

수면호버링 드론을 이용한 흑산도 해저지형 탐사 기법 연구

김형균[†], 이영숙^{††}

Study on Exploration Method of Seabed Around Heuksando Using Hover Drones

Hyeong-Gyun Kim[†], Young-suk Lee^{††}

ABSTRACT

This study covers exploration of seabed around Heuksando Island using hover drones. To do so, we inspected the terrain of the island and set autonomous flight waypoints on each area of the island's shores. Next, we designated seabed scan radius for drones. Then the drones fitted with laser sensor hover autonomously on their assigned area and acquire seabed data. Finally, we match the seabed data on all areas according to GPS. Our final goal is to make immersive VR maritime cultural map based on 『Jasan Urbo』.

Key words: Exploration Method of Seabed, Heuksando, Hover Drones

1. 서 론

흑산도(黑山島)는 전라남도 신안군 흑산면에 있는 섬이다. 장보고(828년)가 완도에 청해진을 설치하고 흑산도에 성을 쌓으면서 마을이 형성되었다. 조선의 실학자 정약전(1818년)은 신유박해(1801년)로 흑산도에서 유배생활동안 『자산어보』를 집필하였다. 『자산어보』는 생태인문학적 가치를 기반으로 당시대의 삶과 어종을 집필한 우리나라 최초의 융합연구의 초기 모델이라고 할 수 있다[1-2]. 본 연구는 『자산어보』를 토대로 한 VR(가상현실) 해양생태문화지도 제작의 선행 연구이며, 『자산어보』의 생태인문학적 가치를 기반으로 예술과 공학을 융합하여, 실제

배경인 흑산도의 공간적 배경을 중심으로 융합연구적인 가치를 계승하고자 한다. 『자산어보』 VR해양 생태지도 구축을 위해서는 흑산도 연안의 해저 지형 탐사가 필수적이다. 다방면에서 활용가치가 높으며 여러 산업분야에서 각광 받고 있는 드론을 활용하고자 한다. 특히, 수면호버링 드론의 경우 촬영자가 직접 수중에 진입하지 않고 수중 입체촬영이 가능한 장점이 있다[3].

본 연구에서는 수면호버링 드론을 이용한 효율적인 해저 지형탐사 기법을 다음과 같이 제안한다. 첫째, 드론의 흑산도 연안에 대한 구역별 자율비행을 위한 waypoint를 설정한다. 둘째, waypoint를 기준으로 드론의 해저지형 스캐닝 구역을 설정한다. 셋

※ Corresponding Author : Young-suk Lee, Address: (100-272) Center for Digital Image & Contents 2, Toegye-ro 36-gil, Jung-gu, Seoul, Korea, TEL : +82-10-8313-9825, FAX : +82-2-2264-0159, E-mail : tonacoco@dongguk.edu
Receipt date : Oct. 31, 2019, Revision date : Dec. 27, 2019
Approval date : Jan. 1, 2020

[†] School of Software, Kookmin University
(E-mail : multikim@kookmin.ac.kr)

^{††} Institute of Image and Cultural Contents, Dongguk University, Seoul Korea

※ This research was supported by basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (2018S1A5B6069835) & supported by the Dongguk University Research Fund of 2019 (S-2019-G0001-00068)

째, 레이저센서를 탑재한 드론을 이용해 구역별 수면 호버링 기능으로 자율비행을 실시한다. 넷째, 드론의 구역별 자율비행 시 탑재된 소나를 이용해 해저 지형 자료를 획득한다. 다섯째, 구역별 해저지형 자료를 GPS기준으로 정합한다. 이를 통해 수면호버링 드론을 이용하여 흑산도의 해양생물자원 VR 해양생태지도 모델의 가능성을 살펴보고자 한다.

2. VR해양생태지도구현을 위한 흑산도의 공간 설계와 수면호버링 드론

흑산도(黑山島)는 『자산어보』의 공간적 배경이다. 흑산도를 가상현실에서 구현하기 위해선 물리적 공간 분석이 우선되어야 한다. 물리적 공간은 사물과 사물간의 관계에서 구별되며 이는 가상현실에서 사용자에게 실제성을 제공해준다. 가상공간의 실제성을 위해 흑산도연안의 해저 지형 탐사가 우선적으로 실시되어야 한다. 흑산도의 지형은 『자산어보』의 기록된 해양생물들의 서식지를 근거로 영역을 세분화 하였다. 공간 계층의 재분류의 첫 번째 단계로 먼저 육지와 바다의 거리에 따른 육지와 연안(육지와 바다의 경계), 근해와 원해(바다영역)로 구성된 수평적 지형으로 분류하였다. 각 공간의 특성은 그 공간에서 서식하는 생물들의 특성과 관계를 가진다. 이러한 관계는 그 공간이 가지는 의미와는 결부된다. 두 번째로 공간은 방향에 의해 해양의 표층과 중층, 그리고 저층의 수직적 지형으로 나눌 수 있다. 이러한 지형의 재구분과 분류를 통해 추후 가상현실에서 구현할 물리 공간을 계층화가능하다. 따라서, 흑산도 주변 연안 해저공간 유형 분류를 위해서는 실질적인 물리적 공간의 촬영이 필요하다.

최근 드론이 세계적으로 주목받으며 MIT 기술 보고에서 선정된 획기적인 기술 10선 중에 하나로 선정되어(2014), 다양한 산업분야에서 드론을 활용하는 사례가 늘고 있다. 김태균·김승균(2019)는 군집 드론이라는 새로운 활용법의 기술동향 및 발전추세를 소개하고 활용할 수 있는 범용 기술이라 관련 분야 연구개발에 기여하고자 하였다. 이처럼 활용도가 높은 드론은 수중촬영을 위해서는 촬영자가 장비를 갖추고 수중으로 진입하여 촬영해야 한다. 이러한 수중입체 촬영을 이용하여 김형균·김용호(2019)는 수중 입체촬영을 위한 수면호버링 드론을 설계하였다. 이것은 보통의 수중촬영의 경우 촬영자가 직접 수중에

진입하기 때문에 수중에서 빈번한 안전사고가 유발되는 문제점을 해결하기 위해 수중 입체촬영을 위한 수면호버링 드론을 제안하였다[5-6]. 수면호버링 드론은 레이저 센서를 이용한 수위측정을 통해 드론이 일정 높이의 수면에서 호버링한 상태에서 촬영부만 수중으로 이동시켜 수중상태를 입체로 촬영하는 기술이다. 안전사고에 대한 문제점을 해결할 수 있으며 저비용으로 수중입체촬영을 획득할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이처럼 수면호버링 드론의 촬영자가 직접 수중에 진입하지 않고 수중 입체촬영이 가능한 장점을 활용하여 실제 촬영자가 진입하지 않아도 측정 가능한 기술이다[3]. 본 연구에서는 수중촬영 분야에 접목하고 문화유산의 가치재발견을 위한 활용으로 확대하고자 한다.

3. 수면호버링 드론을 이용한 흑산도 해저지형 탐사

흑산도를 배경으로 자산어보 VR해양생태지도 구축을 위해서는 흑산도 연안의 해저 지형 탐사가 필수적이다. 본 연구에서는 수면호버링 드론을 이용한 흑산도 지역의 효율적인 해저 지형탐사 기법을 다음과 같이 제안한다.

첫째, 드론의 흑산도 연안에 대한 구역별 자율비행을 위한 waypoint를 설정한다.

둘째, waypoint를 기준으로 드론의 해저지형 스캐닝 구역을 설정한다.

셋째, 레이저센서를 탑재한 드론을 이용해 구역별 수면호버링 기능으로 자율비행을 실시한다.

넷째, 드론의 구역별 자율비행 시 탑재된 소나를 이용해 해저 지형자료를 획득한다.

다섯째, 구역별 해저지형 자료를 GPS기준으로 정합한다.

Fig. 1은 드론을 이용한 해저지형 탐사시스템의 기본 구성을 보여주고 있다. 흑산도 연안의 해저탐사 구역별로 ①~⑥번까지의 과정을 진행하고 다음 구역의 waypoint로 이동하여 다시 ①~⑥번까지의 과정을 반복하는 형태로 진행된다. 세부적으로 살펴보면 ①번 과정은 설정된 waypoint로 자율비행을 통해 드론이 이동하게 된다. ②번은 해당 waypoint에 도달하면 드론에 부착된 레이저 센서를 이용해 수면측정을 실시한다. ③번의 경우 수면측정을 통해 드론이 해수면으로 이동하게 되면 호버링 비행을 실시한다.

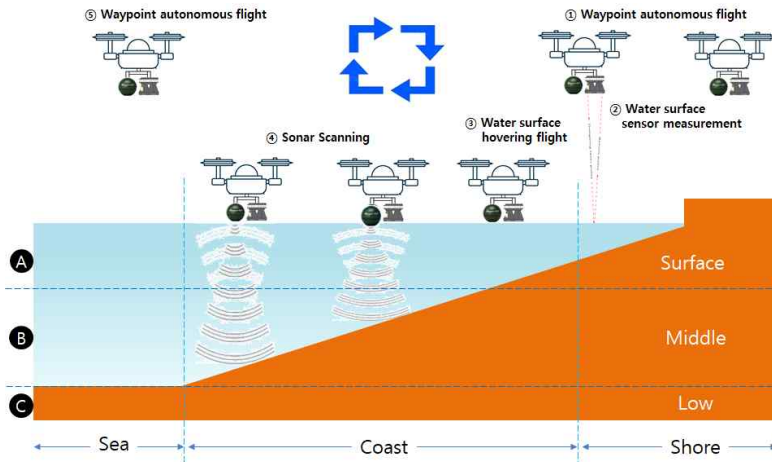


Fig. 1. System Concept Diagram.

④번은 수면호버링 상태의 드론이 지정 섹터 내에서 이동하며 해저지형을 소나센서로 탐색한다. ⑤번은 현재 섹터의 소나탐색이 완료되면, 다음 waypoint 지점으로 자율비행을 통해 이동한다.

시 자동으로 설정되는 waypoint GPS 좌표는 Table 1과 같다.

3.1 흑산도 연안 해저 탐사 구역 설정

Fig. 2는 드론의 waypoint 설정을 위한 과정을 보여주고 있다. 먼저 대상 연안 구역을 선정하고 구글어스를 통해 대상지의 좌표를 확인한다. 구글어스의 아이콘 추가기능을 이용해 waypoint 좌표를 설정하며 이때 자동으로 생성되는 GPS좌표를 추출해 드론의 자율비행에 필요한 waypoint 좌표로 설정하게 된다.

Fig. 3은 드론의 GPS기반 waypoint 자율비행을 위해 흑산도 연안 해역의 구글어스 화면을 캡처한 것이다. 구글어스 아이콘 추가 기능을 이용해 Fig. 4와 같이 waypoint 좌표를 설정한다. 아이콘 추가



Fig. 3. Google Earth in Heuksan Island.

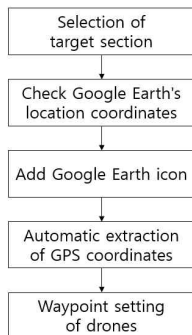


Fig. 2. Drones waypoint setting process.



Fig. 4. Waypoint coordinates setting screen of coast of Heuksan Island.

Table 1. Waypoint GPS coordinates on the coast of Heuksan Island

waypoint	Latitude	longitude
GPS_P1	34°40'36.83"N	125°26'58.08"E
GPS_P1	34°40'36.83"N	125°26'58.08"E
GPS_P2	34°40'13.28"N	125°26'52.18"E
GPS_P3	34°39'57.63"N	125°26'42.55"E
GPS_P4	34°39'38.40"N	125°26'21.52"E
GPS_P5	34°39'15.76"N	125°26'7.63"E
GPS_P6	34°39'15.25"N	125°25'39.46"E
GPS_P7	34°38'53.35"N	125°25'41.56"E
GPS_P8	34°38'52.74"N	125°26'22.13"E
GPS_P9	34°39'18.89"N	125°26'44.92"E
GPS_P10	34°39'44.50"N	125°27'15.55"E
GPS_P11	34°40'10.49"N	125°27'25.49"E
GPS_P12	34°40'42.28"N	125°27'34.40"E

이렇게 설정된 측산도 연안 해역의 구역별 waypoint 좌표를 기준으로 Fig. 5과 같이 드론의 해저지형 탐사 구역을 설정하였다.

본 연구에서는 드론의 구역별 waypoint 기반 자율비행을 위해 waypoint GPS 좌표와 현재 드론의 GPS 좌표를 비교해서 이동 거리 및 이동 각도를 계산하는데 다음 식 (1), (2)를 활용한다[5-7].

$$\begin{aligned} \text{radian_distance} &= \arccos(\sin(\text{Lat1}) \times \sin(\text{Lat2}) + \\ &\quad \cos(\text{Lat1}) \times \cos(\text{Lat2}) \times \cos(\text{Lon1} - \text{Lon2})) \\ \text{distance(kM)} &= \text{radian_distance} \\ &\quad \times 3437.7387 \times 1.852 \quad \text{식 (1)} \\ \text{direction} &= \arccos((\sin(\text{Lat2}) - \sin(\text{Lat1}) \times \end{aligned}$$



Fig. 5. Waypoint-based scanning zone setting screen.

$$\cos(\text{radian_distance}) / (\cos(\text{Lat1}) \times \sin(\text{radian_distance})) \times (180/\pi) \text{ 식 (2)}$$

Lat1 : Latitude of current location
 Lat2 : Latitude of goal location
 Lon1 : longitude of the current location
 Lon2 : longitude of the target location

두 GPS 좌표의 위도 값과 경도 값을 계산식에 대입하면 두 좌표 사이의 거리(Km)와 이동 방향을 구할 수 있다. 여기서 이동방향은 두 좌표 사이의 직선을 만들었을 때, 해당 직선이 진북(North) 방향과 이루는 각도를 나타내며 이를 통해 드론이 이동해야 할 방향을 결정한다. 이동 거리와 이동 방향을 계산한 후에는, 먼저 이동해야 할 방향을 맞추기 위해 고정된 각속도 0.087rad/sec로 드론을 회전한 후, 계산된 거리만큼 일정한 속도로 드론을 전진시킨다.

3.2 해저지형 탐사를 이용한 드론 기반 시스템 설계

로봇 운영체제(ROS, Robot Operating System)는 로봇에 응용하기 위한 프로그램을 개발할 때 필요한 다양한 기능을 구현하고, 통신관리, 라이브러리 및 디버깅 툴을 제공한다. 본 연구에서는 ROS를 이용해 드론을 제어하도록 설계하였다. ROS를 탑재한 드론의 자율비행에 필요한 오픈소스는 modudculab_ros 패키지로 공개되었다[8]. Pixhawk는 드론제어에 필요한 다양한 모듈(STM32F427, GPS module, Radio Receiver, Serial, Gyro sensor, PWM output 등)을 내장하고 있고 PX4 펌웨어가 탑재된다. PX4 펌웨어는 드론의 위치와 자세를 추정해 모터 제어를 위한 데이터를 만들고 ROS interface를 제공한다. PX4 펌웨어는 Pixhawk와 ROS 제어를 위해 Mavros를 사용하며 MAVLink 프로토콜을 사용해 메시지전달 방식의 노드로 구성된다[9-12]. Fig. 6는 해저지형 탐사를 위한 드론 기반 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 드론의 자세 제어와 비행을 담당하는 Pixhawk 보드와 PX4 펌웨어로 비행 제어를 구성하고, 레이저센서에 의한 고도조정으로 드론을 제어하고 소나 센서로 획득한 해저 지형정보를 스마트폰으로 전송하기 위해 라즈베리파이3를 사용한다.

본 연구에서는 수면호버링을 위해 드론에 탑재하는 센서로 SF11 레이저 고도계를 사용한다. SF11 레

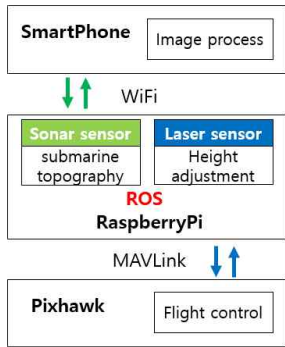


Fig. 6. System configuration.

이저 고도계는 지면과 물에 대한 빠르고 정확하며 신뢰할 수 있는 AGL 고도 측정이 필요한 무인 항공기에 필수적인 기능이다. Fig. 7과 같이 SF11은 레이저 빛이 매우 짧은 순간에 지상으로 이동하고 다시 되돌아오는 데 걸리는 시간을 측정하여 작동한다. 측정의 정확도는 지면의 색상이나 질감 또는 레이저 빔의 입사각에 영향을 받지 않는다. 표준 5V DC 전원으로 작동하는 SF11은 Pixhawk 비행 컨트롤러 또는 다른 표준 프로세싱 플랫폼에 쉽게 연결할 수 있는 아날로그 및 디지털 인터페이스를 모두 포함한다. SF11의 각 인터페이스는 내장된 마이크로 USB 포

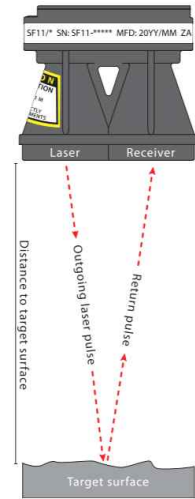


Fig. 7. main features of the SF11.

트를 통해 액세스할 수 있다[13]. Table 2는 SF11의 세부사항을 보여주고 있다.

드론에 탑재된 레이저센서(SF11)의 데이터 값은 라즈베리파이에서 읽어 들여 드론의 자세 제어와 비행을 담당하는 Pixhawk 보드로 전송하게 된다. 이를 통해 수면 호버링을 위한 기체 제어를 자율적으로 수정하게 된다. Fig. 8는 드론에 설정된 웨이포인트

Table 2. SF11 Specifications

Division	SF11/C (120 m)
Range	0.1…120meters(natural targets), 2 ... 40 meters (moving water)
Resolution	1 centimeter
Update rate	16 readings per second
Accuracy	±0.1 meter (70% reflective target @ 20°C)
Power supply voltage	5.0 V ± 0.5 V DC
Power supply current	200 mA (maximum)
Outputs & interfaces	Serial, I2C & analog with maximum latency of 65 ms
Dimensions	30 x 56.5 x 50 millimeters
Weight	35 grams (excluding cables)
Connections	Plug & socket, micro USB
Laser power	20 W (peak), <15 mW (average), Class 1M
Optical aperture	51 millimeters
Beam divergence	0.2°
Operating temp.	0 ... 40°C
Approvals	FDA: 1410968-002 (2016/01)

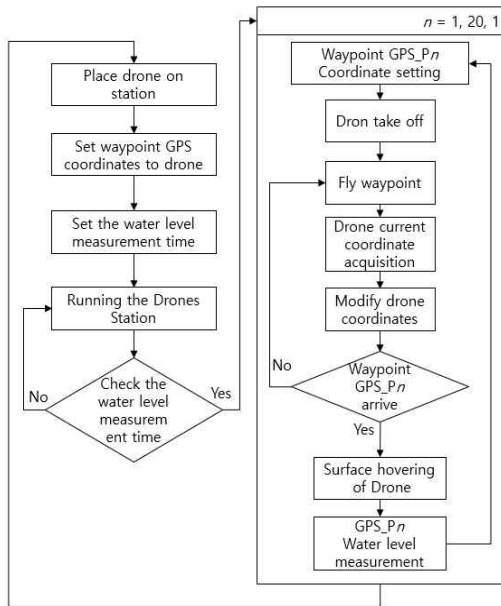


Fig. 8. Drones Waypoint Flight and Level Measurement Algorithm.

자율비행과 수면호버링을 위한 수위측정에 대한 알고리즘을 나타낸다.

본 연구에서는 해저 지형정보 탐사를 위해 Deeper CHIRP+ 소나를 드론에 탑재한다. Deeper CHIRP+는 초당 15회 펄스를 전송한다. 반사되는 음파 펄스는 전기 신호로 변환되어 표시되며 사용자에게 해저면의 경도와 깊이, 그리고 수표면과 해저면 사이의

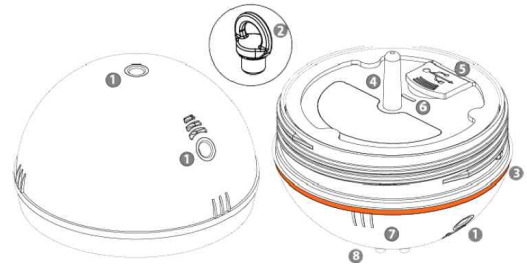


Fig. 9. Drawings of Deeper CHIRP+.

모든 물체의 깊이와 경도를 보여준다. Fig. 9은 Deeper CHIRP+ 소나의 구조를 보여주고 있다.

④는 소나탐지 정보를 스마트폰으로 전송하기 위한 안테나이고, ⑦은 수중음파 탐지기 감지면을 나타낸다. ⑧은 물 센서를 의미한다. Table 3은 Deeper CHIRP+ 소나의 세부사양을 보여주고 있다.

Deeper CHIRP+의 소나 타입은 Fig. 9과 같이 3가지의 CHIRP 주파수를 사용한다.

- 1 cm내 표적 구분을 위한 narrow CHIRP 주파수 675 kHz (원뿔각 7°)
- 2.4 cm내 표적 구분을 위한 medium CHIRP 주파수 290 kHz (원뿔각 16°)
- 2.4 cm이상 표적 구분을 위한 wide CHIRP 주파수 100 kHz (원뿔각 47°)

와이드 빔 스캐닝(일반적으로 40~60° 각도)은 넓

Table 3. Deeper CHIRP+ Specifications

Division	Specification
Unit size	Diameter 2.55 in (6.5 cm)
Weight	100 g (0.22 lb)
Connection	WiFi
Sonar type	Dual beam (wide and narrow)
Frequency	narrow ~ 290kHz (15°) / wide ~ 90kHz (55°)
WiFi range	Up to ~328 ft/ ~100 meters. Depends on OS and smartphone.
Depth range	Max. / Min. ~260 ft (80 m) / Wide angle 4.3ft (1.3 m); Narrow angle 2ft (0.5 m)
Construction	Water tight, ABS
Operational temp.	20°C to 40 °C (4°F to 104 °F)
Battery	Lithium polymer 3.7 V rechargeable
Charging	Micro USB cable
Wireless output	10 mW
Max. comm. distance	100 m

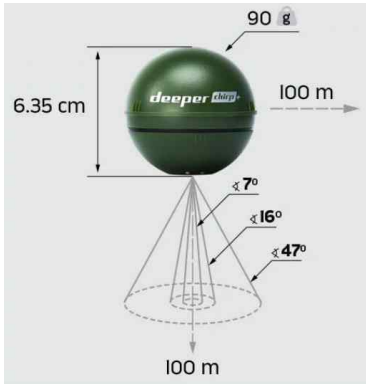


Fig. 10. Technical Specifications of Deeper CHIRP+.

은 영역을 빠르게 스캔해 깊이와 해저면 구조에 대한 전반적인 정보를 얻을 수 있지만, 얻을 수 있는 정확도와 세부정보는 조금 적다. 와이드 빔 스캐닝은 원뿔형이 더 넓은 영역에 대응하고 더 깊게 스캔하므로 비교적 얕은 물에 가장 적합하다. 45 ft/13,7m의 깊이에서 스캔하는 경우, 반경 47 ft/14,3m인 영역에 있는 물체가 표시된다.

내로우 빔 스캐닝(약 10~20°)은 보다 정밀한 영상을 제공하지만, 보다 작은 영역에 대응한다. 내로우 빔 스캐닝은 원뿔형이 넓게 펼쳐지지 않기 때문에 비교적 깊은 물에 보다 적합하다[14].

Fig. 11은 Deeper CHIRP+의 소나에서 획득한 해저 지형정보를 스마트 어플리케이션에서 수신한 화면이다. 소나 디스플레이는 색상과 밝기를 통해 물체의 경도를 보여준다. 색상이 선명할수록 신호가 강해지므로 물체가 더 단단하다는 것을 나타내는데, 이 기능은 해저면을 스캐닝할 때 특히 중요하다. 화면에서 일부 영역은 딱딱한 해저면으로 두껍게 표현되며 다른 영역은 더 얇게 표현되어 부드러운 해저면이라는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 11. Submarine topography obtained from Deeper CHIRP+.

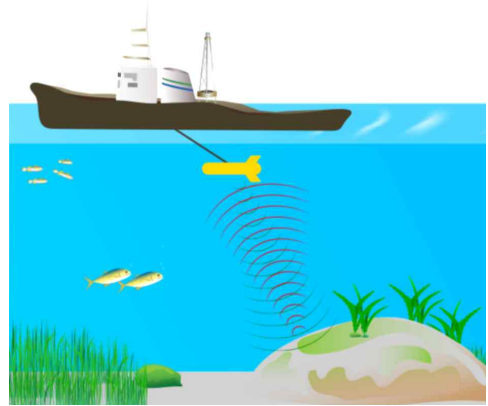


Fig. 12. Seabed Terrain Exploration with Side-scan Sonar.

3.3 해저지형 탐사기법 비교 분석

해저지형 탐사를 위해 사용되는 기술로는 선체에 탑재 가능한 합성 개구면 소나(Synthetic Aperture Sonar), 섹터 스캔 소나(Sector Scan Sonar)와 선체에 의해 예인되는 사이드 스캔 소나(Side-Scan Sonar) 등을 이용하는 방법이 있다[15-17].

이러한 기법들은 Fig. 13과 같이 선체를 이용해 소나를 부착하거나 예인하는 방식으로 사용되고 있다[18]. 따라서 선체가 운영될 수 있는 일정 깊이 이상의 해저지형 탐사에 이용되고 있으며 해수면의 유동성에 따라 측정오차가 발생할 수 있으며, 고가의 측정비용을 필요로 하고 있다.

본 연구에서 제안한 “수면호버링 드론을 이용한 해저 지형탐사 기법”은 연안 해저 지형을 탐사하는 목적으로 제안된 것으로 Table 4와 같이 기존의 해저 지형 탐사기법과 비교해 해당 목적에 부합하도록 설계되었다.

4. 결 론

본 연구는 수면호버링 드론을 활용한 흑산도(黑山島) 해저지형 탐사를 위한 연구이다. 최근 여러 분야에서 활용도가 높은 드론을 이용하였다. 수면호버링 드론의 경우 촬영자가 직접 수중에 진입하기 않고 수중 입체촬영이 가능한 장점이 있으며, 다방면에 활용가치가 높다. 따라서 본 연구에서는 수면호버링 드론을 활용하여 흑산도 지형을 살펴보고, 흑산도 연안에 대한 구역별 자율비행을 위한 waypoint를 설정하

Table 4. Proposed Technique Comparison Analysis

Division	Sonar detection by Ship (ExistingMethod)	Sonar detection by drone (SuggestionMethod)
Attachment Method	Ship attachment	Drone Attachment
Mounted sonar	Broadband sonar	Narrowband sonar
Detection area	Deep seabed	Coastal seabed
cost	High cost	Low cost
Operation Method	Manual adjustment	Self-adjustment
Error factor	Ship rolling	Not applicable

였다. 다음으로 드론의 해저지형 스캐닝 구역을 설정하였다. 그리고 레이저센서를 탑재한 드론을 이용해 구역별 수면호버링 기능으로 자율비행을 실시하고, 흑산도의 해저 지형자료를 획득하였다. 마지막으로, 구역별 해저지형 자료를 GPS기준으로 정합하였다.

본 연구과정은 수면호버링 드론을 이용한 흑산도 해저지형 탐사의 진행 과정을 보여주고 있다. 우리나라 최초의 융합연구의 초기 모델이자 생태인문학적 가치가 높은 『자산어보』의 배경인 흑산도 연안의 해저탐사에 대한 연구의 시도는 역사적 문화적으로 의미를 가지며, 융합적 측면에서 다양한 시도를 접목한 사례로 의의가 있다. 이 연구를 토대로 향후, 『자산어보』 기반의 체험형 VR해양생태문화지도 제작에 접목하고자 한다.

REFERENCE

- [1] Y.S. Lee, "A Study on a Prototype for the Development of a Marine Character based on the 『Jasan-urbo』," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 21, No. 3, pp. 432-440, 2018.
- [2] J.S. Nam and Y.S. Lee, "A Study on Marine Eco-humanistic Value and Convergence Research of Jasan-eobo," *Literature and Environment*, Vol. 18, No. 2, pp. 139-174, 2019.
- [3] H.G. Kim and Y.H. Kim, "Design of Water Surface Hovering Drone for Underwater Stereo Photography," *Journal of Convergence for Information Technology*, Vol. 9, No. 6, pp. 7-12, 2019.
- [4] C.H. Joe, S.J. Park, I.S. Um, and H.G. Kim, "Exploring Trends and Technologies in Drone Development," *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol. 37, No. 1, pp. 10-19, 2019.
- [5] Y.H. Kim and H.G. Kim, "A Study of Tour Game Using LBS based on Smart Phone," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 10, No. 5, pp. 239-244, 2012.
- [6] Y.H. Kim and H.G. Kim, "Cultural Heritage Experiential Learning Smart-phone APP Using LBS," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 11, No. 12, pp. 821-828, 2013.
- [7] Find Distance and Heading Using GPS Coordinates, <https://drkein.tistory.com/117> (accessed June 10, 2019).
- [8] Modudculab_ros, https://github.com/Jaeyoung-Lim/modudculab_ros (accessed June 10, 2019).
- [9] Raspberrypi, <https://www.raspberrypi.org> (accessed June 11, 2019).
- [10] PX4 Autopilot, <https://px4.io> (accessed June 11, 2019).
- [11] Pixhawk, <https://pixhawk.org> (accessed June 12, 2019).
- [12] Mavros, <http://wiki.ros.org/mavros> (accessed June 15, 2019).
- [13] SF11 laser altimeter, <https://lightware.co.za/products/sf11-c-120-m>(accessed June 11, 2019).
- [14] How Sonar Works, https://deepersonar.com/kr/ko_kr (accessed June 20, 2019).
- [15] F. Ollivier, P. Cervenka, and P. Alais, "Side Scan Sonar Using Phased Arrays for High Resolution Imaging and Wide Swath Bathy-

- metry,” *Proceeding of IEE-Radar, Sonar and Navigation*, Vol. 143, No. 3, pp. 163-168, 1996.
- [16] W.G. Jeon and Y.S. Cho, “Object Detection with Sector Scanning Sonar,” *Proceeding of OCEANS*, pp. 1-8, 2013.
- [17] M.P. Hayes and P.T. Gough, “Synthetic Aperture Sonar: A Review of Current Status,” *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 34, No. 3, pp. 207-224, 2009.
- [18] Sea Floor Acoustic Imaging Technology, <https://m.blog.naver.com/PostView.nhn> (accessed November 18, 2019).



김형균

2004년 조선대학교 컴퓨터공학과
공학박사
2004년~2007년 동강대학교 컴퓨
터정보과 초빙교수
2012년~2016년 조선대학교 컴퓨
터공학과 객원교수

2017년 10월~2019년 8월 서울여자대학교 SW교육혁신
센터 산학협력교수

2019년 9월~현재 국민대학교 소프트웨어학부 부교수
관심분야: IoT 시스템 통합, 데이터분석, 드론



이영숙

2010년 부산대학교 영상정보공학
과 공학박사
2010년 동국대학교 영상문화콘텐
츠연구원 전임연구원
2014년 동국대학교 영상문화콘텐
츠연구원 조교수

2019년 동국대학교 아트&디자인콘텐츠융합센터 센터장
관심분야: VR/AR, IoT, AI, 드론, 기능성게임, 디지털콘
텐츠제작