

보고서 번호

BSPE99457-11302-10

해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

최 종 보 고 서

2016. 12



# 제 출 문

한국해양과학기술원원장 귀하

본 보고서를 “해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2016. 12. 31

총괄연구책임자 : 최진용

참 여 연 구 원 : 전기천

권재일

김선정

허기영

김진아

최정운

최영광



# 요 약 문

## I. 제목

해양 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

해양사고 시 효과적인 입자추적을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

- 입자추적 시 다양한 예측 자료를 신속하게 적용할 수 있도록 다양한 예측결과들을 수집, 저장, 재생산, 출력할 수 있는 입자추적 모델 입력자료 생산을 위한 자료관리 시스템 구축

## III. 연구개발의 내용 및 범위

- 해양 입자추적 모델 적용 가능 자료 조사.분석
  - 한반도 주변 활용 가능한 기상, 해양상태 예측 및 관측 자료 조사
  - 국내외 입자추적(유류확산, 표류예측 등) 모델 연구개발 현황 조사.분석
- 입자추적 모델 입력자료(예측모델 자료) 관리 시스템 구축
  - 입자추적 모델에 적용 가능한 국내외 자료현황 파악 및 수집
  - 효과적인 입력자료(예측모델 자료) 처리방법 및 저장방법 검토
  - 수집된 자료의 내삽 및 출력 기능을 가진 모델 입력자료 생산 모듈 개발
- 입자추적 모델 적용 / 평가
  - 시스템 출력 자료를 이용한 상용(기존) 입자추적 모델 구동
  - 모델 검증에 필요한 현장실험 자료 수집 및 모델 검증/향상 정도 평가

## IV. 연구개발결과

- 입자추적 모델을 위한 입력자료 생성 시스템 구축으로 계산시 오류 최소화
  - 체계적인 입력자료 관리를 통해 사고 발생 시 정보 누락 방지 및 대체 입력 정보 확보할 수 있음
  - 모델 구동 시 다양한 입력 자료를 사용하여 특정 입력자료 오류에 따른 혼선 절감
  - 연안 정보 내삽기법 도입을 통한 연안내 예측 정확도 향상
  
- 해양과학기술원의 관련분야 연구의 선도적인 역할 수행
  - 우리원에서 생산 중인 해양예보 시스템 (KOOS) 의 결과를 다른 상용 예측 모델에서 사용할 수 있도록 제공할 수 있는 시스템으로 추후 잘 활용된다면 기관의 연구결과 홍보 효과 기대

## V. 연구개발결과의 활용계획

- 입자추적 모델은 유류확산 예측모델, 수색구조를 위한 표류예측 모델, 적조확산 예측 모델 등에 다양하게 응용될 수 있음.
  
- 국민 안전처, 해군 등 국가 사안 발생 시 신속 자료 제공
  - 수색구조, 유류 유출 사고 등 시급을 요하는 긴급상황 발생 시 신속하게 유동 및 기상 자료를 생산하여 이동예측 수행
  
- 입자추적 모델의 입력자료 뿐 아니라 추후 방대한 양의 예측 모델 처리에 시스템 적용



# 목 차

제출문 .....	i
요약문 .....	iii
목차 .....	vi
그림 목차 .....	vii
표 목차 .....	vii
제 1 장 연구 개발 과제의 개요 .....	1
1.1 과업 개요 .....	3
1.2 과업 추진 전략 .....	4
1.3 과업 수행 기간 .....	4
제 2 장 연구 개발 과제의 개요 .....	5
2.1 국내 동향 .....	7
2.2 국외 동향 .....	8
제 3 장 자료관리 서버 구축 .....	11
3.1 국내외 예측자료 조사/수집 .....	13
3.2 모델 입력자료 생성 시스템 구축 .....	18
제 4 장 입자추적모델 검증/평가 .....	21
4.1 입자추적모델 적용/평가 .....	23
4.2 현장 실험 결과 분석 및 모델 검증 .....	24
참 고 문 헌 .....	31
중간진도보고회의 결과 .....	35



## 그림 목차

그림 1. 과업의 개요도	3
그림 2. 과업 추진도	4
그림 3. 운용해양예보시스템 (KOOS) 개요	14
그림 4. 구축된 OPeNDAP 서버 예	20
그림 5. 입력자료 내삽 결과	24
그림 6. 현장실험에 사용된 drogue	24
그림 7. 표류부이 투하 시 및 투하 후 표류 모습	25
그림 8. 표층 표류부이의 이동경로	25
그림 9. 부이 모양 및 투하 모습	26
그림 10. 부이 투하 위치(좌)와 이동경로(우)	26
그림 11. 표류부이에 대한 모델(파란색)과 실험(자주색) 결과의 비교	27
그림 12. 바람 세기에 대한 최적의 바람계수 분포	27
그림 13. 현장 부이에 대한 모델(파란색)과 실험(자주색) 결과의 비교	29

## 표 목차

표 1. 한반도 주변 입자추적 해상상태 예측자료	9
표 2. MOHID 모델 결과 입력부	15
표 3. OILMAP & SARMAP 출력부	15
표 4. HYCOM 자료 다운로드 방법	17
표 5. 구입 Cluster Server의 사양	18
표 6. 표류부이 사양	26



# 제1장

## 연구 개발 과제의 개요



## 1.1 과업 개요

- ‘2015년 해양사고 통계자료’에 따르면 지난해 해양사고는 총 2101건이 발생하였고, 이중 사망·실종자는 100명으로 집계되었다. 이는 전년대비 771건이 증가한 수치로 해양사고는 매년 꾸준히 증가하는 추세임
- 해양사고로 인해 선박이나 사람이 표류 중일 경우 효과적인 수색구조를 위해서는 신속·정확한 표류체의 위치 예측이 중요하며, 이를 위해서는 표류예측 계산 수치모델이 필요하다. 현재 이러한 표류예측 계산 프로그램들은 자체연구개발의 성과물 또는 상용 프로그램으로 개발되어 사용되고 있음
- 이와 같은 표류예측 시스템은 이미 계산된 기상 및 해상상태 예측 결과를 이용하여 입자추적기법(particle tracking method)으로 추가 계산하는데, 결과의 정확도는 입력자료의 질과 사용자의 적절한 경험 상수 적용 여부에 따라 결정되고, 계산의 신속성은 입력자료 생산 시간에 좌우됨
- 이에, 본 연구에서는 한반도 주변에서 가용한 최대한의 기상 및 해상상태 예측자료들을 수집·저장하고, 특정영역에 가장 알맞은 해상도와 필요한 파일 형식으로 예측자료들 재생산하여 신속·정확한 입자추적 계산이 가능하도록 하는 웹기반 자료관리 시스템을 구축하였음
- 본 시스템은 입자추적 모델을 위한 자료생산에 최적화된 시스템으로 유류확산 예측이나 수색구조를 위한 표류예측 계산 시 필요한 모델 입력정보를 쉽고 빠르게 추출할 수 있고, 제한된 해상도를 가진 입력자료로도 복잡한 연안해역 예측결과의 향상을 기대할 수 있으며, 다양한 입력자료를 보관·관리 하면서 긴급한 상황에 자료 누락의 위험을 최소화 하는 효과가 있을 것으로 판단됨



그림 1. 과업의 개요도

## 1.2 과업 추진 전략

- 우리나라 주변의 해양순환 예측 자료 수집 : KOOS, HYCOM, JAMSTEC, NMEFC 등
- 수집한 자료를 통합 관리할 수 있는 자료관리 시스템 구축
- 자료관리 시스템으로부터 확산예측 모델 (OILMAP, SARMAP, 표류예측시스템 등)에 적용할 수 있는 입력자료 생성 툴 작성



그림 2. 과업 추진도

## 1.3 과업 수행 기간

- 2016. 4. 1 ~ 2016. 12.31 (9개월)

## 제2장

## 국내외 기술개발 현황

---





## 2.1 국내 동향

### 2.1.1 운용해양예보시스템의 SAR Model Viewer

- 한국해양과학기술원에서는 해양관련 국가기관, 산업체, 민간이 각종 해양활동 및 연안재해, 유류오염, 해난사고, 해양오염 등 해양에서의 현안문제 해결에 필요로 하는 해양현황과 예측정보를 생산·제공하는 시스템인 KOOS (Korea Operational Oceanographic System)를 개발·운영하고 있음
  - 현재 운용해양예보시스템은 시범운영단계 수준이나 대형 해난사고 및 연안재해 등 국가 현안문제 발생 시 적시에 해양예측정보를 제공할 수 있음
  - 예측 자료의 활용도를 높이기 위하여 표류예측 시스템 SAR Model Viewer를 개발, 2 km 해상도의 유류확산예측 및 수색구조를 위한 표류예측이 가능하고, Leeway 방식의 추적알고리즘을 적용하는 Leeway drift 모델 운영

### 2.1.2 국립해양조사원의 표류물 추적 시스템

- Leeway 방식의 추적알고리즘과 역추적 알고리즘을 적용시킨 웹기반 표류예측 시스템
  - 해양과학기술원에서 개발한 KOOS 의 9 km 해상도의 예측자료 사용
  - 2015년 ‘항계안전 해양정보 제공시스템’ 사업을 통해 시스템 고도화 개발 중
  - 수치 조류도를 이용한 전연안 3km 해상도의 표류예측 시스템 구축 1

### 2.1.3 선박해양플랜트연구소의 부유물 표류경로 분석체계

- 해군, 해경과의 긴밀한 정보공유를 통한 부유물 표류경로 예측 및 분석 시스템 구축
  - 기상청 기상예보시스템 자료와 미 해군연구소 HYCOM 자료 활용
  - 7가지 부유물에 대한 모델링 가능, 익수체의 시간에 따른 침강 및 거동 모델링 가능

## 2.2 국외 동향

### 2.2.1 미국해안경비대 (U.S. Coast Guard)

- 미국해안경비대 (U.S. Coast Guard)에서는 미해양대기청 (NOAA)의 통합해양 환경정보 제공시스템과 연계하여 수색구조 최적예측시스템(Search and Rescue Optimal Planning System: SAROPS) 및 유류오염 이동·확산, 방제계획 수립 지원시스템을 구축 및 운용
- 미국해안경비대(U.S. Coast Guard)에서는 Leeway 모델과 고주파 레이더(high frequency radar) 관측 유속자료를 활용하여 수색구조최적예측시스템(Search and Rescue Optimal Planning System: SAROPS) 구축 및 운용 중임
  - Leeway 모델은 현재 미국의 해양 경찰청과 노르웨이 기상청에서 운용 중인 모델로, 몬테카를로 (Monte Carlo) 기법을 이용한 앙상블 기반의 추적 모델임. 몬테카를로 기법을 이용한 앙상블 기반으로 다수의 입자를 이용하여 모델의 불확실성 예측 가능함. Allen and Plourde (1999)에서 언급한 63가지의 표류체 유형(모양, 크기, 잠김정도 등)에 따라 다른 바람영향 계수를 적용할 수 있으며, 사용자 편의에 따라 외력 입력이 자유로움. 즉 다수의 모델로부터 생산된 예측 바람, 예측 유속, 그리고 관측 바람, 관측 유속 등 다양한 형태의 외력 입력 가능함
  - 북미와 유럽연합 국가 차원에서 2-3년 주기적으로 수색구조 기술에 대한 국제학술회의 (International Workshop on Technologies for Search and Rescue and other Emergency Marine Operations) 개최하여 수색구조 예측 기술 및 관련 장비 연구 수행. 북대서양을 중심으로 미국, 캐나다, 영국, 프랑스, 노르웨이, 스페인, 폴란드 등이 서로 협력하여 연구를 주도해 나가고 있음
- 지중해를 중심으로 한 유럽국가들이 유류확산 모델 및 표출시스템 운용 중임 (MOTHY, MEDSLIK, PORTico-MEDSLIK, MEDSLIK-II, POSEIDON-OSM 등). 주요참여국가로는 프랑스, 스페인, 포르투갈, 키프로스, 이탈리아, 그리스, 말타 등이며 ‘해양안전을 위한 지중해결정지원시스템’(Mediterranean Decision Support System for Marine Safety: MEDESS-4MS, [www.medess4ms.eu](http://www.medess4ms.eu)) 사업을 통해 국가간 상호 협력 연구를 하고 있음
  - 북미 멕시코만을 중심으로 연안관측시스템 (Gulf of Mexico Coastal Ocean Observing System)을 통해 유류유출확산 관측 및 예측 정보를 생산하고 있음

- 미국 해양대기청 (NOAA), 러거스 대학, 텍사스 대학, 루이지애나 대학, 마이애미 대학 등 연구에 참여하고 있으며 'Deepwater Horizon Oil Spill' 과 같은 대형 유류유출 사고를 대비하여 표층 유출이 아닌 깊은 수심에서의 유출된 유류 확산을 모의함

### 2.2.2 표류예측 (수색구조 예측) 연구 동향

- o 국외에서는 다양한 방법으로 현장실험 및 수치 모델을 통한 표류 연구가 이루어지고 있음. 예를 들어, Allen and Plourde (1999)는 조난된 물체들 (사람, 구명보트, 선박 등)의 궤적과 자료를 바탕으로 표류 물체의 leeway와 바람사이의 관계를 연구하였고, Breivik and Allen (2008)은 현재 U.S. Coast Guard (USCG)와 노르웨이 기상청에서 수색구조 예측에 사용되고 있는 leeway 표류 모델을 개발하는데 기여하였음
- Ullman et al. (2006)은 고주파 레이더 (High-Frequency radar) 관측 표층해류를 이용하여 몬테카를로(Monte Carlo)식 표류체 추적 모델을 개발하고 검증함
- 표류 모델 평가 방법에 대한 연구도 다양한 방법으로 수행되어 왔는데, 대표적인 예로 스파게티 다이어그램 (Spaghetti Diagram)을 이용한 연구 (Toner et al., 2001; Nairn and Kawase, 2001), 통계적 분리법 (statistical separation)을 이용한 연구 (Thompson et al., 2003), 그리고 최근에 원형 평가법 (circle assessment)을 이용한 연구 (Furnans et al., 2005)가 있음

### 2.2.3 기타 선행연구 분석

- o 한반도 주변 입자추적 모델에 적용 가능한 해상상태 예측자료는 표 1과 같음

[표 1] 한반도 주변 입자추적 해상상태 예측자료

자료제공 기관	KIOST	KHOA	US Army	JAMSTEC	NMEFC
국가	한국	한국	미국	일본	중국
사용모델	MOHID	EFDC	HYCOM+tide	ROMS	ROMS
해상도	2 km	3km	9km	3km	9km

### 2.2.4 현 기술의 한계 분석

- o 한반도 주변의 서로 다른 해상도의 서로 다른 예측시스템으로부터의 결과를 이용하여 입자추적 모델 수행시 입력추적 자료 생성에 사용되는 시간을 절약하기 위한 체계 필요

## 해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

---

- 현재 운용되는 표류예측 시스템 등의 거의 모든 입자추적 모델들은 하나의 기상, 해상상태 입력자료만을 이용하여 계산하게 되므로, 갑작스러운 사고 발생 시 어떠한 이유로 모델 입력자료가 생산되지 못하였을 경우 혼란을 초래할 수 있음
- 한 예로, 2015년 돌고래 사고시 국립해양조사원에서 운용 중인 sar-model viewer 가 입력자료 오류로 인해 사용되지 못해 혼란을 초래하였고, 다른 표류예측 모델을 구동하기 위해 다른 입력자료를 사용해야만 했음
- 하지만 sar-model viewer 등의 표류예측 모델은 모델별 입력자료 형식만 변경하면 적용 계산이 가능하므로 입력가능한 모델예측 자료들을 수집, 저장하여 유사시 특정 표류예측 모델에 사용할 수 있는 형태로 입력자료를 생성하면 긴급 상황에 대처할 수 있음

# 제3장

## 자료관리 서버 구축



## 3.1 국내외 예측자료 조사/수집

### 3.1.1 예측자료 조사 및 수집

#### 가. KOOS (운용해양예보시스템)

- 한국해양과학기술원에서는 2009년부터 “운용해양예보시스템 (KOOS : Korea Operational Oceanographic System) 연구”를 수행해오고 있음.
- KOOS 는 해양의 파랑, 조석, 조류, 해류, 수온, 염분 등의 다양한 해양 현상에 대한 현재 상태정보와 미래의 예측정보를 생산하여, 해양에서의 재해·재난 및 유류오염, 해난사고 시 수색구조, 적조, 해양오염 등의 현안문제 해결 지원을 목표로 하고 있음.
- KOOS에서는 기상 예측 모델로 WRF (Weather Research and Forecasting) 모델 (Skamarock et al., 2008)을 사용. 모델의 계산격자는 태풍의 영향을 충분히 고려할 수 있도록 동지나해 남쪽해역까지 포함된 광역격자(20km 수평해상도) 및 우리나라 근해를 포함하는 상세격자(4km 수평해상도)를 기반으로 하고 있음.
- KOOS의 3차원 순환 예측요소는 한반도 주변의 해역에서 조석, 조류, 해류, 풍성류, 수온, 염분 등이고, 이 요소들을 예측하기 위해 MOHID (MOdelo HIDrodinamico) model을 이용하고 있으며 (Cancino and Neves, 1999), 격자는 광역에서는  $1/12^\circ$ , 중간역, 상세역에서는 각각  $1/60^\circ$ ,  $1/360^\circ$ 이고, 개방 경계조건에서의 조화상수는 NAO.99jb (Matsumoto et al., 2000) 모델의 결과를 사용함.

#### 나. HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model)

- HYCOM 모형은 Miami 대학의 RSMAS에서 MICOM을 확장하여 기존의 3가지 형태( $z$ -좌표,  $\sigma$ -좌표, 등밀도-좌표)의 수직 좌표계를 혼합하는 HYbrid Coordinate Ocean Model로 개발되었음
- 수평적으로 Arakawa-C 격자와 표준 직교좌표계를 사용하고, 표층과 혼합층에서 높은 수직해상도를 제공할 수 있는  $z$ -좌표계의 장점, 그리고 연안역에서도 높은 수직해상도를 유지하는 sigma 좌표계의 장점을 포함함.
- HYCOM은 매일 하루에 한번 10일씩(hindcasting and forecasting) 북태평양 주변을  $1/12^\circ$  해상도로 계산하여 제공함. 하루에 생산되는 10일 자료는 일반적으로 과거 6일이 재분석 자료이고, 4일이 예보자료이지만 매일 일정하지는 않음.

## 해양 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

- 자료는 OPeNDAP을 이용하여 원하는 시간, 원하는 영역의 수온, 염분, 해류(u, v), 해수면 높이(SSH) 등의 자료를 제공함.

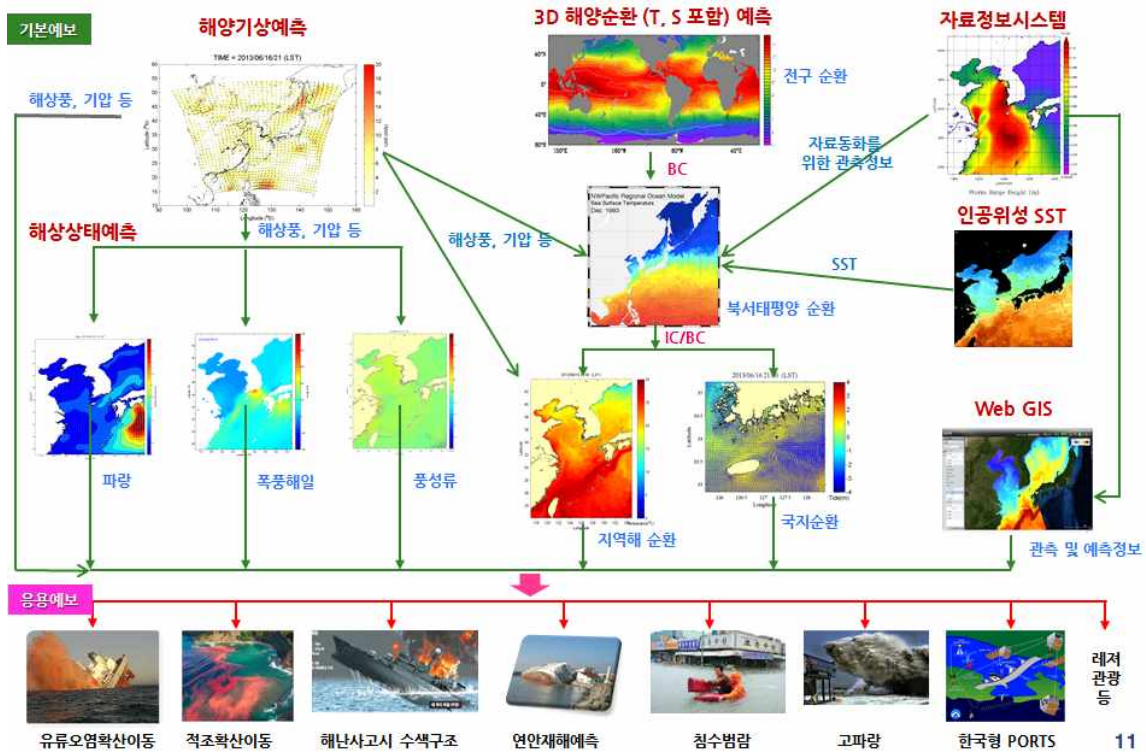


그림 3. 운용해양예보시스템 (KOOS) 개요

### 3.1.2 파일 형식 변환 프로그램 작성

- 해상사고 발생 시 수색 및 유류유출 모델의 적시 처리를 위해 입자추적 모델의 입력자료로 사용되는 WRF의 기상자료와 MOHID의 유동 자료를 필요한 영역으로 추출하기 위함
- 위와 같은 자료를 SARMAP, OILMAP의 입력자료로 즉시 사용될 수 있도록 포맷을 netcdf로 통일
- 변환된 자료는 Hyrax OPeNDAP 서버를 구축하여 체계적으로 관리

#### 가. KOOS 자료(MOHID) 변환

- KOOS의 해수순환 예측 모델은 MOHID 로 출력파일 형식은 HDF5 형식임
- OILMAP은 NETCDF 형식 파일로 구동되므로 HDF5를 NETCDF로 변환시켜주는 코드 필요



- MOHID 모델 결과의 입력부는 표 2와 같고, OILMAP 및 SARMAP의 출력부는 표 3과 같음

[표 2] MOHID 모델 결과 입력부

```

Fname1 = *.hdf5; (유속)
Fname2 = *.hdf5; (바람)

hinfo1 = hdf5info(Fname1);
hinfo2 = hdf5info(Fname2);
Lon = hdf5read(hinfo1.GroupHierarchy.Groups(1).Datasets(5));
Lat = hdf5read(hinfo1.GroupHierarchy.Groups(1).Datasets(4));

nx = size(LON,2);
ny = size(LAT,1);
nt = 73;

wind_u = zeros(nx,ny,nt) * NaN;
wind_v = zeros(nx,ny,nt) * NaN;
water_u = zeros(nx,ny,1,nt) * NaN;
water_v = zeros(nx,ny,1,nt) * NaN;
time = zeros(nt,1);

for it = 1 : 73
    WPOINT = hdf5read(hinfo1.GroupHierarchy.Groups(1).Groups(1).Datasets(it));
    u = hdf5read(hinfo1.GroupHierarchy.Groups(2).Groups(1).Datasets(it));
    u(find(WPOINT==0)) = -9999;
    v = hdf5read(hinfo1.GroupHierarchy.Groups(2).Groups(2).Datasets(it));
    v(find(WPOINT==0)) = -9999;

    WINDU = hdf5read(hinfo2.GroupHierarchy.Groups(2).Groups(8).Datasets(it));
    WINDU(find(WPOINT==0)) = -9999;
    WINDV = hdf5read(hinfo2.GroupHierarchy.Groups(2).Groups(9).Datasets(it));
    WINDV(find(WPOINT==0)) = -9999;
    timed = hdf5read(hinfo2.GroupHierarchy.Groups(3).Datasets(it));

    time(it) = datenum(double(timed)');
    wind_u(:,:,it) = WINDU';
    wind_v(:,:,it) = WINDV';
    water_u(:,:,1,it) = u';
    water_v(:,:,1,it) = v';
end

```

[표 3] OILMAP &amp; SARMAP 출력부

```

fn = *.nc; (바람)
ncid = netcdf.create(fn,'CLOBBER')
time_dimID = netcdf.defDim(ncid,'time',netcdf.getConstant('NC_UNLIMITED'));

```

```

lon_dimID = netcdf.defDim(ncid,'longitude',length(LON(1,:)));
lat_dimID = netcdf.defDim(ncid,'latitude',length(LAT(:,1)));
time_varID = netcdf.defVar(ncid,'time','double',time_dimID);
lon_varID = netcdf.defVar(ncid,'longitude','float',[lon_dimID lat_dimID] );
lat_varID = netcdf.defVar(ncid,'latitude','float',[lon_dimID lat_dimID] );
u_varID = netcdf.defVar(ncid,'wind_u','double',[lon_dimID lat_dimID time_dimID]);
v_varID = netcdf.defVar(ncid,'wind_v','double',[lon_dimID lat_dimID time_dimID]);
netcdf.endDef(ncid)
netcdf.putVar(ncid,time_varID, 0, length(time), time - datenum(1900,12,31) );
netcdf.putVar(ncid,lon_varID, LON' );
netcdf.putVar(ncid,lat_varID, LAT' );
netcdf.putVar(ncid,u_varID, wind_u );
netcdf.putVar(ncid,v_varID, wind_v );
netcdf.reDef(ncid);
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'long_name', 'time' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'reference', 'UTC' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'calendar', 'standard' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'axis', 'T' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'units', 'days since 1900-12-31 00:00:00' );
netcdf.putAtt(ncid,lon_varID, 'standard_name', 'longitude' );
netcdf.putAtt(ncid,lon_varID, 'units', 'degrees_east' );
netcdf.putAtt(ncid,lat_varID, 'standard_name', 'latitude' );
netcdf.putAtt(ncid,lat_varID, 'units', 'degrees_north' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'long_name', 'windu' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'standard_name', 'eastward wind velocity' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'missing_value', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, '_FillValue', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'units', 'm/s' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'long_name', 'windv' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'standard_name', 'northward wind velocity' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'missing_value', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, '_FillValue', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'units', 'm/s' );
netcdf.close(ncid)
fn = *.nc; (유속)
ncid = netcdf.create(fn,'CLOBBER')
time_dimID = netcdf.defDim(ncid,'time',netcdf.getConstant('NC_UNLIMITED'));
depth_dimID = netcdf.defDim(ncid,'depth',length(depth));
lon_dimID = netcdf.defDim(ncid,'longitude',length(LON(1,:)));
lat_dimID = netcdf.defDim(ncid,'latitude',length(LAT(:,1)));
time_varID = netcdf.defVar(ncid,'time','double',time_dimID);
lon_varID = netcdf.defVar(ncid,'longitude','float',[lon_dimID lat_dimID] );
lat_varID = netcdf.defVar(ncid,'latitude','float',[lon_dimID lat_dimID] );
depth_varID = netcdf.defVar(ncid,'depth','float',depth_dimID);
u_varID = netcdf.defVar(ncid,'u','double',[lon_dimID lat_dimID depth_dimID time_dimID]);
v_varID = netcdf.defVar(ncid,'v','double',[lon_dimID lat_dimID depth_dimID time_dimID]);
netcdf.endDef(ncid)

```

```

netcdf.putVar(ncid,time_varID, 0, length(time), time - datenum(1900,12,31) );
netcdf.putVar(ncid,lon_varID, LON' );
netcdf.putVar(ncid,lat_varID, LAT' );
netcdf.putVar(ncid,depth_varID, depth );
netcdf.putVar(ncid,u_varID, water_u );
netcdf.putVar(ncid,v_varID, water_v );
netcdf.reDef(ncid);
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'long_name', 'time' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'reference', 'UTC' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'calendar', 'standard' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'axis', 'T' );
netcdf.putAtt(ncid,time_varID, 'units', 'days since 1900-12-31 00:00:00' );
netcdf.putAtt(ncid,lon_varID, 'standard_name', 'longitude' );
netcdf.putAtt(ncid,lon_varID, 'units', 'degrees_east' );
netcdf.putAtt(ncid,lat_varID, 'standard_name', 'latitude' );
netcdf.putAtt(ncid,lat_varID, 'units', 'degrees north' );
netcdf.putAtt(ncid,depth_varID, 'standard_name', 'positive down distance');
netcdf.putAtt(ncid,depth_varID, 'units', 'm' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'long_name', 'u-veloc. [20.1H]' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'standard_name', 'eastward_sea_water_velocity' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'missing_value', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, '_FillValue', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,u_varID, 'units', 'm/s' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'long_name', 'v-veloc. [20.1H]' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'standard_name', 'northward_sea_water_velocity' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'missing_value', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, '_FillValue', '-9999' );
netcdf.putAtt(ncid,v_varID, 'units', 'm/s' );
netcdf.close(ncid)

```

#### 나. HYCOM 자료 다운로드 및 자료 변환

- HYCOM GOCM(Global Ocean Circulation Model) 자료는 website에서 다운받을 수 있음 ([http://tds.hycom.org/thredds/dodsC/GLBa0.08/expt\\_90.9](http://tds.hycom.org/thredds/dodsC/GLBa0.08/expt_90.9))

#### [표 4] HYCOM 자료 다운로드 방법

```

ncks -F -O -o ./HYCOM_archive/*.nc -d X,510,891 -d Y,1759,2319 -d
MT,$newnumber,$newnumber -v salinity,temperature,u,v,ssh
http://tds.hycom.org/thredds/dodsC/GLBa0.08/expt_91.9

```

- NETCDF 형식이므로 바로 사용가능하지만 1일 자료이므로 사용 시 시간 단위를 합쳐 사용해야 할 경우가 있음

## 3.2 모델 입력자료 생성 시스템 구축

### 3.2.1 서버 구입 및 소프트웨어 설치

- 입력자료 관리를 위한 Cluster 서버 구입

[표 5] 구입 Cluster Server의 사양

DELL R630 계산노드 Node (980 Croe)	DELL Cluster Server - Intel E5 2695 v3 14Core 2.3GHz 35MB Cache*2EA -64GB RDIMM 2133 (8EA * 8GB) - 300GB SAS 15K Disk*2EA(Mirror) - DVD Combo - SATA 8bay Disk Bay - 1U Rack Model - 750W Dual Power - H730p 2GB RAID Controller - 4Port Gigabit NIC - 3Y Mission Critical Service Supported
HCA & Cable	Mellanox Infiniband QDR HCA PCIe2.0 x8 5.0GT/s, tall bracket, RoHS

- Hyrax OPeNDAP의 설치를 위해서는 JAVA JDK, Apache-tomcat, OLFS, BES, Libdap 등의 설치파일 필요, Hyrax OPeNDAP 설치과정은 아래와 같다.
  - Centos 버전확인 : 현재 서버 설치버전 Centos 6.5
  - JAVA JDK설치(설치하려는 hyrax OPeNDAP 버전에 맞추어 설치)
    - Java jdk1.7.0\_55 버전 설치
  - Apache-tomcat 설치(Hyrax OPeNDAP 1.13.1 버전과 호환되는 7.72 버전 설치)
    - <http://192.168.153.209:8080>에 접속하여 Apache-tomcat 설치 확인
  - <http://www.OPeNDAP.org/software>에서 Hyrax OPeNDAP 1.13.1 버전과 호환되는 OLFS, BES, Libdap 설치파일 다운로드
    - BES : 3.17.2-2 버전 설치 (rpm -ivh 파일명.rpm)
    - Libdap : 3.16.0-1 버전 설치 (rpm -ivh 파일명.rpm)

- OLFS : 1.16.0 버전 다운로드 후 압축해제하여 OPeNDAP.war 파일을 Apache-tomcat 설치폴더의 하위폴더인 webapps 내에 복사
- http://192.168.153.209:8080/OPeNDAP에 접속하여 OPeNDAP 설치 확인
- 위와 같은 과정을 거쳐 OPeNDAP 서버를 구축하였으며, 기본 디렉토리는 /usr/share/hyrax 폴더이며, 기본 디렉토리 내에 위치하는 nc, hdf 등의 자료를 http://192.168.153.209:8080/OPeNDAP에 접속하여, 원하는 영역, 형태의 자료로 가공하여 사용할 수 있음

### 3.2.2 자료관리 시스템 구축 및 서버 운영

- 11월 1일부터 서버 운영
- 아래는 구축된 OPeNDAP 서버 <http://192.168.153.209:8080/OPeNDAP> 의 예시
- 각 자료들은 원하는 영역, 시간으로 구분하여 추출할 수 있음



그림 4. 구축된 OPeNDAP 서버 예

**time**: Array of 64 bit Reals [time = 0..127]  
time:   
long\_name: Valid Time  
units: hours since 2000-01-01 00:00:00  
time\_origin: 2000-01-01 00:00:00  
calendar: gregorian  
axis: T

**tau**: Array of 64 bit Reals [time = 0..127]  
time:   
long\_name: Tau  
units: hours since analysis  
time\_origin: 2018-08-25 00:00:00  
NAVO\_code: 58

**water\_u**: Grid  
time:  depth:  lat:  lon:   
long\_name: Eastward Water Velocity  
standard\_name: eastward\_sea\_water\_velocity  
units: m/s  
\_FillValue: -99999  
missing\_value: -99999

**water\_v**: Grid  
time:  depth:  lat:  lon:   
long\_name: Northward Water Velocity  
standard\_name: northward\_sea\_water\_velocity  
units: m/s  
\_FillValue: -99999  
missing\_value: -99999

그림 4. 구축된 OPeNDAP 서버 예 (계속)

## 제4장

## 입자추적모델 검증/평가

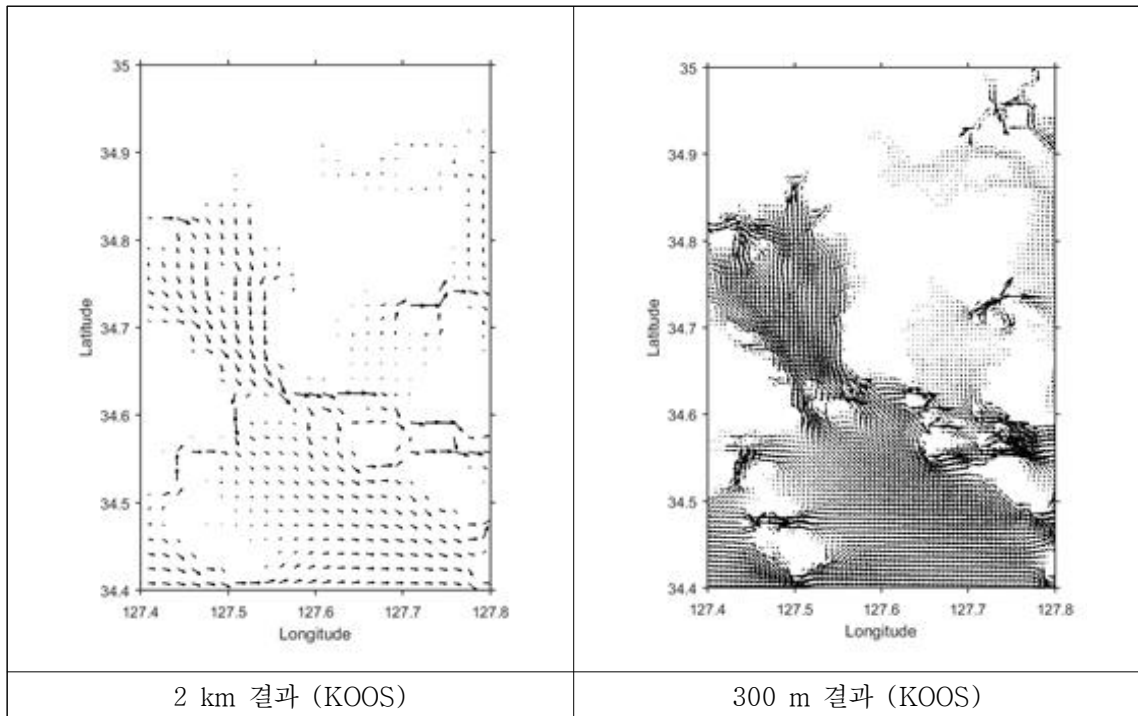




## 4.1 입자추적모델 적용/평가

### 4.1.1 입력자료 내삽기법 개발

- 수집된 입력자료 (유동장)의 해상도는 HYCOM : 9 km, KOOS : 최소 300 m 임
- 해상도가 낮은 입력자료를 복잡한 연안선이나 작은 섬들이 많은 지역에서 사용하기 위해서는 연안선을 고려한 내삽 기법을 이용하여 보다 정확한 입자추적을 할 수 있음
- 본 연구에서 개발한 내삽기법은 연안선의 복잡성에 따라 격자 해상도를 결정하여 연안선은 유속을 0 m/s 이 되도록 하여 주어진 해상도에 가장 정확한 결과가 표출될 수 있도록 함
- 아래의 그림은 같은 영역에서의 2 km 해상도와 300 m 해상도의 KOOS 결과와 2 km 결과를 연안선을 고려하지 않고 내삽한 결과, 연안선을 고려하고 내삽한 결과임. 연안선을 고려하면 모격자의 흔적인 계산형태의 연안선이 감소하는 것을 볼 수 있음



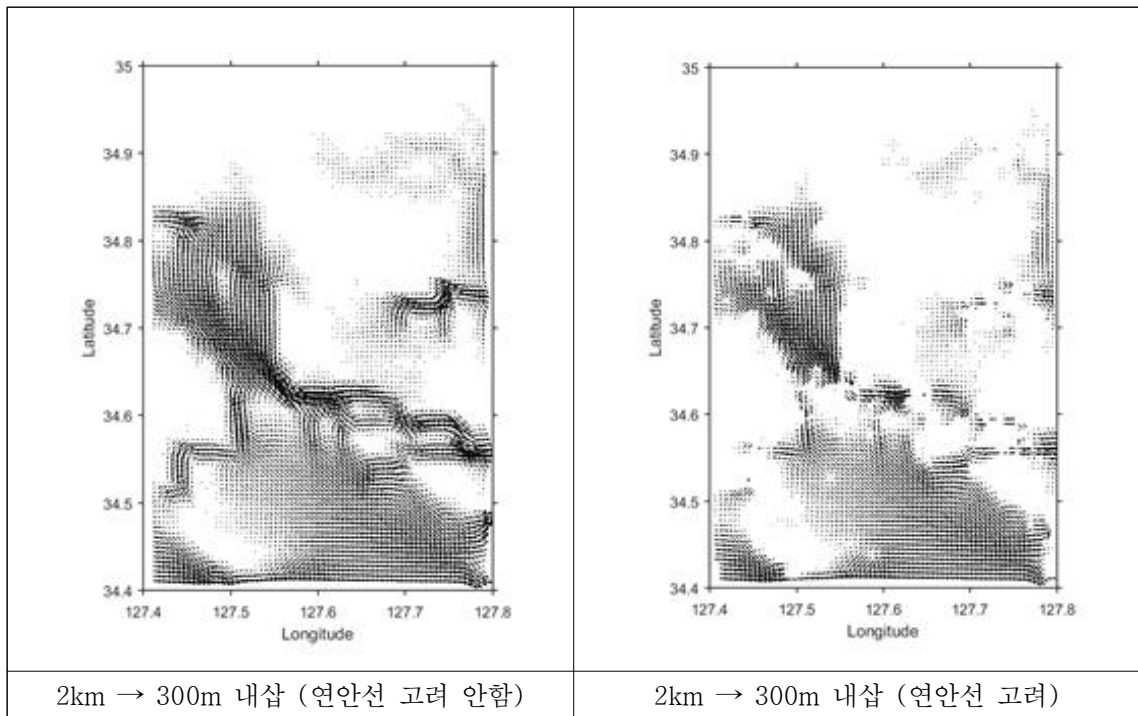


그림 5. 입력자료 내삽 결과

## 4.2 현장 실험 결과 분석 및 모델 검증

### 4.2.1 표류실험 결과 수집/분석

- 표류 실험 결과 수집
  - 한국해양과학기술원에서 수행한 현장 표류부이 실험 자료 수집 (2015년) : 가거도 인근 헬기 추락 사고 이후 표층 및 중층 표류에 대한 실험 수행, 표층 및 중층 표류 검증을 위한 drogue 제작



그림 6. 현장실험에 사용된 drogue



그림 7. 표류부이 투하 시 및 투하 후 표류 모습

- 표층 표류 부이는 투하 일(2015년 6월 17일)로부터 6개월 동안 표류하다가 중국해상에서 신호 두절, 표류 동안 가거초 과학기지, 서해 중부부이 주변을 통과

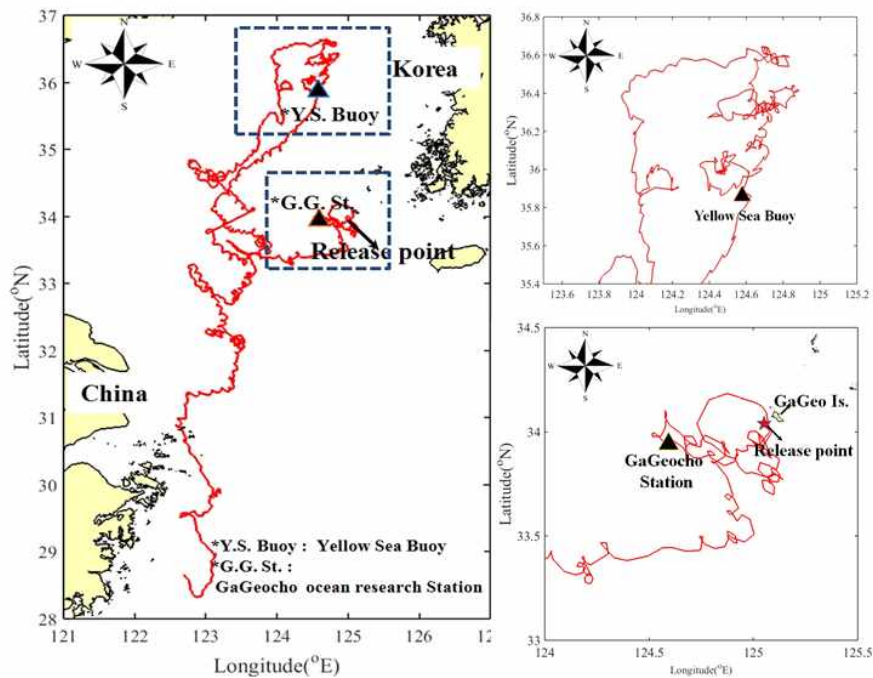


그림 8. 표층 표류부이의 이동경로

- 한국해양과학기술원에서 수행한 현장 표류부이 실험 자료 수집 (2016년) : 2016년 8월 18일~25일까지 이어도, 소청초, 가거초, 황중부이 주변 해역에 대한 승선 조사 실시, 소청초, 황해중부부이, 가거초, 이어도 과학기지 인근 해서에 총 7기의 표류부이 투하
- 표류부이의 사양은 표 6과 같음



그림 9. 부이 모양 및 투하 모습

[표 6] 표류부이 사양

- 크기 : Ø214mm x 높이 400mm ( 안테나 포함 높이 : 800mm )
- Aqua Drift 무게 : 4kg ( 웨이트 포함 )
- 배터리 팩 용량 : 7.5VDC 12.5Ah ( Alkaline D Size 5EA )
- GPS 정확도 : 2.5m 이내 95% 이상
- 소모 전류 : 동작 시 - 약 44mA, Sleep 시 - 약 0.23mA
- 기타 사항
  - 자석을 이용한 동작 ON, OFF 가능
  - 동작 상태 확인을 위한 LED 장착byte의 내부 메모리 장착
  - Aqua Drift의 식별을 위한 깃발 부착
  - 관측된 GPS 데이터의 실시간 전송

- 이어도호 항적을 따라 소청초 해양과학기지부터 남하하면서 7개 정점에서 총 7대의 Aqua Drift 투하
- 부이는 전체적으로 남서방향으로 이동하였음 투하 위치와 이동경로는 그림 10과 같음

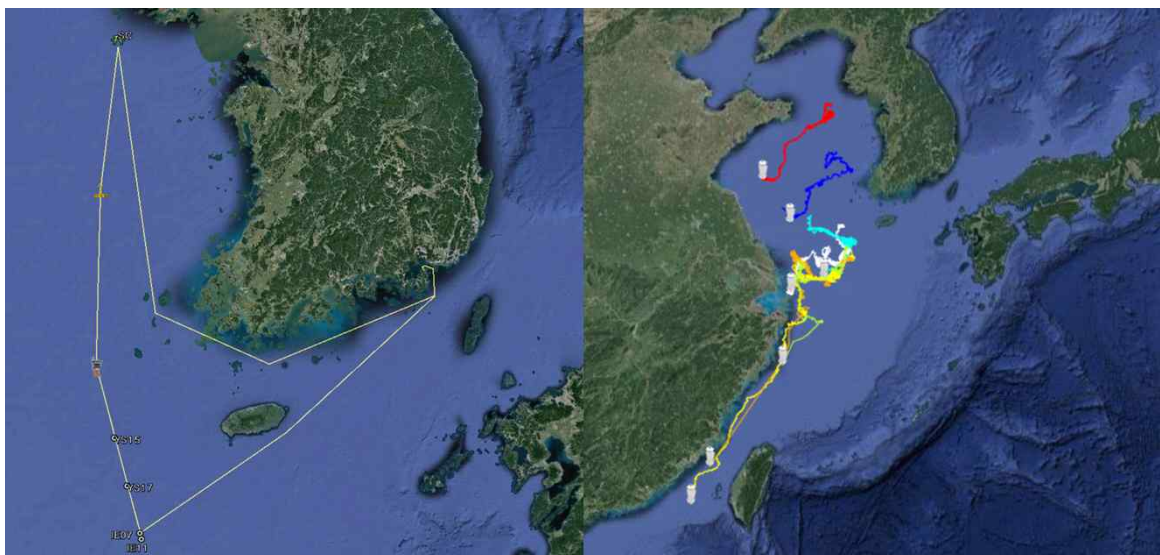


그림 10. 부이 투하 위치(좌)와 이동경로(우)

4.2.2 모델 검증/평가

- 입자추적 수치모델 수행
  - 표류예측 모델의 정확도는 바람 및 유속 등의 입력 자료의 정확도와 표류체의 특성 및 초기시간, 위치에 좌우되며, 표류체에 작용하는 바람의 계수에 큰 영향을 받음
  - 현장 표류부이 실험의 결과와 비교를 통해 표류부이의 적절한 바람 계수 산정 연구 수행
- 현장 실험 결과 검증 (2015년 실험 수행 분)
  - 입자추적 모델 계산을 통해 표류체의 적정 바람계수 산정하기 위해 표류부이 이동경로에서 매 12시간마다 24시간씩 표류예측을 수행하여 부이이동과 모델의 예측 값을 비교/검증
  - 바람계수(wind coefficient : W.C.)를 0, 1~5%까지 0.2%간격으로 나누어 총 22 case에 대한 실험 진행
  - 표류예측의 정확도는 매 시간별 입자추적 예측결과와 같은 시각 표류부이 위치의 거리차를 계산하여 예측결과 반경 1 km 이내에 표류부이가 위치하는 비율로 평가 (1 km 의 의미는 해상에서 표류체 육안 식별 가능 거리를 1 km로 판단한 것임)

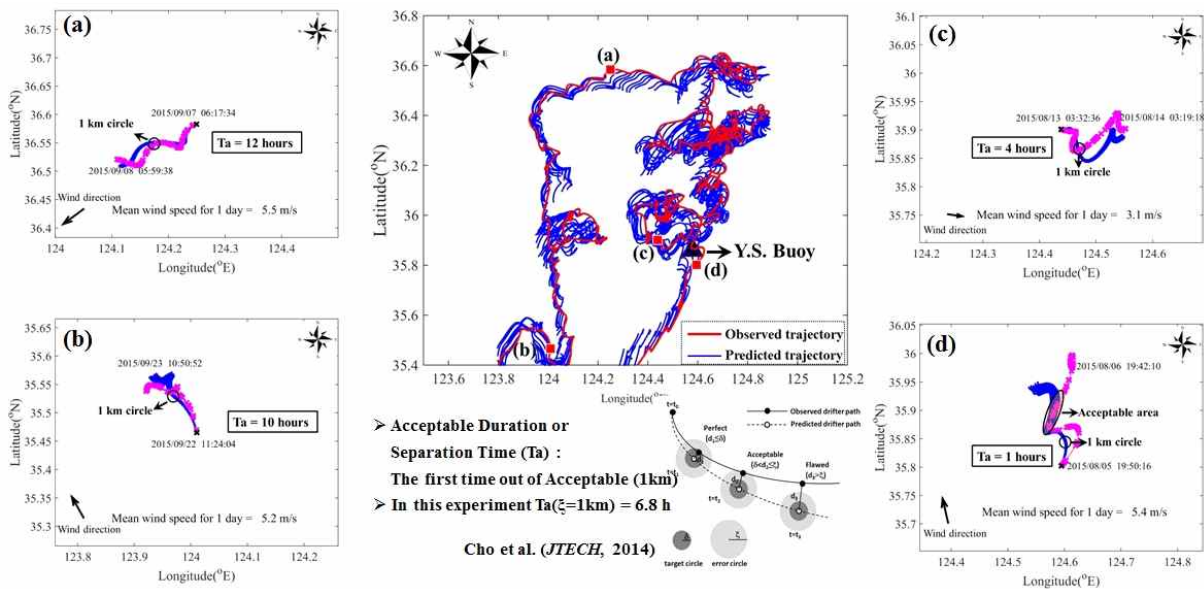


그림 11 표류부이에 대한 모델(파란색)과 실험(자주색) 결과의 비교

## 해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축

- 현장 실험 평가 (2015년 실험 수행 분)
  - 최적의 바람계수는 바람의 세기에 따라 다르게 나타남. 바람의 세기 (풍속; m/s) 에 대한 최적의 바람계수 값은 <바람계수 =  $-0.0041 \times (\text{바람세기}) + 0.0636$ > 을 보임
  - 이에 위의 식을 이용하여 바람의 세기별 바람계수 값을 산정하여 입자추적 모델 재수행
  - 그 결과 바람 계수들 중 모델 일치도가 가장 높았던 바람 계수 0.032 대비 10 % 이상 향상됨을 보임

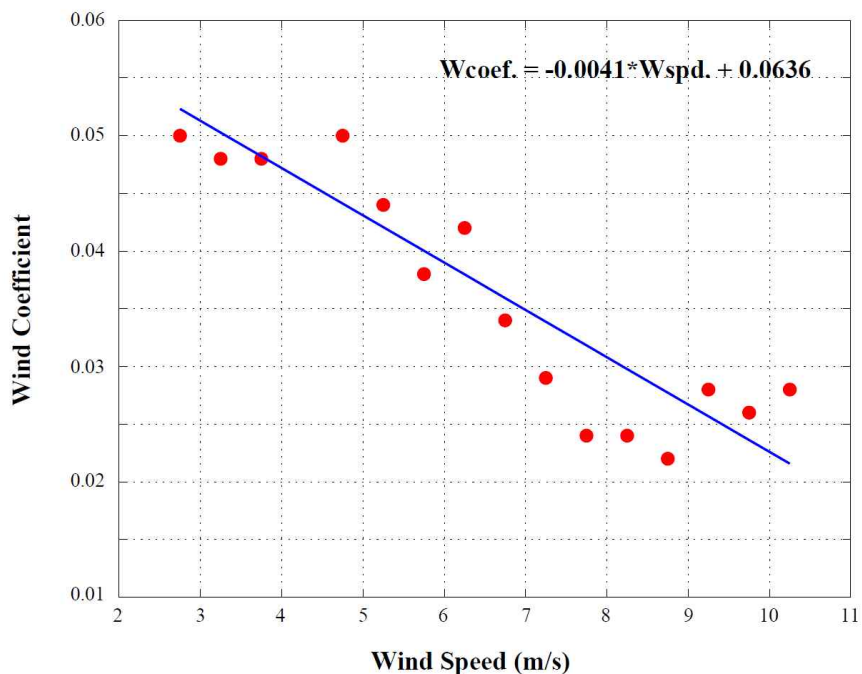


그림 12 바람 세기에 대한 최적의 바람계수 분포

- 현장 실험 결과 검증 (2016년 실험 수행 분)
  - 투하한 7기의 부이 중 소청초 해양과학기지과 황해중부부이 인근 해역에서 투하한 부이에 대한 바람 계수별 입자추적 모델 결과를 통해 최적의 바람계수를 산정
  - 입자추적 모델 수행 기간 : 2016년 8월 24일 ~ 10월 9일
  - 바람계수(wind coefficient : W.C.)를 0, 1~5%까지 0.2%간격으로 나누어 총 22 case에 대한 실험 진행
  - 실험결과 해당 부이에 대해서는 바람계수 1.4 ~ 1.8 % 가 가장 적절한 계수로 보임.

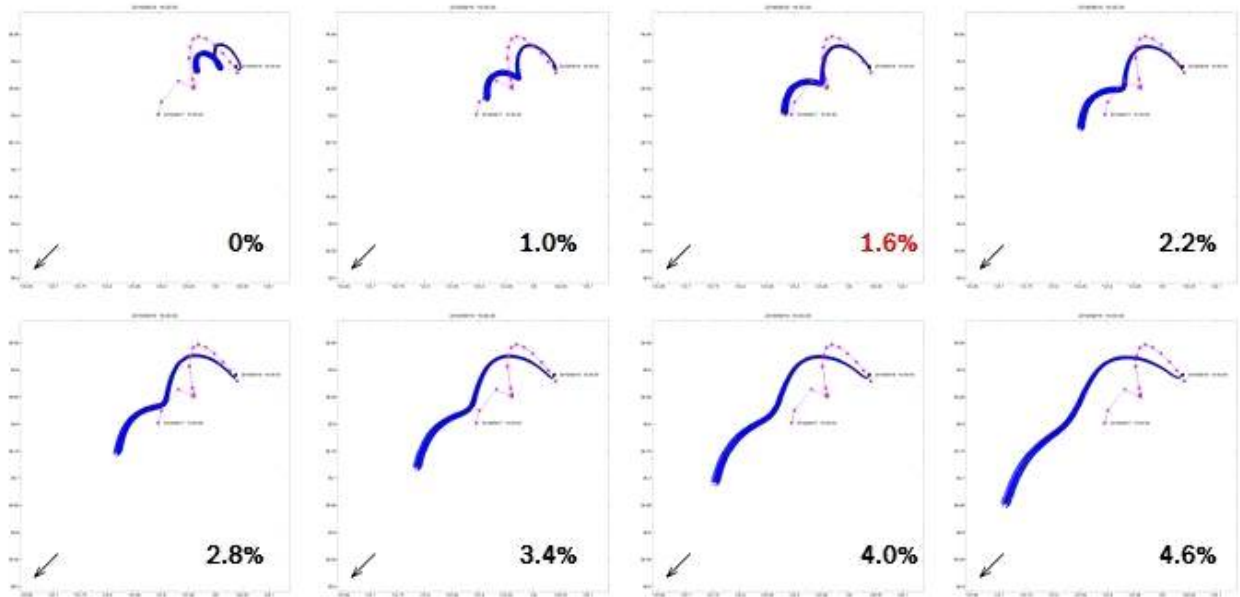


그림 13 현장 부이에 대한 모델(파란색)과 실험(자주색) 결과의 비교







## 참고문헌

---

---



- Allen, A. and Plourde, J.V., 1999. Review of leeway: Field experiments and implementation. U.S. Coast Guard Rep. CG-D-08-99, 351.
- Allen, A., 2005. Leeway divergence. U.S. Coast Guard Rep. CG-D- 05-05, 128.
- Cancino, L. and Neves, R., 1999. Hydrodynamic and sediment suspension modeling in estuarine systems. Part I: Description of the numerical models. *Journal of Marine Systems*, 22, 105–116.
- Cho, K.H., Choi, J.Y., Jeong, S.H., Choi, J.W., Kwon, J.I. and Park, K.S., 2013. Development of a skill assessment tool for the Korea operational oceanographic system, *Acta Oceanologica Sinica*, 32(9), 74–81.
- Cho, K.H., Li, Y., Wang, H., Park, K.S., Choi, J.Y. and Shin, K.I., 2014. Development and validation of an operational search and rescue modeling system for the Yellow Sea and the East and South China Seas, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 31, 197–215.
- Korea Coast Guard, 2013. Korea Coast Guard 2013 White paper (in Korean).
- Park, K.S., Heo, K.Y., Jun, K.C., Kwon, J.I., Kim, J., Choi, J.Y., Cho, K.H., Choi, B.J., Seo, S.N., Kim, Y.H., Kim, S.D., Yang, C.S., Lee, J.C., Kim, S.I., Kim, S.J., Choi, J.W. and Jeong S.H., 2015. Development of the operational oceanographic system of Korea. *Ocean Science Journal*, 50(2), 353–369.
- Shim, J.S., Lee, J.H., Kim, Y.C. and Min, I.K., 2009. Construction of Gageocho Ocean Research Station. In: *Proceeding of the Korean Society of Civil Engineers in 2009* (in Korean), 1085–1088.
- Shim, J.S., Lee, D.Y., Kim, S.J., Min, I.K. and Jeong, J.Y., 2009. Application of a large ocean observation buoy in the middle area of the Yellow Sea. *Journal of Ocean and Polar Research* (in Korean), 31(4), 401–414.





## 중간진도보고회의 결과

---



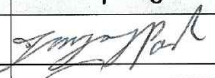


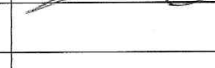
## 기관 주요사업 진도보고회 결과보고서

<b>과 제 명</b>	해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축		<b>과제책임자</b>	<b>최진용</b>
<b>연구기간</b>	2016.04.01.~2016.12.31	<b>개최일시 및 장소</b>	2016.08.29. 15:00~ 16:00 해양예보종합상황실	
<b>참 석 자</b>	박광순, 김상익, 이종찬, 박준용 (이상 자문위원), 최진용, 전기천, 권재일, 최정운 (이상 연구참여자)			
<b>총 합 의 견</b>				
<p><b>1) 연구의 전반적인 진척도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전반적으로 연구가 잘 진행되고 있음 (공통의견)</li> </ul> <p><b>2) 연구개발목표의 정성적 및 정량적 달성도</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계획에 따라 자료수집 및 서버구축 등 달성도를 잘 맞추어 가고 있음(박광순, 이종찬, 박준용)</li> <li>- 생성된 자료의 정성적인 비교가 필요함 (김상익)</li> </ul> <p><b>3) 학술 활동 및 홍보실적</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 학회 발표를 잘 활용하기 바람 (박광순, 김상익, 박준용)</li> </ul> <p><b>4) 향후 개선 및 보완사항</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최종보고회에서는 시연을 통한 결과 제시가 필요함 (박광순)</li> <li>- 생성된 입력자료의 평가 진행 후 기술적 자료 생성 보완 필요(김상익)</li> <li>- Cherry 모델을 제외하고 연구를 진행하는 것이 좋을 듯 보임 (박준용)</li> </ul>				

**해상 입자추적 모델을 위한 입자추적 자료 생성 시스템 구축**

분 야 별 의 견	<자문위원 구두 지시 사항 요약>
<p>□ 성과목표 1 : 자료관리 서버구축</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발표자료 중 타기관의 기관별 사용현황을 자세히 명시할 필요가 있음.</li> <li>- 자료관리 서버 구축시 모델 선정 이유를 명시할 필요가 있고, Cherry 는 제외하고, HYCOM은 KOOS 가 커버하지 못하는 영역에 사용할 수 있으므로 필요함</li> </ul>	
<p>□ 성과목표 2 : 입자추적모델 검증/평가</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 여러 가지 모델의 상용결과를 제시하여 검증 (Back up 자료로서의 검증 확인) 필요</li> <li>- 최종보고 시 계산시간 단축정도, 정확도 향상 정도를 제시하기 바람</li> </ul>	
<p>□ 성과목표 3 : 종합의견</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 과업의 필요성에 대하여 현재의 문제점을 부각하여 해결방안을 명확하게 설명할 필요가 있음</li> </ul>	

첨부 : 자문단 명단

구분	소 속	성명/직급	전 공	서 명
내부	한국해양지질연구소	박준동 / 책임	해양학	
	해양과학기술정보센터	김성익 / 책임	해양학	
	"	이종찬 / 책임	해양학	
내부 외부	"	김희준 / 책임	해양학	

※ 서명란을 반드시 기입하여야 함. (항목 추가 가능)



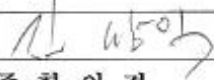
별첨 2)

기관 주요사업 진도보고회 결과보고서

과 제 명		과제책임자	
연구기간		개최일시 및 장소	
참석자	홍길동		
종합의견			
<p>1) 연구의 전반적인 진척도</p> <p>예시) 과제계획서 상의 일정대로 연구가 잘 진행되고 있음 (홍길동)</p> <p>양호함</p> <p>2) 연구개발목표의 정성적 및 정량적 달성도</p> <p>계획대로 추진되고 있음</p> <p>3) 학술 활동 및 홍보실적</p> <p>학회 발표를 잘 진행해 나갈 것</p> <p>4) 향후 개선 및 보완사항</p> <p>회계 담당자 등 시연에 통한 경과 제시가 되었으면 함</p>			

별첨 2)

기관 주요사업 진도보고회 결과보고서

과 제 명		과제책임자	
연구기간		개최일시 및 장소	
참 석 자			
<b>중 합 의 건</b>			
<p>1) 연구의 전반적인 진척도</p> <p>예시) 과제계획서 상의 일정대로 연구가 잘 진행되고 있음 (홍길동)</p> <p style="margin-left: 40px;">계획대비 생생하게 진행됨.</p>			
<p>2) 연구개발목표의 정성적 및 정량적 달성도</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 정량적 목표 달성.</li> <li>◦ 생생한 자료로 정성적인 비교됨.</li> </ul>			
<p>3) 학술 활동 및 홍보실적</p> <p style="margin-left: 40px;">예강 (이원) 발표자료) 진행.</p>			
<p>4) 향후 개선 및 보완사항</p> <p style="margin-left: 40px;">생생한 입력자료의 평가 진행 후 자료생성 보완 (기동제 방법)</p>			

별첨 2)

## 기관 주요사업 진도보고회 결과보고서

과 제 명		과제책임자	
연구기간		개최일시 및 장소	
참석자	박 준 용		
총 합 의 건			
<p>1) 연구의 전반적인 진척도</p> <p>예시) 과제계획서 상의 일정대로 연구가 잘 진행되고 있음 (홍길동)  연구일정대로 연구가 적절히 진행되고 있음</p> <p>2) 연구개발목표의 정성적 및 정량적 달성도</p> <p>계획에 따라 자료수집 및 서버구축 등 정성적 및 정량적 달성도를 잘 맞추어 하고 있음.</p> <p>3) 학술 활동 및 홍보실적</p> <p>기술학회에서 연구경력은 잘 발표하고는 기대감</p> <p>4) 향후 개선 및 보완사항</p> <p>Cherry 모델은 제외하러 연구는 진행하는 것이 좋은 것 같음.</p>			

별첨 2)

## 기관 주요사업 진도보고회 결과보고서

과 제 명	해상 입자추적	과제책임자	
연구기간		개최일시 및 장소	
참석자	이종찬		
<b>종합 의견</b>			
<p>1) 연구의 전반적인 진척도</p> <p style="padding-left: 40px;">예시) 과제계획서 상의 일정대로 연구가 잘 진행되고 있음 (홍길동)</p> <p style="text-align: center; padding-left: 100px;">양호</p>			
<p>2) 연구개발목표의 정성적 및 정량적 달성도</p> <p style="text-align: center; padding-left: 100px;">양호</p>			
<p>3) 학술 활동 및 홍보실적</p>			
<p>4) 향후 개선 및 보완사항</p>			