

BSPE99454-11268-2

원격탐사와 무인자율해상로봇(Wave
Glider)의 융합기술 개발과 자료
검증

2017. 02. 27.

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “원격탐사와 무인자율해상로봇(Wave Glider)의 융합기술 개발과 자료 검증” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2017. 02. 27.

총괄연구책임자 : 손영백

참 여 연 구 원 : 유신재, 정섬규, 최종국

보고서 요약

보고서번호	BSPE99454-11268-2		연구기간	2016. 04. 01 ~ 2016. 12. 31	
연구사업명	창의연구과제				
연구과제명	원격탐사와 무인자율해상로봇(Wave Glider)의 융합기술 개발과 자료 검증				
연구책임자	손영백	참여 연구원수	총 : 4명 내부 : 4명 외부 : 명	해당단계 연구비	정부: 50,000천원 기업: 천원 계: 50,000천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 제주특성연구실		참여기업명		
위탁연구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요 약			보고서면수	74	
<p>해양을 관측하는 작업은 범 국가 차원의 해양/기상모델링, 조선 해양산업, 해양 R&D, 해상안보 등 모든 분야에 걸쳐 매우 중요한 핵심적 요소이다. 고정형 부이체계는 관측범위가 제한적이고, 기타 소모성 표류형 관측장비는 관심해역에 대한 집중 관측이 제한되어 한계에 부딪히고 있다. 이를 극복하기 위해 미국은 무인자율해상로봇인 Wave Glider를 개발하고, 2009년부터 민간 및 국방 분야에 운용하고 있다. Wave glider는 부력체와 수중의 글라이더로 구성되어 파도에 의한 상하 움직임이 수중의 글라이더에 전달, 글라이더에 부착된 여러 날개의 양력으로 전진하며 장거리 기동이 가능하고 태양전지/GPS/위성통신 장치 등에 의해 자율적으로 이동하는 이동형 부이체계로서 다양한 센서 탑재가 가능하여 기존 관측의 제한점을 모두 극복하는 차세대 관측개념으로 급부상 중이다. 이동형 부이체계를 활용한 국지적 관측과 위성을 활용한 광역의 모니터링을 연계한 통합적 해상관측체계 구축은 막대한 시너지 효과를 창출 할 것이다.</p> <p>본 연구의 최종목표는 원격탐사기술과 Wave Glider 기술을 연계할 수 있는 기술 개발을 통하여 위성에서 산출된 자료의 검증을 수행하고자 한다. 주요연구 내용은</p> <p>첫째 위성과 Wave Glider에서 동시 관측 가능 항목 분석 및 선정, 둘째 위성-Wave Glider 매칭자료 생성과 위성자료 검증 연구를 수행하고, 셋째 원격탐사기술과 Wave Glider 기술을 융합하여 활용 가능한 기술 및 자료검증 결과를 보고서로 작성할 것이다.</p> <p>위성 자료 활용의 극대화를 위해서, 위성에서 추출할 수 있는 다양한 자료(수온, 클로로필, 파고 등)에 대한 새로운 검증 방법으로 Wave Glider를 운영하면서 광역적-국지적(다양한 범위, 예; 저농도~고농도, 저온~고온 등) 자료를 수집하여 위성자료를 검증하고 분석된 결과들은 학회 및 논문 통하여 발표할 계획이고, 보고서 작성으로 다양한 분야에 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다.</p>					
색인어	한글	Wave Glider, 원격탐사, 표층수온, 클로로필, 저염분수			
	영어	Wave Glider, Remote Sensing, SST, Chlorophyll, Low-salinity Water			

요 약 문

I. 제 목

원격탐사와 무인자율해상로봇(Wave Glider)의 융합기술 개발과 자료 검증

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

- 광역(원격탐사) - 국지적(Wave Glider) 감시망 기술연계를 통한 위성자료 검증 및 융합기술 개발 연구

2. 연구개발의 필요성

- 위성을 활용한 광역 해역에 대한 현황 파악과 무인자율수상체계를 이용한 국지적 해역에 대한 정밀 탐사 및 모니터링 기술 필요
 - 고정형 부이체계 및 표류형 관측장비는 관심해역에 대한 집중 관측이 제한됨
 - 원격탐사를 활용한 광역 해역의 해양/기상 현상 파악이 필요
 - 장거리·원거리 이동 가능한 무인자율수상체계를 이용한 해양재난·재해 발생현장 주변의 기상/해양환경 관측 기술 접목이 필요함
 - 또한 악천후에서도 관측이 가능한 무인관측체계 기술 개발이 필요함
- 해양관측위성을 통한 한반도 주변 해역을 모니터링하고 분석하는 환경분석기술 개발은 녹색성장관련 신산업 발전에 기여
 - 적조, 어장정보, 수산업 등 유관산업에 과학적 기초 자료 제공을 통한 발전에 기여
- 현장관측은 위성자료의 검보정 연구에 필수적인 과정이며 이를 통해서 신뢰성 있는 자료를 생성하여 제공하는 노력이 필요함

III. 연구개발 내용 및 범위

1. 연구기간

- 2016년 04월 01일 - 2016년 12월 31일

2. 연구개발의 내용

- 위성과 Wave Glider에서 관측 가능한 항목 분석 및 선정
 - Wave Glider 운영시 탑재 가능한 센서와 다중 위성(해색, 열적외선, macrowave 위성 등)에서 관측 가능한 항목 분석 및 선정

- 위성-Wave Glider 비교 가능한 관측 자료 검증
 - Wave Glider 다양한 해역 운용(저농도(저온)~고농도(고온))으로 다양한 자료 생산
 - Wave Glider 매칭 자료 생성으로 자료 정확도 검증
- 위성-wave glider 기술융합 활용 기술과 자료 검증 결과 보고서 작성
 - 두 기술을 융합한 활용 방법 및 자료 검증 결과 제시

IV. 연구개발 결과

- 동중국해는 중국 대륙에서 유입되는 장강의 영향 및 연안 용승으로 인하여 상대적으로 높은 생산성을 나타내는 해역이다. 특히 여름철 장강에서 유입된 담수는 장강 희석수를 형성하여 제주도 및 대만난류의 영향권까지 발달된다. 2016년 하계의 경우 장강의 영향을 받는 남해 및 제주도를 포함한 동중국해에서는 고수온 및 저염수 영향이 평년대비 증가하였다. 위성에서 추정된 2016년 7월과 8월의 표층수온은 1998년 이후 가장 높은 수온을 나타냈고, 평균 보다 2~3 °C 이상 높은 수온이 동중국해 전 해역에서 나타났다. 표층수온은 2015년 대비 제주도 주변 해역에서 3°C 이상의 차이를 나타냈다. 장강 방류량은 99년 이전을 제외하고 최근 17년 동안 가장 높은 방류량을 나타냈다. 제주도 주변에서는 7월과 8월에 장강희석수의 영향으로 25 psu 이하의 저염수가 연안에서 관측되었다. 이런 시/공간적 변화를 이해하기 위해서 Wave Glider를 2016년 8월 투입하여 제주도 서쪽해역과 남쪽해역에서 연속적으로 1000km 이상의 항적거리를 관측하였다. Wave Glider 및 위성자료 검증을 위하여 현장관측도 병행하였다. 현장관측에서 32 °C 이상의 고수온이 관측되었고, 염분은 연안에서 수심 15 m까지 28 psu 저염수가 관측되었고, 외해에서는 수심 10 m 정도까지 저염수가 확장되어 있는 것을 확인하였다.
- Wave Glider는 평균 1노트 이상으로 운항하면서 제주도 서쪽에서 저염수 관측 및 고온 현상들이 관측되었고 이는 위성에서 관측된 자료와 일치하였다. 위성에서 추정된 자료에서 2016년 8월 13일에서 제주도 주변해역에서 고농도의 클로로필 관측되었고, 27 psu 이하의 저염수의 영향을 받고 있는 것으로 관측되었다. 2016년 8월 20일 영상에서 동중국해에는 여전히 고농도이 클로로필과 저염수가 존재하는 것으로 나타났다. Wave Glider 관측시 클로로필이 증가된 해역에서 28 psu 정도의 저염수가 연속적으로 관측되었다. 위성과 Wave Glider에서 관측된 결과는 동중국해 고수온 현상은 기후변화같은 전세계 기후변화에 의한 영향도 있지만, 저염수 확장에 따른 해양의 성층이 강화되면서 나타난 현상으로 사료된다.

V. 연구개발결과의 활용계획

- 함정, 항공기 및 Wave Glider를 이용한 해양감시망 구축 기반 마련
- 다양한 유형의 자료에 대한 효율적 관리 및 공유 가능
- 부영양화 및 기후변화에 의한 해양생태계 변화 탐지 및 예보시스템 구축
- 광역적/국지적 규모의 해양환경변화 탐지 및 예보 기술 확보
- 기초 및 재해관련 연구에 빅데이터 분석 방법 및 시스템 활용
- 시간해상도 및 공간해상도 높은 정밀 분석이 필요한 연안 환경 모니터링 연구 활용 연구 유도

SUMMARY

I. Title

Development of converging technology and data validation using remote sensing and Wave Glider

II. Necessities and Objectives of the study

1. Objectives of the study

- Development of satellite data validation and converging technology using regional(satellite) and local(Wave Glider) surveillance system

2. Necessities of the study

- The detection and monitoring methods are need for understanding the status of the regional and local area using satellite and unmanned autonomous vehicle
 - the buoy and drift system is limited observations in interesting area
 - the monitoring technology of marine and atmosphere using the unmanned autonomous vehicle is used in the marine accident and disaster area
 - the unmanned autonomous vehicle is used in the severe weather conditions
- The ocean observation satellite give the chance the monitoring and analysis around Korea Peninsula
 - providing scientific data for red tide, fishery ground, and fishery industry
- The in-situ observation is need for the satellite cal/val study and then to provide the reliable scientific data

III. Research Scope

1. Period of the study

- April 1, 2016 - December 31, 2016

2. Contents and scope of the study

- The decision the synchronous observation contents from satellite and Wave Glider

- the comparison and analysis from payload sensors of Wave Glider and satellite(e.g. ocean color, thermal and microwave)
- The data validation using comparable products of satellite and Wave Glider
- the operation of Wave Glider in the ocean as the wide and various variation areas(low concentration(low sea surface temperature) ~ high concentration(high sea surface temperature))
- assessment of the accuracy from matching satellite and Wave Glider data
- The report for converging technology and validation data with matching satellite and Wave Glider data
- the providing application and technology with satellite and Wave Glider

IV. Results

- The Changjiang river water in summer disperses toward Jeju Island and then into the East/Japan Sea due to dominant southerly wind. The Changjiang freshwater contributes to the upper ocean variability in the East China Sea (ECS) and Yellow Sea (YS). Recently, the surface water in summer 2016 showed the highest sea surface temperature that increased $>2\sim 3$ degree C compared to 2015 in the ECS. The Changjiang river also was loaded the wide range of the freshwater to offshore ECS with the highest value from 2000. Large amount of freshwater can create a pronounced salinity-induced mixed layer (ML) above the top of the thermocline. The layer between the base of the ML and the top of the thermocline is called a barrier layer (BL), because it acts as a barrier that isolates the warm surface water from cold deep water. Increasing Changjiang river discharge maintains a high sea surface temperature water through BL that links to enhance wave column stratification in summer.
- To trace offshore high-temperature and low-salinity waters in the ECS, a proxy was developed using the Wave Glider and satellite data during summer 2016. Wave Glider (wave-propelled autonomous vehicle) was launched from the south of Jeju Island in Aug. 19, 2016 and navigated along and across lines (~ 1000 km) until Sep. 22, 2016. A comparison of

ocean color and Wave Glider-measured data revealed the high-temperature and low-salinity waters with west-east direction in the west of Jeju Island. Although Wave Glider-measured water temperature and salinity showed the various ranges, the higher water temperature and lower salinity were > 32 degree C and < 26 psu. The matching data of Wave Glider and satellite also showed that the high temperature water observed along the west part of Jeju Island compared to the east part of Jeju (e.g. Kuroshio branch region). From satellite data (satellite-derived sea surface salinity and sea surface temperature), the highest sea surface temperature occurred in the middle of August 2016 and reversely correlated with salinity, which developed in the area in the middle of ECS. Satellite and Wave Glider data greatly increases the estimate of the temporal and spatial variations for interpreting sea surface warming.

V. Applications

- Development the marine surveillance system using naval vessel, aircraft, and Wave Glider
- Providing the reliable and useful management for various format data
- Development the detection and early warning system of the ecosystem change from nutrification and climate change
- Development the detection and early warning system of ocean environmental change in regional and local scale
- Application to disaster prevention studies using big data analysis system
- Developing the coastal monitoring techniques with the high temporal and spatial resolution

CONTENTS

Summary	i
Contents	vii
List of Figures	ix
Chapter I Outline of the study	1
Section 1 Objectives and necessities of the study	1
Section 2 Contents and scopes of the study	3
Chapter II States of technical deveolpment in the home and foreign countries	5
Section 1 Trends of study in Korea	5
Section 2 Trends of study in foreign countries	8
Section 3 Status of current technology	9
Chapter III Results of the study	10
Section 1 Unmanned Vehicle System	10
Section 2 Wave Glider operation and data analysis	23
Section 3 The validation of satellite products	33
Section 4 Sea surface temperature warming in the ECS	39
Chapter IV Achievements of objectives and contributions to the related area	52
Section 1 Achievements of objectives	52
Section 2 Contributions to the related area	53
Chapter V Application plans of the results of the study	54
Chapter VI References	56

목 차

요 약 문	i
목 차	vii
그림목차	ix
제 1 장 개요	1
제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성	1
제 2 절 연구의 내용 및 범위	3
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	5
제 1 절 국내 연구 동향	5
제 2 절 국외 연구 동향	8
제 3 절 현재까지의 연구개발 현황	9
제 3 장 연구내용	10
제 1 절 무인관측체계	10
제 2 절 Wave Glider 운용 및 자료 분석	23
제 3 절 위성산출물 검증 연구	33
제 4 절 동중국해 고수온 현상	39
제 4 장 연구개발 목표달성도 및 대외기여도	52
제 1 절 연구개발 목표달성도	52
제 2 절 대외기여도	53
제 5 장 연구개발 결과의 활용계획(과제 수요조사)	54
제 6 장 참고문헌	56

List of Figures

Fig. 2-1-1. The application between satellite product and ocean phenomenon.	6
Fig. 2-1-2. The multi-satellite sensor and acquisition way.	7
Fig. 3-1-1. Classification of the Unmanned System(US) in the surface and underwater.	12
Fig. 3-1-2. Classification of the Unmanned System(US) in the underwater.	13
Fig. 3-1-3. The scheme of the control and command.	14
Fig. 3-1-4. The application for UAV in Korea.	15
Fig. 3-1-5. EU marine surveillance system.	16
Fig. 3-1-6. The concept of US coastal guard autonomous sensor network.	16
Fig. 3-1-7. The concept of Australian coastal guard surveillance system.	17
Fig. 3-1-8. The commercial unmanned surface vehicle system.	18
Fig. 3-1-9 Wave Glider concept and payload sensor.	18
Fig. 3-1-10. The case of Wave Glider application	19
Fig. 3-1-11. The management strategy of Wave Glider(Liquid Robotics).	19
Fig. 3-1-12. The commercial unmanned underwater vehicle system.	20
Fig. 3-1-13. The commercial unmanned underwater drone system.	21
Fig. 3-1-14. The concept of the internet of underwater things(IoUT).	22
Fig. 3-2-1. Wave Glider operation system and payload sensor.	25
Fig. 3-2-2. Wave Glider SV3.	25
Fig. 3-2-3. Wave Glider operation program based on IoT.	26
Fig. 3-2-4. ADCP spec loaded in Wave Glider.	26
Fig. 3-2-5. Fluorometer spec loaded in Wave Glider.	27
Fig. 3-2-6. SBE CTD spec loaded in Wave Glider.	27
Fig. 3-2-7. Weather station spec loaded in Wave Glider.	27
Fig. 3-2-8. Wave Glider operation period and area.	28
Fig. 3-2-9. The typhoon pathway and ocean status photos.	28
Fig. 3-2-10. The photos during Wave Glider launch and recovery.	29
Fig. 3-2-11. The spatial and temporal values in salinity, temperature, chlorophyll-a, turbidity.	30
Fig. 3-2-12. The time-series data in salinity, temperature, chlorophyll-a, turbidity ...	31
Fig. 3-3-1. In-situ CTD profile on Aug. 19 and 20, 2016.	36
Fig. 3-3-2. Comparison between satellite and Wave Glider data(sea surface temperature, chlorophyll-a, salinity).	37

Fig. 3-3-3. Spatial comparison between satellite and Wave Glider data(sea surface temperature, chlorophyll-a, salinity) in Aug. 24, 2016.	37
Fig. 3-4-1. Global sea surface temperature variation during the past and future.	40
Fig. 3-4-2. Global land and ocean temperature variations(http://www.sciencetimes.co.kr/).	41
Fig. 3-4-3. Year to year variation of sea surface temperature in the waters off Jeju (Sanji) on annual, February, and August for 86 years(1924-2009)(Seo et al., 2011).	42
Fig. 3-4-4. The time series of SST averaged over the region 25-40°N, 118-127°E during winter for the period 1950-2008(Yeh and Kim, 2010).	43
Fig. 3-4-5. Inter-annual variations and trends of annual mean value for sea surface temperature(Son et al., 2012).	44
Fig. 3-4-6. Inter-annual variations and trends of annual mean value for sea surface temperature(1985-2014).	44
Fig. 3-4-7. The anomaly and mean value of summer sea surface temperature(1998-2016) in the East China Sea.	45
Fig. 3-4-8. The spatial and temporal variation of sea surface and air temperature between summer 2015 and 2016 in the East China Sea.	46
Fig. 3-4-9. The climatological mean values of chlorophyll, sea surface temperature, salinity, and wind in the East China Sea.	47
Fig. 3-4-10. The Changjiang River discharge variation and anomaly during summer season.	48
Fig. 3-4-11. Comparison between salinity vs. SST, salinity vs. turbidity, salinity vs. chlorophyll-a from Wave Glider data.	49
Fig. 3-4-12. The spatial and temporal variation of sea surface temperature, salinity, chlorophyll-a during summer 2016 in the East China Sea.	50
Fig. 3-4-13. The relationship between sea surface temperature and salinity in the horizontal line(Fig. 3-4-12).	50

제 1 장 개 요

제 1 절 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 목적

본 연구과제는 광역 감시망 체계 중인 하나인 위성 원격탐사 기술과 국지적 감시망 중
에 무인운용 시스템인 Wave Glider를 이용하여 위성자료 검증 및 두 감시망을 활용한 융합
기술 개발을 목적으로 하고 있다.

2. 연구사업의 필요성

가. 과학적 측면의 필요성

- 해양을 관측하는 작업은 범 국가 차원의 해양/기상모델링, 조선 해양산업, 해양 R&D, 해상안보 등 모든 분야에 걸쳐 매우 중요한 핵심적 요소임
 - 고정형 부이체계 및 표류형 관측장비는 관심해역에 대한 집중 관측이 제한됨
 - 원격탐사를 활용한 광역 해역의 해양/기상 현상 파악이 필요하고,
 - 장거리·원거리 이동 가능한 무인자율수상체계를 이용한 해양재난·재해 발생현장 주변의 기상/해양환경 관측 기술 접목이 필요함
 - 또한 악천후에서도 관측이 가능한 무인관측체계 기술 개발이 필요함
- 현장관측 만으로 관역의 해역에서 발생하는 현상을 파악하기 힘들기 때문에 위성을 활용한 접근이 필수적이고, 각 위성마다 시/공간 해상도 및 센서의 특성이 다르기 때문에 위성활용 극대화를 위해서는 다중위성의 특성을 종합하여 하나의 타깃(target)을 탐지하는 융합기술 개발이 필요
- 위성을 활용한 광역 해역에 대한 현황 파악과 무인자율수상체계를 이용한 국지적 해역에 대한 정밀 탐지 및 모니터링 기술 필요
- 악기상으로 인하여 관측이 제한되는 경우가 발생하기 때문에 조기 탐지 이후 이동경로 파악 및 이동경향 추정하기 위해서 연속적인 자료 제공 필요
- 위성 자료의 신뢰성 확보하기 위해서는 무인체계 운용으로 획득한 자료를 검보정과 모델 입력자료로 활용하고, 3차원 관측체계 구축을 통해 연속적/다목적 자료 제공으로 긴급한 사안에 대처하고 유실 없는 자료 제공 필요

나. 경제·산업적 측면의 필요성

- 해양관측위성을 통한 한반 주변 해역을 모니터링하고 분석하는 환경분석기술 개발은 녹색성장관련 신산업 발전에 기여

- 적조, 어장정보, 수산업 등 유관산업 자료 제공을 통한 발전에 기여
- 위성정보 축적 및 정량화 알고리즘 개발을 위한 노력은 광역 해양/육상 정보 파악에 기초적인 과학 자료와 장기 변화를 이해하는데 필요하고, 국내 수산업, 해양관광 등에 발생할 수 있는 피해를 최소화 시킬 수 있는 실시간 과학적 자료 제공 및 조기 탐지 자료 제공 기술 개발이 필요
- 한반도 연안은 의도적/비의도적으로 유입된 외래기원 환경유해물질에 의해 매년 심각한 오염, 생태계 교란, 관광자원 감소, 어장피해 등이 발생하고 있고, 최근 관리지침들이 마련되고 있으나 광역 해역에서 다른 시간적 차이를 가지고 침입하는 오염 인자들에 대한 탐지는 어려운 실정
 - 중국기원 저염분수 피해(1996년 : 60억 발생), 해파리 피해(2009년 : 최대 3,040억 추정), 제주연안 녹조 수거량(2006~2013년 : 8,200톤)
- 태풍은 2002년부터 2011년까지 우리나라에 연평균 2.9개가 내습을 하고, 각 각의 태풍에 의한 피해액은 약 8,635억원 임
 - 특히 2002년 태풍 루사와 2003년 매미의 경우 4조원이 넘는 경제적 피해 발생
- 기존의 적조 탐지는 직접 현장 조사를 통해 이루어지기 때문에 많은 비용과 시간이 요구되고, 또한 지역적으로 국한된 조사만으로 유해성 적조의 조기 탐지 및 모니터링에 한계가 있기 때문에 광역적 예보 시스템의 개발과 활용을 통하여 적조 피해를 줄이는 것이 바람직함
 - 양식어류 피해는 '95년 746억원, '03년 215억원, '07년 115억원, '13년 247억원에 달하며, 적조방제와 피해보구 총비용은 '13년도에만 약 600억원에 달함

다. 사회·문화적 측면의 필요성

- 국가와 국민의 안전을 도모하기 위해 해양 재난·재해에 대한 예측과 예방을 통해 피해 가능성을 최소화하는 과학적 노력이 필요함
- 현장관측은 위성자료의 검보정 연구에 필수적인 과정이며 이를 통해서 신뢰성 있는 자료를 생성하여 제공하는 노력이 필요함
- 지속적인 관측을 토대로 국지적-거시적 해양환경 변화에 대한 종합적 평가가 이루어지고 이를 토대로 환경개선 정책과 개발정책이 수립되어야 지속적인 발전이 가능함

제 2 절 연구의 내용 및 범위

1. 연구개발의 최종 목표

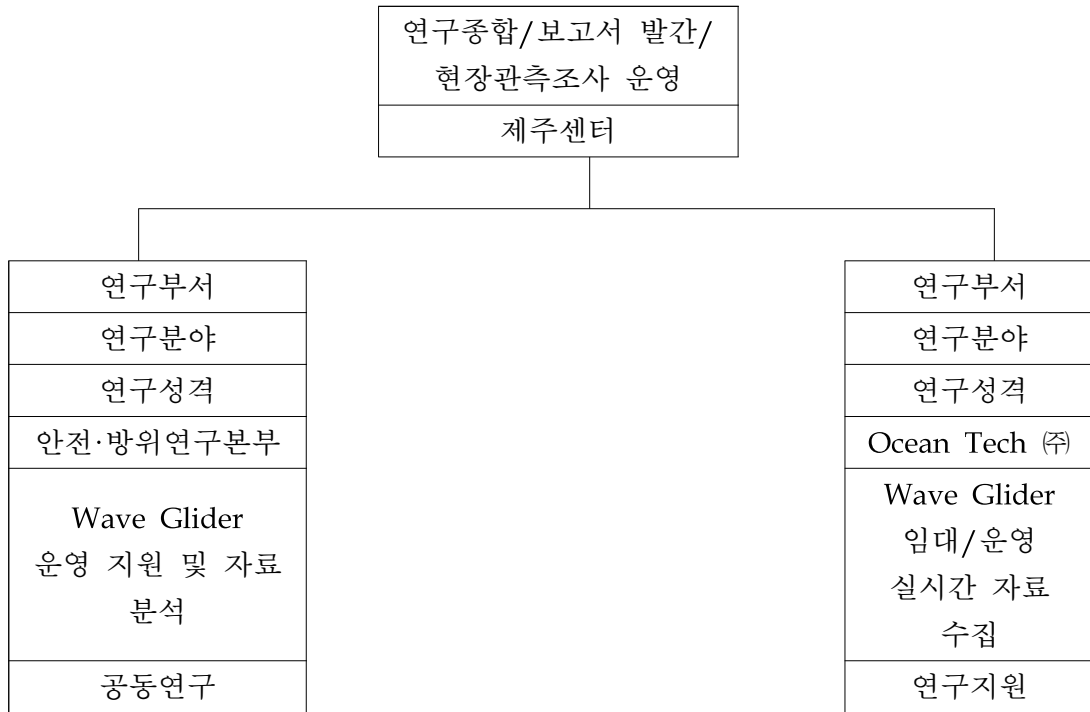
- 광역(원격탐사)-국지적(Wave Glider) 감시망 연계 위성자료 검증(수온, 클로로필, 파고 등) 및 융합 기술 개발 제안

2. 연구개발 세부목표 및 내용

목표	연구개발내용 및 범위
원격탐사-Wave Glider 연계 위성자료 검증 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 위성과 Wave Glider에서 관측 가능한 항목 분석 및 선정 <ul style="list-style-type: none"> - 다중위성 산출 항목 분석 - wave glider 관측 항목 분석(기압, 바람, 파고, 수온, 염분, 클로로필 등) ○ 비교 관측 가능한 항목 선정 ○ 위성-Wave Glider에서 관측된 자료 검증 <ul style="list-style-type: none"> - 광역적-국지적 해역 wave glider 운용 - 다양한 농도의 자료와 위성자료 비교 - Wave Glider 자료와 위성 자료 검증(알고리즘 검증)
원격탐사-Wave Glider 연계한 활용 기술 보고서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원격탐사-Wave Glider 활용 기술 보고서 작성 <ul style="list-style-type: none"> - 두 기술에서 관측된 자료 검증 - 기존 감시망 체계에 대한 분석 - 원격탐사-Wave Glider 연계 운영 및 활용 방법 제안

3. 연구개발 추진체계

- 위성-Wave Glider 자료 수집(제주센터 및 안전·방위연구본부)
 - 위성자료 수집 및 분석(제주센터)
 - Wave Glider 운영 지원(안전·방위연구본부)
- Wave Glider 운영 및 실시간 자료 제공(Ocean Tech (주))
 - Wave Glider 임대 및 운용 지원
 - 수신된 현장자료 실시간 자료 제공



4. 연구개발 수행방법

- Wave Glider 활용 연구 문헌자료 수집 및 분석
 - Wave Glider 탑재 센서 분석
 - 위성과 wave glider 융합 연구 사례 분석
- Wave Glider 운영 체계 분석
 - Wave Glider 운용자 자문 및 운영 회의 개최를 통한 효율적 운용 방안 도출
 - Wave Glider 운용 전에 기타 권고/지적사항 반영
- Wave Glider 임차 및 운용
 - 임차선박 이용하여 Wave Glider 현장조사 실시
- 원격탐사-Wave Glider 매칭자료 생성과 위성자료 검증 수행
 - 수집된 위성 및 현장자료 분석
 - 전문가 자문 및 세미나 개최를 통하여 결과 분석 발표 및 논의
- 종합적 분석을 통한 보고서 작성
 - 위성자료 검증 결과 분석
 - 기존 감시망에 대한 체계적 분석
 - 원격탐사-Wave Glider 연계하여 활용 및 임무별 운영방법 개발

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내 연구 동향

1. Wave Glider 연구

- 한국해양과학기술원은 국내 최초로 Wave Glider와 운영체계를 도입하여 부산항 및 제주도 서귀포 근해에서 각종 운영 실험을 수행
 - 특히 2014년 태풍 ‘풍영’ 내습 시 장비 전문 인원을 투입하여 태풍에 근접하여 유의파고 3.5m 이상의 악기상 환경 관측 수행
- 한국해양과학기술원은 “북서태평양 태풍-해양 상호작용 연구” 수행을 위해 이사부 태풍/해양 프로그램 워크숍을 통하여 악천후에서 해양조사가 가능한 관측체계 개발 연구 추진 중
 - 기존의 Wave Glider를 개조하여 해양물리/생물/화학적 특성을 관측할 수 있는 장비 개발 제안

2. 위성활용 연구

- 2006년 7월 다목적 실용위성인 아리랑 2호(KOMPSAT-2)가 발사된 이후 2010년 6월 세계최초의 정지궤도 해상센서를 탑재한 통신해양기상위성(COMS)이 발사되어 우리나라 근해를 중심으로 동북아시아 해역을 상시적으로 감시하고 이를 이용한 다양한 활용 연구가 진행
 - 특히 기존 하루 1~2회 관측이 가능한 국외 극궤도 위성에 대한 의존도가 높았으나, 하루 8회 관측이 가능한 세계 최초의 정지궤도 해양위성의 발사 성공 및 정지궤도 위성영상 특화 처리시스템의 운영 성공으로 정지궤도 해양위성의 가능성을 보여줌
 - 한국해양과학기술원에서는 천리안 위성의 해양탐재체인 천리안 해양위성(Geostationary Ocean Color Imager, GOCI)의 원활한 운영과 자료 서비스를 위해 국토해양부의 지원으로 GOCI의 운영을 위한 해양위성센터 구축과 운영을 성공적으로 수행
 - 해양위성센터 기능고도화 사업을 통하여 해양과기원내의 해양학적 위성활용연구를 지원
 - 해양 원격탐사분야(특히, Ocean Color 분야)에서 국제연구의 선도역할을 수행하는 등 국제적으로 위상이 상승
- 원격탐사를 활용한 연구에서 해양이변 감시(적조, 녹조, oil spill), 투기해역 감시, 갯벌생태 감시, 수질변동 감시 해황예측시스템 활용, 연안 해양 생물자원 감시, 태풍 감시, 육상 변화 모니터링 등 다양한 단기적인 변화를 추적하는데 활용될 뿐 아니라, 탄소순화 모니터링, 엘니뇨, 라니냐 등 기후변화와 같은 장기적인 변동에 대해서도 연구 수행
 - 특히 위성개발 국가들과 공동연구 및 협력체계 강화

- GOCI을 활용하여 위성추정 엽록소 및 형광 신호를 이용 고엽록소 농도 분포를 파악하고 해수반사도 RGB 합성 영상을 이용하여 적조의심 지역을 분석하고, 수산과학원의 협력(현장 예찰 정보와 및 공동 현장 조사) 및 자체 현장조사를 통한 위성자료의 검증 및 알고리즘 정확도 향상 연구를 수행 중에 있음
 - GOCI을 활용하여 활용하여 동중국해 저염분수 탐지 방법 개발 연구 수행
 - 용존유기물을 이용한 장강희석수 탐지하는 방법과 클로로필 농도와 장강희석수의 상관관계를 이용하여 장강희석수 분포를 도식화 함
 - 위성을 활용한 적조 탐지 연구는 위성 산출물(클로로필, 부유물질, 형광파장 등)의 농도를 이용한 적조 탐지 기술과 위성 파장별 값을 이용한 탐지 기술 개발 (Fig. 2-1-1, 2-1-2)
 - 연안·갯벌 등에서는 고해상도 위성과 SAR 위성을 이용하여 GOCI 자료와 모델을 연계 연구개발 수행
 - 쓰나미, 유류유출, 녹조/녹조류 발생 등 해양기인 재난·재해에 대한 위성의 현업 활용 지원
 - 한반도 주변 해역은 대기 및 해수의 광학적 특성이 복잡하므로 현장자료와 광학적 원리에 바탕을 둔 알고리즘 개발 진행

위성 관측항목		활용 위성(탑재체)	국내 수신 가능 (2013 기준)	위성 관측항목		활용 위성	국내 수신 가능 (2013 기준)	
해양물리	해수 온도, 수온전선	AVHRR/NOAA COMS	○	해양환경	해수 염분	Aquarius	○	
	해류 & 조류	SMMR/SeaSat GOCI	○		용존산소, pH	-	-	
	풍향 & 풍속	SASS, SMMR/Sea Sat	○		용해유기물 COD	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○	
	해일, 파고		○		영양염류	-	X	
	표면파(꺾적) 내부파 해수면 물체정보	SAR	○		부유물질	MODIS, GOCI	○	
	투명도 & Visibility	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○		유류오염	SAR 고해상도 광학위성	○	
	수색	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○	생물	클로로필농도	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○	
	빙하 & 해빙	MSC, GOCI	○		기온, 습도, 일사량, 강우량	TRMM, SSML, COMS	○	
	지형 & 지질	해저지형 & 수심	TOPEX Jason	○	기상	황사 & 에어로졸	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○
		해안선 & 조간대	MSC 등 (고해상도상위성)	○		구름분포	SeaWiFS, MODIS, GOCI	○
선박정보				선박 Identification		SAR	○	
				선박위치	DCS	○		

Fig. 2-1-1. The application between satellite product and ocean phenomenon.

위성	모습	운영기관	파장	해상도	촬영범위	촬영방식	촬영간격	표준산출물	운영기간	본 연구팀 확보방안
GOCI		해양과학기술원, 해양 위성센터	8개밴드 (가시광선)	500m	한반도 (2,500km)	Frame Capture	8회/1일	클로로필, 부유물질, 용존유기물 파장별 반사도	2010.07 ~ 현재	무료 배포 (http://kosc.kordi.re.kr)
MODIS		NASA	16밴드 (가시광선~ 적외선)	250m~1km	전지구 (2,330km)	Linear & Area Array	1회~2회 /1일	클로로필, 부유물질, 용존유기물 파장별 반사도	2002.07 ~ 현재	무료 배포 (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/)
SeaWiFS		NASA	8밴드 (가시광선)	1.1km	전지구 (2,800km)	Linear & Area Array	1회/1일	클로로필, 부유물질, 용존유기물 파장별 반사도	1998.09 ~ 2010.12	무료 배포 (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/)
AVHRR		NOAA	6개밴드 (가시광선~ 적외선)	1.1km	전지구 (2,800km)	Discrete Detector & Scanning Mirror	1회 이상 /1일	표층수온	1985.01 ~ 현재	무료 배포 (http://podaac.jpl.nasa.gov/)
Landsat7		USGS	7개밴드 (가시광선~ 적외선)	30~120m	전지구 (185km)	Discrete Detector & Scanning Mirror	16일	RGB 영상 표층수온	1999.01 ~ 현재	무료배포 (http://landsat.usgs.gov)

위성	모습	운영기관	사용 주파수	해상도	촬영범위	운영모드	촬영간격	편광특성	운영기간	본 연구팀 참여과제번호	
ERS-1		ESA	C-band (5.3GHz)	25m	80 x 80km	Image Wave	35일	VV	1991.07 ~ 2000.05	CIP_8440	
ERS-2		ESA	C-band (5.3GHz)	25m	80 x 80km	Image Wave	35일	VV	1995.04 ~ 2011.07	CIP_8440	
ENVISAT		ESA	C-band (5.3GHz)	400m	5 x 5km	Image Wave	35일	HH,VV	2002.03 ~ 2012.04	CIP_8440	
				1km	405km	ScanSAR					
ALOS		JAXA	L-band (1.27GHz)	7-44m	14-88m	40-70km	Fine Mode	46일	HH,VV, HV,VH	2006.01 ~ 2011.04	RA_605, RA_1407
				100m	250-350km	ScanSAR					
TerraSAR-X TanDEM-X		DLR	X-band (9.65GHz)	1m	10 x 5 km	SpotLight	11일	HH,VV, HV,VH	2007.07 ~	COA_1038, ATI_OCEA0391	
				3m	30 x 50km	StripMap					
				18m	100 x 150km	ScanSAR					
KOMPSAT-5		KARI	X-band (9.66GHz)	1m	5 x 5 km	High resolution Standard	28일	HH, VV, HV, VH	2013.08 ~	국내 SAR 위성 (배포정적)	
				3m	30 x 30km	Standard					
				20m	100 x 100km	Wideswath					

Fig. 2-1-2. The multi-satellite sensor and acquisition way.

제 2 절 국외 연구 동향

1. Wave Glider 연구

- 미국, 캐나다, 호주 등에서는 수상 및 수중감시 체계 구축을 위해 Wave Glider를 이용한 다양한 수중/수상 감시·정찰을 위한 플랫폼 시험 가동 중이며, 잠수함정, 수중 글라이더 등과 병행 운용함으로써 전체 수중 공간에 대한 3차원적 감시 정찰 체계 구축
 - 특히 수상선박 감시를 위하여 선박자동식별장치(AIS), 광학센서(EO) 등을 추가 장착하여 주변 영상자료를 동시에 확보하는 연구 진행
- 미국 해양경비대(USCG)는 2007년 이후 세관청과 공동으로 밀입국 선박 감시를 위한 Wave Glider 도입사업을 추진 중임
 - 미 해군 해양사령부(해군대학)에서는 수중 음향정보 및 해양정보 수집용으로 운용 중
- NATO는 이탈리아 시실리 근해에서 진행된 대잠전 훈련에서 Wave Glider와 수중 글라이더를 이용한 대잠 탐색/해양정보 수집절차 훈련 실시
- 최근 연구논문에서는 Wave Glider을 활용하여 인간활동에 의해 유발된(해양 준설) 퇴적물 이동-확산을 모니터링 함

2. 위성활용 연구

- 1957년 러시아에서 첫 위성이 올라간 뒤로, 미국 National Aeronautics and Space Administration(NASA)는 해양에서의 pigment 추정을 목적으로 세계 최초의 해색 센서인 Coastal Zone Color Scanner(CZCS)을 Nimbus-7 위성에 탑재되어 1978년 10월에 발사
 - CZCS는 최초의 해색센서라는 점에서는 성공하였으나, 하루에 2시간의 제한적인 관측시간과 1년의 위성체 lifetime, 그리고 level-1 radiance로부터 유도된 level-2 자료는 10% 이내 자료처리 등 매우 제한적 결과 도출
- 이를 바탕으로 개발된 Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor(SeaWiFS)는 1997년 9월 발사되어 양질의 자료를 제공했고, 세계적으로 가장 성공적인 해색센서로 평가 받음
 - 다양한 해색위성에서(SeaWiFS, MODIS, MERIS) 추정된 생물량은 마이크로웨이브 센서에서 획득된 물리적인 환경 변화와 연계하여 해양생태계 변화 추적
 - 또한 예측 모델 개발의 기초 자료로 사용되거나, 위성과 모델 자료를 병합하여 개선된 자료로서 산출되어 다양한 연구에 활용
- SeaWiFS, MODIS 등의 해색센서의 자료는 전지구 해양의 새로운 지식을 제공하고, 특히 식물성플랑크톤의 분포, 일차생산력의 추정, 유기탄소입자의 추정 등을 통한 전지구 탄소순환 연구에 큰 진보가 있었음
 - 해양기후변화 및 환경 변화 모니터링 연구는 주로 해수면 온도 자료 또는 엽록소 농도 자료가 이용

- 일차생산자로 해양생태계의 기본이 되는 엽록소 농도를 이용하여 환경변화 감시 자료가 이용
- 염분과 관계가 있는 용존유기물의 흡광 특성을 위성에서 추정하기 위해 inversion 방법으로 위성에서 흡광특성을 역추적하는 연구 진행

제 3 절 현재까지의 연구개발 현황

1. Wave Glider 연구

- 한국해양과학기술원은 한반도 주변해역에 최적화된 Wave Glider 국산화 개발 및 이를 이용한 통합 해상/기상/음향 관측체계 구축 연구를 제안 함
 - 기존의 수중 글라이더 개발 연구와 중복성 문제 대두
- 한국해양과학기술원은 “Wave Glider를 이용한 선박감시, 오염탐지 및 해양안전 지원기술 개발” 과제 제안
 - 우리나라에 침입하는 불법선박을 감시하고 해양오염을 탐지하며 해양 재해·재난 발생현장 주변의 기상·해양환경을 관측을 위한 목적으로 사업 제안
 - Wave Glider 도입과 운영체계 확보라는 측면에서 필요한 요소 임
- 한국의 오션테크사에서 민간 활용을 위해 3대 도입하여 대여 운영 중이고 대학에 서는 보유 하지 못함
 - 한국해양과학기술원에서 1대 보유하고 있지만 다양한 센서 미 부착
- Wave Glider는 기본 탑재체(카메라, 수온/기온, 바람, 파고, 염분 등)에 이외의 임무 별 소요되는 각종 센서에 대한 연동체계가 마련되지 못함
- 기본 운영 인력은 운영사 및 한국해양과학기술원에서 보유하고 있으나 다양한 분야별 활용 연구 미미
- 무인자율 해상체계는 대형화 그리고 고속화 체계로 가고 있으며 이는 군이나 해양 경찰에서 해상감시(불법 및 밀입국 선박 감시), 익수자 탐지, 해양환경관측용으로 사용
 - 최근에는 공중-수상-수중 통합하여 사용할 수 있는 드론들 개발되고, 방수 및 수중용 모터, 부력제어엔지 등을 이용한 전천후 통합 드론 개발연구 진행

2. 위성활용 연구

- 천리안 해양관측위성은 2010년 6월 27일 발사 이후, 궤도상 시험을 거쳐 정규운영 을 수행하고 있음. 천리안 위성 발사 후 궤도상시험을 통해 도출된 기능개선 요구항 목들을 체계적으로 개선하고 활용함으로써 해양위성센터 기능고도화를 수행하기 위 한 기반연구를 착실히 수행하고 있음
- 해양위성센터 기능고도화 사업을 통하여 해양과기원내의 해양학적 위성활용연구를 지원
- 위성을 활용한 적조 탐지 연구는 위성 산출물(클로로필, 부유물질, 형광파장 등)의 농도를 이용한 적조 탐지 기술과 위성 파장별 값을 이용한 탐지 기술 개발

제 3 장 연구 내용

제 1 절 무인관측체계

1. 서론

무인체계(Unmanned System)는 무인 장비들을 통합하여 운용하는 시스템의 통칭으로서 민간 분야에서는 무인 생산 체계, 무인 제어 체계, 무인 관리 체계로 구분되며, 군사 분야에 활용되는 무인 체계를 무인 전투 체계라고 한다. 이동 또는 고정 체계가 가능하며, 무인 지상차량, 무인 항공기, 무인 잠수함, 무인 선박, 무인 물자, 무인 선박, 무인 잠수함과 무인 지상 센서 등이 포함된다. ‘로봇’이라는 단어는 1920년 체코의 극작가 카렐 차펙(Karel Capek)이 발표한 공상과학 희곡 ‘Rossum’s Universal Robots’에서 만들어졌다. 강제노동을 의미하는 체코어 ‘Robota’로부터 유래되었는데, 극작가 카렐 차펙은 자신의 작품 속에서 경제혁명을 일으킨 로봇이 결국 세계를 정복하고 인류 멸종의 원인이 되었다며 제1차 세계대전 후 세계경제 침체와 인종주의, 강력한 국가권력이 국민생활을 간섭하는 전체주의, 독재, 공산주의의 득세 등 당시 불안한 사회혼란을 우회적으로 비판하면서 ‘로봇’이라는 단어를 최초로 사용한 것이다. 이와는 별도로 자율적으로 움직이는 기계를 만드는 아이디어는 수세기 동안 발명자들을 자극시켜왔다.

일찍이 아리스토텔레스는 기계로 작동하는 사람에 관한 추측을 시도하였고, 20세기에 접어들면서 전기·전자 및 통신기술의 발전과 함께 마침내 무인체계의 모습이 드러나기 시작하였다. 20세기 중반 무렵 로봇들은 재미와 호기심을 넘어 일부는 매우 혁신적인 상품으로 발명되었다. 원격제어를 통해 좀 더 복잡하고 정확한 동작을 수행할 수 있었는데 차잔에 차를 따라주는 가정용 로봇이 1960년대에 등장하기 시작했다. 오스트리아 과학자 클라우스 솔츠(Claus Scholz)는 머리에 내장된 소형 테이프 레코더 장치를 활용한 전화 응답하기, 악수하기, 물 끓이기, 물 따르기 등 비교적 흥미로운 작업들을 원격제어를 통해 실행하는 로봇 ‘MM7’과 개량형 ‘MM8’을 개발하면서 오늘날 유비쿼터스 산업용 로봇의 선구자가 되었다.

오늘날의 로봇은 컴퓨터와 제어공학의 발달을 빼놓고서는 생각할 수 없다. 컴퓨터는 제2차 세계대전 중에 고사포의 명중률을 높이기 위해 많이 연구되었으며, 제어기술은 레이더와 원자폭탄이 개발되는 가운데 보다 고도로 발달되었다. 이와 같은 연구를 통해 소위 피드백을 포함한 시스템의 행동 또는 반응·반사를 수학적으로 기술하는 사이버네틱스도 등장하였다. 또한 세계대전을 겪는 기간에 무선통신기술의 발달과 더불어 진공관 성능도 비약적으로 향상되었으며 오늘날 로봇공학의 바탕을 만들었다. 그러나 진공관을 이용한 컴퓨터단계에서는 오늘날의 로봇탄생이 무리였다. 오늘날의 로봇에는 하나의 작업을 되풀이하는 능력 뿐 만 아니라, 작업 사이클의 프로그램을 쉽게 변경할 수 있는 기능까지 요구된다. 즉 로봇마다 컴퓨터를 장치해서 각각의 로봇을 통제하는 것이 필요하게 된다. 로봇의 두뇌라고 할 수 있는 부분이 컴퓨터이며, 컴퓨터의 기술수준은 로봇기술에 큰 영

향을 준다. 이와 같은 이유로 진공관 컴퓨터 수준에서는 오늘날과 같은 로봇은 실현 불가능한 것이었다.

진공관의 약점을 극복하는 첫 단계로 트랜지스터와 다이오드가 등장하였다. 트랜지스터는 진공관의 기능을 모두 대체할 수 있으며 열이 발생하지 않는다. 그리고 진공관에 비하여 아주 작게 소형화할 수 있어 컴퓨터는 급속히 소형화되고 신뢰성도 높아졌다. 1960년대에는 집적회로(IC)가 개발되었고, 집적회로 1개가 트랜지스터 수십 개의 기능을 수행하였다. 이에 의해 소형화가 되어가는 한편 접촉불량이라는 마이너스 요인도 없어져 더욱 신뢰성이 높아졌다. 가격도 안정되고 소비전력도 진공관에 비해 크게 감소하였다. 이러한 과학기술의 지속적인 발달은 물리적 동작의 정교함 뿐 만 아니라 주어진 환경에 자동으로 대응하는 자율제어 기술도 급속히 발전하게 되었다. 최근에는 ‘로봇’이라는 단어보다는 ‘무인체계(Unmanned System)’라는 개념이 폭넓게 통용되고 있다.

한편 무인체계를 발전시킨 가장 큰 공신은 국방 분야이다. 미래의 전쟁양상은 정밀화, 무인화, 소프트 킬(Soft Kill)이라는 특징적인 모습으로 변화될 것으로 전망됨에 따라 무기체계의 첨단화와 더불어 무인체계 활용의 증대로 이에 대한 보다 심도 깊은 연구의 필요성이 대두되어 왔다. 특히, 각 군별 소요에 따라 각자 필요한 무인전투체계를 개발하는 것이 아니라, 전장기능별로 소요되는 무인전투체계를 통합하여 운용할 수 있도록 국방부 차원에서의 종합발전 계획을 마련하고 이에 대한 체계적인 추진이 요구되고 있다. 국방과학연구소를 중심으로 무인전투체계 관련 기술을 분석하여 무인전투체계에 소요되는 핵심 기술은 다양한 방법과 노력을 통해 발전시키고 있으나, 핵심기술을 활용한 직접적인 무인전투체계에 대한 운용개념과 미래 전장에서 무인전투체계의 구체적 활용방안에 관한 심화 연구는 상대적으로 미흡한 수준이다. 따라서 미래 전장에서 무인체계를 운용하여 어떻게 싸울 것인가(How to fight)에 대한 연구를 수행하여 미래 무인전투체계의 개발 및 소요제기에 필요한 기준을 제시할 수 있는 운용개념의 구현이 필요한 실정이다.

2. 무인체계의 분류

무인체계는 운용하는 공간에 따라 항공, 육상, 해상 무인체계로 분류되는데 항공무인체계는 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)로도 일컬으며, 육상무인체계는 기존의 로봇 개념을 포함하고 이동능력이 있는 체계와 이동하지 않는 체계로 분류된다. 특히 해상무인체계는 바다, 강 또는 수조와 같은 내수공간에서 운용되는 무인체계를 통칭하는 것으로서 수상에서 2차원적으로 움직이는 수상무인체계와 수중공간에서 3차원적으로 움직이는 수중무인체계로 세분화된다. 또한 채택한 운용 방식에 따라 고속 단시간으로 운용되는 무인체계와 저속으로 장시간 운용 가능한 무인체계로 분류된다. Fig. 3-1-1에서와 같이 수상에서 운용되는 무인체계는 무인수상정(Unmanned Surface Vehicle, USV), 무인파력선 등이 있으며, 수중에서 운용되는 무인체계는 무인잠수정(Unmanned Underwater Vehicle, UUV), 수중글라이더(Underwater Glider) 등이 있다.

	고속 단시간 운용	저속 장시간 운용
수상	<p>USV</p>	<p>무인파력선(Unmanned Wave Propulsion Vehicle)</p>
수중	<p>UUV</p>	<p>Underwater Glider</p>

Fig. 3-1-1. Classification of the Unmanned System(US) in the surface and underwater.

수중에서 운용되는 무인체계는 가장 단순한 개념으로서 와이어에 예인되면서 수중의 파이프라인 등 연속적인 물체를 원격으로 촬영하는 ROTV(Remotely Operated TV)가 있으며, 자체적으로 이동능력을 보유하고 유선으로 원격 조종되는 ROV(Remotely Operated Vehicle)가 수중구조물 조사, 기뢰탐색, 수중환경 촬영 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 또한 무인자율수중체계(Autonomous Underwater Vehicle, AUV)는 고속으로 단거리를 이동 가능한 수중체계로서 ROV 보다는 광범위한 해역에 대한 수중구조물 조사, 기뢰탐색 등 작업에 사용되고 있다.

부력을 이용하여 수 개월간 수천 km 거리를 주파하는 수중글라이더는 대표적인 무인자율수중체계(AUV)로서 광범위한 해역에 대한 수중 미 해저환경을 관측하는데 유용하게 사용되고 있다. 특히 동체 내부에 부력을 조절할 수 있는 부력탱크가 탑재되어 양성 및 음성부력을 순차적으로 발생시키면서 양 날개의 양력을 이용하여 전방으로 이동함으로써 매우 광범위한 해역에 대한 지속적인 수중, 해저환경 조사에 투입되고 있다(Davis et al., 2002, Fig. 3-1-2).

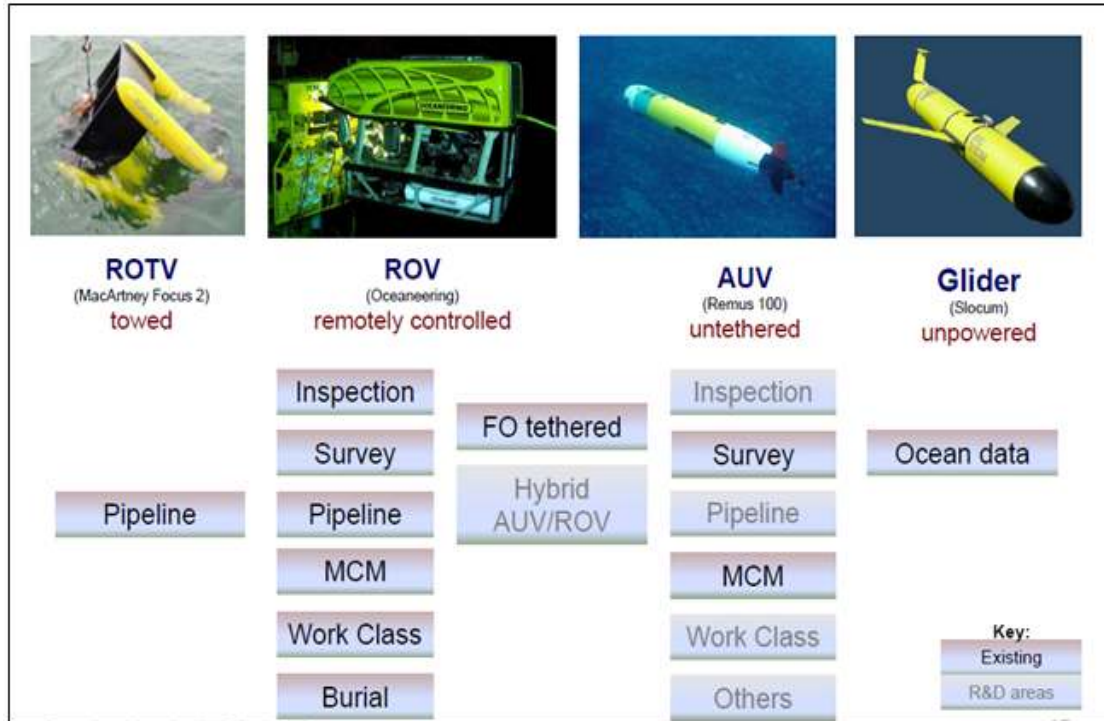


Fig. 3-1-2. Classification of the Unmanned System(US) in the underwater.

초창기의 무인체계는 유선 또는 무선을 이용하여 지속적으로 작동을 조종하는 유무선 조종이 대부분이었고 모든 동작 또는 작동을 운용자가 계속해서 주입해야 하는 수고가 요구된다. 이후 단순한 작업을 반복적으로 수행함으로써 운용자의 노동력을 절감시켜주는 자동화제어방식이 개발되었는데 사전에 입력된 작업에 대한 반복수행은 가능하나 변경되거나 새로운 환경에 대한 반응은 불가능한 단점을 지니고 있다. 이러한 자동화제어의 한계를 극복하기 위해 자율제어방식이 개발되었고 변화하는 환경에 따라 운용자의 추가적인 도움 없이 자율적으로 반응해 나아가는 특징을 지니고 있다.

최근의 무인체계는 대부분 자율제어방식을 적용하고 있으며 특정작업을 유동적으로 수행하고 장애물 등 난관을 자율적으로 극복하는 제어방식으로 자리를 잡고 있다. 특히 미국 및 유럽의 선진국에서는 복잡한 교통환경 속에서 자동차를 무인으로 운행할 수 있는 자율주행은 여러 나라에서 개발되고 있다. 최근에는 인간의 사고방식을 채용하는 인공지능 제어방식이 제한적으로 연구되고 있으며 고도의 논리와 계산이 요구되는 바둑 또는 장기를 두거나 복잡한 빅데이터를 이용하여 종합적인 자료를 분석하거나 판단 및 결심을 지원하는 인공지능체계가 연구되고 있다(Fig. 3-1-3).



Fig. 3-1-3. The scheme of the control and command.

다양한 분야에서 기하급수적으로 개발되고 있는 무인체계의 효율적 관리와 체계적인 개발전략 수립을 위해 무인체계에 대한 개념적인 분류가 설정되어야 하는데 우리 정부에서도 분야별, 특징별로 개념을 분류하고 있다(Fig. 3-1-4). 산업통상자원부에서 선정한 무인체계는 크게 개인서비스용, 전문서비스용, 제조용으로 분류되고, 개인서비스용으로는 문화, 홈서비스, 교육분야가 있으며, 전문서비스용에는 국방/안전, 해양/건설, 의료, 농업 등 4개 분야가, 제조용에는 농업 등 총 8대 핵심분야가 선정되어 있다. 이 중에서 국방/안전 분야에는 국방무인체계, 재난안전무인체계, 사회시설무인체계 등이 있으며 재난안전무인체계는 운용공간에 따라 지상무인체계, 해양무인체계, 항공무인체계 등으로 세분화되어 있다. 그러나 전세계적으로 이러한 무인체계는 다양한 방식과 개념으로 개발되어 있으며 기존의 운용 개념을 탈피한 신개념의 무인체계가 지속적으로 개발됨에 따라 특정 기준에 따라 분류하는 것을 더 이상 큰 의미가 없다는 의견이 대두되고 있다(Fig. 3-1-4).

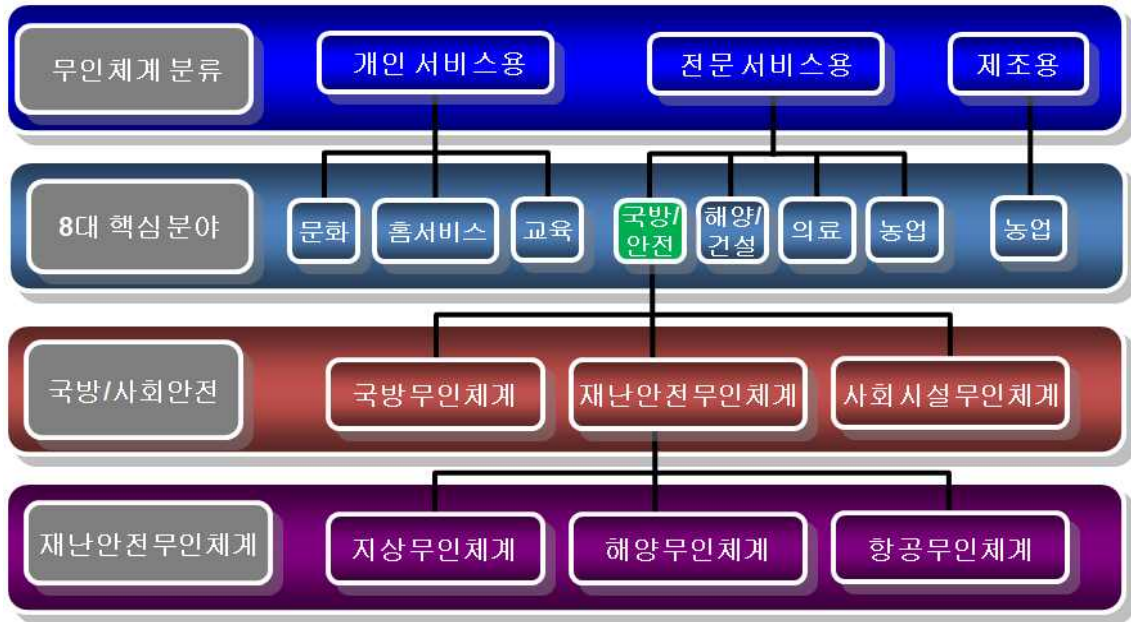


Fig. 3-1-4. The application for UAV in Korea.

무인체계는 전 세계 산업시장을 선도하는 미국에서 가장 많이 개발되고 왔으며, 미국에서의 무인체계는 항공무인체계, 지상무인체계, 해양무인체계 등 3개 분야로 간략하게 분류되어 있다.

3. 국내의 개발현황

유럽연합에서는 회원국들의 긴밀한 협업을 통해 무인체계 개발에 박차를 가하고 있다. 특히 광범위하고 복잡하게 구성된 해안선 감시를 위한 무인체계 개발에 주력하고 있다. ‘자율해상체계를 이용한 해안감시망 구축 프로그램(Autonomous Maritime Surveillance System, AMSS)’ 일환으로 2008년 3월부터 2011년 9월 까지 총 42개월의 기간 동안 다수의 무인자율해상체계를 이용한 연안감시망 구축사업을 완료하였으며 본 프로젝트에는 영국, 독일, 스페인, 폴란드, 노르웨이, 몰타 등 유럽연합 소속 7개국이 참가하였다. 특히 밀입국 또는 불법선박을 탐지하고 마약과 무기 밀매 감시를 위하여 무인자율체계에 탑재 가능한 광학 및 음향센서 개발에 주력하였다. 또한 육상기지국과 무인체계를 연동하는 네트워크를 구축하여 연 4만 여 건 이상 발생하는 밀입국선박 단속에 활용하고 있다(Fig. 3-1-5).

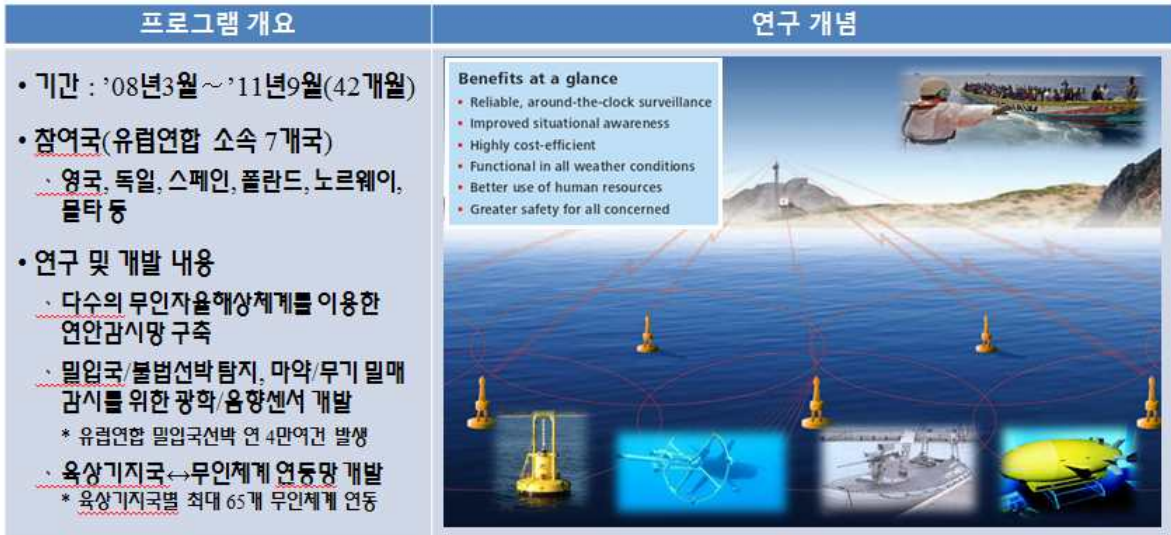


Fig. 3-1-5. EU marine surveillance system.

미국 해안경비대에서도 해양공간감시(Maritime Domain Awareness, MDA)를 위한 자율관측감시망(Autonomous Sensor Network, ASN) 구축사업을 추진 중이며, 원거리의 위협구역에 자국의 항공기, 함정을 출동시키는 위험소요를 감소시키기 위한 무인감시망을 구축 중이다. 미국 연안에서와 같이 광범위한 해안선에 대한 경비 공백을 최소화하기 위해 이동형 무인체계와 통신체계를 이용한 감시망을 구축하는 것이며 다목적 임무수행을 위해 전자광학(Electro-optics, EO), 적외선, 선박식별장치(Automatic Identification System, AIS), 음향센서 등 다양한 탐지센서를 연동하고 특히 해양·기상센서를 탑재하여 일반 과학연구를 위한 해양자료 수집을 도모하고 있다(Fig. 3-1-6).

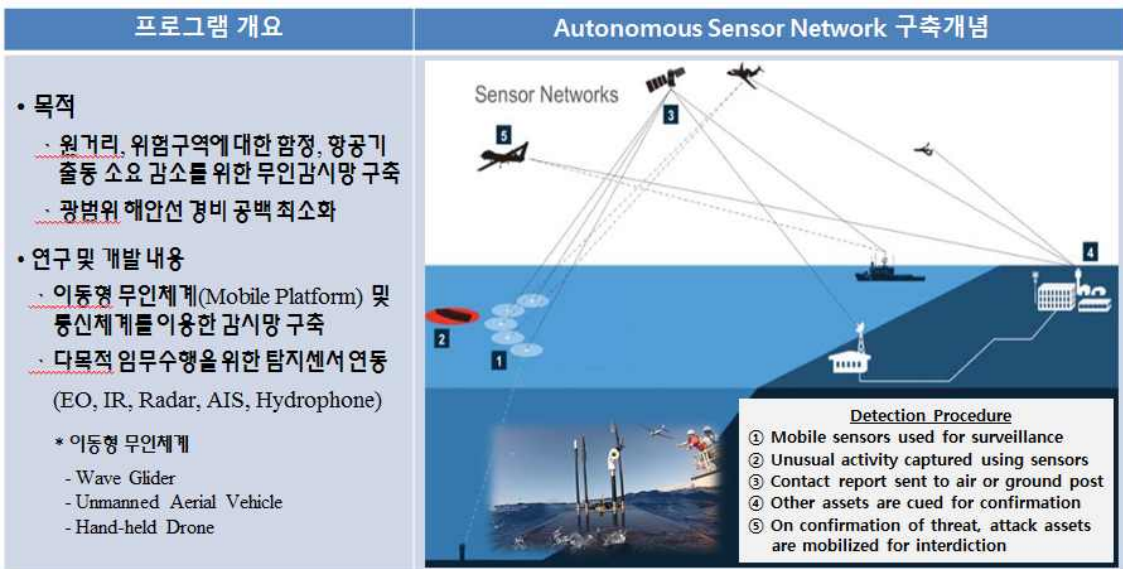


Fig. 3-1-6. The concept of US coastal guard autonomous sensor network.

호주는 2015년에 발간된 국방 및 해양경비백서를 통하여 파력을 이용하여 추진하여 Wave Glider와 부력을 이용하는 Underwater Glider를 이용한 해안감시망 구축 프로그램을 진행 중이라고 밝혔다. 본 프로그램은 2010년 이후 현재까지 지속되고 있는 것으로서 호주 관할해역에서 밀입국 또는 불법선박을 탐지하고 마약 및 무기 밀매를 감시하며 재난이 발생하면 현장에 대한 해양관측 및 피해평가를 수행할 수 있는 무인체계 네트워크를 구축하는 것이 그 목적이 있다. 특히 파력을 이용하는 Wave Glider와 부력을 이용하는 Underwater를 동시에 사용하여 해안감시 네트워크를 구축하는 것이 특징이며 인공위성과 상기 무인자율해상체계, 육상기주국 간의 통합 연동망을 개발한다는 목표를 설정하고 있다. 이러한 프로그램 수행을 위해 해양오염탐지, 해양, 기상, 음향환경 관측, 수상선박 및 잠수함 탐지, 정밀위치 산출, 수중통신 모뎀(Data Gateway) 등을 핵심기술요소로 선정하여 중점적인 연구를 진행 중이다(Fig. 3-1-7).



Fig. 3-1-7. The concept of Australian coastal guard surveillance system.

무인자율해상체계의 구체적인 개발 및 운용사례를 무인자율수상체계와 무인자율수중체계로 나누어 살펴보면, 먼저 대표적인 무인자율수상체계로서 Thales에서 개발한 C-Worker USV, MC-Worker USV, ASV社에서 개발한 C-Target 3 등이 대표적이며 모두 전장 10m 이내의 소형 선체로 만들어졌고 운용시간은 30일 내외로 비교적 길며 빠른 속력과 다양한 탐지센서를 장착하고 있는 특징을 지니고 있다(Fig. 3-1-8).



Fig. 3-1-8. The commercial unmanned surface vehicle system.

2008년도 이후 기존의 프로펠러를 사용하는 체계에서 탈피하여 자연에 존재하는 파력을 이용하여 수개월 간 수천 Km의 장거리를 주파하는 무인자율해상체계가 등장하기 시작하였다. 파력으로 추진되는 Wave Glider 미국의 Liquid Robotics社에서 개발되었으며 수면에 떠있는 부력체와 수중 7~8m에 위치하는 글라이더로 구성되어 있다(Fig. 3-1-9).

형상	주요 성능 및 제원
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부력체(수상) <ul style="list-style-type: none"> - 전장 208 × 전폭 60 cm - 축전지(리튬전지, 태양열 발전기) - 위성통신, RF, CDMA 송수신 체계 ▪ 글라이더(수중) <ul style="list-style-type: none"> - 전장 40 × 전폭 191 cm - 추진속도 : 0.4 ~ 2kts - 작동기간/항법장치 : 최장 2개월 / GPS ▪ 연동가능센서 <ul style="list-style-type: none"> - 음향정보 : 선박에 의한 기계적 음향신호 탐지 - 해양정보 : 표층수온, 파고, 해수오염 측정 - 기상정보 : 풍향, 풍속, 기온, 기압 - 영상정보 : 전자광학(EO), 적외선(IR)카메라 - 기타 선박자동식별장치(AIS) 등

Fig. 3-1-9. Wave Glider concept and payload sensor.

부력체는 전장 약 2m, 전폭 0.6m로서 축전지와 태양열 발전기, 위성통신, RF, CDMA 송수신체계가 설치되어 있으며, 수중에 위치하는 글라이더는 전장 0.4m, 전폭 1.9m의 프레임에 6개의 날개가 설치되어 있다. 자연에 존재하는 파력과 태양열 에너지를 사용하므로 수개월 간 작동이 가능하다. 특히 해양, 기상, 음향환경 관측센서와 영상정보를 수집할 수 있는 센서 등 다양한 센서를 동시에 탑재할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 미국, 호

주, 유럽 등 많은 나라에서 Wave Glider를 이용하여 과학적 해양관측, 해양재난현장 대응, 전장환경감시 등 다목적으로 활용하고 있다. 2010년 미국 남해안에서 대규모 원유유출사고가 발생한 직후 Wave Glider가 투입되어 광범위한 해역에 대한 오염도를 측정하는 등 해양재난사고에 실질적으로 활용되기도 하였다. 국내에서는 한국해양과학기술원 해양방위연구센터에서 2014년부터 제주 남해안으로 접근해오는 태풍의 중심부를 관측하기 위한 시도가 진행되어 왔다(Fig. 3-1-10).



Fig. 3-1-10. The case of Wave Glider application.

또한, 군사적으로도 구체적으로 활용되기 시작하였으며 제작사인 Liquid Robotics社에서는 Wave Glider의 특성을 고려한 운용전술을 제시하고 있다(Fig. 3-1-11).

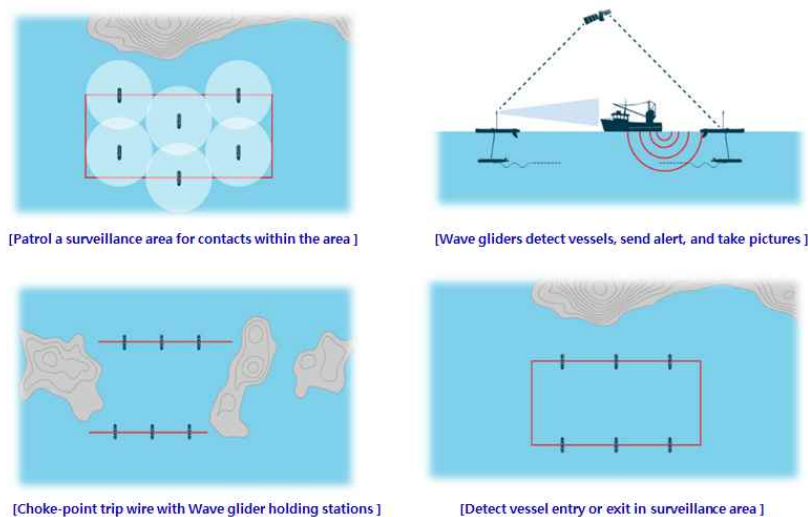


Fig. 3-1-11. The management strategy of Wave Glider(Liquid Robotics).

무인수중체계는 수중드론이라고도 하며 인간의 탑승 없이 무인상태로 수중에서 작동하는 모든 체계를 의미한다. 관성항법, 부력조절, 저전력·고효율 전력기술 등의 발달에 따라 다양한 형태로 개발되어 왔으며 조종 및 통제방식에 따라 인간에 의한 원격조종으로 운용되는 원격수중체계와 인간의 직접적인 조종이 없는 상태로 독립적으로 작동하는 무인자율수중체계로 분류된다. Atlas Elektronik社에서 개발한 SeaOtter, Kongsburg사의 REMUS 계열의 체계들이 전장 3m 이상의 대표적인 중대형 수중체계이며 충분한 적재용량으로 다양한 센서들을 동시에 탑재할 수 있다는 장점을 갖고 있으나 과중한 동체를 움직이는데 상당한 동력과 전력이 요구됨에 따라 운용시간이 수십 이내로 짧다는 한계점을 지니고 있다. 한편, 태양열 또는 부력 등 자연의 에너지를 활용하는 체계는 수십 일 이상 장기간 운용이 가능하다는 장점이 있으나 운용효율을 높이기 위해 최대한 크기를 작게 만들어야 하므로 탑재할 수 있는 센서가 제한된다는 단점을 지니고 있다. 최근에는 운용자 혼자서 손쉽게 들거나 운반할 수 있는 무게 50 kg 이내의 휴대용 수중자율체계가 개발되기도 하였다(Liu et al., 2004, Fig. 3-1-12).



Fig. 3-1-12. The commercial unmanned underwater vehicle system.

항공무인체계는 대기 중에서만, 해상무인체계는 수상 또는 수중에서만 운용된다는 단점을 극복하기 위한 노력이 진행되고 있다. 방수기법 및 수중용 모터, 부력제어엔진 등을 적용하여 하늘에서 비행을 하다가 필요에 따라 물위에 착륙을 하거나 물속으로 잠항할 수도 있는 전천후 공중·수상·수중 통합 드론(Multi-medium Unmanned Aerial and Underwater Vehicle, MUAUV)이 여러 연구기관에서 개발되고 있다. 미국의 럿거스, 존스홉킨스, 오클랜드 등 대학교를 중심으로 기존의 항공드론에 방수기술을 적용한 전천후 통합 드론이 개발되고 있으며 미해군연구소에서는 순간적으로 물속으로 잠수하여 고기를 잡아먹는 물새의 원리를 적용한 새 모양의 통합 드론을 개발하여 후속연구를 진행 중이다(Fig. 3-1-13).



[미 럿거스 대학]



[CRACUNS(미 존스홉킨스 대학)]



[LOON Copter(미 오클랜드 대학)]



[Flying-Swimmer(미 해군 연구소)]

Fig. 3-1-13. The commercial unmanned underwater drone system.

4. 결론

1920년 ‘로봇’이라는 단어가 최초로 소개된 이래 과학기술의 지속적인 발달로 오늘날의 다양한 무인체계가 탄생되었다. 첨단항법체계를 이용하여 정밀한 위치이동이 가능하고 효율적인 에너지 관리를 통해 장시간 원거리를 이동할 수 있으며 조종 및 통제기술의 발달로 운용자의 중간 간섭 없이도 자율적으로 임무를 수행하는 스마트한 무인체계가 등장하고 있다. 아울러 협소한 공간의 무인체계에 탑재할 수 있는 소형·경량의 다양한 센서들이 개발됨에 따라 과학조사, 방재, 구난, 국방 등 폭넓은 분야에서 핵심체계로서 자리를 잡고 있다.

21세기로 접어들면서 사물인터넷(Internet of Things, IoT)이는 새로운 개념이 등장하고 있다. 이는 1999년 MIT 공대의 케빈 애시턴이 RFID와 센서 등을 활용하여 사물에 탑재된 인터넷이 발달할 것이라 예측한 데서 비롯되었다. 이름에서 알 수 있듯이, 사물인터넷은 사람과 사람간의 통신을 넘어 사람과 사물, 혹은 사물과 사물간의 통신을 이끌어내는 기술을 일컫는다. 우리의 실생활에 까지 깊숙이 파고든 사물인터넷 개념은 이제 해양 분야에 까지 전파되어 급기야 수중사물인터넷(Internet of Underwater Things, IoUT) 개념이 대두되고 있으며, 머지않아 수상, 수중, 항공 무인체계와 기존의 유·무인체계, 통신 인프라가 연동되는 통합 수중네트워크가 등장할 것으로 기대된다(Fig. 3-1-14).

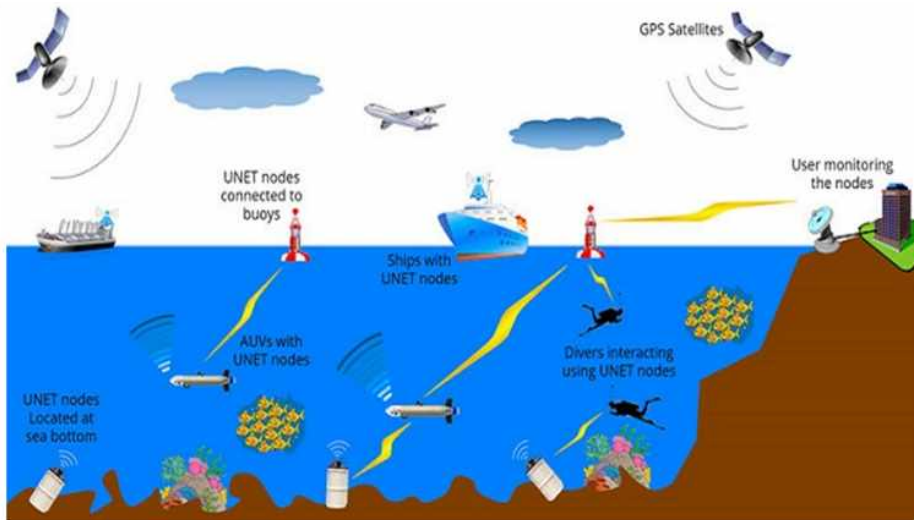


Fig. 3-1-14. The concept of the internet of underwater things(IoUT).

제 2 절 Wave Glider 운용 및 자료 분석

1. 서론

해양을 관측하는 작업은 범 국가 차원의 해양/기상모델링, 조선 해양산업, 해양 R&D, 해상안보 등 모든 분야에 걸쳐 매우 중요한 핵심적 요소이다. 최근 해양관측 분야에 있어서 많이 이용되는 무인화 시스템은 수중, 수상의 무인 플랫폼의 다양한 형태로 매우 빠르게 진화되고 있다. 특히 배터리 기술의 발전은 장기간에 걸쳐 넓은 해역을 무인 플랫폼을 이용하여 자율 이동식 해양관측이 가능하도록 발전하였고, 최근에는 장거리 이동과 동시 관측이 가능한 대형 플랫폼들이 개발되고 있다. 초기 무인 플랫폼 연구는 미국을 중심으로 집중적인 투자와 개발이 이루어졌으나, 최근 영국, 일본, 중국 등이 관련 투자를 시작하고 있다. 연구 개발된 각국의 무인 플랫폼을 이용한 해양관측 또한 무인화 해양탐사 자원을 서로 연계하고 표준화하기 위하여 기구 및 프로그램들이 제안되고 구체화되고 있는 추세이다(<http://www.i-cool.org/>). 최근 장거리 수중무인잠수정(Autonomous Underwater Vehicle; AUV), 수중글라이더(Underwater Glider)와 무인파력선(Wave Glider)을 중심으로 계류 부이 및 ARGO 뜰계를 이용한 해양관측 분야를 대처할 신기술로써 꾸준히 발전하고 있다. 이러한 새로운 무인화 관측 플랫폼들은 자율제어를 수행하면서 장기간 운용할 수 있는 장점이 있고, 해양과학 분야뿐만 아니라, 해양방위 목적으로도 크게 주목을 받고 있으며 활용도가 점차 증가하고 있다.

미국의 Liquid Robotics(<http://liquidr.com/>)사는 70~80년대 각광을 받아온 파력선 기술을 바탕으로 최초로 무인파력선인 무인자율해상로봇 Wave Glider를 개발하였고, 미국서부에서 호주까지의 태평양 횡단이동에 성공하였다. Wave Glider는 태양광 발전을 하기 때문에 부이와 같이 상시 관측이 가능하며 자율 또는 제어이동이 가능하다. 2009년부터 민간 및 국방 분야에 사용되기 시작하였고, 이런 장점으로 인해 미 해군에서는 일찍이 SHARC라는 명칭으로 해군무기체계에 포함시켰다. 그리고 다른 나라에서도 이런 시스템을 도입하여 운용에 대한 평가를 진행 중이다. 영국에서는 Autonaut라는 무인파력선이 개발되어 시험에 성공하였고(<http://autonautsv.com/>) 다양한 장비를 장착하여 시험운영 중에 있다. 그리고 중국과 일본의 경우 2013년부터 학계를 중심으로 연구와 개발이 동시에 진행되고 있다(Tian et al., 2014; Terao and Sakagami, 2015).

2. Wave Glider 작동원리, 제원 및 성능

- 기본 플랫폼은 해수면에 떠 있는 플로트, 파력을 추진력으로 변환하는 수중날개, 수중 날개와 플로트를 연결하는 연결선으로 구성되고, 연결선의 길이는 해역 및 효율에 따라 변경 가능함(본 연구에서는 8m 사용)
- 수중 날개에는 선수부에 방위센서와 후미부에 러더가 장착되어, 항법 알고리즘에 의한 위치제어가 가능함
- Wave Glider는 부력체와 수중의 글라이더로 구성되어 파도에 의한 상하 움직임이 수중의 글라이더에 전달, 글라이더에 부착된 여러 날개의 양력으로 전진하고 수중

날개부 후미에 장착된 리더를 조향하여 연결선으로 연결된 해수면 위의 부력체를 이동시키기 때문에 별도의 연료 공급이 필요로 하지 않아 장거리 기동이 가능(Fig. 3-2-1, 3-2-2)

- 파도 진폭의 크기에 따라 Wave Glider의 속도가 변화하며, 사용자에게 의해 속도를 변화시킬 수는 없고 오직 방향조정을 통해 위치조정이 가능하나, 최근 Wave Glider 모델인 SV3의 경우, 수중 날개 후미에 장착된 쓰러스트 사용에 따라, SS1에서는 1.5kt에서 SS4에서는 2.3kt까지의 속력으로 주항 가능
- 플로트에는 기록계 및 센서 운영에 소요되는 전기를 생산하는 태양광패널과 축전지가 구비되어 있음
- 플로트에는 플로트의 위치, 속도, 방향을 측정하는 GPS와 풍향, 풍속, 대기압, 대기 온도 등을 측정하는 기상센서가 구비되어 있으며, 이들을 기록, 전송하는 데이터 로거도 방수함체에 구현되어 있음
- 플로트 하부에는 표층해수의 물리적 특성을 관측하는 센서를 탈 부착할 수 있는 공간이 마련되어 있음
- 수중 날개부에도 센서를 장착할 공간과 인터페이스가 구비되어 있어, 수중에서 운영해야 하는 센서를 예비함
- Wave Glider 모델에 따라 플로트의 크기와 태양광패널의 용량이 달라지지만, SV3는 플로트의 크기가 SV2모델보다 크기 때문에, 태양광패널의 전기생산능력이나, 센서 탈부착 공간 및 부력이 큼
- SV3는 SV2에 비하여, 상부 플로트의 길이가 80cm더 길어졌고, 이를 통해 부력은 40L에서 93L로 53L늘어났고, 실을 수 있는 하중은 18kg에서 45kg으로 27kg더 늘어났음
- 주변 해역의 수상선을 감시하기 위하여, AIS(Automatic Identification System)가 기본 장착되어 있어 접근하는 선박에 대해서 자동 회피 기능을 수행함
- 태양판에서 만들어지는 전기는 센서 작동과 통신에만 이용하게 된다. 이 무인 체의 이동에 대한 명령은 간단하게 웹에서 가능하며 관측 자료는 이리듬을 통해 웹 서버에 저장함
- 제어 및 통신을 위한 축전지와 센서운영을 위한 축전지는 별도로 구성하여, 태양광 전지 축전이 장기간 동작되지 않아도 통신 및 위치 확인이 가능하게 구성함
- Wave Glider의 상태 및 위치정보는 기본 5분 간격으로 이리듬 위성통신체계를 이용하여 관제시스템에 전송됨
- 관제용 SW는 제조사에서 제공하는 시스템을 이용하며, 웹베이스의 프로그램으로 어떤 단말에서도 실시간 위치 확인이 가능함(Fig. 3-2-3)
- 관제용 SW에서는 복수의 Wave Glider의 상태 및 새로운 명령을 하달할 수 있음
- 통신 및 제어용 위성통신 이외에도, Wave Glider 비상 추적을 위한 GPS트랙커가 부착되어 비상시 위치추적이 가능함
- Wave Glider는 대기 및 표층해양환경을 장기간 측정할 수 있는 플랫폼으로 기상관측 항목은 풍향, 풍속, 기압, 기온, 광량 등 이고, 표층 해양환경 측정 항목은 수온,

염분, 엽록소-a, 탁도, 유속과 유향, 파고와 파향 등 이고, 광학카메라 부착으로 영상 촬영이 가능함

○ 대기 및 표층해양환경정보를 취득하기 위하여, 파랑센서, 기상관측센서, 수층별 초음파 유속계, 엽록소-a 센서 등의 제원은 아래와 같음(Fig. 3-2-4 ~ 3-2-7)

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 부력체(Float) ● 전장 30×전폭 81cm ● 축전지(리튬전지, 태양열) | <ul style="list-style-type: none"> ● 날개/글라이더(Glider) ● 전장 50 × 전폭 213 cm ● 추진속도 : 1 ~ 3kts ● 작동기간/항법장치 : ~1년/ GPS | <ul style="list-style-type: none"> ● 탑재 센서 ● 해양정보: 수온, 파고, 클로로필, 탁도, 해류 측정 ● 기상정보: 풍향, 풍속, 기온, 기압 ● 영상정보: 광학카메라 |
|---|---|---|

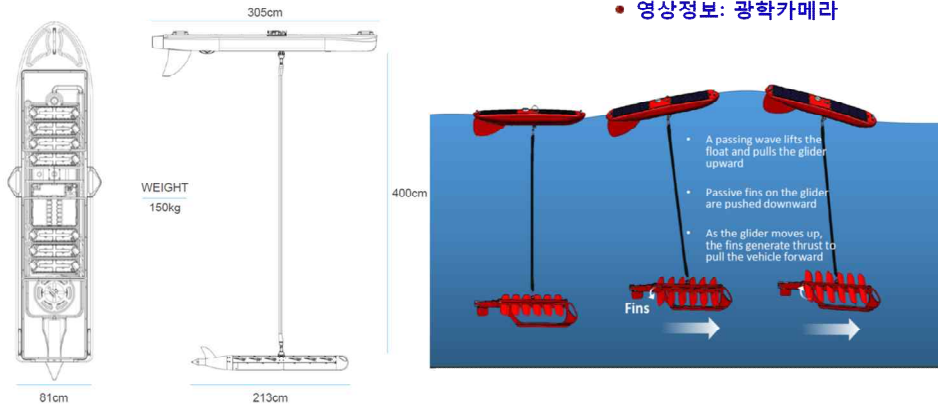


Fig. 3-2-1. Wave Glider operation system and payload sensor.

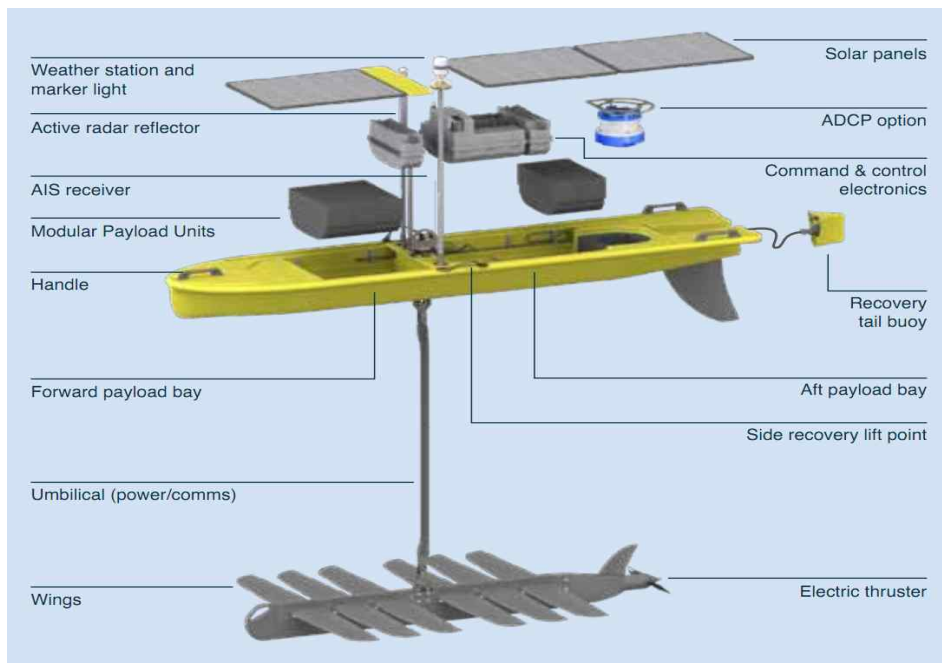


Fig. 3-2-2. Wave Glider SV3.

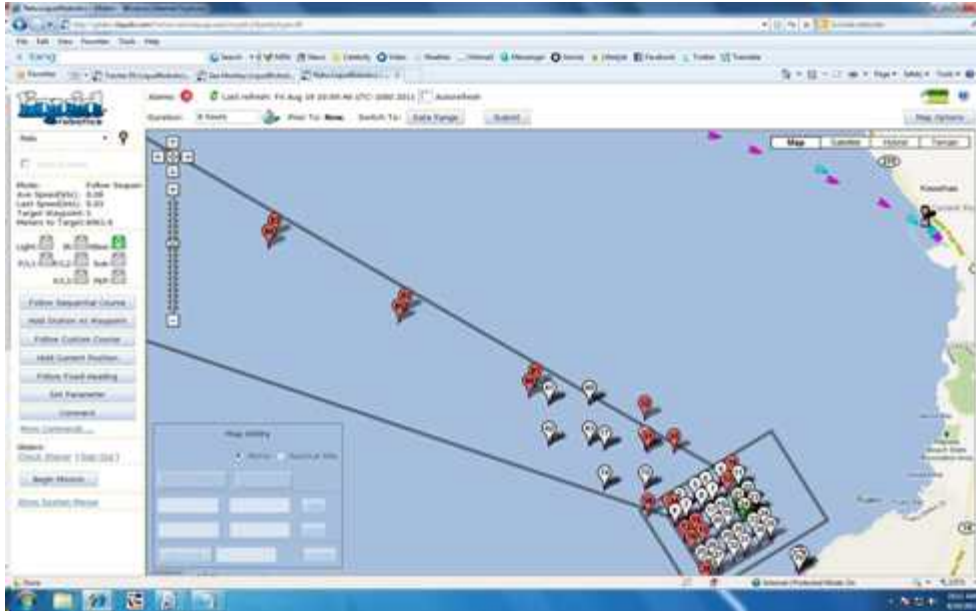


Fig. 3-2-3. Wave Glider operation program based on IoT.

A Teledyne RD Instruments Marine Measurements Datasheet

Teledyne RD Instruments

Workhorse Monitor

Direct Reading 1200, 600, 300 kHz ADCP

Real-Time Current Monitoring

The MONITOR is Teledyne RD Instruments' most popular direct-reading Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP). The unit is typically bottom frame-mounted and hard-wired to shore to provide real-time monitoring of coastal currents.

The Monitor's high data accuracy and reliability make it a favorite for deployments in high-volume traffic areas such as ports and harbors, where the data is often integrated into a Vessel Traffic Monitoring System. In fact, the Monitor has been selected for most major port programs undertaken in the United States.

The Monitor offers a choice of three frequencies and ranges, to meet a wide array of data requirements. The unit also offers a flexible upgrade path, which includes an external battery pack, pressure sensor, bottom tracking capability for moving boat applications, and directional wave measurement.

PRODUCT FEATURES

- Extreme accuracy and reliability: The Monitor is ideally suited for the most demanding environments, including high traffic areas such as ports and harbors.
- Precision data: Teledyne RD's broadband signal processing delivers very low-noise data, resulting in unparalleled data resolution and minimal power consumption.
- Versatility: This direct reading unit can easily be upgraded to tackle a wide variety of coastal applications. Typical upgrades include pressure sensor, external battery pack, bottom tracking and directional wave measurement—a single instrument can do it all!
- A four-beam solution: Teledyne RD's 4-beam design improves data reliability by providing a redundant data source in the case of a blocked or damaged beam; improves data quality by delivering an independent measure known as error velocity; and improves data accuracy by reducing variance in your data.

A Teledyne RD Instruments Marine Measurements Datasheet

Workhorse Monitor

Direct Reading 1200, 600, 300 kHz ADCP

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Water Profiling	Depth Cell Size ¹	Typical Range ² 12m		Typical Range ² 50m		Typical Range ² 110m	
		Range ³	Std. Dev. ⁴	Range ³	Std. Dev. ⁴	Range ³	Std. Dev. ⁴
	0.25m	11m	14.0cm/s	30m	14.0cm/s	300m/s	110m
	0.5m	22m	7.0cm/s	42m	7.0cm/s	85m	14.0cm/s
	1m	15m	3.6cm/s	46m	3.6cm/s	99m	7.0cm/s
	2m	15m ²	1.8cm/s	46m	3.6cm/s	103m	3.6cm/s
	4m	see note ¹		52m ²	1.8cm/s	116m ²	1.8cm/s
	8m						
Long Range Mode	2m 4m 8m	19m	3.4m/s	66m	3.6cm/s	154m	3.7cm/s
Profile Parameters	Velocity Accuracy	0.3% of water velocity relative to ADCP +0.3cm/s		0.3% of water velocity relative to ADCP +0.3cm/s		0.5% of water velocity relative to ADCP +0.5cm/s	
	Velocity resolution	0.1cm/s		0.1cm/s		0.1cm/s	
	Velocity range	+4cm/s default, +20m/s max		+4cm/s default, +20m/s max		+4cm/s default, +20m/s max	
	Number of depth cells	1-128		1-128		1-128	
	Ping rate	2Hz (typical)		2Hz (typical)		2Hz (typical)	
Echo Intensity Profile	Vertical resolution	Depth cell size, user configurable					
	Dynamic range	80dB					
	Precision	±1.5dB					
Transducer and Hardware	Beam angle	20°					
	Configuration	4-beam, conical					
	Internal memory	Two PCMCIA card slots; no memory card included					
	Communications	Serial port selectable by switch for RS-232 or RS-422-ASCII or binary output at 1200-115,200 baud					
Environmental	Standard depth rating	200m; optional to 500m, 1000m, 6000m					
	Operating temperature	-5° to 45°C					
	Storage temperature (without batteries)	-20° to 60°C					
	Weight in air	7.0kg					
	Weight in water	3.0kg					
Software	TRDI's Windows [®] -based software included:	WinSC - Data Acquisition System; WinADCP - Data Display and Export;					
Power	Input Power	20-50VDC					
Standard Sensors	Temperatures (mounted on transducer)	Range: 5° to 45°C, Precision: ±0.4°C, Resolution: 0.01°					
	Tilt	Range: ±15°, Accuracy: ±0.5°, Precision: ±0.5°, Resolution: 0.01°					
	Compass (Range-type, includes hub-in-hull calibration feature)	Accuracy: ±2°, Precision: ±0.5°, Resolution: 0.01° Maximum tilt: ±15°					
Available Options		<ul style="list-style-type: none"> • Memory: 2 PCMCIA slots; total ADCP + Pressure sensor + External battery case + High-resolution water-spying modes • Bottom tracking + AZ/DC power converter, 48VDC output + Conversion kit for internal power supply and memory • Directional Waves Array • Velocity - Data Display, Processing, and Export software 					
Dimensions		228.0mm wide x 261.5mm long (for drawings; available upon request)					

¹ User's choice of depth cell size is not limited to the specifications specified.
² Long range mode.
³ Profiling range based on temperature value at 1° and 20°C salinity - 10ppt.
⁴ Resolution: 0.1cm/s; range: 0.1cm/s; precision: 0.1cm/s.
⁵ ±0.1° accuracy without data calibration.

© 2009 Teledyne RD Instruments, Inc. All rights reserved. Form 1022, Rev. Aug. 2003. Specifications subject to change without notice.

**TELEDYNE
RD INSTRUMENTS**
Everywhere you look

Teledyne RD Instruments
34020 Stone Drive, Poway, CA 92064 USA
Tel: +1-858-942-2600 • Fax: +1-858-942-2822 • Email: rdinstruments@teledynere.com
Les Hernandez, 5 Avenue Fector, Fretin, 06610 La Gaude, France
Tel: +33-49-211-9930 • Fax: +33-49-211-9933 • Email: rdin@teledynere.com

Fig. 3-2-4. ADCP spec loaded in Wave Glider.

- 26 -



Highlights of the C3 & C6P

- 1, 2, 3, 4, 5 or 6 Optical Sensors
- Temperature Sensor Included
- Optional Depth Sensor
- Optional 3-Brush Mechanical Wiper
- All Plastic Housing
- Robust Memory – Over 60,000 Data Lines!
- Easy to Use Software with Data Management Capabilities
- Optional C-ray Deployment Body Enables Horizontal Towing of the C3

C3 & C6P Submersible Fluorometers

These Submersible Fluorometers can be configured with up to three or six optical sensors ranging from the deep ultraviolet to the infrared spectrum. Internal memory storage capacity combined with an external submersible lithium ion battery allow the C3 or C6P to run during extended or short-term deployments. Each unit comes with a factory-installed temperature sensor. Factory-installed depth sensors and mechanical wipers are also available. The durable delrin housing is highly resistant to harsh environments. Antifouling copper tape pieces are included for placement on the C3 optical head to reduce bio-fouling on and around the sensors. An antifouling copper plate is available as an option for both the C3 and C6P for longer deployments. The Integrator Firmware option is recommended when the C3 or C6P are used as part of a continuous sampling system that requires 24/7 streaming data collection. C-Soft Windows™ based software allows for intuitive calibration, datalogging set-up and file management capabilities as well as data integration.

Customized Optical Sensors

Choose up to six optical sensors to be factory installed for a variety of applications.

<ul style="list-style-type: none"> • Blue Green Algae • Phycoerythrin (marine) • Phycocyanin (freshwater) • CDOM/FDOM • Chlorophyll <i>in vivo</i> • Blue excitation • Red excitation • Fluorescent Dye Tracing • Fluorescein • PTSA • Rhodamine 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydrocarbons • Crude Oil • Refined Fuels • Turbidity • Wastewater Monitoring • Optical Brighteners • Tryptophan <p>Contact us for Custom Optics</p>
---	---

Available Optical Sensors

- 1.5 Methylblue Disulfonic Disodium Salt
- Quinine Sulfate
- PTSA (1,3,6,8-Phenyltetrasulfonic Acid Tetrasodium Salt)
- RTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)
- Fluorescein pigment from Prozyme diluted in Deionized water
- Phycocyanin pigment from Prozyme diluted in Deionized water



Application Minimum Detection Limit Linear Range

Application	Minimum Detection Limit	Linear Range
CDOM/FDOM	0.15 ppb**	0-1,250 ppb**
	0.5 ppb***	0-5,000 ppb***
Chlorophyll <i>in vivo</i>		
Blue excitation	0.025 µg/L	0-500 µg/L
Red excitation	0.5 µg/L	>500 µg/L
Fluorescein Dye	0.01 ppb	0-500 ppb
Oil - Crude	0.2 ppb***	0-2,700 ppb***
Oil - Fine	10 ppb*	0-6,000 ppb*
	10 ppb****	>1000ppb****
Optical Brighteners	0.6 ppb****	0-15,000 ppb****
Phycocyanin	2 ppb**	0-3,500 ppb**
Phycocerythrin	0.15 ppb**	0-750 ppb**
PTSA Dye	0.1 ppb***	0-500 ppb***
Rhodamine Dye	0.01 ppb	0-1,000 ppb
Tryptophan	3 ppb	1,000 ppb
Turbidity	0.05 NTU	0-1,000 NTU

Physical Specifications

Weight in Air	1.64 kg, 3.6 lbs (C3) 2.54 kg, 5.6 lbs (C6P)
Length	23 cm, 9.1 in (C3) 27.43 cm, 10.8 in (C6P)
Diameter	10 cm, 3.9 in (C3) 13.84 cm, 5.25 in (C6P)
Material	Delrin Plastic
Temperature	-2 to 50 degrees C.
Depth	0 to 600 meters

Electrical Specifications

Output	Digital (ASCII) Analog (0 - 5 volt) - optional C3 only
Interface	RS232 Interface
Minimum Sample Interval	1 Second
Minimum Power Supply	8 - 30 volts, 5 watts
Maximum Current Draw @ 12 volts	- operational: 200 mA (C3) / 300 mA (C6P) - sleep mode: 3 mA

Available Accessories

3-Brush Mechanical Wiper	0.6 Meter Pigtail Interface Cable
Pressure Sensor	Communication & Integration Cable w/ Locking Sleeve
Antifouling Copper Tape (9) (C3 only)	Boosters (Set of 2)
Antifouling Copper Plate	10 Meter Extender Cable
Analog Output Adapter (C3 only)	25 Meter Extender Cable*
Submersible Battery Pack	50 Meter Extender Cable*
High Capacity Submersible Battery Pack	Integrator Firmware
Battery Pack Bracket	*Boosters are required for cable lengths greater than 10 meters.
Flow Cap	
Shade Cap (Recommended for most deployments)	OIL SPILL RESPONSE FOR SMART PROTOCOL (C3)
Shade Cap Weight	SMART Firmware
C-ray Towed Deployment Body (C3 only)	C-ray Shade Cap
C-ray Shade Cap (C3 only)	C-ray Deployment Body
Solid Secondary Standard	
UV Solid Secondary Standard	

Contact Us

Toll Free: 1.877.316.8049 Email: sales@turnerdesigns.com Address:
 Phone: 408.749.0994 Web: www.turnerdesigns.com 1995 N. 1st Street
 Fax: 408.749.0998 San Jose, CA 95112

Reliable Instruments for an Unreliable World

Reliable Instruments for an Unreliable World

Fig. 3-2-5. Fluorometer spec loaded in Wave Glider.

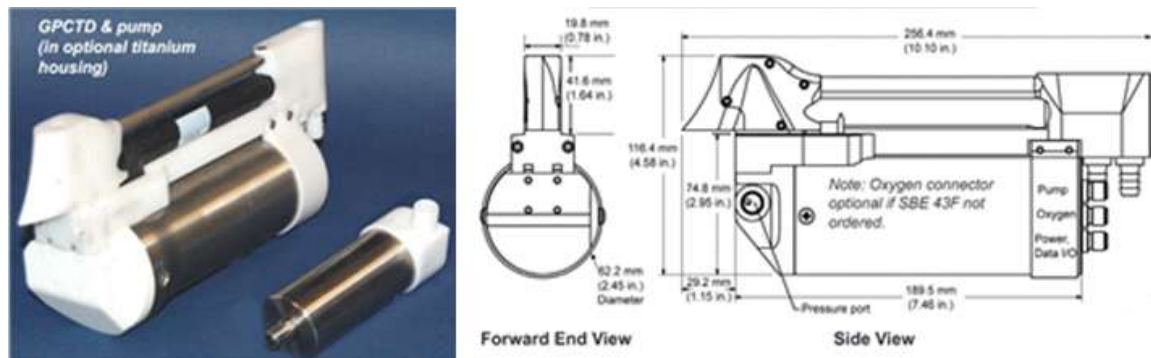


Fig. 3-2-6. SBE CTD spec loaded in Wave Glider.

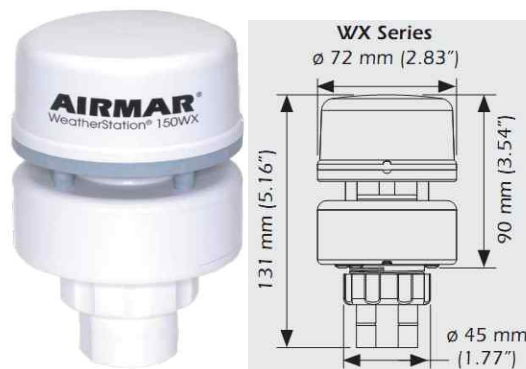


Fig. 3-2-7. Weather station spec loaded in Wave Glider.

3. Wave Glider 운용

- Wave Glider 운용기간은 2016년 8월 19일부터 2016년 9월 22일까지 총 35일 동안 제주 주변해역 관측 수행(Fig. 3-2-8, ~1,000km)
- Wave Glider는 2016년 8월 19일 제주 남부 강정항에서 진수하여 제주 서쪽해역(8/19~8/27)을 관측하고, 이후 제주 남부해역(8/28~8/31)으로 이동하여 제주 동쪽해역(9/1~9/8)하고 다시 제주 남부해역(9/10~9/22)으로 이동 후 회수(Fig. 3-2-10)
- Wave Glider 진수 및 회수 기간 동안에 자료 검증을 위하여 1시간 간격으로 Wave Glider를 추적하면서 현장관측 수행(CTD 및 해수샘플 채집)
- Wave Glider 운용해역 선정은 최대한 다양한 농도 변화를 관측할 수 있는 해역으로 선정(저온~고온, 저농도~고농도, 저염~고염 등)
- Wave Glider에서 관측된 자료는 실시간 위성통신을 통해서 전송되었고, 연안 접근시 CDMA를 통해서 원시자료를 전송하였고, 회수 후 전체 자료 획득
- Wave Glider 운용 기간 중 2개의 태풍이 관측 주변 해역에 간접 영향(13호 말로, 16호 말라카스)을 주었고, 회수 후 수퍼 태풍 18호 차바가 연구 해역을 관통하였음(Fig. 3-2-9)

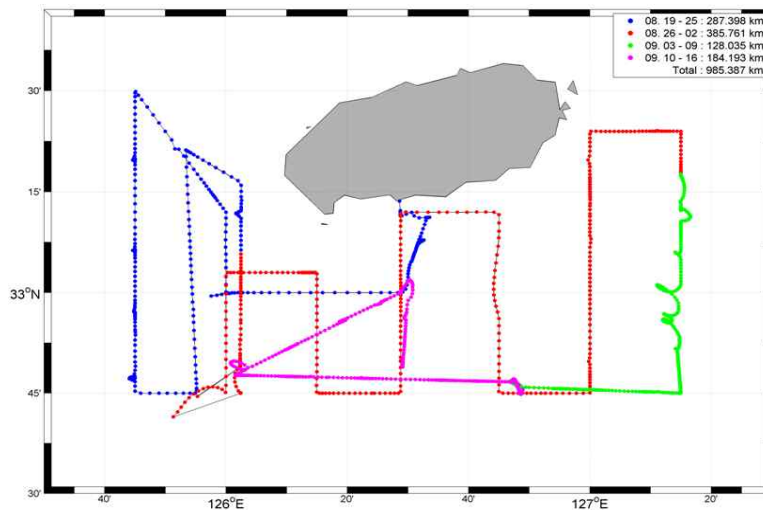


Fig. 3-2-8. Wave Glider operation period and area.

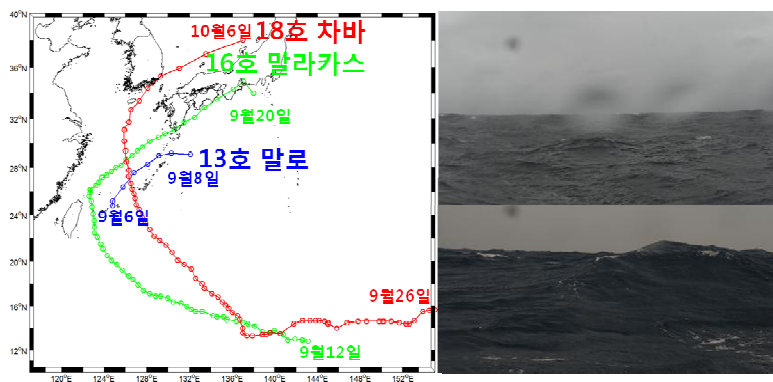


Fig. 3-2-9. The typhoon pathway and ocean status photos.

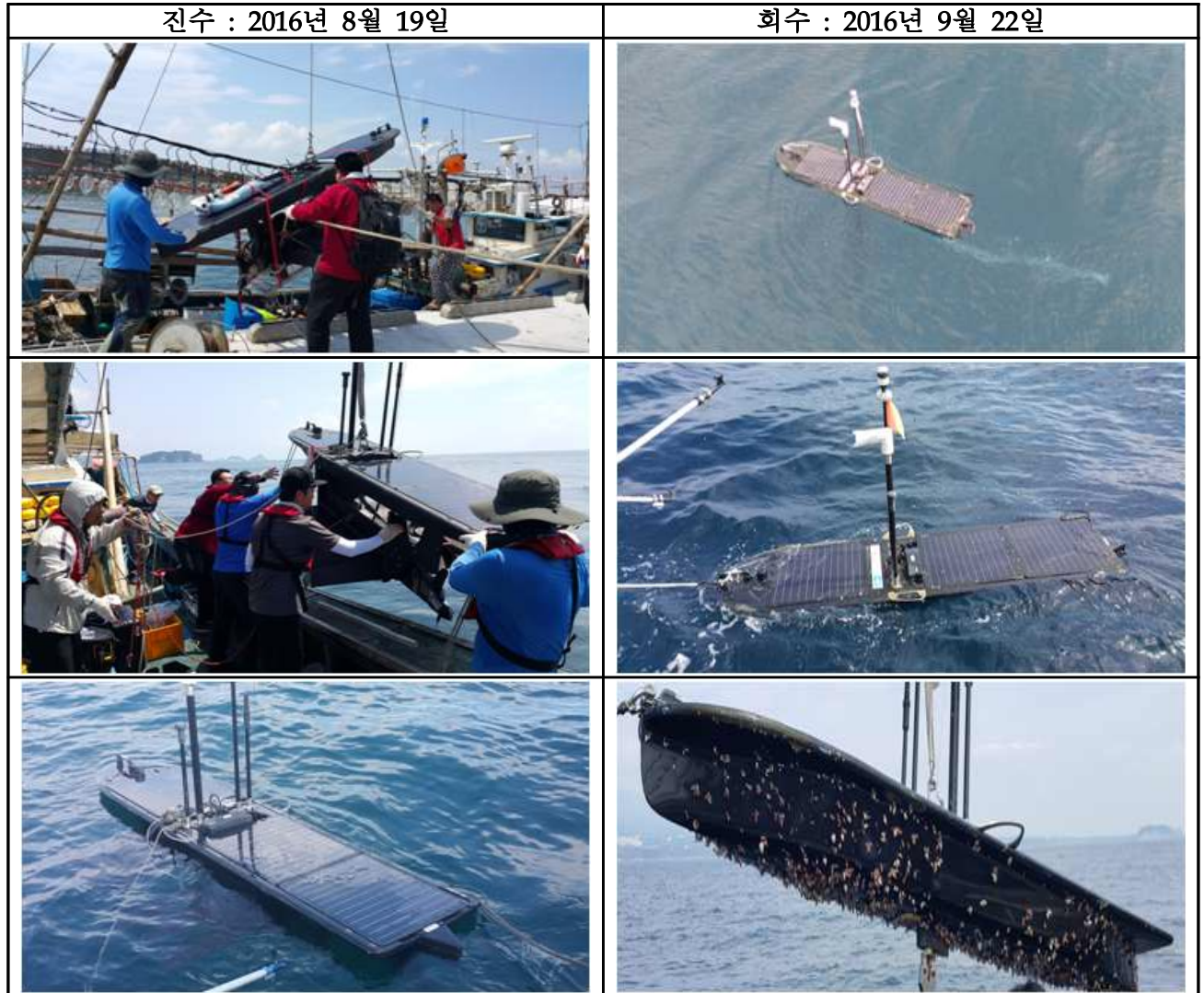


Fig. 3-2-10. The photos during Wave Glider launch and recovery.

4. Wave Glider 관측 자료 분석

- Wave Glider 탑재된 센서의 관측된 자료는 위성자료 검증을 위해 표층 해양환경 인자인 염분, 수온, 클로로필, 탁도에 대해서 분석 실시
- 염분 및 수온은 매 30분마다 관측이 되었고, 클로로필 및 탁도는 5분 간격으로 관측된 것을 본체에 내장된 GPS의 위치 및 시간 정보를 이용하여 30분 간격 자료로 재생성하여 분석
- Wave Glider 관측은 증강된 담수 유입과 해수면 표층수온 증가가 나타난 동중국해 해역에서 2016년 8월 19일부터 9월 22일까지 한 달 정도 운용
- 제주 서귀포 강정항 부근해역에서 진수된 Wave Glider는 제주 서쪽 해역을 먼저 관측하고 이후 제주 남부를 거쳐 제주 서쪽 해역을 관측하고 다시 제주 남부로 돌아와 회수 하는 일정으로 총 ~1,000km 운항
- Wave Glider 관측 자료 중에서 초기 관측값에서 에러를 포함하는 outlier들 발견되

었지만, 그 이후에는 안정적으로 관측된 자료들 생산

- 관측된 해양환경의 공간적 변화에서 염분은 제주 서쪽 해역에서 저염분수가(평균 ~28 psu) 발견되었고, 제주 동쪽은 고염분수가(평균 ~33 psu) 발견되었고, 제주 남부는 평균 ~32 psu으로 염분 분포는 지역적 특성을 나타내고 있음(Fig. 3-2-11)
- 공간적 변화에서 표층수온은 제주 서쪽 해역에서 평균 ~29°C로 가장 높았고, 이후 시간이 지나면서 감소하는 경향을 나타내고 있어 지역해 특성은 보이지 않았지만 제주 서쪽 해역은 대마난류의 영향을 받는 동쪽 해역보다 ~1°C 이상 높게 나타남
- 클로로필은 제주 남부 해역에서 가장 높게 나타나고, 장강희석의 영향을 받는 서쪽에서 상대적으로 낮게 나타남
- 탁도는 제주동쪽에서 가장 높게 나타나고, 대마난류의 영향을 받는 동쪽에서 가장 낮게 분포하는 경향으로 지역해 특성을 나타냄

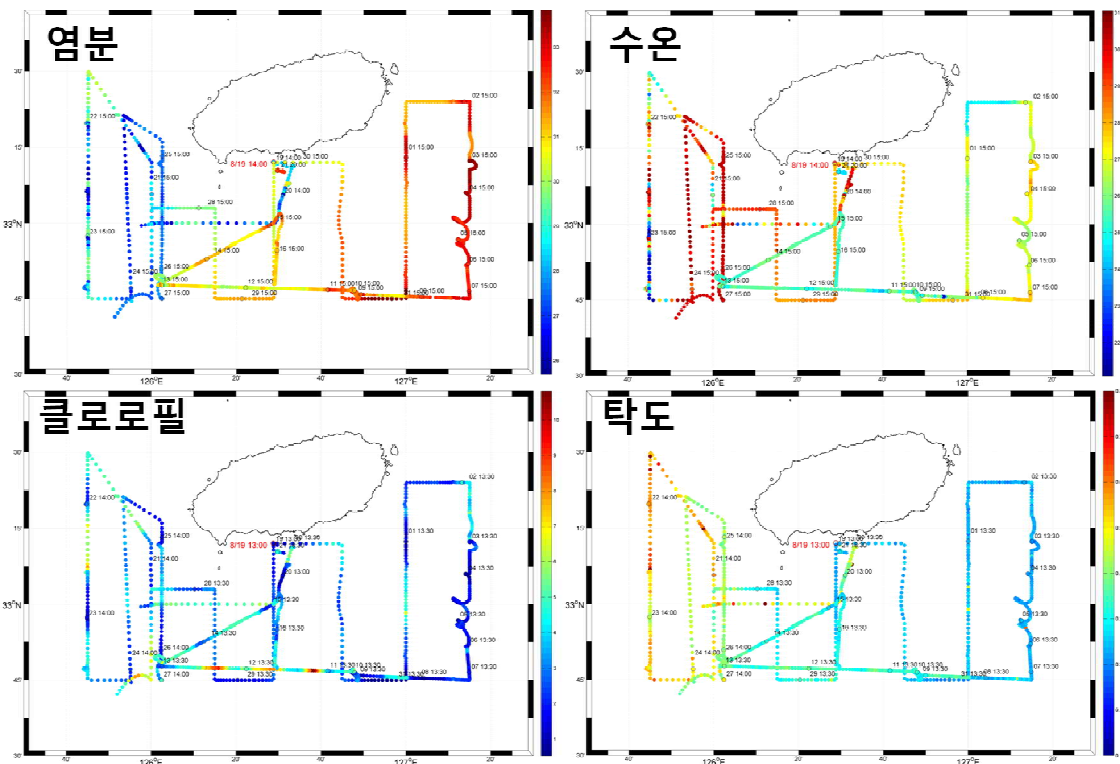


Fig. 3-2-11. The spatial and temporal values in salinity, temperature, chlorophyll-a, turbidity.

- 염분 시계열 자료에서 Wave Glider가 처음 출발해서 같은 지점까지 돌아 왔을 때와 제주 동쪽 해역을 관측시작하면서 다시 같은 지점으로 복귀했을 때 각각 염분은 2~3 psu 높아졌고, 수온은 ~2°C 낮아졌고, 제주 남부를 출발해서 다시 같은 지점까지 돌아 왔을 때(~18일 경과) 염분은 2 psu 높아졌고, 수온은 ~4°C 낮아짐(Fig. 3-2-12)
- 클로로필 시계열 자료에서 클로로필은 제주 남부에서 상대적으로 높게 나타났지만,

탁도는 제주 서쪽 해역에서 상대적으로 높게 나타남

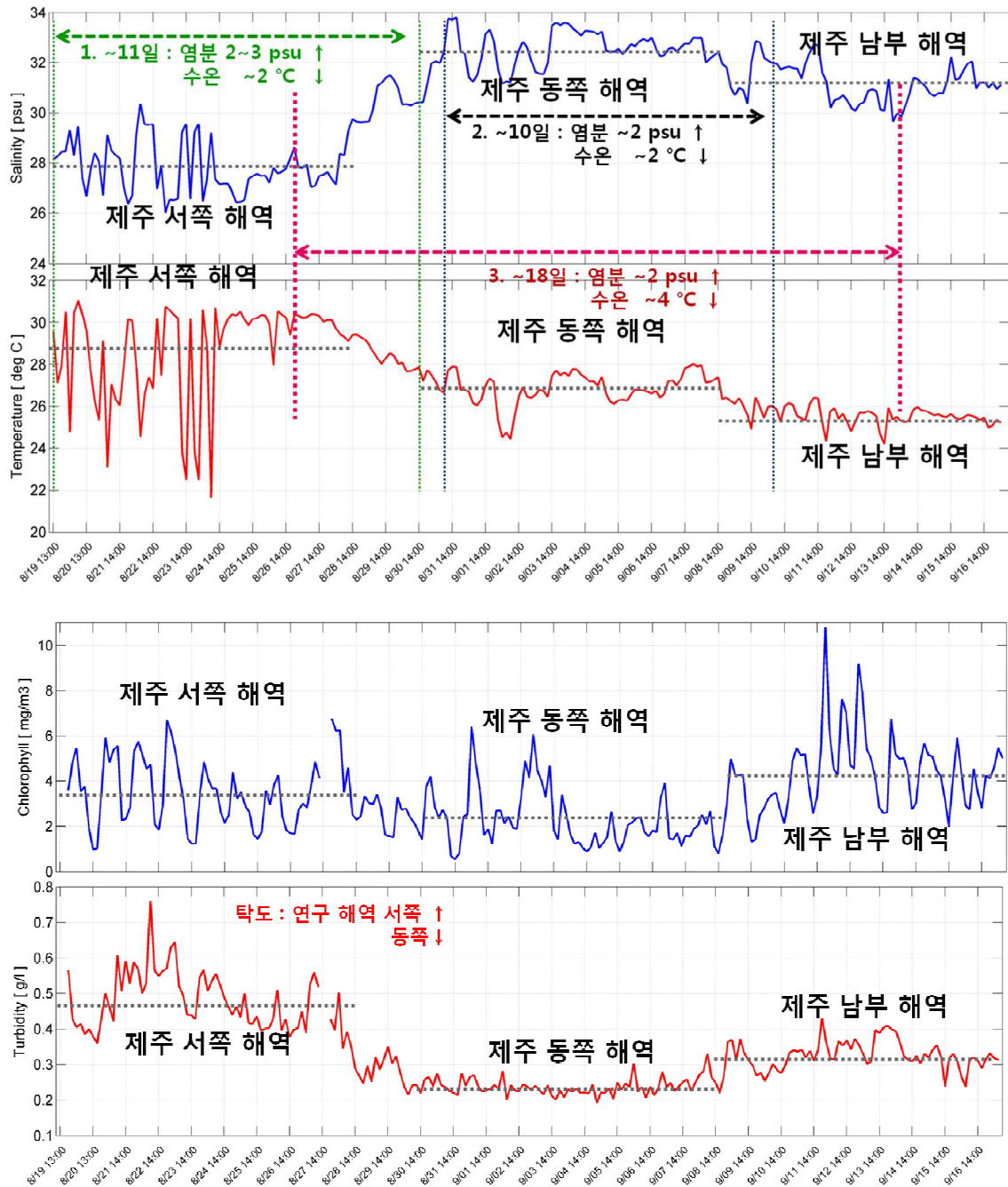


Fig. 3-2-12. The time-series data in salinity, temperature, chlorophyll-a, turbidity.

4. 결론

Wave Glider는 주로 웨이브 에너지를 메인 구동력으로 하여 해양환경을 원격으로 관측 할 수 있는 시스템이다. 탑재된 시스템은 통신, 위치확정 및 독자적인 항행 제어 능력을 보유하도록 함으로써 대범위, 원격 해양 표면 온도, 염도, 해류 및 해면 바람, 온도, 습

도, 기압 등 환경 매개변수에 대한 실시간 측정을 실현했다. Wave Glider는 전기 에너지를 사용하지 않고 추진하는 새로운 무인체이다. 이 장비는 파랑으로부터 에너지 전달을 받아 추진력을 얻어 앞으로 나가게 된다. 태양판으로 만들어지는 전기는 센서 작동과 통신에만 이용하게 된다. 이 무인체의 이동에 대한 명령은 간단하게 웹에서 가능하며 관측 자료는 이리듐을 통해 웹 서버에 저장하게 된다. Wave Glider는 현재 기후변화, 수산자원관리, 생지화학, data gateway, 음향, 태풍, 쓰나미 경보 등의 다양한 자료 수집에 활용이 가능하다. 우리나라에서도 여러 번의 해상 시험을 실시하였는데 거제도 남부 해역에서 ADCP을 통해 해류 관측을 하였고 해운대에서는 파고 비교하였다.

본 연구에서는 2016년 8월 19일 진수하여 2016년 9월 22일 회수까지 약 한달 정도 제주 주변해역에서 다양한 해양환경 관측을 수행하였다. Wave Glider 운용 해역은 다양한 농도, 수온, 염분 변화가 예상되는 해역을 선정하여 제주 서쪽, 남쪽, 동쪽 해역을 순차적으로 관측을 수행하였다. Wave Glider 운용기간동안 두 번의 태풍에 의한 간접적 영향을 받았고(13호 말로, 16호 말라카스), 회수 후 18태풍 차바가 연구 해역을 관통하였다. Wave Glider 관측 자료 중 염분은 제주 서쪽에서 평균 28 psu을 나타내고, 제주 동쪽 해역에서는 ~33 psu, 그리고 제주 남부에서는 ~31 psu으로 해역별 차이가 뚜렷하게 나타났지만 수온은 점차적으로 감소하는 경향을 나타냈고, 클로로필은 제주 남부에서 상대적으로 높은 값을 나타내고, 탁도는 수심 낮은 제주 서쪽에서 가장 높은 값을 나타냈다.

공간적으로 장강 희석수의 영향을 받는 해역에서는 낮은 염분과 상대적으로 높은 수온을 나타냈고, 대마난류의 영향을 받는 해역에서는 상대적으로 높은 염분을 나타냈지만, 수온은 제주 서쪽보다 상대적으로 높지는 않았다. 시계열 자료에서 Wave Glider가 처음 출발한 지점에서 다시 같은 지점으로 돌아오는 동안(~11일 소요) 염분은 2~3 psu 높아졌고 수온은 ~2°C 낮아졌다. 특히 수온은 대마난류의 영향을 받는 해역보다 저염분수가 나타나는 해역에서 상대적으로 높고 나타났다.

본 연구에서는 짧은 시기이지만 한 달 동안 Wave Glider 운용을 통하여 다양한 해역에서 그리고 연속적인 시계열 자료를 확보하였고, 이를 통하여 해양환경 변화를 분석할 수 있는 자료를 확보뿐만 아니라 위성자료 검증을 위한 연속적인 자료를 확보하게 되었다.

제 3 절 위성산출물 검증 연구

1. 서론

위성자료에 의한 해양환경관측은 해양의 다양한 현상을 분석하고 이해하기 위한 기초 자료를 제공할 수 있으며, 특히 광역의 해양환경 변화를 시/공간적인 제약이 없이 관측이 가능하다. 그러기 위해서는 위성자료에 대한 검보정은 중요한 기술이고 필요한 기술이다. 미국 National Aeronautics and Space Administration(NASA)에 의해 해양에서의 pigment 추정을 목적으로 세계 최초의 해상 색 센서인 Coastal Zone Color Scanner(CZCS)가 Nimbus-7 위성에 탑재되어 1978년 10월에 발사되었다. CZCS는 과학적으로 최초의 해상 색 센서라는 점에서는 성공하였으나, 하루에 2시간의 제한적인 관측시간과 1년의 위성체 lifetime, 그리고 level-1 radiance로부터 유도된 level-2 자료의 10% 이내 자료처리 기준 등 매우 제한적인 목표를 갖고 있었다. 그러나 해양연구 그룹들은 CZCS를 계기로 해상 위성에서의 검보정, 대기보정, bio-optical 알고리즘, 자료처리와 자료 접근 등의 해상 원격 탐사 시스템에 대한 전반적인 요소들의 중요성을 파악하였으며, 많은 교훈을 얻게 되었다 (Hooker and McClain, 2000; D'Ortenzio et al., 2002; Hyde et al., 2007).

Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor(SeaWiFS)는 1997년 9월 발사되어 10년 넘게 운용되면서 양질의 자료를 제공하여 세계적으로 가장 성공적인 해상 색 센서로 평가받고 있다. SeaWiFS의 성공 원인으로는 하드웨어적으로 우수한 센서의 개발은 물론 검보정 (Cal/Val) 팀의 다양한 노력의 결과로 평가된다. SeaWiFS Cal/Val 사업은 발사 전후에 위성체, 대기, 바다표층과 수중 그리고 실험실과 자료처리 등의 모든 분야에서 이루어졌다. 이들의 목표는 절대오차 5% 이내의 해수출광량(water-leaving radiance) 자료를 생산하는 것과 엽록소(chlorophyll-a)의 농도가 0.05-50 mg/m³ 지역에서 ±35 % 이하의 엽록소 분석 자료를 생산하는 것이다. 이를 위하여 하와이 부근에 시계열 현장조사 자료를 획득하기 위하여 Marine Optical Buoy(MOBY)를 운영하고 있으며, 관련 자료 획득을 위한 SeaWiFS Bio-Optical Archive and Storage System(SeaBASS), 현장자료 취득 방법론을 정립하기 위한 SeaWiFS Ocean Optics Protocol(SOOP), 현장 검보정 기기의 상호 비교와 인력 교육을 위하여 매년 실시하는 SeaWiFS Intercalibration Round-Robin Experiment(SIRREXs), 미국립표준 연구실에서의 직접비교를 위한 SeaWiFS transfer radiometer(SXR), 현장관측 기기 보정의 시간적 안정성을 모니터링하기 위한 SeaWiFS Quality Monitor(SQM) 등의 사업을 해오고 있다. 또한 전세계 해역을 대상으로 대기보정과 해수 분석 알고리즘에 대한 다양한 현장조사와 심포지움 등을 지원하고 있다 (Hooker and McClain, 2000).

미국 이외의 해상 위성 선도국에서도 검보정을 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 일본 해상 위성인 Ocean Color and Temperature Scanner(OCTS)의 보정을 위하여 일본 National Space and Development Agency(NASDA)에서 개발한 Yamato Bank Optical Mooring(YBOM), 영국의 Plymouth Marine Bio-Optical Data Buoy(PlyMBODY), 유럽의 해상 색 센서인 Medium Resolution Imaging Spectrometer Instrument(MERIS) 검보정을 위

한 BOUSSOLE 부이 등이 있다. 일본의 OCTS나 미국의 NASA의 경우에서 현장 검보정 자료를 이용하여 몇 년간에 걸쳐 지속적으로 자료 전체를 재처리하고 있다. 1997년에 작동이 중단된 OCTS는 전체 자료를 2001년에 4번째로 재처리를 하였으며 현재에도 재처리를 새로 하고 있다. SeaWiFS는 2002년에 4번째 재처리를 하였다.

한국해양과학기술원 해양위성센터는 천리안 위성의 해양탐재체인 천리안 해양위성 (Geostationary Ocean Color Imager, GOCI)의 원활한 운영과 자료 서비스를 위해서 국토해양부의 지원으로 GOCI의 운영을 위한 해양위성센터 구축과 운영을 성공적으로 수행하고 있다(Ryu and Ishizaka, 2012). 기존의 극궤도 해색위성들과는 달리 정지궤도 해색센서 GOCI는 하루에 8번 관측으로 인하여 시간별로 태양-지구-위성간의 위치가 계속적으로 바뀌게 됨으로 광특성 및 양방향분포함수(Bidirectional Reflectance Distribution Function : BRDF)에 대한 보정은 필요하다. 그리고 GOCI는 2차원적인 frame-capture 방식으로 16개의 슬롯을 관측하게 됨으로 첫 슬롯과 16번째 슬롯간의 관측 시간 차이에 빠르게 이동하는 구름이나 조류의 영향에 대한 문제가 발생 할 수 있다. 또한 GOCI의 관측 영역 지역은 Case-1과 Case-2 Water가 같이 공존하며 북서계절풍의 영향으로 해수 광특성의 변화가 심한 지역이므로 기존의 극궤도용 해수환경 분석 알고리즘을 적용하기는 어렵다. 따라서 한반도 지역에 특화된 GOCI가 실제 해양환경분석 연구에 신뢰성 있는 자료로 활용하기 위해서는, 지속적으로 센서의 광학적인 검보정이 수행되고, 위성자료로부터 분석된 해양환경 자료는 주기적으로 선박현장 관측자료와 비교/분석을 통한 자료의 질을 높이는 과정이 병행되고 있다(Hooker and McClain, 2000; 유, 2002; Hyde et al., 2007; 한국해양연구원, 2008).

위성 자료 검보정을 수행하기 위해 고정형 계류시스템 사용은 시계열 자료를 얻을 수 있지만 수중에 생물고착물에 의한 문제점 및 제한된 해역의 자료를 수집한다는 점에서 새로운 대안이 필요할 것이다. 본 연구에서 사용된 Wave Glider 플랫폼은 Liquid Robotics(<http://liquidr.com/>)사에서 개발된 것으로 미국에서 2009년부터 민간 및 국방 분야에서 활용되기 시작했지만, 한국에서는 국방 분야에서 활용되기 위해 현재 도입하여 운영 대기 중이고 한국의 오션테크에서 민간 활용을 위해 3대 도입하여 대여 운영 중이다. Wave Glider는 부력체와 수중의 글라이더로 구성되어 파도에 의한 상하 움직임이 수중의 글라이더에 전달, 글라이더에 부착된 여러 날개의 양력으로 전진하고 수중 날개부 후미에 장착된 러더를 조향하여 연결선으로 연결된 해수면 위의 부력체에 연결된 주 몸체를 이동시키기 때문에 별도의 연료 공급이 필요로 하지 않아 장거리 기동이 가능하다. Wave Glider는 대기 및 표층해양환경을 장기간 계측할 수 있는 플랫폼으로 기상관측 항목은 풍향, 풍속, 기압, 기온, 광량 등 이고, 표층 해양환경 측정 항목은 수온, 염분, 엽록소-a, 탁도, 유속과 유향, 파고와 파향 등이고, 광학카메라 부착으로 영상 촬영이 가능하여 표층 해양환경 변화를 실시간 및 연속적 관측이 가능하여 이동형 부이체계를 활용한 국지적 관측과 위성을 활용한 광역의 모니터링을 연계한 통합적 해상관측체계를 구축할 경우 막대한 시너지 효과를 창출 할 것이다.

본 연구에서는 해색위성의 기본 산출물 검증을 해상무인자율로봇인 Wave Glider에서 관측된 자료를 활용하여 검증을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 위성자료

해색위성 MODIS(Moderate Resolution Imaging Sepctroradiometer)의 표층수온 자료는 NASA Ocean Biologoy Processing Group(<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)의 자료를 사용하였다. 남해안을 포함하는 동중국해에서 표층 수온은 2016년 6월 22일부터 9월 22일까지 일별 자료를 연구지역에 맞도록 1km 해상도를 가지는 자료로 처리했다.

해색위성 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) 자료는 한국해양과학기술원 해양 위성센터(<http://kosc.kiost.ac.kr/>)에서 제공하는 자료를 사용했다. Level 2 자료인 클로로필 농도 및 파장별 원격반사도(remote-sensing reflectance, Rrs)는 GDPS(GOCI Data Processing System)을 사용하여 2016년 6월 22일부터 9월 22일까지 하루에 8개 영상자료에 대해서 연구지역에 맞도록 500m 해상도를 가지는 자료로 처리했다(Ryu and Ishizaka, 2012).

나. Wave Glider 자료

Wave Glider는 수중에 설치된 CTD 및 fluorometer로부터 수온/염분 및 클로로필/탁도 값이 관측되었다. 염분 및 수온은 매 30분마다 관측이 되었고, 클로로필 및 탁도는 5분 간격으로 관측된 것을 본체에 내장된 GPS의 위치 및 시간 정보를 이용하여 30분 간격 자료로 재생성하여 위성자료 검증에 사용하였다. Wave Glider 센서의 값을 검증하기 위해서 진수 및 회수 시 현장에서 CTD 및 해수 샘플을 채수하여 검증하였다.

다. 위성-Wave Glider 매칭자료 생성

위성-현장관측 매칭자료 생성 시 크게 3 단계를 나누어서 자료를 생성했다(Son et al., 2009). 첫 번째, 일반적으로 위성자료와 현장관측자료 매칭자료는 동시간대 자료를 생산하는 것이 일반적이지만 극궤도위성 자료의 경우 하루 1~2회 관측으로 제한적 자료로 인하여 관측을 ± 3 window 안에서 매칭 자료 생산한다. MODIS 표층수온 자료와 Wave Glider에서 관측된 자료를 비교에서 MODIS는 하루 한번 관측하고, 글라이더는 30분 간격으로 측정하기 때문에 글라이더와 비교를 위해 위성관측 시간에서 ± 3 window 안에서 매칭을 했고, 전체 자료에 대해서는 동일 날짜인 경우 매칭을 실시하였다. GOCI에서 시간별(09h~16h) 관측된 값과 글라이더에서 관측된 것과 동시간대 매칭자료를 생산했다.

두 번째, 현장자료와 매칭되는 위성자료는 3×3 pixel을 사용하고 전체 pixel 중에서 >50% 자료가 포함된 경우에 매칭자료로 사용한다. MODIS 표층수온 자료는 3×3 pixel(3×3 km)이고, GOCI는 3×3 pixel(~1.5×1.5 km)의 자료를 사용한다.

세 번째, >50% 이상 자료를 가지고 있는 매칭된 자료의 경우에도 outlier를 가지고 있을 수 있기 때문에 이를 제거하는 과정을 수행한다. 매칭된 자료에서 outlier 제거를 위해
$$\frac{\sum(\bar{x}-1.5\sigma < X_i < (\bar{x}+1.5\sigma))}{N}$$
 과정 수행(\bar{x} 는 unfiltered mean value, σ 는 standard deviation of the unfiltered data, N는 number of values within $\pm 1.5 \times \sigma$)

최종적으로 나온 위성자료 현장에서 관측된 자료를 이용하여 1:1 관계를 검증하였다.

3. 결과

- Wave Glider 관측은 증강된 담수 유입과 해수면 표층수온 증가가 나타난 동중국해 해역에서 2016년 8월 19일부터 9월 22일까지 한 달 정도 운용(Fig. 3-2-8)
- 위성, Wave Glider 자료에 검증을 위해 글라이더 진수시 2일간 현장관측 수행되었고, 현장관측에서 제주 서귀포 부근 해역에 ~27 psu 저염수 발견, 표층수온 ~31°C로 Wave Glider 매칭자료와 일치(Fig. 3-3-1)
 - 현장관측에서 CTD 자료와 Wave Glider CTD에서 관측된 염분과 수온 1:1 라인 데 매칭되었고, 형광 및 탁도 센세 자료도 유사한 경향을 나타냄
- Wave Glider에서 관측한 표층수온은 spike를 포함하고 있지만, 전체 양상은 위성과 좋은 선형관계를 나타냄(Fig. 3-3-2)
- MODIS에서 관측된 표층수온이 글라이더에서 관측된 값과 비교하여 상대적 낮게 나타나고, 이는 대기보정 과정 또는 알고리즘 상에서 상대적으로 낮게 추정 또는 Wave Glider CTD 센서가 수심 8m에 장착되어 있어 나타난 현상으로 추정
- GOCI 클로로필과 글라이더에서 관측과 클로로필은 뚜렷한 선형 관계를 나타냄
 - 그러나 아침(09h)과 저녁(16h)에는 상관관계가 낮게 나타나는데, 이는 위성의 문제보다 광저해 현상(photo quenching) 또는 낮은 sun angle에 의한 현상으로 추정되고, 그래서 글라이더에서 관측된 값에 대해서 보정이 필요할 것으로 사료됨 (Fig. 3-3-2, 3-3-3)
- 중요한 관측 중의 하나인 염분 자료 분석에서 위성을 활용한 염분 관측을 수행하기 위해서 Son et al. (2011)에서 제안되었던 해색위성을 이용하여 염분을 계산
 - 해색위성은 GOCI의 반사도를 이용하였고, 클로로필 매칭과 같이 글라이더 관측 시간과 동일한 시간대의 자료를 매칭(Fig. 3-3-2, 3-3-3)
 - 염분의 경우 위성과 현장관측과의 관계에서 선형 관계를 나타내지만, 염분이 낮은 구간에서는 위성에서 과대 추정하고 염분이 구간에서는 상대적으로 낮게 추정

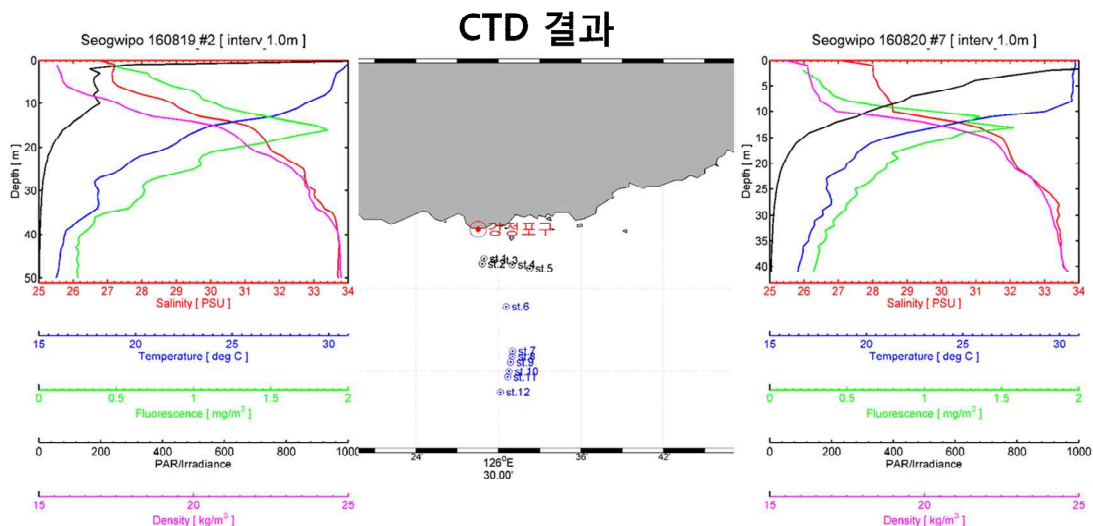


Fig. 3-3-1. In-situ CTD profile on Aug. 19 and 20, 2016.

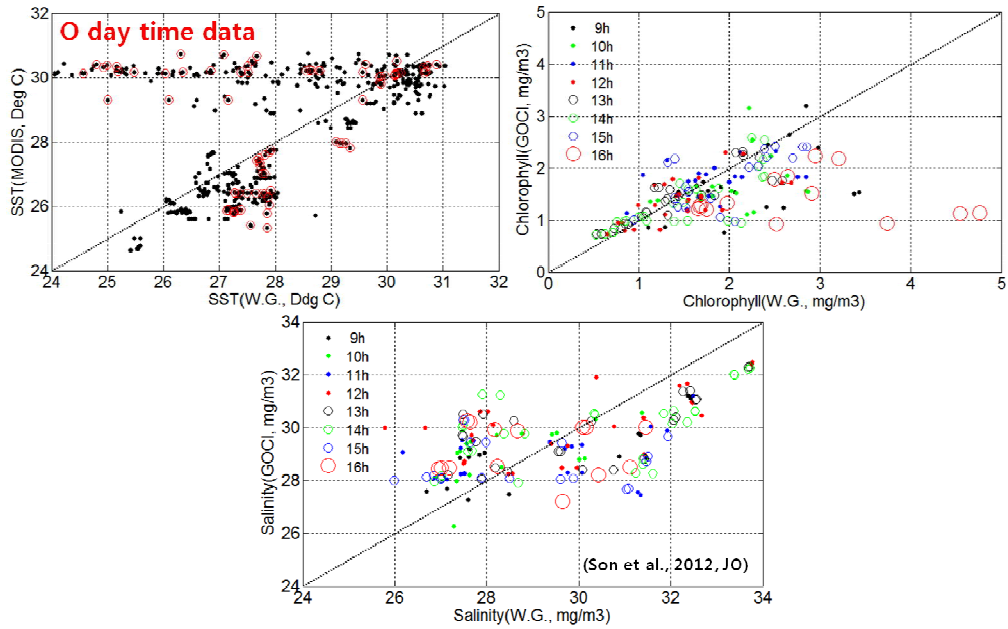


Fig. 3-3-2. Comparison between satellite and Wave Glider data(sea surface temperature, chlorophyll-a, salinity).

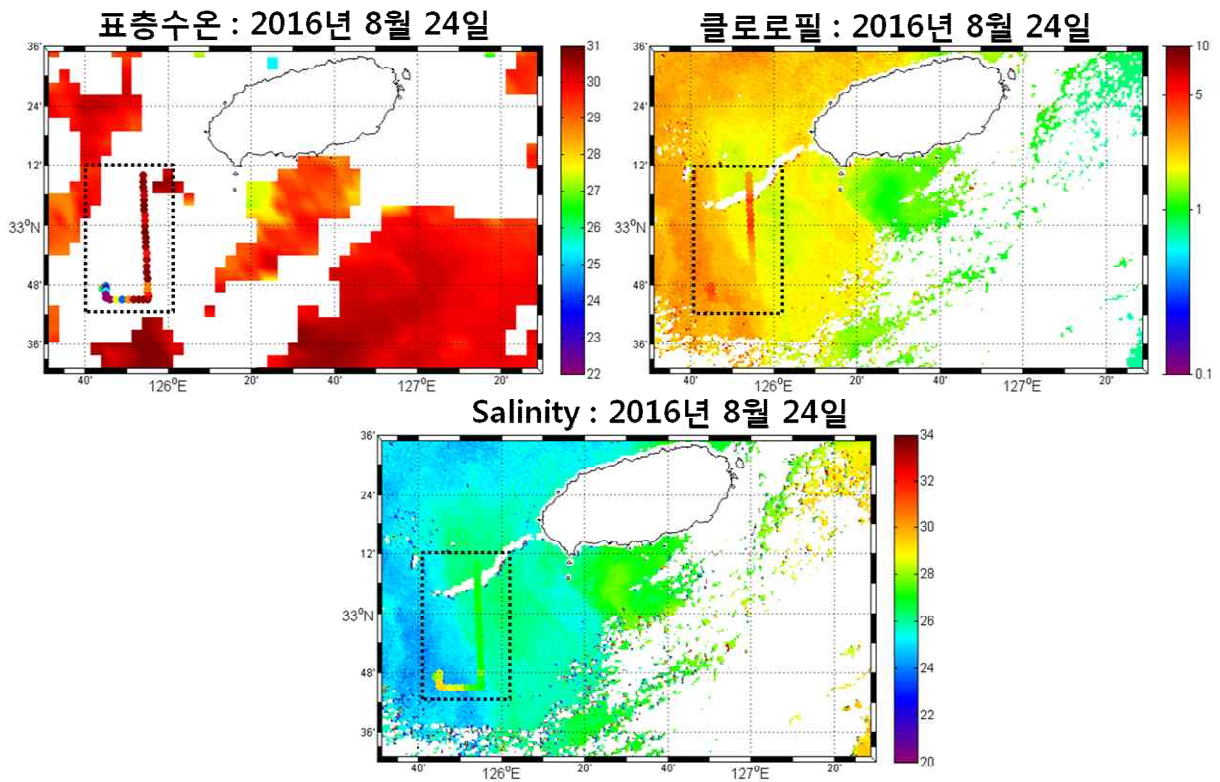


Fig. 3-3-3. Spatial comparison between satellite and Wave Glider data(sea surface

temperature, chlorophyll-a, salinity) in Aug. 24, 2016.

4. 결론

본 연구에서는 위성 산출물에 검증은 위하여 다양한 해역에서 연속적인 시계열 자료를 확보하기 위하여 2016년 8월 19일부터 2016년 9월 22일까지 약 한 달간 이동형 해상 무인자율로봇인 Wave Glider을 이용하여 표층해역의 해양환경(수온, 염분, 클로로필, 탁도 등) 자료를 수집하여 위성자료와 매칭 자료 생산을 통하여 검증을 실시하였다. 수온은 MODIS 위성을 사용하였고, 클로로필과 염분은 GOCI 해색위성을 사용하였다. 관측 초기에는 Wave Glider 관측값에서 상대적으로 많은 spike을 가지고 있었지만 이후에는 안정적으로 자료를 산출하여 위성자료와 1:1 매칭 자료를 생산했다. 수온은 에러값을 제외하고 위성자료와 좋은 상관관계를 나타내고 있지만, 상대적으로 Wave Glider의 수온이 낮은 것은 Wave Glider CTD 센서가 수심 8m에 설치되어 있어서 이런 현상을 보이는 것으로 사료된다. Wave Glider에 설치된 형광센서 측정된 클로로필 농도는 GOCI 위성에서 추정된 클로로필 농도와 좋은 상관관계를 보이지만, 오전(9시)과 오후(16시)에는 상대적으로 낮은 상관관계를 나타낸다. 이는 식물플랑크톤의 광저해 현상에 의한 현상이거나 또는 sun angle이 낮아서 생긴 현상으로 추정된다. 염분은 GOCI 해색위성을 반사도를 이용하여 기존의 알고리즘(Son et al., 2012)을 적용하여 계산한 결과로 저염분 자료에서 상대적으로 과대 추정하거나 과소 추정되었다.

제 4 절 동중국해 고수온 현상

1. 서론

기후변화에 따른 수온 및 해수면 상승은 한반도를 포함한 전 지구적 해역까지 빠르게 진행되고 있고, 한반도 근해는 전세계 해역에서 최근 100년 동안 가장 많이 수온 상승을 보인 해역 중에 하나로 보고되고 있고(>2°C), 미래전망 역시 같은 예측을 나타내고 있다(Fig. 3-4-1). 전 지구적 수온은 1920년에서 1940년대까지 상승과 1980년 대 이후 급격하게 상승하여 현재까지 유지하고 있지만 미래 전망 역시 꾸준한 상승을 보고하고 있다(Crowley 2000; Walther et al., 2002; Edwards and Richardson, 2004; Behrenfeld et al., 2006; Hansen et al., 2006). 특히 국립해양대기청(NOAA)과 미국 항공우주국(NASA) 등 주요 기후관측 기관들은 2016년이 기상관측 사상 가장 더운 해였다고 보고를 했다(<http://www.sciencetimes.co.kr/>). 최근 3년 동안 2014년부터 2016년까지 3년 연속 지구 온도가 사상 최고치를 갈아치웠다고 발표했고 이는 NOAA 자료에서 2000년대 들어 2005년, 2010년, 그리고 2014~2016년 모두 다섯 차례에 걸쳐 지구 최고 기온이 기록되었고, 2016년은 육지와 바다의 평균 온도가 58.69 °F(14.83 °C)를 기록되었다고 보도했다. 이는 20세기 평균치인 57도 °F(13.88 °C)보다 1.69 °F(0.95 °C) 높은 수치이고, 2015년 58.62 °F(14.79 °C)보다 0.07 °F(0.04 °C)가 오른 것으로 1880년 NOAA에서 관측한 이래 최고 온도를 기록한 것으로 나타났다(Fig. 3-4-2).

동중국해는 북서태평양의 연해로 남쪽으로는 북서태평양과 연결되고 북쪽에서 황해 및 동해와 연결되어 있다. 동중국해의 해수 순환 특징은 북서태평양의 해수를 받아들여 황해와 동해로 공급해 주며, 또한 동중국해의 연안수를 동해와 북서태평양으로 이동시키는 중요한 역할을 담당하고 있다. 대륙사면 측에는 쿠로시오와 전선을 형성하고 있으며 대륙붕으로 올라오는 용승작용에 의해 상당한 양의 물질교환이 이루어지는 것으로 알려져 있다(Liu et al., 1992; Chen and Wang, 1999). 중위도에 위치한 동중국해는 저위도의 열수송이 이루어질 경우 가장 먼저 영향을 받는 해역이고 고위도로 열에너지를 수송하는 통로로 중요하다(Milliman and Meade, 1983). 그러나 동중국해는 중국 장강에서 유출된 담수가 유입되면서 장강희석수(Changjiang Diluted Water, CDW)을 형성하게 되고, 특히 하계에는 많은 양의 담수가 동중국해로 유입되면서 제주도를 포함한 광역의 해역으로 유입되면서 동중국해 및 주변해역에서 해류시스템 변화 및 생지화학적 원소들의 거동 및 분포 변화로 해양생태계에 심각한 변화를 초래할 것으로 보고 했다. Park et al(2011, 2015)은 동중국해 하계 수온 상승은 기후변화에 의한 것도 있지만 장강희석수에 의해서 수온이 상승한 것으로 보고했다.

동중국해 수온 변화 연구는 1980년대까지 주로 남해안 연안정지 수온관측 자료를 이용한 표층수온의 연주기 및 반년주기의 주기성 분석이 대부분이며 일부 영년변화의 분석이 있었지만 변동성과 기작의 연구는 거의 없었고(김 2002), 해양생태계까지 포함한 다학제적 변화 연구는 최근 들어서야 연구가 수행되고 있는 실정이다(국토해양부 2010). 2000년대 들어와서 30년 이상의 장기 자료가 확보 되면서 많은 연구자들은 해역별 수온 변화

를 분석하고 기후변화에 따른 변동성을 추적하기 시작했다(Kang 2000; 민과 김, 2006; 성 등, 2010). 그리고 축적된 위성자료 및 재분석을 자료를 이용하여 광역의 해역에 대한 분석 결과를 제공하고 있다(Yeh and Kim, 2010; 김 등, 2011; 손 등, 2012).

동중국해 표층수온 변화는 전세계 수온 변화와 비슷하게 1980년 말을 전후로 하여 climate regime shift 현상을 보이는 것으로 보고되었다. 그리고 이와 연계하여 해양의 생산성도 변화되고 있음을 보고했다(Crowley 2000; Walther et al., 2002; Edwards and Richardson 2004; Behrenfeld et al., 2006; Hansen et al., 2006, 손 등 2012, 2013). 동중국해의 수심은 약 70% 이상이 약 200m 이하의 대륙붕으로 구성되어 있어 해양-대기의 열교환 및 상호작용이 활발히 일어나고 있고, 일본과 한국의 연별 기후 변동성과 밀접한 상관관계를 가지고 있다.

본 연구에서는 동중국해로 유입되는 담수가 가뭄이나 홍수 등과 같은 극한 현상에 의해 극명하게 달라지고 있는 상황에서 2016년 중국 내륙에 홍수로 인하여 상당한 양의 담수가 동중국해로 유입된 상황에서 동중국해 고수온 현상도 같이 발생하게 되어 이를 규명하기 위해서 위성과 현장관측 자료를 이용하여 원인을 분석하였다.

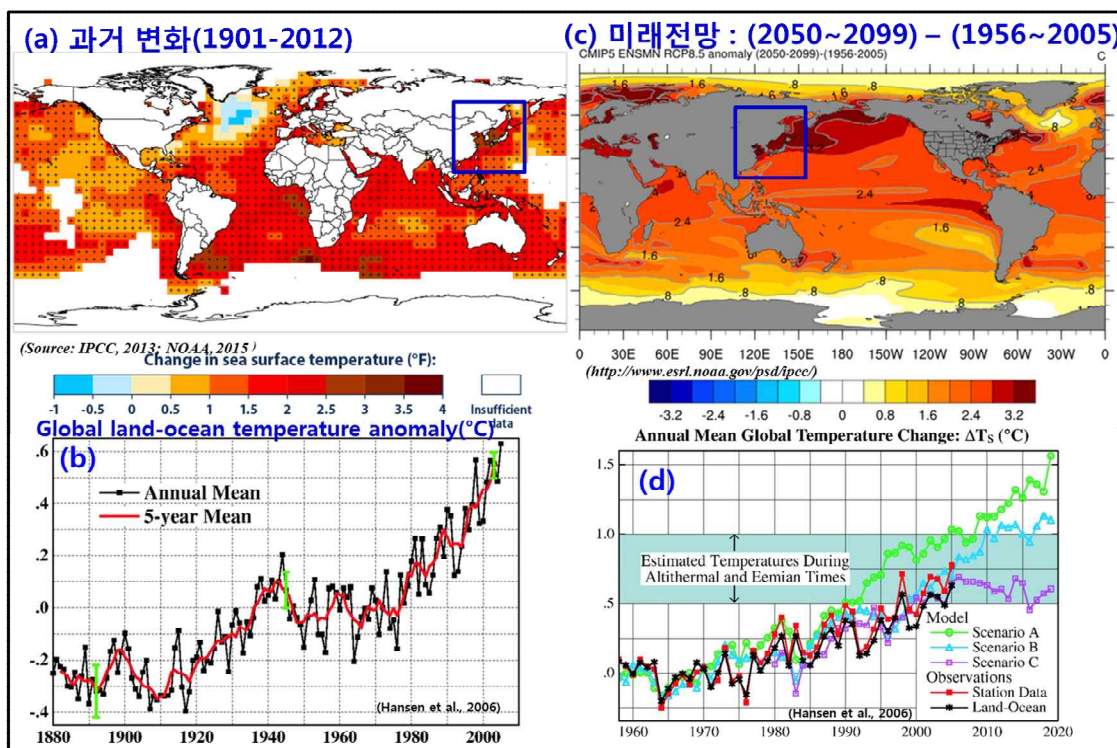


Fig. 3-4-1. Global sea surface temperature variation during the past and future.

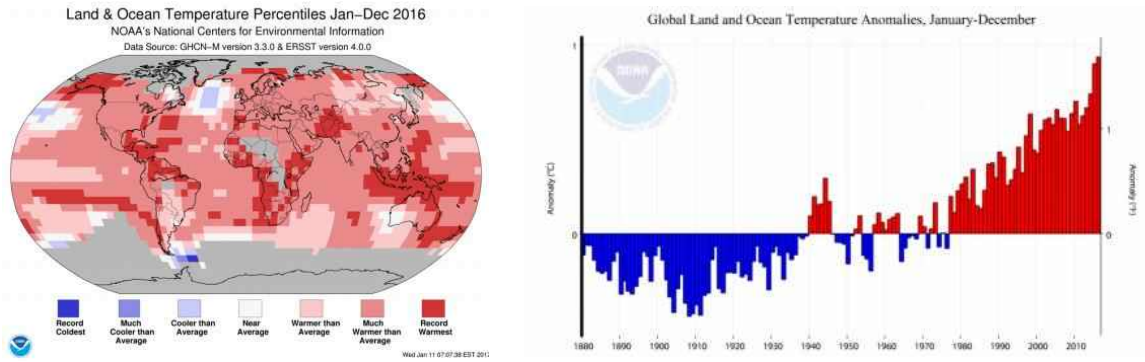


Fig. 3-4-2. Global land and ocean temperature variations(<http://www.sciencetimes.co.kr/>).

2. 재료 및 방법

가. 위성자료

남해안을 포함하는 동중국해에서 표층 수온의 장기 변화를 관측하기 위하여, NOAA AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 표층수온 자료는 1998년부터 2009년까지 NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory) Pathfinder 5.0 SST(sea surface temperature)와 2010년부터 2016년까지는 해색위성 MODIS(Moderate Resolution Imaging Sepctroradiometer)의 표층수온 자료는 NASA Ocean Biology Processing Group(<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)를 사용했다. Level 3 월평균 표층수온 자료는 연구지역에 맞도록 SMI(Standard Mapped Image) 처리하여 분석하였다(손 등, 2012).

해색위성 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) 자료는 한국해양과학기술원 해양위성센터(<http://kosc.kiost.ac.kr/>)에서 제공하는 자료를 사용했다. Level 2 자료인 클로로필 농도 및 파장별 원격반사도(remote-sensing reflectance, Rrs)는 GDPS(GOCI Data Processing System)을 사용하여 2015과 2016년 여름철(6월~9월) 일별 자료를 연구지역에 맞도록 처리 후 합성하였다.

나. 기온자료

동중국해 대기온도와 관련한 자료는 유럽중기예보센터(European Center for Medium-Range Weather Forecasts; ECMWF)에서 제공하는 자료를 2015과 2016년 여름철(6월~9월) 일별 자료를 연구지역에 맞도록 처리 후 합성하였다(<http://apps.ecmwf.int/datasets/>).

다. 현장관측 자료

장강 희석수의 영향을 받는 동중국해 및 남해안을 포함하는 대륙붕 지역에서 해양환경 변화를 관측하는 2016년 조사된 Wave Glider 자료와 국립수산물과학원 자료를 이용하였다. Wave Glider는 수중에 설치된 CTD 및 fluorometer로부터 수온/염분 및 클로로필/탁도 값이 관측되었다. 염분 및 수온은 매 30분마다 관측이 되었고, 클로로필 및 탁도는

5분 간격으로 관측된 것을 본체에 내장된 GPS의 위치 및 시간 정보를 이용하여 30분 간격 자료로 재생성된 자료를 이용하여 수온과 염분의 관계를 분석하였다.

국립수산과학원에서 매년 격월로 한반도 주변 해역에 대한 정기적인 해양관측을 수행하여 얻은 자료들 중에서 동중국해 및 남해안 해역의 수온/염분 현장관측 자료를 사용하였다(<http://kodc.nfrdi.re.kr/>). 기본적인 염분 자료는 CTD(Conductivity, Temperature and Depth)를 이용하여 관측되었다.

라. 장강방류량자료

장강의 월별 평균 방류량은 다똥(Datong)관측소에서 관측한 자료를 이용하여 1995년부터 2016년까지의 자료를 이용하였다.

3. 결과

가. 동중국해 수온 변화

- 연안정지 관측자료와 정선해양관측자료를 이용하여 1924년부터 2009년까지의 제주도 부근 해역에서 표층수온 상승속도는 전체 86년간 1.94 °C 상승했고, 최근 41년간 1.17 °C 상승하여 전 세계 평균(지난 세기 0.67 °C) 빠르게 상승한 것으로 보고, 특히 전체 86년간 자료에서는 겨울철 상승속도가 연평균이나 여름철보다 높은 것으로 파악(Fig. 3-4-3)
- 그러나 최근 41년(1968-2008) 여름철 상승속도가 연평균이나 겨울철 상승속도보다 2배정도 크고, 지구온난화 및 양자강의 저염분수의 확장과 연관되어 장기적 변동에서 수온 상승에 의한 영향을 준 것으로 보고(서 등, 2011)

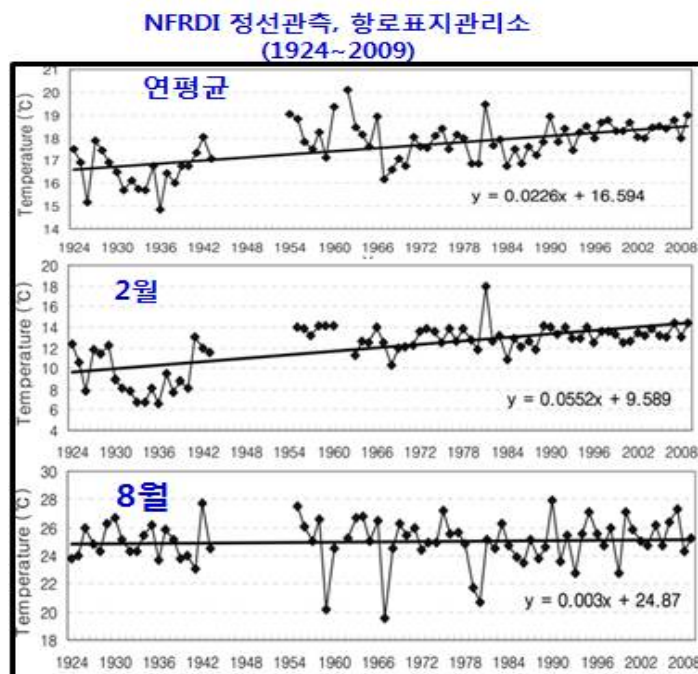


Fig. 3-4-3. Year to year variation of sea surface temperature in the waters off Jeju (Sanji) on annual, February, and August for 86 years(1924-2009)(Seo et al., 2011).

- 재분석 자료를 이용한 연구(Yeh and Kim, 2010; 김 등, 2011)에서 평균수온 변화가 전 세계 변화보다 빠르게 진행되고 있음을 시사하고 있고, 특히 Yeh and Kim(2010)는 겨울철 온난화 전 세계 평균보다 3배 이상 빠르게 진행 된 것으로 보고했다(Fig. 3-4-4).

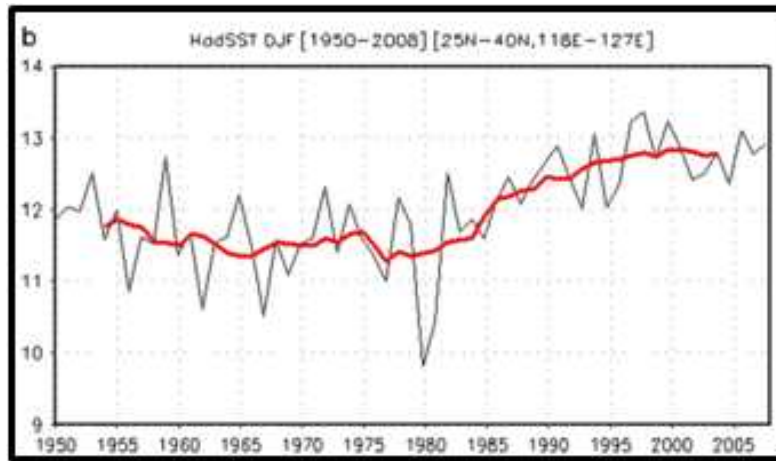


Fig. 3-4-4. The time series of SST averaged over the region 25-40°N, 118-127°E during winter for the period 1950-2008(Yeh and Kim, 2010).

- 위성에서 추정된 수온자료를 이용한 연구(손 등, 2012; 황 등, 2012)에서도 최근 연평균 및 월평균 모두에서 표층수온은 꾸준히 상승했고, 전체 및 지역구분 자료에서도 동일하게 증가하는 경향을 관측했고, 26년간의 월평균 자료에서 표층수온은 지역에 따라 차이는 있지만 대략 0.2~1.0°C 상승한 것으로 나타남
- 이는 연안 정선관측 자료에서 얻어진 표층수온도 0.6~1.0°C의 수온 상승과 유사하고(Kang, 2000; 민과 김, 2006), 연평균 수온(20.3°C)을 이용한 등온선의 위치가 과거에 비해 북상하고 있음을 보고했는데, 특히 대한해협에 근접할수록 크게 변화가 나타나면서 수온 상승의 신호가 동해 쪽으로 잘 전달 될 수 있음을 시사(Fig. 3-4-5)
- 최근 30년간 분석된 자료에서도 제주도 부근 해역은 연평균, 겨울철 및 여름철 모두 최근 30년 동안 1°C 이상의 수온이 상승했고(Fig. 3-4-6), 황 등(2012) 연구에서는 동중국해 북부해역과 남해역의 경우 여름철 수온 상승이 겨울철 상승보다 빠르게 나타나서 연 진폭이 증가하는 것으로 보고함

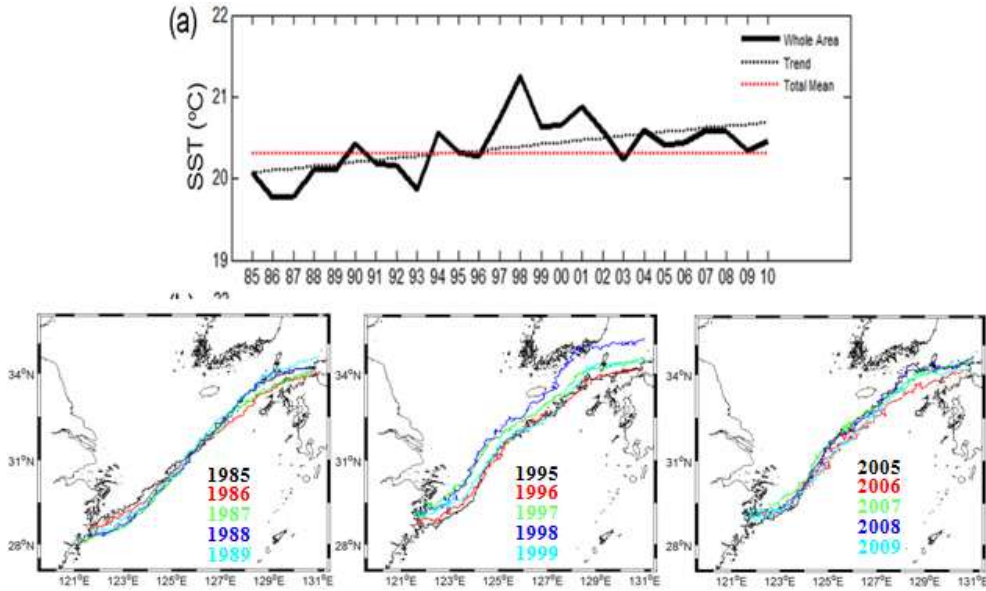


Fig. 3-4-5. Inter-annual variations and trends of annual mean value for sea surface temperature(Son et al., 2012).

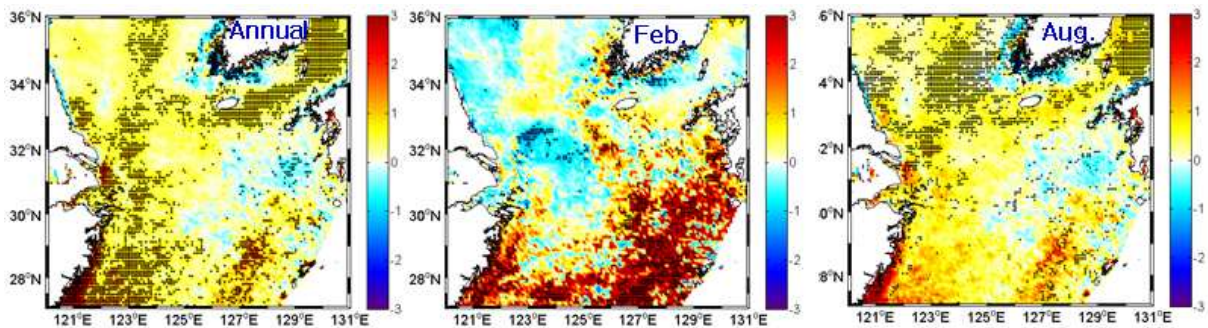


Fig. 3-4-6. Inter-annual variations and trends of annual mean value for sea surface temperature(1985-2014).

- 동중국해 하계(7월과 8월) 표층수온은 최근 19년 동안(98~16) 2016년 7월과 8월이 동중국해에서 월평균 수온이 가장 높았고, 2016년 7월 평균 수온은 $>27\text{ }^{\circ}\text{C}$, 8월 평균 수온은 $\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 로 관측됨(Fig. 3-4-7)
- 2016년 7월과 8월은 평균보다 $\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 높았고, 2015년과 비교하여 7월은 $\sim 3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 이상 상승했고, 8월은 $\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 상승한 것으로 관측
- 특히 평균 또는 2015년 7월과 비교하여 가장 많이 상승한 해역은 제주를 포함하는 동중국해 중앙해역이고, 8월은 제주 서쪽 해역에서 나타남
- 최근 19년 동안 가장 수온이 낮았던 해는 1999년으로 평균보다 $\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 낮았고, 7월 평균 수온은 $<23\text{ }^{\circ}\text{C}$, 8월 평균 수온은 $\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

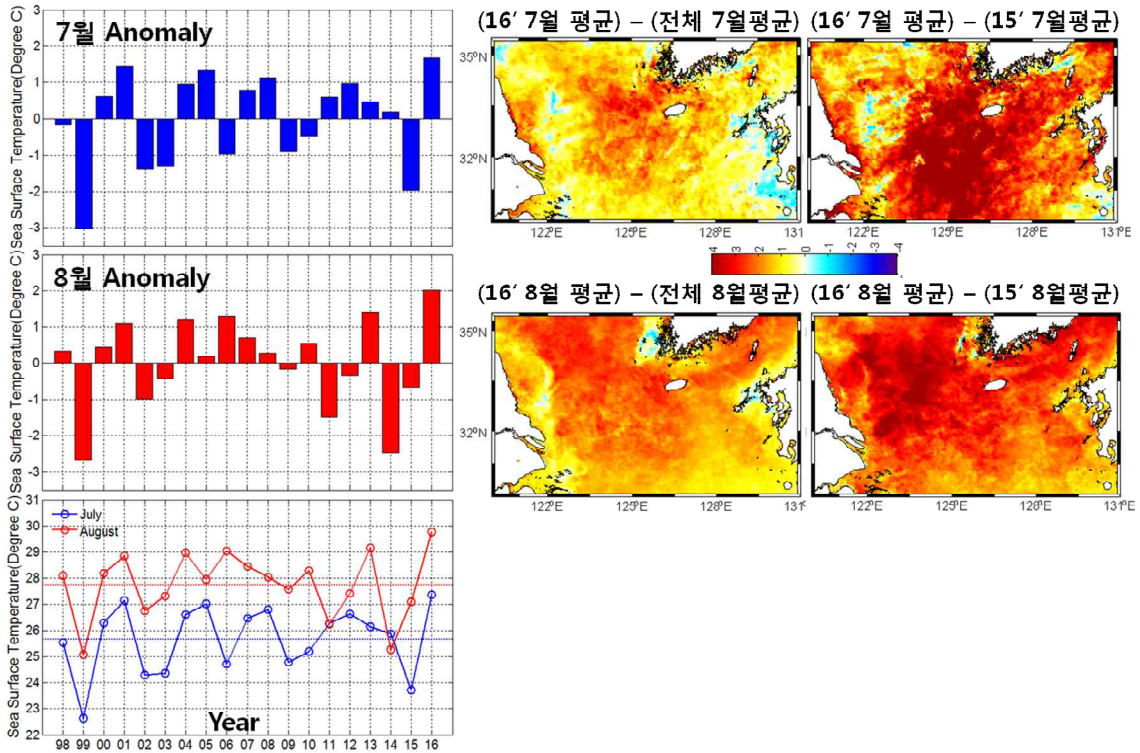


Fig. 3-4-7. The anomaly and mean value of summer sea surface temperature(1998-2016) in the East China Sea.

- 2015과 2016년 하계(6월 말~9월 말) 표층수온과 기온의 시/공간적 변화를 추적하기 위해서 위성 및 재분석 수온 및 기온자료를 8일평균 하여 분석(Fig. 3-4-8)
- 표층수온의 공간적 변화는 뚜렷하게 2015년에 비해 7월 말부터 차이를 나타내고, 이 차이는 8월 말까지 유지
- 시계열 표층수온 자료에서 2015년과 2016년의 표층수온 차이는 8월 초에 >3 °C 이상 차이를 보이고, 8월 중순에는 >4 °C 이상 차이를 나타냄
- 기온은 변화는 7월초 >3 °C 이상 차이를 나타내지만 이후 뚜렷한 차이를 나타내지 않고 8월 초까지 유지되지만 이후 8월 중순에는 >3 °C 이상 차이를 나타냄
- 동중국해 표층수온의 변화는 기온과 변화와 유사한 경향을 보이지만 평균값에서 표층수온 낮은 온도를 나타냄
- 2016년 고수온은 대기의 영향뿐만 아니라 주변 환경에 의한 영향이 받은 것으로 사료됨
- 최근 NOAA 관측 결과에서 적도 동태평양 해역(4°S~4°N, 150°W~90°W)의 월평균 해수면 온도가 6개월 이상 지속적으로 평년보다 0.5 °C 이상 높은 상태인 엘니뇨 (El Niño) 현상이 연초부터 8개월간 지속되면서 지구온도를 사상최고치를 기록한 것으로 보고했고, NASA 역시 자체 기록을 토대로 지난해 지구 평균 기온이 2015년보다 0.22 °F가 상승하여 역대 최고(<http://www.sciencetimes.co.kr/>)
- 그리고 2016년 평균 온도가 1951년부터 1980년까지의 평균 온도보다 1.78 °F 높았

- 는데, 이는 NASA 관계자는 2015년 5월부터 2016년 8월 사이 월별 온도 추이를 보면 온도가 내려간 적이 없으며 전월 상태를 유지하거나 사상최고치를 갱신
- 15개월 동안 기온이 이처럼 상승추세를 보인 것은 처음 있는 일이며 사상 최장기 록이라고 보고했으며, 2016년 지구 평균온도는 지난 1800년대와 비교해 2.2 °F(1.2 °C)가 높음
 - 지난해 전 세계를 엄습한 더위는 2016년이 사상최고치의 온도를 기록했고, 2016년 7월 21일 사막지대인 미트리바(Mitribah)의 온도가 129.2 °F(54 °C)까지 올라갔고, 11월과 12월 두 달 간 남극 온도는 유례없이 높은 30 °F(1.1 °C)에서 35 °F(1.7 °C)로 관측되어 1년 내내 고온 현상이 나타남

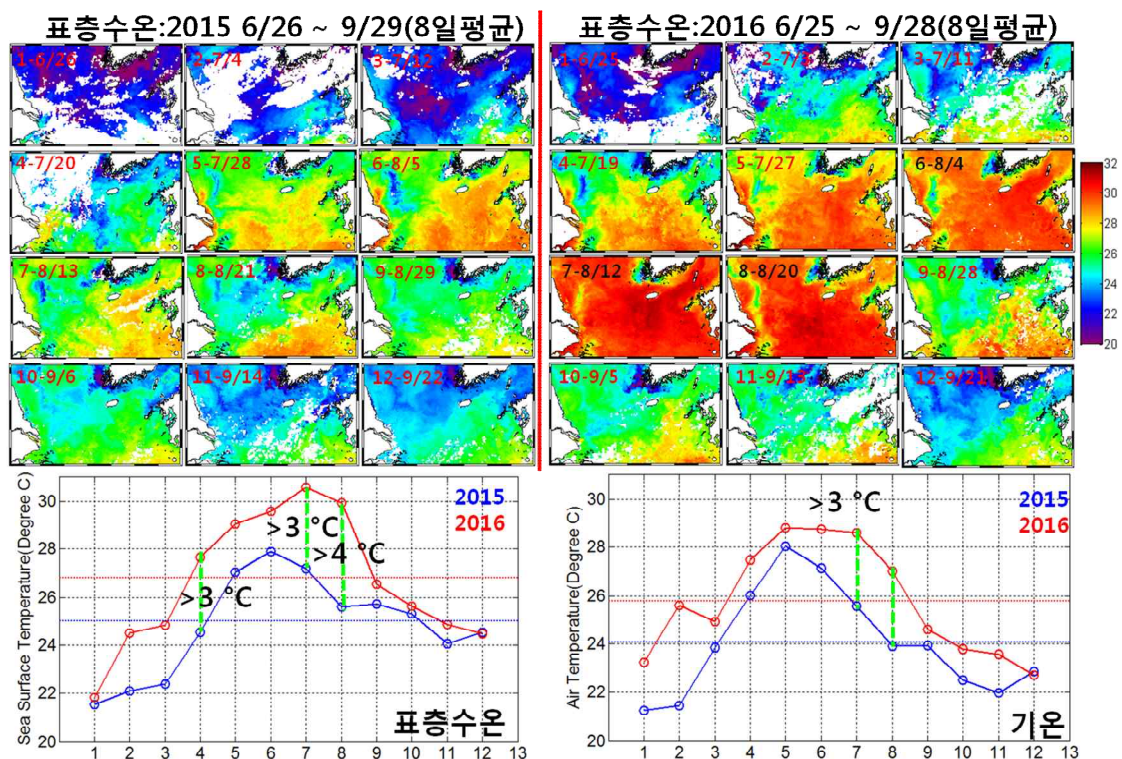


Fig. 3-4-8. The spatial and temporal variation of sea surface and air temperature between summer 2015 and 2016 in the East China Sea.

나. 하계 장강희석수 변화

- 클로로필 농도는 연구지역의 서쪽 해역인 장강 하구 역에서 연중 높은 값을 보이고, 쿠로시오 및 대마난류의 영향을 받는 남동쪽해역에서 상대적으로 낮은 값을 보이고(Fig. 3-4-9), 클로로필 농도는 계절적 변화는 봄에 최대를 보이고, 여름은 감소되었다가 가을과 겨울로 가면서 다시 증가하는 양상을 나타냄(손 등 2010)
- 여름철(6월-8월) 장강 하구에서 발달된 고농도의 클로로필 분포는 봄에 비하여 감소되지만, 장강 하구 및 한국 남해안 사이에 사라지지 않고 나타나고 있다. 이는 대부분의 부유물질들이 연안에 퇴적되고 외해로의 이동이 감소하고, 그리고 여름철 광

도 증가 및 담수에 포함된 풍부한 영양염으로 인하여 생산성이 증가되는 것으로 보고되었다(Yuan et al., 2008). 장강 저염수는 클로로필과 부유물질 농도 분포와 유사하게 7월과 8월로 가면서 동쪽으로 확산되고 제주도를 포함하여 남해안 연안까지 영향을 주고, 이는 겨울철은 북서계절풍이 우세하여 지역적으로 제주도에 영향을 주지 않지만, 여름철에는 남풍이 우세해지면서 영향을 받는 것으로 파악됨

- 중국 장강에서 유출된 담수는 장강 하구를 통해 동중국해으로 유입되는데, 특히 하계에는 많은 양의 담수가 동중국해로 유입되면서 장강희석수(Changjiang Diluted Water, CDW)을 형성하고 제주도를 포함한 남해 및 동해로 유입되고, 유입 경로는 하계에 주요한 남풍의 영향 및 조석에 의해서 조절되고, 하계 장강희석수의 분포와 거동은 동중국해의 해양환경에 영향을 주는 주요한 요인으로 작용(손 등 2010)

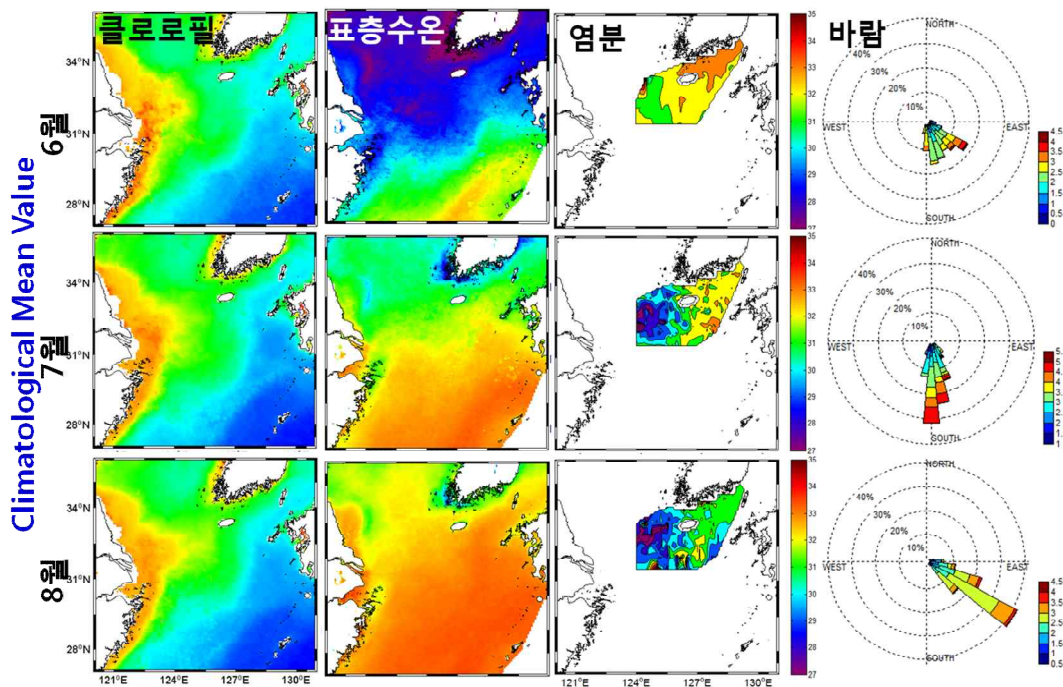


Fig. 3-4-9. The climatological mean values of chlorophyll, sea surface temperature, salinity, and wind in the East China Sea.

- 1995년부터 2016년까지 중국 다뫁관측소에서 관측된 하계(7월, 8월) 장강 방류량의 변화는 97년에는 ENSO의 영향으로 방류량이 감소되었지만 98년과 99년은 대홍수가 있었던 시기로 상대적으로 높은 방류량을 나타내고, 그 이후 점차 감소하여 2003년에 산샤댐 일차 물막이 공사가 완료된 후의 방류량은 97년 건기가 있었던 해보다 상당 부분 감소하였고, 2006년은 다른 비해 심한 가뭄이 있었던 시기이고 또한 산샤댐 이차 물막이 공사가 완료되었고, 그 이후 2010년 상대적으로 방류량이 증가하였지만, 2000년 이후에 최대 방류량을 보이는 해는 2016년으로 관측(손 등 2010, Fig. 3-4-10)
- 산샤댐은 2009년 완공하여 지금까지 운영 중으로 감소된 방류량은 댐에 의해 인위

적으로 조절되고 있지만, 2016년은 중국 내륙에 홍수가 발생하여 상당한 양의 담수가 동중국해로 유입된 것으로 조사

- 2016년 일별 방류량 변화에서 7월1일 이후 급격하게 방류량이 증가되어 7월 중순 이후 감소되지만 8월에도 상대적으로 높은 방류량을 보임

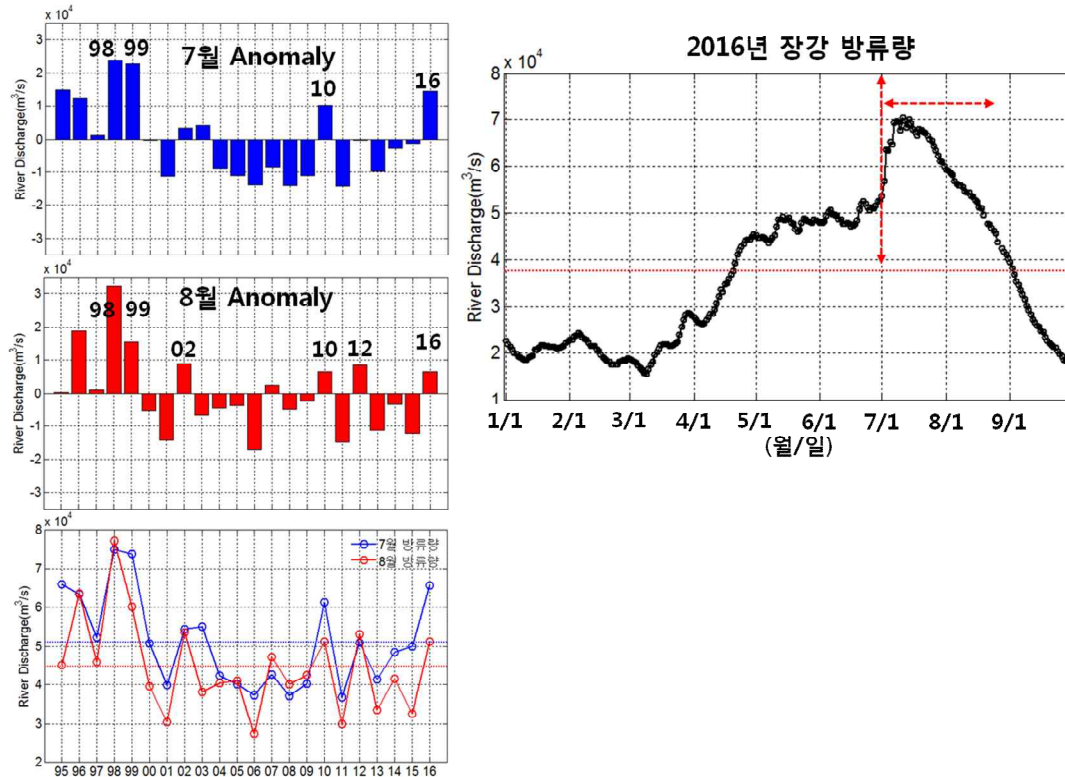


Fig. 3-4-10. The Changjiang River discharge variation and anomaly during summer season.

다. 2016년 고수온과 저염분수와 관계

- 동중국해 발생한 고수온 저염분 현상과 관련하여 Wave Glider에서 관측된 자료 중에서 염분과 수온, 염분과 탁도, 염분과 클로로필의 상관관계를 분석(Fig. 3-4-11)
- 염분과 수온은 관측초기(제주 서쪽 해역)에는 음의 상관관계를 보이는데 이는 저염일수록 수온은 증가되는 경향을 나타내지만, 다른 해역에서는 고염일수록 수온이 증가하는 일반적인 현상이 나타남
- 대마난류의 영향을 받는 해역보다 담수의 영향을 받는 해역에서 수온 상승은 높게 나타나고, 수온 변화도 염분과 음의 관계를 보이는 것은 담수의 영향이 수온 증가와 영향이 있는 것으로 사료됨
- 염분과 탁도는 음의 상관관계로 저염에서 탁도는 증가되고, 고염에서 감소하는 뚜렷한 양상을 보임
- 염분과 클로로필의 관계는 낮의 자료와 밤의 자료를 구분하여 관계를 분석
- 염분과 클로로필 관계는 낮과 밤의 자료를 구분하여 비교한 자료에서 모두 음의

상관관계를 보이지만 탁도와와의 관계보다 낮은 상관성을 나타냄

- 염분과 클로로필 관계에서 저염이 발달된 해역에서 클로로필과 좋은 상관관계를 보일 것으로 추정되었지만, 관측 결과에서는 낮은 상관관계를 나타냄
- 반면 제주남부 및 제주 동쪽 해역에서 관측된 결과와는 상대적으로 좋은 관계를 나타냄

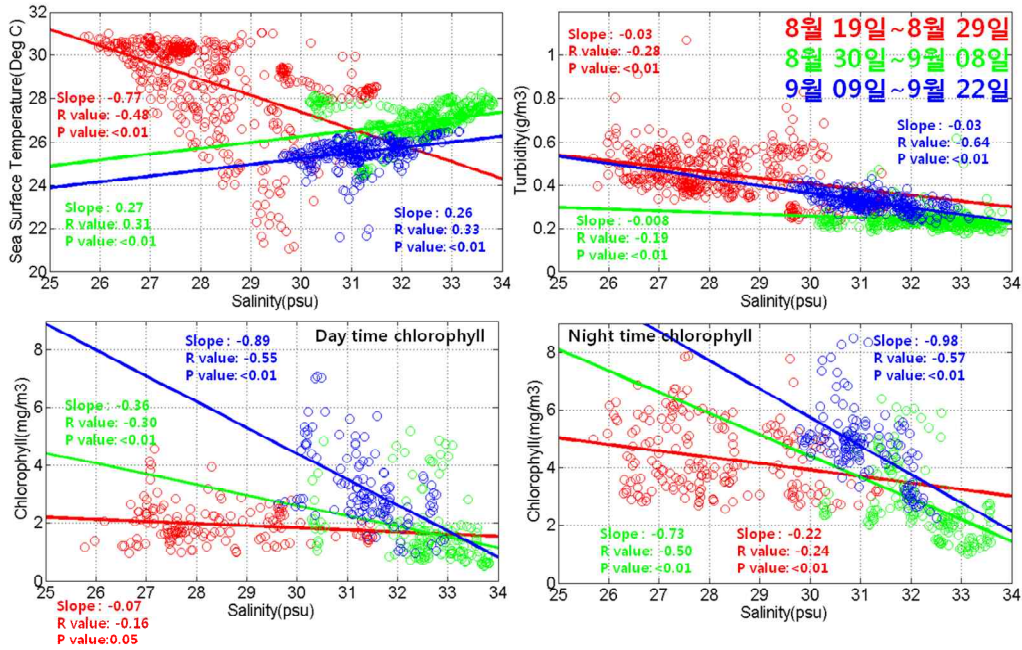


Fig. 3-4-11. Comparison between salinity vs. SST, salinity vs. turbidity, salinity vs. chlorophyll-a from Wave Glider data.

- 표층수온은 MODIS 영상을 사용하였고, 염분은 GOCI의 반사도 자료를 이용하여 Son et al.(2011)의 연구에서 제시된 염분 추정 알고리즘을 이용하여 계산했고, 클로로필은 GOCI 클로로필 자료 이용하여 7월 24일부터 8월 26일까지 8일 평균한 자료를 이용하여 시/공간 변화 분석
- 제주를 포함하는 동중국해에서는 7월 말부터 고수온 현상이 시작하여 8월 중순과 말에 최대를 나타냈고, 이런 고수온 현상이 발견되는 해역에서는 저염분수가 확장되어 나타남(Fig. 3-4-12, 3-4-13)
- 저염분수 확장과 같이 클로로필 농도도 상대적으로 증가되고, 이는 일반적으로 장강희석수에 포함된 영양염의 영향으로 클로로필이 증가하는 것으로 선행 연구가 있었음(Kim et al., 2009; 손 등 2010)
- 일반적으로 담수와 해수를 비교할 경우 같은 복사열을 전달할 경우에 담수가 해수보다 빠르게 데워지는 것으로 연구됨(Son et al., 2012)
- 이는 추가적인 분석이 필요하지만 장강희석수가 확장되는 해역에서 상대적으로 대기 복사열에 의해 빠르게 흡수하여 해수보다 빠르게 수온이 상승하는 효과로 사료됨

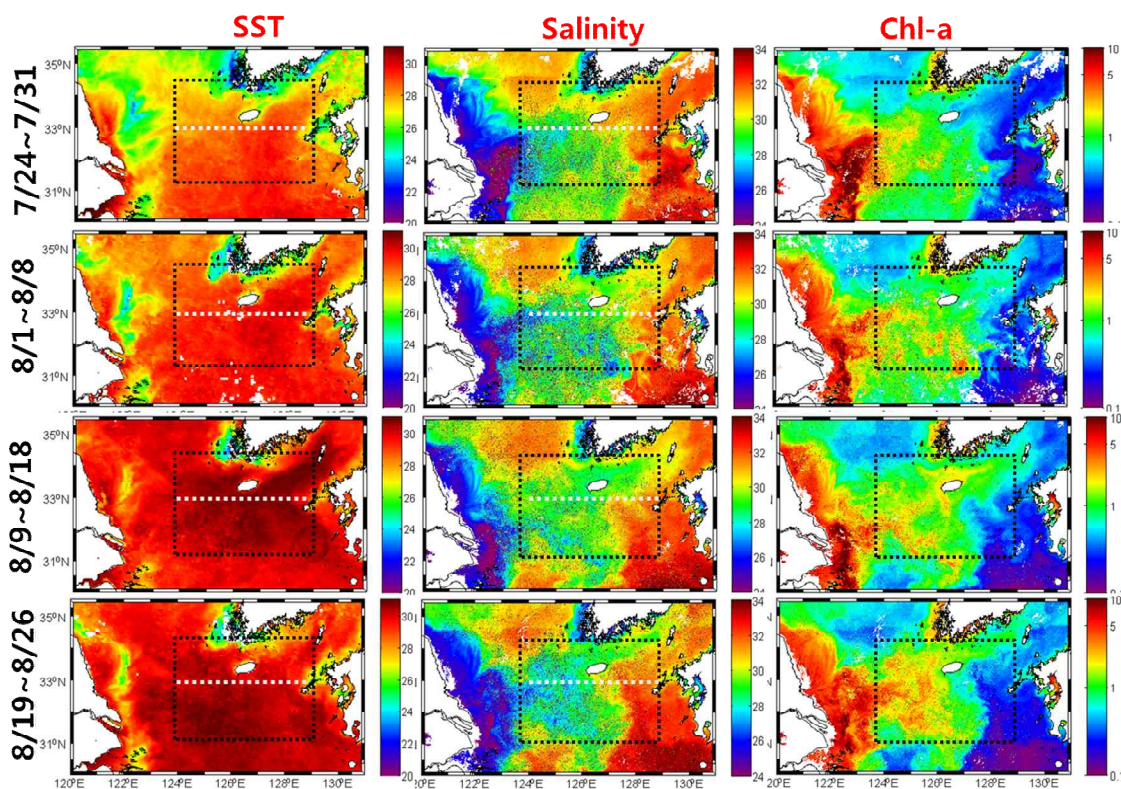


Fig. 3-4-12. The spatial and temporal variation of sea surface temperature, salinity, chlorophyll-a during summer 2016 in the East China Sea.

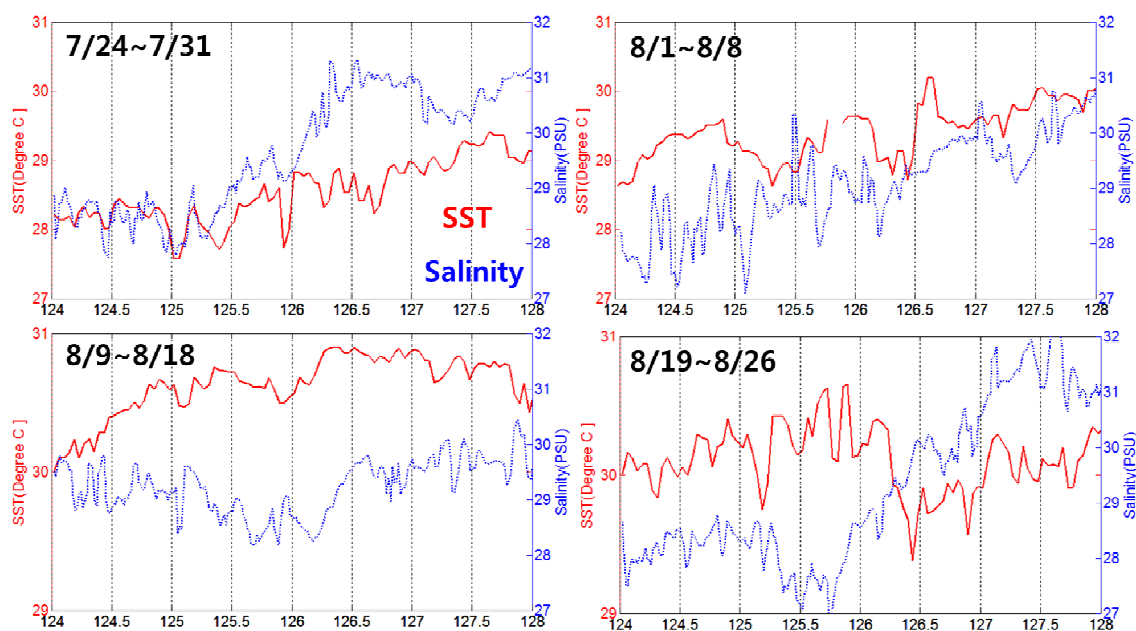


Fig. 3-4-13. The relationship between sea surface temperature and salinity in the horizontal line(Fig. 3-4-12).

4. 결론

제주도를 포함하는 동중국해에서 장기 수온변화와 2016년 하계 고수온 현상에 대해서 분석을 해 보았다. 장기 수온변화는 상대적인 변화폭은 다르지만 최근 들어 빠른 수온 상승을 나타내고 있다. 특히 제주도는 기후변화의 최전선으로 다른 해역보다 빠른 수온 상승과 더불어 빠른 해수면 상승을 보이고 있다(Jeon, 2008). 이런 결과들은 단순히 수온 변화에 따른 한 가지 요인만으로 추정하기는 연안 및 육상의 많은 요인들에 의해서 영향을 받기 때문에 면밀한 연구가 필요하지만, 시베리아고기압 강도(약화)나 알류산저기압의 위치(북쪽 이동) 변동은 바람장 변화뿐만 아니라 아열대 해양순환계 형태의 변화를 수반하여 수온이 높은 난류수가 우리나라 주변해역을 포함하는 서태평양 중위도 해역으로 더 공급될 기작을 제시하였다(성 등, 2010; Yeh and Kim, 2010; 이와 김, 2013).

이와는 달리 단기적인 수온 변화에서 2016년 하계는 최근 가장 높은 수온을 나타냈으며 이는 전세계 대양에서 동일하게 일어났지만, 동중국해는 대기의 기온 변화보다 수온이 더 높이 상승을 했다. 이는 전세계 기후변화와도 연관이 있겠지만 다른 원인에 의한 영향도 받고 있는 것으로 관측되었다. 위성과 Wave Glider에서 관측된 표층수온 대만난류의 영향을 받는 해역보다 저염분수 특히 장강희석수가 발달된 해역에서 상대적으로 높게 나타났다. Park et al.(2011, 2015)는 장강희석수는 동중국해로 유입되면서 수온약층 위로 유입되면서 barrier 층을 형성하게 되면서 다른 주변해역보다 성층이 강화되면서 수온이 상승한 것으로 모델자료를 이용하여 보고했다. 본 연구에서도 Wave Glider 관측결과에서 이와 동일하게 저염에서 상대적으로 높은 수온이 관측되었다. 특히 2016년 최근 17년에 장강방류량이 최대를 보이면서 상당한 양의 담수가 동중국해로 유입되고, 이로 인하여 영향을 받은 것으로 사료된다.

그러나 1998년과 1999년 장강방류량이 최대를 보였지만, 하계 동중국해 표층수온은 평균보다 낮았고, 반대로 2001년 하계 장강방류량은 평균보다 낮았지만 표층수온은 상대적으로 높았다. 결론적으로 하계 동중국해 고수온 현상은 장강방류량의 변화도 중요하지만 유입된 담수가 해양에서 확산 또는 유입되는 과정에서 해양의 성층화를 강화시키는지에 따라 수온의 변화를 조절하는 것으로 해양의 물리적 변화가 중요한 요인으로 사료된다. 기존의 연구에서 동중국해에서는 겨울철 바람이 약해지면서 겨울철 표층수온의 증가가 상대적으로 크게 나타나고 있는 것으로 보고되고 있고, 이런 물리적 변화가 여름철에도 장강저염수의 확대에 의하여 수온 상승을 강화시킬 수 있는지에 대한 물리적 요인에 대한 연구가 필요할 것이다.

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발 목표달성도

총연구기간내 연차별 목표 대비 달성율(%)					
구분	연차별 달성내용				연차별 계획대비 연구실적 달성율(B) (%)
	성과목표	연구내용	가중 치 (A)	달성실적	
1년차 (2016)	1. 원 격 탐 사 -Wave Glider 연계 위성자료 검증 연구	1-1. 위성과 Wave Glider 에서 관측 가능한 항목 분석 및 분석	0.2	<ul style="list-style-type: none"> - 다중위성 산출 항목 분석 - Wave Glider 관측 항목 분석 - 비교 관측 가능한 항목 선정 및 위성 자료와 매칭 자료 생산 	100
		1-2. 위성-Wave Glider에 서 관측된 자료 검증	0.6	<ul style="list-style-type: none"> - 제주주변해역 Wave Glider 운용(1개월, 1,000km) - 다양한 해역 운용 - 위성-Wave Glider 자료 검증 	100
	2. 원 격 탐 사 -Wave Glider 연계한 활용기 술 보고서 작 성	2-1. 원격탐사-Wave Glider 활용 기술 보고서 작성	0.2	<ul style="list-style-type: none"> - 매칭 자료 검증 - 기존 감시망(관측) 체계 자료 수집 분석 - 원격탐사-Wave Glider 연계 운용 및 활용 방안 연구 	100
	계		1.0		100

제 2 절 대외기여도

1. 기술적 측면

- 함정, 항공기 및 Wave Glider를 이용한 해양감시망 구축 기반 마련
- 다양한 유형의 자료에 대한 효율적 관리 및 공유 가능
- 부영양화 및 기후변화에 의한 해양생태계 변화 탐지 및 예보시스템 구축
- 광역적/국지적 규모의 해양변화 탐지 및 예보 기술 확보
- 적조 자료와 지리정보시스템 연계 새로운 기술 창조 및 방제 체계 구축 기초자료 활용
- 시간해상도 및 공간해상도가 높은 정밀 분석이 필요한 연안 환경 모니터링 연구 활용 연구 유도
- 접근이 어려운 지역 및 해역 자료 제공으로 영토 관리 및 국가간 분쟁시 기초 자료 활용
- 기후변화에 따른 해양생태계 변화를 예측하여 대응관리 근거 제공
- 정부의 기후변화 대응방안 및 정책 수립에 필요한 과학적 자료 제공
- 해양생태계 및 해양환경 효율적 관리 방안 도출
- 양식업, 연안수산업 및 해양건축·토목 등 관련 산업의 육성 및 기술 발전

2. 경제·사회적 측면

- 원해에서 불법선박 탐지 및 감시 업무에 Wave Glider를 투입함으로써 해경함정 및 항공기의 출동 소요 감소 및 예산 절감
- 생태계 및 수산자원 관리 효율성 증대
- 주요항만 근해에 주/야간 유류오염 탐지 및 출/입항 선박 감시
- 기초 및 재해관련 연구에 광역-국지적 감시망 활용
- 새로운 해양환경의 창출로 환경보전 및 환경 인프라의 건전화를 도모하여, 연안 환경 개선과 국민의 해양환경에 대한 인식 제고
- 바다의 종합적인 이용·관리로 효율적인 자원관리 및 수산물의 지속적인 생산을 통한 어업인 소득 향상과 국내 미래 식량자원 확보
- 지역현안 문제 해결을 통한 국가정부 신뢰도 향상
- 연안 개발 및 해저관광자원 발굴을 위한 공간정보 자료로 이용

제 5 장 연구개발결과의 활용계획(과제수요조사)

과제명	다중위성 기반 외래기원 환경유해물질 조기 경보 기술 개발		
필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 한반도 연안은 의도적/비의도적으로 유입된 외래기원 환경유해물질에 의해 매년 심각한 오염, 생태계 교란, 관광자원 감소, 어장피해 등이 발생 있고, 최근 관리지침들이 마련되고 있으나 광역 해역에서 다른 시간적 차이를 가지고 침입하는 오염 인자들에 대한 탐지는 어려운 실정임 <ul style="list-style-type: none"> * 중국기원 저염분수 피해(1996년 : 60억 발생), 해파리 피해(2009년 : 최대 3,040억 추정), 제주연안 녹조 수거량(2006년~2013년 : 8,200톤), 적조 피해(1995년~2015년 : >1,500억) ○ 현재 현장관측 만으로 광역의 해역에서 유입되는 외래 오염 물질을 파악하기 힘들기 때문에 위성을 활용한 접근이 필수적이고 다중위성의 특성을 종합하여 하나의 타깃(target)을 탐지하는 융합기술 개발이 필요 ○ 악기상으로 인하여 관측이 제한되는 경우가 발생하기 때문에 조기 탐지 이후 이동경로 파악 및 이동경향을 추정하기 위해서 통계 또는 동적 모델과의 연계가 필요 ○ 위성 자료의 신뢰성을 확보하기 위해서는 무인체계 운용으로 획득한 외래기원 환경유해물질에 대한 자료 구축을 통한 연속적/다목적 자료 제공으로 긴급한 사안에 대처하고 유실 없는 자료 제공이 필요 		
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 광역 해역에서 유입되는 외래기원 환경유해물질의 조기 탐지, 분류, 이동경로 및 기원을 추적하기 위해서 다중위성 활용한 현장-모델 분석을 통한 체계적이고 종합적인 분석틀 구축 및 조기 경보 기술 개발 		
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다중위성(광학위성, 해색위성, 열적외선 위성, SAR 등) 활용 외래기원 환경유해물질(녹조, 갈조, 적조, 저염분수, 독성해파리, 쓰레기 등) 탐지 및 분류 기술 개발 ○ 무인자율해상로봇(Wave Glider) 운용으로 다중위성에서 탐지된 외래기원 환경유해물질의 분류 결과 검증 및 실시간 위성-현장관측 자료를 이용한 광역-국지적 연계 조기 탐지, 추적 기술 개발 ○ 현장방문과 드론을 통한 실제 측정치와의 비교를 통한 모델 검증 및 개선 ○ 입자추적 모델을 이용 위성에서 조기 탐지된 외래기원 물질의 기원, 유입경로 및 발생 경향 및 요인분석을 통한 종합적/연속적 추적 기술 개발 		
핵심기술	○ 위성과 무인체계 융합 관측 기술		
사업기간	3년		
	D+1	D+2	D+3
초기3년 연차별 내용	다중위성을 활용한 외래 기원환경유해물질 탐지	외래기원환경유해물질 분류 및 현장관측 입자추적 모델 개발	현장-위성 활용 조기탐 지 체계 구축
소요예산	5억	10억	10억

과제명	파력추진 무인자율해상체계(Wave Glider)를 이용한 해양기상 관측 및 밀입국 선박 탐지 네트워크 구축		
필요성	<ul style="list-style-type: none"> ○ 태풍내습, 해양오염, 녹조발생 등 해양재해에 대비하여 영해에 침범하는 불법선박을 탐지하는 임무는 모두 국가적 차원의 대응이 요구되는 분야 ○ 특히 2010년 이후 제주 근해 불법조업 및 밀입국 선박이 급증하고 있으나 소수의 해경 경비정 배치로 단속이 어려운 실정이고 밀입국에 따른 불법채류자가 증가하여 심각한 사회적 문제가 대두됨 ○ 육상에는 500개소 이상의 기상관측소가 운용되고 있으나 해상에는 상대적으로 적은 해상관측부이가 운용 중이며 특성상 관리 및 유지가 어려운 실정임 ○ 우리나라에 내습하는 태풍에 대한 관측은 대부분 기상청의 육상 관측소에 의해 수행됨에 따라 북상해오는 태풍의 정확한 규모, 강도, 지로 등에 대한 사전 예측하는 제한적임으로 제주 남부해상에 태풍의 내습 경로상에 해양 및 기상요소를 동시에 관측하는 무인자율 관측망이 요구됨 		
연구목표	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파력으로 추진되는 장기간 원거리를 이동하는 다수의 무인해상자율체계 운용, 관리 센터를 구축하여 한반도에 내습하는 태풍의 중심부에 진입하여 실시간 해양/기상 제공하여 악기상에 의한 해양재난 대비태세 구축과 다양한 해양환경 관측 자료 제공 및 한반도 영해에 접근하는 불법조업어선 및 밀입국 선박을 탐지하여 작전세력에 제공하는 기술 개발 		
연구내용	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파력추진 무인자율해상체계(Wave Glider) 도입 및 통제체계 구축 ○ 다목적 센서 탑재 연동(기상, 해양, 음향, 선박감시) ○ 데이터 분석 및 표출 프로그램 개발 ○ 한국형 Wave Glider 설계 및 시제품 개발 		
핵심기술	<ul style="list-style-type: none"> ○ 다목적 관측 네트워크 구성 ○ 파력추진 무인체계 개발 		
사업기간	5년		
	D+1	D+2	D+3
초기3년 연차별 내용	통제체계 구축 다목적 센서 탑재	다양한 임무별 운용체계 개발	실해역 조기 경보 실시
소요예산	15억	15억	10억

제 6 장 참고문헌

- 국토해양부, 2010. 기후변화에 따른 남해(동중국해 북부)의 해양환경 및 생태계 변동 연구, 한국해양연구원, BSPM 55670-2201-1, 300p.
- 김성중, 우성호, 김백민, 허순도, 2011. 지난 130년 간 한반도 근해의 표층 수온 변화 경향, *Ocean and Polar Research*, 33: 281-290.
- 김철호, 2002. 지구 온난화와 한반도 해역의 수온해수면 변화. In: 한국해양학회 춘계학술 심포지엄 가연집, 전남대학교, 2002년 5월9일-11일, pp1-20.
- 민홍식, 김철호, 2006. 한국 연안 표층수온의 시공간 분석. *Ocean and Polar Research*, 28: 415-423.
- 서영상, 황재동, 방익찬, 한인성, 조진대, 이나경, 2011. 제주도 해역에서의 수온 장기변동 추세, *한국자연보호학회지*, 5(2): 135-140.
- 성기탁, 황재동, 한인성, 고우진, 서영상, 이재영, 2010. 한국 연근해 수온의 시공간적 장기 변동 특성. *해양환경안전학회지*, 16(4): 353-360.
- 손영백, 유주형, 노재훈, 주세중, 김상현, 2012. 남해와 동중국해에서 위성으로 추정된 표층수온 및 클로로필의 장기 변화, *Ocean and Polar Research*, 34(2): 201-218.
- 손영백, 이태희, 최동립, 장성태, 김철호, 안유환, 유주형, 김문구, 정섬규, Joji Ishizaka, 2010. 동중국해에서 위성에서 추정된 10년 동안의 표층 입자성 유기 탄소의 시/공간적 변화. *Korean Journal of Remote Sensing*, 26(4): 421-437.
- 손영백, 장찬주, 김상현, 2013. 위성 해색자료에서 추정된 동중국해 클로로필 선형경향의 계절적 차이. *Ocean and Polar Research*, 35(2), 147-155.
- 유신재, 2002. OSMI 해양활용 및 검보정에 관한 연구. 한국해양연구원, BSPN 451-00-1449-3, 346p.
- 이재학, 김철호, 2013. 동중국해 표층수온의 장기 변동성: 종설. *Ocean and Polar Research*, 35(2): 171-179.
- 한국해양연구원, 2008. 통신해양기상위성 해양자료처리시스템 개발사업(V), 국토해양부, BSPM 43600-1941-1, 279p.
- 황재동, 서영상, 안지숙, 2012. 동북아시아해역의 표면수온 장기변동 특성. *한국자연보호학회지*, 6(2), 130-136.
- Behrenfeld, M.J., R.T. O'Malley, D.A. Siegel, C.R. McClain, J.L. Sarmiento, G.C. Feldman, A.J. Milligan, P.G. Falkowski, R.M. Letelier, and E.S. Boss, 2006. Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444, 752-755.
- Chen, C.T.A and S.L. Wang, 1999. Carbon, alkalinity and nutrient budgets on the East Chin Sea continental shelf. *Journal of Geophysical Research*, 104, 20,675-10,686.
- Crowley, T.J., 2000. Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289, 270-277.
- Davis, R.E., C.C. Eriksen, C.P. Jones, 2002. Autonomous Underwater Vehicles, *CRC Press*, 37-58.

- D'Ortenzio, F., S. Marullo, M. Ragni, M.R. d'Alcala, R. Santoleri, 2002. Validation of empirical SeaWiFS algorithms for chlorophyll-a retrieval in the Mediterranean Sea A case study for oligotrophic seas, *Remote Sensing of Environment*, 82: 79-94.
- Edwards, M, and A.J. Richardson, 2004. Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, 430, 881-884.
- Hansen, J., M. Sato, R. Ruedy, K. Lo, D.W. Lea, and M. Medina-Elizade, 2006. Global temperature change. *PNAS*. 103(39), 142,88-14,293.
- Hooker, S.B., C.R. McClain, 2000. The calibration and validation of SeaWiFS data, *Progress in Oceanography*, 45: 427-465.
- Hyde, K.J.W., J.E. O'Reilly, C.A. Oviatt, 2007. Validation of SeaWiFS chlorophyll a in Massachusetts Bay, *Continental Shelf Research*, 27: 1677-1691.
- Jeon, D. C., 2008. Relative sea-level change around the Korean peninsula, *Ocean and Polar Research*
- Kang, Y.Q., 2000. Warming trend of coastal waters of Korea during recent 60 years(1936-1995). *Journal of Fishery Science*, 3, 173-179.
- Kim, H.C. et al., 2009. Distribution of Changjiang Diluted Water detected by satellite chlorophyll-a and its interannual variation during 1998-2007, *Journal of Oceanography*, 65:129-135.
- Liu, F., Y. Wang, S. Wang, 2004. Development of the Hybrid Underwater Glider Petri-II, *SeaTechnology*, 51.
- Liu, K.-K., G.-C. Gong, C.-Z. Shyu, S.-C. Pai, C.-L. Wei and S.-Y. Chao, 1992. Response of Kuroshio upwelling to the onset of the northeast monsoon in the sea north of Taiwan: Observations and a numerical simulation. *Journal of Geophysical Research*. 97, 12,511-12,526.
- Milliman, J.D. and R.H. Meade, 1983. World-wide delivery river sediment to the ocean. *Journal of Geology*, 91(1), 1-21.
- Park, T., C.J. Jang, J.H. Jungclaus, H. Haak, W. Park, I.S. Oh, 2011. Effects of the Changjiang river discharge on sea surface warming in the Yellow and East China Seas in Summer, *Continental Shelf Research*, 31:15-22.
- Park, T., C.J. Jang, M. Kwon, H. Na, K.Y. Kim, 2015. An effect of ENSO on summer surface salinity in the Yellow and East China Seas, *Journal of Marine Systems*, 141:122-127.
- Ryu, J.H., J. Ishizaka, 2012. GOCI data processing and ocean applications, *Ocean Science Journal*, 47(3):221.
- Son, Y.B., W.D. Gardner, A.V. Mishonov, M.J. Richardson, 2009. Multispectral remote-sensing algorithms for particulate organic carbon(POC): The Gulf of Mexico, *Remote Sensing of Environment*, 113:50-61.

- Son, Y.B., W.D. Gardner, M.J. Richardson, J. Ishizaka, J.-H. Ryu, S.-H. Kim, S.H. Lee, 2012. Tracing offshore low-salinity plumes in the Northeastern Gulf of Mexico during the summer season by use of multispectral remote-sensing data, *Journal of Oceanography*, 68:743-760.
- Terao, Y., N. Sakagami, 2015. Advanced Robotics, *Taylor & Frances*, 89-102.
- Tian, B et al., 2014. Dynamics analysis of wave-driven unmanned surface vehicle in longitudinal profile, *IEEE OCEANS*, Taipei, 1-6.
- Walther G.R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Gulderg, and F. Bairlein, 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389-395.
- Yeh, S.W., C.H. Kim, 2010. Recent warming in the Yellow/East China Sea during winter and the associated atmospheric circulation, *Continental Shelf Research*, 30:1,428-,1434.
- Yuan, D., J. Zhu, C. Li, D. Hu, 2008. Cross-shelf circulation in the Yellow and East China Seas indicated by MODIS satellite observations, *Journal of Marine System*, 70:134-149.