

인공위성기반 연안 양식시설 관리시스템 프로토타입 개발

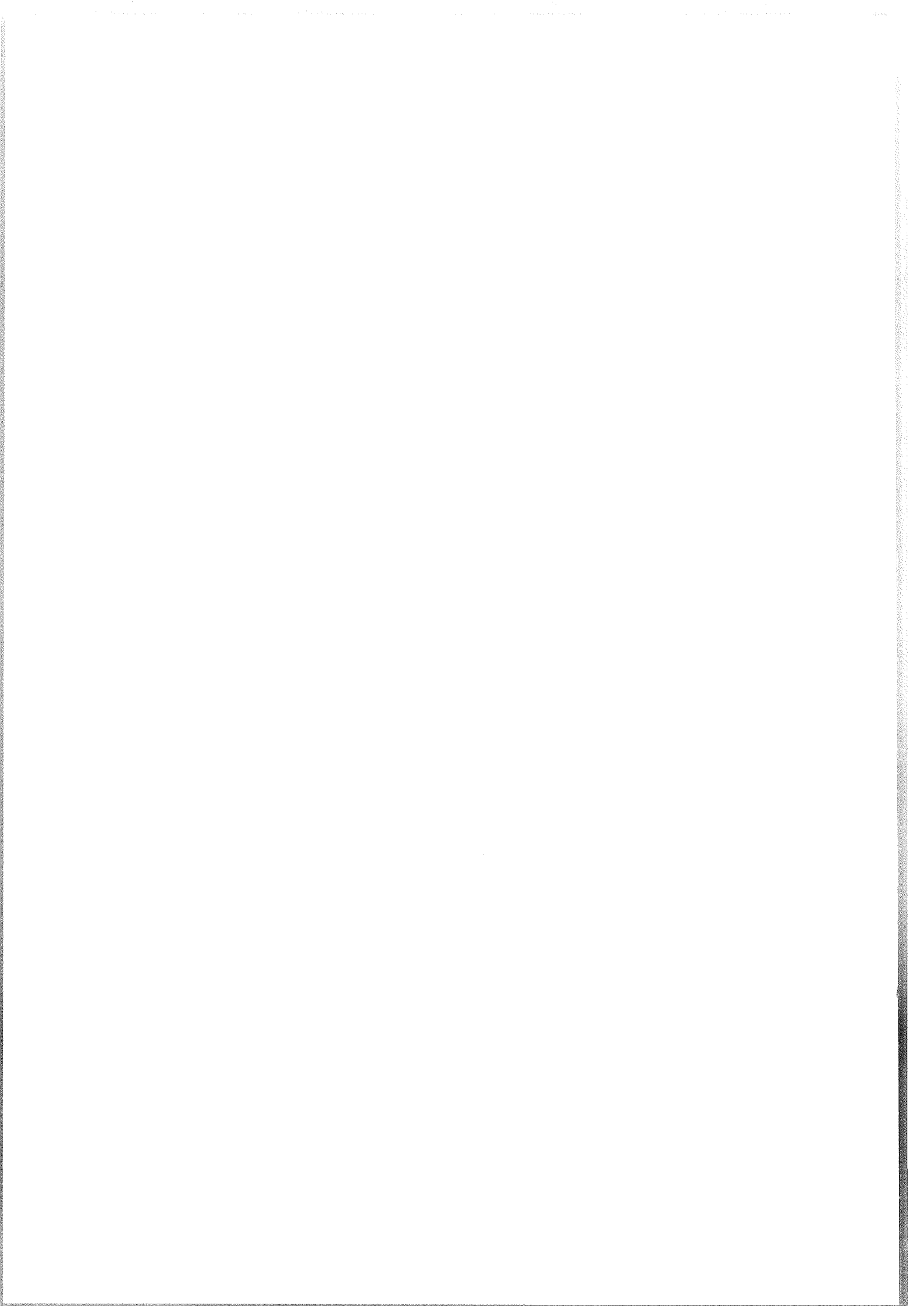
(Prototype Development for Management System
of Coastal Farm Facility Using Satellite Data)

한국해양연구원

2010-181

농림수산식품자료실	
등록번호 :	4719
등록일 :	2012년 4월 10일

농림수산식품부



제 출 문

농림수산식품부 장관 귀하

이 보고서를 “인공위성기반 연안 양식시설 관리시스템 프로토타입 개발” 과제의 보고서로 제출합니다.

2010 년 9 월 19일

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 양 찬 수

연 구 원 : 유 흥 룡

연 구 원 : 정 갑 식

연 구 원 : 조 성 익

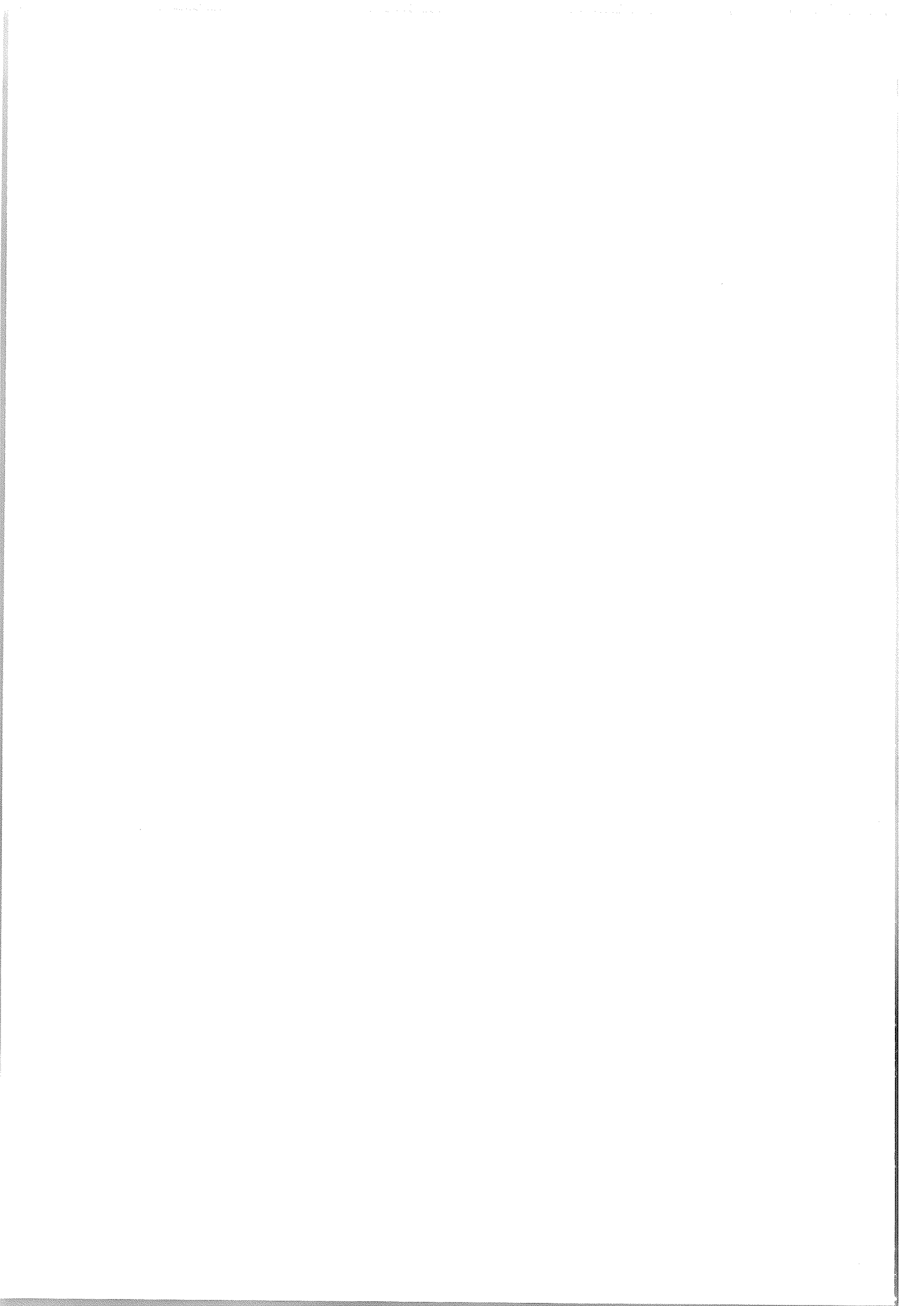
연 구 원 : 정 정 수

연 구 원 : 송 정 환

연 구 원 : 오 은 경

연 구 원 : 이 동 식

연 구 원 : 박 성 민



요 약 문

I. 제 목

인공위성기반 연안 양식시설 관리시스템 프로토타입 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1) 연구의 목적

- 체계적인 연안 양식시설 관리 시스템 개발
- 인공위성을 활용한 연안 양식시설 정보 수집 및 객관적 관리 기술 개발

2) 연구의 필요성

- 연안지역에 분포하고 있는 양식시설에 대한 위치, 면적, 생산자 등의 정보 관리가 미흡함
- 체계적인 관리 시스템의 개발로 국가 차원의 양식시설의 관리 혹은 생산량 조절 등이 필요함
- 아리랑 2호를 비롯한 고해상도 국가 위성영상이 생산되고 있으며, 앞으로 고정밀 자료가 얻어질 예정. 국가 위성 자료의 활용 기반 마련 필요

III. 연구개발 내용 및 범위

1) 연구해역 선정, 조사, 현장 실험

- 연구해역 선정: 해조류 양식시설 1곳을 기본 설정(제주도 남방 김 양식장)
추가로 완도군 보길도 주변 해역(미역과 전복 양식장)
- 현장 조사: 기본 시설구조, 시설량, 광학적 특성
- 현장 실험: 위성에 의한 관측 실험(광학 및 마이크로웨이브 위성)
소형 타깃에 대한 탐지 실험(마이크로웨이브 위성)

2) 광학 인공위성에 의한 연안 양식 시설량 산출 및 비교

- 광학 인공위성 자료: 아리랑 2호 활용
- 해조류 중 대표종인 김 양식장 시설 탐지 기법 개발
- 현장자료와의 비교

3) 합성개구레이더(SAR) 활용 방안 연구

- 합성개구레이더 인식용 소형 타깃 설계 및 개발
- 연안 양식 시설에 대한 SAR 신호 특성 해석

4) 연안 양식 시설관리 시스템 프로토타입 개발

- 관리 시스템 설계 및 프로토타입 개발
- 전자해도 기반 추출된 해조류(김 양식장) 정보의 가시화 틀 개발
- DB설계 및 개발

IV. 연구개발결과

- 제주도 김 양식장의 기본 시설 조사:

시설 구조도, 실제 양식시설 배치 현황 파악
ASD사의 듀얼스펙트로미터 이용 광학특성 조사

- 광학 인공위성(SPOT-5 및 아리랑 2호)이용 양식 시설 추출 모듈 개발

다중분광영상 및 PAN 영상 이용 연안 양식 시설량의 산출 및 비교 수행
양식 시설 추출 모듈(MATLAB+C)

구성: 파일 입출력, 기하보정, 정보 추출, 가시화(맵핑), 산출량 정보 생산

기하보정모듈: 해당 지역(대부도에서 평택 지역) 기준점 조사 및 목록 작성

- 합성개구레이더(SAR)의 활용 연구

다방향 합성개구레이더 인식용 소형 타깃 설계, 개발, 실험역 시험

해조류와 패류에 대한 SAR 산란 해석: X-, C-밴드

해조류: 시설의 특징이 구별될 정도로 인식 가능

패 류: 광학자료보다 식별이 용이

- 연안 양식 시설관리 시스템 프로토타입 개발 (PYTHON언어 사용)

인공위성자료, 전자해도, 데이터베이스(MySQL) 연동 모듈

양식 어장도 신규, 갱신, 취소 등 어장 면허 관리 기능 구현

양식 시설 운영관련 정보 이력 관리 기능

V. 연구개발 결과의 성과활용 계획

- 정부부처(농림수산식품부, 국립수산물품질관리원, 해양경찰청, 국립해양조사원 등) 및 지자체에 적극적인 홍보 및 의견 수렴

- 지자체 시범 사업을 통한 표준화된 전자어장도 도입

- 현재 운용중인 아리랑 2호와 2010년 말 발사예정인 아리랑 5호도 활용할 수 있는 기반 연구

SUMMARY

I. Title

Prototype development for management system of coastal farm facility using satellite data

II. Objectives and Background

1) Objectives

The purposes of this study are

- to design a module to process satellite data and extract coastal farm facilities
- to develop a prototype of management system of coastal farm facility based on database and electrical navigational charts.

2) Background

- As farm facilities continue to increase, a policy is needed to maintain a proper level of production through control of unlicensed laver farms and stabilization of supply and demand. To put such a policy into effect, it seems that continuous monitoring of laver farms is necessary.
- To manage inshore laver farms efficiently, we need to make investigations into actual sizes of farming facilities; probably, the most efficient method is by use of satellite.
- National satellite resources have been increased and KOMPSAT-5 will be launched at the end of 2010.

III. Scopes

1) Research area, field survey, and *in-situ* experiments

- Research areas: laver farm facility in the southern part of Jaebudo
for brown seaweeds and abalone the west part of Dadohae selected
- Field survey: the positions and structure of farm facility and the optical characteristic
- Experiment: monitoring test using optic and microwave satellite data
detection test about small target using microwave satellite

2) The calculation of the cultivation coastal farm and comparison with facility using optical image.

- Used optical image data: KOMPSAT-2 and SPOT

- The development of detection technique for laver farm facility.
 - The comparison with *in-situ* data.
- 3) The prototype system development for management of coastal farm facility
- The design of management system and prototype development
 - The tool development for visualizing about laver farm detected based on electronic chart
 - The database design and development
- 4) The study about application of SAR image
- The design and development of small target for indication on SAR images
 - The characteristic interpretation of SAR signal about coastal farm facility.

IV. Result of the study

- 1) Survey about laver farm facility around Jaebudo:
- Facility structure, determine the facility layout construction
 - The investigation of optical properties using dual spectrometer
- 2) The module development for extraction of farm facility using optical satellites(SPOT-5 and KOMPSAT-2).
- The calculation of the cultivation coastal farm and comparison with facility using multispectral and PAN images.
 - The module for extraction of farm facility (that is developed based on MATLAB, and C language).
 - Configuration: File import and output, geocoding, information extraction, mapping, production of cultivation information
 - The geocoding module: the survey about reference point and listing from Daebudoo to Pyeongtaek.
- 3) The prototype system development for management of coastal farm facility using PYTHON language.
- The linkage module among spaceborne data, electronic chart and MySQL(my structured query language).
 - The module implementation for the management of coastal farm facility license
 - The history management of the information about coastal farm facility administration.

V. Practical application of the study

- The promote and feedback of developed system on Government Authorities (Agriculture, Forestry and Fisheries, National Fisheries Research, Coast Guard, National Oceanographic Research Institute, etc.).
- The application of standardized electronic fishing chart through pilot project of municipality.
- The study of application method about KOMPSAT-2, and KOMPSAT-5 that will be lunched at the end of 2010.

CONTENTS

Summary in Korean	2
Summary in English	4
Chapter 1. Summary of the project	11
I. Objectives of research	11
II. Background and scope	12
Chapter 2. Status of technical development at home and abroad	13
Chapter 3. Contents and results of the study	16
I. Field experiments and surveys	16
1. Study area	17
2. Optical characteristic and field survey	18
3. Ground control points for geometric registration	21
II. Coastal farm facility based on optical satellite imagery	24
1. Data and method	24
2. Semi-automatic detection technique of laver cultivation	26
III. Detection of farm facility by spaceborne SAR	30
1. SAR scattering for farm facility	30
2. In-situ experiments	31
3. Design of omni-directional reflector antenna and experiments	33
IV. Development of coastal farm facility management system	49
1. Extraction module of coastal farm facility	50
2. Management module of farm facility	67
Chapter 4. Product of the project	74
I. Achievement	74
II. Papers and patents	76
1. Published paper	76
2. Patent application	77
3. Software registration	77

Chapter 5. Future plans and expected effect 78

Chapter 6. References 80

목 차

국문요약문	2
영문요약문	4
제 1 장 연구개발과제의 개요	11
제 1 절 연구개발의 목적	11
제 2 절 연구개발의 필요성 및 범위	12
제 2 장 국내외 기술개발 현황	13
제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과	16
제 1 절 연구 해역에 대한 기초현장 실험 및 조사	16
1. 연구 해역 검토 및 선정	17
2. 기초 현장 실험을 통한 시설 광학적 특성 및 시설구조 조사	18
3. 위성영상 기하보정을 위한 기준점 조사	21
제 2 절 광학 인공위성 기반 연안 양식 시설량 산출 및 비교	24
1. 데이터 및 연구 방법	24
2. SPOT-5 영상을 이용한 김 양식장의 자동탐지기법	26
제 3 절 합성개구레이더(SAR) 활용 방안 연구	30
1. 합성개구레이더 신호 특성 해석	30
2. 합성개구레이더에 의한 수상 및 수면 하 시설 탐지 실험	31
3. 안테나 부이 설계 및 탐지 실험	33
제 4 절 인공위성 기반 연안 양식 시설 관리 시스템 프로그램 개발	49
1. 연안 양식시설 탐지 및 추출 모듈	50
2. 양식시설 관리 모듈	67
제 4 장 연구개발 목표달성도 및 연구개발성과	74
제 1 절 목표 달성도	74
제 2 절 연구개발 성과	76

1. 논문 게재	76
2. 특허 출원	77
3. 프로그램 등록	77
제 5 장 성과활용 계획	78
제 6 장 참고문헌	80

제 1 장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

최근 연안에 존재하는 많은 양식시설의 관리가 제대로 이루어지지 않고 있는 상황이다. 지금까지 양식시설을 관리하는 수단으로 '어장도'를 사용해왔다. '어장도'란 어장의 바다 상황과 고기의 상황을 기입한 지도로서 양식 어종, 시설 위치, 소유주 등의 정보가 기록되어 있다. 하지만 이 어장도의 정보는 소유주로부터 전해 받은 정보를 기반으로 작성되기 때문에 정확한 관리를 하기에는 용이하지 못하다. 또한 양식시설 관리가 제대로 이루어지지 못하여 허가받지 않은 양식시설이 존재하며 운영되고 있는 실정이다.

각 지방해양수산청에서는 지속적으로 양식장 실태조사 및 정비와 단속을 실시하고 있다. 또한 어장이용개발 계획에 반영하여 어장 재배치 등 현실화 조치를 취해 왔음에도 불구하고, 일부 지역에서 면허지 이탈, 초과시설 등 불법시설이 상존하고 있는 것이 현실이다.

과밀 또는 초과시설을 사전에 방지하여, 양식어업의 적정시설에 의한 계획생산과 가격안정 도모를 통한 원활한 정책수립 추진이 필요하다고 할 수 있다.

농림수산식품부의 2009년 수산해양환경통계에 의하면, 천해양식어업의 어업 면적이 지속적으로 증가하고 있다. 해조류의 증가는 다른 어종보다 높은 경향을 나타내고 있으며, 김이 차지하는 비중이 높다. 패류는 굴, 피조개, 바지락, 전복 등 다양하고, 계속 생산면적이 증가하고 있다. 해조류와 패류가 전체 양식어장의 95% 이상을 차지한다. 최근 들어 특히 육상수조식 양식과 해상가두리 양식을 포함한 어류양식업의 면허 건수와 면적이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다.

본 연구에서는 해조류와 패류의 대표 종인 김과 전복 양식시설을 대상으로 하였다. 김 양식 시설에 대해서 주된 연구대상으로 하였고, 전복에 대해서는 그 활용 검토를 실시하였다.

또한, 부정확한 양식어장 정보는 해양교통 안전저해 요소로 작용한다. 어업시기가 끝나고 나서, 어장과 수면에 설치한 시설물을 거두지 않고 방치하는 것들도 문제점이라고 할 수 있다. 즉, 설치와 수거를 포함한 모든 과정에 대한 관리를 할 수 있는 방안이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 상황을 개선하고자 효율적이고 정확한 연안 양식시설을 관리하는 시스템을 구축하고자 진행되었다. 구체적인 연구개발 목적은 다음과 같다.

- 체계적인 연안 양식시설 관리 시스템 개발
- 인공위성을 활용한 연안 양식시설 정보 수집 및 객관적 관리 기술 개발

제2절 연구개발의 필요성 및 범위

아래와 같은 점에서 본 연구개발의 필요성이 있다.

- 연안지역에 분포하고 있는 양식시설에 대한 위치, 면적, 생산자 등의 정보 관리가 미흡함
- 체계적인 관리 시스템의 개발로 국가 차원의 양식시설의 관리 혹은 생산량 조절 등이 필요함
- 아리랑 2호를 비롯한 고해상도 국가 위성영상이 생산되고 있으며, 앞으로 고정밀 자료가 얻어질 예정. 국가 위성 자료의 활용 기반 마련 필요

연구개발의 내용과 범위는 다음과 같다.

- 1) 연구해역 선정, 조사, 현장 실험
 - 연구해역 선정: 해조류 양식시설 1곳을 기본 설정(제주도 남방 김 양식장)
추가로 완도군 보길도 주변 해역(미역과 전복 양식장)
 - 현장 조사: 기본 시설구조, 시설량, 광학적 특성
 - 현장 실험: 위성에 의한 관측 실험(광학 및 마이크로웨이브 위성)
소형 타깃에 대한 탐지 실험(마이크로웨이브 위성)
- 2) 광학 인공위성에 의한 연안 양식 시설량 산출 및 비교
 - 광학 인공위성 자료: 아리랑 2호 활용
 - 해조류 중 대표종인 김 양식장 시설 탐지 기법 개발
 - 현장자료와의 비교
- 3) 합성개구레이더(SAR) 활용 방안 연구
 - 합성개구레이더 인식용 소형 타깃 설계 및 개발
 - 연안 양식 시설에 대한 SAR 신호 특성 해석
- 4) 연안 양식 시설관리 시스템 프로토타입 개발
 - 관리 시스템 설계 및 프로토타입 개발
 - 전자해도 기반 추출된 해조류(김 양식장) 정보의 가시화 틀 개발
 - DB설계 및 개발

본 연구는 기존의 '어장도' 관리 방식을 개선하기위하여 인공위성영상과 데이터베이스를 도입하였다. 인공위성영상을 통하여 실제 연안에 존재하는 양식시설의 형태와 위치를 육안으로 확인할 수 있고 기존의 '어장도' 정보를 데이터베이스화하여 효율적으로 정보를 관리할 수 있다. 또한 데이터베이스 정보는 위성영상과 연동되어 어장도 정보와 비교하여 정확도를 판단할 수 있다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

국내에서는 기존의 어장도로 관리되던 양식시설을 좀더 체계적이고 효율적으로 관리하기 위하여 2004년도에 국립수산과학원에서 지리정보시스템(GIS: geographic information system)을 이용한 양식어장 정보관리 시스템은 구축하였다. 그림 2-1과 그림 2-2는 양식어장 관리시스템의 구성도와 시스템 인터페이스를 각각 나타낸다(박성은 외, 2004).

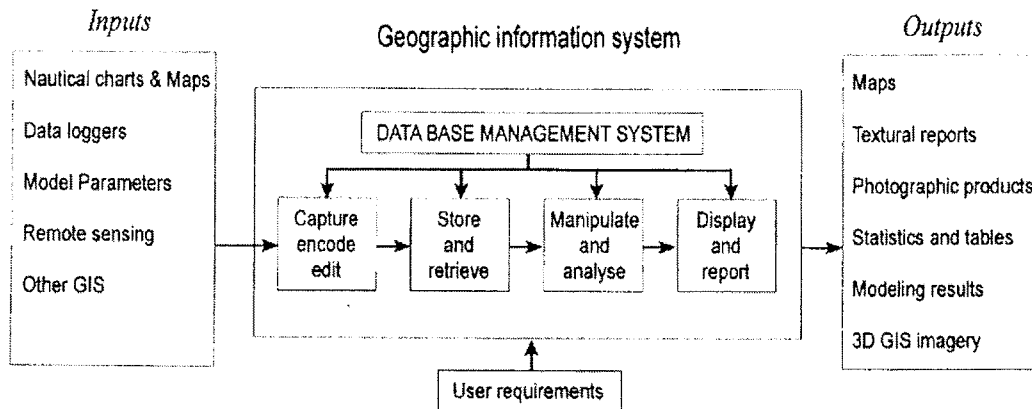


그림 2-1 GIS 기반 양식어장 관리시스템 구성도

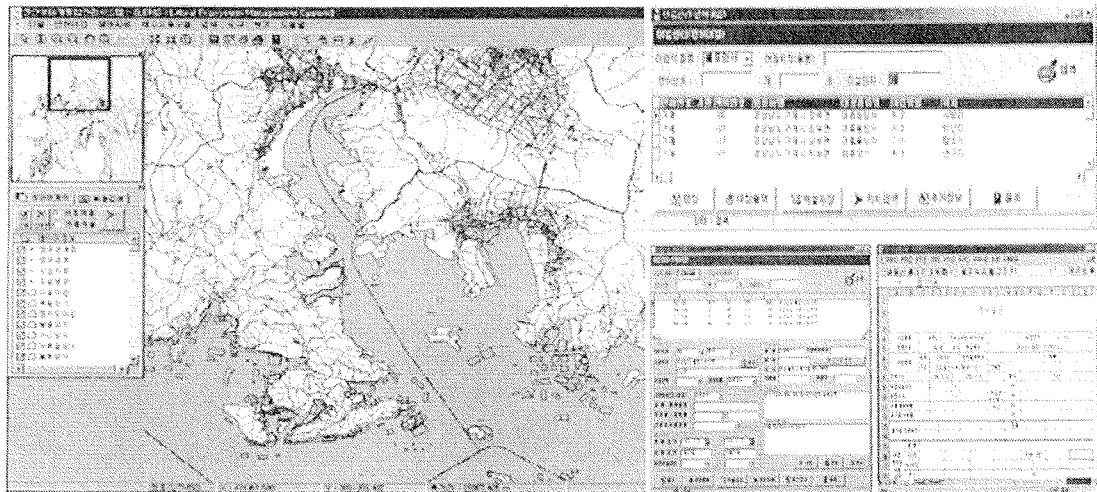
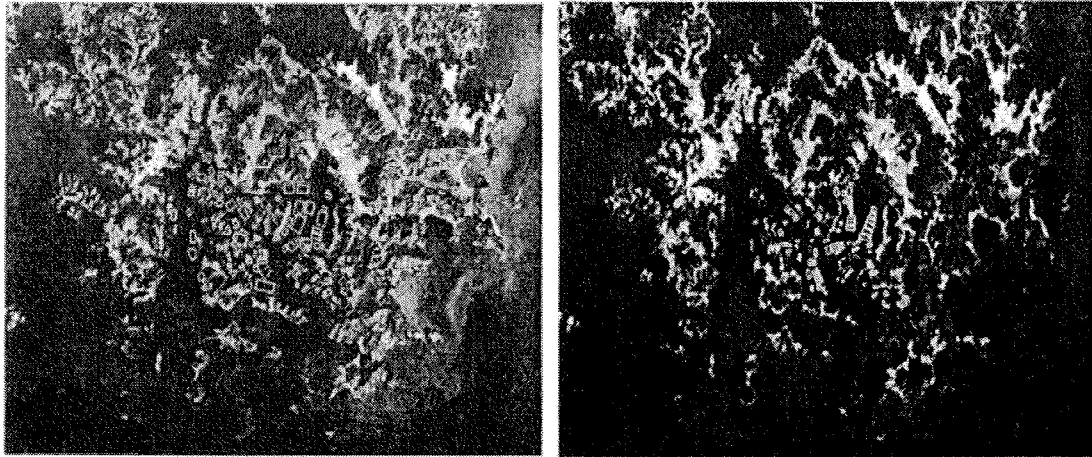


그림 2-2 GIS 기반 양식어장 관리 시스템

GIS 기반의 양식어장 관리시스템은 크게 어장정보의 검색, 어장자료의 입력 및 DB 갱신, 그리고 어장 관리 모듈로 분류되며 사전 신고된 면허어업의 지역별, 어업종류별 통계치를 산출하여 어장위치 파악 및 어장이용 현황을 분석하고 효율적으로 어장을 관리하는데 주로 적용된다. 하지만, 양식시설의 관리가 사전에 시설관리자가 신고한 면허어업위주로 수행되고, 지리 정보에 대한 지속적인 업데이트가 요구되기 때문에 재해로 인한 시설 파괴나 무면허어업의 관

리에 대해서는 취약한 실정이다.

지리정보 및 양식 시설 현황에 대한 지속적인 업데이트를 하기위해 국내에서는 2000년도부터 위성영상을 이용한 양식시설 관리 방안에 대한 연구가 지속적으로 수행되고 있는 실정이다. 초기의 연안양식시설 탐지는 LANDSAT TM, IKONOS, SPOT HRV등의 광학위성영상을 활용한 연구가 주로 진행 되었다. 그림 2-3은 1984년과 2002년 LANDSAT TM 영상을 이용하여 한려해상국립공원 내 양식시설 탐지 결과를 나타낸다(장은미 외, 2004).



(a)

(b)

그림 2-3 LANDSAT TM 영상을 이용한 한려해상국립공원 내 양식시설 탐지 결과
(a) 1984년, (b) 2002년

중반 이후로는 광학 영상뿐만 아니라 주/야 및 기상여건에 관계없이 광대역 영상을 획득 할 수 있는 합성개구레이더에서 획득된 영상을 활용하여 연안양식시설을 탐지하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 합성개구레이더는 송수신 전파의 편파에 따라 양식시설 분류에 대한 가능성이 대두되면서 그 활용성이 증대되고 있는 실정이다. 그림 2-4는 경상남도 가덕도 부근의 굴 양식장에 대한 AIRSAR의 다중편파 영상 특성을 나타낸다.

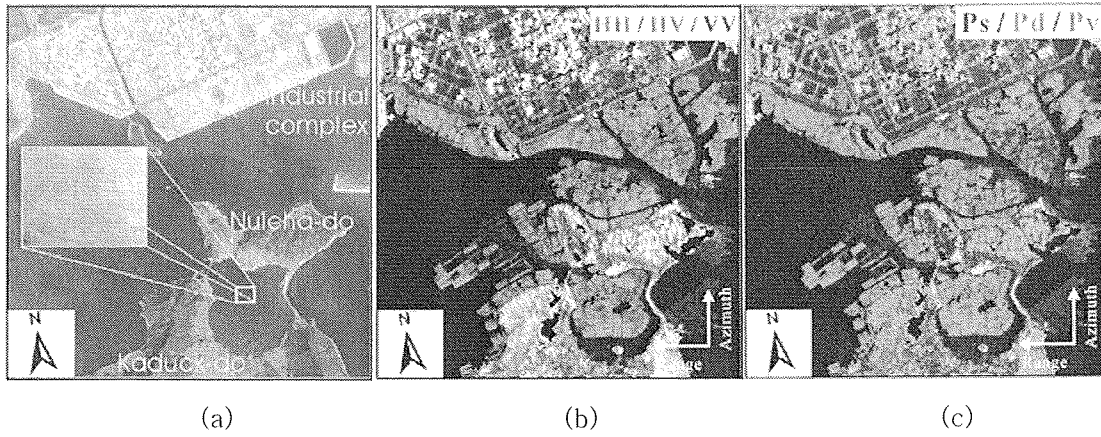


그림 2-4 가덕도 굴 양식장에 대한 다중편파 위성 SAR 영상을 활용한 양식장 검출, (a) IKONOS 영상, (b) HH-,HV-,VV-polarization, (c) Ps, Pd, Pv

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 연구 해역에 대한 기초현장 실험 및 조사

우리나라의 양식 중 약 500년의 가장 오랜 역사를 지니고 있는 김 양식은 최초의 시설인 “싹발양식”부터 “뜬발(뜬홀림발 또는 부류식)”으로까지 변천해 왔다.

그림 3-1 에서와 같이 김 양식 시설의 종류는 다양하다. 부류식(Floating type) A는 화성, 안산 등에서, 부류식 B는 진도, 해남, 완도, 고흥, 장흥 등 대부분 해역에서 사용하는 방식으로 폭은 1.8-2.4m, 길이는 40-200m 정도의 크기를 갖는다. 부류식 C 유형의 경우 군산, 서천, 부산 강서구 지역에 주로 설치되어 있으며, 책(柵)의 크기는 폭 1.6-2.0m, 길이 22-40m 정도이다. 지주식(Strut type)은 신안, 목포 등의 해역에 주로 설치되어 있으며 사진에서 보는 바와 같이 갯벌에 폭 1.8m, 길이 40-200m 내외이다. 시설량은 80년대 말부터 외해어장 개발로 급속히 증가하여 89년에는 976,631책이 되고, 이후 감소 추세를 보이고 있다(해양수산부, 2000). 책(기준책: 2.2m x 40m = 88m² = 1책)당 생산량은 80년대에는 2~3년 주기로 풍·흉을 거듭하여 변동 폭이 심하게 나타났고, 90년대부터 노출 뜬발식(부류식) 양식기술 발달로 계속 증가 추세에 있다.

이와 같은 상황에서 무면허 양식장의 관리 및 수급안정을 위한 적정생산량을 유지하기 위한 정책을 지속적으로 추진하기 위하여 김 양식장의 지속적인 모니터링이 필요하다고 할 수 있고 김 양식장 이외의 양식장 관리를 위한 모니터링도 필요하다. 연안 양식장의 효과적 관리를 위해서는 실제 시설량의 조사가 필요하며, 인공위성을 이용한 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 하지만, 양식장은 지역에 따라 시설 형태와 규격이 다르므로, 현장 자료를 바탕으로 조사가 이루어져야 한다. 그러므로 위성영상을 활용한 연안 양식시설 탐지 연구를 위해 양식시설 주변 해역을 선정하고 기초 현장 실험을 통해 연구 해역의 특성을 파악하였다.

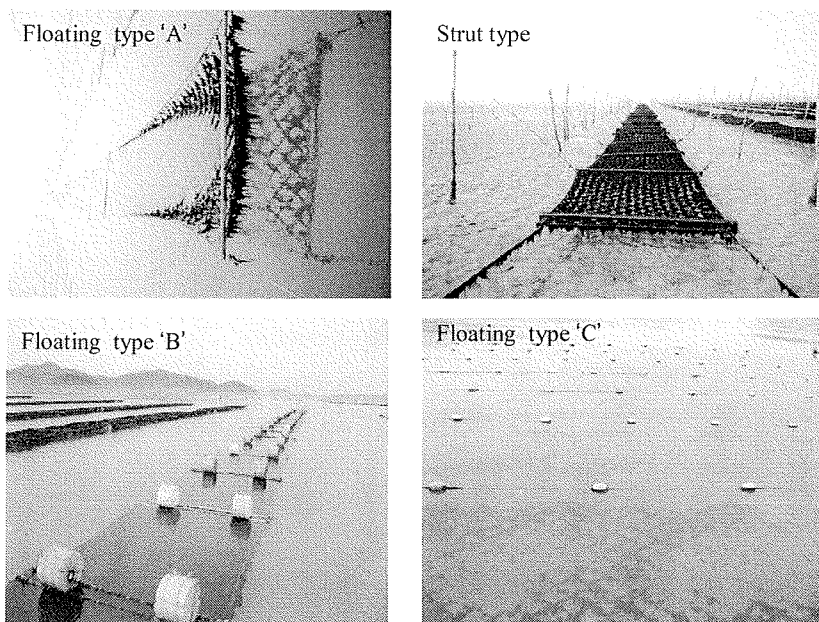


그림 3-1 김 양식장의 그물 형태

연안 해역에서 지주식이나 부유식의 김 시설 정보를 위성자료로 분석하여 추출하기 위한 체계적인 연구는 거의 이루어지지 않았다. 이(1996)는 서천 해역에 대해 30m의 해상도를 갖는 LANDSAT-5 TM을 이용하여 영상에서 보이는 픽셀의 면적을 통한 시설량 예측을 시도하였다. 그러나, 현장조사 및 공간 해상도의 부족으로 인하여 정확한 책 수의 산정은 불가능하다. 또한, 우리나라 전 연안에 대한 조사를 하는 경우에는, 현장 조사, 좌표 등록, 자동 추출 기법이 필요하다.

1. 연구 해역 검토 및 선정

연구를 위한 해역을 선정하기 위해 여러 가지 사안은 검토하여 경기도 화성시 제부도 남방에 위치한 김양식장 시설 부근 해역으로 선정하였다.

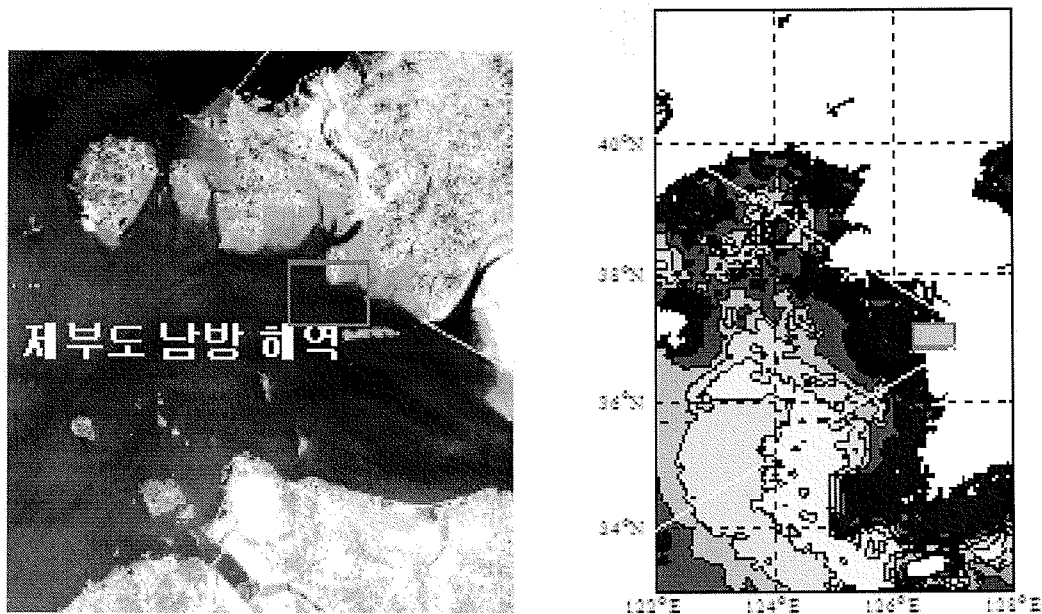


그림 3-2 대상해역 설정: 경기도 화성시 제부도 남방 김양식장 시설

제부도는 서해안의 대표적인 해양관광지이자 청적해역으로 김 400ha, 패류 400ha, 굴 250ha, 등 5개 어장에서 모두 1000ha의 양식어업이 이루어지고 있다. 특히 제부도 남방 해역부근에서는 김양식이 활발히 진행 중에 있다. 따라서 김양식장의 규모가 크고 양식장의 대표가 되기 때문에 김 양식장 부근 해역을 선택하였다.

2. 기초 현장 조사를 통한 광학적 특성 및 시설구조 조사

가. 광학적 특성

선정한 제주도 남방 김양식장 해역의 광학적 특성을 조사하기 위하여 현장 조사를 진행하였다. 현장 조사는 ASD사의 광학장비인 듀얼스펙트로미터를 이용하였고 2008년 1월 31일에 실시되었다.

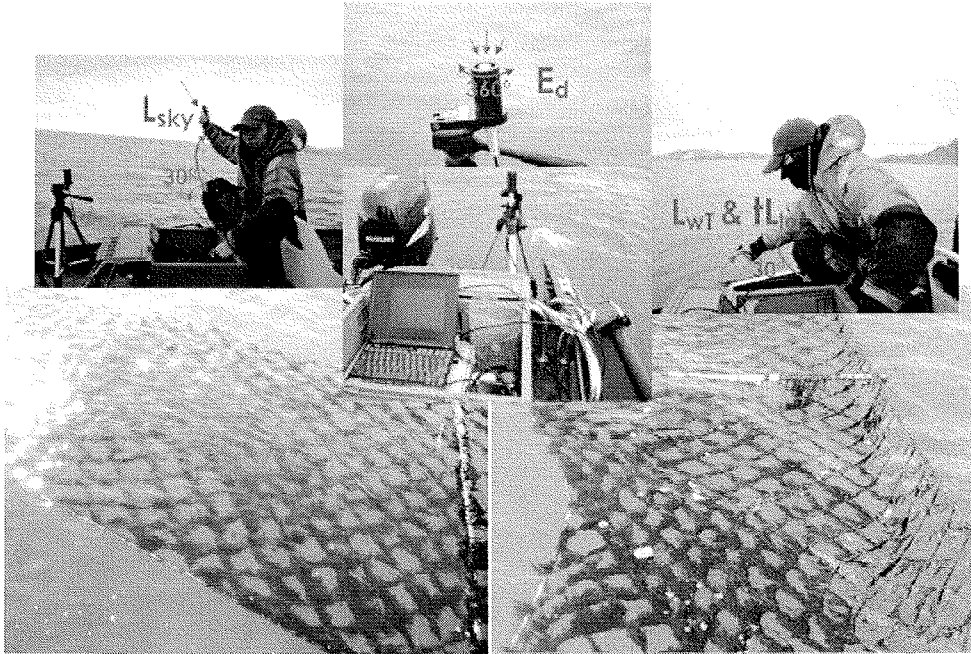


그림 3-3 제주도 김양식장 해역에서 ASD사의 듀얼스펙트로미터 이용 광학특성 조사 및 시설 현황 조사

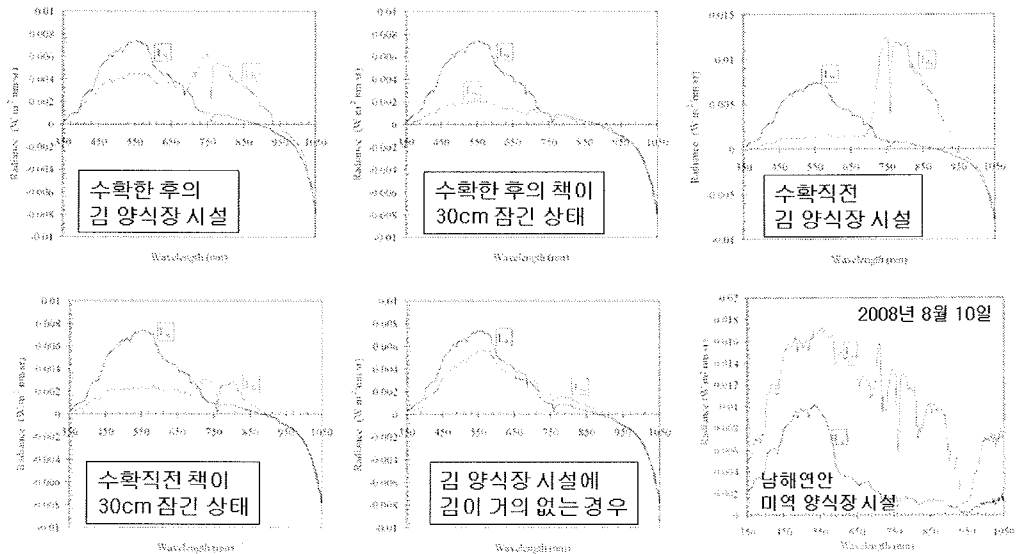


그림 3-4 김 양식장 시설과 주변해역과의 스펙트럼 형태 비교. 적색: 김 양식장 시설에 대한 radiance (L_{1a}), 청색: 김 양식장 시설 주변해역에 대한 radiance (L_w)

현장 조사한 내용 및 결과를 나타낸 그림 3-4는 김 양식시설과 주변 해역과의 스펙트럼 형태를 비교하여 나타낸 것으로 김 양식시설에 대한 radiance는 L1a 명칭 하에 적색선 그래프로, 김 양식시설 주변해역에 대한 radiance는 Lw 명칭 하에 청색선 그래프로 나타내었다. 그림에서 나타내었듯이 수확한 후의 김 양식시설에서의 radiance, 양식시설 주변해역에서의 radiance가 다른 것, 또한 수확 직전의 김 양식시설에서의 radiance와 주변해역의 radiance가 다르다는 것을 알 수 있고 수치적으로 얼마나 다른지를 알 수 있다. 이러한 현장 조사를 통해서 양식시설의 상태에 따라 radiance값이 어떻게 달라지는지를 알 수 있다.

나. 기본 시설 구조

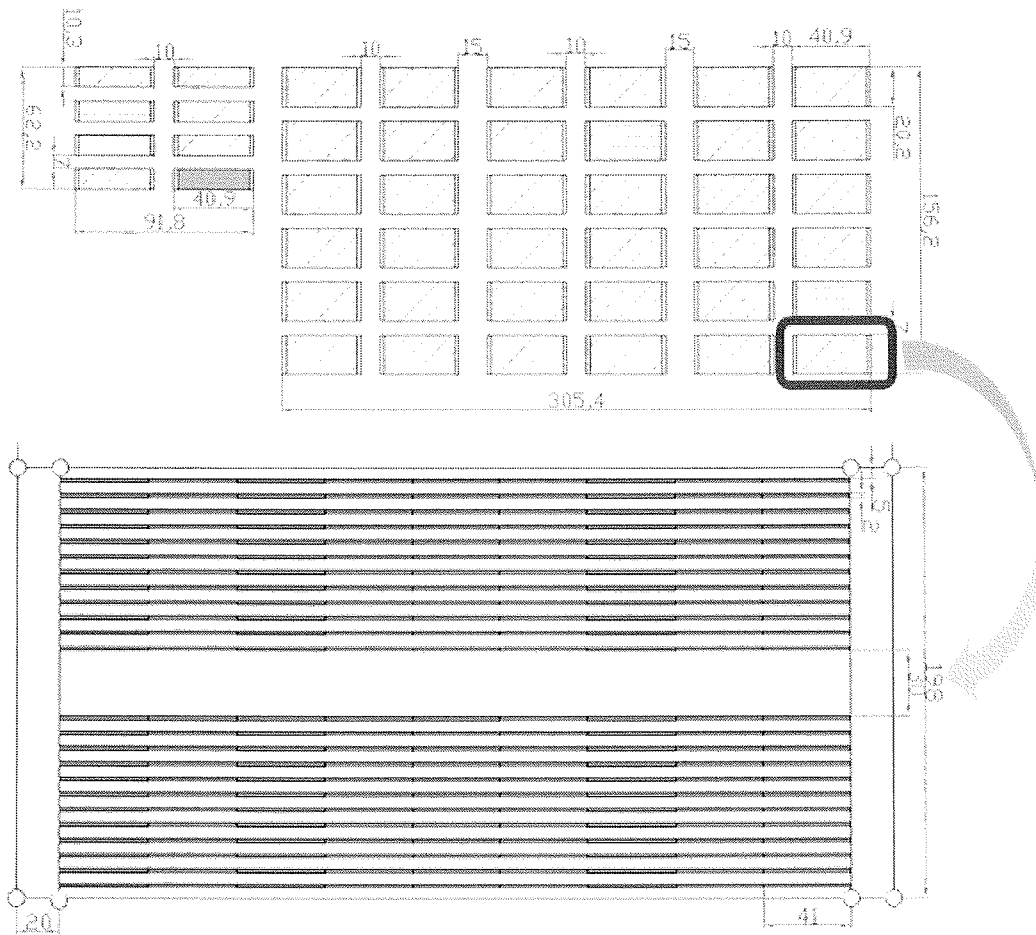


그림 3-5 2007년 기준 김 양식장의 기본 시설 조사 개요. 김 양식장의 전체 구조도(상) 및 하나의 구획에 대한 실제 시설 배치 현황(하)

그림 3-5는 현재 운영되고 있는 김 양식시설의 기본 시설 구조도 및 배치 현황을 나타낸다. 위 그림은 김 양식시설 전체 구조도를 나타내고 아래 그림은 전체 구조도를 구성하는 구획 하나에 대한 실제 시설 배치 현황을 나타낸다. 제주도 남방 해역에 위치한 김 양식시설도 그림 3-5와 같은 구조로 설계되었다.

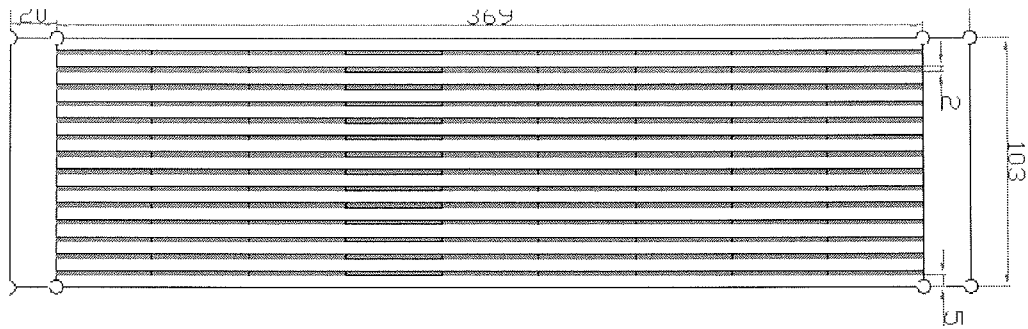


그림 3-6 김 양식장의 시설 밀도가 높게 만들어진 경우. 주로 불법시설의 경우가 많음

그림 3-6은 양식시설 배치 기준에 부합하지 않도록 시설 밀도를 높게 만들어 놓은 시설을 나타낸다. 이와 같은 시설은 주로 불법양식시설인 경우가 대부분이다.

3. 위성영상 기하보정을 위한 기준점 조사

가. 기준점 조사 영역 및 방법

위성영상에서 탐지되는 양식장 시설 위치 및 크기를 산출하기 위해서 DGPS 장비를 이용하여 관측범위 내의 기준점 좌표에 대한 조사를 수행하였다. 기준점 설정 장소는 양식 시설이 분포되어 있는 인천과 안산 주변의 섬들로 선정되었다.

DGPS와 구글 좌표와의 오차를 분석하기 위하여 경기도 안산시 한국해양연구원을 기준으로 이에 대한 시험을 제시된 그림 3-7과 같이 수행하였다. 해양연구원은 구글좌표 위도 37.17130711°, 경도 126.50028751°에 위치해 있고 이 위치에서의 위경도 1초에 따른 실제 지형 좌표의 오차는 각각 30.828m와 24.697m이다. 구글 좌표와 동일한 지역에서 측정한 DGPS 좌표는 위도 37.171341612°, 경도 126.500227816° 이고 구글 좌표와의 위경도 오차는 각각 8.521m와 18.389m이다.

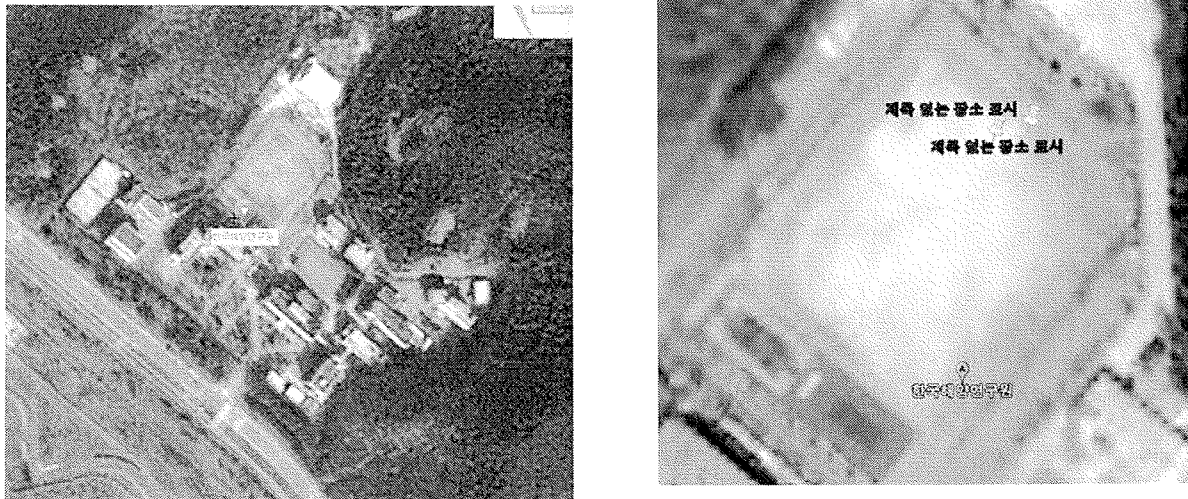


그림 3-7 구글 좌표와 DGPS 좌표와의 오차분석

구글 좌표를 기준으로 위성영상에 대한 기하보정을 수행할 경우 실제 지형과의 오차가 발생할 수 있기 때문에 DGPS를 이용하여 새로운 기준점을 정립하는 실험을 수행하였으며 2008년 12월에 DGPS를 이용하여 측정한 인천-안산-평택 지역의 기준점 측정 위치는 그림 3-8에 나타내었다.

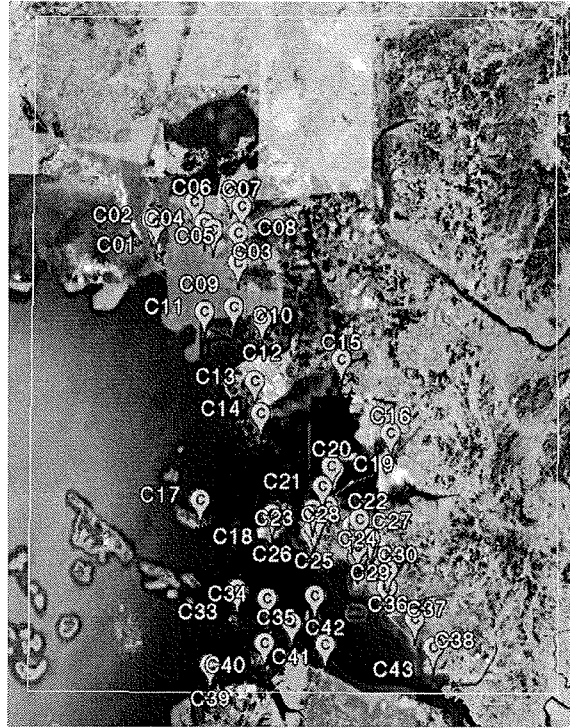


그림 3-8 위성영상 기하보정을 위한 기준점 위치

기준점은 영상에서 명확하게 나타날 수 있는 주변 지형지물의 모서리, 교차점 그리고 RCS가 큰 지역을 기준으로 수행하였으며, 그림 3-9는 인천~평택 간에 수집된 총 43개의 기준점 중 일부 실제 위치를 나타낸다.

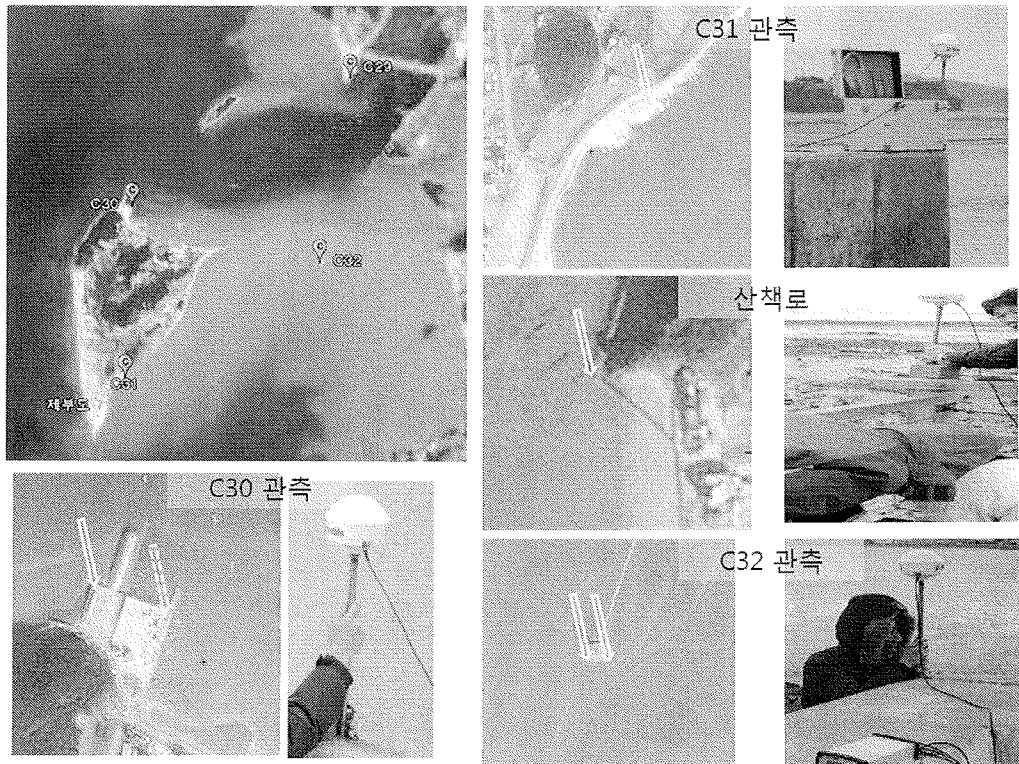


그림 3-9 기준점 측정

제시된 방법으로 수행된 C1~C43까지의 DGPS좌표는 표 3-1과 같다.

표 3-1 인천 ~ 평택간 수집된 DGPS 기준점 좌표

기준점	위도	경도	기준점	위도	경도
C-01	37.65470°	126.23532°	C-23	37.232542°	126.537367°
C-02	37.65919°	126.22641°	C-24	37.221375°	126.547958°
C-03	37.64507°	126.34446°	C-25	37.207072°	126.539844°
C-04	37.65451°	126.32703°	C-26	37.199267°	126.533956°
C-05	37.68631°	126.30845°	C-27	37.208608°	126.612056°
C-06	37.70091°	126.37761°	C-28	37.218478°	126.626092°
C-07	37.68003°	126.39884°	C-29	37.190211°	126.645969°
C-08	37.64059°	126.39250°	C-30	37.178564°	126.622844°
C-09	37.59730°	126.39250°	C-31	37.163106°	126.622233°
C-10	37.53126°	126.38460°	C-32	37.173561°	126.642861°
C-11	37.524331°	126.328708°	C-33	37.113233°	126.393653°
C-12	37.514303°	126.439233°	C-34	37.100633°	126.450781°
C-13	37.421781°	126.425506°	C-35	37.105097°	126.541892°
C-14	37.374325°	126.437161°	C-36	37.143306°	126.679019°
C-15	37.454519°	126.591086°	C-37	37.118303°	126.677558°
C-16	37.346154°	126.684257°	C-38	37.071614°	126.730006°
C-17	37.246237°	126.322613°	C-39	37.001925°	126.343561°
C-18	37.225046°	126.459745°	C-40	37.034261°	126.446503°
C-19	37.292847°	126.577628°	C-41	37.064778°	126.498389°
C-20	37.297047°	126.572764°	C-42	37.032683°	126.561939°
C-21	37.267114°	126.555833°	C-43	37.028639°	126.764461°
C-22	37.237822°	126.566839°			

제 2 절 광학인공위성 기반 연안 양식시설량 산출 및 비교

본 연구에서는 연안의 전체 김 양식장의 시설 현황에 대한을 조사하기 위하여, 10m의 해상도를 갖고 있는 SPOT-5의 다중분광영상을 주로 사용하였으며, 판독을 위하여 PAN영상(2.5m의 해상도)도 이용하였다. 본 절에서는 연안 김 양식장의 양식 시설량 산출을 위한 자동 추출 알고리즘을 소개하며, 인공위성 영상에 의해 얻어진 시설 현황을 지역별로 분석한다. 또한, 정부로부터 받은 허가시설량과의 비교를 실시한다.

1. 데이터 및 연구 방법

가. SPOT-5 영상

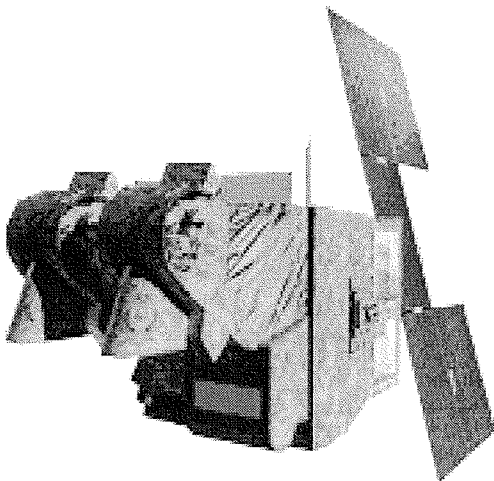


그림 3-10. SPOT-5 위성

표 3-2 Spot-5 탑재 센서의 운용 대역 및 사양

Sensor	Wavelength(μm)	Resolution	Swath
HRG Panchromatic Mode	PA 0.49-0.69	2.5m/5m	60km
HRG Multispectral Mode	B1 0.49-0.61	10m	60km
	B2 0.61-0.68		
	B3 0.78-0.89		
	B4 1.58-1.75	20m	120km
HRS	PA 0.49-0.69	10m	120km
VEGETATION	B0 0.43-0.47	1km	2250km
	B2 0.61-0.68		
	B3 0.78-0.89		
	B4 1.58-1.75		

SPOT(Satellite Pour l' Observation de la Terre) 위성은 Belgium, Sweden과 France의 French National Space Center(CNES)의 공동연구로 개발된 원격탐사 시스템이다. 최초의 SPOT 위성은 1986년 2월 22일에 발사되었으며, 현재는 SPOT-5 까지 발사되었다(그림 3-10). SPOT-5 위성에 대한 자세한 사양은 표 3-1에서와 같다. SPOT-5는 공간해상도가 약 10m 정도인 다중분광모드와 공간해상도가 약 2.5m 정도인 panchromatic 모드(흑백영상)이다.

나. 연구수행 방법

김 양식장의 시설을 추출하기 위해 사용되어지는 일반적인 흐름은 그림 3-11과 같다.

(1) 김 양식어장 면허 및 어장도 데이터베이스(DB) 구축

양식업 면허권이 등록되어 지자체에 대해서 양식어장 관련 면허대장 및 어장도를 입수하여, 이를 기반으로 오류 분석 및 어장도 DB를 구축하였다.

(2) 위성영상 처리

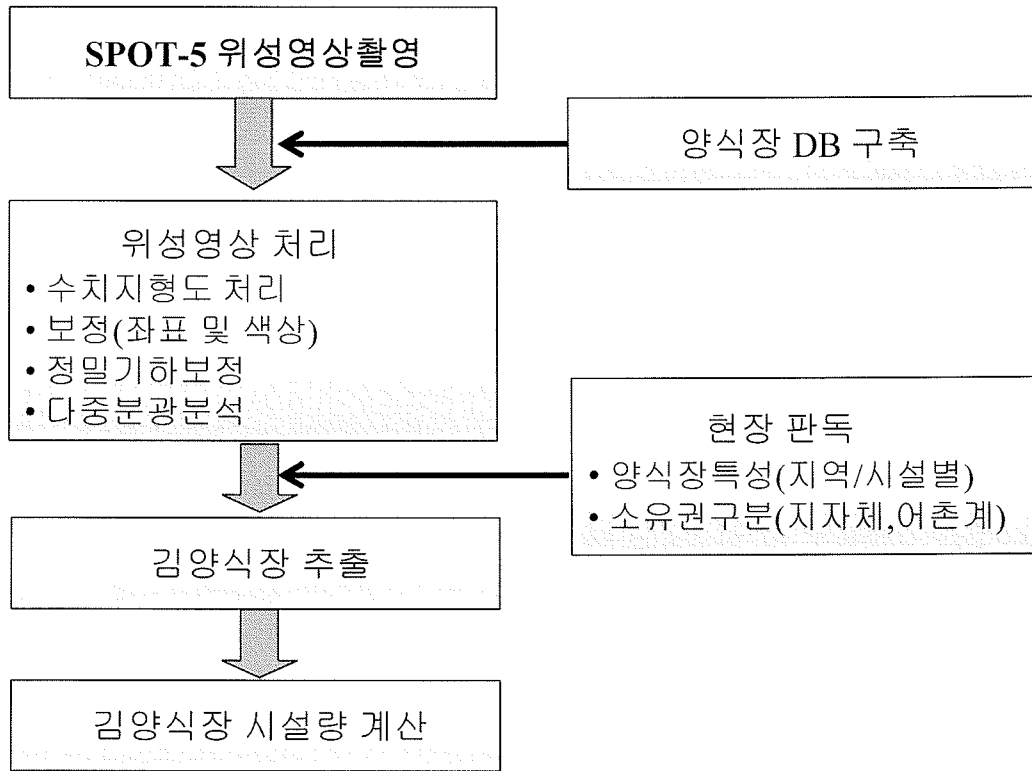


그림 3-11. SPOT-5 영상을 사용한 김 양식장 탐지 개요

국립지리원에서 제작한 1/5,000 수치지도를 기준으로 SPOT-5 위성영상의 좌표 보정 및 정밀기하보정을 수행하였다. 수치지형도는 먼저 위성영상의 좌표보정을 위하여 수치지형도에서도 관련 요소들을 추출하고 이를 위성영상의 좌표보정을 위한 지상기준점(GCP) 자료로 사용하였다. 또한, 수치지형도를 통해 제작된 수치표고모델을 이용하여 고도값 보정을 포함하는 정밀기하보정을 수행하였다.

(3) 김 양식장 추출

양식장의 추출은 위성영상의 분광특성을 이용함과 동시에 육안 식별을 병행하여 수행하였다. 이 과정에서, 영상의 분광특성에 의한 3개 밴드(밴드1: 0.49-0.61 μ m, 밴드2: 0.61-0.68 μ m, 밴드3: 0.78-0.89 μ m)의 상호 차이를 이용하여 밴드차(Band difference) 영상을 만든 후, 두 가지 방법(형태학적 처리기법 및 Canny 에지 탐지기법)으로 각각 처리를 하고, 두 결과를 합성하는 양식장 탐지 알고리즘을 적용하였다. 현지조사를 통해 조사된 자료들은 위성영상에서 계산된 '책' 수, '책' 면적 등과 조합하여 양식장을 추출하였다.

(4) 김 양식장 시설량 산출

처리된 SPOT-5 위성영상 자료에서 양식장을 추출하고 그 시설량을 산출하는 작업을 실시

하였다. 이 결과를 어장도와 중첩하여 비교하였다. 시설 책 수의 산정은 시설물의 내부 시설 밀도에 의하여 결정된다. 본 연구에서는 현장조사에서 얻어진 시설 밀도 정보를 이용하여, 기준 책 규격으로 환산하여 시군별로 시설량을 조사하였다. 각 지역별로 실제 시설 규격에 차이가 있고(그물폭이 1.8m, 2.0m, 2.2m, 2.4m 등으로 다양), 또한 단순면적 산출로는 정확한 시설량 판독이 불가능하기 때문에 현지 조사를 통하여 파악된 김 양식장 시설 종류에 따라 시설량을 산출하였다.

2. SPOT-5 영상을 이용한 김 양식장의 자동탐지기법

가. SPOT-5 다중분광 영상의 분광 특성

SPOT-5 위성영상은 파란색 영역의 밴드가 존재하지 않기 때문에, 분광해상도가 부족하며, 색 구분 능력이 떨어진다고 할 수 있다. 따라서, 영상자체에 대한 시각처리에는 한계가 있다고 할 수 있다. 그림 3-12에는 세 밴드를 사용하여 김 양식장의 그물이 있는 부분과 그렇지 않은 부분에 대한 분광특성을 나타내었다. 그림 3-13은 제주도 남방해역에 대한 SPOT-5 밴드 1에서 3까지의 양식 시설의 모습을 보여 주고 있다. 밴드 1에서는 주변 바다 영역보다 다소 밝으나, 그 외 밴드에서는 어두운 값을 나타내고 있다.

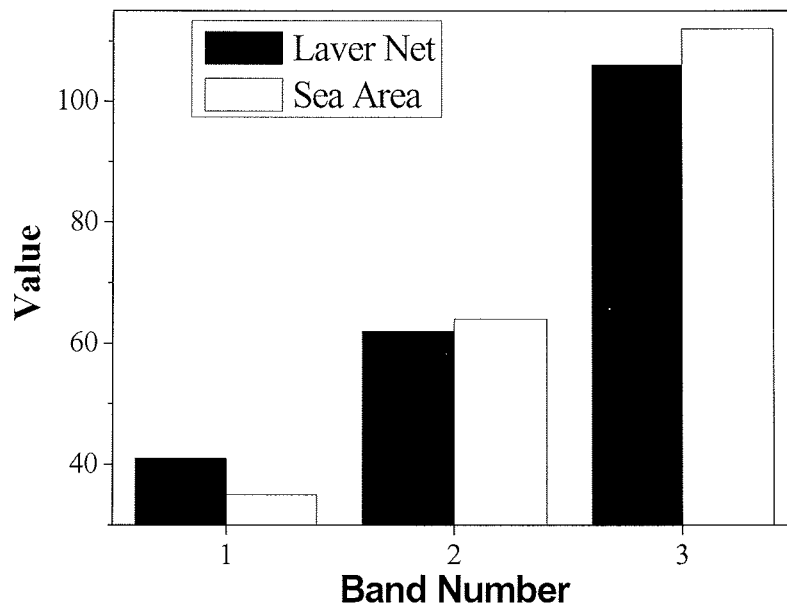


그림 3-12. 연구 바다영역과 김 양식장 그물의 스펙트럼 프로파일

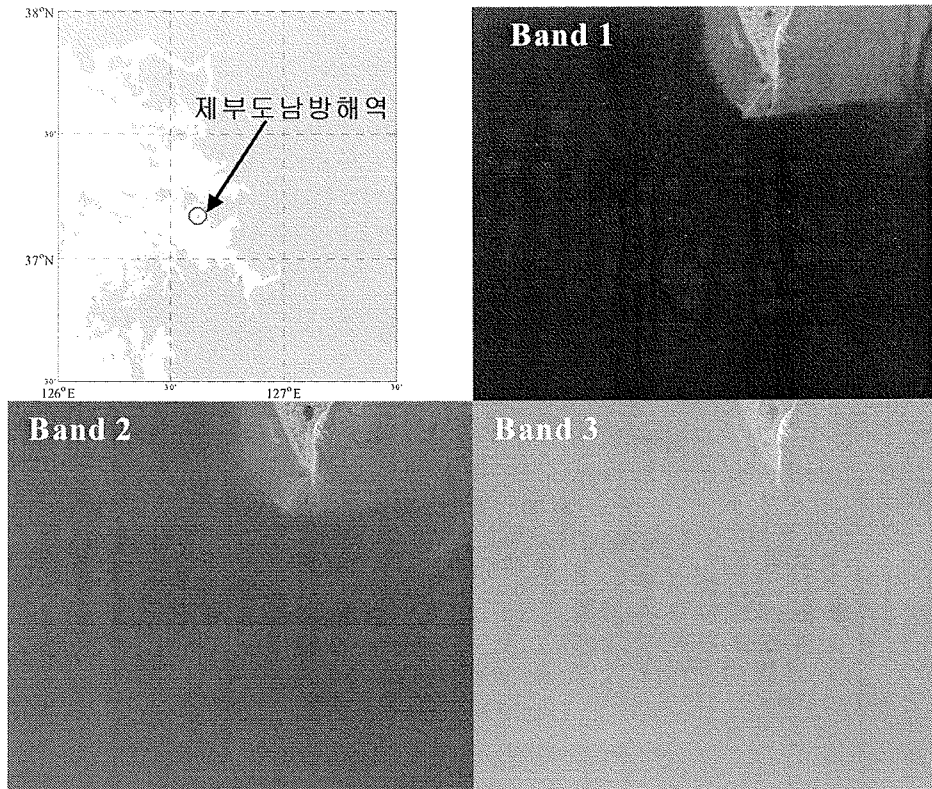


그림 3-13. 연구 영역의 밴드 별 SPOT-5 영상

나. 김 양식장의 자동 추출 기법

영상 음영 강조기법으로 처리하거나 RGB 영상처리에 의한 시각화도 양식장 식별이 가능하나, 이러한 방법은 시설이 해수면에 잠기거나, 시설물의 광 신호가 주변과 큰 차이가 없는 경우, 혹은 신호가 약한 경우 등에서는 시설물의 정보를 추출하기 어려우며, 추출에 많은 시간과 전문가에 따른 결과의 차이가 발생할 수 있다. 여기서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 기법을 소개한다.

먼저, 그림 3-13에서 보여준 세 개의 밴드 영상에 대해 육지를 제거한다. 이 세 밴드의 분광특성을 고려해 다음 식과 같이 해서 얻어진 영상에 대해서 영상 강조기법(Enhancement)을 적용한다(그림 3-15의 (a)영상).

$$(\text{Band2} + \text{Band3}) - \alpha + (\text{Band3} - \text{Band1} - \beta) * \gamma \quad (\text{식 3-1})$$

여기서, Band 1, Band 2, Band 3은 각각 SPOT-5 영상의 밴드, α , β , γ 는 위 식에서 바다 영역과 양식장 영역의 밝기차가 최대가 되는 상수로 영상에 따라 다르다.

그림 3-15에서와 같이, 얻어진 영상에 대해서 두 가지 방법으로 처리를 수행한다. 첫 번째 방법에서는, 오츠의 방법(Otsu, 1979)으로 얻어진 임계치를 이용하여 2차 화상을 생성하고, 형태학적 처리기법인 팽창과 침식(Haralick and Shapiro, 1992)을 적용한다(그림 3-15의 (b)영상). 일부 노이즈가 존재하고 있고, 2 곳의 양식장 시설이 나타나지 않고 있다. 위성 김 시설 분석 기술의 기본 이론은 김이 주변보다 상대적으로 밝거나 어둡게 보이는 것을 활용한 것이다. 이

처럼, 대부분 수확이 이루어지거나, 김이 물에 잠긴 경우라면 그 시설면적의 상당 부분이 위성
에 감지되지 못한다는 것을 증명한다. 이러한 문제를 최소화하기 위하여 에지 탐지를 이용하였
다.

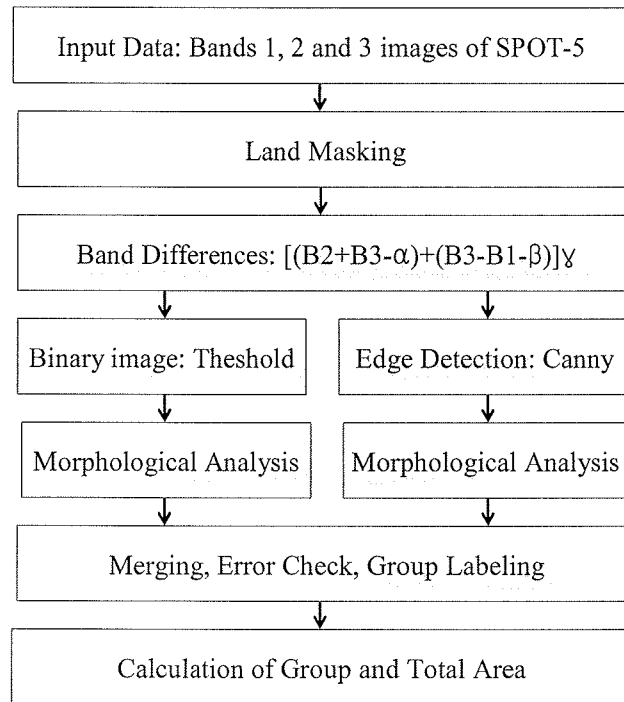


그림 3-14 양식 시설 추출 알고리즘의 기본 구조

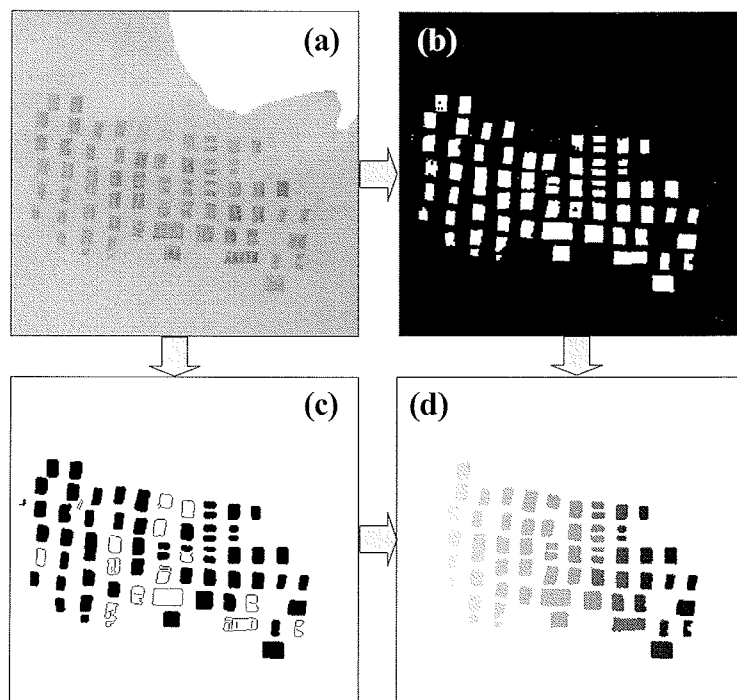


그림 3-15. 양식장 탐지 절차

0	0	0	8	8	8	8
0	0	0	8	8	8	8
0	0	7	0	8	8	8
0	0	0	0	0	0	8
4	4	4	0	0	0	8
4	4	4	4	4	0	0
4	4	4	4	4	0	0

그림 3-16. 양식장 면적 산출 방법

두 번째 방법에서는, Canny 에지 탐지기법(Canny, 1986)을 적용한다. 일반적으로 사용되는 Sobel 에지탐지기법은 기울기(gradient)의 최대값을 사용하는데 반해, Canny 기법은 가우스필터를 사용해서 기울기를 정하고 최대와 최소의 임계치를 이용하여 강하거나 약한 에지를 동시에 추출하는 것이 가능하다. 남(2001)은 색, 위치, 크기 등이 일정하지 않은 문자를 인식하는데 있어 Canny 에지 추출 기법을 적용하였으며, 그 결과 높은 인식률을 얻었다. 양식장에 대해서도 Prewitt, Sobel, Canny의 3가지 방법을 적용해보았으나, Canny 방법만이 에지 검출에 효과가 있었다.

Canny 에지 탐지기법을 그림 3-15의 (a)영상에 적용하여 양식장의 경계선을 추출하였다. 여기에서 얻어진 경계선이 폐곡선인 영역에 대해서는 검정색으로 채워 양식장후보 객체로 정하였다(그림 3-15의 (c)영상 참조).

다음 단계는, 상기 두 가지 방법을 그림 3-15의 (a)영상에 적용하여 얻어진 그림 3-15의 (b)와 (c) 영상을 이용하여 결합하는 것이다. 이 과정에서 에러체크는 작업자의 최종판단에 의해 이루어지며, 그림 3-16에서처럼 레이블링에 의해 각 레이블영역을 나누고 그에 대한 면적을 계산하였다. 그림 3-15의 (d)영상은 레이블링된 영역을 그레이 스케일 영상으로 나타낸 것이며, 개수는 총 76개이다. 여기서 계산된 김 양식장 시설량은 7,598책(평균 시설 밀도 34.62%)수였다.

제 3 절 합성개구레이더(SAR) 활용 방안 연구

1. 합성개구레이더(SAR) 신호 특성 해석

일반적으로 합성개구레이더(SAR) 신호는 VV편파가 HH 편파보다 신호의 강도가 높은 경향을 가지며 바람이나 조류로 인한 바다표면 거칠기 변화에 후방산란계수값이 영향을 받는다. 그리고 합성개구레이더의 경우, 광학 데이터와 달리, 수면하에 있는 양식시설에 의해서 해면과 거칠기의 감쇠효과에 의존하므로 양식을 하지 않더라도 그물, 부이 등 기본시설이 존재하면 신호를 감지할 수 있다. 그림 3-17은 C밴드에서 운용중인 ENVISAT의 ASAR에서 획득된 영상이다. X밴드 위성은 HH편파 Spotlight모드(1m 급)의 TerraSAR-X 위성 자료에 대한 검토를 수행하고 수행 결과는 그림 3-18에 제시하였다. 합성개구레이더 영상은 기상과 관계없으며 야간에도 자료의 취득이 가능하며, 양식장 정보의 추출이 용이하므로 앞으로 충분히 활용할 수 있다고 판단한다.



그림 3-17 ENVISAT ASAR AP모드를 이용하여 Dual-Pol. 자료(2007.02.18)를 이용하여 제부도 김 양식시설을 취득한 영상

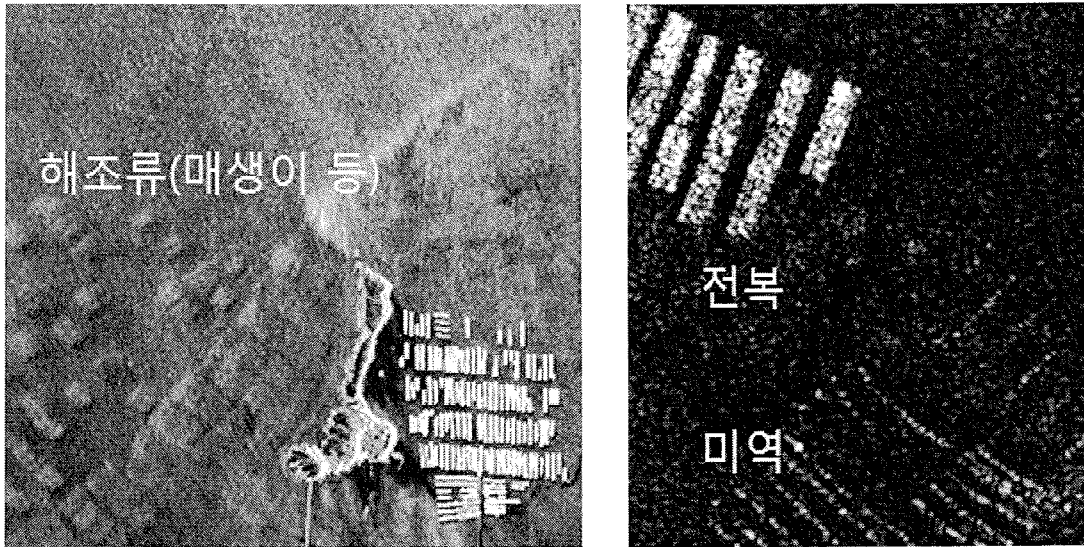
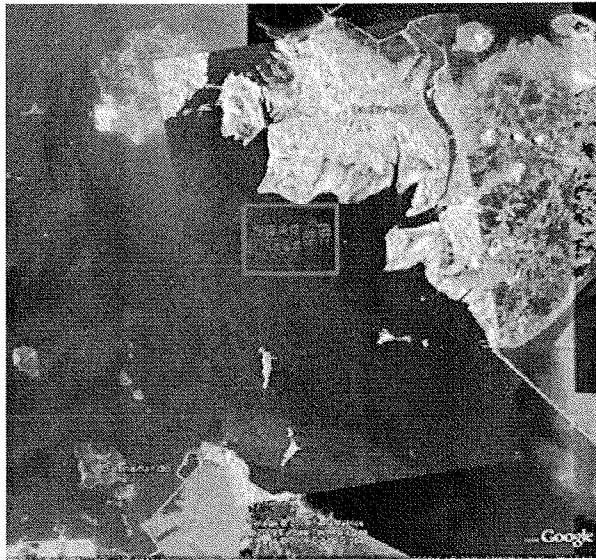


그림 3-18 합성개구레이더(SAR) X밴드에서 해조류, 전복, 미역 영상신호

2. 합성개구레이더에 의한 수상 및 수면하 시설 탐지 실험

2009년 01월 19일 스트립맵(stripmap) 모드로 촬영된 X-밴드 TerraSAR-X의 dual polarization(VV편파, HH편파) 자료에 대한 검토를 수행하였다. 영상의 관측폭은 26km×16km 이고, 해상도는 약 1m×1m이다. 김 양식시설의 경우, 구조와 설치 각도에 따라 다른 후방산란 특성을 보였으며, 같은 시설에 대해서도 HH편파의 후방산란계수가 VV편파보다 2.6dB 높은 특성이 발생하였다. 그리고 다종의 양식시설이 있는 경우에 대한 SAR를 이용하여 전복과 김 양식시설을 추출하고, 아리랑 2호 광학영상과의 합성을 수행하였으며 결과는 그림 3-20와 그림 3-21에 제시하였다.



(a) RGB영상

(b) 매핑결과

그림 3-19 TerraSAR-X 영상에 대한 RGB 영상과 맵핑 결과

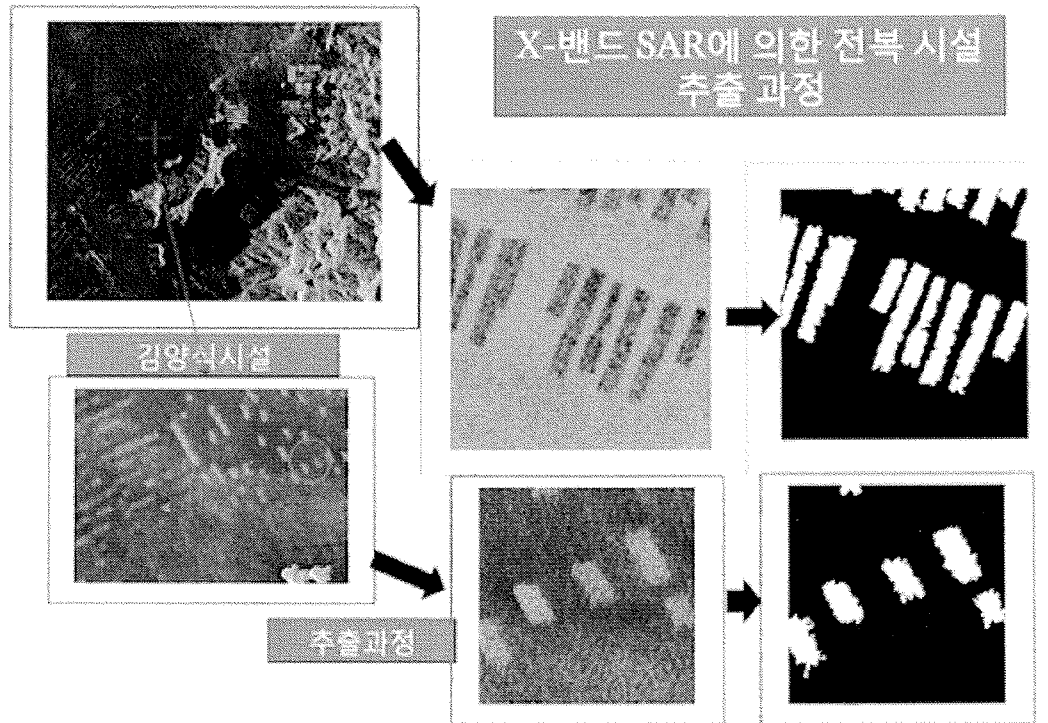


그림 3-20 SAR에 의한 2가지 서로 다른 양식시설 추출 과정

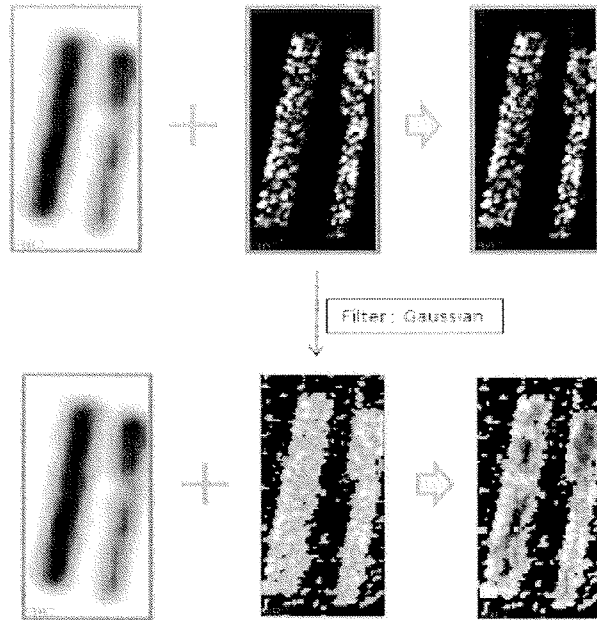


그림 3-21 HSV퓨전결과: 아리랑2호와 1m TerraSAR-X이용

3. 안테나 부이 설계 및 탐지 실험

근년, 국제적으로 관심이 증대하고 있는 해상보안 및 영해의 확보와 관리를 위하여 인공위성의 원격탐사를 이용하려는 노력이 계속되고 있다. 특히, 합성개구레이더(Synthetic Aperture Radar, SAR)를 이용하여 표적을 모니터링 하고자 하는 연구가 많이 이루어지고 있다. 특정 표적을 식별하기 위해서는, 표적이 가지고 있는 레이더 산란면적(Radar cross section, RCS)를 이용하는 방법과 반사기를 통해 임의의 RCS를 부여하는 방법이 있다. 인위적인 반사기들에는 Luneberg 렌즈 반사기, 삼면 전파 반사기(trihedral corner reflector, TCR), 양면 전파 반사기(dihedral corner reflector, DCR), 능동 반사기(active transponder) 등이 있다(Ruck et al., 1970). Luneberg 렌즈 반사기는 전방향(omni-directional)에서 전파를 입사방향으로 균일하게 반사하는 장점이 있으나 가격이 비싸고, 무게가 많이 나가는 단점이 있다. 만일 편파와 입사각도가 결정된 경우에는 증폭기를 이용한 능동 전파 반사기를 이용하면 작고 가벼운 구조로도 큰 RCS 값을 얻을 수 있으나, 움직이는 표적의 경우에는 편파별 입사각도별로 여러 대를 설치해야 하는 단점이 있다. 전파 반사기는 Luneberg 렌즈 반사기에 비교해서 전방향 반사 특성이 좋지는 않지만 제작이 간편하고, 가격이 저렴하며, 설치가 용이한 장점이 있다. 또한, 능동 반사기에 비해서는 여러 주파수에서 사용가능하고, 제작과 설치가 간편한 장점이 있다.

본 연구에서는, 사각형 삼면 전파반사기(Square-plate Trihedral Corner Reflector, STCR) 네 개를 배열하여 연결한 형태의 4-배열 사각형 삼면 전파 반사기를 설계하여 전방향에서 전파를 입사방향으로 반사하도록 하였다(Levanon, 1988). 이 전파 반사기의 RCS 패턴을 측정하였고, 이 측정값을 수치 해석 시뮬레이션과 이론적 계산으로 비교하였다. 이를 통해 표적의 위치 추적에 사용되기에 적절한 전파반사기를 제시하였다.

가. 안테나 부이 설계

제안된 4-배열 사각형 삼면 전파 반사기는 그림 3-22과 같은 형태이며, θ 방향은 지면의 수직 방향 각도를 의미 하며, ϕ 방향은 수평 방향 각도를 의미 한다.

측정에 사용된 C-밴드 (5.3 GHz) scatterometer는 그림 3-25과 같이 구성된다. 송수신기로 회로망 분석기를 사용하고, OMT(orthogonal mode transducer)가 부착된 안테나시스템을 갖고 있어서 VV-, VH-, HV-, VV-편파 특성을 측정할 수 있는 완전편파용 scatterometer이다(홍진영, 오이석, 2006). 회로망 분석기의 시간 영역 변환 기능을 사용하여 마치 무반향실에서의 측정처럼 전파 잡음을 제거할 수 있으며, 턴테이블을 이용하여 ϕ 0°도부터 360°도까지 정확하게 RCS 패턴을 측정할 수 있다. 또한 회로망 분석기에 노트북을 GPIB케이블로 연결하여 프로그래밍을 통해 자동으로 데이터를 수집할 수 있다. QSTCR의 중심축선(bore-sight, $\theta=54.74^\circ$)를 안테나가 정확히 바라보게 하고, ϕ (-90°에서 90°까지)방향으로 전파반사기의 RCS 패턴 측정한 결과를 분석한다. ϕ 방향으로 90° 간격마다 같은 패턴이 반복되고, 이 때 안테나와 반사기까지의 거리는 2.7 m이다.

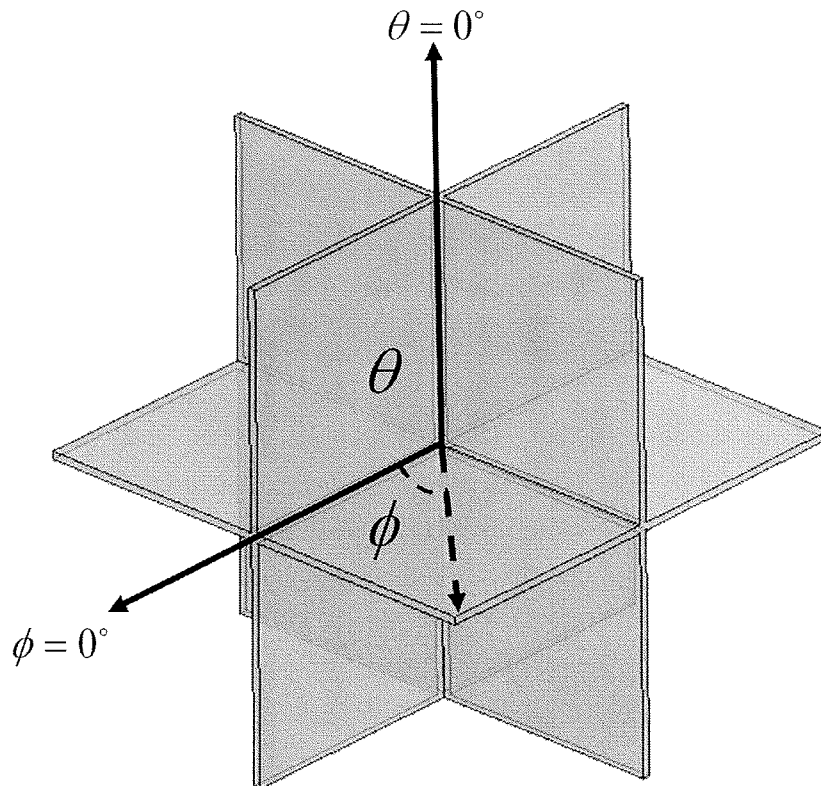


그림 3-22 4-배열 사각형 삼면 반사기

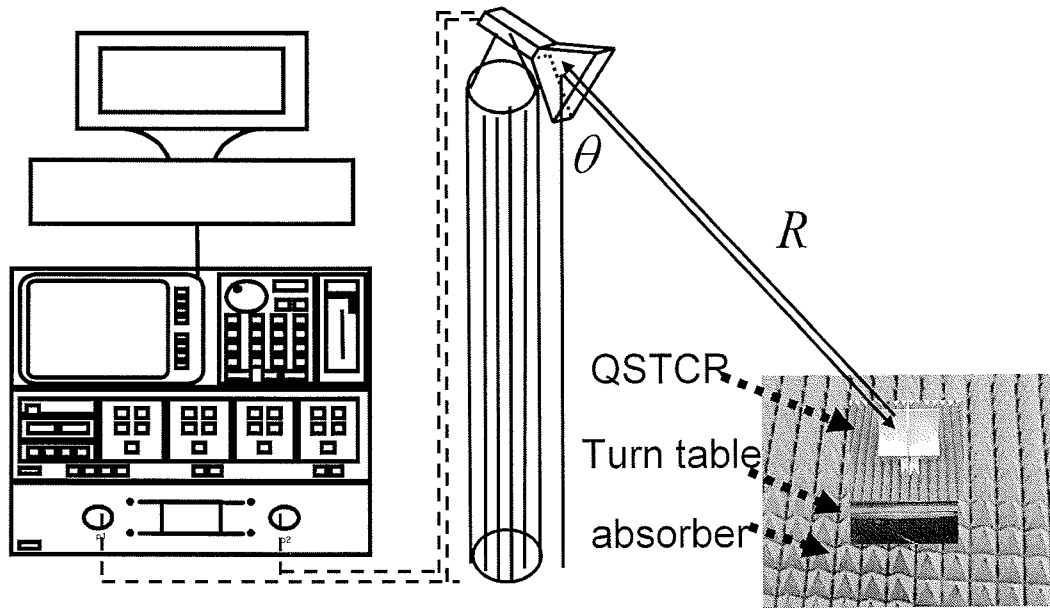


그림 3-23 측정 시스템

측정 결과는 그림 3-24와 같다. 반쪽 변의 길이가 0.15 m인 QSTCR의 RCS를 VV-, HH-, VH-와 HV-편파에서 측정한 결과를 보인다. 이론적으로는 교차 편파의 값이 없어야 하나, 실제 QSTCR에서는 변과 모서리의 영향으로 교차편파가 측정되며, 가역정리를 만족시키므로 측정된 VH-편파 RCS는 HV-편파의 값과 같다. 그림 3-24에서 볼 수 있듯이 $\phi \pm 45^\circ$ 주변에서는 RCS패턴이 STCR의 RCS 형태이며, $\phi 0^\circ$ (정면) 주변에서는 DCR의 RCS 특성을 보인다 (Ruck et al., 1970).

VV-편파는 비교적 각도별 RCS의 변화가 적어 최고와 최저값의 차이가 10 dB이내이지만, HH-편파의 경우에는 15 dB의 고저차를 보이는데, 이것은 $-20^\circ \leq \phi \leq 20^\circ$ 에서 DCR의 영향이 HH-편파에서 더 크게 나타나기 때문인 것으로 보인다.

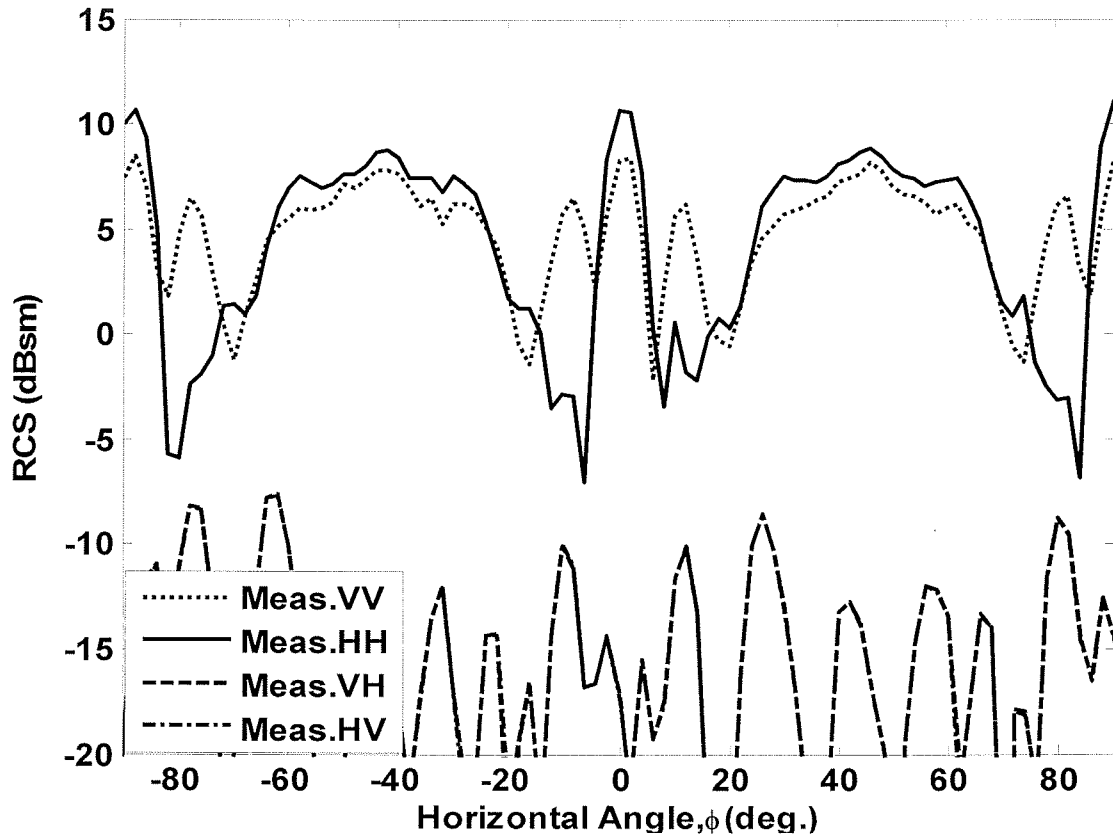


그림 3-24 4-배열 사각형 삼면 전파 반사기의 RCS 측정 결과

(1) 모멘트 법

수치해석 기법 중 하나인 모멘트 법(Method of moment, MoM)은 전기 적분 방정식 (electric field integral equation: EFIE) 또는 자기 적분 방정식(magnetic field integral equation: MFIE) 을 통해 계산된다. 일반적인 EFIE식은 다음과 같다(Balanis, 1989).

$$j \frac{\eta}{\beta} \left[\beta^2 \iint_S J_s(r') G(r_s, r') ds' + \nabla \iint_S \nabla' \cdot J_s(r') G(r_s, r') ds' \right] = E_i^i(r = r_s) \quad (\text{식 3-2})$$

여기서 $G(r_s, r')$ 은 그린함수를 나타내고, ∇ 과 ∇' 은 각각 관측과 전원위치에서의 스칼라의 기울기(gradient)를 의미 한다. 식(1)에서 표면 전류(J_s)를 구한 후 RCS를 계산 하게 된다. 모멘트 법 계산시 전파 QSTCR의 두께는 고려하지 않았으며, 2700개의 미소 면적 으로 나눈 후 각각에서 계산 하였다. 모멘트 법 수치해석 계산시 가장 중요한 대각행렬 요소인 selfcell을 적분 할 때에는 각 selfcell의 중심부근에서 작은 원을 제거하였다. 이때에 작은 원의 반지름이 $\lambda/400$ 이하에서 적분 값이 수렴되는 것을 확인 한 후 원을 제거하였으며, 가우시안 수치 적분법(Gaussian Quadrature)을 사용하였다(Burden and Faires, 2005). 그림 3-25은 HH 편파에서 모멘트 법으로 계산한 QSTCR의 HH편파 RCS값과 측정된 HH편파의 RCS값을 비교 한 그림이다. 주요 해석 영역부근인 $\phi \pm 45^\circ$ 주변에서는 비교 값들 사이에 2 dB이하의 오차

를 보였으며, ϕ 0°에서는 3dB이하의 차이를 보였다. 그림 3-26는 모멘트 법으로 계산한 QSTCR의 VV편파와 측정된 VV편파의 RCS값을 비교한 그림이다. 주요 해석 영역부근인 ϕ $\pm 45^\circ$ 주변에서는 비교 값들 사이에 2 dB이하의 오차를 보였으며, ϕ 0°에서는 1dB이하의 차이를 보였다.

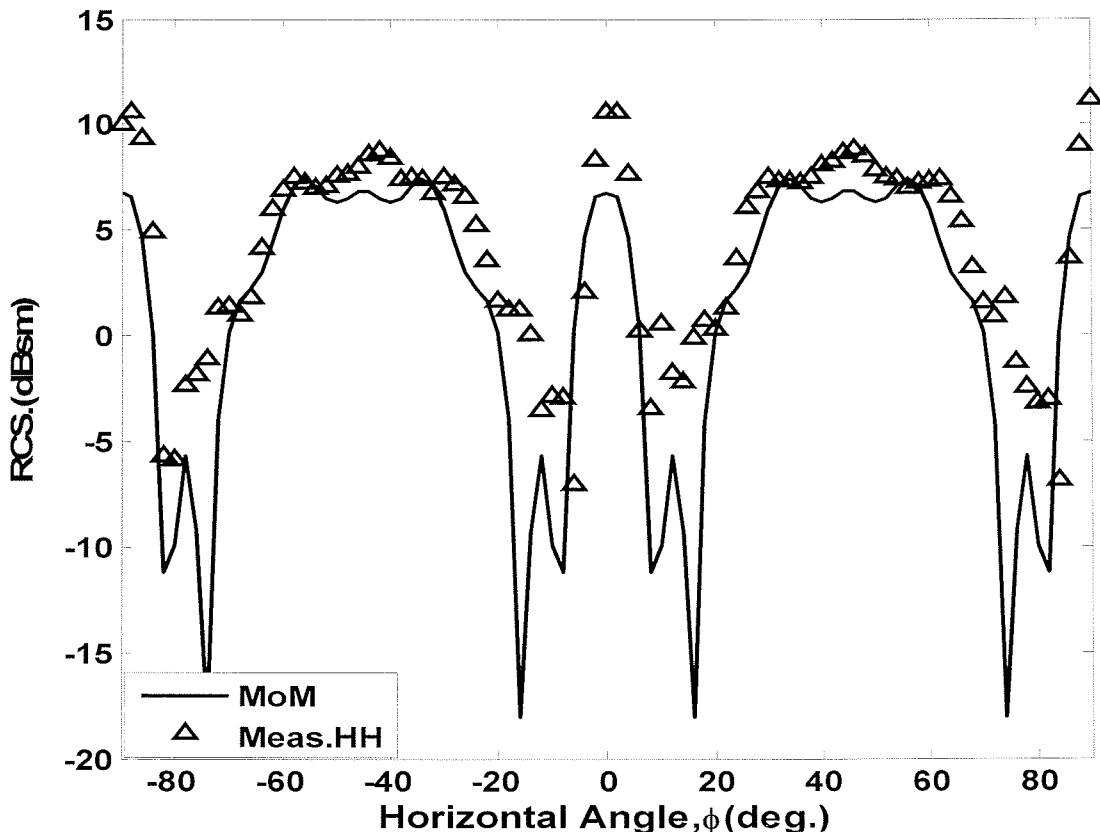


그림 3-25. HH편파에서 모멘트 법 계산 값과 측정값 RCS 비교

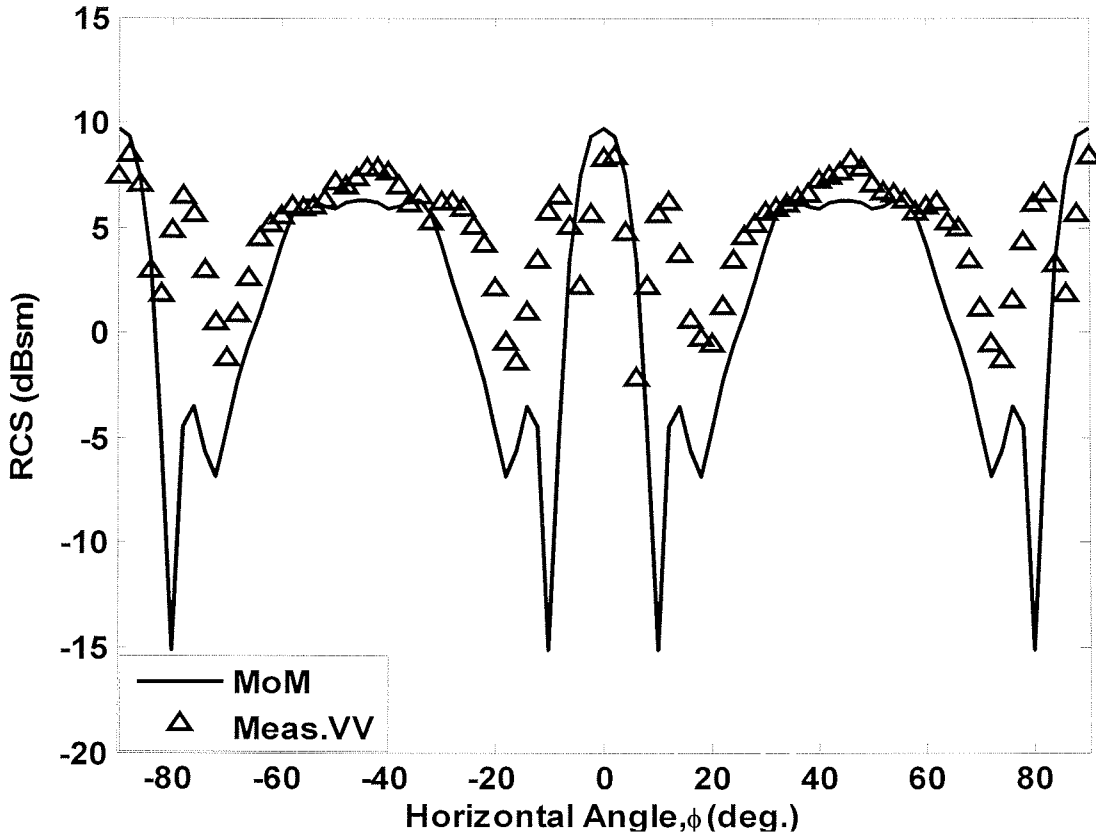


그림 3-26 VV편파에서 모멘트 법 계산 값과 측정값 비교

(2) 이론식 및 시뮬레이션

전파반사기에 대해서는 많은 연구를 통하여 측정 및 이론식들이 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 QSTCR에 대한 RCS를 정확하게 계산하는 이론식은 얻을 수 없으므로, ϕ 0° 와 ϕ $\pm 90^\circ$ 근방의 각도에서는 양면 전파 반사기(DCR)의 특성을 적용하고, 이 외의 각도에서는 사각형 삼면 전파반사기(STCR)의 특성을 적용 하여 이론식을 제안 하였다.

만약 $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ 범위를 고려한다면, $-90^\circ \leq \phi \leq -80^\circ$, $-10^\circ \leq \phi \leq 10^\circ$,

$80^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ 의 범위는 DCR의 RCS 계산식인 식 3-3을 사용하고, 그 밖의 각도에서는 STCR의 RCS 계산식인 식 3-4를 사용하였다(Ruck et al., 1970).

$$\sigma_{DCR} = \frac{16\pi^4 \sin^4\left(\frac{\pi}{4} + 35.26\frac{\pi}{180}\right)}{\lambda_0^2} \left[\frac{\sin(\beta l \sin(\phi))}{\beta l \sin(\phi)} \right] \quad (\text{식 3-3})$$

$$\sigma_{STCR} = \frac{4\pi^4}{\lambda_0^2} \cos^2\left(54.74\frac{\pi}{180}\right) (4 - \cos(\phi))^2 \quad (\text{식 3-4})$$

그림 3-27는 STCR과 DCR의 이론식 RCS를 보여주고 있으며, STCR과 DCR 두 그래프를 더하면 QSTCR의 이론적 RCS를 얻어 낼 수 있다.

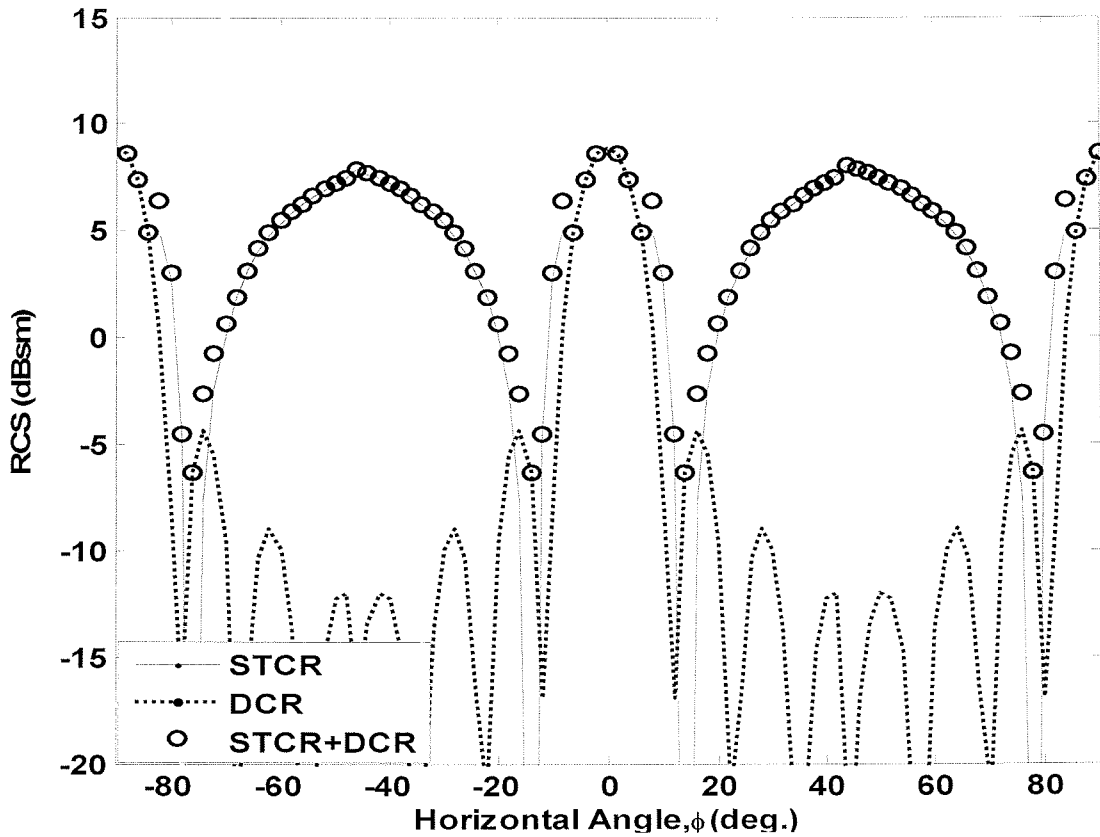


그림 3-27 STCR과 DCR의 이론식

더욱 정확한 비교를 위해 High Frequency Structure Simulator (HFSS) 상용 소프트웨어를 사용하여 QSTCR의 RCS 특성을 분석 하였다. HFSS 를 사용하여 단일 DCR과 단일 STCR의 특성을 분석하여 두 특성의 우세 영역을 구분하였고, 이를 통해 이론식을 보완 하였다. 그림 3-28과 3-29는 각각 HH편파와 VV편파에서의 RCS에 대한 이론 값과 HFSS 계산 값을 비교한 그림이다. $\phi \pm 12^\circ$ 부근의 부돌출부들은 QSTCR의 세로 방향의 모서리에 의해 DCR특성이 나타나는 영역에서 STCR의 영향이 함께 나타난 것이다. 모서리의 두께가 작아진다면 부돌출부의 크기가 작아지며, 폭도 좁아지는 것을 HFSS 계산에서 확인하였다. 특히, HH편파에 비해 VV편파에서 부돌출부가 크게 나타나는데 두께가 작아지면 HH편파와 VV편파의 부돌출부 차이는 작아진다. 그러나 QSTCR의 구조적 특성에 의해서 VV편파의 부돌출부가 HH편파보다 항상 크게 나타 난다.

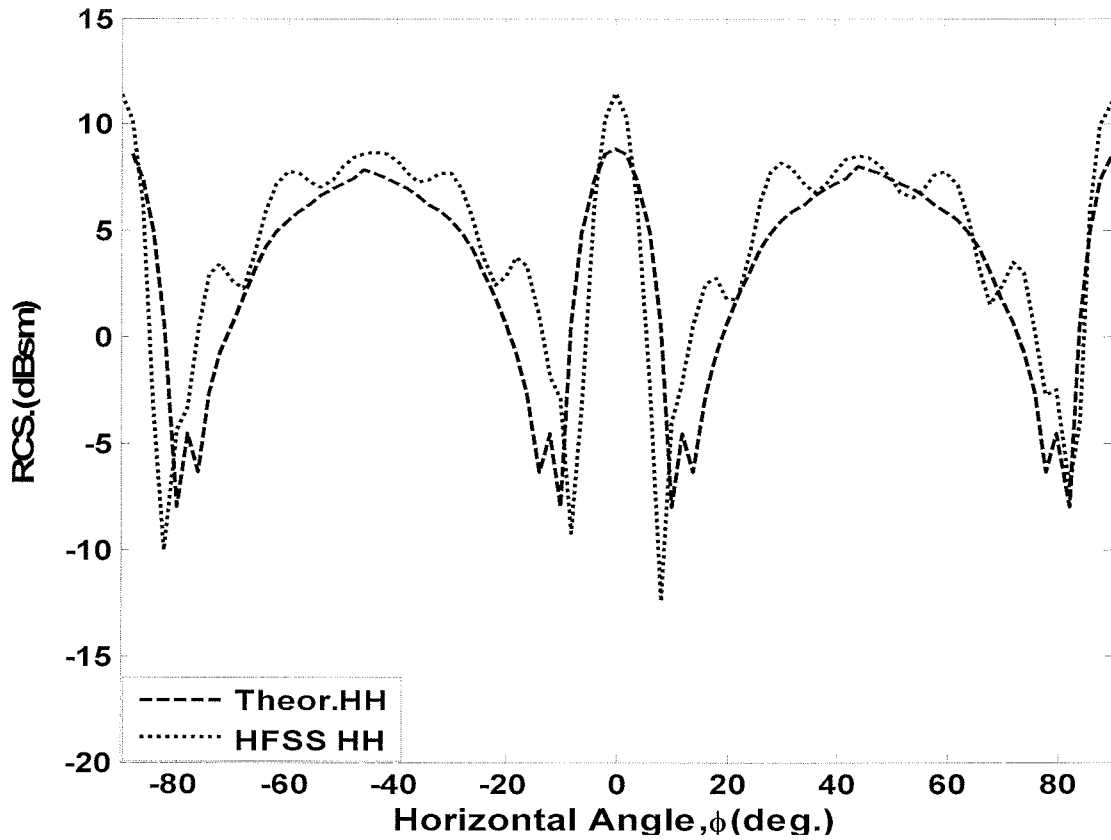


그림 3-28 HH편파에서 이론 값과 HFSS 시뮬레이션 결과 RCS 값 비교

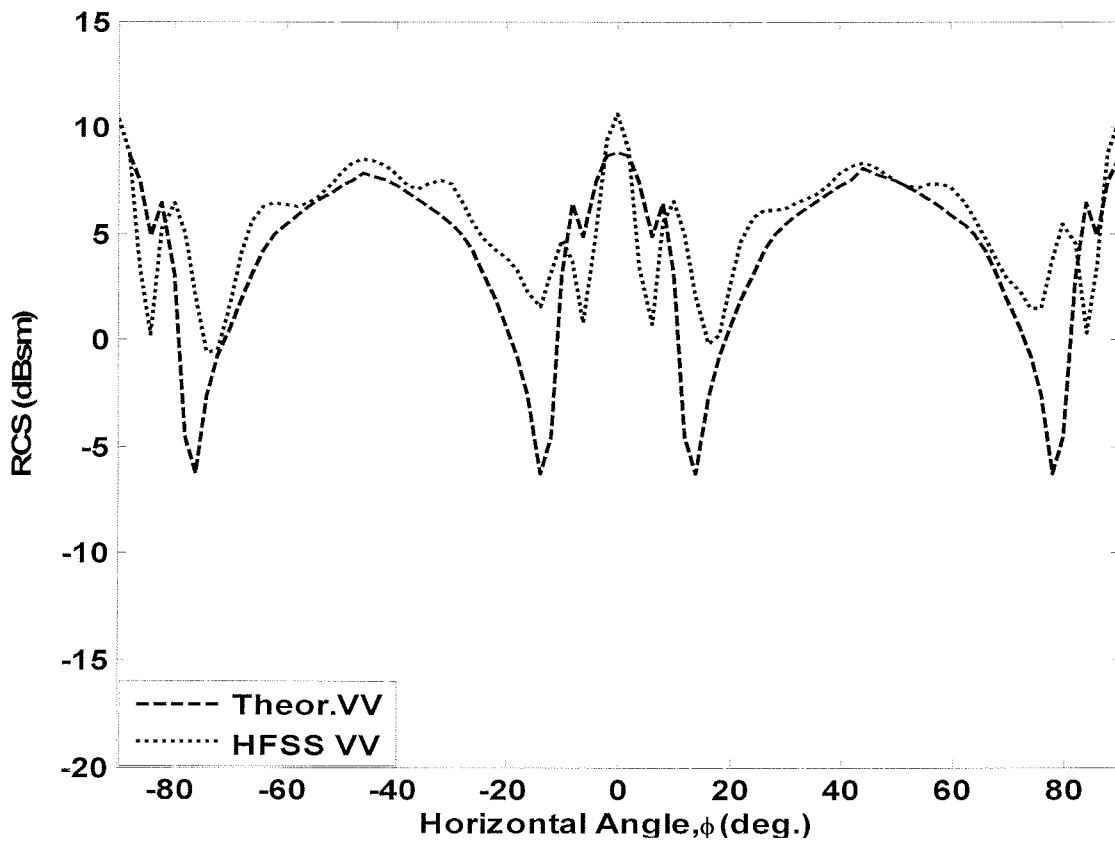


그림 3-29 VV편파에서 이론 값과 HFSS 시뮬레이션 결과 RCS 값 비교

(3) RCS값 비교 및 분석

앞에서 살펴 본 측정값, 모멘트 법 수치 계산 값, 이론 값 그리고 HFSS 계산 값을 비교 하여 QSTCR의 RCS 패턴 특성을 정확히 분석 하게 된다. 그림 3-29는 HH편파에서 측정값과 비교 값들을 보여 준다. 주요 해석 영역 부근인 $\phi \pm 45^\circ$ 주변 에서는 비교 값들 사이에 2 dB이하의 오차를 보였으며, $\phi 0^\circ$ 에서는 3dB이하의 차이를 보였다. 그림 3-31은 VV편파에서 측정값과 비교 값들을 보여 준다. 주요 해석 영역 부근인 $\phi \pm 45^\circ$ 주변에서는 비교 값들 사이에 2 dB이하의 오차를 보였으며, $\phi 0^\circ$ 에서는 1dB이하의 차이를 보였다. $\phi \pm 12^\circ$ 부근의 부들출부에서 HH편파와 VV편파의 차이가 나타났으며, 이 부근에서는 두께가 고려된 HFSS의 결과값이 다른 비교 값들에 비교해서 측정값과 잘 맞는 것을 확인 하였다. 전방향 반사 특성의 관점에서 볼 때, $-20^\circ \leq \phi \leq 20^\circ$ 구간 에서 VV편파가 HH편파보다 더 좋은 것을 볼 수 있다. 즉, 표적 위치 추적에 QSTCR를 사용한다면 VV편파가 HH편파보다 더 유용할 것으로 보인다.

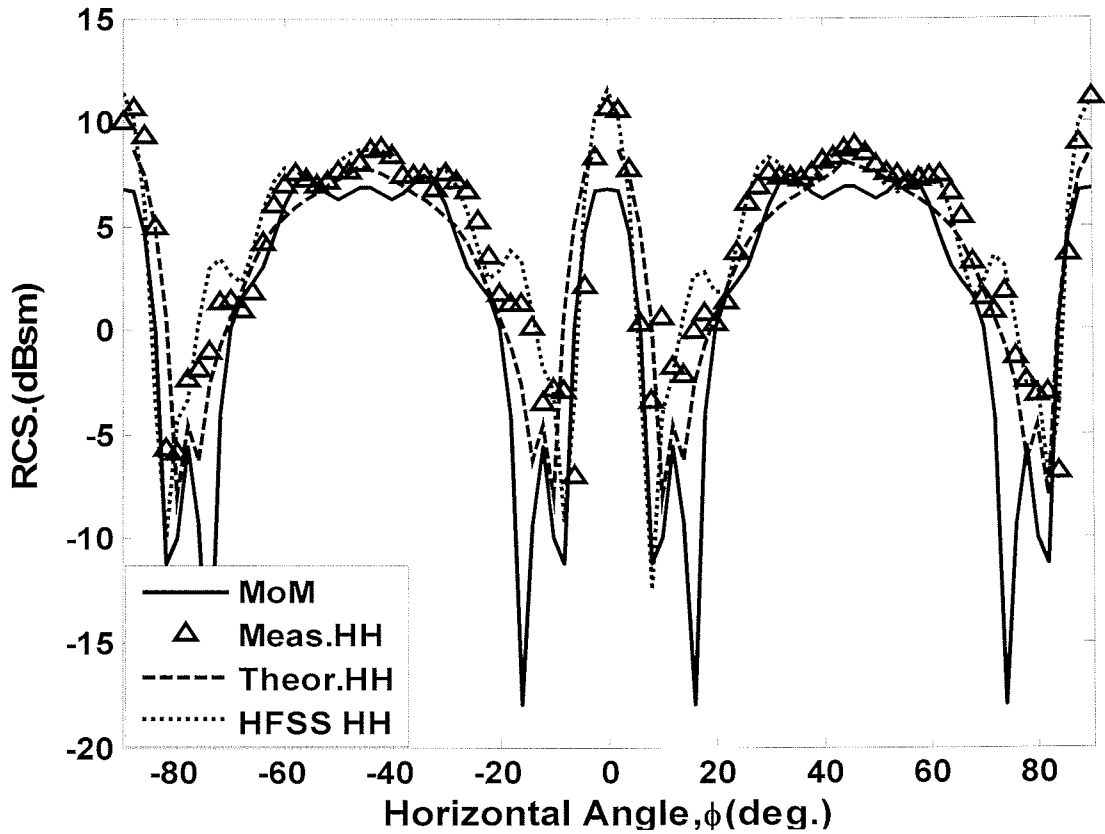


그림 3-30 HH편파에서 RCS값 비교

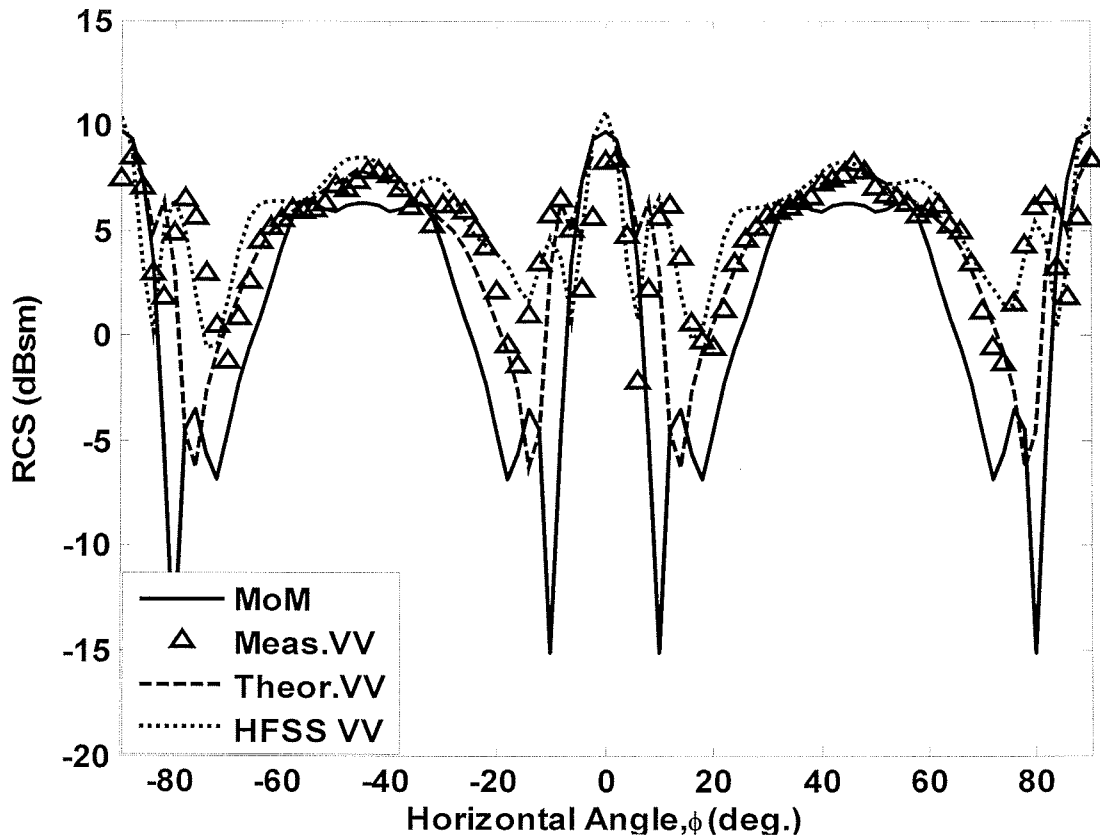


그림 3-31 VV편파에서 RCS값 비교

이론식의 경우 계산시간이 상당히 짧으면서 측정값과 오차가 적으므로 유용하게 사용 되어 질수 있다. 이론식에 사용된 QSTCR의 중심축선 ($\theta = 54.74^\circ, \phi = 45^\circ$) 에서의 RCS는 식 3-5와 같이 표현된다(Ruck et al., 1970).

$$\sigma_{STCR} = \frac{12\pi l^4}{\lambda_0^2} \quad (\text{m}^2) \quad (\text{식 3-5})$$

이 식을 이용하면 주파수별 반사기 크기별로 중심축선에서의 RCS를 계산할 수 있고, 수평 각에 따른 RCS 패턴은 그림 3-30와 그림 3-31에서 보인 패턴과 유사할 것이다. 그림 3-32는 L-,C-,X-밴드에서의 크기별 계산된 RCS값을 보여 준다. 반사기의 크기가 0.15 m일 때에 C-밴드(5.3 GHz)에서의 RCS 값은 대략 7.8 dBsm이며, 이 값은 그림 3-30과 그림 3-31의 $\phi \pm 45^\circ$ 일 때의 값과 같다. 예를 들어, 반사기의 크기가 1 m일 경우에는 RCS값이 40.7 dBsm으로 크게 증가한다. 따라서 RCS가 작은 표적의 경우에는 QSTCR를 설치하여 표적 탐지에 도움을 줄 수 있게 된다. 표적은 크기, 재질과 구조에 따라 판이하게 다른 RCS 값을 주며, 표적에서의 전파 반사는 금속면이 양면(dihedral) 구조를 가질 경우 정면에서 크게 작용하며, 표적과 바다표면이 이루는 양면 구조도 큰 반사를 일으킬 수 있을 것이다. 이 경우에는 풍향과 풍속에 다른 바다표면의 거칠기 영향을 받을 것으로 보인다.

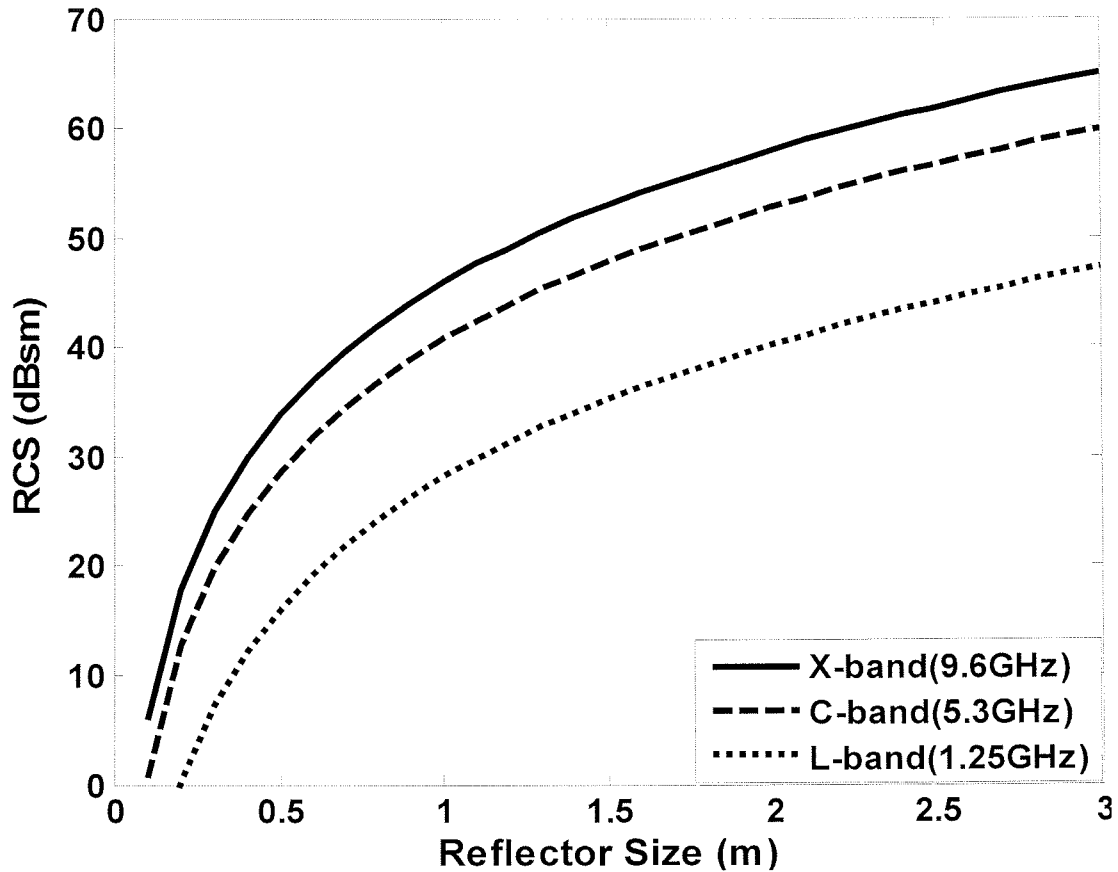


그림 3-32 L-, C-, X-밴드에서의 반사기 크기별 RCS 계산 값

(4) 결론

위성 SAR 영상 분석을 이용하여 표적의 위치를 추적할 필요에 의해 제안된 견본 (prototype)의 4-배열 사각형 삼면 전파 반사기(Quadruple Square-plate Trihedral Corner Reflector, QSTCR)를 제작 하였고, 이 반사기의 RCS 패턴을 C-밴드 (5.3 GHz) scatterometer 시스템으로 측정하였다. 또한, 측정값을 모멘트 법과 이론식 및 HFSS 시뮬레이션값과 비교하여 적절성을 분석해 보았다. 주요 해석 부근인 $\phi \pm 45^\circ$ 에서 측정값과 비교 값의 차이는 HH-편파와 VV-편파 모두에서 2 dB이하를 보였으며, $\phi 0^\circ$ 에서는 비교 값과 HH-편파는 3 dB이하, VV-편파는 1dB이하의 차이를 보였다. 본 연구에서 측정하고 계산한 0.15 m의 견본 반사기의 RCS는 중심축선 에서 7.8 dBsm이지만 이 크기가 1 m가 되면 40.7 dBsm으로 크게 증가하는 것을 볼 수 있었다. 수직 방향 각도 별로 ϕ 방향 RCS패턴을 연구하여 2차원 RCS 특성을 분석 한다면 보다 정확한 RCS 해석 및 응용을 할 수 있으므로 이에 대한 연구가 더 필요하다.

나. 안테나 부이 탐지 실험

안테나 부이 탐지 실험을 수행하기 위해 해상에 존재할 수 있는 코너리플렉터를 제작하였다. 그림 3-33은 제작된 부이식 코너리플렉터의 개념도와 설계도이며, 그림 3-34는 제작된 부이식 코너리플렉터를 나타낸다.

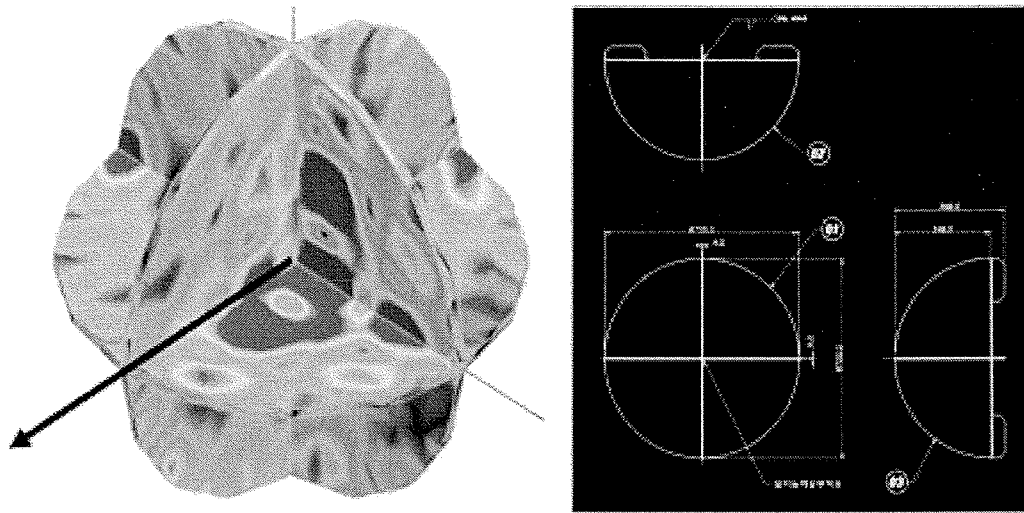


그림 3-33 안테나 부이 설계 모습

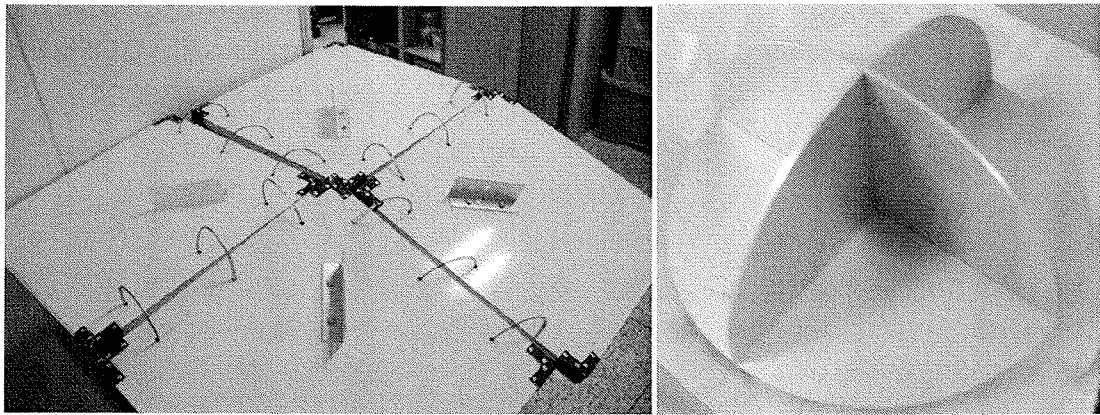


그림 3-34 해상 설치용 베이스먼트(Basement)와 안테나 부이(실험실에서 촬영한 사진)

부이식 코너리플렉터는 챔버에서의 RCS 패턴조사 및 HFSS전류분포 조사를 통하여, 모든 방향에서의 RCS분포가 비교적 균일한 모델 결정 후 제작하였으며, 그림 3-35는 제작된 부이식 코너리플렉터의 야간 탐지 실험 결과를 나타낸다. 그림 3-35의 SAR 영상은 ENVISAT ASAR의 APC모드로 획득된 영상이다.

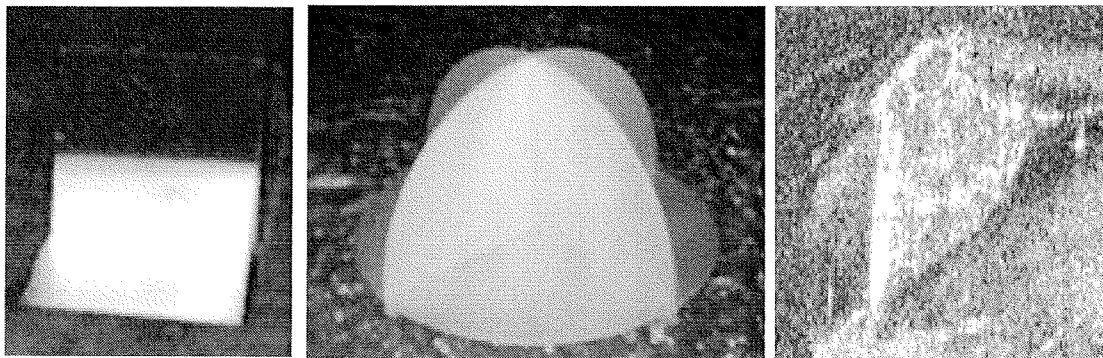


그림 3-35 야간 코너 리플렉터 테스트(2008.2.5)

(1) 안테나 부이 탐지 실험 1

안테나 부이의 탐지 실험을 수행하기 위해 부이를 특정 장소에 설치 한 후 L-, C-, X- 대역 운용 SAR로부터 획득된 영상을 가지고 탐지 결과를 제시하였다.

2009년 4월 18일 대부도 선착장 부근에 안테나 부이 탐지 실험을 위해 부이를 설치하였다. 그림 3-36은 부이가 설치된 장소이며 그림 3-37은 설치된 모습이다. 그림 3-38은 L-대역 PALSAR의 부이탐지 결과를 나타낸다.

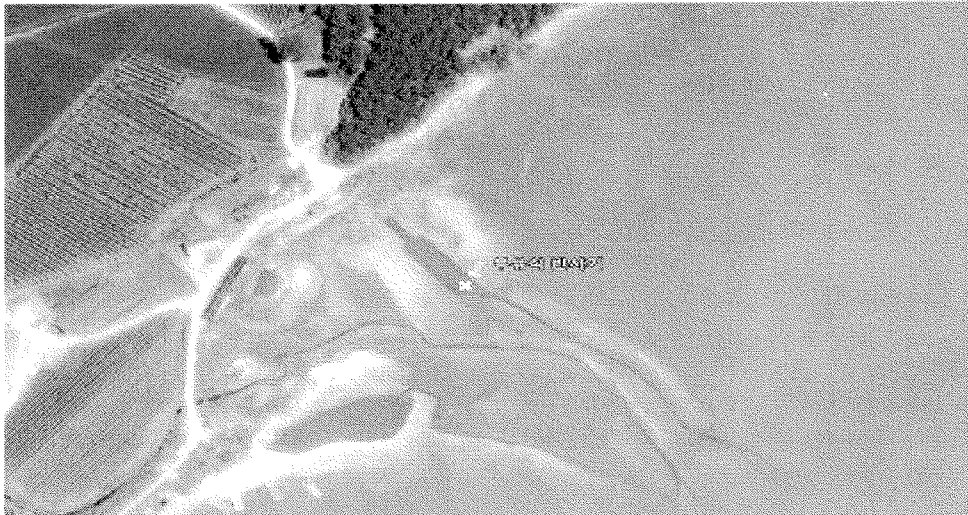


그림 3-36 부이 타깃 설치 장소



그림 3-37 부유식으로 제작된 부이 타깃 설치



그림 3-38 획득한 PALSAR 영상 (L-대역)

(2) 안테나 부이 탐지 실험 2

C 대역과 X 대역 위성 SAR에 대한 안테나 부이 탐지 실험은 2009년 6월 4일 평택 당진항 부근에 안테나 부이를 설치하고 1m, 와 0.6m 크기의 코너리플렉터를 설치하여 표적 인식 실험을 수행하였으며 설치 장소는 그림 3-39에 제시하였다. 1m, 0.6m 타깃은 강두렁에 설치를 하고 그림 3-40, 그림 3-41과 같이 SAR 영상을 획득하였다. 그림 3-40은 ASAR 획득영상(C-밴드)이며 해상도는 30m x 30m 이다. 그림 3-41은 TerraSAR-X 획득영상(X-밴드)이며 해상도는 1m x 1m 이다. 두 영상에서 타깃을 확인할 수 있으나 해상도가 높은 X-밴드 영상에서 선명하게 타깃을 확인 할 수 있다.



그림 3-39 타깃 설치 장소

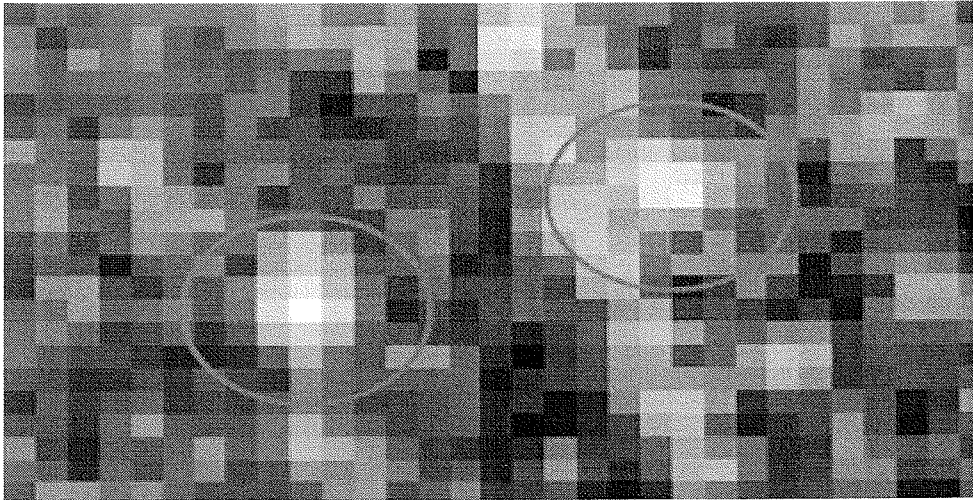


그림 3-40 ASAR 영상 (C-밴드)

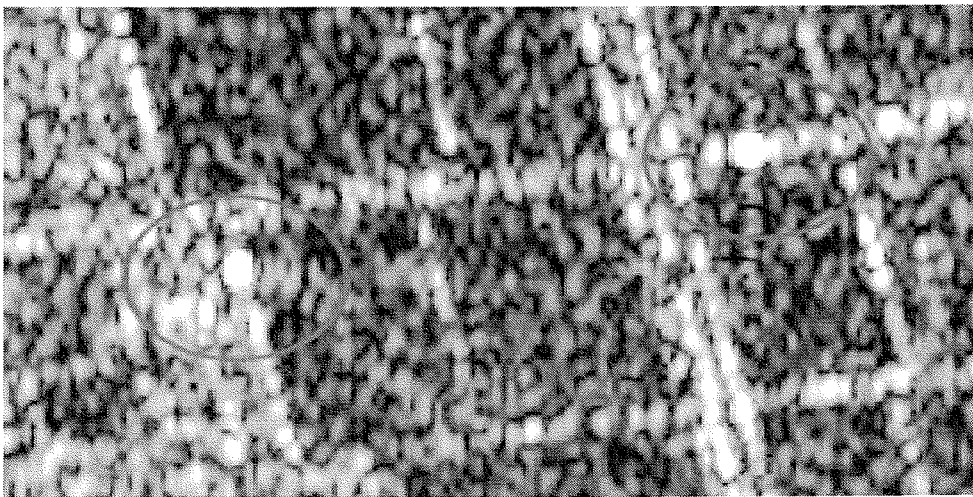


그림 3-41 TerraSAR 영상 (X-밴드)

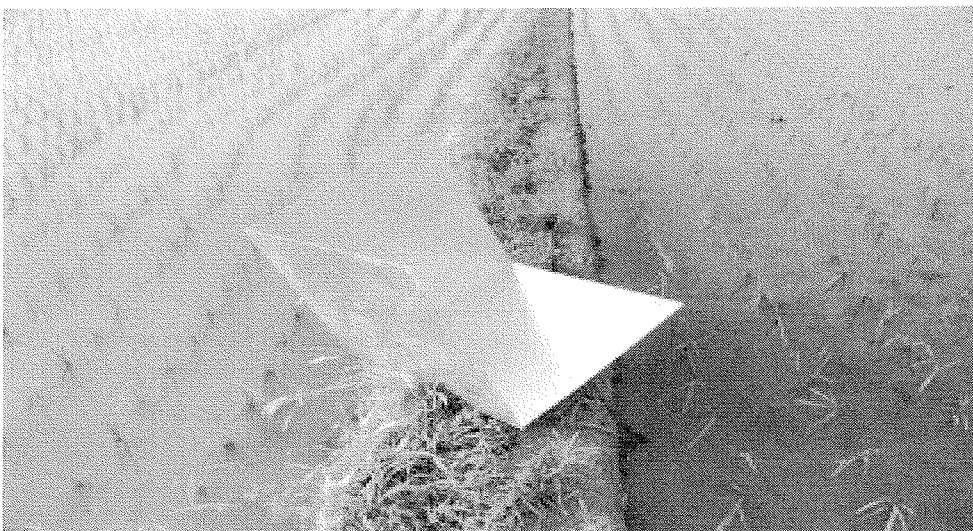


그림 3-42 0.6m 반사기 타깃

안테나 부이 타깃을 남양대교 방향의 강 중앙에 설치를 하고 C-밴드 SAR영상을 획득하였다. 설치된 안테나 부이 타깃은 1m 반사타깃과 같은 성능을 갖지만 물위에 설치되었을 경우 계속적으로 방향이 바뀌는 이유로 낮은 반사도를 갖는다. 획득한 SAR영상을 분석한 결과 C-밴드 이상의 고해상도 SAR 영상을 사용할 필요가 있고, 설치당시 주변에 방해 구조물이 최소인 지역을 선택하여야 한다. 향후 X-밴드 위성을 이용한 추가실험이 요구된다.

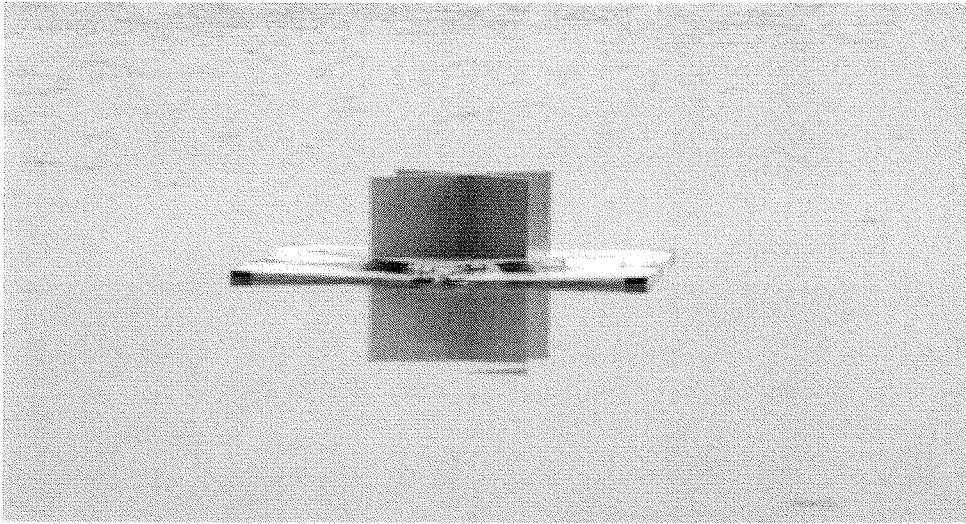


그림 3-43 안테나 부이 타깃

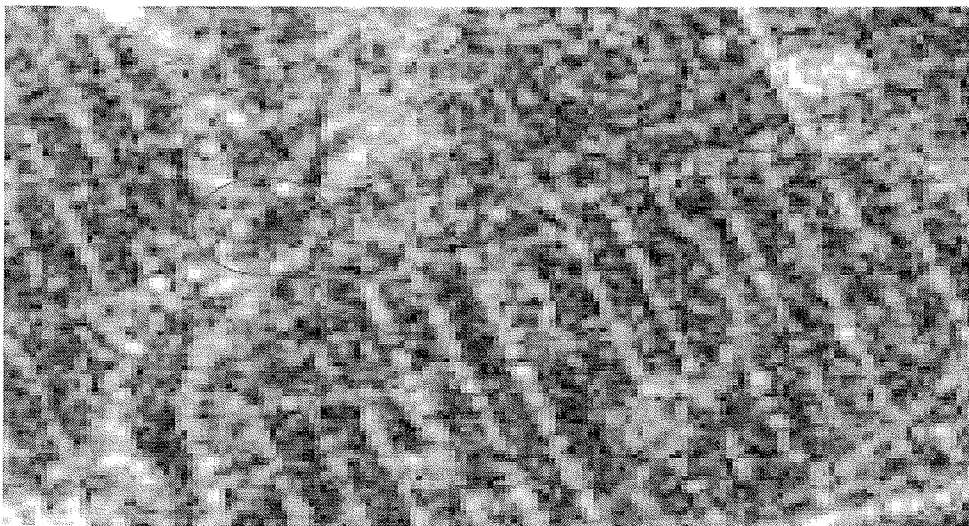


그림 3-44 ASAR 영상(C-밴드)

제 4 절 인공위성 기반 연안 양식 시설 관리 시스템 프로그램 개발

연안 지역에 분포하는 양식 시설에 대한 위치, 면적, 생산량 등의 정보들은 주로 소유주의 신고내용에 의하여 관리되고 있으며, 연안 지형의 변화를 신속하게 반영하지 못하여 해상 안전 사고 및 불법 양식시설 증가 요인으로 작용하고 있다. 이는 체계적인 양식시설 관리 시스템의 부재에 기인한 것으로 지속적인 감시 기술이 요구된다.

최근 위성 기술이 발전함에 따라서 많은 고해상도 영상자료들이 상용화 되고 있으며, 인공 위성을 활용한 연안 양식시설 탐지가 가능하게 되었다. 따라서 본 연구에서는 인공위성 영상을 활용하여 연안 양식시설을 탐지하고 전자해도를 기반으로 데이터베이스와 연동하여 양식시설 정보를 정확하고 효율적으로 관리할 수 있는 '연안 양식시설 관리 시스템'을 개발하였다.

그림 3-45는 연안 양식시설 관리 시스템의 개념도이다. 우선 인공위성으로 위성 영상 및 데이터 수신이 이루어지면 연안 양식시설 추출 모듈에서 수신 자료에 대한 가공 및 처리가 수행되어, 연안 양식시설에 대한 위치, 면적 등의 정보를 생산한다. 이러한 정보들은 데이터베이스에 등록되어 사용자들은 연안 양식시설 관리 모듈을 이용하여 필요와 목적에 맞게 활용할 수 있다.

본 절에서는 연안 양식시설 관리 시스템의 양식 시설 추출 모듈과 관리 모듈에 대한 소개 및 특징, 주요 기능 등을 설명한다.

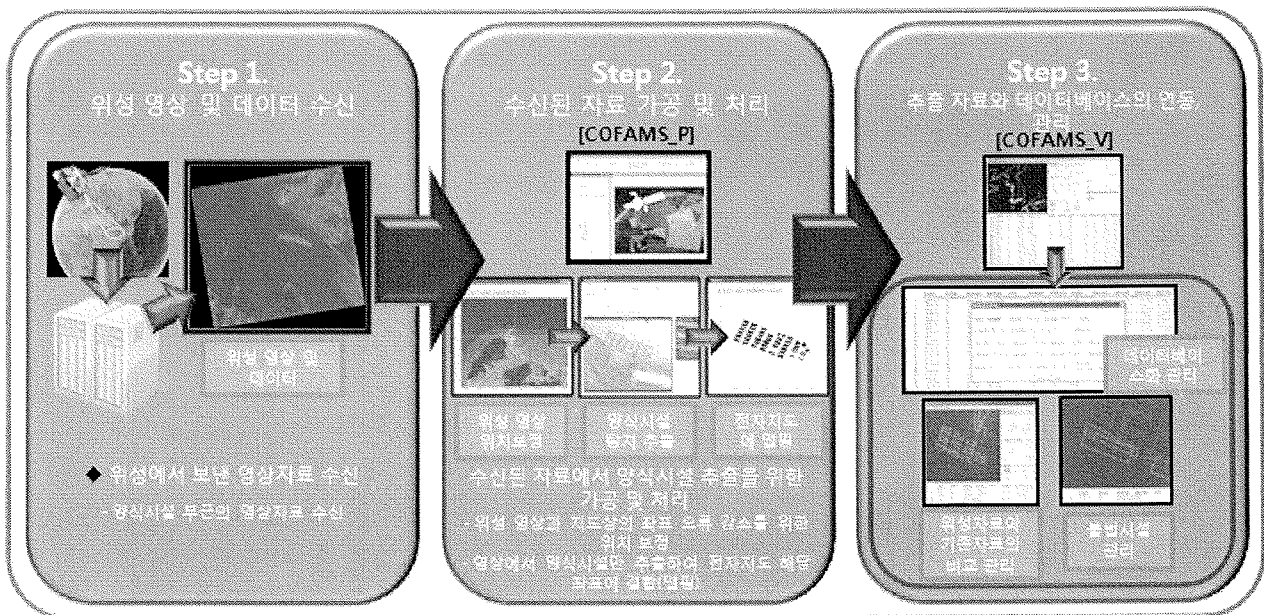


그림 3-45 연안 양식시설 관리 시스템의 개념도

1. 연안 양식시설 추출 모듈

가. 모듈 소개

양식시설 추출 모듈은 위성영상 입력, 좌표 정보 보정, 양식시설 추출, 가시화 및 산출량 계산 등을 수행할 수 있다. 이를 위해 양식시설의 특징을 이용하여 영역을 추출하고, 추출된 데이터를 해안선 데이터 위에 중첩한다. 또한, 추출된 양식장 데이터에서 위경도 좌표를 이용하여 양식시설의 면적을 구하며, 작황지수와 'Net Area Ratio'를 이용하여 보다 실제에 가까운 데이터를 추출할 수 있다.

연안 양식시설 추출 모듈은 Matlab 프로그램으로 구현되어 있으며, 저 사양 플랫폼에서도 빠르게 구동할 수 있도록 주요 프로세서는 C프로그램 모듈로 구현하여 Matlab 프로그램과 연동하였다.

나. 특징

양식시설 추출 모듈은 연안 양식장의 효과적 관리를 위해 위성 영상에 기초한 실측 자료 구축을 용이하게 하며, 다양한 위성 자료를 활용함으로써 실측조사의 정확도와 효율을 극대화한다. 또한, 처리 과정을 최대한 자동화함으로써 관리 및 기타 업무 효율성을 높일 수 있도록 하였고, 쉽게 사용할 수 있는 인터페이스를 갖추으로써 사용자 편의성을 높였다.

다. 연안 양식시설 추출 모듈 구조

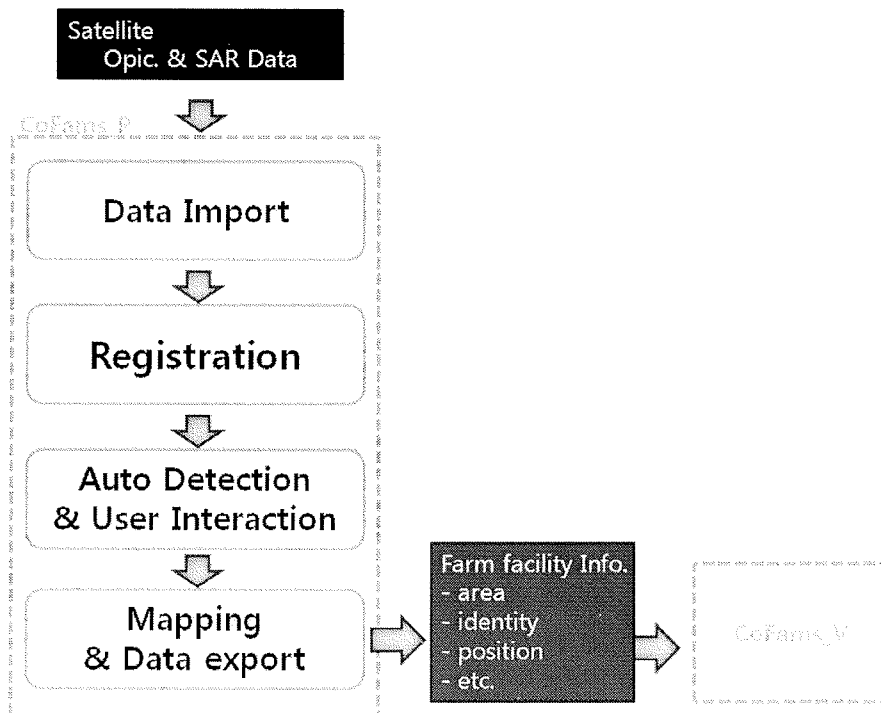


그림 3-46 양식 시설 추출 모듈의 블록다이어그램

그림 3-46은 양식 시설 추출 모듈의 블록다이어그램을 나타낸다. 양식 시설 추출 모듈은 광학 및 SAR 영상 자료를 입력 데이터로 하며, 크게 네 가지 서브 모듈로 구성되어 있다.

각각의 서브 모듈은 위성 영상을 불러들여 내부 데이터 포맷으로 변환하는 'Data Import' 모듈, 좌표 정보를 등록 또는 수정하는 'Registration' 모듈, 양식 시설을 추출하는 'Auto Detection & User Interaction' 모듈, 그리고 가시화 및 양식 시설 정보를 생성하는 'Mapping & Data export' 모듈로 구성되어 있다. 각 처리 단계는 순차적인 프로세스를 독립적으로 수행할 수 있으며, 생성된 데이터는 양식 시설 관리 모듈에서 사용된다.

라. 주요 기능

(1) GUI 구성

그림 3-47은 연안 양식 시설 추출 모듈의 실행 결과를 보여준다. 상단은 기본 구동 모듈로써 각 단계별 처리 모듈을 실행할 수 있다. 그림 좌측은 단계별 처리 모듈을 나타내며, 각 처리 단계별로 개별적인 sub-GUI를 구성하였다. 한편, 그림 우측은 작업 환경을 위한 sub-GUI 모듈이며, 결과 영상을 보여주는 디스플레이 모듈이 포함되어 있다.

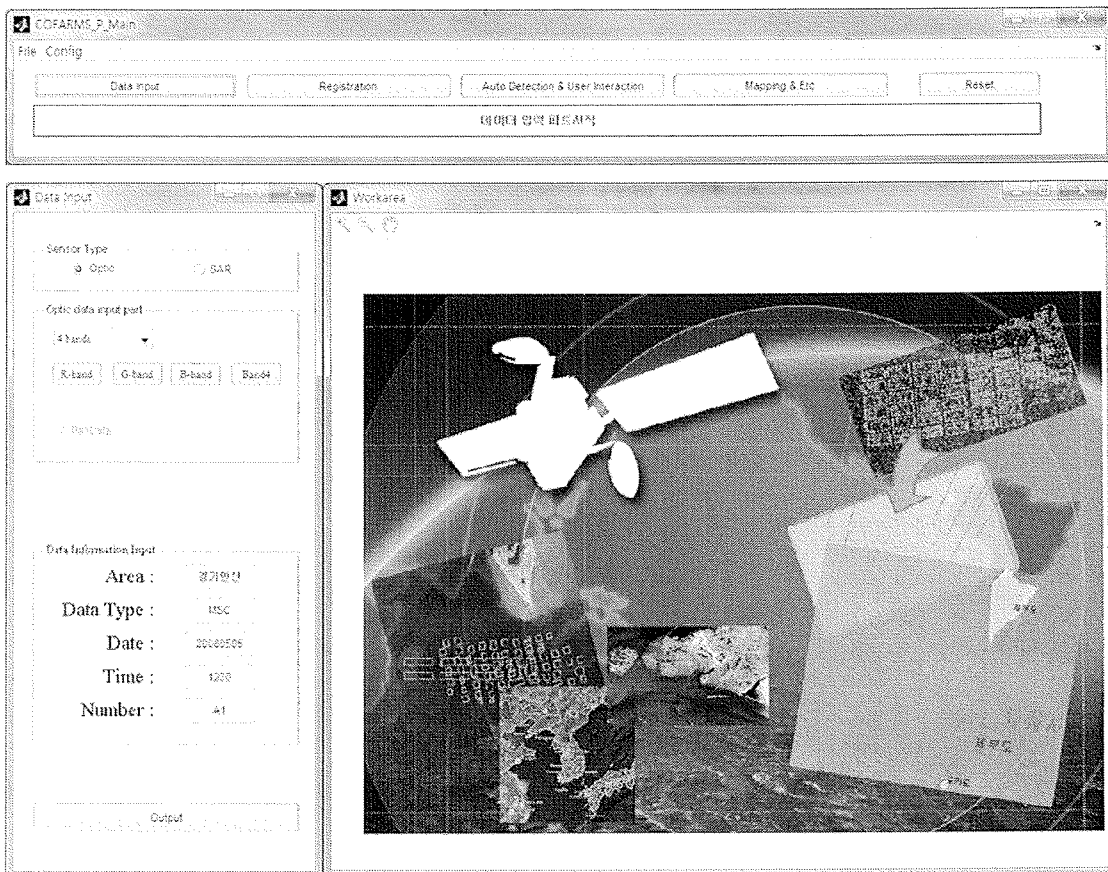


그림 3-47 연안 양식 시설 추출 모듈의 실행 결과

(2) Data Import 모듈

그림 3-48과 그림 3-49는 위성 영상을 불러들여 내부 데이터 포맷으로 변환하는 'Data Import' 모듈의 GUI 구성 및 주요 기능을 나타낸다. 그림 3-48은 센서 타입을 광학(Optic)으로 선택한 경우의 GUI 구성을 나타내며, 센서에 따른 입력 위성 종류를 선택할 수 있다. 위성의 종류가 선택되면 각 채널 별로 데이터를 입력할 수 있으며 출력 자료의 이름을 선택한 후, 입력 영상의 채널수에 따라 데이터를 생성한다. 그림 3-49는 센서 타입을 SAR로 선택한 경우의 GUI 구성을 나타낸다. SAR 영상인 경우 편파에 따른 채널 데이터를 각각 입력할 수 있도록 구성되어 있으며, 상대적 방사보정(Relative radiometric calibration) 수행 기능이 포함되어 있다.

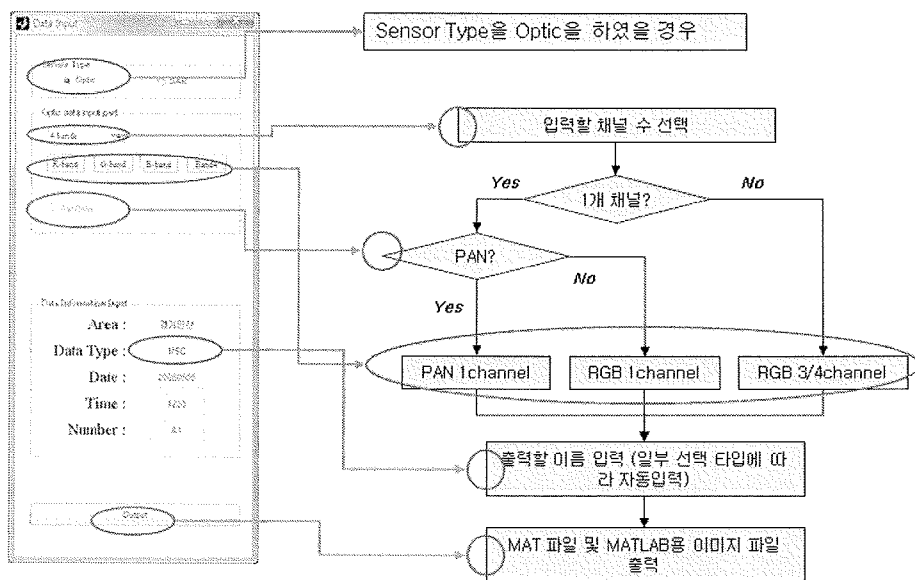


그림 3-48 Data Import 모듈. 센서 타입을 Optic으로 지정한 경우

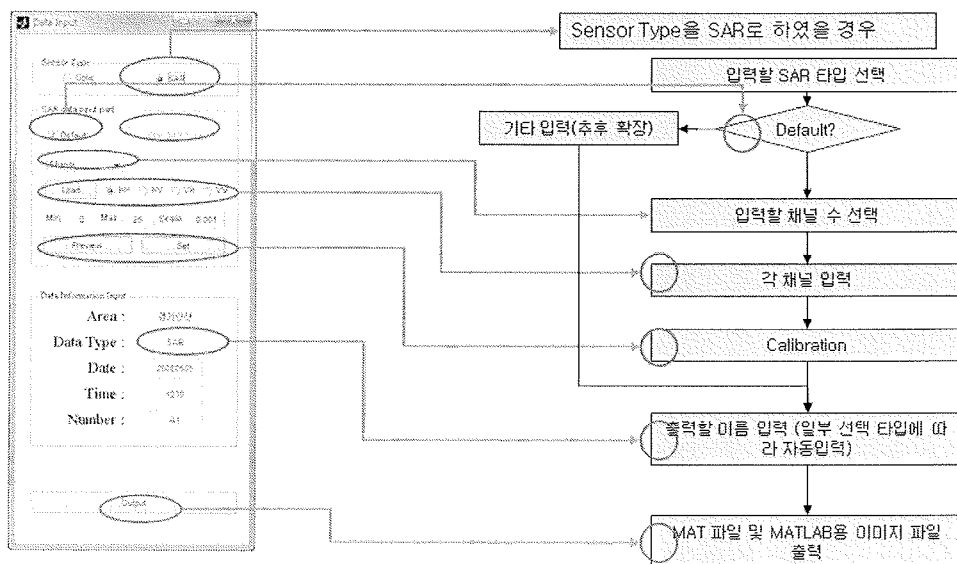


그림 3-49 Data Import 모듈. 센서 타입을 SAR으로 지정한 경우

그림 3-50은 광학 영상에 대한 데이터 import 예를 나타낸다. 데이터 import 과정에서 입력 영상에 대한 정보를 입력할 수 있으며, 지역이름, 센서 종류, 날짜, 시간, 파일 넘버를 입력할 수 있도록 구성되어 있다.

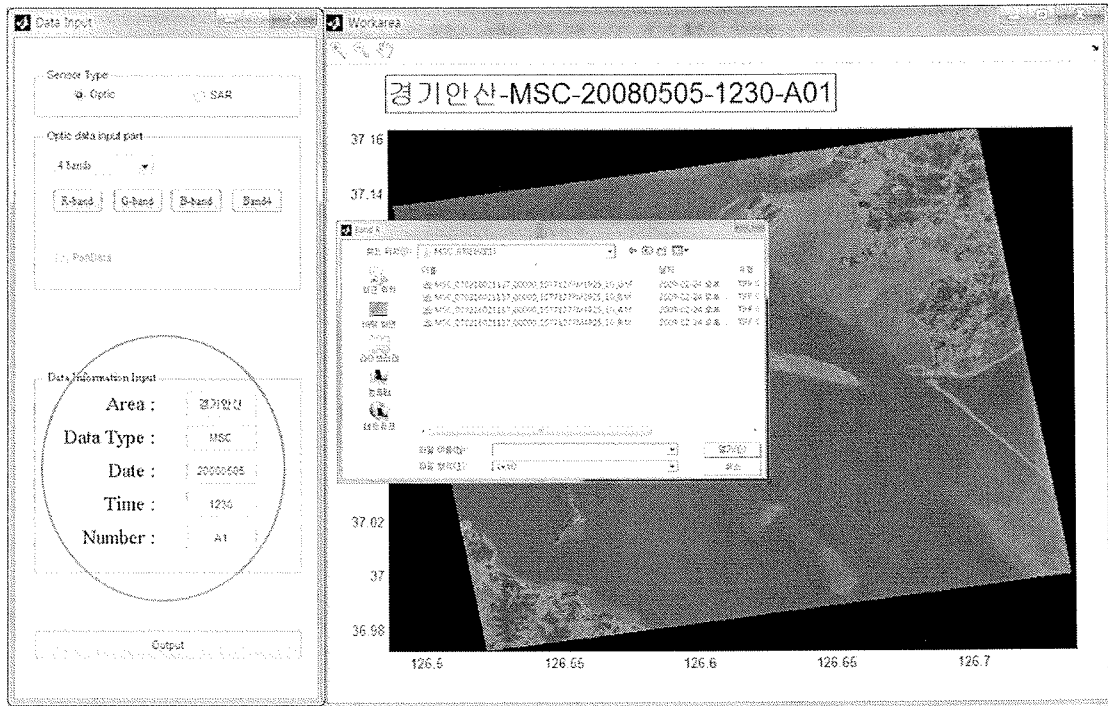


그림 3-50 광학 영상에 대한 데이터 import 예

(3) Registration 모듈

그림 3-51은 Registration 모듈의 실행화면을 나타내며, 그림 3-52는 Registration 모듈의 데이터 처리 순서를 나타낸다. Registration 모듈은 좌표 정보를 등록 또는 수정하는 모듈로써 채널별 영상 디스플레이 기능, 채널 교환 기능, 지상 기준점(GCP) 입력 기능, 밴드 간 영상 위치 보정(Inter-band correction) 기능, 좌표 정보 수정 및 등록(Registration)기능, 출력 기능이 포함되어 있다.

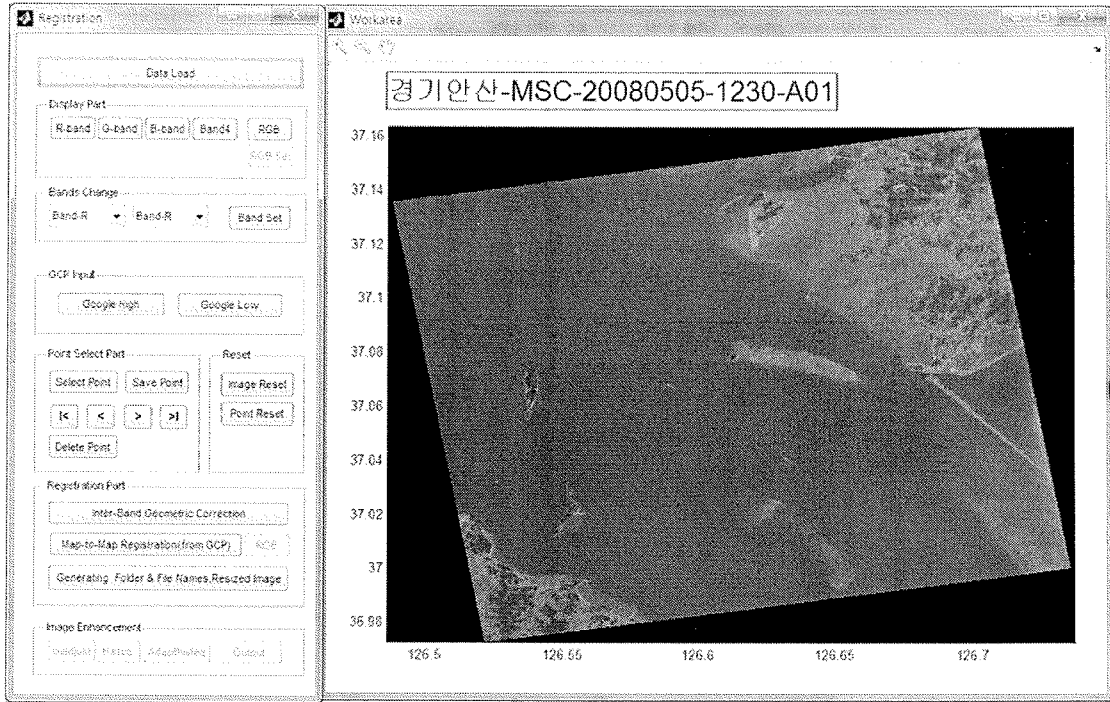


그림 3-51 Registration 모듈의 실행화면

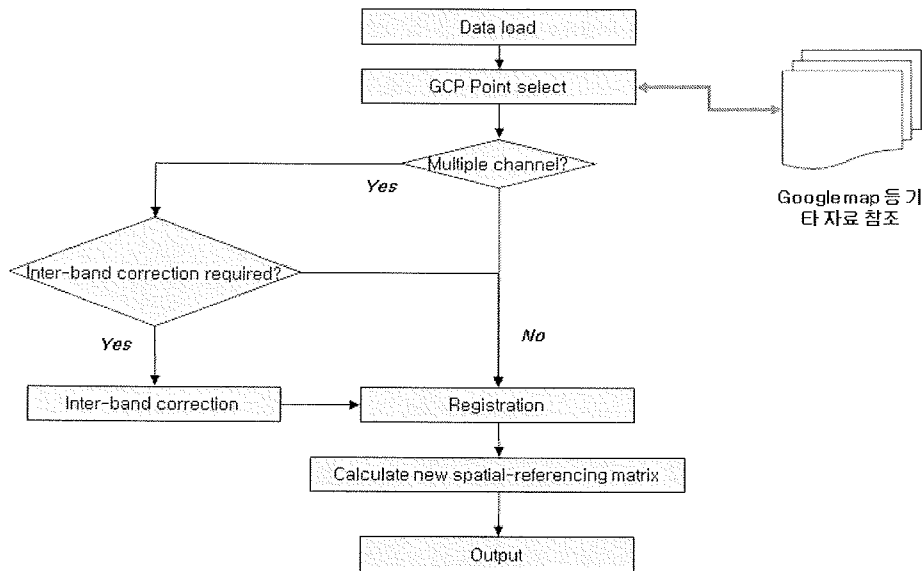


그림 3-52 Registraton 모듈의 블록다이어그램

그림 3-53은 지상 기준점(GCP) 입력 기능을 나타낸다. 영상의 위치 보정을 위하여 정확한 좌표를 입력할 수 있으며, 지상 기준점 입력에 필요한 좌표정보를 참조하기 위해 DGPS를 사용하여 측정된 좌표가 등록되어 있는 구글어스(Google earth) 창을 열 수 있도록 구성되어 있다. 지상 기준점 입력기능을 선택하면 그림과 같이 좌표값을 입력할 수 있는 GUI와 지상 기준점 리스트를 보여주는 창이 생성된다. 따라서 영상의 확대 축소 기능을 사용하여 정확한 지상

기준점을 지정하고 그에 대한 위경도 값을 입력하여 좌표 정보를 등록할 수 있다.

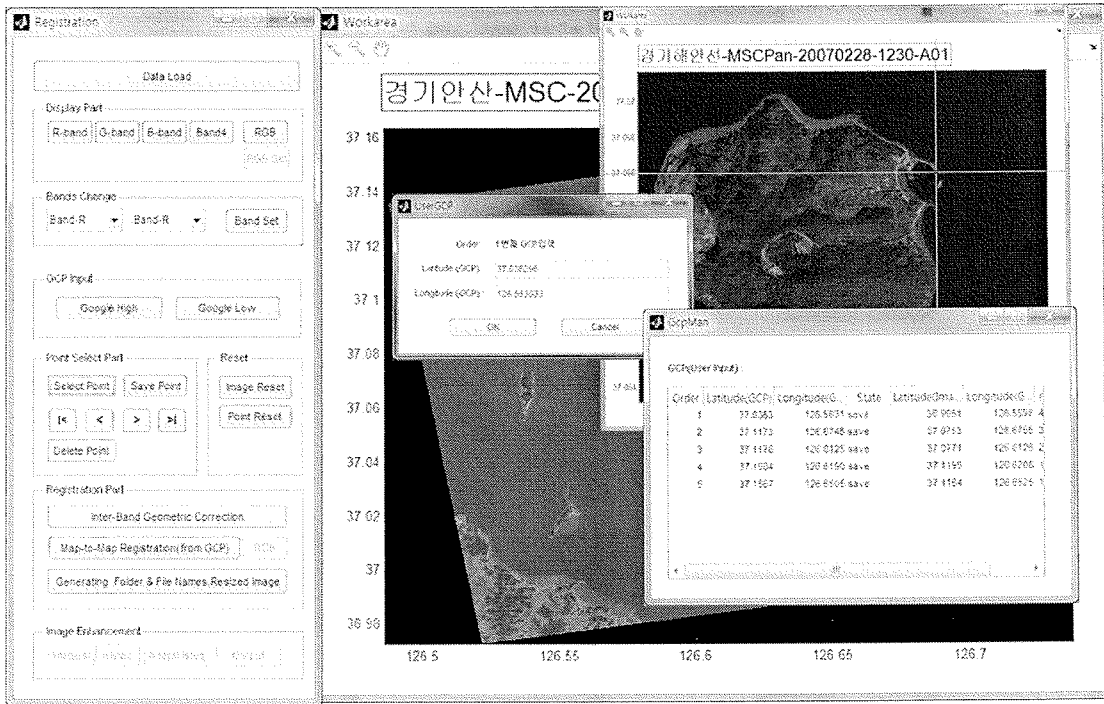


그림 3-53 지상 기준점(GCP) 입력 기능

밴드 간 영상 차이 보정은 지상 기준점을 기점으로 작은 영역을 샘플 이미지로 추출하여 각 영역에 소벨(Sobel) 알고리즘으로 에지(edge)를 추출한다. 이 후 각 영역에 대하여 2-D Discrete cross-correlation을 수행하여 적절한 이동 값을 얻고, 기준 채널을 제외한 나머지 밴드들에 이동 값을 적용하여 보정한다. 그림 3-54에 밴드 간 영상 차이를 보정한 결과를 나타내었다. 그림에 보이는 바와 같이 밴드 간 영상에 위치 오차가 존재하는 경우 적절한 위치 보정이 수행됨을 확인할 수 있다.

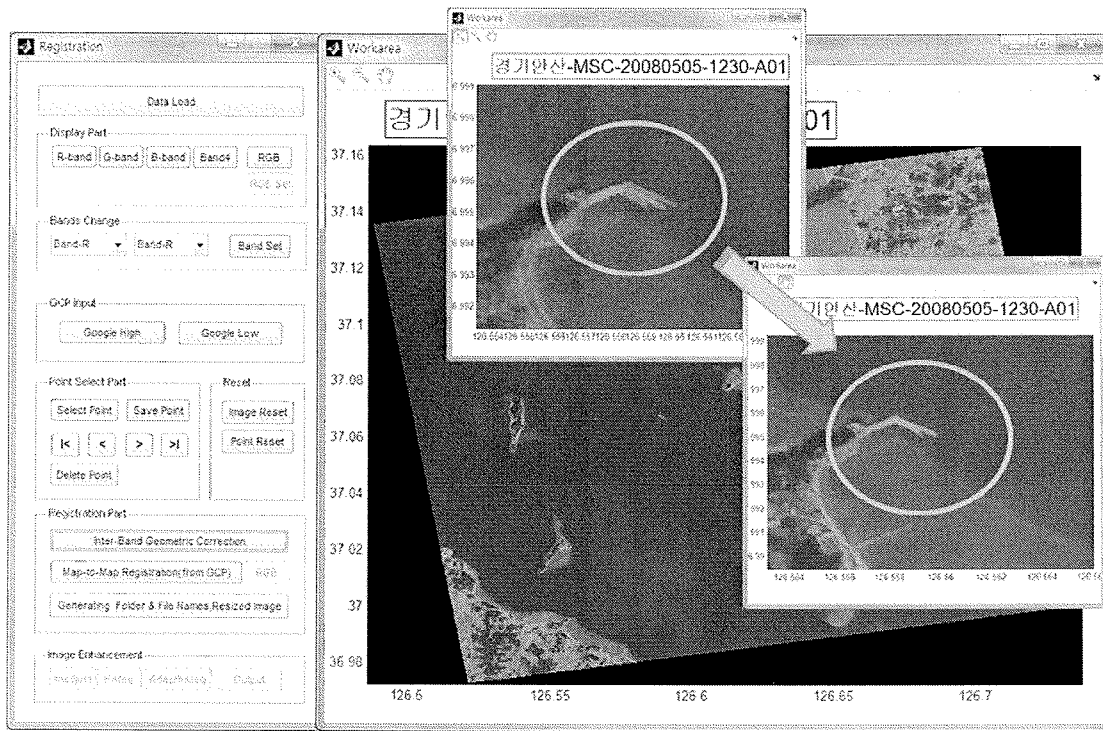


그림 3-54 밴드 간 영상 차이를 보정한 결과

위성에서 관측한 영상의 위경도 정보 및 영역은 여러 이유로 인하여 왜곡되어 있으며, 상용 제품 역시 비교적 많은 오차를 포함하고 있다. 연안 양식시설 추출 모듈은 지상 기준점을 사용하여 이를 보정할 수 있는 기능이 구현되어 있으며, 변환 방식은 'Affine' 또는 'Projective' 방식을 사용할 수 있다. 그림 3-55는 입력된 지상기준점을 기준으로 좌표 정보를 수정한 결과를 보여준다. 지상 기준점을 사용한 좌표 정보 수정은 입력되는 지상 기준점의 오차에 의하여 정확도가 결정되는 단점이 있지만, GPS(Global Positioning System) 등을 사용한 실측정보를 사용할 수 있어 보다 정확한 좌표 정보를 입력할 수 있다.

그림 3-56은 Registration 출력 결과물 저장 결과를 나타낸다. 출력 결과물은 지정된 디렉토리에 저장되며, 밴드 간 영상 차이 수정 파일, 지상 기준점 입력 파일, 출력 영상 파일, 공간 좌표 계산용 matrix 파일이 저장된다. 또한, 영상 강조 기법이 적용된 영상을 디스플레이 하여 연안 양식시설을 육안으로 용이하게 파악할 수 있도록 한다.

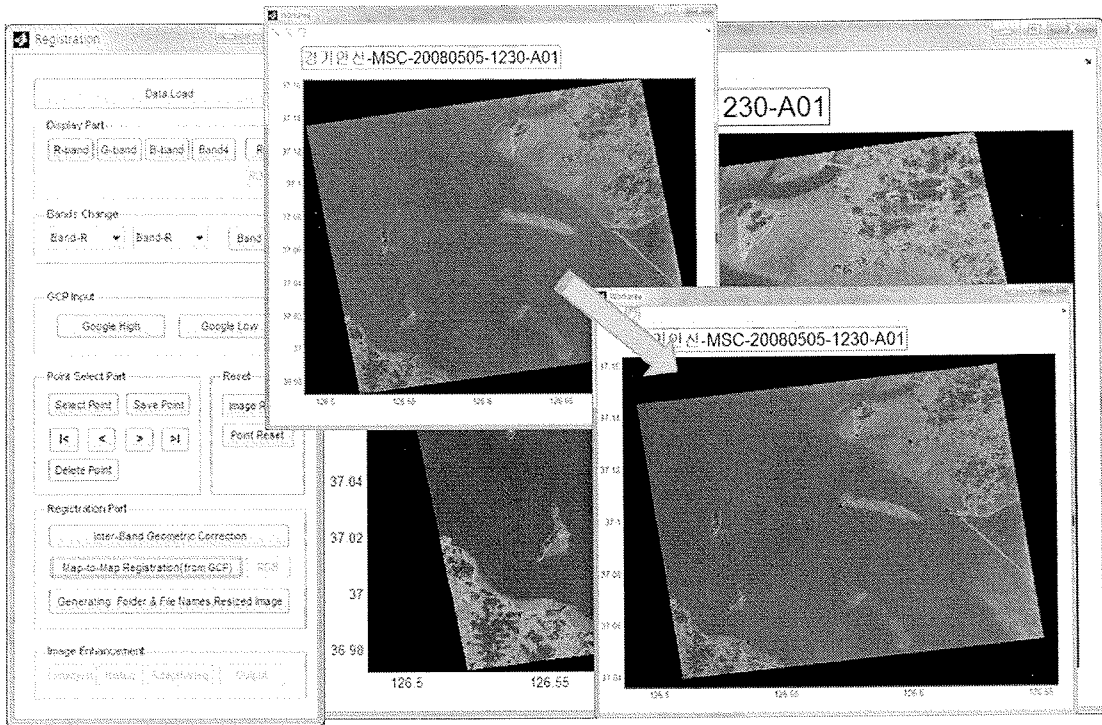


그림 3-55 입력된 지상기준점을 기준으로 좌표 정보를 수정한 결과

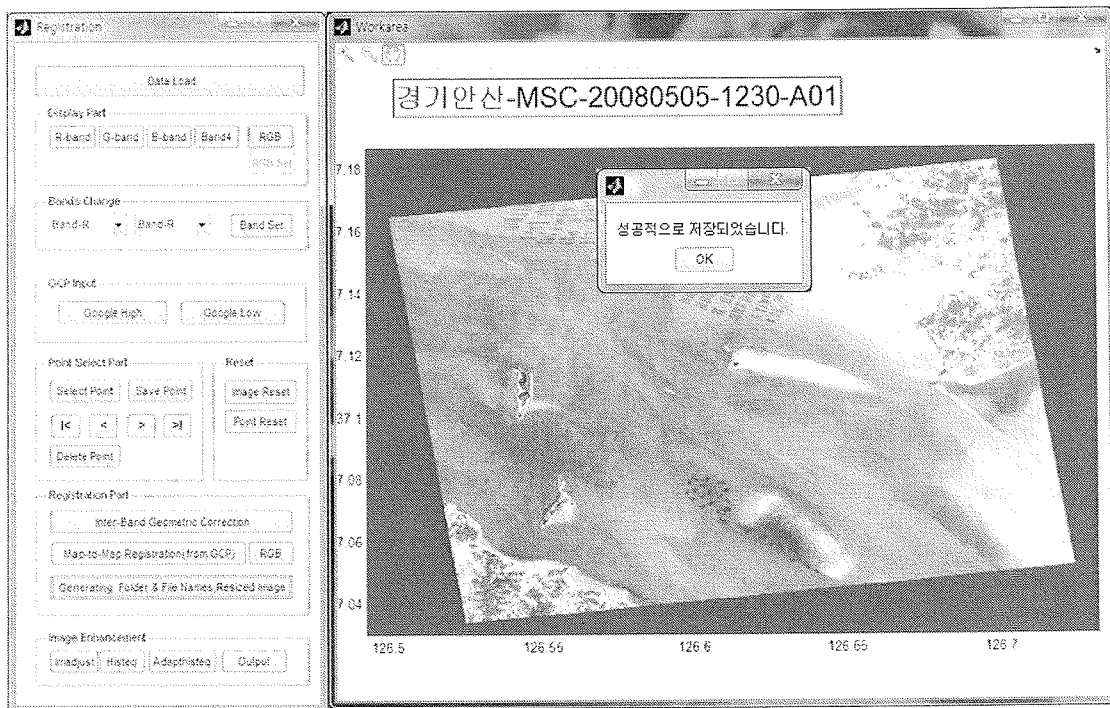


그림 3-56 Registration 출력 결과물 저장 결과

(4) 양식 시설 추출 모듈

그림 3-57과 그림 3-58은 양식 시설 추출 모듈의 실행 화면 및 처리 순서를 나타낸다. 양식 시설 추출 모듈은 기본적으로 자동 추출(Auto Detection) 알고리즘에 의하여 양식 시설을 추출하며, 사용자의 필요에 의하여 영상 개선, 패턴 생성 및 복사에 의한 수동 추출 기능이 추가적으로 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

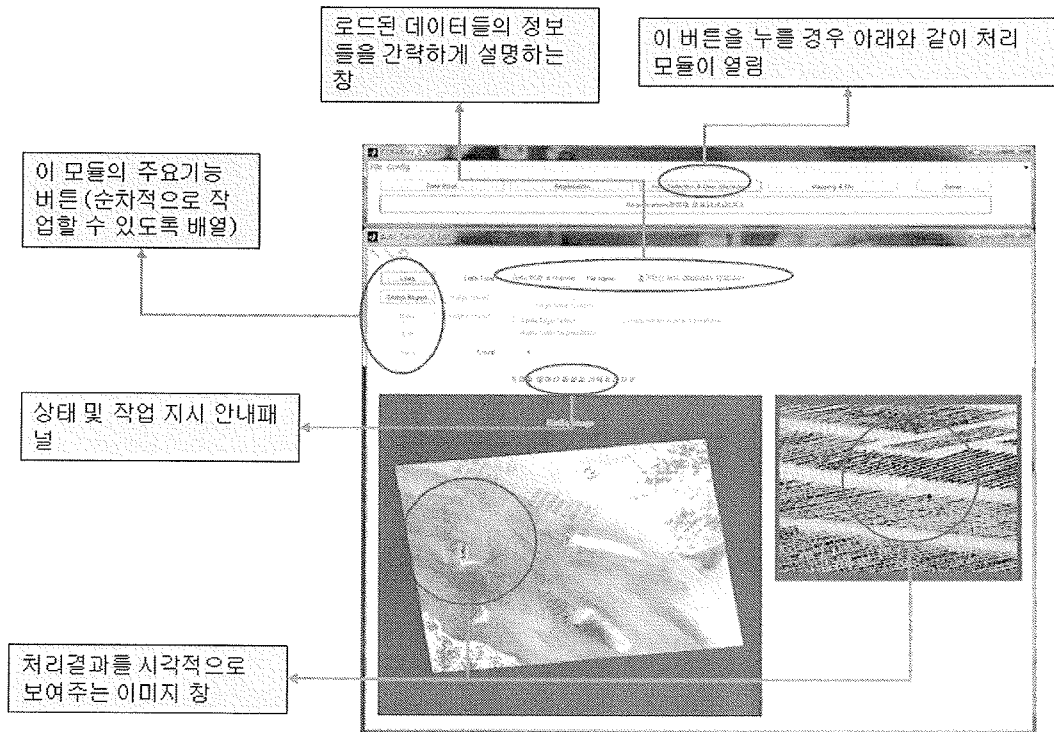


그림 3-57 양식 시설 추출 모듈의 실행 화면

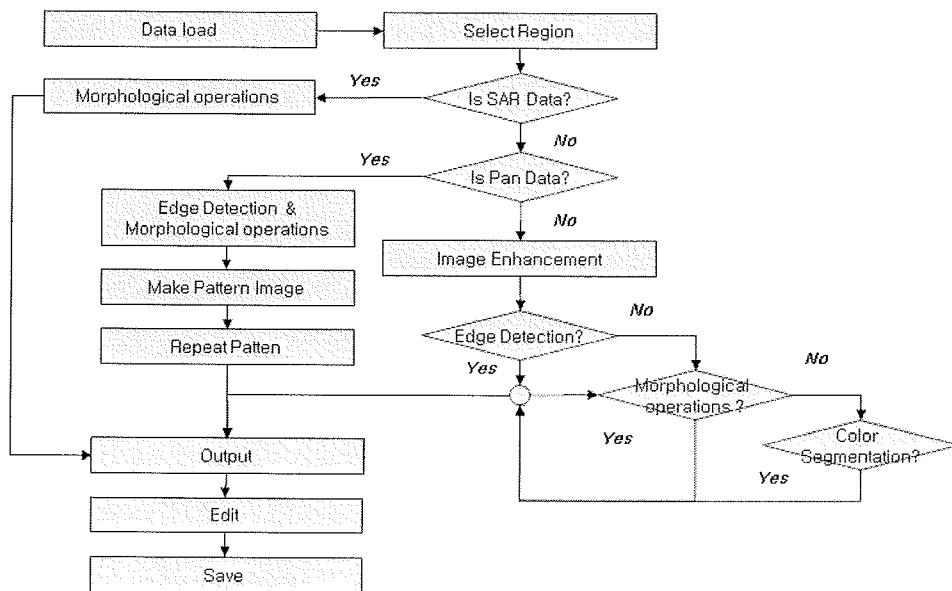


그림 3-58 양식 시설 추출 모듈의 처리 순서

그림 3-59는 양식 시설 영역 추출 과정을 나타낸다. 양식 시설이 분포하는 영역을 확대, 축소 기능을 사용하여 확인한 후, 영역 선택 버튼을 선택하면 영역을 추출할 수 있는 펜 기능이 활성화 된다. 이후 마스크 생성 항목을 선택하여 관심 영역에 대한 데이터를 추출한다.

그림 3-60은 추출된 관심 영역에 대한 영상을 나타낸다. 화면 좌측은 추출된 영역에 대한 마스크 영상을 보여주며, 화면 우측에 원본 영상의 해당 영역을 표시함으로써 선택 결과가 유효한지를 보여준다.

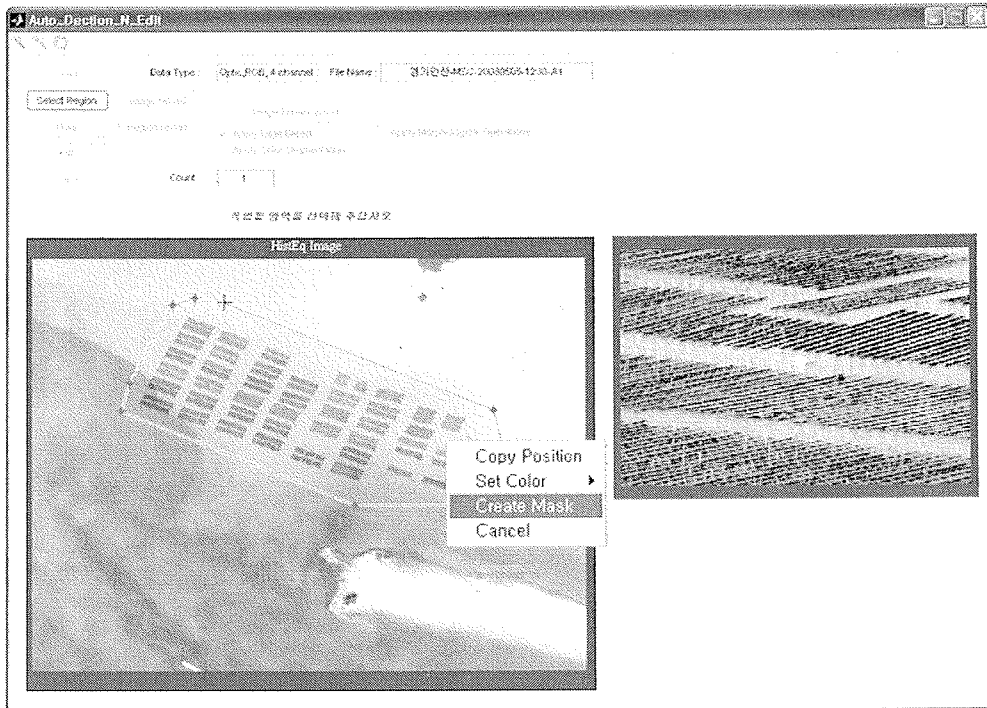


그림 3-59 양식 시설 영역 추출 과정

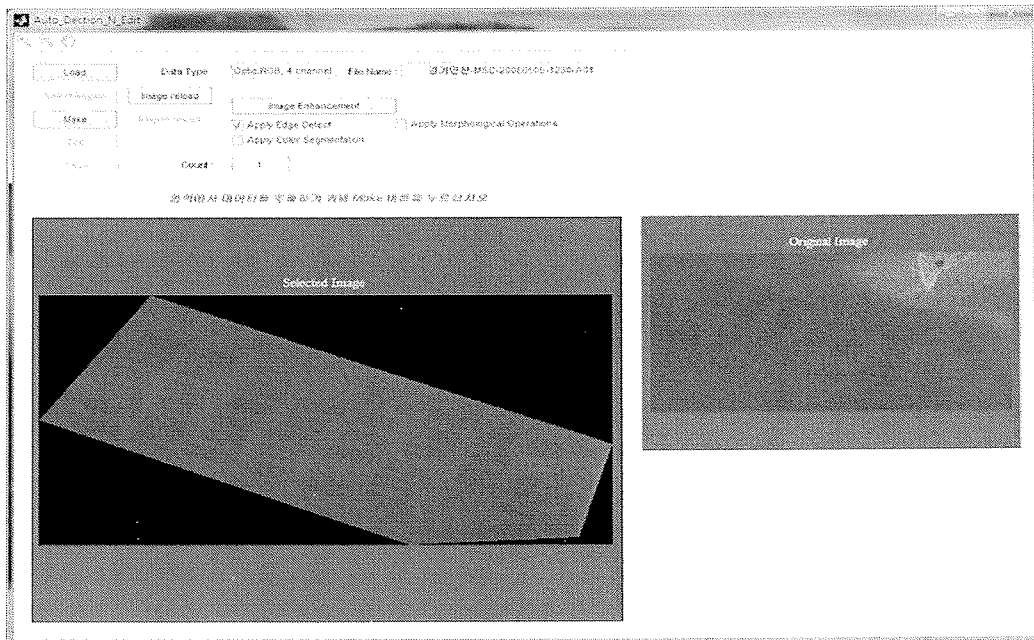


그림 3-60 추출된 관심 영역에 대한 영상

그림 3-61은 선택 영역에 대한 영상 개선(image enhancement) 기능을 나타낸다. 양식 시설 기능은 기본적으로 자동 추출 알고리즘에 의하여 수행되지만, 필요에 따라서 채널을 교환하거나 비활성화 시킬 수 있으며, 각 채널에 대하여 다양한 명암 및 대비 값을 선택할 수 있도록 구성되어 있다. 한편, 영상 개선 모듈은 두 개의 출력 영상을 생성하여 사용자가 이를 선택할 수 있도록 되어 있다.

그림 3-62는 추출된 양식 시설을 보여준다. 추출 결과는 바이너리(binary) 영상으로 저장되며 각 추출 결과에 대한 위치 정보를 포함하고 있다.

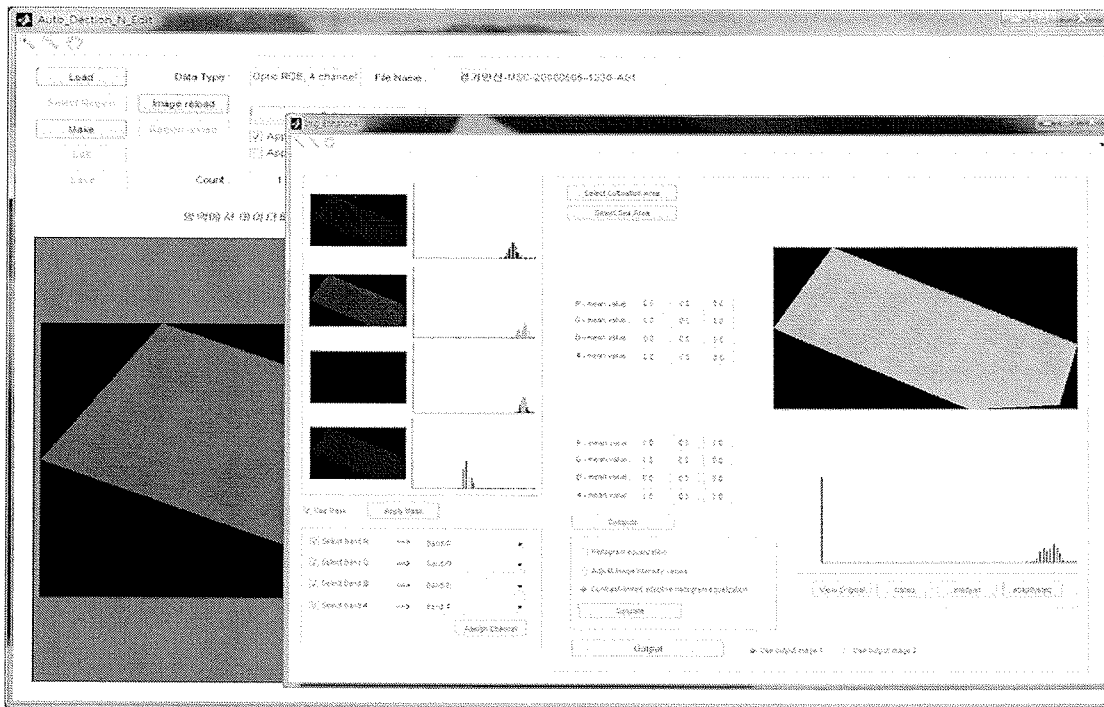


그림 3-61 선택 영역에 대한 영상 개선 기능

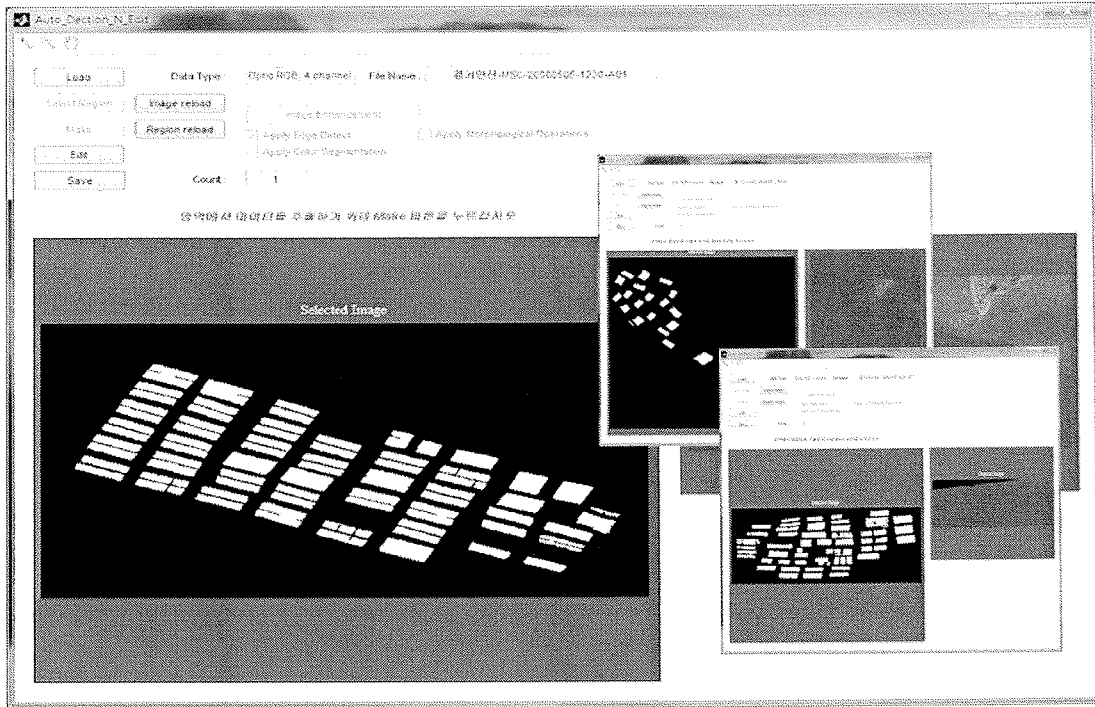


그림 3-62 추출된 양식 시설

양식 시설 추출 모듈은 패턴 생성 및 복사 기능을 포함하고 있으며, 1m급 해상도 영상(MSCPan)에 대한 양식 시설 추출 결과를 그림 3-63에 나타내었다. 그림과 같이 영상 강조 및 에지 추출 결과가 적절하지 않은 경우 수동으로 패턴을 생성하고, 이를 적용하여 보다 정확한 양식 시설 추출이 가능하다. 한편, 그림 3-64는 고해상도 X-밴드 SAR 영상에서의 양식 시설 추출 결과를 나타낸다.

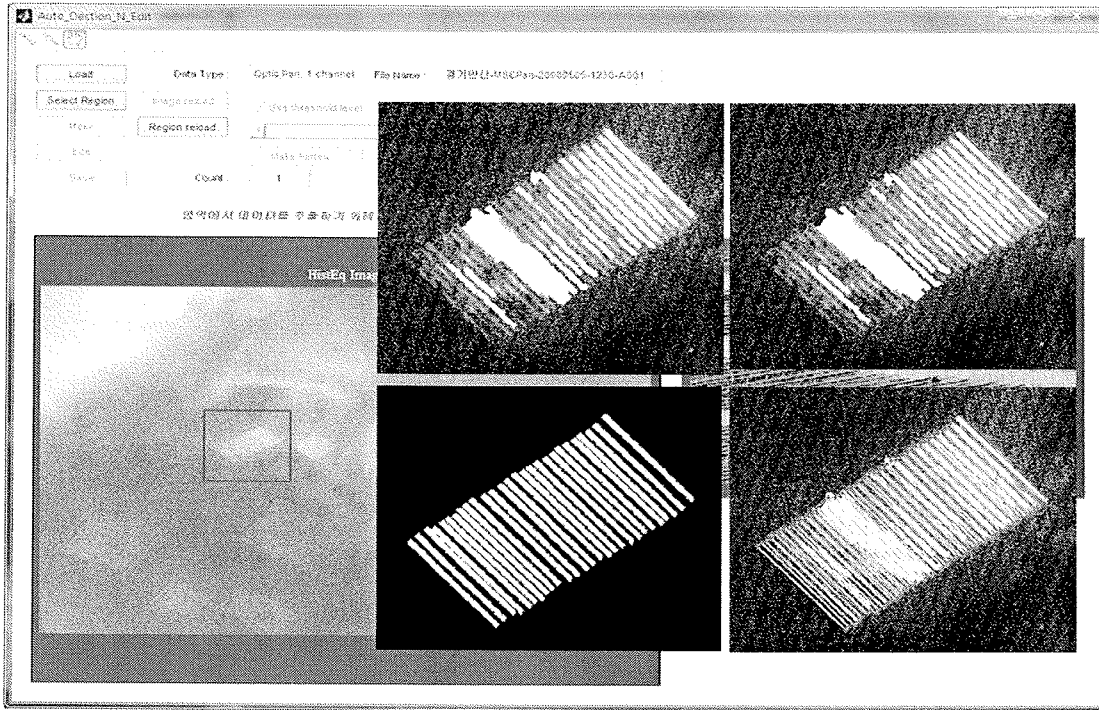


그림 3-63 양식 시설 추출 모듈의 패턴 생성

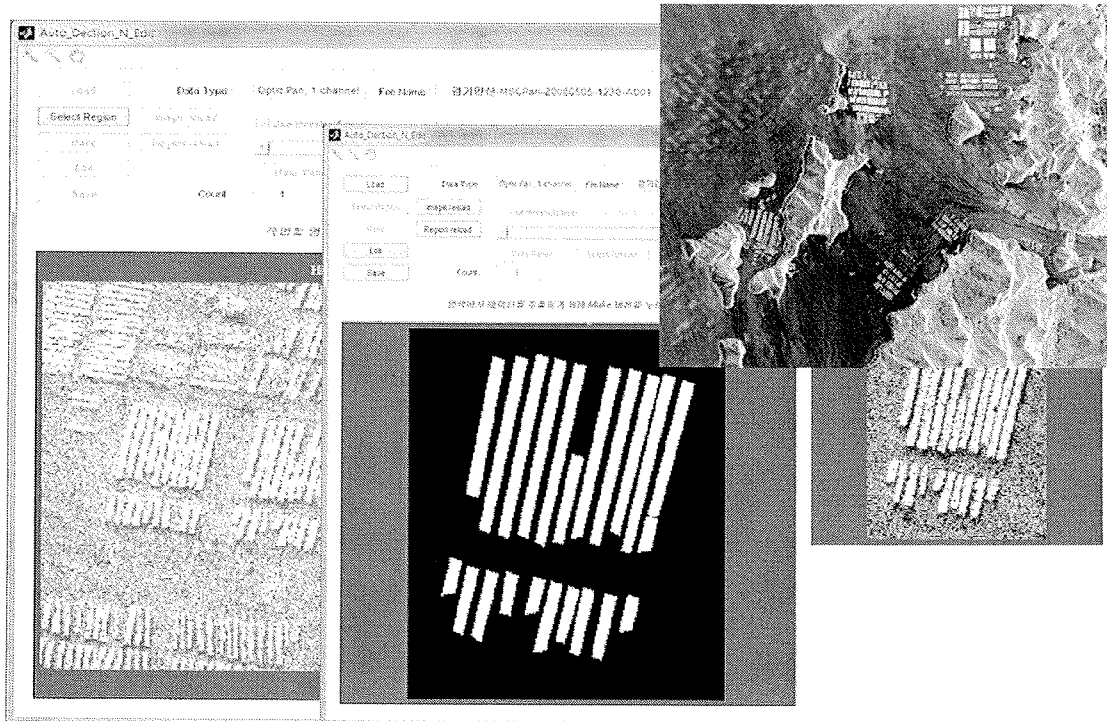


그림 3-64 고해상도 X-밴드 SAR 영상에서의 양식시설 추출 결과

(5) 가시화 및 양식시설 정보 생성 기능

그림 3-65와 그림 3-66은 가시화 및 양식시설 정보 생성 기능 모듈의 실행 화면 및 처리 순서를 나타낸다. 가시화 및 양식시설 정보 생성 모듈은 전자지도에 추출된 양식시설을 가시화 하며, 필요에 따라 전자지도를 선택적으로 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 또한, 추출된 각각의 양식시설에 대한 개별적 관리가 가능하며, 자동추출 과정에서 만들어진 데이터를 shape 데이터로 변환 및 저장할 수 있는 기능이 포함되어 있다. 한편, 각각의 양식 시설에 대한 정보 파일(hsp, shx, txt, mat, dbf)을 추가적으로 생성하고 저장한다.

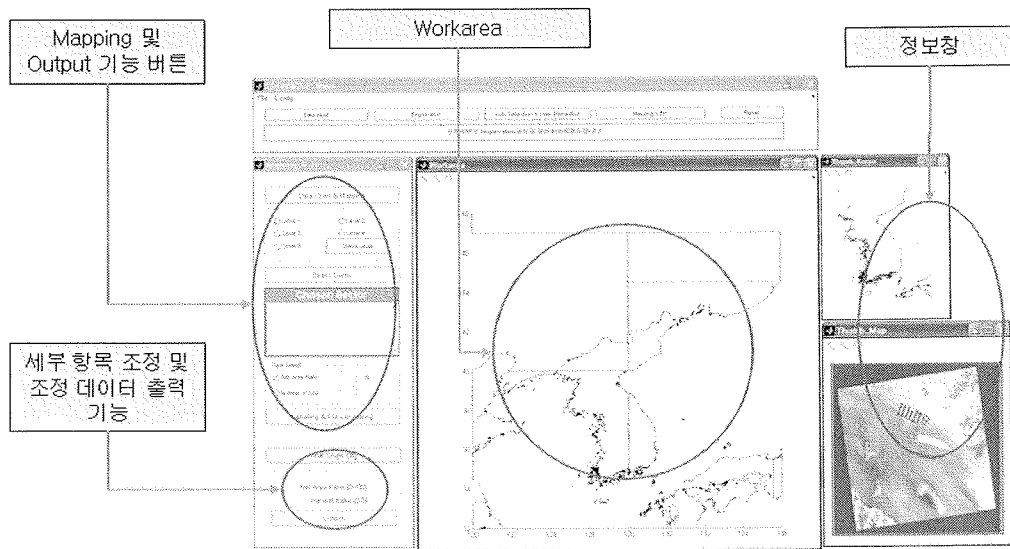


그림 3-65 가시화 및 양식시설 정보 생성 기능 모듈의 실행 화면

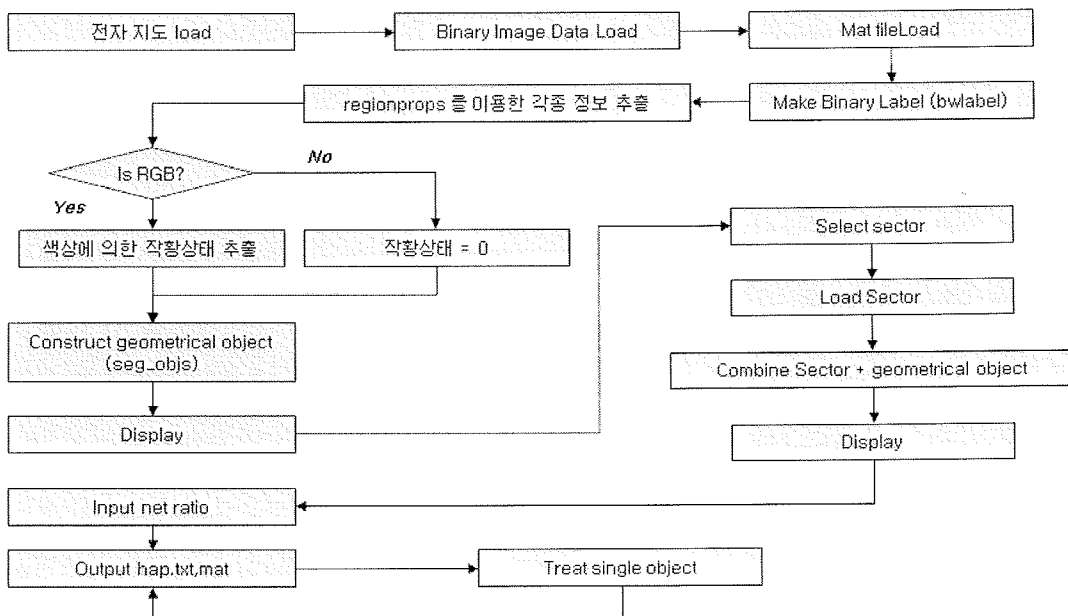


그림 3-66 가시화 및 양식시설 정보 생성 기능 모듈의 처리 순서

그림 3-67은 전자지도 상세 선택 기능을 보여준다. 사용하고자 하는 전자지도의 상세레벨은 선택하면, 해당레벨의 전자지도를 로드하고 추후 섹터를 선정할 수 있도록 그리드를 표시한다.

그림 3-68은 전자지도에 자동추출 과정에서 만들어진 데이터를 가시화 한 결과를 나타내며, 데이터 로드 과정에서 shape 데이터로 변환 후 선택한 섹터 데이터와 함께 표시한다. 정보 창에 해당지역과 데이터를 표시함으로써 정보의 정확성을 판단할 수 있다.

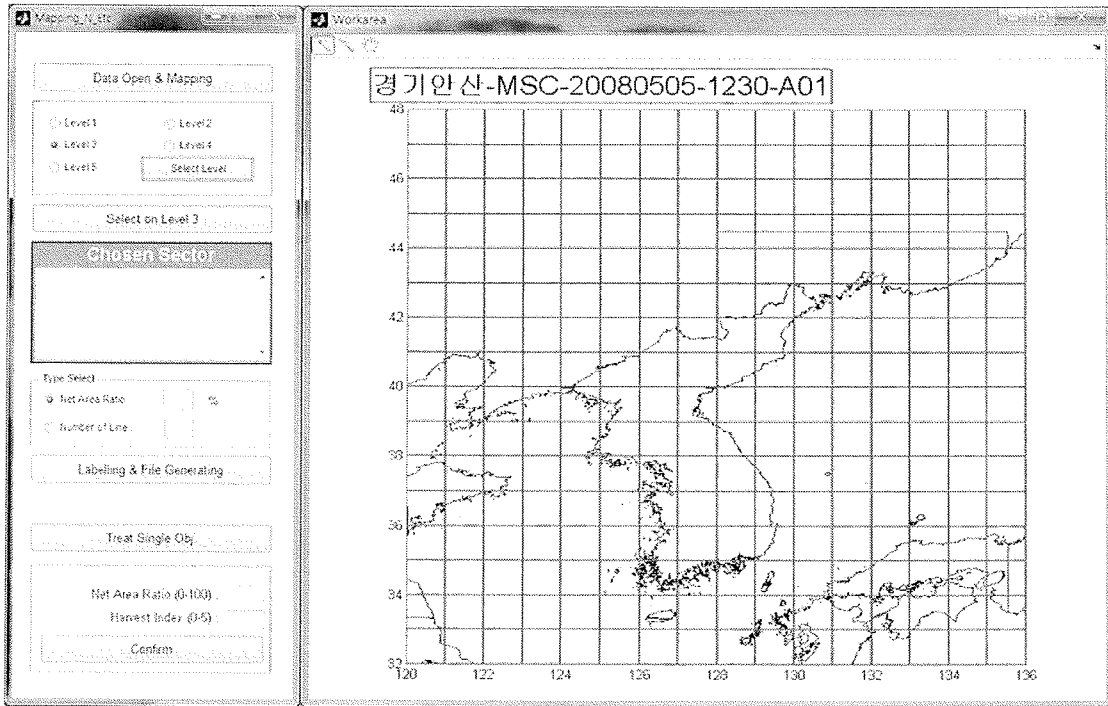


그림 3-67 전자지도 상세 선택 기능

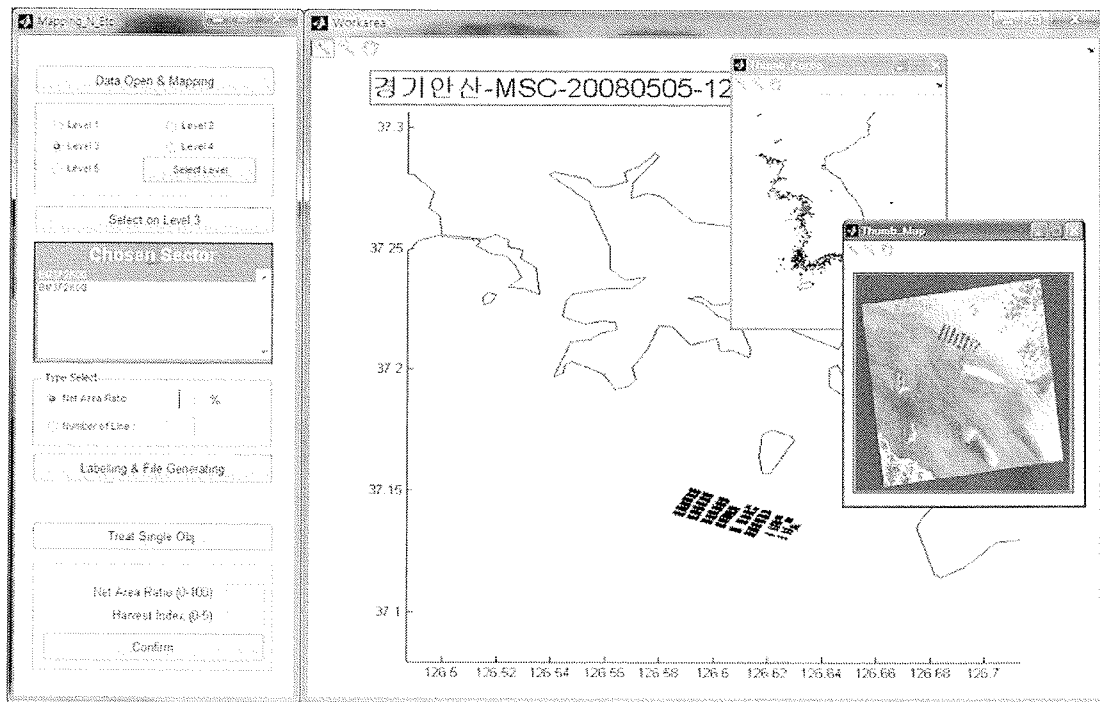


그림 3-68 가시화 결과

그림 3-69에 양식 시설 개별 관리 기능을 나타내었다. 양식 시설 개별 관리 기능은 양식 시설의 위치, 면적 등의 시설량을 자동으로 산출하며, 작황지수 입력 기능이 포함되어 있다. 또한, 추출된 양식 시설에 대하여 자동적으로 번호가 부여되며, 각각의 양식 시설에 대한 정보를 개별적으로 입력할 수 있다. 그림 3-70은 산출된 양식 시설에 대한 정보가 포함된 텍스트 파일이다. 자동 산출 정보 및 입력 정보에 대한 내용이 표시됨을 확인 할 수 있다.

양식 시설 추출 모듈에서 생성된 정보는 지정된 디렉토리에 저장되며, 각각의 양식 시설에 대한 정보 파일(hsp, shx, txt, mat, dbf)은 양식 시설 관리 모듈에서 사용된다.

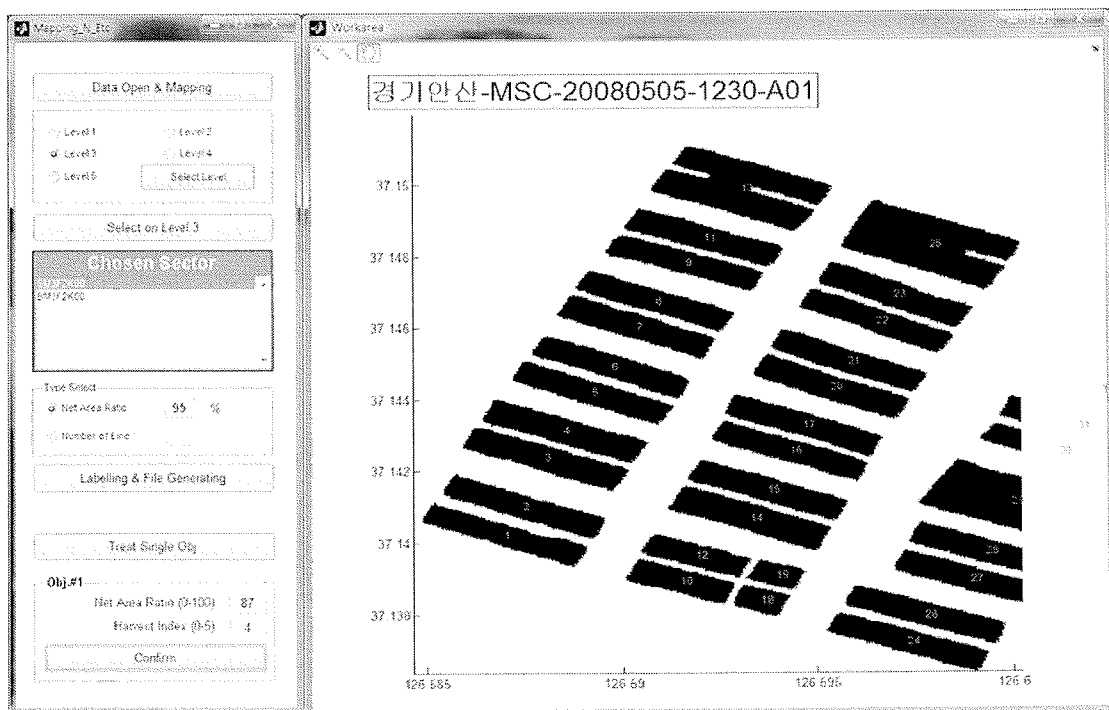


그림 3-69 연안 양식 시설 개별 관리 기능

경기안산-MSCPan-20080505-1230-A001_1.txt - 메모장

파일(F) 편집(E) 서식(O) 보기(V) 도구들(T)

입력 파일이름 : 경기안산-MS-20080505-1230-A1
 양식장 소유주 : 미양식
 총 객체수 : 57

번호	면적(제곱미터)	Net Area Ratio	유효면적(제곱미터)	작황지수	위경도(상,하,좌,우)
1	1728	95	1642	0	(34.095926,126.602279) (34.097466,126.603755) (34.09752
2	2912	95	2765	0	(34.095629,126.602912) (34.096494,126.604738) (34.09665
3	26544	95	25217	0	(34.095305,126.603263) (34.095036,126.607268) (34.09676
4	4800	95	3900	0	(34.093251,126.605301) (34.094440,126.607549) (34.09454
5	7680	95	7295	0	(34.093169,126.605792) (34.098769,126.606181) (34.09325
6	4720	95	4484	0	(34.103709,126.605853) (34.100763,126.606181) (34.10184
7	3680	95	3496	0	(34.092387,126.605933) (34.093578,126.608252) (34.09368
8	9168	95	8710	0	(34.103032,126.606003) (34.103194,126.608322) (34.10389
9	2896	95	2751	0	(34.097412,126.606284) (34.098385,126.608322) (34.09854
10	15648	95	14866	0	(34.091414,126.606284) (34.092333,126.610008) (34.09325
11	1808	95	1718	0	(34.096980,126.606495) (34.097575,126.607830) (34.09768
12	5432	95	6110	0	(34.096170,126.607338) (34.097142,126.609446) (34.09773
13	1760	95	1672	0	(34.089307,126.607338) (34.088766,126.608181) (34.08979
14	5008	95	4758	0	(34.108156,126.607479) (34.108004,126.609024) (34.10913
15	3440	95	3269	0	(34.095845,126.607689) (34.096818,126.609338) (34.09706
16	11856	95	11283	0	(34.097112,126.607689) (34.091576,126.610651) (34.09217
17	12032	95	11430	0	(34.103113,126.607900) (34.104005,126.611132) (34.10359
18	10304	95	9789	0	(34.099574,126.608462) (34.100166,126.611203) (34.10076
19	4416	95	4195	0	(34.089739,126.608462) (34.091036,126.611132) (34.09119
20	8496	95	8071	0	(34.094711,126.608743) (34.095683,126.611413) (34.09611
21	6832	95	6490	0	(34.089577,126.609165) (34.090333,126.611835) (34.09071
22	4816	95	4575	0	(34.108706,126.609305) (34.108004,126.610781) (34.10903
23	7072	95	6718	0	(34.093954,126.609516) (34.094927,126.612046) (34.09519
24	2160	95	2052	0	(34.105572,126.609587) (34.105095,126.610851) (34.10578
25	4064	95	3861	0	(34.098223,126.609657) (34.099412,126.611905) (34.09952
26	1712	95	1626	0	(34.107031,126.610008) (34.106977,126.611132) (34.10724
27	5600	95	5320	0	(34.102924,126.610149) (34.103411,126.612185) (34.10357
28	7968	95	7570	0	(34.093251,126.610149) (34.094386,126.612538) (34.09487
29	3840	95	3648	0	(34.097196,126.610640) (34.098331,126.612959) (34.09838
30	16304	95	15489	0	(34.102222,126.610851) (34.102168,126.614013) (34.10303
31	5680	95	5386	0	(34.092819,126.611132) (34.093738,126.612819) (34.09395
32	2176	95	2057	0	(34.088442,126.611203) (34.088858,126.612185) (34.08887

그림 3-70 산출된 양식 시설에 대한 정보가 포함된 텍스트 파일 생성 결과

2. 양식시설 관리 모듈

가. 모듈 소개

양식시설 관리 모듈은 인공위성영상에서 연안에 존재하는 양식시설을 추출한 데이터와 전자해도를 맵핑한 정확한 지리정보와 각 양식시설의 정보가 들어있는 데이터베이스와 연동시켜 관리할 수 있도록 만들어진 모듈이다. 위성영상을 활용하므로 지·자체에서 허가를 받지 않은 양식시설들을 육안으로 확인할 수 있어 불법양식시설 단속 및 양식시설 관리가 용이하다.

나. 특징

양식시설 관리 모듈은 위성영상과 전자해도, 데이터베이스를 동시에 연동하여 관리할 수 있는 모듈로서 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 관리기능 통합으로 효율적인 양식장 관리

신규양식시설 등록부터 등록되어있는 양식시설 정보 수정, 삭제 등 관리기능이 양식시설 관리 모듈에 모두 포함되어 있으므로 시설관리가 용이하다.

(2) 전자해도와 위성 영상에 의한 정밀도 향상

국립 해양 조사원에서 발행한 전자해도를 사용하며 전자해도에 있는 shape 파일의 각종 구성요소(예 : 등대, 등고선, 수심정보 등)를 통해서 양식시설 주변 정보를 얻을 수 있다. 그리고 고해상도의 위성영상을 사용하여 실제로 영상에서 보이는 양식시설을 추출하여 전자해도 상에 맵핑시키므로 인해 양식시설의 지리적 정보 정밀도가 높다.

(3) 위성영상과 데이터베이스 연동 관리

위성영상과 데이터베이스가 연동되어 데이터베이스에 저장되어있는 양식시설 정보가 실제 위성영상에서 나타나는 양식시설 중 어느 시설에 해당되는지를 알 수 있어 사용자가 관리하기에 용이하다.

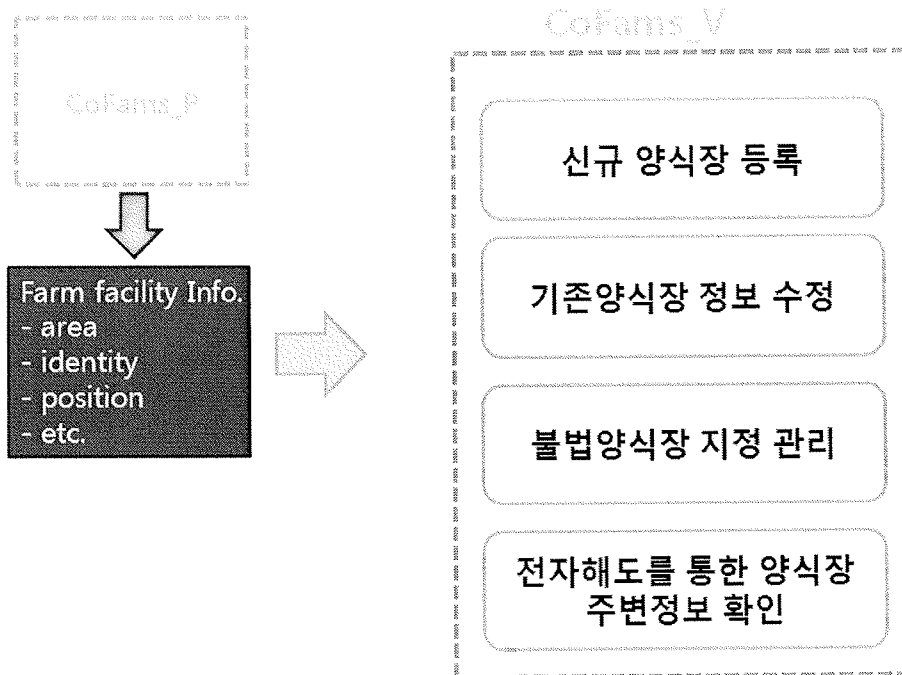


그림 3-72 양식 시설 관리 모듈의 주요 기능

라. 주요 기능

(1) 신규 양식장 등록

양식시설 관리 모듈을 이용하여 신규 양식시설을 등록할 때 기존에 어장도를 통하여 관리 하던 방식을 전자화하였다. 양식시설을 신규로 등록할 때 필요한 것 중 하나로 '기준점'이 있다. 모듈에서는 '지점선택' 이라는 기능이 있어 소유주가 제공한 기준점 정보를 바탕으로 지도 상에 원하는 위치에 마우스를 클릭하여 기준점을 선택할 수 있도록 되어있다. 그리고 선택한 지점을 바탕으로 신설하고자 하는 양식장 영역을 모듈안의 Draw기능을 이용하여 지정하여 등록할 수 있다. 기존 어장도를 이용하여 관리하던 방식과 유사하면서도 전자화하여 편리하게 양식시설을 등록할 수 있다.

(2) 기존 양식장 정보 수정

양식허가기간의 연장 또는 소유주 변동 등의 양식시설 정보가 변동되어 수정이 필요할 때 양식시설 관리 모듈은 기존 등록되어 있는 정보를 데이터베이스화 하였으므로 효율적인 수정 및 관리가 가능하다. 데이터베이스 기능 창에서 수정하고자 하는 양식시설 정보를 선택한 후 제어 기능 창에서 'Modify Data' 버튼을 클릭하면 수정할 수 있는 창이 생성된다. 작성자가 수정하고자하는 부분을 수정 후 'OK' 버튼을 클릭하게 되면 수정한 정보가 데이터베이스에 저장되어지게 된다. 다만 데이터베이스는 한번 저장되어진 정보는 되돌릴 수 없으므로 작성자는

이 점을 고려하여 실수하지 않도록 주의하여야 한다. 정보를 삭제하고자 하면 원하는 양식시설의 정보를 데이터베이스 기능 창에서 선택 후 제어 기능 창에서 'Delete Data' 버튼을 선택 후 삭제 재확인 창이 생성되고 'OK' 버튼을 눌러주면 삭제되어진다.

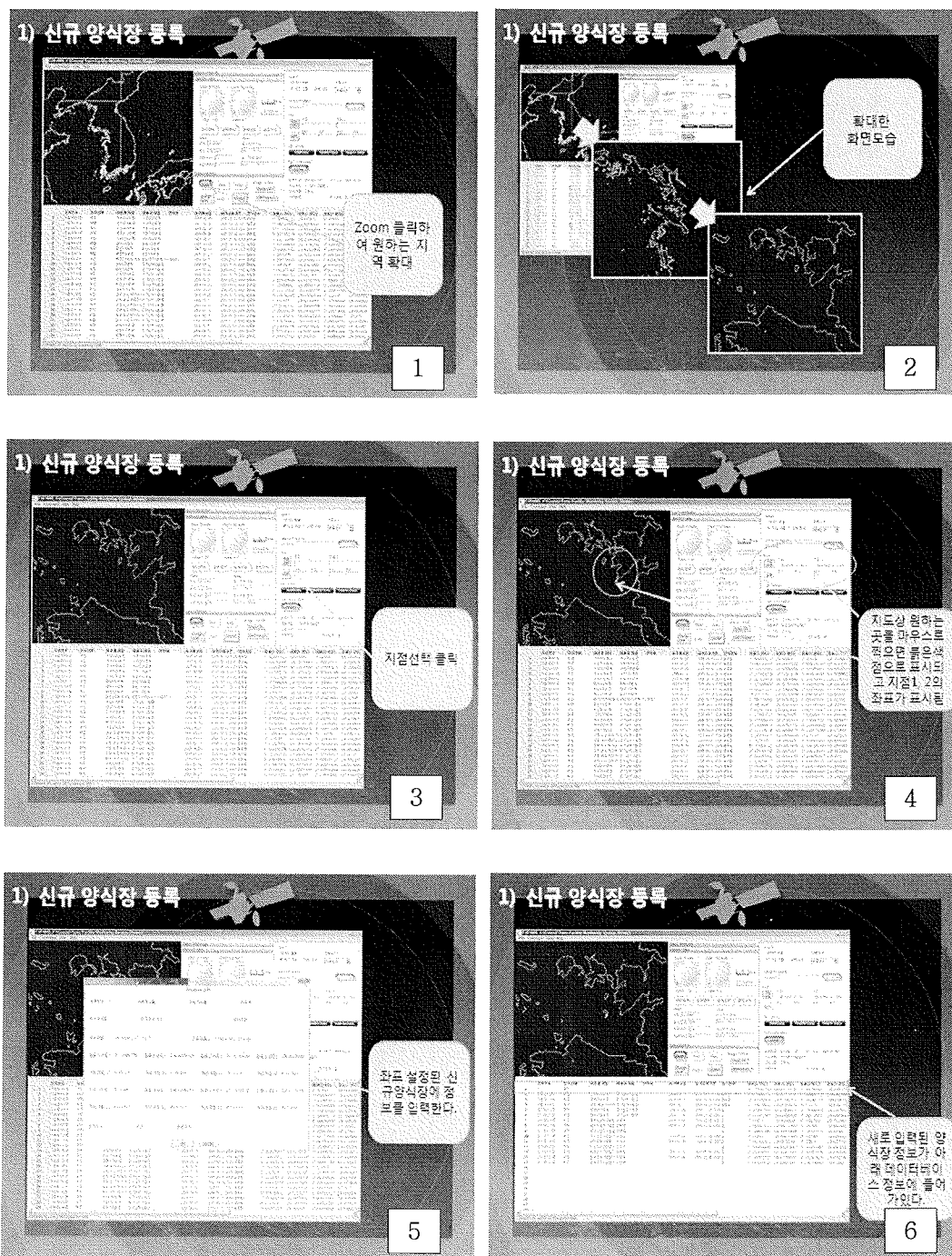


그림 3-73 양식시설 관리 모듈을 이용한 신규 양식장 등록 기능

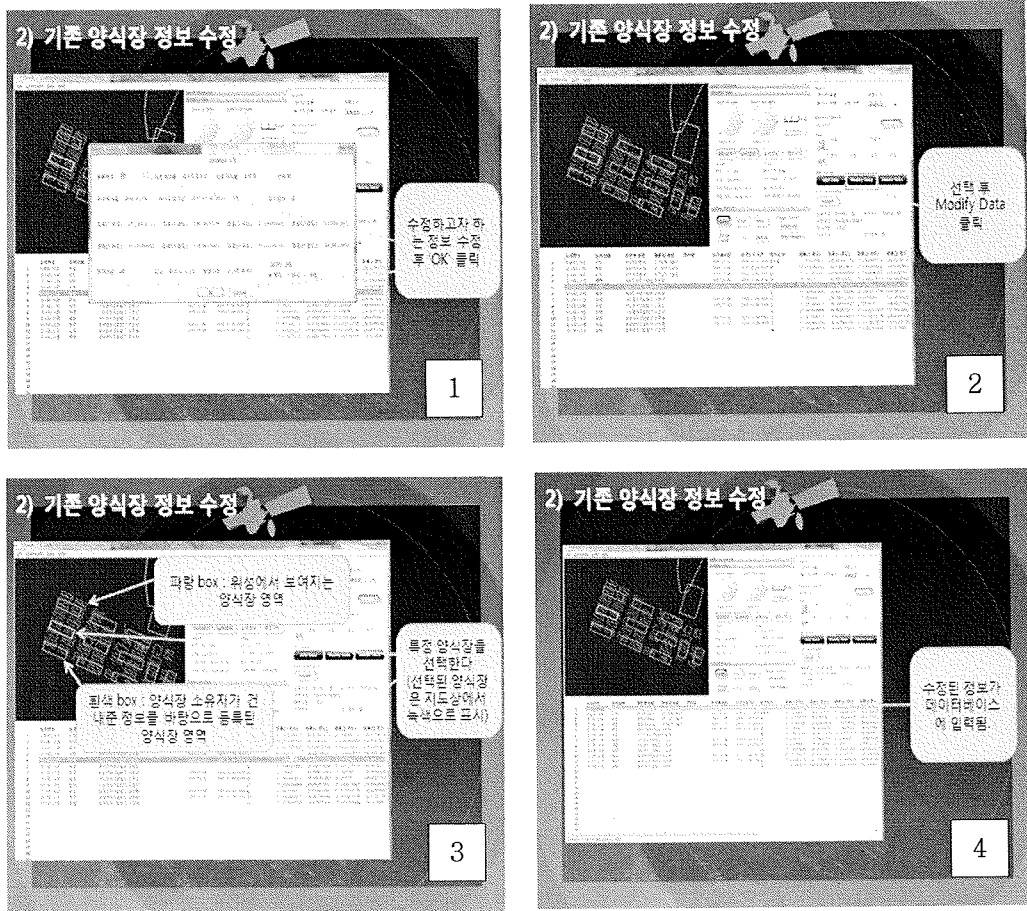


그림 3-74 양식시설 관리 모듈을 이용한 기존 양식장 정보 수정 기능

(3) 불법양식장 지정 관리

양식시설 관리 모듈은 실제 위성영상에서 추출한 양식시설 정보를 이용하므로 허가된 양식 시설과 허가되지 않은 양식시설을 판단하기 용이하다. 모듈 안에 '관리영역' 버튼을 클릭하게 되면 데이터베이스에 저장되어있는 허가한 양식시설의 좌표정보를 기반으로 지도상에 흰색 선으로 표시되어지고 '실측영역' 버튼을 클릭하면 위성영상에서 추출한 실제 양식시설을 지도상에 파란색 선으로 표시하여 허가 내어준 영역과 실제 운영되는 양식시설 영역을 육안으로 비교할 수 있어 불법양식시설을 지도상에서 찾을 수 있다. 찾은 불법양식시설은 제어 기능 창의 '실측정보' 버튼을 클릭하면 위성영상에서 추출한 각 양식시설에 대해 numbering 해놓은 창이 생성된다. 불법양식시설로 판단되는 시설에 매겨있는 숫자를 클릭 후 생성된 창 우측 하단에 있는 '관리영역수정' 버튼을 클릭한다. 클릭하면 선택한 양식시설에 대해서 정보를 입력할 수 있는 창이 생성되고 기입할 사항을 입력 후 창 우측 하단에 존재하는 '데이터 상태' 패널에서 '위반'으로 선택하여 저장하면 지도상에 선택한 영역의 양식시설이 적색 선으로 묶여 표시된다. 데이터베이스상에서는 데이터상태가 위반으로 등록되어 정상으로 허가된 양식시설과 구별될 수 있도록 되어있다.

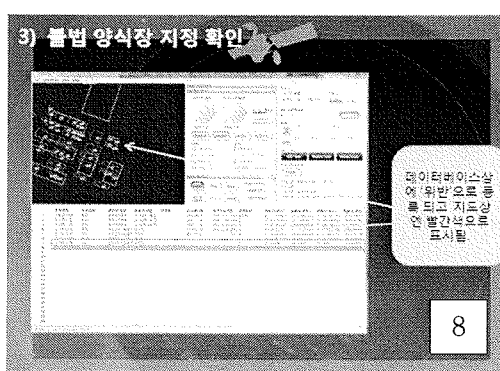
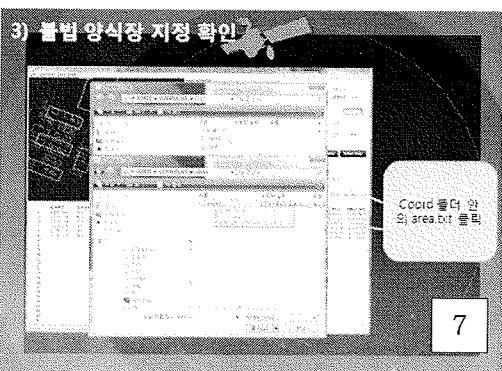
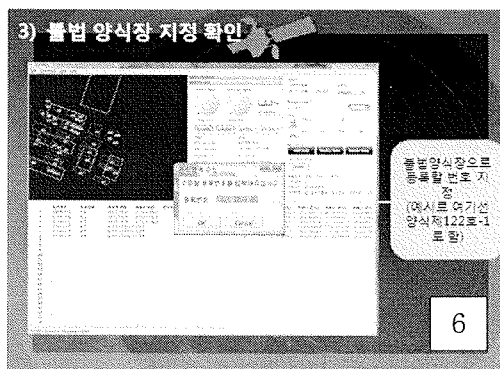
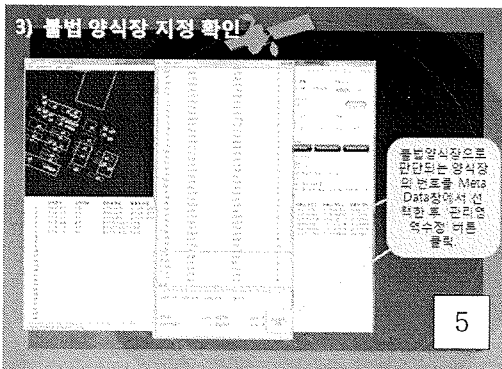
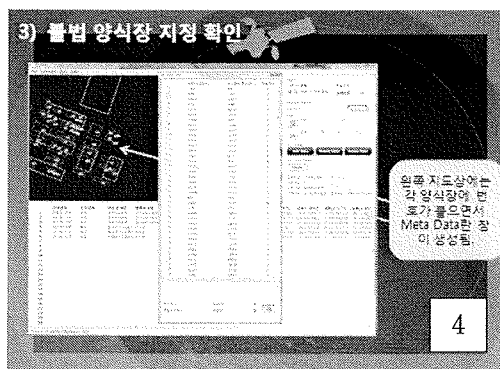
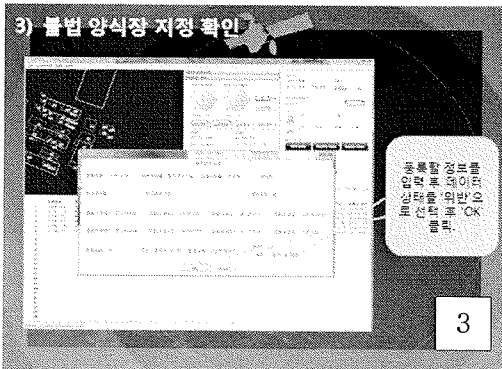
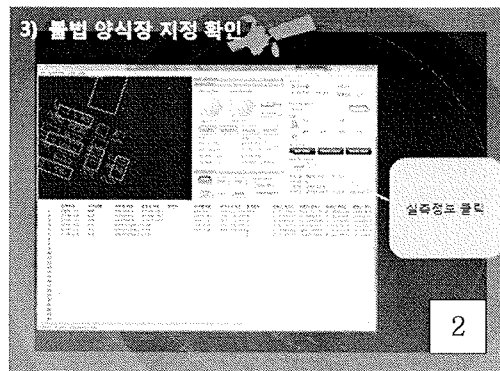
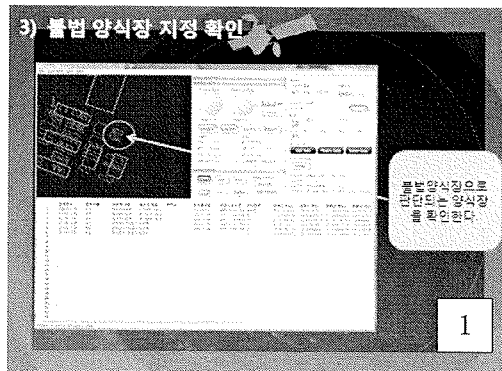


그림 3-75 양식시설 관리 모듈을 이용하여 불법양식시설을 등록, 관리 기능

(4) 전자해도를 통한 양식장 주변정보 확인

양식시설 주변 연안의 해양 정보를 손쉽게 얻기 위하여 본 모듈에서는 전자해도를 사용하였다. 전자해도란, 종이해도 상에 나타나는 해안선, 등심선, 수심, 항로표지(등대, 등부표), 위험물, 항로 등 선박의 항해와 관련된 모든 해도 정보를 국제수로기구(IHO)의 표준규격(S-57)에 따라 제작된 디지털해도를 말한다. 선박 항해를 위해 제작되어진 해도이지만 양식업에 있어서도 등심선, 수심 등의 정보는 유용하다. 전자해도를 통하여 양식시설을 개설하고자 하는 영역의 해양 정보를 손쉽게 얻을 수 있어 영역 선정에 유용하다. 본 모듈에서 사용하는 전자해도는 국립 해양 조사원에서 발행한 전자해도를 사용하였다.

전자해도 기능은 제어 기능 창 안의 'Select Attributes' 패널에 들어있다. 'Select Attributes' 패널을 클릭하면 전자해도 shape 파일에 들어있는 각종 구성요소 항목이 나타난다. 사용자가 원하는 항목을 마우스로 클릭하면 지도 기능 창에 선택한 항목이 구현되어 나타난다.

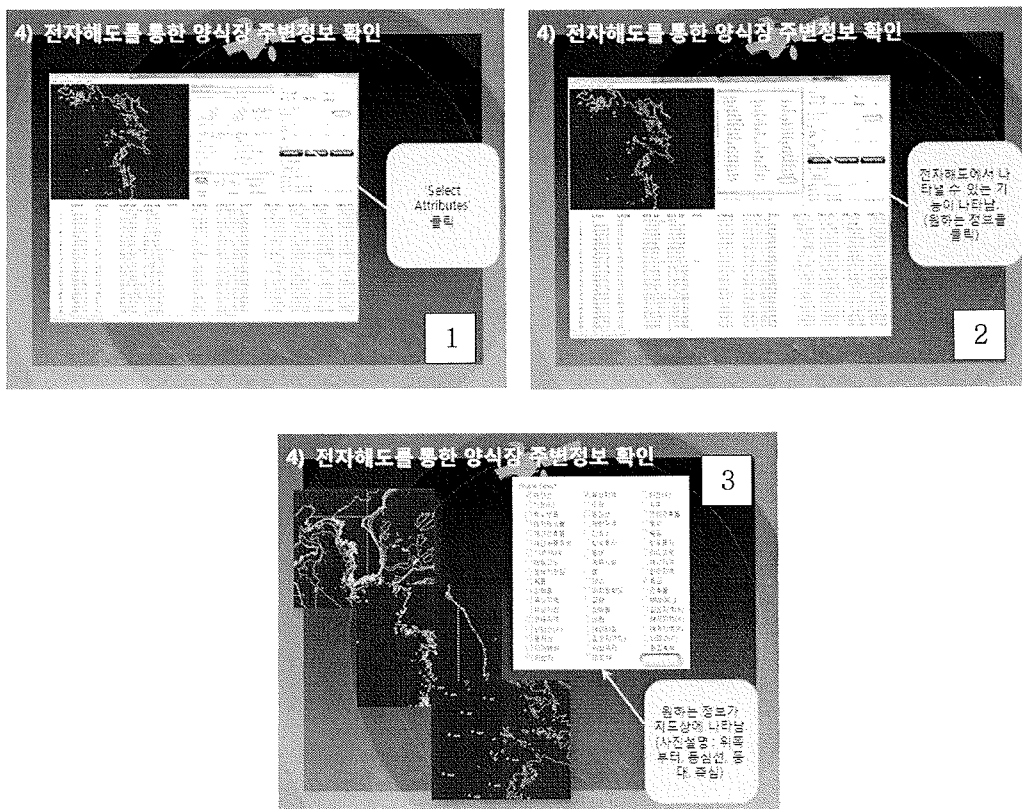


그림 3-76 양식시설 관리 모듈의 전자해도를 통한 양식장 주변정보 확인 기능

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 연구개발성과

제 1 절 목표 달성도

표 4-1 추진 목표 및 목표 달성도

추진 목표	세부 추진 내용	달성도	비고
연구 해석에 대한 기초 현장 실험 및 조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기초 현장 실험 및 조사를 통해 연구 해석의 선정과 특성파악 --> 제주도 남방해역 ○ 광학장비(ASD) 이용 현장조사 ○ SPOT-5 및 아리랑 2호 영상 해석, 양식장 시설 비교 	100%	1 차 년 도
인공위성 신호 특성 분석 및 적용 방안 마련	<ul style="list-style-type: none"> ○ 합성개구레이더(SAR)신호 특성 해석 -해상의 선박 및 구조물을 관측한 SAR 자료를 통해 관측대상에 따른 신호의 특성을 파악 -HH, HV, VV편파 조사 -C밴드와 X밴드 조사 	100%	1 차 년 도
안테나 부이 설계 및 프로토타입 제작	<ul style="list-style-type: none"> ○ 안테나부이 설계 및 프로토타입 제작 - SAR위성 현장관측실험 - 안테나부이 설계 및 프로토타입 제작 	100%	1 차 년 도
합성개구레이더에 의한 수상 및 수면하 시설, 안테나 부이 타깃 탐지 시험	<ul style="list-style-type: none"> ○ 합성개구레이더 C밴드에 의한 해양설치시설 탐지 및 타깃 인식 실험 실시 ○ 고해상도(1m급) 합성개구레이더 X밴드 이용한 해양 시설 탐지 및 퓨전 적용 연구 	100%	2 차 년 도
광학 인공위성 기반 연안 양식 시설량 산출 및 비교 (경기도 화성시 제주도)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광학위성 및 합성개구레이더를 이용한 양식 시설 탐지 및 추출 알고리즘 개발 ○ 시설관리 모듈용 데이터베이스 설계 ○ 경기도 화성시 어장도, 어업권 자료 전산화 및 관리 모듈 삽입 ○ 양식시설 관리시스템 설계 발표회 개최 ○ 인공위성 자료를 이용한 연안 양식 시설량 산출 알고리즘 개발 	100%	2 차 년 도
광학 인공위성(아리랑 2호) 기반 연안 양식 시설 탐지, 추출, 정보 저장 프로토타입 모듈 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 아리랑 2호(다목적실용위성 2호) 광학위성 기반의 연안 양식 시설 탐지 및 추출 모듈 프로토타입 개발 (COFAMS_P) - MATLAB언어로 된 알고리즘개발중심의 COFAMS_P모듈을 프로토타입 S/W전환: 대용량 데이터 처리 고속화 및 안정화를 위한 C++언어 융합 	100%	3 차 년 도

	<ul style="list-style-type: none"> - 기준점 생성이 어려운 해양 위성자료용 연안 GCP목록 생성 및 Google Earth용 kmz파일(근접 이미지 포함) 생성 - 전자해도 기반 가시화 구현 - 입력 인공위성 데이터의 다양한 포맷 지원 및 저장을 위한 데이터입출력 모듈 개발 		
연안 양식 시설 관리 시스템 프로그램 개발	<ul style="list-style-type: none"> o Python기반의 UI설계 o 전자해도 정보를 기반으로 한 기본맵핑(국립해양조사원 협조 요청): 한반도 주변 해역 포함 o MySQL기반 데이터베이스 시험 제작 o 면허 데이터베이스와 COFAMS_P정보 연동 체계 마련 	100%	3차년도
고해상도 합성개구레이더에 의한 김양식 시설과 안테나 부이 타깃 탐지 시험	<ul style="list-style-type: none"> o TerraSAR-X 합성개구레이더를 이용한 김양식 시설과 안테나 부이 타깃 탐지 시험 	100%	3차년도
COFAMS 프로토타입 개발완료	<ul style="list-style-type: none"> o 개발 완료 	100%	3차년도
인공위성 기반 연안 양식시설 관리 시스템 프로토타입의 홍보 및 의견수렴	<ul style="list-style-type: none"> o 현업 담당자와의 면담을 통한 현업적용을 위한 보완사항 의견수렴 o 프로토타입 개발 설명 및 홍보 <ul style="list-style-type: none"> - 안산시청 개발의견 수렴: 1회(2009년 12월) - 화성시청 개발의견 수렴: 1회(2009년 12월) - 완도군청 개발의견 수렴: 1회(2009년 12월) - 국립해양조사원 세미나 발표: 2회(2010년 7월, 8월) - 국립수산과학원 프로토타입 설명회: 2회(2010년 8월) - 경기도청 개발 설명회: 1회(2010년 9월) - 전남도청 개발 설명회: 1회(2010년 9월, 예정) 	100%	3차년도

제 2 절 연구개발 성과

1. 논문 게재

표 5-1 논문게재 성과

게재연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2007.12	합성개구레이더용 전방향 반사기의 설계	장지성	양찬수	오이석	대한원격 탐사학회지	23(6)	국내	등재지
2008.10	Study on Ship Detection Using SAR Dual-polarization Data: ENVISAT ASAR AP Mode	양찬수	양찬수	K.Ouchi	대한원격 탐사학회지	24(5)	국내	등재지
2008.11	Extreme wind conditions observed by satellite synthetic aperture radar in the North West Pacific	A Reppucci	A Reppucci	S. Lehner J. S.-Stelle nfleth 양찬수	Int. J. of Remote Sensing	29(21)	국외	SCI
2009.02	인공위성자료를 이용한 2004년 겨울철 황해 연안 해역 이상 수온 해석	문정언	양찬수		대한원격 탐사학회지	25(1)	국내	등재지
2010.06	Velocity Estimation of Moving Targets on the Sea Surface by Azimuth Differentials of Simulated-SAR Image	양찬수	양찬수	K.Ouchi	대한원격 탐사학회지	26(3)	국내	등재지

2. 특허 출원

표 5-2 특허 출원 성과

출원된 특허의 경우					등록된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호	등록연도	특허명	등록인	등록국	등록번호
					2007.12	양식장 모니터링 방법 및 그 시스템	양찬수	한국	785350
2009.05	합성개 구레이 더를 이용한 이동체 속도 측정 방법	양찬수 / 김윤섭	한국	2009-00426 08	2009.06	안전운항 지원시스 템의 해상시설 정보 생성 및 갱신 방법과 그 시스템	양찬수	한국	902399

3. 프로그램 등록

표 5-3 프로그램 등록 내용

등록일	제 목	저작자		등록번호	종류
		주저작자	공동저작자		
2009	SAR_OilDetector ver 1.0	양찬수		2009-01-239-005628	S/W
2009	ECDIS_V ver 1.0	양찬수		2009-01-239-005629	S/W
2009	MySQL_Python ver 1.0	양찬수		2009-01-239-005630	S/W
2009	Optic_OilDetector ver 1.0	양찬수		2009-01-239-005631	S/W
2009	ORESS ver 1.0	양찬수		2009-01-239-005632	S/W

제 5 장 성과활용 계획

제 1 절 연구개발 성과활용 계획

- 정부 부처(농림수산식품부, 국립수산물과학원, 해양경찰청, 국립해양조사원 등) 및 지자체에 적극적인 홍보 및 의견 수렴
- 개발된 프로토타입 시스템의 상용화를 위하여 소프트웨어 기능 개선에 관한 후속 연구 개발 진행
- 지자체 시범 사용을 통한 연안 양식 시설 모니터링 체계 구축
- 전자 어장도 표준화 설계 및 구현
- 국내 양식어업생산기반 구축을 위한 해양수산부의 '전국어장 관리 기본계획' 시스템에 적용되어 전국 양식어장에 대한 어장환경관리 시스템 구축에 활용
- 한반도 해양 특성에 최적화된 국내 독자적인 SAR 해양 모니터링 기술을 확보함으로써 향후 발사 예정인 아리랑 5호의 임무에 활용

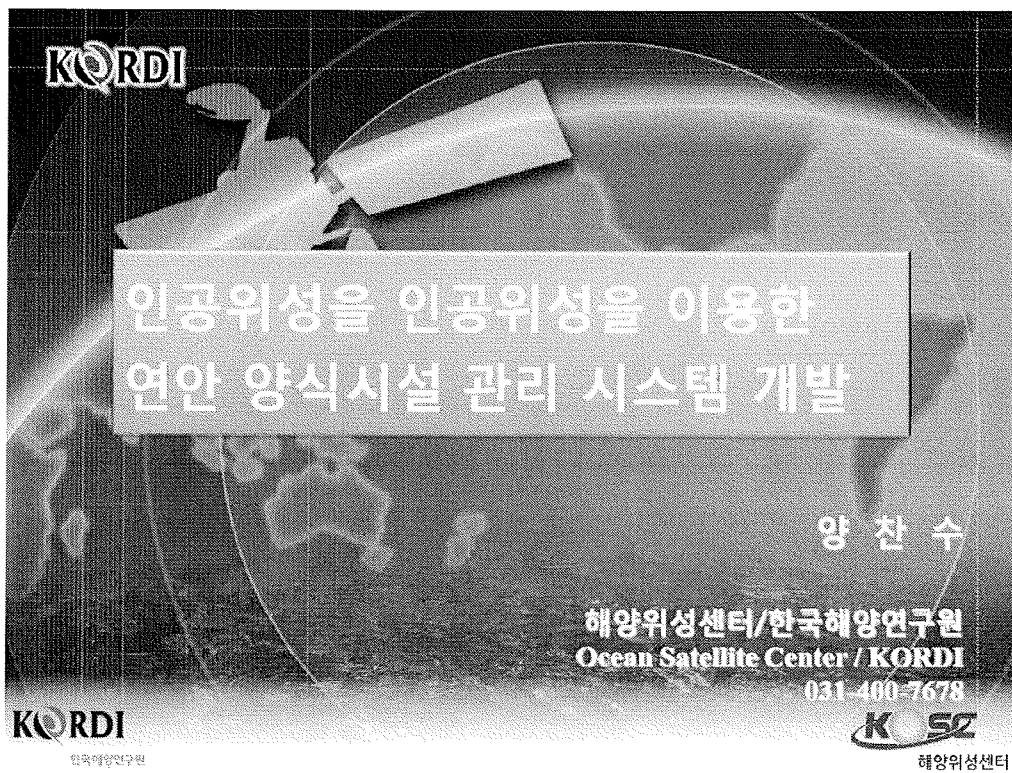


그림 5-1 정부 부처 및 지자체 홍보 자료의 예

제 2 절 관련 분야 기여도

- 본 사업결과를 바탕으로 다목적 실용위성 5호의 고해상도 SAR 영상자료를 활용하여 어장을 효율적으로 관리 및 감시할 수 있는 국내 기반 기술의 향상뿐 아니라 국내 독자적인 위성 SAR와 광학 영상 자료의 해양 분야 활용 기술을 개발함으로써 해양 분야에서의 국제적인 위상 향상에 기여
- 2011년까지 농림수산식품부가 발표한 전국 양식어장의 환경을 조사·정비하고, 어장환경 관리 시스템을 구축하는 내용의 '전국어장 관리 기본계획'에 일조할 수 있으며, 이를 통해 지속가능한 어업생산기반을 조성함으로써 어장의 생산성 향상을 통한 어업인의 소득 증대에 기여
- 무분별한 양식어업의 팽창을 억제하고 효율적으로 양식시설 배치가 가능하여 사회 공공 질서 확립과 어장 내 환경문제를 해결하는데 기여
- 위성을 이용한 양식시설의 관리기술은 향후 해상구조물 관리를 용이하게 하며 인공위성을 이용한 해양 활용기술의 확보에 기여할 것이며 체계적인 관리가 필요한 타 분야에서의 인공위성을 활용한 관리시스템 기술 개발에 활용 가능

제 6 장 참고문헌

남미영, 2001, “명암도 변화와 Canny 에지를 이용한 컨테이너 영상의 문자인식에 관한 연구”, 한국멀티미디어학회 춘계학술발표논문집, 111-115.

박성은, 최우정, 이원찬, 구준호, 정래홍, 박종수, 2004, GIS를 이용한 양식어장 정보관리 시스템 구축, 한국지리정보학회지, 7권, 3호, 90-98.

이종화, 1996, “서해안 김 양식장에 관한 연구 - VII. LANDSAT-5호 위성의 영상처리에 의한 금강 하구산 김 양식장의 시설현황 분석”, 수산과학연보, Vol. 12, 1-13.

장은미, 박경, 2004, 위성영상을 이용한 해상 양식장 관리방안 연구 - 한려해상 국립공원 지역을 사례로, 한국환경영향평가학회지, 13권, 5호, 231-240.

해양수산부, 2000, 어업손실액 평가의 산출기준개발에 관한 연구 -평년어업경비를 중심으로.

홍진영, 오이석, 2006. 식물층에서의 편파별 후방 산란 측정과 산란 모델의 비교, 한국전자파학회논문지, 17호: 804-810.

Balanis C. A., 1989. Advanced Engineering Electromagnetic, John Wiley.

Burden R. L. and J. D. Faires, 2005, Numerical Analysis, Thomson.

Canny, J.F., 1986, “A Computational Approach to Edge Detection”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 8, No. 6, 679-698.

Haralick, R.M., and L. G. Shapiro, 1992, Computer and Robot Vision, Vol. I, Addison-Wesley, 158-205.

Levanon N., 1988, Radar Principles, John Wiley.

Otsu, N., 1979, “A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No. 1, 62-66.

Ruck G. T., D. E. Barrick, W. D. Stuart, and C. K. Krichbaum, 1970, Radar Cross Section Handbook vol. 2, Plenum Press.