

선박 자율운항 요소기술 시험을 위한 안전관리절차서 개발

우동한* · 이인규*** · 임남균***

*, ** 목포해양대학교 LINC+ 사업단 초빙교수, *** 목포해양대학교 항해학부 교수

Development of Safety Management Procedures for an Autonomous Navigation Element Technology Test

Donghan Woo* · In-Gyu Lee** · Namkyun Im**

* Visiting Professor, LINC+, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

** Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 본 연구는 스마트 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS) 기술 개발 및 실증을 위한 산학 과제로서 목포해양대학교와 삼성중공업이 함께 참여한 연구가 안전하게 실시되어 질수 있도록 안전관리 절차서를 개발하였다. 본 연구에서는 국내 및 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)의 관련 가이드라인 및 해사 관련법 검토를 거쳐 안전관리 절차서를 개발하였다. 안전관리 절차서는 자율운항선박의 관련 해당 당국과 이해관계자들이 시스템 및 기반 시설에서 시험의 안전 및 환경 보호와 관련하여 적절하게 실시하기 위하여 국제해사기구에서 제시한 자율운항선박 시험을 위한 지침(MSC.1/Circ.1604, Annex : Interim guidelines for MASS trials)의 의거하여 개발 하였다. 개발된 안전관리 절차서는 당직체제로 운항 중인 선박에 항해보조기기로 탑재한 자율운항요소기술을 적용한 시스템의 해상 실증 시험을 위하여, 대한민국 연안의 해양환경보호와 항행 안전을 준수하면서, 관련 시스템의 시험이 안전하고 안정적으로 수행할 수 있도록 개발되었다.

핵심용어 : 자율운항선박, 해상시운전, 안전절차서, 국제해사기구, 실험실증, 시스템

Abstract : In this study, safety management procedures were developed based on domestic and foreign guidelines and related maritime law to ensure the safe development and implementation of smart autonomous ship technology and Samsung Heavy Industry. The safety management procedure was developed according to the guidelines for (MASS) sea trials (MSC.1/Circ.1604, Annex: Interim guidelines for MASS trials), proposed by International Maritime Organization (IMO) for the relevant authorities and stakeholders of MASS to properly conduct tests of systems and infrastructure related to safety and environmental protection. The developed safety management procedure applies to the maritime demonstration test of a system applying autonomous navigation element technology mounted as a navigation aid on a ship operating under a watch system, while complying with the environmental protection and navigation safety of the coast of Korea.

Key Words : MASS, Sea Trials, Safety Management Procedure, IMO, Validation, System

1. 서 론

자율운항선박(MASS)의 개발은 현재 전 세계 해양산업 분야의 가장 큰 이슈 중 하나이다(Lim and Lee, 2018). 현재 자율운항선박 관련 기술은 개발 중에 있으므로, 실증 검증을 위한 시운전 안전절차서는 당직체제로 운항 중인 선박에 항

해보조기기로 탑재한 자율운항요소기술을 적용한 시스템의 해상 실증 시험을 위하여, 대한민국 연안의 해양환경보호와 항행 안전을 준수하면서, 관련 시스템의 시험이 안정적으로 수행할 수 있도록 개발 되어야한다(Choi, 2020).

자율운항선박 관련 해당 당국과 이해관계자들이 시스템 및 기반 시설에서 시험의 안전하고 해양환경보호와 관련하여 적절하게 실시하기 위하여 국제해사기구(IMO)에서 제시한 자율운항선박 시험을 위한 임시지침(MSC.1/Circ.1604, Annex : Interim guidelines for MASS trials)을 바탕으로 작성되어야 한

* First Author : woodh@mmu.ac.kr

† Corresponding Author : yig9090@mmu.ac.kr

선박 자율운항 요소기술 시험을 위한 안전관리절차서 개발

다(IMO, 2019). IMO의 자율운항선박 시험을 위한 임시 지침은 MASS 선박을 대상으로 하고 있으나, 관련된 자율운항요소 기술의 개발 및 실증은 새로 건조되는 MASS에 국한하지 않고 당직체제로 기존 운항 중인 선박에 향해 보조 기기로 탑재하여 실증 단계를 거침으로써 자율운항요소기술 개발 단계를 단축할 수 있으며 현재 유인 체제로 운항 중인 대부분의 선박과의 안전한 교행을 위한 효율적인 자율운항요소 기술 개발을 촉진할 수 있을 것이다(Park et al., 2020).

기존 운항선에 항해보조기기로 자율운항요소 기술을 설치한 시스템 실증에 있어 주목해야 하는 부분은 다른 항해 기기와는 운항자의 의사 결정 과정이 기기에 의존하게 되는 자동항적제어 성능과 함께 타선과의 자동충돌회피 성능에 대하여 엄격한 기준 적용이 요구되며, 해상 시운전에 있어 자선과 타 선박의 항행 안전을 저해하지 않고, 항만 또는 관제 구역에서 위해성이 발생하지 않도록 체계화된 안전관리 지침서의 작성과 적용이 필요하다(Choi et al., 2018). 대한민국 연안에서 길이 100m 이상의 운항 중인 대형 선박에 항해보조기기로 자율운항요소기술을 적용한 시스템의 설치 및 실증을 위하여 이 지침서에 수록된 절차에 따라 인명과 선박의 안전 확보, 항해 시스템의 보호, 항행 안전을 확보해야 하며 적절한 검증 과정이 수반되어야 한다.

본 연구의 안전관리 절차서는 자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, MASS) 기술 개발 및 실증을 위한 산학 과제로서 목포해양대학교와 삼성중공업이 함께 참여한 연구가 안전하게 실시되어 질 수 있도록 안전관리 절차서를 개발하였다. 자율운항선박의 관련 해당 당국과 이해관계자들이 시스템 및 기반 시설에서 시험의 안전 및 해양환경 보호와 관련하여 적절하게 실시하기 위하여 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)에서 제시한 자율운항선박 시험을 위한 지침(MSC.1/Circ.1604, Annex : Interim guidelines for MASS trials)에 의거하여 개발 하였다. 개발된 안전관리 절차서는 당직체제로 운항 중인 선박에 항해보조기기로 탑재한 자율운항요소기술을 적용한 시스템의 해상 실증 시험을 위하여, 대한민국 연안의 해양환경보호와 항행 안전을 준수하면서, 관련 시스템의 시험이 안전하고 안정적으로 수행할 수 있도록 개발되었다.

2. 국내 및 IMO 관련 지침 및 관련법 검토

2.1 용어 정의

2.1.1 자율운항요소기술

자율운항요소기술이란 해상 물체/선박 및 해상 환경과 관련된 선박의 외부상황과 선박 운항/운동과 관련된 내부 상

황을 인식하기 위한 데이터 수집 및 분석 시스템과 자동항적제어·자동충돌회피제어 시스템을 구성하고 있으며 기능 측면으로 분류할 수 있는 기술을 말한다.

2.1.2 전문기관

전문기관이란 선박 운항에 관한 직접적인 전문 해기 교육과 연구, 해상교통안전 진단을 수행할 수 있는 학교나 단체를 말하며 각 전문성을 가진 학교나 단체가 연합하여 통일된 전문기관을 형성할 수 있으나 이 경우 책임 있는 대표 전문기관이 명시되어야 한다.

2.1.3 자율수준

국제해사기구에서 정의하는 자율운항선박의 자율화 수준은 아래와 같이 총 4개의 수준으로 분류되어진다.

- 1수준: 선원의 의사결정 지원
- 2수준: 선원승선, 원경제어 가능
- 3수준: 최소인원승선, 원경제어, 장애 예측·진단 등 기관 자동화
- 4수준: 완전무인 자율운항

본 연구에서 개발한 절차서의 자율운항선박의 자율수준은 시스템의 의해서 데이터가 수집·분석되고 그에 따른 의사 결정 및 실행도 시스템에 의해 수행되어 시스템에 의한 의사 결정에 대한 운영자의 확인이 반드시 요구된다. 운영자 확인이 선행되지 않을 경우 해당 의사결정 사항을 철회되고 운영자의 대응이 필요한 자율수준이다. 단 자율운항요소 기술 해상 실증 시험에서 한시적으로 시스템의 의해서 데이터가 수집/분석되고 그에 따른 의사 결정 및 실행도 시스템에 의해 수행될 경우 자율수준이 진행될 수 있으나 유인 당직체제 운항 중인 선박이므로 시스템에 의한 의사 결정 및 그 실행에 대한 정보는 운영자가 항상 모니터링하고 비정상 운용에 대하여 즉각적인 대응이 가능한 수준이다.

2.1.4 자율운항모듈

자율운항모듈이란 자율운항요소기술을 구성하는 단위기기를 의미하며 데이터 수집 및 분석 시스템, 자율운항시스템, 통신시스템 및 선외지원시스템으로 크게 분류된다. 자율운항모듈의 단순기능시험은 운항선의 제어 시스템과 직접 연계되지 단위기기의 독립된 기능을 의미하며 장소와 시간의 제약을 받지 않고 시험이 가능하나 복합기능시험 전에 검증이 되어야 한다. 복합기능시험은 기존 항해기기와 자율운항모듈 간의 적합한 인터페이스 기능을 시험하는 단계로 정박 중 사전 시험 단계를 거쳐, 안정적으로 운항선의 항해 상태를 유지할 수 있는 환경에서 항해 중 감시 상태에서 선

박을 제어하는 수준의 시험이며 통합기능시험 전 검증이 완료되어야 한다. 통합기능시험은 자동항적제어 성능과 함께 타선과의 자동충돌회피성능을 시험하기 위하여 시운전 설정 구역에서 선박 운영자, 시스템 개발자 및 전문기관에 의해 협의 검토된 시나리오에 따라 자동항적제어 성능과 함께 타선과의 자동충돌회피성능 시험을 의미한다.

2.2 원칙과 주요 목적

기존 운항선에서 자율운항요소기술을 시험하는 선박은 국제해사기구의 의무적인 협정서에 대한 면제는 적용되지 않으며 관련 규정을 준수하면서 시험의 목적, 시험 중 선박에 설치된 시스템의 예상할 수 있는 능력과 한계, 그리고 시험에 적용된 위험 통제수준 등을 고려해야 한다. 전문기관에서는 국제해상충돌예방규칙(International Regulation for Preventing Collision at Sea, COLREG)에 의거하여 통항규칙과 기존 선박운항자의 항행 관습과 분석한 결과를 근거로 자율운항요소기술의 자동충돌회피 알고리즘에 대한 분석과 검증 수행하여 당직체제로 운항 중인 운항선박의 위험 요인을 완화하거나 저감시킬 수 있도록 고려해야 한다.

자율운항요소기술 시험은 해당 기구에서 제시하는 동등 이상의 안전, 보안 및 해양환경보호 수준을 확보하는 방식으로 수행되어야 하며, 운항해역, 해역조건, 선박의 운항 상태, 시스템의 안전한 운용을 위해 운용 요건을 문서화하고 아래 항목들에 대한 정보를 명시하여야 한다.

2.2.1 위험 관리

자율운항요소기술 시험은 안전, 보안 및 해양환경보호에 관련된 위험 요소들을 다루어야 한다. 시험과 관련된 위험 요소들이 적절하게 식별되어야 하며 합리적으로 실행 가능하고 수용할 수 있을 정도로 위험 요인을 낮출 수 있는 기준이 마련되어야 한다. 위험도 평가 결과를 근거로 예측 가능한 사고나 실패의 충격을 줄이기 위하여 적절하고 효과적인 비상계획 및 대책이 수립되어야 한다. 시험의 안전도를 지속적으로 평가해야 하며, 안전 조건을 초과하게 되면 시험을 보류하거나 중단해야 한다.

2.2.2 자율운항요소기술 시험에 참여하는 인력의 배치 및 자격

자율운항요소기술 시험을 하는 운항선은 당직체제로 상시 시스템 감시가 유지되어야 하며 당직에 임하는 해기사에 대한 사전 교육이 선행되어야 한다. 복합기능시험과 통합기능시험을 진행하는 과정에서는 운항선의 선장이 직접 선교를 지휘하여야 한다. 선박 운항과 직접적인 관련이 없는 시스템 개발자는 선박에 승선하거나 또는 원격 운용 자율운항

요소기술 시험에 있어 선박을 운용할 수 있는 적절한 자격이 주어지기 위하여 관련 시스템 개발에 참여하거나 교육을 받은 선박직원법의 1급해기사 자격이 있는 선장 임회하에 시험에 참여하여야 한다. 원격 또는 승선 여부에 관계없이 자율운항요소기술 시험에 관련된 모든 인적 자원은 자율운항선박 시험을 안전하게 수행할 수 있는 적절한 교육, 자격, 연구 실적 또는 개발 경험을 갖추어야 한다.

운항 중인 선박에 자율운항요소기술을 안전, 보안, 해양환경 친화적으로 시험하기 위하여 인적 요소가 적절하게 배치되어야 한다. 인간 중심 설계와 자동화의 조화가 자율운항기술의 핵심 요소이기 때문에 시험에 있어 인적 시스템 인터페이스가 우선 고려되어야 한다.

2.2.3 시험의 안전한 수행을 위한 기반시설

안전과 보안, 해양환경 친화적 자율운항요소기술 시험 환경을 제공하기 위하여 통합기능시험 최적 시운전 해역을 전문기관에서 검토 설정해야 한다. 이와 관련하여 시스템, 기술 및 시험의 실패의 영향을 완화하기 위한 적절한 전략이 구현되어야 한다. 이러한 전략에는 비상사태에 대응할 수 있는 능력이 포함되어야 한다. 선박의 성능과 자동화된 시스템에 관한 판단의 기초와 연관된 정보는 원격 또는 승선 여부에 관계없이 자율운항요소기술 시험과 연계된 사람들이 이용할 수 있어야 한다.

2.2.4 시험의 인지

자율운항요소기술 통합기능시험에 있어 잠재적으로 영향을 받을 수 있는 주변 선박, 해양교통안전관리공단, 해상관제센터, 해양경찰이 시운전 구역에 관하여 인식할 수 있도록 국립해양조사원의 사전위험 고지제도를 활용하여 합리적인 조치가 취해져야 한다.

2.2.5 통신 및 사이버 위험 관리

시험의 안전한 수행을 위해 이중화를 포함하여 통신 및 정보 교환을 위한 적절한 수단이 제공되어야 한다. 자율운항요소기술 시험을 수행할 때 사용되는 시스템 및 육상기반 시설의 충분한 사이버 위험 관리를 확보하기 위한 적절한 조치가 취해져야 한다.

2.2.6 시운전 해역의 설정

해사안전법, 해사안전법시행규칙, 「해양수산부령으로 정하는 시운전」, 「대통령령으로 정한 시운전금지해역의 범위」 등의 국내법을 검토하여 자율운항요소기술 자동항적제어·자동충돌회피제어 성능을 실증할 수 있는 안전한 시운전 해

선박 자율운항 요소기술 시험을 위한 안전관리절차서 개발

역 범위를 운항선 선장에게 제시한다. 해양수산부령으로 정하는 시운전의 정의는 아래와 같다.

- 선박의 선회권 등 선회 성능을 확인하기 위한 시운전
- 선박의 침로를 좌·우로 바꿔 지그재그로 항해하는 등 선박의 운항 성능을 확인하기 위한 시운전
- 전속력 또는 후진(後進)으로 항해하거나 급정지하는 등 선박의 기관 성능을 확인하기 위한 시운전
- 비상 조타 기능 등 선박의 조타 성능을 확인하기 위한 시운전
- 그 밖에 선박의 침로나 속력의 급격한 변경 등으로 인하여 다른 선박의 항행안전을 저해할 우려가 있는 시운전

Fig. 1은 대한민국 영해선, 영해 기선 및 시운전 금지해역을 나타낸다.

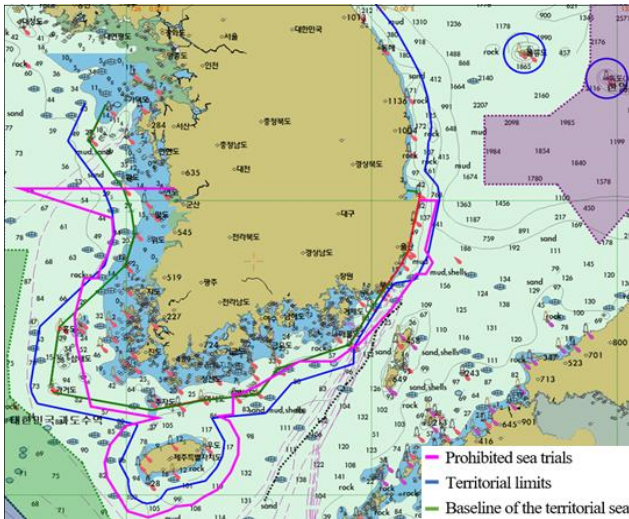


Fig. 1. Territorial limits, baseline of the territorial sea and prohibited sea for sea trials of Republic of Korea.

시운전 해역 선정 시 추가 고려 사항은 아래와 같으며 운항선선장이 최적의 해역을 선정할 수 있도록 해상 교통량 분석 자료를 제시해야 한다. 이러한 분석 자료들은 향후 시운전 금지 해역 이내의 실제 항로 투입 실증시험에도 참조가 될 수 있다. 또한 아래와 같이 항행 경보 사항들을 시운전 해역의 해당 여부를 확인해야한다(Fig. 2).

- 어장
- 훈련구역
- 어장
- 여객선항로
- 해상풍력단지
- 해상교통량분석

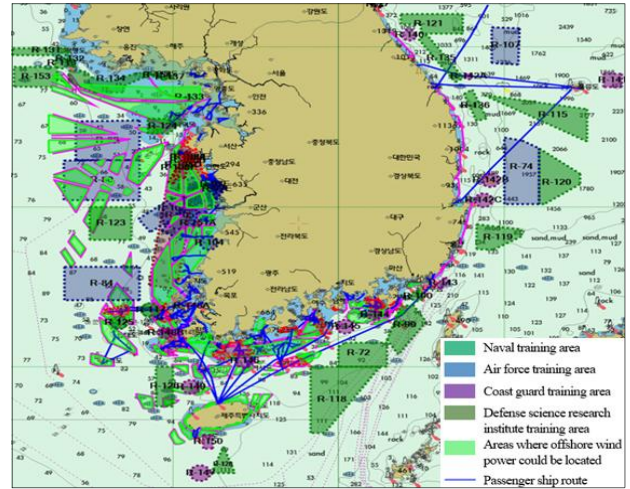


Fig. 2. Navigation warning for the area of sea trials.

3. 안전관리절차

당직체제로 기존 운항 중인 선박에 자율운항요소기술 실증시험을 대한민국 한국연안에서 안전하고 안정적으로 수행하기 위하여 안전관리절차가 작성되고 준수되어야 한다.

3.1 시스템개발자 위험관리

자율운항모듈의 위험도 평가 고려사항은 아래와 같으며 운항선 실증시험 필요 시 문서화하여 제공될 수 있어야 한다.

- 식별된 위험요소, 발생 빈도 및 예상 피해 규모
- 식별 가능한 안전장치의 명시
- 정량적 위험도 해석 모델
- 불확실성, 민감도, 가정 등
- 위험도 수준과 평가 기준과 비교
- 위험도 제어 수단과 위험도 감소 수준
- 위험도 추가 해석, 실험 및 분석, 시험 등의 필요 사항
- 운항 관련 주의사항

시스템 개발자는 개발 중이거나 개발된 자율운항모듈에 대하여 한국선급 자율운항선박 지침에 상응하는 위험도기반 설계가 적용되어야 하며, 운항선에 자율운항모듈 설치 및 안전 책임은 시스템 제공자에 있다(KR, 2020a). 해당 선급의 규정에 적합해야 하고, 설치 과정, 상태 및 정상 작동 여부는 선장과 기관장 또는 업무가 위임된 지정된 해기사 아래 사항들을 확인하여야 한다.

- 운항모듈 설치 위치 및 형상 안전성 확인
- 모듈 설치로 인한 전선과 관통 부위 안전성 확인
- 자율운항모듈과 유선 또는 무선으로 연결된 기기의 정상 작동 확인
- 모듈의 지속 활용 또는 철거는 설치 시 고려
- 자율운항 모듈 설치 안전점검표에 의한 관리(Fig. 3)

자율운항모듈 설치 안전점검표

1.1 자율운항모듈 설치 위치 및 협상				
점검 사항	Yes	No	NA	보완 또는 대응 방안
1) 자율운항모듈 위치 선교 내 동선 방해 유무				
2) 모듈 접속부 부근 바닥 요철 유무				
3) 모듈 외양 접속부 안전성				
4) 야간 할때 시 반사와 협상 가능성				
특기사항				
1.2 전선 설치 위치 및 마감 처리				
점검 사항	Yes	No	NA	보완 또는 대응 방안
1) A-60 화재 구획 관통 부위 유무 확인				
2) 외부와 연결되는 관통 부위				
3) 전선 보호 조치				
4) Sharp edge 접촉 유무 확인				
특기사항				
1.3 연결된 기기의 정상 작동				
점검 사항 (예시)	Yes	No	NA	보완 또는 대응 방안
1) <i>IBS</i>				
2) <i>IBS</i>				
3) <i>Steering wheel</i>				
4) <i>SAS Claming</i>				
5) <i>SAS BDRM with F-SBK</i>				
6) <i>SAS RCDIS with Collision Avoidance</i>				
7) <i>SAS Around View</i>				
특기사항				

Fig. 3. Autonomous navigation module installation safety checklist.

자율운항요소기술의 실증을 위하여 시스템 개발자는 단순기능, 복합기능, 통합기능시험항목과 기능 정의를 열거한 목록을 Fig. 4와 같은 서식에 제시하여야 한다. 운항선에서는 이를 활용하여 시운전 금지 구역 내에서 수행할 수 있는 자율운항요소기술의 기능을 분류하고 안전성 및 신뢰성 기반 선박 운용 계획 및 실증시험에 반영하도록 한다.

자율운항요소기술 기능시험 분류

번호	자율운항요소기술 시험 항목	기능 정의	기능 분류				시험 가능 시험	
			단순	복합	통합	정박	항해	

Fig. 4. Classification of autonomous navigation element technology function test.

자율운항요소기술의 원격제어 성능을 검증하기 위해서 데이터 통신을 사용하는 경우 「해상 사이버 보안 형식승인 지침」과 「제조법 및 형식승인 등에 관한 지침 3장 23절」에 준하는 조치가 취해져야 하고, 필요한 경우 사이버보안 형식승인 및 형식승인을 받아야 한다. 시운전 중 야기될 수 있는 사이버 위험을 완화하기 위하여 다음 사항이 고려되어야 한다(KR, 2020b; 2020c).

- 물리적 보안 및 사고대응 복구
- 접근통제, 외부자 보안 및 데이터 보안
- 로그 관리 및 시스템 관리
- 패치 관리 및 암호화
- 악성코드 대응 및 네트워크 관리

당직체제로 운항 중인 현재 항행 환경에서 운항선의 자율운항요소기술 적용에 따른 시스템 및 기능에 대한 안정성과 신뢰성을 확보하기 위해 전문기관에서 알고리즘 분석 및 적합성 연구에 필요한 자료 요청 시, 시스템 개발자는 아래의 자율운항요소기술 시스템에 관한 알고리즘 및 실적자료를 제시하여 시스템의 고도화 개발에 반영하여야 한다.

- 데이터 수집 미 분석 시스템
- 자율운항 시스템
- 통신시스템
- 선외 지원 시스템
- 자율운항모듈의 실험 실적 데이터

운항선에 설치된 데이터 수집 장치 및 자율운항모듈의 철거 또는 준치는 선박소유자와 시스템 개발자의 협의로 결정한다. 준치의 경우 시스템 개발자가 자율운항모듈을 정부당국 인증기관을 통해 자율운항모듈의 형식 승인 단계를 통해 최신화하지 않은 상태에서는 운항선에서 항해보조기기로만 사용될 수 있으며 기존의 항해당직체제를 유지하여야 한다.

3.2 전문기관 위험관리

3.2.1 운항선의 항해계기 정밀도 및 안정성 확보

운항선 항해 계기는 IMO 성능기준에 만족한 상태로 탑재 설치된 것으로 되어 있고 운항자는 제조자 기준에 의거 정상 작동 상태는 확인할 수 있다. 실시간 연동되어 정밀도가 요구되는 자율운항모듈 항해에 따른 안전성과 신뢰성을 확보하기 위해 운항선에 탑재되어 있는 항해계기 핵심 장비에 대하여 각 기기의 정밀도 값을 계측하여 IMO 성능기준 만족 여부를 확인한다. 대표적으로 아래의 항해계기에 대한 성능기준 평가가 있다.

- 위치결정시스템(Global Positioning System, GPS) 정밀도 확인(Fig. 5)
 - GPS의 위치는 분산되어 표시됨으로 95%에 속하는 데이터 기준 평가
 - Differential GPS(DGPS) 위치 오차 허용 범위: < 10미터
 - 안정적인 접안 상태에서 측정

위치 결정 시스템 : No.1 DGPS (허용 오차 10미터)

초 단위	위도			경도		
	도	분	초	도	분	초
1						
2						
3						
4						
5						
6						
평균 위경도						
계측일자	위도표준편차			경도표준편차		
2021****	DRM		2 DRMS	8.4		단위: meter

Fig. 5. DGPS accuracy check table using standard deviation.

선박 자율운항 요소기술 시험을 위한 안전관리절차서 개발

- 안전상태의 차이로 오차(Fig. 6)
 - 안전 상태의 차이로 선수방향과 선박의 선수진방향의 차이를 의미
 - 오차 허용 범위: +/- 0.75
 - 접안 부두의 안벽 방위를 확인하고 안정적인 접안 상태에서 측정

계류 횟수	시간 기준	No.1 Gyro	No.2 Gyro	No.3 Gyro
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
평균 Settle point 선수 방위				
안벽 진 선수 방위 (설치 기준)				
Settle point error				
Master Repeater 선수 방위				
Master Repeater Error				
Settle point Error + M.R. Error				

Fig. 6. Gyro error measurement check table.

- 레이더의 거리 및 방위 측정 정밀도(Fig. 7)
 - 가변거리조정기(Variable Range Marker, VRM)의 끝단 거리와 실제 거리의 오차, 레이더 전자식방위선(Electronic Bearing Line, EBL) 오차 측정
 - VRM 거리 오차 허용범위: < 30미터 또는 선택 범위의 1% 중 큰 쪽
 - 레이더 EBL 오차 허용 범위: +/- 1°에서 측정
 - VRM 거리는 접안 또는 항해 중 측정 가능
 - EBL은 안정된 접안 상태 측정

RADAR	Scale	실제 목표 거리	VRM 거리	VRM 오차(m)
No.1 X-band				
No.2 S-band				
No.3 S-band				
No.1 X-band				
No.2 S-band				
No.3 S-band				

RADAR	Scale	실제 목표 방위	EBL 방위	EBL 오차(°)
No.1 X-band				
No.2 S-band				
No.3 S-band				

Fig. 7. Radar distance and azimuth accuracy measurement check table.

- 수심 계측기 정밀도(Fig. 8)
 - 선박 흘수 변화에 따른 수심계측기 위치의 흘수 계산 선행
 - 해도와 측정 수심 오차 범위: 각 선택 수심의 +/- 1.5%
 - 전속으로 항해 중 등심선을 지날 때 측정
 - 조석 차이와 선체 침하현상 고려

등심선	조석	계측지점	계측기 흘수	SQUAT	계측 수심	오차

Fig. 8. Echo-sounder accuracy measurement check table.

3.2.2 자율운항요소기술 검토

자율운항요소기술 통합기능 실증 시나리오를 검토하여 운항선 선장 및 시스템 개발자와 공유해야 한다. 공유해야 할 사항들은 아래와 같다.

- 자동항적제어 성능 확인을 위한 ‘ㄷ’항로 설정
- 국제해상충돌예방규칙에 근거한 자동충돌회피제어 시나리오 결정
- 통상 운항자의 충돌회피 패턴 분석 및 연구
- 시나리오에 적용할 CPA(Closest Point of Approach)와 TCPA(Time Closest Point of Approach) 개시거리 설정 및 조정 범위 결정
- 적용 타각 한계치 및 조정 범위 결정

자율운항요소기술 알고리즘 적합성을 연구하여 시험의 목적, 시험 중 선박에 설치된 시스템의 예상할 수 있는 능력과 한계, 그리고 시험에 적용된 위험 통제수준 등을 아래와 같이 고려해야 한다.

- 외국 자율운항선박 사례 조사
- 자동충돌회피 알고리즘 분석
- 피항알고리즘 방향성 연구
- 의사결정시스템 분석
- 설치된 자동충돌회피제어 시스템 적합성 연구

3.3 해상 실증 시운전을 위한 운항선 대응 업무

기본적으로 승인되어 있는 운항선의 안전관리체제(Safety Management System, SMS), 비상 계획(Contingency Plan) 등 국제법과 국내법을 수용한 규정과 안전 증서들은 유효하게 적용되며 자율운항요소기술 통합기능 실증 시운전을 위한 승선인원의 증가에 따른 안전설비 추가, 교육, 관련 기록 등이 수행되어야 한다.

3.3.1 안전설비 및 거주시설

안전설비 및 거주시설 수용 여부를 위하여 아래 사항들을 확인하고 조치한다.

- 실증 시험을 위한 추가 승선명단과 인원을 확인
- 추가 승선인원 대한 안전설비
- 추가 승선인원의 거주시설 사용 유무
- 추가 승선인원에 대한 안전 교육 및 훈련 실시

3.3.2 항해 및 정박 당직 체제

항해 및 정박 당직 체제를 유자하고 아래 사항들을 확인하고 실시해야 한다.

- 자율운항모듈은 항해보조기기로 설치됨
- 승선 중인 해기사들에 관한 사전 관련 기술 교육 실시
- 실증 시험 중에도 당직 해기사 책무는 면책되지 않음
- 통상 당직 중 자율운항요소기술 단순기능과 복합기능 시험 가능
- 단순기능과 복합기능시험 관련 사항은 당직사관에게 사전 통보 필요
- 단순기능과 복합기능시험의 수행 여부는 당직사관이 결정
- 선장 입회하에 단순기능과 복합기능시험 수행을 명할 수 있음

3.3.3 자율운항 요소기술 통합기능시험의 시작과 종료

선장의 선교 입회하에 수행하며 시스템에 의한 선박 제어 시에도 상시 감시 체제를 갖추어야 하며, 예상된 위험도보다 위험도가 증가할 시 즉각 운항자 제어 기능으로 변경해야 한다. 실증시험은 아래의 순서로 진행된다.

1. 기존 항해계기의 및 선박 제어기기의 정상 작동 상태 확인
2. 자율운항모듈 정상 작동 상태 확인
3. 자율운항모듈 데이터 통신 정상 상태 확인
4. 시험 대상 선박과의 통신체계 확보
5. 선장의 선교 입회 및 실증시험 시작 선언
6. 시운전 해역 진입
7. 시운전 시나리오에 의거한 실증 시험 수행
8. 선장의 실증시험 종료 선언
9. 실증시험 관련 기록 사항을 LOG BOOK에 기재

3.4 시험의 인지 및 해당기관 통보

자율운항요소기술 시험과 연계된 시스템 개발자, 전문기관, 운항자는 실증 시험의 일정 및 결정된 시나리오에 관한 정보를 공유해야 한다. 자율운항요소기술 통합기능시험 일정이 결정되면 운항자는 국립해양조사원의 사전위험 고지제도를 활용하고 해양교통안전관리공단, 해상관제센터, 해양경찰이 시운전 수역에 관하여 인지할 수 있도록 통보한다.

3.5 데이터 통신 및 사이버 위험 관리

자율운항요소기술 시험을 수행할 때 사용되는 시스템 및 육상기반 선외 지원 시스템과 선박자체의 선박 운항과 관련한 데이터와 사이버 위험관리를 독립하여 사이버 위험 관리를 확보하기 위한 적절한 조치를 취한다.

4. 결 론

본 연구는 목포해양대학교와 삼성중공업이 함께 참여한 연구인 스마트 자율운항선박 기술 개발 및 실증을 안전하게 실시 가능토록, 국내 및 IMO의 관련 가이드라인 및 해사 관련법 검토를 거쳐 안전관리 절차를 개발하였다. 안전관리 절차서는 자율운항선박의 관련 해당 당국과 이해관계자들이 시스템 및 기반 시설에서 시험의 안전 및 해양환경보호와 관련하여 적절하게 실시하기 위하여 IMO에서 제시한 자율운항선박 시험을 위한 지침(MSC.1/Circ.1604, Annex : Interim guidelines for MASS trials)의 의거하여 개발 하였다.

국제해사기구에서 제시한 자율운항선박 시험을 위한 지침의 10개 항목 사항을 토대로 본 연구의 안전관리절차서 작성 하였으며, Table 1은 안전관리절차서의 10개 항목의 반영되어진 각 항목을 보여준다. 개발된 안전관리 절차서는 당직체제로 운항 중인 선박에 항해보조기기로 탑재한 자율운항요소기술을 적용한 시스템의 해상 실증 시험을 위하여, 대한민국 연안의 해양환경보호와 항행 안전을 준수하면서, 관련 시스템의 시험이 안전하고 안정적으로 수행할 수 있도록 개발되었다. 또한, 향후 목포해양대학교 실습선인 세계로호 활용한 시운전 진행과 함께 작성되어진 안전관리 절차서의 보완요소 발견 및 개선에 대한 연구가 진행되어야한다.

Table 1. Reflection of interim guidelines for MASS trials of IMO to developed safety management procedure

	IMO MASS Guideline Items	Safety Management Procedure
1	Risk management	3.1 System developer risk management 3.2 Risk management of specialized institutions
2	Compliance with mandatory instruments	Safety procedures are prepared in compliance with the mandatory instruments
3	Manning and qualifications of personnel involved in MASS trials	3.3.2 Navigation and berth watch system
4	Human element	3.3 Operational ship response work for maritime demonstration test operation
5	Infrastructure for safe conduct of trials	3.3.1 Safety and residential facilities
6	Trial awareness	3.4 Trial awareness and notification to the relevant institution
7	Communications and data exchange	3.5 Data communication and cyber risk management
8	Reporting requirements and information sharing	3.2.2 Review of autonomous navigation element technology
9	Cyber risk management	3.5 Data communication and cyber risk management
10	Scope and objective for each individual trial	3.2.2 Review of autonomous navigation element technology

후 기

본 연구는 목포해양대학교와 삼성중공업이 공동으로 수행한 “원격/자율 운항선박 시스템 개발 및 검증” 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Choi, C. J.(2020), Development and implementation of interim guidelines for MASS trials, Monthly Maritime Korea, 20(5), pp. 103-105 (in Korean).
- [2] Choi, J. J., 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, Journal of Korea Institute of Maritime Law, pp. 155-185 (in Korean).
- [3] IMO(2019), Interim guidelines for MASS trials (MSC.1/Circ.1604).
- [4] KR(2020a), Guideline for Autonomous Shipping (in Korean).
- [5] KR(2020b), Maritime Cyber Security formal Approval Guidelines (in Korean).
- [6] KR(2020c), Guidance on manufacturing method and formal approval (in Korean).
- [7] Lim, Y. J. and Y. C. Lee(2018), Issues of IMO Convention on 「Maritime Autonomous Surface Ship」 and Its Implications on the Application of Maritime Law, Journal of Law Review, 18(3), pp. 155-181 (in Korean).
- [8] Park, H. S., C. J. Choi, and M. C. Jo(2020), A Study on the Guidelines for IMO Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Journal of Navigation and Port Research, 20(5), pp. 103-105 (in Korean).

Received : 2021. 07. 16.

Revised : 2021. 08. 12.

Accepted : 2021. 08. 27.