

# 자율운항선박의 원격제어 시스템 개발과 성능평가 결과

김홍진\* · 노화섭\*\* · † 임정빈

\*한국해양대학교 대학원 석사수료, \*\*한국해양대학교 산학연구교수, † 한국해양대학교 해사인공지능·보안학부 교수

## Development and Performance Evaluation Results of Remote Control Systems for Maritime Autonomous Surface Ships

Hong-Jin Kim\* · Hwa-Sop Roh\*\* · † Jeong-Bin Yim

\*M.S.Course, Graduated School of Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Republic of Korea

\*\*Researcher Professor, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Republic of Korea

† Professor, Dept. of Maritime AI and Cyber Security, Korea Maritime & Ocean University, Busan, 49112, Republic of Korea

**요 약** : 최근 자율운항선박 및 원격제어에 관한 연구와 개발 및 상용화가 진행되고 있다. 원격제어는 원격제어 시스템을 이용하여 현존 선박 또는 초기 단계의 자율운항선박에 적용하여 자율항해 환경을 확보하기 위한 것이다. 원격제어 시스템의 주요한 기능은 자율운항선박과 원격제어센터 사이의 송수신 데이터를 이용한 자율운항선박의 제어이고, 아울러 원격제어사관에 의한 원격조종 역시 중요한 기능이다. 본 연구의 목적은 원격제어 시스템을 개발하고, 이 시스템에서 운용하는 데이터에 관한 성능평가기법의 개발에 있다. 실험은 육상 원격제어센터와 국립한국해양대학교 실습선 ‘한나라’호 양쪽에 실험 장치를 구축한 후, 실습선의 항해 기간 중 실시하였다. 개발한 원격제어 시스템에 의해 전송한 데이터를 평가한 결과, 0.1%p 이내의 오차범위에서 데이터가 송수신됨을 확인하였고, 실습선의 항해환경이 반영된 14종의 선박정보가 송수신됨을 확인하였다. 그 결과 본 연구에서 개발한 원격제어 시스템은 원격제어의 3원칙(안전성, 신뢰성, 가용성)을 준수할 수 있음을 알았다. 본 연구는 자율운항선박 원격제어 시스템의 개발과 데이터 송수신 성능평가에 관한 핵심 기술로 적용될 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 자율운항선박, 원격제어 시스템, 운용 성능, 운용 데이터, 평가

**Abstract** : Recently, research, development, and commercialization of maritime autonomous surface ships (MASS) and remote control are in progress. Remote control is intended to secure autonomous navigation environments for existing ships or early-stage MASS using a remote control system (RCS). The main function of an RCS is to control MASS using data transmission between the MASS and the remote control centre. Remote control by a remote control officer also has an important function. The purpose of this study was to develop RCS and a performance evaluation technique for operation data provided by the RCS. The experiment was conducted during the navigation period of a training ship ‘Hannara’ after building experimental equipment at both an onshore remote control center and a training ship. As a result of evaluating data transmitted and received using the developed RCS, it was confirmed that data transmission was possible within an error range of 0.1%p. Fourteen types of ship information reflecting the navigation environment of the training ship were confirmed to be transmitted and received. The RCS developed in this work complies with the three principles of remote control: safety, reliability, and availability. This study provides a core technology for the development of RCSs for MASS and the evaluation of data transmission performance.

**Key words** : maritime autonomous surface ships, remote control system, operation performance, operation data, evaluation

### 1. 서 론

자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS)은 AI(Artificial Intelligence), IoT(Internet of Things), Big-data 등 첨단기술을 이용하여 사람(선장 또는 선원)에 의해 운행하는 유인선박을 사람이 없는 무인선박으로 전환하기 위한 선박 또는 관련 기능과 시스템을 의미한다

(IMO, 2019; MASS Code, 2023; Lee and Yim, 2023).

아울러, 자율운항선박 또는 자율운항에 필요한 시스템 및 기능에 대한 안전성과 신뢰성 검증이 인정기관(Recognized Organization, RO)을 통해서 요구되고 있다(Korean Register, 2023). 그리고 선원이 승선하지 않거나, 또는 최소인원만 승선할 것으로 예상되는 자율운항선박의 특성으로 인하여 자율운항 시스템은 3원칙(안전성, 신뢰성, 가용성)의 준수가 요구되

† Corresponding author : 종신회원, jbyim@kmou.ac.kr 051)410-4246

\* 정회원, hjkim@exstar.co.kr 02)581-1171

\*\* 정회원, sulya@kmou.ac.kr 051)410-4856

(주) 이 논문은 “자율운항선박 원격제어 시스템 개발에 관한 연구”이란 제목으로 “2022년도 해양과학기술협의회 공동학술대회 한국항해항만학회 프로그램북(제주 국제컨벤션센터 및 부영호텔, 2023.6.2-4, pp.143-144)”에 발표되었음.

고 있다(MASS Code, 2023).

MASS는 4단계 수준(level)으로 구분하는데, 현재 국내외적으로 수준2(선원은 승선하지만 일부 원격제어 가능한 수준)와 수준3(선원 승선은 최소화 또는 무인화 상황에서 원격제어 가능한 수준) 사이에서 연구개발이 진행되고 있다(Yim, 2021, Lee and Yim, 2023). 아울러, 대한민국은 2020년부터 자율운항선박 기술개발사업(해양수산부 산업통상자원부 공동, 2020년~2025년 6년간)이 진행 중이다. 이 사업은 총 13개의 세부 과제로 구성되어 있는데, 이 중에 하나가 자율운항선박의 원격제어를 구현하기 위한 육상원격제어기술개발사업이다(KASS, 2024).

원격제어는 원격지(육상 또는 다른 장소)에 있는 원격제어 센터에서 원격제어시스템을 이용하여 원격제어사관(또는 원격제어선장)에 의해서 자율운항선박을 원격으로 제어하고 운용하기 위한 것이다. 이러한 개념은 현재 논의 중인 MASS Code(2023)에 설명되어 있으나 아직까지 확정적으로 정의된 것은 없다. 아울러, 원격제어시스템은 원격지에서 선박을 제어하기 때문에 우선하여 시스템의 안전성과 신뢰성 및 가용성이 보장되어야 하고, 자율운항선박을 원격으로 제어하는 사람은 충분하고 필요한 정도의 선박조종 능력을 확보해야 한다(Song et al, 2020; Yim, 2019a; Tim, 2019b; Yim, 2021).

본 연구의 목적은 원격제어시스템을 개발하고, 이 시스템의 데이터 전송성능을 평가할 수 있는 기법을 개발하기 위한 것이다. 개발한 시스템은 국립한국해양대학교 실습선 ‘한나라’호를 이용한 실험을 통해서 검증하고 평가하였다.

## 2. 원격제어 시스템의 개발과 평가방법

### 2.1 원격제어의 구성 개념

자율운항선박의 원격제어는 4요소(MASS, Global Communications, Remote Control System, Operator)로 구성하였다. Fig. 1은 4요소로 구현한 원격제어의 구성 개념을 나타낸 것으로, Element-1은 3중 선박제어장치(Rudder, Engine, Thruster)를 이용하여 원격으로 조종하는 MASS를 나타내고, Element-2는 국제통신(Global Communications)을 나타내며, Element-3은 원격제어시스템(Remote Control System, RCS) 그리고 Element-4는 원격제어를 수행하는 원격제어사관(Operator)을 나타낸다.

자율운항선박의 지속가능한 원격제어를 위해서는 다음과 같은 4조건의 충족이 필요한데, 1) 원격제어에 관한 3원칙(안전성, 신뢰성, 가용성)의 확보, 2) MASS 제어장치의 작동성능 보장, 3) 원격제어시스템의 원격제어 적합성, 4) 원격제어사관의 원격제어에 관한 충분한 자격의 보증 등이다. 이러한 원격제어의 4조건을 만족하기 위해서는 우선하여 MASS와 육상원격제어시스템 사이에서 송수신하는 다양한 종류의 데이터에 대한 송수신 성능의 검증이 필요하다.

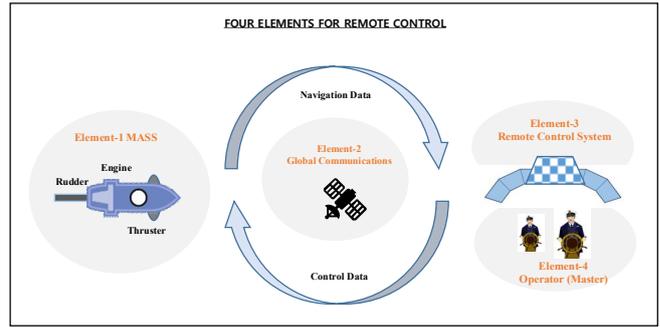


Fig. 1 Concepts for the remote control of MASS

### 2.2 원격제어시스템의 구성

Fig. 2는 3부분으로 구분하여 개발한 원격제어시스템의 구성도를 나타낸다. 선박제어시스템(Ship Control System)은 선박에 설치하여 선박을 제어하기 위한 것이고, 통신시스템(Communication System)은 선박과 육상 사이의 데이터 통신을 위한 것이며, 육상제어시스템(Shore Control System)은 육상에 있는 원격제어센터에 설치하여 원격제어를 수행하기 위한 것이다.

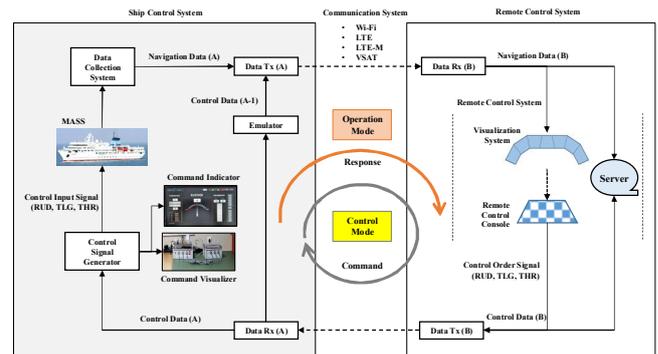


Fig. 2 Configuration of the remote control system

선박제어시스템은 다음과 같이 구성한 것으로, 데이터수집장치(Data Collection Devices), 데이터송신장치(Data Tx), 데이터수신장치(Data Rx), 선박제어신호생성장치(Ship Control Signal Generator), 육상에서 송신한 원격제어명령을 시각적으로 확인하기 위한 원격제어명령 시각화 장치(Command Visualizer)와 원격제어명령 지시장치(Command Indicator), 선박에서 수신한 원격제어데이터(Remote Control Data)를 육상으로 피드백(feed-back)하기 위한 이플래이터(Emulator) 등으로 구성하였다.

아울러, 통신시스템은 국제통신망의 구현을 위한 통신장치(Wi-Fi, LTE, LTE-M, VSAT)를 이용하여 구성하였다.

육상제어시스템의 경우는, 데이터수신장치(Data Rx), 데이터송신장치(Data Tx), 송수신 데이터의 가시화를 위한 가시화 시스템(Visualization System), 원격제어사관에 의해 원격제어명령을 생성하는 원격제어콘솔(Remote Control Console), 송수신 데이터 저장을 위한 서버(Server) 등으로 구성하였다.

또한 개발한 원격제어시스템은, 운용모드(Operation Mode)와 제어모드(Control Mode) 양쪽의 이중모드로 작동할 수 있도록 구성한 것이 특징이다. 운용모드는 주로 선박 데이터를 육상에서 수신하기 위한 것이고, 제어모드는 2가지 목적을 갖는데, 1) 선박을 제어하기 위한 원격제어데이터의 송수신과, 2) 365일 24시간 원격제어시스템의 작동여부의 평가를 위한 것이다. 이러한 이중모드는 MASS Code(2023)에 설명되어 있는 원격제어의 3원칙을 준수하기 위한 것이다.

### 2.3 원격제어시스템의 원격제어 기능

개발한 원격제어시스템의 원격제어 기능은 국립한국해양대학교 실습선 '한나라'호의 제원과 제어기능에 적합하도록 구성하였는데, 특히 실습선의 5종 선박제어장치(Rudder, Engine, Telegraph, Bow Thruster, Stern Thruster)를 원격으로 제어할 수 있도록 구성하였다. Table 1은 실습선의 제원을 나타낸다(Hanjin, 2019).

Table 1 Particulars of training ship 'HANNARA'

Particular	Description
Type of vessel	Special Purpose Ship
Displacement(ton)	9,122
Length overall(m)	133.0
Breath(m)	19.4
Speed(knots), rpm	17.7/144 (combinator mode)
Type of propeller	Controllable Pitch(CPP), 6,618 KW x 146rpm
Steering	P35 and S35 (maximum)
Engine(rpm)	144 (maximum)
Telegraph level*	11 levels
Bow Thruster(°/min), Power	25.6, 1000kW
Stern Thruster(°/min), Power	21.2, 900kW
* 5, Navigation full; 4, Full ahead; 3, Half ahead; 2, Slow ahead; 1, Dead slow ahead; 0, Stop engines; -1, Dead slow astern, -2, Slow astern, -3, Half astern, -4, Full astern, -5, Emergency astern	

실습선은 특수목적선박으로 건조된 것으로, 가변 피치 프로펠러(CPP), 선수 쓰러스터(Bow Thruster), 선미 쓰러스터(Stern Thruster) 등이 장착된 것이 특징이다. 러더의 조타각도(Steering)는 최대 P35(Port 35°)와 S35(Starboard 35°)이고, 엔진 회전수는 최대 144rpm이며, 엔진을 수준(level) 별로 제어하기 위한 텔레그래프는 11단계로 구분되어 있고, 선수 쓰러스터의 회전각은 분당 25.6°/min이고, 선미 쓰러스터의 회전각은 21.2°/min이다.

여기서 선수 쓰러스터는 선속에 의해 영향을 받는데, 0.0kts에서 100% 효과가 발생하고, 5.5kts에서 0.0%의 효과가 발생하는 특징이 있다. 아울러, 텔레그래프는 다음과 같이 11단계로 구분되어 있는데, Navigation full(5), Full ahead(4), Half ahead(3), Slow ahead(3), Dead slow ahead(1), Stop engines(0), Dead slow astern(-1), Slow astern(-2), Half astern(-3), Full astern(-4), Emergency astern(-5) 등이다. 괄호안의 숫자(5부터 0 그리고 -5)는 NMEA-0184/4 국제표

준에 의거하여 11단계의 수준을 숫자로 구분한 것이다.

Fig. 3은 실습선에 장착한 선박제어시스템 중에서 데이터 수집과 송수신장치를 나타낸다. 선박 데이터는 실습선의 VDR(Voyage Data Recorder) 전송경로에서 수집하였다. 데이터 송수신은 LTE 통신망(좌측 그림) 또는 VSAT 통신망(우측 그림)을 통해서 수행하고, 선박 데이터는 데이터 교환서버(중간 그림)를 통해 수집하였다.

Fig. 4는 육상에 구축한 육상제어시스템을 나타낸다. 좌측 그림은 원격제어를 위한 각종 정보(항해정보, 제어정보, ECDIS, Radar, CCTV 등)를 가시화하기 위한 모니터를 나타내고, 우측 그림은 원격제어콘솔을 나타낸다.

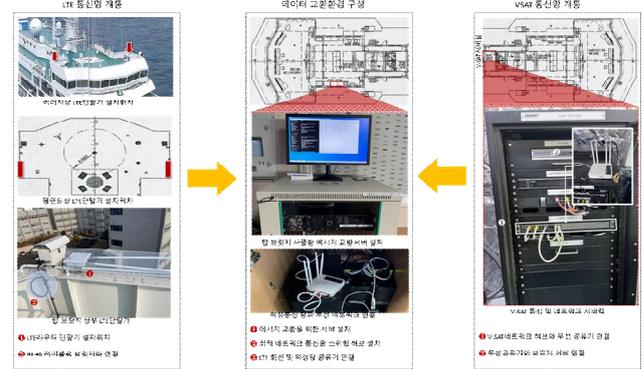


Fig. 3 Data collection system in the training ship



Fig. 4 Shore control system in the remote control centre

### 2.4 원격제어 시스템의 데이터 송수신 성능 평가방법

데이터 송수신 성능은 데이터 송수신 비율 *Ratio*(%)과 송수신 사이의 지연시간 *Delay*(second)를 이용하여 평가하고, 이들의 통계 값을 이용하여 분석하였다. *Ratio*(%)는 다음 식 (1)으로 계산하였다.

$$Ratio(t_{range}) = \frac{DV_{ship}(t_{ship})}{DV_{RCC}(t_{RCC})} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $DV_{ship}(t_{ship})$ 와  $DV_{RCC}(t_{RCC})$ 는  $t_{ship}$  시간에 선박에서 수집하여 송신한 패킷(packet) 단위의 데이터 크기와  $t_{RCC}$ 의 시간에 원격제어센터에서 수신한 패킷 단위의 데이터를 나타낸다. 아울러  $t_{range}$ 는 비율 계산 시 적용한 시간의 범위 ( $t_{ship} \leq t_{range} \leq t_{RCC}$ )을 나타낸 것으로, 이것은  $t_{ship}$ 과  $t_{RCC}$ 이 서로 다르기 때문에 이를 고려하여 비율을 계산하기 위한 것으로, 본 연구에서는  $t_{range}$ 을 1분으로 정하여 송수신 비율을 1분

당 패킷(pk/min) 단위로 평가하였다.

Delay(second)는 다음 식(2)으로 계산하였다.

$$Delay = t_{RX} - t_{TX} \quad (2)$$

여기서  $t_{RX}$ 와  $t_{TX}$ 는 원격제어센터 통신단말기의 수신시간과 선박 통신단말기의 송신시간을 각각 나타낸다.

### 3. 실험 및 결과

#### 3.1 실험 환경

실험은 2023년 11월 30일 0900시부터 1000시까지 1시간동안 부산항 남단(위도 34°57'12.6"N, 경도 129°08'51.4" E)에서 국립한국해양대학교 부두 근처(위도 35°04'50.9"N, 경도 129°05'20.7"E)까지의 해역에서 실시하였다. Fig. 5는 1시간동안 실습선 '한나라'호의 항해 경로를 나타낸다.



Fig. 5 Navigation route of training ship 'HANNARA'

#### 3.2 데이터 송수신 성능평가 결과

데이터 송수신 성능은 선박데이터 송수신을 위한 운용모드(Operation Mode)와 제어데이터 송수신을 위한 제어모드(Control Mode)로 구분하여 평가하였다.

Table 2는 운용모드와 제어모드 각각에 대한 4항목(Delay, DV-TX, DV-RX, Ratio)의 평가결과를 나타낸다. Delay는 송수신 지연시간(second)을 나타내고, DV-TX와 DV-RX는 송신과 수신 데이터의 크기(pk/min)를 각각 나타내며, Ratio는 DV-TX와 DV-RX의 비율(%)을 나타낸다. 아울러 4항목 각각은 4통계(최대 Max, 최소 Min, 평균 Mean, 표준편차 Std)를 이용하여 분석하였다.

먼저, 운용모드(Operation Mode)에 의한 데이터 송수신 성능을 보면, 송수신 지연시간은 최대 1.69초, 최소 0.69초, 평균(표준편차) 0.75초(0.24초) 등으로 나타났다. 송신과 수신 데이터의 크기는 동일하게 최대 59pk/min, 최소 58pk/min 등으로 나타났고, 그 결과 송수신 비율은 최대 100%, 최소 100%, 평균 100.3%로 나타났다. 한편 100.03%의 평균 비율은 100%와

비교하여 0.03 퍼센트 포인트(%p) 차이가 발생하는데, 이 차이는 0.75초의 평균지연시간으로 인하여 발생한 것으로 고려된다.

다음으로 제어모드(Control Mode)에 의한 데이터 송수신 성능을 보면, 지연시간은 최대 3.0초, 최소 0.0초, 평균(표준편차) 0.15초(0.36초) 등으로 나타났다. 송신과 수신 데이터 크기는 동일하게 최대 393pk/min, 최소 360pk/min 등으로 나타나서 송수신 비율은 최대와 최소 모두 100%로 나타났다.

Table 2 Statistics on data transmission

Factor	Operation Mode				Control Mode			
	Delay	DV-TX	DV-RX	Ratio	Delay	DV-TX	DV-RX	Ratio
Max	1.69	59	59	100	3	393	393	100
Min	0.69	58	58	100	0	360	360	100
Mean	0.75	58.96	58.98	100.03	0.15	375.35	375.35	100
Std	0.24	0.19	0.13	-	0.36	7.68	7.83	-

Remarks: Max, Maximum; Min, Minimum; Std, Standard deviation. Units: Delay is second, DV-TX and DV-RX are pk/min, Ratio is percentile(%).

위의 평가결과, 운용모드와 제어모드 양쪽 모두 0.1%p 이내의 오차범위에서 100% 데이터 송수신이 가능하고 지연시간은 평균 1.0초 이내에서 발생함을 확인하였다. 한편, 운용모드에서 송수신 데이터의 최대 크기는 59pk/min로서 1초에 0.98패킷(59패킷/60초)을 송수신하고, 제어모드의 경우 최대 크기는 393pk/min로서 1초에 6.55패킷(393패킷/60초)을 송수신하는 것으로 나타났다. 이러한 차이가 발생한 이유는 다음과 같다.

운용모드는 선박에서 수집한 방대한 데이터 중에서 14종의 숫자 정보는 1패킷에 담아서 1초 이내의 간격으로 전송하고, 영상정보(Radar, CCTV)와 AIS 정보는 데이터의 양이 방대하여 별도의 통신채널을 이용하여 송신한다. 이에 반하여 제어모드는 원격제어를 위한 5종의 제어정보(Rudder, Engine, Telegraph, Bow Thruster, Stern Thruster)를 1패킷에 담아서 0.2초 이내의 간격으로 전송한다. 그래서 운용모드와 제어모드의 송수신 데이터 크기가 서로 다른 것인데, 이것은 통신망(LTE, VSAT 등)의 전송능력을 고려하여 데이터를 안정적으로 송수신하기 위한 것이다.

Fig. 6은 1시간동안 운용모드와 제어모드 각각에 의해서 송수신한 데이터의 평가결과를 시간경과에 따라서 나타낸 것이다. 상단 그림은 지연시간을 나타내고, 중간 그림은 송신 데이터 크기, 하단의 그림은 수신 데이터 크기를 나타낸다.

지연시간은 시간에 따라서 운용모드와 제어모드 양쪽 모두 0.0초 부근에서 안정적으로 나타나고, 송신과 수신 데이터의 크기 역시 시간에 따라서 약간의 변동을 갖고 안정적으로 송수신됨을 볼 수 있다.

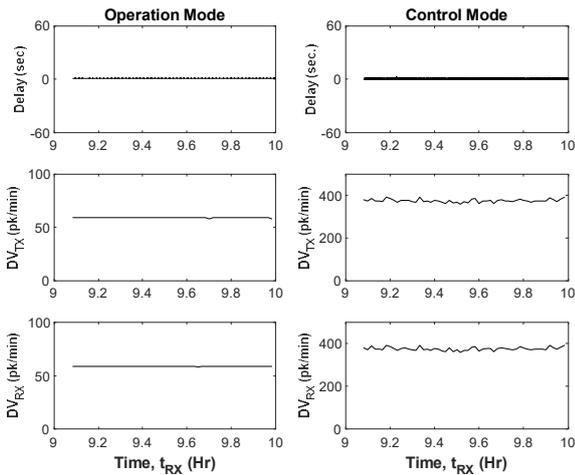


Fig. 6 Data transmission performance for each operation mode and control mode

### 3.3 운영모드에 의해 송수신한 14종 선박정보의 분석

Table 3은 운용모드를 이용하여 선박에서 송신하고 원격제어센터에서 수신한 14종 선박정보의 통계결과를 나타낸다. 14종 선박정보 각각에 대한 평가는 수신 데이터 횟수(n)와 4통계 값(최대, 최소, 평균, 표준편차)을 이용하여 분석하였다.

송수신한 14종 선박정보는 다음과 같다. HD는 광섬유 자이로컴퍼스(Fiber Optic Gyrocompass)를 이용하여 측정된 선수방위(°), ROT는 선회율(°/min), COG1은 선수방위에 의해 추정된 대지코스(°), COG2는 측위정보에 의해 추정된 대지코스(°), STW는 속력측정 장치를 이용하여 측정된 대수속력(knot), SOG2는 측위정보에 의해 추정된 대지속력(knot), Depth는 수심측정 장치를 이용하여 측정된 수심(meter), W-SPD는 풍속(knot), W-DIR는 풍향(°), Rudder는 러더각도(°), ENG-RPM은 엔진회전수(rpm), TLG-Level은 텔레그래프 수준, THR-Bow은 선수 쓰러스터의 분당 각도(°/min), THR-Stern은 선미 쓰러스터의 분당 각도(°/min)를 나타낸다.

먼저 데이터 횟수(n)를 분석하면 다음과 같다.

1) 선미와 선수 쓰러스터(THR-Bow, THR-Stern)를 제외한 12종 정보는 1시간동안 최소 3167회와 최대 3244회 수신하여 초당 최소 0.88회와 최대 0.9회의 빈도로 나타났다.

2) 쓰러스터는 THR-Bow(1770회)와 THR-Stern(1474회)가 서로 번갈아 가면서 선박에서 전송하는데 이 둘의 횟수를 더

하면 3244회(1770회 + 1474회)로서 다른 12종 정보들의 횟수와 유사하다.

분석결과, 14종 정보 모두 1초에 1회 이내의 빈도로 수신됨을 확인하였다. 다음으로 14종 선박정보 중에서 일부 중요한 정보의 통계 값을 분석하면 다음과 같다.

1) 선수방위(HD)는 최대 2297.1° 최소 0° 그리고 평균(표준편차) 155.82°(150.64°) 등으로 나타나서 선수방위 변화가 크게 나타났다. 특이한 것은 최댓값이 2297.1°로서 선박의 선수방위 범위(0.0°~359.9°)를 벗어나는 비정상적인 값이 나타났는데, 이것은 광섬유 자이로컴퍼스의 순간적인 오차 또는 데이터 처리과정에서의 오류 또는 데이터 송수신 과정에서 개입된 순간적인 잡음 등에 의해서 발생한 것으로 고려된다.

2) 수심(Depth)은 최대 90.1m과 최소 8.1m로 나타나서 실습선이 수심이 깊은 해역에서 낮은 해역으로 이동 중임을 나타낸다.

3) 러더각도(Rudder)는 최대 14.7°와 최소 -35.4°(즉 Hard Port)로 나타나서, 선박의 러더각도 범위(-35.0°~35.0°)에 대해 최댓값은 이 범위에 있으나, 최솟값은 0.4° 초과한다.

4) 엔진회전수(ENG-RPM)는 최대 132.4rpm과 최소 64.7rpm으로 나타나서 선박 엔진회전수의 범위(-144rpm~144.0rpm)에 있는 것으로 나타났다.

4) 텔레그래프 수준(TLG-Level)은 최대 4(Full Ahead)와 최소 0(Stop Engine) 등으로 나타나서 선박의 텔레그래프 수준 범위(-5~5)에 있다.

분석결과, 수신한 선박정보는 선수방위의 비정상 최댓값과 러더각도의 최솟값을 제외하고 수심이 깊은 곳에서 낮은 곳으로 이동 중인 실습선의 항해상황이 반영되었음을 확인하였다.

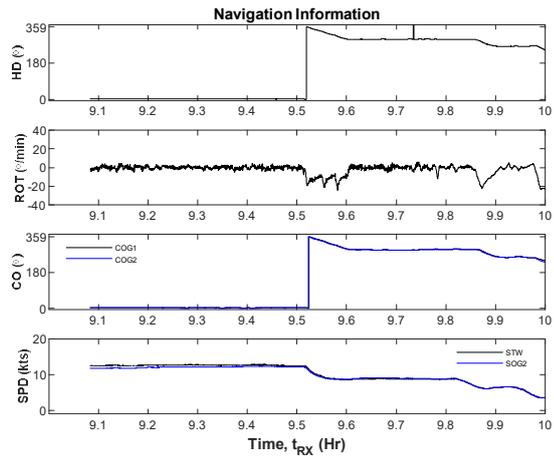
Fig. 7의 (a), (b), (c)는 1시간동안 수신한 14종 선박정보를 시간경과에 따라서 나타낸 것으로, (a)는 6종 항해정보(선수방위, 선회율, 대지코스1, 대지코스2, 대수속력, 대수속력2)를 나타내고, (b)는 3종 환경정보(수심, 풍향, 풍속)를 나타내며, (c)는 5종 선박조종정보(러더각도, 엔진 RPM, 텔레그래프 수준, 선수 쓰러스터 각도, 선미 쓰러스터 각도)를 나타낸다.

Fig. 7(a)에서, 선수방위(HD)는 9.7시~9.8시 사이에서 피크 값이 발생하고, 다른 정보들은 9.5시 이후부터 심하게 변하는 양상을 볼 수 있다. Fig. 7(b)에서 9.5시를 전후하여 심하게 변하는 양상을 볼 수 있고, Fig. 7(c) 역시 9.5시 전후에서 심하게 변하는 양상을 볼 수 있다.

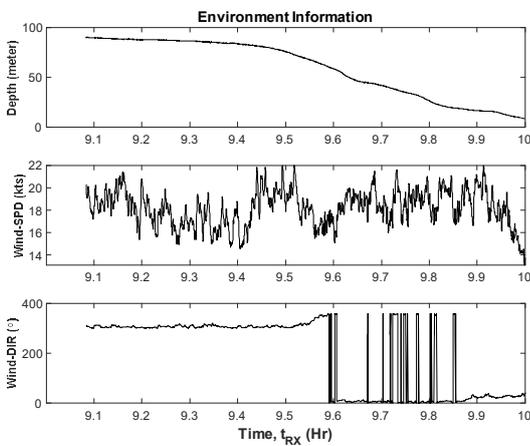
Table 3 Statistics on 14 types of ship information transmitted and received using operation mode

Factor	HD	ROT	COG1	COG2	STW	SOG2	Depth	W-SPD	W-DIR	Rudder	ENG-RPM	TLG-Level	THR-Bow	THR-Stern
n	3242	3244	3244	3244	3167	3244	3235	3244	3244	3244	3244	3244	1770	1474
Max	2297.1	6	359.6	359.8	12.8	12.396	90.1	22	359.9	14.7	132.4	4	2.9	4.8
Min	0	-24.2	0	0.1	3.5	3.43	8.1	13.1	0	-35.4	64.7	0	-15.5	-3
Mean	155.82	-2.17	151.99	152.20	10.10	9.91	58.94	18.19	194.16	-0.86	120.14	3.14	0.07	0.05
Std	150.64	5.44	144.44	144.26	2.63	2.38	28.39	1.59	147.98	7.58	17.57	1.06	1.70	0.27

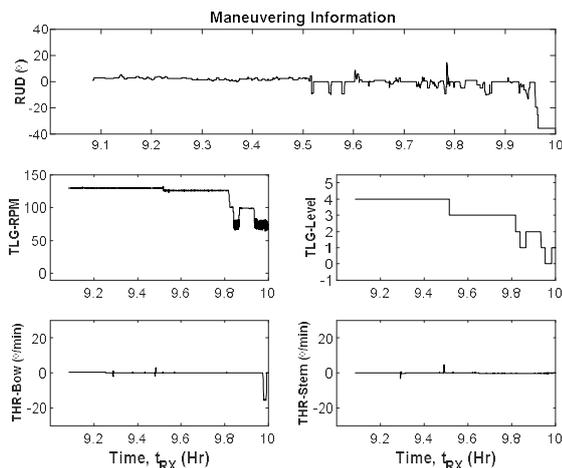
Remarks: n, number of data; Max, Maximum; Min, Minimum; Std, Standard deviation, HD, Heading(°); ROT, Rate Of Turn(°/min); COG1, Course Of Ground1(°); COG2, Course Of Ground2(°); STW, Speed To Water(kts); SOG2, Speed Of Ground2(kts); Depth, bottom clearance(m); W-SPD, Wind speed(kts); W-DIR, Wind direction(°); Rudder, Rudder angle(°); ENG-RPM, Engine RPM(rpm); TLG-Level, Telegraph Level; THR-Bow, Bow Thruster angle(°/min); THR-Stern, Stern Thruster angle(°/min)



(a)



(b)



(c)

Fig. 7 Fourteen types of ship information according to time. (a) 6 types of navigation information, (b) 3 types of environmental information, (c) 5 types of maneuvering information

## 4. 결 론

본 연구에서는 현재 논의가 진행 중인 MASS Code에 제시된 3원칙(안전성, 신뢰성, 가용성)을 만족할 수 있는 자율운항선박의 원격제어시스템을 개발하고 데이터 송수신 성능을 평가하였다. 평가결과는 다음과 같다.

1) 데이터 송수신 성능은 0.1%p의 오차범위에서 100% 송수신이 가능함을 확인하였다.

2) 지연시간의 경우, 운용모드에서 최대 1.69초, 최소 0.69초, 평균(표준편차) 0.75초(0.24초) 등으로 나타났고, 제어모드에서는 최대 3.0초, 최소 0.0초, 평균(표준편차) 0.15초(0.36초) 등으로 나타났다.

3) 14종 선박정보는 실습선의 항해상황이 반영된 정보의 실시간 수신에 가능함을 확인하였다.

연구결과, 개발한 원격제어시스템은 실제 선박의 원격제어에 적용 가능한 것으로 나타났다. 본 연구에서 제안한 원격제어 시스템의 성능평가 방법은 현재 국내외적으로 개발되고 있는 원격제어에 관한 기반기술로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 추후 실제 해상에서 선박에 대한 원격제어 실험을 진행할 예정이다.

## 후 기

이 논문은 2024년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 ‘자율운항선박 기술개발사업(20200615, 자율운항선박 육상제어 기술개발)’의 연구결과입니다.

## References

- [1] Hanjin(2019), Maneuvering Booklet of HANNARA, Hanjin Heavy Industries & Construction, pp. 1-28.
- [2] IMO(2019), MSC.1/Circ.1604, June 2019, Interim Guidelines for MASS Trials.
- [3] IMO(2013), RO Code 2013.
- [4] KASS(2024), Korea Autonomous Surface Ship Project, <https://www.kassproject.org>.
- [5] Korean Register(2023), Guidance for Autonomous ships, p. 1.
- [6] Lee, H. W. and Yim, J. B.(2023), "Identifying Analog Gauge Needle Objects Based on Image Processing for a Remote Survey of Maritime Autonomous Surface Ships", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 47, No. 6, pp. 410-418.
- [7] MASS Code(2023), Draft International Code of Safety for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS)

CODE), September 8th, 2023 (underway).

- [8] Song, J. Y., Lee, C. K. and Yim, J. B.(2020), "Fundamental Study on Invasion Area of Ship Domain Near Breakwater", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 26, No. 6, pp. 594-600.
- [9] Yim, J. B.(2019a), "Estimating the Behavior Path of Seafarer Involved in Marine Accidents by Hidden Markov Model", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 3, pp. 160-165.
- [10] Yim, J. B.(2019b), "Analysis of Seafarers' Behavioral Error on Collision Accidents", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43, No. 4, pp. 237-242.
- [11] Yim, J. B.(2021), "Effect of Turning Characteristics of Maritime Autonomous Surface Ships on Collision Avoidance", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 45, No. 6, pp. 298-305.

---

Received 26 April 2024

Revised 08 May 2024

Accepted 08 May 2024