

다목적실용위성3호시스템종합개발사업 VI

(System Integration and Development of The
Third KOrea Multi-Purpose SATellite VI)

연안정보 관리 및 모니터링 기술 개발

(Development of Techniques for Coastal Information
Management and Monitoring)

위탁연구기관 : 한국해양연구원

한국항공우주연구원

제 출 문

한국항공우주연구원장 귀하

이 보고서를 "다목적실용위성 3호 시스템 종합개발사업"과제 (세부과제 “연안 정보 관리 및 모니터링 기술개발”)의 보고서로 제출합니다.

2009. 12. 24

위탁연구기관명 : 한국해양연구원

위탁연구책임자 : 유 주 형

연구 원 : 우 한 준

" : 구 본 주

" : 최 종 국

" : 민 지 은

" : 엄 진 아

보고서 요약서

과제고유번호	PN64560	해당단계 연구기간	2009. 02. 01 - 2010. 01. 31	단계구분	(2단계)/(3단계)
연구사업명	중사업명	다목적실용위성개발사업			
	세부사업명	다목적실용위성(3호)개발사업			
연구과제명	주관과제명	다목적실용위성(3호) 시스템종합개발사업			
	위탁과제명	연안정보 관리 및 모니터링 기술 개발			
연구책임자	유주형	해당단계 참여 연구원수	총 : 6 명 내부 : 6 명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부 : 35,000천원 계 : 35,000천원
		총연구기간 참여 연구원수	총 : 11 명 내부 : 11 명 외부 : 명	총연구비	정부 : 70,000 천원 계 : 70,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양연구원		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약				보고서면수	
<p>위성자료를 이용하여 갯벌의 지형, 조류로 네트워크, 퇴적상 등의 분포를 공간자료화 하고 이들로부터 생물상과 관련이 있는 노출시간 등의 추가 정보를 추출한다. 현장조사에 의해 얻어진 갯벌 생물 종/개체수와 갯벌의 퇴적환경 공간자료를 비교분석하여 갯벌 생태의 공간적 연관성을 파악한다. 이를 바탕으로 고해상도 위성자료에 의한 갯벌 표층 분류와 저서생물 추정 분포도를 제작하여 갯벌의 생태 환경도를 제작하고자 한다.</p>					
색 인 어	한 글	갯벌, 퇴적상, 생물상, 분류, 조류로, 갯벌지형, 다목적실용위성 3호			
	영 어	Tidal flat, Sedimentary facies, Biota, Classification Tidal channel, Intertidal DEM, Kompsat-3			

요 약 문

I. 제목

연안정보 관리 및 모니터링 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- Kompsat-3호와 다양한 위성자료를 이용하여 갯벌의 다양한 저서환경간의 관계를 공간적으로 파악
- 갯벌에서의 표층과 저서생물 분포를 추정할 수 있는 갯벌 생태 분포도 제작 기술 개발

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 광학위성자료 및 수준측량자료를 이용하여 황도 갯벌 DEM을 제작
- 갯벌 퇴적환경과 생물상 관계 연구
- 갯벌 표층 분류방법 비교
- 무인항공기를 이용한 연안지역 영상자료에 대한 기하보정 연구

IV. 연구개발결과

- Landsat 위성자료를 이용하여 황도 갯벌 DEM을 제작
- 황도 갯벌에서 퇴적환경과 저서생물 현장조사
- 갯벌 노출시간과 갯벌 퇴적상에 따른 저서생물 분포 특성 파악
- 연안 지역 영상자료 기하보정

V. 연구개발결과의 활용계획

- 갯벌 공간환경자료 제작 기술은 갯벌 전 연구 분야에 활용
- 수치모델을 위한 기본 입력자료로 활용

SUMMARY

I. Title

Development of Techniques for Coastal Information Management and Monitoring

II. Objectives & Significance

- To spatially understand relationship between benthic environment factors using the Kompsat-3 and various optic satellite data
- To develop technique of benthos distribution estimation and habitat map generation

III. Contents & Scope

- To generate DEM of Hwangdo tidal flat using optical satellite data and leveling data acquired by RTK-GPS survey
- To relate the sedimentary environment to the benthos distribution
- To compare the methods of tidal surface sediments classification
- To conduct geometric rectification using unmanned aerial vehicle

IV. Results

- To generate DEM of Hwangdo using time-series Landsat data
- To conduct in situ measurements for benthic environments on Hwangdo tidal flat
- To understand the relationship among exposure time, sedimentary facies and benthos distribution
- To conduct geometric rectification of the image on coastal area

V. Application of the Results

- Thematic map of tidal flat using satellite data can be used the all kinds of tidal flat study
- Intertidal DEM can be used as input of the coastal numerical model

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	9
Chapter 2. Status of Domestic and Oversea Technology	12
Chapter 3. Contents and Results of the Study	17
Section 1. Study Area	17
Section 2. Materials and Methods	19
Section 3. Results	27
1. Relationship Between Benthic Environments and Benthos Distribution ..	27
2. Comparison of Tidal Sediment Classification Methods	33
3. Geometric Rectification of Coastal Remote Sensing Image	36
Section 4. Conclusion and Discussion	38
Chapter 4. Achievement and Contribution of Research Objectives	40
Chapter 5. Application Plan of Research Results	41
Chapter 6. Scientific and Technologic Information Collected Abroad	42
Chapter 7. References	43

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	9
제 2 장 국내외 기술개발 현황	12
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	17
제 1 절 연구지역	17
제 2 절 연구자료 및 방법	19
제 3 절 연구결과	27
1. 갯벌 서식지 환경 및 생물상과의 관계	27
2. 갯벌 표층 분류방법 비교	33
3. 연안지역 영상자료에 대한 기하보정 연구	36
제 4 절 결론 및 토의	38
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	40
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	41
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	42
제 7 장 참고문헌	43

표 차례

표 1. 연구개발의 목표 및 내용	10
표 2. 국내외 원격탐사 갯벌 연구 현황	13
표 3. IKONOS와 Landsat TM/ETM+ 센서 정보	20
표 4. 연구에 사용된 자료와 획득일	20
표 5. 2009년 5월에 조사한 입도 자료의 분석 결과	22
표 6. 대형저서동물 종조성	31
표 7. maximum likelihood 방법을 이용하여 분류된 갯벌 표층 퇴적상 분류 정확도	34
표 8. object-based 방법을 이용하여 분류된 갯벌 표층 퇴적상 분류 정확도	34
표 9. 연도별 연구개발 목표 및 평가의 착안점	40
표 10. 2009년도 연구개발 목표 및 달성도	40

그림 차례

그림 1. 원격탐사 자료를 이용한 갯벌 연구 체계도	9
그림 2. 연구지역인 천수만 및 황도 갯벌의 Landsat ETM+ 영상	18
그림 3. 연구 체계도	19
그림 4. 2004년 3월 (a)과 2009년 5월 (b)에 조사한 시료 채취 정점	21
그림 5. Definiens Developer 7 program	24
그림 6. RTK GPS 설치 및 갯벌 지형 고도 측정	25
그림 7. (A) 무인항공기 촬영지역 (녹색) 및 수준측량조사 지점 (2009년 9월 8일: 빨간, 노란 색 지점, 2009년 9월 20일: 파란색) (B) 시간대별 무인항공기 경로	26
그림 8. 기하보정을 이한 Tarp 설치 및 무인항공시스템을 이용한 영상자료 취득	26
그림 9. 정점 위치 및 각 정점에서의 모래 함량	27
그림 10. 현장조사에 의한 지형고도 파악	28
그림 11. (A) 획득된 영상으로부터 추출된 waterline, (B) 생성되어진 갯벌 DEM	29
그림 12. 갯벌 고도별 노출 시간 분석	30
그림 13. 노출범위와 퇴적물 입자크기에 따라 구분된 대형저서동물군집 유사도	32
그림 14. 대형저서동물 군집의 공간분포	32
그림 15. IKONOS 영상을 이용한 갯벌 표층 퇴적상 분포도 (a) maximum likelihood 방 법, (b) object-based 방법.	33
그림 16. 갯벌 촬영을 위해 사용한 무인항공기	36
그림 17. 획득된 무인항공기 영상 (A) RGB 영상 (B) NIR 영상 (C) Tarp 위치	37
그림 18. 취합된 무인항공기 영상 (RGB 영상)	37

제 1 장 연구개발과제의 개요

우리나라 갯벌 개발 사업은 수 조원의 예산이 드는 대형 장기 국책 사업(시화호, 영종도, 새만금 사업 등)임에도 현재와 같이 문제 발생시 공사 중지나 재개 등을 결정할 수 있는 과학적 근거가 부족한 실정이며, 이는 막대한 경제적 손실로 직결되고 있다. 최근 연안 습지의 중요성이 크게 대두됨에 따라 선진국의 경우 기존 간척지를 복원하여 습지화하는 역간척이 진행 중이며, 아울러 인공습지 및 인공갯벌 조성도 활발히 진행되고 있다. 조성된 인공습지의 환경친화적 역할을 극대화하기 위해서는 습지내의 생태계를 지역적 특성을 고려하여 최적화하여야 하며, 이러한 인공생태계 최적설계를 위해서는 다양한 영향 인자들 사이의 복잡한 제 현상에 관한 깊이 있는 이해가 선행되어야 한다 (한국해양연구원, 2007).

갯벌 저서환경에 대하여 계절별 변화와 더불어 인공구조물에 의한 영향을 파악하기 위해서는 시·공간적으로 많은 현장 자료가 채취/분석되어야 하며 이는 엄청난 돈, 시간과 노력이 필요하다. 그러므로 최근에는 다양한 원격탐사 자료를 이용하여 갯벌의 표층 퇴적환경과 생태환경을 공간적으로 파악하려는 연구가 활발히 진행되고 있다 (Ryu et al., 2004; Gilmore et al., 2008; Goetz et al., 2008; Nielsen et al., 2008).

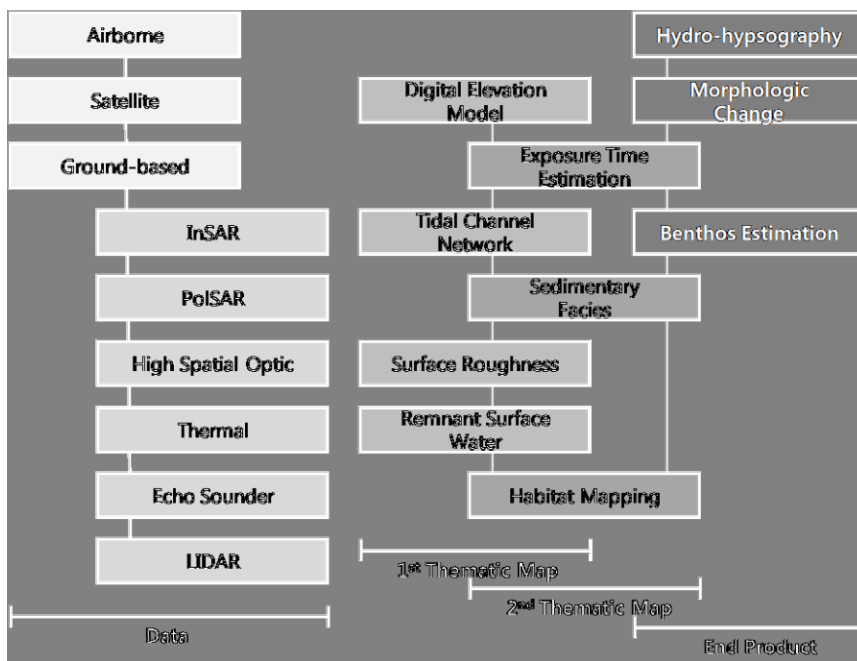


그림 1. 원격탐사 자료를 이용한 갯벌 연구 체계도

그림 1은 원격탐사 자료를 이용한 갯벌 연구 체계도이다. 갯벌 저서환경은 연구대상에 따라 시간적·공간적 스케일이 다르게 나타나므로 지상관측, 항공관측과 위성관측 자료가 연구내용과 범위에 따라 결정되어야 한다. 또한 원격탐사 자료의 사용 파장대에 따라 갯벌 표층에 대한 다양한 정보를 얻을 수 있다. 갯벌 저서환경 정보는 모든 환경요인들이 유기적으로 연결되어 있기 때문에 하나의 센서만을 이용한 단편적 연구보다는 모든 환경요인을 고려하여 종합적으로 분석하는 연구가 요구된다. 마이크로파의 경우는 표면 거칠기나 함수율 등의 정보를 얻을 수 있는 반면 광학자료를 이용해서는 표층의 생물상에 대한 연구가 가능하다. 또한 정밀한 지형정보를 얻기 위해서는 라이다 자료의 활용이 요구된다. 이들 자료를 이용하여 갯벌 지형도, 조류로 분포도, 표층기복도와 지표잔존수 분포도 등의 1차 주제도 작성이 가능하며 1차 주제도 중 필요한 레이어를 이용하여 만의 해수순환을 추정할 수 있는 hydro-hypsography, 지형변화 분석도 그리고 저서생물 분포 추정도 등의 2차적인 주제도 제작이 가능하다.

표 1. 연구개발의 목표 및 내용

구 분	연도	연구개발의 목표	연구개발의 내용	연구범위
1차년도	2008	갯벌생태지도제작 위한 기초연구	- 갯벌지형도 제작 - 갯벌퇴적환경과 생물상 현장조사 및 관계연구	근소만 지역에 대한 연구 (강화도 기존자료 수집)
2차년도	2009	갯벌생태지도제작 기반기술연구	- 연안기하보정 연구 - 갯벌 퇴적환경과 생물상 관계연구(계속) - 갯벌표층분류방법 비교	황도 지역 연구
3차년도	2010	갯벌 생태지도 제작 기술 개발	- 연안기하보정 - 갯벌 퇴적환경과 생물상과의 관계분석 - 갯벌 생태지도 작성 및 현장검증	갯벌 생태지도 작성 및 현장조사를 통한 검증 실시

본 연구에서는 지금까지의 다양한 위성자료와 Kompsat-3 위성자료를 이용하여 갯벌 1차 환경주제도 작성할 수 있는 기술을 개발하고, 1차 환경주제도를 종합하여 저서생물의 분포를 추정하는 기술을 개발하는데 목적이 있다. 이를 위하여 표 1과 같이 1차년도에서는 갯벌생태지도 제작을 위한 기초연구를 수행하였으며 기존의 Landsat 영상들을 이용하여 근소만 갯벌의 갯벌 지형도를 제작하고 근소만에서 갯벌 퇴적환경과 생물상의 현장조사를 통하여 두 요인간의 상관관계를 파악하였다. 2차년도에는 갯벌생태지도제작 기반기술연구로서 갯벌 퇴적환경과 생물상관계 연구를 1차년도에 이어서 계속하였으며 갯벌표층분류방법 비교에 관한 연구도 실시하였다. 또한, 무인항공기를 이용하여 연안기하보정 연구를 실시하였다.

국내의 고해상도 위성자료를 이용하여 갯벌의 퇴적환경과 생태환경에 대한 시공간적 주제도의 확보는 21세기 새로운 패러다임으로 자리 잡은 환경문제 해결에 일조함은 물론 관련 환경산업 활성화에 기여할 것이며 이로 인한 산업/경제적인 가치는 새만금 사업의 예산 규모로부터도 알 수 있듯이 환산할 수 없을 정도로 크다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

우리나라는 선박을 이용한 음향측심 (echo sounding)으로 천해역 (갯벌 포함) 지형을 조사하고 있으나, 이 방법은 갯벌 측심환경의 열악성으로 인하여 갯벌 지역에 대한 조밀한 간격의 측심 자료를 얻기 어려울 뿐만 아니라 지속적인 업데이트가 어려운 실정이다. 수준측량이나 Real-Time Kinematic Global Positioning System (RTK GPS)를 이용한 실측 조사에 의한 갯벌 지형도 제작도 많은 인력과 시간, 비용, 접근성 등의 문제로 어려움이 많다. 따라서 공간적인 자료를 접근 없이 얻을 수 있는 원격탐사 자료를 이용하여 갯벌 DEM을 얻으려는 시도는 여러 가지로 이루어져 왔다. Radar Interferometry (InSAR, 위상간섭기법)를 이용하는 방법, Light Detection and Ranging (LIDAR) 측량, 광학과 Synthetic Aperture Radar (SAR) 자료로부터 수륙경계선을 추출하여 Digital Elevation Map (DEM)을 만드는 수륙경계선 방법 등이 사용되어왔다 (Greidanus *et al.*, 1999; Chen and Rau, 1998; Hoja *et al.*, 2000; Wimmer *et al.*, 2000; Ryu *et al.* 2000; Stockdon *et al.*, 2002). 위의 방법들은 노출과 침수가 반복되는 갯벌의 특성으로 인하여 방문주기 (또는 시간적 해상도)에 제약이 많은 위성보다는 항공기를 이용하는 것이 일반적이다. 그러나 센서를 보유하고 있는 많은 나라에서는 자료의 획득이 용이하지 않고, 센서를 보유하고 있더라도 휴전선과 같이 군사적으로 민감한 지역이나 비행기의 이착륙이 잦은 공항 주변 지역의 경우 항공기의 사용에 제약을 받는다. 따라서 우리나라 서해안과 같이 넓게 발달한 갯벌 지역에서는 경제적으로 자료의 입수가 용이한 위성영상을 이용하는 갯벌 DEM 제작 기법이 연구될 필요가 있다. 위성영상을 이용한 방법은 장기적이고 주기적으로 자료의 획득이 가능하며 과거의 자료들을 이용하여 과거 갯벌 DEM 생성이 가능함으로 갯벌 지형 변화 및 환경을 파악하는데도 유용하게 사용될 수 있다. 광학위성자료를 이용한 waterline 방법은 비교적 단기간에 다양한 조석 상태의 위성자료로부터 갯벌과 물의 경계면인 해안선을 추출한 후, 이들에 절대고도 값을 대입하고 내삽함으로써 갯벌 DEM을 생성하는 것이다 (Lohani *et al.*, 1999; Mason *et al.*, 1997, Chen and Rau, 1998). 이 방법에서의 가정은 획득된 많은 위성 자료들이 갯벌 지형변화를 무시할 수 있을 만큼 단기간에 그리고 다양한 조석상태에 얻어져야 한다는 것과 추출된 해안선은 등고선이라는 것이다. waterline 방법으로부터 생성된 갯벌 DEM은 얼마나 다양한 조석상태의 위성자료를 획득할 수 있고 이로부터 해안선이 얼마나 정밀하게 등고선으로 추출되었느냐 하는 것이

DEM의 형태를 결정하고, 추출된 해안선에 얼마나 정확한 절대고도값을 대입시키느냐 하는 것이 DEM의 정밀도를 좌우하게 된다 (유주형, 2001).

표 2. 국내외 원격탐사 갯벌 연구 현황

연구수행 기관	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
유럽 EESD (Energy, Environment and Sustainable Development)	HIMOM (Hierarchical Monitoring Methods for Tidal Flats), http://www.brockmann-consult.de/himom/	<ul style="list-style-type: none"> ○ 연안 생태계 모니터링 진행 중 ○ 연안관리 시스템 개발 중 ○ 웹 기반의 주요지역의 연안 생태계 서비스제공 진행 중 ○ 갯벌내 생물상 및 물리학적 특징변화 파악을 통한 갯벌 관리 ○ 연구성과 학술지 게재를 통한 갯벌 보존 중요성 제시
영국 NERC (Natural Environment Research Council)	LOIS (Land - Ocean Interaction Study) http://www.bodc.ac.uk/projects/uk/lois/	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성자료를 이용한 갯벌 표층 분류 연구 수행 중 ○ 하천모니터링자료, 계류시스템, 연안관련 자료 DB구축 및 검색 시스템 개발 ○ 연안주변의 퇴적, 오염물, 영양분 이동양상을 정량 및 모델화
이태리 University of Padova	식생 분포도 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 항공원격탐사 자료를 이용한 이태리 베네치아 주변 염습지의 염생식물 분포도 작성 및 퇴적환경에 따른 식생분포도 제작
연세대학교	위성영상을 이용한 갯벌 퇴적, 생물상, 및 조류로 분포 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ Landsat을 이용한 waterline 추출 기술 연구 ○ 곰소만 갯벌 퇴적환경과 위성영상 Landsat ETM+ 자료와의 관계 분석 및 지형변화 모니터링 기술 ○ 갯벌 식생 스펙트럼 분석 연구
한국해양연구원	위성영상을 이용한 갯벌 퇴적, 생물상, 및 조류로 분포 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ IKONOS 영상을 이용한 천수만 황도 갯벌의 퇴적상 분류도 작성 ○ 강화도 갯벌 지형변화 모니터링 ○ 강화도 남단 갯벌의 조류로 분포 정량화 기술 개발

그러므로 Ryu et al. (2002)에서는 Landsat 위성자료의 어느 밴드를 이용하여 waterline을 추출하는 것이 정밀도를 높일 수 있는지 연구되었다. 또한 Horritt et al. (2003)은 비행기에서 얻어진 SAR 자료를 이용하여 waterline을 mapping 하였으며, Yamano et al. (2006)은 산호초 지역에 대하여 다양한 센서의 원격탐사 자료를 활용하여 waterline을 추출함으로써 환경 변화를 모니터링 하였다.

갯벌 표층 퇴적상 분포를 계절별 변화와 더불어 인공구조물에 의한 영향을 파악하기 위해서는 시·공간적으로 많은 입도 자료가 채취/분석되어야 하며 이는 엄청난 돈, 시간과 노력이 필요하다. 그러므로 최소한의 현장조사와 Landsat 위성급의 자료를 이용하여 갯벌에서의 표층퇴적상 분포를 파악하려는 시도들이 과거부터 지금까지 이루어져 왔다 (Bartholdy and Folving, 1986; Yates et al., 1993). 그러나 이들의 연구 결과는 퇴적학자들이 원하는 Folk (1968)의 퇴적상 기준과는 많은 차이를 보여 왔다. 이에 대한 주원인으로는 사용된 위성자료의 공간해상도와 분광해상도의 한계와 함께 사용된 위성자료와 갯벌 환경에 대한 정확한 이해와 이들 간의 관계에 대한 연구가 부족했기 때문이다 (Ryu et al., 2004; Artigas et al., 2005; Maycira et al., 2007). 또한 위성에서 감지되는 갯벌 원격 반사도는 표층의 퇴적상, 생물상, 지표잔존수, 함수율, 경사와 조류로 등에 의해 결정된다. 이들 각각은 다른 환경요인과 관계가 복잡하고 미묘하게 얽혀있기 때문에 갯벌의 퇴적환경을 종합적으로 이해하기 위해서는 각 요인들에 대한 정확한 분석과 이해가 요구된다.

지표면의 물리적 특성인 기하 (geometric), 표면 거칠기 (surface roughness), 유전상수 (dielectric constant)의 정보를 나타내는 SAR 영상으로부터 갯벌 퇴적환경 분석에 대해 많이 연구되어 왔다. SAR 영상을 통하여 후방산란의 주요원인인 표면 거칠기와 토양수분에 의한 후방산란계수 (backscattering coefficient)의 상관성, 입사각과 주파수, 편광에 의한 토양수분과 후방산란계수의 관계, 토양의 종류에 따른 관계 등의 연구들이 진행되어 왔다 (Narayanan et al., 1994; Champion and Faivre, 1997; Srivastava et al., 1997). Tandem ERS-1/2 SAR SLC로부터 추출한 후방산란계수와 레이더 위상간섭기법을 통해 추출한 긴밀도 그리고 현장자료로부터 추출한 데이터 (갯벌 지형, 퇴적물 분포도, 지표 잔존수)와의 상관관계를 연구한 바 있다 (E.S. Rowan, 2001).

현장자료로부터 추출한 표면 거칠기, 함수율 자료를 레이더 산란모델 (Small Perturbation Method : SPM, Semi-Empirical Model)에 적용함으로써 갯벌에서 나타날 수 있는 레이더 후방산란계수의 범위를 측정해 곱소만 갯벌에서 나타나는 레이더

후방산란의 특성을 분석하여 레이더 자료획득에 있어 갯벌의 특성에 적합한 파장, 편광, 입사각을 결정하는 연구가 이루어졌다 (조원진, 2002). 또한 Integral Equation Model (IEM)을 사용하여 ERS-1 SAR와 ERS-2 SAR PRI 영상으로부터 추출한 후방산란계수와 현장자료로부터 추출한 퇴적환경 요소 (surface roughness, mud condition, sediment texture)의 상관관계를 분석하여 네덜란드의 남서부에 위치한 Westerschelde 갯벌의 특성을 연구하였다 (D. van der Wal et al., 2005). 이외에도 Integral Equation Model을 기반으로 하여 multi-frequency SAR 영상으로부터 노출된 갯벌에서 sand ripple의 roughness parameter (rms height: κ , correlation length: ℓ) 을 추출하고 이 두 roughness parameter로 부터 갯벌의 퇴적상을 분류한 바 있다 (Martin Gade et al., 2007).

1990년대 후반에 영국에서 Land-Ocean Interaction Study (LOIC) 사업이 시작되면서부터 항공기에 탑재된 CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager) 센서에 의해 수 m 미만의 고해상도의 다채널 자료를 얻게 됨에 따라 현장조사 자료와 함께 갯벌 표층 분류나 지형정보 획득과 관련된 많은 연구가 수행되어졌다 (Thomson et al., 1998; Rainey et al., 2000; Rainey et al., 2004; Brian et al., 2005). Rainey et al. (2004)는 항공기 원격탐사 자료와 갯벌의 퇴적 환경과의 비교 연구를 통하여 갯벌 지형과 노출시간이 원격탐사 자료를 이용한 표층 퇴적상 분류에 많은 영향을 미침을 분석한 바 있다. 또한 항공기 원격탐사 자료에 스펙트럴 언믹싱 (Spectral unmixing) 분류 방법을 적용하여 Folk (1968)의 기준에 맞는 갯벌 퇴적상 분류를 수행하였다. 국내의 경우, 현재까지 항공기 원격탐사 자료를 얻기가 어려우므로 Ryu et al. (2004)은 곰소만 갯벌 퇴적환경 요인들과 Landsat ETM+ 자료와의 관계를 분석하여 광학 반사도에 영향을 많이 주는 퇴적환경요인은 지표잔존수이며, 이는 지형, 입도, 조류로 분포 특성에 의한 배수구배 등에 의해 결정됨을 보고한 바 있다. 또한 이 연구를 통하여 30 m 공간해상도급 위성자료의 광학 반사도는 Folk (1968)의 퇴적상 기준인 4 ϕ 입자 기준보다는 2 ϕ 입자의 비 (ratio)와 높은 상관관계를 보임을 밝혔다. 따라서 위성의 특성에 따른 분류 기준입도의 설정이 필요함을 언급하였다. 그리고 표층 퇴적상 분류의 정밀도를 높이기 위해서는 단순히 위성자료의 광학 반사도를 상대적으로 분류하여 퇴적상과 연관 짓는 무감독 분류 방법보다는 위성자료와 갯벌의 특성을 파악하고 이를 바탕으로 한 감독분류가 더 효과적일 것임을 보고하였다. Belluco et al. (2006)는 이태리 베네치아 주변의 염습지의 염생식물 분포도를 항공원격탐사 자료를 이용하여 제작하였으며 Marani

et al. (2007)는 이 지역에 대한 퇴적환경에 따른 식생 분포를 파악하였다. 유주형 등 (2005)은 천수만 황도 갯벌에 대하여 IKONOS 영상을 이용하여 지형을 고려한 갯벌 퇴적상 분류도를 제작하였으며, 이윤경 등 (2007)은 갯벌의 생물상 스펙트럼 특성을 분류하였으며, 엄진아 등 (2007)은 강화도 남단 갯벌의 조류로 분포를 정량화하는 기술을 개발한 바 있다. 지금까지의 연구는 주로 갯벌 1차 주제도 작성을 위한 연구에 중점을 두었으며 본 연구와 같이 여러 주제도를 종합한 생태환경도 작성의 예는 국내외적으로 없다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구지역

연구지역인 황도 갯벌이 속하는 천수만은 서해 중부 연안에 위치하며, 만 입구와 안면도 연육교 밑의 수로를 통하여 해수유통이 이루어지는 반폐쇄성 내만으로 만의 내부에는 많은 섬과 사퇴, 암초, 갯벌 등 다양하고 복잡한 환경과 지형을 가지고 있다 (우한준 등, 2005). 천수만은 수심 25 m 이내의 천해성 만으로 태안군의 안면도, 서산시의 간월도, 보령시의 서해지선으로 둘러싸여 있다 (그림 2). 1980년대 이전에는 이 지역이 큰 하천의 유입이 없어 오염의 가능성이 적은 청정해역으로 생물 생산성이 높고 수산 양식에 적합한 요건을 갖춘 곳이었다. 그러나 천수만은 1983년부터 1985년까지 서산 A와 B 지역에 방조제가 완공되어 간월호와 부남호라는 담수호가 생기고 인위적 구조물에 의한 조류의 변화와 이에 따른 퇴적환경과 생태계의 지속적인 변화가 있었을 것으로 생각된다. 소재귀 등 (1998)에 의하면 방조제 건설후의 절대유속은 천수만 북부해역에서 크게 감소한 것으로 나타났으며, 북부 갯벌의 노출시간이 길어진 것으로 나타났다.

천수만에 대한 방조제 건설 전·후 해양환경과 관련된 연구가 다양하게 이루어 졌으며 (심재형과 이원호, 1979; 심재형과 윤구현, 1990; 소재귀 등, 1998; 박홍식 등, 2000), 그 중 퇴적환경과 관련된 연구로는 김기현 (1979)의 방조제 건설 전의 천수만 퇴적작용에 관한 연구와 방조제 건설 후에 갯벌, 사퇴, 수로 등의 퇴적물 특성과 분포에 관한 연구들이 있다 (김성곤, 1987; 김여상, 1989; 김여상과 김정남, 1996; 김종하, 2000). 천수만의 퇴적환경 연구 중 방조제 건설에 의하여 수리학적 조건이 상대적으로 많이 변화된 북부지역의 황도 갯벌에 관련된 연구는 상대적으로 작다. 따라서 본 연구는 천수만 북부 황도 갯벌과 그 주변 해저부에서 지질학적 특성 및 퇴적물 분석을 통하여 퇴적환경 및 변화 양상을 파악하는 것이 목적이다. 이 연구를 위하여 황도 갯벌을 중심으로 퇴적물 특성 분석, 단기 퇴적을 측정과 코어 자료에 의한 퇴적물의 수직적인 특성을 분석하였다.

천수만의 조석은 반일주조이며, 대조차 633 cm, 소조차 286 cm로서 평균조차가 459 cm인 대조차 환경에 속하고 최대유속은 창조류가 약 100 cm/sec, 낙조류는 약 70 cm/sec 이다. 본 연구지역은 천수만 안면도에 인접한 황도 갯벌로 남쪽에 발달한 갯벌의 폭은 1.65 km, 길이는 5.15 km 정도이다. 황도 갯벌 중심부는 혀 모양으로 조류로와 세

곡이 복잡하게 발달되어 있다. 연구지역의 퇴적상은 만조선에서 저조선 방향으로 펄 퇴적상, 혼합 퇴적상 그리고 모래 퇴적상으로 구성되어 있으며, 물리적 퇴적구조들은 저서 생물에 의해 많은 부분이 교란되어 있다 (김여상, 1989).

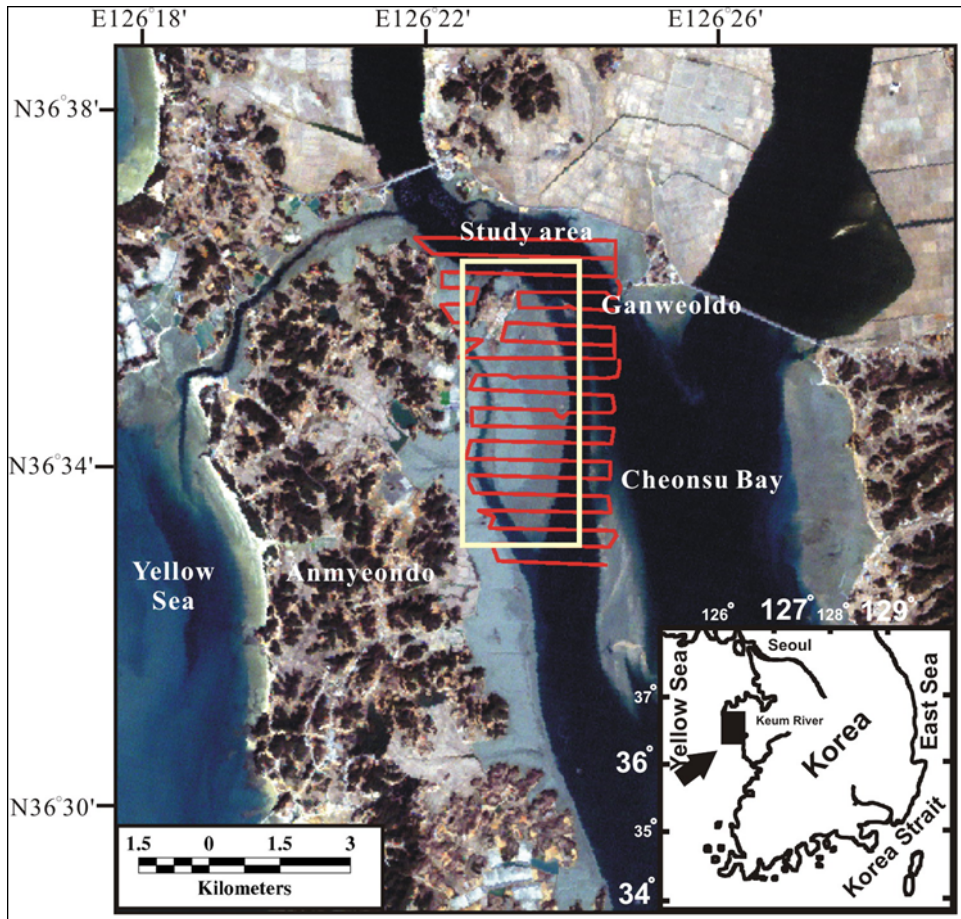


그림 2. 연구지역인 천수만 및 황도 갯벌의 Landsat ETM+ 영상

제 2 절 연구자료 및 방법

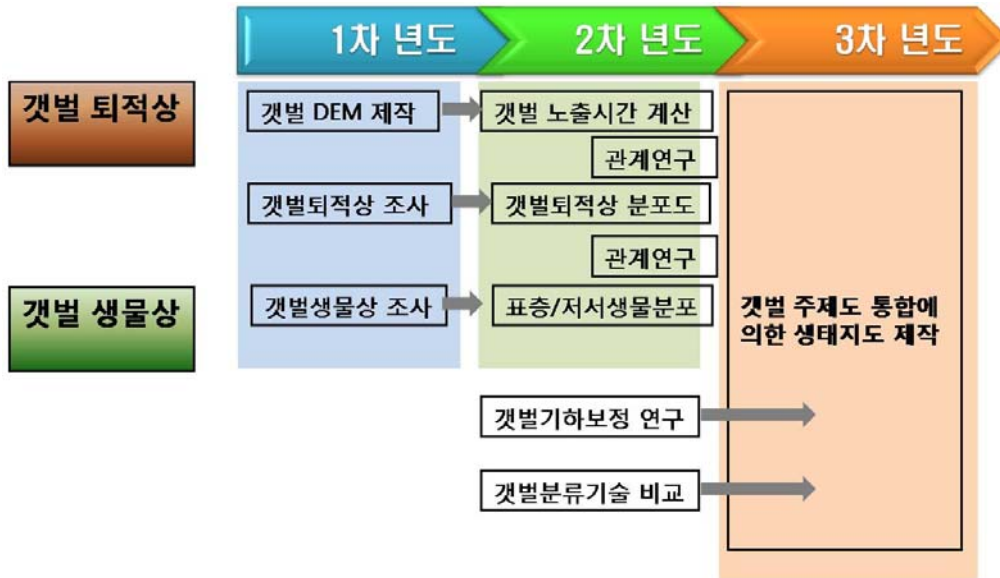


그림 3. 연구체계도

본 연구는 고해상도 위성자료를 이용하여 갯벌의 생태 분포도 제작 기술을 개발하는 것을 목적으로 한다 (그림 3). 1차년도에는 태안 근소만 갯벌을 대상으로 현장조사를 실시하여 갯벌 퇴적상과 생물상에 대한 기초 자료를 수집하였다. 또한 갯벌의 타입에 따른 특성을 파악하기 위하여 강화도 갯벌 지역에 대한 기존 자료를 수집하여 연구에 활용하였다. 2차년도에는 1차년도에 이어서 근소만 이외의 지역인 황도에서 조사된 자료를 취합하여 갯벌 퇴적환경과 생물상 관계에 대하여 연구하며 갯벌 표층 분류 방법을 비교하였다. 또한 연안지역 영상자료에 대한 기하보정 연구를 실시하였다.

Kompsat-3 영상을 얻을 수 없기 때문에 천수만 지역에 대하여 기존의 IKONOS와 Landsat TM/ETM+ 자료가 수집되었으며 연안 기하보정을 위하여 무인항공기를 촬영하였다. IKONOS 센서의 특징은 Kompsat-2와 거의 유사하다. 사용한 영상에 대한 센서의 특징은 표 3과 같다. IKONOS 자료는 2001년 3월 28일 획득된 자료이며 연안지역의 기하보정을 위해 촬영된 무인항공기는 2009년 11월에 촬영하여 획득하였다. 연구에 사용한 영상의 획득일은 표 4와 같다. 위성자료들은 기보정되어 있는 5m 공간해상도를 갖는 IRS-1C 위성자료를 이용하여 영상 대 영상 (image to image) 방법으로 0.5 픽셀 이내의 오차로 지형보정을 실시하였다.

표 3. IKONOS와 Landsat TM/ETM+ 센서 정보

Image	Band	Wavelength (μm)	Resolution (m)
IKONOS	(1) Blue	0.45-0.52	4
	(2) Green	0.52-0.60	4
	(3) Red	0.63-0.69	4
	(4) Near-IR	0.76-0.90	4
	Panchromatic	0.45-0.90	1
Landsat TM/ ETM+*	(1) Blue-green	0.45-0.52	30
	(2) Green	0.53-0.61	30
	(3) Red	0.63-0.69	30
	(4) Near-IR	0.75-0.90	30
	(5) Mid-IR	1.55-1.75	30
	(6) Thermal	10.4-12.5	120(60*)
	(7) Mid-IR	2.09-2.35	30
	(8) Panchromatic*	0.52-0.90	15
Image	Scene size (km)		
IKONOS	11×11		
Landsat ETM+	185×185		

표 4. 연구에 사용된 자료와 획득일

No.	Satellite	Sensor	Date
1	IKONOS		2001-03-28
2	Landsat-7	ETM+	2006-12-26
3	Landsat-7	ETM+	2007-08-23
4	Landsat-7	ETM+	2009-04-22
5	Landsat-7	ETM+	2009-05-08
6	무인항공기		2009-11-05

IKONOS 영상자료를 이용하여 황도 갯벌의 퇴적상 분포를 파악하기 위한 현장 자료는 2004년 3월과 2009년 5월 만조 때 선박을 이용하여 Grab sampler에 의해 각각 29, 28개 정점에서의 채취한 입도 자료를 사용하였다 (그림 4). 각각의 영상과 현장조사 자료에는 년도의 차이는 있으나, 계절적으로는 유사한 시기에 얻어진 자료이므로 이를 통해 갯벌 표층 퇴적상 분포를 파악하는 데에는 무리가 없다. 그림 4는 2004년 3월과 2009년 5월 입도 자료의 취득 위치를 영상 위에 표시한 것으로 Grab sampler에 의해 채취된 시료의 위치와 걸어가면서 채취한 샘플 위치를 나타낸다. 2004년 3월 자료는 갯벌 표층 퇴적상 분류를 위하여 사용하였으며, 2009년 5월 자료는 갯벌 퇴적상 분포 및 생물상 분포 연구를 위하여 사용하였다.

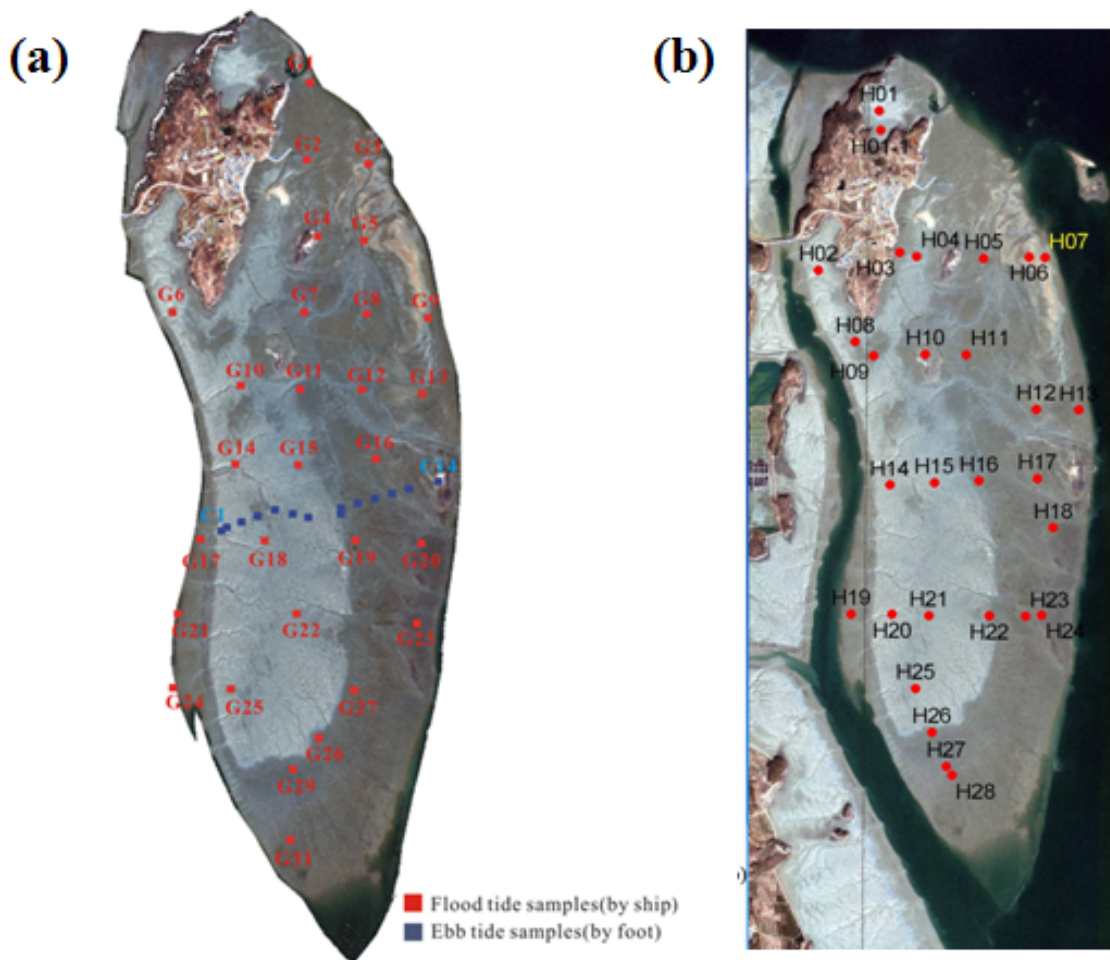


그림 4. 2004년 3월(a)과 2009년 5월(b)에 조사한 시료 채취 정점

표 5. 2009년 5월에 조사한 입도 자료의 분석 결과 (*Folk,1968),

sZ : sandy silt, sM : sandy mud, (g)sM : gravelly sandy mud, zS : silty sand, mS : muddy sand, (g)mS : gravelly muddy sand, gS : gravelly sand.

Station No.	Composition (%)				Sediment Type	Statistical Parameters			
	Gravel	Sand	Silt	Clay		MZ	St.Dev.	Skew.	Kurt.
H01-1	7.72	14.35	72.22	5.7	gM	4.75	2.79	-0.84	3.98
H1	1.87	15.49	75.03	7.61	(g)sM	5.41	1.92	-0.62	6.29
H2	2.39	13.09	75.08	9.44	(g)sM	5.51	2.09	-0.72	6.66
H4		29.5	62.55	7.95	sZ	5.15	1.76	0.76	3.42
H5		42.03	47.59	10.38	sZ	4.83	2.3	0.77	3.73
H6	0.31	94.19	3.1	2.39	(g)S	2.25	1.54	3.53	18.69
H7		82.96	14.04	3	zS	2.85	1.9	1.9	7.33
H8		40.15	54.22	5.63	sZ	4.76	1.87	1.28	5.44
H9		69.64	27.19	3.17	zS	3.79	1.71	1.7	6.38
H10		69.33	25.78	4.89	zS	3.67	2	1.64	5.86
H11	0.07	78.05	18.96	2.91	(g)mS	3.48	1.63	2.21	9.41
H12	1.97	86.97	8.73	2.33	(g)mS	2.58	1.74	1.67	8.84
H13		91.42	6.89	1.69	S	2.59	1.43	2.43	11.71
H14		21.31	66.68	12	sZ	5.63	1.92	0.52	3.6
H15		54.64	40.84	4.53	zS	4.37	1.66	1.4	5.06
H16		82.64	15.59	1.77	zS	3.37	1.32	2.48	10.92
H17	0.96	69.25	26.59	3.2	(g)mS	3.66	1.79	1.1	6.15
H18		71.69	25.55	2.77	zS	3.78	1.52	1.72	6.84
H19		22.54	68.29	9.17	sZ	5.49	1.82	0.88	4.34
H20		22.6	69.06	8.34	sZ	5.44	1.75	0.86	4.23
H21		53.84	41.67	4.5	zS	4.37	1.67	1.51	5.88
H22		61.77	35.32	2.91	zS	4.11	1.51	1.72	7.54
H23	0.21	66.63	29.48	3.69	(g)mS	3.75	1.83	1.22	5.49
H24		64.72	32.17	3.11	zS	3.9	1.61	1.39	5.43
H25		51.54	43.41	5.04	zS	4.49	1.72	1.56	5.94
H26		72.63	24.79	2.58	zS	3.8	1.46	2.34	10.59
H27		79.32	18.64	2.04	zS	3.51	1.36	2.5	11.29
H28		80.14	18.26	1.61	zS	3.51	1.24	2.62	12.18

현장조사를 통해 취득된 입도 시료는 먼저 5g 씩을 1000ml 비이커에 넣고 순수 쇠설성 퇴적입자만 남도록 10%의 묽은 과산화수소 (H₂O₂)와 24시간동안 반응시켜 유기물을 완전히 제거시켰다. 증류수로 염분과 분해된 유기물을 씻어 낸 후, 다시 1N 염산 (HCl)을 첨가하여 패각편 등의 탄산염질 생물기원 물질을 완전히 제거하였다. 시약 처리된 시료는 4 ϕ (0.0625mm)체를 통과하도록 습식 체질 (wet sieving)하여 체에 남은 4 ϕ 이상의 세립질 퇴적물로 분리하였다. 건조된 조립질 퇴적물은 0.5 ϕ 간격의 체가 단계별로 장착된 자동 Ro-tap sieve shaker에 넣어 15분간씩 체질하여 입도별로 무게를 구하였다. 세립질 퇴적물은 약 2g 씩을 50ml 비이커에 넣고 0.1% Calgon (분산제)을 첨가하여 초음파 분쇄기와 자기 진동기로 균질하게 분산시킨 후 X-선 입도분석기인 Sedigraph 5000D로 각 입도별 분포에 따른 백분율을 구하였다. 각 시료는 입도 분석 자료를 이용하여 퇴적상, 평균입도, 분급도 등을 Folk (1968)의 방법에 따라 구하였다.

모든 입도 자료는 Folk (1968)의 퇴적상 기준에 의해 모래 성분이 30 % 미만은 펄 퇴적상, 30-70 % 는 혼합퇴적상 그리고 70 % 이상은 모래 퇴적상으로 분류하였다. 표 5 는 2009년 5월에 취득된 28개 입도 자료의 분석 결과를 나타낸 것이다.

또한, 퇴적상과 동일 지점에서 생물상을 분석하였다. 저서생물의 채집에는 채집면적이 0.028 m²인 주상시료채니기와 1 × 1 m 의 방형구를 이용하였고, 정점별로 주상시료채니기를 30 cm 깊이까지의 퇴적물을 파내었으며 채집된 퇴적물은 현장에서 망목 1.0 mm sieve로 걸러서 잔존물만 플라스틱 비닐에 담아 해수로 중화된 10% 포르말린 용액으로 고정하였다. 각 정점에서는 동일한 방법으로 4회씩 반복하여 채집하였고 채집이 까다로운 종에 대해서는 방형구를 이용하여 종별 개체수 분포를 조사하였다. 퇴적물 표층에 서식하는 생물에 대해서는 방형구 내 종별 개체수를 계수하였으며, 퇴적물에 구멍을 파고 들어가 서식하는 종들은 구멍의 모양과 섭식 혹은 배설 흔적의 확인을 통해 개체수를 계수하였다. 각 정점에서 방형구를 무작위로 놓고 3회씩 개체수와 구멍, 섭식 혹은 배설 흔적의 개수를 파악하였다.

연구지역의 표층 퇴적상 분류를 하기 위해서는 객체 기반의 분류 방법을 적용하였다. 객체 기반의 분류 방법은 Definiens[®] Developer 7 프로그램을 이용하여 적용하였다 (그림 5). 이 프로그램은 Definiens Imaging Co.에서 고해상도 위성영상에 적합하도록 개발한 객체 기반 이미지 분석을 위한 상용 프로그램이다 (Walsh et al., 2008). 이것은 많은 유형의 이미지와 벡터 데이터에 대해서 정보와 데이터의 융합 기능을 제공하며, 이미지 객체들의 계층망을 생성해주는 다해상도 이미지 분할 기능으로 다양한 스케일 분석이 가

능하다. 먼저, 연구에 사용된 IKONOS 및 KOMPSAT-2 영상을 광학반사도 및 texture 등 특성을 고려하여 유사한 특징을 보이는 부분들 즉, 객체로 분류하였다. 각 이미지 객체들에 대해, 현장 조사 자료를 기반으로 2004년 3월의 자료에서는 연구 지역을 횡으로 가로질러 채취한 14개 샘플 위치의 입도 자료를, 2009년 5월의 자료에서는 임의 선택된 샘플 위치에서의 입도 자료를 각각 트레이닝 데이터로 하여 각 이미지 등의 상관성 등을 고려하여, 퇴적상을 부여하였다.

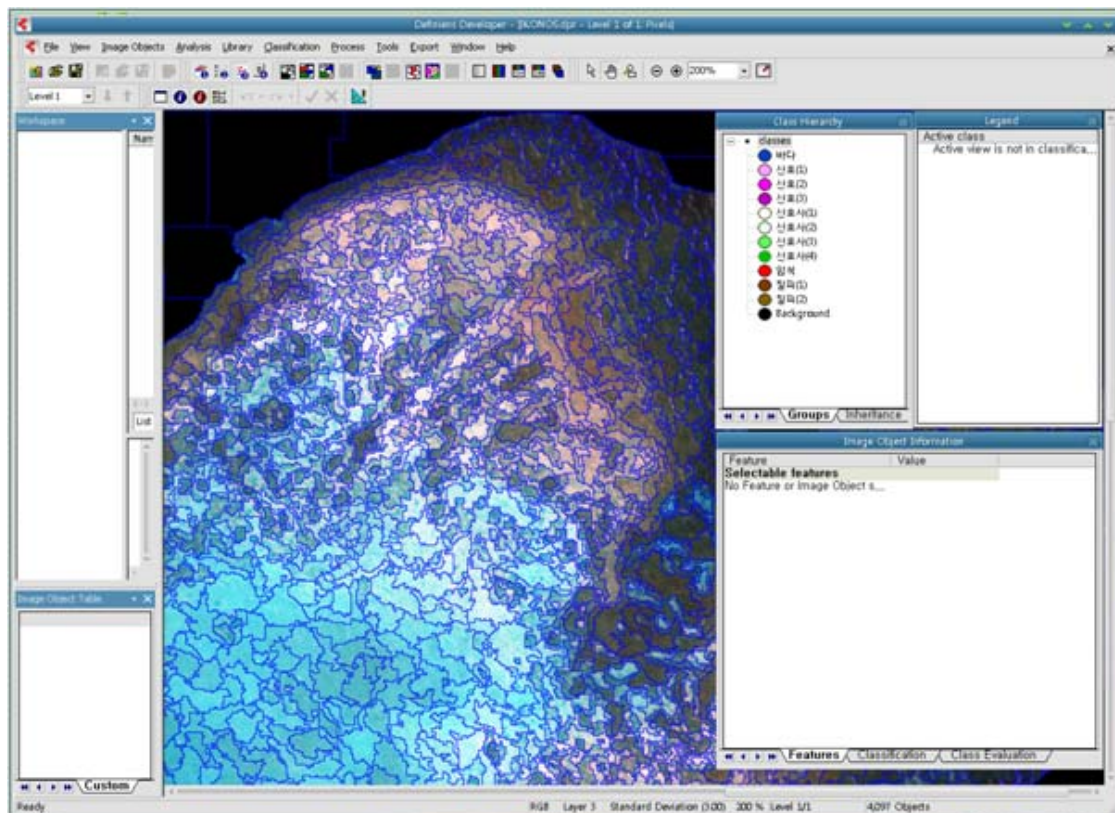


그림 5. Definiens Developer 7 program

갯벌 고도 변화를 분석은 2009년 9월 7일~8일에 Leica Geosystems 사의 RTK GPS를 이용하였다 (그림 6). 이 장비는 X, Y 좌표 오차가 약 1cm 이내이며 고도 오차는 약 2cm 이내로 매우 정밀하다. 현장조사는 그림 6의 파란선 및 빨간선과 같이 두 지점에서 측정하였으며 측정된 자료는 조위 자료와 동일하게 평균해수면 (Mean Sea level)을 기준으로 하여 보정한 후 고도 변화를 분석하고 갯벌 DEM을 생성하는데 사용하였다.

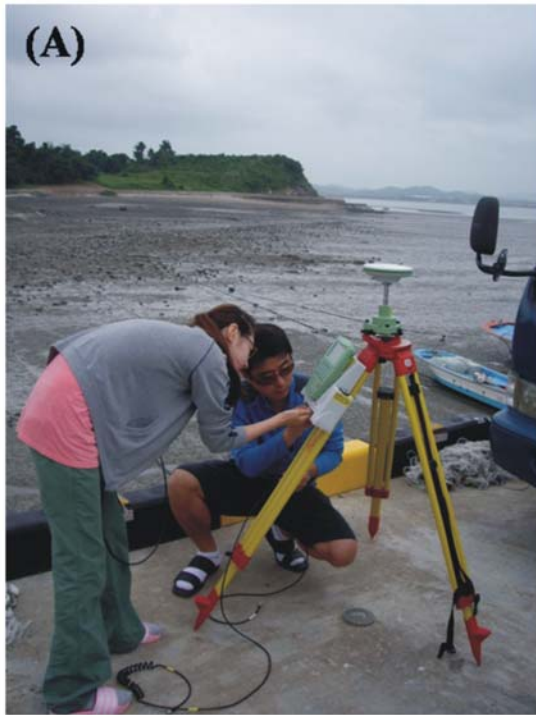


그림 6. RTK GSP 설치 및 갯벌 지형 고도 측정

무인항공기 촬영은 2009년 11월 4일~5일에 실시하였다. 사용한 무인항공기 카메라는 RGB 센서와 NIR (Near Infra-Red) 센서를 가지고 있으며 해상도는 50cm이다. 이번에 촬영한 연구지역은 그림 7 (A)와 같다. 이번에 촬영한 무인항공기의 사항으로는 장시간동안 넓은 지역을 촬영을 할 수 없는 관계로 전체 연구지역을 촬영하지 못하였다. 무인항공기의 촬영경로는 그림 7 (B)와 같다. 촬영 경로 설정은 최간조시간부터 한 시간 간격으로 설정하였다. 설정 이유는 해안선 변화를 측정하기 위해서이다. 특히 최간조시간에는 일부 지역을 넓게 촬영하였다. 이는 해안선 변화 뿐만 아니라 갯벌 표층의 퇴적상 및 이외의 특징 등을 연구하기 위해서이다. 또한, 이렇게 획득되어진 항공사진을 기하보정하기 위해 GCP (ground control point)로 사용할 Tarp를 무인항공기 촬영 당시 해당 연구지역의 갯벌 표층에 총 10개를 설치하였다 (그림 8). Tarp의 크기는 가로 및 세로의 크기가 약 60cm정도의 크기로 하여 영상에서 육안 판독이 가능하도록 하였다. Tarp의 간격은 약 200 - 300m 간격으로 설치하였으며, Tarp의 중앙 지점 위치를 GPS로 측정하였다.

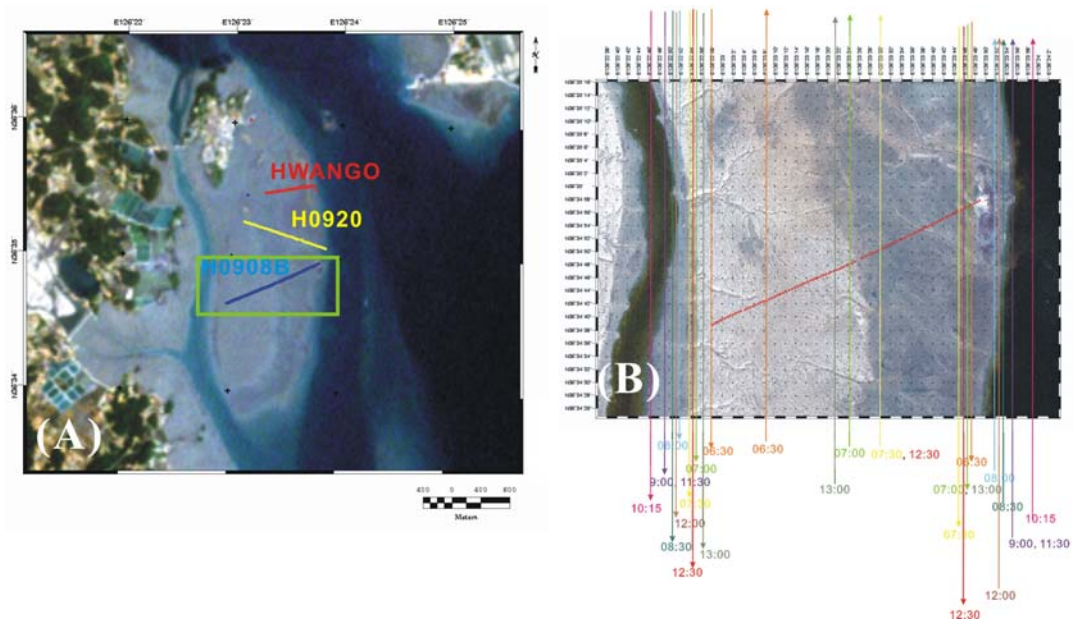


그림 7. (A) 무인항공기 촬영 지역 (녹색) 및 수준측량조사 지점(2009년 9월 8일: 빨간, 노란색 지점, 2009년 9월 20일: 파란색) (B) 시간대별 무인항공기 경로



그림 8. 기하보정을 이한 Tarp 설치 및 무인항공시스템을 이용한 영상자료 취득

제 3 절 연구결과

1. 갯벌 서식지 환경 및 생물상과의 관계

갯벌 내 저서동물은 갯벌의 노출시간 (지형), 퇴적상 그리고 갯벌의 염분 정도에 따라 서식지를 결정하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 위성영상을 이용하여 갯벌의 노출시간과 퇴적상을 분석하고 이들 공간자료를 이용하여 갯벌 저서동물 분포를 규명해 보았다.

연구지역의 퇴적상 분석은 2009년 5월에 취득된 28개 정점에서 실시하였다. 퇴적상은 Folk (1968)의 퇴적상 기준에 의하여 분류하였으며 그림 9는 분석된 자료를 모래 함량으로 나타낸 것이다. 연구지역 동쪽 부분은 모래 함량이 70% 이상으로 모래갯벌에 포함되며 평균입자 크기는 약 2.25 ~ 3.48 ϕ 이다. 반면에 서쪽은 모래 함량이 30% 이하로 펄갯벌에 포함되는 지역으로 평균입자 크기가 약 3.5 ~ 5.51 ϕ 이다.

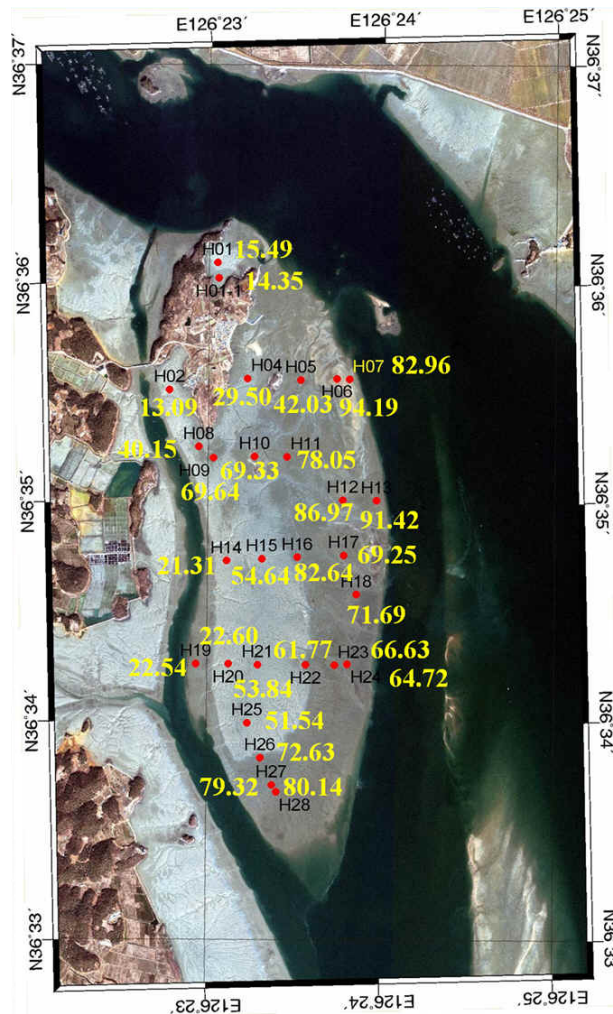


그림 9. 정점 위치 및 각 정점에서의 모래 함량

갯벌 DEM은 waterline방법을 이용하여 생성하였다. Waterline 방법의 장점은 과거로부터 자료를 얻기 쉬워 과거의 갯벌 DEM 생성이 가능함으로서 과거와 현재의 지형변화를 파악할 수 있다는 것이다. 또한 영상처리가 다른 방법들에 비해 쉬우며, 광역적 DEM 생성이 가능하다는 것이다. 그러나 단점은 방문주기가 큰 위성자료를 사용할 경우, 단기간에 다양한 조위를 갖는 영상을 확보하기 어렵고, 얻어진 최고·최저 조위 waterline 사이에 DEM 생성만이 가능하며, 수준측량과 같은 현장관측 자료가 필요하다는 것이다. 따라서 이번 연구에서는 이러한 단점을 줄이기 위하여 현장 조사를 통하여 획득한 정밀한 수준측량 자료를 이용하였다 (그림 10).

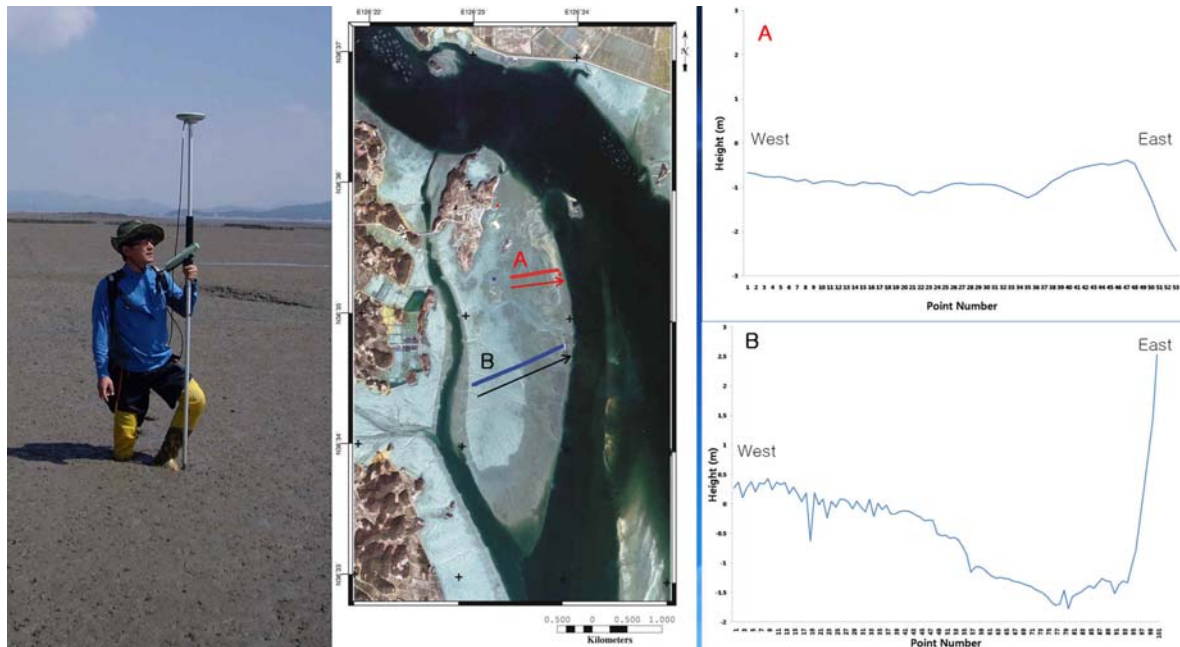


그림 10. 현장조사에 의한 지형고도 파악

본 연구에서는 Ryu et al. (2002) 과 유주형 등 (2001) 이 곰소만 지역에서의 waterline 추출에 사용한 density slicing 방법을 사용하여 waterline을 추출하였다. 위성자료를 이용한 density slicing 방법은 물과 갯벌의 경계를 이루는 DN 값을 찾아내어 이를 경계로 나누어주는 것으로 매우 간단하고 빠르게 해안선을 추출할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 상용소프트웨어에서 히스토그램을 조절한 후, 래스터 자료의 경계를 빠르게 벡터화할 수 있으므로 많은 자료를 다룰 경우 매우 편리하게 적용할 수 있다. 그러나 단일밴드를 이용하게 되므로 알맞은 밴드 선정이 중요하고 또한 복합적인 자연현상에 의해 나타나는 갯벌의 특성

상 구분하기 어려운 경우도 있다.

획득한 Landsat 영상으로부터 추출된 waterline은 그림 11 (A)와 같다. 총 4개의 영상으로부터 waterline을 추출하였으며 추출된 waterline에 해당하는 수준측량 자료를 이용하여 갯벌 DEM을 생성하였다 (그림 11 (B)).

수준측량을 통하여 획득한 지형고도는 전체적으로 동쪽은 낮은 편이며 서쪽으로 갈수록 높은 지형을 가지고 있다. 이와 같이 생성된 DEM 역시 동쪽은 전체적으로 200cm 이내의 낮은 지형을 가지며 서쪽은 300cm 이상 높은 지형을 가진다. 특히 동쪽 지역에서 sandshoal이 존재하는 지역의 경우 약 300cm 정도로 주변에 비하여 높은 지형을 가진다.

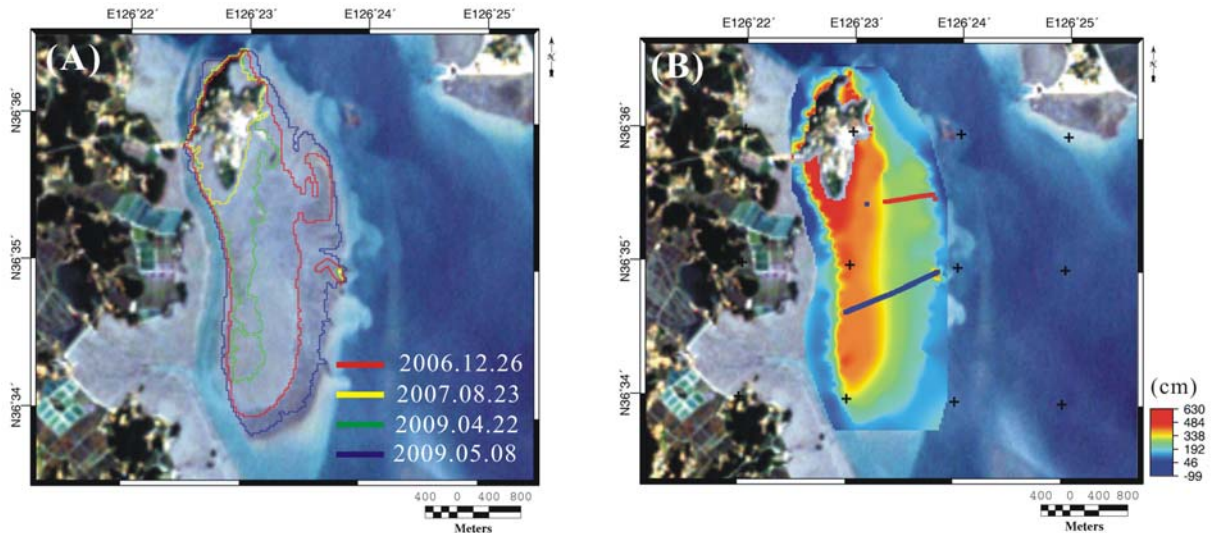


그림 11. (A) 획득된 영상으로부터 추출된 waterline, (B) 생성되어진 갯벌 DEM

또한, 조위 자료를 통하여 갯벌 고도별 노출시간을 계산하고 이를 4등급으로 나누었다. 이는 연속노출시간이 급격하게 변하는 임계조위를 도출하여 연속노출시간의 양상이 상이한 지역으로 나누었다. 연속노출시간이 급격하게 변하는 임계조위는 평균해수면 기준하 -0.92, 0.38, 1.00, 3.16m지점으로 이 지점을 기준으로 각 지역을 구분하였다 (그림 12). 그림 13은 총 28개 정점을 퇴적상 및 조고에 따라 정리하였다. 또한, 각 지점에서의 생물상을 분석한 결과 대형저서동물의 경우 총 출현 개체수는 68,190 (ind./m²)이며, 총 출현 종수는 144 (spp./m²)이다. 이 중에서 갑각류, 갯지렁이류, 연체동물, 기타로 분류하여 분석하였다. 갑각류의 개체수는 20,300 (ind./m²)이며 전체 개체수의 29.8%이다. 또한 갯지렁이류는 10,330 (ind./m²)이며 전체 개체수의 15.1%이고, 연체동물은 36,780

(ind./m²)으로 전체 개체수의 53.9%에 해당한다. 기타 대형저서동물은 780 (ind./m²)으로 1.1%에 해당한다. 따라서 황도 갯벌에서는 주로 연체동물이 많이 분포하는 것을 알 수 있다 (표 6).

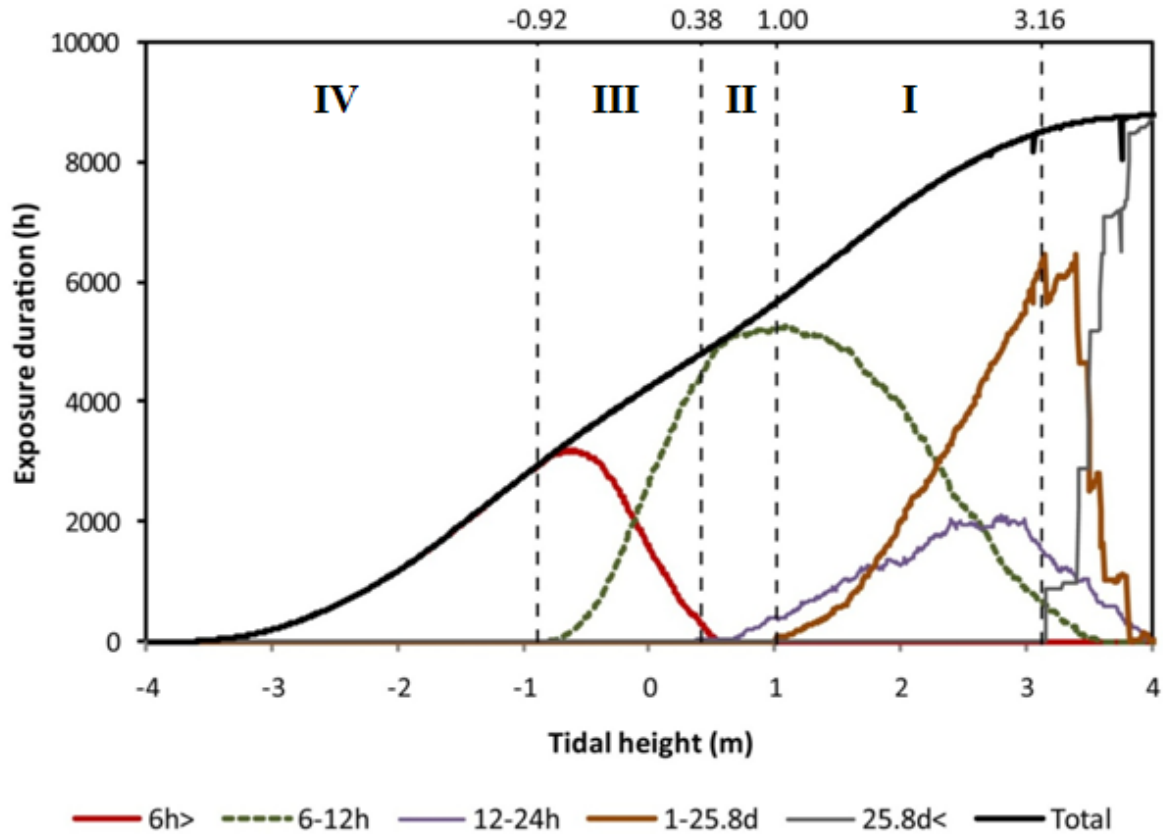
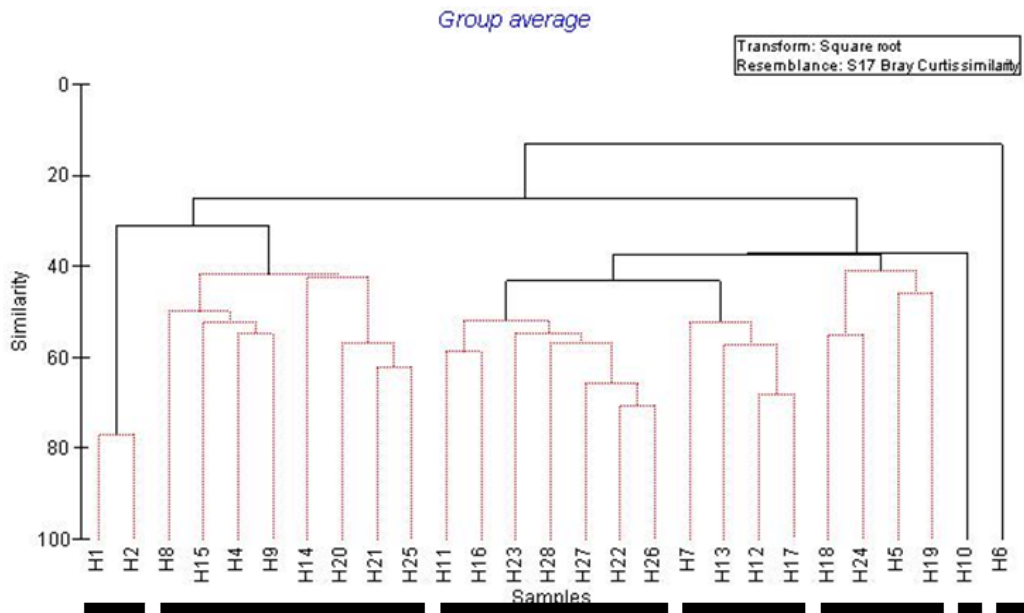


그림 12. 갯벌 고도별 노출 시간 분석 (2008년 1년간 보령항 기준 조석 자료 이용). Total: total exposure duration, <6h: sum of the less than 6 hours continuous exposure, 6~12h: sum of the 6~12 hours continuous exposure, 12~24h: sum of the 12~24 hours continuous exposure, >24h: sum of the greater than 24 hours continuous exposure, 24h~25.8d: sum of the 24h~25.8d continuous exposure, > 25.8d: sum of the greater than 15 days continuous exposure. I - IV: exposure level.

표 6. 대형저서동물 종조성

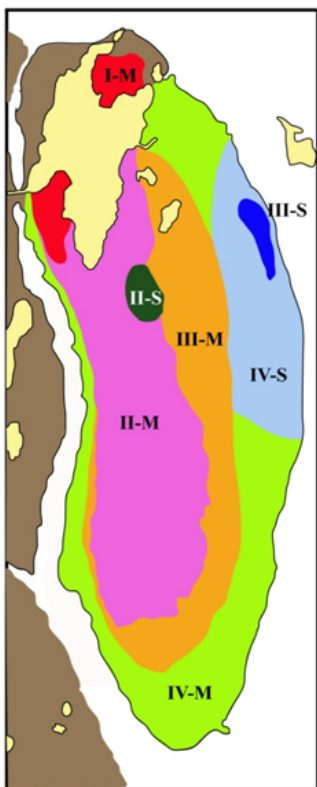
분류	개체수		생체량(g)		종수	
	ind./m ²	%	gWWt/m ²	%	spp./m ²	%
갑각류	20,300	29.8	3,459	25.9	37	25.7
갯지렁이류	10,330	15.1	8,924	66.8	59	41.0
연체동물	36,780	53.9	509	3.8	42	29.2
기타	780	1.1	466	3.5	6	4.2
합계	68,190	100	13,358	100	144	100

이를 바탕으로 각 정점에서의 대형저서동물의 개체수, 종수, 생체량을 조고와 퇴적상에 따라서 공간적으로 분석하였다. 황도 지역은 조고가 낮은 지역에서 다양한 종수와 개체수를 나타내며 평균 입자 크기가 큰 지역에서 다양한 종류의 개체가 많이 서식하는 것을 알 수 있다. 즉 황도 갯벌 지역에서는 지형이 낮으며 펄 보다는 모래의 함량이 높은 지역에서 다양한 종류의 개체가 많이 분포하는 것을 알 수 있다. 이러한 자료를 바탕으로 각 지점에서의 노출범위와 퇴적물의 입자 크기에 따라서 구분된 종을 유사 종으로 구분하여 도식화하였으며 (그림 13), 도식화된 자료는 공간분포도 만들어 분석하였다 (그림 14). 그 결과 대형저서동물 종수 및 개체수는 노출범위 IV (6시간 이하로 노출되는 지역)에서 증가하였으며 퇴적상에 따라서는 모래와 펄 입자가 혼합된 환경에서 증가하는 경향을 보였다. 연속노출시간과 퇴적물 입자 크기는 갯벌 대형저서동물의 공간분포를 결정하는 주 요인이며 노출 범위는 연속노출시간이 12시간을 넘는 상부 갯벌의 저서동물군집을 결정하는 주 요인이다. 또한, 퇴적상은 12시간 이하로만 노출되는 하부 갯벌의 저서동물군집을 결정하는 주 요인이다.



정점군 : I-M II-M III-M IV-S IV-M II-S III-S

그림 13. 노출범위와 퇴적물 입자크기에 따라 구분된 대형저서동물군집 유사도



Station group	Dominant species (ind./m ²)	
I-M	<i>Uca</i>	12.7 (n= 6)
	<i>Laomedea</i>	5.5 (n= 6)
	<i>Sesarma</i>	13.3 (n= 6)
	<i>Perinereis</i>	9.2 (n= 6)
II-M	<i>Ilyoplax</i>	42.0 (n=24)
	<i>Batillaria</i>	30.0 (n=24)
	<i>Uca</i>	4.0 (n=24)
II-S	<i>Crassostrea</i>	47.0 (n= 6)
III-M	<i>Callianassa</i>	47.0 (n= 9)
	<i>M. japonicus</i>	17.0 (n= 18)
	<i>Ilyoplax</i>	30.0 (n= 18)
	<i>Upogebia</i>	19.5 (n= 18)
III-S	<i>Ruditapes</i>	160.0 (n= 3)
IV-M	<i>Pseudopotamia</i>	5.2 (n= 9)
	<i>Protankyra</i>	3.5 (n= 9)
IV-S	<i>Ruditapes</i>	20.6 (n=12)
	<i>M. dilatatus</i>	3.8 (n= 9)
	<i>M. dilatatus</i>	5.7 (n= 12)
	<i>Scopimera</i>	4.3 (n= 12)

그림 14. 대형저서동물 군집의 공간분포

2. 갯벌 표층 분류방법 비교

그림 15a와 15b는 각각 최대우도 분류법과 객체 기반 분류법에 의해 작성된 연구지역의 표층 퇴적상 분류도이다. 연구지역인 황도 갯벌의 표층은 크게 펄 퇴적상 (mud flat), 혼합 퇴적상 (mixed flat), 모래 퇴적상 (sand flat) 및 사주 (sand shoal)로 분류되었다. 분류도 상에서 펄 퇴적상은 그 광학반사도 특성의 차이에 따라 다시 두 가지로 분류되었다. 그러나 분류도 검증 과정에서는 모두 하나의 펄 퇴적상으로 고려하였다.

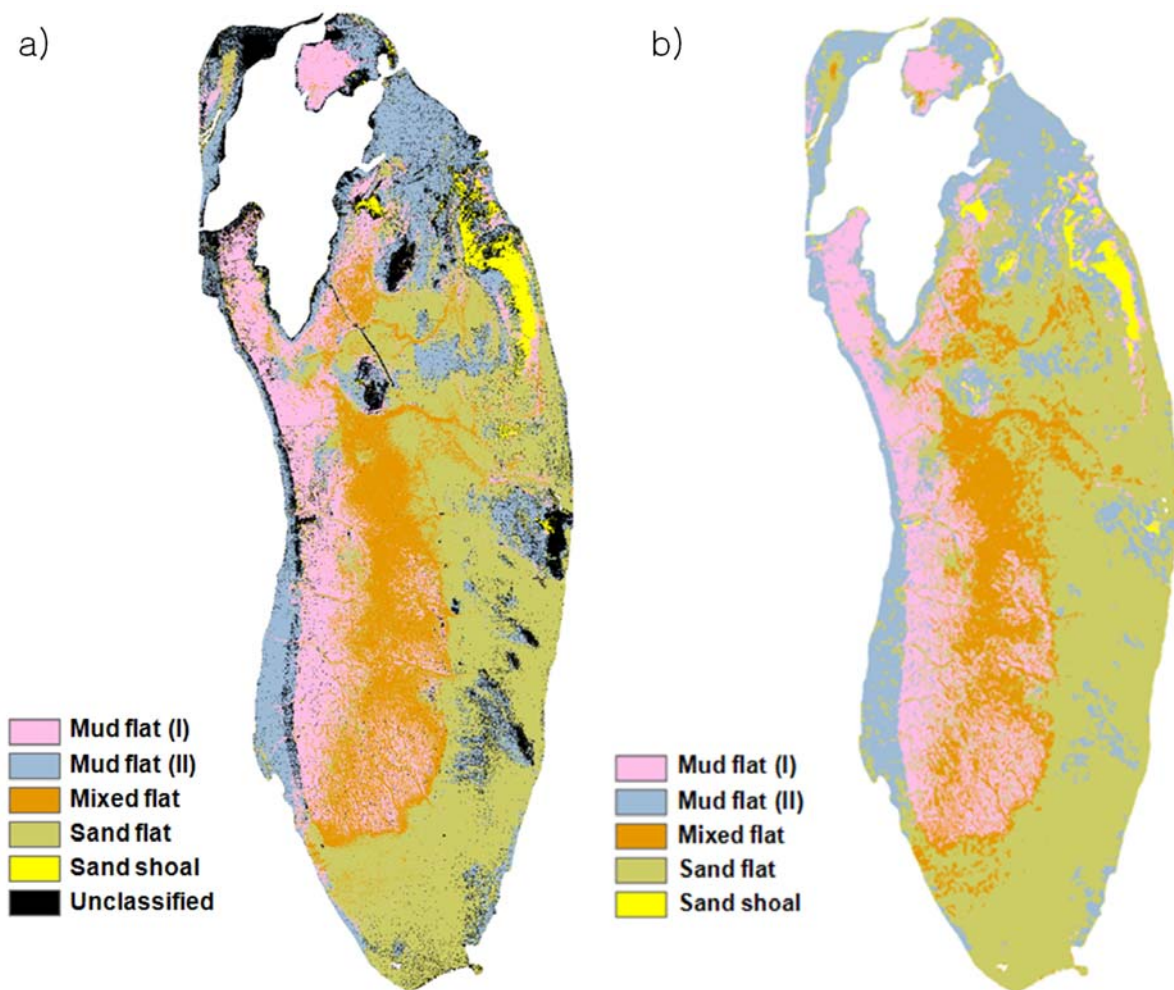


그림 15. IKONOS 영상을 이용한 갯벌 표층 퇴적상 분포도 (a) maximum likelihood 방법, (b) object-based 방법.

최대우도 분류법과 객체 기반 분류법에 의해 작성된 연구지역의 표층 퇴적상 분류도는 각각 ArcGIS 그리드 포맷의 래스터 데이터베이스로 변환되었다. 각 그리드 맵에 대해, 현

장조사를 통해 취득된 43개의 입도 자료들이 가지는 퇴적상과의 공간적 상관관계를 분석함으로써 분류도에 대한 검증은 수행하였다. 그 결과 에러 매트릭스를 작성하여, 전체적인 분류의 정밀도를 분석하였다. 표 7과 표 8은 각각 최대우도 분류법과 객체 기반 분류법에 의해 작성된 갯벌 표층 퇴적상 분류도에 대한 에러 매트릭스이다.

표 7. maximum likelihood 방법을 이용하여 분류된 갯벌 표층 퇴적상 분류 정확도

		Reference data (in situ measurement)				Row total
		Mud flat	Mixed flat	Sand flat	Sandbar	
Classification	Mud flat	9	3*			12
	Mixed flat		8			8
	Sand flat		3**	17		20
	Sandbar				3	3
Column total		9	14	17	3	43
Overall accuracy = 86.5 %		Kappa value = 0.8				

*G10 (53.6 %), G18 (51.7%), G25 (36.4 %), **C12 (64.0 %), G19 (66.8 %), G27 (67.0 %)

표 8. object-based 방법을 이용하여 분류된 갯벌 표층 퇴적상 분류 정확도

		Reference data (in situ measurement)				Row total
		Mud flat	Mixed flat	Sand flat	Sandbar	
Classification	Mud flat	9	1*			10
	Mixed flat		10			10
	Sand flat		3**	17		20
	Sandbar				3	3
Column total		9	14	17	3	43
Overall accuracy = 90.7 %		Kappa value = 0.86				

*G10 (53.6 %), **C12 (64.0 %), G19 (66.8 %), G27 (67.0 %)

두 가지 방법 모두에서, 펄 퇴적상, 모래 퇴적상 및 사주는 100 % 정확하게 분류되었다. 그러나 혼합 퇴적상은 총 14개의 정점 중 최대우도 분류법의 경우 8개, 객체기반 분류법에서는 10개만 맞게 분류되었고 나머지는 펄 퇴적상 및 모래 퇴적상으로 오분류되었다.

최대우도 분류법의 경우, 3개의 자료가 펄 퇴적상으로, 3개의 자료가 모래 퇴적상으로 오분류되었으나, 각 입도자료를 보면 펄 퇴적상으로 오분류된 정점들은 G10 (53.6 %), G18 (51.7%) 그리고 G25 (36.4 %) 이었고 모래 퇴적상으로 오분류된 정점은 G19 (66.8 %)와 G27 (67 %) 이었다. 모래 퇴적상으로 오분류된 혼합 퇴적상 정점들의 모래 퍼센트가 70 %에 가까운 점들로 모래 퇴적상의 특성이 나타날 것으로 생각되며, 펄 퇴적상으로 오분류된 정점들 중 G25는 모래 퍼센트가 30 %에 가까운 점으로 펄 퇴적상의 특성이 나타날 것으로 생각된다. 따라서 퇴적학적 기준으로 보면 오분류라고 말 할 수 있으나 실제적으로는 IKONOS 위성자료의 광학 특성과 분류 결과 퇴적상이 매우 잘 일치하는 결과인 것이다. 객체기반 분류법의 경우, 1개의 자료가 펄 퇴적상으로, 3개의 자료가 모래 퇴적상으로 오분류되었으나 펄 퇴적상으로 오분류된 정점은 G25이며, 모래 퇴적상으로 오분류된 3개의 정점은 최대우도 분류법의 결과와 일치한다. 즉, 최대우도 분류법에서 펄 퇴적상으로 오분류된 G10, G18 정점이, 객체기반 분류법에서는 혼합 퇴적상으로 정확하게 분류가 된 것을 알 수 있다. 즉, 이 경우 역시 위성자료의 광학 특성과 분류 결과 퇴적상이 매우 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 최대우도 분류법에 비해 좀 더 정밀한 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

최대우도 분류법에 의한 분류도의 전체적인 정확도와 kappa value는 각각 86.5 %, 0.8로 분석되었으며, 객체기반 분류법에 의한 분류도는 90.7 % 및 0.86으로 분석되었다. 즉, 두 가지 방법 모두 고해상도 위성영상인 IKONOS 영상과 현장조사 자료를 기반으로 개별 표층 퇴적상 분류를 위해 적합한 방법인 것으로 판명되었으며, 정확도 관점에서 객체기반 분류법이 더욱 효과적인 방법인 것으로 분석되었다.

3. 연안지역 영상자료에 대한 기하보정 연구

고해상도를 가지는 무인항공기 영상은 위성 영상에 비하여 갯벌의 특징을 잘 나타낸다. 그러나 기존의 위성영상에 비하여 8배 정도의 고해상도이기 때문에 기하보정을 하는데 매우 어려움이 있다. 특히 연안 지역의 경우 시설물이 적으며 갯벌의 특징상 주변 상황이 항상 변하기 때문에 기하보정이 어렵다. 따라서 이번 연구에서는 무인항공기 영상을 기하보정하기 위하여 무인항공 촬영 시 갯벌 표층위에 GCPs 로 사용할 수 있는 tarp를 설치하였으며, 이를 기반으로 하여 향후 고해상도 영상의 기하보정을 할 수 있을 것으로 생각된다. Tarp의 위치는 GPS를 이용하여 각 위치를 측정하였다. 획득된 무인항공 영상에서 tarp의 위치는 기존 위성영상에 비해 해상도가 좋기 때문에 tarp의 위치가 영상에서 육안으로 확인이 가능하였으며 이를 이용한 기하 보정은 가능할 것이다. 따라서 추후에 발사 될 kompsat-3의 고해상도에도 적용이 가능할 것이다.

사용한 무인항공기는 하이드로코어에서 보유한 장비를 이용하였다 (그림 16). 하지만 보유한 장비가 소형으로서 장시간 비행이 어려운 관계로 연구지역을 모두 촬영하지 못하고 일부만을 촬영하였다.



그림 16. 갯벌 촬영을 위해 사용한 무인항공기

영상은 RGB 영상과 NIR 영상을 획득하였으며 획득된 영상은 그림 17과 같다. 위성영상에 비하여 갯벌의 표층 형태 및 특징이 잘 나타나는 것을 확인 할 수 있었으며 tarp의 위치도 육안으로 확인이 가능하였다. 각각 획득된 영상을 지형에 맞게 취합하였다. 하지만 획득된 시기의 기상 조건이 좋지 않은 관계로 획득 영상의 질이 모두 좋지는 않다. 획득된 영상 중에서 질이 가장 좋은 것으로 하여 영상을 임의로 취합하였으며 취합한 영상은 그림 18과 같다.

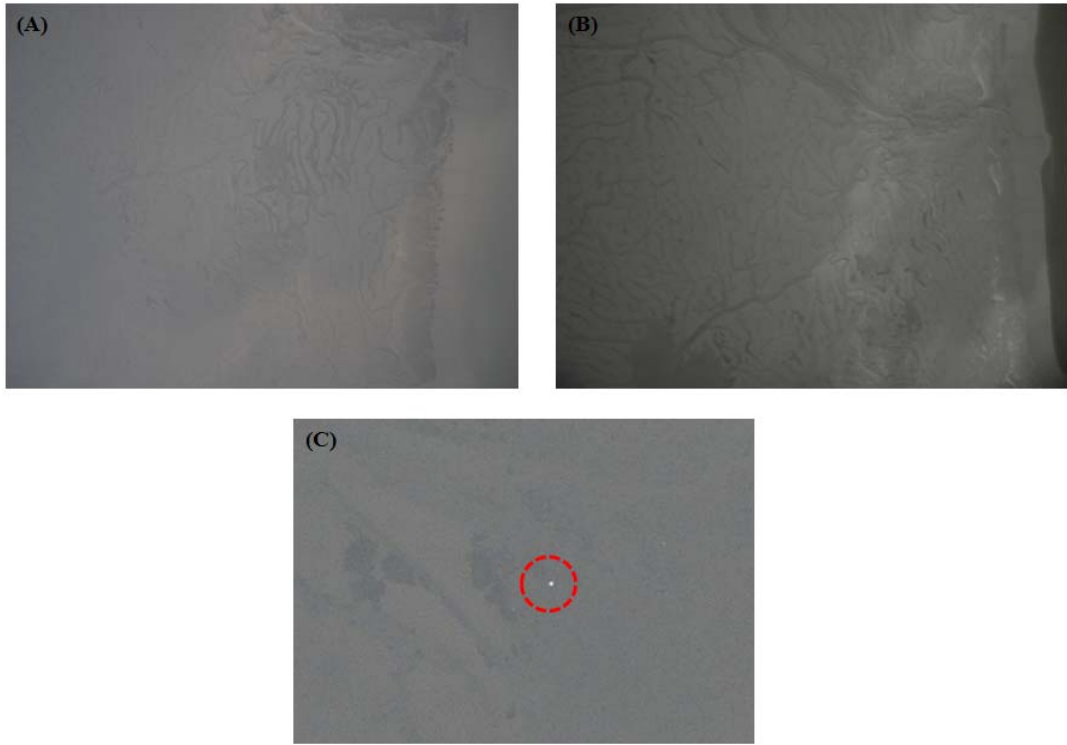


그림 17. 획득된 무인항공기 영상 (A) RGB 영상 (B) NIR 영상 (C) Tarp 위치



그림 18. 취합된 무인항공기 영상 (RGB 영상)

제 4 절 결론 및 토의

이번 연구에서는 갯벌의 퇴적환경과 생물상 관계를 연구하기 위하여 총 28개의 정점에서 입도 분포 및 생물상 분포를 실시하였다. 또한 지형고도를 측정하기 위하여 수준측량을 실시하였으며 이를 이용하여 갯벌 DEM을 제작하였다. 수준측량을 이용한 갯벌 DEM은 조석 자료를 이용하여 제작하는 것보다 좋은 정밀도를 가진다. 하지만 이번 연구에서는 고해상도 영상을 획득하지 못하여 30m 해상도를 가지는 Landsat 영상을 이용하였지만 향후 다량의 Kompsat-2 자료를 확보하게 되면 보다 자세한 갯벌 DEM을 제작할 수 있을 것으로 기대된다. 1차년도에 강화도 남단 및 근소만 갯벌에서의 연구에 이어 황도 갯벌에서도 퇴적환경에 따른 대형저서동물의 개체수, 종수, 생체량을 공간적으로 분석하였다. 공간적으로 분석된 자료는 각 조고와 퇴적상과 비교하여 개체수, 생체량, 종수 변화를 연구하였으며 그 결과 황도 갯벌 지역에서는 지형이 낮으며 펄 보다는 모래의 함량이 높은 지역에서 다양한 종류의 개체가 많이 분포하는 것을 알 수 있다.

또한, 갯벌 표층분류는 최대우도법과 객체기반방법에 의하여 분류하였다. 전통적인 픽셀기반의 분류방법과 새로운 개념의 객체기반의 분류방법을 적용하고 그 결과 정확도를 비교하였다. 그 결과 두 가지 방법 모두 고해상도 위성영상인 IKONOS 영상과 현장조사 자료를 기반으로 갯벌 표층 퇴적상 분류를 위해 적합한 방법인 것으로 판명되었으며, 정확도 관점에서는 객체기반 분류법이 더욱 효과적인 방법인 것으로 분석되었다.

현 상황에서 확보가 어려운 Kompsat-3 영상을 대신하여 무인항공기를 이용하여 0.5 m 공간해상도의 영상을 확보하여 연구를 수행하였으며 무인항공기 영상은 커버면적이 작아 해역쪽에서의 기하보정점을 이용하기 어렵기 때문에 무인항공 촬영시 갯벌 표층에 기하보정점으로 사용할 수 있는 tarp를 설치하였다. 이는 영상에서 육안으로 확인이 가능하였으며 향후 기하보정에 사용이 가능할 것으로 생각된다. 무인항공 시스템을 이용한 영상자료 취득 및 tarp를 이용한 연안 정밀 기하보정을 위한 연구는 시행착오를 거치는 과정에서 자료취득이 11월 초에 이루어짐에 따라 2차년도에는 완료가 불가능하였다. 따라서 3차년도에 계속 수행하여 완료를 할 예정이다.

IKONOS 위성자료와 같은 고해상도 영상을 이용하여 갯벌 연구를 하는데 있어서 문제점은 자료비가 너무 고가이며 갯벌이 최대 노출되는 최간조의 영상을 구하기 어렵다는 것이다. 그러나 2007년 우리나라 Kompsat 2호가 성공적으로 발사되고 IKONOS와 같

은 공간 해상도를 갖는 국내 위성을 보유하게 됨으로서 저가에 많은 영상을 확보 할 수 있게 되었다. 또한, 향후 Kompsat-3 영상을 적극 활용함으로써 갯벌 퇴적상 분류 및 생물상 분포 연구의 정밀도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 보다 많은 영상과 현장조사를 수행하여 위성자료와 퇴적환경과의 관계를 명확히 분석하고 이를 기초로 최적의 분류 방법을 개발한다면 연안 퇴적/생물학자들이 실질적으로 사용할 수 있을 정도의 표층 분류도와 저서생물 분포 추정도가 가능할 것으로 생각한다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

표 9. 연도별 연구개발 목표 및 평가의 착안점

구 분	연 도	세부연구개발 목표	가중치	평가의 착안점 및 기준
1차년도	2008	갯벌 지형도 제작	30%	갯벌 지형도 제작 여부
		갯벌 Habitat 현장조사	30%	근소만 갯벌 퇴적상/생물상 20여개 정점이상 현장조사 여부
		갯벌 퇴적/생물관계 연구	40%	퇴적환경과 생물상 자료와의 비교 여부
2차년도	2009	갯벌 퇴적환경과 생물상 관계 연구 (계속)	40%	고해상도 자료(1m 미만)의 기하보정 연구 수행여부
		갯벌 표층 분류방법 비교	30%	기타 갯벌 퇴적상/생물상 20여개 정점이상 현장조사 여부
		연안지역 영상자료에 대한 기하보정 연구	30%	갯벌 특성을 고려한 분류기술 적용 및 비교
최종평가	2010	연안기하보정 연구	6%	GCP 설치점을 활용한 광학 영상자료의 보정 실시 여부
		갯벌 퇴적환경과 생물상과의 관계 분석	44%	두 지역의 퇴적환경과 생물상 관계의 정량적 분석 여부
		갯벌 생태지도 작성 및 현장 검증	50%	갯벌 생태지도 작성 및 현장 조사를 통한 검증 실시 여부

표 10. 2009년도 연구개발 목표 및 달성도

목 표	달 성 도(%)	내 용
갯벌 퇴적환경과 생물상 관계 연구	100	갯벌 퇴적상분포도 및 저서생물 분포도 작성
갯벌 표층 분류방법 연구	100	최대우도법과 객체기반방법에 의한 퇴적상 분포도 작성 및 정확도 비교
연안 기하보정 연구	100	광학영상 취득과 GCP 지점 설치에 의한 기하보정 실시

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

지금까지는 갯벌의 생태에 대한 연구가 점이나 선에 대해서만 이루어졌으나, 고해상도 위성자료를 이용하여 갯벌 환경에 대한 공간자료를 활용함으로써 갯벌 저서생물의 분포나 개체수를 공간적으로 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다. 이 연구에서 얻어진 성과들은 국내 고해상도 위성영상인 Kompsat-2는 물론, 향후 취득될 Kompsat-3 영상 기반의 연구에 활용 가능하며, 저렴한 비용으로 다량의 영상이 확보 가능한 국내 위성영상 자료를 적극 활용함으로써 연구의 공간 및 시간적 정밀도가 크게 향상될 수 있다. 따라서 이 연구를 통해 갯벌의 서식지와 생물상에 대한 정량화에 의해 갯벌의 가치를 평가할 수 있는 기준이 마련될 것으로 기대된다.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

없음

제 7 장 참고문헌

- 김기현, 1979, 천수만에서의 퇴적작용에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문, 1-28.
- 김성곤, 1987, 천수만의 홍성군해안 조간대 퇴적물의 적에 관한 연구, 공주사범대학 석사학위논문, 63.
- 김여상, 김정남, 1996, 천수만 황도해안의 조간대에 서식하는 갑각류의 생물퇴적 구조, 한국지구과학학회지, 17, 357-364.
- 김여상, 1989, 천수만의 현세 조간대층의 퇴적학적 연구, 한국지구과학회지, 10(1), 134-151.
- 김종하, 2000, 한국 서해 천수만 북부의 퇴적물 분포에 관한 연구, 공주대학교 석사학위논문, 42.
- 박홍식, 임현식, 홍재상, 2000, 천수만 조하대 연성지질의 저서환경과 저서동물 군집의 시, 공간적 양상, 한국수산학회지, 22, 262-271.
- 심재형, 윤구현, 1990, 천수만 동물플랑크톤의 계절변화와 생산량, 한국해양학회지, 25, 229-239.
- 심재형, 이원호, 1979, 서해 천수만의 식물플랑크톤에 대하여, 한국해양학회지, 14, 6-14.
- 소재귀, 정경태, 채장원, 1998, 천수만 방조제 건설로 인한 조석현상 변화, 한국해안·해양공학회지, 10(4), 151-164.
- 엄진아, 2008, Fractal analysis of inter-tidal channels and creeks using high resolution satellite images, 연세대학교 석사학위논문.
- 우한준, 최재웅, 유주형, 최송화, 김성렬, 2005, 천수만 황도 갯벌의 퇴적환경, 한국습지학회, 7(2), 53-67.
- 유주형, 2001, 원격탐사를 이용한 곰소만 조간대의 지형변화 및 퇴적물 특성연구, 연세대학교 박사학위 논문, 127.
- 유주형, 우한준, 박찬홍, 유홍룡, 2005, IKONOS 영상을 이용한 천수만 황도 갯벌 표층퇴적상 분류, 한국습지학회, 7(2), 127-132.
- 이윤경, 엄진아, 유주형, 원중선, 2007, 강화도 동검도 주변 조간대 내에 서식하는 염생식물의 분광특성 분석, 대한원격탐사학회지, 23(6), 575-581.

- 조원진, 2002, 콤포스만 조간대에서의 레이저 산란모델, 연세대학교 박사학위 논문.
- 한국해양연구원, 2007, 위성자료공공활용연구 - 해양분야 위성활용연구 -
- Artigas R.J. and Yang J.S., 2005, Hyperspectral remote sensing of marsh species and plant vigour gradient in the New Jersey Meadowlands, *International Journal of Remote Sensing*, 26(23), 5209-5220.
- Bartholdy, J., Folving S., 1986, Sediment classification and surface type mapping in the Danish Wadden Sea by remote sensing, *Netherland Journal of Sea Research*, 20, 337-345.
- Brian L. Becker, David P. Lusch and Jiagua Qi, 2005, Identifying optimal spectral bands from in situ measurement of great lakes coastal wetlands using second-derivative analysis, *Remote sensing of environment*, 97, 238-348.
- Champion, I, and Faivre, R., 1997, Sensitivity of the Radar Signal to Soil Moisture: Variation with Incidence Angle, Frequency, and Polarization, *IEEE Transection on Geoscience Remote Sensing*, 35(3), 781-783.
- Chen, L.C., Rau, J.Y., 1998, Detection of shoreline changes for tideland areas using multi-temporal satellite images, *International Journal of Remote Sensing* 19(17), 3383-3397.
- D. van der Wal, P.M.J. Herman, A. Wielemaker-van den Dool, 2005, Charaterization of surface roughness and sediment texture of intertidal flats using ERS SAR imagery, *Remote Sensing of Environment*, 98(1), 96-109.
- Folk, R.L., 1968.A review of grain size parameters. *Sedimentology*, 6, 73-93.
- Gilmore Martha S., Wilson Emily H., Barrett Nels, Civco Daniel L., Prisloe Sandy, Hurd James D., Chadwick Cary, 2008, Integrating multi-temporal spectral and structural information to map wetland vegetation in a lower Connecticut River tidal marsh, *Remote Sensing of Environment*, 112, 4048-4060.
- Goetz S.J., Gardiner N., Viers J.H., 2008, Monitoring freshwater, estuarine and near-shore benthic ecosystems with multi-sensor remote sensing: An introduction to the special issue, *Remote Sensing of Environment* 112: 3993-3995.
- Greidanus, H., Huising, E.J., Platschorre, Y., Van Bree, R.J.P., Van Halsema, D., Vaessen, E.M.J., 1999, Coastal DEMs with Cross-Track Interferometry. *IEEE Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Hamburg, Germany, 2161-2163.
- Hoja, D., Lehner, S., Niedermeier, A., Romaneessen, E., 2000, DEM Generation from ERS SAR Shorelines Compared to Airborne Crosstrack InSAR DEMs in the German Bight. *IEEE Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Hawaii, USA, 1889-1891.
- Horritt M.S., Mason D.C., Cobby D.M., Davenport I.J., Bates P.D., 2003,

- Waterline mapping in flooded vegetation from airborne SAR imagery, *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 271-281.
- Lohani, B. Mason, D.C., 1999, Construction of a Digital Elevation Model of the Holderness Coast using the waterline method and Airborne Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 20(3), 593-607.
- Martin Gade, Werner Alpers, Christian Melsheimer, Gerd Tanck, 2007, Classification of sediments on exposed tidal flats in the German Bight using multi-frequency radar data, *Remote Sensing of Environment*, 112(4), 1630-1613.
- Mason, D., Hill, D., Davenport, I., Flather, R., Robinson, G., 1997, Improving inter-tidal digital elevation models constructed by the waterline technique, Third ERS Symposium, Florence, Italy, 1079-1082.
- Maycira Costa, Eduardo Araujo Loos, Alexandra Shaw, Carrie Steckler and Philip Hill, 2007, Hyperspectral imagery for mapping intertidal vegetation at Roberts bank tidal flats, British Columbia, Canada, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 33(2), 130-141.
- Narayanan, R.M., Pardipuram, R. and Rundquist, D.C., 1994, Statistical characteristics of simulated radar imagery from bare soil surfaces: effects of surface roughness and soil moisture variability, *IEEE Transection on Geoscience Remote Sensing*, 1, 159-168.
- Nielsen Eric M., Prince Stephen D., Koeln Gregory T., 2008, Wetland change mapping for U.S. mid-Atlantic region using an outlier detection technique, *Remote Sensing of Environment*, 112, 4061-4074.
- Rainey, M.P., Tyler, A.N., Bryant, R., Gilvear, D.J., and McDonald, P., 2000, The influence of surface and interstitial moisture on the spectral characteristics of intertidal sediments: Implications for airborne image collection and processing, *International Journal of Remote Sensing*, 21, 3025-3038.
- Rainey, M.P., Tyler, A.N., Gilvear, D.J., Bryant, R., and McDonald, P., 2004, Mapping intertidal estuarine sediment grain size distributions through airborne remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 86, 480-490.
- Rowan E.S., 2001, Interferometric Correlation and Intertidal Sediment Properties around the Dornoch Firth, North-east Scotland, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 193-204.
- Ryu, J.H., Cho, W.J., Won, J.S., Lee, I.T., Chun, S.S., Suh, A.S., Kim, K.L., 2000, Intertidal DEM generation using waterline extracted from remotely sensed data, *Journal of the Korean society of remote sensing*, 16(3), 221-233 (in Korean, with English Abstract).
- 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, 442-456.
- Srivastava, S.K., Iograjan, N., Jayaraman, V., Mageswara Rao, P.P. and Chandrasekhar, M.G., 1997, On the relationship between ERS-1 SAR/backscatter and surface/sub-surface soil moisture variations in vertisols, *Acta Astronautica*, 40(10), 693-699.
- Stockdon, H.F., Sallenger, A.H., Jr. Jeffery H.L., Holman, R.A., 2002, Estimation of shoreline position and change using airborne topographic lidar data. *Journal of Coastal Research*, 18, 502-513.
- Thomson, A.G., Eastwood, J.A., Yates, M.G., Fuller, R.M., Wadsworth, R.A. and Cox, R., 1998, Airborne remote sensing of intertidal biotopes: BIOTA I, *Marine Pollution Bulletin*, 37, 164-172.
- Walsh, S.J., McCleary, A.L., Mena, C.F., Shao, Y., Tuttle, J.P., Gonzalez, A., Atkinson, R., 2008, QuickBird and Hyperion data analysis of an invasive plant species in the Galapagos Islands of Ecuador: Implications for control and land use management. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 1927-1941.
- Wimmer, C., Siegmund, R., Schwabisch, M., Moreira, J., 2000, Generation of high precision DEMs of the Wadden sea with airborne interferometric SAR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38(5), 2234-2245.
- Yamano. H., Shimazaki. H., Matsunaga. T., Ishoda. A., McClennen. C. Yokoki. H., Fujita. K., Osawa. Y., and Kayanne. H., 2006, Evaluation of various satellite sensors for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Islands, *Geomorphology*, 82, 398-411.
- Yates, M.G., Jones, A.R., McGroarty, S., and Goss-Custard, J.D., 1993, The use of satellite imagery to determine the distribution of intertidal surface sediments of The Wash, England, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36, 333-344.