

운항 해역별 자율운항선박 원격운항 상황 발생 확률 추산 시뮬레이션 모델

황태웅* · 황태민** · 이다인** · 박혜인** · 윤익현****†

* 목포해양대학교 마리타임 인포매틱스 연구실, ** 목포해양대학교 대학원 해상운송시스템학과,
*** 목포해양대학교 항해정보시스템학부 교수

Autonomous Ship's Remote Operation Situation Occurrence Probability Estimation Model based on Navigation Areas

Taewoong Hwang* · Taemin Hwang** · Dain Lee** · Hyeinn Park** · Ik-Hyun Youn****†

* Maritime Informatics Laboratory, Mokpo National Maritime university, Mokpo 58628, Korea

** Graduate Student, Department of Maritime Transportation System Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

*** Professor, Division of Navigation & Information Systems, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 4차 산업혁명의 도래로 인한 기술혁신은 자율운항선박을 중심으로 해상 운송분야까지 활발한 발전을 불러왔다. 특히, 현재의 선원이 직접 운항하는 방식인 유인선박 사이에서 운항하게 될 자율운항선박은 자율도에 따라 원격제어를 통해 운항을 수행하며, 육상에서 이를 제어할 원격운항자에 대한 관심 또한 늘어나고 있다. 하지만 아직 원격운항자가 개입이 필요한 상황이 동시에 발생하는 등을 고려한 원격운항자 최소 인력 요구사항에 대한 연구는 부족한 상황이다. 본 연구는 특정 해역 구간의 누적된 항적데이터를 활용하여 선박 간에 발생할 수 있는 조우상황에서 원격운항자의 개입이 필요한 상황을 정의하고, 해당 구간을 특정 규모의 자율운항선박 선대로 운항하였을 때, 원격운항자의 개입이 동시에 필요한 상황이 얼마나 발생하는지를 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 연구의 결과는 향후 실제 자율운항선박 선대를 운행할 원격운항센터의 원격운항자의 적정인력 배치 등의 계획 또는 정책 수립에 활용될 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다.

핵심용어 : 자율운항선박, 원격운항, 원격운항자, 개입필요상황, 적정인력 배치

Abstract : *With the technological innovation owing to the 4th industrial revolution, the maritime transportation is rapidly being developed with autonomous ships and systems. Particularly, autonomous ships will partially replace the manned ships and navigation among them remotely upon the degree of autonomy suggested by IMO. Accordingly, the remote operator and related research have increased as well. However, the data on the minimum required manpower for remote operators are lacking such as considering engage required situations and their co-occurrence probability. Therefore, this study proposes a simulation model that calculates the number of remote engage required situations by defining restricted water area and remote engage required situation as close-quarter situations based on accumulated trajectory data of actual ships. The findings are expected to be used as background materials to establish the appropriate manpower distribution of remote operators in remote operation centers.*

Key Words : *Autonomous ships, Remote operation, Remote operator, Engage required situations, Appropriate manpower distribution*

1. 서 론

사물인터넷(IoT), 인공지능(AI), 빅데이터(Big Data)로 대표되는 4차 산업혁명의 도래로 인한 기술 혁신은 자율운항선

박(Maritime Autonomous Ship and System, MASS)을 중심으로 해상 운송 분야 또한 활발히 이루어지고 있다(Lee, 2018; Yoshida et al., 2020; Kim and Yang, 2019). MASS의 개발은 선박이 무인으로 운항하며 해양사고의 주요 원인이자 동시에 가장 큰 피해를 입고 있는 인적요소를 대신하여 안전성을 향상시킬 뿐만 아니라 효율적인 화물 운송을 가능하게 하여

* First Author : hwangtw6539@gmail.com, 061-240-7283

† Corresponding Author : iyoun@mmu.ac.kr, 061-240-7283

해양 산업 및 물류 산업을 혁신할 수 있다(Kawashima et al., 2023; Jeong et al., 2018). 그러나, 현재 IMO 해사안전위원회(MSC) 제99차 회의에서 규정한 4단계의 자율도로 이루어진 MASS에서 선박의 원격제어가 필요한 2단계, 3단계 수준의 MASS에서는 원격운항자가 필수적이다(Yoshida et al., 2020; Porathe, 2022; Jeong, et al., 2018; Kim and Yang, 2019; Gong et al., 2022).

자율운항선박 기술 개발도 중요한 연구 분야이지만, 자율운항선박의 전반적인 기능을 지원하는 운용 측면에 대한 중요성 또한 부각되고 있다. 원격운항자는 자율운항선박의 운항을 모니터링하고, 유사시 자율운항선박을 원격으로 제어하는 역할을 담당하므로 이에 대한 관심이 높아지고 있다(Lee, 2018; Yoshida et al., 2020; Porathe, 2014; Porathe, 2022; Kawashima et al., 2023; Kim and Yang, 2019; Gong et al., 2022; Choi et al., 2018). 원격운항자에 관한 필요 역량, 교육훈련 등 여러 주제의 연구가 이루어지고 있고, 원격운항자의 수요를 예측할 필요가 있다는 연구결과가 있다(Yoshida et al., 2020; Porathe, 2022; Jeong et al., 2018; Kim and Yang, 2019; Gong et al., 2022).

항만 접근 구역, 연해구역, 외해로 나누어지는 항해 구역은 각각 선박 통항량, 환경적 조건 등의 차이로 인하여 선박 사고의 발생 빈도는 항해 구역에 따라 상당한 차이가 나타난다(Yang et al., 2001; Choe et al., 2021). 자율운항선박 또한 이러한 다양한 항해 구역을 운항하는 선박으로서 항해 구역별 선박사고의 빈도 차이를 고려하여 안전한 운항을 유지하는 노력이 필요하다.

원격운항자는 자율운항선박이 위험하다고 판단되는 상황에서 원격제어를 실시한다(Ramos et al., 2019; Lim and Shin, 2022). 원격운항센터에서 모니터링 중인 선박 중 여러 척이 동시에 원격제어가 필요한 상황이 발생하게 되면, 원격제어가 요구되는 선박의 척수에 따라 원격운항자 필요 인원이 달라질 것이다. 이에 대하여, 본 연구에서는 해역별 충돌 임박 상황 발생 빈도 차이를 고려하여 충돌이 임박한 상황이 동시에 발생하는 빈도를 바탕으로 원격운항자의 인력 수요를 예측하는 방법론을 제시하고자 한다.

2. 연구의 방법

본 연구에서는 원격운항자의 인력수요를 예측하는 모델 개발을 위해 특정 해역 구간에서 실제 선박에게 발생한 충돌 임박 상황들을 추출하여, 전체 조우상황 중 해당상황이 발생할 확률을 계산하였다. 전체 연구순서는 Fig. 1과 같다.

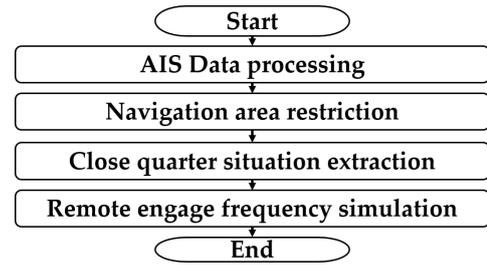


Fig. 1. Research workflow.

2.1 항적데이터 전처리

AIS 데이터는 2021년 10월 1일부터 10월 31일까지 한 달간 수집하였다. 수집된 AIS 데이터는 1분 단위로 전처리한 후, 누락된 항적을 스플라인 보간법을 사용하여 전처리하였다. 스플라인 보간법은 AIS 데이터의 누락 구간을 직선이 아닌 곡선 다항식으로 계산하여 보간하므로, 각 선박의 움직임에 따른 선박 간의 거리를 정확하게 추출하기 적합하였다.

2.2 항적데이터 수집 구간 선정

AIS 데이터의 수집해역은 Fig. 2와 같이 선정하였으며, 항만구간, 연안구간을 모두 포함할 수 있는 해역조건을 중심으로 선정하였다. 선정된 구간은 대한민국 주변 연안 중 선박의 통항량이 많은 해역으로, 제주항만접근해역, 남해연안해역, 부산항만접근해역으로 선정하였다.

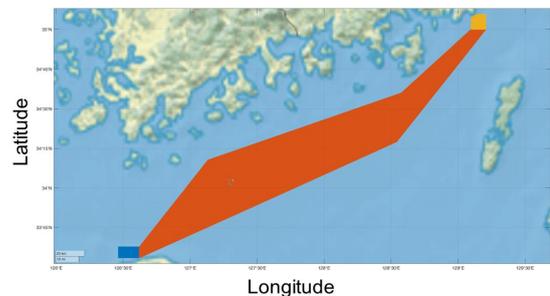


Fig. 2. Data extraction area.

2.3 충돌 임박 상황 추출

특정 해역을 항해하는 자율운항선박이 충돌 직전에 원격운항이 필요한 상황, 즉 충돌 임박 상황의 비율 계산에는 본선으로 선정할 각 선박의 규모 조건을 먼저 제한하였다. 본선의 규모는 현재 개발 중인 자율운항선박의 규모와 유사한 150미터에서 200미터 사이를 전장을 갖는 선박으로 제한하였다. 모든 본선이 마주한 조우상황들 중 충돌 임박 상황으로의 추출 거리 조건은 타선과의 최근접점까지의 거리(DCPA)가 0.1해리 이하, 최근접점까지의 도착시간(TCPA)는 3분 이하인 경우로 선정하였다.

2.4 원격운항 빈도 시뮬레이션

선박이 충돌에 임박하여 원격운항자가 운항에 개입을 하게 되는 빈도는 충돌 임박 상황이 당시 선박이 항해중인 해역 범위 내에서 발생할 확률을 기반으로 계산하였다. 시뮬레이션은 MASS 10척이 본 연구에서 지정한 구간인 제주항부터 부산항까지의 항로를 항해하는 상황에서, 원격제어가 필요한 상황이 동시에 발생하는 빈도를 계산하였고, 동일 상황을 10만 회 수행하였다.

3. 연구의 결과 및 논의

3.1 항적데이터 수집 구간 선정

Fig. 3은 해당 해역에서 대상선박이 한달간 항해한 항적 데이터를 추출한 결과를 보여준다. 추출 결과 중, 제주항만 접근해역에서의 대상선박은 268척, 남해연안해역에서는 1,916척, 부산항만접근해역에서는 646척으로 총 2,830척의 선박의 항적 데이터가 추출되었다.

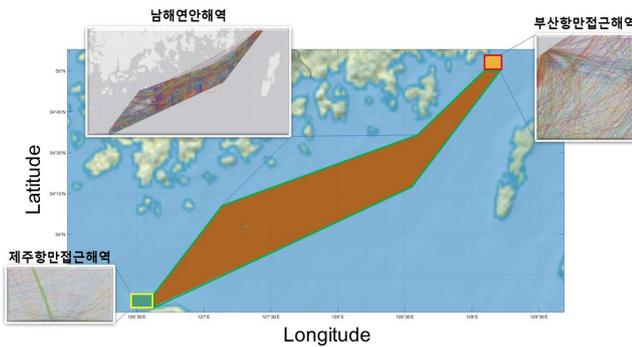


Fig. 3. Ship trajectory extraction on navigation areas.

3.2 충돌 임박 상황 추출 결과

Fig. 4는 제주항만접근해역, 남해연안해역, 부산항만접근해역에서의 조우 상황 결과를 나타낸다. 각 해역 별 붉은 색으로 표시된 부분은 충돌 임박 상황으로 본 연구에서 육상운항자가 자율운항선박의 원격제어에 개입해야하는 상황을 나타낸다. 각 해역을 제주도항만 접근해역부터 A, B, C로 표시하였으며, 마주한 조우상황 중 충돌 임박 상황은 Fig. 5의 그래프와 같이 도출되었다. 이는 충돌 임박 상황의 발생 확률을 보여주며, 남해연안해역 보다 제주항만접근해역의 발생확률이 2배 이상 높았으며, 부산항만접근해역은 13배 이상 높게 나타났다. 이는 자율운항선박이 항해중인 해역에 따라 이를 모니터링하는 원격운항자가 더 많아야 한다는 것을 의미한다.

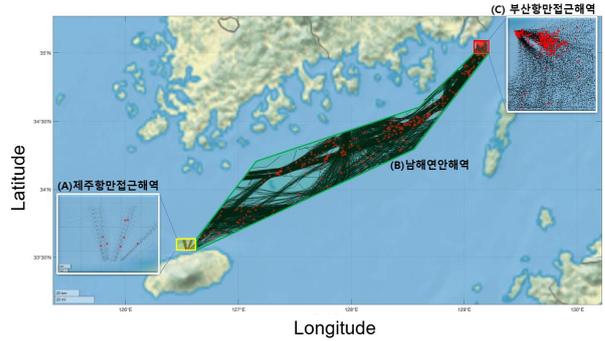


Fig. 4. Navigation Situation on different navigation Areas.

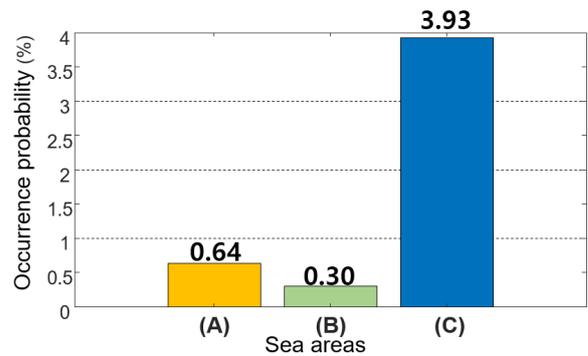


Fig. 5. Close-quarter situation occurrence probability.

Table 1은 해당 해역별 충돌 위험 상황 빈도 비율을 산출한 표이다. 남해연안해역을 살펴보면, 총 1916척의 선박이 해당 해역을 항해한 누적시간 304,517분 중 충돌 위험 상황 지속 시간인 903분의 비율이 충돌 임박 상황 발생 빈도로 산출되었다. 충돌 임박 상황 발생확률이 가장 높은 부산항만 접근해역의 경우는 해당 해역 선박들의 전체 누적 항해 시간이 남해연안해역에 비해 17.56배 차이가 나지만 충돌 임박 상황 시간은 1.32배 차이밖에 나지 않는 것을 보였다.

Table 1. Result of probability analysis

	Area		
	Jeju approaching	South sea	Busan approaching
Close-quarter Occurrence probability	0.64	0.30	3.93
Close-quarter Moments in Time (min)	24	903	681
Overall Accumulated Time(min)	3,768	304,517	17,341

3.3 원격운항 빈도 시뮬레이션

시뮬레이션은 10척의 선박이 한 선단을 이루는 상황을 가정하여 진행하였다. 시뮬레이션은 위에서 살펴본 충돌 임박 상황 발생 확률을 바탕으로 선단이 동시에 제주항에서 부산항으로의 항로를 운항할 때, 해역별로 원격제어가 필요한 충돌 임박 상황의 발생확률이 달리 적용되면, 해당 원격운항센터에서 요구되는 원격운항자의 수는 얼마나 차이가 나는지를 확인하기 위함이었다. 시뮬레이션 결과는 Fig. 6과 같이 도출되었으며, 이는 각 상황에 따라 해당 자율운항선박을 원격 제어하는 원격운항자가 1인이 필요하다는 가정을 바탕으로 해석하였다.

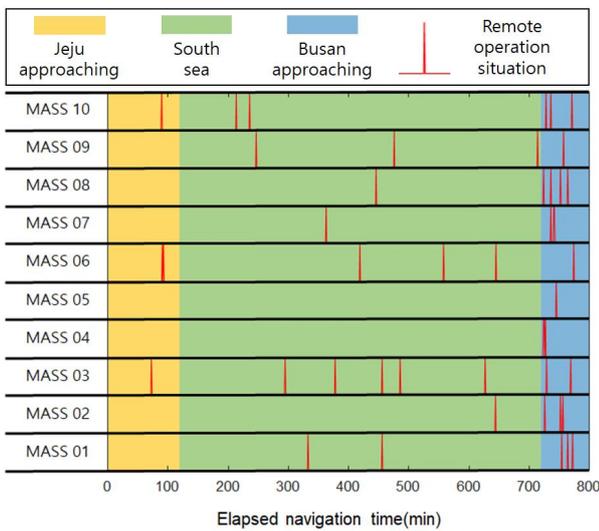


Fig. 6. Simulation result for single case.

Fig. 6의 결과는 제주항부터 부산항까지 10척의 자율운항선박이 13시간 동안 항해한다고 했을 때, 발생하는 원격운항 상황 시뮬레이션 중 한건의 결과이다. 붉은색으로 표시한 원격운항상황이 동시간 대에 여러 척이 겹치면 1인의 원격운항자가 수행하기 어려운 상황으로, 추가 원격운항자가 필요하다고 볼 수 있다. Table 2의 항해 해역별 원격운항상황을 도출한 결과에 따르면, 제주항만접근해역과 남해연안해역의 경우 원격운항상황이 1건 발생할 확률이 전체 상황 발생확률의 대부분을 차지하는 반면, 부산항만접근해역의 경우 1건 원격운항상황 발생확률이 69.8%, 2건이 동시에 발생할 확률이 전체 개입 상황 발생확률의 12.8%를 차지하였다. 이는 충돌 임박 상황만을 대상으로 연구한 결과 임에도 자율운항 선박의 원격운항이 동시에 발생할 확률이 해역별로 차이가 있음을 나타내었다. 이는 자율운항선박의 안전하고 효율적인 운항을 위해 적절한 원격운항자 인력을 해역별로 유동적으로 배치할 필요가 있을 것으로 볼 수 있다.

Table 2. Remote operation situation occurrence probability

Number of Remote operation situation	Area		
	Jeju approaching	South sea	Busan approaching
1	0.0604	0.0293	0.2701
2	0.0017	0.0001	0.0495
3	0.0001	0.0001	0.0054
4	0.0001	0.0001	0.0003
5	0.0001	0.0001	0.0001

4. 결 론

본 연구는 자율운항선박의 운항 해역에 따라 원격운항상황이 발생할 확률이 얼마나 다른지를 분석하였다. 대상 해역은 제주항부터 부산항까지의 항로 구간을 임의로 선정하였으며, 해당 구간을 3개 해역으로 구분하였다. 구분된 해역은 제주항만 접근해역, 남해연안해역, 부산항만접근해역으로, AIS 데이터를 활용하여 각 해역의 충돌 임박 상황 발생 확률을 추출하였다. 추출된 발생확률은 10척의 자율운항선박이 동시에 같은 해역을 운항할 때를 가정한 시뮬레이션에 적용되었다. 시뮬레이션 결과는 충돌임박상황 하나의 발생 확률을 적용하였음에도, 자율운항선박의 운항 해역에 따라 동시에 발생할 확률 차이가 크게 나타났다.

향후 연구는 객관성 확보를 위해 데이터 수집기간을 늘리고 기상 등의 환경 데이터 등 데이터의 종류 또한 확장하고자 한다. 추가로, 전문가의 조언을 참고하여 시뮬레이션 결과를 개선하고자 한다. 향후 연구에서는 실제 자율운항선박 운항에 있어 신뢰성과 적용 가능성이 보장되는 연구 결과를 도출 하고자 한다.

사 사

논문은 2023년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 ‘자율운항선박 기술개발사업(20200615)’의 연구결과입니다.

References

[1] Choe, C. W., Y. N. Noh, D. S. Shin, H. M. Kim and H. C. Park(2021), Identifying risk factors of marine accidents in coastal area by marine accident types. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 39, No. 4, pp. 540-554.

- [2] Choi, J. H., J. H. Yoo and S. I. Lee(2018), Roles and Legal Status of the Remote Operator in a Maritime Autonomous Surface Ship: Focusing on the Concept of a Crew and a Master. *The Korea Institute Of Maritime Law*, Vol. 30, No. 2, pp. 155-186.
- [3] Gong, I. Y., Y. H. Kim, S. M. Kim, and I. H. Youn(2022), Review of Operation Concept and System Requirements for Shore Remote Control Simulator System for MASS. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 28, No. 6, pp. 937-945.
- [4] Jeong, S. H., J. H. Shim, K. S. Choi, and Y. C. Son(2018), Analysis and design of common platform core technology for maritime autonomous surface ships. *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 22, No. 6, pp. 507-513.
- [5] Kawashima, S., H. Itoh, Y. Kawamura, and H. Otsuka(2023), Analysis of the Situation Awareness of Remote Ship Operators in an Emergency: A Simulation-based Study for Small Ships. *Transactions of Navigation*, Vol. 8, No. 2, pp. 45-55.
- [6] Kim, H. T. and Y. H. Yang(2019), A Review of Human Element Issues of Remote Operators on Maritime Autonomous Surface Ships. *Korean Institute of Navigation and Port Research*, Vol. 43, No. 6, pp. 395-402.
- [7] Lee, G. I.(2018), Remote Control Management System for Autonomous Ship. *Korea Convergence Society*, Vol. 9, No. 11, pp. 45-51.
- [8] Lim, S. J. and Y. J. Shin(2022), A Study on the Changes in Functions of Ship Officer and Manpower Training by the Introduction of Maritime Autonomous Surface Ships. *Journal of Navigation and port Research*, Vol. 46, No. 1, pp. 1-10.
- [9] Porathe, T.(2014), Remote monitoring and control of unmanned vessels - the MUNIN shore control centre. In *Proceedings of the 13th International Conference on Computer Applications and Information Technology in the Maritime Industries, COMPIT '14*, pp. 460-467.
- [10] Porathe, T.(2022), Remote Monitoring of Autonomous Ships: Quickly Getting into the Loop Display (QGILD). *Human Factors in Transportation*.
- [11] Ramos, M. A., I. B. Utne, and A. Mosleh(2019), Collision avoidance on maritime autonomous surface ships: Operators' tasks and human failure events. *Safety science*, Vol. 116, pp. 33-44.
- [12] Yang, W. J., S. H. Jun, and J. S. Keum(2001), Risk Assessment of the Ship's Collision using Formal Safety Assessment Methodology I. *Journal of The Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 7, No. 3, pp. 61-74.
- [13] Yoshida, M., E. Shimizu, M. Sugomori, and A. Umeda(2020), Regulatory requirements on the competence of remote operator in maritime autonomous surface ship: Situation awareness, ship sense and goal-based gap analysis. *Applied Sciences*, Vol. 10, No. 23, 8751.

Received : 2023. 12. 01.

Revised : 2023. 12. 21.

Accepted : 2023. 12. 29.