BSPE99569-1000-1

외해역 해난 사고 대응을 위한 해양환경 라이브러리 구축 및 표류예측 시스템 개발 기획

2017.11.13.

한 국 해 양 과 학 기 술 원
해 양 물 리 연 구 본 부

기획과제 실적보고서

<table>
<tr><td rowspan="4">사 업
구 분</td><td>사업
유형</td><td colspan="4">■ 창의사업</td></tr>
<tr><td>연구
단계</td><td colspan="4">□ 기초 □ 응용 □개발 ■ 기획</td></tr>
<tr><td>기술
성격</td><td colspan="4">□ 아이디어 개발 □ 원천기술 ■ 산업계 현안기술 □ 추격기술</td></tr>
<tr><td>사업
성격</td><td colspan="4">□ 기초·미래선도형 ■ 공공·인프라형 □ 산업화형 □ 기타</td></tr>
<tr><td rowspan="2">과 제 명</td><td>국 문</td><td colspan="4">외해역 해난 사고 대응을 위한 해양환경 라이브러리 구축 및 표류 예측시스템 개발 기획</td></tr>
<tr><td>영 문</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>키워드</td><td colspan="5">고해상도 광학위성, 표류예측시스템, 해양환경 라이브러리</td></tr>
<tr><td rowspan="3">연 구
책 임 자</td><td>소속 및
부서명</td><td>해양위성센터</td><td>직 위</td><td>센터장</td></tr>
<tr><td>성 명</td><td>조성익</td><td>전 공</td><td>천문학</td></tr>
<tr><td>유선전화</td><td>031-400-7685</td><td>휴대전화</td><td>010-9071-9996</td></tr>
<tr><td rowspan="3">차 순 위
연 구
책 임 자</td><td>소속 및
부서명</td><td>해양위성센터</td><td>직 위</td><td>선임기술원</td></tr>
<tr><td>성 명</td><td>한희정</td><td>전 공</td><td>정보통신</td></tr>
<tr><td>유선전화</td><td>031-400-7607</td><td>휴대전화</td><td>010-6747-2113</td></tr>
<tr><td>참여연구원</td><td colspan="5">총 14 명 (내부 : 5 명, 외부 : 9 명)</td></tr>
<tr><td>연구기간</td><td colspan="5">2017. 8. 1 - 2017. 10. 31 (3 개월)</td></tr>
<tr><td>연구비(원)</td><td colspan="5">6,300,000</td></tr>
</table>

Ⅰ. 제 목

외해역 해난 사고 대응을 위한 해양환경 라이브러리 구축 및 표류예측 시스템 개발 기획

Ⅱ. 사업추진의 배경 및 필요성

○ 남대서양에서 발생한 대형 화물선 침몰 사고 등 외해역에서 발생하는 해난사고와 같은 해양 재해/재난에 효과적으로 대응하기 위한 체계적인 시스템 구축이 절실함
- 외해역에서 일어나는 사고에 대응하기 위한 준비는 없었음
- 실종자를 찾거나 사고 선박의 이동 경로를 파악하기 어려움
- 사고발생시점 혹은 요청시점부터 필요자료를 수집하기 시작하여 신속한 지원을 하기 어려움
- 익숙하지 않는 해역에서 표류물 이동을 계산해야하는 경우에는 더 많은 시간이 소요

○ 선박침몰 등 긴급상황에 신속하게 대응하기 위한 DB 구축 필수
- 다양한 위성자료가 있으나 활용성과 영상처리에 필요한 기초자료가 부족함
  + 구명벌 혹은 다른 부유물체를 식별해 낼 수 있는 위성의 종류 등
  + 구명벌의 광학 특성
- 외해역 해황(해류, 수온, 파고 등) 자료
  + 우리가 직접 생산하지는 않으나 사용 가능한 자료를 찾아 특성을 파악하고 활용할 준비를 하고 있어야 함
  + 현 우리 상황에서 실시간으로 신뢰성 있는 전체 바다의 해황 자료를 생산해 내기는 불가함
  + 사전 해류 및 기상자료의 확보가 어려우며, 이와 연동되는 표류물 이동 예측 모델은 미흡
- 해류자료를 확보하고 이를 바탕으로 하는 표류물 이동예측시스템이 구축되면 신속한 수색지원을 할 수 있음
  + 외해역에 대한 실시간 해황이나 기상자료는 외국에서 생산된 자료에 의존

Ⅲ. 최종 목표

○ 외해역 선박항로를 중심으로 한 해황자료 라이브러리 구축과 표류예측 시스템 개발 방안
○ 부유물 및 해양현상에 대한 다중 고해상도 위성영상 라이브러리 구축 방안

구분	연구목표	연구내용
2017	1. 외해역 선박항로를 중심으로 한 해황자료 라이브러리 구축과 표류예측시스템 개발 방안	1-1. 국내외 해황자료 조사와 확보방안 수립
		1-2. 표류예측시스템 구축과 검증 방안
	2. 부유물 및 해양현상에 대한 다중 고해상도 위성영상 라이브러리 구축 방안	2-1. 여러 해양 재난·재해를 대비하여 발생 가능한 부유물 및 해양 현상에 대한 고해상도 위성 영상 확보 및 데이터베이스화

Ⅳ. 상위목표와의 연계성

○ 우리 원 경영목표와의 연계성
- “전략목표 1. 미래 바다 보기”의 ‘북태평양 해수순환, 물질순환, 해안지형, 고해양 연구’ 및 해양관측위성 개발 및 서비스 항목에 부합
- “전략목표 4. 안전한 바다 만들기”의 ‘해양 재해·재난 위해도 평가 및 현장지원 체계 구축’에 부합

○ 국가적 아젠다(문재인정부 100대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성
- “국정과제 62. 해양영토 수호와 해양안전 강화”의 ‘해양안전 강화’, ‘해양예경보 시스템 구축’에 부합
- “국정과제 10. 해외체류 국민 보호 강화 및 재외동포 지원 확대”의 ‘재외국민 보호’ 항목에 부합

Ⅴ. 연구수행 내용

1. 해양위성 라이브러리 구축 및 실시간 분석시스템 개발

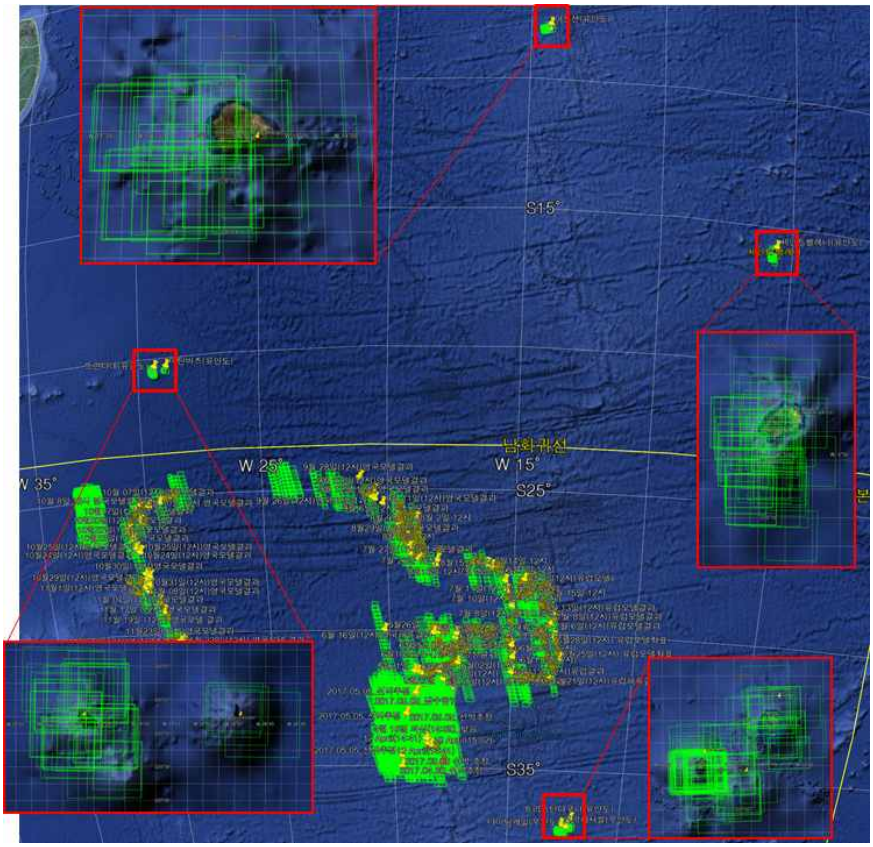
○ 대형 선박선 미발견 구명벌 수색 지원
- 위성과 모델을 융합한 수색 지원 체계

- 위성영상 분석지원 현황
  + 4월 22일 해양수산부 지원 요청 이후 5인 순환 무중단 비상근무체제 운용 중
  + 총 12.7.TB 분량의 위성 영상 분석 및 보고('17. 11. 12 기준)

위성 구분	영상 수	최대해상도	비고
아리랑 2호	1,542장	1m	광학
아리랑 3호	1,841장	0.7m	광학
아리랑 3A호	3,717장	0.5m	광학
아리랑 5호	460장	1.1m	레이더 (SAR)
합 계	7,560장		

위성 구분	영상 수	해상도	비고
Pleiades-1A/1B	39장	0.7m 급	프랑스
Resurs-P1	10장	Geoton: 1-3m 급 SHMSAVR: 12-28 m급	러시아
TerraSAR-X	1장	1m 급	독일
RapidEye	10장	6.5m 급	독일
Radarsat-2	3장	1m 급	캐나다
Worldview	594장	0.4m 급	미국
합 계	657장		

+ 실종자 수색을 위해 대서양의 유/무인도에 대한 위성 영상 촬영 (총 240장)

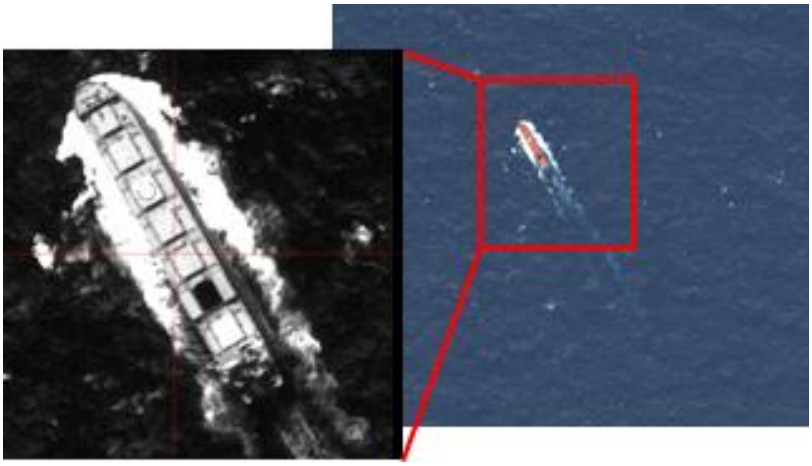


아리랑 위성 촬영 영역

○ 우리원의 미발견 구명벌 수색 지원 성과

- 천리안 위성의 고유 분석기법을 고해상도 위성에 적용하는 새로운 기술을 적용하여, 예측지점 주변 해상에서 소형 표류 부이 발견 성공

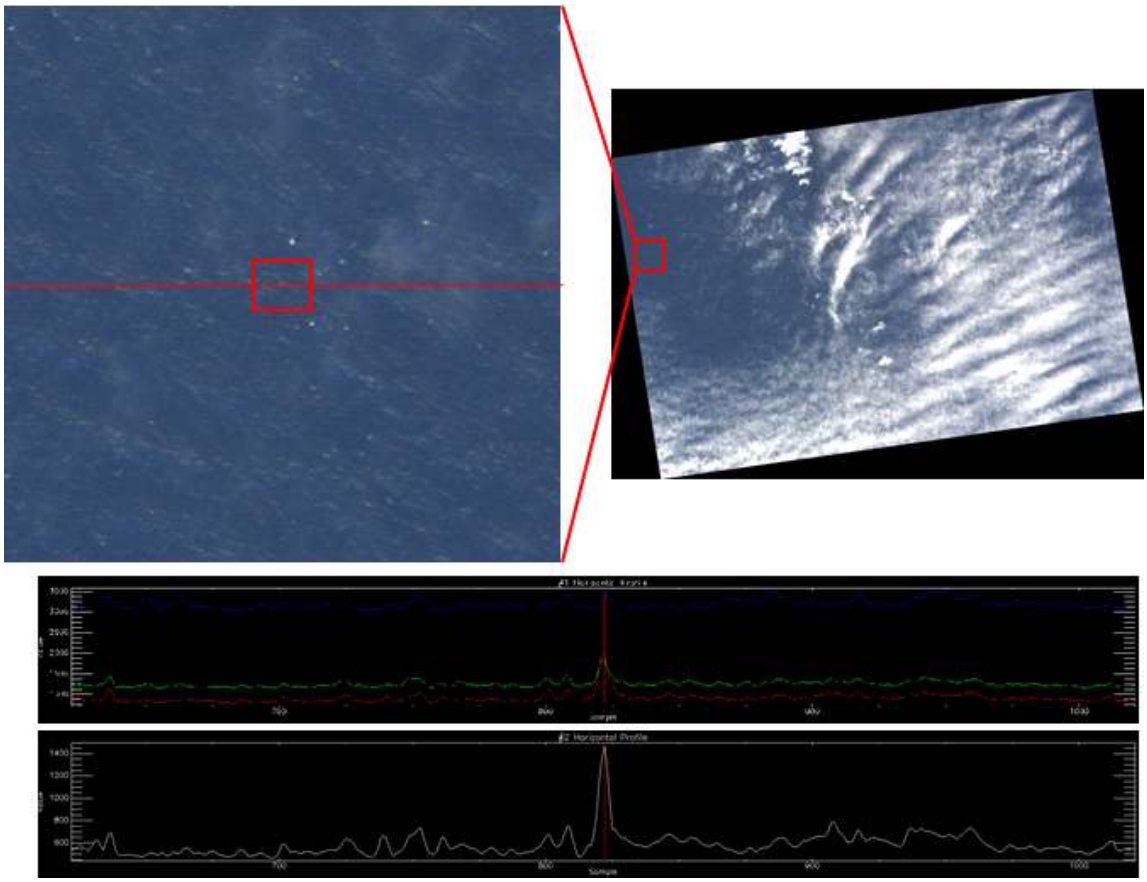
소형 표류 부이



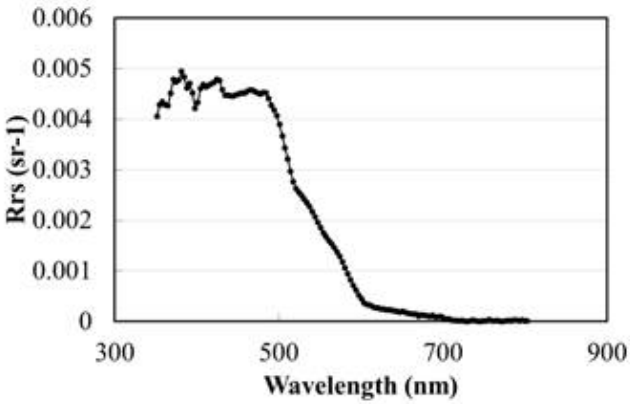
아리랑 위성 영상에서 발견한 대형 선박

○ 위성 영상 분석 기법

- 영상 및 스펙트럼 비교 (RGB & NIR)



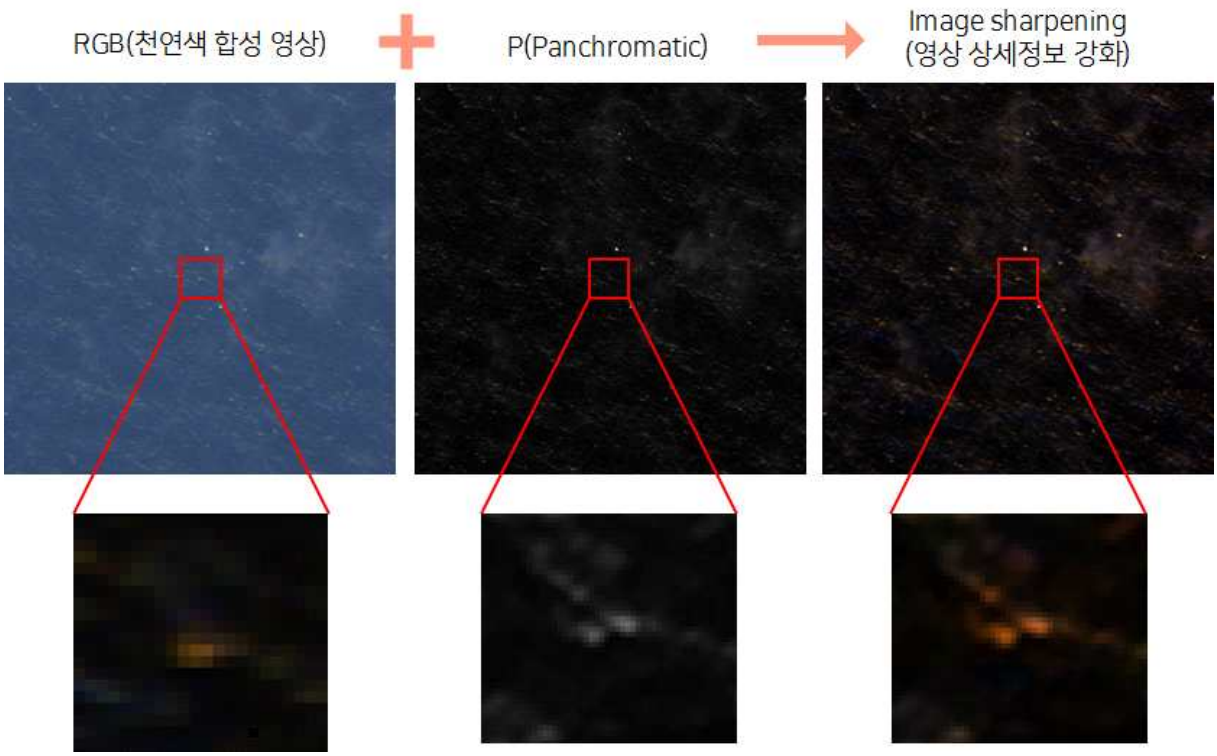
영상 및 스펙트럼 비교 (상)RGB, (하)NIR



해수의 원격 반사도

+ NIR 밴드의 해수 원격 반사도는 거의 0에 가까우나 바다에 물체가 떠 있을 경우 NIR에서의 반사도가 주변에 비해 높음

- 영상 상세정보 강화



○ 해양위성 라이브러리 구축 필요성

- 기존 분석의 문제점
  + 부유물의 광학적인 특징(RGB의 상대적인 크기)과 모양만을 기준으로 육안 분석 및 판단
  + 인력 및 시간이 많이 소요됨
  + 장시간 영상 분석에 따른 눈의 피로도로 인하여 오탐지 및 미탐지 될 가능성 있음
  + 분석자의 주관이 들어감

- 해양위성 라이브러리 구축 및 실시간 분석시스템 개발을 통하여 신속한 영상 분석 가능
  + 해양위성 라이브러리 구축 및 실시간 분석 시스템 개발을 통하여 보다 신속하고 정확한 영상 분석이 가능

○ 해양위성 라이브러리 구축 방안

- 한국항공우주연구원과 고해상도 다목적실용위성 실시간 촬영요청 및 자료제공 체계(핫라인) 계속 운영 예정
- 기 확보된 다양한 국내외 고해상도 위성자료(총 10종 약 8,152매, 12TB) 기반 해상 이동/표류물체 분석 및 라이브러리화
- 구명벌 및 선박의 광학적 특징을 확인하기 위한 현장조사 수행

○ 해양위성 영상 라이브러리 구축을 위한 현장조사 수행

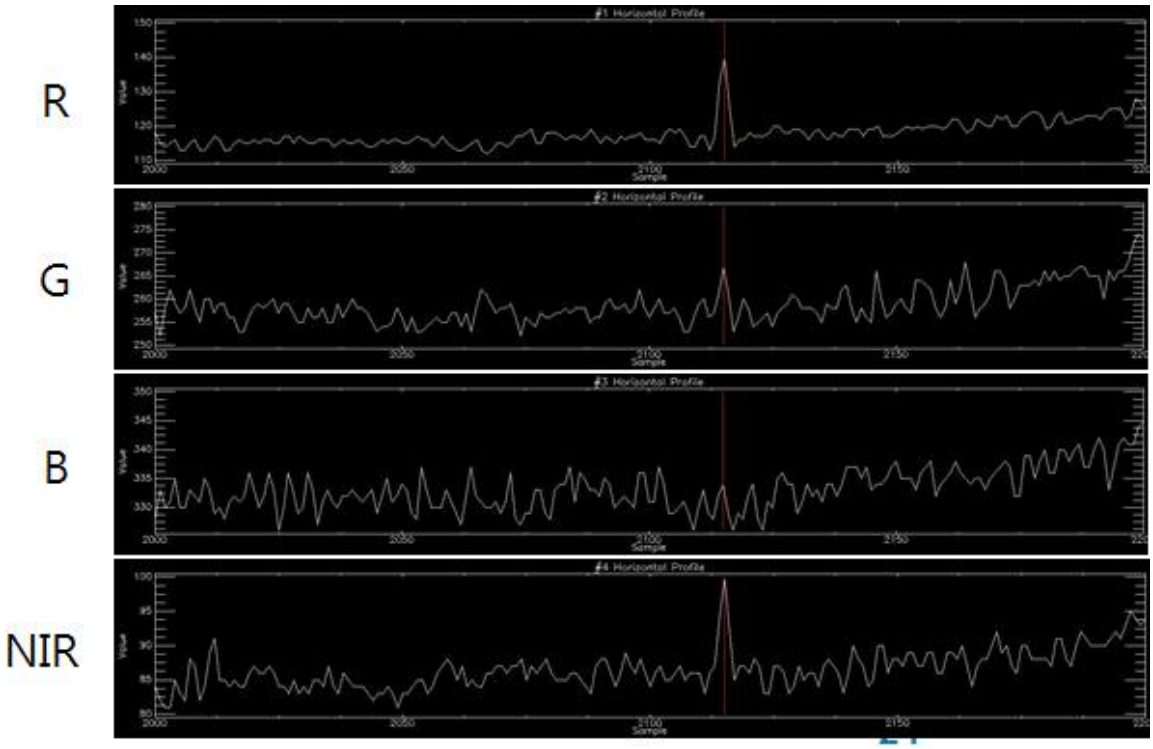
- 관측 위치 선정 조건
  + 2011년 ~ 2016년 10월의 GOCI 자료를 이용하여 구름의 영향이 작을 것
  + 육지에서 멀리 떨어질 것
  + 깨끗한 해역일 것

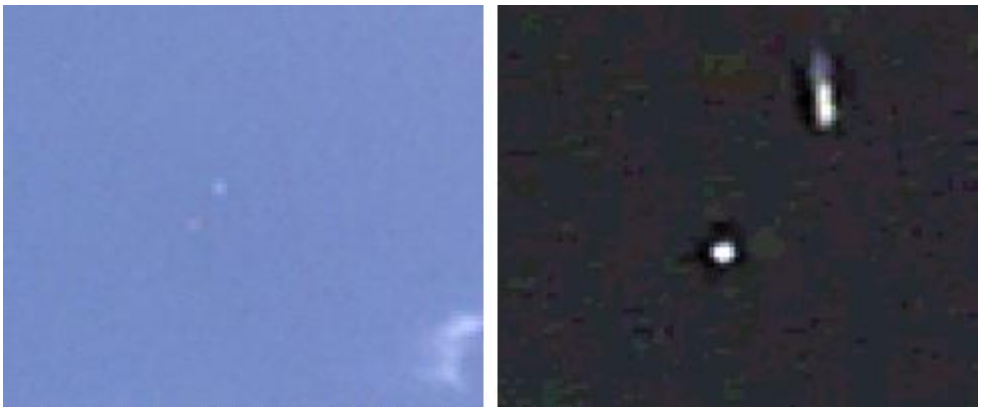
- 조사기간
  + 2017년 10월 26일 ~ 2017년 11월 3일

- 조사방법
  + 한국항공우주연구원의 협조를 얻어 아리랑 위성의 촬영 시간 확인
  + 촬영시간 전·후 30분간 구명벌 투하 후 대기

(좌) 구명벌 고정용 선박, (중) 실제 구명벌 모습, (상) 구명벌 크기의 대체모형

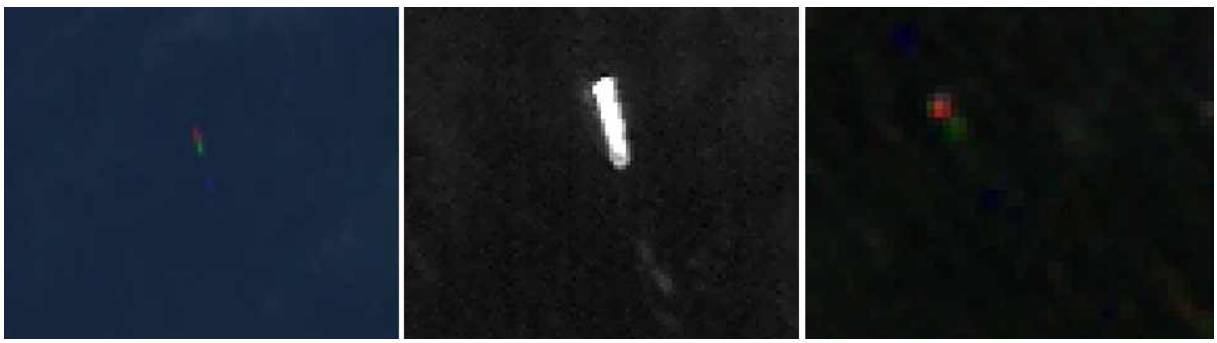
- 관측결과 (10월 26일)
  + 촬영위성: K2
  + 촬영시간: 11시 5분 23초
  + 구명벌 위치(GPS): 북위 33도 동경 126.399도





(좌) RGB 영상, (우) Image sharpening 영상

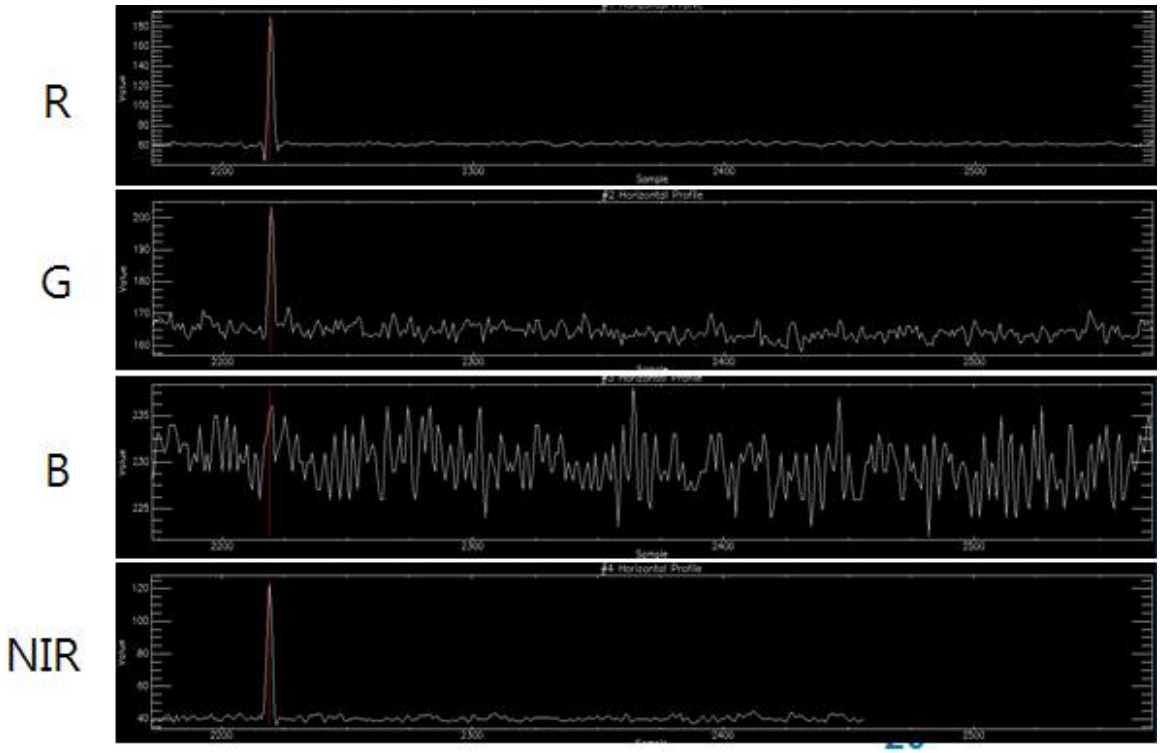
- 관측결과 (10월 27일)
  + 촬영위성: K3
  + 촬영시간: 13시 48분 36초
  + 구명벌 위치(GPS): 북위 32.9959도 동경 126.385도



(좌) RGB 영상, (중)Panchromatic 영상, (우) Image sharpening 영상

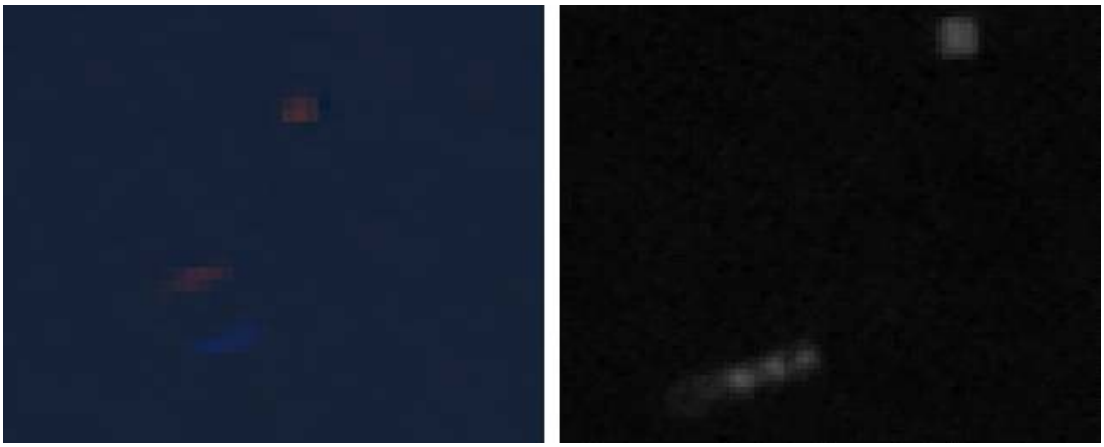
  + R, G, B 색상의 기하보정 문제로 인하여 Image sharpening에 실패함
  + 영상 자동 분석 시스템 구축 시 기하보정 실패에 대해 고려할 필요성이 있음
  + 추후 한국항공우주연구원과 기하보정 문제 합의 필요

- 관측결과 (10월 31일)
  + 촬영위성: K2
  + 촬영시간: 10시 58분 24초
  + 구명벌 위치(GPS): 북위 33.001도 동경 126.3998도



(좌) RGB 영상, (우) Image sharpening 영상

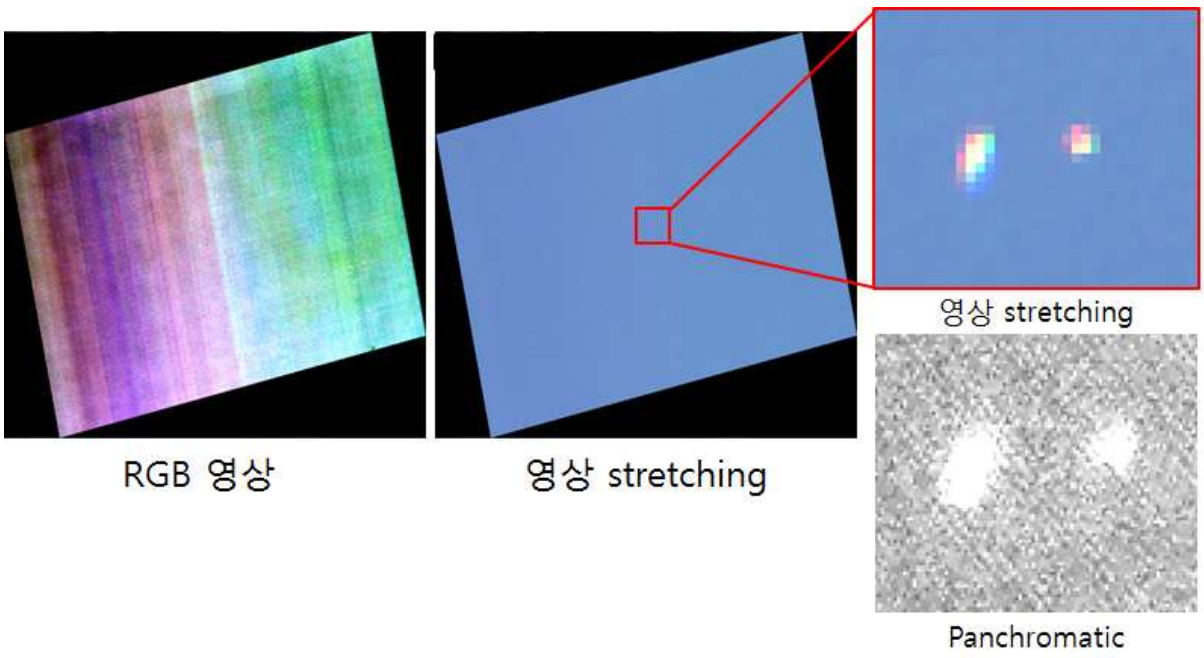
- 관측결과 (10월 31일)
  + 촬영위성: K3A
  + 촬영시간: 13시 28분 30초
  + 구명벌 위치(GPS): 북위 33.0019도 동경 126.4016도



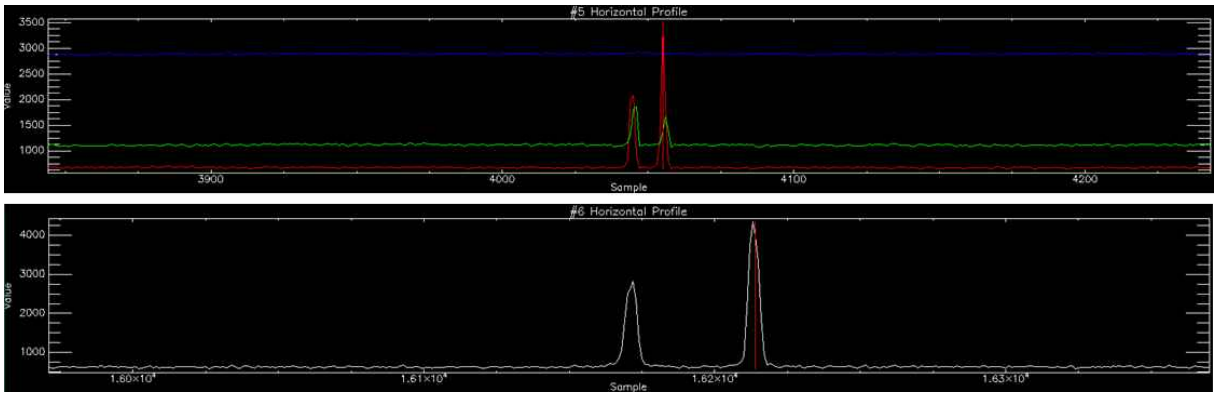
(좌) RGB 영상, (우) Panchromatic 영상

+ R, G, B 색상의 기하보정 문제로 인하여 Image sharpening에 실패함

- 관측결과 (11월 1일)
  + 촬영위성: K3
  + 촬영시간: 13시 45분 3초
  + 구명벌 위치(GPS): 북위 32.9972도 동경 126.4061도



+ 구름이 없거나 적을 때는 그림과 같이 파장이 이상하게 생성 되어 추후 한국항공우주연구원과 이 문제에 대해 논의 필요

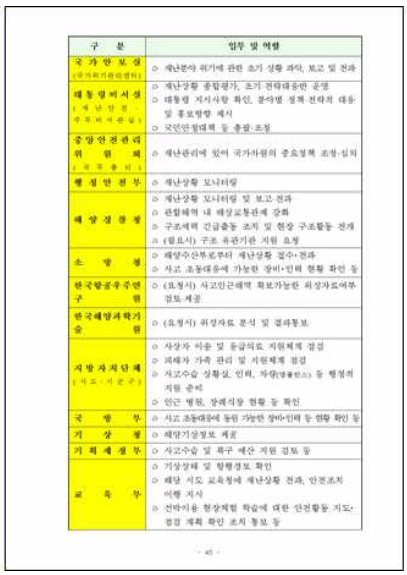


(상) RGB Horizontal Profile, (하) NIR Horizontal Profile

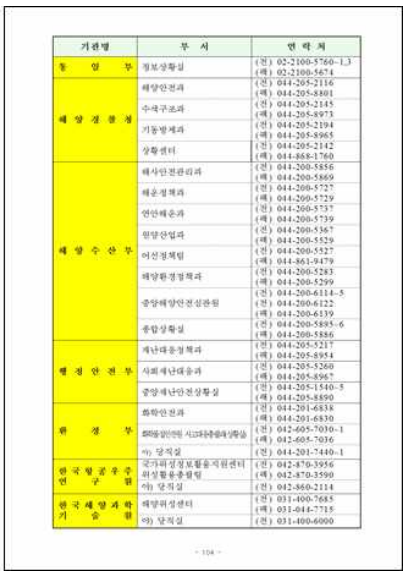
○ 추진 현황 및 관련 성과

- [해양 선박사고] 위기관리 표준매뉴얼 개정 (2017. 10.)

+ 한국해양과학기술원 해양위성센터가 선박사고 발생 시 위성자료 분석기관으로 새롭게 지정됨



구 분	임무 및 역할
국가안보실	○ 재난분야 위기에 관한 초기 상황 파악, 보고 및 전파
대통령비서실	○ 재난상황 종합평가, 초기 전략대응안 준생 ○ 대통령 지시사항 확인, 분야별 실책 전략적 대응 및 홍보방향 제시 ○ 국민안전대책 등 총괄·조정
중앙안전관리위원회	○ 재난관리에 있어 국가차원의 중요정책 조정·심의
행정안전부	○ 재난상황 모니터링
해양경찰청	○ 재난상황 모니터링 및 보고 전파 ○ 관할해역 내 해상교통관제 강화 ○ 구조세력 긴급출동 조치 및 현장 구조활동 전개 ○ (필요시) 구조 유관기관 지원 요청
소 방 청	○ 해양수산부로부터 재난상황 접수·전파 ○ 사고 초동대응에 가능한 장비·인력 현황 확인 등
한국항공우주연구원	○ (요청시) 사고인근해역 촬보가능한 위성자료(여부 검토·제공
한국해양과학기술원	○ (요청시) 위성자료 분석 및 결과통보
지방자치단체	○ 사상자 이송 및 응급의료 지원체계 점검 ○ 피해자 가족 관리 및 지원체계 점검 ○ 사고수습 상황실, 인력, 자원(생활필요) 등 행정적 지원 준비 ○ 인근 병원, 장례식장 현황 등 확인
국 방 부	○ 사고 초동대응에 동원 가능한 장비·인력 등 현황 확인 등
기 상 청	○ 해양기상정보 제공
기획재정부	○ 사고수습 및 복구 예산 지원 검토 등
교 육 부	○ 기상상태 및 항행정보 확인 ○ 해당 시도 교육청에 재난상황 전파, 안전조치 이행 지시 ○ 선박이용 현장체험 학습에 대한 안전활동 지도·점검 계획 확인 조치 통보 등



기관명	부 서	연 락 처
청 와 대	정보상황실	(전) 02-2100-5760~1,3 (팩) 02-2100-5674
해양경찰청	해양안전과	(전) 044-205-2116 (팩) 044-205-8801
	수색구조과	(전) 044-205-2145 (팩) 044-205-8973
	기동방제과	(전) 044-205-2194 (팩) 044-205-8965
	상황센터	(전) 044-205-2142 (팩) 044-868-1760
해양수산부	해사안전관리과	(전) 044-200-5856 (팩) 044-200-5869
	해운정책과	(전) 044-200-5727 (팩) 044-200-5729
	연안해운과	(전) 044-200-5737 (팩) 044-200-5739
	원양산업과	(전) 044-200-5367 (팩) 044-200-5529
	어선정책팀	(전) 044-200-5527 (팩) 044-861-9479
	해양환경정책과	(전) 044-200-5283 (팩) 044-200-5299
	중앙해양안전심판원	(전) 044-200-6114~5 (전) 044-200-6122 (팩) 044-200-6139
	종합상황실	(전) 044-200-5895~6 (팩) 044-200-5886
행정안전부	재난대응정책과	(전) 044-205-5217 (팩) 044-205-8954
	사회재난대응과	(전) 044-205-5260 (팩) 044-205-8967
	중앙재난안전상황실	(전) 044-205-1540~5 (팩) 044-205-8890
환 경 부	화학안전과	(전) 044-201-6838 (팩) 044-201-6830
	화학물질안전원 사고대응총괄담당실	(전) 042-605-7030~1 (팩) 042-605-7036
	야) 당직실	(전) 044-201-7440~1
한국항공우주연구원	국가위성정보활용지원센터	(전) 042-870-3956
	위성활용총괄팀	(팩) 042-870-3590
	야) 당직실	(전) 042-860-2114
한국해양과학기술원	해양위성센터	(전) 031-400-7685
		(팩) 031-044-7715
	야) 당직실	(전) 031-400-6000

2. 해황라이브러리 구축 방안: 해외사례를 중심으로

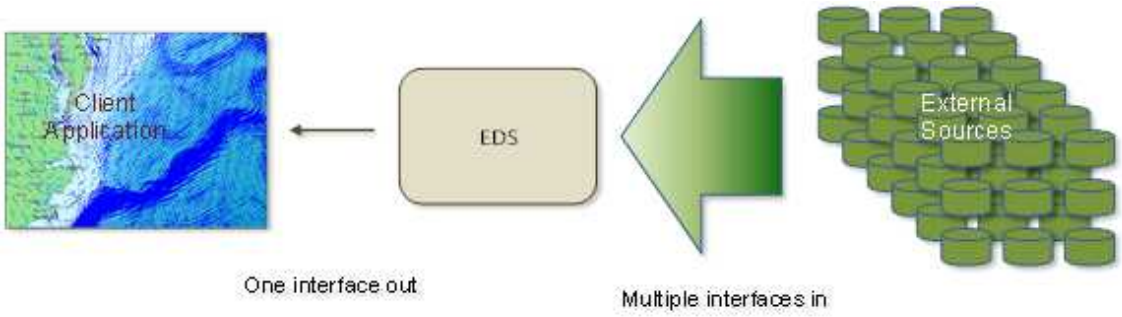
○ 해황자료 확보 중요성
- 해양 재난, 재해 등의 위기상황에 대한 조기대응을 위해서, 해황자료를 확보하고 그 데이터베이스를 유지하는 일은 필수적
- 한반도 주변 해역의 해황자료는 비교적 잘 확보되어 왔으나, 대양의 해황자료를 확보하는 방안은 미흡
  + 세계 주요 국가에서는 대양의 해황자료 활용을 위해 다양한 해양 라이브러리 시스템 개발 및 활용
  + 확보된 해황자료는 유사시에 표류물 이동예측시스템 또는 매핑 서비스 등을 통해서 해양 재난, 재해에 대한 조기대응에 활용

○ 해양 라이브러리 시스템 구축
- 다양한 종류의 해양 및 기상 자료를 데이터베이스화해서 포함하여 시공간에 따른 자료의 변화를 어떤 방식으로 처리할지 설계하는 것이 핵심
  + 다른 스케일의 시공간 변화를 일관된 시스템으로 구축
  + 사용자의 요구에 따라 필요한 자료와 필요하지 않은 자료를 쉽게 구분해서 일관된 양식으로 제공

○ 해외 해황 라이브러리 시스템
- 세계적으로 통용되고 있는 우수한 해양 라이브러리 시스템에 대한 고찰 필요
  + 실질적으로 재난, 재해 사고에 활용되었던 사례 중심
- 해외 해양 라이브러리의 실제 적용 사례를 통해서, 대한민국에서 개발 가능한 시스템에 대하여 제안

(1) Environmental Data Server (EDS)

① EDS 개요
- 미국의 RPS ASA에서 개발 운용되고 있는 Environmental Data Server (EDS)는 다양한 종류의 기상 해양 자료들을 아카이브하고 있는 시스템
  + 선박 사고나 해양 유류 오염과 같은 비상 재난 재해 시, 실종자 수색 또는 오염물질 이동 경로 파악 등의 솔루션을 수치모델링하는데 필요한 자료를 제공해 주는 것을 기본 기능으로 삼은 시스템



EDS의 작동원리

+ 다양한 자료의 구조 소화, 실시간으로 운용이 가능
+ 수색구조 모델이나 오염물질 유동을 실현해주는 모델링 어플리케이션으로의 자료 출력 시, 자료 형식의 자유도가 매우 높은 점이 특징

- 초기 개발 지원 및 장기간 유지 보수 시스템을 완성하는 데 미국 해경의 전폭적인 지원이 있었으며, 현재에도 미국 해경에서 주된 해양 라이브러리 시스템으로 활용 중

② EDS의 입력 자료 및 출력 자료의 유연성

- 다양한 형식들의 입력 자료들은 기상 해양 모델링의 구성 형태부터 염두에 두어야 하며, 각종 메타 데이터나 자료 구조를 전달해주는 시스템 변수를 EDS에서 소화 가능
  + 공간적인 격자의 다양성 : 정규격자, 비정규 메쉬 격자, 점·선의 형태로 흩어져 있는 관측자료
  + 시간적 형식 : 실시간 자료, 과거 및 미래의 자료, 서로 다른 시간 간격의 자료

- EDS conversion을 통해서 일괄적으로 NetCDF 자료로 전환되어 다음 단계로 전달

SOURCE NAME	COVERAGE & TYPE	SOURCE FORMAT	EDS CONVERSION	DAN PROCESSOR	DATA REQ PROCESSOR
CODAR STPS	East coast currents	NetCDF	None	OPENDAP	AGG
GFS	Global winds	Grib2	NetCDF	GFS	AGG
GLERL	Great Lakes winds & currents	Ascii	NetCDF	GLERL	AGG
HYCOM	Atlantic currents	Grib2	NetCDF	HYCOM	AGG
HFRADAR	East coast currents	NetCDF	None	OPENDAP	AGG
NAM	US winds	Grib2	NetCDF	NAM	AGG
NCOM	Global currents, sst, el, salinity	NetCDF	None	FTP	AGG
NDBC_ALL	US wind observations	Ascii	NetCDF	FTP	AGG
NDFD	PR, AK, GU, HI, US winds	Grib2	NetCDF	NDFD	AGG
NOGAPS	Global winds	Grib1	NetCDF	NOGAPS (CAGIPS)	AGG
NOS	Great lakes, Galveston bay, St John's river, Chesapeake bay, Port of NY winds & currents	NetCDF	None	FTP	AGG
SLDMBs	Global buoy deployments	Ascii	None	FTP	HTTP
TIDAL	SE Alaska, P Wm Sound, Columbia river, SF, JdF Strait, Narr bay currents	ASA	None	N/A	CIR
STATIC	Florida, Mariano currents	NetCDF	None	N/A	FNST
ADCIRC	US East and West coast currents	USACOE	None	N/A	ADCIRC
RIVERS	Major US rivers	SQL+Ascii	SQL	FTP	RIVERS

EDS 웹서비스를 통한 일관적인 입출력 자료 양식

③ EDS의 입력 및 출력 과정

- 입력된 자료들은 로컬 서버에 저장되어 원격지 서버와 상관없이 언제든 복구 가능
  + 입력자료로 들어오는 자료의 메타데이터가 없을 경우를 대비해서, 원자료를 불러들이며 동시에 자료구조를 파악할 수 있도록 장치
- web mapping service(WMS) 프로토콜을 일반적으로 적용해서 어떤 종류의 클라이언트 서비스에 상관없이 web프로토콜을 사용해서 출력할 수 있게 구축
  + 모든 메타데이터는 중앙의 클리어링 하우스(clearing house)에서 공유될 수 있도록 구축

④ EDS의 그 외 서비스

- EDS 자체적으로 자료분석 가능한 서비스 플랫폼을 제공
  + 미해경과 함께 공동 개발한 시스템 같은 경우에 해류 자료에 대해서 여러 가지 종류의 통계 분석이 가능
  + Integrated Ocean Observing System (IOOS)와 연계 운용되는 시스템의 경우 해양 관련 연구소에서 요구하는 다양한 자료 처리를 할 수 있도록 설계

+ 수색 구조나 재난·재해 대비 시스템과 연동될 경우, 카탈로크에 수록된 해류 자료의 유의성 판독을 지원할 수 있는 skill assessment 결과 제공 가능

- EDS 도시화가 가능한 서비스 플랫폼을 제공

+ 분석을 거친 자료들은 그래프로 도시화하여 다양하게 활용

⑤ EDS의 운용지원 시스템

- EDS는 RPS ASA에서 상주하는 기술 지원팀이 24시간 대기 시스템의 유지 보수

+ 강도 높은 보안 시스템으로 보호

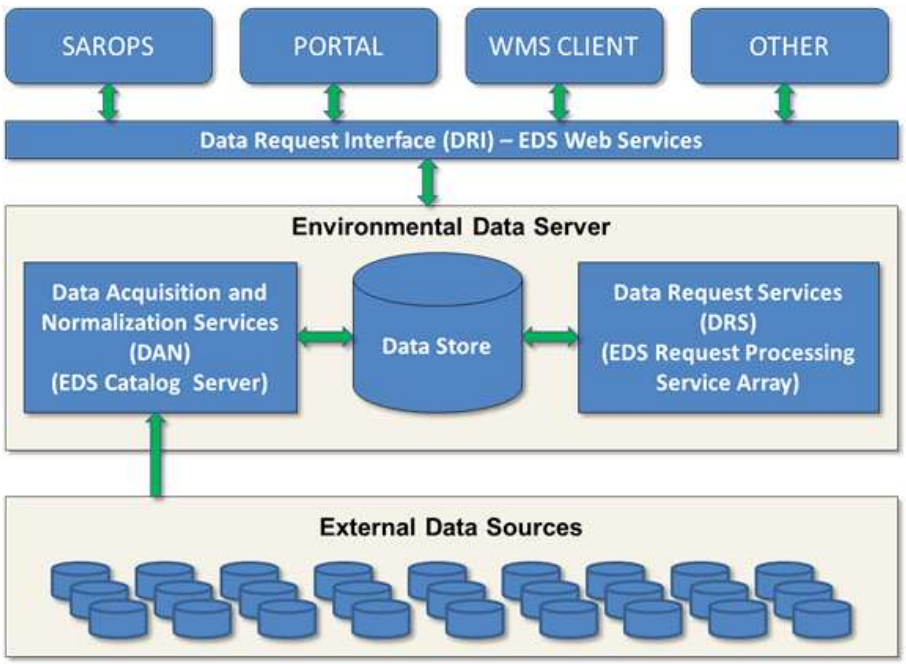
- 만일의 사태에 대비해서 2개 이상의 프로덕션 서버를 비롯하여, 가장 안전한 곳으로 신뢰받고 있는 Amazon cloud server에 백업자료 및 시스템 백업을 유지

- 지난 15년 이상 운용된 결과를 살펴볼 때, EDS는 연중 24시간 운용되고 있으며 평균 99% 이상의 운용율을 보임

⑥ EDS 시스템의 구성

- EDS 시스템의 핵심 구성 요소는 다양한 입력 자료의 변환을 통한 데이터베이스화 과정과 자료 아카이브, 그리고 클라이언트 애플리케이션에서의 자료 요구에 따른 자료처리의 3가지 과정

+ 시스템 구성 : Catalog Server - Data Storage - Web Service

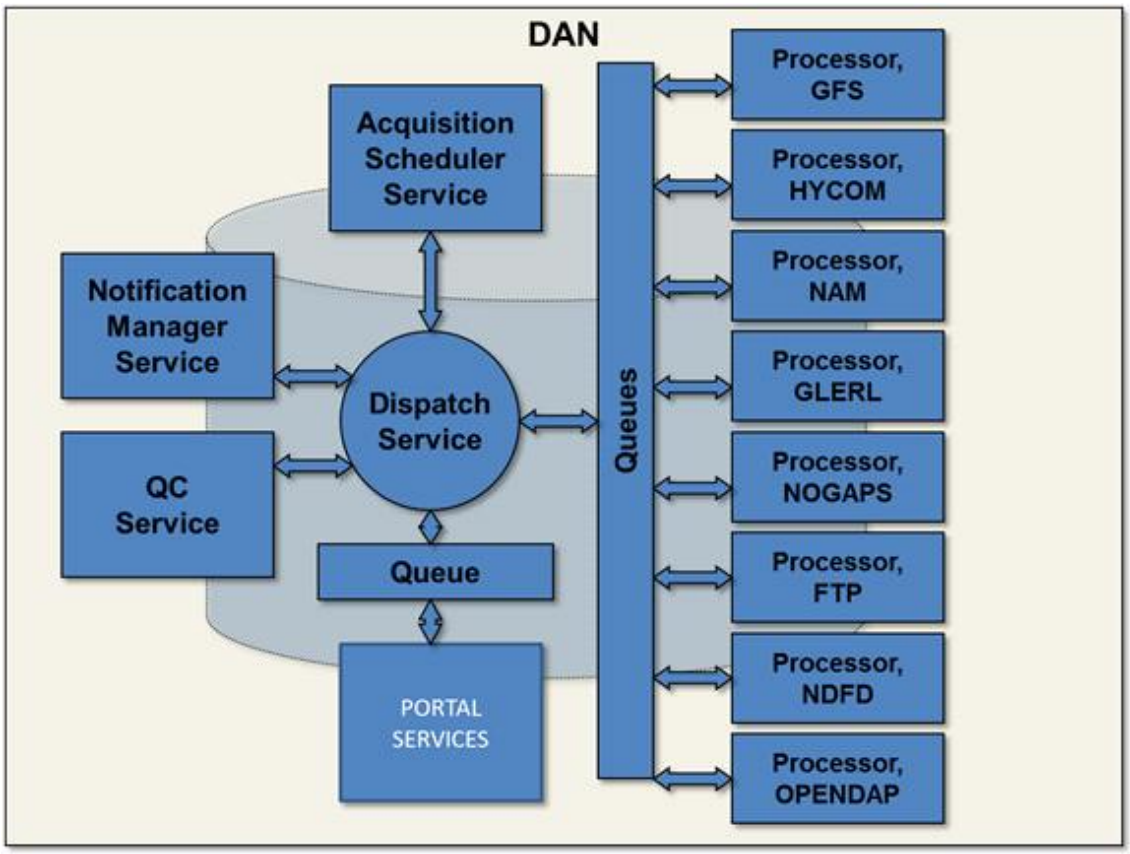


EDS 시스템 기본 구성도

⑦ EDS 입력 자료 처리

- 입력 자료를 처리하는 시스템 구성요소 Data Acquisition and Normalization, (DAN)
  + 세부적으로 자료 획득 주기를 결정하는 Acquisition scheduler와, 자료를 불러오는 Queues 과정, 불려온 자료들이 실제로 원자료와 일치하는지를 살펴보는 QC 과정, 그리고 이러한 입력 자료 처리 과정이 완료되었음을 중앙 통제 시스템에 전달하는 notification의 과정으로 구성

- 이 과정을 통해 입력된 자료들은 일관된 NetCDF 형식으로 전환된 후에 자료 창고(Data Store)에 저장
  + 자료창고는 SQL 데이터 베이스 형식으로 저장
  + automated validation service를 통해서 자료 축적과 동시에 EDS 자체 자료 요구 명령에 따라 자료처리를 해보는 과정을 거쳐서 validated data로 등록



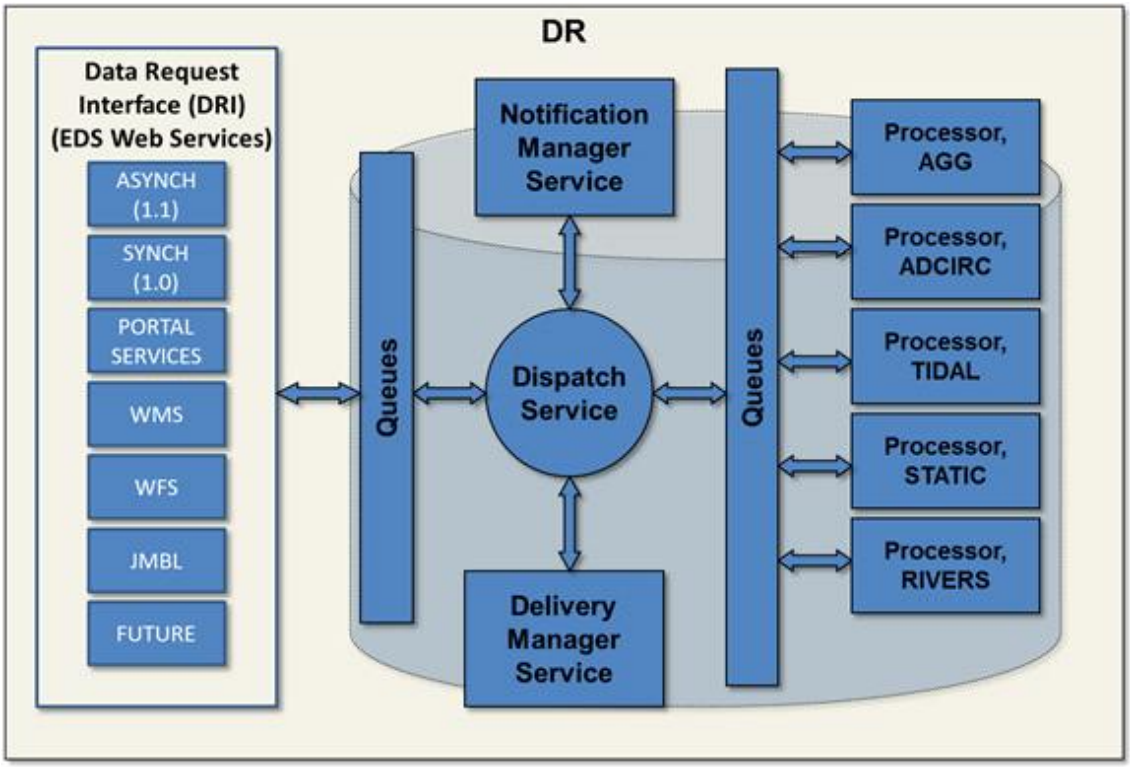
EDS의 입력 처리 과정 모식도

⑧ EDS 출력 자료 처리

- 자료 출력을 담당하고 있는 Data Request Interface(DRI)서비스
  + Web Mapping Service 등의 각종 Data Queues를 EDS에 보내게 되며, 그에 따라서 Data Store에 있는 자료들을 클라이언트의 요구에 형식을 맞춰 재생산하는 Delivery Manager Service를 통하여 자료를 제공

- 이 때 활용되는 시스템 중 하나가 scalable system 개념
  + 서비스가 제공될 때 여러 서버에서 그 작업을 분담하며 또한 작업의 중첩 또한 허용
  + 한가지 자료 처리가 진행되는 동안에도, 새로운 자료처리가 요구되면 그 작업이 진행될 수록 설계

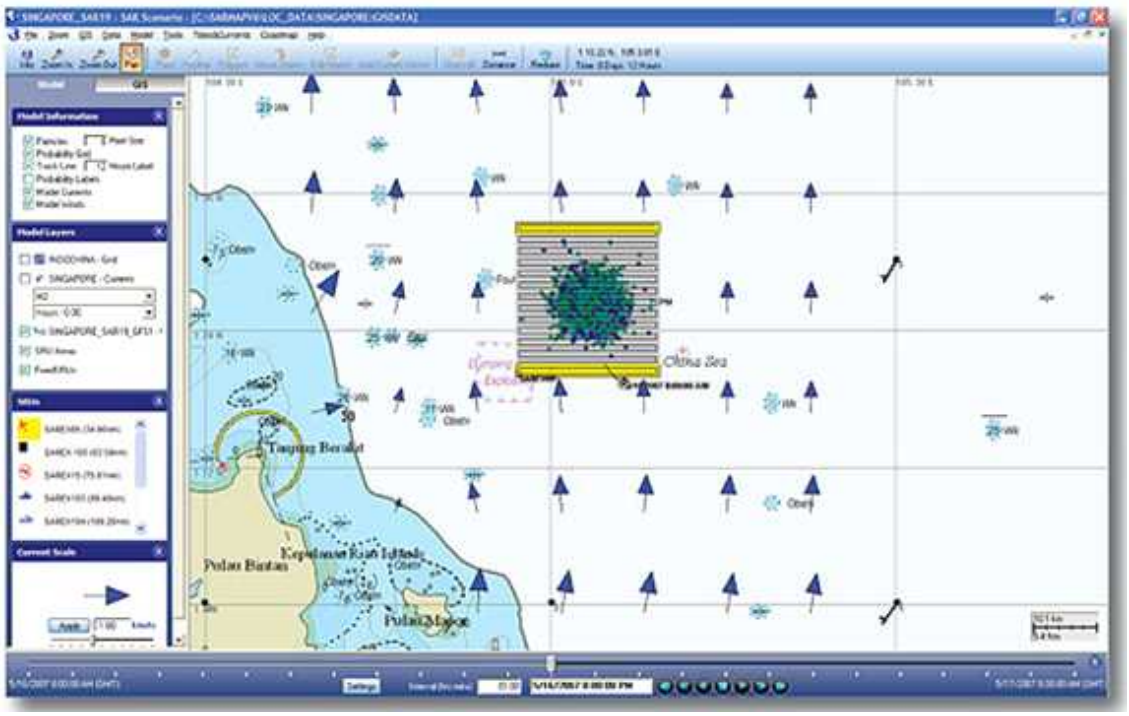
- 자료처리를 요구하는 message queue는 간략하고 빠르게 처리될 수 있어야 함
  + XML 등의 활용을 통해서 프로세서가 명령을 하달 받자마자 곧바로 실행될 수 있는 시스템
- 모든 자료 처리의 핵심 설계시 자료의 형식이나 규모에 따라 설계되어야 함



EDS 출력 자료 제공 과정 모식도

⑨ EDS 시스템의 활용

- 미국 해경(US Coast Guard)의 EDS 시스템 활용
  + EDS 시스템은 RPS ASA의 지원 하에 미 해경에서 운용중인 수색구조 시스템 Search and Rescue Optimal Planning System(SAROPS)에 포함하여 활용
  + SAROPS는 입자추적 모델을 기반으로 하여, 다양한 구조 대상물과 다양한 시나리오를 모델링 할 수 있으며, 이 모델링 분석결과를 바탕으로 최적의 수색 시나리오를 설정하는데 활용(Breivik and Allen, 2008; Kratzke et al., 2010)
  + 준실시간으로 EDS를 통해 기상 및 해양 자료를 공급받게 되며, 이는 재난 재해 상황중에 SAROPS의 활용에 있어 매우 중요한 전제조건



수색구조 사업에 응용된 EDS 기반 기상 해양자료의 예

- AROPS를 지원하는 EDS 시스템 2개
  + 미국 웨스트 버지니아 주에 위치하는 USGS Operational Systems Center (OSC)
  + OSC 시스템의 백업 버전이 RPS ASA에 운용 및 유지
  + RPS ASA에서도 자체적으로 내부 EDS 시스템을 운용함으로써, 2중 3중의 백업을 통해서 자료 및 시스템의 안정을 유지
  + 2013년 기준으로 약 150개의 다른 종류의 기상 해양자료를 포함하고 있으며, 계속해서 새로운 자료들이 추가되고 있는 시정

- EDS 시스템 활용 추세
  + 미 해경 내부 자료에 따르면 한해 평균 약 2-3만건 정도의 수색구조 상황이 존재하며, SAROPS-EDS 시스템을 통해서 한해 평균 약 5천명 이상의 인명을 구조하는 것으로 파악(Allen and Howlett, 2008)
  + 대표적인 예로 2010년에 미국 멕시코만에서 일어났던 유조선 폭발 사고에 SAROPS와 EDS를 활용해서 총 115명의 목숨을 구하는 수색작전이 성공적으로 수행됨(SAROPS, Wikipedia)

- 미국 정부 및 해외 EDS 활용
  + 미 해경 외에 현재 미국 정부내에서 EDS를 활용하고 있는 기관으로는 US Army Corps of Engineers, National Oceanic Atmospheric Administration, Naval Oceanographic Office 등이 있음
  + 이외에도 해외 각국에서 활용되고 있으며, 그 중 대표적인 기관으로는 Sasemar (Spanish Coast Guard), Irish Coast Guard, MCA UK, Rijkswaterstaat (the Netherlands), Cedra (France), SEMAR (Mexico) 등이 포함

(2) Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)

① CMEMS 개요

- Copernicus Service(http://marine.copernicus.eu/)는 기본적으로 기상 해양 자료의 카탈로그 서비스를 제공하며, 해상안전, 해양자원보소, 연안환경 보호, 기상 및 기후 관련 사업 등 다양한 분야에 활용

② CMEMS 특징

- CMEMS는 기상 해양 데이터를 수용 및 전환하여 자체 데이터베이스를 유지하기 보다는 온라인 카탈로그 기능을 통하여 기상·해양 자료의 포털 역할을 함
  + 사용자는 카탈로그를 통해 필요한 자료를 검색하고, NetCDF로 통일된 형식의 자료를 다운로드 받아 사용 가능

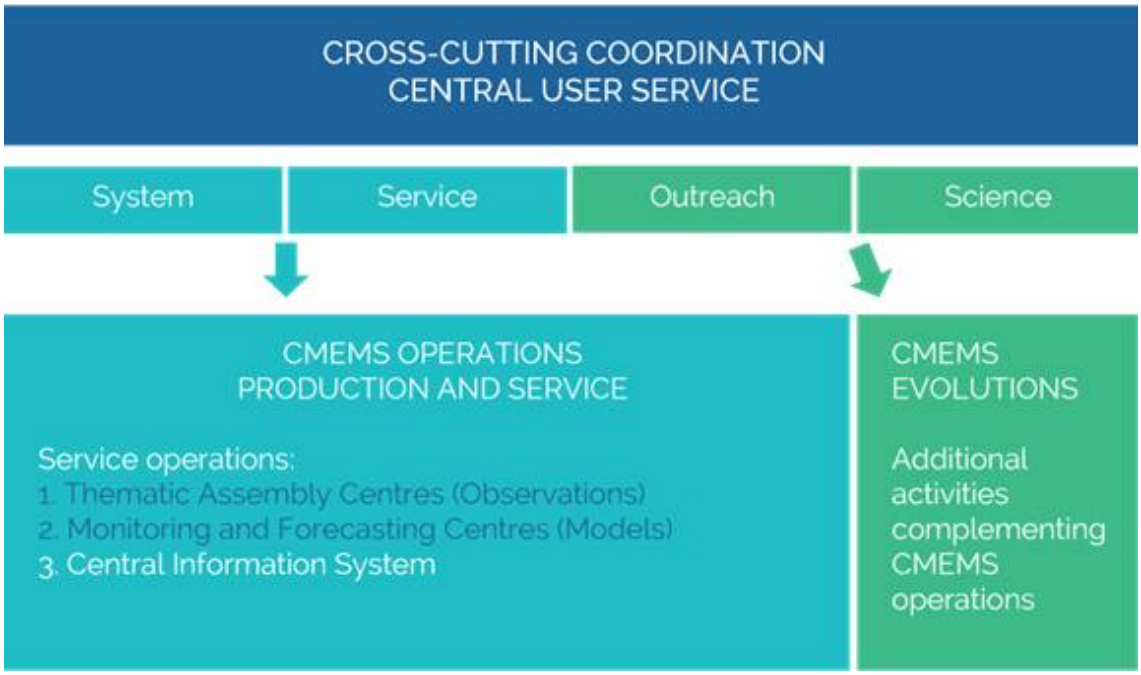
- 모든 서비스는 유럽 연합의 분담금으로 운용되고 있어, 거의 모든 서비스를 무료로 제공받을 수 있다는 장점이 있음

③ CMEMS 한계

- 서비스 데스크를 통해 특정한 자료 요청 등에 대해서 대처할 수 있는 기능을 갖지만, 기본적으로 사용자가 자료를 직접 찾아서 다운로드해야 하는 단점이 있음
  + 각기 다른 자료들이 다른 형식으로 아카이브 되어 있는 것을 catalog 서비스를 통해 다운받아 사용하는 것이기 때문에 재난 재해와 같은 위급한 상황에서 신속하게 운용하는데 있어 한계
  + CMEMS를 수색구조와 같은 위기 대응 플래닝 시스템의 일부로 포함시키려면, 사전에 미리 많은 연구 개발 과정이 필요
  + CMEMS에서 제공하는 자료를 수색구조 모델링 어플리케이션에 바로 활용할 수 있는 브릿지 시스템을 개발하는 것이 필요

④ CMEMS 제공 서비스

- 자료 다운로드 또는 자료 도시를 위한 기본적인 web service protocol을 제공
- Python script를 사용하게 되면 대용량의 자료를 한꺼번에 다운로드 가능



CSEMS를 통해 제공되는 각종 서비스

(3) Planet OS의 Datahub

① Datahub 개요

- Planet OS에서 제공하는 기상 해양 데이터 허브의 하나로서, 빅데이터 기반에 맞추어서 자료에 기반한 의사결정 과정을 지원하기 위한 시스템으로 개발

  + 주로 에너지 관련 사업에 활용되지만, 유사시에는 수색 구조 모델링 등에 자료 제공이 가능(https://data.planetos.com/)

② Datahub 적용 가능성

- 활용범위가 제한적이긴 하지만 기상 해양 자료를 다루는데 있어서 빅데이터 컨셉을 도입하여 데이터베이스 설계부터 새로운 방향으로 설정하여 개발된 플랫폼이기 때문에 앞으로의 발전 가능성이 상대적으로 큼

(4) 요약 및 제언

- 해양 재난·재해 등의 위기상황에 대한 조기대응을 위해서는, 수색 구조 모델링 개발과 더불어 그 모델링에 활용될 해황자료를 확보하여 유사시 활용 가능한 데이터베이스를 유지해주는 해양 라이브러리 시스템 개발이 필수적
- 이를 위해 선진국에서 사용되고 있는 해양 라이브러리 시스템을 간략히 정리함

  + 미국 해경과 RPS ASA가 협력하여 함께 개발한 EDS 시스템은 이러한 위기상황에 맞춰 설계 개발되었으며, 가장 간단하고 신속하게 기상 해양 자료를 사용자가 원하는 형식의 자료로 제공할 수 있다는 점이 가장 큰 장점
  + 사용자가 이용하고 있는 모델링 시스템과 EDS 시스템에서 제공되는 출력자료가 일관적이어야 한다는 점에서 그 활용성이 다소 제한적
  + CMEMS 시스템의 경우, 근본적으로 데이터 카탈로그 시스템이기 때문에 위기상황에서 활용 가능한 정도로 일관된 출력 자료를 제공하기 어려움
  + 대신에 다양한 국가, 다양한 기관에서 생성한 자료에 대해 미리 입력 표준을 정해줌으로써 사용자 입장에서는 최대한 일관된 형식으로 자료를 다운로드 받아 활용 가능
  + Planet OS 시스템은 빅데이터라는 새로운 시기에 발맞추어 신기술이 적용되긴 하였으나, 아직 시험단계에 머물러 있음
  + 재난·재해 등의 위기 대응이라는 과정에 적합할지를 보여줄 적용 사례가 아직 부족한 편

- 국내에서 새로이 개발될 해양 라이브러리 시스템의 구축 방향으로는 위의 세 가지 시스템의 장점을 적당히 혼용하여 위기 대응 프로세스를 최적화 할 수 있으면서도, 신기술이 적용되어 향후 장기간 사용될 수 있어야 할 것
  + EDS 시스템에서 적용된 자료 전환 기법을 활용하여 일관적인 출력자료를 제공
  + 자료 제공을 받는 각 기관과의 유기적 협력을 통해서 CMEMS의 확장성을 확보
  + 빅데이터 기법을 활용한 신기술까지 접목될 수 있는 우수한 해양 라이브러리 시스템 개발이 필요한 시점

3. 표류예측시스템 구축과 검증 방안

○ 표류예측모델의 원리

- 표류물의 이동 예측을 위해 설계한 라그랑지안 입자 추적 모형은 기본적으로 계산되어 있는 유속 결과를 이용하여 입자의 위치를 계산하는 오프라인형 모형
  + 오프라인형 모형은 해수의 물리적인 값에 영향을 주지 않고 동시에 많은 수의 입자 이동을 빠르고 효과적으로 계산 가능

- 입력 자료로 사용할 외부 수치모형 결과는 위-경도 좌표체계와 공간적으로 격자화된 자료라면 사용에 제한이 없으며, 다양한 자료를 이용하여 입자 이동 계산이 가능
  + 모형에서 설정한 시간과 시간간격에 따라, 입력자료는 각 입자의 시간적, 공간적 위치로 내삽되어 각 입자의 이동 계산에 사용
  + 공간적 위치의 내삽의 경우, 입력자료에서 입자의 위치와 가장 가까운 3개의 격자점으로부터 선형적인 값을 계산하여 입자 이동에 사용

- 모형의 영역은 입력자료의 영역과 동일하며, 입자가 모형의 영역을 벗어나거나 유속자료가 존재하지 않는 육지에 도달할 경우 입자가 사라지도록 설계

- 입자의 이동 계산에서 모형의 좌표체계는 입력자료의 위-경도 좌표체계(n, Lat)에서 지구의 구 형태를 고려한 거리 좌표체계($\vec{x}=(x,y)$)로 변환되며 최종 결과를 출력하는 경우 좌표체계는 다시 위-경도 좌표체계로 변환되어 저장
  + 입자의 이동에는 표층의 이류($\vec{u}$)에 의한 입자의 이동($\vec{d}_{adv}$)을 기본적으로 고려하고, 바람 영향에 의한 입자의 이동($\vec{d}_{wind\,drift}$)과 수평 난류 확산에 의한 이동($\vec{d}_{diff}$)을 선택적으로 고려 가능

$$\vec{x}_{n+1} = \vec{x}_n + \vec{d}_{adv} + \vec{d}_{wind\,drift} + \vec{d}_{diff},\ \vec{x} = (x, y)$$

($\vec{x}$: 입자의 위치, n : 시간, $\vec{d}$: 입자의 이동 거리)

  + 시간의 입자 위치에서 주어진 시간간격동안 해류, 바람, 난류확산에 의한 이동 거리를 계산하여, 다음 순간의 입자 위치를 결정

+ 각 요인에 의한 이동 거리는 아래와 같이 계산

$$d_{dv} = \vec{u}_c(\vec{x}_n, n)\triangle t$$

$$\vec{d}_{wind\,drift} = {}_f\vec{u}_{w10m}(\vec{x}_n, n)\triangle t,\ W_f = k\ \frac{A}{W}$$

$$\vec{d}_{diff} = R\ \ 2K_h\,TRIANGLEt$$

- 이류에 의한 이동($\vec{d}_{adv}$)의 경우, 해당 입자의 위치와 시간에서의 유속을 시간간격($\triangle t$)만큼 적분하여 이동 거리를 계산

- 바람에 의한 이동($\vec{d}_{wind\,drift}$)에는 입자의 위치와 시간에서 바람속도($\vec{u}_{w10m}$: 해수면 10m위 바람)를 $\triangle t$만큼 적분하고, 추가적으로 바람 영향의 정도(W_f)를 고려
  + W_f에 k는 풍압계수(=0.03), A/W는 입자의 부력 비율로, 입자의 공기 중 노출된 정도와 해수에 잠긴 정도의 비율
  + 즉, 표류물의 공기 중 노출된 비율에 따라 바람의 영향이 결정됨

- 난류확산에 의한 이동($\vec{d}_{diff}$)에서는 무작위수의 접근법(random walk approach)을 난류 모사에 적용함으로써 수평으로의 불규칙한 운동을 표현
  + R은 -1과 1사이의 무작위수(random number), K_h는 수평방향 확산계수

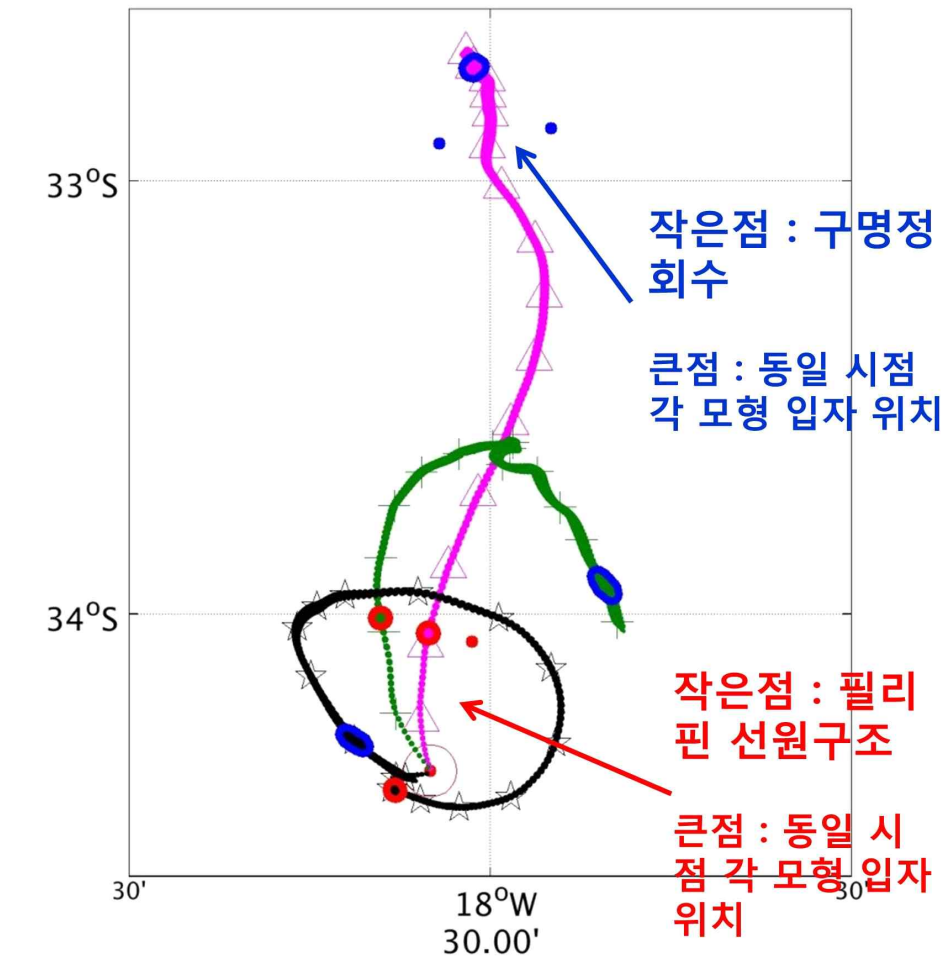
○ 표류물 추적-입자 추적 모형 사례
- 2017년 3월 31일, 남대서양에서 14만톤급 화물선인 스텔라데이지호의 침몰 사고
  + 사고 해역인 남대서양 해역에 대해 미국해군, EU, 영국기상청 등이 해류와 바람에 대한 예보 결과를 서버를 통해 제공하고 있으며, 세 가지 종류의 남대서양 해류자료와 미국 해군 연구소에서 제공하는 바람자료를 이용하여 사고 선박 표류물의 경로를 계산
  + 조난 신호를 보내는 EPIRB 장비로부터의 최초발신 시간인 2017년 3월 31일 오후부터, 최초발신위치에서 1000개의 입자를 출발하였고, 2017년 4월 8일까지 계산을 수행

구분	일시	장소(지점)
EPIRB 신호 최초발신	3월 31일 14:25 UTC	34°21′36″ S 18°40′00″ W
필리핀 선원 구조	4월 1일 14:22 UTC	34°03′48″ S 18°33′04″ W
구명정 1 회수	4월 7일	32°54′48″ S 18°38′30″ W
구명정 2 회수	4월 7일	32°52′45″ S 18°19′54″ W

스텔라데이지호 관련 신호, 구조 및 회수 일시 및 위치

- 선박 표류물 중 구명정의 경우, 표류 시 해류 뿐 아니라 바람의 영향을 받을 가능성이 높음
  + 해수면에 노출된 표류물체는 그 형태에 따라 0~5%의 바람 영향을 받을 수 있으며, 미국 해안 경비대의 수색 구난 (SAR: Search and Rescue)과 관련된 보고서에 따르면 구명정이 받는 바람의 영향은 약 2~5%
  + 본 실험에서는 구명벌에 대한 약 3%의 바람영향을 가정하여 수행
- 각 모형자료로 계산한 라그랑지안 입자추적 모형 결과는 선원 구조 및 회수한 부유물을 발견한 시간과 위치와 비교

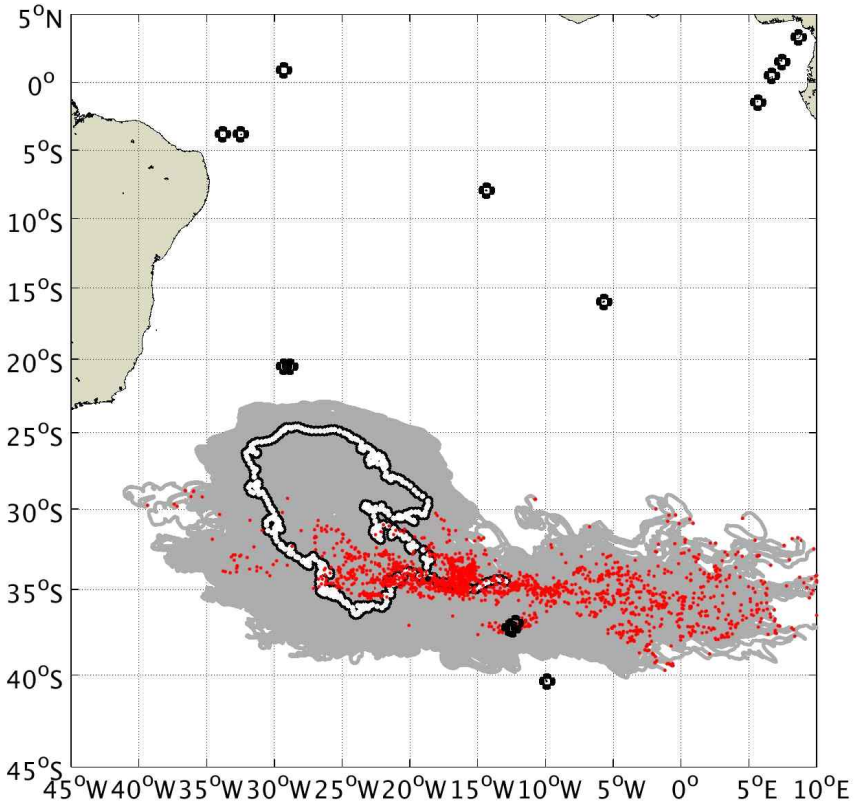
○ 표류물 추적-결과
- 라그랑지안 입자추적 모형 결과 중 영국 기상청 해류자료와 미국해군 바람자료를 이용한 계산이 필리핀 선원 구조 위치와 구명정 회수위치로부터 약 20 km 오차범위 내에서 재현
- EU 해류자료와 미국 기상청 바람자료를 이용한 계산은 필리핀선원구조위치와 초계기에서 부유물로 추정되는 것을 발견한 위치로부터 약 20 km 오차범위 내에서 재현
- 미국해군 해류자료는 필리핀 선원 구조 위치와 구명정 회수위치를 재현하지 못하였음



각 모형을 이용한 입자 추적 모형 결과(2017년 3월 31일~4월 8일)와 구조 및 회수 위치와의 비교

○ 표류물 추적-장기 실험

- 입자 이동 검증 결과를 바탕으로, 남대서양 해역에서는 영국 기상청에서 제공하는 해양 모형결과와 미국 해군연구소에서 제공하는 바람 모형 결과를 사용하는 것이 가장 적절하다고 판단하였으며, 해당 조합을 이용하여 장기 실험을 수행
- 실험 수행 기간은 사고가 발생한 시점인 2017년 3월 31일부터 2018년 6월 4일까지며, 2000개의 입자를 앞선 실험과 마찬가지로 EPIRB 신호 최초발신 위치에 투하하였고, 입자에 미치는 바람의 영향은 약 3.6%로 가정
- 2000개의 입자는 모형에서 수평 확산($10m^2/s$)에 의해 퍼져나가며, 평균 이동 경로는 장기간에 걸쳐 약 1000 km 지름의 원형태를 이루며 반시계방향으로 회전 후 초기 방출 위치 부근에 도달하였으며, 이후에는 동쪽 방향으로 이동
- 장기간의 이동기간 동안 입자의 분포 범위는 남위 40도에서 남위 23도, 서경 40도에서 동경 10도의 범위까지이며, 가장 마지막 순간인 2018년 6월 4일 입자의 주 분포는 남위 35도에서 남위 30도, 서경 25도에서 서경 15도 사이임



회색으로 표시된 부분은 입자가 지나간 전체 경로, 붉은 점은 입자의 최종위치 (2018년 6월 4일)이며, 흰색점은 12시간 간격의 입자의 평균 위치

○ 해황라이브러리와 연동 방안

- 표류물 실험 해역은 우리에게 생소한 곳이기 때문에 계산에 필요한 해류 자료를 확보하는데 수 일 이상의 시간이 소요되었고, 계산을 수행하면서도 새로운 자료를 확보하고 검증하는데 많은 시행착오가 있었음
  + 파악이 어려운 해역이더라도 해황라이브러리가 있었다면 신속하게 표류물 이동 경로를 예측할 수 있었을 것

- 해황라이브러리와 모델을 연동할 때 고려해야 할 사항은 공간 격자체계와 시간 간격
  + 해황라이브러리는 다양한 해황자료를 포괄할 수 있도록 설계되므로 모형에 필요한 양식으로 해황자료를 재배치하여 제공할 수 있어야 함

○ 표류예측모델의 검증 방안

- 표류예측모델의 정확도와 해상도는 가장 근본적으로 사용한 해류모델의 정확도와 해상도에 의해 좌우

- 해양 자료가 많은 해역에서는 표류예측모델에 사용되는 해류자료를 검증할 수 있으나, 대부분의 해역에 비교·검증을 직접적으로 사용할 수 있는 자료가 매우 부족
  + 후쿠시마 지진 때 발생한 부유물의 이동경로는 표류부이의 이동궤적과 비교되었는데, 표류부의의 이동경로가 시공간적으로 불균일하게 존재하기 때문에 통계적 관점에서만 해석되었음(Rypina et al 2013)
  + 표류부이는 미국 NOAA에서 표층해류를 파악하기 위해 전 세계 대양에 투척하는데 그 수가 제한적이기 때문에, 표층해류의 전반적인 특성은 보여 줄 수 있으나 세부적인 구조까지는 보여주기 어려움
  + 인도양에서 실종된 말레이시아 항공기 MH370의 추락지점을 추정하기 위해 잔해물 발견지점에서 역산하여 추락지점을 추정하였으며, 이 계산 결과를 검증할 때에도 역시 표류부이의 궤적을 활용(Trinanes, 2016)

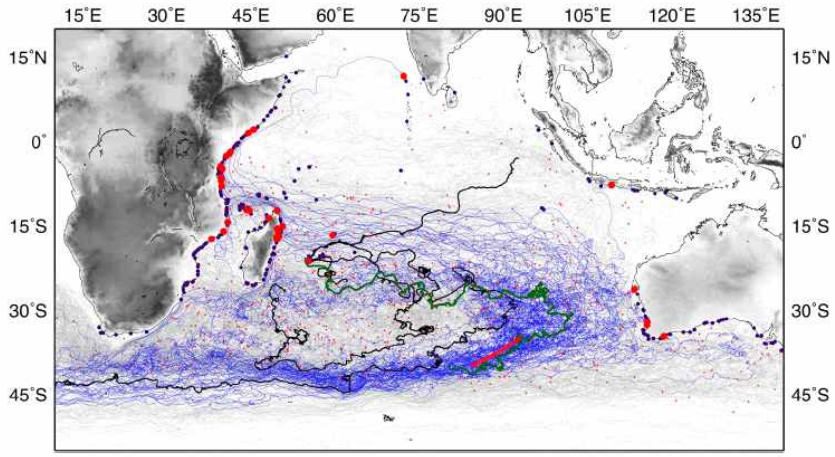


Figure 7. Trajectories of undrogued surface drifters from the historical dataset. The blue trajectories correspond to drifters washing ashore (otherwise the grey colour is used). The small red dots represent the location of their latest transmission. The larger circles refer to drifters reaching land: in red, for the drifters that at some time travelled through the search area; in blue, the same but for the indirect trajectories. The thicker trajectories represent those drifters arriving at Reunion Island. The one in green represents a trajectory that at some point passed through the search area.

MH370 역산을 검증하기 위해 사용된 표층표류부이 궤적 (Trinanes, 2016에서 발췌)

- 상황이 발생한 후 검증에는 표류부표 결과가 사용될 수 있으나, 실시간으로 예측을 해야 할 경우에는 표류부표결과를 활용할 수는 없음
  + 사고 지점 및 동일시기에 표류부표가 있다면 표류부표의 궤적을 우선적으로 사용하겠지만 이런 경우는 매우 드묾
- 실시간 예측의 경우, 여러 해류자료와 바람 자료를 활용한 다모형평균(multi model ensemble)에 의존하는 것이 가정 합리적인 선택
  + 다모형평균은 모형의 불완전성을 극복하기 위하여 사용되는 일반적인 예보기법 중 하나
  + 다양한 입력자료를 활용하여 신속하게 계산을 해야 하기 때문에 이 방법을 사용하려면 해황라이브러리는 필수적

Ⅵ. 연구목표 대비 달성내용

연구기간 내 목표 대비 달성율(%)				
구분	연차별 달성내용			연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	연구목표	연구내용	달성실적	
2017	3. 외해역 선박항로를 중심으로 한 해황자료 라이브러리 구축과 표류예측시스템 개발 방안	1-1. 국내외 해황자료 조사와 확보 방안 수립	- 국내외 해황 자료와 라이브러리 현황 파악	100
		1-2. 표류예측시스템 구축과 검증 방안	- 표류예측시스템 개발과 검증방안	
	4. 부유물 및 해양현상에 대한 다중 고해상도 위성영상 라이브러리 구축 방안	2-1. 여러 해양 재난·재해를 대비하여 발생 가능한 부유물 및 해양 현상에 대한 고해상도 위성 영상 확보 및 데이터베이스화	- 구명벌, 선박 등 해양 재난·재해 시 발생 가능한 부유물에 대해서 아리랑 위성을 활용하여 위성 영상 확보 완료 - 아리랑 위성을 활용하였을 시 발생할 수 있는 문제점 확인 - 구명벌 및 선박에 대한 아리랑 위성의 파장별 데이터베이스화	100
	계			100

○ 달성된 연구목표의 질적 완성도

- 해외 해황라이브러리 사례를 분석하여 개발방안을 제시하여 완성도를 높임
- 표층 뜰개 자료 등 기존자료를 이용하여 표류예측시스템을 검증할 수 있는 방안을 제시함
- 해양 재난·재해사고 발생 시 발생 가능한 부유물 중 생존 탑승자가 있을 가능성이 가장 높은 구명벌을 이용하여 아리랑 위성의 각 파장별 (3개의 가시광 영역, 1개의 근적외 영역, 1개의 전정색 영역) 특징을 파악함
- 아리랑 위성 중 광학 위성인 2호, 3호, 3A호에 대해서 5개의 위성 영상을 획득
- 이들 영상들을 이용하여 구명벌의 광학적 특징을 데이터베이스화 함
- 뿐만 아니라 같은 영상에 찍힌 다른 선박들에 대해서도 데이터베이스화하여 해양재난·재해 사고 발생 시 초기 대응 자료로써 유용하게 쓰일 수 있음

Ⅶ. 기대효과

○ 외해역에서 발생하는 해양 재해·재난 발생시 신속한 수색지원을 통한 구조 가능성 증가 및 수색비용 절감 가능

○ 안전에 대한 높은 국민적 관심에 부응하는 우리원 및 해양수산부 차원의 수색지원 시스템 개발