동쪽으로는 사주로 분류되며 북쪽과 서쪽 끝부분은 니질Ⅱ의 표층 피복을 보인다. 중심부 바로 서쪽에서는 니질Ⅰ의 분류를 보였다.
- 검증 정확도는 72%로 나타났다.
- Kompsat-3 영상을 활용한 분류결과 역시 5개의 분류로 나타났으며, 니질, 혼합Ⅰ과Ⅱ, 사질, 굴패각과 바위로 구분된다(그림 3-4-2-1.(d)).
- Kompsat-3 영상을 활용한 결과는 Kompsat-2 영상을 활용한 결과와는 다르게 갯벌 전체 지역에서 혼합Ⅰ,Ⅱ의 분포가 높은 것으로 나타났고, 갯벌 동쪽 끝과 서쪽 끝 일부 지역에서 굴패각과 바위가 분포하는 것으로 나타난다.
- 사질 퇴적물의 경우 갯벌 중부의 동쪽 지역에 대부분 분포한다.
- 검증 정확도는 83%로 나타났다.
- 기존의 Landsat 영상을 활용한 30m급 해상도의 중분류 퇴적상분포도는 조류로의 유무 및 모양, 잔존수의 유무, 굴 패치 및 양식장 등과 같은 퇴적물과는 다른 특성을 가진 지역의 구분이 어려웠다.
- 보다 높은 해상도를 가지는 Kompsat-2, 3 영상을 이용하여 보다 정밀한 분류도를 제작할 수 있었다.

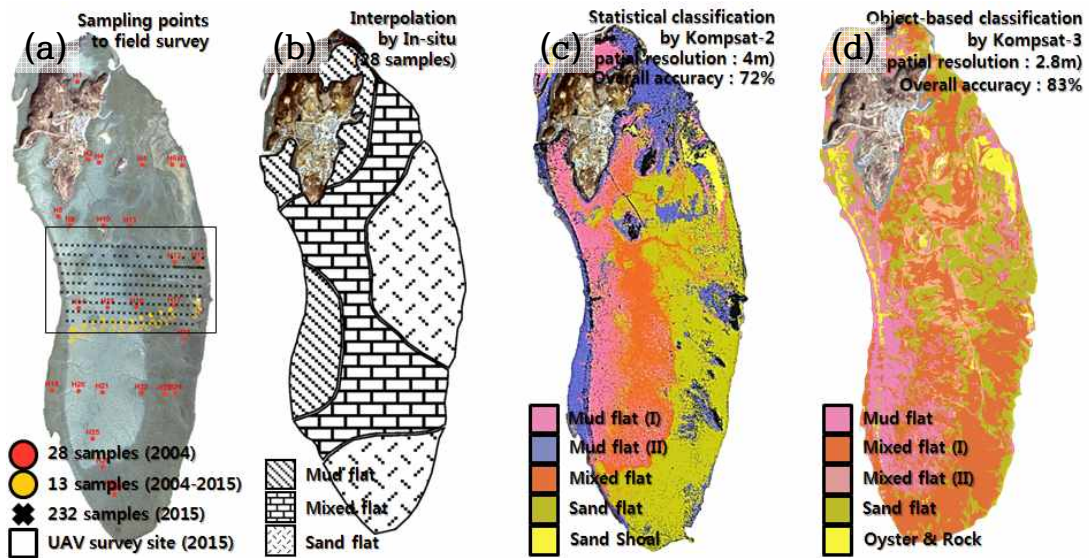


그림 3-4-2-1. 황도갯벌 지역의 표층분포도 (좌측부터 현장조사 정점, 2차원 표층분포도, Kompsat-2 기반 표층분포도, Kompsat-3 기반 표층분포도)

### 3. 세분류 연안표층분포도

#### 가. 황도 갯벌

##### 1) 방법

- 앞서 진행한 현장조사 입도분석 결과를 토대로 황도 지역의 연안표층분포도를 제작하였다.
- 활용된 자료와 방법은 표 3-4-3-1에 표현하였다.
- UAV로 촬영한 영상을 활용하였으며, 광학반사도와 객체의 텍스처를 고려한 객체기반 분류법을 사용하였다.
- 공간해상도는 0.06m이다.
- 초고해상도인 UAV 영상을 통해 입자 크기, 함수율, 조류로 및 세곡의 영향에 따른 세분화된 분류도를 제작할 수 있었고, 굴 패치, 김양식장과 같은 갯벌 특유의 표층 피복 특성을 분류할 수 있었다.
- 퇴적상 분류 시 갯벌의 지형특성을 반영하기 위하여 105개의 정점에서 잔존수를, 33개 정점에서 shear stress를 측정하였다.

표 3-4-3-1. 중/세분류 퇴적상 분포도 작성을 위해 사용한 자료 정보

● Remotely Sensed data				
Data	UAV's ortho-photo(0.26m)	UAV's DEM(0.5m)	Kompsat-3(2.8m)	
Method	Scale invariant features transform (SIFT), Hydrology & Spatial Analyst Tools(ArcGIS)		-	
Extracted factors	Digital number (RGB)	Tidal channel network, Density of tidal channel, Elevation	Digital number(NIR)	
Acquisition date	September 29, 2015		March 23, 2015	
● Field Survey				
Data	Grain size (232 samples)	Topography (232 samples)	Surface remnant water(105 samples)	Shear stress (33 samples)
Method	Wet sieving, Sedigraph-5100	Leica RTK-GPS	Effective expose area : 1 by 1 meter quadrat(%)	Sheer strength
Extracted factors	Texture factors, Statistical factors	Elevation	Surface remnant water	Sheer stress of sediments
Acquisition date	September 29, 2015			

## 2) 결과

- 각 현장조사 결과를 contour하여 2차원 분포도로 나타내었다(그림 3-4-3-1).
- UAV 기반 황도지역 세분류 퇴적상분포도는 그림 3-4-3-2에 표현하였다.
- 퇴적상은 총 6가지로 분류되었다.
- gS/(g)S, S, gmS/(g)mS, zS/mS, sZ, (g)sM/sM 로 분류하였으며, 정확도는 71.8%로 중분류에 비해 상대적으로 낮으나 입자성분의 특성 뿐만 아니라 갯벌의 다양한 지형적인 특성까지 반영되어 보다 세세한 분류도가 작성되었다.
- 퇴적상 분류 시 초고해상도 영상자료를 사용함으로써 연구지역의 입도 특성뿐만 아니라 조류로, 지형고도, 잔존수, 응집력 등의 지형특성이 고려된 단계적 분류를 통해 보다 정확한 세분류가 가능할 것으로 보여진다.

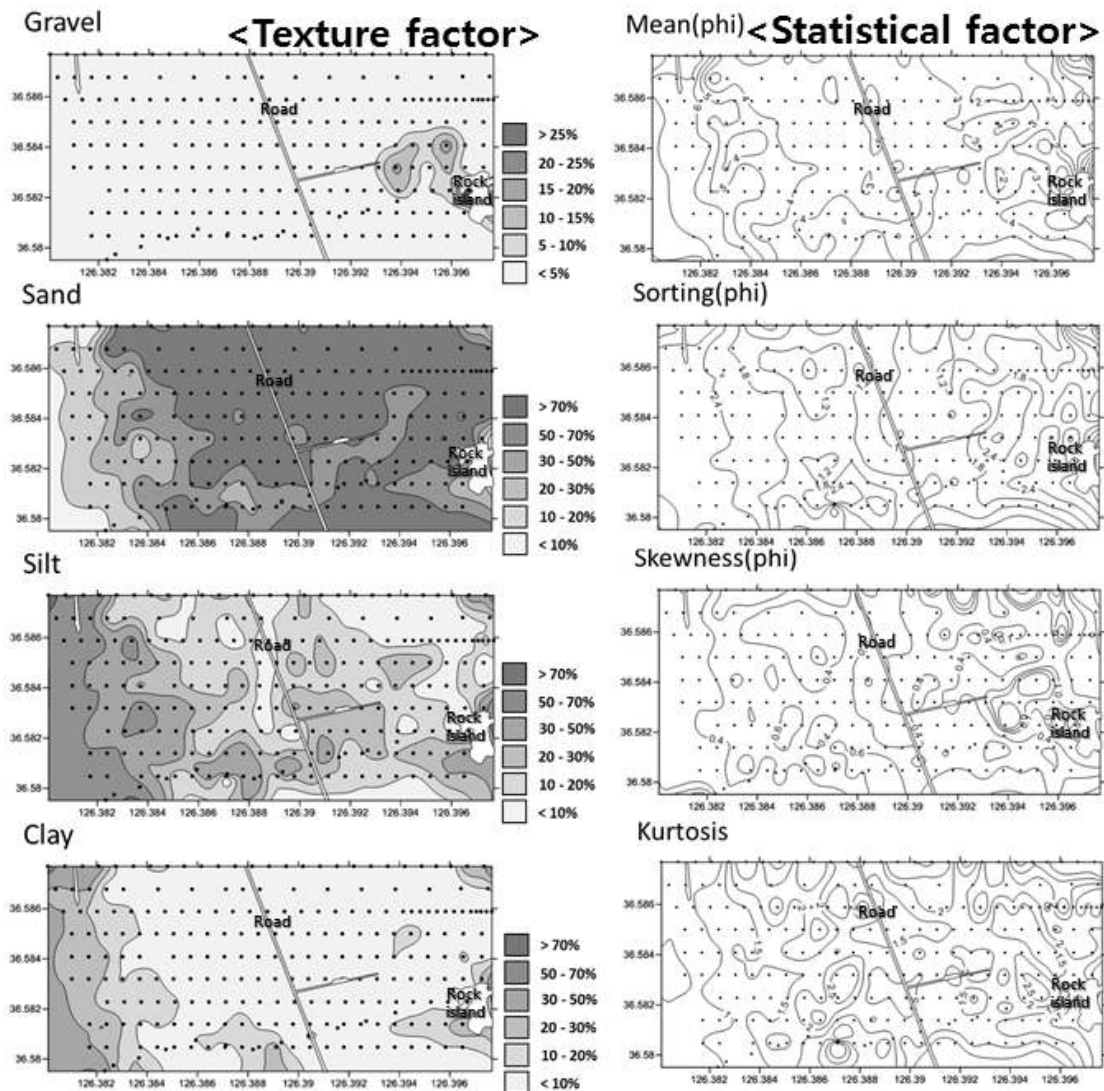


그림 3-4-3-1. 황도 갯벌의 현장조사 결과를 contour로 표현한 2차원 분포도

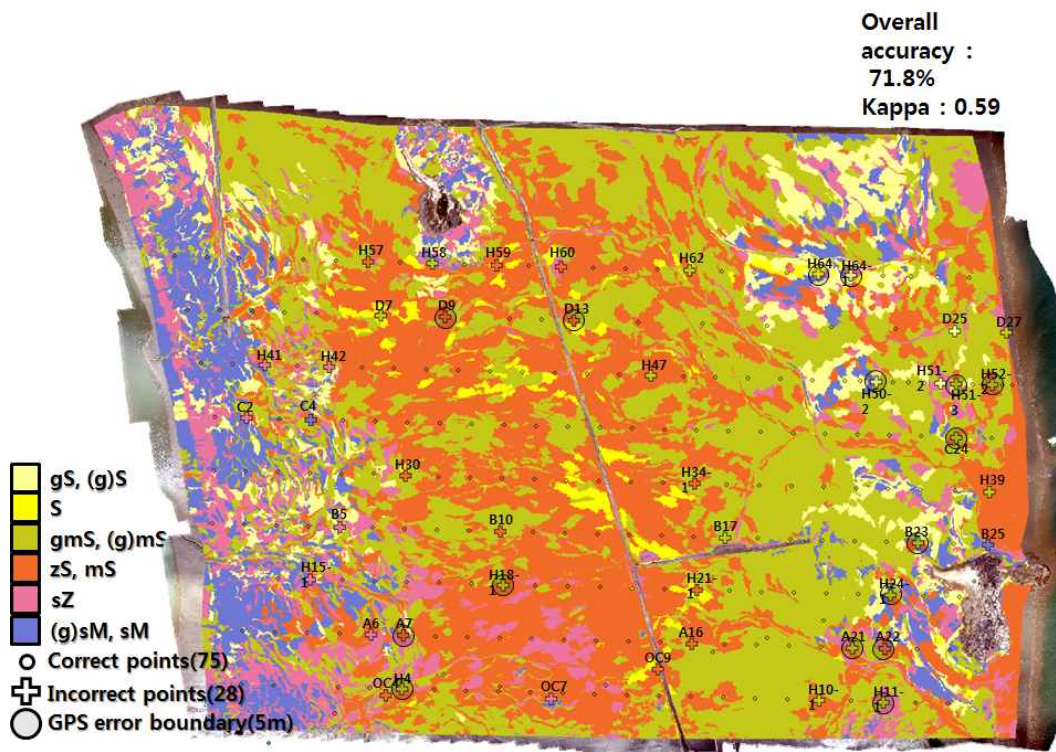


그림 3-4-3-2. 황도 갯벌의 세분류 퇴적상분포도

- 황도 갯벌은 대부분 gmS/(g)mS 와 zS/mS 성분으로 구성되어있으며, 연구지역 동쪽과 서쪽 부근에서 (g)sM/sM 과 sZ 성분이 우세한 것으로 나타난다.
- 즉 중심부를 비롯한 대부분의 지역에서 세립한 사질 성분이 우세하며, 동쪽과 서쪽 끝 부분에서는 니질이 우세하게 나타나고 있다.
- 정확도는 현장조사 결과를 나누어 일부를 검증에 사용하였으며, 과정과 결과는 표 3-4-3-2에 나타내었다.
- 황도지역의 경우 회전익 UAV를 운용하여 촬영을 실시하였다. 그 한계로 인하여 획득가능한 영상 영역이 전체 영역의 33% 정도에 해당하는 면적에 대해서만 분석이 가능하였다.

표 3-4-3-2. 세분류 퇴적상분포도의 검증 결과

Image data									
Field data		gS, (g)S	S	gmS, (g)mS	zS, mS	sZ	(g)sM, sM	Total points	Producer's accuracy
	gS, (g)S	5	0	1	0	1	0	7	0.71
	S	0	2	0	0	0	0	2	1.00
	gmS, (g)mS	0	0	28	6	1	0	36	0.78
	zS, mS	0	2	6	32	2	0	42	0.76
	sZ	1	0	2	3	2	1	9	0.22
	(g)sM, sM	0	0	0	1	1	5	7	0.71
	Total points	6	4	37	42	8	6	103	
	User's accuracy	0.83	0.5	0.76	0.76	0.25	0.83		71.84

Missclass points			
Class	Classified class	Environment error	Survey error
S	-	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양방위각에 의한 Sun-glint</li> <li>구름의 그림자</li> </ul>
gS, (g)S	gmS, sZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.4<math>\emptyset</math> &gt; 퇴적상</li> <li>지표 잔존수 &gt;20%</li> <li>상대적으로 sand 함량 낮고, mud 함량 높음</li> </ul>	
gmS, (g)mS	zS		
zS, mS	gmS	<ul style="list-style-type: none"> <li>3.4<math>\emptyset</math> &lt; &lt;5.5<math>\emptyset</math> 퇴적상</li> <li>굴패치</li> <li>조류로부터 3m 이내</li> </ul>	
sZ	zS, gmS, gS		
(g)sM, sM	zS, sZ	<ul style="list-style-type: none"> <li>상대적으로 sand 함량 높고, mud 함량 낮음</li> </ul>	

## 5절 연안저서생물분포 예측도

### 1. 개요

- 갯벌은 높은 유기물을 제공하여 다양한 생물들의 서식처이자 생산지이며, 환경정화 및 태풍등과 같은 재난으로부터의 완충역할을 하는 등 생태·사회학적으로 매우 중요한 지역이다.
- 특히, 갯벌에 서식하는 대형저서동물은 갯벌에 서식하는 주요 생산자 및 소비자일 뿐만 아니라, 갯벌의 건강도를 평가하거나 환경변화의 척도로써 중요한 생물군이다.
- 우리나라의 갯벌은 간척 및 매립사업의 일환으로 많이 소실되었으나, 시화호 및 새만금의 환경이슈를 기점으로 그 중요성 및 보전에 있어 사회적 관심이 집중되었다.
- 최근에는 갯벌보전 및 생태관광 등의 국가사업과 시민단체들의 활동이 수행되고 있으나, 아직은 갯벌 도면화 제공서비스 측면에서는 과학적 기반 및 데이터베이스가 부족한 실정이다.
- 본 연구에서는 인공위성 영상분석법을 통한 갯벌 대형저서동물 분포예측도를 제작하고 연안저서생물분포예측도 제작기술을 구축하여, 궁극적으로는 우리나라 서남해안 갯벌의 저서생물분포예측도 제공하여 연안 관리 및 보전에 기여하고자 한다.

다.

## 2. 대형저서동물-환경요인 간 상관성

- 대형저서동물과 환경요인간의 상관성을 분석하고 이를 기반으로 주요 환경요인 별 대형저서동물 출현확률을 산출하기 위한 연구지역은 강화도를 포함한 7개 지역의 총 362개 정점을 분석하였다.
- 또한 연구지역은 갯벌 유형에 따라 하구형(186개 정점) / 개방형(176개 정점) 갯벌로 구분하여 분류하였다.
- 서해안 갯벌의 대형저서동물 군집 및 환경요인 분석을 위해 2002년부터 2013년까지 수행된 연구들의 과거자료와 본 연구에서 수행한 2015년 황도 자료를 활용하였다.

표 3-5-2-1. 과거 연구지역 유형 및 조사년도 정점수

유형	연구지역	조사년도	정점수
하구형 (186개)	강화도	2003, 2006, 2007	90
	새만금	2002, 2003	44
	곰소만	2009	24
	근소만	2009	22
개방형 (176개)	황도	2009, 2013, 2015	89
	새만금 외해	2002 - 2005	72
	증도	2002	21

- 갯벌 대형저서동물 출현과 다양한 환경요인간의 상관성을 위해 PCO (Principle Co-Ordinates analysis) 분석을 실시하였으며 두 변수간의 상관성을 각 환경요인 별로 산출하였다.
- 상관성 분석결과에 의하면, 대형저서동물의 출현은 퇴적상(모래, 실트, 점토, sheer strength, grain size 등)과 지형고도(고도, 노출시간)와 큰 상관성을 보이고 있는 것으로 판단되며 모래함유량이 0.849로 가장 높은 상관성을 보였다.
- 대형저서동물 출현과 높은 상관성을 보이는 퇴적상과 지형고도 중 모래함유량과 지형고도를 기반으로 하는 노출시간을 주요 환경요인으로 판단하여 대형저서동물 출현확률 산출을 위한 환경변수로 선정하였다.



그림 3-5-2-1. 과거 연구지역 분포

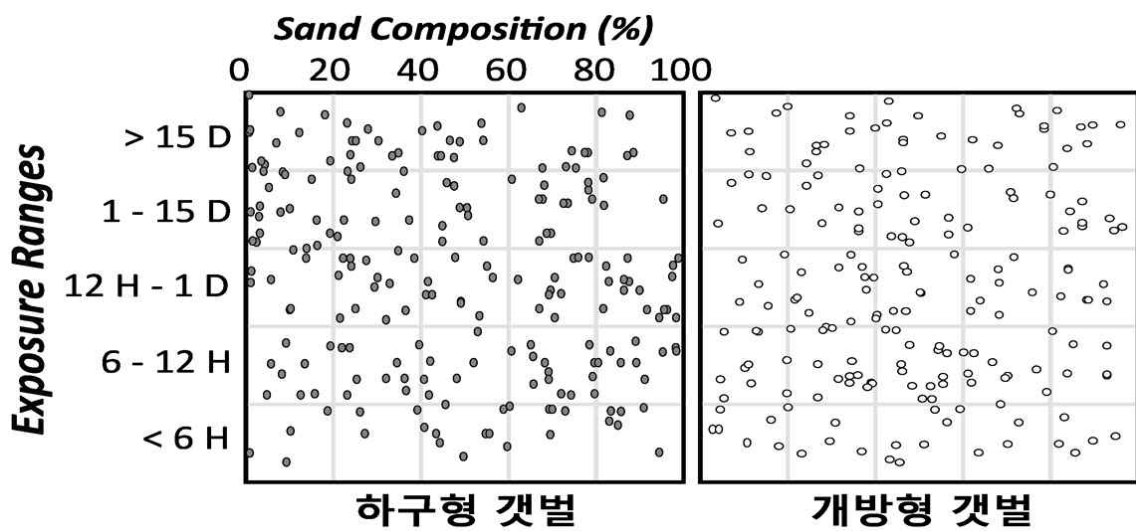


그림 3-5-2-2. 갯벌유형별 연구정점의 환경요인에 따른 분포양상

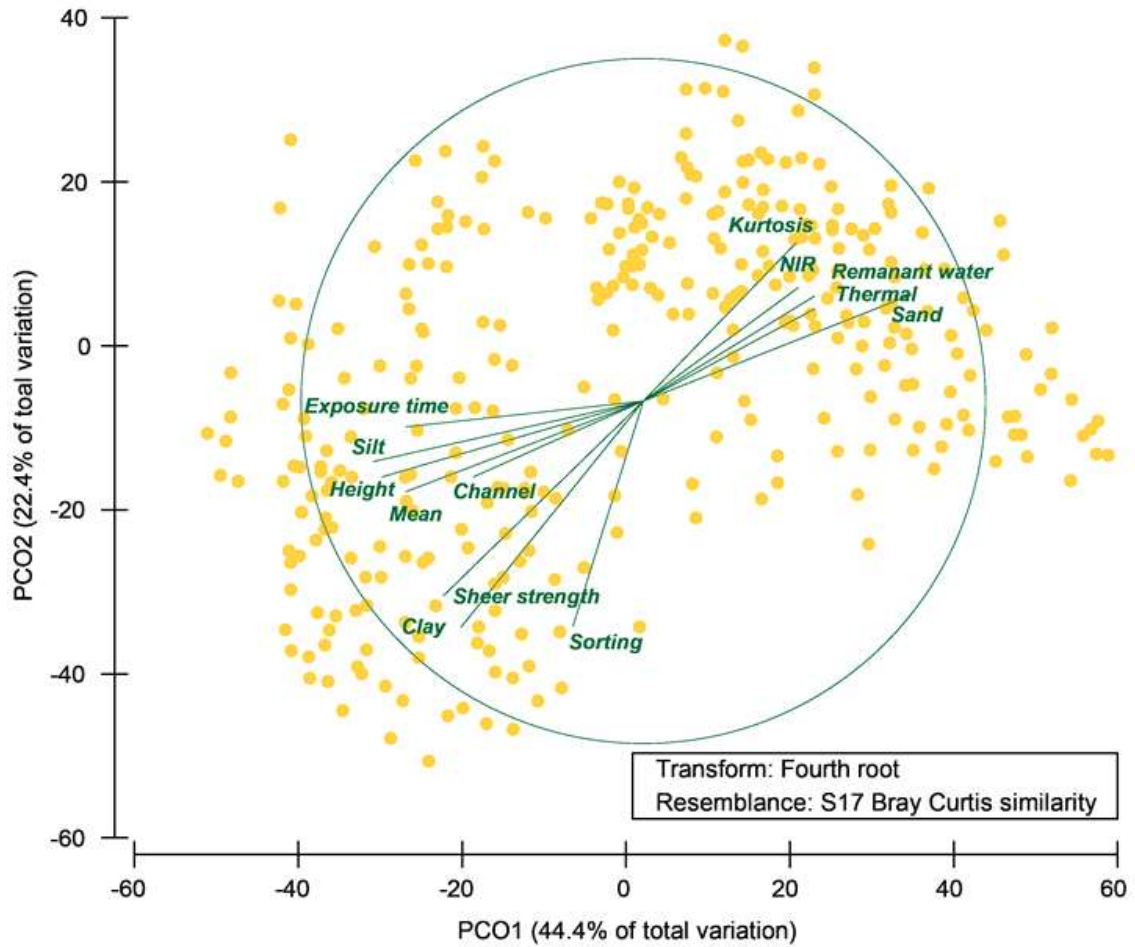


그림 3-5-2-3. 대형저서동물과 환경요인과의 상관성을 산출을 위한 주좌표분석 (principal coordinates, PCO). 원의 지름은 두 변수간의 상관성 1을 의미하며 선의 길이는 상관관계의 정도를 의미함. 상관성이 0.5이상인 환경요인을 대상으로 표현함



표. 3-5-2-2. 갯벌 대형저서동물과 환경요인간의 상관성

Environmental factors	Correlation value ( $r^2$ )
<b>Sand composition (%)</b>	<b>0.849</b>
<b>Silt composition (%)</b>	<b>0.845</b>
<b>Clay composition (%)</b>	<b>0.843</b>
<b>Height (m)</b>	<b>0.832</b>
Sheer strength	0.826
Grain size ( $\phi$ )	0.797
Max continuous exposure time (hour)	0.734
Kurtosis	0.725
Sorting	0.609
Remanant water (%)	0.597
NIR band	0.590
Thermal	0.582
Density of channel ( $m/m^2$ )	0.541
Skewness	0.248
Gravel (%)	0.212
Slope (Degree, °C)	0.099

### 3. 대형저서동물 출현확률

- 대형저서동물 출현확률 산출을 위해 대형저서동물-환경요인 간의 상관성을 분석하였으며, 퇴적상과 관련된 환경요인 중 모래함유율과 지형고도의 환경요인 중 최대연속노출시간을 선정하였다.
- 모래함유율은 20%기준으로 5개의 구간으로, 최대연속노출시간은 1/4일, 1/2일, 일일, 보름을 기준으로 5개의 구간으로 분류하여 총 25개 환경요인 구간별 대형저서동물 출현확률을 산출하였다.
- 대형저서동물 출현확률은 결합 확률(Joint probability)로 산출되었으며, 이는 적용 환경변수(독립변수)인 모래함유량과 최대연속노출시간에 따른 대형저서동물이 출현(양의 값을 갖음)하는 각각의 확률의 곱을 의미한다. 출현확률은 5개의 구간(>90%, 60-90%, 30-60%, 1-30%, absence)으로 분류하여 산출하였다.
- 우리나라 갯벌에서 출현하는 대형저서동물 주요 종에 대한 출현확률은 전체 갯벌, 하구형 갯벌, 개방형 갯벌로 각각 구분되어 산출하였으며, 정확도 검증을 수행하였다.

- 버들갯지렁이류 *Heteromastus filiformis*, 칠게(*Macrophthalmus japonicus*), 길게(*Macrophthalmus dilatatus*) 등 10종을 대상으로 하여 대형저서동물 출현확률을 산출하였다.

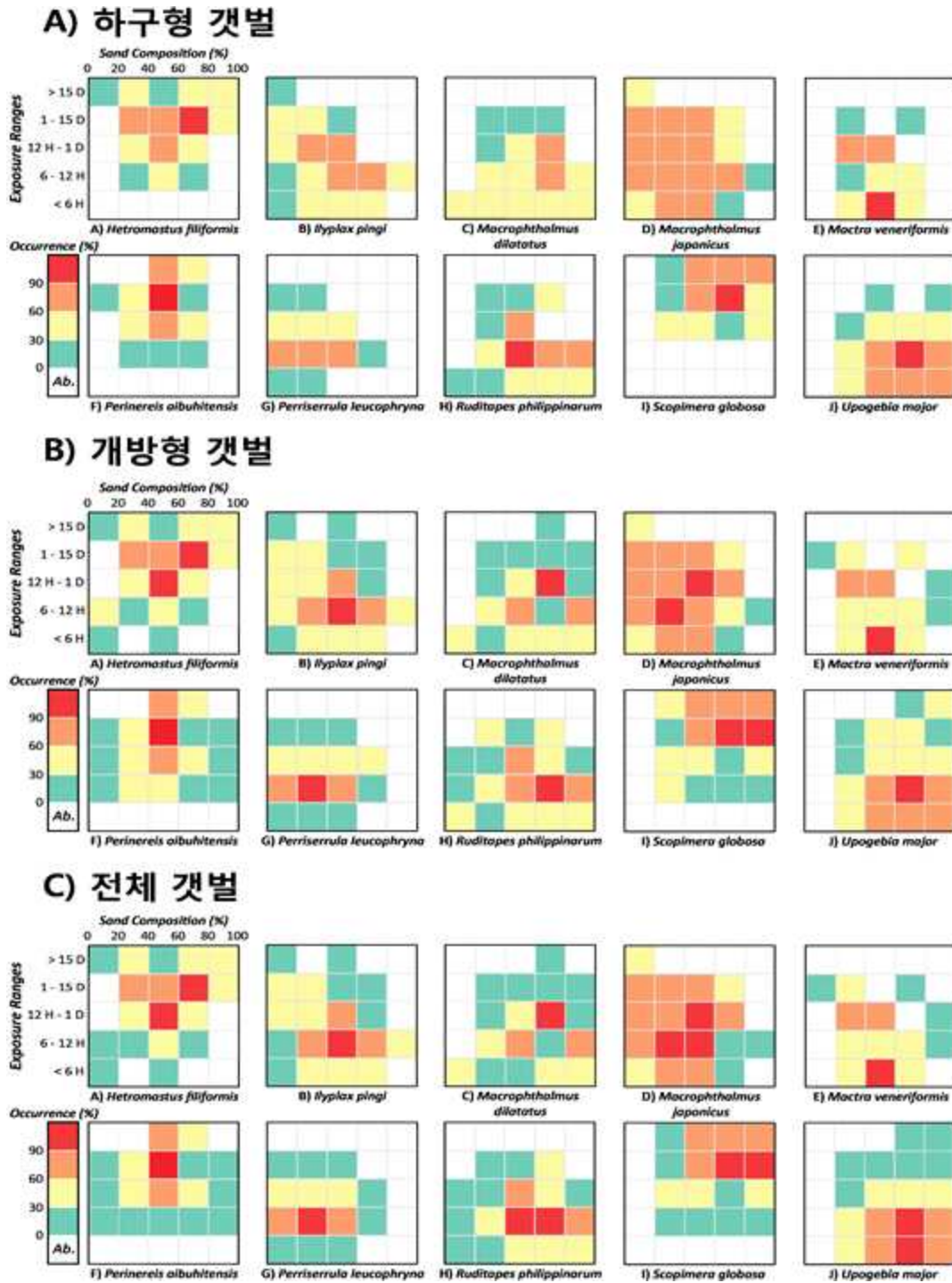


그림 3-5-3-1. 갯벌 유형별 대형저서동물 출현확률

표. 3-5-3-1. 갯벌 유형에 따른 대형저서동물의 출현확률 정확도(>60% 확률대상)

Species	Accuracy (%)		
	하구형 갯벌	개방형 갯벌	전체 갯벌
<i>Heteromastus filiformis</i>	66.9	74.4	70.6
<i>Ilyplax pingi</i>	74.8	87.2	81.0
<i>Macrophthalmus dilatatus</i>	73.9	80.0	76.9
<i>Macrophthalmus japonicus</i>	58.5	70.5	64.5
<i>Mactra veneriformis</i>	64.2	72.9	68.5
<i>Perinereis aibuhitensis</i>	71.4	72.1	71.7
<i>Perriserrula leucophryna</i>	71.2	79.2	75.2
<i>Ruditapes philippinarum</i>	83.5	90.9	87.2
<i>Scopimera globosa</i>	88.8	88.9	88.8
<i>Upogebia major</i>	81.5	90.0	85.8
Average	73.5±8.8	80.6±7.6	77.0±8.0

- 산출된 대형저서동물 출현확률은 개방형 갯벌(약 81%)에서 하구형 갯벌(약 74%)보다 높은 정확도( $p < 0.05$ )를 보였으며, 이는 기수유입과 염분차이에서 비롯된 영향으로 추정된다.
- 대형저서동물의 출현확률은 갯벌 유형간 정확도 차이가 존재하였으며, 이는 곧 유형별로 출현확률 구분하여 적용하는 것이 필요함을 의미한다. 또한 이러한 차이에 큰 영향을 주는 주요 환경요인을 이해하고 출현확률을 산출하는 추가 연구가 필요하다고 판단되었다.

#### 4. 연안저서생물분포예측도 제작

- 대형저서동물 출현확률을 기반으로하여 무인기 영상 분석을 통해 황도 갯벌 세 분류 저서생물분포 예측도를 제작하였다.
- 퇴적상과 지형고도분포도를 이용하여 모래함유량과 최대연속노출시간의 총 25개의 환경변수 구간을 영역화 하였으며, 대형저서동물 대상 종의 출현확률을 환경변수 구간에 도식화하여 제작하였다.

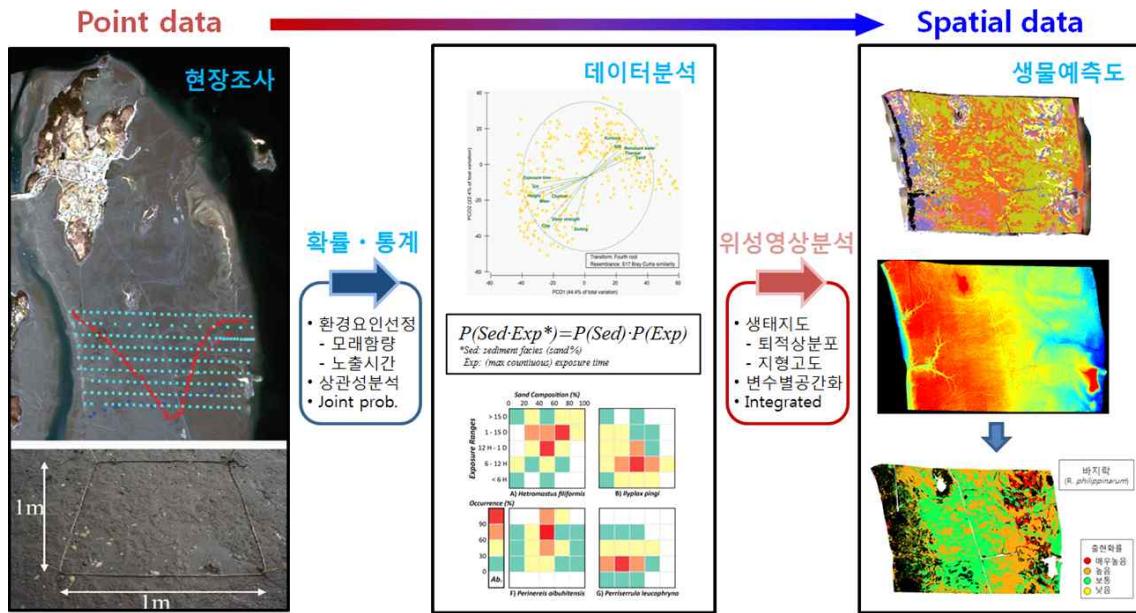


그림 3-5-4-1. 저서생물분포 예측도 제작방법 개념도

- 천수만에 속해 있는 황도갯벌에서 바지락, 펼털콩게, 길게의 3종을 대상으로 무인기 영상을 기반으로 하는 세분류 저서생물분포 예측도를 제작하였다.
- 바지락은 연속노출시간이 상대적으로 짧은 하부갯벌의 모래가 우점하는 환경에 뚜렷한 서식지를 형성하였으며, 펼털콩게는 이와 반대되는 양상이 관찰되었다. 길게는 넓은 서식지 범위를 보였으며 모래함량과 높은 상관성을 보였다. 황도갯벌의 경우에는 바지락과 펼털콩게가 약 81%의 높은 정확도를 보였으며, 길게의 경우에는 78.3%의 정확도를 보였다.
- 황도갯벌의 세분류 저서생물분포 예측도는 종별 서식환경을 잘 반영하는 것으로 판단되며, 총 평균 정확도는 80.4%를 보였다.

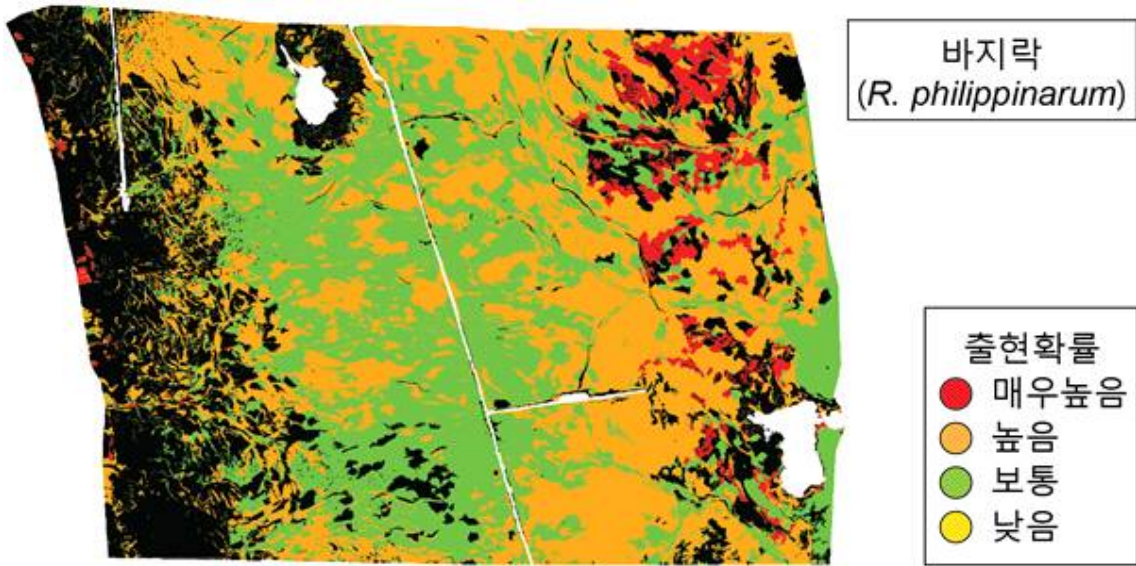


그림 3-5-4-2. 황도곶별 바지락(*R. philippinarum*) 세분류 저서생물분포 예측도

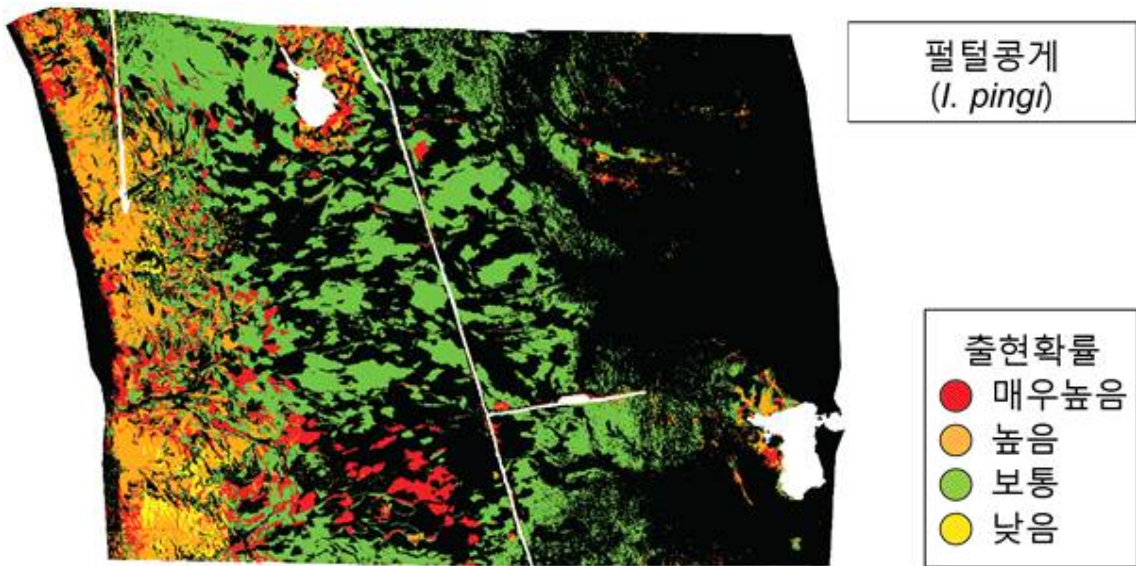


그림 3-5-4-3. 황도곶별 펼털콩게(*I. pingi*) 세분류 저서생물분포 예측도

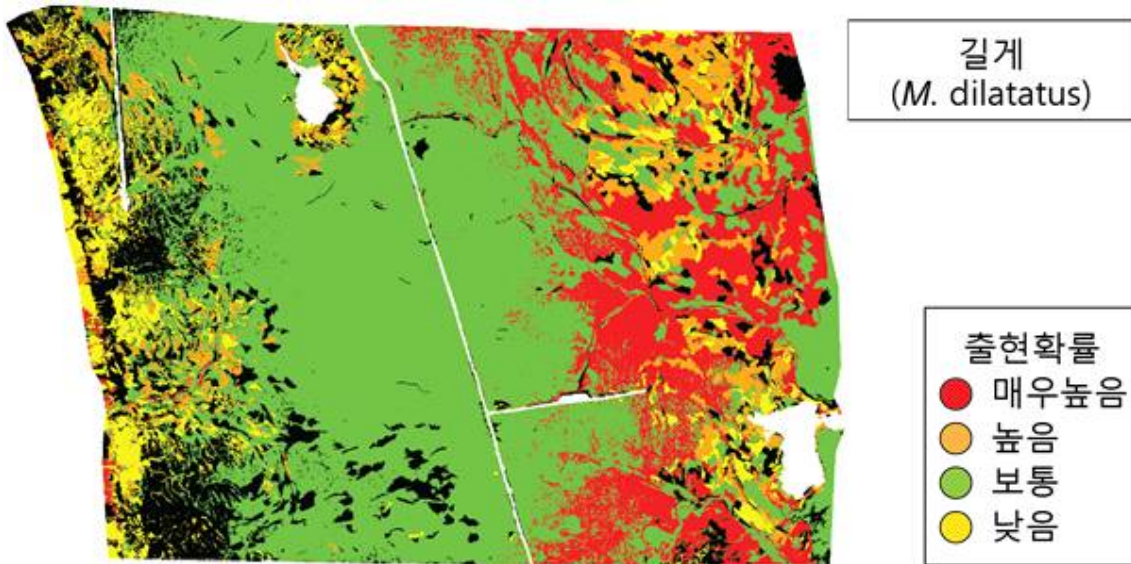


그림 3-5-4-4. 황도갯벌 길게(*M. dilatatus*) 세분류 저서생물분포 예측도

- 세분류 저서생물분포 예측도는 높은 공간해상도를 갖는 무인기 영상을 통해 제작된 결과 저서생물분포 예측도 역시 높은 해상도를 보였으나, 무인기가 갖는 시·공간적 한계로 인하여 황도갯벌 전지역을 대상으로 하지 못하였음. 다양한 플랫폼을 적용하여 이러한 한계를 극복하기 위한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.
- 본 연구에서는 기존 연구들에 비해 간단한 방법론과 대형저서동물 출현에 큰 영향을 주는 환경요인을 선정하여 적용하여 저서생물분포 예측도를 제작하였다. 하지만, 본 연구 결과의 정확도는 복잡한 모델을 적용한 기존연구들과 통계적 유의성을 보이지 않는 유사한 수준이었다. 이는 곧 퇴적상, 노출시간이 저서생물의 분포를 결정하는 주요 환경요인이며, 과거 현장자료를 기반으로 산출된 대형저서동물 출현확률의 정확성을 시사한다.

표 3-5-4-1. 기존 대형저서동물 저서생물분포 예측도 제작연구와 본 연구와의 비교

연구	연구지역	위성영상 (공간해상도)	연구방법*	분석종	환경요인	평균정확도 (%)	최고정확도 (%)
Choi et al. (2011)	황도	IKONOS (4 m)	FR, WE	갯지렁이류 2종	퇴적상, 노출시간, 경사 등 8개	69.9±6.5	77.7
Choi et al. (2011)	황도	IKONOS, KOMPSAT-2 (4 m)	WE	바지락 등 5종	퇴적상, 노출시간, 경사 등 8개	84.1±10.8	95.0
Choi et al. (2011)	황도	IKONOS (4 m)	FR, LR	털콩게	퇴적상, 노출시간, 경사 등 7개	79.0 / 85.3	85.3
Lee et al. (2013)	황도	IKONOS (4 m)	ANN	길게 등 3종	퇴적상, 노출시간, 경사 등 8개	75.5±2.1	84.4
Lee et al. (2016)	근소만	IKONOS (4 m)	FR, WE, LR, ANN	바지락	퇴적상, 노출시간, 경사 등 8개	78.0±5.2	87.4
본 연구	황도	무인기 (1 m)	출현확률	바지락 등 3종	퇴적상, 노출시간	80.4±1.5	81.8

\*ANN: Artificial Neural Network, FR: Frequency Ratio, LR: Logistic Regression, WE: Weights-of-Evidence

## 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

### 1 절. 연구개발목표 달성도

총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%)					
구분	연차별 달성내용				연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	성과목표	연구내용	가중 치 (A)	달성실적	
1년차 (2015)	1. 주제도 분류 체계 수립	1-1. 원격탐사 기반 토지 피복도/생태환경도 체계 분석	0.4	- 기 분류체계 분석 및 개선방안 제시	100
	2. 연안생태환경도 제작	2-1. 중/세분류 연안생태환경도 작성	0.6	- 위성/무인기 기반 중/세분류 연안생태환경도 작성방법 확립	100
	계		1.0		100
2년차 (2016)	1. 연안생태환경도 제작	1-1. 중/세분류 연안지형도 작성 (만입형 갯벌)	0.3	- TanDEM-X 기반 중분류 연안지형도 작성 - 무인기 기반 세분류 연안지형도 작성	100
		1-2. 중/세분류 연안퇴적상분포도 작성 (만입형 갯벌)	0.4	- Kompsat-3 기반 중분류 연안퇴적상 분포도 작성 - 무인기 기반 세분류 연안퇴적상분포도 작성	100
		1-3. 중/세분류 연안저서생물 분포예측도 작성 (만입형 갯벌)	0.3	- 만입형갯벌 연안저서생물 분포 예측도 작성	100
	계		1.0		
3년차 (2017)	1. 주제도 표준안 제시	1-1. 표준안 제시	0.2	- 원격탐사 기반 연안생태환경 주제도 분류체계 제시	100
	2. 연안생태환경도 제작	2-1. 연안생태환경도 작성 (반폐쇄형 갯벌)	0.3	- 무인기 기반 대축척 연안지형도 작성 - Sentinel-2 위성기반 대축척 연안퇴적상분포도 제작 가능성 분석 - Sentinel-2 위성기반	100



				중분류 연안퇴적상분포도 작성	
	2-2. 연안저서생물 분포 예측도 작성 (반폐쇄형 갯벌)	0.5		- 저서생물분포 예측도 작성 - 저서생물분포 예측도 제작 방법 간 정 확도 검증	100
	계	1.0			100

## 2 절. 대외기여도

### 1. 기술적 측면

- 위성자료를 바탕으로 연안의 시공간자료를 추출함으로써 다중위성자료의 활용을 극대화 시키고, 모델링 기술과 연계하여 연안 환경의 시·공간적 변화 현상의 예측이 가능하다.
- 고해상도 영상자료를 기반으로 1:5,000 축척 수준의 갯벌 생태환경 주제도를 작성함으로써 갯벌의 경제적, 생태적 가치를 정량적으로 평가할 수 있는 과학적 근거를 마련할 수 있다.
- 기존의 다목적실용위성 3호 위성을 적극 활용함으로써, 국내 위성활용 인프라 강화 및 활용능력 향상시킨다.
- 인공위성, 무인항공기 기반 대축척/소축척 연안주제도(연안지형도, 연안퇴적상분포도, 연안저서생물 분포예측도) 제작 기술을 확보할 수 있다.

### 2. 경제 산업적 측면

- 육역과 연계된 연안의 토지피복현황 파악이 가능하여 실제 토지현황을 반영한 연안 개발계획 수립이 가능하다.
- 객관적인 연안생태계 변화자료 제공을 통해 연안환경변화로부터 발생하는 지역 경제 피해를 최소화에 기여할 수 있다.
- 대형 토목건설로 인해 주변에서 지연되어 나타나는 해양/연안 환경변화가 정량화되어 연안의 생태환경적 가치를 정량적으로 평가할 수 있는 과학적 근거를 마련한다.
- 연안개발 및 갯벌 환경 복원시 육역의 생태·자연도와 연계되어 환경영향평가의 기본 자료로 활용이 가능하다.
- 정밀도가 높은 연안 생태환경도 작성을 통해 연안의 효율적인 관리 및 복원 방

안 수립 지원이 가능하다.

### 3. 사회적 측면

- 연안의 중요한 위치를 차지하고 있는 반폐쇄해역 생물자원 관리 및 생태계 서비스 기능을 확대할 수 있다.
- 반폐쇄해역 생태계 서비스 관리 기술은 해당 지자체들이 통합적으로 관리할 수 있는 정책 기반을 조성하는데 매우 중요한 자료를 제공한다.

## 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 인천강화갯벌, 무인갯벌, 벌교갯벌 등이 현재 국립공원으로 제안 및 건의되고 있다.
- 갯벌이나 하천 등에 대한 국립공원 타당성 평가와 연안생태계 가치평가에 공간화 된 연안주제도가 활용될 수 있을 것으로 판단된다.
- 높은 공간해상도의 연안 생태환경도(퇴적상, 지형도, 염생식물 분포도, 저서생물상 분포예측도)는 국내 연안환경의 변화를 단기 또는 장기적으로 모니터링하기 위한 기초자료로 활용 가능할 것으로 보여진다.
- 갯벌 패류양식 관련 산업계(양식생산자) 및 관리 기관에 연안주제도 제공을 통해 연안의 효율적인 관리 및 복원 방안 수립 지원이 가능하다.
- 공간화 된 연안주제도를 통해 갯벌의 환경 및 생태적 특성에 관한 다양한 기초자료의 축적 및 DB화가 가능해지기 때문에 효율적이며, 체계적인 갯벌어업 이용·관리시스템을 구축할 수 있을 것이다.
- 연안주제도에 기반한 적정 규모의 갯벌 탐방로를 개발 및 정량적 측면에서의 갯벌어업 육성을 통해 연안습지의 보호 및 갯벌관광프로그램을 통한 지역사회의 활성화 계획을 수립이 가능하다.
- 향후, 수요자(해양수산부, 국립해양조사원, 국토지리정보원, 해양환경관리공단)를 위한 맞춤형 자료를 생산함으로써 지속적이고 활용도 높은 자료를 구축이 가능할 것으로 기대된다.

## 제 6 장 참 고 문 헌

- Butler, D. R., & Walsh, S. J. (1998). The application of remote sensing and geographic information systems in the study of geomorphology: An introduction. *Geomorphology*, 21, 179 - 181.
- Choi, J. K., Eom, J. A., & Ryu, J. H. (2011). Spatial relationships between surface sedimentary facies distribution and topography using remotely sensed data: Example from the Ganghwa tidal flat, Korea. *Marine Geology*, 280(1 - 4), 205 - 211.
- Choi, J. K., Oh, H. J., Koo, B. J., Ryu, J. H., & Lee, S. (2011). Crustacean habitat potential mapping in a tidal flat using remote sensing and GIS. *Ecological Modelling*, 222(8), 1522 - 1533.
- Choi, J. K., Ryu, J. H., Lee, Y. K., Yoo, H. R., Woo, H. J., & Kim, C. H. (2010). Quantitative estimation of intertidal sediment characteristics using remote sensing and GIS. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 88(1), 125 - 134.
- Choi, J.-K., & Ryu, J.-H. (2011). A Study on the Sedimentary Facies Change in the Tidal Flat Using High Spatial Resolution Remotely Sensed Data. *Economic and Environmental Geology*, 44(1), 59 - 70.
- Choy, E. J., An, S., & Kang, C. K. (2008). Pathways of organic matter through food webs of diverse habitats in the regulated Nakdong River estuary (Korea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(1), 215 - 226.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25 - 36.
- Eineder, M., Adam, N., Bamler, R., Yague-Martinez, N., & Breit, H. (2009). Spaceborne spotlight SAR interferometry with TerraSAR-X. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(5), 1524 - 1535.
- GABRIEL, A. K., & GOLDSTEIN, R. M. (1988). Crossed orbit interferometry: theory and experimental results from SIR-B. *International Journal of Remote Sensing*, 9(5), 857 - 872.
- Graham, L. C. (1974). Synthetic Interferometer Radar For Topographic Mapping. *Proceedings of the IEEE*, 62(6), 763 - 768.
- Han Jun Woo Yeon Gyu Lee Jong Geel Je Jae Ung Choi, J. J. B. (2004). Characteristics of Sediments in the Kanghwa Tidal Flat on the west coast of Korea. *Korean Wetlands Society*, 6(1), 167 - 178.
- Kim, B., Lee, Y., & Choi, J. (2015). Investigating Applicability of Unmanned

- Aerial Vehicle to the Tidal Flat Zone. *Korean Journal of Remote Sensing*, 31(5), 461 - 471.
- Lee, S. K., & Fatoyinbo, T. E. (2015). TanDEM-X Pol-InSAR Inversion for Mangrove Canopy Height Estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(7), 3608 - 3618.
- Lee, S. K., & Ryu, J. H. (2017). High-accuracy tidal flat digital elevation model construction using tanDEM-X science phase data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(6), 2713 - 2724.
- Lee, Y. K., Ryu, J. H., Choi, J. K., Lee, S., & Woo, H. J. (2014). Satellite-based observations of unexpected coastal changes due to the Saemangeum Dyke construction, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1 - 2), 150 - 159.
- Lee, Y.-K., Ryu, J.-H., Choi, J.-K., Soh, J.-G., Eom, J.-A., & Won, J.-S. (2011). A Study of Decadal Sedimentation Trend Changes by Waterline Comparisons within the Ganghwa Tidal Flats Initiated by Human Activities. *Journal of Coastal Research*, 276, 857 - 869.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91 - 110.
- MacKinnon, J., Verkuil, Y. I., & Murray, N. (2012). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea). Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission No. 47.
- McLeod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552 - 560.
- Mukhtarova, A., Mammadli, E., & Ilko, I. (2013). Anticorruption Policy in Canada and Kazakhstan: Bottom-Up Vs. Top-Down Agenda Setting. *Revista Estudios Jurídicos. Segunda Época* 13, (97), 1 - 17.
- Murray, N. J., Clemens, R. S., Phinn, S. R., Possingham, H. P., & Fuller, R. A. (2014). Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(5), 267 - 272.
- Murray, N. J., Phinn, S. R., Clemens, R. S., Roelfsema, C. M., & Fuller, R. A. (2012). Continental scale mapping of tidal flats across east Asia using the landsat archive. *Remote Sensing*, 4(11), 3417 - 3426.
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., & Bamler, R. (2003). The shuttle radar topography mission - A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,

- 57(4), 241 - 262.
- Ryu, J. H., Kim, C. H., Lee, Y. K., Won, J. S., Chun, S. S., & Lee, S. (2008). Detecting the intertidal morphologic change using satellite data. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(4), 623 - 632.
- Ryu, J. H., Na, Y. H., Won, J. S., & Doerffer, R. (2004). A critical grain size for Landsat ETM+ investigations into intertidal sediments: A case study of the Gomso tidal flats, Korea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(3), 491 - 502.
- Ryu, J. H., Won, J. S., & Min, K. D. (2002). Waterline extraction from Landsat TM data in a tidal flat a case study in Gomso Bay, Korea. *Remote Sensing of Environment*, 83(3), 442 - 456.
- Woo, H. J., & Je, J. G. (2002). Changes of sedimentary environments in the southern tidal flat of Kanghwa Island. *Ocean and Polar Research*, 24(4), 331 - 343.
- 고병설, & 윤석현. (2015). 국가 해양생태계 종합조사 조사연보 (서해/남해서부-근해생태계).
- 김도희, & 양재삼. (2001). 곰소만에서의 오염물질 플럭스 및 탈질산화. *The Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 4(4), 32 - 41.
- 김석윤, & 하정수. (2001). 낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화. *한국수산학회지*, 34(3), 268~278.
- 김여상. (1989). 천수만의 (淺水灣) 현세 조간대층의 (潮間帶層) 퇴적학적 연구. *한국지구과학회지*, 10(1), 134 - 151.
- 김창오, 김상완, 이동천, 이용욱, & 김정우. (2005). 레이더 간섭기법을 이용한 수치 고도모델 해상도 향상에 관한 연구. *대한원격탐사학회지*, 21(4), 287 - 302.
- 박영근, & 서용철. (2013). 서브 미터급 위성영상을 이용한 1:2,500 수치지형도 제작에 관한 연구. *한국지적정보학회지*, 15(2), 139 - 148.
- 반용부. (1986). 洛東江 三角洲의 地形과 表層堆積物 分析. 慶熙大學校, 서울대학교.
- 신상호, 구분주, & 채종길. (2004). 서해 가로림만 갯벌의 대형저서동물 공간분포. *한국습지학회지*, 6(1), 57~72.
- 오재경, 도종대, & 조용구. (2006). 강화도 장화리 조간대의 퇴적 특성 TT - Sedimentary Characteristics in the Tidal Flat of Janghwa-ri, Kangwha Island, Eastern Yellow Sea. *한국지구과학회지*, 27(3), 328 - 340.
- 우한준, 최재웅, 유주형, 최송화, & 김성렬. (2005). Sedimentary Environments in the Hwangdo Tidal Flat, Cheonsu Bay. *한국습지학회지*, 7(2), 53~57.
- 유만호, & 최중기. (2005). 강화도 장화리 갯벌에서 저서미세조류의 계절적 분포 및 일차 생산력. *바다*, 10(1), 8 - 18.
- 육근형. (2008). 습지보호지역 지정체계 개선과 후보지 평가 연구. 국토해양부.
- 윤성순, 최지연, & 주성재. (2003). 연안관리지역계획의 실효성 제고 및 계획수립 모

형(안) 개발 연구. 한국해양수산개발원.  
2017 년도 국가공간정보정책에 관한 연차보고서. (2017). 국토교통부.  
우리나라 갯벌: 자연생태의특성. (2005). 해양수산부.  
큰이랑피조개 적지조사 결과보고서. (2014). 인천광역시.  
2017 년도 국가공간정보정책 시행계획. (2017). 국토교통부.

## 주 의

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