

(옆면)

(앞면)

2017H1D  
3A1A010  
13959  
BSPN682  
60-1227  
4-1

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호( )  
국제연구인력교류지원사업(해외우수신진연구자초청사업) 최종보고서

R&D / 2017H1D3A1A01013959  
BSPN68260-12274-1

## 국제연구인력교류지원사업 최종보고서

국  
제  
연  
구  
인  
력  
교  
류  
지  
원  
사  
업  
  
최  
종  
보  
고  
서

2020.3.27.

주관연구기관 / 한국해양과학기술원

2020년

과  
학  
기  
술  
정  
보  
통  
신  
부  
  
한  
국  
연  
구  
재  
단

과학기술정보통신부  
한국연구재단

## 제 출 문

한국연구재단 이사장 귀하

‘해양위성자료와 해류모델 융합 활용을 통한 광역 해양 오염물질 감시 시스템 개발’ (연구개발 기간 : 2017.6.1. ~ 2020.2.29.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 3. 27.

주관연구기관명 : 한국해양과학기술원 (대표자)



주관연구책임자: 박영규  
해외초청연구자: 최준명

과학기술정보통신부 소관 과학기술분야 연구개발사업 처리규정  
제35조(연구개발성과의 공개)에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

**보고서 요약서(Summary of Report)**

|   |                         |   |                                     |                     |      |
|---|-------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|------|
| 과제 고유 번호<br>(Project Number)                              | 2017H1D3A1A01<br>013959 | 연구기간<br>(Program Period)  | 2017.6.1. ~ 2020.2.29.<br>(총 2.75년) |                     |      |
| 연구사업명<br>(Program Name)                                   | 중사업명                    | 국제연구인력교류사업  |                                     |                     |      |
|   | 세부사업명                   | 해외우수신진연구자초청사업   |                                     |                     |      |
| 연구과제명<br>(Project Title)                                  | 국문(Korean)              | 해양위성자료와 해류모델 융합 활용을 통한 광역 해양<br>오염물질 감시 시스템 개발  |                                     |                     |      |
|   | 영문(English)             | Developing regional marine pollutant tracking system<br>through joint exploitation of ocean satellite data and<br>ocean current model |                                     |                     |      |
| 연구책임자<br>성명<br>(Name of the Host<br>Researcher)           | 박영규                     | 초청연구자 성명<br>(Name of the<br>Invited<br>Researcher)  | 최준명                                 | 국적<br>(Nationality) | 대한민국 |
|   |                         | 총 연구개발비<br>(Total Research Fund)  |                                     | 총 254,082,000원      |      |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명<br>(Host Institution<br>and Department) | 한국해양과학기술원, 해양순환·기후연구센터  |   |                                     |                     |      |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                      |  |
|----------------------|--|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및 사유 | 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조(연구개발성과의 공개) ④항 참고 |
|----------------------|--|

9대 성과 등록 ·

| 구분          | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>·장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|-------------|----|----|-----------|-------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|             |    |    |           |             |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기탁<br>번호 |    |    |           |             |            |           |     |          |          |     |    |

기탁번호

|   |   |
|---|---|
| <p><b>요약</b></p> <p>해류모델과 입자추적모델을 연계하여 해양오염물질 감시시스템 구현을 위한 기초 작업을 수행하였음. 위성에서 탐지된 맹생이모자반 초기분포로 입력하여 해류-입자추적 연계모델을 구동하는 시스템을 구성하였고 바람, 조류, 난류의 영향을 해류에 추가하여 해류-입자추적모델의 정확도를 높이고자 하였음. 입자추적모델을 이용한 오염물질 이동경로파악 뿐 아니라 과거 재분석자료의 평균장을 이용하여 오염물질의 계절별 평균이동경로를 파악하였음. 계절별 표층드리프트 실험과 형광 염료 확산실험을 수행하여 모델검증 및 난류호합 모수화를 위한 관측자료를 획득하였고, GOCE위성의 산출물을 활용하여 고해상도 관측속도장을 산출하여 동해 난류특성화 연구를 수행하였음.</p> | <p><b>보고서 면수</b><br/>(Total pages) 45</p> |
|---|---|

## 〈 요약 문 〉

|                            |  |      |         |      |      |
|----------------------------|--|------|---------|------|------|
| <b>연구목표</b>                | <p>본 연구과제의 목표는 해양위성자료와 해수유동 모델을 연계활용하여 해양 오염물질의 이동 및 확산을 준실시간으로 감시하는 기술 및 시스템을 개발하는 것이다. 해양 오염사고가 발생했을 시 즉각적으로 정부 현안 담당자에게 의사결정을 지원할 수 있도록 자동적인 위성-모델 연계 활용 시스템을 구축한다. 이를 위하여, 위성과 모델을 연계하여 실시간 오염물질을 감시하고 이동경로를 예측하는 시스템을 구축하여 웹기반의 서비스를 제공하는 것을 최종 목표로 한다.</p>   |      |         |      |      |
| <b>연구개발내용</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 위성-모델 연계 기술의 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 팽생이 모자반과 같은 해양오염물질을 실시간으로 탐지하고 오염물질 거동 예측모델을 구동하는 위성-모델 연계기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 부유조류 유입 감시 기술 개발               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 부유 녹조 및 갈조(모자반)의 이동 모델 개발 및 지역 모델을 이용한 이동 예측</li> <li>- 부유조류의 이동 특성 모델, 위성자료로부터의 탐지 결과 연동 기술 개발</li> </ul> </li> <li>○ 해류 모델 성능의 고도화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고도화를 위한 확산 관측자료의 수집</li> <li>- 관측자료를 이용한 모델의 검증 및 난류혼합 모수화</li> </ul> </li> <li>○ 해양오염물질 감시 시스템의 구축               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 위성자료 자동 수집 및 처리 시스템 구축</li> <li>- 웹기반 감시 서비스 개발</li> </ul> </li> </ul>   |      |         |      |      |
| <b>연구개발성과</b>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 해류-입자추적모델 구현 및 고도화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해류모델과 입자추적모델을 연계하여 해양오염물질 감시시스템 기초작업 수행함</li> <li>- 위성에서 탐지된 팽생이모자반의 초기를 분포를 사용하여 해류-입자추적 연계모델을 구동하여 팽생이모자반의 거동예측실험 수행</li> <li>- 바람과 조류 및 난류의 영향 추가</li> </ul> </li> <li>○ 모델검증과 모수화를 관측자료 수집               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 다수의 표층드리프터 계절별 관측자료 수집 및 분석</li> <li>- 형광염료를 이용한 확산자료 수집 및 분석</li> <li>- 종이드리프터와 온도미세구조를 이용한 표층난류자료 수집</li> </ul> </li> <li>○ 위성을 이용한 관측속도장 생산               <ul style="list-style-type: none"> <li>- GOCI 염록소 분포를 이용한 아중간규모 속도장 생산</li> <li>- 고해상도 관측속도장을 이용한 동해 난류특성화</li> </ul> </li> <li>○ 과거 재분석자료를 이용한 오염물질의 평균이동경로 파악               <ul style="list-style-type: none"> <li>- HYCOM 25간의 재분석자료 수집 및 분석</li> </ul> </li> </ul> |      |         |      |      |
| <b>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</b> | <p>자동 해양오염물질 감시 시스템이 구축되면 각 현안에 대하여 정부부처의 현업담당자가 선제적인 대응책을 마련할 수 있고 국민의 피해를 저감할 수 있음. 또한, 인접국가에서 발생하는 오염물질에 대한 추적을 통해 국가간 분쟁 및 조정시 과학자료로 활용될 수 있고, 해양영토 주권의 강화에 기여함</p>  |      |         |      |      |
| <b>국문핵심어 (5개 이내)</b>       | 해양오염물질   | 해양위성 | 재난감시시스템 | 부유조류 | 해류모델 |

## < SUMMARY >

|                               |  |                 |                            |                |                     |
|-------------------------------|--|-----------------|----------------------------|----------------|---------------------|
| <b>Purpose</b>                | The objective of this project is to develop near real-time tracking system for marine pollutants such as floating algae and oil spill, by jointly exploiting ocean satellite data and ocean current model. This study aims to explore beyond the past exercises that only focuses on individual events, by trying to provide continuous tracking and forecasting information for the pollutants through the automated web-based pollutant tracking system.   |                 |                            |                |                     |
| <b>contents</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Developing satellite-model connecting technique <ul style="list-style-type: none"> <li>- Real-time data assimilation technique and satellite-based marine pollutant tracking system</li> <li>- Data assimilation with ocean colour, sea surface temperature, salinity</li> </ul> </li> <li>○ Developing floating algae tracking system <ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelling transportation of floating algae and sargassum through regional ocean current model</li> <li>- Characterization of floating algae's transportation and automated linking between satellite-based detection result and the model</li> </ul> </li> <li>○ Enhancing model performance <ul style="list-style-type: none"> <li>- Validation and improving diffusion model using micro-drifter constellation</li> <li>- Improving regional model performance in coastal areas through consideration of river discharge</li> </ul> </li> <li>○ Constructing marine pollutant tracking system <ul style="list-style-type: none"> <li>- Automated collection/processing of satellite data and model run</li> <li>- Web-base service of the tracking results</li> </ul> </li> </ul>   |                 |                            |                |                     |
| <b>Development results</b>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Implementation and advancement of current-particle tracking model <ul style="list-style-type: none"> <li>- Basic operation of marine pollutant monitoring system in connection with ocean current model and particle tracking model</li> <li>- Conduct the behavior prediction model of Sargassum by driving the current-particle tracking model using the distribution of the initial Sargassum distribution detected by the satellite</li> <li>- Added effects of wind, tides and turbulence</li> </ul> </li> <li>○ Collect observational data and analysis <ul style="list-style-type: none"> <li>- Collection and analysis of seasonal observation data by multiple surface drifters</li> <li>- Diffusion data collection and analysis using fluorescent dyes</li> <li>- Surface turbulence data collection using paper drifters and temperature microstructures</li> </ul> </li> <li>○ Observation velocity field production using satellite <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mid-scale velocity field production using GOCI chlorophyll distribution</li> <li>- East Sea turbulence characterization using high resolution observation velocity field</li> </ul> </li> <li>○ Evaluate the average route of movement of pollutants using reanalysis data <ul style="list-style-type: none"> <li>- HYCOM 25 years re-analysis data collection and analysis</li> </ul> </li> </ul> |                 |                            |                |                     |
| <b>Expected Contributions</b> | The real-time marine pollutant tracking system allows the government to respond to the pollution events occurring both inside and near the territorial sea, which will greatly mitigate economic loss and damage of Korea.   |                 |                            |                |                     |
| <b>Keywords</b>               | marine pollutants  | ocean satellite | disaster monitoring system | floating algae | ocean current model |

## 〈 목 차 〉

|  |    |
|--|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 (Project Abstract) .....   | 7  |
| 가. 연구목표 (Research Objectives) .....  | 7  |
| 나. 연도별 연구목표 및 연구계획 (Annual Research Objectives and Plans) .....                        | 7  |
| 2. 연구수행내용 및 성과 (Project Performance and Outcome) .....                                 | 11 |
| 가. 주요내용 (Academical and Experimental Access) .....                                     | 11 |
| 나. 세부내용 (Major Topic and Achievements) .....   | 11 |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 (Achievement and Contribution) .....                             | 28 |
| 가. 최종 목표 (Ultimate Aims) .....   | 28 |
| 나. 목표 달성도 (The Level of Achievement) .....   | 28 |
| 다. 목표 미달성 시 원인 및 차후대책 (Failure of Achieving Research Objectives and Counterplan) ..... | 29 |
| 라. 공동연구 수행실적 (The Achievements of R&D Cooperation) .....                               | 30 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 등 (Plan for Utilization of Research Outcome ) .....                   | 33 |
| 5. 주관연구기관 지원 내용 (Supporting System of the Host Institution) .....                      | 33 |
| 6. 향후 계획 (Future Plans) .....  | 34 |
| 가. 사업 지원 종료 후 향후 계획 (Future Plan for Continued Research) .....                         | 34 |
| 나. 한국과의 국제협력 네트워크 활용 계획 .....  | 34 |
| 7. 참고 문헌 (References) .....  | 34 |
| 8. 기타 성과정보 (Extra Achievements) .....  | 35 |
| 가. 기술자문 (Technical Advice) .....   | 35 |
| 나. 현장기술지도 (On-Site Technical Training) .....   | 35 |
| 다. 학술대회 발표 (Making Presentation at Academic Conference) .....                          | 35 |
| 라. 세미나(특강) (Seminar) .....   | 35 |

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서 (Self Evaluation of the Host Institution)

# 1. 연구개발과제의 개요 (Project Abstract)

## 가. 연구목표(Research Objectives)

- 1) 위성자료-해양모델 연계를 통한 준실시간 해양 오염물질 감시 시스템 개발
- 2) 위성을 통하여 주요 해양오염 물질의 발생을 탐지하고, 그 오염 물질의 잠재적인 피해에 선제적인 대응을 할 수 있도록 탐지된 오염 물질의 이동 및 확산을 \*준실시간으로 예측하는 기술을 개발함  
\* 1시간 이내에 이후 3시간, 6시간, 1일, 3일 후의 이동 예측을 제공
- 3) 해양위성으로부터 탐지된 해양 오염물질의 신속한 확산, 이동 예측을 위하여 위성-모델간의 즉각적인 공간좌표계 변환, 모델의 자료동화, 경계조건 형성, 고성능 컴퓨터를 이용한 모델 구동 등의 일련의 자동적이고 신속한 융합 기술을 개발함

## 나. 연도별 연구목표 및 연구계획(The annual Research Objectives and Plans)

### 1) 1차년도(2017)

#### 가) 연구목표(Research Objectives)

- 해양위성 자료와 해양모델간의 실시간 연계 기술 (초기화, 경계조건 형성, 자료동화 기술의 자동화) 개발

#### 나) 연구계획(Research Plan)

- 위성자료를 이용한 준실시간 자료동화 기술 개발
- 자료동화를 위해 필요한 해양위성 자료의 수집
- 자료동화를 위한 위성자료 정도관리 (quality control) routine의 개발
- 위성-모델의 자동 공간좌표 변환 기술 개발
- AVISO자료, HF레이더를 이용한 자료동화 성능 검증
- 위성에서 탐지된 해양오염물질의 강도와 위치를 모델에 자동 입력하는 기술 개발
- 해양오염물질의 국지적 이동 예측을 위한 고해상도 지역해류모델의 구현과 구동
- 경계조건을 자동 생성을 위한 nesting기법의 개발 및 성능 검증
- 서해 및 남해의 리아스식 해안에서의 국지적인 해류모델 성능 정밀 검증
- 원내 순환기후연구센터가 보유한 ADCP 장비 및 기타 해류모델과의

## 비교검증

- 2017년 4월 동해에 예정된 선박관측 (온누리호, 1400톤)을 통해 해류 및 수온, 염분 등 모델 입력자료 수집
- 위성센터 현장관측 팀과 공동 선박 현장조사 수행

### 다) 초빙연구자 역할(Roles of Invited Researcher)

- 해양오염물질 추적을 위한 지역해류모델 구현
- 모델의 성능향상을 위한 검증방법 도출

## 2) 2차년도(2018)

### 가) 연구목표(Research Objectives)

- 부유 조류 (algae)의 이동 모델개발과 예측 정확도 검증

### 나) 연구계획(Research Plan)

- 갈조(모자반), 부유 녹조 등의 부유조류에 대한 이동 모델 개발
- 해색(ocean color)위성과 ROMS모델과의 연계를 통한 부유조류의 이동 예측
- 천리안 정지궤도 해양위성(GOCI)에서의 탐지 결과를 바탕으로, 단기(수일) 이동 예측
- 과거 모자반 및 부유녹조 빈발 시기의 자료를 이용하여 hindcast 수행 (2015년 5~7월 중국연안 및 동중국해에 발생한 모자반 분석)
- 구름 및 sun glint로 인하여 위성영상에서 미탐지되는 부유조류에 대하여 모델을 이용하여 분포 예측
- GOCI-모델 실시간 탐지-예측 시스템의 구축
- 모델 구동 및 위성자료 저장을 위한 서버 구축 비용 지원
- 본 센터의 연례 선박 현장 조사시 공동 조사 가능
- 원내 해양생물팀과의 협업 가능
- 관련 저널에 논문 최소 1편 투고

### 다) 초빙연구자 역할(Roles of Invited Researcher)

- 해류-입자추적모델 구현
- 지역해류모델 구축
- 관련 저널 1편 투고

## 3) 3차년도(2019)

### 가) 연구목표(Research Objectives)

- 유류유출을 위한 SAR위성 자료-모델간의 연계 기술 개발과 유류유출 확산 예측 정확도 검증

나) 연구계획(Research Plan)

- 가용한 SAR위성 (국외 위성 및 아리랑 5호) 자료의 수집 및 전처리
- 광학 영상 (천리안, Landsat, MODIS) 등 유류유출후 오염 범위를 간접적으로 추정할 수 있는 위성자료의 수집
- SAR 위성영상에서 탐지된 유류유출을 바탕으로 확산 양상 분석
- 유류의 농도 및 분포 변화 예측 기술 개발
- 유류의 viscosity 및 유체역학적 특성과 해류모델의 연계로 수평 및 수직 확산 양태 분석
- SAR위성 영상의 시간적 공간적 내삽 기법 개발 (과거 단기 재분석 자료 생성)
- 본 센터의 연례 선박 현장 조사시 공동 조사 가능
- 원내 해양안전센터와 협업 및 자료 공유 가능
- 관련 저널에 논문 최소 1편 게재

다) 초빙연구자 역할(Roles of Invited Researcher)

- 모델검증과 모수화를 위한 현장실험
- 오염물질 유통특성 연구

4) 4차년도(2020, 2월 과제중단)

가) 연구목표(Research Objectives)

- 해양오염물질 감시 기술의 고도화

나) 연구계획(Research Plan)

- 해양 오염물질 감시 기술의 고도화
- 국지 해류유동 모델 성능의 고도화
- 오염물질의 비물리학적 특성 연구
- 초소형 드리프터를 이용한 정밀 국지 모델 검증
- 본 센터의 연례 선박 현장 조사시 공동 조사 가능
- 원내 물리본부의 물리해양학자 그룹과 협업 및 자료 공유 가능
- 관련 저널에 논문 최소 1편 게재

다) 초빙연구자 역할(Roles of Invited Researcher)

- 재분석 자료를 이용한
- 모델자료와 위성자료를 각각 모델자료와 초기분포자료로 사용하여

오염물질의 이동경로의 단기에측을 수행

- 실험자료를 기반한 해류-입자추적 모델의 검증 및 모수화

5) 5차년도 (2021)

가) 연구목표(Research Objectives)

- 자동 해양오염 감시 시스템의 개발 (자료 수집, 변환, 오염 물질 탐지, 모델 구동 및 최종 표출 시스템 통합)

나) 연구계획(Research Plan)

- 위성 등의 원격탐사 자료와 해양모델을 연계하여 도출된 결과를 웹 기반 서비스하는 시스템 구축
- 대용량의 해양 위성 자료를 자동으로 수신 및 수집하고 저장, 포맷 변환할 수 있는 위성자료 자동 처리 시스템 구축
- 오염 물질 미 발생시에도 항상 해류모델이 구동될 수 있도록, 상시 해류 모델 예측 시스템 구축
- 신속한 결과처리를 위한 고성능 컴퓨터 해류모델 구동 시스템 구축
- 위성으로부터의 탐지, 모델로부터의 예측 결과를 온라인 전송하여 웹페이지에 제공할 수 있도록, 실시간 연계표출 시스템의 개발
- 본 센터의 연례 선박 현장 조사시 공동 조사 가능
- 관련 저널에 논문 최소 1편 게재

다) 초빙연구자 역할(Roles of Invited Researcher)

- 오염 물질 미 발생시에도 항상 해류모델이 구동될 수 있도록, 상시 해류 모델 예측 시스템 구축
- 위성으로부터의 탐지, 모델로부터의 예측 결과를 온라인 전송하여 웹페이지에 제공할 수 있도록, 실시간 연계표출 시스템의 개발

## 2. 연구수행 내용 및 성과(Project Performance and Outcomes)

### 가. 주요내용(Major Topic)

| 연구내용<br>(Major Research Topic) | 연구결과<br>(Research Outcome)   |
|--------------------------------|--|
| 모델검증 및 모수화를 위한 관측자료 수집 및 분석    | 표층드리프터, 형광염료, 종이드리프터, 온도미세구조등 여러 현장 확산 및 난류층정 실험을 수행하여 실시간 오염물질 추적시스템의 고도화를 위한 자료를 수집하였음. 관측데이터를 분석하여 확산양상을 분석하고 확산정량화를 수행하였음. |
| 해류-입자추적모델의 구현 및 고도화            | 위성에서 획득한 자료를 모델 초기입력자료로 사용하도록 변환하였고 해류모델과 입자추적모델을 구현하고 연계하여 추적시스템의 기초를 구성하였음.  |
| 위성자료를 이용한 고해상도 속도장 산출 및 난류특성화  | 모델의 검증 및 난류특성화를 위하여 GOCI위성자료를 기반으로 고해상도 속도장을 산출하였음.  |
| 재분석자료를 이용한 갯생이모자반 유입경로 분석      | 25년간의 재분석자료를 분석하여 계절별 월별 부유오염물질의 평균적인 이동경로를 파악하였음.   |

### 나. 세부내용(Details)

#### 1) 모델 검증과 모수화를 위한 관측자료 수집 및 분석

##### 가) 표층드리프터실험

- 실험방법: 기관 고유사업 ‘한반도 해역 고해상도 재분석자료 생성과 활용’에 ‘아중규모 난류혼합 모수화’라는 주제로 참여하여 제주북부지역 추자도와 제주항 중간지점 근처에서 2018년 4월말과 11월말 나누어 투하하여 계절별 이동경로를 관찰하였음. 사용된 CARTHE 표층드리프터는 길이 약 60cm의 표층뜰개로 GPS가 달려있는 float과 물의 저항을 받는 드로그 두 부분으로 나뉘어 있음. 그림 1은 선박에 적재된 CARTHE드리프터(좌)와 CODE타입 드리프터와 함께 투하한 직후의 모습(우)임. 약 5분마다 위성을 통하여 위성을 통하여 위치정보를 수신받으며 약 1~3개월의 배터리 수명을 가짐. 개당가가 약 7000만원 상당의(50개) 표층드리프터를 제주해협에 투하하였음 이동과 확산을 관찰하였음. 계절별 확산양상을 관찰하기 위하여 4월과 11월 두 번의 실험을 실시하였음. 4월말에는 대부분 드로그를 부착 후 투하하였고 11월말에는 바람의 영향을 조사하기 위하여 절반의 드리프터에서 드로그를 탈착하여 투하하였음. 아중규모에서의 확산관측이 가능하도록 드리프터를 2-3개씩 그룹으로 묶어 투하하였고 각

그룹에서 드리프터간의 이격거리가 200~300m 되도록 초기분포를 형성하여 투하하였음.



그림 1. 선박에 적재된 CARTHE 드리프터(좌). CARTHE와 함께 투하된 K-1 드리프터(우). CARTHE와 K-1드리프터 간의 거동 차이는 나타나지 않았음.

- 자료처리: 드리프터 각각의 위치정보는 날씨사정에 따라 불규칙한 시간 간격으로 수신되었음. 따라서 High-pass 필터로 큰 노이즈를 제거한 후 spline 내삽을 적용한 후 10분 간격으로 위치를 재추출하였음. 여러 내삽 기법을 적용하였지만 기법간의 통계결과 차이는 거의 나타나지 않았음.
- 관찰: 4월 실험에서 제주해협과 대한해협에서 매우 상이한 난류특성을 관찰하였음. 제주해협에서는 반일주조에 의하여 확산이 억제되고 제주해협을 벗어나 대한해협에서는 대마난류의 지속적인 영향으로 드리프터들이 빠르게 쓰시마섬과 부산사이로 진행함을 관찰하였음(그림 2 좌). 20여개 드리프터 중 5개가 제주도 및 쓰시마 섬에 상륙하였음. 4월 실험에는 부산과 쓰시마섬사이로 모든드리프터가 통과하였지만 11월 실험에서는 쓰시마섬 북쪽과 남쪽해협 그리고 동중국해 방향으로 진행하였음(그림 2 우). 11월 투입드리프터 30개중 18개가 제주도와 일본에 상륙하였음. 상륙한 드리프터 대부분은 드로그가 없는 드리프터로 바람이 오염물질의 해안상륙에 깊이 관여함을 관찰하였음. 이는 미세플라스틱이나 갯생이모자반과 같이 표층 1-2m에 국한되어 유동하는 부유물질들이 북풍에 의하여 동해로 유입되지 않고 동중국해로 방향으로 유입될 수 있음을 의미함. 계절별 실험을 통하여 오염물질 유동의 계절적 변화를 확인하였음.

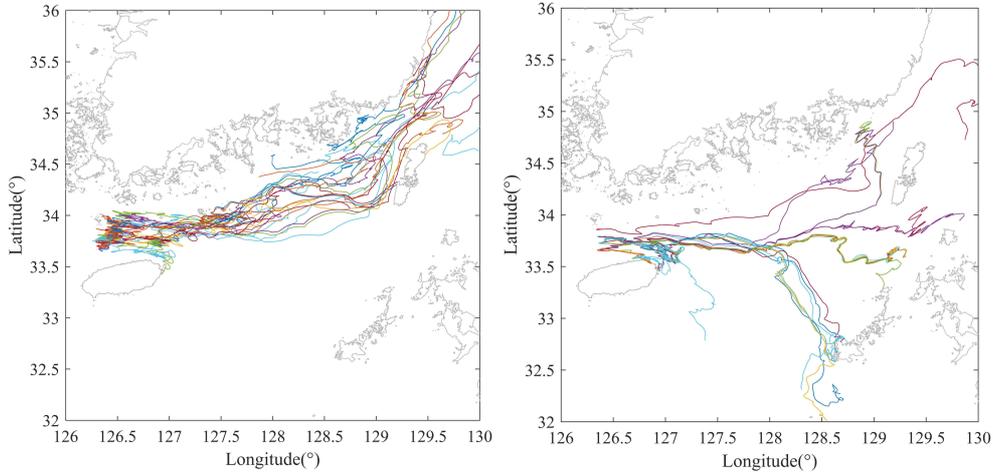


그림 2. 4월말(좌)과 11월말(우)에 제주해협에서 투입된 표층드리프터의 진행경로

-결과: 드리프터가 남해에 머무는 약 20일 동안의 자료를 이용하여 상대 분산도(relative dispersion)와 Finite Size Lyapunov Exponent (FSLE)를 계산하였음. FSLE의 기울기  $-1$ ,  $-2/3$ ,  $-0.5$ 는 각각 shear dispersion, Richardson dispersion, submesoscale-driven dispersion에 관련이 있음. 4월과 11월의 기울기는 이격거리( $r$ )가 10km 미만일 때 각각  $-0.5$ (혹은  $-2/3$ )와  $-1$ 에 가까워지고 이격거리가 10km이상일 때 모든 경우의 기울기는 약  $-2/3$ 과 가까워짐 (그림 3). 4월의 경우 반일주조나 일주조에 의하여 확산이 증가되어 Richardson dispersion 의 확산과 비슷한 양상을 보인 반면 11월의 경우 온도전선에 의하여 확산이 저지되어 shear dispersion 형태로 관찰된 것으로 판단됨. 11월 드로그를 제거한 경우 4월과 비슷한 FSLE기울기를 보였음. 상대분산도의 경우 4월에 투하된 드리프터가 11월의 경우보다 강하게 관찰되었고(그림 4 좌) 11월 말에 투하된 드리프터 중 드로그가 탈착된 드리프터의 분산도가 더 강하게 관찰되어(그림 4 우) FSLE결과와 유사한 양상을 보였음. 모든 초기확산 때 exponential fitting이 잘 맞는 이유는 초기 큰 스케일의 물리과정과 연관되어 확산되기 때문이며 이격거리가 커질수록 큰 물리과정보다는 이격거리와 비슷한 물리과정에 영향을 받는 것으로 판단됨. 표 1과 2는 각각 4월과 11월 그리고 11월 드로그 유무에 따른 비교실험을 요약하여 나타냄.

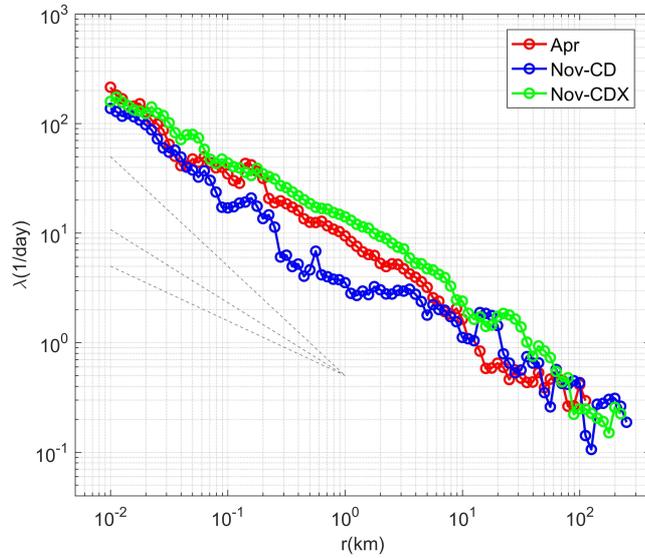


그림 3. Finite Size Lyapunov Exponent(FSLE). Apr: 4월실험, Nov-CD: 11월 드로그 부착; Nov-CDX: 드로그 탈착. Reference 선은 각각  $-1$ ,  $-2/3$ ,  $-1/2$ 의 기울기를 나타냄.

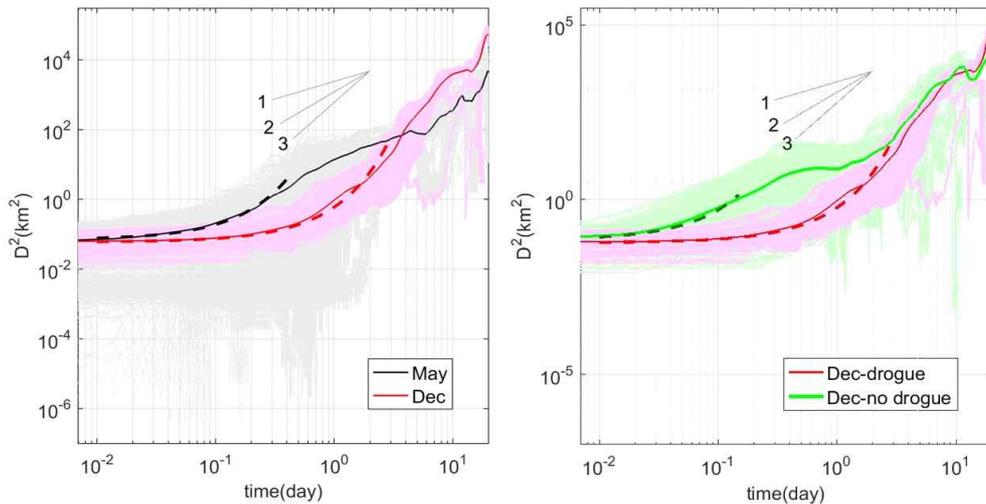


그림 4. 4월말(May)과 11월말(Dec)에 투하된 드리프터의 분산도 비교(좌). 11월 말(Dec)에 투하된 드리프터중 드로그가 탈착된 드리프터(Dec-no 드로그)와 드로그가 부착된 드리프터(Dec-드로그)의 분산도 비교(우). 분산도는 드리프터 클러스터의 넓이로 해석될 수 있음. 점선은 exponential fitting선을 나타냄.

| 4월말 투하  | 11월 말 투하   |
|---|--|
| 반일주조가 강함  | 일주조가 강함<br>Low frequency (LF) 해류가 강함   |
| 확산계수(K)<br>이격거리(L)=1km: 1~10 m <sup>2</sup> /s<br>이격거리(L)=10km: K=100 m <sup>2</sup> /s |  |
| 아중규모에서 약 3배의 확산계수   | Front의 불안전성으로 인하여 시간이 지나면서 확산계수가 더 커짐  |
| 아중규모 FSLE기울기: -0.5<br>강한 반일주조로 인하여 아중규모 순환과 비슷한 기울기를 보임                                 | 아중규모 FSLE 기울기: -1<br>강한 평균 해속장으로 만들어진 수평전단과 반일주조에 의한 perturbation으로 인하여 shear dispersion을 보임 |

표 1. 4월말과 11월말에 투하된 드리프터의 확산양상비교

| 11월말 투하 - no drogue   | 11월 말 투하         |
|---|------------------|
| Low frequency 에너지부분이 약하고 넓게 분포  |                  |
| 아중규모에서 확산계수는 5~10배중가  |                  |
| 아중규모 FSLE 기울기: -0.5<br>강한 반일주조와 바람에 의한 표층순환으로 인하여 아중규모 순환과 비슷한 기울기 보임 | 아중규모 FSLE기울기: -1 |

표 2. 11월말에 투하된 드리프터 중 드로그의 부착유무에 따른 확산양상비교

#### 나) Rhodamine WT 형광염료실험

- 실험방법: 해수부 과제인 ‘국가해양영토 광역감시망 구축 기반 연구’에 참여하여 염료실험을 기획하고 실험을 수행하였음. 2019년 10월 여수 앞바다에서 Rhodamine WT 80% 약 40리터를 살포하여 염료 확산을 관찰하였음. 염료혼합용액의 밀도를 해수보다 다소 작게 하여 형광염료가 표층에 머물며 깊이 수 미터 깊이의 물성에 영향을 받도록 하였고 원격탐사와 10AU 형광센서 등을 사용하여 형광염료 분포를 약 6시간동안 관찰하였음. 염료를 투하할 때 표층드리프터와 함께 투하하여 확산을 비교하였고 소형드론, 위성, 소형비행기, 소형선박, 대형선박과 같은 다양한 관측 플랫폼을 활용하여 형광염료의 농도를 측정하였음. 그림 5는 염료살포 약 1시간 후의 염료분포를 나타내고 그림 5는 여러 관측 플랫폼으로 활용하여 관측한 형광염료의 농도분포를 나타냄.
- 자료처리: 선박 샘플링으로 얻은 염료분포의 경우 강한 조류에 의하여 조류방향으로 공간적인 바이어스가 형성되기 때문에 이를 보정하기 위하여 선박이동경로 즉 염료가 측정된 위치를 일정 시간으로 모두 이동시켜 시간적 공간적인 바이어스를 줄인 후 분석에 사용하였음.

- 관찰: 형광염료의 이동경로는 드로그가 있는 표층드리프터의 이동경로와 비슷하였지만 북풍에 의하여 표층드리프터는 보다 남쪽으로 이동함을 관찰하였음.



그림 5. 드론에서 촬영된 염료투하후 약 1시간후의 염료분포

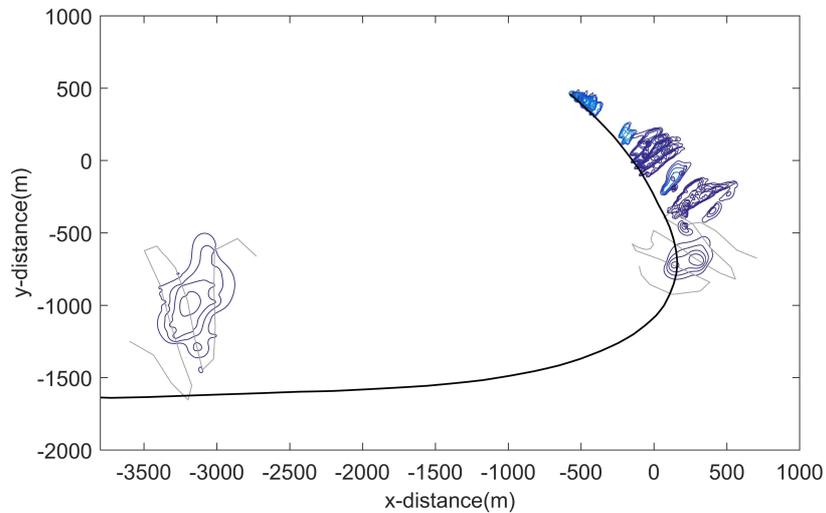


그림 6. 형광염료와 표층드리프터(깊이 1m)의 이동경로. 검은선은 표층드리프터의 이동경로를 나타내고 회색선은 Turner 10AU가 설치된 선박의 이동경로를 나타냄. 선박샘플링에 얻은 데이터의 경우 Kriging을 이용하여 내삽을 수행하였음.

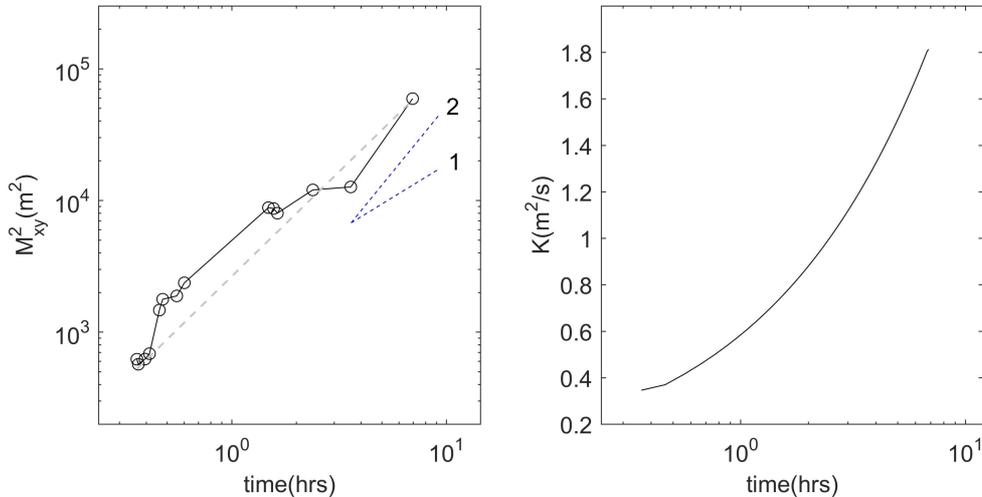


그림 7. 형광염료의 분산도(좌)와 확산계수(우). 오른쪽 확산계수(K)는 왼쪽 회색점선(best-fitted polynomial,  $y = 2.6 \times 10^3 x^{1.6}$ )을 이용하여 계산되었음.

염료투하 후 약 3시간동안 분산도의 기울기는 약 1로 관찰되어 diffusive한 확산양상을 보였고 약 4시간 후에는 2의 기울기가 관측되어 ballistic한 확산양상을 보였음(그림 7 좌). 4시간 후의 분산도를 동서방향과 남북방향으로 분해하였을 시 기울기가 각각 1과 3으로 관찰되었음. 이는 이 구간에서 형광염료가 이동방향(동서방향)으로 diffusive하게 확산되었기 때문이고 남북방향으로 shear dispersion에 의하여 확산되었기 때문으로 추측됨. 보다 정확한 확산기작의 이해를 위해서는 RGB영상과 더불어 다분광 카메라를 이용한 형광염료분포가 필요하며 이는 추후 수행될 예정이다.

#### - 종이드리프터 실험

표층 1-2m 내의 수직전단을 측정하고자 생분해성 종이드리프터를 고안하였음. 색깔별로 깊이가 다른(0.15m, 0.5m, 1m, 2m) 드리프터(그림 9우)를 같은 지점에서 투하 후 드론이나 선박에서 카메라로 약 10분정도 관찰하였음. 여수 형광염료실험 시 약 100여개의 깊이가 다른 종이 드리프터를 투하하였고 제주 북부해역과 통영에서 약 30개 시간별로 투하하여 실험을 수행하였음. 서로 다른 깊이를 가진 드리프터는 각각 다른 유속에 의하여 진행속도가 달라지며 이로 인하여 드리프터간의 이격거리가 증가하게 됨. 즉 상대적인 드리프터 간의 이동거리를 이용하여 표층 1-2m 깊이에서의 수직전단을 측정하였음. 그림 8은 제주북부해역에서 수행한 종이드리프터 실험(2회)으로 표층 1m이내에서 강한 수직전단이 관찰되었음.

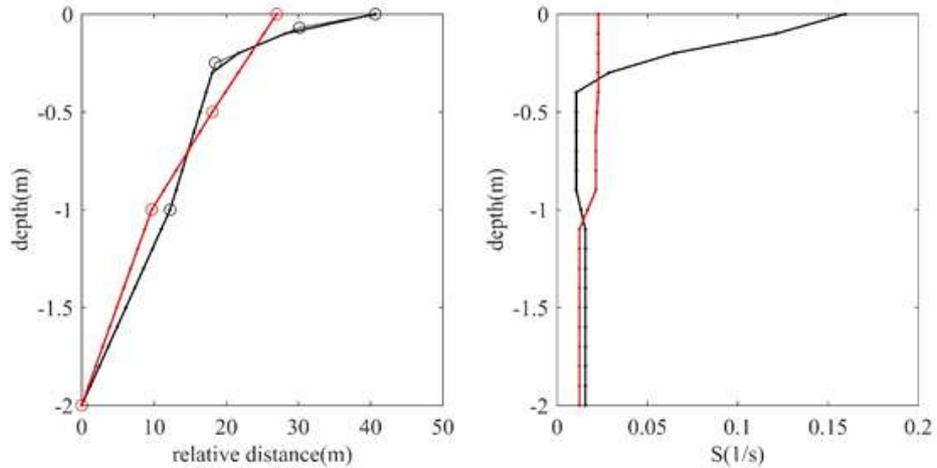


그림 8. 종이드리프터 실험으로 계산된 표층 수직전단(제주북부해역)

- 온도 미세구조실험

표층에서 수직전단, 난류혼합, 염료확산과의 관계를 규명하고자 SCAMP(Self Contained Anotomous Microstructure Profiler)(그림 9좌)를 사용하여 여수와 통영에서 표층 온도미세구조를 관측하였음. 깊이 5m에서부터 수직방향으로 0.1m/s의 속도로 진행하면서 0.01초의 시간해상도로 온도구배를 관찰하여 표층 난류를 측정하였음.

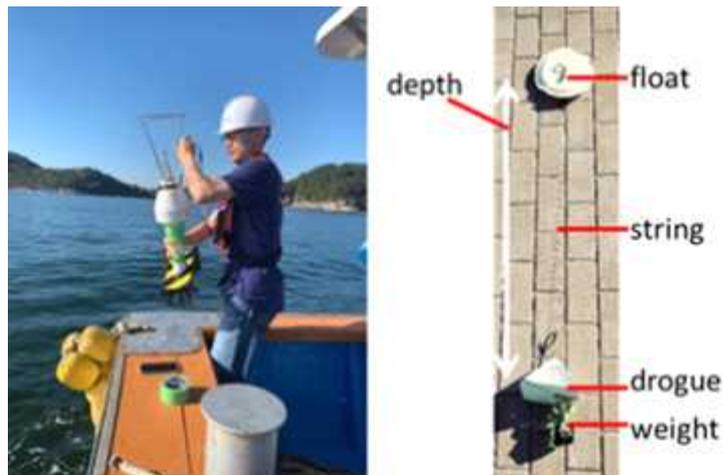


그림 9. Temperature microstructure 실험(좌)과 생분해성 종이 드리프터(우)

2) 해류-입자추적모델 구현 및 고도화

가) 해류-입자추적모델 구현

- HYCOM해류모델 및 KIOST-OPEM 모델과 입자추적모델을 연계하여 오염물질 탐지 및 추적을 위한 해류-입자추적모델 연계시스템을 구현하였음. 팽생이모자반의 공간분포를 입자추적모델 구동의 초기분포로 사용하

기 위하여 공간분포를 입자분포로 변환하였고(그림 10), 이 입자분포를 초기분포로 사용하여 해류-입자추적모델을 사용하여 갯생이모자반 추적 테스트를 수행하였음.

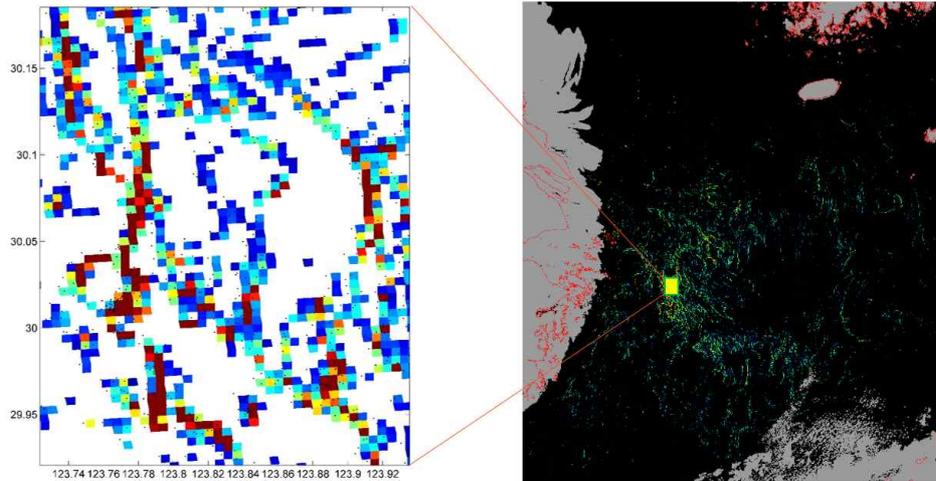


그림 10. 확대된 배경은 갯생이모자반의 실제 분포를 나타내고 검은색 점은 변환된 입자분포를 나타냄(좌). 동중국해에서 4/13/2017 GOCI위성으로 탐지된 갯생이모자반(우).

#### 나) 해류-입자추적모델 고도화

- 그림 11는 실제 위성에서 관측된 갯생이모자반 분포(좌)와 해류-입자추적모델에서 구동된 입자들의 분포(우)를 나타냄. HYCOM 모델해류에 조류와 바람의 영향을 각각 더한 후 입자추적모델을 수행하였고, 이로 얻은 모델결과를 GOCI 관측결과와 비교하여 각각 해류성분의 중요도를 조사하였음(표 3). 모델결과와 관측결과사이의 상관계수를 계산한 결과, 바람이 타 요소보다 오염물질의 거동 및 확산에 미치는 영향이 큰 것으로 확인되어 추후 축적된 실험결과와 추가적 실험결과를 통하여 바람의 영향을 보다 구체적으로 연구하여 구현하고자 함.

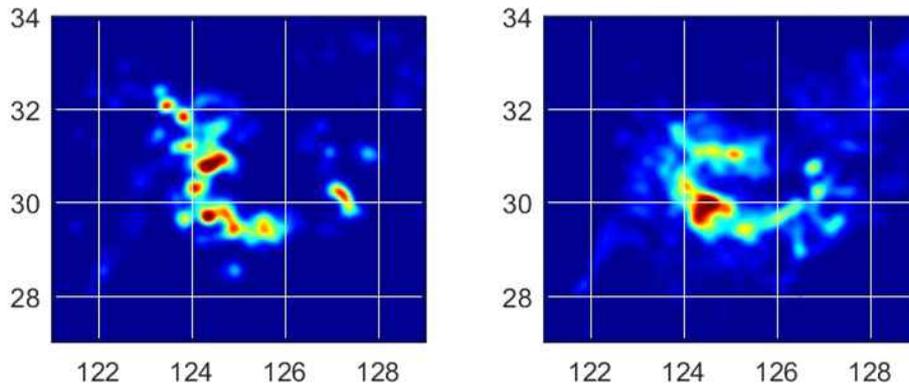


그림 11. 4/28/2017 GOCI위성으로 탐지된 갯생이모자반 분포(좌). 4/13/2017부터 모델에서 추적을 시작하여 4/28/2017에 계산된 모델결과(우)

| 입자유동<br>갯생이<br>모자반<br>관측 날짜 | 해류   | 해류+<br>조류 | 해류+<br>바람 | 해류+<br>조류+<br>바람 |
|-----------------------------|------|-----------|-----------|------------------|
| 2017.4.23                   | 0.41 | 0.42      | 0.45      | 0.46             |
| 2017.4.28                   | 0.54 | 0.53      | 0.63      | 0.62             |
| 2017.4.29                   | 0.51 | 0.5       | 0.55      | 0.54             |

표 3. 모델분포(그림 10의 동중국해 초기분포사용)와 관측분포 이미지 사이의 상관계수.

### 3) 위성자료를 이용한 속도장 산출 및 난류특성화

#### 가) 고해상도 속도장 산출 및 검증

- 해양위성센터에서 제공한 GOCI Chlorophyll-a 자료와 Particle Image Velocimetry (PIV) 방법을 이용하여 고해상도 표층 속도장을 산출하였음. 현재 AVISO와 HF radar에 의하여 Eulerian 의 속도장 생산이 가능하지만 AVISO의 경우 해상도가 25km이며 HF radar의 경우 연안 속도장 관찰에 국한되는 한계를 지니고 있고 수백km가 넘는 지역에서 3~5km의 고해상도 속도장을 생산하여 이를 분석한 난류연구는 제한적 이였음.
- PIV 방법은 유체의 단면을 레이저와 고속 카메라를 이용하여 촬영하고 이미지간의 상관계수를 계산하여 Eulerian 속도장을 얻는 실험 방법임. 이 연구에서는 연속된 시간별 Chlorophyll-a 이미지를 이용하여 속도장을 산출하였음.
- 모델링에서 얻은 임의의 표면속도장을 이용하여 PIV 속도장을 검증하였

음. Chlorophyll-a 이미지를 모델속도장을 이용하여 변형한 후 원래 이미지와 변형된 이미지를 PIV 알고리즘에 입력하여 속도장을 산출하였음(그림 12). PIV로 산출된 속도장과 모델속도장과의 상관계수를 계산하여 PIV 방법을 검증하였음. 동-서 속도와 남-북 속도의 상관 계수는 각각 0.9989와 0.9990로 계산되어 좋은 상관계수를 보였음(그림 13).

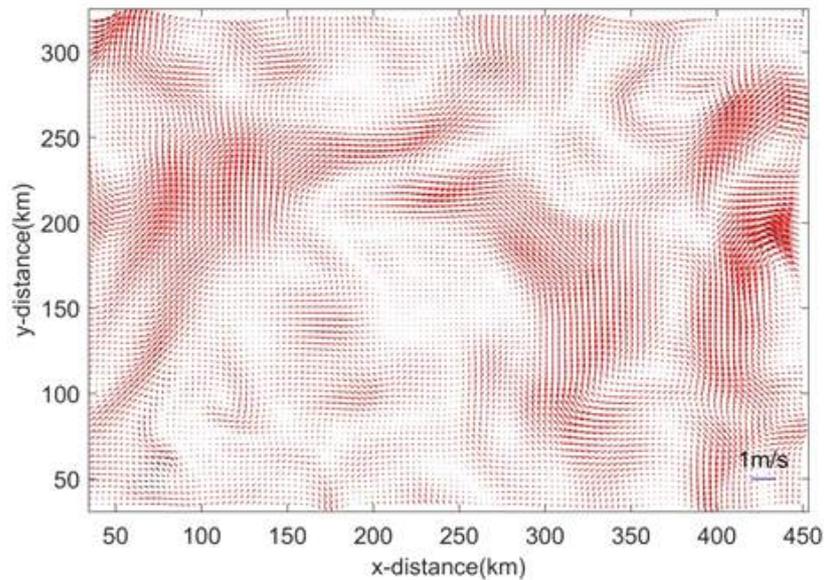


그림 12. 모델속도장(검은색)과 PIV 속도장(빨간색)

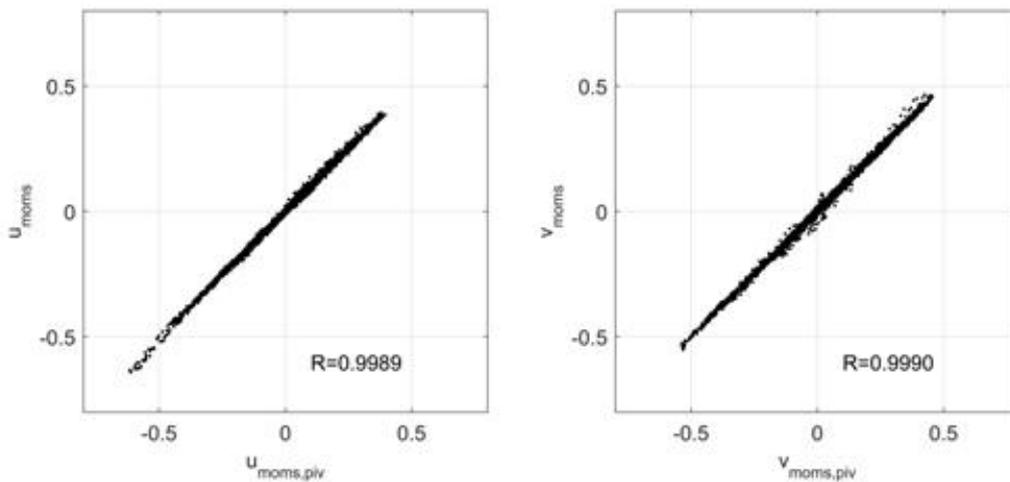


그림 13. 모델속도장과(y축) PIV 속도장(x축)의 상관계수. 동-서방향 속도(좌). 북-남방향 속도(우).

나) 관측속도장을 이용한 난류특성화

- GOCI는 500m와 1시간의 시공간해상도의 자료를 생산하는 세계유일의 해상정지궤도위성으로 동해와 같은 넓은 영역에서 고해상도 속도장을 관측하는데 적합함. GOCI 산출물인 엽록소농도분포와 PIV방법을 적용하여 3.5km해상도를 지닌 속도장을 산출하였고(그림 14) kinetic energy spectra, scalar spectra, velocity structure functions, energy flux 방법을 이용하여 봄철 동해에서의 난류를 분석하였음.

- Kinetic energy spectra의 기울기는  $-3$ 과  $-5/3$ 을 보였고 약 50km에서 기울기가 바뀌어 보였음. 이는 강한 Geostrophic current 영향으로 50km 이상의 규모에서는 quasi-geostrophic 이론이 적용됨을 의미하여 50km이하에서는 강한 밀도전선에 의하여 형성된 필라멘트들에 의하여 surface quasi-geostrophic 이론이 적용됨을 의미함(그림 15c). 2차 velocity structure function의 기울기는  $2/3$ 을 보였고 3차 velocity structure function은 양의 값과 1의 기울기 보였음(그림 15a,b). 이는 운동에너지의 흐름이 이 범위에서 역방향이라는 것을 의미하며 이는 음의 값을 갖는 energy flux의 결과와 일치함.

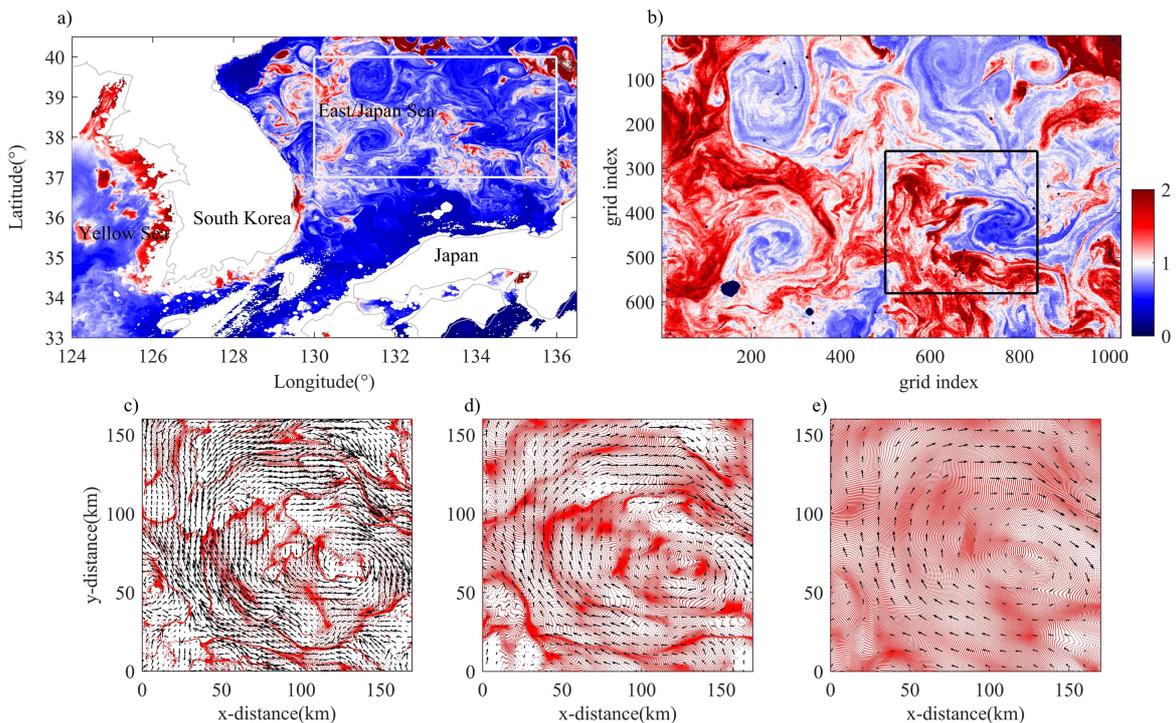


그림 14. a) 2011년 4월 5일 동해에서 관찰된 GOCI Chlorophyll-a의 분포; b) 흰색 사각형 부분의 확대사진; c), d), e) 검은색 사각형 영역에서의 PIV 속도장과 속도장으로 추적된 입자분포(균등하게 분포된 입자들의 2일후의 분포임).

c), d), e)의 백터장은 각각 3.5km, 6km, 10km의 격자를 지닌 PIV 속도장을 나타냄.

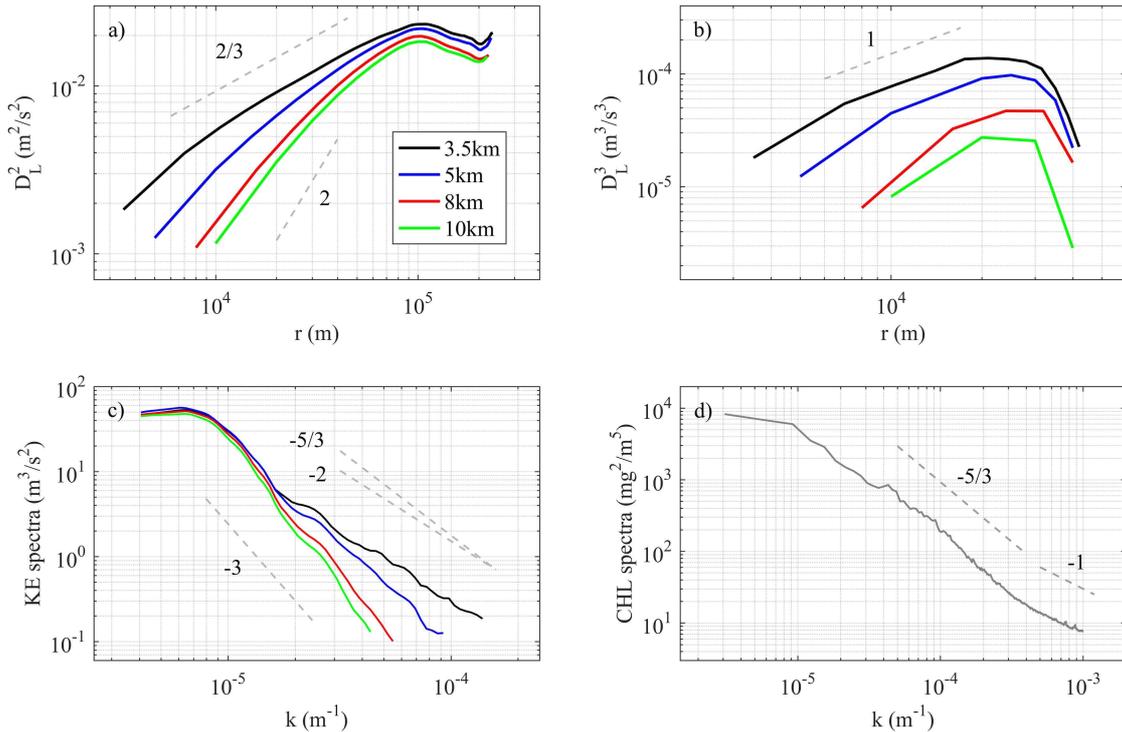


그림 15. a) 2차 속도 구조함수; b) 3차 속도 구조함수; c) Kinetic energy spectra; d) Scalar spectra. 4월에 관측된 Chlorophyll-a 자료를 이용하여 Scalar spectra와 PIV 속도장을 계산하였음. 계산된 PIV 속도장을 이용하여 속도 구조함수 및 kinetic energy spectra를 계산하였음.

#### 4) 재분석자료를 이용한 갯생이모자반 유입경로 분석

##### 가) HYCOM 재분석자료 분석

- HYCOM 재분석자료(25년간의 속도, 온도, 염분)를 수집하였고 한반도 주변으로 유입되는 가상 오염물질의 계절별 및 월별 이동경로를 분석하였음 (다중위성 기반 해양 현안대응 실용화 기술개발 사업 참여).

- 그림 16은 계절별 표면 평균장에 나타난 streamline으로 표면에 떠 있는 부유오염물질의 이동경로로 간주될 수 있음. 여름의 경우 남서쪽에서 북동쪽(동해)으로의 부유물의 빠른 이동이 가능한 계절이지만 가을의 경우 부유물들은 이어도 근처를 빠져나가는데 많은 시간이 소요될 것으로 판단됨. 겨울에는 북에서 남으로의 해류가 강하게 나타나 동해로의 진입이 어렵워 일본 남쪽으로의 이동이 관찰됨. 계절별로 확연히 다른 해류가 재분

석자료 평균장에 관찰되었고 이는 계절별로 오염물질의 이동경로가 다를  
을 의미함.

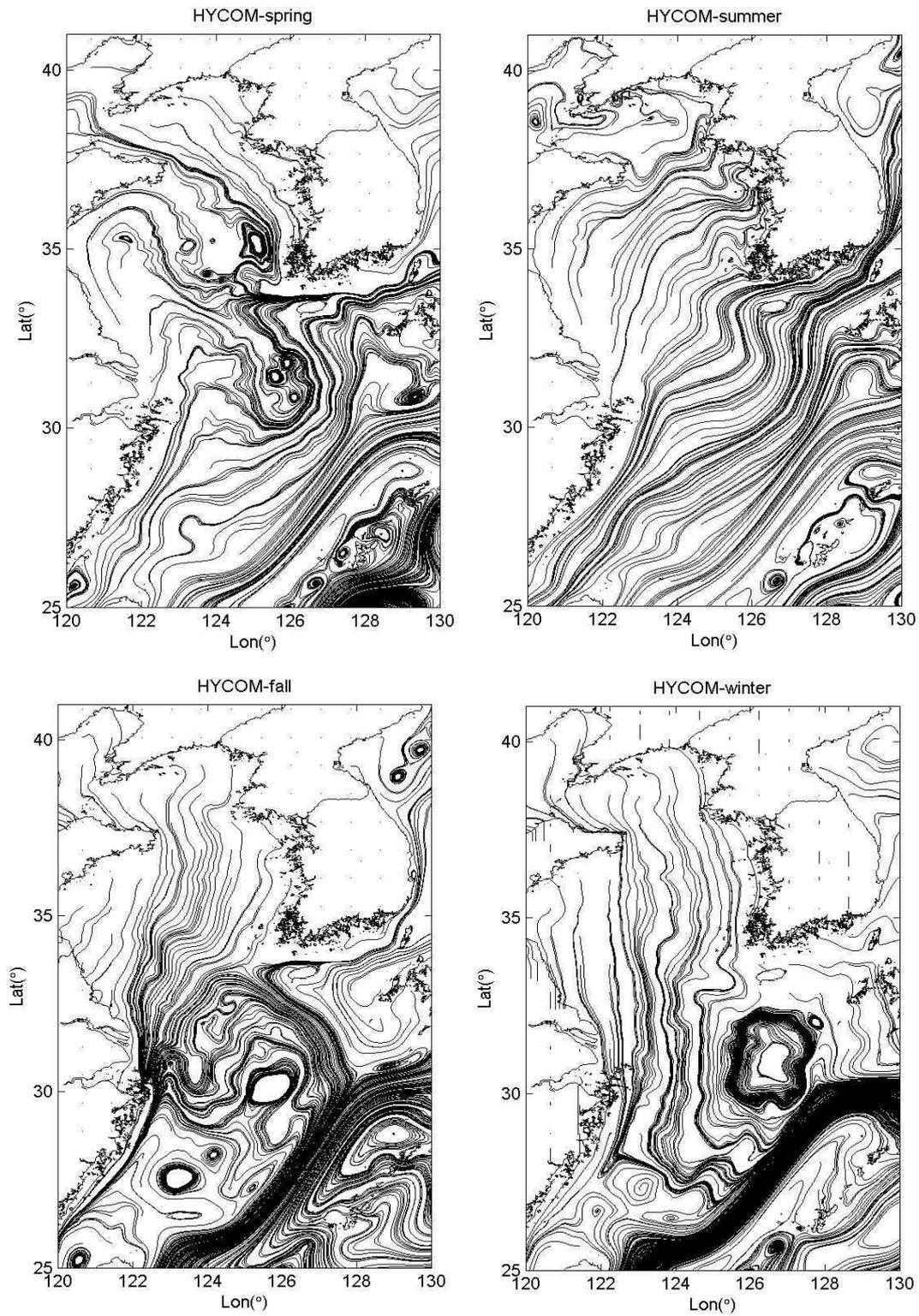


그림 16. 계절별 평균 속도장을 이용한 streamlines (25년 HYCOM 자료 평균장 이용). 봄, 여름, 가을, 겨울은 각각 12,1,2월, 3,4,5월, 6,7,8월, 9,10,11월 평균임.

- 그림 17은 월별 평균속도장(표면)을 이용하여 제주지역으로 향하는 평균 streamline을 계산하였음. 제주에서 발견되는 부유오염물질이 12~3월에는 황해북쪽지역에서, 4~8월에는 중국 양쯔강 남쪽으로부터 유입됨이 예상할 수 있음. 이는 2015년과 2017년 봄에 제주도 해안가에 상륙하여 관광산업과 어업활동에 피해를 주었던 맹생이모자반이 양쯔강 남쪽지역이 기원지(정설) 일 뿐 아니라 황해북쪽 연안도 가능함을 의미함.

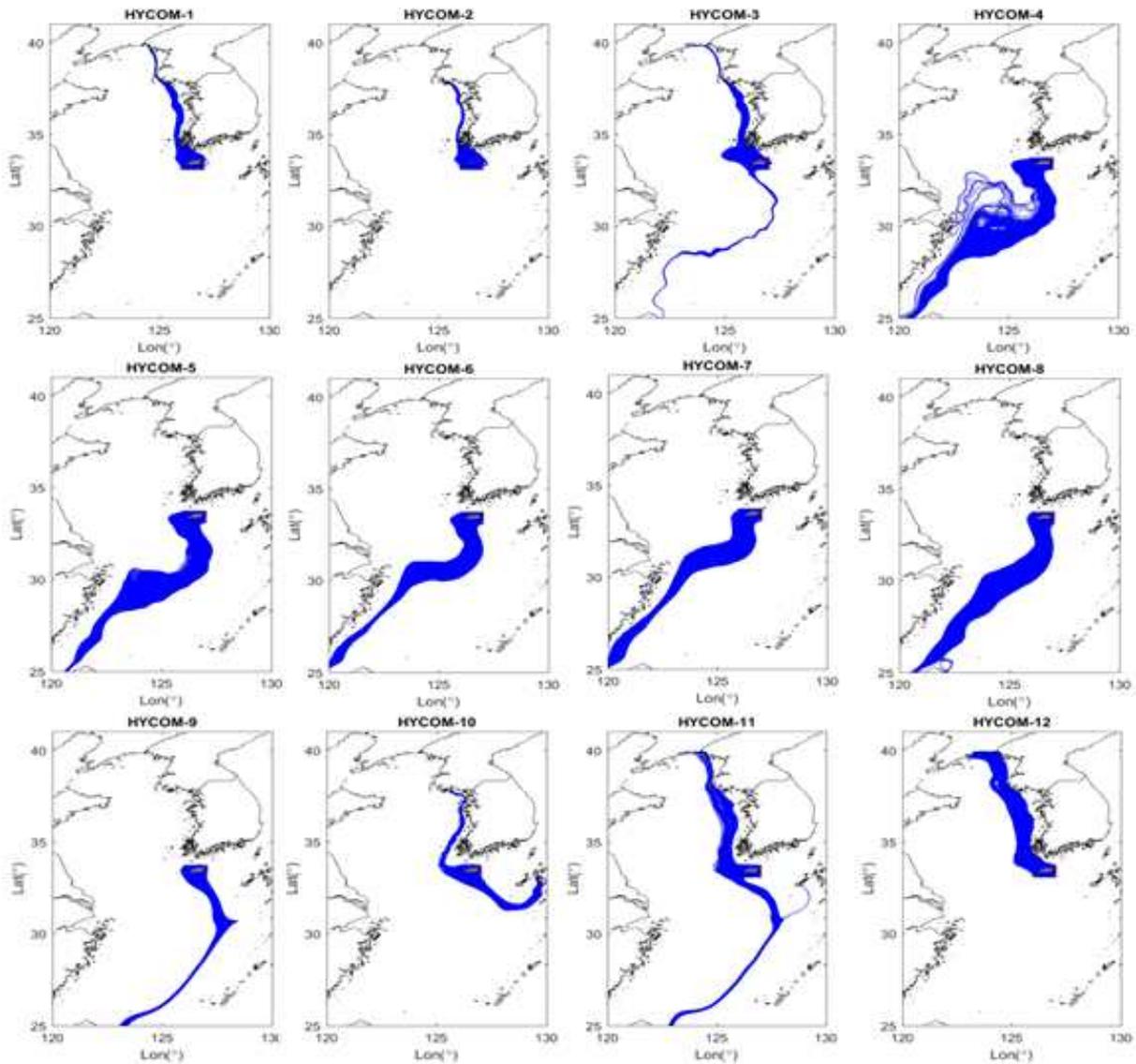


그림 17. 제주로 향하는 월별 streamline. HYCOM 25년 재분석자료 월별 표면 평균속도장 이용

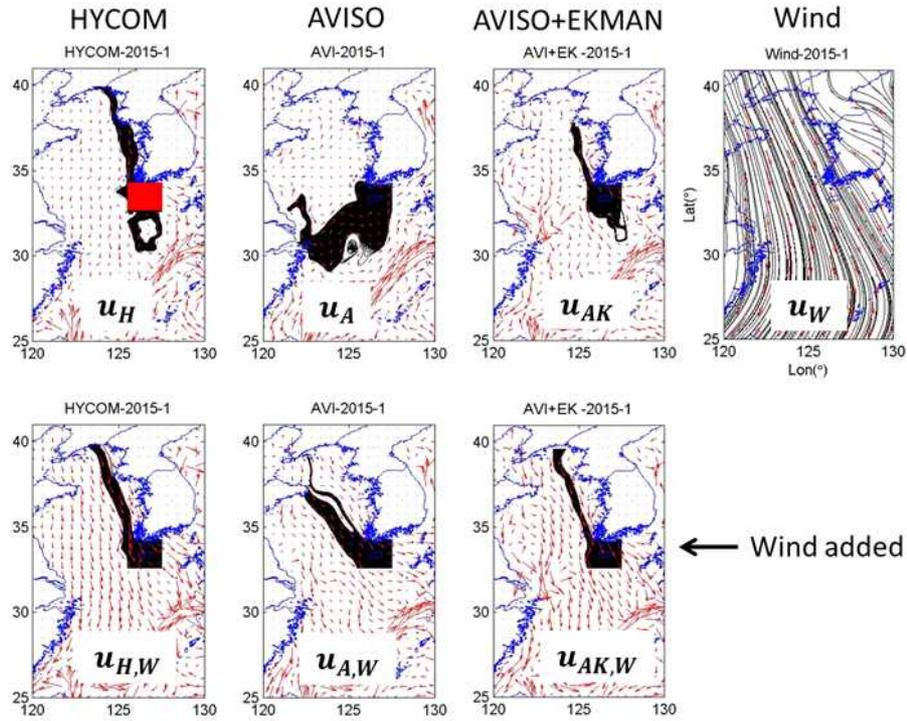


그림 18. 평균 속도장(2015년 1월)과 제주로 향하는 streamline.  $u_H, u_A, u_{AK}, u_W$ 는 각각 HYCOM 속도장, AVISO 속도장, AVISO+EKMAN 속도장, ECMWF 바람장을 나타냄.  $u_{H,W}, u_{A,W}, u_{AK,W}$ 는 각각  $u_H, u_A, u_{AK}$ 와 바람장  $u_W$ 의 약 2%를 합한 속도장

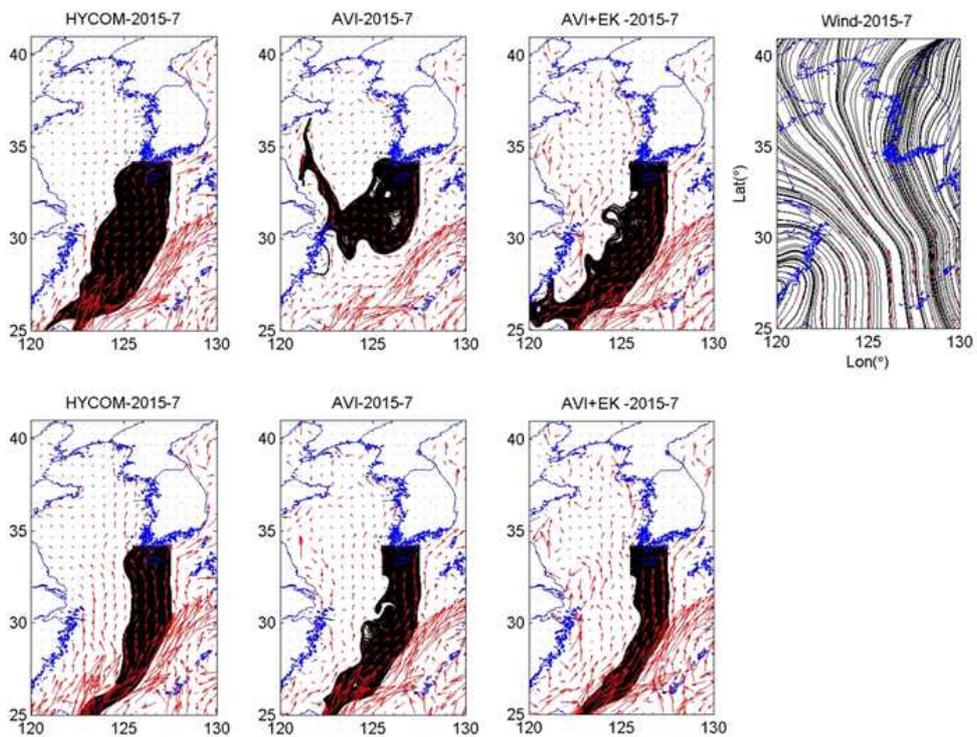


그림 19. 평균 속도장(2015년 7월)과 제주로 향하는 streamline.

- 그림 18 HYCOM, AVISO, AVISO+EKMAN 2015년 1월 평균해류를 이용하여 계산된 제주로 향하는 streamline을 나타냄. 바람에 의한 표면 slippage를 고려하지 않았을 경우 지형류인 AVISO를 제외하고 모두 북쪽에서 유입됨을 보였지만 바람에 의한 slippage가 고려되었을 경우 모든 경우에서 북쪽에서 유입됨을 보였음. 2015년 7월에는 위와 유사하게 지형류인 AVISO를 제외하고 모두 남쪽에서 유입됨을 보였고 바람에 의한 slippage가 고려되었을 때 모든 경우 남쪽에서 유입됨을 보였음. ECMWF 바람장에서는 1월을 포함한 겨울에는 북풍이, 7월을 포함한 여름에는 남풍이 관찰되었음. 이는 HYCOM 모델의 대략적인 해류방향과 일치하며 해류의 연간 변화가 바람의 연간변화와 밀접한 관계가 있음을 보여줌. 즉 표층해류는 slippage에 의하여 한시적으로 변화하지만 큰 스케일의 지속적인 바람에 의하여 한반도 주변의 계절별 해류방향에 주도적인 역할을 하는 것으로 판단됨.

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도(Achievement and Contribution)

#### 가. 최종 목표 (The Ultimate Aims)

| 구분 | 최종 목표<br>(Ultimate Aim)                     | 평가지표<br>(Index)                               |
|----|---|---|
| 1  | 위성자료-해양모델 연계를 통한 준 실시간 해양<br>오염물질 감시 시스템 개발 | 위성자료와의 연계<br>해류-입자추적모델 구현<br>실시간 오염물질 추적모델 구현 |
| 2  | 관측자료 수집 및 해류-입자추적모델의 고도화                    | 한반도 주변해역 확산 관측자료 수집<br>해류-입자추적모델의 고도화         |

#### 나. 목표달성도(The Level of Achievement)

##### (1) 목표 달성 총괄표 (The Table of Inclusive Achievement)

| 번호            | 세부목표<br>(Specific Goal)                      | 가중치<br>(%)<br>(Weights) | 달성 내용<br>(Achievement)   | 달성도<br>(%)<br>(The percentage<br>of Achievement) | 관련 증빙<br>(논문, 특허<br>등)<br>(Supporting<br>documents) |
|---------------|--|-------------------------|--|--|---|
| 1             | 해양오염물질 실시간<br>감시 시스템 개발                      | 35                      | - 위성자료와 연계<br>- 해류-입자추적모델 구현                                       | 40%  |   |
| 2             | 모델검증 및 혼합 모<br>수화를 위한 관측자<br>료 및 재분석자료<br>획득 | 35                      | - 아중규모 위성속도장 관측<br>- 드리프트터실험 수행<br>- 형광염료실험 수행<br>- 재분석자료를 수집 및 분석 | 100%   | 논문 1편   |
| 3             | 해류-입자추적모델의<br>고도화                            | 30                      | - 관측자료를 이용한 해류-입<br>자추적모델의 고도화                                     | 40%  |   |
| 합계<br>(Total) |  | 100                     |  | 61   |   |

##### (2) 상세 연구내용(당초 연구목표 대비 실적)

###### (가) 해양오염물질 실시간 감시 시스템 개발

- 과제의 조기 종료(신진연구자의 이직)로 인하여 4-5차년도에 계획되  
었던 실시간 오염물질 감시시스템은 개발하지 못하지만 이 시스템의  
기본이 되는 초기자료(위성데이터)입력 및 해류-입자추적모델을 구현  
하였음.

###### (나) 모델검증 및 혼합 모수화를 위한 관측자료 획득

- 기존에 한국에서 수행되지 않았던 여러 도전적이고 창의적인 실험을 수행하고 분석하여 실시간 오염물질 감시시스템의 검증 및 혼합모수화를 위한 관측데이터를 획득하였음. 신진연구자에 연구원내 오염물질 확산에 관한 과제참여의 기회를 부여하여 계획보다 많은 양의 관측데이터를 획득하였음.

(다) 해류-입자추적모델의 고도화

- 획득한 관측자료를 바탕으로 한 실시간 오염물질 감시시스템위 고도화(검증 및 혼합모수화)는 4, 5차년도에 수행될 계획이었음. 현재 데이터를 분석중이며 결과도출을 위해서 1-2년이 더 소요될 예정임.

다. 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책(후속연구의 필요성 등)

- 신진연구자의 이직으로 인하여 총 55개월의 연구기간 중 33개월(60%)의 연구만 수행되었음. 현재까지 기술개발 및 과학적 연구를 위한 기초작업 및 자료수집이 진행되었고 이에 상응하는 결과물은 4,5차년도에 집중될 것으로 예상되었음.
- 4,5차년도에 예정된 오염물질 실시간 추적모델 구현 및 웹기반 서비스 구축은 수행되지 못하였음. 신진연구자의 이직 후 KIOST 연구인프라 사용의 제한 등으로 인하여 해당되는 기술개발은 불가할 것으로 사료됨.
- 2019년 3월 연구책임자의 이직으로 현재의 연구책임자로 변경되었고 해양위성센터에서 해양순환기후연구센터로 소속부서가 변경되었음. 따라서 3차 년도에 계획되었던 SAR데이터관련 연구는 수행되지 못하였음. 이후 연구의 효율성을 위하여 해류모델을 직접 구축하지 않고 해양순환기후센터에서 안정적으로 운용중인 해류모델(OPEM)과 HYCOM 모델을 대신 사용하기로 결정하였음.
- 지난해까지 신진연구자가 수집한 관측자료는 4,5차년도에 집중적으로 분석되어 해류-입자추적모델 고도화를 위한 연구에 사용될 예정이었음. 이러한 자료의 수집과 이를 이용한 고도화 연구는 한국에서 수행되지 않았던 것으로 지속적인 후속연구는 한국근해의 물리과정을 이해하는데 중요함. 이 고도화 연구는 웹기반 추적모델 구축과 같은 기술개발의 영역이 아닌 과학적 연구영역으로 본 과제책임자는 차후 신진연구자와 협업으로 약 3편의 과학논문을 계획하고 있음.

라. 공동연구 수행실적 (The Achievements of R&D Cooperations)

(1) 논문실적(Thesis/Papers Achievement)

| 번호<br>(NO) | 논문명<br>(Thesis Title)  | 게재지<br>(Journal Title)<br>(권, 쪽)/               | ISSN      | 게재연도<br>(등록연도)<br>(Date) | 역할(Role)<br>(제1, 교신,<br>공동) | Impact<br>Factor | 저자(Author)           |                          |
|------------|--|---|-----------|--------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|--------------------------|
|            |  |   |           |                          |                             |                  | 인원(명)<br>(Personnel) | 성명<br>(Name)             |
| 1          | Characterization of submesoscale turbulence in the East/Japan Sea using geostationary ocean color satellite images | Geophysical Research Letters, 46권 14호 8214-8223 | 0094-8276 | 2019.7.28                | 제1                          | 4.34             | 4                    | 최준명<br>박영규<br>김원국<br>김영호 |
| 2          |  |   |           |                          |                             |                  |                      |                          |

(2) 특허실적(Patents Achievement)

| 번호<br>(NO) | 특허명<br>(Patent Title) | 특허등록(출원)국가<br>(Application Authority) | 특허등록(출원)일<br>(Application Date) | 성과<br>참여지수<br>(Participation<br>Index) | 역할<br>(Role) | 특기사항<br>(등록·출원<br>여부)<br>(Granted Patent) |
|------------|-----------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--|--------------|---|
| 1          |                       |                                       |                                 |  |              |   |
| 2          |                       |                                       |                                 |  |              |   |

(3) 대표연구성과(Representative R&D Achievement)

| 번호<br>(NO) | 구분<br>(Category)<br>(논문/특허<br>/ 기타)<br>(Paper/<br>Patent/etc) | 논문명/특허명/기타<br>(Theis Title, Patent Title/etc)  | 게재지<br>(Journal)<br>(권, 쪽)/<br>등록국가<br>(Application<br>Authority) | ISSN      | 게재연도<br>(등록연도)<br>(Publish<br>Date) | 역할<br>(Role)<br>(제1,<br>교신,<br>공동) | Impact<br>Factor | 비고 |
|------------|---|--|---|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------|----|
| 1          | 논문  | Characterization of submesoscale turbulence in the East/Japan Sea using geostationary ocean color satellite images | Geophysical Research Letters, 46권 14호 8214-8223                   | 0094-8276 | 2019.7.28                           | 제1                                 | 4.34             |    |
| 2          |   |  |   |           |                                     |                                    |                  |    |
| 3          |   |  |   |           |                                     |                                    |                  |    |

## □ 대표 연구성과 요약문

(Summary of Representative Research Outcome)

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| 연구업적 제목<br>(Title)   | Characterization of submesoscale turbulence in the East/Japan Sea using geostationary ocean color satellite images |   |   |
| 연구업적 유형<br>(Category)  | 학술지게재논문(o) 특허( ) 저서( ) 역서( ) 기타( )   |   |   |
| 게재연도<br>(Publication Date)   | 2019.7.28  |   |   |
| 주관연구책임자<br>또는 참여연구원<br>성명<br>(Host researcher<br>name or Research<br>participant name)   | 최준명, 박영규, 김원국, 김영호   | 참여자수<br>(The Number<br>of Participant)                | 4 |
| SCI 등재 여부<br>(SCI Registration)  | SCI  | IF 및<br>인용횟수<br>(SCI)                                 | 1 |
| SCOPUS 등재 여부<br>(SCOPUS<br>Registration)   |  | 피인용횟수<br>(SCOPUS)                                     |   |
| <b>요 약 문(Summary)</b>  |  |   |   |
| <p>Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) 위성 데이터와 Particle Image Velocimetry (PIV) 방법을 이용하여 동해 고해상도의 표층 속도장을 생산한 후 여러 통계기법을 이용하여 난류를 분석하였음. 현재 AVISO와 HF radar에 의하여 Eulerian 의 속도장 생산이 가능하지만 AVISO의 경우 해상도가 25km이며 HF radar의 경우 연안 속도장 관찰에 국한되는 한계를 지니고 있음. 따라서 수백km가 넘는 지역에서 3~5km의 고해상도 속도장을 생산하여 이를 분석한 난류연구는 제한적이었음. GOCI는 500m와 1시간의 시공간해상도의 자료를 생산하는 정지궤도위성으로 이는 여러 연구에서 아중간 규모 현상을 이해하는데 사용되고 있음. GOCI 산출물인 엽록소농도분포와 PIV방법을 적용하여 3.5km해상도를 지닌 속도장을 산출하였고 kinetic energy spectra, scalar spectra, velocity structure functions, energy flux 방법을 이용하여 봄철 동해에서의 난류를 분석하였음. Kinetic energy spectra의 기울기는 -3과 -5/3을 보였고 약 50km에서 기울기가 바뀌어 보였음. 이는 강한 Geostrophic current 영향으로 50km 이상의 규모에서는 quasi-geostrophic 이론이 적용됨을 의미하여 50km이하에서는 강한 밀도전선에 의하여 형성된 필라멘트들에 의하여 surface quasi-geostrophic 이론이 적용됨을 의미함. 2차 velocity structure function의 기울기는 2/3을 보였고 3차 velocity structure function은 양의 값과 1의 기울기 보였음. 이는 운동에너지의 흐름이 이 범위에서 역방향이라는 것을 의미하며 이는 음의 값을 갖는 energy flux의 결과와 일치함. GOCI2의 해상도와 band 수가 증가됨에 따라 관측 속도장의 해상도와 분석의 정확도가 증가될 것으로 예상됨.</p> |  |   |   |
| <b>연구 목표 및 연구내용과의 연관성<br/>(Research Objective and Connection)</b>  |  | <b>기대성과 및 파급 효과<br/>(Expected Outcome and Effect)</b> |   |
| - 이 논문은 KIOST 해양 위성센터가 운영하고 있는 GOCI 위성자료를 이용하여 이전에 수행  |  | - 구름과 같은 날씨에 영향을 받는 제한이 있지만 현재 이 논문에서 사용한 방법은 동해와 같   |   |

|   |   |
|---|---|
| <p>하지 못하였던 marginal sea에서 고해상도 Eulerian 속도장을 산출하였고 이를 난류특성 분석에 이용하였음. 이 연구의 최종목적은 모델과 위성을 활용한 해양오염물질 실시간 감시 및 추적이기 때문에 해류모델 혹은 관측에서 얻는 속도장은 절대적으로 이 과제에 필요한 데이터임. 현재 이 논문에서 구현하고 있는 Eulerian 속도장은 직접적으로 해류를 파악하여 오염물질의 이동경로를 파악할 수 있고 간접적으로 해류모델을 검증하여 오염물질 추적을 개선하고 고도화 하는데 사용 될 수 있음.</p> | <p>이 넓은 영역에서의 아중간규모 속도장을 얻는 유일한 방법임. 따라서 이 논문에서 사용한 방법을 이용하여 속도장을 산출하고 이전에 제한적이었던 고해상도 해류모델을 검증하는데 사용이 가능할 것으로 기대됨. 또한 아중간 규모에서 물리적-생물학적 상호작용이 활발히 일어나기 때문에 얻어진 속도장을 이용하여 물리적 과정과 생물학적 생산성을 연결하는 다학제간의 연구를 가능하게 하는 연구방법이 될 것으로 기대함.</p> |
|---|---|

#### 4. 연구개발성과의 활용 계획 등(Plan for Utilization of Research Outcome)

##### 가. 과학적·기술적 활용계획 (Plan for Academic/Technical Utilization)

- 신진연구자가 지난 2년간 수집한 관측데이터는 실시간 오염물질 추적시스템의 검증 및 모델 정확도향상을 위한 고도화 작업에 사용될 예정이었음. 조기종료로 인하여 실시간 추적시스템 개발이 불가함에 따라 혼합기작 및 모수화 연구를 중심으로 관측결과를 활용하고자 함. 표층드리프터와 표면에서 투하한 염료의 확산자료는 유사한 깊이(표층 1-2미터)에서 거동하는 미세플라스틱, 팽생이모자반, 적조 등과 같은 오염물질의 확산기작을 이해하는데 중요한 자료임. 따라서 이 관측자료를 활용하여 오염물질의 확산과 이를 주도하는 물리과정과의 관계를 규명하고자 함. 이 기작연구를 기반으로 혼합모수화를 수행하여 HYCOM 기반 해류-입자추적모델의 정확도를 향상시킬 수 있을 것으로 기대함.
- 해색정지궤도위성 GOCI를 활용하여 산출된 표층속도장은 구름에 영향을 받는 단점이 있으나 기존의 관측 플랫폼인 HR radar나 shipboard ADCP의 한계를 뛰어넘어 동해, 황해, 동중국해와 같은 수백 km규모의 연안해에서 고해상도 Eulerian 관측속도장의 생산을 가능하게 함. 위성 Chlorophyll-a의 분포와 고해상도 속도장을 비교하여 동해 중규모에디의 소멸 및 발생과 에디 주변의 생물학적 생산성과의 관계를 규명하고자 함.

##### 나. 경제적·산업적 활용계획 (Plan for Economical/Industrial Utilization)

- 현재 25년간의 HYCOM 재분석자료를 이용하여 해류를 분석하여 팽생이모자반의 계절별 유입과정을 조사하고 있음. 이는 대기에서 미세먼지의 유입경로에 대한 연구와 마찬가지로 국가 간 오염물질로 인한 문제해결과 피해저감에 있어 중요한 의의를 지님. 인접해역에서 해양재난재해 또는 생물학적 오염물질의 발생 시 모델의 구동없이 오염물질의 대략적 평균적 이동경로를 선제적으로 파악하고 대응할 수 있음. 또한 실시간 GOCI위성 산출물로 계산된 고해상도 실시간 속도장은 보다 정확한 확산경로 단기예측을 제공하여 오염물질의 해안유입으로 인한 피해를 저감할 수 있음.

#### 5. 주관연구기관 지원 내용(Supporting System of the Host Institution)

- KIOST 원내 규정에 따라 연구에 필요한 사무실을 선임연구원급의 연구공간을 제공하였음
- KIOST내의 연구진과 기타 대학의 해양관련학과의 학계인사와 밀접한 교류 및 관련학회 기회를 제공하였고 신진연구자가 주도적으로 연구를 디

- 자인하고 수행 할 수 있도록 선박이용, 장비구입 및 사용, 출장을 적극 지원하였음
- GOCI 산출물(e.g. Chlorophyll-a와 팽생이모자반)제공 및 KIOST 해양순환 기후연구센터에서 운용중인 OPEM모델결과를 제공하였음
  - 신진연구자의 안정적인 정착을 위하여 KIOST내 정규직으로의 이직 및 대학교 정년트랙 전임교원으로의 이직을 적극 장려하여 지원하였음

## 6. 향후 계획(Future Plans)

### 가. 사업 지원 종료 후 향후 계획

- 신진연구자는 대한민국 대학 조교수로 임용되었음

### 나. 한국과의 국제협력 네트워크 활용 계획

- 신진연구자는 과제책임자와 후속연구를 수행할 의지가 매우 강하여 차후 지속적인 논문작업이 예상됨. 현재 소속중인 대학 내의 타 유사전공 학자들과의 협업으로 연구가 확대될 것으로 기대되며 소속중인 대학과 KIOST와의 공동연구에 주도적으로 참여하여 두 기관간의 교류를 넓힐 것으로 기대함.

## 7. 참고문헌 (References)

## 8. 기타 성과정보 (Extra Achievements)

가. 기술자문(Technical advice) : 0회

| 번호<br>(NO) | 일시<br>(Date) | 장소<br>(Venue) | 자문기관<br>(Consultation<br>institution) | 자문내용<br>(Advice Content) | 증빙<br>(Supporting<br>Document) |
|------------|--------------|---------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 1          |              |               |                                       |                          |                                |

나. 현장기술지도(On-Site Technical Training) : 0회

| 번호<br>(NO) | 일시<br>(Date) | 장소<br>(Venue) | 기술지도기관<br>(Technical Training<br>Institution) | 지도내용<br>(Training Content) | 증빙<br>(Supporting<br>Document) |
|------------|--------------|---------------|---|----------------------------|--------------------------------|
| 1          |              |               |   |                            |                                |

다. 학술대회 발표(Making Presentation at Academic Conference) : 5회

| 번호<br>(NO) | 발표년월<br>(Presentation<br>Date) | 장소<br>(Venue)     | 학술대회명<br>(Academic<br>Conference<br>Name) | 논문명<br>(Thesis Title)   | 증빙<br>(Supporting<br>Document) |
|------------|--------------------------------|-------------------|---|---|--------------------------------|
| 1          | 2018.2.13                      | Portland<br>US    | Ocean Science<br>Meeting                  | Detection of diurnal variability of ocean<br>surface kinematics near the Korean<br>Peninsula using GOCI | Appendix 1                     |
| 2          | 2018.5.30                      | Kobe<br>Japan     | Techno-Ocean<br>2018                      | Applications of surface velocity current<br>derived from geostationary ocean color<br>imager            | Appendix 2                     |
| 3          | 2018.10.29                     | Yokohama<br>Japan | PICES                                     | Surface drifter observations in the<br>Korea strait in spring   | Appendix 3                     |
| 4          | 2019.10.31                     | 제주도               | 한국해양학회                                    | 대한해협 표층플개의 라그랑지안<br>이동확산  | Appendix 4                     |
| 5          | 2020.2.19                      | San Diego<br>US   | Ocean Science<br>Meeting                  | Observations of submesoscale<br>turbulence using geostationary satellite                                | Appendix 5                     |

※ 관련자료(증빙)는 별첨(Relating supporting document, add on your appendix)

라. 세미나(특강)(seminar) : 0회

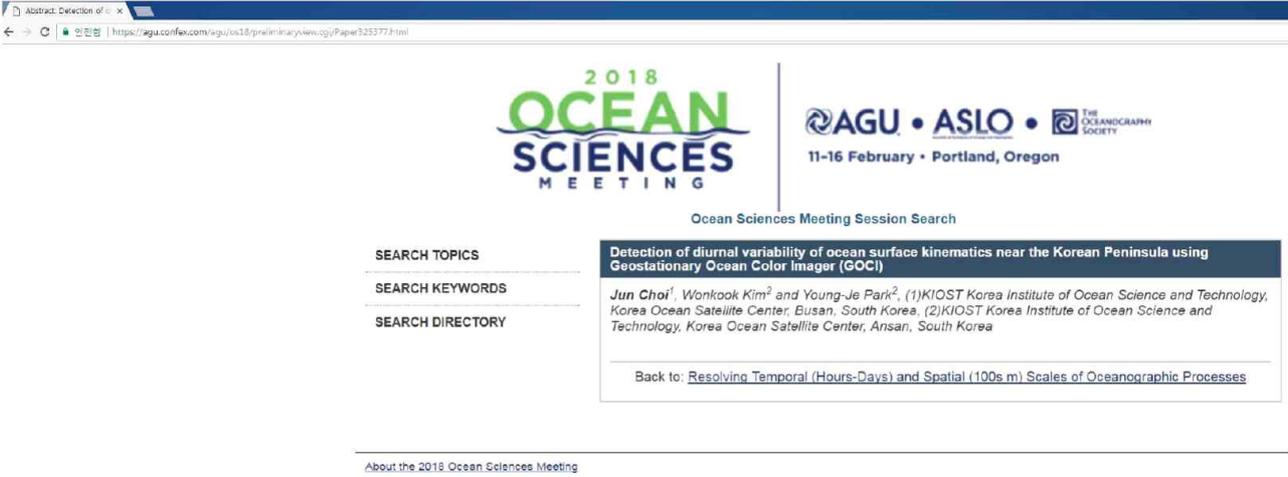
| 번호<br>(NO) | 일시<br>(Date) | 장소<br>(Venue) | 세미나명<br>(Seminar Name) | 주제<br>(Topic) | 참석자<br>(인원수)<br>(Personnel) | 증빙<br>(Supporting<br>Document) |
|------------|--------------|---------------|------------------------|---------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 1          |              |               |                        |               |                             |                                |

주 의

1. 이 보고서는 과학기술정보통신부에서 시행한 국제연구인력교류지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 과학기술정보통신부에서 시행한 국제연구인력교류지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

# 첨부1 연구 실적 관련 증빙

Appendix 1 (학술대회 발표)



Appendix 2 (학술대회 발표)

## OCEANS'18 MTS/IEEE Kobe Techno-Ocean 2018: Presenting Author Instructions

Dear Dr. Jun Choi,

### FINAL INSTRUCTIONS FOR PRESENTING AUTHORS AND SESSION CHAIRS

Please review and confirm your speaking time(s).

Your paper is scheduled to be presented during this session :

- Paper: **Applications of surface velocity current derived from Geostationary Ocean Color Imager (GOCI)**
- Session: **Ocean and Space Technology Collaboration 2**
- Wednesday, May 30, 2018, 8:30**
- Room: **Room 503**

You can view the complete technical program and conference details online at this URL:  
[program.oceans18mtsieeeekobe.org/](http://program.oceans18mtsieeeekobe.org/)

Appendix 3 (학술대회 발표)

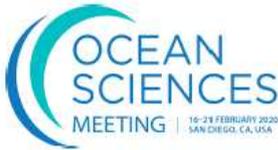
| <b>S9 [Yamayuri Room]</b><br><i>Integration of science and policy for sustainable marine ecosystem services</i> |  | <b>S5 [Room 201]</b><br><i>Seasonal to interannual variations of meso-/submeso-scale processes in the North Pacific</i> |  |
|---|--|---|--|
| 14:40   | <b>Gakushi Ishimura</b><br>Estimating the potential of Japanese fisheries: Upside Bioeconomic Analysis                                   | 14:40   | <b>Hironichi Ueno</b><br>Spatio-temporal variation of anticyclonic eddies in the western subarctic North Pacific   |
| 15:00   | <b>Shang Chen</b><br>Valuation of marine ecosystem services: Experiences and lessons   | 15:00   | <b>KyungJae Lee</b><br>An extremely long lived Ulleung Warm Eddy from 2014 to 2017 (UWE 2014-II) in the southwestern East Sea (Japan Sea)                                |
| 15:20   | <b>Iana Blinovskaia</b><br>Maritime spacial planning in Russia: Problems and prospective   | 15:20   | <b>Jun Choi</b><br>Surface drifter observations in the Korea Strait in spring  |
| 15:40   | <b>Xuefeng Li*</b><br>Chinese experiences with the implementation of Marine Functional Zoning  | 15:40   | <b>Erin V. Satterthwaite*</b><br>Effects of seasonal variation in oceanography on larval assemblages in the northern Monterey Bay, California upwelling system           |
| 16:00   | <i>Coffee/Tea Break</i>  | 16:00   | <i>Coffee/Tea Break</i>  |
| 16:20   | <b>Franklin B. Schwing</b><br>Crafting science-based ocean policy for sustained ecosystem services: Balancing place, people, and profits | 16:20   | <b>Annalisa Bracco</b><br>The diurnal cycling of submesoscale circulations: A Lagrangian and Eulerian perspective  |
| 16:40   | <b>Kristy Wallmo</b><br>Using choice models to assess the economic value of large marine protected areas off the U.S. west coast         | 16:40   | <b>Sachihiko Itoh</b><br>Fine-scale structure and mixing across the front between the Tsugaru Warm and Oyashio Currents in summer along the Sanriku Coast, east of Japan |

Appendix 4 (학술대회 발표)

**물리해양학 IV**  
 10월31일(목) 16:15-17:30, 안티구아홀 2  
 좌장 (문재홍 / 제주대학교)

- PO15 한반도 연안의 위성 및 수치모델 해수면온도 자료의 정확도  
수상가초청  
2018년 순계  
학생우수포스터상 백유현, 문일주(제주대학교 해양기상학협동과정/태풍연구센터)
- PO16 파랑후측에서 나타난 동해 파랑기후의 선형추세  
 김기호<sup>1,2</sup>, 장찬주<sup>1,2</sup>, 최원근<sup>2</sup>, 도기덕<sup>1</sup>, 유제선<sup>3</sup> (1한국해양대학교 해양과학기술전문대학원 해양과학기술융합학과, 2한국해양과학기술원 해양순환기후연구센터, 3한국해양과학기술원 해양재난재해연구센터)
- PO17 자료동화 기반 기상-해양-파랑 결합 시스템을 통한 해양위험기상 예측 정확도 향상 연구  
 홍지석<sup>1</sup>, 문재홍<sup>1</sup>, 송상근<sup>2</sup>, 문일주<sup>2</sup>, 유승협<sup>3</sup>, 변진영<sup>3</sup>, 엄현민<sup>3</sup>(1제주대학교 지구해양학과, 2제주대학교 태풍연구센터, 3기상청 해양기상과)
- PO18 운용해양 자료동화 예측 모델에서의 모델 개선  
 이준호<sup>1</sup>, 김태균<sup>2</sup>, 김수빈<sup>2</sup>, 문재홍<sup>2</sup> (1제주대학교 기초과학연구소, 2제주대학교 지구해양학과)
- PO19 대한해협 표층플개의 라그랑지안 이동 확산  
 최준명<sup>1</sup>, 박영규<sup>1</sup>, 김원국<sup>2</sup>, 최병주<sup>3</sup>(한국해양과학기술원<sup>1</sup>, 부산대학교<sup>2</sup>, 전남대학교<sup>3</sup>)

Appendix 5 (학술대회 발표)



**PS24B-2861 - Observations of submesoscale turbulence using geostationary satellite images**

|                           |
|---------------------------|
| Tuesday, 18 February 2020 |
| 16:00 - 18:00             |
| SDCC - Poster Hall C-D    |

**Abstract**

Near-surface observations of submesoscale circulations play a crucial role in understanding physical/biological processes in the upper open oceans, but current observational platforms such as satellite altimetry and HR radar have limitations in resolution and coverage area. In this work, we introduce a way of studying submesoscale turbulence over an area of few hundred kilometers using Eulerian velocity observations. Geostationary satellite-based observations have extended the spatiotemporal scales down to submesoscales, at which local dispersion, ageostrophic circulation, vertical transport, and physical/biological interaction strongly occur. The movement of Chlorophyll-a distributions taken from the Geostationary Ocean Color Imager (GOCI) was processed by the method of Particle Image Velocimetry (PIV), from which we generated a submesoscale-permitting Eulerian velocity field around the Korean peninsula. The observations in the East/Japan Sea in April indicated two spectral regimes following  $k^{-3}$  and  $k^{-5/3}$  at scales larger and smaller than 50km, respectively. The spectral kink may represent a superposition of quasi-geostrophic (QG) turbulence and surface quasi-geostrophic turbulence in an additive way, indicating a phase of increasing dominance of a QG flow in April.

**Authors**

- Jun Choi**  
 KIOST Korea Institute of Ocean Science and Technology
- Young-Gyu Park  
 KIOST Korea Institute of Ocean Science and Technology
- Wonkook Kim  
 (Currently) Pusan National University

# Geophysical Research Letters

## RESEARCH LETTER

10.1029/2019GL083892

### Key Points:

- Satellite chlorophyll *a* observations are used to calculate Eulerian statistics and evaluate submesoscale turbulence over a large area
- Kinetic energy spectra and velocity structure functions are computed based on the derived submesoscale-permitting velocity field
- Kinetic energy spectra suggest that quasi-geostrophic and surface quasi-geostrophic turbulence dominate in the East/Japan Sea in April

### Supporting Information:

- Supporting Information S1

### Correspondence to:

W. Kim,  
wknkook@pusan.ac.kr

### Citation:

Choi, J., Park, Y.-G., Kim, W., & Kim, Y. H. (2019). Characterization of submesoscale turbulence in the East/Japan Sea using geostationary ocean color satellite images. *Geophysical Research Letters*, 46, 8214–8223. <https://doi.org/10.1029/2019GL083892>

Received 27 MAY 2019

Accepted 30 JUN 2019

Accepted article online 3 JUL 2019

Published online 24 JUL 2019

©2019. American Geophysical Union.  
All Rights Reserved.

## Characterization of Submesoscale Turbulence in the East/Japan Sea Using Geostationary Ocean Color Satellite Images

J. Choi<sup>1</sup>, Y.-G. Park<sup>1</sup>, W. Kim<sup>2</sup>, and Y. H. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ocean Circulation and Climate Research Center, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Busan, South Korea,

<sup>2</sup>Department of Civil and Environmental Engineering, Pusan National University, Busan, South Korea

**Abstract** Submesoscale processes are key in understanding physical and biological phenomena near the surface, but there remains a lack of observational evidence over large areas. We used hourly images from a geostationary satellite that can resolve variation in surface ocean color over an area of few hundred kilometers. The temporal variation in the surface chlorophyll *a* distribution captured by the satellite images was first used to generate a submesoscale-permitting velocity field, from which we calculated the turbulence statistics such as kinetic energy spectra, velocity structure functions, and energy flux. Application to the April scenes in the East/Japan Sea showed that the kinetic energy spectra had a transition scale at 50 km that suggested two spectral regimes following  $k^{-3}$  and  $k^{-5/3}$ , implying the coexistence of quasi-geostrophic turbulence and surface quasi-geostrophic turbulence. The chlorophyll *a* scalar spectrum suggested two spectral regimes of  $k^{-5/3}$  and  $k^{-1}$  with a transition at 3 km.

**Plain Language Summary** The primary question that motivated this work was how to evaluate near-surface submesoscale (i.e., between mesoscale and microscale) turbulence in an Eulerian framework over an area of a few hundred kilometers. As this has not been possible with conventional observational platforms, we suggested a novel approach using a geostationary satellite that observed ocean color (Geostationary Ocean Color Imager, specifically in this study). A submesoscale-permitting velocity field was generated for the East/Japan Sea by processing satellite chlorophyll *a* observations, which was used to compute various turbulence statistics. Since the Eulerian observation has a sufficient number of data points, we were able to discern different physical properties over a broad area during a short observation period. To our best knowledge, the derivation of submesoscale statistics from the geostationary ocean color images has not been attempted for such a large area. Our findings may provide a timely and systematic approach for validating numerical models and evaluating the near-surface submesoscale turbulence that plays an important role in smaller-scale physical and biological processes.

## 1. Introduction

Submesoscale processes (SMs) are the physical processes that occur on spatiotemporal scales between balanced mesoscale currents and three-dimensional microscale eddies. SMs are characterized by Rossby and Froude numbers of order unity (McWilliams, 2016; Thomas et al., 2008), indicating that the effects of inertial force, Coriolis force, and stratification compete to create complex submesoscale flow structures. They play essential roles in the near-surface variabilities in physical and biological properties: they flatten the kinetic energy (KE) spectra, prompting local dispersion, and the ageostrophic circulation induced by the SMs results in enhanced vertical transport and restratification that modulate the amount of light and nutrients available for phytoplankton growth (Boccaletti et al., 2007; LaCasce, 2008; Mahadevan, 2016; Molemaker et al., 2010).

In spite of recent intense efforts, observational evidence for SMs is still too scarce to validate various turbulence theories. Observations of a high-frequency (HF) radar and shipboard acoustic Doppler current profiler have identified a spectral slope subject to the SMs (Callies & Ferrari, 2013; Rocha et al., 2016; Qui et al., 2017; Yoo et al., 2018). However, they have limits in that the area coverage of HF radar is typically confined to nearshore areas, and the shipboard acoustic Doppler current profiler measurements need a large number of transects to overcome the spatial aliasing caused by nonsimultaneous samplings. Although Lagrangian drifter experiments have revealed their capability to resolve the SMs (Poje et al., 2014), the Lagrangian

**주관연구기관의 자체평가의견서**

**1. 과제 현황**

|                        |   |                            |         |       |          |         |
|------------------------|---|----------------------------|---------|-------|----------|---------|
|                        | 과제번호  | 2017H1D3A1A01013959        |         |       |          |         |
| 사업 구분                  | 국제연구인력교류지원사업                                |                            |         |       |          |         |
| 연구 분야                  |   |                            |         |       | 과제 구분    | 단위      |
| 사업명                    | 해외우수신진연구자초청사업                               |                            |         |       |          | 주관      |
| 연구과제                   | 해양위성자료와 해류모델 융합 활용을 통한 광역 해양 오염물질 감시 시스템 개발 |                            |         |       |          |         |
| 연구기관                   | 한국해양과학기술원                                   |                            |         |       | 연구책임자    | 박영규     |
|                        |   |                            |         |       | 초빙연구자    | 최준명     |
| 연구 기간<br>연구개발비<br>(천원) | 연차  | 연구개발기간                     | 정부출연금   | 기업부담금 | 정부 외 출연금 | 계       |
|                        | 1차 연도                                       | 2017.6.1. ~<br>2017.12.31. | 44,082  | -     | -        | 44,082  |
|                        | 2차 연도                                       | 2018.1.1. ~<br>2018.12.31. | 70,000  | -     | -        | 70,000  |
|                        | 3차 연도                                       | 2019.1.1. ~<br>2019.12.31. | 70,000  | -     | -        | 70,000  |
|                        | 4차 연도                                       | 2020.1.1. ~<br>2020.2.29.  | 70,000  | -     | -        | 70,000  |
|                        | 계   | 2017.6.1. ~<br>2020.2.29.  | 254,082 | -     | -        | 254,082 |

※ 총 연구기간이 5차 연도 이상인 경우 셀을 추가하여 작성

**2. 평가일: 2020.3.25**

**3. 평가자(연구책임자):**

|           |       |     |
|-----------|-------|-----|
| 소속        | 직위    | 성명  |
| 한국해양과학기술원 | 책임연구원 | 박영규 |

**4. 평가자(연구책임자) 확인:**

본인은 평가 대상 과제에 대한 연구개발성과에 대하여 객관적으로 기술하였으며, 공정하게 평가하였음을 확약하며, 이 자료가 전문가 및 전문기관 평가 시에 기초 자료로 활용되기를 바랍니다.

확 약 

# I. 연구개발 실적

※ 다음 각 평가 항목에 따라 자체 평가한 등급 및 실적을 간략하게 기술(200자 이내)

## 1. 연구개발성과의 우수성/창의성

■ 등급: (우수)

신진연구자는 북태평양에서는 처음으로 아중간규모의 난류관찰이 가능한 표층드리프터 실험을 수행하였고 한국에서 수행되지 않았던 큰 스케일의 형광염료 실험을 디자인하여 실험에 참여하였음. 또한 정지궤도 위성자료(GOCI)를 활용하여 처음으로 동해와 같은 연안해에서 아중간규모에 근접한 범위에서 Kinetic energy spectra 및 속도구조함수 등을 계산하였음. 이러한 시도는 모델을 검증하고 모수화하는데 절대적으로 필요한 데이터임.

## 2. 연구개발성과의 파급 효과

■ 등급: (우수)

신진연구자가 수행한 표층해류장 산출(위성자료이용)은 전에 시도되지 않았던 연안해에서 아중간규모 속도장을 산출하여 표층 물성의 관측 및 특성화를 가능하게 함. 따라서 HF radar나 shipboard ADCP를 사용하던 기존의 연구방법을 보완하여 보다 넓은 지역을 커버하는 새로운 관측/분석 방법을 제시할 수 있음으로 우수하다 판단됨. 신진연구자가 수행한 염료실험, 종이드리프터실험, 미세구조 실험 등은 작은 스케일의 난류혼합의 모수화를 가능하게 하여 유류, 팽생이 모자반, 적조와 같이 표층에서 유동하는 부유 오염물질 추적의 고도화에 기여할 것으로 판단됨.

## 3. 연구개발성과에 대한 활용 가능성

■ 등급: (우수)

Chlorophyll-a 위성자료를 사용하여 산출된 표층해류장 자료는 해양모델의 현실성 검증을 위하여 활용이 가능하며 단기적으로 오염물질 추적에 직접적으로 활용될 수 있음. 신진연구자는 입자추적모델과 HYCOM 해류모델을 연계 구축하였고 조류, 바람, 난류 등의 더한 해류를 이용하여 입자추적모델을 수행하여 팽생이모자반 추적에 관한 연구를 수행하고 있음. 현재 분석중인 표층난류 실험결과를 이용하여 난류혼합의 모수화가 수행된다면 입자추적모델의 고도화가 가능하여 보다 정확한 오염물질 예측이 가능할 것으로 사료됨.

## 4. 연구개발 수행의 성실도

■ 등급: (아주우수)

신진연구자는 타부서와의 원활한 협업을 통해서 능동적으로 연구에 참여하였고, 연구 목표를 달성하기 위해 필요한 현장조사, 학회 참석, 논문 작성 등의 활동에 매우 성실히 임하였음. 과제수행에 있어서 혁신적이고 적극적으로 참여하여 성실도 등급은 매우 우수하다고 판단됨

## 5. 공개 발표된 연구개발성과(논문, 지적소유권, 발표회 개최 등)

■ 등급: (우수)

해양 및 지구과학 분야 저명 저널인 Geophysical Research Letters 에 2019년 논문 1편이 출판되었고 국내논문 1편이 출판되었음. 해양학 및 원격탐사 관련 주요 국제학회에 6회의 구두 발표를 수행하였음. 염료실험, 표층드리프터실험, 갯생이모자반 추적등의 자료가 축적되어 분석중에 있어 활발한 논문작업이 예상됨.

## II. 연구 목표 달성도

| 세부 연구 목표<br>(연구계획서의 목표)           | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) | 자체평가  |     |       |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |
|-----------------------------------|-----------|------------|---|-----|-------|----|----|-----|-------|--|---|--|--|--|----|
| 해양오염물질 실시간 감시 시스템 개발              | 35        | 40         | 과제의 조기 종료(신진연구자의 이직)로 인하여 4-5차년도에 계획되었던 실시간 감시시스템 개발은 불가할 것으로 판단되나 이 시스템의 기본이 되는 초기자료(위성데이터)입력 및 해류-입자추적모델을 구현하였음   |     |       |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |
| 모델검증 및 혼합 모수화를 위한 관측자료 및 재분석자료 획득 | 35        | 100        | 위성자료를 이용항 관측속도장을 산출하였고 한국에서 제약적으로 수행되었던 여러 실험(표층드리프터, 형광염료등)들을 수행하여 확산 및 난류혼합자료를 수집하여 분석하였음   |     |       |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |
| 해류-입자추적모델의 고도화                    | 30        | 40         | 해류-입자추적모델을 바탕으로 바람과 조류의 영향을 더하여 고도화 하였음. 관측결과를 바탕으로 4-5차년도에 계획되었던 혼합모수화를 비롯한 모델의 고도화는 차후 협업을 통하여 진행하도록 하겠음.   |     |       |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |
| 합계                                | 100점      | 61         | <table border="1"> <thead> <tr> <th>최우수</th> <th>우수</th> <th>보통</th> <th>하위</th> <th>최하위</th> <th>평가 결과</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>우수</td> </tr> </tbody> </table> | 최우수 | 우수    | 보통 | 하위 | 최하위 | 평가 결과 |  | 0 |  |  |  | 우수 |
| 최우수                               | 우수        | 보통         | 하위  | 최하위 | 평가 결과 |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |
|                                   | 0         |            |   |     | 우수    |    |    |     |       |  |   |  |  |  |    |

### Ⅲ. 종합 의견

#### 1. 연구개발성과에 대한 종합의견

---

신진연구자는 오염물질 이동 모델링에 필요한 해류모델-입자추적모델 연계 기초 셋업을 완수하였으며 한국해양과학기술원 내의 과제에 참여하여 50개에 이르는 표층드리프터와 형광염료 투하실험을 기획하고 직접 수행하였음. 또한 위성센터에서 제공한 위성자료(Chlorophyll-a)를 바탕으로 여러 난류통계 (e.g. kinetic energy spectra, structure functions)를 계산하였음. 이러한 시도들은 한국에서 기존에 수행되지 않았던 혁신적인 실험들로 현재 구축된 추적시스템을 검증하고 고도화 할 수 있는 중요한 연구로 사료됨. 또한 신진연구자는 HYCOM해류모델과 입자추적모델을 이용하여 오염물질 탐지 및 추적을 위한 연계시스템을 구축하여 팽생이모자반 추적 테스트를 수행하였고 또한 HYCOM에서 제공하고 있는 재분석 과거자료를 이용하여 부유오염물질의 계절별 유입과정을 분석하였음.

---

#### 2. 평가 시 고려할 사항 또는 요구사항

---

이 과제는 총 5차년 과제이지만 이직으로 인하여 2017년 6월부터 2020년 2월까지 2년 8개월 동안 과제를 수행하였음. 따라서 자료정리 및 논문생산에 1-2년이 더 걸릴 것으로 예상되고 과제의 최종 목표인 준 실시간 해양 오염물질 감시 시스템 구축은 신진연구자의 KIOST 연구인프라 사용제한 등의 이유로 수행할 수 없을 것으로 사료됨.

과제책임자의 이직으로 인하여 현 과제책임자로 변경되었음(2019년 3월). 따라서 이후 신진연구자는 해양 위성센터에서 해양순환기후연구센터로 부서이동을 하여 연구를 수행하였음. 당초 해양모델을 직접 구축하고 안정화하여 하여 오염물질 추적을 수행할 예정이었으나, 해양순환기후연구센터에서 직접 안정적으로 운용하고 있는 KIOST-OPEM모델과 또한 전구모델인 HYCOM모델을 이용하여 오염물질 추적을 수행하도록 계획을 수정하였음. HYCOM은 이미 검증된 전지구 모델로 약 10km의 해상도를 가지며 OPEM은 한반도주변 지역모델로 GOCI위성 관측지역을 커버하고 있고 약 3km의 해상도를 지닌 고해상도 모델임. 두 모델 모두 안정적이고 지속적으로 약 7일의 예측장을 제공하고 있음. 따라서 HYCOM과 OPEM모델의 활용하여 신진연구자가 모델안정화를 위한 소모적인 작업보다 과학적인 연구에 더욱 매진하도록 하였음.

오염물질을 추적하는 시스템을 구축하는 실용적인 과제의 성격으로 인하여 논문이 생산될 수 있는 과학적인 주제가 제한적이지만 2019년까지 활발한 관측실험(e.g. 드리프터, 형광염료, 미세구조실험, 종이드리프터 수직전단실험, 위성을 활용한 속도장생산)으로 획득한 데이터를 바탕으로 활발한 과학적 논문생산이 향후 가능할 것으로 사료됨.

---

### 3. 연구개발성과의 활용방안 및 향후 조치에 대한 의견

---

신진연구자가 수행한 표층드리프터, 형광염료실험, 종이드리프터, temperature microstructure 실험은 오염물질 추적시스템 고도화하고자 하는 실험으로 고도화를 통하여 보다 정확한 예측을 가능하게 함. 또한 25년간의 재분석자료를 이용하여 해류를 분석하여 갯벌이모자반의 계절별 유입경로를 분석하였음. 이는 대기에서 미세먼지의 유입경로에 대한 연구와 마찬가지로, 해류에 의한 오염물질의 유입과정에 관한 정보 및 지식은 해양재난재해 시 국가간 문제해결에 있어 외교적 협상에 기여할 수 있는 과학적 근거를 제공할 수 있음. 아직 최종 고도화에 이르지 못하였지만 현재까지 구현된 해류-입자추적모델은 과거 재분석 해류자료, 바람, 조류, random walk를 포함시킨 모델로 예측자료가 제공된다면 오염물질 추적예측에 사용될 수 있음.

하지만 확보된 데이터와 분석방법을 이용하여 다음과 같은 주제로 4편의 후속 논문을 신진 연구자와 공동 계획하고 있음: 1) 표층드리프터를 이용한 난류혼합 정량화 및 모수화 2) 형광염료, 종이드리프터, 미세구조실험에서 나타난 확산기작 연구 3) PIV 표층해류장을 이용한 물리-생물학적 상호작용 4) 계절별 해류변화에 따른 갯벌이모자반 유입과정 특성화.

---

## IV. 보안성 검토 (※ 보안성이 필요하다고 판단되는 경우 작성)

### 1. 연구책임자의 의견

---

---

### 2. 연구기관 자체의 검토 결과

---

---