

# 대양에서 자율운항선박의 충돌회피 능력 평가를 위한 시나리오 개발에 관한 연구

배석한 · 정민 · 장은규<sup>†</sup>  
한국해양수산연수원(교수)

## Development of Scenarios for Evaluating the Collision Avoidance Performance of Maritime Autonomous Surface Ships in the Ocean

Seok-Han BAE · Min JUNG · Eun-Kyu JANG<sup>†</sup>  
Korea Institute of Maritime Fisheries and Technologies (professor)

### Abstract

Recently, governments and industries in the developed countries such as United Kingdom and Norway are actively research and development on maritime autonomous surface ship(MASS), and the International Maritime Organization(IMO) is in the process of reviewing relevant rules and instruments for MASS operation. The core technical elements of MASS can be described as safety, efficiency and connectivity, and one of the main technical factors for safety is the technology for collision avoidance. As a result of investigating existing studies related to the collision avoidance of MASS, it was found that evaluation of the developed program was subjectively conducted, so that objectivity was often lacking. In addition, it is expensive and time consuming to verify the developed program using a real ship, and the risk is too great. Accordingly, this study aims to development a standard model of test scenario to quantify the collision avoidance capability of MASS in the ocean using a ship-handling simulator. To this end, International Regulations for Preventing Collisions at Sea(COLREGs) and maritime accident cases were analyzed to develop standard scenarios according to various types of encounters between ships and to be verified by maritime experts. In the future, these data can be used for simulation experiments to verify the safe navigation capability of MASS, so it is believed that this can contribute to the realization of collision avoidance capabilities of autonomous ships.

**Key words :** MASS, Collision avoidance capability, COLREGs, IMO, Ship-handling simulator

### I. 서론

자율운항선박(Maritime Autonomous Surface Ship, 이하 MASS)은 2017년에 개최된 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO) 제98차 해사안전위원회(MSC)에서 그 용어가 정의된 이후로 IMO에서 주요 의제로 선정되어 우리나라와

영국 등 유럽 해운선진국을 위주로 활발한 논의를 이어오고 있다. 2018년에는 IMO 제99차 MSC에서 MASS에 대한 국제협약체계 개발을 위해 현존 협약 및 규제를 검토하는 작업(Regulatory Scoping Exercise: RSE)에 착수하였으며 자율선박의 단계를 1단계 부분적 자동화, 2단계 유인원격 제어, 3단계 무인원격제어와 제4단계 완전 자율

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-620-5800 ekjang@seaman.or.kr

운항선박으로 구분하고 있다(Kwak and Jang, 2018). 현재 MASS 기술개발은 해운선진국과 기업체의 협력으로 활발하게 진행 중에 있다. 노르웨이에서는 2016년 세계 최초의 자율운항선박 테스트 베드를 발표하고, 비료회사 YARA와 합작하여 zero emission을 추구하는 세계 최초로 무인화선박(예인선)을 테스트하는데 성공하였다(Yun et al., 2019). 핀란드에서는 2025년까지 MASS 구현을 목적으로 하는 One Sea project를 추진 중이다(DIMECC, 2017). 일본의 NYK는 2019년 9월에 70,826톤의 실선에 자율운항제어시스템을 장착하여 시험을 실시한 바 있다(NYK, 2019).

세계 1위 조선국이자 세계 7위 해운국인 우리나라도 자율운항선박의 개발이 미래의 성장 동력을 인식하고 정부와 기업체에서 R&D 연구를 통해 MASS 기술 개발을 선도하기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. MASS의 핵심기술요소는 안전성, 효율성 및 연결성이며 안전성의 핵심기술요소 중 하나는 충돌회피 기술이다(Jung, et al., 2019). 자율적인 충돌회피 기술 개발은 선박 간 다양한 조우형태와 복잡한 통항형태를 고려하여야 하여야 하는 상당히 어려운 기술이며 실제 선박에 적용해서 문제가 발생한다면 대형 사고를 유발할 수 있다.

충돌회피와 관련된 기존 연구로는 선박의 충돌회피를 위한 자동제어에 관한 연구(Lee and Kwan, 2002), 충돌회피지원을 위한 자동제어(Im, 2004), 시뮬레이터 기반 퍼지알고리즘과 환경스트레스모델을 이용한 선박 충돌위험도 추정(Son, et al., 2009) 및 다수선박의 충돌회피를 위한 자동제어(Yoon, et al., 2005) 등이 있다. 이들 연구는 최근접점 도달거리(Distance to Closest Point of Approach, DCPA), 최근접점 도달시간(Time to Closest Point of Approach, TCPA), 타각, 이격거리 등의 요소를 퍼지이론에 접목하여 충돌회피 자동제어나 충돌위험도를 추정하는 프로그램을 개발하였으나 이들의 충돌회피 능력을 검증할 수 있는 표준 평가모델에 관한 연구가 미비하여 단순

한 충돌상황에 대한 연구자의 주관적 평가로만 실시하는 문제가 있었다.

MASS의 충돌회피능력을 구현하기 위해 실제 선박을 활용하여 검증하기에는 선박 종류와 크기가 다양하므로 많은 비용과 시간이 소요되며, 무엇보다 사고에 대한 위험부담이 크다는 현실적인 문제가 있다. 실선에 적용하기 전에 선박조종시뮬레이터를 활용하여 충돌회피능력을 평가하고 검증할 수 있다면, 비용과 시간 등을 절감할 수 있어 효율적이면서도 안전한 평가를 수행할 수 있을 것이다. 따라서 선박조종시뮬레이터를 이용하여 MASS 충돌회피능력을 평가할 수 있는 평가모델 개발이 필요하다.

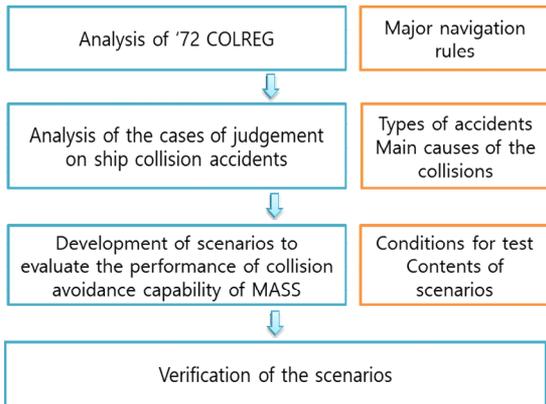
본 연구의 목적은 대양에서 선박조종전문가의 충돌회피능력을 기준으로 선박 간의 다양한 조우형태에 따른 MASS의 충돌회피능력을 정량적으로 평가할 수 있는 모델개발의 일환으로 표준 충돌회피 시나리오를 개발하여 제시하는 것이다. 여기서 대양은 모든 선박들이 COLREGs를 적용하는 공해상을 의미한다.

## II. 연구 방법

### 1. 개요

자율운항선박의 충돌회피능력을 평가하기 위한 시나리오를 개발하기 위해서 [Fig. 1]과 같은 절차에 따라 연구를 수행하고자 한다. 먼저, 핵심평가요소 식별과 선박 간 충돌 조우형태를 파악할 필요가 있다. 따라서 국제해상충돌예방규칙(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGs)의 항법 관련 규정들을 분석하였다. 자율운항선박의 충돌회피 능력의 적정성은 우선적으로 해상에서 모든 선박의 충돌회피 동작의 근간이 되는 항법의 정확한 적용 여부로 평가할 수 있을 것이다.

그 후 실제 선박 간 발생하는 충돌사고를 분석하기 위해 2004년부터 2014년까지 해양안전심



[Fig. 1] Process of the development of the Scenarios.

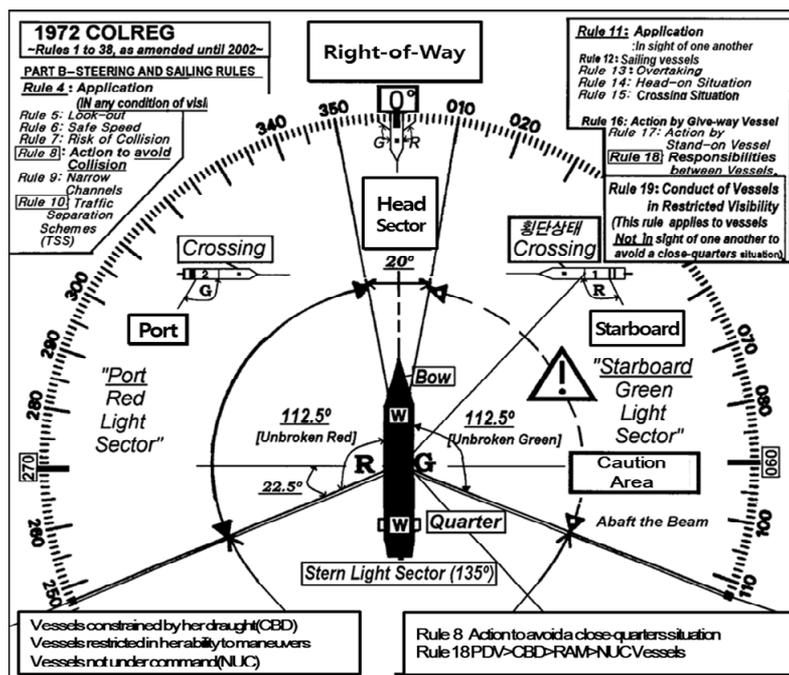
관원에서 재결한 선박 간 충돌사고 사례를 대상으로 선박 충돌사고에 대한 형태를 분석하였다.

항법 규정과 실제 충돌사고 발생형태를 분석한 결과를 활용하여, 자율운항선박의 조종시험에 적용해볼 수 있는 항해 시나리오를 개발하였으며, 시나리오의 적정성을 평가 한다. 시나리오의 적정성을 검증하기 위해 선장, 항해사 등 선박조종

전문가들에게 의견조사를 시행하였고, MASS 충돌회피능력 실험을 위한 선박조종 시뮬레이션 평가시나리오를 제시하였다.

## 2. 국제해상충돌예방규칙 분석

국제해사기구(IMO)에서는 각 국의 지역 특수 규정이 적용되지 않는 모든 해역에서 선박들이 충돌 위험이 각도로 조우할 경우 모든 선박은 “1972년 국제해상충돌예방규칙”(이하 ‘72 COLREGs)에 따라 충돌회피 동작을 취하도록 규정하고 있다. 또한 모든 선박이 자율운항선박이 되기 전까지는 인간과 자율운항선박이 공존할 수밖에 없으므로 자율운항선박도 현재 세계적으로 통용되는 ‘72 COLREGs를 적용하여야만 한다. 최근 MASS에 대한 법적 체도를 담당하는 IMO의 MSC에서도 자율운항선박에 ‘72 COLREGs를 적용하도록 하였다.



[Fig. 2] Application of '72 COLREGs.

‘72 COLREGs는 사람(조종자)의 감각 기관인 시각을 근간으로 시계에 따라 모든 시계, 상호시계 및 제한시계로 구분하고 상호 및 제한시계에서 조우형태에 따른 해당 조우항법과 모든 시계의 항법을 동시에 적용하도록 규정하고 있다. 이 중 대양에서 적용되는 ‘72 COLREGs의 조항과 관련한 기본적인 항법으로 ‘72 COLREGs 제2조에서부터 모든 상황 및 어떤 특수한 상황에서 충돌예방과 안전항해를 위해 각별한 주의를 기울여야 하며, 이때 모든 수단을 동원하여 제5조에 따른 경계를 수행하여야 한다. 또한 충돌을 피할 수 있는 적절한 속력인 제6조 안전속력으로 항해를 하여야 하며, 제7조 충돌의 위험이 발생할 경우 제8조에 따른 충돌회피동작을 취하여야 한다. 충돌 회피를 위하여, 제13조 추월, 제14조 마주치는 상태, 제15조 횡단 상태에 대한 조우별 항법을 적용하여야 한다. 또한, 선박과 선박 간에는 제16조 피항선과 제17조 유지선의 규정에 따른 동작을 취해야 하며, 제18조 선박 간의 조종성능을 고려하여 안전하게 피항 하여야 한다. 제19조는 해상에서 비, 눈 및 안개 등에 의하여 제한시계가 될 경우의 항법으로 모든 선박이 피항선이며 무중 항법을 이행하여야 한다.

아울러 ‘72 COLREGs에는 등화의 가시거리를 다음과 같이 규정하고 있으며 이 가시거리는 묵시적으로 항법을 적용하는 상대선박간의 거리의 근거가 되기도 한다.

- ① 길이 50m 이상의 선박: 마스트 정부등 6해리, 현등 및 선미등 3해리
- ② 길이 12m에서 50m 미만의 선박: 마스트 정부등 3해리, 현등 및 선미등 2해리
- ③ 길이 12m 미만의 선박: 마스트 정부등 2해리, 현등 및 선미등 1해리

또한, 제한시계에서 기적에 의한 무중신호의 가청거리는 다음과 같이 규정하고 있다.

- ① 길이 200m 이상 선박: 2해리
- ② 길이 74m-200m 미만 선박: 1.5해리

- ③ 길이 20m-75m 미만 선박: 1해리
- ④ 길이 20m 미만 선박: 0.5해리

상대선박과 조우하는 상대방위에 따른 ‘72 COLREGs 항법규정을 도식화하면 [Fig. 2]와 같다. ‘72 COLREGs를 분석한 결과를 토대로 대양에서 서로 시계내에 있을 때 두 척의 선박 간 조우형태는 추월, 마주침 및 횡단상태이며 주요 상대 방위에 기준으로 분석하면 다음의 경우들이 있다.

- ① 추월(Overtaking)
  - 정선미 좌우현 추월
  - 좌우현 선미에서 비스듬히 추월
- ② 마주침(Head-on)
  - 정면으로 마주치는 상태
  - 거의 정면으로 좌우 마주치는 상태
- ③ 교차(Crossing)
  - 좌우현 정횡 상방에서 비스듬히 횡단
  - 좌우현 정횡 횡단
  - 좌우현 정횡 후방에서 비스듬히 횡단

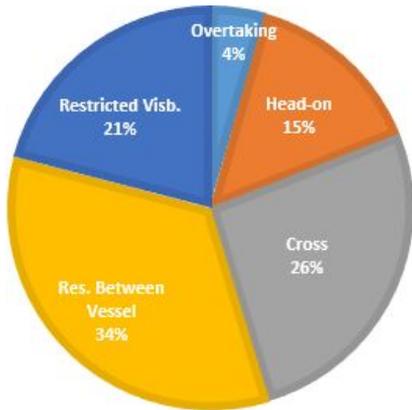
다만, ‘72 COLREGs 제2조의 특수한 상황은 많은 경우의 수가 존재하나 해상교통법론(Lee, 2008)을 근거로 3척 이상의 선박이 조우할 경우 및 선단과 조우할 경우 등의 특수상황을 고려할 필요가 있다.

### 3. 선박 간 충돌사고 분석

본 연구에서는 선박 간 충돌사고의 경향을 알아보기 위하여 2004년부터 2014년까지 해양안전심판원에서 재결한 재결서 총 766건을 대상으로 분석하였다.

#### 가. 충돌사고의 시계 및 조우형태 분석

시계에 따른 충돌사고는 상호시계에서 79.1%, 제한시계에서 20.9% 빈도로 발생하여 양호한 시계 상태에서 충돌사고가 제한시계에서의 사고보다 약 4배가량 많았다. 양호한 시계에서 조우형태에 따른 사고 발생률은 [Fig. 3]과 같은데 조우형태를 불문하는 선박 상호 간의 책임을 제외하



[Fig. 3] Frequency rates of case of ship collision accidents.

면 횡단상태에서 충돌사고가 가장 많이 발생함을 알 수 있었다.

#### 나. 충돌사고의 주요원인 분석

해상에서 충돌사고의 주요원인은 <Table 1>와 같다. 선박 간 상호책임은 조우형태와 상관없이 선박 고장이나 작업으로 인하여 선박조종이 제한되는 선박을 인지하지 못하여 충돌하는 경계불량이 주원인이다. 조우상태에 따른 주사고 원인은 피항선의 늦은 피항 시기, 유지선 진로방해와 유지선의 협력동작 불충분한 것이 주요 원인으로 분석되었다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 기초자료 분석결과

'72 COLREGs는 시계 상태에 따라, 모든 시계, 상호시계 및 제한시계로 항법을 구분한다. 상호시계에서는 조우형태에 따라 추월, 마주침과 횡단상태에 따라 피항선과 유지선으로 구분하여 항법을 적용하도록 하고 있으며, 제한시계는 모든 선박이 피항선이며 무중신호의 청취가 정형 전방이나 전횡 후방이나로 구분하여 항법을 적용하고 있다. 충돌회피 동작은 충분한 시간적 여유를 가지고 명확한 동작을 취하여야 하며, 안전한 통항

<Table 1> Analysis of cause of accidents

Visibility/case of encounter	Major causes
Overtaking (4.4%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Hindering the way of overtaken vessel</li> <li>· Inappropriate direction to overtake</li> </ul>
Head-on (14.6%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Late actions to avoid</li> <li>· Alteration to port</li> </ul>
Stand on vessel (2.9%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· No cooperatative actions to avoid</li> <li>· Insufficient avoidance cooperation</li> </ul>
Give-way vessel (23.4%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Late actions to avoid</li> <li>· Crossing ahead of the other vessel</li> </ul>
Responsibilities between vessel (33.8%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Not avoiding a vessel engaged in fishing, a vessel constrained by her draught, a vessel restricted in her ability to manoeuvre</li> </ul>
Restricted visibility (20.9%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Violation of safe speed</li> <li>· Not implementing fog signal</li> <li>· Late actions to avoid</li> </ul>

거리를 유지하기 위해 상당한 주의를 기울이도록 요구하고 있다. 또한 특수한 상황에서 항법적용이 불가능한 경우 상당한 주의와 선원의 상무로서 충돌회피 조치를 요구하고 있다.

해양에서 발생한 선박 간 충돌사고를 판결한 재결서를 분석한 결과 상호시계에서 조우형태를 불문하고, 선박 간 상호책임이 가장 많았으며(766건 중 259건으로 33.8%) 다음으로 횡단, 마주침 및 추월 순서로 충돌사고가 많이 발생함을 보였다. 충돌사고의 주요원인은 경계불량, 피항선의 늦은 피항조치, 잘못된 피항 방향과 유지선의 불충분한 피항 협력조치 등 이었다. 다만 경계불량의 경우 자율운항선박은 Radar, ARPA, AIS 등으로 상대선박을 인지하게 되므로 이 부분은 시나

리오 개발에서 고려하지 않았다. 기초자료를 종합적으로 분석한 결과 자율운항선박의 충돌회피 능력을 평가하기 위한 핵심 평가요소를 다음과 같이 파악할 수 있었다. 첫째, 피항선인지 유지선인지 판단하는 것과, 둘째, 피항 방향 및 명확한 피항각과 선속 감속량, 충돌회피시점, 이격거리 및 협력동작이다. 셋째로 선박 간 사고가 가장 많은 조우형태 이다. 조우형태를 불문하는 선박 간 상호책임이며 그 다음으로 횡단, 마주침 및 추월 순서로 많았다.

따라서 시나리오 개발 시 선박 간 충돌 사고가 발생하는 조우형태가 우선 고려되어야 하며 모든 시나리오에는 평가핵심요소를 명확하게 평가할 수 있도록 구성되어야 한다. 다만 선박 간 상호 책임은 조우형태에 상관없이 선박의 조종능력상태에 따라 선박조종불능선, 선박조종제한선, 어로종사선, 범선, 동력선 순서로 피항 우선순위를 결정하는데 이때 해당 선박은 조종능력상태를 등화와 형상물로 표시하여야 하고, 이를 다른 선박이 식별하여 피항한다. MASS의 상대선박의 등화와 형상물을 CCTV 및 카메라 등으로 분석하여 식별하는 기술은 또 다른 기술영역(Kim and Jang, 2019)으로 시나리오 개발에서 이를 고려하지는 않았다.

## 2. 시나리오 개발방향 설정

기초자료 분석에 근거하면 선박 간 충돌회피 시 항법 준수 판단을 위한 주요 요소는 충돌 회피 시점, 이격거리, 회피방향, 피항 각의 크기 및 기관사용량이므로 각 시나리오에는 이들 요소를 명확하게 평가할 수 있도록 다음 사항을 고려하였다.

- ① 선박 간 빈번히 발생하는 기본적 조우형태와 특수상황 및 복합 항법이 적용되는 경우도 고려
- ② ‘72 COLREGs에서 요구하는 항법과 선원의 상무에 의한 항법 적용도 평가 할 수 있

도록 고려

- ③ 상대선박이 항법을 준수하지 않을 경우도 고려
- ④ 충돌회피 난이도의 다양성과 기관 사용도 고려
- ⑤ 조우형태와 항법기준이 유사한 경우 중복을 피하기 위해 높은 난이도를 우선 고려

다만, 제한시계의 경우 상호시계의 시나리오에서 시정만 제한함으로서 제한시계의 항법을 평가할 수 있어 별도의 시나리오는 개발하지 않았다.

## 3. 시나리오의 환경 설정

가. 시나리오 기상 환경 조건

시나리오의 기상 환경 조건의 설정을 위해 전문가 그룹에서 논의를 통해 통상 일반적인 항해 조건이라고 고려되는 환경조건으로 선정하였으며 다음의 <Table 2>과 같이 설정하였다. 환경조건으로 바람, 조류 및 시계 거리의 설정 등이 있다. 특정 상황에 따라 황천 및 강조류를 적용을 위해 환경조건 변수의 수치는 필요 시 조정이 가능하다. 또한 수심은 천수영향이 없도록 100m 이상으로 설정하였다.

<Table 2> Configuration of weather condition

Division	Condition	Remark
Wind	Direction	N
	Speed	10kts
Current	Direction	E
	Speed	0.5
Visibility	in sight	10 miles
	restricted	0.5 miles

나. 선박 초인 거리와 선속의 결정

선박조종시뮬레이터 상에서 MASS가 타 선박의 동태를 관측하여 충돌위험을 판단하고 분석할 수 있는 충분한 거리와 시간을 설정할 필요가 있다. ‘72 COLREGs에는 항법을 적용하는 명확한

거리를 제시하고 있지 않다. 그러나 72 COLREGs 상의 선박 등화의 가시거리를 목시적 항법의 적용 거리(Lee, et. al., 2014)로 하고 있음을 고려하여 마주치는 상태 6마일 이상, 횡단상태 3마일 이상, 추월 2마일 이상으로 설정하였다. 선속은 2,700 Teu 컨테이너 선박의 전속 항해속력 19kts로 설정하였으나 선종에 따라 선속을 변경하여도 선박의 충돌회피능력 평가에 영향이 없도록 설계하였다.

#### 4. 시나리오 개발

본 연구에서는 총 8 Case의 MASS 평가를 위한 시나리오를 개발하였다. 개발된 시나리오는 [Fig. 4]에 그림으로 나타내었다. 그림에서 회색 선박이 MASS로 간주할 수 있다. Case 1 ~ 5는 두 척의 선박이 만나는 시나리오이며, Case 6~8은 다수척간에 충돌회피 시나리오이다.

먼저, Case 1은 추월 상태이며, 선박 간 초기거리는 3해리로 설정하였으며, 항법은 추월선으로 피추월선의 좌현 또는 우현으로 변침하여 안전한 거리를 확보하면서 추월하는 것이다.

Case 2는 거의 정면으로 마주치는 상태에서 선박 간 초기 거리는 10해리, CPA는 0.2마일로 설정하였다. 항법은 피항선으로 충돌하지 않으나 충분한 통항거리 미확보로 좌현 대 좌현으로 피항조치하는 것이다.

Case 3은 정횡에서의 횡단상태이다. 선박간 초기거리는 7해리 이며 항법은 피항선으로 우현 변침하여 유지선의 진로 회피하는 것이다.

Case 4는 정횡 횡단상태(피항선 미피항조치)로서 선박간 초기거리는 6해리 이며 항법은 유지선이나 피항선이 회피동작 불이행으로 유지선이 우현 변침하여 360도 선회하는 협력동작을 취하는 것이다.

Case 5는 정횡 후방에서 횡단하는 상태로 선박 간 초기거리는 2해리 이며 항법은 피항선으로 좌현변침과 감속으로 유지선의 진로를 방해하지 않는 것이다.

Case 6는 선박 그룹과 마주치는 상태로서 선박 간 초기거리는 10해리 이며 항법은 피항선으로 좌현으로 조기 회피 동작을 취하여 다른 선박과 또 다른 근접상황을 형성하지 않는 것이다.

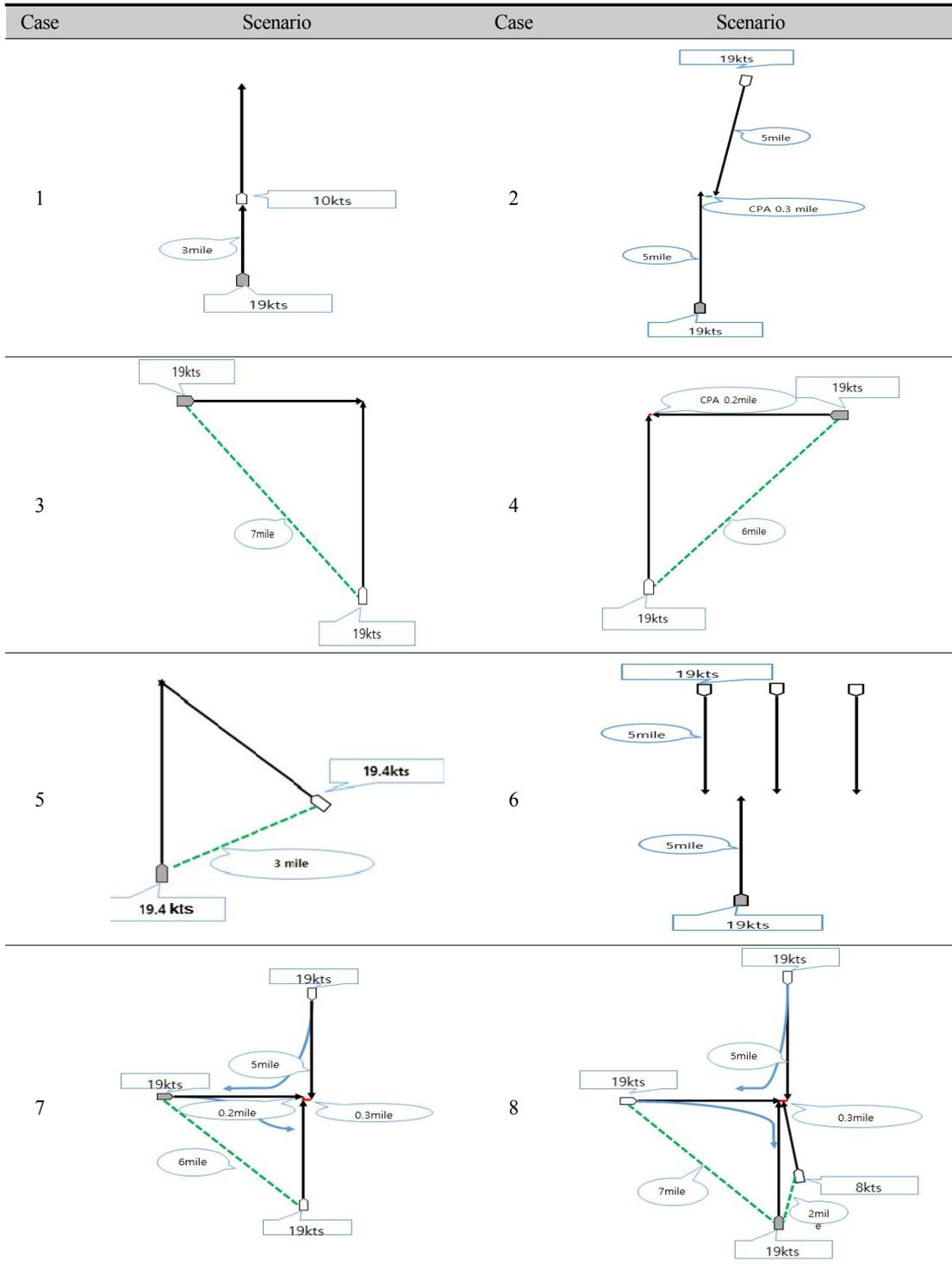
Case 7은 마주침과 횡단의 복합상태로 초기거리 횡단 6해리, 마주침 9해리이며, 항법은 유지 및 피항의무가 동시에 존재하나 피항선으로 우현 변침하여 충돌회피하는 것이다.

Case 8은 추월, 마주침 및 횡단의 복합 상태에서 추월/마주침/횡단 초기거리는 2/10/7해리이며, 항법은 복합적 항법관계가 존재 시 피항선으로 우현 변침하여 안전한 거리를 확보하면서 충돌회피하는 것이다.

#### 5. 시나리오의 검증

본 연구에서 개발된 시나리오의 적정성을 검증하고자 선장, 1항사 및 선박조종 전문가 등으로 구성된 6명이 시나리오에 대한 선박조종시물레이션을 실시하고 시나리오 구성을 7점으로 평가하여 검증하였다. [Fig. 5]는 선박조종시물레이션을 통하여 Case 4 시나리오를 검증한 항적도 예시이며 <Table 3>는 각 시나리오에 대한 수치적 평가 결과이다.

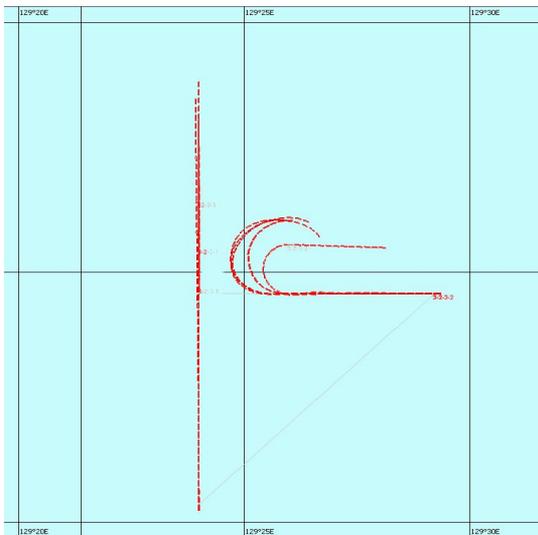
시나리오 검증결과, 실무에서 발생 빈도, 조우 형태의 다양성, 구성의 적정성 및 항법적용의 명확성이 높고 충돌회피의 난이도도 골고루 분포되어 있어 시나리오 구성이 대양에서 자율운항선박의 충돌회피능력을 적절하게 평가할 수 있는 것으로 검증되었다.



[Fig. 4] Developed scenarios for MASS testing through the study

<Table 3> Result of evaluation by experts after the simulation test

Case No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Item for evaluation								
Appropriateness of scenario composition	6.67	6.67	6.83	6.67	6.83	6.67	6.83	6.83
Appropriateness of evaluating the ability to avoid collision	6.67	6.50	6.83	6.67	6.83	6.67	6.67	6.83
Appropriateness of evaluating MASS	6.67	6.50	6.67	6.67	6.67	6.67	6.83	6.83
Applicability of navigation rules in COLREGs	6.67	6.83	6.83	6.00	5.33	6.67	6.83	6.50
Frequency of occurrence in practice	6.17	6.67	6.67	4.33	4.00	6.17	5.00	4.17
The sufficiency of the first observation distance	6.50	6.33	6.17	6.17	5.50	6.50	6.17	5.83
Difficulty of collision avoidance	3.50	2.67	3.83	5.83	6.33	3.50	5.50	6.50



[Fig. 5] An example of the result of the simulation test of the case 4.

#### IV. 결 론

본 연구는 대양에서 자율운항선박의 충돌회피 능력을 선박조종시뮬레이터를 통하여 평가할 수 있는 시나리오를 개발하기 위하여 COLREGs와 선박충돌사고의 재결서를 분석하여 다양한 조우형태에 따른 충돌회피능력을 평가할 수 있는 시나리오 8개를 다음과 같이 개발하였다.

- (1) 추월 및 마주치는 상태의 시나리오 각각 1개
- (2) 정횡 및 우현 정횡 후방 횡단상태의 시나리오 각각 1개
- (3) 정횡 횡단상태에서 피항선의 미피항 경우의 시나리오 1개
- (4) 선대와 그룹 조우상태의 시나리오 1개
- (5) 추월, 마주침 및 횡단상태가 2개 이상 복합적으로 존재하는 시나리오 2개

이들 시나리오는 선박조종전문가들이 선박조종시뮬레이션을 실시한 후 설문평가를 실시하여 검증하였으며, 검증결과 제시한 시나리오가 다양한 조우형태에 따른 MASS의 충돌회피능력을 평가할 수 있는 것으로 검증되었다. 따라서 이들 시나리오를 이용하여 MASS의 충돌회피능력을 평가하고 문제점을 보완 한다면 우리나라 MASS 기술개발에 많은 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 초입 항해사를 포함한 항해사관의 충돌회피능력을 배양에도 도움이 될 것이다.

향후 시나리오에 따른 충돌회피 시기, 충돌회피 방향, 피항각, 감속량, 및 이격거리에 대한 적합한 기준을 연구하여 제시한다면 자율운항선박의 기술개발과 항해사의 충돌회피 능력에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

## References

- DIMECC(2017). About the ecosystem, retrived from <https://www.oneseaecosystem.net/about/about-the-project/>
- Im NK(2004). Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support-III. Journal of Korean Navigation and Port Research, 28(6), 475~480.
- IMO(1972). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs)
- Jung HY, Chang HJ and Song YE(2019). Trend of Autonomous Navigation Technology for Unmanned Ship. Journal of Control, Robotics and Systems, 25(1), 76~87.
- Kim J and Jang HS(2019). Trend of MASS Technology and Development. Bulletin of the society of naval architects of Korea, 56(4), 4~7.
- Kwak YM and Kim KH(2018). Trend of Discussion of MASS. Journal of society of naval architects of korea 55(3), 33~35.  
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07536421>  
<http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2019.18.0133>.
- Lee SK and Kwon BJ(2002). A Study on the Automatic Control for Collision Avoidance of the Ship. Journal of Korean Navigation and Port Research, 26(1), 8~14.
- Lee YC (2008) Maritime Traffic Law, Dasom, Busan, Korea, 122~136.
- NYK(2019). NYK Conducts World's First Maritime Autonomous Surface Ships Trial. Retrieved from [https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930\\_01.html](https://www.nyk.com/english/news/2019/20190930_01.html)
- Son NS, Kim SY and Kong YI(2009). Study on the Estimation of Collision Risk of Ship in Ship Handling Simulator using Fuzzy Algorithm and Environmental Stress Model. Journal of Korean Navigation and Port Research, 33(1), 43~50.
- Yoon JH, Lee SK and Im NY(2005). A Study on Automatic Control for Collision Avoidance of a Ship under Appearance of Multi-vessels, Journal of Korean Navigation and Port Research, 29(1), 29~34.
- Yun YR, Choi JM, Park BJ, Seo KS, Choi B and Kim YJ(2019). Autonomous Ships: the Waves of Change, KIMST, 6~8.

- 
- Received : 18 August, 2020
  - Revised : 15 September, 2020
  - Accepted : 29 September, 2020