

선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델 연구

김성우^{1*}

¹국방대학교 운영분석학과

A Study on Ship Collision Avoidance and Order of Priority Designation Model

Seong-Woo Kim^{1*}

¹Operations Research, Korea National Defense University

요약 본 연구는 해상에서 선박간의 충돌상황을 회피하기 위한 선박 충돌 회피 우선순위지정 및 회피모델의 개발에 중점을 두었다. 이 논문에서는 DCPA, TCPA, VCD 등의 개념을 새롭게 접근하였고, 타 함정의 AIS, GPS 등에서 수집 가능한 정보, 즉 침로, 속도, 목적지, 길이 등을 바탕으로 선박의 조합자가 사전에 설정한 DCPA를 적용하는 SCAAM 개념을 제안하였다. 만약 선박이 충돌 위험이 존재한다면 조합자는 SCAAM을 이용하여 회피항해 또는 현재 침로-속도를 유지할 것인지를 결정하게 된다. 그리고 조합자가 회피를 결심하게 되면 선박은 국제해상 충돌예방규칙에 의거 회피를 결정하게 될 것이다. 따라서 이 연구는 사람의 실수로 인한 선박 충돌사고를 감소함으로써 선박의 안전항해에 기여할 수 있다.

Abstract This paper focuses on development of SCAAM(Ship Collision Avoidance Assignment Model) for avoiding ship collision at sea. We take a new look at DCPA, TCPA, VCD, collision concept for ship collision avoidance and propose SCAAM using DCPA pre-assigned by a ship master on information collected by other ship's AIS, GPS (course-speed, destination, length, width, tonnage etc). If A ship is a collision situation, the ship master makes a decision where the ship makes a evasion voyage or not continually using SCCAM. If ship master decides a evasion voyage, the ship is voyaged by CORLEGS (International Regulations for Preventing Collisions at Sea). This paper contributes to safety navigation by decreasing the ship collision accident by human's error.

Key Words : Collision Avoidance, DCPA, TCPA, VCD, SCAAM, CORLEGS

1. 서론

최근 전자통신 기술 발전을 바탕으로 조합자에게 선박 운항에 요구되는 정보를 제공하는 전자해도표시장치(ECDIS, Electronic Chart Display and Information System), 선박자동식별장치(AIS, Automation Information System), RADAR 등의 항해시스템은 과거보다 훨씬 빠르고 편리하게 발전되어 가고 있다. 특히, AIS 장비는 이미 국제협약의 대상선박에는 탑재가 의무화 되어 선박이 상대방 선박의 기본정보(선명, 선적, 길이, 배수톤수

등), 위치정보(GPS 등), 운항정보(침로, 속력, 목적지 등) 등의 정보를 실시간으로 확인 할 수 있게 되었다. 하지만, 중앙해양심판원 자료에 의하면 2012년 전체 해양사고는 726건이 발생했고 이 중 어선을 제외한 비어선 사고는 189건이 발생하였다. 비어선 사고의 유형은 충돌 69건, 좌초 19건, 기관손상 12건, 화재 등이 있다. 이 중 사고유형 중 충돌사고가 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이러한 충돌사고는 선박의 기관 등의 장비고장에 의해서 발생할 수도 있지만 70~80%가 인적운항과실에 의한 경우이다 [1,2].

*Corresponding Author : Seong-Woo Kim (Korea National Defense Univ.)

Tel: +82-10-5086-2691 email: navywoo@hanmail.net

Received July 26, 2013 Revised September 27, 2013

Accepted November 7, 2013

현재까지 선박충돌을 예방하기 위한 연구는 활발히 진행되어 왔으나, 진행된 연구의 대부분은 TCPA(Time of the Closest Point of Approach), DCPA(Distance of the Closest Point of Approach), VCD(Variation of Compass Degree)를 기준으로 선박의 충돌위험도를 결정하고 CORLEGS(International Regulations for Preventing Collisions at Sea), 타선박의 특징(길이, 엔진성능, 목적지 등)을 고려하여 회피침로를 권고하는 알고리즘을 제시하고 있다. 하지만 제시된 알고리즘은 다양한 선박의 종류와 다수의 선박이 존재할 경우에는 실제 조합자에게 많은 도움을 주지 못할 것이다. 사전에 설정된 침로를 기준으로 일정한 침로-속력을 유지하는 대형선박과 침로 설정없이 불특정한 침로-속력으로 이동하는 소형선박의 충돌회피에는 조합자가 판단한 DCPA는 상이할 것이기 때문에 많은 차이점이 있다. 즉, 대형선박의 DCPA는 소형선박의 DCPA 보다는 통상 크게 설정하는 것이 일반적이라는 것이다. 이에 따라 실제 조합자에게 중요한 것은 선박의 종류가 다양하고 다수의 표적 중에서 충돌회피가 요구되는 접촉물을 식별하고 사전 회피항해를 통하여 선박을 안전하게 운항하는 것이다. 사전에 충분한 거리에서 회피항해를 하지 않고 근거리에서 회피할 경우에는 조합자와 타선박의 조합자간의 판단착오, 선박의 고장, 선박 상호간의 양력 등으로 인해 사고가 발생할 경우가 크다. 따라서 본 연구에서는 실제 조합자가 사전에 타선박의 크기, 형태 등을 고려하여 DCPA를 설정하고 운항하는 것이 현실적이고 타당함으로 사전 설정된 DCPA 고려하여 충돌위험도를 판단하는 것이 ‘보다 안전한 항해에 도움이 되지 않을까?’ 라는 연구 질문을 가지고 연구를 진행하였다. 그리고 이러한 개념의 적용은 실제 선박을 운항하는 조합자에게 실무적으로 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

이에 따라 본 논문에서는 다수의 접촉물에 대하여 선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델을 제안한다. 즉, RADAR 및 AIS 등에 접촉된 선박에 대하여 DCPA, TCPA, VCD를 분석하고 충돌회피가 요구되는 선박에 대하여 우선순위를 결정하는 것이다. 제2절에서는 선박회피 우선순위 지정에 필요한 기본개념을 기존연구를 바탕으로 재정리하고, 제3절에서는 선박회피우선순위 지정 개념 및 모델을 제시하고 제4절에서는 실험결과, 제5절에서는 결론 순으로 진행된다.

2. 기존 문헌연구

2.1 충돌위험도

김은경 등[3]은 충돌위험도는 해상 장애물 및 타선에 대해서 자신이 느끼는 위험 정도를 의미하며, 충돌회피 시스템에서 충돌회피 여부를 결정하는데 필요한 정보가 된다[3]. 그리고 충돌위험도는 항해 전문가가 느끼는 장애물에 대한 위험 정도를 의미하기 때문에 주관적이며 수치화하기 어렵다는 단점을 지닌다고 주장하였다. Hasegawa[4]은 퍼지이론을 적용하여 선박의 DCPA(Distance of the Closest Point of Approach), TCPA(Time of the Closest Point of Approach) 분석하고 이를 통하여 충돌위험도를 산출하였다. Hara et al.[5]은 사람이 느낄 수 있는 타선의 상대 거리와 상대각속도를 이용하여 충돌위험도를 추론하였다. 이한진[6]은 Hasegawa의 기법을 기반으로 현시점의 충돌위험도를 추정하여 다음 시간까지의 위험도를 추론하고 그 중에서 가장 위험한 경우를 현재의 충돌위험도로 사용하였다.

2.2 국제해상충돌예방규칙

한편 충돌위험도에 의해 회피가 결정되면 선박은 국제해상충돌 예방규칙에 따라 항해하게 된다. 국제해상충돌 예방규칙은 해상에서 일어나는 선박 항해상의 모든 위험을 방지하고 장애를 제거함으로써 해상교통의 안전을 도모하기 위하여 국제해사기구에 의해 채택되어 해양의 수면과 거기에 접촉되어 항행선이 항행할 수 있는 모든 구역내의 선박에 적용된다고 규정하고 있다. 국제해상충돌 예방규칙의 제5장 항법규정 1절 5조에는 “장애물의 방위 변화가 없고 장애물과 자신의 거리가 가까워질수록 충돌 위험성이 있다”라고 규정하고 있다[7]. 조합자는 선박에 탑재된 GPS, AIS, RADAR 등을 이용 선박의 침로-속력 및 자신 사이의 거리에 대한 정보를 바탕으로 충돌위험성을 판단하고 국제해상충돌예방규칙에 따라 회피침로를 결정하는 것이다.

3. 선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델

3.1 모델의 개요 및 가정 사항

본 연구의 선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델은 다수의 접촉물에 대하여 선박의 안전운항을 위하여 다수의 표적들을 대상으로 충돌회피의 우선순위를 지정하고 자신의 침로 및 속력을 변경하여 충돌을 회피하는 모델이며 기본 가정 및 제약은 다음과 같다.

첫째, 선박은 항해 중에 고장이 발생하지 않는다.

둘째, 타 선박의 정보(침로, 속력 등)를 공유/확인하는

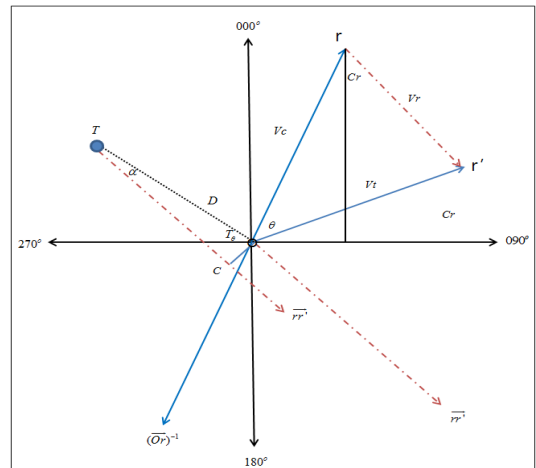
장비인 R/D, AIS 등은 정상작동하며 실시간으로 정보가 공유된다.
셋째, 항해 기상(시정, 파고, 바람 등)은 양호한 것으로 가정한다.

이번 연구에서 사용되는 용어는 다음과 같다.

O	본선의 위치
V_o	본선의 속력(Kts)
C_o	본선의 침로(°)
C_o^{-1}	본선의 역침로(°)
\overrightarrow{Or}	본선의 침로-속력
V_r	상대 속력(Kts)
$\overrightarrow{rr'}$	상대침로-속력
$\overline{OT}(=D)$	본선과 표적간의 거리(yds)
θ	$\overrightarrow{Or}, \overrightarrow{Or'}$ 간의 사이각(°)
T_θ	본선과 표적과의 방위각(°)
T	타선박의 위치
V_t	타선박의 속력(Kts)
C_t	타선박의 침로(°)
$\overrightarrow{Or'}$	타선박의 침로-속력
C_r	상대 침로(°)
C_r^{-1}	C_r 의 역침로
\overline{OC}	CPA
\overline{TC}	접촉물의 상대적 이동거리(yds)
β	$\overrightarrow{Or}, \overrightarrow{rr'}$ 간의 사이각(°)
α	$\overline{OT}, \overline{TC}$ 간의 사이각(°)

3.2 선박회피 우선순위 지정 개념

선박회피 우선순위지정의 기본개념은 우선 TCPA (Time of the Closest Point of Approach), DCPA(Distance of the Closest Point of Approach), VCD(Variation of Compass Degree)이다. TCPA는 상대 선박이 현재위치에서 본선과 가장 가까운 지점을 통과하는 시점이고, DCPA는 상대선박이 현재위치에서 본선과 가장 근거리로 접근하는 거리의 개념이며 VCD는 본선과 타 선박간의 상대적 방위의 변화 개념이다. Fig. 1은 TCPA, DCPA, VCD를 설명하기 위하여 도식화한 것이다.



[Fig. 1] Notion of ship collision judgment

본선의 위치는 상대적으로 중앙(O점)에 위치하여 자신의 침로-속력(\overrightarrow{or})이 있고 RADAR상에 위치한 선박(T 점)은 본선으로부터 특정 방위-거리(T_θ -D) 위치에서 자신의 침로-속력($\overrightarrow{or'}$)으로 움직이는 것이다. 이에 따라 본선의 RADAR상에서 타선박은 상대침로-속력($\overrightarrow{rr'}$)로 상대적 이동거리(\overline{TC})로 이동하게 되는 것이다. 그리고 상대적으로 이동 중 본선과 제일 가까운 지점(상대적 90°가 되는 지점)인 \overline{TC} 가 DCPA가 되는 것이다. TCPA는 DCPA를 상대속력(V_r)으로 나누어 주어 구할 수 있다. 여기서 DCPA는 식 (1), (2), (3), (4)에 의해 결정된다. 또한 TCPA는 식 (5), (6)에 의해 결정된다.

$$DCPA = \sin \alpha \times D \tag{1}$$

$$\alpha = C_r^{-1} - T_\theta \tag{2}$$

$$C_r = C_o^{-1} \pm \beta \tag{3}$$

$$\beta = \cos^{-1}((V_o^2 + V_r^2 - V_t^2)/2V_r V_o) \tag{4}$$

$$V_r = \sqrt{V_o^2 + V_t^2 - 2V_r \times V_t \times \cos \theta} \tag{5}$$

$$TCPA = \cos(\alpha) / V_r \tag{6}$$

$$C_r - 090 < T_\theta < C_r + 090 \tag{7}$$

$$C_r + 090 = T_\theta, C_r - 090 = T_\theta \tag{8}$$

$$C_r + 180 < T_\theta < C_r + 360 \tag{9}$$

$$\alpha = 0 \tag{10}$$

$$C_r^{-1} = T_\theta \tag{11}$$

선박회피우선순위 지정 개념은 우선 타선박의 충돌 위험 여부를 판단하는 것이다. 타선박과의 충돌 위험판단은

식 (7), (8), (9)에 의해 판단될 수 있다. VCD는 식(10), (11)에 의해 결정되며 시간 경과에 따라 VCD의 변화가 없으면 충돌하는 것을 의미한다.

즉, T_{θ} 가 식 (7)의 경우는 이미 타선박은 CPA를 통과하여 점점 거리가 멀어지는 경우이고, T_{θ} 가 식 (8)의 경우는 타선박의 현재위치가 CPA가 되며, T_{θ} 가 식 (9)의 경우는 타선박이 본선으로 접근하는 경우로 판단할 수 있다. 이에 따라 선박회피 우선순위 지정은 충돌위험여부 판단에 의거 CPA통과여부를 판단하고 1차 분류된 접촉물 중 사전설정(본선 및 타선박의 길이/크기, 회전반경 (Turnig circle), 조류, 시정, 기상 등)된 DCPA이내에 접근하는 접촉물을 판단하며, 2차 분류된 접촉물 중 TCPA가 짧은 선박 순으로 우선순위를 부여하여 AIS 및 레이더 등의 화면에 전시하는 것이다.

3.2 위험선박 회피

선박회피우선순위가 지정되면 조합자는 자신의 안전 항해를 위하여 회피를 결정하게 된다. 회피의 방법은 침로 및 속력을 변경하여 상대 침로를 변경하는 것이다. 그리고 대부분의 선박의 경우 특정 목표(항구, 목적지 등)를 향하여 사전 설정된 침로를 항해하기 때문에 접촉물에 근접하여 대각도로 변침하는 것과 경제적 항해를 위하여 속력을 과도하게 높이거나 낮추는 것은 적절하지 않을 것이다. 따라서 본 연구에서는 각종 장비(R/D, AIS 등)에 의해 수집된 정보를 바탕으로 DCPA, TCPA를 사전에 판단하여 조기에 변침, 변속하는 개념을 적용하였다. 즉, 충분한 여유를 가지고 접촉물의 충돌위험 여부를 사전에 판단하는 것이다. 또한 변경된 침로, 속력 등을 적용했을 때 타 선박과의 DCPA 및 TCPA를 사전에 확인 후 충돌위험이 없음을 확인 후에 회피를 실시하는 것이다.

선박회피 우선순위 지정 및 회피 개념은 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있으며 선박 회피우선순위 지정 및 회피순서는 Table 1과 같다.

[Table 1] Ship Collision Avoidance and Order of Priority Designation procedure

procedure	main contents
①	Judgement on ship collision
②	Judgement on TGT approaching own ship within pre-designated DCPA
③	Priority designation on that TGT in order of a short TCPA
④	Checks on alteration of DCPA, TCPA between own ship and TGT changing own ship's course and speed
⑤	changes own ship's course and speed

4. 수치실험 및 결과분석

4.1 실험조건 및 예제

본 연구의 실험에서는 임의로 설정한 예제에 대해 C++을 활용하여 선박 충돌위험판단을 분석하였으며 예제 구성사항은 다음과 같다.

첫째, 실험 선박의 침로-속도는 090-10kts

둘째, 목적 항해 중이며, 선박의 요동으로 인한 적재물의 파손을 방지하고 유류 절약을 위하여 기본 침로-속도에서 변침, 변속을 최소화한다.

셋째, 조합자가 설정한 표적별 최소 회피거리는 다음과 같다.

대형 상선 : 4000yds, 중형 상선 : 2,000yds,

소형 상선 : 1,000yds, 어선 : 500yds

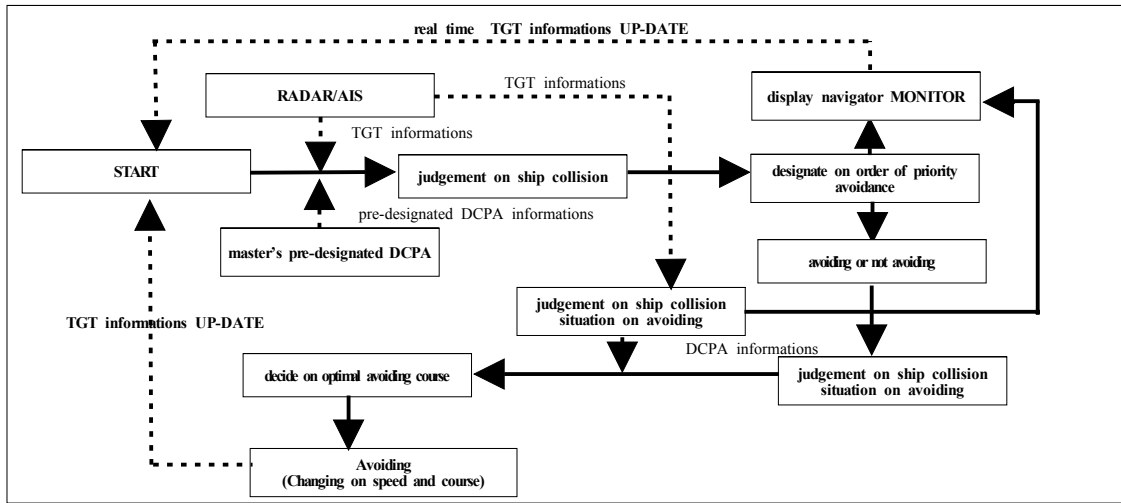
넷째, 타 선박과 실험 선박간의 방위-거리, 침로-속력은 Table 2와 같다.

[Table 2] TGT informations

	bearing (degree)	distance (yds)	course (degree)	speed (kts)	type
TGT 1	090	8,000	300	5	fishing boat
TGT 2	180	7,000	000	9	small merchant ship
TGT 3	200	9,000	030	20	medium merchant ship
TGT 4	135	10,000	070	21	large merchant ship
TGT 5	200	5,000	010	10	small merchant ship
TGT 6	220	9,000	050	20	large merchant ship
pre-designated DCPA	fishing boat : 500yds, small merchant ship : 1000yds, medium merchant ship : 2,000yds, large merchant ship : 4,000yds				

4.2 실험 결과 및 분석

C++을 활용하여 선박 충돌위험을 분석한 결과는 Table 3과 같이 도출되었다.



[Fig. 2] Ship Collision Avoidance and Order of Priority Designation Model

[Table 3] judgement on ship collision and order of priority designation

	DCPA	TCPA	judgement on collision	order of priority designation
TGT 1	1379.9	16.3	threat	2
TGT 2	5203.1	10.4	threat	2
TGT 3	3078.2	14.6	threat	2
TGT 4	DCPA pass		.	3
TGT 5	4330.1	5.8	threat	2
TGT 6	2708.7	18.5	threat	1

Table 3에서 알 수 있듯이 TGT 4를 제외한 모든 선박은 본선으로 점점 가까워지지만, DCPA가 조합자가 설정한 최소 회피거리 보다 큰 값을 가지므로 조합자가 회피할 필요가 없는 것이다. 예로 중형 상선인 TGT 3의 경우 최초 9,000yds에서 14.6분 후에 3,078yds로 가까워 지지만 중형 상선의 최소회피거리는 2,000yds 이므로 변침-변속이 불필요하다는 결론을 내릴 수 있다. 조합자는 TGT 6이 18.5분 뒤에 DCPA가 2,708yds로 최소 회피거리인 4,000yds 이내로 접근하기 때문에 회피를 결정하게 된다. 국제해상충돌예방규칙에 의거 본함의 경우 피항할 의무가 없지만, 선박의 안전을 위해 최소회피거리를 만족시키고, 피항선의 항해에 방해가 되지 않는 변속을 택할 수 있다. 따라서 실험선박의 속도를 10kts에서 13kts로 증속하여 TGT 6에 대한 최소회피거리를 만족할 수 있었다. 변속에 의한 타 선박과의 DCPA 및 TCPA변화는 Table 4

와 같다.

이 연구에서 적용된 알고리즘에 따라 조합자는 충돌위협 판단 및 회피 우선 순위를 지정하고, 지정된 접촉물에 대하여 회피를 실시하기 위하여 국제해상충돌예방규칙, 해양환경(저수심, 양식장 등) 등을 고려하여 변침, 변속 전에 타 선박과의 DCPA 및 TCPA를 확인하여 가능할 것이다. 이 연구에서 적용된 예를 살펴보면, 실험선박의 조합자는 6개의 타선박에 대한 DCPA, TCPA를 분석하고 국제해상충돌예방규칙에 의거 변속을 결정하는 상황인 것이다.

[Table 4] judgement on ship collision situation on avoiding

	DCPA	TCPA	pre-designated DCPA
TGT 1	1142	13.6	500
TGT 2	5755.3	7.6	1000
TGT 3	4476.4	13.3	2000
TGT 4	9994.8	1.0	4000
TGT 5	4662.7	3.6	1000
TGT 6	4468.2	17.9	4000

5. 결론

본 연구에서는 충돌회피를 효과적으로 수행하여 선박의 안전운항을 지원하기 위해 아래와 같은 학문적 의의가 있다.

- 1) 우선 선박회피우선순위 지정을 위하여 기존 연구를 바탕으로 DCPA, TCPA, VCD, 충돌개념에 대하여 재정리하였다. 특히 기존 연구와는 달리 상대 침로, 속도에 따른 충돌 위험도를 판단하는 식을 제시하였다. 그리고 기존 연구에서 다루지 않았던 타 선박의 특성(형태, 크기 등)에 따라 조합자가 DCPA를 사전에 설정하는 개념을 적용시켰다.
- 2) 재정리된 개념을 바탕으로 타선박의 충돌 위험도를 판단하고, 위험우선순위지정 규칙에 따라 충돌위험을 판단하여 최적의 회피 침로를 결정하는 선박 충돌회피 우선순위지정 및 회피모델을 제안하였다.
- 3) 모델의 의해 조합자에게 충돌위험판단 및 지정된 우선순위 제공함으로써 인적운항과실에 의해 발생하는 선박충돌사고를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다.
- 4) 그림 2에서 제시한 바와 같이 선박회피 우선순위 지정에 근거하여 조합자가 실제 회피 결정에 따라 변화되는 표적의 TCPA, DCPA, VCD를 제공하는 선박회피 모델을 제시하였다

연구의 미비점 및 향후 연구분야는 아래와 같다.

- 1) 선박의 특성, 환경적 특성을 고려한 조합자에 의해 사전 설정된 DCPA개념은 한편으로는 상황에 가장 적합하게 DCPA를 결정하는 방법일 수는 있지만, 자동화 개념에는 상반되는 개념이기도 하다. 따라서 RADAR상의 타 선박의 크기, AIS상의 표적 정보, 그리고 기상장비에 의한 기상정보가 통합 및 제공되어 DCPA가 사전에 자동으로 설정되는 모델이 필요하다. 그리고 본선의 속도-침로가 변경되면 선박회피 우선순위 지정 규칙에 의거 다시 화면에 회피우선순위를 지정하는 개념으로 발전시킬 수 있다. 향후 연구에 있어서 이러한 사항은 반영되어야 할 과제로 판단된다.
- 2) 본문에서 제시한 개념을 조금 더 발전시켜 침로 개념을 적용시켜보면 선박은 침로의 변경, 속도의 변화 등으로 DCPA 및 TCPA를 변경하여 타선박과의 충돌을 회피할 수 있겠지만 사전에 설정된 침로와 너무 상이하다면 허용된 시간 이내에 목표지에 도착할 수 없거나 목표지에 도착하기 위해 속도의 증속이 요구되어 비경제적 일 수 있다.
- 3) 침로는 사전에 항해상 위험물(저수심, 선박의 이동량, 해저작업 등)을 고려하여 설정된 경로이므로 침로를 벗어나는 것은 항해 위험물에 의한 위험성이 높다는 것을 의미한다. 이를 위해 타 선박과의 충돌 위험성을 최소화하면서 침로 이탈을 최소화하는 최적화 문제로 발전될 수 있을 것이다.

Reference

- [1] Yang hyeong-sun, Jung dae-duk, "A Study on the development of Ship Collision Avoidance Support Program considered Speed," KOSOMES, 12(1), 47-52, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2007.31.5.333>
- [2] Kim dong-gyu, Jung jung-sik, Park gye-gak, "A Study on Ship Collision Avoidance Algorithm by COLREG," International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 21(3), 290-295, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5391/JKIS.2011.21.3.290>
- [3] Kim on-kyung, Kang il-gwon, Kim yong-ki, "Collision Risk Decision System for Collision Avoidance," International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 11(6), 524-527, 2001.
- [4] Hasegawa, K., "Automatic Collision Avoidance System for Ship using Fuzzy Control," 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [5] Hammer, A. and Hara, K., "Knowledge Acquisition for Collision Avoidance Maneuver by Ship Handling Simulator," MARSIM & ICSA 90, tokyo, 1990.
- [6] Lee han-jin, "A study on Collision Avoidance using FUZZY theory," Seoul University, 1993.
- [7] Park chang-jung, the newest COLREG, Yeon Publisher, 1985.

김 성 우(Seong-Woo Kim)

[정회원]



- 2001년 3월 : 해군사관학교 군사학과(군사학학사)
- 2010년 6월 : 연세대학교 경영대학원 경영정보학과 (경영학석사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : 국방대학교 관리대학원 운영분석학과 박사과정

<관심분야>

선박항해, 확률모형, 최적화