



Received: 2018/11/22  
Revised: 2019/01/22  
Accepted: 2019/02/25  
Published: 2019/03/15

**\*Corresponding Author:**

**Chang-Bong Kim**  
Tel: +82-55-680-1553  
E-mail: cbkim@koje.ac.kr

# 해저면 탐색 및 측량용 무인수상정의 지상관제시스템 개발

## Development of Ground Control System of USV for Explore the Ocean Floor and Geographical Surveying

**김창봉\***

거제대학교

**Chang-Bong Kim\***

Koje Colleague

**Abstract**

본 연구에서는 해저면 탐색 및 측량용 무인수상정의 지상관제시스템을 개발하였다. 먼저, 지형 탐색 및 측량용 무인수상정의 개념을 정리하였으며, 지상관제시스템(GCS, Ground Control System)의 운영 S/W와 H/W를 개발하였다. GCS의 운영 S/W는 MAVLink를 기반으로 한 Open Source를 이용하여 개발하였다. 작업자는 신규 프로젝트를 생성하거나 기존 프로젝트를 조회할 수 있으며, 수행한 프로젝트를 연속해서 작업 할 수 있다. USV가 자동항법으로 Way-point를 진행할 때 모든 데이터는 APC를 통하여 GCS에 전송된다. 개발된 지상관제시스템은 향후 다양한 분야의 특수목적용 수상드론의 플랫폼으로 사용될 것으로 기대된다.

In this paper, GCS (ground control system) of USV (Unmanned Surface Vehicle) for explore the ocean floor and geographical surveying was developed. Firstly, the concept of USV for geographical surveying was established. Then, GCS operation software and hardware were developed. The operating software of GCS was developed using open source based on MAVLink. Workers can create new projects or view existing projects, and they can work on the projects they have performed. When the USV carries out the waypoint with automatic navigation, all data is transmitted to the GCS via APC. The developed GCS is expected to be used as a platform for special purpose application USV in various fields in the future.

**Keywords**

USV(Unmanned Surface Vehicle, 무인수상정),  
GCS(Ground Control System),  
Autonomous Navigation System(자동항법 시스템),  
Explore the Ocean Floor(해저면 탐색),  
Geographical Surveying(지형조사)

### 1. 서론

무인이동체(unmanned vehicle)란 외부환경을 인식하고 스스로 상황을 판단하여 이동하고, 필요시는 작업을 수행할 수 있는 이동체로 정의한다. 무인수상정(USV, unmanned surface vehicle)은 무인이동체의 정의에 일치한다. 무인수상정은 무인화물선, 무인양식, 어군탐지, 해양환경, 수중인프라 및 수중촬영 등에 활용될 수 있다.

드론(drone)은 무인기를 지칭하는 단어이며, 미국에서는 드론이 무인기 전체를 지칭하나, 국내에서는 소형무인기, 특히 멀티콥터형에 한정하여 지칭하기도 한다. 하지만 드론이라는 용어는 사람이 타지 않는 비행기, 헬리콥터, 무인잠수정(UUV, unmanned underwater vehicle), 무인수상정 등 넓은 범위의 의미로 확장되어야 할 것이다. 과거 드론은 군사용을 목적으로 개발되었으나 최근에는 공공용, 상업용(건설, 에너지, 농업, 통신 등), 그리고 취미용(소비자용)으로 구분되어 다양한 분야로의 활용 가능성이 커지면서 산업 및 민간용 시장으로 빠르게 확산하고 있다. 특히 4차 산업에서 IT 기술 및 다양한 서비스와 융합되어 시너지를 창출하고 있다. 글로벌 드론 시장의 전망을 Fig. 1에 나타내었다. 2015년 8,090백만 달러를 시작으로 2020년 11,530백만 달러로 예측되며, 정부의 수요가 드론 시장을 지속해서 견인할 것으로 분석된다[1]. 최근 급성장하고 있는 무인선은 매년 10.9%씩 성장하여 2020년에는 1,929백만 달러에 이를 것으로 전망되고, 무인선에 대한 정부의 적극적인 관심으로 최근 무인선 연구·개발 과제가 증가하고 있다[2].

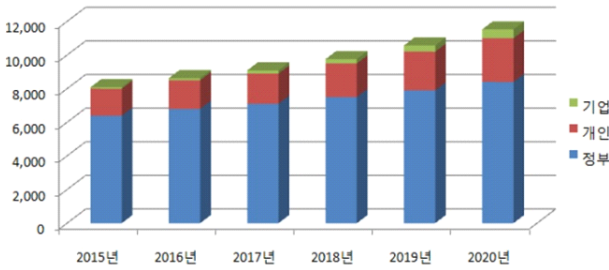


Fig. 1. Global drone market forecast. (Unit: \$ million)

과학기술정보통신부는 보도자료(2017년 12월 07일)를 통하여 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵을 발표하였으며, 4차 산업혁명의 기술집약체로 스스로 작업하는 무인이동체에 대한 콘셉트를 Fig. 2에 나타내었다. 무인이동체(자율주행차, 드론, 무인선박, 무인잠수정)에 함께 쓰이는 공통 핵심기술 6개 분야를 선정하고, 2030년까지 세계 기술경쟁력 3위, 일자리 창출 9만2천명, 시장점유율 10%를 목표로 하는 내용이다[3].



Fig. 2. Common core technology of unmanned vehicle.

국토교통부는 2018년 3월 30일부터 드론을 이용한 공공측량을 제도화해 시행하고 있다[4]. 2018년 8월 26일 국토지리정보원과 공간정보산업협회가 실시하는 드론을 활용한 공공측량성과 심사에서 적합 판정을 받는 사례도 있었다. 항공 측량과 지상 측량에만 국한됐던 분야에 드론이 본격 활용된 사례로 꼽힌다.

내수면의 저수지 용적량 측정에 수상드론을 활용한 사례에서는 시험구역 내 저수지 내용적을 파악하여 저수지 유·출입량 산정의 기초자료 활용함과 동시에 구역 유출 및 물수지분석 자료로 활용하였다[5][6]. 또한, 위치기반 무인 수상 드론의 설계와 구현에 관한 연구와 자율형 무인 수상정의 군집 주행을 위한 제어기 설계 기술에 관한 연구도 수행되었다[7][8].

다양한 분야에 무인수상정을 활용하기 위해서는 지상

관제시스템(GCS, ground control system) 개발이 필수적으로 요구된다. 저자는 “지형 탐색 및 측량용 무인수상정 개발”의 논문에서 지형 탐색 및 측량용 USV의 개념을 확립하였고, 시제품 제작을 2년에 걸쳐서 진행하였다[9]. 개발된 시제품에 USV를 운영하기 위한 GCS를 설계 및 제작하였으며, GCS에 탑재되는 운영 S/W를 개발하였다. Fig. 3에 개발된 시제품을 나타내었다. 본 논문에서는 개발된 USV의 GCS에 대해서 고찰하고자 한다.



Fig. 3. USV for explore the ocean floor and geographical surveying.

## 2. 해저면 탐색 및 측량용 USV 개념

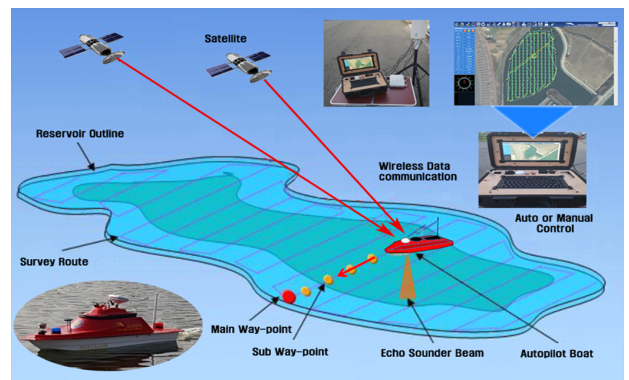


Fig. 4. USV concept map for geographical surveying.

Fig. 4에 해저면 탐색 및 측량용 USV의 개념을 제시하였다. 탐색 및 측량 경계가 결정되면 항로의 주요 지점 사이의 중간 지점인 Way-point(main, sub)를 종/횡 방향

일정한 간격으로 자동으로 생성한다. 생성된 운항 경로 정보는 텔레메트리(telemetry)를 이용하여 USV에 전송한다. 원격 조정기에 할당된 자동항법 채널을 ON 하면 USV는 RTK(real time kinematic) GPS(global positioning system)의 정보를 이용하여 자동항법을 수행함과 동시에 GPS 정보, 수신, 영상정보를 APC(access point controller)를 통하여 GCS에 전송한다.

### 3. 지상관제시스템 개발

#### 3.1 지상관제시스템 구성 및 용도

Fig. 5은 개발된 GCS의 구성을 보여준다. GCS는 크게 USV를 운영하기 위한 소프트웨어와 하드웨어로 구분된다. 개발된 GCS의 용도는 아래와 같다.

- USV에 명령 전송 및 수행 결과를 실시간 모니터링
- RTK GPS 운영을 위한 지상 기준점
- 탐색 및 측량 결과 데이터의 실시간 처리

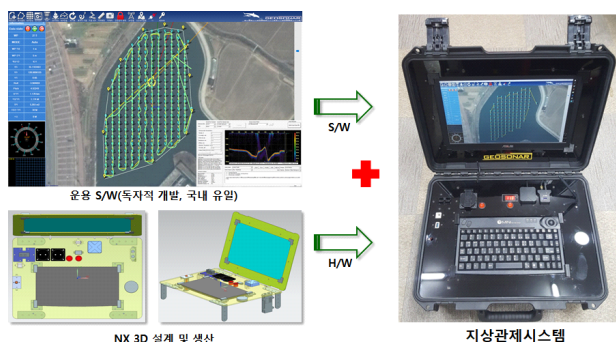


Fig. 5. Configuration of ground control system.

#### 3.2 지상관제시스템 계통도

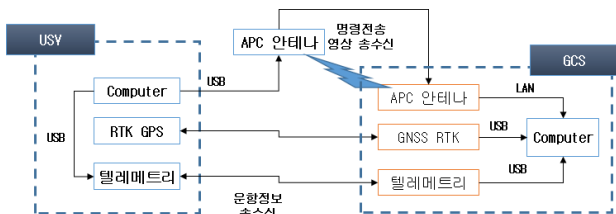


Fig. 6. Systematic diagram of GCS.

해저면 탐색 및 측량을 위하여 개발된 지상관제시스템의 계통도는 Fig. 6에 제시하였다. USV와 GCS는 크게 2

가지 방법으로 통신을 수행한다. 먼저, APC를 이용하여 영상 및 데이터 전송을 수행하며, 텔레메트리를 이용하여 자동항법을 위한 데이터를 전송 및 그 결과를 수신한다.

#### 3.3 해저면 탐색 및 측량 경계 결정

지상관제시스템을 활용하여 탐색 및 측량을 하고자 하는 경계(outline)를 Google Map 기반으로 설정할 수 있으며, 경계 결정방법은 Table 1과 같이 3가지 방법을 적용할 수 있다.

먼저, Google Map 기반으로 경계를 설정할 때 실시간 Google Map 데이터를 활용할 수 있으므로 편리성이 보장되지만, 육지와 가까운 곳에 경계를 설정할 경우 육지의 지형 정보가 퇴적되거나 자연재해로 인하여 실제 지형과 다른 경우에는 정확한 경계 설정을 기대할 수 없다. 다음은 작업자가 USV를 직접 운전하면서 GCS 시스템으로 경계를 설정하는 방법이다. 이와 같은 경계 결정방법은 작업자가 원격 USV의 상태를 영상 송수신용 카메라 또는 모니터를 활용하여 USV를 운전하면서 경계 정보를 확인한 다음 GCS에 전송하는 것이다. 정확한 경계의 정밀도는 보장되나 작업자가 영상정보를 기반으로 경계를 결정해야 하는 불편함이 있으며 USV를 수동으로 운전해야 하므로 경계가 복잡한 지형에서는 효율성이 높지 않다. 마지막 방법은 회전익 드론을 활용하는 것이다. 상용 드론을 활용하여 여러 개의 사진을 촬영하고 Pix4D 소프트웨어로 3D Mapping하여 경계를 설정하고 그 정보를 GCS에서 읽어오는 방법이다.

Table 1. How to determine the boundary of the survey.

경계 결정방법	설명
Google Map	Google Map에서 사용자가 지정
USV 탐색	작업자가 USV를 운전하면서 지상관제시스템에서 경계를 지정
드론 탐색	상용 드론을 통한 측량, Pix4D 경계 데이터 추출

#### 3.4 지상관제시스템의 하드웨어 구성

지상관제시스템의 하드웨어 구성은 그림 7에 나타내었다. GCS는 USV가 Way-point를 자동항법으로 진행할 때 GCS를 통하여 작업자에게 실시간 항로 정보를 보여줘야 하며, 작업자는 원격에서 USV를 제어할 수 있어야

한다. GCS의 제작을 위하여 IP 방수, 방진 등급 67을 만족하는 방폭 상자를 활용하였다. 배터리, 모니터, 키보드, 외부전원 등 부품의 간섭을 검증하고 사용상의 효율적인 배치를 위하여 Siemens NX10을 이용하여 3D 설계를 완료하였다. 내부 커버는 2D 도면의 데이터를 활용하여 레이저 절단기로 절단하여 제작하였다. 각각의 장치를 고정하는 여러 부품은 3D 모델링 데이터를 활용하여 3D 프린터로 출력하여 제작하였다.

GCS에서 APC 및 기타 장비의 외부전원을 사용하기 위하여 내부에 장착된 배터리(50Ah, 12V)를 220V로 승압하여 2개의 플러그로 제공되며, USV가 이동하는 상태에서 실시간 위치정보를 수 cm 이내에서 유지하는 최첨단 GPS 시스템인 RTK가 설치되었다. GCS 내부에는 지상관제 소프트웨어가 설치된 컴퓨터가 있으며, 외부에서 컴퓨터 전원을 ON 할 수 있는 버튼과 컴퓨터에 연결하기 위한 USB 및 LAN 포트를 구성하였다. 외부 LAN 포트를 사용하여 APC와 GCS는 연결되며 USV에서 생성되는 다양한 정보와 영상을 GCS에서 확인할 수 있다.

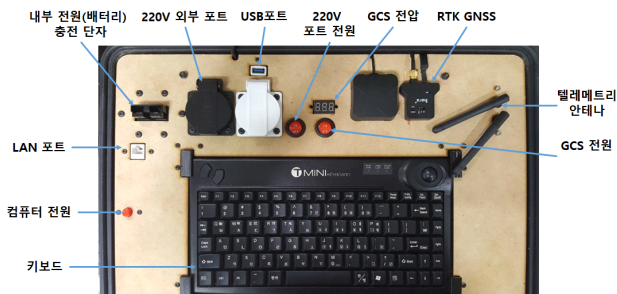


Fig. 7. Hardware configuration of GCS.

GCS에는 GPS 기준점으로 사용하는 위성측위시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)의 RTK가 설치되어 있으며 GNSS RTK 기준국에 대한 정보는 Table 2에 제시하였다.

Table 2. GNSS RTK reference station information.

GNSS RTK	
정확도	수평 1cm +1 ppm, 수직 2cm +1 ppm
방향 정확도	(0.2/R)° R은 미터로 측정된 기준선 거리
사용 주파수	글로벌 버전: GPS L1&L2, GLONASS F1&F2 아시아 태평양 버전: GPS L1&L2, BEIDOU B1&B2

GCS와 USV는 실시간 통신을 수행하기 위하여 APC를

사용한다. APC를 기준으로 여러 방향에 USV가 운항할 것이므로 무지향 안테나를 사용하며, APC의 용도는 아래와 같다.

- 실외에서 Wireless Enterprise 환경 제공
- 지상관제시스템과 실시간 데이터 전송
- 데이터 전송 거리 최대 2Km

무지향 안테나를 사용하는 경우 여러 방향에 운항하는 USV의 정보를 안테나의 방향을 전환하지 않고도 USV에서 송신하는 정보를 수신할 수 있는 장점이 있다. 24dBm 신호로 데이터가 전송될 때 USV의 특성상 수면 위를 통과하는 신호에 잡신호가 발생한다. 특히 측량에서 지원되는 NMEA 0183 데이터에 잡신호가 발생하면, 완전한 NMEA 0183 데이터가 아니면 필터링하여 사용한다. 사용된 APC와 무지향 안테나는 Fig. 8에 나타내었다.



Fig. 8. APC setting example.

### 3.5 지상관제 운영 소프트웨어

해저면 탐색 및 측량 프로젝트를 관리하고 관련 정보를 조회하기 위해서는 USV에 최적화된 GCS 운영 S/W 개발이 필요하다. Fig. 9에 개발된 GCS 운영 S/W를 나타내었다.

GCS 운영 S/W는 <http://ardupilot.org> 오픈소스를 기반으로 Mavlink를 이용하여 파이썬, C#, C++로 개발하였으며 펌웨어는 Rover를 이용하였다. 개발된 운영 S/W는 USV의 배터리가 사용자가 설정한 10.5V로 강하되면 자동으로 GCS 위치로 복귀하는 기능, USV를 Google Map 기반으로 특정 위치까지 보내는 기능, 기본적인 측량(거리, 총거리, 면적 등) 기능, 그리고 2000개 이상의 Way-point를 사용자가 영역을 나누어 자동항법을 수행하는 기능을 제공한다.

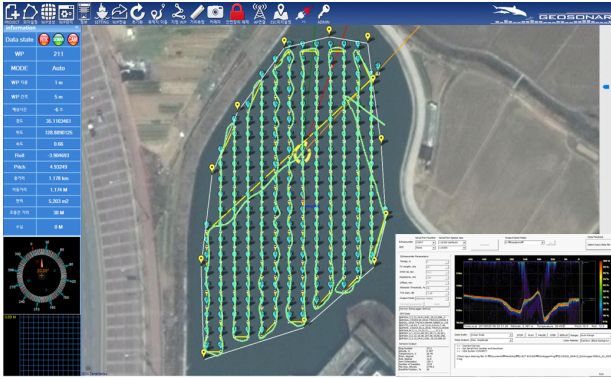


Fig. 9. Operating S/W on GCS.

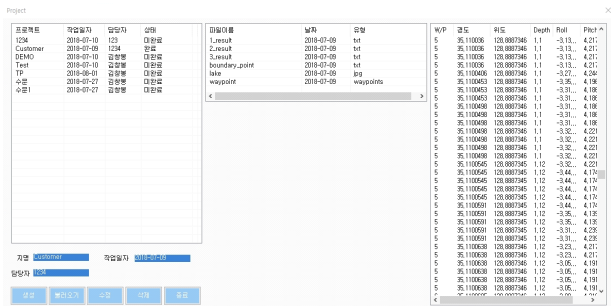


Fig. 10. GUI for project management.

GCS 운영 소프트웨어에서 프로젝트 관리 GUI를 그림 10에 나타내었다. 작업자는 프로젝트를 신규로 생성하거나 기존에 진행된 프로젝트를 조회 및 재시작할 수 있다. 탐색 및 측량이 완료된 프로젝트의 경우 그 결과를 조회할 수 있다. 프로젝트 기본적인 출력값은 경계, Way-point, 각 Way-point를 통과할 때의 경도, 위도, Depth, 선체의 Roll 및 Pitch 정보이다.



Fig. 11. Separation of survey and search areas.

탐색 및 측량 경계가 넓거나 Way-point가 많은 경우 작업자는 Fig. 11과 같이 해당 프로젝트를 몇 개의 탐색영역으로 나누어서 진행할 수 있다. 탐색영역을 나누는 이유

는 아래와 같이 다양하다.

- 단일 경계로 탐색할 수 없는 넓은 경계
- 배터리 저전압 및 송수신이 어려운 경계
- 경계 분할로 작업자의 업무 효율 향상

Fig. 12는 경계 분할로 측량 및 탐색이 완료된 결과를 보여준다. 전체 측량 경계는 1\_result, 2\_result, 3\_result로 3개로 구성되어 있으며, 각각의 결과를 선택하면 USV가 탐색한 결과를 조회할 수 있다. 또한, 전체 프로젝트의 경계 정보인 boundary\_point와 Way-point 정보인 waypoint 도 함께 조회할 수 있다.

파일이름	날짜	유형
1_result	2018-07-09	txt
2_result	2018-07-09	txt
3_result	2018-07-09	txt
boundary_point	2018-07-09	txt
lake	2018-07-09	jpg
waypoint	2018-07-09	waypoints

Fig. 12. Results of surveys with boundary segregation.

Fig. 13은 탐색 및 측량 작업을 수행하기 전에 Google Map 기반에서 경계 및 Way-point를 설정하고 USV의 운항속도와 바람에 의한 파도 상수(Wave Effect)를 입력하여 작업 완료 시간을 예측하는 기능을 보여준다. 결과보고서는 Excel로 생성된다.

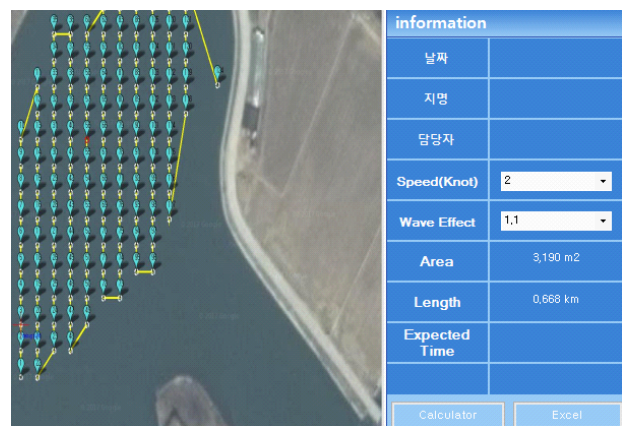


Fig. 13. Predict of project completion time.

USV가 자동항법으로 Way-point를 진행할 때 모든 데이터는 APC를 통하여 GCS에 전송된다. GCS에서 보여주는 세부적인 정보는 Table 3에 제시하였다. 사용자는 실시

간 측량정보를 GCS에서 확인할 수 있으며 필요하다면 USV를 원격제어할 수 있다. 측량에 중요한 경도, 위도, Roll, Pitch, 그리고 수심은 0.2초 간격으로 보여준다. 작업자는 USV가 최종 Way-point에 도달하기 위한 예상시간, USV의 전체 이동 거리 등의 정보도 실시간 확인할 수 있다. 또한, Way-point를 USV가 자동항법으로 진행할 때 경로 관련한 그래픽 정보는 Table 4에 제시하였다. 그래픽 정보는 1초에 5번 실시간으로 업데이트되어 Way-point를 기준으로 진행 중인 USV의 위치와 Way-point 정확하게 통과하는지를 작업자는 항상 확인할 수 있다.

Table 3. Real-time acquisition information from GCS.

정보	설명	단위
WP	목적지인 Way-point	
MODE	Auto, Manual(자동, 수동항법)	
WP 지름	Way-point의 지름	m
WP 간격	Way-point 간 거리	m
예상시간	최종 Way-point까지의 도달 시간	초
경도	GPS의 경도 값	도(°)
위도	GPS의 위도 값	도(°)
속도	Way-point 간의 USV 속도	m/s
Roll	센서에서 획득한 USV의 Roll	도(°)
Pitch	센서에서 획득한 USV의 Pitch	도(°)
총거리	전체 Way-point의 거리	km
이동거리	현재까지 이동거리	km
면적	측량 경계의 면적	m <sup>2</sup>
조종거리	USV와 GCS의 거리	m
수심	음향측심기로 측량한 물의 깊이	m
방위각	USV가 선수가 향하는 각도	도(°)

Table 4. Route details of GCS operation S/W.

정보	설명
측량 경계	노란색 Pin Point, 하얀색 Polyline
Way-point	하늘색 Pin Point
Guide Line	노란색 Polyline
USV 이동경로	연두색 Spline

개발된 GCS 운영 소프트웨어는 USV의 배터리가 사용자가 설정한 전압 10.5V보다 낮은 경우에 자동으로 GCS 위치로 복귀하는 기능, USV를 Google Map 기반으로 특정 위치까지 보내는 기능, 기본적인 측량(거리, 총거리, 면적 등) 기능, 그리고 2000개 이상의 Way-point를 사용

자가 몇 개의 영역으로 나누어 자동항법을 수행하는 기능을 제공한다.

Fig. 14는 Way-point를 생성하기 위한 GUI를 보여준다. 생성될 Way-point의 간격, 지름, 그리고 방향을 지정할 수 있다. 생성 방향은 가로, 세로, 그리고 양방향의 Way-point 경로를 지정할 수 있다. 사용자가 측량 대상의 여러 요구사항에 맞도록 설정하여 탐색 및 측량 작업을 수행할 수 있다.

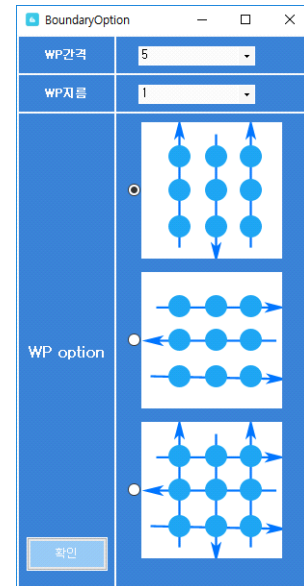


Fig. 14. GUI for way-point creation.

USV를 원거리의 특정한 목적지로 이동하기 위하여 작업자가 조종기를 이용하여 이동시키는 것에는 효율성의 문제가 있으므로, Google Map에서 특정 목적지를 선택하여 자동으로 이동할 수 있는 기능이 필요하다. 이러한 기능을 이용하여 측량 및 탐색의 출발점을 지정하거나 작업이 완료된 후 GCS 근처로 이동할 수 있다. Fig. 15는 작업자가 USV를 특정한 목적지로 이동하는 명령을 전송하는 결과를 보여주며, 작업자가 조종기에 할당된 자동항법 스위치를 ON 하면 USV는 목적지로 이동한다.

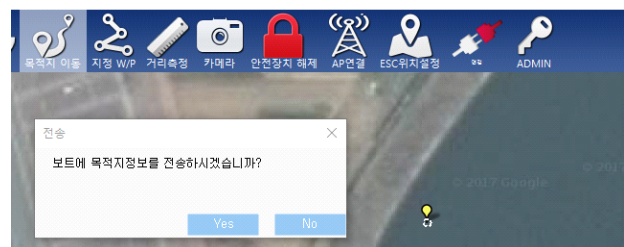


Fig. 15. Send destination information to USV.

## 4. 결론

본 연구에서는 해저면 탐색 및 측량용 무인수상정의 지상관제시스템을 개발하였다. 먼저, 지형 탐색 및 측량용 무인수상정의 개념을 정리하였으며, 지상관제시스템(GCS, Ground Control System)의 운영 S/W와 H/W를 개발하였다. GCS의 운영 S/W는 MAVLink를 기반으로 한 Open Source를 이용하여 개발하였다. 작업자는 신규 프로젝트를 생성하거나 기존 프로젝트를 조회할 수 있으며, 수행한 프로젝트를 연속해서 작업할 수 있다. USV가 자동항법으로 Way-point를 진행할 때 모든 데이터는 APC를 통하여 GCS에 전송된다. 개발된 지상관제시스템은 무인수상정에 다양한 소나를 장착하여 해저면 지형의 측량 및 탐색, 군사 및 특수목적용의 기본 플랫폼으로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

## 5. 향후 연구

현재까지는 해저면 탐색 및 측량을 위한 USV, GCS의 플랫폼 개발을 완료한 상태이다. 개발된 플랫폼을 기반으로 탐색 및 측량을 수행하기 위한 쌍동선(Catamaran) 구조의 선체에 다양한 음파탐지기를 장착하기 위한 지그(Jig) 구조의 수상드론과 가솔린 엔진 및 Water-jet 추진장치를 탑재한 초고속 수상드론 개발을 추진 중이다.

## 참고문헌

- [1] Business Insider, IHS Janes Intelligence Review, GSV Asset Management.
- [2] 김종현 외, "무인선 기술 개발 동향 및 산업 현황", Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, PD Issue Report, Vol. 15-3, 2015, pp. 83~95.
- [3] "4차 산업혁명 기술의 집약체, 무인이동체 기술혁신과 성장 10개년 로드맵 발표", 과학기술정보통신부, 2017.
- [4] 드론 측량 길 열렸다. "국토부, 드론을 이용한 공공측량 시행", 국토교통부 보도자료. ([http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m\\_71/dtl.jsp?id=95080582](http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?id=95080582)), 2018. 3. 30.
- [5] Park Seungki, Jung Jaehoon, "Calculation of Sediment Volume of the Agriculture Reservoir Using DGPS Echo-Sounder", Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, Vol. 13, No. 3, 2005, pp. 297~305.
- [6] 김진택 외, "Agricultural Reservoir Capacity Survey and Management System with Autopilot Echo Sounding", 한국농어촌공사 농어촌연구원 과제 보고서, 2009.
- [7] Lee Kimyung, Kim Kisu, Kim Bobae, Lim Byungsu, Lee Sangjun, "Design and Implementation of a Location-based Unmanned Drone Unmanned surface Drone", Journal of Computing Science and Engineering, 2014, pp. 1448~1449.
- [8] Lee Jaeyong, "Controller Design to Coordinate Autonomous Unmanned Surface and Underwater Vehicles", Journal of the Korean Society of Ocean Engineers, Vol. 26, No. 3, 2012, pp. 6~12.
- [9] Chang-Bong Kim, "Development of Unmanned Surface Vehicle for Geographical Surveying", Journal of the KNST, Vol. 1, No. 1, 2018, pp. 15~23.