

표준해사통신용어를 이용한 자율운항선박 원격운용자의 적합성 평가방법

노화섭* · † 임정빈

*한국해양대학교 산학연구교수, † 한국해양대학교 해사인공지능·보안학부 교수

Suitability Evaluation Method for Remote Operator of Maritime Autonomous Surface Ships Using Standard Marine Communication Phrases

Hwa-Sop Roh* · † Jeong-Bin Yim

*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 : 현재 개발이 논의 중인 MASS 코드에 의하면, 자율운항선박의 원격제어는 현존 선박과 유사하게 원격선장의 구두명령을 원격운용자가 추종하여 수행할 것으로 고려된다. 한편, 원격제어의 핵심 이슈는 현존 선박을 이용한 해상실증인데, 아직까지 관련 국제법의 미비로 인하여 실제 해상실증은 어려운 상황이다. 본 연구의 목적은 실제로 선박을 원격으로 제어하지 않고 원격운용자의 제어적합성을 평가하기 위한 방법을 개발하기 위한 것으로, 핵심 아이디어는 표준해사통신용어를 이용한 것이다. 본 연구에서 제안한 방법은 2가지 명령(선박 제어, 원격운용자 추종)을 평가 변수로 이용한 것인데, 이들 명령은 2가지 값(선박의 제어 값, 원격운용자의 추종 값)을 표준해사통신용어를 이용하여 변환시킨 것이다. 제안한 방법은 원격제어시스템을 이용한 실험을 통해서 검증하였는데, 이 원격제어시스템은 국립한국해양대학교의 실습선 ‘한나라’호의 원격제어에 적합하도록 구성한 것이다. 실험결과, 원격운용자의 제어적합성은 실습선의 제어장치 각각에 대해서 평가할 수 있음을 확인하였고, 이를 통해 원격운용자에게 필요한 교육훈련의 정도를 평가할 수 있었다. 본 연구는 실제 선박에 대한 원격제어 실험을 통하지 않고, 원격운용자의 제어적합성을 안전하고 빠르게 평가할 수 있는 기법으로 적용될 것이 기대된다.

핵심용어 : 자율운항선박, 원격제어, 원격운용자, 적합성 평가, 표준해사통신용어

Abstract : According to the draft of the MASS Code, which is currently under development, the remote control of maritime autonomous surface ships is to be performed by a remote operator following the remote captain’s orders, similar to existing ships. Meanwhile, a core issue of remote control is the verification at sea using existing ships; however, actual tests for this verification are challenging due to the lack of relevant international law. The purpose of this study is to develop a suitability assessment method for remote operators without actually controlling the ship. The key idea is to use Standard Marine Communication Phrases (SMCP). The method proposed in this study employs two control commands (ship control and remote operator tracking) as evaluation variables. These commands are converted into two values (ship control value and remote operator tracking value) using SMCP. The proposed method was verified through an experiment using a remote control system configured to be suitable for the remote control of the training ship ‘Hannara’ at Korea National Maritime and Ocean University. Results from the experiment confirmed that the remote operator’s suitability could be evaluated for each control device of the training ship, allowing for an assessment of the education and training required for the remote operator. This study is expected to serve as a technique that can safely and quickly evaluate the suitability of remote operators without conducting remote control experiments on actual ships.

Key words : maritime autonomous surface ships, remote control, remote operator, suitability evaluation, standard marine communication phrases

1. 서 론

현재, 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS)에 관한 원격제어의 상용화가 국제적으로 급속히 추진 중이고, 한국 역시 상용화 단계의 연구 개발이 진행 중이다 (Yim, 2021; Kim, et al, 2023). 아울러, 원격제어에 대한 요구

성과와 기능에 대해서는 아직 국제적으로 확립된 것은 없으나, 현재 논의 중인 MASS Code 초안(2023)에 의하면 원격제어는 3원칙(안전성, 신뢰성, 가용성)의 준수가 요구되고, MASS의 원격운용을 위한 선원(remote crew)은 현존 선박과 유사하게 원격선장(remote master)과 원격운용자(remote operators) 그리고 책임자(responsible persons) 등으로 구성하

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

* 정회원, sulya@kmou.ac.kr 051)410-4856

는 것으로 나타나 있다(IMO, 2021; IACS, 2022).

이에, 원격제어는 현존 유인 선박과 유사한 형태로 운용될 것으로 고려된다. 또한, 기존 선박은 표준해사통신용어(Standard Marine Communication Phrases, SMCP)(IMO, 2001)에 의거한 구두명령(order)을 이용한다는 점을 고려하면, 자율운항선박의 원격제어 역시 이러한 구두명령에 의해서 운용될 것으로 고려된다. 아울러, 현존 선박을 대상으로 원격제어를 실증하는 경우, 위험하고 많은 시간과 비용이 걸리는 문제가 있다. 이러한 문제 해결을 위해서는 실제 선박에 대한 원격제어를 수행하지 않고 원격운용자를 평가할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 SMCP에 의거하여 구분한 제어명령을 이용하여 원격운용자의 원격제어 적합성을 평가할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 국립한국해양대학교 실습선 ‘한나라’호의 원격제어에 적합하도록 구축한 원격제어시스템을 이용하여 검증하였다.

2. 이론적 배경

2.1 표준해사통신용어

표준해사통신용어(SMCP)는 선박과 육상 또는 선박과 선박 사이의 안전하고 명확한 통신용어 사용을 목적으로 개발된 것이다(IMO, 2002). Table 1은 12종으로 구분된 조타 구두명령(order)을 나타내고, Table 2는 8종의 엔진 구두명령과 3종의 쓰러스터(thruster) 구두명령을 나타낸다. 본 연구에서는 이러한 구두명령을 실습선의 각 제어장치의 특성에 적합한 제어명령으로 구분하여 적합성을 평가하였다. 여기서 구두명령(order)은 소리를 이용한 명령을 의미하고, 제어명령(command)은 구두명령 또는 어떠한 수단에 의해서 제어장치에 가해진 명령(또는 값)을 의미한다.

Table 1 Standard wheel orders (SMCP A2/1)

A2/1 Standard Wheel Orders	
Order	Meaning
1. Midships	Rudder to be held in the fore and aft position.
2. Port / starboard five	5 of port / starboard rudder to be held.
3. Port / starboard ten	10 of port / starboard rudder to be held.
4. Port / starboard fifteen	15 of port / starboard rudder to be held.
5. Port / starboard twenty	20 of port / starboard rudder to be held.
6. Port / starboard twenty-five	25 of port / starboard rudder to be held.
7. Hard -a-port / starboard	Rudder to be held fully over to port / starboard.
8. Nothing to port/starboard	Avoid allowing the vessel's head to go to port/starboard
9. Meet her	Check the swing of the vessel's head in a turn.
10. Steady	Reduce swing as rapidly as possible.
11. Ease to five / ten / fifteen / twenty	Reduce amount of rudder to 5/10 /15/ 20 and hold.
12. Steady as she goes	Steer a steady course on the compass heading indicated at the time of the order.

Order examples for course to be steered: Port, steer one eight two = 182; Starboard, steer zero eight two = 082; Port, steer three zero five = 305

Table 2 Standard engine and thruster orders (SMCP A2/2)

A2/2 Standard Engine Orders	
1. (Port / starboard engines) Full ahead / astern	
2. (Port / starboard engines) Half ahead / astern	
3. (Port / starboard engines) Slow ahead / astern	
4. (Port / starboard engines) Dead slow ahead / astern	
5. Stop (port / starboard) engines	
6. Emergency full ahead / astern	
7. Stand by engine	
8. Finished with engines - no more manoeuvring.	
A2/2 Standard Engine Orders - Standard Thruster orders	
9. Bow thruster full / half to port / starboard.	
10. Stern thruster full / half to port / starboard.	
11. Bow / stern thruster stop	

2.2 선박 제원을 고려한 구두명령의 구분

원격운용자의 제어적합성 평가변수는 국립한국해양대학교 실습선 ‘한나라’호의 5종 제어장치(러더, 엔진, 텔레그래프, 선수 및 선미 쓰러스터)의 제원과 SMCP의 구두명령 양쪽을 고려하여 구분한 제어명령을 이용하였다. Table 3은 실습선 ‘한나라’호의 제원(Hanjin, 2019)을 나타낸다.

Table 3 Particulars of training ship ‘HANNARA’

Particular	Description
Type of vessel	Special Purpose Ship(SPS)
Displacement(ton)	9,122
Length overall(m)	133.0
Breadth(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) ¹⁾ , Combinator mode	144 (maximum)
Telegraph level	11 levels
Bow Thruster(°/min) ²⁾ , Power	25.6, 1000kW
Stern Thruster(°/min), Power	21.2, 900kW

1) Engine: Navigation full, 141.0; Full ahead, 130.0; Half ahead, 126.0; Slow ahead, 100.0; Dead slow ahead, 73.0; Stop engines, 0.0; Dead slow astern, 110.0; Slow astern, 121.0; Half astern, 127.0; Full astern, 135.0; Emergency astern, 141.0; 2) Bow Thruster: 0.0kts, 100%; 4.1kts, 75%; 4.9kts, 50%; 5.2kts, 25%; 5.5kts, 0.0%

실습선의 5종 제어장치들의 특징은 다음과 같다.

1) 러더의 조타각도는 최대 P35(Port 35°)와 S35(Starboard 35°)이다. 2) 엔진 회전수는 결합모드(Combinator mode)에서 최대 144rpm인데, 총 11단계의 텔레그래프 제어명령에 따라 구분된 엔진회전수의 경우 전진(Ahead)의 단계별 회전수와 후진(Astern)의 단계별 회전수가 부분적으로 동일하지 않은 것이 특징이다(Table 3 하단에 설명). 3) 엔진을 수준(level)별로 제어하기 위한 텔레그래프는 11단계로 구분되어 있다. 4) 선수 쓰러스터의 회전각은 분당 25.6°/min이고, 선미 쓰러스터의 회전각은 21.2°/min이다. 이러한 선수 쓰러스터는 선속(kts)에 따라서 효과가 변하는데, 0.0kts에서 100% 효과가 발생하고, 5.5kts에서 0.0%의 효과가 발생한다(Table 3 하단에 설명).

2.2.1 러더 명령의 구분

Table 4는 총 13구간으로 구분한 러더명령에 관한 약자(Abb.)와 각 구간의 러더각도의 범위(Range) 및 기준 값(v_r)을 나타내고, 비고(Remarks)는 약자에 대한 SMCP 문구(phrases)를 나타낸다.

러더각도의 범위(Range, R(°))는 실습선에서 출력된 러더각도를 13구간의 명령으로 구분하기 위한 것으로, 각 구역의 상한 값과 하한 값은 NMEA-0183/4 표준 형식에 의거하여 좌현(Port)은 네거티브(-) 값으로 그리고 우현(starboard)은 포지티브(+) 값으로 나타낸 것이고, -Max와 Max는 실습선 러더각도 출력 값의 port 최댓값과 starboard 최댓값을 각각 나타낸다. 아울러 기준 값(v_r)은 각 구간에 대한 성능평가 계산을 위해 각 구간을 대표할 수 있는 중간 값을 포지티브(+) 값으로 정한 것인데, 특히, MS(midships)의 경우는 범위(-2.5<R<2.5)의 중간 값(0.0°)으로 정한 것이 아니라 범위의 상한 또는 하한의 절대 값(2.5°)으로 정한 것으로, 이것은 후술하는 성능평가 계산과정에서 불능(n/0) 또는 부정(0/0)의 문제를 해결하기 위한 것이다.

Table 4 Thirteen commands for rudder

No.	Abb.	Range, R(°)	v_r (°)
1	HP	-Max ≤ R ≤ -27.5	30
2	P25	-27.5 < R ≤ -22.5	25
3	P20	-22.5 < R ≤ -17.5	20
4	P15	-17.5 < R ≤ -12.5	15
5	P10	-12.5 < R ≤ -7.5	10
6	P5	-7.5 < R ≤ -2.5	5
7	MS	-2.5 < R < 2.5	2.5
8	S5	2.5 ≤ R < 7.5	5
9	S10	7.5 ≤ R < 12.5	10
10	S15	12.5 ≤ R < 17.5	15
11	S20	17.5 ≤ R < 22.5	20
12	S25	22.5 ≤ R < 27.5	25
13	HS	27.5 ≤ R ≤ Max	30

Remarks: HP, Hard-a-port; P25, Port twenty-five; P20, Port twenty; P15, Port fifteen; P10, Port ten; P5, Port five; MS, Midships; S5, Starboard five; S10 Starboard ten; S15 Starboard fifteen; S20, Starboard twenty; S25, Starboard twenty-five; HS, Hard-a-starboard

2.2.2 엔진과 텔레그래프 명령의 구분

Table 5는 11구간으로 구분한 엔진과 텔레그래프의 명령을 나타낸다.

엔진회전수와 텔레그래프 수준의 범위(Range)는 NMEA-0183/4 표준형식에 의거하여 전진(Ahead, AH)은 포지티브(+) 값으로 그리고 후진(Astern, AS)은 네거티브(-) 값으로 나타낸 것으로, Max와 -Max는 실습선 엔진회전수 출력 값의 전진 최댓값과 후진 최댓값을 각각 나타낸다. 아울러, 엔진의 STP(Stop)에 대한 기준 값은, 성능평가 계산과정에서 불능(n/0) 또는 부정(0/0)의 문제를 해결하기 위하여 범위(-55.5<R<36.5)의 중간 값(0.0rpm)으로 정한 것이 아니라 범위의 상한 또는 하한의 절대 값(46.0rpm)으로 정한 것이고, 텔레그래프 역시 절대 값(0.5)으로 정한 것이다.

Table 5 Eleven commands for engine and telegraph

No.	Abb.	Engine	v_r (rpm)	Telegraph	
		Range, R(rpm)		Level	v_r
1	AH-NF	135.5 ≤ R ≤ Max	141	5	5
2	AH-FU	128.0 ≤ R < 135.5	130	4	4
3	AH-HF	113.0 ≤ R < 128.0	126	3	3
4	AH-SL	86.5 ≤ R < 113.0	100	2	2
5	AH-DS	36.5 ≤ R < 86.5	73	1	1
6	STP	-55.5 < R < 36.5	46.0	0	0.5
7	AS-DS	-115.5 < R ≤ -55.5	110	-1	1
8	AS-SL	-124.0 < R ≤ -115.5	121	-2	2
9	AS-HF	-131.0 < R ≤ -124.0	127	-3	3
10	AS-FU	-138.0 < R ≤ -131.0	135	-4	4
11	AS-CR	-Max ≤ R ≤ -138.0	141	-5	5

Remarks: AH-NF, Navigation full ahead; AH-FU, Full ahead; AH-HF, Half ahead; AH-SL, Slow ahead; AH-DS, Dead slow ahead; STP, Stop engines; AS-DL, Dead slow astern; AS-SL, Slow astern; AS-HF, Half astern; AS-FU, Full astern; AS-EM, Emergency astern.

2.2.3 쓰러스터 명령의 구분

Table 6은 5구간으로 구분한 선수와 선미 쓰러스터의 명령을 나타낸다. 아울러, 선수와 선미 쓰러스터의 STP(Stop)에 대한 기준 값 역시 성능평가 계산과정에서 불능(n/0) 또는 부정(0/0)의 문제를 해결하기 위하여 범위의 중간 값이 아니라 상한 또는 하한의 절대 값(6.4°/min과 5.3°/min)으로 정한 것이다.

Table 6 Five commands for bow and stern thrusters

No.	Abb.	Bow thruster	v_r (°/min)	Stern thruster	
		Range, R(°/min)		Range, R(°/min)	v_r (°/min)
1	P-FU	19.2 ≤ R ≤ Max	25.6	15.9 ≤ R ≤ Max	21.2
2	P-HF	6.4 ≤ R < 19.2	12.8	5.3 ≤ R < 15.9	10.6
3	STP	-6.4 < R < 6.4	6.4	-5.3 < R < 5.3	5.3
4	S-HF	-19.2 < R ≤ -6.4	12.8	-15.9 < R ≤ -5.3	10.6
5	S-FU	-Max ≤ R ≤ -19.2	25.6	-Max ≤ R ≤ -15.9	21.2

Remarks: P-FU, Full to port; P-HF, Half to port; STP, Stop; S-HF, Half to starboard; S-FU, Full to starboard

2.3 명령구간을 이용한 원격운용자의 적합성 평가방법

명령구간을 이용한 원격운용자의 적합성은 각 명령구간에 대한 원격운용자의 추종성능 P(%)를 이용하여 평가하였다. P(%)는 다음 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$P(k, j) = [v_r(k, j) - v_d(k, j)] / [v_r(k, j)] \times 100 \quad (1)$$

여기서 $v_r(k, j)$ 는 $k(k=1, 2, \dots, K; K=5)$ 의 선박제어장치 각각에 대해서 $j(j=1, 2, \dots, J_k)$ (J_k 는 k 에 따라 다름)의 명령구간 별 기준 값을 나타내고, 선박제어장치(k)는 $k=1$ 러더, $k=2$ 엔진, $k=3$ 텔레그래프, $k=4$ 선수 쓰러스터, $k=5$ 선미 쓰러스터 등을 나타내고, 명령구간 수(J_k)는 k 에 따라 다른 것으로 $J_{k=1}=13, J_{k=2}=11, J_{k=3}=11, J_{k=4}=5, J_{k=5}=5$ 이다. 그리고 $v_d(k, j)$ 는 선박의 명령과 추종결과 사이의 차이를 각 명령구간 별 기준 값을 이용하여 환산한 것으로 다음 식(2)을 이용하여 구하였다.

$$v_{diff}(k, j) = [R_{ship}(k, j) - R_O(k, j)] \times v_{ref}(k, j) \quad (2)$$

여기서 $R_{ship}(k, j)$ 와 $R_O(k, j)$ 는 (k, j) 의 선박 명령 수의 비

율과 추종 수의 비율을 각각 나타낸 것으로, 다음 식(3)을 이용하여 계산한 것이다.

$$\begin{cases} R_{ship}(k,j) = N_{ship}(k,j) / [\sum_{j=1}^{J_k} N_{ship}(k,j)] \\ R_O(k,j) = N_O(k,j) / [\sum_{j=1}^{J_k} N_O(k,j)] \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $N_{ship}(k,j)$ 와 $N_O(k,j)$ 은 선박의 명령 수와 추종 수를 각각 나타내고, 각 식의 우측의 분모 항은 제어명령 수와 추종 수의 합을 나타낸다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험 환경과 평가 방법

실험은 2023년 11월 30일 1시간동안(0900시 ~ 1000시) 실습선이 부산항 남단(위도 34°57'12.6"N, 경도 129°08'51.4" E)에서 실습선 부두(위도 35°04'50.9"N, 경도 129°05'20.7"E)까지 항해하는 해역에서 수행하였다.

Fig. 1은 실험 당일 한국해양대학교 실습선이 부두에 입항하는 모습을 나타내고, Fig. 2는 실험에 이용한 원격제어시스템을 나타낸다.



Fig. 1 Scene of the training ship entering the quay



Fig. 2 Remote control system used in the experiments

실험 및 평가방법은 다음과 같다.

- Step 1: 실습선 ‘한나라’호의 5종 제어장치들에 대한 실제 출력 값을 육상 원격제어센터에 구축한 원격제어시스템을 이용하여 획득한다.
- Step 2: ‘한나라’호의 5종 제어장치들의 출력 값을 원격운용자가 지속적으로 추종한 후, 이 추종결과를 추종 데이터로 변환한다. 실험에 참여한 원격운용자는 한국해양대학교 박사과정 재학생으로 선박 승선 7년중 17개월간 선장으로 근무하였다.
- Step 3: 원격제어센터와 선박 사이에서 추종 데이터의 송수신을 반복한다.
- Step 4: 위의 과정에서 획득한 실습선의 5종 출력 값과 원격운용자의 5종 추종 값 양쪽을 제어명령으로 구분한다.
- Step 5: 5종 제어장치 별로 각 명령구간에 대한 운용자의 적합성능을 위의 식(1)을 이용하여 계산하고 분석한다.

3.2 운용자의 적합성 평가 결과

Fig. 3은 실습선의 리더명령에 대한 원격운용자의 추종결과를 나타낸다. 상단 그림은 실습선과 원격운용자 양쪽에 대한 명령구간의 비율을 나타내고, 하단 그림은 명령구간 별 각도차이를 나타낸다. 그림을 보면, 비율(Ratio(%))은 MS(Midships)가 가장 크고, 이어서 S5, P5, P10 또는 HP의 순위로 나타난다. 각도차이(d-Angle(°))는 P5, MS, S5에서 크게 발생한다.

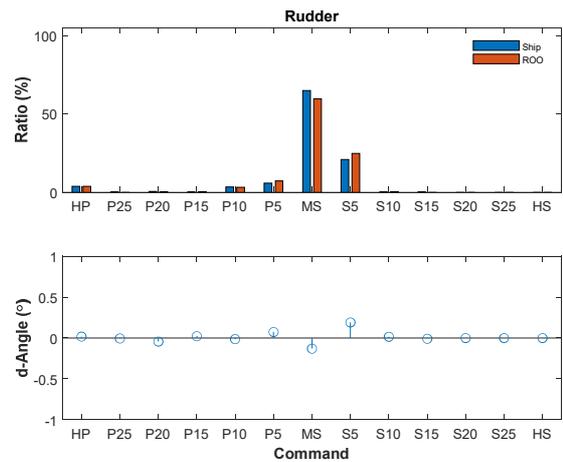


Fig. 3 Ratio and differences for rudder control commands

Table 7은 리더명령구간에 대한 원격운용자의 추종성능 평가결과를 나타낸다.

명령발생 횟수(n)와 비율(Ratio(%))을 보면, 선박은 HP와 S15 사이에서 총 3244회 발생하고, 비율의 순위는 MS(64.95%), S5(21.02%), P5(5.86%), HP(3.82%) 등으로 나타났다. 운용자의 추종명령은 HP와 S10 사이에서 총 5130회 발생하고 비율의 순위는 MS(59.75%), S5(24.83%), P5(7.33%), HP(3.88%) 등으로 나타났다. 이와 같이 선박과 원격운용자의

발생 비율 순위는 서로 유사하게 나타났다.

성능(Performance)을 보면, 리더각도차이(d-Angle(°))는 평균 0.0089°이고, 추종성능(P-RUD(%))은 최소 94.8%(MS), 최대 100%, 평균 99.19%로 나타나서 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해서 최솟값은 5.2%p 작고 평균값은 0.81%p 작다.

여기서 3구간(S20, S25, HS)은 제어명령이 발생하지 않고(즉, n=0) 운전자 역시 추종하지 않은 결과(즉, n=0) 성능은 100%로 나타났고, S15는 제어명령이 2회 발생하고 원격운용자는 추종하지 않은(0회) 결과 성능은 99.94%로 나타났다. 이러한 경우 만약 제어명령 횟수를 추종 횟수로 나누어서 성능을 계산하면 계산결과는 불능(n/0) 또는 부정(0/0)의 문제가 발생한다. 그래서 본 연구에서는 위의 식(1)을 이용하여 불능 또는 부정의 문제를 해결하였고, 아울러 100% 성능은 당연하면서도 의미 있는 결과로서, 만약 3구간(S20, S25, HS)에서 원격운용자가 추종했다면 성능은 100% 보다 작게 나타날 것이다.

Table 7 Evaluation results for rudder commands

SMCP Sector	Ship		Operator		Performance	
	n	Ratio(%)	n	Ratio(%)	d-Angle(°)	P-RUD(%)
HP	124	3.82	199	3.88	0.017	99.94
P25	2	0.06	2	0.04	-0.0057	99.98
P20	16	0.49	14	0.27	-0.0441	99.78
P15	6	0.19	17	0.33	0.022	99.85
P10	110	3.39	167	3.26	-0.0136	99.86
P5	190	5.86	376	7.33	0.0736	98.53
MS	2107	64.95	3065	59.75	-0.1301	94.80
S5	682	21.02	1274	24.83	0.1905	96.19
S10	5	0.15	16	0.31	0.0158	99.84
S15	2	0.06	0	0	-0.0092	99.94
S20	0	0	0	0	0	100.0
S25	0	0	0	0	0	100.0
HS	0	0	0	0	0	100.0
Sum	3244	100	5130	100	-	-
Mean	-	-	-	-	0.0089	99.19

Fig. 4는 엔진명령(좌측 그림)과 텔레그래프명령(우측 그림)에 대한 원격운용자의 추종결과를 나타낸다. 상단 그림은 비율을 나타내고, 하단 그림은 차이를 나타낸다.

비율(Ratio(%))을 보면, 엔진(좌측)은 AH-FU이 가장 크고 이어서 AH-HF, DS, SL 등의 순위로 나타나고, 텔레그래프 수준(우측) 역시 엔진과 유사한 순위로 나타났으나 이 둘의 비율은 서로 다르게 나타났다. 차이를 보면, 엔진회전수의 차이(d-RPM(rpm))(좌측)은 AH-SL(Slow ahead)과 AH-DS(Dead slow ahead)에서 가장 크지만, 텔레그래프 수준의 차이(d-Level)(우측)은 AH3(엔진의 AH-HF에 해당)과 AH2(엔진의 AH-SL에 해당)에서 크게 나타났다.

위의 결과에서, 엔진과 텔레그래프 각각에 대한 추종결과는 서로 다르게 나타났는데, 엔진명령의 11구간과 텔레그래프명령의 11구간은 동일한 의미를 갖기 때문에 두 제어장치에 대한 결과는 동일할 것으로 기대할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 엔진 명령을 선박 엔진에서 출력된 회전수를 이용하여 구분한 것이기 때문에 텔레그래프 명령의 결과와 다르게 나타난 것이다.

이와 같이 엔진과 텔레그래프를 구분한 이유는 다음과 같

다. 1) 선박은 주로 텔레그래프를 이용하여 제어하는데, 선체에 가해지는 외란(파도, 바람 등)에 의해서 텔레그래프 제어 수준에 대한 실제 엔진 출력의 회전수는 다르게 나타날 수 있고, 2) 원격제어는 선박에서 출력된 텔레그래프 수준 또는 엔진회전수를 참고하여 제어할 수밖에 없는 구조이고, 3) 원격운용자 역시 이러한 다름을 인지하여 텔레그래프 수준과 엔진회전수를 상황에 따라서 달리 적용해야하므로 엔진과 텔레그래프 각각에 대한 제어능력 확보가 필요하며, 4) 선박의 원격제어는 이와 같이 현존 선박의 선박조종방법과는 다른 제어방법을 적용해야하기 때문에 원격운용자는 엔진과 텔레그래프 양쪽에 대한 제어적합성의 평가가 필요하다.

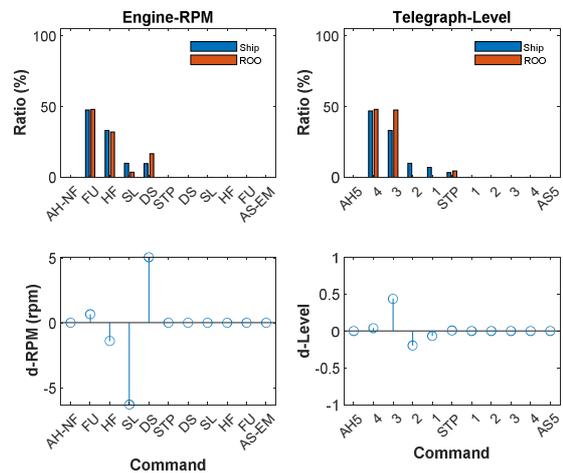


Fig. 4 Ratio and differences for engine and telegraph control commands

Table 8과 Table 9는 엔진과 텔레그래프에 대한 원격운용자의 추종성능 평가결과를 나타낸다.

Table 8의 엔진명령에 대한 평가결과에서, 명령 횟수(n)와 비율(Ratio)의 경우, 선박은 AH-FU와 AH-DS 사이에서 총 3244회 발생하고, 비율은 AH-FU(47.44%), AH-HF(33.11%)의 순위로 나타났다. 원격운용자 역시 선박과 유사하게 AH-FU와 AH-DS 사이에서 총 5254회 발생하고, 비율은 AH-FU(47.94%), AH-HF(31.99%)의 순위로 나타났다. 성능(Performance)을 보면, 엔진 회전수차이(d-RPM)는 평균 -0.1822rpm이고, 성능(P-RPM)은 최소 93.09%(AH-DS), 최대 100.0%, 평균 98.65%로 나타나서 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해서 최솟값은 6.91%p 작고 평균값은 1.35%p 작다.

Table 9의 텔레그래프 명령에 대한 평가결과에서, 명령 횟수(n)와 비율(Ratio)의 경우, 선박은 AH4(4)와 STP(0) 사이에서 총 3244회 발생하고, 비율은 AH4(46.98%), AH3(33.01%)의 순위로 나타났다. 원격운용자 역시 선박과 유사하게 AH4와 STP 사이에서 총 5254회 발생하고 비율은 AH4(47.94%), AH3(47.54%)의 순위로 나타났다. 성능(Performance)을 보면, 텔레그래프 수준의 차이(d-Level)는 평균 0.0195수준이고, 성능(P-Level)은 최소 85.47%(AH3), 최대 100%, 평균 96.96%

로 나타나서 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해 최솟값은 14.53%p 작고 평균값은 3.04%p 작다.

Table 8 Evaluation results for engine commands

SMCP Sector	Ship		Operator		Performance	
	n	Ratio(%)	n	Ratio(%)	d-RPM(rpm)	P-RPM(%)
AH-NF	0	0	0	0	0	100
AH-FU	1539	47.44	2519	47.94	0.6539	99.50
AH-HF	1074	33.11	1681	31.99	-1.4019	98.89
AH-SL	318	9.80	184	3.50	-6.3006	93.70
AH-DS	313	9.65	870	16.56	5.0445	93.09
STP	0	0	0	0	0	100
AS-DS	0	0	0	0	0	100
AS-SL	0	0	0	0	0	100
AS-HF	0	0	0	0	0	100
AS-FU	0	0	0	0	0	100
AS-EM	0	0	0	0	0	100
Sum	3244	100	5254	100	-	-
Mean	-	-	-	-	-0.1822	98.65

Table 9 Evaluation results for telegraph commands

SMCP Sector	Ship		Operator		Performance	
	n	Ratio(%)	n	Ratio(%)	d-Level	P-Level(%)
AH5	0	0	0	0	0	100
AH4	1524	46.98	2519	47.94	0.0386	99.03
AH3	1071	33.01	2498	47.54	0.4359	85.47
AH2	321	9.90	0	0	-0.1979	90.10
AH1	221	6.81	0	0	-0.0681	93.19
STP	107	3.30	237	4.51	0.0061	98.79
AS1	0	0	0	0	0	100
AS2	0	0	0	0	0	100
AS3	0	0	0	0	0	100
AS4	0	0	0	0	0	100
AS5	0	0	0	0	0	100
Sum	3244	100	5254	100	-	-
Mean	-	-	-	-	0.0195	96.96

Fig. 5는 선박의 선수 쓰러스터 명령(좌측 그림)과 선박의 선미 쓰러스터 명령(우측 그림)에 대한 원격운용자의 추종결과를 나타낸다. 상단 그림은 비율을 나타내고, 하단 그림은 차이를 나타낸다. 비율(Ratio(%))을 보면, 선수 쓰러스터(좌측)는 STP가 가장 크고 S-HF가 작고, 선미 쓰러스터(우측)의 경우는 STP에서 가장 크다. 차이(d-Deg(°/min))의 경우, 선수 쓰러스터(좌측)는 STP, S-HF, S-FU에서 큰 차이를 보이고, 선미 쓰러스터(우측)는 모두 작은 차이를 보인다.

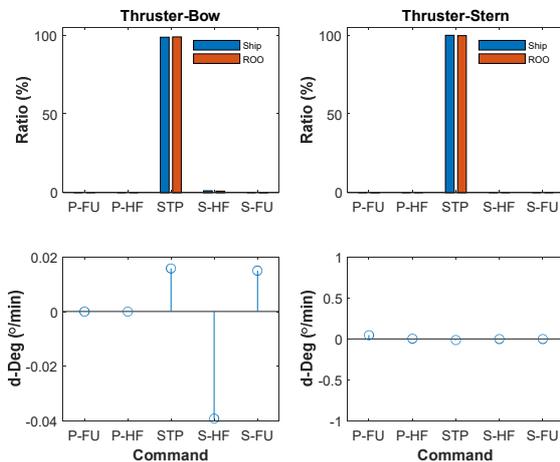


Fig. 5 Ratio and differences for Bow- and Stern-thruster control commands

Table 10과 Table 11은 선미와 선수 쓰러스터에 대한 원격운용자의 추종성능 평가결과를 나타낸다.

Table 10의 선수 쓰러스터에 대한 결과를 보면, 명령 횟수(n)와 비율(Ratio)의 경우, 선박은 STP와 S-HF에서 총 1770회 발생한 반면, 원격운용자는 STP와 S-FU 사이에서 총 5120회 발생한다. 비율은 선박이 STP(98.76%)와 S-HF(1.24%)인 반면, 원격운용자는 STP(99.0%), S-HF(0.94%), S-FU(0.06%)의 순위로 나타났다. 그래서 원격운용자는 선박과 달리 S-FU에서도 오류가 발생하였다.

성능(Performance)의 경우, 쓰러스터의 각도차이(d-Bow)는 평균 -0.0017°/min이고, 성능(P-Bow)은 최소 99.69%(S-HF), 최대 100%, 평균 99.88%로 나타나서 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해 최솟값은 0.31%p 작고 평균값은 0.12%p 작다.

Table 11의 선미 쓰러스터에 대한 결과를 보면, 명령 횟수(n)의 경우, 선박은 STP에서 총 1474회 발생한 반면, 원격운용자는 STP와 P-FU 사이에서 총 5130회 발생한다. 비율(Ratio)은 선박이 STP에서 100%인 반면, 원격운용자는 STP(99.75%), P-HF(0.04%), P-FU(0.21%)으로 나타나서 선박과 달리 P-HF와 P-FU에서도 추종명령이 발생하는 오류가 나타났다. 성능(Performance)의 경우, 쓰러스터 각도차이(d-Bow)는 평균 0.0072°/min로 나타나고, 성능(P-Stern)은 최소 99.75%(STP), 최대 100%, 평균 99.9%로 나타나서 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해 최솟값은 0.25%p 작고 평균값은 0.1%p 작다.

Table 10 Evaluation results for bow-thruster control commands

SMCP Sector	Ship		Operator		Performance	
	n	Ratio(%)	n	Ratio(%)	d-Bow(°/min)	P-Bow(%)
P-FU	0	0	0	0	0	100
P-HF	0	0	0	0	0	100
STP	1748	98.76	5069	99.00	0.0158	99.75
S-HF	22	1.24	48	0.94	-0.0391	99.69
S-FU	0	0	3	0.06	0.015	99.94
Sum	1770	100	5120	100	-	-
Mean	-	-	-	-	-0.0017	99.88

Table 11 Evaluation results for stern-thruster control commands

SMCP Sector	Ship		Operator		Performance	
	n	Ratio(%)	n	Ratio(%)	d-Stern(°/min)	P-Stern(%)
P-FU	0	0	11	0.21	0.0455	99.79
P-HF	0	0	2	0.04	0.0041	99.96
STP	1474	100	5117	99.75	-0.0134	99.75
S-HF	0	0	0	0	0	100
S-FU	0	0	0	0	0	100
Sum	1474	100	5130	100	-	-
Mean	-	-	-	-	0.0072	99.90

3.3 원격운용자의 성능평가 결과 요약

위에서 설명한 성능평가 결과, 원격운용자는 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해서 다음과 같이 제어장치 각각에 대한 추

중성능의 향상이 필요한 것으로 나타났다.

- 1) 러더에 대해서는 평균 0.81%p
- 2) 엔진에 대해서는 평균 1.35%p
- 3) 텔레그래프에 대해서는 평균 3.04%p
- 4) 선수 쓰러스터에 대해서는 평균 0.12%p
- 5) 선미 쓰러스터에 대해서는 평균 0.10%p

위의 결과, 본 실험에 참가한 원격운용자는 100%(±0.01%)의 목표성능에 대해서 더 많은 교육과 훈련이 필요함을 확인하였고, 본 연구에서 제안한 평가방법은 선박의 5종 제어장치 각각에 대한 원격운용자의 제어적합성 평가가 가능함을 알았다.

4. 결 론

본 연구에서는 원격제어에 종사하는 원격운용자에 대한 제어적합성 평가방법을 제안하였다. IMO의 표준해사통신용어를 이용하여 선박의 제어 값과 원격운용자의 추종 값을 제어명령으로 구분한 후, 이 둘의 차이를 이용한 제어적합성 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본 연구에서 제안한 평가방법은 실제 선박을 원격으로 제어하지 않고 원격제어자의 제어적합성 평가가 가능함을 알았다.
- 2) 표준해사통신어에 의거하여 구분한 명령을 이용하여 5종의 선박제어장치 각각에 대한 제어적합성 평가가 가능함을 알았다.
- 3) 본 실험에 참가한 원격운용자는 실습선의 5종 제어장치에 대해서 평균 0.10%p ~ 3.04%p의 성능 향상이 요구되는 것으로 확인하였다.

본 연구에서는 표준해사통신어에 한하여 접근하였으나 원격운용자를 대상으로 선종의 다양성과 실무 운항분석 등을 통한 표준해사통신어 이외의 보다 포괄적인 평가 연구의 필요성을 확인하였다.

그리고 본 연구에서 제안한 평가방법은 현재 국내외적으로 개발되고 있는 원격제어의 원격운용자에 대한 적합성 평가방법으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 원격운용자의 등급별 추종 적합성 평가와 선박 상태(상황)에 따른 명령 중요도와 시간/환경적 요소를 추가한 고도화 연구 및 실제 선박의 원격제어 실험을 통한 원격운용자의 평가와 교육 및 훈련에 관해 연구할 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] IACS(2022), IACS Proposal on Structure of MASS Code, Safer and Cleaner Shipping, Sept., 2022. pp. 1-11.
- [3] IALA(2022), IALA Guideline G1132 ‘VTS Voice Communications and Phraseology’, Edition 2.2.
- [4] IMO(2001), IMO Standard Maritime Communication Phrases, Resolution A, 918(22), Adopted on 29 November 2001.
- [5] IMO(2015), IMO Maritime English Model Course 3.17.
- [6] IMO(2021), Outcome of the Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), MSC.1/Circ.1683, Adopted on 3 June 2021.
- [7] Kim, D. J., Ming, Z., Yim, J. B.(2023), "Optimal Route Planning for Maritime Autonomous Surface Ships Using a Nonlinear Model Predictive Control", J. Navig. Port Res., Vol. 47, No. 2, pp. 66-74.
- [8] MASS Code(2023), Draft International Code of Safety for Maritime Autonomous Surface Ships (MASS CODE), September 8th, 2023 (underway).
- [9] Yim, J. B.(2021), "Effect of Turning Characteristics of Maritime Autonomous Surface Ships on Collision Avoidance", J. Navig. Port Res., Vol. 45, No. 6, pp. 298-305.

Received 02 September 2024

Revised 23 September 2024

Accepted 14 October 2024