

자율운항선박의 운항 자동제어 기초 연구

강병선* · 정창현***

* 목포해양대학교 대학원 석사과정, ** 목포해양대학교 항해학부 교수

A Study on Automatic Operation Control of Autonomous Ships

Byung-Sun Kang* · Chang-Hyun Jung***

* Master's course, Graduate School of Mokpo National Maritime University

** Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University

요 약 : 4차 산업혁명 시대를 맞이하면서 첨단기술이 산업 전반에 사용됨에 따라 자율운항선박기술에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 본 연구에서는 자율운항선박에 대한 기초 연구로써 모형 선박을 제작하고 드론에 사용되는 아두파일럿(Ardupilot)을 적용시켜 자율운항 제어 시스템을 구축하였다. 구축된 모형선을 활용하여 다양한 항해계획을 실행함으로써 자율운항 선박의 운항 자동제어 가능성을 확인하였다. 침로안정성 실험에서는 모형선이 정해진 침로를 똑바로 따라가지 못하고 지그재그(S자 형태)로 항행하면서 침로에서 최대 5.4 m(4.5 L) 이탈하였으며, 매개변수를 수정하여 이탈거리를 최대 1.8 m(1.5 L)까지 감소시켰다. 선회성능 실험에서는 선회권의 직경이 최대 약 9.3 m(7.8 L)로 나타났는데 매개변수를 수정하여도 큰 변화를 확인할 수 없었다. 하지만 WP 도착 전 감속하도록 실험한 결과 선회권의 직경이 최대 약 3.2 m(2.7 L)로 감소된 것을 확인할 수 있었다. 정지성능을 평가하기 위해 모든 실험의 마지막 정지 예정 위치와 실제 모형선이 정지한 위치를 상호 비교하였으며, 정지 예정 위치로부터 최소 0.4 m(0.3 L), 최대 6.2 m(5.2 L) 떨어진 지점에서 모형선이 정지하였음을 확인할 수 있었다. 추후 다양한 매개변수의 수정·보완을 통한 성능 향상이 이루어진다면 자동제어를 통한 자율운항선박의 자동접안을 위한 연구를 진행할 계획이다.

핵심용어 : 자율운항선박, 아두파일럿, 자동제어, 침로안정성, 선회성능, 정지성능

Abstract : In the era of the 4th Industrial Revolution, the interest in autonomous ship technology is increasing as high-tech technologies are being increasingly utilized throughout the industry. Therefore, we conducted a basic study on autonomous ships. In particular, a passenger ship model was produced and an autonomous navigation system was established by applying the ardupilot used for drones. The possibility of automatic control of the autonomous ship operations was confirmed by executing various voyage plans using the built model ship. In the performance test for maintaining the course the model ship could not follow the designated course straight and sailed up to 5.4 m away from the course while navigating in a zigzag (S-shape); however, after the parameters were modified, the deviation distance was reduced to a maximum of 1.8 m. In the turning performance test, the maximum diameter of the turning sphere was found to be approximately 9.3 m, but no significant change could be confirmed even after the parameters were modified. However, the results of our tests on slowing down the ship before arriving at the WP confirmed that the diameter of the turning sphere was reduced to a maximum of approximately 3.2 m. In order to evaluate the stopping performance, the last scheduled stopping position of all experiments was compared with the actual stopping position of the model ship and it was confirmed that the model ship stopped at a point at least 0.4 m and a maximum of 6.2 m away from the stopping position. In the future, improvement of course stability, turning performance, and stopping performance is required through modification and supplementation of various parameters. Moreover, a study on automatic berthing of the model ship through automatic control is planned.

Key Words : Autonomous ships, Ardupilot, Automatic controlling, Course keeping performance, Turning performance, Stopping performance

* First Author : kbs109011@komsa.or.kr, 061-555-4028

† Corresponding Author : hyon@mmu.ac.kr, 061-240-7182

1. 서론

4차 산업혁명 시대를 맞이하면서 사물인터넷(Internet of Things), 빅 데이터(Big Data) 등 다양한 기술들이 종합적으로 산업전반에 활용되고 있다. 이에 따라 시작된 패러다임의 변화는 해운(Shipping 4.0), 항만(Port 4.0), 조선(Smart ship 4.0) 및 해양(Marine 4.0) 등 전 산업분야에 걸쳐 진행되고 있고 자율운항선박은 혁신성장 기술에 대한 새로운 도전과제로 주목받고 있다.

자율운항선박은 해상 물동량 증가 및 수송수단의 고속화와 대형화 등에 따른 해양사고의 위험성 확대를 고려하여 해상 교통 환경의 안전성, 신뢰성, 효율성 중심의 인명안전 및 해양환경 보호를 위한 친환경 스마트 해상운항 서비스를 제공하려는 목적으로 추진되고 있고, 유럽을 포함하여 한국, 중국, 일본 등에서 많은 프로젝트들이 진행되고 있다. 최근에는 IMO에서도 상업용 선박에서의 자율운항 선박의 적용을 검토하기 시작했다(Lee and Hwang, 2018).

자율운항선박에 대한 국제적 차원의 논의는 IMO MSC 제 98차 회의에서 자율운항선박을 MASS(Maritime Autonomous Surface Ship)로 규정함으로써 본격화되었으며, IMO LEG 제 105차, MSC 제99차 회의 등에서 주요 의제로 논의되기 시작함에 따라 세계 주요국 및 국제기구에서 관련 정책 및 법제, 기술 등에 대한 검토가 착수되었다(Park et al., 2018).

EU는 MUNIN(Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Network) 프로젝트를 통해 자율운항선박의 기술적, 법·제도적 그리고 경제적 타당성을 검토하고, 자율운항선박을 둘러싼 행정적 지원과 선박의 안전성 및 자동화를 위한 R&D 사업의 추진과 미래기술 개념 등에 대해 연구를 수행하였으며(MUNIN, 2020), 일본은 MMS(Mitsui Ship Maneuver Control System) 및 SSAP(Smart Ship Application Platform) 프로젝트를 통해 자율운항선박 도입 시 발생 가능한 문제에 대한 대책 마련과 개방형 플랫폼 구축 등을 목표로 관련 기술개발과 함께 정부 차원의 로드맵을 수립하였다(KISTEP, 2020).

국내에서는 KMOU와 ETRI가 항로교환을 통한 자율운항선박 원격관제 시스템을 개발하였고, 한국형 e-Navigation 사업단에서는 국제 표준에 근거한 항로교환 형식의 안전항로 제공 서비스를 개발 중에 있다. 또한 한국자율운항선박포럼에서도 선박-육상 간 정보교환과 자율운항선박 관제를 위한 국내 표준을 개발 중에 있다(KISTEP, 2020).

이와 함께 픽스호크(Pixhawk)와 ROS(Robot Operating System)를 이용하여 무인선 불법 어선 감시를 위한 협업 시스템을 제시한 연구(Kim and Lee, 2019)와 아두파일럿(ArduPilot)을 이용하여 자동조종 및 항법유도가 가능한 쿼드콥터 형태의 무인항공기 제어 환경을 구축한 사례(Kim and Yang, 2014), 안개 발생 시 엔진을 자동으로 제어하여 피해를 최소화하거나 회피할 수 있는 자동 제어 시스템 설계·제작(Lee et al., 2017)

등 자율운항선박에 대한 연구와 관심이 고조되고 있다.

본 연구는 자율운항선박에 대한 기초 연구로써 여객선형의 모형 선박을 자체 제작하고, 이를 이용하여 항로계산 및 엔진 제어 등을 포함한 선박 자율제어 기술과 선박 자동 접안 기술을 진행하기 위한 선행 연구를 실시하였다.

2. 자율운항 모형선 제작

2.1 모형선 제작과정

모형선은 목포해양대학교 실습선 세계로호를 대상선박으로 하여 제작되었다. Fig. 1에서와 같이 세계로호의 Lines 도면(1:100)을 토대로 포맥스(2 mm)를 사용하여 각 Station별로 잘라서 Fig. 2와 같이 연결하여 뼈대를 구성하고, 바깥 외관 부분은 스티로폼(1 mm)을 붙여 순간접착제와 경화제를 사용하여 고착시키는 작업을 3차례(3 coating) 반복하여 선체를 완성하였다. 그 이후 추진용 모터와 프로펠러 및 샤프트, Rudder, Bow Thruster(물을 선저에서 흡입하여 측면으로 배출하는 형태로 제작; 향후 자동접안 실험 대비)를 부착하여 모형선을 완성하였다. Table 1은 모형선의 제원을 나타낸다.

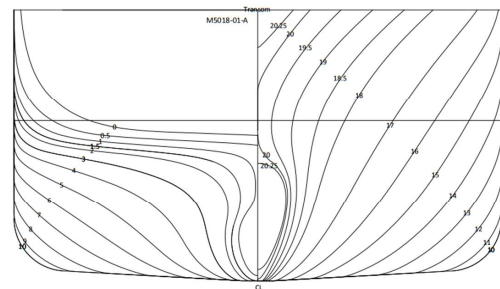


Fig. 1. Lines of model ship.



Fig. 2. Hull skeleton.

Table 1. Particulars of model ship (1:100 scale)

Characteristic	Unit	Scantling
LBP	cm	120
Breadth	cm	19.4
Draft	cm	6.4
Block Coefficient	-	0.578

2.2 모형선 자율운항시스템 구축

멀티콥터형 소형 무인기의 비행제어 컴퓨터(FCC, Flight Control Computer)는 상용제품과 오픈소스 기반 제품이 있는데, 상용제품으로는 D사 제품이 주로 사용되고 있으며, 오픈소스 기반 제품은 픽스호크(Pixhawk)가 많이 사용된다.

본 연구에서는 오픈소스 기반 픽스호크를 사용하였으며, 하드웨어 및 오픈 소프트웨어(PX4 펌웨어, Ardupilot 펌웨어)로 구성되어 기체를 제어할 수 있으며, 지상통제시스템(Mission Planner, QGroundControl)를 통해 초기 설정과 실시간 비행데이터를 확인할 수 있다. 또한 펌웨어 수정을 통해 멀티콥터, 비행기, 자동차, 선박, 잠수함 등 다양한 기체에 적용 및 세팅할 수 있는 장점이 있다.

1) 픽스호크 구성

픽스호크의 구성은 Fig. 3과 같고, 크게 6개의 시스템으로 구성된다.

- ① Telemetry System: 미션을 계획하고 실행하여 모형선을 실시간으로 제어하고 모니터링 할 수 있도록 태블릿/PC 등 지상국과 연결하는 통신시스템
- ② Buzzer: 실행을 나타내는 오디오 신호
- ③ Remote Control Receiver System: 모형선을 수동으로 조종할 때 사용하는 휴대용 송·수신기에 연결
- ④ Safety Switch: 스위치를 활성화 할 때까지 연결된 모든 모터를 비활성화시키는 안전 스위치로 안전 스위치가 내장된 GPS를 사용하지 않는 경우에 필요
- ⑤ GPS & Compass: 모형선의 위치 및 선수방향 측정
- ⑥ Power System: 전원 모듈 및 배터리 경고 시스템 등으로 구성

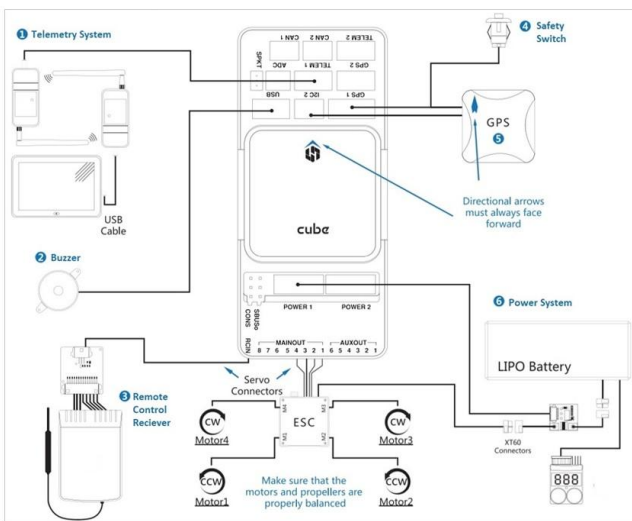


Fig. 3. Composition of the Pixhawk.

2) 모형선 픽스호크 설치

본 연구에서는 모형선에 픽스호크를 설치하여 자율운항 시스템을 구축하였다.

Telemetry System으로 RFD900 무선 모뎀을 사용하였는데, RFD900 무선 모뎀은 장거리 직렬 통신을 위해 설계된 고전력 900Mhz, ISM 대역 무선 모뎀이다. 하드웨어는 폐쇄 소스이지만 소프트웨어는 개방되어 있어 SiK Radio에서 실행되는 동일한 소프트웨어를 기반으로 하며, 제품 상세는 Fig. 4 및 Table 2와 같다.



Fig. 4. RFD900.

Table 2. Specification of RFD900

Items	Value
Transmitting Distance	40 km
Transmitting Power	1 W (+30 dBm)
Interface	2 x RP-SMA Connector

Remote Control Receiver System으로 6개의 채널이 연결 가능한 FS-iA6B PPM 수신기를 설치하였다. PPM(pulse position modulation) 수신기는 외부로부터 받은 정보를 FCC(federal communications commission)로 보내주며, 신호의 위치를 바꾸어 그 양을 표시하기 때문에 각 채널별 진폭을 달리하면 한 개의 신호선에 많은 채널을 전송할 수 있다. 제품의 상세는 Fig. 5 및 Table 3과 같다.

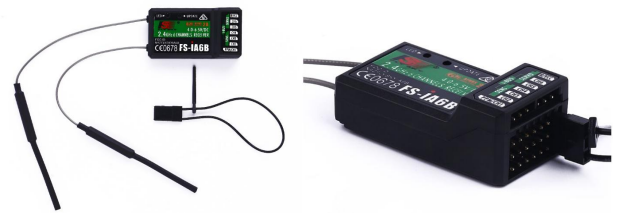


Fig. 5. PPM receiver.

Table 3. Specification of RFD900

Items	Value
Channels	6 Channels
Frequency range	2.4 ~ 2.48 GHz
Transmitting power	not more than 20 dBm
Encoding	GFSK

GPS & Compass로는 Pixhawk2 HERE⁺ V2 GPS를 사용하였다. 해당 장비는 개방형 아키텍처를 사용하여 실시간 운영체제 ChibiOS를 실행하는 내장 STM32F302 프로세서 칩이 있어 사용자 정의 기능을 지원하고 펌웨어 업데이트를 지원한다. 제품의 상세는 Fig. 6 및 Table 4와 같다.



Fig. 6. Pixhawk2 HERE⁺ V2.

Table 4. Specification of Pixhawk2 HERE2 M8N

Items	Value
Compass function	Yes
Protocol	UART+12C
Positioning function	RTK FIX
Receiver type	72 channel u-blox M8 engine GPS L1C/A GLONASS L10F BeiDou B1I

프로펠러는 일반적인 7.2V 스텝모터에 샤프트를 연결하여 고정하였으며, 조타기는 Rudder stock에 샤프트를 연결하고 Digital Servo로 제어하는 방식으로 구현하였다. 픽스호크, 모터 및 Digital Servo에 전원의 공급을 위해 리튬폴리머 배터리를 사용하였다. 제품의 상세는 Fig. 7 및 Table 5와 같다.



Fig. 7. Li-Po battery.

Table 5. Specification of Li-Po battery

Items	Value	
	for Pixhawk	for motor, etc.
Voltage	7.4 V (2-Cell)	
Capacity	1,500 mAh	5,400 mAh
Discharging Rate	70 C	60 C
Maximum Charging Rate	1 C	

3) 지상통제국 구축

본 연구에서는 모형을 원격 제어하기 위한 지상통제시스템으로 Mission Planner를 사용하였다. Mission Planner는 아두이노 플랫폼 오픈소스 자동 조종 장치(비행기, 헬리콥터 및 로버 등)를 제어하기 위한 지상국 소프트웨어로 Fig. 8과 같다.

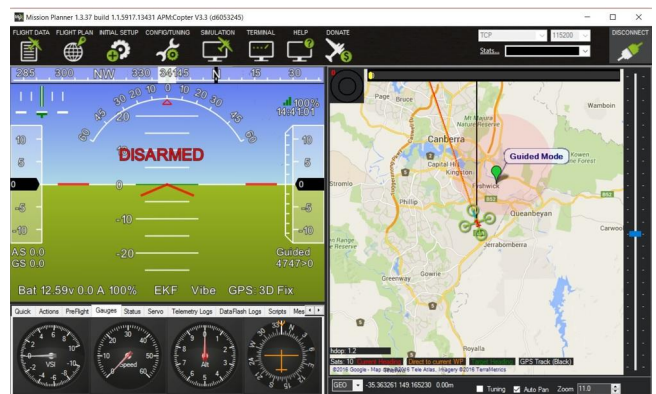


Fig. 8. Mission planner.

모형선과 신호를 주고받기 위해 모형선에 설치한 동일한 Telemetry System을 노트북에도 추가로 연결하고 GPS의 정확도를 높이기 위해 지상통제국에 RTK GNSS를 연결하였는데, RTK(Real Time Kinematic)는 실시간으로 데이터를 처리하여 위치를 결정하는 방식으로 센티미터 수준의 정확도로 위치

를 결정할 수 있다. 자율운항시스템이 구축된 모형선(장비 보호를 위해 수밀)과 지상통제국의 모습은 Fig. 9와 같다.



Fig. 9. Control station and model ship.

3. 모형선 자율운항 실험

3.1 실험 방법

모형선의 자율운항 실험을 위해 Mission Planner로 여러 가지 항해계획을 수립하고 모형선이 입력된 항해계획대로 운항하는지를 확인하였다. 실험 장소는 충분한 수역이 확보된 영산강 하구로 해당 장소는 수문이 폐쇄된 상태에서 유속은 거의 없으며, 실험은 풍속 2m/s 이내인 조건에서 실시되었다.

1) 침로안정성 실험

2개의 WP(waypoint)를 만들고 그 사이 지점에서 모형선이 출발하여 첫 번째 WP에서 두 번째 WP까지 직진하도록 항해계획을 수립하여 침로를 똑바로 유지하는 침로안정성이 얼마나 좋은지를 평가하였으며, 항해계획은 Fig. 10 및 Table 6과 같다.



Fig. 10. Passage plan for course keeping ability.

Table 6. Passage plan for course keeping ability

No.	WP		Course (°)	Distance (m)
	Lat.	Long.		
1	34° 48' 01.0"	126° 26' 34.8"	310	94.4
2	34° 48' 02.9"	126° 26' 31.9"	-	-

모형선의 침로안정성은 PID(Proportional-Integral-Differential) 제어기의 영향을 받을 것으로 판단된다. Im and Tran(2012)은 모형선의 침로안정성을 위해 PD(Proportional Derivative)제어를 이용하여 침로를 유지하는 알고리즘을 구성한 사례도 있다.

PID 제어기는 비례(P) - 적분(I) - 미분(D) 제어기를 의미하고, 제어하고자 하는 대상의 입력값(input)을 측정하여 목표 설정값(set point)과 비교하여 오차(error)를 계산한다. 오차값을 이용하여 제어에 필요한 제어값(output)을 계산하고, 이 제어값은 피드백 구조로써 제어하고자 하는 대상의 입력값으로 다시 사용되는 구조이다.

PID 제어기는 식(1)과 같이 세 개의 항을 더하여 제어값을 계산하도록 구성이 되어 있다.

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

여기서, $MV(t)$ 은 출력 함수, $e(t)$ 는 에러 함수, K_p 는 비례 이득계수, K_i 는 적분 이득계수, K_d 는 미분 이득계수를 의미한다. 미분항은 현재 상태에서의 오차값의 크기에 비례한 제어작용을 하며, 적분항은 정상상태 오차를 없애는 작용을 하고, 미분항은 출력값의 급격한 변화에 제동을 걸어 오버슈트(overshoot)를 줄이고 안정성을 향상시킨다.

Mission Planner에서 이러한 기능은 조타 반응 매개변수(ATC_STR_RAT_FF)를 통하여 결정된다. 조타 반응 매개변수는 모형선이 침로에서 이탈 시 타의 사용 민감도와 관련이 있는 요소로 볼 수 있다. 따라서 매개변수 값을 1.0(A), 2.0(B), 3.0(C) 3단계로 변경하여 실험을 실시하였다.

2) 선회성능 실험

WP를 사각형 형태로 만들어 대각도 선회가 이루어지도록 항해계획을 수립함으로써 모형선이 90°에 가까운 변침을 실시할 때 선회성능이 얼마나 좋은지를 평가하였으며, 항해계획은 Fig. 11 및 Table 7과 같다.

자율운항선박의 운항 자동제어 기초 연구

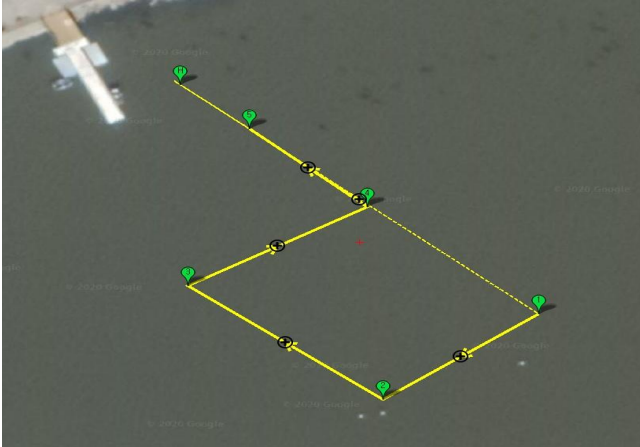


Fig. 11. Passage plan for turning & stopping ability.

Table 7. Passage plan for turning & stopping ability

No.	WP		Course (°)	Distance (m)
	Lat.	Long.		
1	34° 48' 01.5"	126° 26' 34.2"	235	29.7
2	34° 48' 00.9"	126° 26' 33.2"	307	38.0
3	34° 48' 01.7"	126° 26' 32.0"	61	32.1
4	34° 48' 02.2"	126° 26' 33.1"	310	24.1
5	34° 48' 02.7"	126° 26' 32.4"	-	-

선회 시에는 앞서 언급된 PID 제어와 함께 선속이 추가로 고려되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 WP에서의 이탈거리와 선속의 관계를 확인하기 위하여 실험 D와 E는 1.2 m/s의 속력을 지속적으로 유지했으며, 실험 F에서는 운항속도를 1.0 m/s에서 WP 직전에 0.3 m/s로 감속하도록 항해계획을 수립하였다.

3) 정지성능 실험

최종 WP에서 정확한 위치에 모형선이 정지하는가를 확인하기 위해서 실험 A~F까지의 마지막 WP와 모형선의 정지 위치를 상호 비교하였다. 자율운항선박의 운항은 크게 대양 항해와 P/S에서 접안부두 전면까지의 항해 그리고 접안부두 전면에서 접안 완료(출항의 경우 반대)에 이르는 과정을 거치게 된다. 이와 같이 침로안정성과 선회성능 및 정지성능에서 자동 제어가 가능해지면, 그 다음 단계로는 자율운항선박의 자동 제어에 의한 자동접안 연구가 이루어질 것이다.

3.2 실험 결과

1) 침로안정성

본 연구는 선박의 조종성능보다는 원격제어를 통한 자율운항선박의 운항 자동제어에 초점을 두었기 때문에 모형선의 정밀도는 다소 떨어진다. 또한 외력의 영향 등으로 모형선은 침로를 따라 정확하게 직진하지 못한 것으로 나타났다. Fig. 12에서와 같이 모형선은 직선으로 정해진 항로를 지

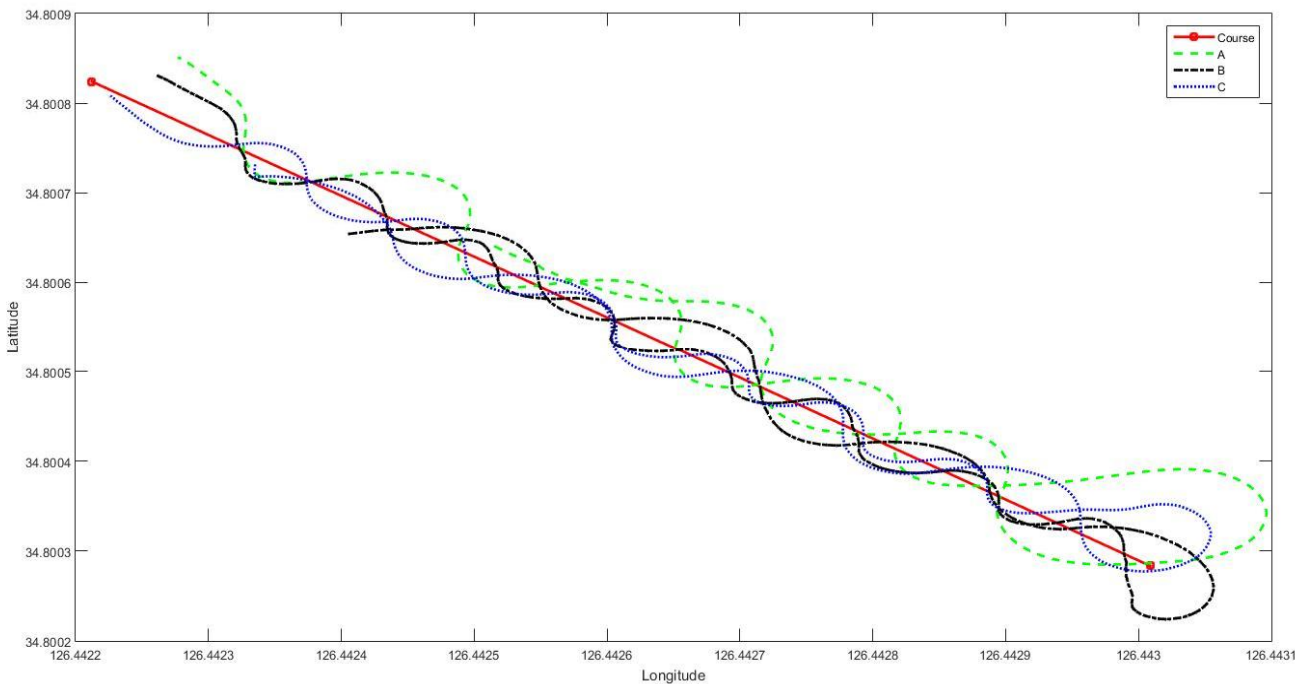


Fig. 12. Experiment of course keeping ability.

그재그(S자 형태)로 항해하는 것으로 항적이 나타났다. 그 이유는 모형선이 항로에서 이탈하게 되면 모형선은 PID 제어기로 원래 침로로 되돌아가기 위해 타를 작동하도록 제어 프로그램이 설정되어 있기 때문이다.

실험 결과(Table 8)를 살펴보면, 매개변수 값을 1.0으로 설정한 실험 A의 경우가 항로로부터 5.4 m(4.5 L)로 가장 많이 이탈한 것으로 나타났다. 그리고 매개변수 값을 2.0으로 설정한 실험 B의 경우에는 2.9 m(2.4 L) 이탈하였고, 매개변수 값을 3.0으로 설정한 실험 C의 경우 1.8 m(1.5 L)로 가장 적게 이탈한 것으로 확인되었다. 이와 같이 매개변수를 이용한 PID 제어를 통해 침로안정성이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

Table 8. Cross track error

Expt.	Max. Cross track error (m)
A	5.4 (4.5 L)
B	2.9 (2.4 L)
C	1.8 (1.5 L)

2) 선회성능

선회성능 실험 결과는 Fig. 13과 같고, 선회를 제어하는 매개변수(NAVL1_PERIOD)를 변경 적용하였다. 매개변수는 그 값이 작을수록 급격한 선회가 이루어지도록 제어하는 변수이다. 실험 D에서는 최대값 8.0을 적용하였으며, 실험 E 및

F에서는 최저값 3.0을 적용하였다.

선회성능 실험 결과는 Table 9와 같다. 실험 D의 경우 변침점 인근에서 모형선은 항로로 부터 최대 약 9.3 m(7.8 L) 정도 이탈한 것으로 나타났고, 실험 E의 경우 매개변수를 최저값으로 변경하였음에도 불구하고 이탈 정도에는 큰 변화를 확인할 수 없었다. 하지만 매개변수를 최저값으로 하면서 동시에 WP 직전에서 속력을 감속하도록 계획한 실험 F에서는 이탈 거리가 최대 3.2 m(2.7 L)로 축소된 것을 확인할 수 있었다.

실험 D, E, F 동안의 모형선 선속변화(Fig. 14)를 살펴보면 실험 D와 E에서는 모형선이 명령한 운항속도 1.2 m/s를 평균적으로 잘 유지하고 있으며, 실험 F에서는 명령한 운항속도 1.0 m/s를 유지하다가 WP 직전에 0.3 m/s로 감속하였음을 확인할 수 있다.

Table 9. Cross track error

Expt.	Max. Cross track error (m)
D	9.0 (7.5 L)
E	9.3 (7.8 L)
F	3.2 (2.7 L)

3) 정지성능

실험 A~F까지 WP 반경을 0.5 m로 설정한 상태에서 마지막 WP와 모형선의 정지 위치를 상호 비교한 결과는 Table 10과

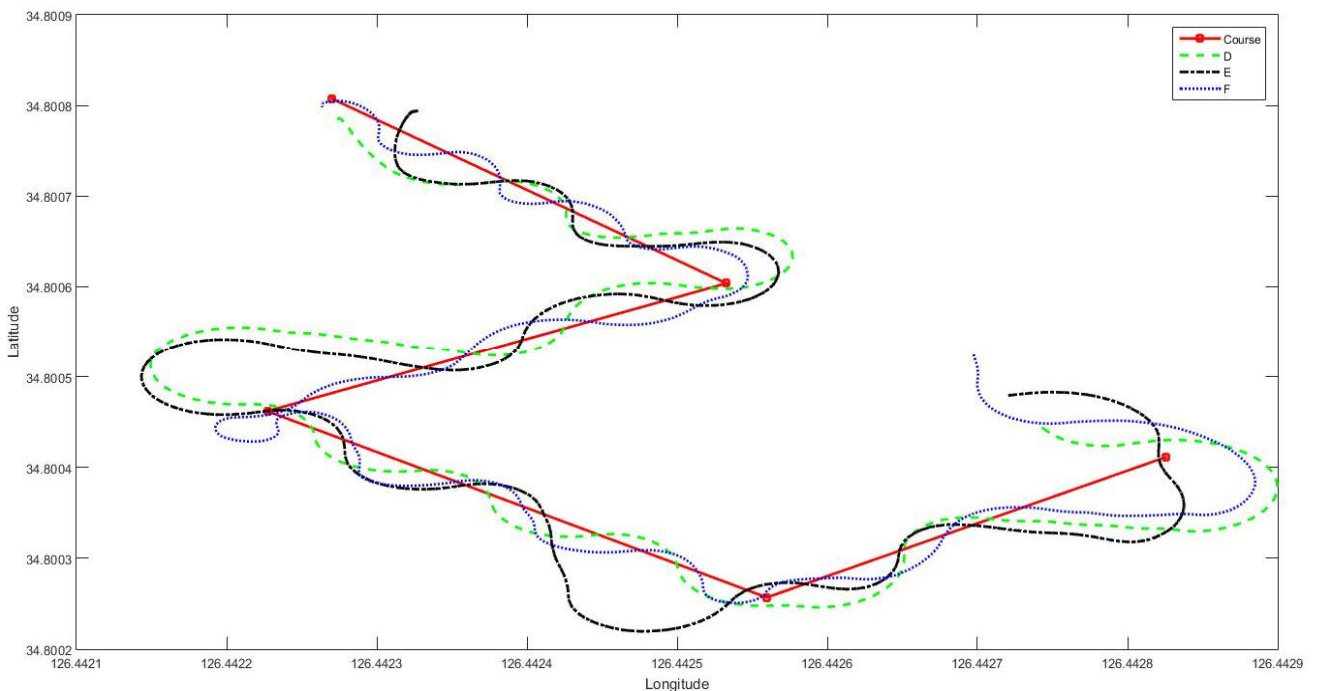


Fig. 13. Experiment of turning & stopping ability.

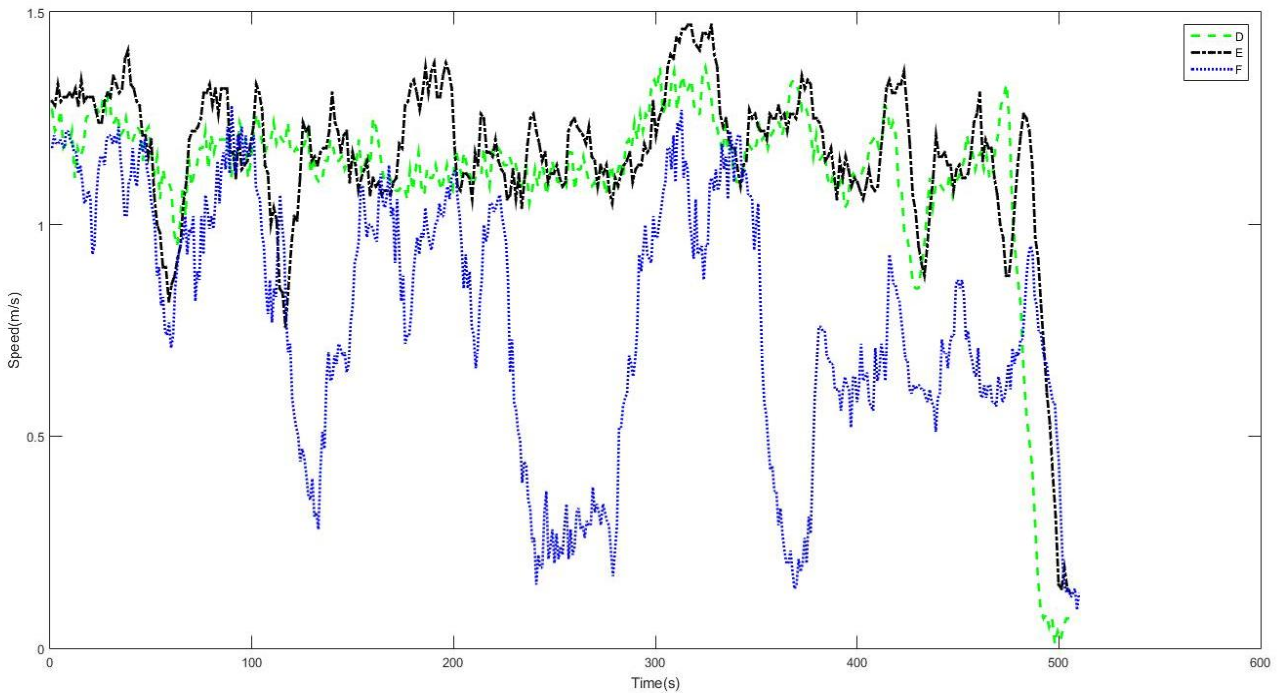


Fig. 14. Ship's speed change.

같다. 실험 A~E까지는 WP 도착 전 1.5 m(1.3 L)~6.2 m(5.2 L) 지점에서 모형선이 정지한 반면 실험 F에서는 WP를 0.4 m (0.3 L) 지난 지점에서 정지하였음을 확인할 수 있다. 실험 F를 제외한 대부분 실험에서 모형선은 마지막 WP인 정지 예정지점과 상당한 이격거리를 두고 정지한 것으로 나타났다.

이와 같이 마지막 WP에서 정확히 정지하지 못하는 원인으로서는 전진속력의 급격한 감소로 인한 위치제어 문제와 EP(end point)에서 제어기 임무 완수로 인해 해당 항해계획이 종료되었기 때문인 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위해서는 접안 부두 전면의 EP 접근단계에서 구간별 감속된 항해계획 설정으로 전진속력에 의한 관성력 등 선체운동을 제어하기 위한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

또한 부두전면에서는 부두와의 충돌을 피하기 위한 적절한 안전여유가 고려되어야 하고, 자율운항선박은 EP에 도달하기 이전에 항해 제어 모드에서 접안 제어 모드로 변경되어야 할 것이다.

Table 10. Stopping distance

Expt.	Stoppage distance (m)	Expt.	Stoppage distance (m)
A	5.5 (4.6 L)	D	1.5 (1.3 L)
B	4.4 (3.7 L)	E	6.2 (5.2 L)
C	1.8 (1.5 L)	F	0.4 (0.3 L)

4. 결 론

본 연구는 자율운항선박에 대한 기초 연구로써 여객선형의 모형 선박을 제작하고, 드론에 사용되는 아두파일럿을 적용시켜 자율운항시스템을 구축하였으며, 다양한 운항성능 실험을 통해 자율운항 선박의 운항 자동제어 가능성을 확인하였다.

침로안정성은 2개의 WP를 만들어 모형선이 그 사이를 직진하도록 항해계획을 수립하여 평가하였으며, 모형선은 직선으로 정해진 항로를 지그재그(S자 형태)로 항해하는 것으로 나타났다. 실험 결과를 살펴보면, 매개변수 값을 1.0으로 설정한 실험 A의 경우가 항로로부터 5.4 m(4.5 L)로 가장 많이 이탈한 것으로 나타났으며, 매개변수 값을 3.0으로 설정한 실험 C의 경우 1.8 m(1.5 L)로 가장 적게 이탈한 것으로 확인되었다. 이와 같이 매개변수를 이용한 PID 제어를 통해 침로안정성이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

선회성능은 WP를 사각형 형태로 만들어 모형선이 90°에 가까운 대각도 변침을 하도록 항해계획을 수립하여 실시하였다. 매개변수 값을 최대값으로 설정한 실험 D의 경우 변침점 인근에서 이탈거리는 최대 약 9.3 m(7.8 L) 정도로 나타났고, 실험 E의 경우 매개변수를 최저값으로 변경하였음에도 불구하고 이탈 정도에는 큰 변화가 없었다. 하지만 매개변수를 최저값으로 하면서 동시에 WP 직전에서 속력을 0.3 m/s로 감속하도록 계획한 실험 F에서는 이탈거리가 최대 3.2 m(2.7 L)

로 축소된 것을 확인할 수 있었다.

정지성능은 실험 A~F까지 WP 반경을 0.5m로 설정한 상태에서 마지막 WP와 모형선의 정지 위치를 상호 비교하였으며, 실험 A~E까지는 WP 도착 전 1.8m(1.5 L)~6.2m(5.2 L) 지점에서 모형선이 정지한 반면 실험 F에서는 WP를 0.4m(0.3 L) 지난 지점에서 정지하였다. 이와 같이 마지막 WP에서 정확히 정지하지 못하는 원인으로서는 전진속력의 급격한 감소로 인한 위치제어 문제와 EP(end point)에서 제어기 임무 완수로 인해 해당 항해계획이 종료되었기 때문인 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위해서는 접안 부두 전면의 EP 접근단계에서 구간별 감속된 항해계획 설정으로 전진속력에 의한 관성력 등 선체운동을 제어하기 위한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

향후 다양한 매개변수를 수정·보완한 실험을 통해 운항성능 향상이 이루어진다면 자동제어를 통해 자율운항선박의 자동접안에 대한 연구로 확대할 계획이다.

사 사

본 결과물은 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 사회맞춤형 산학협력 선도대학(LINC+) 육성사업의 연구결과입니다.

References

- [1] Im, N. K. and V. L. Tran(2012), Experiment on Track-keeping Performance using Free Running Model Ship, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 18, No. 3, pp. 221-226.
- [2] Kim, G. W. and J. Y. Yang(2014), A Design and Implementation of UAV Control Environment using Ardupilot, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 9, No. 6, pp. 797-804.
- [3] Kim, H. M. and D. W. Lee(2019), Integrated Simulation Environment for Heterogeneous Unmanned Vehicle using ROS and Pixhawk, Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, Vol. 27, No. 3, pp. 1-14.
- [4] KISTEP(2020), Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, Technology Trend Brief, Vol. 6, p. 10.
- [5] Lee, K. I. and S. U. Hwang(2018), Trends of International Standards for Autonomous ship, TTA Journal, Vol. 175, pp. 112-122.
- [6] Lee, K. M., S. H. Kim, K. K. Kim, and S. H. Park(2017), Automatic Ship Control System to According for Fog

Condition, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 6, pp. 754-758.

- [7] MUNIN(2020), Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks, <http://www.unmanned-ship.org/munin/about/theautonomous-ship/> (Accessed Dec 2020).
- [8] Park, H. R., H. S. Park, and B. L. Kim(2018), A Study on the Policy Directions related to the Introduction of Maritime Autonomous Surface Ship(MASS), Research issues, pp. 1-2.

Received : 2020. 12. 14.

Revised : 2020. 12. 29.

Accepted : 2021. 02. 25.