

## 무인 파력선을 이용한 해양환경 모니터링 시스템 개발과 실해역 실험

고성협<sup>1</sup> · 이정한<sup>2</sup> · 현종우<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>한국해양과학기술원 해양방위·안전연구센터 기술원  
<sup>2</sup>한국해양과학기술원 해양방위·안전연구센터 선임연구원

### Ocean Observation System Development and Observation Using Unmanned Wave-Propelled Surface Vehicle

Sung-Hyub Ko<sup>1</sup>, Jung-Han Lee<sup>2</sup>, and Jong-Wu Hyeon<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup>Research Specialist, Department of Marine Security and Safety Research Center,  
Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

<sup>2</sup>Senior Research Scientist, Department of Marine Security and Safety Research Center,  
Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

#### 요 약

최근 지구온난화의 영향으로 해양에서 적조, 저염수 및 급격한 수온변화 등의 자연현상으로 어족자원에 많은 피해를 받고 있다. 해양에서의 자연 재해에 빠르게 대응하기 위해서는 실시간 해양관측은 필수적이다. 장기 관측을 위한 무인 파력선의 개발에 앞서서 실시간 데이터 전송 및 분석을 위해 해양자료 수집 시스템과 해양환경 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 통신 안정성을 위해서 Iridium 위성통신과 운영 효율성을 위해 CDMA통신 시스템을 적용하였다. 또한 Chlorophyll-a 센서, 수온·염분 센서를 탑재하였다. 실시간 관측을 위한 해양환경 모니터링 시스템은 웹기반으로 개발되어 사용자가 쉽게 데이터를 분석할 수 있도록 가시화 시스템을 적용하였다. 시스템의 검증을 위해서 상용 무인 파력선인 Wave Glider에 해양자료 수집 시스템을 탑재하여 포항 부근 해역에서 7일간 관측을 수행하였으며, Chlorophyll-a의 변동 주기성, 수온 및 염분의 분포 특징 등을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해서 앞으로 개발할 무인 파력선에 추가적으로 수직, 수평적인 관측을 위한 설계 적용이 필요성을 확인하였다.

**Abstract** – Recently, under the influence of global warming, natural phenomena such as red tide, low-salinity water, and sharp changes in water temperature in the ocean have caused a lot of damage to fish resources. To quickly respond to natural disasters in the ocean, monitoring of real-time ocean observation is essential. As a prior study of the development of wave propelled surface vehicles for long-term observation, the ocean data collection system and ocean environment monitoring system were developed for real-time data transmission and analysis. The developed system applied Iridium satellite communication for communication stability and CDMA communication system for operational efficiency. To verify the system, a commercial product, the wave glider, was equipped with the ocean data collection system, and observation was performed in the waters near the Pohang coast for 7 days. As a result, it was possible to confirm the periodicity of fluctuations of Chlorophyll-a, and the distribution characteristics of water temperature and salinity. Through this study, we intend to prepare a plan for vertical and horizontal observation in addition to the design of the wave-propelled surface vehicles.

**Keywords:** Ocean observation(해양관측), Ocean environment monitoring system(해양환경 모니터링 시스템), Unmanned wave-propelled surface vehicle(무인 파력선), Surface temperature(표층 수온), Surface salinity(표층 염분)

<sup>†</sup>Corresponding author: [hyeon@kiost.ac.kr](mailto:hyeon@kiost.ac.kr)

## 1. 서 론

과거의 해양관측은 선박을 이용하거나 고정된 구조물을 만들어 고정점을 관측하는 방식이 대부분이었다. 과학기술의 발전에 의해서 부이를 이용한 무인관측과 아르고(ARGO) 플로트 등의 무인관측기를 이용한 해양관측이 시작되게 되었다(Yang and Ishida[2004]). 최근에는 수중글라이더, 수중드론, 무인선 등의 장비들을 이용한 관측도 진행되고 있다(Manley[2008]).

무인 관측 장비를 이용한 해양의 조사는 선박을 이용한 해양 조사에 비하여 운영비용이 적고 장기간 관측이 가능한 장점을 가지고 있다(Garrison[2013]). 또한 부이나 관측소를 이용한 고정점에서 관측하는 시스템과 달리 연구자가 원하는 지역으로 이동시켜서 관측할 수 있는 장점을 가지고 있다. 상용 장비 중 일 년 가까이 장기간 관측 가능한 무인선은 미국의 Liquid Robotics사의 Wave Glider, 영국의 AutoNaut사의 AutoNaut, 미국의 Saildrone사의 Saildrone이 있다(Liquid Robotics[2016]; AutoNaut[2016]; Saildrone [2019]). Wave Glider와 AutoNaut은 파력을 이용하여 추진하며, Saildrone은 바람의 힘을 이용하여 추진한다. 3종의 무인선은 공통적으로 태양광 발전을 이용하여 배터리를 충전하여 제어 및 계측 시스템을 구동한다. 또한 Iridium Satellite(위성통신)을 공통적으로 사용하며, Cell 모뎀을 이용한 CDMA, WIFI, RF 등 다양한 통신을 사용한다(Fig. 1, Table 1).

무인 선박의 기술의 발전에 따라 다양한 해양 관측에 적용하는 연구가 진행되고 있다. Wave Glider의 GNSS(Global Navigation Satellite System)센서를 이용하여 파고 및 해수면 높이 관측 연구(Penna et al.[2018]; Ko et al.[2018]), 수온·염분 센서를 이용한 저

염수 탐지연구(Moh et al.[2018]), AutoNaut을 이용하여 Chlorophyll-a 데이터 수집(Dalolio et al.[2021]) 등의 다양한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 무인파력선 개발에 앞서 해양환경 자료 수집 및 모니터링 시스템을 개발하고 실험역 실험을 통해 검증하고자 한다. 다양한 센서를 이용하여 해양자료를 수집하는 시스템과 웹베이스 기반의 모니터링 시스템을 개발하고 무인파력선을 활용해서 2019년 3월 29일부터 4월 4일까지 성능 검증을 수행하였다. 수집된 자료를 통해 무인파력선의 위치 및 상태정보와 해양자료를 검증하고 개발된 시스템의 활용가능성을 확인하였다.

## 2. 시스템구성 및 하드웨어 연동

### 2.1 해양자료 수집 시스템

해양자료 수집 시스템은 Fig. 2와 같이 메인컨트롤러, CDMA 모뎀, Iridium 모뎀, GPS 및 센서부로 구성되어 있다. 메인 컨트롤러는 adStart 32bit MCU(Microcontroller Unit)를 사용하고 센서부는 Aanderaa사의 4319 수온·염분 센서 2기와 Seabird사의 Chlorophyll-a 센서를 선정하였다. 수온·염분 센서와 Chlorophyll-a 센서는 수중 커넥터를 통해서 외부와 연결되며, MCU와 RS-232 통신포트로 연결된다. 수온·염분 센서는 표층의 수온과 염분(전기전도도)을 10분 간격으로 계측하고 Chlorophyll-a 센서는 특정 파장의 LED를 이용하여 표층의 엽록소를 측정하여 SD 메모리 카드에 저장되도록 설계되었다. 하드웨어의 주요 사양은 Table 2와 같다.

통신시스템에서 두 개의 모뎀과 GPS는 외부 안테나와 연결된다. 국내 통신사에서 제공하는 CDMA통신의 기지국에서 통신가능 거리는 약 40 km 이며, 해안선에 가까운 기지국에서 멀어질 경우 통



Fig. 1. Long-term operational unmanned surface vehicles, Wave Glider(Left), AutoNaut(Center), and Saildrone(Right).

Table 1. Specifications of long-term operational unmanned surface vehicles

	Dimension	Energy source	Endurance	Communication
Wave Glider SV3	3.05 m (Ship) 8 m (Umbilical Cable) 2.2 m (Glider)	Wave Height	> 1 year	Satellite Cell Wi-Fi
AutoNaut 3.5	3.5 m (Ship)	Wave Height	> 1 year	Satellite RF
Saildrone explorer	7 m (Ship) 5 m (Wing Height) 2 m (Draft)	Wind	< 1 year	Satellite

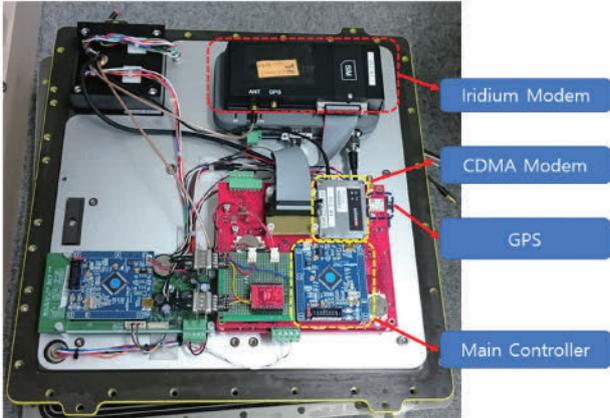


Fig. 2. Ocean observation system overview.

신이 끊기게 된다. CDMA 신호가 없을 시에 데이터를 전송하기 위해서 전 지구적 커버리지를 가지는 Iridium 통신 모뎀을 적용하여 어떤 위치에서도 실시간으로 해양환경 데이터를 전송할 수 있는 통신시스템을 구축하였다. 또한 사용자가 CDMA 통신영역을 벗어났다고 판단할 경우 Iridium통신을 통해서 CDMA모뎀의 전원 OFF 명령을 전달하여 Iridium 통신만 사용하도록 설정하여 전원 사용량을 줄일 수 있도록 설계하였다. CDMA 모뎀의 최대 전송속도는 153.6 kbps로 iridium 모뎀의 최대 전송속도 9.6 kbps에 비해 16배

Table 2. Specifications of Ocean Observation System

Item	Specification
Main Controller	Model: adStar-Trip CPU: adStar 32bit MCU Power: 12 V, 12 mA Operation Temp.: -10~60°C Storage: 8GB
	Model: 4319 Dimension: 3.6 × 3.9 × 8.6 cm Interface: RS-232 Accuracy C: ±0.005S/m T: ±0.1°C
Sensor	Model: ECO-FL Dimension: 6.3∅ × 12.7cm Interface: RS-232 Chlorophyll-a: ex/em=470/695 nm Sensitivity: 0.02 µg/l
	Model: NEO-7 Receiver Type: GPS, SBAS, QZSS Galileo Accuracy: 2.5 m(Horizontal) Update rate: Max. 10Hz
Modem	Model.:WM-215 Protocol: WCDMA R4 Frequency: 1.6GHz Interface: RS-232 Data Speed: 153.6 kbps
	Model: COM9522B Frequency: 2.1GHz Interface: RS-232 Data Speed: 9.6 kbps

빠르며, iridium 서비스 제공 업체인 metOcean사의 Plan B요금제 (1kbyte당 1.41USD) 기준 1일치 수집자료(18,144 Byte)전송 요금이 약 21,000원인데 비해 국내 CDMA요금은 한 달 무제한 요금이 5만원으로 통신비용도 저렴한 장점을 가진다. 자료전송간격은 CDMA와 Iridium 통신 모두 동일하게 10분 간격으로 센서 데이터를 수집하고 30분 간격으로 서버로 데이터를 전송하도록 설계하였다. CDMA 통신은 서버가 데이터를 받지 못하는 경우가 생기면 재전송을 하지 않도록 설계하였고, Iridium 통신의 경우 환경이 좋지 않은 상태에서 통신환경이 복구될 때 최대 24시간 분량의 미전송 데이터를 다시 전송하도록 설계하였다. 따라서 통신 안전성이 높은 Iridium 통신을 해양자료 수집 시스템의 기본 통신시스템으로 설정하였다.

2.2 모니터링 시스템

해양자료 수집 및 모니터링 시스템의 전체적인 구성도는 Fig. 3과 같다. 모니터링 시스템은 Windows Server 기반 웹페이지 형식으로 만들어졌으며, CDMA 또는 Iridium 통신을 통해 해양자료 수집 시스템으로부터 30분에 한 번씩 10분 간격의 자료를 수신하게 된다. Fig. 4는 해양자료 수집 시스템을 제어하는 모니터링 시스템 화면

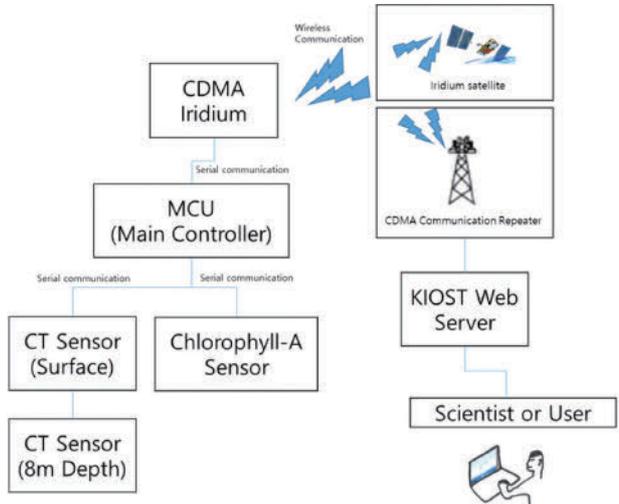


Fig. 3. Schematics of ocean observation system.

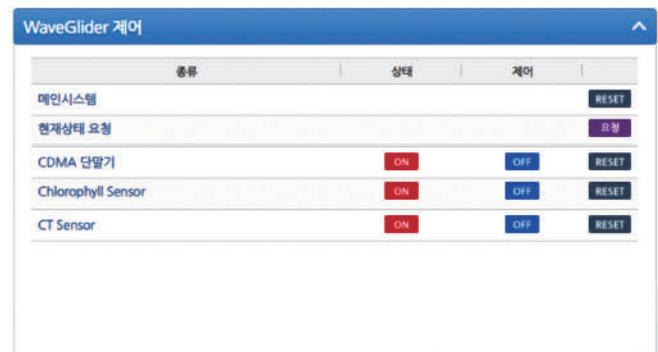


Fig. 4. Control panel of monitoring system.

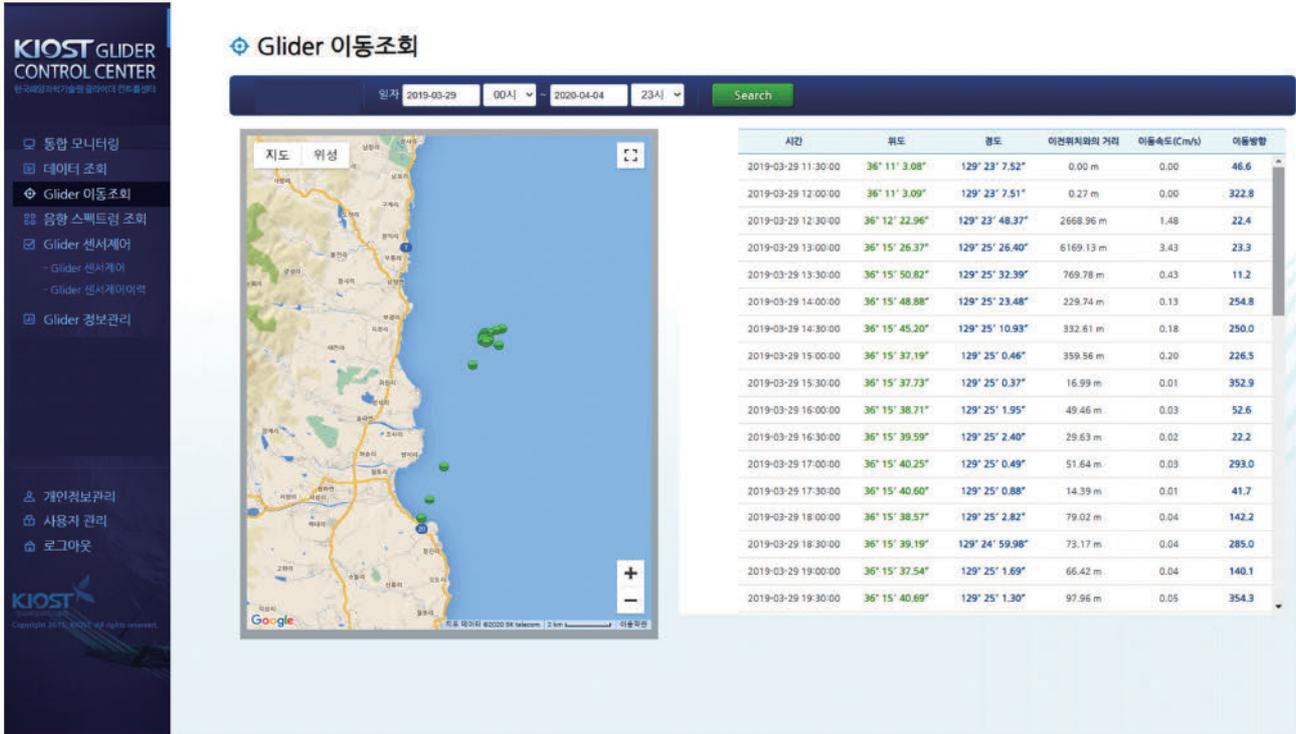


Fig. 5. Google map and status of vehicle tap of monitoring system.



Fig. 6. Data visualization tab of monitoring system.

으로 ON/OFF 버튼을 이용하여 사용자가 쉽게 센서를 끄고 켤 수 있도록 설정하였다. 또한 시스템의 현재 상태를 요구하고 문제가 있을 때 간단하게 메인시스템인 컨트롤러를 재실행 시켜서 복구하

도록 구성하였다. 해양자료 수집 시스템으로부터 수집된 자료는 Fig. 5~6과 같이 구글 지도 기반의 경로 및 상태 모니터링과 센서 데이터 조회로 구성되어 있다. 센서 데이터는 사용자가 지정한 날

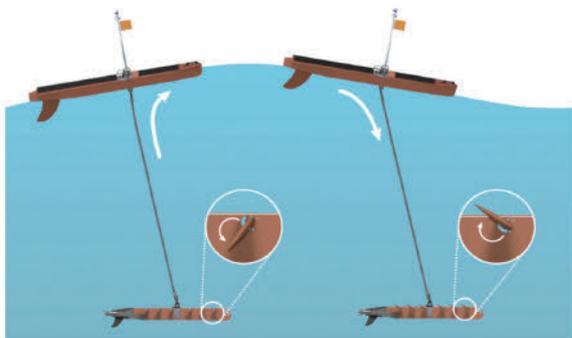
**Table 3.** Specifications of wave glider

Item	Specification
Dimension	Float : 305 cm × 60 cm Glider : 40 cm × 191 cm
Weight & Buoyancy	Mass: 90 kg/Displacement: 150 kg
Water Speed	Typical 1.3 kts
Operating water depth	>15 m
Max solar collection	192 W
Endurance	Up to 1 year (varies based on operating conditions and location)

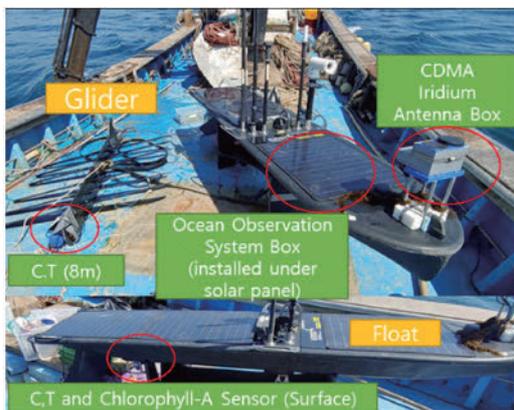
짜와 시간을 설정하면 시간 그래프로 조회 및 다운로드가 가능하도록 설계되었다.

**2.3 무인파력선과 해양자료 수집 시스템 연동**

개발된 시스템의 검증을 위하여 상용 무인파력선인 웨이브글라이더에 개발한 해양환경 모니터링 시스템을 설치하고 실험을 수행하였다. 웨이브글라이더는 파도의 위상 차이를 이용하여 추진하는 무인파력선으로 제원은 Table 3에 나타내었다. 웨이브글라이더는 수상에 떠있는 선체(Float)와 수심 8 m 위치에 잠겨있는 글라이더(Glider)가 케이블로 연결되어 Fig. 7과 같이 파도의 위상차에



**Fig. 7.** Operating principle of wave glider.

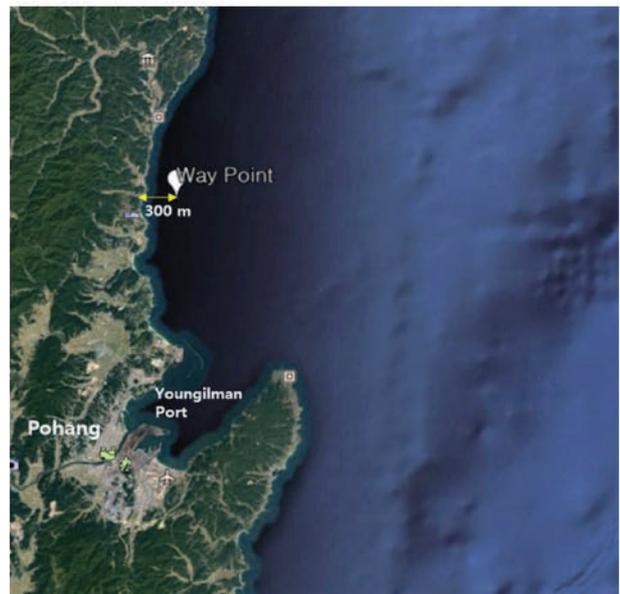


**Fig. 8.** Overview of ocean observation system installed in wave glider.

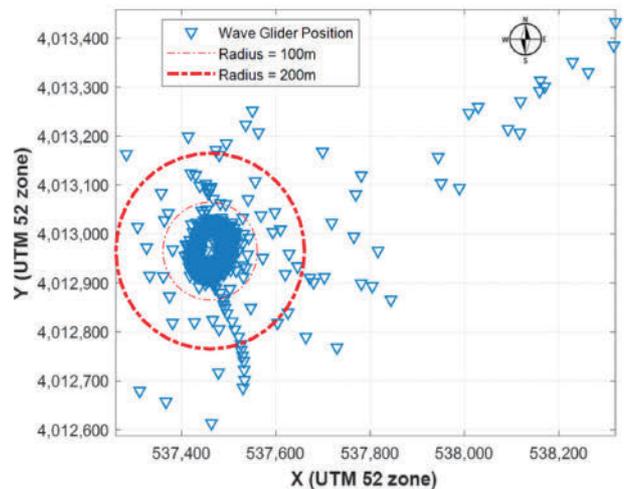
의해서 글라이더 날개에 발생하는 추진력을 이용하여 운항된다 (Liquid Robotics[2016]). Fig. 8과 같이 선체에는 통신장비와 수온·염분 및 Chlorophyll-a 센서를 탑재하여 해양자료 수집 시스템과 연결하고 8 m 케이블과 연결된 글라이더에는 수온·염분 센서를 탑재하였다.

**3. 결과 및 고찰**

구축한 시스템에 대한 실시간 데이터 관측은 2019년 3월 29일부터 4월 4일까지 수행하였다. Fig. 9와 같이 대한민국 포항 장사해수욕장 해안선으로부터 약 300 m 이격된 목표 위치(36°15' 39.16"N, 129°25' 1.26"E)를 기준으로 반경 100 m 범위 안에서 정점 관측을 수행하였다. Fig. 10은 웨이브글라이더의 위치를 UTM 좌표계(Universal Transverse Mercator Coordinate System)로 나타



**Fig. 9.** Location of the observation area.



**Fig. 10.** Trajectory of the wave glider.

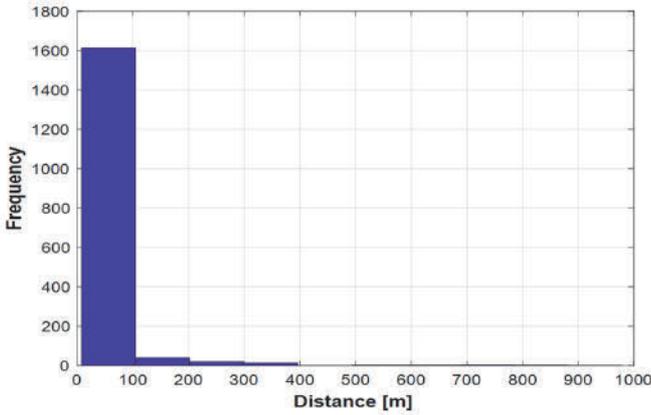


Fig. 11. Histogram showing the distance between the target way point and the wave glider.

낸 것이다. 관측을 수행하는 동안 목표 반경 안에서 위치를 잘 유지했는지 확인하기 위하여 목표 위치에서 벗어난 거리를 Fig. 11과 같이 히스토그램으로 표현하였다. Fig. 11을 통해 무인파력선이 목표점 100 m 반경 이내에서 관측한 횟수가 전체 자료의 95% 이상인 것을 확인할 수 있었다.

해양자료 수집 시스템이 3월 29일 13시 30분부터 4월 4일 10시 까지 관측한 자료는 모니터링 시스템을 통하여 누락 없이 10분 간격으로 저장된 것을 확인하였다. Fig. 12는 해양자료 수집 시스템이 관측한 표층 및 수심 8 m에서의 수온, 염분 및 Chlorophyll-a 자료를 나타낸다. Fig. 12(a) 그래프에서 표층 수온의 13시~15시 사이에 수온이 가장 높은 것이 관측되었으며, 수심 8 m의 수온(평균

12.26°C, 분산 0.0778°C)의 경우 표층수온(평균 12.28°C, 분산 0.1103°C)과 유사한 변화특성을 보였다. Fig. 12(b)에서 표층의 염분도는 평균 34.4 psu, 분산 0.0005 psu, 수심 8 m의 염분도는 34.1 psu, 분산 0.0013 psu로 관측되었다. 표층의 평균 염분도가 수심 8 m 보다 0.3 psu 높고 변동은 매우 작게 나타났다. 표층 염분이 수심 8 m 보다 높은 현상이 관측되었다. 울산 부근의 2013년도 관측 사례에서도 표층 염분이 5~10 m 수심보다 0.3 psu 이하 역전이 관측된 사례가 존재했다(Kim et al.[2014]). 이러한 원인을 밝히기 위해서는 여러 대의 관측시스템을 운영하여 수직적, 수평적 물리적 특성을 확인하는 연구가 추가적으로 필요할 것으로 판단된다. Fig. 12(c)에서 표층 Chlorophyll-a은 관측기간 동안 18시~08시 사이에 증가하고(최대 4.77 µg/L) 08시~18시 사이에 감소하는(최소 0.67 µg/L) 주기성을 나타냈다. Chlorophyll-a는 외편모조류 또는 규조류의 양에 따라 영향을 받고 시간에 관계없이 주기적 증가와 감소를 반복하는 경향을 나타낸다(Kim et al.[2018]). 이에 따라 관측지점에서 18시~08시 사이에 외편모조류 및 규조류의 양이 증가함을 예상할 수 있다.

#### 4. 결 론

장기관측을 수행하는 해양환경 모니터링 시스템 개발을 위하여 해양자료 수집 시스템과 모니터링 시스템을 검증하였다. 해양자료 수집 시스템에 탑재된 Iridium과 CDMA 모뎀은 서로 상호 보완하여 통신 안정성을 높여 장기 관측을 수행하는데 도움을 주었다. 이는 10분 간격으로 취득한 해양자료를 누락 없이 30분마다 준 실시간

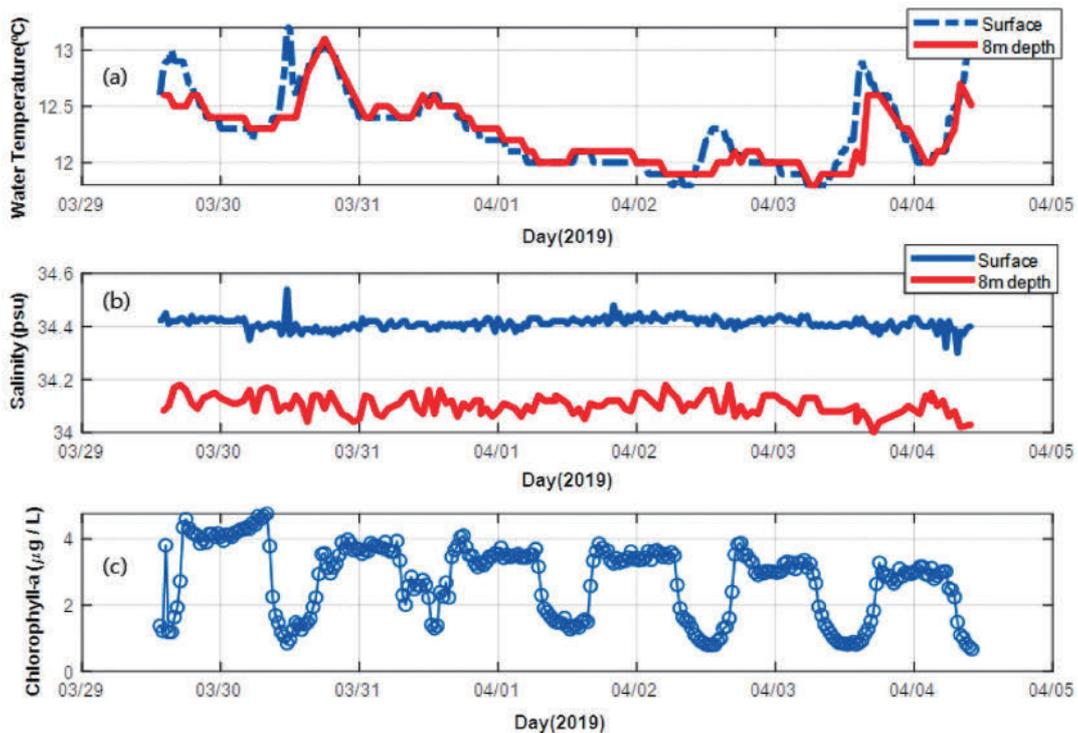


Fig. 12. Observation data from 29 March to 4 April, 2019, Water temperature (a), Salinity (b), and chlorophyll-a on the surface (c).

으로 수신한 것을 통해 확인할 수 있었다. 검증을 수행하는 동안 웹 베이스의 모니터링 시스템에서 웨이브글라이더의 위치와 상태정보를 조회하고 해양자료 수집 시스템에 탑재된 수온, 염분 및 Chlorophyll-a 정보를 준 실시간으로 확인할 수 있었다.

한 대의 Wave Glider를 이용한 정점 관측으로 수집된 해양자료를 통해 넓은 해역 전반에 대한 수직 및 수평적인 특성을 확인하기에는 한계가 있었다. 이러한 한계점을 극복하기 위하여 앞으로 개발될 무인과력선에 윈치(Winch) 시스템을 적용해서 깊은 수심에서도 연속적인 센서 자료를 확보할 수 있는 연구가 필요하다. 그리고 다수의 기체를 동시에 운영해서 모니터링 시스템을 통해 각 기체들의 정보를 종합하고 제어하면서 수평적 데이터의 변동을 확인할 수 있도록 개발되어야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국해양과학기술원에서 수행중인 해양방위 및 안전 기술 개발(PE99941)과 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업(19AR0001)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## References

- [1] AutoNaut Ltd, Wave propelled uncrewed surface vessels, <https://www.autonautsv.com/vessels-0>, 2016 (accessed 2021.07.17)
- [2] Dallolio, A., Diaz G.Q., Livermore E.H., Garrett, J.L., Birkeland R. and Jonhansen, T.A., 2021, A Satellite-USV System for Persistent Observation of Mesoscale Oceanographic Phenomena, *Remote Sens-basel*, 13, 1-23.
- [3] Daniel, T., Manley J. and Trenaman, N., 2011, The Wave Glider: enabling a new approach to persistent ocean observation and research, *Ocean Dynam*, 61(1), 1509-1520.
- [4] Garrison, T., 2013, *Oceanography*, Seven ed., Ceangage, Boston.
- [5] Kim, A., Youn, H.S., Chung, M.H., Yoon, S.C. and Moon, C.H., 2014, The Influences of Coastal Upwelling on Phytoplankton Community in the Southern Part of East Sea, Korea, *J. Korean Astron Soc Oceanogr*, 19(4), 287-301.
- [6] Kim, J.H., Kim, H.S., Kang, D., Lim, Y.K., Ajanl, P., Jung, S.W. and Beak, S.H., 2019, Field application and validity of a red-tide acoustic sensing system (RASS) for monitoring and alerting of harmful algal blooms (HABs) in Korean coastal waters, *J. Appl. Phycol.*, 31, 3737-3748.
- [7] Ko, S.H., Hyeon J.W., Lee S. and Lee., J.H., 2018, Observation of Surface Water Temperature and Wave Height along the Coast of Pohang using Wave Gliders, *J. Coastal. Res.*, SI(85), 1211-1215.
- [8] Liquid Robotics, The Wave Glider, How It Works, <https://www.liquid-robotics.com/wave-glider/how-it-works/>, 2016 (accessed 2021.07.15)
- [9] Manley, J.E., 2008, Unmanned surface vehicles, 15 years of development, in *proc. IEEE Oceans 2008*, Quebec City, QC, Canada, 1-4.
- [10] Moh, T., Cho, J.H., Jung, S.K., Kim, S.H. and Son, Y.B., 2018, Monitoring of the Changjiang River Plume in the East China Sea using a Wave Glider, *J. Coastal. Res.*, SI(85), 26-30.
- [11] Penna, N.T, Maqueda, M.A.M., Martin, L., Guo, J. and Foden P.R., 2018, Sea Surface Height Measurement Using a GNSS Wave Glider, *Geophys. Res. Lett.*, 45, 5609-5616.
- [12] Saildrone, What Is a Saildrone and How Does It Work, <https://www.saildrone.com/news/what-is-saildrone-how-work/>, 2019 (accessed 2021.07.17)
- [13] Yang, C.S., Ishida, A., 2004, "Argo Project : On the Distribution Prediction of Drifting Argo Floats", *J Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 7(1), 22-29.

Received 18 August 2021

1st Revised 16 September 2021, 2nd Revised 1 November 2021

Accepted 5 November 2021