

# 자율운항시스템 안전성 평가 시나리오의 검증요소 개발에 관한 연구

이준혁 · 김원욱 · 홍정혁<sup>†</sup>  
한국해양수산연수원(교수)

## A Study on the Development of Verification Factors in the Safety Evaluation Scenarios for Autonomous System

Jun-Hyuk LEE · Won-Wook KIM · Jung-Hyuk HONG<sup>†</sup>  
Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor)

### Abstract

Recently, the development of approval standards, technical guidelines, and evaluation for autonomous ships are being developed globally. Therefore, performance verification is essential to ensure the reliability and stability of autonomous navigation systems to be installed on autonomous ships. This study aims to propose evaluation scenarios for assessing the stability of autonomous ship navigation systems. This study investigated cases from similar fields, and based on these, validation scenarios were selected to evaluate the safety and performance of autonomous navigation systems. The performance verification scenarios for autonomous navigation vessels were structured by categorizing them into experimental vessels and demonstration vessels. experimental vessels are utilized to conduct designated route navigation tests, enabling comprehensive and repetitive assessments of all performance metrics and functionalities within a limited area. Inspection items were classified into pre-departure status check, ship control, route navigation, and preventing collision. demonstration vessels are designed to execute navigation function-based tests, aimed at evaluating the feasibility of stable navigation capabilities within an open ocean. Inspection items of demonstration ship are divided into before departure and during operation to determine whether the entire system is operating normally. In the future, it is considered necessary to prepare safety guidelines for the stability evaluation of autonomous ships.

**Key words :** Autonomous vessel, Evaluation scenario, DBS(Digital Bridge System), ANS(Autonomous Navigation System), INS(Intelligence Navigation System), Autonomous navigation

## I. 서론

해양산업은 자율운항선박의 도입을 위한 기술 혁신의 문턱에 서 있다. 자율운항선박(Marine Autonomous Surface Ships, 이하 MASS)은 인간의 직접적인 조작으로 운영되던 선박을 인간의 개입 없이 독립적으로 운영될 수 있도록 시스템을 갖

춘 선박을 말한다(Kim et al., 2024). 이러한 선박에는 첨단 센서, 사물인터넷(IOT), 인공지능(AI), 머신러닝 알고리즘 등을 적용하여 선박의 제어에 안전성, 신뢰성 및 가용성의 준수가 요구되어 진다(Roh et al., 2024).

자율운항선박의 개발은 유럽을 포함한 다수의 국가에서 이루어지고 있고, 국제해사기구

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-620-5404, hongjih825@hanmail.net

(International Maritime Organization, 이하 IMO) 및 선급에서는 MASS가 기존의 해상교통에 안전하게 통합될 수 있도록 기술 표준, 규정 및 지침을 적극적으로 개발하고 있다.

대한민국에서는 MASS의 핵심기술 개발 및 상용화 기반을 마련하기 위하여 정부지원 사업으로 2020년부터 ‘자율운항선박 기술개발사업’이 진행 중이다. 사업은 총 13개의 세부과제로 구성되어 있으며, 산학연이 참여하여 2025년까지 핵심기술을 개발하여 대양에서 레벨 3 및 연안에서 레벨 2까지 항해가 가능한 자율운항선박의 개발을 목표로 하고 있다(Kim et al., 2024).

자율운항시스템의 개발은 이론적 기반과 기술 요소를 필요로 한다. 이론적 기반에는 자율운항시스템의 핵심기술인 인공지능 이론과 자율운항시스템의 구성 요소간의 상호작용을 연결하고 모델링하는 시스템 이론 그리고 자율운항시스템에 의하여 선박을 조종하는 제어 이론 등이 있다. 기술 요소는 이론상의 기술을 구현하기 위한 센서기술, 데이터 통신기술, 시뮬레이션 프로그램 기술 그리고 기계 학습, 딥러닝 알고리즘 및 인공지능을 활용하여 최적 운항거리를 자동으로 계산하는 경로 최적화 알고리즘(Path Optimization Algorithms)이나 자동으로 주변의 장애물을 탐지하여 안전성 확보할 수 있는 상황 인식 기술(Situational Awareness Systems) 등 다양한 요소가 개발되고 있다. 이러한 이론과 기술 요소들의 개발은 자율운항시스템의 안전성, 자동화 및 효율성 향상을 위한 필수 요소이며, 이를 위한 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

해외의 자율운항선박 안전성 관련 연구에는 자율운항선박 위험요인 분석에 관한 연구가 진행되었으나(Meriam et al., 2023), 자율운항선박의 이론과 기술요소가 통합된 전체 시스템의 안전성 평가에 관한 연구는 초기 단계이다.

선박에 탑재될 자율운항시스템의 신뢰성과 안전성을 확인하기 위한 성능검증은 반드시 필요하고, MASS의 운항 안전성과 선박제어를 평가할

수 있는 포괄적인 시나리오를 통하여 확인한다. 이러한 시나리오 개발은 해상에서의 항해, 충돌 회피 프로토콜, 선박과 환경 간의 동적 상호 작용에 대한 전반적인 이해를 필요로 한다.

MASS의 검증은 자율운항시스템이 시범적으로 적용되어 기능을 점검하는 시험선과 완성형 단계인 실증선으로 구분하여 실시한다. 따라서 검증 시나리오는 시험선과 실증선, 제한된 시험구역이나 실험역에 맞는 개발이 필요하다.

본 논문은 MASS의 성능검증을 위한 평가 시나리오를 개발하여 자율운항시스템의 신뢰도 향상 및 안전성 확보에 기여하는 것을 목표로 한다.

## II. 연구 방법

자율운항선박의 안전성 검증을 위한 항목 및 평가 시나리오를 개발하기 위하여 타 운송수단에 자율적으로 제어 및 통제를 시행하는 시스템의 검증 내용을 검토하였으며, 운송수단의 주요 기능에 대한 운용 능력과 안전성 평가를 위한 기술 자격 시험에서 검증항목을 분석하여 정리하였다. 이를 바탕으로 자율운항선박의 안전성 확보 및 성능검증을 위한 평가 시나리오 개발에 기반안을 제시하였다.

## III. 연구 결과

### 1. 유사 분야 안전성 평가

#### 가. 자율주행 자동차

전 세계적으로 자율주행 자동차의 기술 개발이 활발히 진행되고 있으며, 자율주행의 안전성 평가를 위한 법규 및 표준안이 개발되고 있다. 자율주행자동차 시험운행을 위한 기준에는 국가별로 적용 기준 및 범위에 차이가 있다(Nam et al., 2017). Chae(2016)는 자율주행 자동차에서 기본적인 평가 항목을 아래와 같이 정리하였다.

#### 1) 적응형 순항제어장치(Adaptive Cruise Control

, 이하 ACC)

국제표준화기구(International Standard Organization, 이하 ISO)의 ACC 성능평가는 직선로 인지거리 성능과 선행차량식별 성능으로 구성된다. 직선로 인지거리 성능평가는 2초 이내에 인지 가능한 최대 거리를 평가하며, 선행차량식별 성능평가는 직선로와 곡선로에서 각각 차차선 및 옆차선의 선행차량 인지 여부와 전방 선행차량 인지를 평가한다. 곡선로에서는 선행 차량 감속 시 추돌사고 예방을 위한 자차량의 거동도 평가한다(ISO 15622, 2010).

2) 자동긴급제동 시스템(Automatic Emergency Brake System, 이하 AEBs)

유럽 자동차 안전평가 프로그램(Euro NCAP)은 AEBs 성능을 City 주행과 Inter-Urban 주행으로 구분하여 평가한다. City 주행은 주로 도심과 저속 주행을 포함하며, Inter-Urban 주행은 도심 외부 고속도로에서 긴 거리 주행을 포함한다. City

주행에서는 10 km/h~50 km/h 속도에서 정지된 물체를, Inter-Urban 주행에서는 30 km/h~80 km/h 속도에서 정지, 이동 및 감속 중인 물체를 평가한다. ISO는 고속으로 정지된 차량에 접근하거나 30 km/h 속도로 이동 중인 차량에 고속으로 접근하는 두 가지 시나리오를 사용하며, 자차량 초기 속도는 80 km/h, 초기 차간거리는 120 m로 설정한다. 평가 항목은 경고 발생, 속도 감소, 긴급제동 발생 여부로 구성된다.

3) 차선유지 보조시스템(Line Keeping Assist System, 이하 LKAS)

ISO는 반경 800m의 곡선 구간에서 72 km/h ~ 108km/h 속도로 LKAS 성능을 평가하며, 가속도와 LKAS 작동 범위를 측정한다. 미국 도로교통안전부(NHTSA)는 72 km/h로 진행하는 차량에 대해 0.6 m/s 이상의 횡방향 속도에서 차선 이탈 방지 성능이 유지되는 최대 속도까지 LKAS 성능을 테스트한다.

<Table 1> Safety requirements for autonomous vehicles in Korea

| Mode                                | Contents   |
|-------------------------------------|--|
| lane keeping mode                   | ○ Operate the test vehicle at various speeds, ranging from the minimum operating speed to 20 km/h less than the maximum operating speed, on a test road with straight and curved sections having lanes on both sides   |
| lane change mode                    | ○ On a straight section of the test road with lanes on both sides, maintain a constant speed of 70 km/h or 20 km/h less than the maximum operating speed, whichever is lower. Execute the lane change command (such as turn signals) when a target vehicle (either a medium-sized passenger car or a dummy vehicle) is in or out of the blind spot   |
| Cut in & Cut out Mode               | ○ On a straight section of the test road with lanes on both sides, at a speed of 70 km/h or 20 km/h less than the maximum operating speed (whichever is lower), have the target vehicle cut in from an adjacent lane at least 50 meters ahead at a speed 20 km/h lower than the test vehicle. Follow the target vehicle for about 1 minute after the cut-in, then change lanes.            |
| Traffic Jam Follow and Release Mode | ○ On a straight and curved section of the test road with lanes on both sides, have the target vehicle drive at various speeds from 0 km/h to about 30 km/h, and have the test vehicle follow. Then accelerate the target vehicle to a speed higher than the set speed of the test vehicle  |
| Forward Collision Avoidance Assist  | ○ On a straight section of the test road with lanes on both sides, maintain a distance of about 60 meters between the test vehicle and the target vehicle driving at 70 km/h or 20 km/h less than the maximum operating speed (whichever is lower). Rapidly engage the main braking system of the target vehicle to verify the forward collision avoidance performance of the test vehicle |
| Maximum Speed limitation Function   | ○ On a straight section of the test road with lanes on both sides, operate the control device (or an equivalent function) to set a speed higher than 110 km/h or the maximum operating speed, whichever is lower   |

Source: ADMV, 2023.

4) 국내 자율주행자동차 요건

국토교통부는 자율주행자동차의 안전운행요건 및 시험운행에 관한 기준을 국토교통부고시(제 2023-610호)로 마련했다(ADMV, 2023). 주요 모드와 기능은 동법 [별표1] 시험운행 확인방법 및 기준으로 정리되어 있으며, 차선유지, 차선변경, 끼워들기, 빠져나오기, 정체구간, 충돌회피, 속력제한 기능이 포함되어 있다.

나. 무인 항공기(unmanned aircraft)

무인항공기는 무게에 따라 규정이 달리 적용되며, 항공기 제조업체가 규정의 적합성을 증명해야 한다. 캐나다 교통국은 통제된 공역 및 사람 근처에서 작업하기 위한 안전 보증 지침(Remotely Piloted Aircraft Systems Safety Assurance)을 마련하였다(RPASSA, 2021). 이 지침에는 RPAS(Remotely Piloted Aircraft System, 이하 RPAS)의 최소 측면 위치 정확도 및 고도 정확도, 사람 근처에서의 작전 안전 요구사항 등이 포함되어 있다. RPAS는 단일 고장으로 인해 사람에게 심각한 부상을 초래할 수 없도록 설계되어야 하며, 제조업체는 이러한 요구사항을 준수함을 입증해야 한다.

무인비행장치 시험 비행 및 안전성인증 기준은 다음과 같다. 첫째, 지상운전은 비행자세에서 5분 이상 지장 없이 시운전 가능해야 하며, 진동으로 인한 이상이 없어야 한다. 권고된 동력원을 사용해야 하며, 지상 공진이 발생하지 않아야 한다. 국가인증을 받은 신기술 제품은 안전성 인증을 면제할 수 있다. 둘째, 지상활주는 비행 전 적어도 1회 이상의 지상활주를 해야 하며, 점검결과 이상이 없어야 한다. 셋째, 장주비행은 상승, 하강, 직선비행, 선회비행, 공중정지비행 등이 가능해야 한다(RPASSA, 2021).

2. 자율운항시스템 검증 요소

자율운항시스템과 같이 신규 시스템을 개발할 때에는 시스템의 안전성과 신뢰성이 무엇보다 중

요하기 때문에 철저한 검증이 필요하다. 자율주행자동차 등 유사분야의 검토를 바탕으로 검증 시나리오에 포함되어야 할 요소를 도출하였다.

가. 주요 시스템 기능

자율운항시스템의 기능과 역할이 정상적으로 수행되는지 확인하기 위하여 검증이 필요한 필수 항목은 주요 시스템인 디지털브릿지시스템(Digital Bridge System, 이하 DBS), 상황인식시스템(Intelligence Situational Analysis, 이하 ISA) 및 자율운항시스템(Autonomous Navigation System, 이하 ANS)이다.

첫째, DBS의 운용방식은 항해장비 및 선박 설비로부터 수집한 항해 정보를 지능형항해시스템(Intelligence Navigation System, 이하 INS)에 실시간으로 제공하고, 상황인식시스템에는 항해장비 정보를, 자율운항시스템에는 상황인식 정보, 선박운동 정보, 기상데이터 등을 제공한다. 상황인식 정보를 저장하고 자율운항시스템에 전달하며, 자율운항모드에서는 자율운항시스템의 운항제어 정보를, 원격제어 모드에서는 육상관제센터의 선박제어 정보를 바탕으로 기관 및 타기를 제어한다. 또한, 운항 상황이나 시스템 상태에 따라 선박의 운항모드를 관리한다.

둘째, 상황인식시스템은 DBS나 카메라, 라이더, 레이더 등에서 정보를 받아 이를 처리한 후, 상황인식 정보를 DBS를 통해 자율운항시스템이나 실험역 성능검증 시험장비에 제공한다.

셋째, ANS은 DBS로부터 받은 기상정보, 항해장비 정보, 상황인식 정보를 처리하여 운항제어 정보를 결정하고, 실험역 성능검증 시험장비로부터 받은 정보와 비교하여 적정성을 검증한다. 결정된 운항제어 정보는 DBS로 전달되어 선박의 주기관 및 타기 제어에 이용된다.

나. 선박 운항 모드 전환

자율운항선박의 제어권은 운항자, 자율운항시스템, 원격제어센터(Remote Control Center, 이하 RCC), 운영자 중 하나에 부여되며, 이에 따라 수

동 제어, 원격 제어, 자율운항 모드로 구분된다. 시험선은 수동제어 모드를 우선으로 운항개시 후, 안전이 확보되면 자율운항 및 원격제어 모드로 전환하여 검증한다. 실증선은 자율운항 모드를 기본 모드로 하여 문제 발생시 수동제어 모드로 전환한다. 수동제어는 운항자가 직접, 원격제어는 RCC가, 자율운항은 DBS가 선박을 제어한다. 시험선은 수동제어를, 실증선은 자율운항을 최우선 순위로 두며, 모드 전환은 운항자 요청이나 통제 하에 이루어진다. 수동제어와 원격제어 전환은 시험선은 본선에서만, 실증선은 본선과 RCC 모두에서 승인 가능하며, 자율운항 전환은 운항자 승인이나 DBS 요청시 이루어진다.

다. 주요 운항 기능

자율운항선박의 주요 운항 기능으로 기본적으로 선박제어 기능과 항로 운항, 충돌회피 기능이 있고, 비상 대응을 위한 단계별 대응 방안도 마련해야 한다. 선박 제어 기능은 선속 제어와 침로 제어로 구성되며, 항로 운항 기능으로는 직진 성능, 선회 성능, 선위 측정, 항해계획 적정성 평가, 항로 감시 및 유지, 도착예정시간(ETA) 유지, 특정 장소 운항이 있으며, 충돌회피 기능은 상황 인식, 충돌 위험성 판단, 피항 동작을 포함한다. 비상 대응은 주의(Caution), 경고(Alert), 긴급대응(Urgent) 단계로 구분된다. 비상 대응시 운항 모드는 단계에 따라 현재 운항모드가 유지되거나 전환되며, 문제가 발생할 경우에는 수동제어 모드로 전환해 안전을 확보한다. 각 운항 모드의 전환은 신호 오류나 기기 고장에 따라 RCC의 요청이나 승선 중인 운항자의 판단에 의해 이루어진다.

3. 안전성 평가 시나리오 개발

가. 시나리오 구성

자율운항시스템의 검증은 시험구역 테스트와 실해역 테스트로 구분하여 실시한다. 시험구역 테스트는 차폐된 수역에서 진행되며 하드웨어로 구현된 시스템을 제한된 환경에서 테스트하여 돌

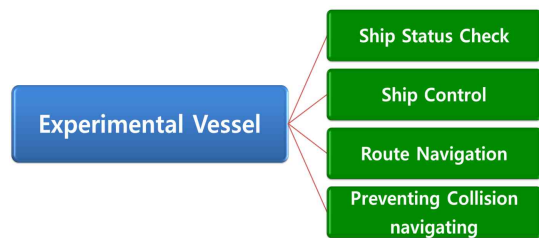
발변수에 대한 대응 부담이 적고, 문제 발생 시 피해를 최소화할 수 있다. 실해역 테스트는 실제 선박의 운항환경에서 다양한 상황과 돌발변수에 대한 시스템의 대응을 검증하여 안전성과 신뢰성을 확인한다.

자율운항선박의 통합제어 시나리오는 선위 측정, 항로 운항, 충돌 회피, 선박 제어, 비상 대응과 같은 운항상 주요 기능을 핵심 사항으로 구성과 내용을 달리해야 한다.

그리고 자율운항시스템의 성능을 검증할 때 시험선과 실증선은 선박의 설비나 규모 등이 상이하므로 검증을 위한 운항테스트의 방법과 내용을 달리하여야 하며, 선박의 출항 전과 항행 중에 실시하는 내용을 구분하여 시나리오를 구성하여야 한다. 또한 개별 시나리오에 따른 테스트는 시스템 운용의 안전성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 여러 차례에 반복하여 실시하여야 한다.

나. 시험선

제한된 수역 내에서 모든 성능 및 기능을 빠짐없이 반복적으로 수행할 수 있도록 지정항로를 설정해 시험을 실시하는 것을 제한한다. 선박의 특성에 따른 차이를 최소화하고 성능검증이 용이하도록 하며, 충돌회피 알고리즘, 데이터 처리 등을 중점적으로 점검한다. 시험선의 평가 시나리오는 출항 전 점검, 선박제어, 항로 운항, 충돌회피로 구성하였다.



[Fig. 1] The Experimental Vessel test scenario.

1) 출항 전 선박점검 모드

선박의 감항성 및 DBS와 통합플랫폼의 정상적

인 작동 상태를 출항 전에 담보하기 위하여 각종 항해 장비, 주기관 및 선박 설비가 정상적으로 작동하는지 확인하고, 자율운항시스템의 주요 설비인 DBS, ISA, ANS의 데이터 입력-분석/처리-출력이 정상적으로 작동하는지 점검한다.

또한 DBS와 각종 항해장비 및 ISA, ANS 간 데이터 송수신 점검 및 연동 상태를 확인한다. 그리고 선내 통신 및 선박과 RCC 간 통신상태를 출항 전에 확인한다.

<Table 2> the Pre-departure Ship status check mode

| Scenario                             | Contents of Evaluation   |
|--------------------------------------|--|
| Navigation Equipment Inspection      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verify the operational status of navigation equipment: (Positioning / Depth / Speed / Route navigation / Collision avoidance / Communication equipment)</li> </ul>  |
| Ship and Engine Equipment Inspection | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verify the operational status of engine equipment: (Main engine / Generator status / Auxiliary equipment)</li> <li>Verify the operational status of ship equipment: Steering gear status</li> </ul>                 |
| DBS System Check                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Remote control status</li> <li>DBS operation and monitoring status: (Data transmission and reception status / Connection status with other systems / Data transmission and reception with other systems)</li> </ul> |

2) 선박제어 모드

선속의 제어와 침로의 제어로 구분한다. 선속의 제어는 선박이 설정 속력을 유지하며 지속적으로 항행하는지, 주기관 제어 명령에 따라 증속, 감속, 정지와 같은 선속 변경이 되는지 확인한다.

침로의 제어는 타 조작이 가능한지, 조타기 제어 명령에 따라 변침이 적절하게 이루어지는지 확인한다. 이때 변침시 타각을 다양하게 실시하고, 현재의 침로와 설정 침로값의 차이를 다양하게 실시하여야 한다.

<Table 3> the Ship Control mode

| Scenario       | Contents of Evaluation  |
|----------------|---|
| Speed Control  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verify that the ship maintains the set speed continuously while navigating</li> <li>Verify that increasing speed, decreasing speed, and stopping are achieved according to the main engine control commands</li> </ul>                             |
| Course Control | <ul style="list-style-type: none"> <li>Check if rudder operations for course changes are possible</li> <li>Verify that course changes are executed properly according to the steering gear control commands</li> <li>Confirm the normal operation and alarms of the Auto pilot</li> </ul> |

3) 항로 운항 모드

항로 운항 모드는 선박이 자동으로 설정된 항로를 운항하는 성능을 검증하기 위하는 평가이다. 직선 구간에서 선박이 설정 침로값을 유지하며 일정 시간 동안 항로 설정 범위 내에서 항해를 지속하는지 확인하며, 곡선 구간에서는 변침점에 도달 전에 선박이 변침을 실시하여 정확하게 항로 내에 정침하는지 단일 선회와 복수 선회로 구분하여 확인한다.

<Table 4> the Route navigation mode

| Scenario                             | Contents of Evaluation   |
|--------------------------------------|--|
| Straight line navigation             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Confirm if the vessel can maintain its set course</li> <li>Verify if the vessel continues to navigate within the set course limits over a specified period of time</li> </ul>   |
| Curve line navigation(Single Turn)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verify if the vessel executes the course change before reaching the designated way-point and aligns accurately within the planned route after the turn, when there is a single course change segment in the planned route</li> </ul>  |
| Curve line navigation(Multiple Turn) | <ul style="list-style-type: none"> <li>Verify if the vessel can appropriately maneuver through multiple course change segments on the planned route</li> <li>Check if the vessel meets the ship maneuverability test standards (such as tuning performance and handling performance) when executing consecutive turns</li> </ul> |

4) 충돌회피

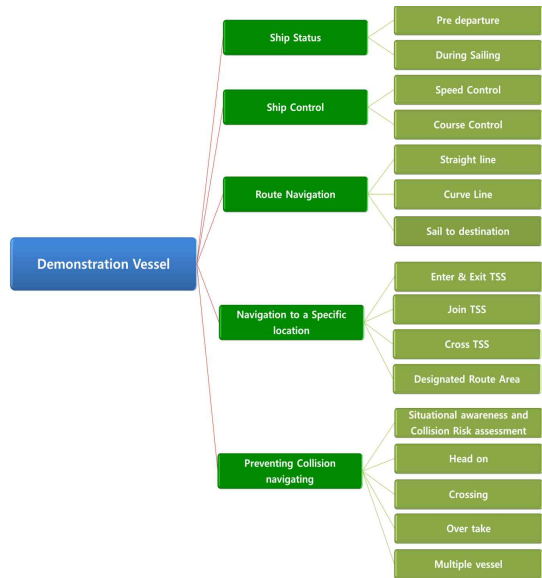
본선과 상대 선박이 시계 내에서 1대1로 조우하는 경우에 충돌이 발생할 수 있는 세 가지 상황인 추월 상태, 마주치는 상태, 교차 상태에 따라 선박이 항법에서 규정하는 대로 피항동작을 수행하여 충돌을 회피할 수 있는지 확인한다. 이때 상황의 판단, 피항 동작과 시기, 피항 결과의 적정성을 확인하여야 한다.

<Table 5> the Preventing Collision navigating mode

| Scenario              | Contents of Evaluation   |
|-----------------------|--|
| Head on situation     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Confirmation of Whether the Own Ship Should Execute an Early Starboard Turn (Situation Assessment, Timing to avoid collision, Confirmation action to avoid collision)</li> </ul>  |
| Crossing situation    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Confirmation of whether the test vessel, as the give-way vessel, is making an appropriate course change</li> <li>Confirmation of whether the test vessel, as the stand-on vessel, is taking appropriate actions (maintaining course/speed, early collision avoidance, active cooperation)</li> </ul>  |
| Over taking situation | <ul style="list-style-type: none"> <li>Confirmation of whether the test vessel, as the overtaking vessel, maintains an appropriate distance from the vessel being overtaken and makes an appropriate course change during overtaking.</li> <li>Confirmation of whether the own ship, as the vessel being overtaken, maintains course and speed, and appropriately responds to any improper actions by the overtaking vessel</li> </ul> |

다. 실증선

실증선의 운항 기능점검은 실해역에서의 실시하는 것을 기준으로 가정하여, 선박의 운항 안전을 최우선으로 자율운항시스템으로 선박이 안정적으로 항해기능이 수행되는지 점검 및 확인하는 것을 목적으로 한다.



[Fig. 2] The Demonstration Vessel test scenario.

1) 선박점검 모드

실증선의 선박 설비 및 시스템 점검 시나리오는 선박의 출항 전과 운항 중으로 구분한다. 출항 전 점검은 선박의 감항성 및 자율운항시스템의 정상적인 작동 상태를 출항 전에 담보하기 위하여 각종 항해 장비, 주기관 및 선박 설비가 정상적으로 작동하는지 확인하고, 자율운항시스템의 주요 설비인 DBS, ISA, ANS의 데이터 입력-분석/처리-출력이 정상적으로 작동하는지 점검한다. 또한 DBS와 각종 항해장비 및 ISA, ANS 간 데이터 송수신 점검 및 연동 상태를 확인한다.

운항 전 점검은 선박의 항해 장비, 주기관 및 기관설비가 정상적으로 작동되고 문제가 발생하는 경우 절차에 따라 자동으로 대응하는지 확인한다. 주요 시스템(DBS, ISA, ANS)이 정상적으로 작동하는지 확인하고 문제 발생시 자동으로 절차에 따라 대응되는지 확인한다.

선박운항 모드의 전환이 정상적으로 이루어지고 그에 따라 선박의 제어가 수행되는지 확인한다. 만약 문제상황이 발생하면 자동으로 절차에 따라 대응되는지 확인한다. RCC에서 선박이 모

니터링이 정상적으로 되고 있고, 선박의 원격 제어가 가능한지 확인한다.

<Table 6> the Ship status check mode

| Scenario   | Contents of Evaluation  |
|--|---|
| Inspection of Ship Equipment and Systems (Pre departure) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirmation that the navigational equipment is operating normally.</li> <li>○ Confirmation that the main engine and engine equipment are operating normally.</li> <li>○ Confirmation that the major systems (DBS, ISA, ANS) are operating normally.</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirmation that the switching of ship operation modes is performed normally.</li> <li>○ Confirmation that the monitoring of the ship from the RCC is functioning properly and that remote control of the ship is possible.</li> <li>○ Confirmation of the communication status between on-board and ship RCC.</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that the navigational equipment is operating normally and that any issues are automatically addressed according to procedures.</li> <li>○ Confirm that the main engine and engine equipment are operating normally and that any issues are automatically addressed according to procedures.</li> <li>○ Confirm that the major systems (DBS, ISA, ANS) are operating normally and that any issues are automatically addressed according to procedures.</li> <li>○ Confirm that the switching of ship operation modes is performed normally and that any issues are automatically addressed according to procedures.</li> <li>○ Confirm that the ship is being monitored properly from the RCC and that remote control of the ship is possible.</li> </ul> |

2) 선박제어 모드

선속의 제어는 선박이 설정속력을 유지하며 지속적으로 항행하는지, 주기관 제어 명령에 따라 증속, 감속, 정지와 같은 선속 변경이 되는지 확인한다. 이때 선속을 변경하고자 주기관에 명령(Order)을 하였을 경우 실제 주기관의 RPM이나

Load(부하)가 변화하는지, 반응하는데 걸리는 시간 등을 확인하여야 한다.

침로의 제어는 명령 타각이나 설정 침로값을 다양하게 하여 선박의 변침이 적절하게 수행되는지 확인한다. 이때 초과각이나 선회성능이 본선 제원에 맞게 적절한지 수행되는지 확인하고, 자동조타장치의 작동 상태와 설정값 초과시 Alarm(경보)가 제대로 작동하는지 확인한다.

<Table 7> the Ship Control mode

| Scenario      | Contents of Evaluation  |
|---------------|---|
| Speed Control | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Verify that the ship maintains the set speed continuously while navigating</li> <li>○ Verify that increasing speed, decreasing speed, and stopping are achieved according to the main engine control commands</li> </ul>                               |
|               | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Check if rudder operations for course changes are possible</li> <li>○ Verify that course changes are executed properly according to the steering gear control commands</li> <li>○ Confirm the normal operation and alarms of the Auto pilot</li> </ul> |

3) 항로 운항 모드

항로 운항 성능을 검증하기 위해서 직선항로에서 선박이 설정 침로값을 유지하며 일정 시간 동안 항로 설정 범위 내에서 항해를 지속하는지 확인하고, 항로 내 변침구간이 있는 곡선항로에서는 변침점에 도달 전에 선박이 변침을 실시하여 정확하게 항로 내에 정침하는지 단일의 선회와 복수의 선회를 통하여 확인한다.

그리고 선박이 항행중 지속적이고 안정적으로 선위를 측정, 모니터링하면서 예정 항로를 따라 목적지까지 도착하는지 확인한다. 이때 항로를 이탈하는 경우에는 실증선이 이를 인지하고 항로에 자동으로 복귀하는지 ETA(도착예정시간)을 맞추기 위해 선속이 자동으로 조정되는지 확인한다.



<Table 8> the Route navigation mode

| Scenario                 | Contents of Evaluation   |
|--------------------------|--|
| Straight line navigation | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that the ship is sailing within the set course range along the planned route for a specified period of time.</li> </ul>   |
| Curve line navigation    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that in the case where there is one alteration section on the planned route, the course alteration is performed accurately within the route before reaching the alteration point.</li> <li>○ Confirm that in the case where there are multiple alteration sections on the planned route, the course alteration is performed accurately within the route before reaching the alteration points.</li> <li>○ Confirm that in the case where there are straight sections and multiple alteration sections, the course and route maintenance, pre-alteration before reaching the alteration sections, and accurate positioning within the route after alteration are performed.</li> </ul> |
|                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that the ship continuously and stably measures its position while navigating</li> <li>○ Confirm that in the case where there are alteration sections on the planned route, the course alteration is performed accurately within the route before reaching the alteration points.</li> </ul>   |
| Sailing to destination   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that the ship is navigating within the set course range (route width) while following the planned route.</li> <li>○ Confirm that if the ship deviates from the route width, it detects this and automatically returns to the route.</li> <li>○ Confirm that the ship appropriately adjusts its speed by comparing its real-time speed with the ETA.</li> </ul>  |

4) 특정수역 운항 모드

궁극적으로 자율운항선박이 안전하게 운항을 한다는 것은 지정 항로 등 특정수역을 불문하고 항해 가능한 모든 수역에서 항해의 안전을 확보할 수 있어야 하므로 항행구역 내에 지역적 특별규칙이 있더라도 이를 숙지하고 선박을 안전하게 운항시킬 수 있어야 한다.

선박이 항행하는 수역 중에는 국제규칙이나 연안국의 법령에 의하여 항로나 운항규정이 정해진 특정한 장소들이 있다. 대표적으로 좁은 수로, 항로가 지정된 곳(해사교통안전법)이나 무역항의 수상구역 내 항로(선박입출항법)가 이에 해당된다. 이러한 곳에서는 병렬항행 금지, 추월 금지, 위험화물운반선/홀수제약선 통항방해 금지 등의 일반적인 선박의 운항과 다른 규정들이 존재하는데 실증선이 이러한 운항규정을 준수하여 운항이 가능한지 확인하여야 한다.

<Table 9> the navigation to a specific location mode

| Scenario               | Contents of Evaluation  |
|------------------------|---|
| Entry and exit TSS     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm that the ship is sailing within the set course range along the planned route for a specified period of time</li> </ul>   |
| Joining TSS            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ If joining the traffic lane from a position other than the starting position of the traffic lane, confirm whether:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• The ship enters the traffic lane at a small angle</li> <li>• The ship adjusts its course to match the general flow of the traffic lane after entry</li> <li>• The ship maintains an appropriate distance to avoid the risk of collision with other navigating vessels</li> </ul> </li> </ul> |
|                        | Crossing TSS  |
| Designated route areas |   |

※TSS : Traffic Separation Scheme(TSS)

<Table 10> the Preventing Collision navigating mode

| Scenario  | Contents of Evaluation  |
|---|---|
| Situational Awareness and Collision Risk Assessment | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm whether continuous detection of targets around the vessel is being conducted.</li> <li>○ Confirm whether real-time calculation of collision risk with surrounding targets is being performed</li> <li>○ Confirm whether alternative heading sensors or speed measurement devices are used if heading or speed information is not received by the ARPA</li> <li>○ Confirm whether backup systems are utilized in case target tracking is not possible</li> </ul>  |
| Head on situation (1:1)                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm whether the vessel initiates an early starboard turn</li> </ul>  |
| Crossing situation (1:1)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm whether the vessel, if it is the give-way vessel, initiates an early and appropriate course alteration (considering situations ahead, abeam, and abaft the beam)</li> <li>○ If the vessel is the stand-on vessel, confirm the following:                             <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Whether it maintains course and speed, 2) Whether it takes early collision avoidance actions if the give-way vessel does not take appropriate action, 3) Whether it takes cooperative actions to avoid collision if the two vessels are in close proximity</li> </ol> </li> </ul> |
| Over taking situation (1:1)                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ If the vessel is the overtaking vessel, confirm whether it maintains an appropriate distance from the vessel being overtaken (check both port and starboard sides)</li> <li>○ If the vessel is the one being overtaken, confirm whether it maintains course and speed, and appropriately responds to any improper actions by the overtaking vessel</li> </ul>  |
| Risk of collision with multiple vessels             | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm whether an alert message appears for vessels with a DCPA within a certain range.</li> <li>○ Confirm whether collision avoidance actions are prioritized for vessels with smaller TCPA values.</li> </ul>   |
| In restricted visibility                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Confirm whether the vessel is navigating at a safe speed</li> <li>○ Confirm whether the fog signal is being sounded</li> <li>○ Confirm whether evasive actions are being taken for approaching vessels</li> </ul>  |

5) 충돌회피 운항 모드

실증선의 항해중 주변 선박이나 위험물을 실시간으로 탐지하고 추적하여 충돌의 위험성을 계산하고 있는지 확인한다. 만약 물표의 추적이 불가능한 경우에는 사용 중인 장비에서 백업 시스템으로 전환되는지 확인하여야 한다.

충돌의 위험이 있는 경우에는 항해중 서로 시계 내에서 본선과 상대선이 1 대1로 조우하는지, 본선과 다수의 선박 간에 충돌위험이 있는지 구분하여 충돌회피 운항이 가능한지 확인한다.

본선과 상대선박이 1대1로 조우하는 경우에 충돌이 발생할 수 있는 세 가지 상황인 추월 상태, 마주치는 상태, 교차 상태에 따라 선박이 항법에서 규정하는 대로 피항동작을 수행하여 충돌을 회피할 수 있는지 확인한다. 이때 충돌 위험성 판단, 피항 동작과 시기, 피항 결과의 적정성을 확인하여야 한다.

본선과 다수의 선박 간에 충돌의 위험이 있는 경우에는 최소근접점까지의 거리(DCPA)가 일정 범위 내에 있는 선박들에 대하여 최소근접점까지의 시간 (TCPA)값이 적은 선박을 우선으로 충돌 회피 동작을 실시하는지 확인한다.

IV. 결론

자율운항선박은 해양산업의 패러다임을 전환시킬 수 있는 고부가가치 핵심미래기술로서, 자율운항시스템의 개발과 상용화를 위해서는 안전성과 신뢰성의 확보가 필수적이다.

본 연구에서는 유사산업 자율시스템 평가 내용과 기술자격 시험을 비교하여 자율운항시스템의 안전성 평가를 위한 검증 요소와 기본적인 시나리오의 구성과 내용을 개발하여 제시하였다.

이때 자율운항시스템의 검증은 각 기능의 가용

성을 확인하는 시험선과 전체적인 시스템이 탑재되어 실제 선박의 운항 가능 여부를 판단하기 위한 실증선으로 구분하였다. 그리고 시험선과 실증선에 따라 필수적인 운항 기능점검을 위한 항목을 세분화하여 검증 시나리오를 제시하였다.

현재 국내에서 개발 중인 자율운항선박의 항해 시스템은 기능별로 세분화되어 진행되고 있다. 본 연구에서는 제시된 시나리오를 활용하면 자율운항선박의 전체 기능을 점검 가능하며, 정상 작동 여부를 판단할 수 있는 기준으로 활용될 수 있다. 이러한 연구는 해외에서도 초기 단계로 진행되고 있으며, 이는 자율운항선박의 안전성과 효율성을 증대시키기 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

향후 자율운항선박 안전성 평가 개별 시나리오에 대한 실효성의 증명을 위하여 정량적 성능평가를 위한 세부적인 평가 항목과 기준을 정립하기 위한 추가적인 연구가 필요하다.

## References

- Roh HS, Kim HJ and Yim JB(2024). Suitability Evaluation Method for Both Control Data and Operator Regarding Remote Control of Maritime Autonomous Surface Ships, *J.Navig.Port Res.*, 48(3), 214~219.  
<http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2024.48.3.214>.
- Kim HJ, Roh HS and Yim JB(2024). Development and Performance Evaluation Results of Remote Control Systems for Maritime Autonomous Surface Ships, *J.Navig.Port Res.*, 48(4), 335~341.  
<http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2024.48.4.335>.
- Meriam C, Xin R, Ahmad B, Sunil B, Victor B, Osiris A. and Pieter VG(2023), Research on risk, safety, and reliability of autonomous ships: A bibliometric review, *Safety Science*, Vol167, 1~20
- Lee HW and Yim JB(2023). Identifying Analog Gauge Needle Objects Based on Image Processing for a Remote Survey of Maritime Autonomous Surface Ships, *J.Navig.Port Res.*, 47(6), 410~418.  
<https://doi.org/10.5394/KINPR.2023.47.6.410>.
- Nam GK, Won YH, Kang SJ and Han WS(2017), Policy Implications and Comparison of National Legislation on Test Operation of Autonomous Vehicle, *KOTIS*, No.5, 489~497.
- Chae HS, Jeong YH, Yi KS, Choi IS and Mim KC(2016). Safety Performance Evaluation Scenarios for Extraordinary Service Permission of Autonomous Vehicle, *Transations of KASE*, 24(5), 495~503.  
<http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2016.24.5.495>.
- ISO 15622(2010) Intelligent transport systems - adaptive cruise systems-performance requirements and test procedure, 5~18.
- ADMV(2023) : [https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%9E%90%EC%9C%A8%EC%A3%BC%ED%96%89%EC%9E%90%EB%8F%99%EC%B0%A8%EC%9D%98%20%EC%95%88%EC%A0%84%EC%9A%B4%ED%96%89%EC%9A%94%EA%B1%B4%20%EB%B0%8F%20%EC%8B%9C%ED%97%98%EC%9A%B4%ED%96%89%20%EB%93%B1%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EA%B7%9C%EC%A0%95/\(2023-610,20231031\)](https://www.law.go.kr/%ED%96%89%EC%A0%95%EA%B7%9C%EC%B9%99/%EC%9E%90%EC%9C%A8%EC%A3%BC%ED%96%89%EC%9E%90%EB%8F%99%EC%B0%A8%EC%9D%98%20%EC%95%88%EC%A0%84%EC%9A%B4%ED%96%89%EC%9A%94%EA%B1%B4%20%EB%B0%8F%20%EC%8B%9C%ED%97%98%EC%9A%B4%ED%96%89%20%EB%93%B1%EC%97%90%20%EA%B4%80%ED%95%9C%20%EA%B7%9C%EC%A0%95/(2023-610,20231031)).
- RPASSA(2021) : Remotely piloted Aircraft Safety Assurance, AC 922-00, 6~35.
- Road Traffic Act(2018) : [https://elaw.klri.re.kr/kor\\_service/lawView.do?hseq=48512&lang=ENG](https://elaw.klri.re.kr/kor_service/lawView.do?hseq=48512&lang=ENG)

- 
- Received : 15 October, 2024
  - Revised : 11 November, 2024
  - Accepted : 15 November, 2024