

원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적
기능평가

Estimates of coastal environment based upon
remote sensing

(최종보고서)

한국해양과학기술원

BSPE99261-10698-3

**원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적
기능평가**

**Estimates of coastal environment based upon
remote sensing**

(최종보고서)

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적 기능 평가”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2015. 03.

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원

주관연구책임자 : 최 종 국

참 여 연 구 원 :

박영제, 유주형, 김원국, 조성익, 한희정, 윤 석, 이순주, 오은송, 우한준,
정갑식, 구분주, 노재훈, 양은찬, 김태원, 강현우, 권재일, 박찬홍, 이운경,
문정언, 민지은, 배상수, 황득재, 엄진아, 조성빈, 조유상, 김범준, 강정원,
이준호, 이동현, 김민규, 오현종, 조혜경, 안성민, 박신영, 최유리, 조나현,
천성준, 장민성, 김기영, 김지혜, 박정우, 이형준, 박동민, 강수상, 김계림,
김광석, 안재현, 이보람, 안기범, 손영백, 김태균, 정종민, 조아라, 최영남,
김근용, 김희정, 김정현, 정상훈

보고서 초록

과제 고유번호	PE99261	해당단계 연구기간	2013.01 ~2014.12	단계 구분	1단계 2차년도
연구사업명	중사업명 세부사업명	기본연구사업			
연구과제명	대과제명 세부과제명	NSC 지원사업			
		원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적 기능 평가 (1단계)			
연구책임자	최종국	2차년도 참여연구원수	총 : 42명 내부: 14명 외부: 28명	2차년도 연구비	정부: 200,000천원 기업: 천원 계 : 200,000천원
		(1단계) 총 연구기간 참여연구원수	총 : 82명 내부: 28명 외부: 54명	총 연구비	정부: 400,000천원 기업: 천원 계 : 400,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 해양위성연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	
<p>■ 연구개발 목적</p> <ul style="list-style-type: none"> - 원격탐사 기반의 갯벌 생태환경 분포도 작성 및 저서생태와의 상호 관련성 규명 - 서식굴, 퇴적물의 물질수지 분석에 의한 저서생물의 정화가치 평가 기술 개발 - 갯벌 생태 변동성과 메탄가스 발생량 및 연안환경 기후변동 관계성 규명 <p>■ 1-2차년도 연구수행 내용</p> <p><1차년도></p> <ul style="list-style-type: none"> - X-밴드 SAR에서 갯벌의 후방산란 특성 및 염생식물의 coherence의 특성 - 저서조류 분광특성 분석 - 부유퇴적물의 농도 분포도 작성 및 해수유동 수치모델 - 철계/염남계의 구조특성 및 유기물 제거율 분석 - 갯벌 퇴적상 분포도 및 메탄가스 발생량 측정 - 위성영상을 사용한 갯벌의 지형변화도 작성 <p><2차년도></p> <ul style="list-style-type: none"> - SAR영상에서 표층 퇴적물함수율 분포 관측 - 초다분광 영상에서 염생식물의 분광특성 및 미세저서조류 분광특성 - GOCI에서의 퇴적물 이동관측과 퇴적역학 관측자료와의 연계 - 수치모델과 종합분석을 통한 부유퇴적물 이동 모식도 - 먹이활동에 따른 표층퇴적물의 지화학적 특성변화 - 원격탐사기반으로 구축된 퇴적환경 요인들과 오염정과 기능 간의 상관관계 분석 - 메탄가스 발생량과 관련한 주 생태환경요인 추출 - 원격탐사기반으로 구축된 지형요인들과 오염정과 기능 간의 상관관계 분석 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	원격탐사, 생태 환경 분포도, 저서생태, 연안환경, 메탄가스			
	영 어	Remote sensing, Ecological environment map, Benthic ecology, Coastal environment, Methane gas			

요 약 문

I. 제 목

원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적 기능 평가

II. 연구개발의 목적 및 필요성

갯벌관련 환경문제에 능동적으로 대처하기 위해서는 관련 현상에 관한 깊이 있고 신뢰성 있는 자료가 필수적이며, 이러한 정보를 통한 국민의 환경의식 제고는 명실상부한 선진국 진입을 위한 보이지 않는 필수요건이다. 하지만 기후환경 변화에 따른 갯벌 등 연안 생태환경의 변화에 대해서는 알려진 바가 적다. 이에 최근 확보된 위성자료를 이용하여 생태환경을 모니터링하고 그 변화를 분석하는 연구가 필요하다. 원격탐사 기술을 활용한, 광범위한 연안의 모니터링은 연안 해역 관리 및 감시의 효율성 증대로 운영비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 최근에는 지구온난화와 인위적 변화로 인하여 갯벌의 퇴적 및 침식의 변화 및 식생 변화가 일어나고 있으며, 이에 의한 온실가스 자연 발생량의 변화를 포함 하여 갯벌환경의 반응과 대응 기술의 수립이 시급히 요구된다. 항공 원격탐사 기술을 비롯한 다양한 플랫폼의 다중센서 자료를 적극 활용하는 것은 다양한 시기 및 계절별 정밀한 갯벌 생태환경 파악을 위해서 효과적일 것이다. 또한 해양관측위성자료를 기반으로 한반도 주변해역의 일차생산력 및 종다양성, 생체량 등 생태환경의 준 실시간 모니터링인 한반도 주변의 생태환경 변화를 이해하는데 효과적일 것이다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

1. 연구기간

(1차년도) 2013년 1월 1일~2013년 12월 31일

(2차년도) 2014년 1월 1일~2014년 12월 31일

2. 연구개발의 내용 및 범위

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법(이론적·실험적 접근방법명 등)
1차년도 (2013년)	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 생태환경 분포도 작성 - 고해상도 SAR영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석 - X-밴드 SAR영상에서의 염생식물 분포특성 - 저서조류 분포도 작성기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○X-밴드 SAR에서 갯벌의 후방산란 분석을 통한 갯벌의 DEM, 노출시간 및 조류로 특성 분석 ○X-밴드 SAR에서 염생식물의 coherence특성 분석을 통한 염생식물 지역의 입도와 지형 특성 파악 ○저서조류 분광특성 분석을 통한 분포도 맵 작성
	<ul style="list-style-type: none"> ○한반도 주변 해수특성 분석 - 연안해수 부유물의 조석에 따른 시계열 변화 분석 - 해수유동 수치모델과 연계한 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○부유퇴적물의 농도분포도 작성을 통한 조석특성 파악 ○GOCI기반의 표층해수유동 수치모델 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석 - 갯벌생물 서식굴의 구조 및 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○철계/엽낭계의 구조특성 및 유기물 제거량 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 퇴적환경 특성 분석 - 영상자료의 반사도 기법을 이용한 갯벌 퇴적상 분류 - 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발 - 위성영상을 활용한 갯벌 지형변화도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 퇴적상 분포도 맵 작성 ○철계/엽낭계 서식굴의 메탄가스 발생량 분석 ○위성영상에서의 갯벌의 퇴적/침식특성 분석

2차년도 (2014년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 갯벌 생태환경 분포도 작성 - 고해상도 위성영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석 - 고해상도 위성영상을 활용한 갯벌의 표층퇴적상 정보 분류 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무인항공 시스템 기반의 고해상의 갯벌 수치표고모델 생성 ○ 무인항공 시스템 기반의 고해상의 갯벌 퇴적상 분포도 생성
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석 - 갯벌생물 서식굴의 구조 및 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서식굴과 메탄가스 발생의 연관성 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 갯벌 퇴적환경 특성 분석 - 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 간조/만조시 메탄 플럭스 특성 분석

IV. 연구개발결과

<1차년도 연구수행 결과>

■ 갯벌 생태환경 분포도 작성

- backscattering coefficient, coherence 와 각 요인의 상관분석 결과 backscattering coefficient는 DEM, 퇴적상 및 노출시간, coherence는 노출시간과 채널밀도 요인과 높은 상관성을 나타냄
- 미세저서조류 분광특성 분석결과 background의 퇴적효과를 감소시키는 SAVI와 EVI가 Chl-a와 더 큰 상관관계를 보임
- Landsat ETM+보다 Kompsat-2 MSC가 Chl-a에 의한 흡수가 더 잘 나타남.

■ 한반도 주변해수 특성 분석

- 경기만 외해의 경우 부유퇴적물 농도 값이 0 - 10 g/m³ 이하의 값을 가짐
- 부유물 농도가 높은 9시 영상의 경우 조석세기는 100 cm/s 이상인 값을 가지며 외해로부터 내해로 들어옴
- 8장의 GOCI 영사으로부터 얻은 7개의 OSCE 벡터를 연속적으로 연결하여 ocean surface current를 모델링

■ 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도

- 칠계의 먹이활동에 의해 퇴적물 내 POC 45%, PON 40% 제거
- 엽낭계 먹이활동에 의해 퇴적물 내 POC 33%, PON 36% 제거

■ 갯벌 퇴적환경 특성 분석

- 칠계/엽낭계 서식지의 메탄가스 발생량
- 약 10여년 동안 주로 퇴적이 많이 일어난 여차리 및 동검도 부근에서 해안선 변화가 일어남

<2차년도 연구 수행 결과>

■ 갯벌 생태환경 분포도 작성

- 무인원격탐사 기반의 단기 갯벌 지형변화 관측을 위한 갯벌 수치표고모델 생성방법 고도화
- 무인원격탐사 기반의 갯벌 표층퇴적상 분포도 생성방법의 고도화

■ 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석

- 갯벌의 서식굴과 대기간 메탄 생지화학적 순환 연구

■ 갯벌 퇴적환경 특성 분석신규

- 메탄가스 플럭스 특성 분석

V. 연구개발결과의 활용계획

본 연구를 통하여 국내 연안 습지환경의 자연배출원으로부터 온실기체 배출량 자료 제공이 가능하다. 특히 갯벌과 연안의 생지화학적 특성에 따른 온실기체 배출량 조사는 기후변화에 미치는 영향뿐만 아니라 국제협약 등에 의해 지구기후변화 대책 수립을 위해서 요구되는 국내 온실기체 배출량과 배출인자의 정확한 산출을 위해서 필연적이다. 또한 조력발전소, 해양바이오디젤 생산적지선정 등 친환경 녹색성장산업 추진을 위한 주요 분석자료로도 활용이 가능하다.

고해상도 영상자료를 기반으로 1:10,000 축척 수준의 갯벌 생태환경 주제도를 작성함으로써 갯벌의 경제적, 생태적 가치를 정량적으로 평가할 수 있는 과학적 근거마련이 가능하다. 특히 높은 공간해상도를 가지는 갯벌 주제도는 국내 연안환경의 변화를 단기 또는 장기적으로 모니터링하기 위한 기초자료로 활용이 가능하며 정밀도가 높은 갯벌 주제도 작성을 통해 갯벌의 효율적인 관리 및 복원 방안 수립 지원이 가능하다.

위성과 모델의 융합기반기술 수립 이후, 시계열 영상자료는 운용해양시스템과 연계 활용함으로써, 명실공히 입체적 운용해양정보 시스템 운용이 가능하다. 이러한 연구는 해양환경 변화에 능동적으로 대응하여 연안 긴급재해나 방재기술 개발에 기여할 수 있으며 위성 영상과 해양모델의 융합 및 가시화 기술 개발로 위성영상 자료의 활용을 증대시켜 위성영상 산업에 기여한다. 또한 갯벌의 객관적인 기능평가 및 효율적인 관리방안 제시로 소모적인 갈등(개발/보전 논쟁) 완화 및 예산 낭비요소를 경감할 수 있다.

목 차

제 1 장 서론	1
제 1 절 연구개발의 필요성.....	1
1. 연구개발의 경제·사회·기술적 필요성.....	1
제 2 절 연구개발 목표 및 내용.....	3
1. 연구개발의 목표.....	3
2. 연차별 연구개발 세부 목표 및 내용.....	4
제 2 장 국내외 기술개발 현황	6
제 1 절 국내외 연구 동향.....	6
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	8
제 1 절 갯벌 생태 환경 분포도 작성.....	8
1. 고해상도 SAR 영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석	8
2. 고해상도 위성 영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석.....	10
3. X 밴드 SAR 영상에서의 염생식물 분포 특성.....	13
4. 저서조류 분포도 작성기술 개발.....	15
제 2 절 한반도 주변 해수특성 분석	18
1. 연안해수 부유물의 조석에 따른 시계열 변화.....	18
2. 해수유동 수치모델과 연계한 분석.....	20
제 3 절 갯벌 생물 서식굴의 물질수지 기여	24
1. 칠게 서식굴의 구조 및 특성 분석	24
2. 유기물 제거율.....	25
제 4 절 갯벌 퇴적환경 특성 분석.....	27
1. 영상자료를 활용한 갯벌 퇴적상 분류.....	27
2. 위성 영상을 활용한 갯벌 지형변화도 분석.....	28
3. 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발.....	31
제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도	35
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	36
제 6 장 참고문헌	37

표 차례

표 1 칠게 서식굴 크기 및 구조 특성.....	24
표 2 실험기간 동안의 칠게 행동양상 구분.....	25
표 3 엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)의 pellet 특성 및 퇴적물 섭식량.....	26
표 4 메탄 가스 배출량 +: 배출; -흡수.....	32
표 5 가로림만 갯벌의 메탄가스 발생량.....	34

그림 차례

그림 1 . 연구지역 및 현장관측정점	8
그림 2 . (좌) 지형고도모델 (DEM), (중앙) 2008년 7월 27일 노출시간분포도, (우) 조류로 분포도	9
그림 3 (좌)backscattering coefficient and coherence (우)지형고도 및 노출시간의 상관 관 계 분석 결과	9
그림 4 현장관측자료	9
그림 5 SAR 자료와 갯벌 토양수분 함유량 영향 요인들의 regresison model 분석 결과	10
그림 6 무인항공 시스템으로 획득된 영상	11
그림 7 추출한 수륙경계선 및 촬영시간	11
그림 8 작성된 창기리 갯벌 수치표고모델	12
그림 9 RTK기준점과 측량된 고도	13
그림 10 (a) 수직기선거리와 긴밀도와의 상관관계, (b) temporal baseline과 긴밀도와의 상 관관계	14
그림 11 (a) 긴밀도와 입도의 상관관계, (b) 긴밀도와 지형고도와의 상관관계	14
그림 12 간섭쌍으로 생성된 긴밀도 영상 (a), (b)는 1day tandem. (c)-(g)은 16-32day tandem	15
그림 13 (좌) 클로로필양과 scaled band depth와의 상관관계, (우) 클로로필양과 scaled band area와의 상관관계	16
그림 14 NDVI, PI, SAVI, EVI와의 클로로필과의 상관관계	16
그림 15 (좌) Landsat ETM+의 SRF적용결과 (좌) Kompsat-2 MSC의 SRF적용결과	17
그림 16 2009년 12월 6일 Kompsat-2 MSC영상의 SAVI적용결과	17
그림 17 2012년 10월 23일 GOCI 영상의 부유퇴적물 농도 변화	18
그림 18 2012년 1월 25일과 2012년 8월 4일에 획득된 Landat ETM+ 영상의 부유퇴적물 농도	19
그림 19 2012년 1월 25일과 2012년 8월 4일에 획득된 풍속	20
그림 20 Ocean Surface Current Estimation (OSCE) 알고리즘	20
그림 21 Continuous Ocean Surface Current Estimation (COSCE) 알고리즘	21
그림 22 Ocean Surface Current 결과	21
그림 23 서해 연안(경기만)에서 획득한 in situ 데이터와 비교 검증 결과	22
그림 24 (a) COSCE 알고리즘 결과, (b) AVISO의 해수면 높이로부터 계산된 지형류	22
그림 25 (컬러영상) GHRSSST 해수면 온도 자료, (화살표) COSCE 결과	23
그림 26 2012년 10월 23일에 획득된 GOCI 영상의 해수 부유물 농도 및 조석 모델링 결	23

과	24
그림 27 시간에 따른 칠게 행동특성 분포	25
그림 28 엽낭게(<i>Scopimera globosa</i>)와 pellet	26
그림 29 엽낭게 섭식 전 (sediment)과 후 (pellet)의 퇴적물 내 유기물 함량 비교	26
그림 30 KOMPSAT-2 영상으로부터 추출된 2007년 2월과 2012년 5월의 fractal 차원	27
그림 31 객체기반 영상분류법으로 분석된 표층 퇴적상 분포도	28
그림 32 (a)2000년대 DEM, (b) 2012년대 DEM, (c)2012년과 2000년대 DEM의 차이	29
그림 33 추출된 해안선 변화	30
그림 34 RTK-GPS를 통한 실측 자료를 비교 분석 결과	30
그림 35 (좌) 챔버와 테들러백 채취 장치, (우) 챔버 메탄가스 샘플링	31
그림 36 칠게 및 엽낭게 서식굴 모습	32
그림 37 서식굴 모습	33
그림 38 (좌) crab: 칠게+해수+갯벌 퇴적물 및 non-crab: 해수+갯벌 퇴적물, (중앙) 메탄가스 조사를 위한 항온장치, (우)챔버	33

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 필요성

1. 연구개발의 경제·사회·기술적 필요성

가. 기술적 측면

연안, 특히 갯벌이 가지는 중요한 생태적 기능은 저서생물에 의한 오염 정화 기능으로 생물에 의한 정화기능을 평가하는 것은 갯벌의 건강성을 지시하는 척도가 되므로 체계적인 연안관리 및 복원계획 수립을 위한 과학적 근거자료가 될 수 있다. 따라서 갯벌에서 생물에 의한 오염 정화 가치에 기반을 둔 생태환경 평가 기술개발이 필요하다. 갯벌의 정화기능을 평가하기 위해서는 갯벌 퇴적물 내에서의 유기물 분해와 분해경로 그리고 그에 따른 생지화학적 물질순환과 갯벌-수층 경계면에서의 물질 플럭스 연구가 필수적이다. 특히, 물질교환이 일어나는 퇴적물-물 경계면에서의 생지화학적 프로세스에 있어 생물교란 (bioturbation)의 중요성은 21세기 들어 연안생태 분야의 주요 이슈로 크게 부각되고 있다 (Kristensen et al. 2012). 갯벌 경계면 상에서의 물질플럭스 자료는 갯벌의 정화기능 역시도 과소 평가 할 수 있다. 이러한 관점에서 갯벌 저서동물이 만든 서식굴의 역할은 연안생태계를 평가함에 있어 중요하며, 나아가 정화기능의 현실적인 자료를 생산함에 필수적인 접근방법이다.

갯벌 등 연안의 생태 환경 평가를 위해서는 시공간적으로 많은 자료가 필요하며, 원격탐사 기술은 정밀한 주제도 작성을 통해 넓은 연안지역을 주기적으로 모니터링하기 위해 효과적으로 활용될 수 있다 (Choi et al., 2010). 최근에는 위성기반은 물론, 이의 단점을 보완하기 위한 항공원격탐사 시스템 등 기술 개발이 진행 중이다. 따라서 연안환경의 보존과 관리 및 기능 극대화를 위해, 다양한 플랫폼과 센서의 다중 원격탐사 자료를 기반으로 한 한반도 연안환경의 생태적 기능평가 기술 개발이 필요하다.

연안환경은 주요 온실가스로 알려진 메탄 (CH₄)에 대한 중요한 발생지로 전 지구규모의 메탄 발생량의 75%정도가 연안환경으로부터 기인되고 있다 (Liikanen et al., 2009). 그렇지만 연안 환경의 자연 배출량에 대한 자료는 미흡한 실정이며 (김득수 2007), 나아가 탄소 격리 (C sequestration=C burial-CH₄+N₂O fluxes)에 대한 생태적 기능평가가 요구 된다 (Adams et al., 2012). 이에 갯벌 생태 변동성과 메탄가스 발생량의 관계성 규명이 필요하다.

나. 경제·산업적 측면

다중 원격탐사 자료를 이용한 연안환경의 장단기 모니터링을 통해 실질적인 연안환경 감시 체계 구축이 필요하며, 이를 통한 적조, 녹조 및 연안의 어장정보 제공으로 수산업 등 유관산업 발전에 기여할 수 있다. 또한, 원격탐사 기술을 활용한, 광범위한 연안의 모니터링은 연안 해역 관리 및 감시의 효율성 증대로 운영비용 절감의 효과를 기대할 수 있다. 온실가스의 자연 배출량 산정은 저탄소 녹색성장과 국가 온실가스 감축에 따른 GDP 손실 평가에 대한 기초자

료로 쓰일 수 있다.

다. 사회·문화적 측면

최근 급격한 기후변화와 인위적인 활동에 의한 연안 퇴적환경의 변화가 발생하고 있으며, 이에 의한 온실가스 자연발생량의 변화를 파악할 필요가 있다. 우리나라 연안에는 전체 시군구 중 78개(26개 시, 34개 군, 18개 자치구)가 위치하고 있고, 전 국토의 32 %와 전 인구의 33 %가 살고 있으며, 2030년에는 전 인구의 40 %가 거주하고 국내 총 생산의 50 %를 생산할 것으로 전망되는 등 그 가치와 중요성이 나날이 부각되고 있다 (오윤석 등, 2005).

라. 연구원 고유기능 발전과의 연관성

한국해양과학기술원의 고유기능은, 해양과학 기술의 연구개발을 통한 관할 해양의 관리기반 구축, 해양환경 보전과 해양안전 확보 능력 축적 및 그 성과 보급이다. 원격탐사 기술을 기반으로 한 연안환경의 정밀 주제도 구축은 관할 해양의 효율적 관리를 위한 과학적 근거자료가 되며, 장단기 모니터링 기술 개발을 통해 연안환경 보전과 해양안전 확보 기능 고도화에 기여할 수 있다. 본 연구는 원격탐사를 이용한 모니터링을 기반으로 연안환경의 생태적 가치를 정량적으로 평가할 수 있는 기술을 개발하여 환경복원과 관리에 활용할 수 있는 연구라는 측면에서 한국해양과학기술원의 고유기능에 전적으로 부합된다. 또한, 연안의 저서생태 (미생물-저서동물 및 식물)와 환경요인(노출, 퇴적상, 온도, 지형 등)들 간의 상호관계와 연안 해양의 수치 모델을 통한 검증, 예측 및 기후변화에 의한 영향 규명 등 관련 기초 분야가 망라된 학제적 연구가 필수적이라는 측면에서 다양한 분야의 연구 인력을 보유한 KIOST의 역량을 최대로 발휘하고 그 고유기능을 발전시킬 수 있는 분야이다.

제 2 절 연구개발 목표 및 내용

1. 연구개발의 목표

본 연구의 최종 목표는 아래와 같다.

- 원격탐사 자료를 이용한 한반도 주변 환경의 생태적 기능평가
- 원격탐사 자료를 기반으로 한반도 주변 연안의 생태환경을 종합적으로 모니터링하며, 연안에서 생물의 정화가치와 관련된 요인 자료들을 공간정보로 구축하고 시계열 모니터링을 실시
- 한반도 주변 환경의 생태적 기능을 정량적으로 평가함으로써, 원격탐사를 활용한 연안 저서생물의 오염정화가치 평가 기술을 개발함

□ 당해연도 주요 연구 목표

<1차년도>

- X-밴드 SAR에서 갯벌의 후방산란 특성 및 염생식물의 coherence의 특성
- 저서조류 분광특성 분석
- 부유퇴적물의 농도 분포도 작성 및 해수유동 수치모델
- 칠계/염낭계의 구조특성 및 유기물 제거율 분석
- 갯벌 퇴적상 분포도 및 메탄가스 발생량 측정
- 위성영상을 사용한 갯벌의 지형변화도 작성

<2차년도>

- SAR영상에서 표층 퇴적물함수율 분포 관측
- 초다분광 영상에서 염생식물의 분광특성 및 미세저서조류 분광특성
- GOCI에서의 퇴적물 이동관측과 퇴적역학 관측자료와의 연계
- 수치모델과 종합분석을 통한 부유퇴적물 이동 모식도
- 먹이활동에 따른 표층퇴적물의 지화학적 특성변화
- 원격탐사기반으로 구축된 퇴적환경 요인들과 오염정과 기능 간의 상관관계 분석
- 메탄가스 발생량과 관련한 주 생태환경요인 추출
- 원격탐사기반으로 구축된 지형요인들과 오염정과 기능 간의 상관관계 분석

2. 연차별 연구개발 세부 목표 및 내용

년 차	연구/사업의 수행내용	구체적인 수행방법(이론적·실험적 접근방법명 등)
1차년도 (2013년)	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 생태환경 분포도 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 고해상도 SAR영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석 - X-밴드 SAR영상에서의 염생식물 분포특성 - 저서조류 분포도 작성기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○X-밴드 SAR에서 갯벌의 후방산란 분석을 통한 갯벌의 DEM, 노출시간 및 조류로 특성 분석 ○X-밴드 SAR에서 염생식물의 coherence특성 분석을 통한 염생식물 지역의 입도와 지형 특성 파악 ○저서조류 분광특성 분석을 통한 분포도 맵 작성
	<ul style="list-style-type: none"> ○한반도 주변 해수특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 연안해수 부유물의 조석에 따른 시계열 변화 분석 - 해수유동 수치모델과 연계한 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○부유퇴적물의 농도분포도 작성을 통한 조석특성 파악 ○GOCI기반의 표층해수유동 수치모델 개발
	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 갯벌생물 서식굴의 구조 및 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○칠계/엽낭계의 구조특성 및 유기물 제거량 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 퇴적환경 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 영상자료의 반사도 기법을 이용한 갯벌 퇴적상 분류 - 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발 - 위성영상을 활용한 갯벌 지형변화도 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 퇴적상 분포도 맵 작성 ○칠계/엽낭계 서식굴의 메탄가스 발생량 분석 ○위성영상에서의 갯벌의 퇴적/침식특성 분석

2차년도 (2014년)	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 생태환경 분포도 작성 - 고해상도 위성영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석 - 고해상도 위성영상을 활용한 갯벌의 표층퇴적상 정보 분류 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 무인항공 시스템 기반의 고해상의 갯벌 수치표고모델 생성 ○ 무인항공 시스템 기반의 고해상의 갯벌 퇴적상 분포도 생성
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석 - 갯벌생물 서식굴의 구조 및 특성 분석 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 서식굴과 메탄가스 발생의 연관성 분석
	<ul style="list-style-type: none"> ○갯벌 퇴적환경 특성 분석 - 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ○간조/만조시 메탄 플럭스 특성 분석

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 1 절 국내외 연구 동향

위성 영상자료를 활용한 갯벌 지형정보 취득과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에는 L 밴드 (ALOS), C 밴드 (Radarsat-2) 및 X 밴드 (TerraSAR-X)의 다중 파장대와 다중 편광 SAR 자료를 이용하여 다양한 산란 메커니즘 특성을 바탕으로 polarimetric decomposition 방법과 분류법을 적용하여 보다 정확한 해안선을 추출하여 연안의 지형 변화를 관측한다 (Guerreonero Robinson, 2011; Marghany and Hashim, 2010). 그러나 SAR 자료는 스펙클 잡음과 표면 기록에 민감한 점으로 인하여 파랑이 높은 바다로부터의 신호와 육지로부터 돌아오는 레이다 신호의 구별이 어려움이 있다. 최근에는 SAR 자료와 LIDAR을 이용하여 해안선 추출 후 지형고도모델 (DEM)을 생성하는 연구도 이루어지고 있다 (Harris and Umbach, 1972; Brock et al., 2004; Zhao et al., 2008). 그러나 LiDAR 자료는 제한적인 획득에 의해 낮은 공간 해상도를 갖는 문제점이 있기 때문에 이를 보완하기 위해 RTK GPS 자료와 높은 공간해상도를 갖는 DSM 자료 및 SRTM DEM을 활용하고, InSAR 기법을 적용하여 DEM을 생성하는 연구가 수행되고 있다 (Coveney et al., 2010; Schumann et al., 2008; Heygster et al., 2010).

갯벌에서의 식생 분포 변화 연구는 중해상도의 위성영상과 LIDAR 자료를 이용한 광역적인 변화 관측 연구가 진행되었다. 최근에는 고해상도 광학 위성영상과 SAR 위성영상을 이용한 식생의 정밀 분포변화에 관한 연구가 진행되고 있다. Aurelie Dehouck et al. (2010)은 TerraSAR-X 영상을 활용하여 영상으로부터 추출된 반사도 차이를 바탕으로 Arcachon lagoon의 굴 양식장 및 염생 식물 분포도를 작성하였다. 또한 dual-wavelength LiDAR 자료를 바탕으로 고해상도 Digital Terrain Models (DTM), Digital Surface Models (DSM) 및 반사도 값을 추출하여 갯벌의 경사도에 따른 식생 분포를 연구하였다 (Collin et al., 2010).

국내에서는 Lee et al. (2008)이 중해상도의 Landsat 영상으로부터 강화도와 동경도 주변의 칠면초와 갈대의 반사도 차이를 이용한 정규식생지수를 통해 염생식물 패치의 경계를 연구하였다. Choi et al. (2011)은 IKONOS와 Kompsat-2 의 고해상도 영상으로부터 황도 갯벌의 퇴적상, DEM, 조류의 밀도 및 간격, 갯벌의 노출시간 등 저서생물분포에 영향을 주는 요인들을 추출한 후 GIS 기반의 weights-of-evidence model을 적용하여 저서생물분포도를 작성하였다.

갯벌의 열수지와 관련한 국외 연구로는 Swinbank and Murray(1980)는 조간대에서의 노출시간을 기준으로 생물분포 구간을 구분한 연구, 고조시각과 갯벌 지온과의 관련성을 연구 (Harrison and Phizacklea, 1987), 대기와 물 그리고 토양간의 상호작용을 통해 퇴적물 내 수직적 온도구배의 특성과 조석과의 연관성 연구 (Piccollo et al., 1993)등이 있다. 갯벌의 열수지와 관련한 국내의 경우는 나 등 (2000)이 서해 제부도 갯벌에서 계절별로 1일 미만의 짧은 관측 자료들을 사용하여 열수지의 변화를 연구, 최 (2002)의 태안반도 조간대 퇴적층의 4계절 온도 변화 연구, 이 등 (2005)의 서해안 곶소만 갯벌조간대에서 갯벌의 온도구조와 열적 특성변화 연구 등이 있다. 금강 하구연 주변 갯벌과 습지로부터 닫힌챔버법(closed chamber technique)

을 이용하여 계산된 연간 메탄가스 플럭스는 약 $195 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ 이며, 여름철의 플럭스(약 $540 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)는 겨울과 봄철에 비해 10 - 100배 수준으로 나타나 갯벌 퇴적물의 여름철 온도 증가에 따른 활발한 미생물 생육과정이 가스 배출에 영향을 주었을 것으로 판단된다 (김, 2007). 하구와 만 해역에서의 대기로 메탄 플럭스는 대륙붕뿐만 아니라 외해역에서도 높으며, 가령 남중국해에 인접하고 있는 Pearl 강하구의 평균 메탄플럭스($63.5 \pm 32.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)는 황해($1.33 \pm 0.76 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)와 중국해($36.6 \pm 95.7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$)에서보다 높게 나타난다. 황해와 중국해에서 메탄 플럭스는 전 지구 해양의 1% 미만으로 현저히 낮지만 각각 표층수에서 메탄 포화도는 $121 \pm 5.4\%$, $489 \pm 555\%$ 로 메탄의 순 발생량이 대기의 메탄 농도에 기여하고 있다 (Yang et al., 2010; Zhou et al., 2009).

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 갯벌 생태 환경 분포도 작성

1. 고해상도 SAR 영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석

강화도 남단 갯벌 토양수분함유량 분포 분석을 위하여 X-band SAR 자료(backscattering coefficient, coherence)와 갯벌 표면의 토양 수분함유량에 영향을 미치는 요소의(지형, 조류로 분포, 노출시간, 퇴적상) 상관관계를 분석하였다. 2003년 8월에 55개 지점에서 입자 샘플 분석 결과 서쪽 갯벌에서 주로 모래퇴적상 분포, 혼합 퇴적상은 중간 지점에 주로 분포, 동쪽과 갯벌 전반에 걸쳐 펄 퇴적상이 분포하였다 (그림 1).

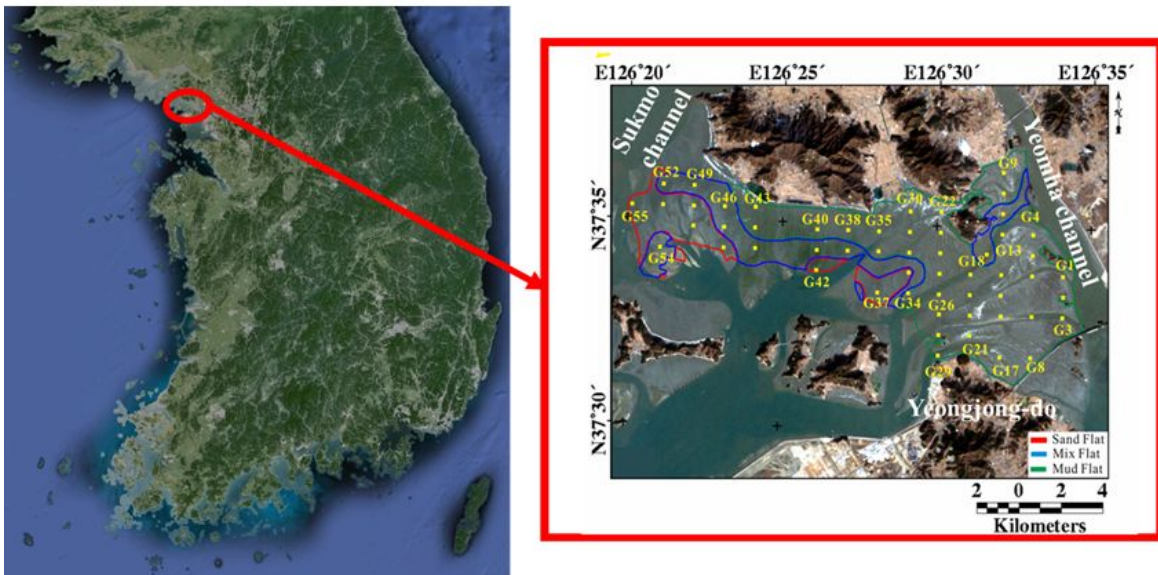


그림 1 . 연구지역 및 현장관측정점

지형고도모델(DEM)을 작성하기 위하여 총 9장의 Landsat ETM+ 영상자료(2009년 4월 ~2012년 12월) 사용하였으며 waterline 방법을 적용하여 지형고도모델(DEM) 생성하였다. 그 결과 서쪽에서 동쪽방향으로 점차 지형이 높아진다. 노출시간 분포도는 작성된 DEM 과 각 위성영상자료의 획득 날짜의 조위 값을 이용하여 영상획득 시간의 pixel 별 노출시간을 계산하였다. 2008년 7월 27일의 노출시간분포를 추출한 결과 최대노출시간이 11시간이고, 지형고도가 높은 펄 갯벌에서 노출시간이 길게 나타난다 (그림 2).

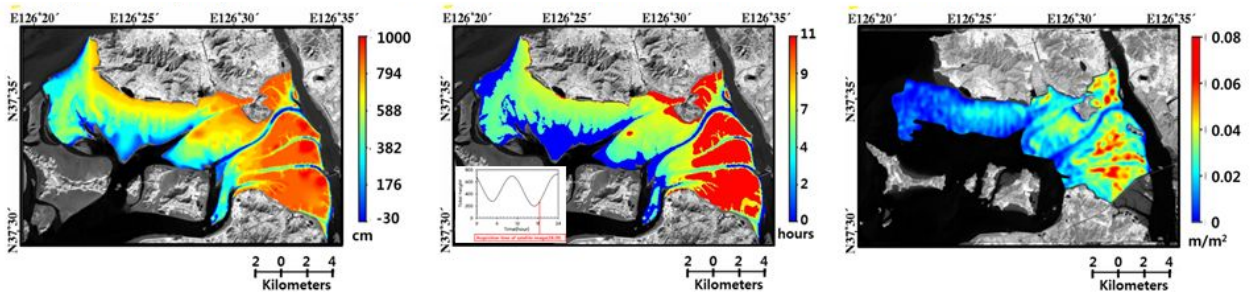
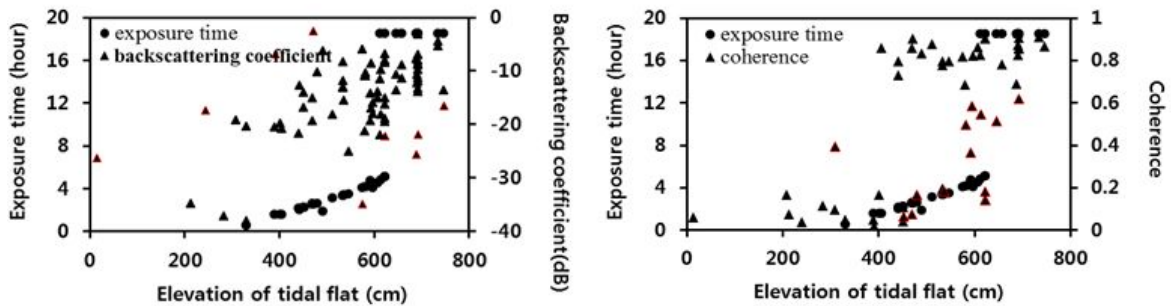


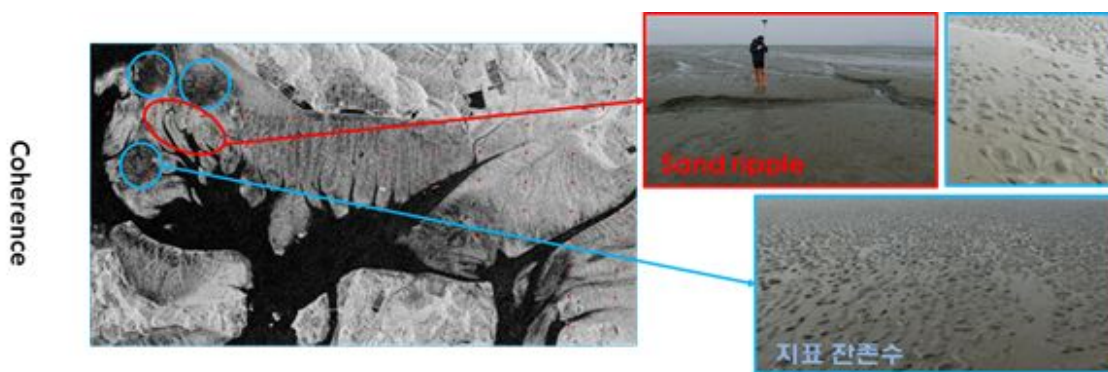
그림 2 . (좌) 지형고도모델 (DEM), (중양) 2008년 7월 27일 노출시간분포도, (우) 조류로 분포도

조류로 분포도는 2007년 2월에 획득한 Komsat-2 영상자료로부터 추출하였으며 그 결과 지형이 높은 펄 갯벌에서 조류로의 분포가 높게 나타나는 것을 알 수 있다.



▶ backscattering coefficient, coherence & 지형고도, 노출시간의 상관관계 분석 결과

그림 3 (좌)backscattering coefficient and coherence (우)지형고도 및 노출시간의 상관 관계 분석 결과



▶ 현장관측자료

그림 4 현장관측자료

연구지역의 경우 지형고도가 증가할수록 노출시간이 증가하며 지형고도가 증가할수록 backscattering coefficient 와 coherence 가 높게 나타난다. 따라서 노출시간이 증가 할수록 backscattering coefficient, coherence 값이 증가한다 (그림 3). 붉은색 외곽선으로 표시된 정점은 주변에 존재하는 큰 규모의 sand ripple 및 지형고도에 의한 지표 잔존수와 간섭 쌍의 서로 다른 조석상태에 따른 decorrelation 에 의한 노이즈로 판단된다 (그림 4).

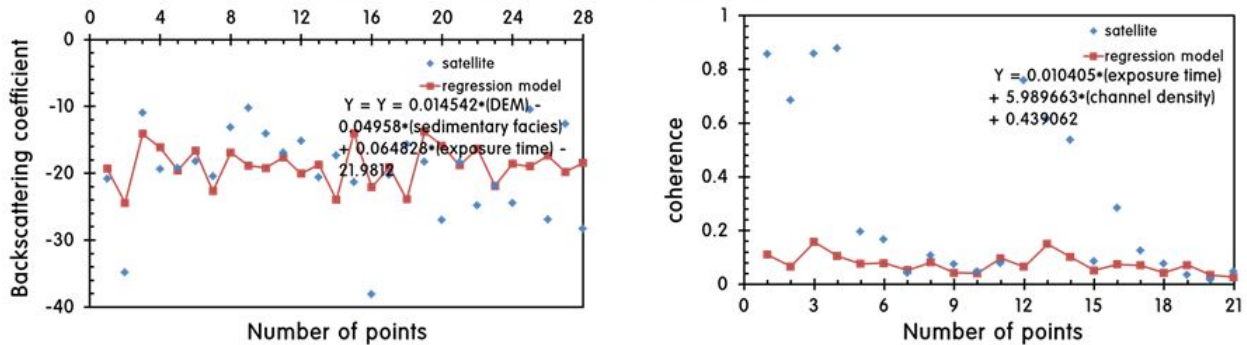


그림 5 SAR 자료와 갯벌 토양수분 함유량 영향 요인들의 regression model 분석 결과

backscattering coefficient, coherence 와 각 요인의 상관분석 결과, backscattering coefficient 는 DEM, 퇴적상 및 노출시간, coherence는 노출시간과 채널밀도 요인과 높은 상관성을 나타낸다 (그림 5). 추출한 요인들을 바탕으로 다음과 같은 regression model 생성하였다.

- backscattering coefficient(bc) : $Y_{bc} = 0.014542*(DEM) - 0.04958*(\text{퇴적상}) + 0.064828*(\text{노출시간}) - 21.9812$
- coherence : $Y_{coh} = 0.010405*(\text{노출시간}) + 5.989663*(\text{채널밀도}) + 0.439062$

2. 고해상도 위성 영상을 활용한 갯벌의 지형정보 분석

무인항공시스템 기반으로 고해상의 갯벌 수치표고모델을 생성하기 위하여 회전익 무인항공시스템에 광학카메라를 탑재하여 30분~1시간 간격으로 총 6회 촬영을 하여 영상을 획득하였다 (그림 6). 500m 고도에서 15분간 촬영하도록 운항경로를 설정하였으며 정확한 정사영상 생성을 위하여 갯벌 내 11개 지점에 타프점을 설치하였다.

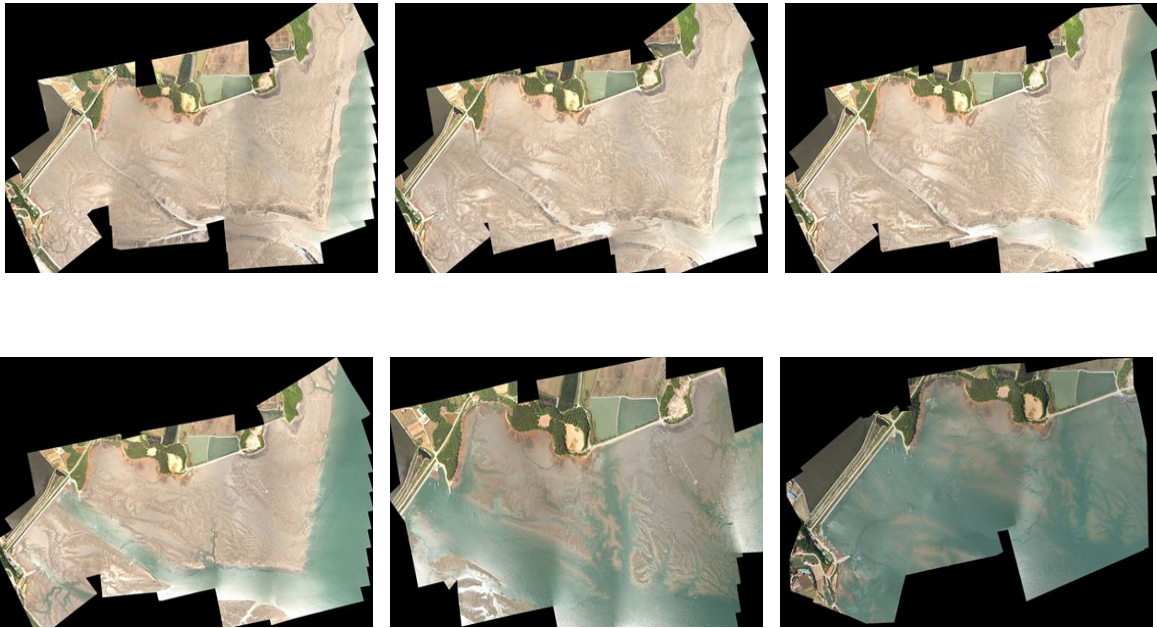
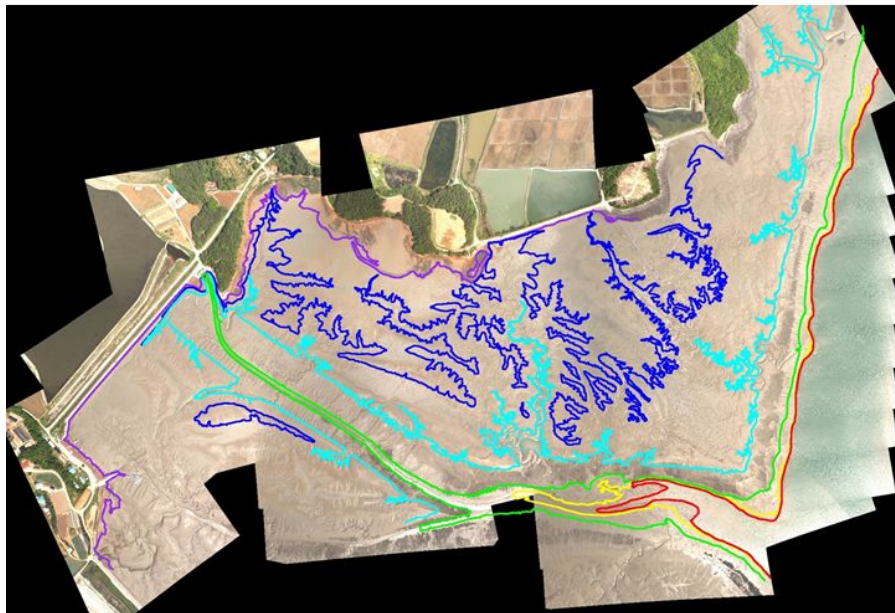


그림 6 무인항공 시스템으로 획득된 영상

밀물 상태에서 획득한 14시 12시 영상의 경우 타프들이 물에 잠겨 생성된 정사영상의 기하가 틀어지는 문제점이 발생하여 지상 기준점을 활용하여 GCP를 잡는 과정을 거쳐 정사영상을 생성하였으며, 생성된 정사영상들은 8 cm의 공간해상도를 가진다.



촬영 회차	촬영 시각
1	10:46
2	11:18
3	11:53
4	13:01
5	13:43
6	14:12

그림 7 추출한 수류경계선 및 촬영시간

4시간 동안 6회에 걸쳐 회전익 무인항공시스템으로 획득된 영상을 내부표정 및 외부표정을

실시하여 정사영상으로 만든 후 수록경계선을 추출하였다 (그림 7). 물에 민감한 근전외선 영역의 부재로 가시광 합성 영상으로부터 반자동으로 수록경계선을 추출하였다.

창기리 갯벌에서 RTK-GPS를 사용하여 측량한 지형고도 값을 수록경계선에 절대고도값으로 삽입하여 minimum curvature 방법을 적용하여 갯벌의 수치표고모델을 생성하였다 (그림 8).

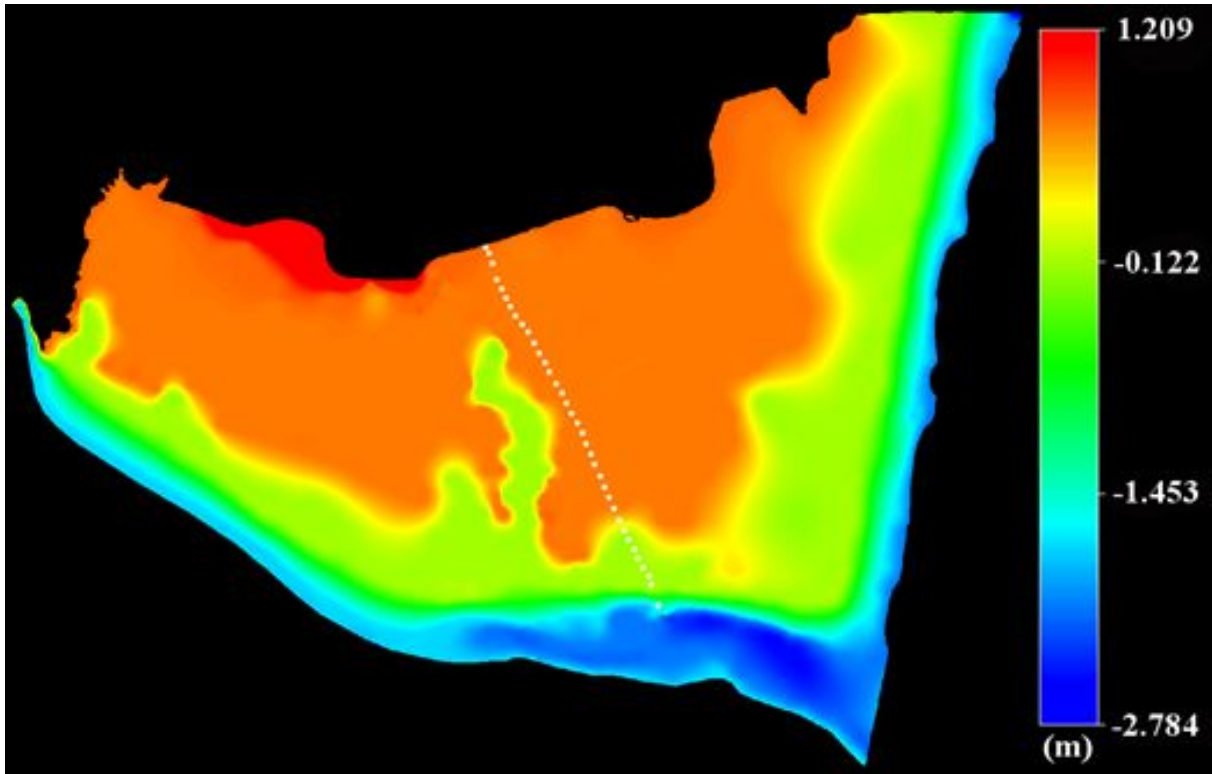
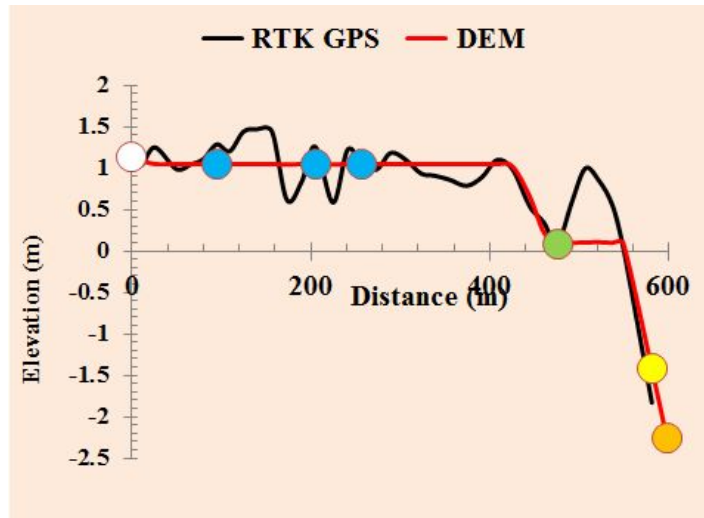


그림 8 작성된 창기리 갯벌 수치표고모델

RTK-GPS를 사용하여 측량한 측선의 지형고도 값과 비교한 결과 전체적인 지형고도 변화의 경향을 같으나 갯골과 같이 작은 지형변화요인을 감지하는데는 한계가 있다 (그림 9). 하지만 기존의 광학위성영상을 사용하여 수치표고모델을 생성할 경우 일반적으로 1년간 획득된 위성 영상 아카이브에서 물때와 대기상태가 좋은 영상을 선정하였지만, 무인항공시스템을 사용할 경우 반일동안 획득한 영상만으로도 수치표고모델을 생성할 수 있는 장점이 있다. 이를 통해 향후 계절폭풍과 같은 단기 지형 변화 요인의 분석이 가능할 것으로 판단된다.



타프 번호	Easting	Northing	고도 (m)	타프 번호	Easting	Northing	고도 (m)
1	264915.7	4050580.5	-1.830	20	264782.2	4050875.5	1.049
2	264905.8	4050611.1	0.034	21	264775.6	4050890.4	1.222
3	264901.9	4050622.8	0.555	22	264766.3	4050904.1	0.586
4	264893.1	4050635.8	0.858	23	264757.3	4050921.8	1.260
5	264886.1	4050648.9	0.998	24	264750.7	4050935.9	0.827
6	264880.4	4050662.7	0.592	25	264741.9	4050949.6	0.621
7	264872.4	4050676.9	0.090	26	264734	4050964.2	1.444
8	264865.8	4050690.5	0.345	27	264725.6	4050979.5	1.470
9	264858.2	4050704.3	0.542	28	264716.7	4050991.3	1.440
10	264851.4	4050722.5	0.990	29	264707.9	4051004.1	1.204
11	264843.7	4050737.8	1.099	30	264700.4	4051016.7	1.287
12	264837.2	4050753.3	0.893	31	264693.2	4051030.0	1.108
13	264830.8	4050769.5	0.788	32	264687.8	4051042.7	1.047
14	264822.9	4050786.5	0.861	33	264680.4	4051057.3	0.989
15	264817.1	4050802.1	0.909	34	264674.4	4051080.7	1.252
16	264810.2	4050816.1	0.937	35	264668.9	4051094.9	1.037
17	264805.3	4050832.6	1.101	36	264664.1	4051104.3	1.141
18	264797.9	4050847.9	1.184	37	264661.5	4051109.0	2.312
19	264789.3	4050861.0	0.984				

그림 9 RTK기준점과 측량된 고도

3. X 밴드 SAR 영상에서의 염생식물 분포 특성

강화도 남단의 염생식물의 분포특성을 알기위하여 고해상도 SAR위성인 Cosmo-SkyMed 8장을 사용하여 1일, 16일, 32일 temporal baseline의 총 6쌍의 interferogram을 작성하였다. 수직기선거리는 interferogram의 쌍이 되는 두 영상의 위성간의 수직기선거리를 의미한다. 수직기선거리가 1,000m 가 넘어도 염생식물에서 0.5 이상의 높은 긴밀도가 유지된다. Temporal baseline은 interferogram의 쌍이 되는 두 영상간의 기간차를 의미함, temporal baseline이 길어

지면 머드, 샌드, 혼합갯벌의 긴밀도는 0.1정도의 매우 낮은 값을 가지나 염생식물에서만 0.5 이상의 높은 값으로 긴밀도가 유지된다 (그림 10).

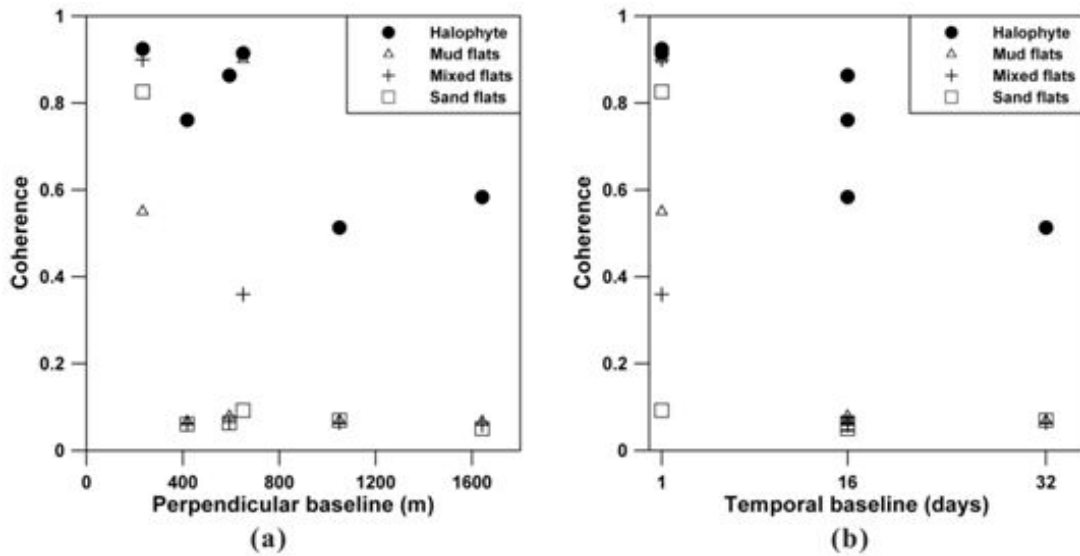


그림 10 (a) 수직기선거리와 긴밀도와의 상관관계, (b) temporal baseline과 긴밀도와의 상관관계

긴밀도에 영향을 주는 갯벌내의 환경요인과의 상관관계를 알아보기 위하여 입도와 지형고도와의 상관관계를 분석하였다. 그 결과 입도가 세립해질수록, 지형고도가 높아질수록 긴밀도가 커진다. 특히, 염생식물 지역은 세립하고 지형고도가 높은 곳에 분포하기 때문에 높은 긴밀도를 유지하는 것으로 나타났다 (그림 11).

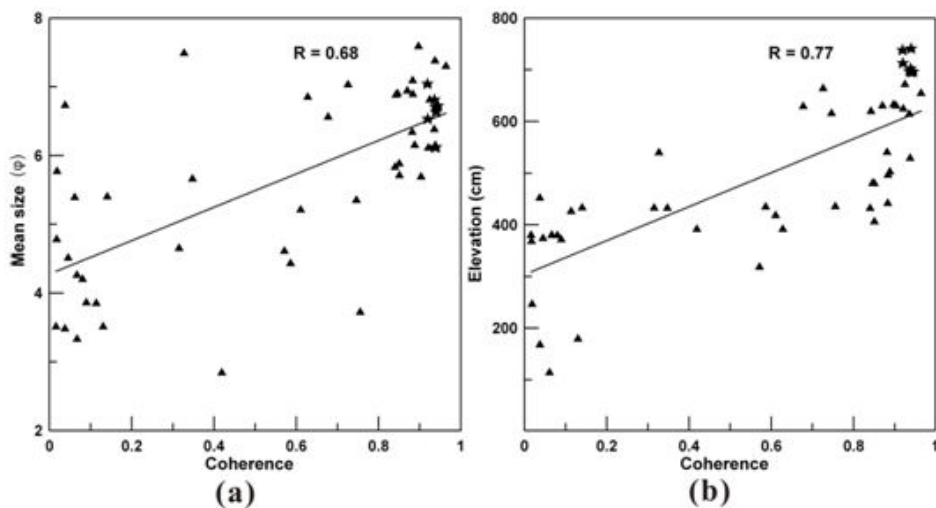


그림 11 (a) 긴밀도와 입도의 상관관계, (b) 긴밀도와 지형고도와의 상관관계

Temporal baseline와 수직기선거리가 길어져도 염생식물 지역이 높은 긴밀도를 유지하고 있기 때문에 대조때의 만조시기를 제외하고 긴밀도 영상에서 쉽게 그 분포 파악이 가능하였다. 하지만 1day tandem에서는 혼합퇴적상과 머드퇴적상에서도 높은 긴밀도를 가지기 때문에 염생식물과의 경계를 구분하는데는 어려움이 있었다 (그림 12).

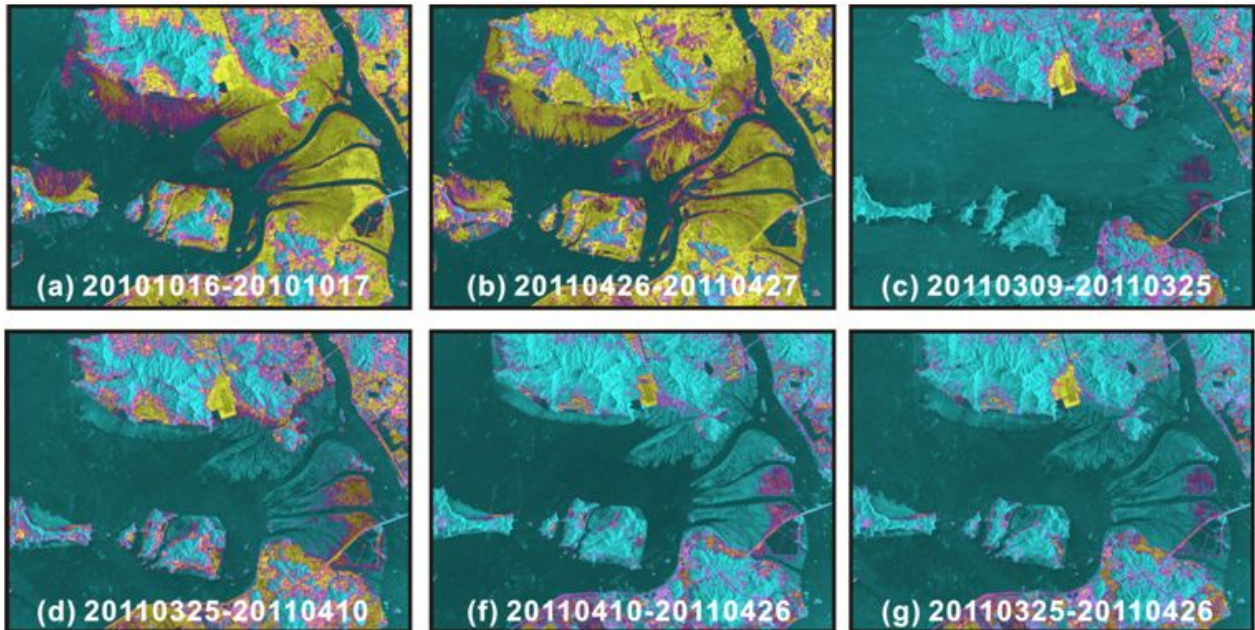


그림 12 간섭쌍으로 생성된 긴밀도 영상 (a), (b)는 1day tandem. (c)-(g)은 16-32day tandem

4. 저서조류 분포도 작성기술 개발

저서조류는 갯벌내의 일차생산자의 역할을하고 세포외 고분자물질 네트워크를 형성한다. Chl-a농도가 증가할수록 저서조류의 양과 critical erosion shear stree가 증가하게 된다. 갯벌 표층에서 측정되는 Chl-a의 스펙트럼은 입도의 크기, 입도성분비에 따른 광학적 특징, 함수율 등에 의해 스펙트럼의 형태가 영향을 받는다. 기존의 연구에서는 continuum removal의 scaled band depth 즉 특정 파장의 흡수깊이로 분석하였다. 하지만 이는 스펙트럼에 노이즈가 삽입되면 노이즈로 인하여 흡수깊이가 영향을 받게된다. Continuum removal의 scaled band area는 파장대역의 흡수되는 면적을 나타내기 때문에 노이즈로 인한 스펙트럼의 변화를 줄일 수 있다.

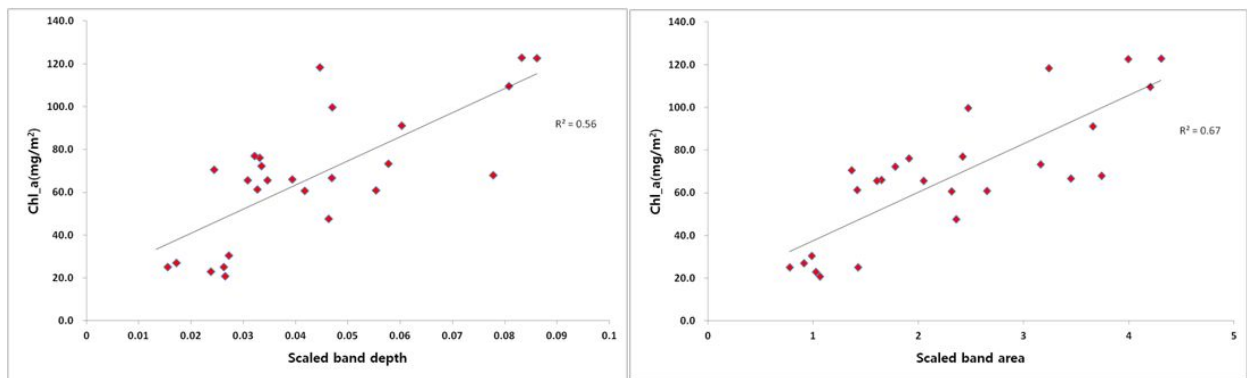


그림 13 (좌) 클로로필양과 scaled band depth와의 상관관계, (우) 클로로필양과 scaled band area와의 상관관계

근소만에서 측정한 스펙트럼의 분석결과 scaled band depth보다 scaled band area와의 상관관계가 더 큰 것으로 나타난다 (그림 13). 양한 식생지수 중 미서저서조류 감지에 효과적인 식생지수를 알아보고자 NDVI (normalized difference vege, PI (phytobenthos index), SAVI (Soil-adjusted vegetation index), EVI (enhanced vegetation index)를 적용하였다 (그림 14).

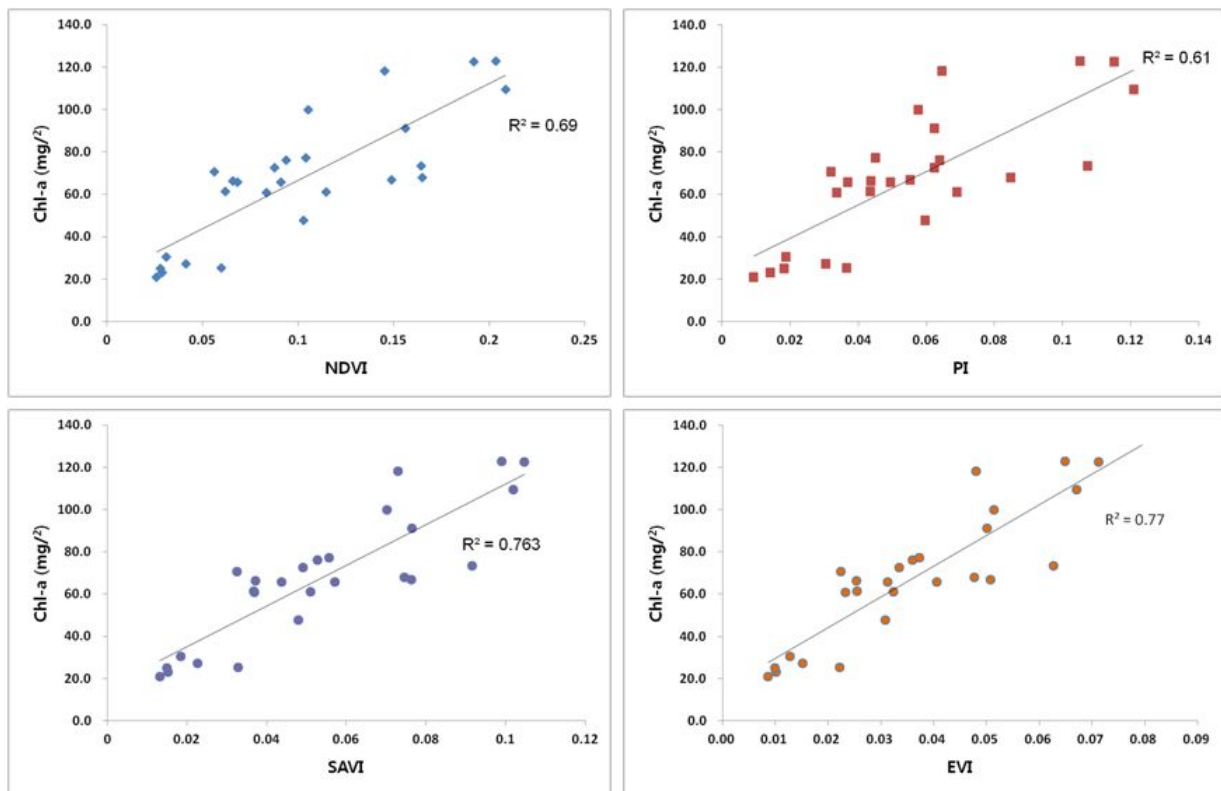


그림 14 NDVI, PI, SAVI, EVI와의 클로로필과의 상관관계

background의 퇴적효과를 감소시키는 SAVI와 EVI가 Chl-a와 더 큰 상관관계를 보인다. 저

서조류의 스펙트럼 특성이 위성영상에서 어떤 특성을 가지는지 알아보기 위하여 Landsat ETM+와 Kompsat-2 MSC에 spectral response function(SRF)을 적용하였다. 그 결과 Landsat ETM+보다 Kompsat-2 MSC가 Chl-a에 의한 흡수가 더 잘 나타난다 (그림 15).

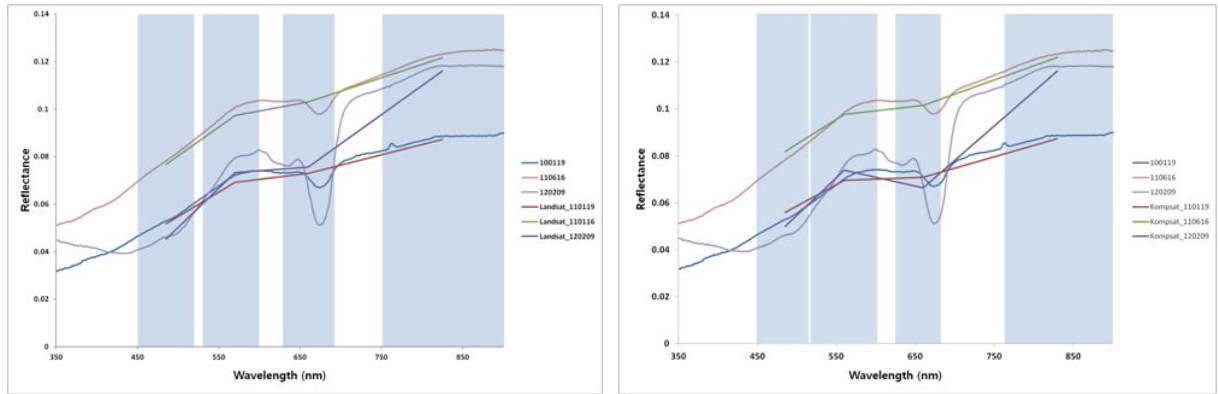


그림 15 (좌) Landsat ETM+의 SRF적용결과 (좌) Kompsat-2 MSC의 SRF적용결과

퇴적효과를 감소시키는 식생지수 중 SAVI를 2009년 12월 6일 영상에 적용하였다. 미서저서 로류의 분포가 높은 곳에서 SAVI의 값이 큰 것으로 나타나지만 Kompsat-2 MSC의 대기보정의 한계가 나타난다 (그림 16).

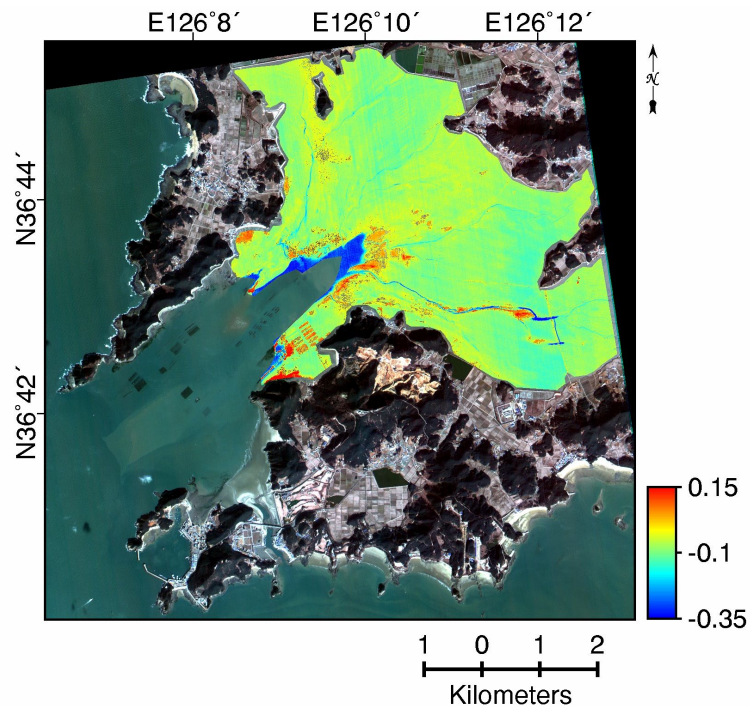


그림 16 2009년 12월 6일 Kompsat-2 MSC영상의 SAVI적용결과

제 2 절 한반도 주변 해수특성 분석

1. 연안해수 부유물의 조석에 따른 시계열 변화

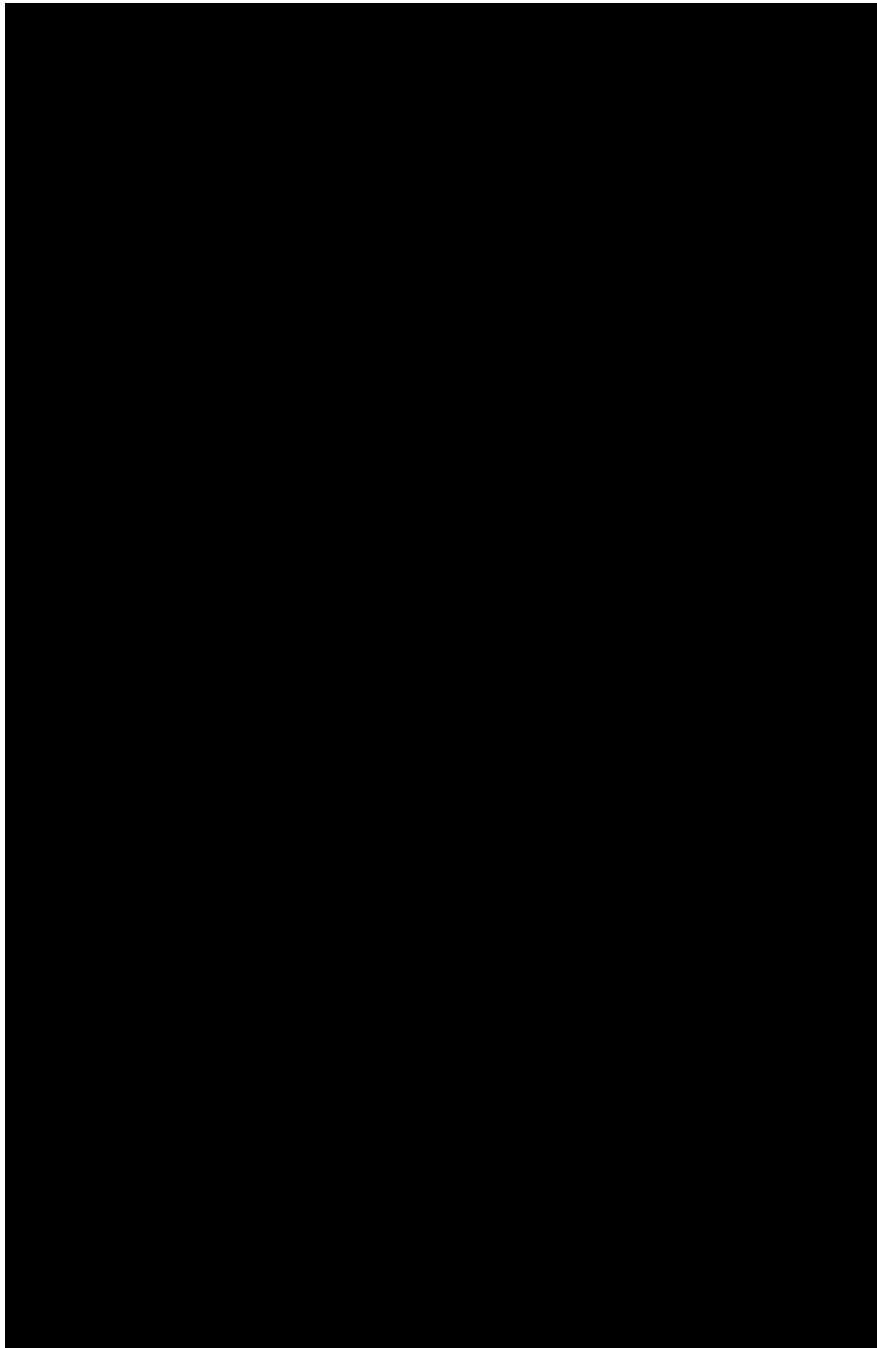


그림 17 2012년 10월 23일 GOCI 영상의 부유퇴적물 농도 변화

연안해수 부유물의 시계열 변화를 분석하기 위하여 경기만 지역의 2012년 10월 23일 10시부터 14시까지의 GOCI 영상을 활용하여 시간별 부유퇴적물 농도 변화를 모니터링 하였다 (그림

17). 그 결과, 전체적으로 외해의 경우 부유퇴적물 농도 값이 $0 - 10 \text{ g/m}^3$ 이하의 값을 가진다. 또한, 09시에 획득한 영상에서 부유퇴적물 농도 값이 가장 높은 값을 가지며 이후 점차 시간이 지나면서 부유퇴적물 농도 값이 낮아지는 경향을 나타낸다.

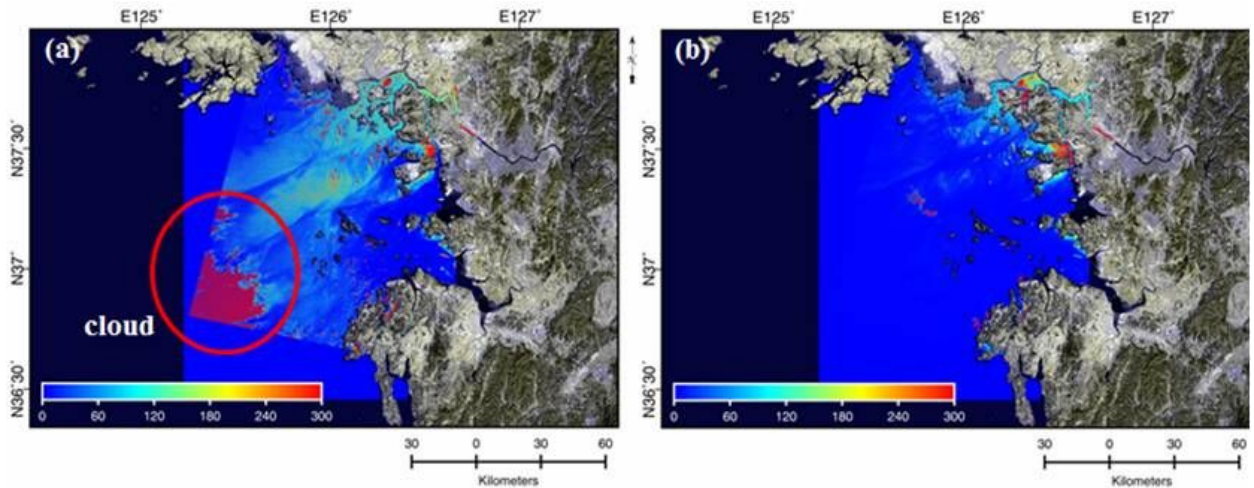


그림 18 2012년 1월 25일과 2012년 8월 4일에 획득된 Landat ETM+ 영상의 부유퇴적물 농도

2012년 1월 25일과 2012년 8월 4일에 획득된 영상의 부유퇴적물 농도 이동 모니터링 결과, 1월 25일 영상에서 부유퇴적물 농도는 약 100 g/m^3 으로 높은 값을 가지며, 8월 4일 영상에서는 외해에서 50 g/m^3 이하의 값을 가지고 한강 연안에서는 60 g/m^3 이상의 값을 가진다 (그림 18).

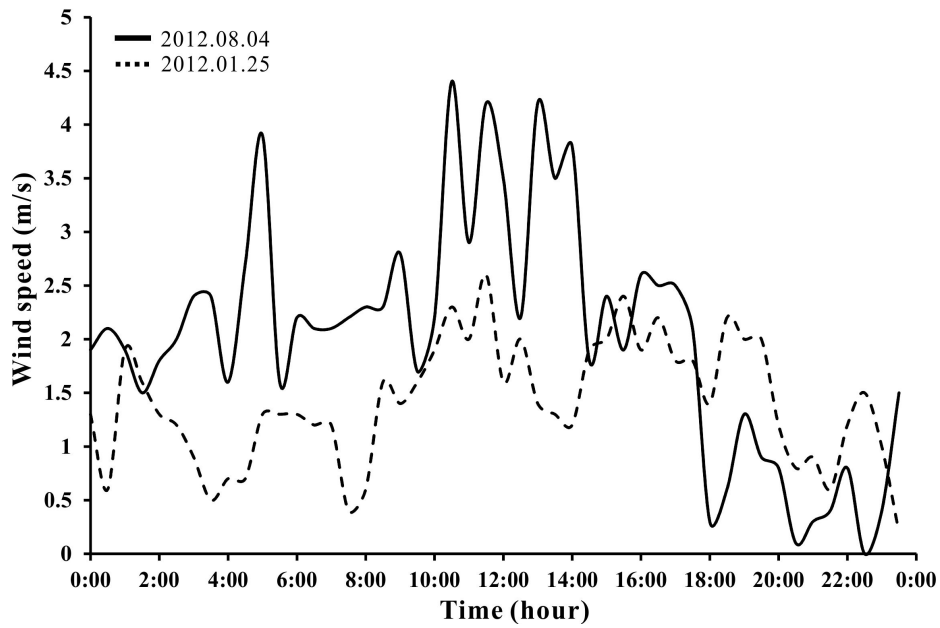


그림 19 2012년 1월 25일과 2012년 8월 4일에 획득된 풍속

외해의 경우 8월 보다는 1월에 부유퇴적물 농도가 더 높게 나타나며 이는 8월에 비하여 1월의 풍속이 더 강하기 때문으로 파악된다 (그림 19).

2. 해수유동 수치모델과 연계한 분석

해수유동을 분석하기 위하여 Maximum cross correlation (MCC) 기반을 활용하여 Source 영역과 가장 유사한 패치를 Target 영역에서 찾아 분석하였다 (Choi et al., 2013; JCR SI) (그림 20).

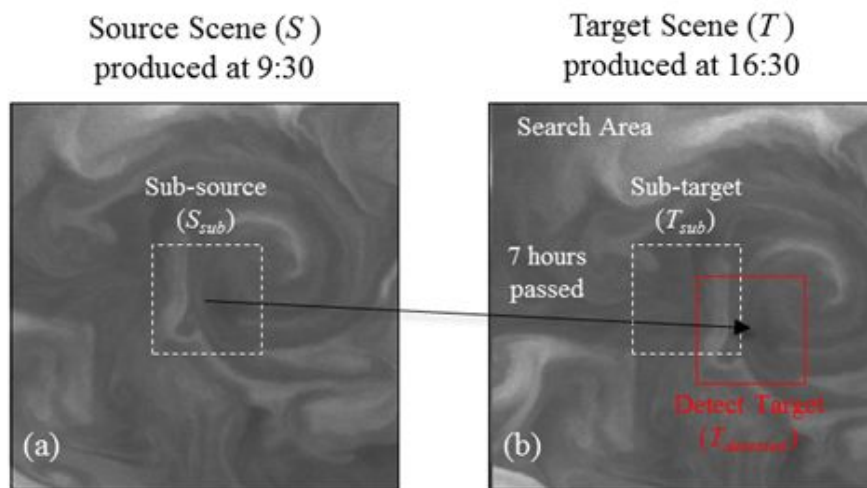


그림 20 Ocean Surface Current Estimation (OSCE) 알고리즘

또한 OSCE 알고리즘을 개선하여 시간 별 해수면 흐름의 변화를 추적하였다. 연구 결과는 총 8장의 GOCI 영상으로부터 얻은 7개의 OSCE 벡터를 연속적으로 연결하여 나타내었다 (그림 21).

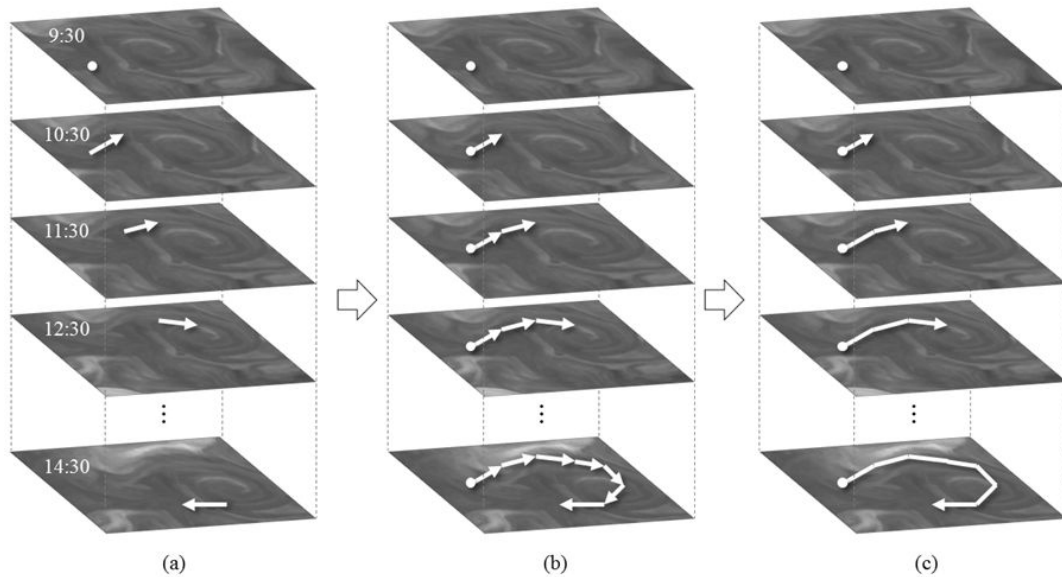


그림 21 Continuous Ocean Surface Current Estimation (COSCE) 알고리즘

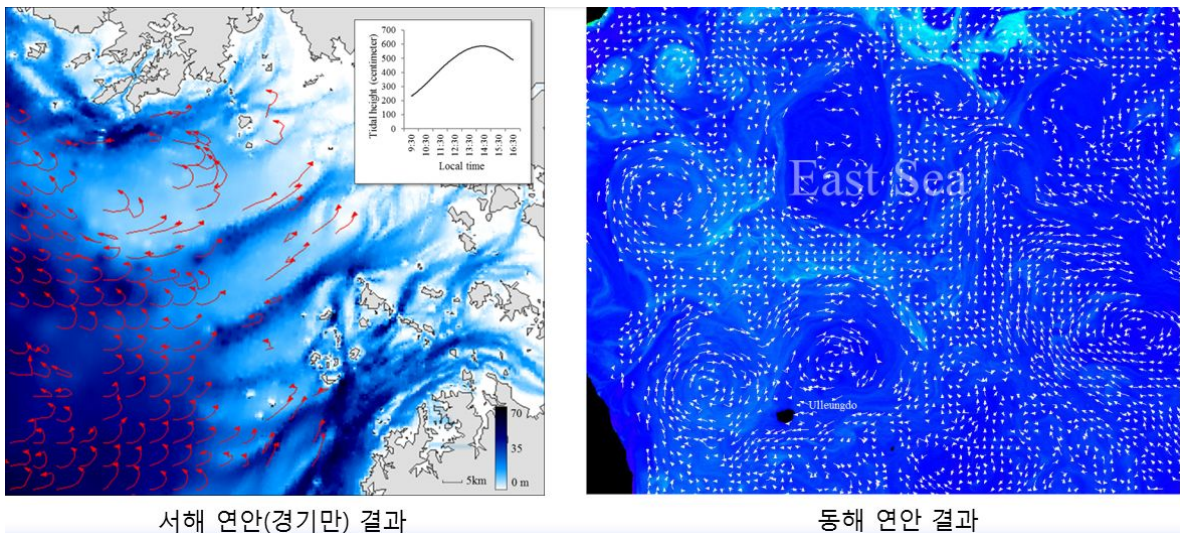


그림 22 Ocean Surface Current 결과

연구결과 추출된 해수유동 벡터 모델은 서해 연안(경기만)의 해수면 흐름이 조석 정보와 일치하는 것으로 나타났다 (그림 22). 이는 경기만의 해수면 흐름은 지형 및 수심(회색영상)과 관련이 깊다는 것을 알 수 있다. 또한 동해의 경우 와류를 따라 해수면 흐름이 잘 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. Ocean Surface Current 검증을 실시하기 위하여 (vs In situ 데이터) 서해

연안(경기만)에서 획득한 in situ 데이터와 비교하였다 (그림 23). 그 결과 방향은 매우 정확한 반면, 속도는 향후 개선할 필요가 있었다.

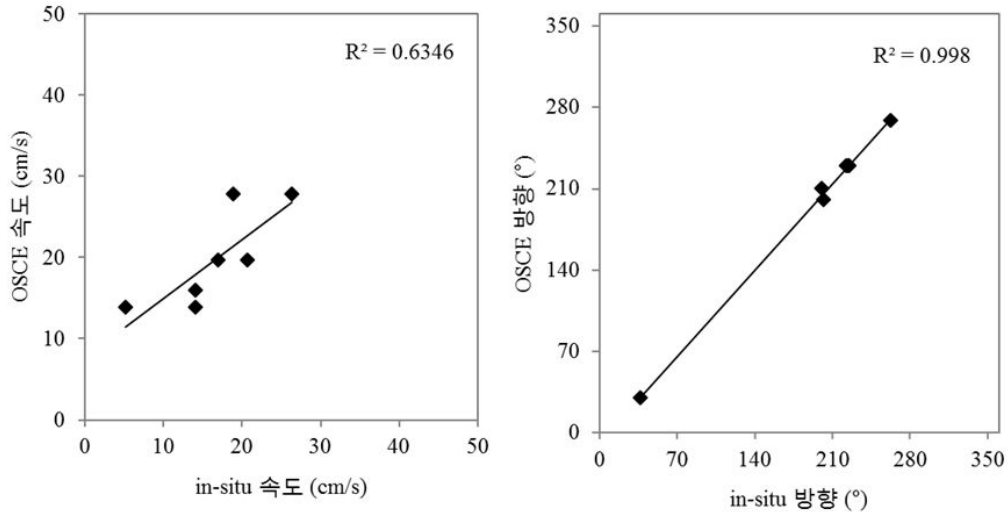


그림 23 서해 연안(경기만)에서 획득한 in situ 데이터와 비교 검증 결과

또한 지형자료와 Ocean Surface Current 검증 (vs 지형류)을 위해 AVISO의 해수면 높이로부터 계산된 지형류 자료를 이용하였다. 연구 결과 전체적인 패턴이 유사하나, COSCE 결과가 더 세밀하게 표현되는 경향이 있다 (그림 24).

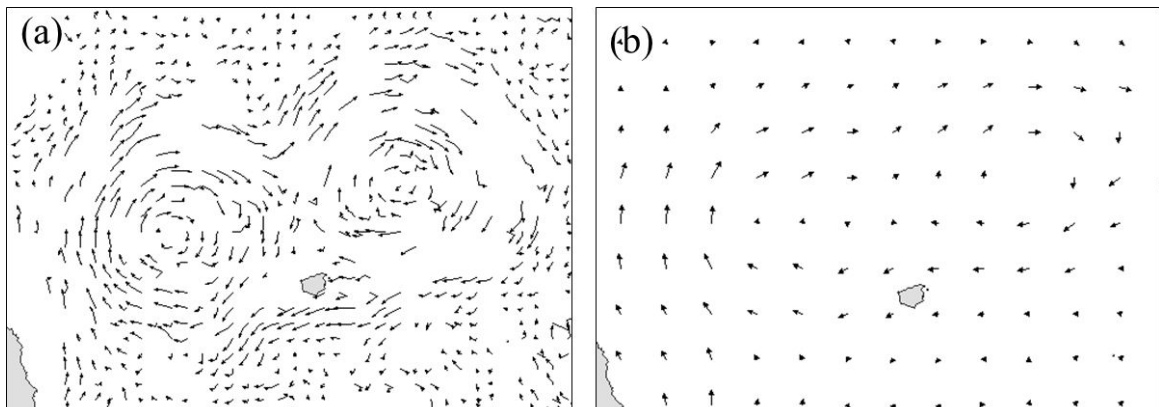


그림 24 (a) COSCE 알고리즘 결과, (b) AVISO의 해수면 높이로부터 계산된 지형류

또한, 해수면 온도와도 검증을 실시하였다. 해수면 온도는 GHRSSST의 해수면 온도 자료를 이용하였으며 비교 결과 해수면 온도 경계선을 따라 흐르는 해수면 흐름의 경향이 파악되었다 (그림 25).

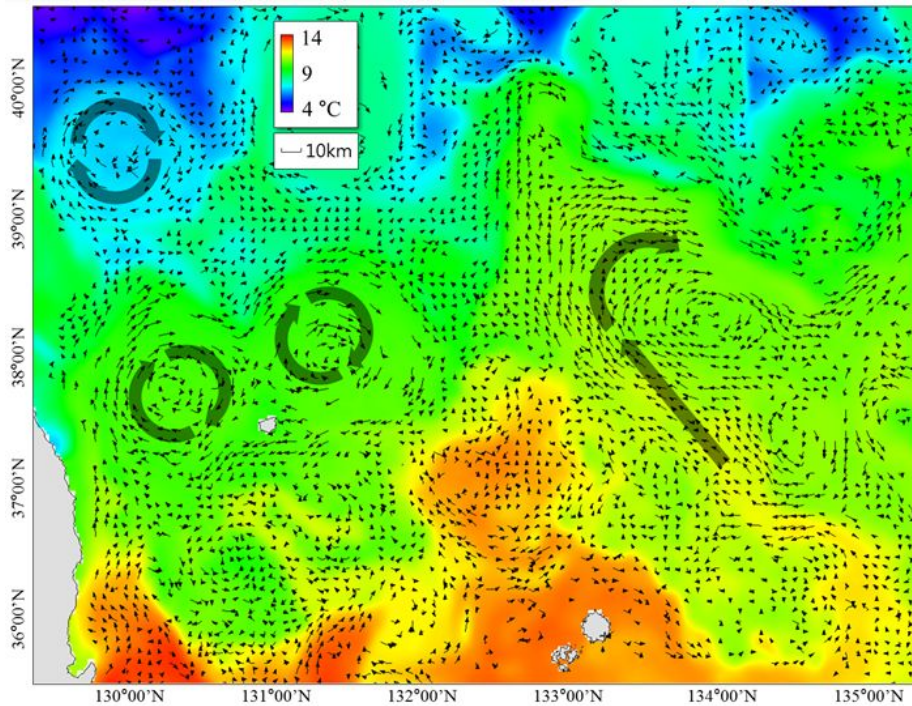


그림 25 (컬러영상) GHRSSST 해수면 온도 자료, (화살표) COSCE 결과

또한 연안 해수 부유물 농도와 수치모델과의 상관성 분석을 위하여 2012년 10월 23일에 획득된 GOCI 영상의 해수 부유물 농도와 조석 모델링 자료를 활용하여 분석한 결과, 부유물 농도가 높은 9시 영상의 경우 조석세기는 100 cm/s 이상인 값을 가지며 외해로부터 내해로 들어오는 것을 알 수 있다. 반면에 12시 영상의 경우 조석세기가 점차 줄어든 것을 알 수 있으며 이 후 16시 영상의 경우에는 반대로 다시 조석 세기가 강해지면서 내해에서 외해로 조석이 나가는 것을 알 수 있다 (그림 26).

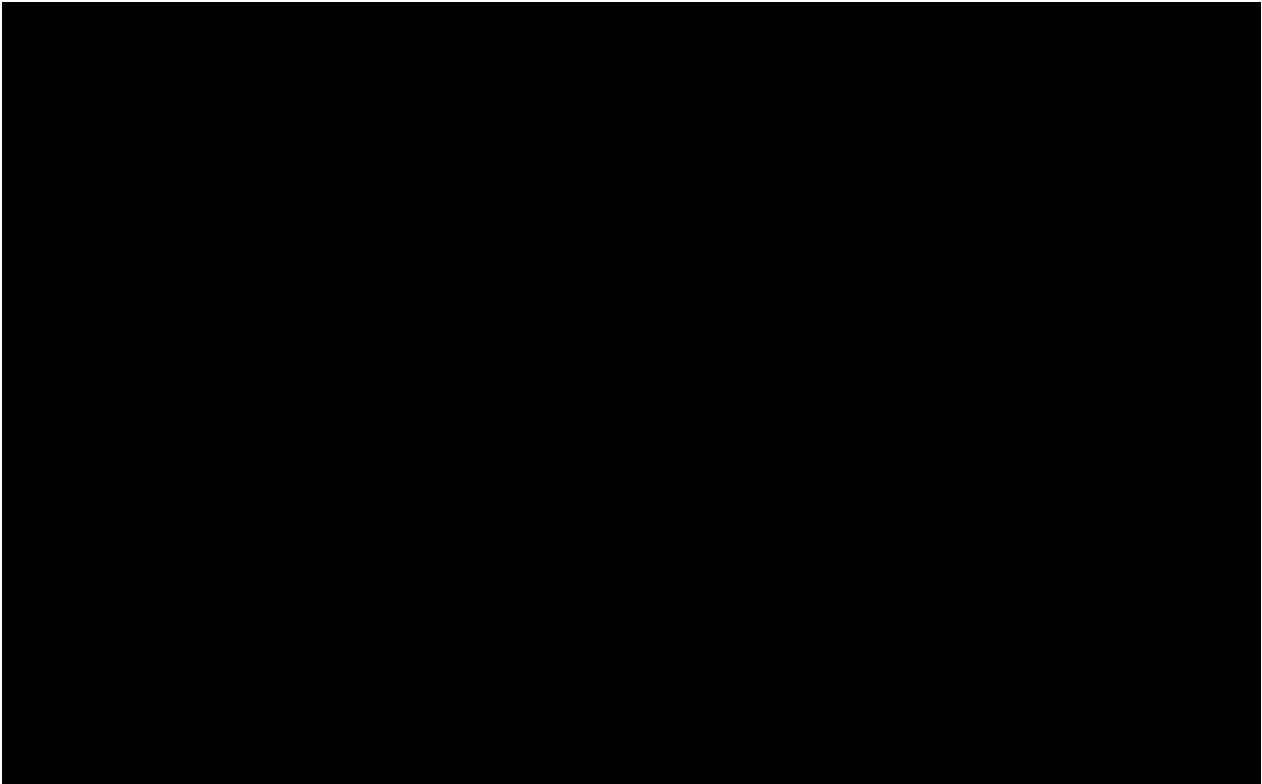


그림 26 2012년 10월 23일에 획득된 GOCI 영상의 해수 부유물 농도 및 조석 모델링 결과

제 3 절 갯벌 생물 서식굴의 물질수지 기여

1. 칠게 서식굴의 구조 및 특성 분석

칠게 서식굴 구조특성 분석을 위하여 황도 지역에서 먹이활동 실험지역의 칠게 서식굴을 대상으로 레진 캐스팅에 의한 굴 구조 분석을 실시하였다 (표 1).

표 1 칠게 서식굴 크기 및 구조 특성

Species	N	No. of opening	Burrow length (cm)	Burrow depth (cm)	Burrow wall surface area (cm ²)
Macrophthalmus japonicus	7	1.7±0.7	61.3±40.2	14.2±5.3	503±223

칠게 행동의 특성을 분석하기 위하여 노출 동안의 먹이활동 시간 등 행동 특성 조사 (7개 카테고리 세분화) 하였으며 시간대별 행동양상의 분포 차이를 확인하였다 (표 2 및 그림 27).

표 2 실험기간 동안의 칠게 행동양상 구분

Grop	Category	Mean hour
Inside burrow		1.5±0.7
	Staying inside burrow (crab not visible)	1.1±0.6
	Staying burrow entrance (crab visible)	0.4±0.3
Activities on the surface		4.2±1.4
	Maintenance/reconstruction of burrow	0.1±0.1
	Feeding on sediment	3.6±1.3
	Walking/knocking (with chela on the surface)	0.4±0.1
	Agonistic interaction (defending the burrow against other crabs; combat)	0.1±0.1
Immobility on the surface		0.9±0.6
	Immobile outside burrow	0.9±0.6

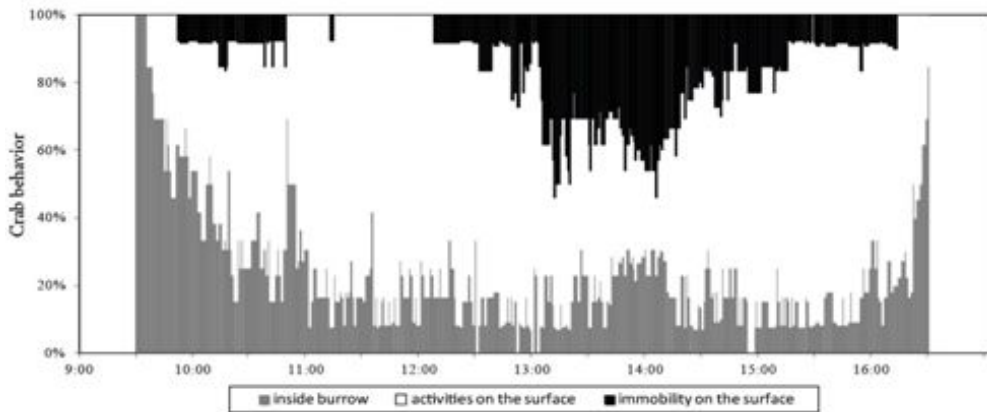


그림 27 시간에 따른 칠게 행동특성 분포

2. 유기물 제거율

유기물 제거율 연구 결과 Feeding pellet 내 유기물 함량 최대 45%가 제거되었으며 칠게의 먹이활동에 의해 퇴적물 내 POC 45%, PON 40%가 제거되었다. 유기물의 제거 속도는 POC $1.89 \text{ mmol C m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, PON $0.24 \text{ mmol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 으로 나타났다.

○ 엽낭계 및 feeding pellet 특성

- 엽낭계 크기(N=30): 길이 $6.21 \pm 1.46 \text{ mm}$, 습중량 $0.25 \pm 0.18 \text{ g}$
- 서식굴 직경(N=30): $6.50 \pm 1.41 \text{ mm}$
- Pellet 크기(N=118): 지름 $2.44 \pm 1.03 \text{ mm}$, 건중량 $0.13 \pm 0.09 \text{ g}$

- 1 조석주기 동안 약 0.03 cmm 두께의 퇴적물 섭취

* 엽낭게에 의한 연간 갯벌퇴적물 섭취율: 약 7.2 cm yr⁻¹



그림 28 엽낭게(*Scopimera globosa*)와 pellet

표 3 엽낭게(*Scopimera globosa*)의 pellet 특성 및 퇴적물 섭취량

Scopimera globosa			Pellet		Feeding volume(cm ³)	Feeding height (cm)
Length(mm)	WWtg(g)	Burrow (mm)	φ (mm)	DWtg(g)		
6.21±1.46	0.25±0.18	6.50±1.41	2.44±1.03	0.13±0.09	25.69±8.28	0.03±0.01

또한 엽낭게 먹이활동에 의한 유기물 제거량은 퇴적물 내 POC 33%, PON 36% 으로 나타났다 (그림 29).

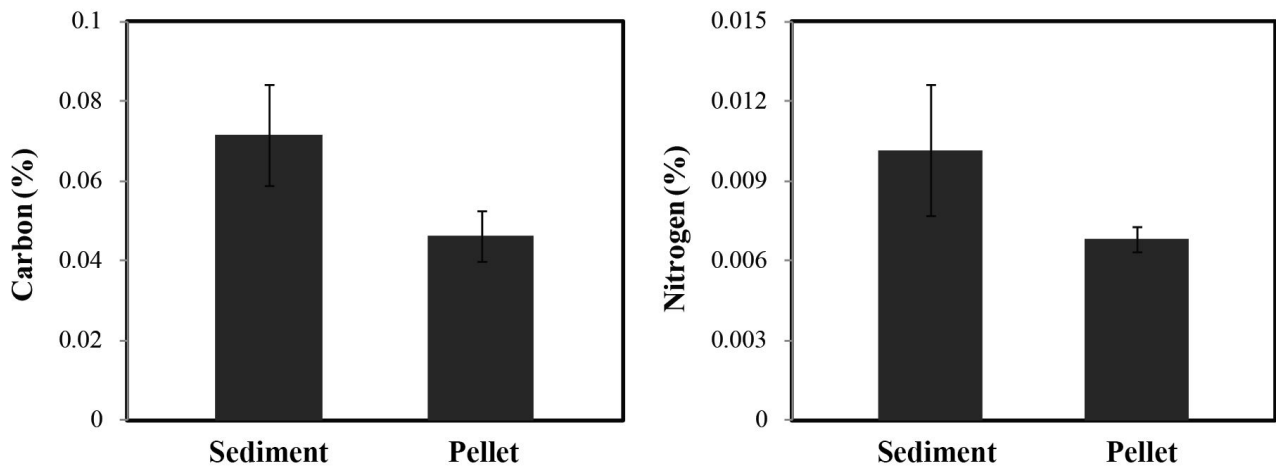


그림 29 엽낭게 섭식 전 (sediment)과 후 (pellet)의 퇴적물 내 유기물 함량 비교

제 4 절 갯벌 퇴적환경 특성 분석

1. 영상자료를 활용한 갯벌 퇴적상 분류

영상자료로부터 갯벌 퇴적상 분류 분석을 위하여 강화도 지역에서 획득된 KOMPSAT-2 영상으로부터 조류로 추출하였다. 각 영상으로부터 추출된 2007년 2월과 2012년 5월의 조류로 네트워크를 분석한 결과, 조류로 네트워크의 복잡성과 밀도를 나타내는 프랙털 차원 값의 경우 펄 퇴적상에서는 1.9 정도의 높은 값을 가지는 반면에 혼합 퇴적상에서는 1.5의 낮은 값을 가진다 (그림 30). 즉, 펄 퇴적상에서는 조류로 네트워크가 복잡하게 발달하고 밀도가 높은 반면에 혼합 퇴적상에서의 조류로 네트워크는 단순하게 발달하고 밀도가 낮게 분포하는 것을 알 수 있다. 또한 약 5년 동안 조류로 네트워크는 크게 변하지 않았다.

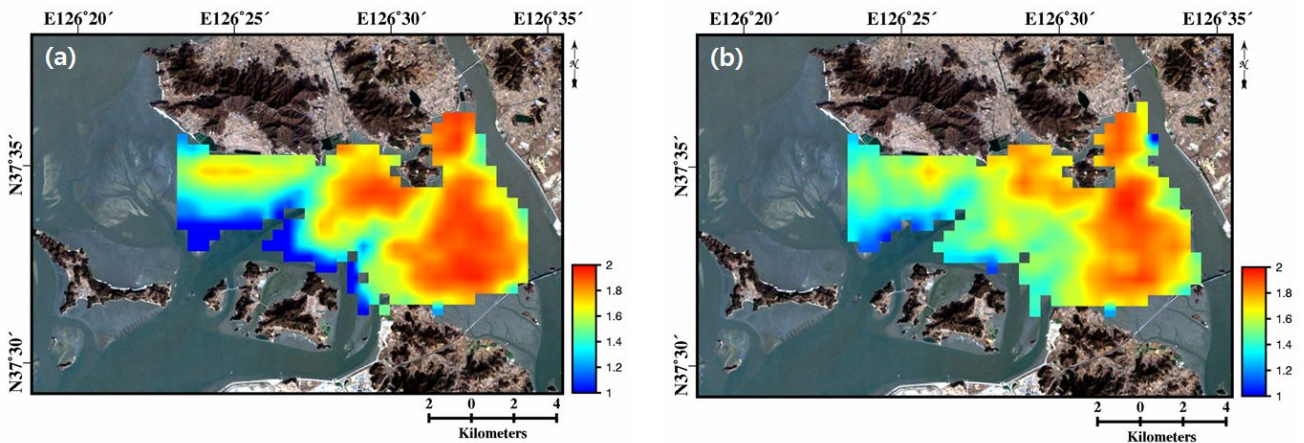


그림 30 KOMPSAT-2 영상으로부터 추출된 2007년 2월과 2012년 5월의 fractal 차원

또한, 갯벌 퇴적상 분류를 위하여 객체기반 영상분류방법을 활용하였다. 이 방법은 픽셀 기반의 영상자료를 공간적으로 연속적이고 균질한 '객체'라는 segment로 변환한 후, 현장조사로 기 정의된 분류지표를 각 객체에 할당하는 방식의 분류방법이다. eCognition 프로그램내의 객체기반 영상분류방법을 무인원격탐사 시스템으로부터 획득하여 8cm의 공간해상도를 가지는 정사영상에 적용하여 퇴적상 분류를 실시하였다. segment를 10 이하로 적용 시 너무 많은 segment들이 생성이 되고 정사영상의 데이터 용량이 너무 커 프로그램이 정상적으로 작동하지 않는 어려움이 발생하여 segment를 20하여 분석을 수행하였다 (그림 31).

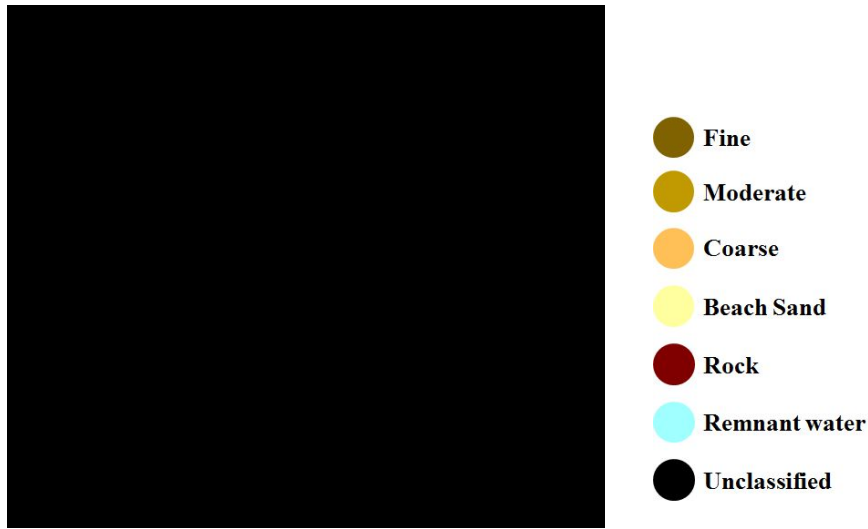


그림 31 객체기반 영상분류법으로 분석된 표층 퇴적상 분포도

분석결과 무인원격탐사 시스템으로 획득한 영상의 경우 퇴적상 뿐만 아니라 지표잔존수가 있는 경우도 구분이 가능하다. 또한 최고 고조선에 위치한 작은 규모의 바위들도 구분이 가능했다. 기존의 고해상도 광학위성영상을 사용할 경우 퇴적상에 따른 분류만 가능했지만 무인원격탐사 시스템을 사용할 경우 잔존수와 바위도 구분하였다. 하지만, 근적외선 센서의 부재로 인하여 잔존수와 함수율이 높은 세립질의 퇴적상에서 오분류가 나타났다. 향후 근적외선 센서가 추가된다면 채널 주변, 잔존수가 있는 지역, 함수율이 높은 퇴적상의 구분 정확도가 향상될 것으로 판단된다.

2. 위성 영상을 활용한 갯벌 지형변화도 분석

갯벌의 지형 변화도 작성을 위하여 2009년부터 2012년까지 획득된 총 9장, 1999년부터 2002년까지 획득된 총 6장의 Landsat ETM+ 영상으로부터 강화도 조간대와 해수의 경계면인 경계선을 추출한 후 이들에 절대고도 값인 조위를 대입하고 내삽하여 DEM 생성하였다. 그 결과 강화도 갯벌의 지형은 전체적으로 영종도 북단의 경우 700cm 이상의 높은 지형을 가지는 반면에 여차리 및 동막리 부근에서는 400 ~ 500cm 의 낮은 지형을 가진다.

2000년대에 획득된 영상을 이용하여 생성된 DEM과 2012년대 획득된 영상을 이용하여 생성된 DEM의 변화를 분석한 결과, 전체적으로 강화도 남단 갯벌에서는 퇴적되는 경향이 나타나며 영종도 북단의 경우 지형 변화가 침식 경향으로 나타난다. 하지만 이곳은 지형이 매우 높은 곳으로 거의 지형 변화가 없는 것으로 알려져 있으며 항상 노출되어 나타난다. 추출된 해안선으로부터 내삽법으로 생성된 DEM의 경우, 만조 때 잠기지 않으며 항상 노출되어 있는 지형은 내삽 방법의 한계로 인하여 DEM 정밀도가 낮기 때문에 지형 변화를 관찰하기 어려움이 있다 (그림 32).

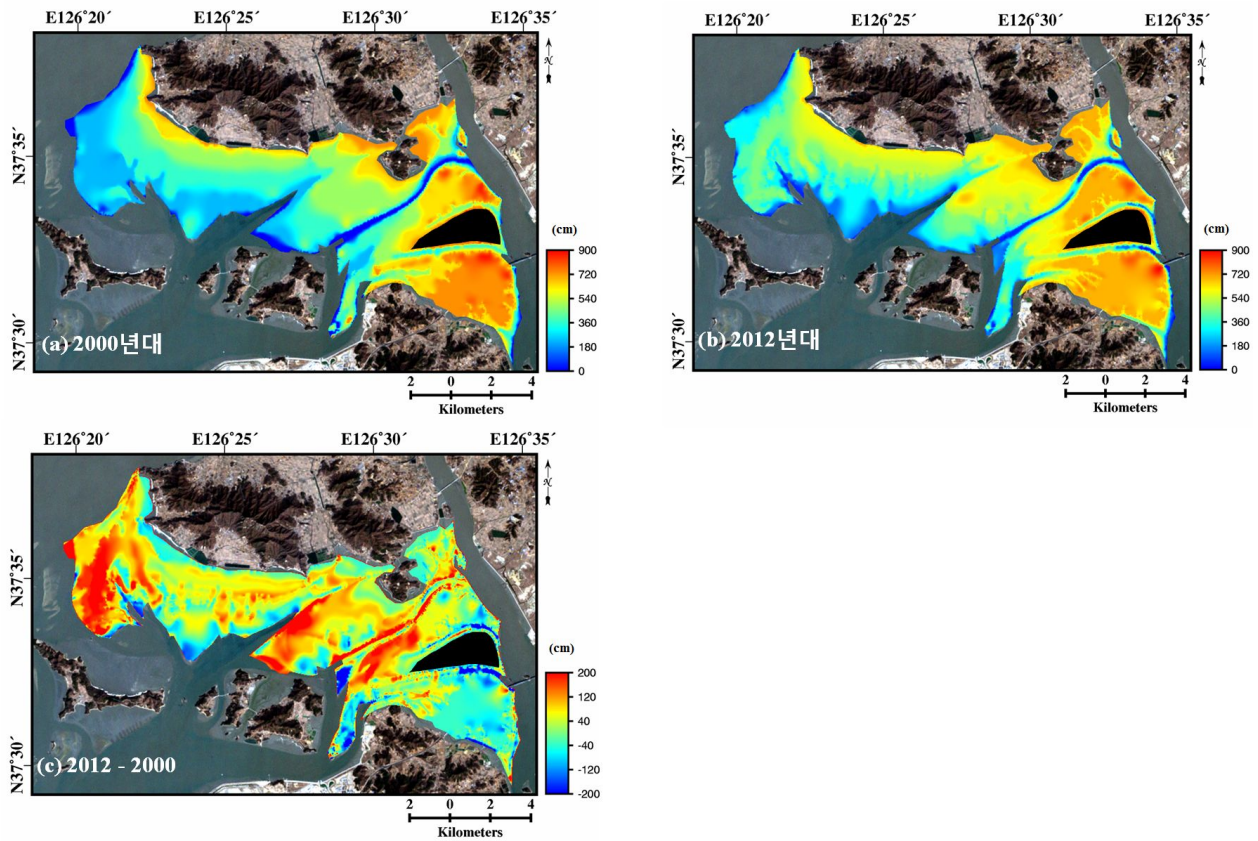


그림 32 (a)2000년대 DEM, (b) 2012년대 DEM, (c)2012년과 2000년대 DEM의 차이

추출된 해안선으로 약 10여년 동안의 해안선 변화를 관측한 결과, 주로 퇴적이 많이 일어난 여차리 및 동점도 부근에서 해안선 변화가 일어난다. 또한 지형이 높아짐에 따라 비슷한 조위의 해안선 면적이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다 (그림 33).

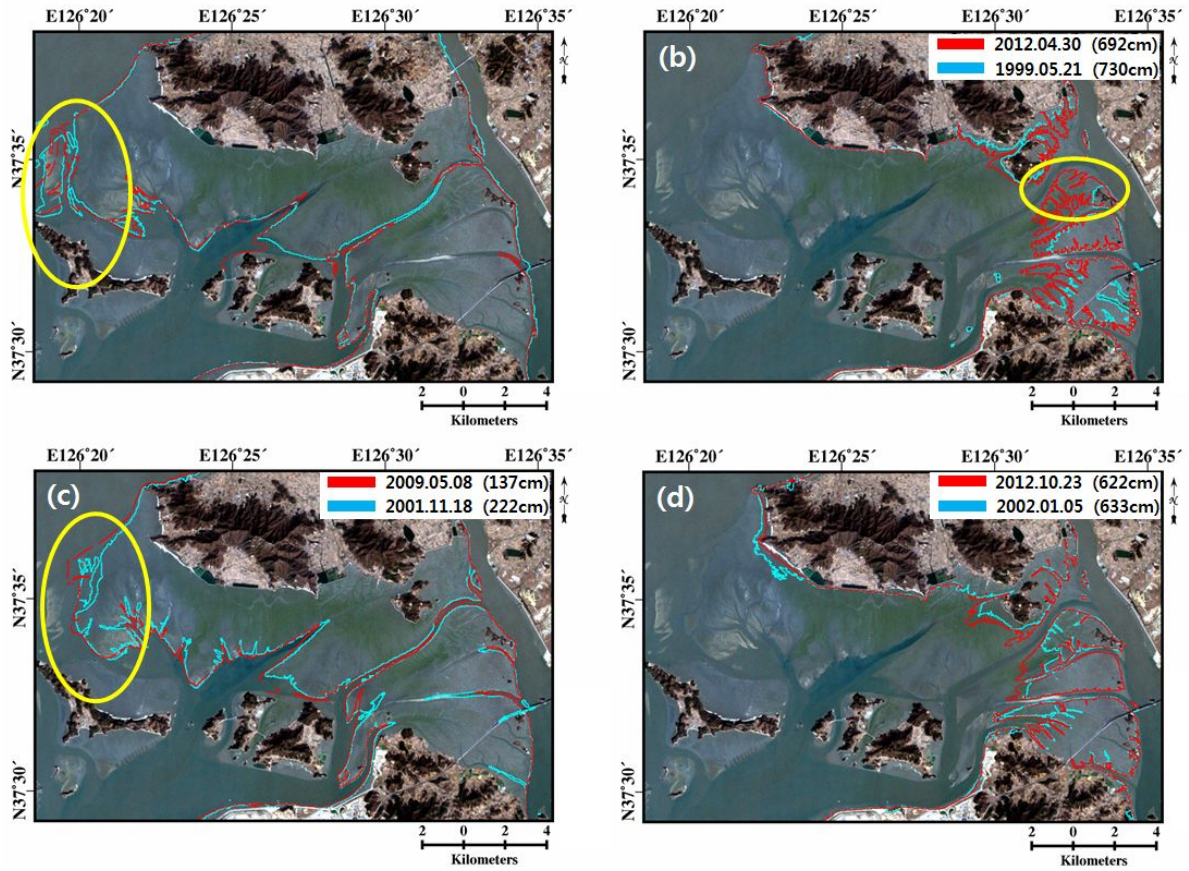


그림 33 추출된 해안선 변화

더 정확한 지형변화를 관측하기 위하여 RTK-GPS를 통한 실측 자료를 비교 분석하였다. 그 결과 전체적으로 동검도 및 동막리 부근에서 지형이 높아진 것을 확인 할 수 있다. 특히 동검도의 경우 3년 동안 최대 1m 정도가 퇴적되었으며, 동막리 부근에서도 약 5년 동안 최대 1m 이상의 퇴적이 나타난다 (그림 34).

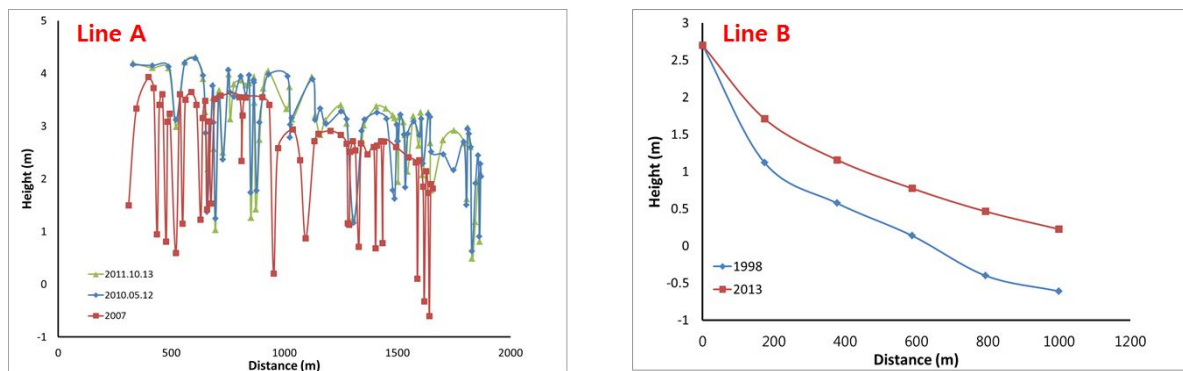


그림 34 RTK-GPS를 통한 실측 자료를 비교 분석 결과

3. 메탄가스 발생량 분포도 작성기술 개발

메탄가스 분석을 위하여 메탄은 기체크로마토그래피 (GC, gas chromatography) 수소불꽃이온화검출기 (FID, flame ionization detector)를 이용하여 정량화하였다. 반복 정밀성 (상대표준편차, $RSD = \text{표준편차} / \text{평균} \times 100$)은 0.7~4.5%이다. 닫힌플럭스챔버 (closed flux chamber)에 의한 메탄 배출량을 산출(예, 김, 2007)하였으며, 챔버로부터 일정한 시간간격으로 채취한 메탄 농도를 이용하여 갯벌 퇴적물에서 배출된 메탄 배출량 (F)은 다음 식에 의해 계산하였다 (그림 35).

$$F = \rho \times V / A \times \Delta C / \Delta t \times 273 / (273 + T)$$

F: flux ($\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)

ρ : density of gas (mg m^{-3})

V: volume of the chamber (m^3)

A: the bottom area of the chamber (m^2)

$\Delta C / \Delta t$: the average changing rate of concentration with time (ppmV hr^{-1})

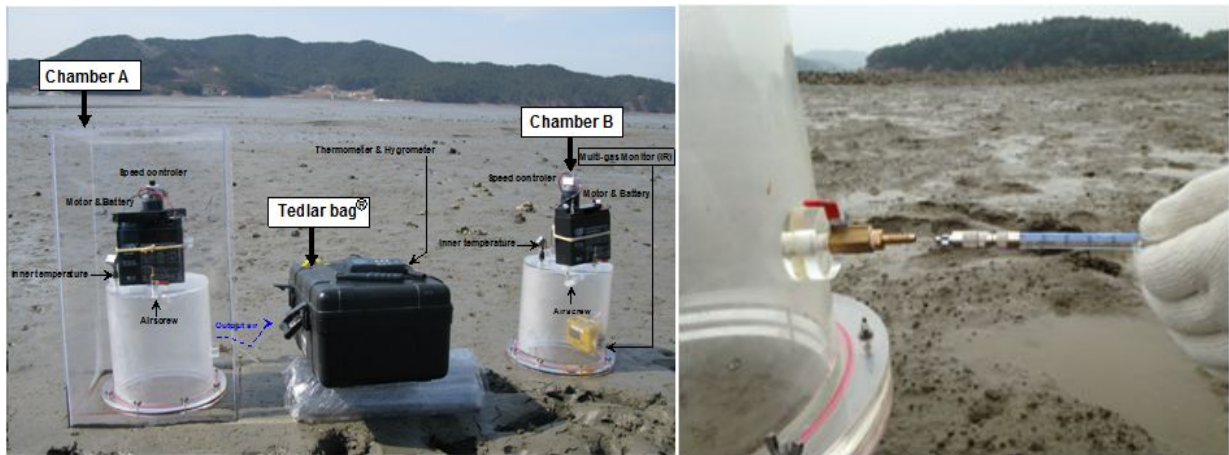


그림 35 (좌) 챔버와 테들러백 채취 장치, (우) 챔버 메탄가스 샘플링

갯벌 저서생물 서식굴에 따른 메탄 발생량 ($\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)을 조사한 결과, 칠게와 엽낭게 서식굴이 존재하는 갯벌에서는 비 서식굴 지역과 달리 음의 값을 보이고 있다 (표 4). 이는 서식굴이 대기의 메탄 온실기체에 대해 완충역할을 하고 있음을 시사한다. 또한 엽낭게 서식지에서 양의 메탄가스 배출량이 높게 나타난 것은 칠게 서식지의 니질 퇴적상과 달리 모래질 때문으로 파악된다 (그림 36).



그림 36 칠게 및 엽낭게 서식굴 모습

표 4 메탄 가스 배출량 +: 배출; -흡수

저서생물	서식굴	비 서식굴
칠게	-0.2	+0.1
엽낭게	-1.6	+0.7

갯벌의 메탄가스 발생과 서식굴의 역할 분석을 위하여 칠게 서식지에서의 메탄 농도 분석을 실시하였다. 칠게 서식굴 해수의 메탄 농도는 49 nmol L^{-1} 으로 나타났다. 황해의 표층수는 $3\sim 12 \text{ nmol L}^{-1}$ 의 값을 가지며 (Yang et al., 2010), 조류세곡(tidal creeks)의 경우 $550\text{-}850 \text{ nmol L}^{-1}$ 을 가진다(Deborde et al., 2010).

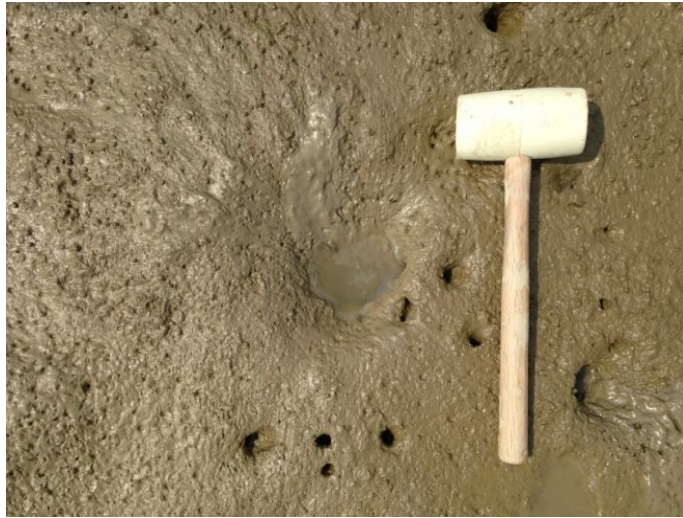


그림 37 서식굴 모습

칠게 서식굴 해수는 썰물동안 대기에 노출 되면서 비 서식굴 갯벌에서 보다 상대적으로 많은 메탄 온실기체를 함유하는 것으로 나타난다. 즉, 이것은 갯벌 서식굴 해수에 높은 메탄 농도는 퇴적물의 생지화화학적 과정에 의해 발생된 메탄이 농축되고 있음을 말해준다.

또한, 칠게의 생태와 메탄가스 발생의 연관성을 알아보기 위하여 실험실 조사를 실시하였다.

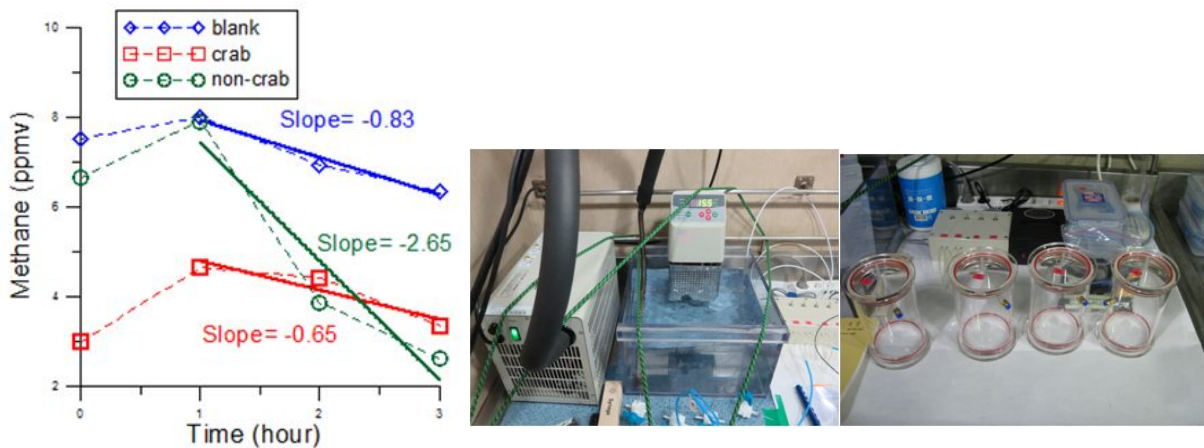


그림 38 (좌) crab: 칠게+해수+갯벌 퇴적물 및 non-crab: 해수+갯벌 퇴적물, (중앙) 메탄 가스 조사를 위한 항온장치, (우)챔버

칠게와 해수 및 퇴적물이 있는 챔버(crab, 빨간색)에서 시간에 따른 기율기는 바탕값(blank, 파란색)의 것과 비슷하다. 그러나 칠게가 없는 챔버(non-crab, 녹색)에서는 급격한 기율기를 보임 즉, 메탄농도가 시간에 따라 큰 폭으로 감소한다. 따라서 칠게의 생태는 서식굴의 메탄 발생량과 관계하는 것으로 보여지며 (그림 38), 그 기작에 관해서는 연구가 진행 중이다.

가로림만 도내리 갯벌에서도 메탄가스 발생량을 산출하였다. 현장조사는 2014년 8월 31일 ~

9월 1일(2일간)에 간조때 실시하였으며, 노출된 갯벌의 CH₄ 가스 플럭스(흡수/방출)를 계산하였다. 즉, 가로림만 안쪽 간조때 노출표면의 CH₄ 가스 자연배출(natural source) 자료 축적 목적을 위해 도내리 갯벌(EU-0정점 근처)의 간조시 1일 최대 3회 닫힌 챔버법(Closed-Chamber Method)을 이용하여 CH₄ 가스 플럭스 현장 실험을 실시하였다. 그 결과 CH₄ 가스 플럭스 범위는 -0.018(흡수원) ~ +0.031(배출원) mg/m²·hr 수준을 보인다. 주변 태안지역의 갯벌에서와 비교해보면, CH₄ 플럭스가 낮은 수준으로 나타났다 (표 5). 2013년도 결과, 황도(-0.17~+0.23 mg/m²·hr, 실트모래), 신두리(-0.18~+0.45, 모래), 소근리(-0.17~+0.23, 실트모래)이다. 2일 연속 관측결과 도내리(EU-0정점 근처) 갯벌 표층 퇴적물 특성은 간조때 CH₄가스 흡수원에서 배출원으로 작용한다. 하지만 추후 간조/만조때 24시간 연속관측을 통해 흡수원에서 배출원으로 작용하는 요인 및 시점(시간)에 대한 연구가 필요하다.

표 5 가로림만 갯벌의 메탄가스 발생량

2014년 8월 31일 +: 방출원; -흡수원			
	1 st 11:00 ~ 12:20	2 nd 13:00 ~ 14:20	3 rd 15:00 ~ 16:20
표층 퇴적물 메탄 가스 플럭스	-0.018 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹	+0.016 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹	+0.004 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹
2014년 9월 1일 +: 방출원; -흡수원			
	1 st 11:00 ~ 12:20	2 nd 13:00 ~ 14:20	3 rd 15:00 ~ 16:20
표층 퇴적물 메탄 가스 플럭스	-0.154 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹	+0.026 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹	+0.031 mg·m ⁻² ·hr ⁻¹

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

구 분	목 표	내용 및 범위	달성도
1차년도 (2013)	- 갯벌 생태환경 분포도 작성	- X-밴드 SAR영상을 이용한 갯벌의 지형정보 및 토양수분함유정보 연구 - X-밴드 SAR영상의 coherence를 사용한 염생 식물 분포특성 연구 - 저서미세조류의 분광특성 연구	100%
	- 한반도 주변 해수 특성 분석	- 연안해수부유물의 조석에 따른 시계열 변화 연구 - GOCI를 이용한 ocean surface current 모델 개발 - 연안해수 부유물 농도와 수치모델과의 상관성 연구	100%
	- 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석	- 칠게 서식굴의 구조특성 분석 및 유기물 제거율 연구 - 엽낭게 서식굴의 구조특성 분석 및 유기물 제거율 측정 및 생태와의 상관성 연구	100%
	- 갯벌 퇴적환경 특성 분석	- 고해상도 광학영상을 사용한 갯벌 퇴적상 분류도 작성 - 칠게/엽낭게 서식지의 메탄가스 발생량 측정 - 위성영상을 사용한 갯벌의 지형변화도 분석 연구	100%
2차년도 (2014)	- 갯벌 생태환경 분포도 작성	- 무인원격탐사 기반의 단기 갯벌 지형변화 관측을 위한 갯벌 수치표고모델 생성방법 고도화 - 무인원격탐사 기반의 갯벌 표층퇴적상 분포도 생성방법의 고도화	100%
	- 갯벌생물 서식굴의 물질수지 기여도 분석	-갯벌의 서식굴과 대기간 메탄 생지화학적 순환 연구	100%
	- 갯벌 퇴적환경 특성 분석	-메탄가스 플럭스 특성 분석	100%

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

- 국내 연안 습지환경의 자연배출원으로부터 온실기체 배출량 자료 제공
- 갯벌과 연안의 생지화학적 특성에 따른 온실기체 배출량 조사는 기후변화에 미치는 영향뿐만 아니라 국제협약 등에 의해 지구기후변화 대책 수립을 위해서 요구되는 국내 온실기체 배출량과 배출인자의 정확한 산출을 위해서 필연적임
- 조력발전소, 해양바이오디젤 생산적지선정 등 친환경 녹색성장산업 추진을 위한 주요 분석자료로 활용 가능
- 높은 공간해상도를 가지는 갯벌 주제도는 국내 연안환경의 변화를 단기 또는 장기적으로 모니터링하기 위한 기초자료로 활용 가능함
- 정밀도가 높은 갯벌 주제도 작성을 통해 갯벌의 효율적인 관리 및 복원 방안 수립 지원이 가능함
- 위성과 모델의 융합기반기술 수립 이후, 시계열 영상자료는 운용해양시스템과 연계 활용함으로써, 명실공히 입체적 운용해양정보 시스템 운용

제 6 장 참고문헌

- 김득수, 2007. 온실기체 (CH₄, CO₂, N₂O)의 하구언갯벌 배출량과 배출특성연구. 한국대기환경학회지, V.23(2), pp.225-241.
- 나정열, 유승협, 서장원, 2000, 서해 제부도 해역의 간조시 갯벌 퇴적층내 지온 및 열수지의 계절변화, 한국해양학회지 「바다」 5(1): 1-9
- 이상호, 조양기, 유광우, 김영곤, 최현용, 2005, 서해만 곰소만 갯벌 온도의 구조 및 변화, 한국해양학회지 「바다」 10(1): 100-112
- 최용석, 2002, 서해안 조간대 (태안) 표층 퇴적층의 사계절 온도 변화에 관한연구: 박사학위논문, 서울대학교
- Brock, J., C. W. Wright, T. D. Clayton and A. Nayegandhi, 2004, LIDAR optical rugosity of coral reefs in Biscayne National Park, Florida, Coral Reefs, v.23, pp.48-59.
- Choi, J.K., Eom, J. and 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, v.280, pp.205-211.
- Collin, A., Long, B., Archambault, 2010, Salt-marsh characterization, zonation assessment and mapping through a dual-wavelength LiDAR, Remote Sensing of Environment, v.114(3), pp.520-530.
- Coveney, S., Fotheringham, S, Charlton, M. and McCarthy T., 2010, Dual-scale validation of a medium-resolution coastal DEM with Terrestrial LiDAR DSM and GPS, Computers and Geosciences, v.36, pp.489-499
- Guerreonerobinson, D.A., 2011, Analysis and evaluation in shoreline detection in the South Holland province, using images in quad polarization mode from TerraSAR-X, Enschede, University of Twente Faculty of Geo-Information and Earth Observation ITC.
- Harris, W. D. and M. J. Umbach, 1972, Underwater mapping, Photogrammetric Engineering, v.38, pp.765-772.
- Heygster G., J. Dannenberg, and J. Notholt, 2010, Topographic mapping of the German tidal flats analyzing SAR images with the waterline method, IEEE Trans Geosci. Rem. Sensing, v.48(3), p.1019-1030.
- Lee, Y. K., J. A. Eom, J. H. Ryu and J. S. Won, 2008, Analyzing spectral characteristics of *Suaeda japonica* and its distribution associated with morphologic change of the ganghwa-do tidal flat, KOREA, IGASS 2008, Boston, USA, CD_ROM version.
- Marghany, M. and Hashim M., 2010, Different polarised topographic synthetic aperture radar (TOPSAR) bands for shoreline change mapping, International Journal of the Physical Sciences, V.5(12), pp.1883-1889.
- Schumann, G., Matgen, P., Cutler, M.E.J., Black, A., Hoffmann, L., Pfister, L., 2008,

Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., v.63, pp. 283-296.

Zhao, B., H. Guo, Y. Yan, Q. Wang and B. Li, 2008, A simple waterline approach for tidelands using multi-temporal satellite images: A case study in the Yangtze Delta, Estuarine coastal and shelf science, v.77, pp134-142.

주 의

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