

RTK GPS를 이용한 오픈소스 아두파일럿 기반 OmniX 보트의 자율주행 경로 추적성에 관한 연구

안남현* · 구본국** · 박희승*** · 장호윤****†

* 거제대학교 조선해양공학과 교수, ** 창원대학교 조선해양공학과 교수,

*** 중소조선연구원 조선해양연구본부 친환경선박연구센터 연구원

Autonomous Path-Tracking Performance of an OmniX-Type Boat Based on Open-Source Ardupilot with RTK GPS

Nam-Hyun An* · Bon-Kuk Gu** · Hui-Seung Park*** · Ho-Yun Jang****†

* Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Koje University, Geoje 53325, Korea

** Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Changwon National University, Chanwon-si 51140, Korea

*** Researcher, Green-ship Research Center, Shipbuilding & Offshore Engineering Research Division, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan 46757, Korea

요약 : 4차 산업시대를 맞이하여 많은 공학 분야에서 IoT(Internet of Things)기술의 연계는 매우 중요한 쟁점이다. 최근 조선소에서도 디지털 조선, 스마트 팩토리 등의 개념을 구체화하고 있는 추세이다. 한편 자동차, 비행기 등에서 자율주행을 구현하는 연구는 매우 활발하고 일정 부분 상용의 형태로 나타나고 있다. 본 연구는 오픈 소스 아두파일럿 기반의 FC(Flight Controller) 및 RTK(Real Time Kinematic) GPS(Global Positioning System)를 이용하여 자율 주행 임무를 수행하는 보트의 주행성에 관한 연구로서 잔잔한 호수에서 실험역 실험을 수행하였으며 보트의 임무는 특정한 지점을 자율주행한 후 홈 위치로 스스로 돌아오는 과정에 대한 조종성 평가이다. 주어진 속도에서 기 설정된 임무 궤적과 실 운항 궤적에 따른 차이를 분석하고 시스템의 보트 적용성에 대한 일련의 연구를 수행하였다. 또한 4개의 프로펠러를 가지는 OmniX 선체의 주행성을 분석하였으며 최대 48%의 주행 추적성 향상을 확인하였다.

핵심용어 : 자율주행, 경로추적성, 아두파일럿, 픽스호크, 비행제어장치, 임무수행경로

Abstract : The IoT (Internet of Things) technology is rapidly becoming an important consideration in many engineering fields in the current 4th industrial era. In recent years, the concepts of digital shipbuilding and smart factories have been adopted as trends in shipyards. However, there is active interest in research on implementing autonomous driving in autonomous vehicles and airplanes, which is currently available in commercial form in a limited capacity. The present study is regarding the path-tracking performance of a boat to accomplish an autonomous driving mission using a flight controller (FC) and real-time kinematic (RTK) global positioning system (GPS) based on an open-source Ardupilot; an actual sea test is also performed using this system on a calm lake. The boat's mission is to evaluate the maneuverability of the self-driving process to a specific point and returning to the home position. For a given speed, the difference between the preset mission trajectory and actual operational trajectory was analyzed, and a series of studies were conducted on the applicability of the system to ships. In addition, the movements and maneuverability of the OmniX-type hull with four propellers were investigated, and the driving path-tracking performance was observed to increase by a maximum of 48%.

Key Words : Autonomous driving, Path-tracking performance, Ardupilot, Pixhawk, Flight controller, Mission way point

* First Author : namhyun@koje.ac.kr, 055-680-1604

† Corresponding Author : hyjang@rims.re.kr, 051-974-5581

1. 서론

최근 주목받고 있는 자율주행 기술은 비행체, 드론, 자동차 등 다양한 분야에서 광범위하게 연구되고 있다. 특히 자동차 분야에서는 현재까지 많은 기술적 진보를 이루고 있다. 상대적으로 육상의 자동차에서의 자율주행에 관한 연구에 비하여 유관 연구가 많지 않았으나 최근 선박 및 보트를 대상으로 하는 연구가 늘고 있다. 2009년 무인수상선의 경유점 추적 제어에 관한 연구(Son and Yoon, 2009)는 자율운항선박 제어의 실질적인 출발이라고 할 수 있다. 퍼지와 가변행동공간 탐색법을 이용하여 충돌회피 알고리즘을 선박에 적용한 연구(Son et al., 2014)와 아두이노 코딩과 GPS를 이용하여 해상에서 주어진 좌표를 향해하여 스스로 해양 쓰레기의 위치를 감지하도록 보트에 임무를 부여한 연구(Vasilj et al., 2017) 등은 자율운항 선박의 다양한 실용성을 제시하고 있다. 2019년 자율운항 기술 동향에 의하면 자율운항 선박의 완성은 항해시스템, 기관자동화 시스템, 실증기술 그리고 선박운용 기술 등의 핵심기술의 발전에서 비롯되고 자율운항 선박의 도입에 따른 시장 규모는 2035년 8,000조 규모가 될 것이라고 분석하고 있다(Kim and Jang, 2019). 한편 항해시스템 관점에서 수중드론의 연구에서는 수중에서 드론과 비교적 같은 매커니즘을 구현할 수 있는 장점이 있다. 일반적으로 4개의 회전자가 이용되는 쿼드콥터 드론의 경우 4개의 전동기의 조절로 Aileron, Elevation, Throttle, 그리고 Rudder의 제어로 6자유도 운동이 가능하고 GPS의 수신으로 자율 운항을 수행하게 된다. 그러나 수중 드론은 물속에서 GPS 신호 및 조종기의 신호를 받기 힘들어 별도의 전선을 사용한다. 이를 해결하기 위하여 최근 수중 무선통신이 가능한 연구가 수행된바 있다(Centelles et al., 2019). 그러나 통신의 편의성, 식별성 및 운용 관점에서 무인 자율 수상선은 수중드론에 비하여 제약 조건이 적다. 본 연구에서는 무인 수상선의 경로 추적 성능에 관한 기초연구로서 OmniX 형태의 보트를 제작하여 일반 GPS와 RTK GPS를 이용하여 실제 경로 임무 실험을 수행하였으며, 통신과 제어 알고리즘은 오픈 소스 아두파일럿 시스템을 채택하여 자율 주행 보트의 임무 완성도를 평가하였고 OmniX 형태 보트의 항해 안정성에 대한 연구도 수행하였다.

2. 실험 방법 및 장비

2.1 Open Source Ardupilot and Pixhawk System

아두파일럿은 무인 원격 조정 및 자율 운항이 필요한 장비 이룰때면 자동차, 선박, 잠수함, 비행체를 대상으로 오픈 소스 기반의 자동 조종 시스템을 구현하기 위한 프로젝트의 일환으로 개발되었다. 현재 전 세계 많은 유저를 중심으로 다양한 형태의 코드 플랫폼이 형성되어 있다. 주로 항공

및 드론 분야에 많이 적용되어 경로비행, 위치 탐사 등의 목적으로 다양하게 응용되고 있다(Abdulmajeed et al., 2016). 최근 항공기뿐만 아니라 Pixhawk FC를 보트에 적용한 ASV (Autonomous Surface Vehicle)에 대한 기초연구에서 이 시스템의 선박에 대한 적용 가능성을 제시한바 있다(Moulton et al., 2018). 오픈소스 아두파일럿은 기본 버전, 마스터 버전 그리고 개발자 버전이 있으며 개발자 버전을 중심으로 다양한 분야에서 개발 적용 되어왔다. 아두파일럿이 적용 가능한 제어 장치는 Fig. 1과 같이 다양하여 대표적으로 Pixhawk FC가 있으며 현재도 많은 FC들이 개발 중에 있다. 본 연구에서는 아두파일럿의 플랫폼으로 CUAV V5+를 사용하였으며 이외에도 지상에서 보트의 제어, 관제 및 데이터 전송을 위하여 CGS(Ground Control System)를 구성하였으며, Mission Planner 및 Qground Control 소프트웨어를 통하여 선박의 속도, 운항 상태 및 운항 경로를 제어하였다.



Fig. 1. Various flight controllers.

CUAV V5+는 최대 8개 회전자를 지원하여 드론에서는 Octo copter까지 구현이 가능하며 6개의 전동기를 제어하는 ROV까지 구성이 가능하다. 기본 알고리즘은 위치제어, 고도 제어, 전동기관계 제어로 구성되어 있다. 목표지점 대비 현재 위치에서의 속도의 상관관계를 이용하여 요구속도 (Desired Velocity) 및 요구 가속도를 생성하게 되고 전동기관계 제어를 통하여 회전자별 구동 요구 회전수를 구하고 이를 토대로 다중회전자의 모멘트 및 추력을 생성한다. 일반적으로 멀티콥터에서는 추력과 모멘트의 발생으로 작동하게 되며 운동 모델은 다음과 같다.

$$f_i = k_f \omega_i^2 \quad (1)$$

$$m_i = (-1)^i k_m \omega_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, 8$$

여기서 f_i : 추력, m_i : 모멘트, k_f : 추력계수, k_m : 모멘트계수 그리고 ω_i 는 구동기의 회전수를 의미한다. 전동기 수와

프레임의 형태에 따라 전체 추력 F와 Roll 모멘트 L, Pitch 모멘트 M 그리고 Yaw 모멘트 N 과의 관계식은 조금씩 다르게 구성할 수 있고 쿼드콥터 중 십자형태의 프레임을 사용할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} F \\ L \\ M \\ N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_f & k_f & k_f & k_f \\ 0 & k_{fl} & 0 & -k_{fl} \\ -k_{fl} & 0 & k_{fl} & 0 \\ -k_m & k_f & -k_m & -k_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

l 은 전동기의 중심에서 기체의 무게중심까지의 거리이며 요구속도 $V_{desired}$ 는 식(3)과 같이 현재위치와 목표위치와의 차에서 오차 이득의 계수 K_{P_v} 를 곱하여 계산된다.

$$V_{desired} = K_{P_v} \begin{pmatrix} x_{target} - x \\ y_{target} - y \\ z_{target} - z \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 $x, y, z, x_{target}, y_{target}, z_{target}$ 는 각각 현재위치와 목표위치를 나타낸다. 회전 방향에 대한 비틀림(Torsion)인 u_ϕ, u_θ, u_ψ 는 식(4)~식(6)과 같이 각각의 오차에 PID 제어(Fig. 2)를 통하여 수정된 계수와 계산된다.

$$u_{\phi,desired} = K_{P_\phi} [\phi_{desired} - \phi] + K_{I_\phi} \int (\phi_{desired} - \phi) + K_{D_\phi} \frac{d}{dt} (\phi_{desired} - \phi) \quad (4)$$

$$u_{\theta,desired} = K_{P_\theta} [\theta_{desired} - \theta] + K_{I_\theta} \int (\theta_{desired} - \theta) + K_{D_\theta} \frac{d}{dt} (\theta_{desired} - \theta) \quad (5)$$

$$u_{\psi,desired} = K_{P_\psi} [\psi_{desired} - \psi] + K_{I_\psi} \int (\psi_{desired} - \psi) + K_{D_\psi} \frac{d}{dt} (\psi_{desired} - \psi) \quad (6)$$

ϕ, θ, ψ 는 현재 Roll, Pitch, Yaw 각도를 의미하고 $\phi_{desired}, \theta_{desired}, \psi_{desired}$ 는 목표 각도를 의미한다.

또한 $K_{P_\phi}, K_{I_\phi}, K_{D_\phi}, K_{P_\theta}, K_{I_\theta}, K_{D_\theta}, K_{P_\psi}, K_{I_\psi}, K_{D_\psi}$ 는 PID 제어를 통하여 수정된 계수이다(Muliadi and Kusumoputro, 2018). PID 제어는 대부분의 FC에서 채택하고 있는 일반적인 제어 방법으로 비례제어(Proportional), 적분제어(Integral), 미분제어(Differential)를 통하여 오차를 줄여나가는 기법으로 Fig. 2와 같이 시스템 동역학을 고려하여 오류를 피드백하는 과정이다(Lee et al., 2018).

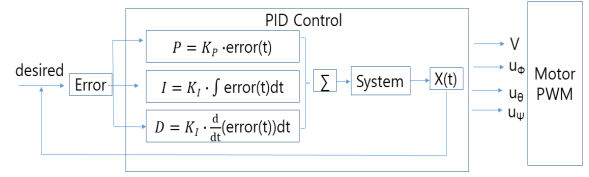


Fig. 2. PID control concept.

2.2 Boat Hardware Description

실험에 사용된 선체는 복원성이 우수한 쌍동선으로 요트 전용 선체로서 재질은 FRP로 제작되었고 선미부에 방향타 없이 4개의 전동기를 연결하여 전동기의 RPM 차이로 이동을 할 수 있도록 구성하였다. 특히 4개의 전동기에 의한 벡터 추진을 이용하여 전진, 후진, 회전 및 측면이동이 가능한 OmniX 형태의 선체를 제작하였다. 이 선체는 수중 ROV에서 널리 채택되는 작동 방식이며 각 회전자의 각도는 전·후진 축에서 45도 기울어지게 장착하였다. 각각의 전동기 회전은 Outward 방향을 추진방향으로 채택하였다. OmniX 보트는 제자리 360도 선회가 가능할 정도로 회전 반경이 매우 작으므로 특수 목적의 보트 등에 사용될 수 있다. 또한 4셀 7200 mAh 용량의 2개의 LIPO 배터리를 병렬로 연결하였으며 사용전압은 14.1~15.2 V이다. 선체에는 350 kV 회전수를 가진 4개의 BLDC 전동기가 장착되어 Fig. 4와 같이 벡터 추진을 하게 된다. 전동기와 전원 사이의 프로펠러 회전수 조절은 Ready to sky 사의 40 A 전자 변속기가 사용되었다. 전자 변속기는 배터리에 의하여 공급된 전원의 간섭을 배제하기 위하여 자체 파워가 별도로 공급되지 않는 OPTO 형태가 선정되었다. 송수신기, 변속기 및 보트의 제원은 다음 Table 1과 Table 2에서 확인할 수 있다.

Table 1. Propulsion, Rx-Tx, BLDC motor and ESC device

Parts	Prop.	Rx-Tx (Pair)	BLDC motor	ESC
Dim.&Type	6 in pitch 45	T14Sg -R700sb	Watertight	Ready to sky OPTO type
Detail	4 Blade	2.4 GHz	350 kV	40 A

Table 2. Hull particulars

Type	LBP	B	D.L.W.L	S.L.W.L
Catamaran FRP	0.975 m	0.58 m	0.105 m	0.130 m
	C _B		Propeller diameter	Rudder
(D.L.W.L)	(S.L.W.L)			
0.2592	0.3249		0.068 mm	None

본 연구에 사용된 통신시스템은 크게 RC 라디오 송신기이며, RC 수신기간의 통신은 2.4 GHz 주파수에서 운용되었고 특별히 지상의 보트 관제를 위한 PC와 보트의 통신을 위하여 5.8 GHz의 텔레메트리를 사용하였다. 이는 보트의 Way point 지정뿐만 아니라 보트의 상태를 실시간으로 모니터링 하는데 사용된다. 또한 RTK GPS ROVER와 BASE간의 측량을 위한 통신은 텔레메트리를 통하여 전송된다. Fig. 3에서는 실험에 사용된 선체의 모습을 보여주고 있으며 Fig. 4는 OmniX 형태 보트의 추진 및 회전 그리고 수평이동의 매커니즘을 나타내고 있다.

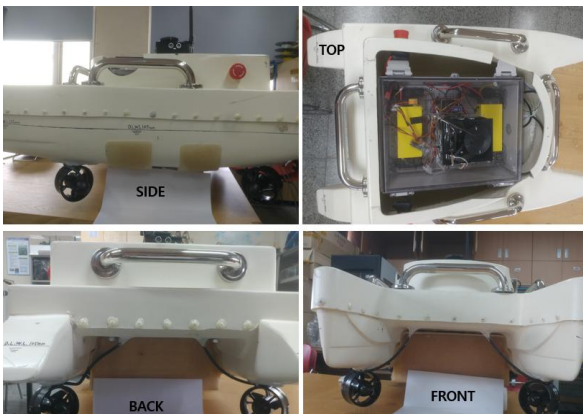


Fig. 3. OmniX type boat hardware setups.

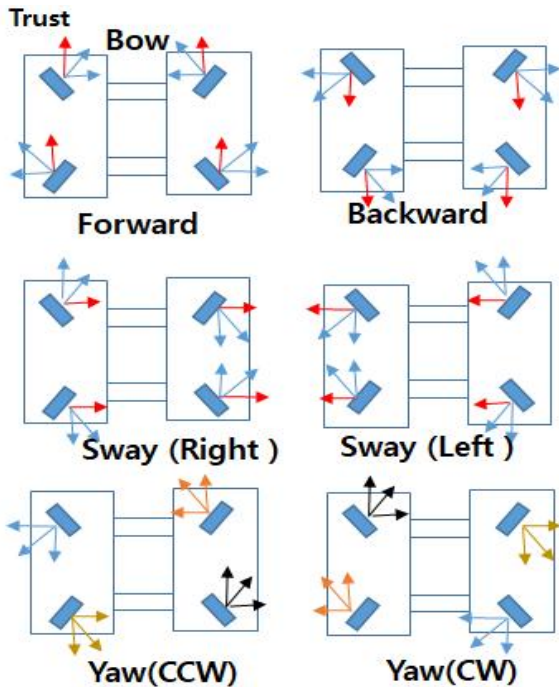


Fig. 4. OmniX type boat propulsion concept.

2.3 GNSS Experimental Setup

오늘날의 측위위성 시스템은 GNSS(Global Navigation Satellite System), 미국의 GPS 시스템(Global Positioning System), 러시아의 GLONASS(GLObal NAVigation Satellite System), 중국의 BeiDou, 유럽의 Galileo, 일본의 QZSS(Quazienieth Satellite System) 등이 대표적이며 최근 민간에서 개발한 많은 위성이 준비 중에 있어 향후 그 수가 늘어날 전망이다.

정밀도 향상을 위하여 많은 국가에서 기준국 보정정보 시스템을(DGNSS) 운영하고 있으며 보다 측량의 정밀도를 높이기 위하여 위성신호와 현재 위치를 보정하여 재산정하는 RTK(Real Time Kinetic) GPS 시스템 또한 널리 사용되고 있다. 본 실험에서는 항해의 기준이 되는 지점에 개인 고정 기지국인 RTK BASE를 설치하고 선체에 GPS ROVER를 장착하여 기지국을 설치한 경우와 기지국을 설치하지 않은 경우에 각각 주어진 임무수행에 대하여 검토하였다. Fig. 5는 보트의 통신계통을 나타내고 있으며 사용된 RTK GPS와 RTK BASE는 Fig. 6과 같고 Table 3에서 보는 것과 같이 이론적으로 RTK BASE 운영 시와 그렇지 않은 경우 각각 2.5 cm와 2.5 m의 정확도를 가진다.

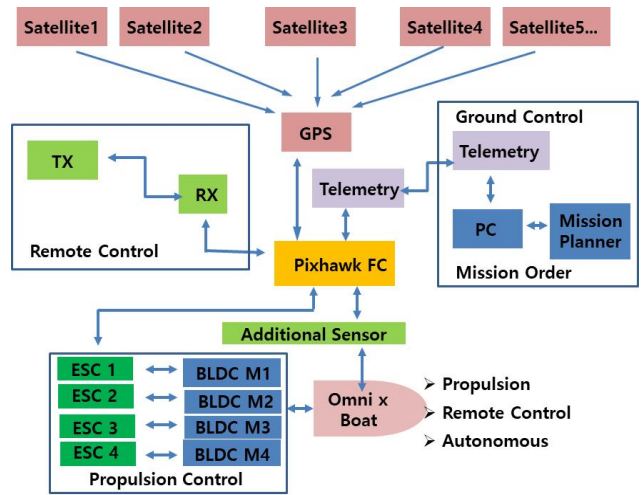


Fig. 5. Boat communication and GCS system.



Fig. 6. Used RTK GPS and base station.

Table 3. RTK GPS and GPS

Item	GPS	RTK GPS
BASE usage status	×	○
Model	Ublox Neo-M8p-0	Ublox Neo-M8p-2
Accuracy	Stand alone: 2.5 m	2.5 cm
Nav. update rate	10 Hz	4~5 Hz

2.4 Operational Experiment

자율 주행 보트의 실해역 실험은 해상 상태가 좋고 GPS 수신율이 높은 시간대를 선정하여 오픈된 잔잔한 호수에서 실험을 수행하였다(Table 4). 실험 기간 동안 평균 10개 이상의 위성이 수신되고 있음은 Fig. 8에서 확인할 수 있다. Fig. 8에서 보는바와 같이 RTK GPS 원점에 해당하는 BASE 점을 출발하여 Way Point 1번을 지나 12번까지는 임무를 나타낸다. 전체 임무수행 구간은 가로 120m, 세로 100m 구간으로 항해속도 0.7m/s의 속도로 임무를 수행하는데 평균 11분이 소요되었다. 실험 영역에서의 유속은 간이 유속계로 측정하였을 때 0.4m/s 이내이며 바람의 속도는 0.3m/s 이내로 관측되었다. 실험 방법은 동일한 속도에서 일반 GPS와 RTK GPS 환경에서 주어진 임무수행 경로를 각각 자율운항하게

Table 4. The water and air conditions of trial place

Temp. (Degree)	Mean air (m/s)	Current max (m/s)	Testing size (m × m)
F.W	Moderate	Sea state 1	
10	0.3	0.4	120 × 100

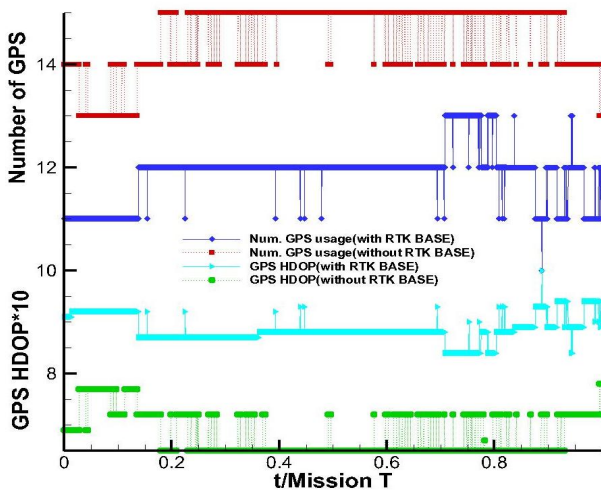


Fig. 7. GPS condition and number of satellites during the test.

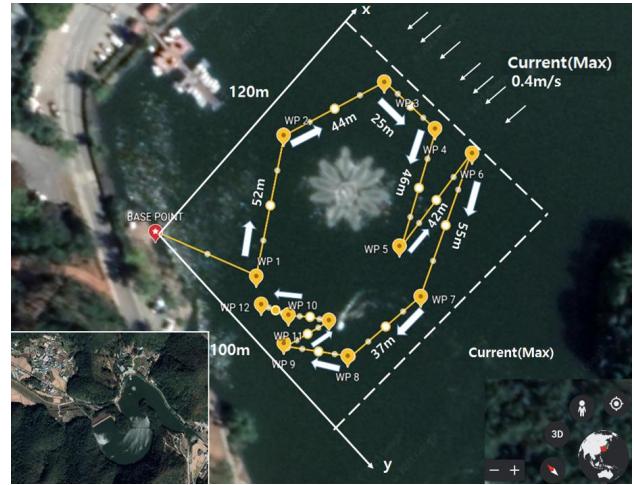


Fig. 8. Experimental domain in real scale.

하고 이때 설정된 경로에서 이탈된 거리, 주행속도 Roll, Pitch, Yaw, 방위각등을 측정하였다. Fig. 7은 RTK GPS를 사용한 경우와 일반 GPS를 사용한 실험 환경에서의 GPS 수신 상태를 나타내는데 RTK GPS를 사용하여 실험을 수행했을 때 수신된 위성 수는 10~11개이며, 일반 GPS를 이용하여 실험을 수행한 경우는 13~15개이다. 또한 GPS HDOP값은 통상 1 이하이면 좋은 상태인데 실험 기간 동안 평균적으로 0.9와 0.7 값을 각각 보이고 있다. 오히려 일반 GPS 실험 때가 RTK GPS 실험 때보다 약간 좋은 환경에서 수행되어졌다.

3. 실험결과

3.1 Result of Mission Performance

Fig. 9~10은 임무수행 구간을 지나는 선체의 실 궤적을 보여주고 있다. OmniX 형태의 보트는 급격히 경로가 변경되는 경우에도 안정적인 운항을 하고 있음을 볼 수 있다. 또한 FC에 기록된 로그 기록을 토대로 Fig. 11에서는 주어진 임무에 대한 RTK BASE에 의한 위치 보정을 한 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 경로 안정성을 보여주고 있는데 대체로 RTK BASE가 설치되지 않은 경우에 위성 수신 상태가 양호함에도 RTK BASE를 운영한 실험값이 경로 오차가 작은 것으로 나타난다.

주어진 임무수행 구간은 직선구간과 완만한 40°~90° 변침구간, 270° 이상의 급격한 변침구간이 존재하는데 급격히 선회하는 구간에서는 두 경우 모두 경로를 이탈하는 오차가 발생한다. 그러나 선회반경이 큰 단축 프로펠러와 쌍축 프로펠러에 비하여 OmniX 선체의 선회반경은 매우 작고 오차 또한 수미터를 넘지 않는다.

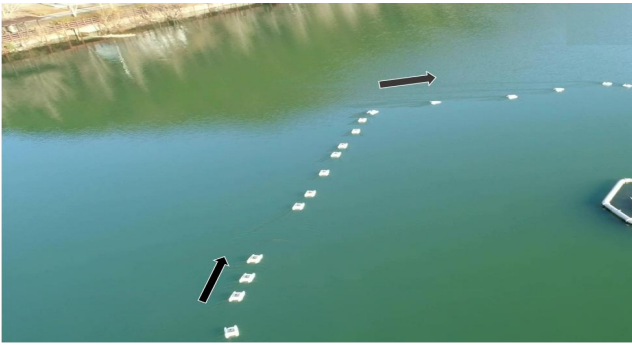


Fig. 9. Boat real path in time laps (WP1 ~ WP2).



Fig. 10. Boat real path in time laps (WP4 ~ WP7).

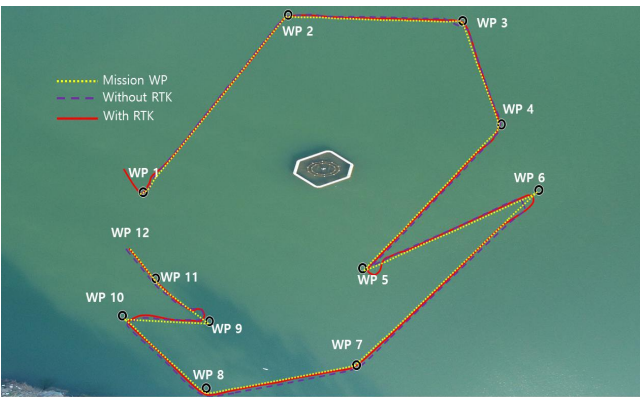


Fig. 11. Comparison of real path (WP1 ~ WP12).

Fig. 12~14는 각 구간별 경로 오차를 나타내고 있는데 직 선구간의 최대 오차는 57cm와 78cm를 보인다. 이 경우는 각 실험마다 출발위치가 상이하어 첫 번째 점을 통과할 때 경로를 잡는 과정으로 보이며 평균적으로 20cm 정도의 차이가 발생하였다. 한편 급격한 전회 구간은 RTK BASE를 설치하지 않은 경우는 3.58m로 큰 값을 보이고 있으며 RTK 보정을 통하여 오차가 1.72m로 48% 가량 줄어든 것을 알

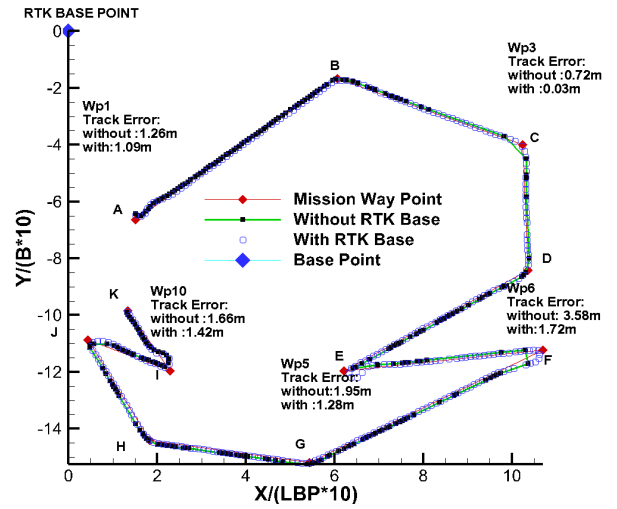


Fig. 12. Comparison of track error (each case).

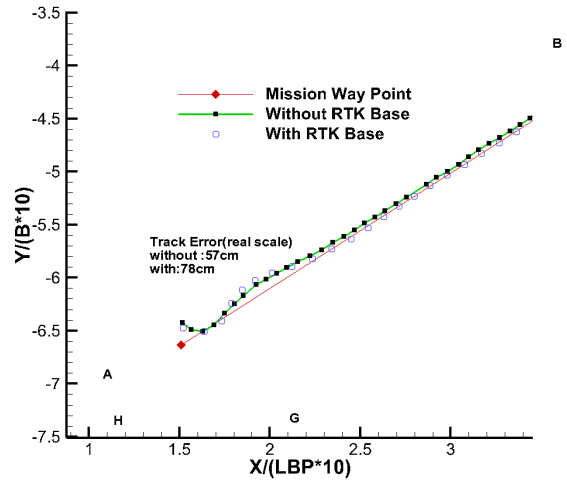


Fig. 13. Comparison of track error detail (A~B region).

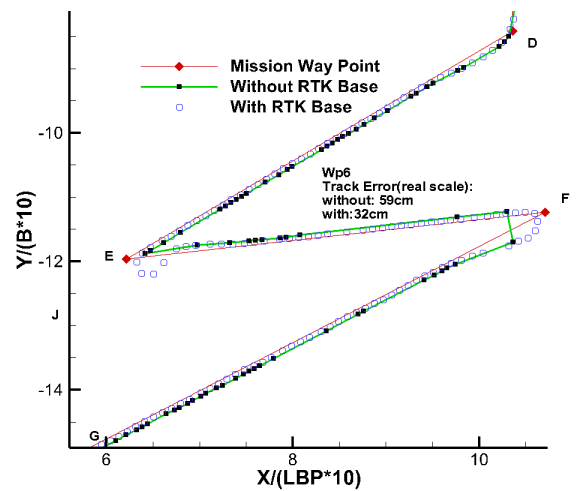


Fig. 14. Comparison of track error in detail (D~G region).

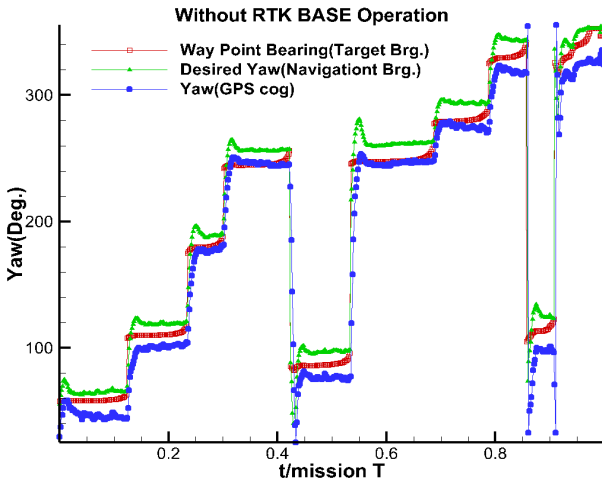


Fig. 15. Way point bearing versus yaw angle (without RTK).

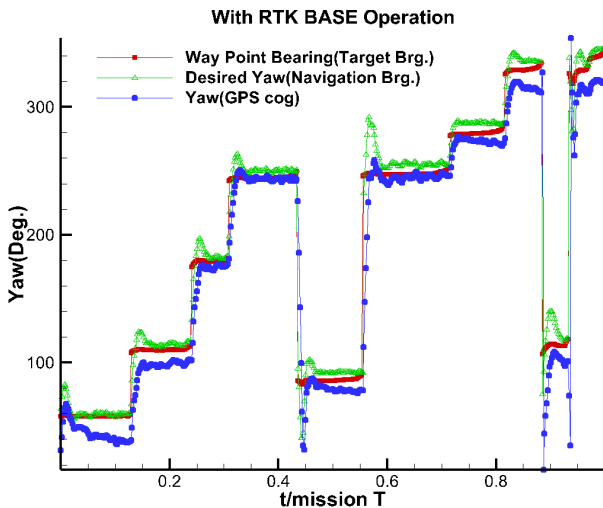


Fig. 16. Way point bearing versus yaw angle (with RTK).

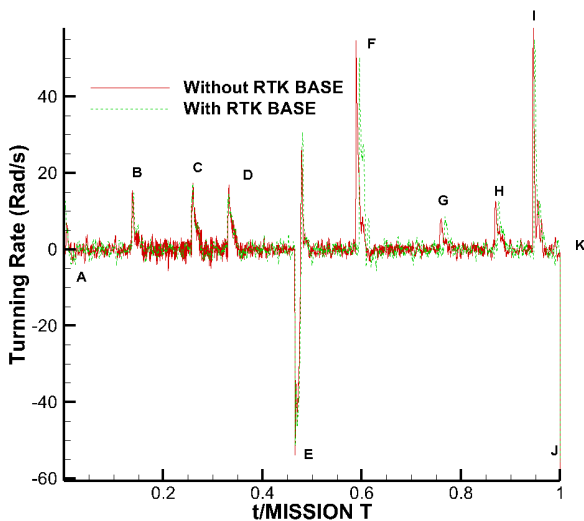


Fig. 17. Comparison of turning rate during mission time.

수 있다. E점과 F점에서 공통으로 보여지는 선체의 흐름 현상은 RTK GPS를 장착한 선체에서 볼 수 있는데 이는 좌표 상에 목표지점에 근접을 하였으나 급격한 방위각의 변화로 표류한 것으로 보이며 이내 원래 궤도에 진입하였다. 방위각을 나타내는 Bearing은 선체의 Yaw 각도 변화를 주는 원인으로 설정된 임무수행 점의 방위각 대비 계산값 및 실제 운항중의 Yaw 변화는 Fig. 15와 Fig. 16에서 확인할 수 있는데 RTK 보정을 한 실험에서 GPS COG 값과 Navigation Bearing 값의 차가 평균적으로 적은 것을 볼 수 있으며 이는 BASE를 통하여 방위각이 보정되었음을 의미한다. 다만 앞서 기술한 E와 F 점에서의 방위각의 급격히 커지는 현상은 보트의 헤딩값과 주행경로의 차이로 보인다.

3.2 Path Tracking Performance of OmniX Boat

선체는 주행 중 임무수행 방위각 변화에 따라 차기 임무수행 점으로 이동하기 위한 계산을 수행하는데 Fig. 17에서 보는바와 같이 비교적 안정적인 A~C 구간에서는 RTK BASE를 설치한 경우의 시간당 회전변위가 작으며 대각도의 변화가 예상되는 지점에서는 반대현상을 확인할 수 있었다. 이 역시 앞서 설명한 BASE에 의한 좌표의 보정의 결과라 할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 OmniX 보트의 경로 추적성 향상을 위하여 GNSS 시스템의 보정을 통하면 그렇지 않은 경우보다 주행 추종성이 최대 48% 증가하는 것을 확인하였다.

본 연구의 측위 시스템을 활용하면 소형 보트나 레저 선박의 경우, 마리나 항내의 점-이안 선박 보조 추진시스템 등 다양한 임무 수행이 가능할 수 있다. 또한 해당 좌표에서 조류 변화에도 어느 정도 위치를 유지할 수 있는 LOITER 기능도 설정할 수 있으므로 보트의 구성 측면에서도 보통의 단축 프로펠러선과 쌍축 Skid Steering 선체의 경우 GPS상의 주어진 위치를 유지하기가 어려운 측면이 있으나 OmniX 선체의 경우 4개의 회전자의 방향과 회전속도의 변화를 통하여 원하는 위치에 그대로 머물 수 있으므로 비용이 높은 중·대형 선박의 Dynamic Positioning 시스템을 사용하지 않더라도 소형선박 분야에 경제적으로 구현이 가능하다. 지금까지 드론의 경우에 완벽한 자율 주행을 구현하고 있고 자동차의 경우도 IoT 기술의 발전과 더불어 매우 급속하게 발전하고 있는 반면 선박의 경우는 이에 대한 기초적인 연구가 진행되고 있을 뿐이다. 본 연구는 선박에서의 무인, 자율 주행 기술의 확보를 위한 기초적인 연구로서 후속연구로 여러 가지 형태의 선체와 여러 종류의 GPS에 관한 연구가 필요하

며, 자율 주행 자동차 등에서 행해지고 있는 LTE, 5G등을 활용한 Public BASE(MBC Broadcasting)관점에서도 후속 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

본 논문은 산업통상자원부 해양융합소재산업화사업 (No. 10053841) ‘조선해양 규정을 만족하는 섬유기반 복합소재의 그린십 상부구조 표준화 부품 개발’ 과제와 중소벤처기업부 기술혁신개발사업 그린벤처 R&D(No. S3108176) ‘선박용 배출가스 저감을 위한 무시동 저속 추진 하이브리드 발전시스템 개발’ 과제의 지원을 받아 수행되었으며, 지원에 대해 감사드립니다.

References

- [1] Abdulmajeed, W. R., O. A. Athab, and I. A. Sattam(2016), Implementation and Evaluation of APM 2.6 - Controlled Quardcopter with Aerial Imagery as a Case Study, Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 19, pp. 11724-11734.
- [2] Centelles, D., A Soriano, J. V. Marti, R. Marin, and P. J. Sanz(2019), Underwater Wireless Communications for Cooperative Robotics with UWSim-NET, Applied Sciences Vol. 9, No. 17, 3526, <https://doi.org/10.3390/app9173526>.
- [3] Kim, J. and H. S. Jang(2019), Technology Trends and Preparations of Maritime Autonomous Surface Ship (MASS), The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 56, No. 4, pp. 4-7.
- [4] Lee, Y. H., S. C. Shin, J. H. Mok, and S. H. Ko(2018), Pixhawk Mission Mode Flight Control-law Structure Analysis based on Open-Source, Journal of Aerospace System Engineering, Vol. 12, No. 3, pp. 45-52.
- [5] Moulton, J., N. Karapetyan, S. Bukhsbaum, C. McKinney, S. Malebary, G. Sophocleous, A. Q. Li, and I. Rekleitis(2018), An Autonomous Surface Vehicle for Long Term Operations, Conference of OCEANS 2018 MTS/IEEE Charleston, Vol. 11, No. 19, pp. 759-768.
- [6] Muliadi, J. and B. Kusumoputro(2018), Neural Network Control System of UAV Altitude Dynamics and Its Comparison with the PID Control System, Journal of Advanced Transportation, Vol. 2018, pp. 1-18.
- [7] Son, N. S. and H. K. Yoon(2009), Study on a Waypoint Tracking Algorithm for Unmanned Surface Vehicle (USV), Journal of Navigation and Port Research, Vol. 33, No. 1, pp. 35-41.
- [8] Son, N. S., K. H. Yun, and T. H. Fang(2014), System Development of Autonomous Unmanned Surface Vehicle, The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 51, No. 2, pp. 18-22.
- [9] Vasilj, J., I. Stančić, T. Grujić, and J. Musić(2017), Design, Development and Testing of the Modular Unmanned Surface Vehicle Platform for Marine Waste Detection, The Journal of Multimedia Information System, Vol. 4, No. 4, pp. 195-204.

Received : 2021. 08. 02.

Revised : 2021. 08. 26. (1st)

: 2021. 09. 14. (2nd)

Accepted : 2021. 10. 28.