



Received: 2019/04/29
Revised: 2019/06/11
Accepted: 2019/07/12
Published: 2019/08/23

***Corresponding Author:**

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

쌍동선 분리형 구조의 지형측량 및 탐색용 무인수상정 개발

Development of Catamaran Separation Structure of USV for Explore the Ocean Floor and Geographical Surveying

김창봉*

거제대학교 기계공학과

Chang-Bong Kim*

Dept. of Mechanical Engineering, Koje College

Abstract

본 연구에서는 지형 측량 및 탐색 목적의 분리형 무인수상정(USV, Unmanned Surface Vehicle)을 개발하였다. 개발된 무인수상정에는 다양한 소나를 탑재하기 위한 지그(Jig) 구조를 채택하였다. 개발된 무인수상정은 한국해군을 대상으로 시연하였으며, 기존 개발된 단동선(Monohull) 구조의 무인수상정 대비 롤링(Rolling)이 감소함을 보였다. 향후에는 측량된 데이터를 3D 그래픽으로 구현하는 후처리 소프트웨어를 개발할 계획이다.

In this paper, we have developed a separable USV (Unmanned Surface Vehicle) for terrain surveying and searching. In addition, Jig is adopted to mount various kinds of SONAR. The demonstration was completed for the Korean Navy. The developed USV showed lower rolling loss than conventional mono-hull. In the future, we plan to develop post-processing software that processes survey data in 3D graphics.

Keywords

USV(Unmanned Surface Vehicle, 무인수상정), Catamaran(쌍동선), Master(마스터), Mold(몰드), GCS(Ground Control System, 지상관제시스템), Autonomous Navigation System(자동항법시스템), Explore the Ocean Floor(해저면 탐색)

Acknowledgement

본 연구는 (재)부산테크노파크가 주관한 “IoT기반 해양도시관리 실증 클러스터 구축사업”의 지원을 받아서 수행하였습니다.

1. 서론

무인이동체(unmanned vehicle)란 외부환경을 인식하고 스스로 상황을 판단하여 이동하고, 필요시는 작업을 수행할 수 있는 이동체로 정의한다. 미국에서는 드론(drone)이 무인기 전체를 지칭하나, 국내에서는 소형 무인기, 특히 멀티콥터 형태를 한정하여 지칭하기도 한다. 하지만 드론이라는 용어는 사람이 타지 않는 비행기, 헬리콥터, 무인잠수정(unmanned underwater vehicle, UUV), 무인수상정(unmanned surface vehicle, USV) 등 넓은 범위의 의미로 확장되어야 할 필요가 있다. 특히, 무인수상정은 무인이동체의 정의에 일치하며 무인 화물선, 무인 양식, 어군 탐지, 해양 환경, 수중 인프라 및 수중촬영 등에 활용될 수 있다.

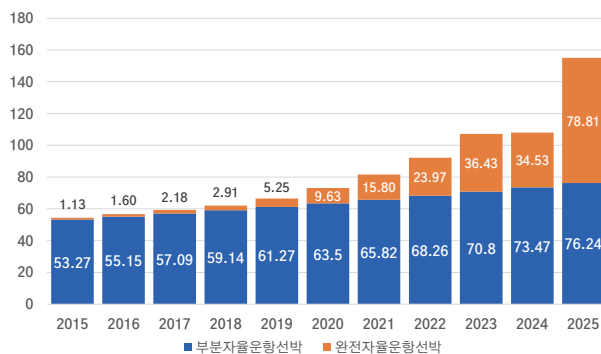


Fig. 1. Market size and prospect of world autonomous vessels (Unit: billion dollar)

Fig. 1에 세계 자율운항선박 시장규모 전망을 제시하였다. 2020년 부분자율운항선박의 규모는 63.50억 달러에서 2025년 76.24억 달러까지 증가하며, 완전자율운항선박은 2025년 78.82억 달러로 전체 자율운항선박의 50% 정도의 비율을 차지할 것으로 전망된다[1]. 최근 급성장하고 있는 무인선은 매년 10.9%씩 성장하여 무인선에 대한 정부의 적극적인 관심으로 최근 무인선 연구·개발 과제가 증가하고 있다[2].

내수면의 저수지 용적량 측정에 무인수상정을 활용한 사례에서는 시험유역 내 저수지의 내용적을 파악하여 저수지 유·출입량 산정의 기초자료로 활용함과 동시에 유역 유출 및 물수지분석 자료로 활용하였다[3][4]. 위치기반 무인수상드론의 설계와 구현에 관한 연구와 자율형 무인수상정의 군집 주행을 위한 제어기 설계 기술에 대한 연구도 수행되었다[5][6]. 저자는 지형측량 및 탐색용 USV를 개발하기 위하여 USV 개념을 정립하고, USV, 지상관제시스템(ground control system, GCS), 운영 S/W 등 시제품 개발을 이전 연구에서 진행하였으며, 개발된 USV를 활용하여 하천과 농업용 저수지의 수심을 자동항법으로 측량하였다[7]. 또한, 저자는 MAVLink를 기반으로 하는 오픈 소스(open source)를 이용하여 GCS에 탑재되는 지형측량 및 탐색 전용 S/W를 개발하였다[8].



(a) GEOSONAR 100



(b) GEOSONAR 200

Fig. 2. Two types of mono-hull USV

기존 개발된 단동선(mono-hull) 무인수상정인 GEO SONAR-100/200 모델을 Fig. 2에 나타내었다. 본 연구에서는 기존 모델에서 발생하는 횡동요(roll)를 저감시키기 위한 목적으로 쌍동선 구조의 무인수상정인 GEOSONAR-300 모델을 개발하였다. 이동의 편의성을 위하여 분리형 구조를 채택함과 동시에 다양한 소나(SONAR)를 장착하기 위하여 지그(jig) 구조를 채택하였다. 본 논문에서는 쌍동선 분리형 구조의 무인수상정 개발 과정과 해역에서의 측량 결과를 고찰하고자 한다.

2. 쌍동선 무인수상정 개발

2.1 단동선 무인수상정의 횡동요 분석

기존 단동선 무인수상정으로 내수면을 측량하여 얻어진 정보를 Table 1에 나타내었다. 자동항법으로 측량 시 목적지(way-point), 위도, 경도, 수심, 횡동요, 종동요를 1초당 5개 기록한 결과이다. 선체의 좌우 흔들림 정도인 횡동요는 -0.7부터 최대 -6.5까지 값을 보인다. 측량 데이터를 자동으로 보정하지 않는 단범의 경우 횡동요가 발생하면 수심의 정확도가 떨어진다.

Table 1. Rolling in surveying

Way-Point	Latitude	Longitude	Depth	Roll	Pitch
1	35.110405	128.8888346	0.47	-5.711609	4.063884
2	35.1098398	128.8886964	1.12	-6.529722	4.212924
3	35.1098581	128.8887025	1.12	-2.556271	4.603505
4	35.1099006	128.8887075	1.16	-0.787103	5.047585
5	35.1099379	128.8887094	1.19	-5.404314	5.083509
6	35.1100048	128.8887127	1.18	-2.13142	4.633179
7	35.11003	128.8887125	1.16	-3.61496	4.845548
8	35.1100757	128.888713	1.17	-2.273399	4.621414

2.2 쌍동선 무인수상정의 선체 설계 및 제작

쌍동선 무인수상정의 초기 콘셉트 설계를 Fig. 3에 나타내었다. 제어장치가 배치되고 양쪽 선체를 지지하는 중앙부 선실의 높이가 지나치게 높아 무게중심이 높아지며, 바람의 영향으로 선체의 롤이 발생할 것으로 분석되었다. 양쪽 선체는 부력을 유지함과 동시에 배터리를 장착하기 위한 공간으로 설계되었다.

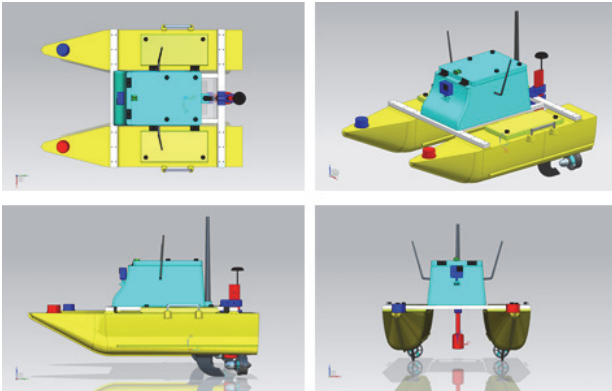


Fig. 3. Early concept design of catamaran USV

Fig. 4는 선체와 지그를 3D 프린터로 출력하여 설계를 검증하는 단계를 보여준다. 특히, 지그의 경우 머시닝 센터(machining center, MCT)와 와이어 컷 방전가공(wire cut electric discharge machining, W-EDM) 가공하므로 제작 비용이 높아 철저한 기능 검증 단계가 필요하다. 무인수상정의 선체, 지그의 구조, 조립의 효율성 등을 검증하는 단계이다.



Fig. 4. Design verification using 3D printer

설계를 검증하는 단계에서 다양한 소나가 효율적으로 장착이 가능한지, 소나에 연결되는 배선의 위치 및 고정은 적절한지, 조립은 효율적인지를 검증할 필요가 있다. Fig. 5는 3D 프린터로 출력된 지그에 단빔 음향측심기(single beam echo sounder)를 장착하여 기능을 검증하는 단계를 보여준다. 특히, 지그의 경우 MCT 및 WEDM으로 가공하므로 제작 비용이 고가이므로 철저한 기능 검증 단계가 필요하다.



Fig. 5. Single beam echo sounder mounted on jig printed 3D printer

Fig. 6에 3D 프린터를 이용한 설계 검증 단계를 거친 최종

결과를 나타내었다. 중앙 제어장치가 들어가는 부분의 높이를 낮추고 동시에 지지를 위한 탄소 파이프를 선체의 내부를 관통하도록 설계가 완료되었다. 한쪽 선체의 크기는 1500×300×350(L×W×H/mm)이며, 선체의 배수량은 50kg이다.

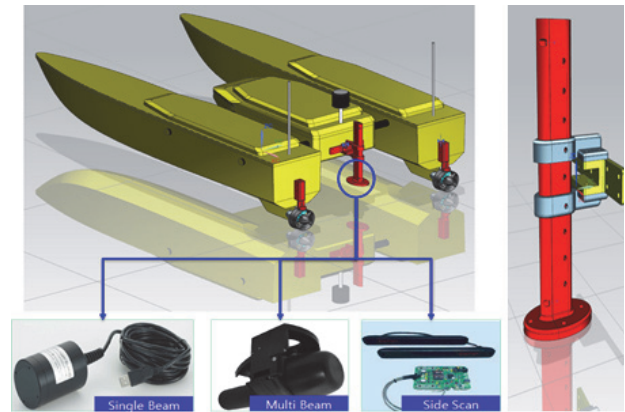
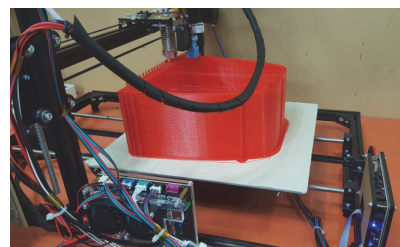


Fig. 6. Final design of USV and Jigs

2.3 마스터, 몰드, 지그 제작

기존에 개발된 단동형 선체의 마스터 제작은 MCT를 이용하여 제작되었으며, 선체 설계의 변경이 요구되는 경우 제작 시간 및 비용이 과다한 단점으로 설계 변경에 유연하게 대처하지 못하였다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 몰드를 제작하기 위한 마스터 생산은 3D 프린터를 활용하였다. Fig. 7은 3D 프린터를 이용하여 선체를 출력하는 과정을 보여주며, 출력된 선체에 후처리를 하여 마스터를 완료한 결과를 보여준다. Fig. 8에 후처리된 마스터를 이용하여 선체를 양산하기 위한 몰드 제작을 완료한 결과를 나타내었다.



(a) 3D printing of master



(b) Completion of master post-processing

Fig. 7. Master printing and post-processing of hull



Fig. 8. Mold for hull production

다양한 소나를 장착하기 위한 지그의 제작은 MCT와 W-EDM으로 절삭용 알루미늄 소재인 AL6061을 이용하여 기계가공하고 바닷물에 대한 내식성 향상을 위하여 양극산화(anodizing)를 수행하였다. Fig. 9에 지그의 기계가공과 양극산화 공정을 수행한 최종 제작품을 나타내었다.

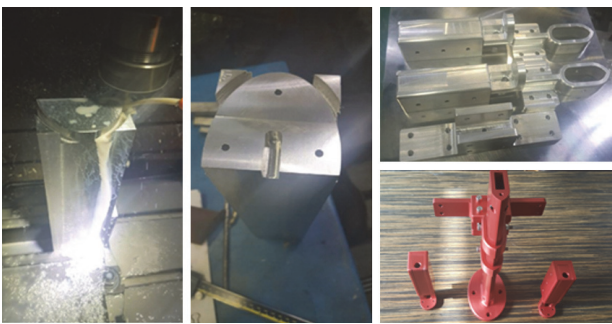


Fig. 9. Jig machining and anodizing

2.4 선체 양산 및 밸런스 테스트

Fig. 10(a)은 제작된 몰드를 이용하여 선체를 양산하는 과정과 양쪽 선체를 지지하기 위한 중앙부 선실의 위치를 결정하여 수조에서 선체의 밸런스를 테스트하는 과정을 보여주며, Fig. 10(b)는 이동 효율성을 위하여 분리된 구조를 보여준다.

측량 목적의 단동선 무인수상정의 가장 큰 문제는 바람 또는 운항 방향의 전환 위치인 way-point에서의 횡동요이다. 개발된 선체의 횡동요 정도를 파악하기 위하여 해역에서 테스트를 수행하였다. 360도 회전에 소요되는 시간을 3초로 설정하고, 선실에 관성측정장치(inertial measurement unit, IMU)를 장착하여 1초당 5번의 횡동요 결과를 검토한 결과 최대 횡동요는 2도 미만으로 분석되었다. 바람의 세기에 영향을 받을 것으로 예상되지만 기존 단동선 선체의 경우 최대 횡동요가 -6.5도까지 발생한 것과 비교하면 쌍동선 구조의 채택으로 횡동요는 저감된 것으로 분석된다. 특히, 자동항법을

활용한 측량 및 탐색에서는 way-point가 직각으로 배치되므로 선체를 제자리에서 선회시켜야 하는 경우가 많다. 제자리 선회에서 횡동요를 최소화하는 선체의 최적 설계는 꼭 필요하다.



(a) Hull production and balance test



(b) Completion of master post-processing

Fig. 10. Separate structure for convenience of movement



Fig. 11. Turning test in sea area (clockwise rotation)

2.5 쌍동선 구조의 무인수상정 제원

개발된 무인수상정의 제원은 Table 2에 제시하였다. 선체는 FRP(fiberglass reinforced plastic)로 레이어 2~4이며, 중앙 선실과 선체의 연결은 탄소파이프(carbon pipe)를 사용하였다. 무인수상정의 전체 크기는 1500 × 900 × 400(L × W × H/mm)이며, 배터리를 제외한 무게는 16kg이다. 한쪽

선체 당 배터리는 최소 15Ah에서 최대 120Ah까지 탑재가 가능하며, 전체 60Ah를 기준으로 주항 가능한 거리는 최대 30km, 평균 측량 속도는 2kn이다.

Table 2. Specification of USV

Boat Hull
- Material: Fiberglass Reinforced Plastic, 알루미늄 지그 - Body Size: 1500 × 900 × 420 (L × H × H/mm) - Weight: Approx. 16 kg (Excluded Battery & Pedestal) - Operating Distance: 30 km Max. - Cruising Speed: 1.0 m/s normal (2.0 m/s Max.) - Operating Hour: ~ 8 Hrs @ 12 VDC/60 Ah - Power: 12 VDC Battery, Hull 30 Ah (배터리 사양 및 용량 변경 가능, 최대 120 Ah)
Propulsion
Motor Type: Brushless, 6-20 VDC, 300-3800 rev/min High-Power Brushless Electric Speed Controllers
RTK GPS
수평 1 cm + 1 ppm, 수직 2 cm + 1 ppm
Wireless Communication Module
Dual Radio IEEE 802.11a/b/g/n (2T2R 300 Mbps) + ac (3T3R 1.3 Gbps) 300 Mbps + 1.3 Gbps 무선 속도 최고 23.8 dBm 송신출력, 최고 -96 dBm 수신감도 Max Range: 2 km

3. 해역 측량

3.1 측량장비 및 해역 테스트

자동항법을 활용한 측량에 사용되는 측량장비는 크게 무인수상정, 지상관제시스템, 무선 액세스 포인트(wireless access point, WAP) 컨트롤러, 조종기로 구성된다. Fig. 12에 제작된 지그에 단빔과 멀티빔 음향측심기가 장착된 결과를 제시하였다.



Fig. 12. Jig structure for mounting SONAR

2019년 4월 9일 부산시 영도구 소재의 한국해양대학교 내 해역에서 개발된 무인수상정을 검증하는 과정을 Fig. 13에 나타내었다. 무인수상정에 장착된 장비는 NORBIT-iWBM 제품의 멀티빔 음향측심기(multi beam echo sounder)와 DGPS(differential GPS)이다.



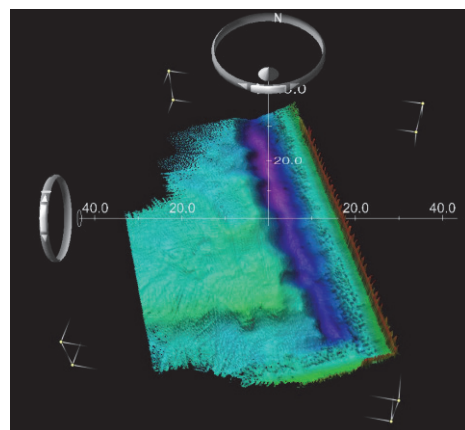
Fig. 13. Sea area survey test (USV & GCS)

3.2 해군 시연

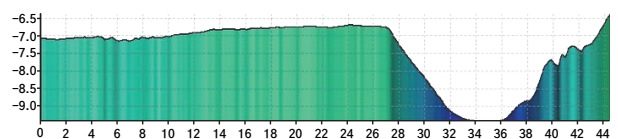
개발된 무인수상정을 이용하여 2019년 4월 10일 경남 진해 소재의 해군 59전대를 대상으로 군함이 정박한 항내의 지형과 안벽을 무인수상정을 이용하여 측량하는 시연을 하였다. 안벽 측량을 위하여 수동 조종으로 운항하여 근접 측량을 수행하였으며, 항내는 0.5kn의 속도로 자동항법을 수행하였다. Fig. 13(a)는 멀티빔이 탑재된 무인수상정이 군함이 정박한 항내를 자동항법으로 운영하는 결과를 보여주며, Fig. 13(b)는 항내와 안벽을 측량한 3D Profile 결과이며, Fig. 13(c)는 깊이를 나타내는 2D Profile 결과이다.



(a) Autonomous navigation system



(b) Survey result - 3D Profile



(c) Survey result - 2D Profile (depth)

Fig. 14. Master printing and post-processing of hull

4. 결론

본 연구에서는 쌍동선 구조의 분리형 지형측량 및 탐색용 무인수상정을 개발하고 대한민국 해군을 대상으로 시연을 완료하였다. 개발된 무인수상정은 기존의 단동형 선체보다 횡동요가 저감되었고, 분리형 구조로 이동의 편의성이 향상되었으며, 지그 구조의 채택으로 다양한 소나를 장착할 수 있는 장점을 가지고 있다.

5. 향후 연구

현재까지는 지형측량 및 탐색을 위한 USV와 GCS(H/W, S/W)의 플랫폼 개발을 완료한 상태이다. 수상드론에서 측량된 지형 데이터를 3D로 구성하는 후처리 S/W 개발과 종/횡 단면 측량을 위한 뷰어를 개발할 계획이다.

참고문헌

[1] IPR 산업정책Research, “4차 산업혁명 기술 집약체인 무인이동체 시장 동향과 전망”, IPRResearch센터, 2018.

[2] 김종현, 김선영, “무인선 기술 개발 동향 및 산업 현황”, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, PD Issue Report, Vol. 15-3, 2015, pp. 83~95.

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

[5] 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.

[6] 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.

[7] Kim Chang-Bong, “Development of Unmanned Surface Vehicle for Geographical Surveying”, Journal of the KNST, Vol. 1, No. 1, 2018, pp. 15~23.

[8] Kim Chang-Bong, “Development of Ground Control System of USV for Explore the Ocean Floor and Geographical Surveying”, Journal of the KNST, Vol. 2, No. 1, 2019.