

수상 드론을 활용한 저수지 수심측량에 관한 연구

김창봉¹, 김영주², 신동철^{3*}

¹지오소나(주), ²전주비전대학교 지적토목학과, ³거제대학교 기계공학과

Research on Reservoir Bathymetry using USV

Chang-Bong Kim¹, Young-Joo Kim², Dong-Chul Shin^{3*}

¹GEOSONAR Co., Ltd.,

²Dept. of Cadastre & Civil Engineering, Vision College of Jeonju

³Department of Mechanical Engineering, Geje University

요약 본 연구에서는 고정도 DGPS 및 단빔음향측심기가 탑재된 수상드론을 개발하였다. 수상드론과 지상제어시스템을 사용하여 저수지 수심을 측량하였다. 상용 소프트웨어인 ReefMaster를 사용하여 3차원 맵핑 도면을 제작하였다. 수상드론을 사용함으로써 작업의 정확도와 효율성을 높였다. 기존인력으로 어려웠던 수심측량을 자동항법으로 수행하고, 저수지의 용적량을 계산하였다. 3D 맵핑 도면을 활용하여 저수지 준설 및 생태환경 등을 상세하게 조사할 수 있었다. 또한, 환경문제 등을 파악하는 것에도 효율적인 것으로 예상된다.

• **주제어** : 저수지 수심측량, 수상드론/무인수상정, 지상제어시스템, 자동항법, 3D 맵핑

Abstract In this study, a USV(Unmanned Surface Vehicle) equipped with high-accuracy DGPS(Differential GPS) and single-beam echo sounder was developed. The depth of the reservoir was measured using a USV and a GCS(Ground Control System). A 3D mapping drawing was created using the commercial software ReefMaster. By using USV, the accuracy and efficiency of work was improved. Depth surveying, which was difficult with human resources, is performed using automatic navigation and the volume of the reservoir was calculated. Using 3D mapping drawing, we were able to conduct a detailed investigation of reservoir dredging and ecological environment. It is also expected to be effective in identifying environmental issues.

• **Key Words** : Reservoir Bathymetry, USV(Unmanned Surface Vehicle), Ground Control System, Autopilot, 3D mapping

Received 01 October 2023, Revised 20 March 2024, Accepted 30 March 2024

* **Corresponding Author** Dong-Chul Shin, Department of Mechanical Engineering, Geje University, 91, Majeon 1-gil, Geje-si, Gyeongsangnam-do, Republic of Korea. E-mail: dshin@koje.ac.kr

I. 서론

1.1 수심측량용 수상드론

기존 저수지의 수심측량 및 용적량 산정은 보트를 활용한 유인으로 진행하였으며, 수상드론을 활용한 수심측량에 관한 연구와 자동항법에 대한 연구도 선행되었다[1, 2]. 또한, 고정도 DGPS와 단빔음향측심기를 활용한 농수 목적의 저수지 퇴적량 산정에 관한 연구도 선행되었다[3].

수심측량에 사용되는 다수 모델이 국내에 사용되고 있으며 선체 구조에 따라 단동선, 쌍동선, 삼동선 구조를 가진다. 단동선은 경량화를 목적으로 하며, 쌍동선은 특수한 임무장비 탑재를 위한 용도 및 선체의 좌우 흔들림인 롤(roll)을 최소화하기 위한 목적으로 사용된다. 끝으로, 삼동선은 롤 최소화 및 고속운항과 선체 안정성에 목적을 둔다. 저자가 개발 완료하여 국내에서 사용 중인 몇 가지 모델을 Figs. 1~3에 제시하였다.



Fig. 1. USV with monohull structure for high-speed operation (Model : GEOSONAR-S2/ADCP)



Fig. 2. USV with catamaran structure for various purposes (Model : GEOSONAR-300)



Fig. 3. USV with catamaran structure for Multibeam echo sound (Model : GEOSONAR-400)

1.2 수상드론 이점

수상드론 기술을 활용한 수심측량은 기존 인력 위주의 방법과 차별성을 가진다. 인력 위주의 개발에서는 작업자의 노력과 경험이 중요한 역할을 했지만, 수상드론 기술을 활용한 측량에서는 자동화된 기술과 높은 측량 정확도, 지속적인 작업이 가능해 기존 방식과 차별화 할 수 있다. 3차원 매핑 도면의 기술을 통해 해양산업 분야에서의 경쟁력을 높이고 새로운 산업을 개척할 수 있는 기반을 마련하여 수상드론 기술을 활용해 해저 자원 탐사나 해양 환경 모니터링 등 다양한 분야에서 응용할 수 있다[4].



Fig. 4. Advantages of bathymetry using USV

II. 연구내용과 방법

2.1 연구내용

저수지 수심측량을 위한 전체 프로세스는 Fig. 5와 같다. 신규 프로젝트를 생성하며, 측량 구역이 광범위한 경우에는 측량 영역 분할이 필요하다. 각 측량 구역에 대한 경계를 결정하여, USV의 운항 속도, Way-point 간격, 운항정밀도, 운항 방향을 결정한다.

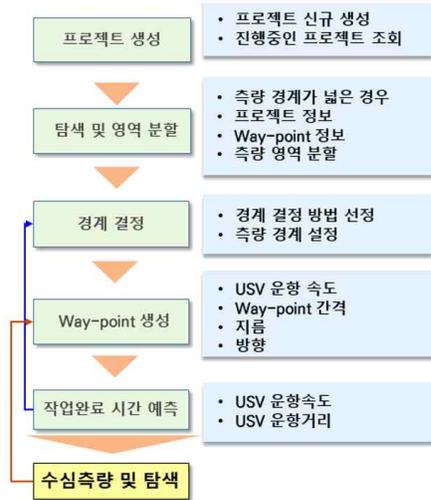


Fig. 5. Bathymetry process using USV

Fig. 6에서 보듯이 수상드론을 활용한 수심측량은 지상제어시스템(GCS, Ground Control System)을 활용하여 APC(Access Point Control), 텔레메트리, LTE 상용통신을 활용할 수 있다. 본 연구에서는 LTE를 활용하였다.

CGS에서 측량하고자 하는 경계는 3가지 방법으로 결정할 수 있다. 경계 결정방법은 Table. 1에서와 같은 3가지 방법을 적용할 수 있다[4].

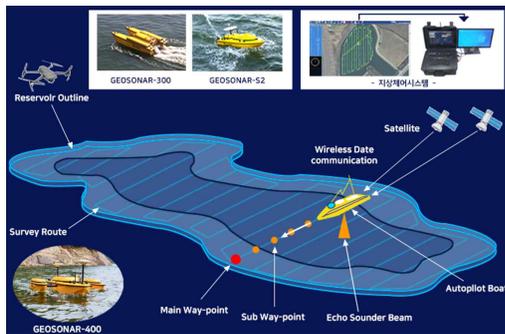


Fig. 6. Conceptual diagram of bathymetry using USV

Table 1. How to determine the boundary of the survey

Navigation Method	Boundary Determination
Google Map	Specify in Google Map
USV	Designated by GCS while the operator drives USV
Drone	Surveying using commercial drones, extraction from the Pix4D boundary data

2.2 연구방법

수심측량에 사용된 수상드론은 GEOSONAR-S2 모델로 단동선 구조이다(Fig.7). 최대속도 5.5m/s로 운항이 가능하며, 배터리는 리튬이온을 사용하며 12셀로 완충 때 50.4VDC 전압과 용량은 30Ah이다. 1회 충전으로 가능한 운항거리는 35km 이상이다.



Fig. 7. USV "GEOSONAR-S2"

Table. 2는 저수지 수심측량에 사용된 GEOSONAR-S2 모델에 대한 사양이다. 선체는 FRP로 제작되었으며, 임무장비를 탑재하지 않는 선체의 무게는 9.7kg이다.

Table 2. Water drone specifications

Value	Parameter
Size	1,250x610x340(LxWxH)(mm)
Weight	9.7kg
Material	FRP(Fiber Reinforced Plastic)
Equipment	Single Beam Echo Sounder, GNSS
Battery	Lithiumion battery(48VDC, 30Ah)
Average Speed	4~8kt (T14 Thruster : 13.5kgf)

Fig. 8은 GCS 실시간 통합모니터링 시스템으로, 수상드론의 이동경로 설정, 임무장비인 단빔음향측심기와 GNSS 데이터를 취득한다[5, 6]. GCS S/W는 오픈소스(<http://ardupilot.org>)를 기반으로 Mavlink 프로토콜을 사용한다. 언어는 파이썬, C#, C++로 개발하였으며 펌웨어는 Rover를 이용하였다. 개발된 S/W는 수상드론의 배터리가 사용자가 설정한 10.5V로 강하되면 홈 위치로 자동 복귀 기능, 수상드론을 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. 8. Ground control system and operating S/W on GCS.

GCS에서 설정된 자동항법 경로는 전체 5.9km이며, 운항속도 4kt 기준으로 50분 정도 소요되었다. Fig.9와 같은 자동항법 경로를 제시하였다.



Fig. 9. Autopilot planning route

III. 연구결과

Fig. 10과 같이 수상드론 저수지를 측량하면서 중간 부분에서 일부 데이터 유실이 발생한 것을 확인할 수 있다. 데이터 유실은 수초로 인한 배의 멈춤이 발생하였으며, 선외기가 탑재된 보트를 타고 직접 배를 회수

하였다. 수초가 많은 여름날의 측량은 홍수로 인한 쓰레기의 영향도 매우 크다. 따라서, 부유 이물질로부터 배가 자유로울 수 있도록 추진기 구조변경 및 추진기 보호용 스크린을 적절하게 설계하여 선체에 장착하는 방법이 요구된다.

Fig. 11은 추진기에 식생 걸림 최소화를 목적으로 설계된 사례를 보여준다. 스크린의 설치시 식생 걸림을 감소시키지만, 추진기 추진력이 50% 이상 감소하는 결과를 보이기도 한다. 물 분사식 추진기도 한 방법이 될 수 있다.

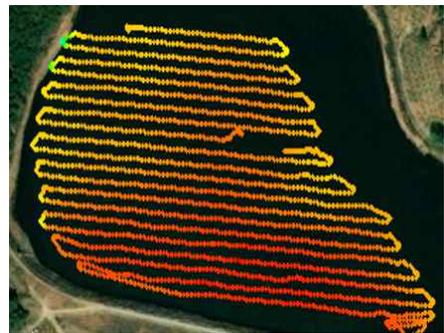


Fig. 10. Autopilot planning results



(a) Vegetation snag



(b) Thruster screen

Fig. 11. Various examples of screen installation

Fig. 12에서 볼 수 있듯이 수심측량에서 취득한 GNSS Fix RAW 데이터는 DD.Dddd 포맷이다. 측량 기준인 WGS1984 형식으로 변환하였으며, 변환된 CSV 양식의 측량데이터를 후처리 프로그램인 ReefMaster로 Import 하였다.

그런 다음 Figs. 13-14에서와 같이 Google Earth Pro를 활용하여 측량 경계를 설정하고, ReefMaster 소프트웨어 Map View를 활용하여 등수심선을 생성하였다.

1 무인선박에서 취득한 측량 RAW 데이터 형식

NO	DATE	TIME	Latitude	Longitude	DEPTH	TEMP
1	2022-09-14	9:39:42	3648.6519	12640.86643	-0.8	23.69
2	2022-09-14	9:39:43	3648.6519	12640.86644	-0.85	23.69
3	2022-09-14	9:39:44	3648.6519	12640.86644	-0.79	23.69
4	2022-09-14	9:39:45	3648.6519	12640.86644	-0.82	23.69
5	2022-09-14	9:39:46	3648.6519	12640.86644	-0.8	23.69

DD.Dddd 포맷

2 WGS1984 형식으로 변경

	북위(N)	동경(E)
GPS Fix DATA	3753.20637	12742.80309
도	37	127
분	53.20637	42.80309
초/100	0.886772833	0.713384833
WGS1984	37.88677283	127.7133848
(도 + 분/100)		

3 FORMAT 변환, DGPS(DD.Dddd) → WGS1984 역셀파일 이용

DATE	TIME	Latitude	Longitude	DO(mpl)	도	분	초/100	Latitude	도	분	초/100	Longitude
2022-07-15	10:11:20	3504.83098	12904.52882	8.02	35	04.83098	0.90004131	35.08004131	129	04.28882	0.97348	129.0734883
2022-07-15	10:11:21	3504.83098	12904.52883	8.03								
2022-07-15	10:11:22	3504.83099	12904.52884	8.03								

CSV File Import Options

1 좌표계 선택

Coordinates: Geographic World WGS1984

Projected: [Blank]

EPSG: 0

Row format: Separator: Comma

Column positions: Latitude: 1 Longitude: 2 Depth: 3 Positive in Metres

Hardness: 4 Time UTC

Data thinning: Thin data points Bin size: 10 m 2 포맷 일치

Fig. 12. Coordinate System Conversion and Import of Survey Data

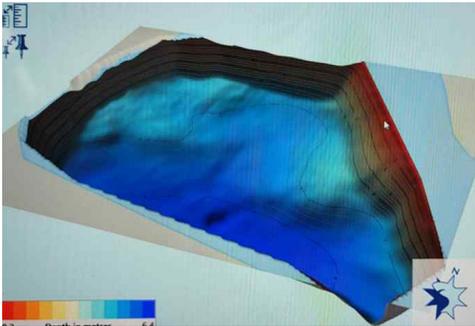


Fig. 13. 3-D modeling



Fig. 14. Google Earth mapping

3차원 매핑으로 측량경계내의 면적 및 용적량을 산정한 결과는 Fig. 15와 같다. 최소 수심은 0.13 m이며, 최고 수심은 6.42 m이다. 평균수심은 4.65 m로 전체 측량 경계는 350 m x 270 m, 매핑 면적은 63,051 m² 이고, 저수지 전체 용적량은 292,912 m³ 이다.

Edit

Name: Test

Project Properties

Map Boundaries

Bottom Classification

Tracks

Spot Depths

Volumes and Areas 2 클릭

Calculate area and volumes Export

Mapped area: 63051 m²

Bounding box: 350 x 270 m

NW: N035.682092, E128.664862

SE: N035.679658, E128.668728

Depth: Average: 4.6 m Min: 0.1 m Max: 6.4 m

Water volumes Copy all

Lower (n	Upper (n	Volume (m ³)	Area (m ²)
0.0	0.5	31490	63051
0.5	1.0	30815	62717
1.0	1.5	29634	60342
Total volume:		292912	m ³

Fig. 15. Area and volume results of the survey boundary

Fig. 16은 Fig. 15의 “Export” 버튼을 클릭하였을 경우의 수심별 용적량과 면적을 나타낸 결과 값을 보여 주고 있다.

Project	Test	
1 Mapped Area (m ²)	63051	
2 Bounding Area (m)	350	270
3 North	N035.682092	
4 South	N035.679658	
5 East	E128.668728	
6 West	E128.664862	
7 Max Depth (m)	6.42	
8 Min Depth (m)	0.13	
9 Average Depth (m)	4.65	
10 Water volumes	292912	
11 Total Water Volume (m ³)	292912	
12 Lower (m)	Upper (m)	Volume (n Area (m ²))
13 0	0.5	31490 63051
14 0.5	1	30815 62717
15 1	1.5	29634 60342
16 1.5	2	28762 58331
17 2	2.5	28002 56743
18 2.5	3	27263 55268
19 3	3.5	26506 53793
20 3.5	4	25677 52211
21 4	4.5	24535 50409
22 4.5	5	20016 46615
23 5	5.5	12659 32574
24 5.5	6	6411 18196
25 6	6.5	1141 7171

Fig. 16. Detail data of Area and volume results of the survey boundary

더불어, 수상드론을 활용한 저수지 수심측량은 다음의 데이터 보정작업도 필요하다.

- 1) 육상 기준점 측량,
 - 2) 저수지 수위 변화를 위한 표척관찰 데이터,
 - 3) 수상드론의 거동에 대한 실시간 롤, 피치(pitch), 히브(heave) 데이터,
 - 4) 수심별 음속도 변화에 따른 음속도 측정 데이터
- 후속 연구에서는 멀티빔 음향측심기가 탑재된 삼동선 구조의 수상드론을 활용한 수심측량 사례에 관한 내용을 공유하고자 한다.

IV. 결론

지상제어시스템과 수상드론의 자동항법을 활용하여 저수지의 수심을 측량하였다. 취득된 데이터를 ReefMaster를 활용하여 3차원 맵핑 도면을 제작하였다. 수상드론을 사용함으로써 작업의 정확도와 효율성을 높여 기존의 인력으로는 어려웠던 수심측량을 수행하고, 저수지의 용적량을 산정하였다. 3D 맵핑을 활용하여 저수지 준설 및 생태 환경 등을 상세하게 조사할 수 있어 지역별 환경문제 등을 파악하는 것에도 효율적이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 2023학년도 거제대학교 LINC3.0 산학공동 기술과제 연구비 지원에 따라 이루어졌음.

REFERENCES

[1] 김진택 외, Agricultural Reservoir Capacity Survey and Management System with Autopilot Echo Sounding, 한국농어촌공사 농어촌연구원 과제 보고서, 2009.

[3] 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.

[3] 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.

[4] C. B. Kim, Development of Unmanned Surface Vehicle for Geographical Surveying, Journal of the KNST, Vol.1 No.1, 2018.

[5] C. B. Kim, Development of Ground Control System of USV for Explore the Ocean Floor and Geographical Surveying, Journal of the KNST, Vol.2 No.1, 2019.

[6] C. B. Kim, Development of Catamaran Separation Structure of USV for Explore the Ocean Floor and Geographical Surveying, Journal of the KNST, Vol.2 No.2

저자소개

김 창 봉 (Chang-Bong Kim)



1998년 2월 : 동의대학교
기계공학과(공학사)
2000년 2월 : 부산대학교
정밀기계공학과(공학석사)
2017년 2월 : 부산대학교
산업공학과(공학박사)
2011년 3월 ~ 2023년 2월
거제대학교 기계공학과 초빙교수
2019년 2월 ~ 현재 :
지오소나(주) 대표이사
관심분야 : 무인수상정, 수상드론,
응용소프트웨어

김 영 주 (Young-Joo Kim)



2002년 8월 : 전북대학교
농공학과(공학석사)
2007년 8월 : 전북대학교
농공학과(공학박사)
2018년 3월~현재 :
전주비전대학교 지적토목학과 교수
관심분야 : 공간정보, 스마트시티,
수자원시스템, 드론,
GIS

신 동 철 (Dong-Chul Shin)



1995년 2월 : 영남대학교
기계공학과(공학사)
1997년 2월 : 영남대학교
기계공학과(공학석사)
2001년 8월 : 영남대학교
기계공학과(공학박사)
2005년 4월~2008. 1월 동경대학
생산기술연구소 Post-Doc.
(한국연구재단, JSPS)
2008.2~2012.2월
부산대학교기계공학부 연구교수
2012년 3월~현재 :
거제대학교 기계공학과 부교수
관심분야 : 무인수상정, 압전재료,
드론3D맵핑, 파괴역학