



자율운항선박을 위한 충돌예방지원시스템 개발에 대한 연구

김원욱 · 이창희*
(한국해양수산연수원)

A Study on the Development of Collision Prevention Support System for Autonomous Surface Ship

Won-Ouk KIM · Chang-Hae LEE*
(Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology)

Abstract

This paper examines the maritime traffic risk assesment on fixed and moveable target(s) that recognize the risk during transit. Especially, this research delineates the development of a EDCIS-based system that can judge riskiness during ship maneuvering in real time. This research developed an innovative formula of collision-risk assessment, applying dynamic ship's activities by incorporating valuables of length, speed, and maneuverability of ship. A marine traffic risk assessment algorithm was developed and programmed in order to apply the obtained formula to ECDIS. In addition the program is expected to be highly useful in the field of voyage safety because, unlike other assessment systems, it can select the optimal sailing course and ship speed in real time. As a result, the developed system will be effectively used as an innovative methodology in terms of collision avoidance and optimal course tracking in real time for Smart ships like autonomous navigation ships in the near future.

Key words : Marine Traffic Risk Assessment, ECDIS, Dynamic ship's activities, Smart Vessel, Autonomous Surface Ship

I. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

영국 Automated Ship은 2016년 11월 노르웨이 Kongsberg Maritime과 세계 최초의 무인 완전자동화 선박건조를 위한 MOU를 체결하였다. 그리고 2017년 8월 25일 일본선박기술연구협회‘자율형해상운송시스템 연구위원회 출범(自律型海上輸送システム研究委員会の 発足)’보고서에 따르면, 일본은 2017년 쇼센미쓰이(商船三井), 니혼유센(日本郵船), 재팬마린유나이티드(JMU), 미쓰비시 중공

업(三菱重工横) 등이 상호 협업하여 인공지능(AI)에 탑재된 안전하고, 최단 항로 관리가 가능한 자율운항선박을 2025년까지 250척을 공동 개발하는 전략을 2015년에 발표한 일본부흥전략(Japan Revitalization Strategy 2015)과 연계하고 있다. 이처럼 4차 산업혁명에 따른 기술개발로 국내·외 조선·해운 선진국들은 IoT, 빅데이터, 인공지능 등을 활용하여 스마트 선박, 스마트 운항 등에 필요한 기술개발을 진행하고 있음에 따라 이와 관련된 핵심 기술인 자율운항선박의 충돌예방시스템에 대한 기초 연구가 필요한 시점이다. 특히

* Corresponding author : 051-610-0301, chlee53@seaman.or.kr,

최근에는 육상과 해상의 개별 단위 또는 모듈로 연결되어 실시간으로 관련 정보와 서비스를 상호 교환하여 자체 또는 원격으로 문제점을 사전에 진단하고 해결함으로써 효율적인 운항관리가 가능한 스마트 선박의 하위 개념인 자율운항선박에 대한 관심이 증가하고 있다. 따라서 국내외 조선·해운분야 연구기관들은 자율운항선박의 핵심기술인 해양사고를 예방하기 위한 운항자의 인적오류 감소방안, 즉 부적절한 상황인식을 개선할 수 있는 분야의 기술개발에 적극적인 연구가 선행될 필요가 있다. 따라서 이 연구는 충돌예방지원시스템을 개발하고 실제 충돌사례를 기초로 적용한다. 그리고 그 효과를 분석하여 실증 가능성을 검토하고자 한다.

2. 연구의 방법

이 연구는 미래의 자율운항선박 출현을 고려하여 운항 중 실시간 위험을 예측하고, 운항자에게 피항방로를 권고하기 위해 전자해도를 기반으로 시스템을 개발하여 실제 위험 영역을 분석하였다. 이를 위해 적용된 위험영역 모델은 기존의 정적선박영역을 고려한 범퍼영역이 아닌 선박의 길이와 속력 및 선박조종성능이 고려된 동적선박영역(Wang, 2010)을 전자해도에 적용하여 충돌 위험성을 분석하였다. 특히, 전자해도 기반의 충돌 예방지원시스템은 상대선과의 충돌 예방을 위한 피항 방법인 변침 및 변속 즉, 적정 선속 권고가 가능한 상황에 최적화하기 위하여 통항량이 많은 2011년 12월 14일 여수항에서 발생한‘중해심 제2012-5호 화물선 퍼시픽 캐리어호·컨테이너선 현대 컨피던스호 충돌’사건을 대상으로 선정하여 분석하였다.

II. 선박 항해위험성평가모델에 따른 위험도 분석

자율운항선박은 전통적인 선박에 승선하는 선

원들의 주요업무인 선박운항에 필요한 항해계획의 수립, 기관 및 각종 기기들의 정비 및 작동상태를 파악, 실시간으로 육상 및 타선박 등과 정보를 교환, 주변 교통상황변화에 따른 적극적인 예측과 대응이 가능하도록 통합, 전산, 데이터화된 무인선박을 의미한다. 특히 자율운항선박은 항해위험성평가모델에 따른 선박충돌예방시스템이 반드시 설치되어 있어야 함에 따라 제II장에서는 Kim et al.(2017)의 “항해위험성평가모델에 의한 연안역 항해의 안전 제고에 관한 연구”에 따라 선박 충돌과 관련하여 선박의 길이와 선속을 고려한 동적영역모델을 기초로 검토하고자 한다. 즉, 선박의 길이만을 계수로 한 정적선박영역(Fujii, 1971, Coldwell, 1983)에 선박의 길이 뿐만 아니라 선속과 조종성능 그리고 상대선의 주변 환경을 반영하는 동적선박영역(Kijima and Furukawa, 2001, 2003)을 기준으로 하였다. 이때 위험영역은 경계영역과 한계영역으로 나누어지며 경계영역에 진입 시 위험을 느끼고 한계영역에 도달하면 매우 큰 위험을 느낀다. 동적영역모델은 다음 식으로 나타낸다(Arimura et. al., 1988, Kijima and Furukawa, 2003).

$$D_w/L = 2D_b/L - 1 \dots\dots\dots (1)$$

$$D_b/L = 1 + 1.34 \times \sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2} \dots\dots\dots (2)$$

여기에서,

$$k_{AD} = A_D/L = 10^{(0.3591 \log v_k + 0.0952)}$$

$$k_{DT} = D_T/L = 10^{(0.5441 \log v_k - 0.0795)}$$

및 v_k 는 노트(knots)로 나타낸 자선의 속력이다. 식(1) 및 식(2)는 선박의 길이, 속력, 조종성능을 고려한 동적선박영역을 나타낸다. 또한, 선박의 측면에 형성되는 경계영역 및 한계영역의 무차원단축반경 S_w/L 및 S_b/L 를 각각 식(3)과 식(4)에 나타낸다.

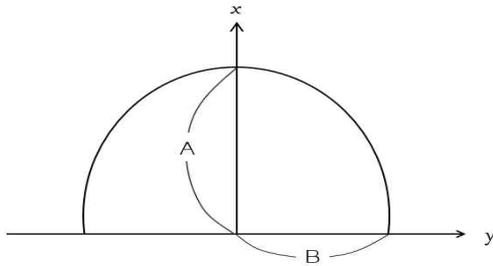
$$S_w/L = 0.2 + 2k_{DT} \dots\dots\dots (3)$$

$$S_b/L = 0.2 + k_{DT} \dots\dots\dots (4)$$

선박영역은 형태에 따라 원형, 타원형 및 다각형 모델로 다양하게 사용되고 있다. 선박영역은 항해위험성평가, 충돌회피, 항로계획, 해상교통류 시뮬레이션 및 최적항로계획에 매우 중요한 역할을 하며, 이 연구는 선박영역으로서 타원형 모델을 채택하여 항해위험도를 고찰하고자 한다.

식(5)에 장축반경 A 에 D_w , 단축반경 B 에 S_w 를 대입하면 경계영역을 표현하는 타원형이 구성된다. 또한, $A = D_b$, $B = S_b$ 를 적용하면 한계영역을 표현하는 타원형이 된다.

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} = 1 (x \geq 0) \dots\dots\dots (5)$$



[Fig. 1] Coordinate System

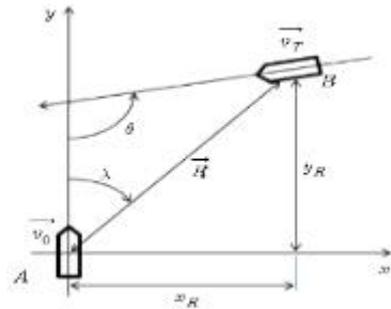
여기에서, (x, y) 는 직교좌표계이며, 좌표의 원점에 자선의 중심이 존재하고, x 축은 자선의 침로방향, 즉 자선의 진행방향을 $(+)x$ 축, x 축에 직교하고 x 축의 오른쪽방향을 $(+)y$ 축, A, B 는 [Fig. 1]과 같이 각각 타원형의 장축반경 및 단축반경으로 자선의 진행방향의 앞쪽 $(+)x$ 축)만을 고려하며, 또한 A, B 는 각각 선박영역의 최대값과 최소값으로 피항거리 또는 회피거리(D)를 나타낸다

Ⅲ. 충돌예방지원시스템의 개념과

결과 분석

1. 선박 충돌 예방의 개념

자선이 항해 중에 상대선을 만나는 경우 [Fig. 2]에 나타난 바와 같이, 자선(A)이 항해 중에 상대선(B)의 존재를 인지 또는 파악하여, DCPA(Distance of Closest Point of Approach) TCPA(Time of CPA)를 기초정보로 활용하여 충돌위험을 판단하는 것이 충돌위험평가식(Kobayashi and Endoh, 1976)의 기본개념이다.



[Fig. 2] Position Diagram

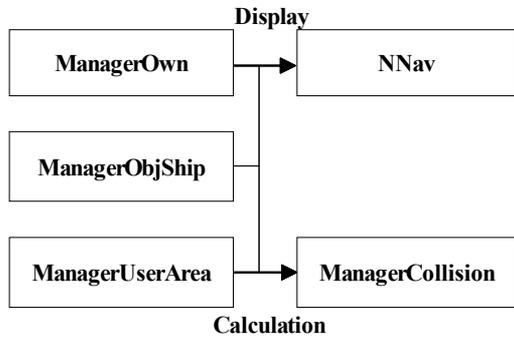
여기에서 [Fig. 2]는 이 개념의 좌표계로 직교좌표계 (x, y) 를 사용하며, 좌표의 원점에 자선의 중심이 존재하고, y 축은 자선의 침로이다. \vec{v}_0 는 자선의 벡터, \vec{v}_T 는 상대선의 상대벡터, (x_R, y_R) 은 상대선의 좌표, \vec{R} 은 상대선의 위치벡터, θ 는 침로 교각, λ 는 상대선의 방위(각도)이다. 이 연구에서는 자선의 동적영역을 구해 DCPA와 TCPA와 비교하여 충돌위험도와 피항우선순위를 정한다. 운항자는 상대선과의 충돌을 회피하기 위해 DCPA와 TCPA를 파악하고 피항 동작을 취한다. 이때 다수의 상대선이 충돌위험이 있을 때 위험이 예상되는 선박을 파악하여 TCPA가 작은 선박부터 피항하게 된다. 이 연구에서는 이러한 충돌예방 개념을 적용하여 DCPA값이 경계영역에 안에 들어오면 [위험], 한계영역에 도달하면 [매우위험]으로 분석한다. 또한, TCPA를 분석하

여 가장 가까운 값을 우선순위로 정하고 피항 동작을 취한다.

녹색은 [주의], 노란색은 [위험], 붉은색은 [매우 위험]으로 표현된다.

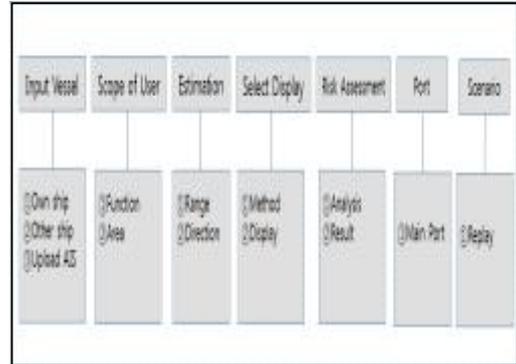
2. 충돌예방지원시스템 개발 개요

충돌예방지원시스템은 향후 자율운항선박 개발에 가장 중요한 항해보조장비 중에 하나인 전자해도를 기반으로 Microsoft Visual Studio 2010를 사용하여 Microsoft .NET Framework 4 기반의 C# 언어로 개발하였다(McConnell, 2003; Leffingwell, 2007). 개발 내용으로 각 클래스를 역할별로 캡슐화하여 관리가 용이하게 설계하였으며 [Fig. 3]은 Class Design Pattern을 도식으로 나타낸 것이다.



[Fig. 3] Class Design Pattern

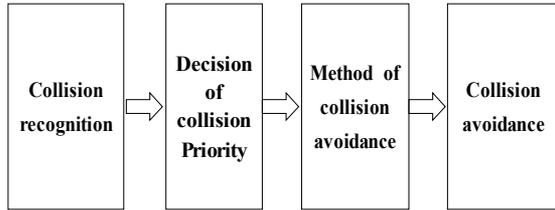
충돌예방지원시스템은 [Fig. 4]에서 보는 바와 같이 메뉴바(Input Vessel)에 선박입력창, 사용자정의영역창, 측정창, 시나리오입력창, 표시방식입력창, 위험성평가입력창, 항구이동창으로 구성되어 있다. 선박입력창에는 자선과 타선의 전장 및 선속을 입력한다. 사용자정의영역창은 위험구역을 사용자가 임의 설정하는 창이며, 측정창(estimation) 특정 지점에 방위, 거리를 측정한다. 시나리오입력창은 상황을 저장하고 재생하는 기능이며 표시방식입력창은 위험성평가 결과를 전자해도에 여러 가지로 표현하는 기능을 가지고 있다. 위험성평가창(risk assessment)은 다양한 위험성 평가 기법을 선택하는 창이며 항구이동창은 주요항구로 자동으로 이동하는 기능이다. 이때



[Fig. 4] Collision Prevention Support System

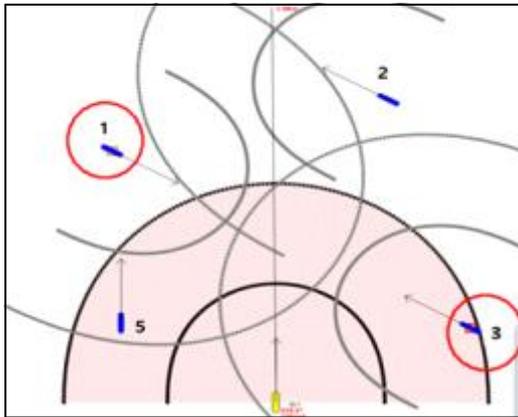
3. 충돌예방지원시스템을 이용한 결과 분석

일반적인 운항자는 상대선과의 충돌을 예방하기 위해 다수의 선박 중에 충돌위험이 있을 것으로 예상되는 선박에 대한 위험인지를 수행한다. 이때 다양한 항해보조장비를 사용하지만 일반적으로 레이더를 이용한 DCPA와 TCPA 정보를 이용하여 위험성 판단을 한다. 하지만 주위의 교통상황, 기상상황, 운항자의 개인적 위험성 기준 등이 다르기 때문에 DCPA와 TCPA 값에 대한 위험성 기준은 없다. 이러한 이유로 이 연구는 제2장에서 밝힌 바와 같이 선박의 속력, 조종성능, 길이 등을 고려한 동적영역을 기준으로 위험성 평가를 수행하였다. 즉, DCPA와 TCPA 값이 동적영역에 해당하는 선박은 위험이 존재하는 것으로 판단하였다. 그리고 다수의 선박이 동시에 위험성이 판단되는 경우 우선순위를 정하여 피항 동작을 취해야하는데 이때 기준은 DCPA와 TCPA 값과 동적영역의 상관관계를 이용하여 다음과 같이 설정하였다. 위험성 우선순위 설정 기준은 [매우위험]은 DCPA값이 한계영역 내이며 TCPA 값이 작은 순서, [위험]은 DCPA값이 경계영역 내이며 TCPA가 작은 순서로 설정하였다. 이러한 피항 동작을 간단하게 정리하면 [Fig. 5]와 같다.



[Fig. 5] Sequence of collision avoidance

[Fig. 6]은 다수의 선박이 향해 중일 경우 위험도 순위를 설정한 상황을 보여준다.



[Fig. 6] Priority of collision

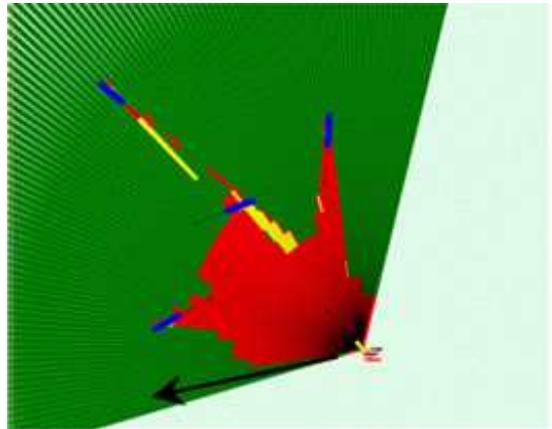
이때 자선 및 타선의 침로 및 속력은 상황은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Vessel's course and speed

	Course(degree)	speed(kts)
Ownship	315	10
Targetship 1	184	10
Targetship 2	215	10
Targetship 3	126	10
Targetship 4	063	10

충돌예방지원시스템을 통한 충돌 예방 권고 침로를 구하면 [Fig. 7]에서 보는 바와 같이 녹색이

많은 곳이 안전한 곳이다. 즉, 피항 권고 침로는 굵은 화살표인 260도 이하의 침로로 나타났다.



[Fig. 7] Risk analysis and recommendation of collision avoidance

IV. 실례를 통한 충돌 사고 적용의 효과 분석

1. 사고의 개요

가. 사실 관계

중해심 재결번호 ‘중해심 제2012-005호 사건명 화물선 퍼시픽 캐리어호·컨테이너선 현대 컨피던스호 충돌사건’은 <Table 2>와 같은 명세를 갖고 삼천포항 입항을 위해 북상 중이던 퍼시픽 캐리어호와 부산항을 차항 목적지로 정하고 항해하던 현대 컨피던스호가 서로 항로를 횡단하는 상태에서 2011년 12월 14일 새벽 06:24분경 경남 남해군 상주면 세존도등대로부터 진방위 약 322도 방향, 약 4.23마일 거리에 위치한 여수·광양항 교통안전특정해역 남단 부근에서 충돌한 사고이다. 그리고 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제4조제2항의 규정에 따라 양 선박의 해양사고 원인제공 비율은 피항선인 현대 컨피던스호측 75퍼센트, 유지선인 퍼시픽 캐리어호측 25퍼센트로 각각 배분되어 재결되었다.

<Table 2> Case of collision

Ship's name	Pacific Carrier	Hyundai Confidence
Port of Registry	Jeju	Panama
Owner	E	H
Officer	F	G
Gross ton	77,458 G/T	64,845 G/T
Engine type / Power	Diesel 9,168 kW 1 set	Diesel 54,794 kW 1 set
Collision Time	2011. 12. 14. 06:24 LT	

나. 사고 원인 및 항법 고찰

충돌사고의 원인은 피항선의 지위를 갖고 있는 현대 컨피던스호가 ‘매우 근접한 상태’에서 피항 동작을 취하지 않은 상태로 유지선의 지위를 갖고 있는 퍼시픽 캐리어호의 선미로 통과하기로 VHF를 이용하여 상호 합의한 후 현대 컨피던스호가 우선회하였음에도 불구하고, 현대 컨피던스호가 퍼시픽 캐리어호를 완전히 피하지 못하여 충돌하였고, 퍼시픽 캐리어호 역시 적절한 충돌 회피 협력동작을 취하지 아니하였기 때문에 [Fig. 8]과 같이 충돌로 귀결되었다.

해사안전법 제73조(횡단하는 상태)에 따라 삼천포항으로 입항 중인 퍼시픽 캐리어호(진침로 : 028도, 선속 : 8.5노트)와 부산항으로 항행 중인 현대 컨피던스호(진침로 : 104도, 선속 : 19노트)가 서로 진로를 횡단하는 상태로 접근하면서 충돌의 위험성이 발생하였으므로 횡단하는 상태에 있어서의 항법이 적용됨에 따라 현대 컨피던스호가 피항선이 되고, 퍼시픽 캐리어호가 유지선이 된다. 결국 현대 컨피던스호는 사전에 미리 퍼시픽 캐리어호의 진로를 피하여야 하고, 퍼시픽 캐리어호는 해사안전법 제37조의 규정에 따라 침로와 속력을 유지하여야 한다. 그럼에도 불구하고 퍼시픽 캐리어호는 현대 컨피던스호가 횡단상태에서의 항법에 따른 유효한 항법을 취하지 않을 경우 침로와 속력을 유지하여야 하는 규정과 관계없이 유지선의 자유재량권(Discretion)을 적극

협조 및 발휘하여 충돌을 피하기 위하여 충분한 동작을 취해야 하지만 이를 이행하지 않았다.



[Fig. 8] Collision Accident between Hyundai Confidence and Pacific Carrier.

2. 충돌예방지원시스템 적용을 통한 효과 분석

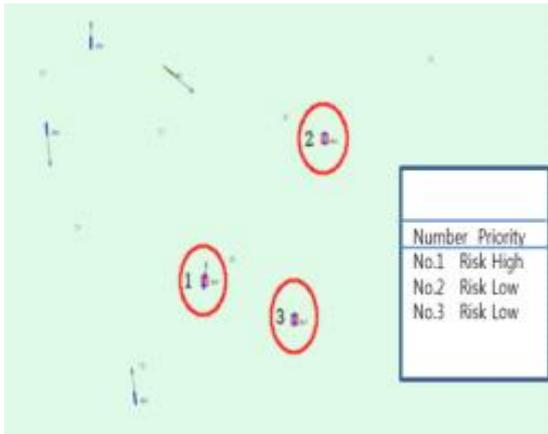
충돌예방지원시스템의 신뢰도 검증을 위해 실제 사고사례인 ‘중해심 제2012-005호 사건명 화물선 퍼시픽 캐리어호·컨테이너선 현대 컨피던스호 충돌사건’을 이 시스템에 적용하여 사고의 결과와 비교하였다. 이때 [Fig. 9]은 실제 사고시 VTS 영상이며, 이를 충돌예방지원시스템에 적용한 예는 [Fig. 10]와 같다.



[Fig. 9] Accident video of VTS

[Fig. 10]은 실제 사고영상을 충돌예방지원시스템에 적용한 영상을 충돌예방시스템에 구현한 것이다. 특히, 충돌예방시스템은 화면상에 다수의

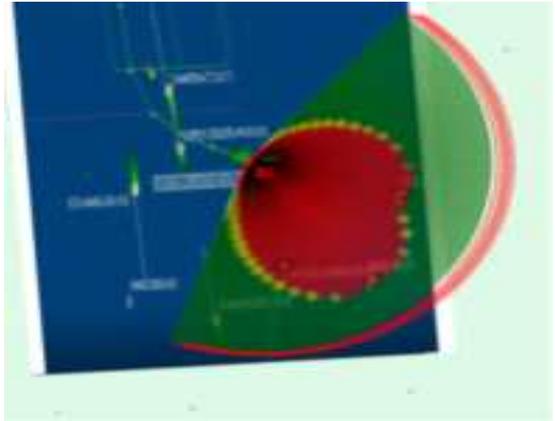
선박 중 위험성 상황의 선박을 선택적으로 추출하여 분해하고 있으며, 2와 3번 선박은 정지하고 있는 선박이므로 위험도가 낮게 분석되고, 실질적인 위험상황은 1번 선박임을 확인할 수 있다. 그리고 결국 실제로 1번 선박(퍼시픽 캐리어호) 좌현 중앙부에 현대 컨피던스호의 선수부가 양 선박의 선수미선 교각 48도로 충돌하였다.



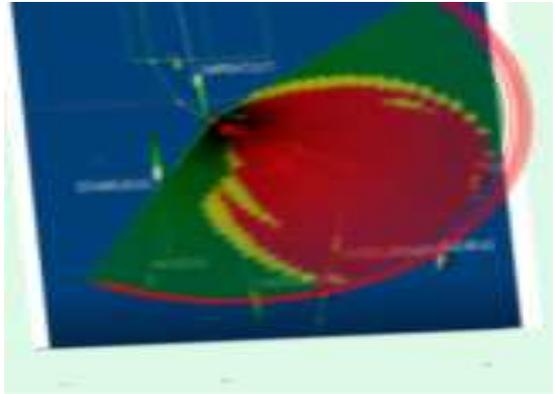
[Fig. 10] Priority of risk using Collision Prevention Support System

이 시스템이 충돌예방에 어떤 영향을 주는지를 분석하기 위해 운항자들이 실제 피항에 사용하는 방법인 변침과 변속을 적용하였다. [Fig. 11]은 실제 충돌당시 분석상황이며 [Fig. 12]은 그 이전에 변침상황에 의한 분석도이다. 즉, 먼저 변침한 경우가 녹색부분(안전영역)이 상대적으로 많이 확보되어 안전하게 피항할 수 있음을 확인할 수 있다.

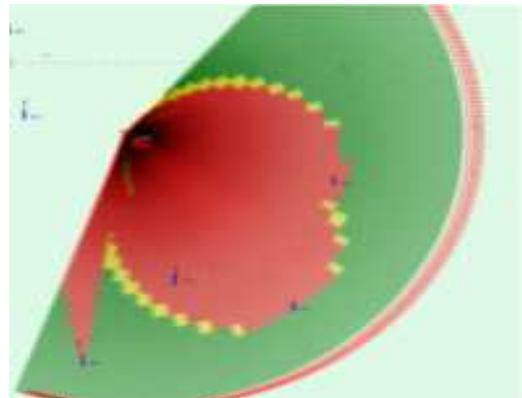
그리고 변속에 의한 피항조건을 분석하였으며 이때 [Fig. 13]는 실제 충돌당시 선속인 19.4kts로 운항 시 분석상황이고, [Fig. 14]은 선속을 감속한 이후 10kts로 운항시 분석한 예상도이다. 즉, 선박충돌을 예방함에 있어서 선속의 감속은 가장 우선적인 회피 수단임에도 불구하고 대형 선박의 경우 감속하는데 시간이 많이 소요되기 때문에 선박에 비치된 선박 조종특성도(ship Maneuvering Characteristics)를 참조하여 운항하여야 한다.



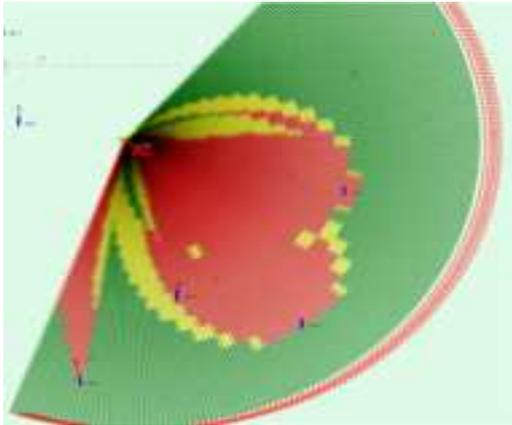
[Fig. 11] Risk analysis of actual collision situation



[Fig. 12] Risk Prediction analysis of already alter course



[Fig. 13] Risk analysis of actual speed (19.4kts)



[Fig. 14] Risk Prediction analysis of reduce speed (10kts)

V. 결론

2017년 9월 Rolls-Royce 해상사업부분 부사장인 Oskar Levander는 미국 Sea Machines Robotics사와 협력을 통해 해상사고의 75%~96%를 차지하는 인적오류(선원의 피로 중심)를 예방하기 위하여 기존의 항법시스템을 개선하거나 가시광선, 적외선, LiDAR(Light Detection and Ranging) 등을 통하여 주변 장애물을 확인할 수 있는 자율운항시스템을 탑재한 연안항해 중심의 자율운항선박을 2018년 상업 운항, 2025년 원양항해가 가능한 선박, 2030년 보편화된 자율운항선박을 개발하는데 목표를 두고 있다고 밝혔다. 따라서 국제적인 자율운항선박의 도입 추세에 맞추어 이 연구는 선박의 길이, 속력 및 조종성능 등의 변화에 적용할 수 있는 항해위험성평가모델을 전자해도에 적용한 충돌예방지원시스템을 개발하여 실제 충돌 사례에 적용하여 그 효과를 분석하였다. 그리고 이 시스템을 이용하여 통항량이 많은 해역에서 다수 선박간의 운항상태 및 실제 사고 사례를 분석한 결과를 요약·정리하면 아래와 같다.

1. 전자해도 기반의 충돌예방지원시스템은 다수 선박간의 교차 통항이 필요할 경우 충돌 위험

순위를 분석하여 운항자에게 권고함으로써 운항자가 복잡한 통항 상황속에서도 자선의 충돌 위험을 우선순위에 따라 순차적으로 파악하여 피항하도록 권고함에 따라 인적 오류를 줄이는데 도움이 됨을 확인할 수 있다.

2. 또한, 전자해도 기반의 충돌예방지원시스템은 레이더를 이용한 상대 Vector, DCPA, TCPA 분석 능력이 상대적으로 부족한 운항자라고 하더라도 선수 전방에 존재하는 다양한 위험요인에 대한 위험도 분석을 색깔을 통하여 녹색은 [주의], 노란색은 [위험], 붉은색은 [매우위험]으로 충돌 상황도가 구분되어 표시됨에 따라 예방적/사전적 안전항로를 선택하여 피항할 수 있기 때문에 충돌 예방에 도움이 됨을 확인할 수 있다.

이 연구는 충돌예방지원시스템을 활용하여 실제 선박에 설치되어 있는 레이더 및 AIS데이터를 실시간으로 수집·분석함으로써 선박 운항 안전을 고려한 최적의 안전항로 즉, 상대선과의 충돌 예방을 위한 피항항로 권고가 가능함을 확인하였다. 따라서 이 연구가 미래의 자율운항선박의 충돌예방을 위한 기초 자료로 사용되길 기대하며, 추가적으로 해양사고의 대부분을 차지하고 있는 소형선박에 적용될 충돌예방시스템을 개발하는 연구를 지속적으로 진행하고자 한다.

References

- Arimura, N. · Yamada K. · Watanabe K. · Shiota N. and Ohtani K.(1988). A Study on Man-machine System in Vessel Traffic Flow, Ship's Research, Vol 25, No. 3, Research Report, 55~71(in Japanese).
- Coldwell, T. G.(1983). Marine traffic behaviour in restricted waters, The Journal of Navigation, 36, 431~444.
- Fujii, Y. and Tanaka K.(1971). Traffic capacity, The Journal of Navigation, 24, 543~552.

- Kijima, K. and Furukawa Y.(2003). Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area, Proc. of IFAC Conf. on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Girona, Spain. 262~267.
- Kim, Min-Seok(2001). A Study on the Collision-avoidance Action of the T.S. Kaya, Journal of Fishier and Marine Educational Research 21(1), 52~58.
- Kim, Won-Ouk · KANG, Song-Jin · YOUN, Dae-Gwun · BAE, Jun-Young and KIM, Chang-Je(2017). A Study on the Coastal Navigation Safety by Navigational Risk Assessment Model, Journal of Fishier and Marine Educational Research 29(1), 201~207.
- Kobayashi H. and Endoh M.(1976). “Analysis of Collision Avoiding Action of Ship”, Journal of Japanese Navigation Research, No. 55, 101~109(in Japanese).
- Leffingwell, D.(2007). Scaling Software Agility, Part II, 102~114.
- McConnell, S.(2003). Professional Software Development: Shorter Schedules, Higher Quality Products, More Successful Projects, Enhanced Careers, 161~181.
- Wang, N.(2010). An Intelligent Spatial Collision risk Based on the Quaternion Ship Domain, The Journal of Navigation, 63, 733~749.
-
- Received : 30 November, 2017
 - Revised : 20 December, 2017
 - Accepted : 02 January, 2018