



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

선박 운항데이터 기반
세 선종의 회피 행태 분석



부경대학교 대학원

마린융합디자인공학과

여찬영

공학석사학위논문

선박 운항데이터 기반
세 선종의 회피 행태 분석

지도교수 박종용

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2024년 2월

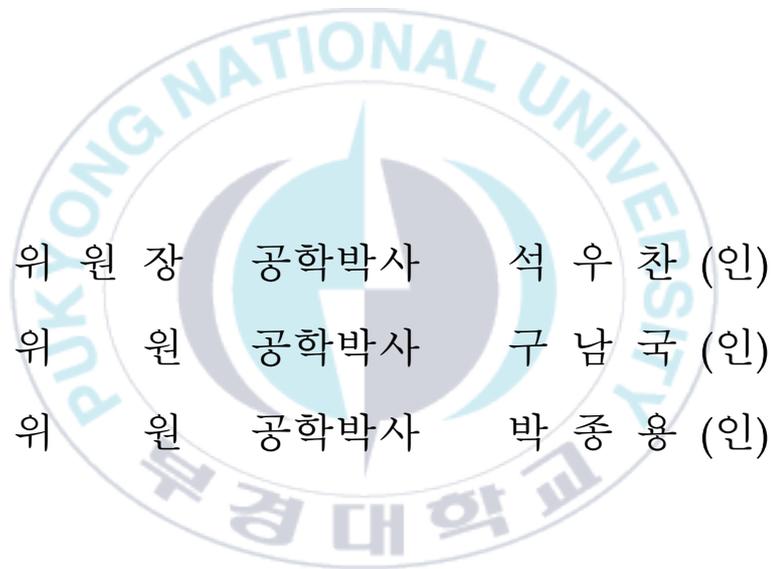
부경대학교 대학원

마린융합디자인공학과

여찬영

여찬영의 공학석사 학위논문을 인준함.

2024 년 2 월 16 일



목 차

표 목차	vi
그림 목차	vii
Abstract	ix
1. 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목표	3
2. 운항 정보 및 조우 상황	4
2.1 선박 획득 정보	4
2.2 조우 상황 분류	10
2.3 선박 안전 영역	13
3. 회피 행태 분석 방법	15
3.1 조우 상황 분석	15
3.2 최근접점 상대방위	20
4. 회피 행태 분석 결과	22
4.1 선박 별 최근접점 상대방위 분석 결과	22
4.2 선박 별 안전 영역 및 회피 시점	33

5. 결론 35
참고문헌36



표 목차

Table 2.1 Acquired data	6
Table 2.2 Used data.....	6
Table 2.3 AIS Message Information.....	8
Table 2.4 Message 1,2,3 Acquisition Information.....	9
Table 2.5 Encounter type.....	12
Table 3.1 CORLEGs Head-On Avoidance Regulation.....	16
Table 3.2 CORLEGs Crossing Avoidance Regulation.....	17
Table 3.3 CORLEGs Over-Taking Avoidance Regulation.....	19
Table 4.1 DCPA, TCPA of Ship A in various situation.....	30
Table 4.2 DCPA, TCPA of Ship B in various situation.....	31
Table 4.3 DCPA, TCPA of Ship C in various situation.....	31

그림 목차

Figure 2.1 Regions used to categorise the position of the obstacle	11
Figure 2.2 Regions used to categorise the heading of the obstacle	11
Figure 2.3 Chart used to determine the encounter type	12
Figure 2.4 Development of Ship domain	14
Figure 3.1 CPA/TCPA/DCPA	21
Figure 4.1 DCPA of Ship A in Head-on Situation	23
Figure 4.2 TCPA of Ship A in Head-on Situation	23
Figure 4.3 DCPA of Ship A in Give-way Situation	24
Figure 4.4 TCPA of Ship A in Give-way Situation	24
Figure 4.5 DCPA of Ship A in Overtaking Situation	25
Figure 4.6 TCPA of Ship A in Overtaking Situation	25
Figure 4.7 DCPA of Ship B in Head-on Situation	26
Figure 4.8 TCPA of Ship B in Head-on Situation	26
Figure 4.9 DCPA of Ship B in Give-way Situation	27
Figure 4.10 TCPA of Ship B in Give-way Situation	27

Figure 4.11 DCPA of Ship C in Head-on Situation 28
Figure 4.12 TCPA of Ship C in Head-on Situation 28
Figure 4.13 DCPA of Ship C in Give-way Situation 29
Figure 4.14 TCPA of Ship C in Give-way Situation 29
Figure 4.15 Ship domain of Ship A 34



Based on Ship Operations Data Analyze the avoidance behavior of three ship types

Chan-Young Yeo

Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The safe and efficient operation of ships requires technologies to avoid collisions with other ships. This paper analyzes the avoidance behavior of three types of ships based on the actual operation data collected from the ship's Automatic Identification System (AIS) and Voyage Record Data (VDR). From the collected data, the relative positions and speeds of the ships were used to calculate the Closest Point of Approach (CPA). The avoidance behavior analysis was classified into head-on collision, overtaking, and crossing situations according to the angle of entry of the ship and the other ship based on the collision avoidance regulation COLREG. The classified avoidance situations were subjected to single-factor and multifactor analysis and statistical analysis to evaluate how the three ship types avoid other ships. Using the avoidance behaviors of different ships, the results of the analysis suggest a methodology for ships to safely avoid other ships based on the state of the ship and the perceived situation. The results of this study can contribute to future research by analyzing the avoidance behavior that reflects the intention of the navigator using actual operation data.

I. 서론

1.1 연구 배경

해양 사고 중 인적오류로 인한 충돌사고가 다수 발생하고 있다. 충돌사고의 원인은 부주의, 피로누적등 다양한 요인에 의해 발생하며 이에 따라 선원의 편의와 피로 감소를 위해 자율운항선박, 자동조타장치등의 개발과 이용이 원활히 이루어지고 있다.

이 중 선박의 자동조타장치(Autopilot)는 선박의 조타를 맡은 선원의 불필요한 타각 조작에 의한 항로 이탈을 줄이고, 선원들이 피로를 저감하기 위해 오늘날 대부분의 대양을 항해하는 선박에 탑재되어 있다. 자동조타장치는 설정한 경유점을 추종하기 위해 자동적으로 타각을 제어하여 선수각 또는 선회속도를 조정한다. 최근에는 경유점을 보다 안전하고 경제적으로 추종하기 위해 연료소모량을 고려한 적응 제어기능이 탑재된 제품들도 출시되어 있다. 하지만 현재 사용되는 자동조타장치의 경우 사용자가 직접 목표방위각 또는 경유점을 지정하여 운항하는 형태로 사용되고 있다. 이러한 항해사의 의사를 고려한 초동조치에 관한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. Lee et al(2014)는 “충돌위험 회피를 위한 선박 운항자의 초동조치에 관한 연구”에서 다양한 승선경력을 가진 선박 운항자들을 대상으로 설문 을 통해 선박의 조우상황에 따라 주관적으로 판단하는 최소 안전 이격거리와 초기대응의 개시 거리 및 변침각도를 분석하여 선박의 조우상황에 따라 충돌회피를 위한 초기 동작이 필요한 거리, 안전 이격거리 및 변침각도를 제시하였다. 또한 Kim et al(2020)은 “해상교통분석 시뮬레이션을 위한 항해사의 충돌회피 행동분석에 관한 연구”에서 항해사 설문조사를 통해 분석된 정보를 이용하여 선박 충돌상황에서 항해사의 행동과 유사한 에이전트 기반으이 항해행동 모델을 개발하였다.

AIS(Automatic Identification System)이 도입된 이래 AIS데이터는 데이터 마이닝(data mining)을 이용한 선박 행동(behavior)분석의 귀중한 원천으로 사용되고 있다. AIS는 바다와 항구의 모든 항해에서 특정한 시간 간격으로 선박의 선박식별번호, 선박의 종류, 길이, 폭, 너비 등 선박의 정적 정보와 선박의 위치, 침로, 속력, 선수각 등 선박의 동적정보를 기록하고 타선의 정보를 수신한다. Son and Kim(2010)은 2009년 부산항에서 발생한 석유제품 운반선과 화물선간의 충돌사고에 대한 AIS 데이터를 수집하여 이를 통해 선박운항 시뮬레이터 기반 재생 시뮬레이션을 수행하였다. Kim and SHOJI(2022)는 AIS 데이터로부터 실제 충돌 회피 사례를 추출하는 방법에 대한 제시와 함께 정량적인 연구를 위해 추출된 실제 사례를 바탕으로 OZT(Obstacle Zone by Target)를 이용하여 선박의 충돌 회피 특성에 대한 연구를 수행하였다.

실운항 데이터를 기반한 세 가지 선종의 회피 행태 분석에 대한 연구는 수집된 선박 운항 데이터를 분석하여 선박 간의 상호 작용을 이해하고 충돌 위험을 최소화하는 회피 전략을 수립하는데 도움이 될 수 있다. 하지만 설문조사를 통한 항해사의 의사 판단은 각 상황을 정확하게 표현할 수 없을 뿐만 아니라 해상상황, 운항 해역 등 다양한 요인을 알 수 없다. 또한 AIS 데이터의 경우 데이터를 취득한 시점의 불특정 다수의 선박에 대한 분석이므로 하나의 선박이 충돌을 다수 경험하는 데이터를 얻기 어려운 단점이 존재한다. 본 논문에서는 하나의 선박이 다양한 조우상황에서 초동조치를 취하는 데이터셋을 이용한 정량적인 분석을 통해 실제 선박이 위협을 느끼는 안전 운항 영역과 타선을 회피 하는 시점에 대한 결과를 도출한다.

1.2 연구 목표

본 연구에서는 세 가지 선종의 실 운항 데이터를 이용하여 선박의 운항을 재생하고 이 중 회피 행태에 대한 분석을 수행한다. 먼저 선박에서 취득된 항해데이터에 대해서 선박의 운항과 관련된 데이터를 분류한다. 분류된 시계열 데이터를 통해 선박의 운항을 재생한다. 사전에 정의된 CORLEGS(CORLEGS, Convention on the International Regulation for Preventing Collisions at sea)에 의한 조우 상황을 정의하고 이에 해당하는 데이터를 선별한다. 선별된 데이터를 이용하여 각 조우상황별 최소 이격거리와 회피 시점에 대한 정량적인 결과값을 도출한다.

본 논문은 다음과 같은 구성을 가진다. 1장은 연구배경 및 연구목적과 관련 연구 사례와 함께 설명하였다, 2장은 운항정보 및 조우상황 분류에 대한 내용으로 선박에서 취득할 수 있는 데이터와 이를 분류하는 방법과 함께 CORLEGS에서 제시한 선박 조우 상황에 대한 기준을 제시한다. 3장에서는 앞서 제시한 선박 조우 상황별 회피 행태를 분류한다. 4장에서는 회피 행태를 통해 선박 회피 행태를 분석한다. 5장에서는 본 연구의 결과와 함께 향후 연구에 대하여 설명하였다.

II. 운항 정보 및 조우 상황

2.1 선박 획득 정보

본 연구에서는 실제 운항데이터를 이용하여 조우 상황에 대한 분류 및 분석을 진행하므로 운항데이터의 종류와 특징에 따라서 데이터를 처리하는 과정이 중요하다. 운항데이터는 선박의 VDR(Voyage Data Recoding) 시스템에서 취득되었으며 항해 중 자선에 저장되는 센서에서 계측된 선박의 상태에 대한 데이터의 형식은 NMEA 0183 protocol을 따른다. 타선에 대한 정보는 자선이 항해 중 수신한 AIS message를 통해 취득한다. 각 데이터의 특징과 정보는 다음과 같다.

2.1.1 NMEA 0183 protocol

NMEA(National Marine Electronics Association)는 해양 전자공학 산업의 발달과 교육을 위해 모인 비영리 단체를 지칭한다. NMEA 0183 protocol은 시간, 위치, 방위 등의 정보를 전송하기 위한 해상전자장비의 표준 규격이다.

NMEA 0183 protocol의 데이터는 정의된 문자 포맷대로 전송된다. 문자는 아스키코드(ASCII, American Standard Code for Information Interchange), CR(Carriage Return), LF(Line Feed)를 사용하고 있다. 문장의 형태는 다양하게 사용할 수 있다. 본 논문에서 사용하는 데이터의 경우 두 가지의 형태로 저장되어 있다.

먼저 Talker Sentences로 GPS 등의 데이터를 전송하는 포맷으로 각 문장의 정의를 \$으로 지정한다. 이후 두 개의 대문자로 이루어지며 데이터의 송신 위치를 나타내는 Talker identifier, 세 개의 대문자로 이루어지며 문장의 내용을 나타내는 식자인 Sentence identifier를 통해 데이터의 송신 주

체 및 내용을 정의한다. 이후 콤마(Comma)로 구분된 데이터 필드를 전송하며 체크섬(Check sum) 및 <CR> 또는 <LF>를 마지막으로 문장이 종료된다.

두 번째는 Proprietary Sentence로 장비 업체별로 정의할 수 있는 데이터 포맷이다. Proprietary Sentence는 각 업체마다 데이터의 정보는 상이하나 생성규칙은 동일하다. 생성 규칙은 “\$P”로 시작되며 이후 세 글자는 제조업체의 ID이다. 본 논문에서는 각 장비에 대한 정보를 얻을 수 없으므로 장비 업체별로 정의한 데이터 형식을 취득하지 못하여 Proprietary Sentence의 경우는 사용하지 않는다.

이 외에도 Query Sentence 등 다양한 문장 포맷이 존재하나 취득된 데이터에는 존재하지 않는다.

데이터 분석에 필요한 Sentence는 Table 2.1과 같으며 사용한 NMEA 0183 protocol은 Table 2.2와 같다. 이를 이용하여 운항 데이터를 재생 및 조우 상황을 분류하였다.

Table 2.1 Acquired data

구분	LNG	CONTAINER	BULK
UTC	\$GPGGA \$GPZDA	\$GPGGA \$GPZDA \$GPRMC	\$GPGGA \$GPZDA
lat, lon	\$GPGGA	\$GPGGA \$GPRMC	\$GPGGA
Heading	\$AGHTD \$IIHTC \$SHEHDT	\$AGHTD \$IIHTC \$SHEHDT	\$AGHTD \$IIHTC \$SHEHDT
ROT	\$TIROT	\$HEROT	-
SOG	\$GPVTG	\$GPVTG \$GPRMC	\$GPVTG
COG	\$GPVTG	\$GPVTG \$GPRMC	\$GPVTG
Rudder	\$AGRSA \$YXRSA	\$IIRSA	\$AGRSA \$YXRSA
RPM	\$RCRPM	\$RCRPM	\$KMRPM
STW	\$VDVBW	\$VDVBW	\$VDVBW
Wind	\$YXMWV	\$WIMWV	\$WIMWV
Depth	\$SDDPT	\$SDDPT	\$SDDPT
Heading CMD	\$IIHTC \$AGHTD	\$IIHTC \$AGHTD	\$IIHTC \$AGHTD
RADAR	!RATTD	!RATTD	-
Waypoint	\$INWPL	-	-
Routes	\$INRTE	-	-

Table 2.2 Used Data

구분	LNG	CONTAINER	BULK
UTC	\$GPZDA	\$GPZDA	\$GPZDA
lat, lon	\$GPGGA	\$GPGGA	\$GPGGA
Heading	\$SHEHDT	\$SHEHDT	\$SHEHDT
ROT	\$TIROT	\$HEROT	-
SOG	\$GPVTG	\$GPVTG	\$GPVTG
COG	\$GPVTG	\$GPVTG	\$GPVTG
Rudder	\$YXRSA	\$IIRSA	\$YXRSA
RPM	\$RCRPM	\$RCRPM	\$KMRPM
Heading CMD	\$IIHTC	\$IIHTC	\$IIHTC

2.1.2 AIS

AIS(Automatic Identification System)는 선박의 항해안전 및 보안강화를 위하여 선박의 선명, 제원, 속력 등의 정보를 무선통신을 통하여 선박과 선박, 선박과 육상 간의 자동 송수신을 지원하는 항해장비이다. 이를 통해 선박이 다른 선박을 조우한 경우 때, 다른 선박의 위치, 속도, 방향, 목표점, 제원등을 파악할 수 있다.

AIS 취득하는 대략적인 정보는 Table 2.3과 같다. 이때 AIS의 모든 좌표계는 WGS84를 기반으로 하고, 각 필드의 문자는 6비트 아스키코드(ASCII)를 사용한다. 메시지 번호 항의 M과 B는 각각 선박인 Mobile Station과 Base Station을 의미하며 해당 메시지를 송신할 수 있는 개체를 의미한다.

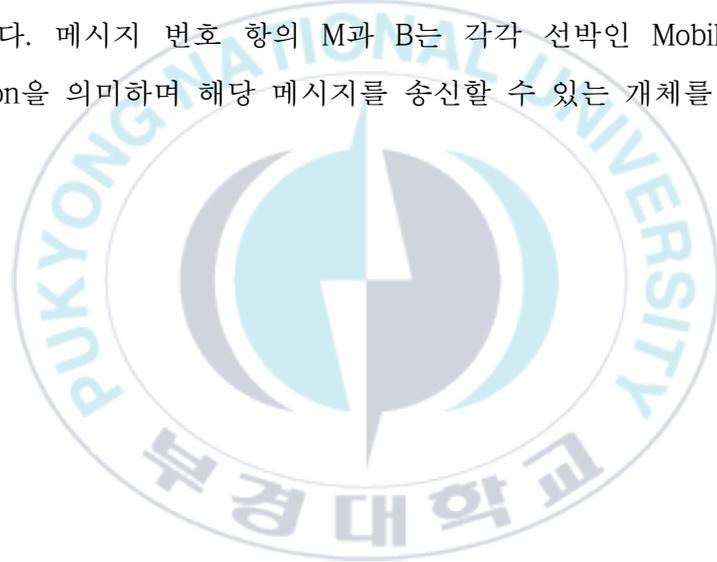


Table 2.3 AIS Message Information

메시지 번호	주요 내용
1,2,3(M)	- Class A Mobile station의 Position report
4(B)	- Base Station의 report - Position, UTC, 날짜, 사용 슬롯 번호 공지
5(M)	- 항로정보
6,7,8(M/B)	- binary data(주소지정, 확인, 방송용)
9(M)	- SAR(Safety and Rescue) position report
10(M/B), 11(M)	- UTC request % response
12,13,14(M/B)	- 안전 관련 데이터 송신(주소지정, 확인, 방송)
15(M/B)	- 특정 메시지 질의 요구
16(B)	- Base Station이 특정 두 개 스케줄을 보정
17(B)	- DNGSS 보정값
18,19(M)	- Class B Mobile station의 position report
20(B)	- Base station의 slot 예약 - FATDMA 스케줄을 하나 이상의 인접 베이스 스테이션에 알림 - MSG4와 MSG20을 통해 모바일 스테이션은 베이스 스테이션과의 거리 계산
21(M/B)	- Aids-to-Navigation position report - Real AtoN, Virtual AtoN 표시
22(B)	- HF 링크 채널 파라미터
23(B)	- 특정 지역에 대해 ship and cargo type, station type에 의해 선택된 선박에 대한 명령 전송
24(M/B)	- MMSI번호와 이름 매핑, Class B CS 선박 Part A : name Part B : Static data(type of ship and cargo type, endor ID, Call sign, Dimension)
25(M/B)	- short infrequent 데이터 전송 - Broadcast or addressed - coding(AI 규칙 적용여부) - 128비트 데이터(1 slot), no Ack(7,13)
26(M/B)	- SOTDMA나 ITDMA에 의한 scheduled binary data transmission에 사용 - Broadcast or addressed coding(AI 규칙 적용여부) - Max1,064비트(1~5 slots)
27(M)	- Long range AIS Class A 장비(위성) - MSG 1,2,3과 유사한 내용 - 전파지연에 대한 고려로 compressed data 표현 - 필드 생략, 비트 수 축소

이때 모든 정보를 수신하는 것이 이상적이거나, AIS 데이터의 경우 각 메시지별로 수신주기가 다르고, 수신되는 메시지 중에서도 선박의 위치와 상태 등과 같은 동적정보에 관한 메시지인 1,2,3번 메시지를 이용하여 타선으로 가정하였다. 메시지 1,2,3번에서 수신되는 정보는 다음 Table 2.4와 같다

Table 2.4 Message 1,2,3 Acquisition Information

순서	취득 정보	순서	취득정보
1	msg_type	9	lat
2	repeat	10	course
3	mmsi	11	heading
4	status	12	second
5	turn	13	maneuver
6	speed	14	spare
7	accuracy	15	raim
8	lon	16	radio



2.2 조우 상황 분류

해상에서는 국적이 다른 수많은 선박이 항해하기 때문에 국제적인 협약이 필요하다. 이를 위해 국제해사기구(IMO, International Maritime Organization)에서 COLREGs를 지정한다. COLREGs를 통해 선박 사이의 충돌 방지 규칙을 정의하였는데, 규칙에서 가장 중요하게 명시된 것은 견시(Look out)와 안전한 속력(Safe Speed)이다. 선박은 인지할 수 있는 표시가 없는 해상에서 운항되므로 주위의 다른 선박을 식별할 수 있도록 낮에는 형상(Shape), 밤에는 등화(Lights)로 자선의 상태를 표시한다.

이에 따라 COLREGs에서는 선박의 항법을 육안이나 쌍안경 등으로 다른 선박의 상태를 식별할 수 있는 “상호 시계에서의 항법”과 상대 선박의 상태를 확인할 수 없는 “제한 시계에서의 항법” 등으로 나누어서 규정하고 있다.

하지만 선박 운항 데이터에서는 등화 규정 또는 선박 간의 통신 내용을 파악할 수 없으므로 보다 간소화된 조우상황에 대한 구분방법이 필요하다. Tam and Bucknall(2010)은 자선과 타선의 위치와 방위각을 통해 비교적 간단하게 조우상황을 정의한다. 본 논문은 Tam and Bucknall(2010)의 연구 결과를 바탕으로 조우상황을 정의하였다.

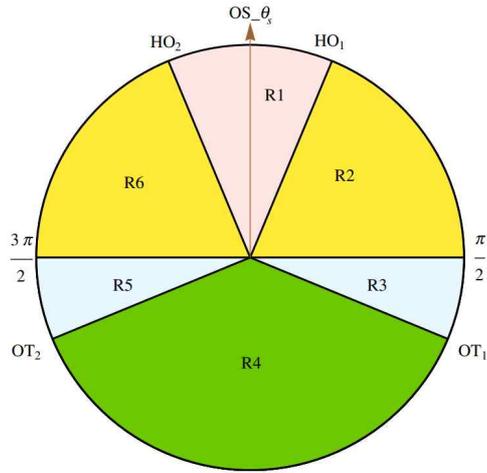


Fig. 2.1 Regions used to categorise the position of the obstacle

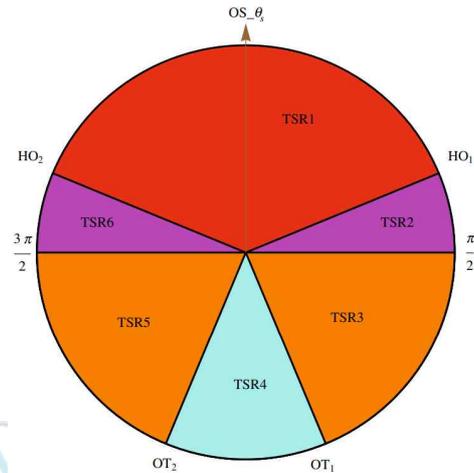


Fig. 2.2 Regions used to categorise the heading of the obstacle

Fig. 1은 자선을 기준으로 타선이 접근하는 방향에 대하여 R1~R6의 6개 구역으로 나누며 $\{HO_1, HO_2, OT_1, OT_2\} = \{\pi/8, 15/8\pi, 5/8\pi, 11/8\pi\}$ 로 구분된다. 이때, OT1 및 OT2의 값은 CORLEGS의 규칙 13을 기반으로 한다. 하지만, CORLEGS의 규칙 14번에 정면충돌에 대한 명시적인 지침이 없으며, CORLEG의 부록 I 9(1)에 작은 각도(1~3°)로 나타나 있으므로 본 연구에서는 HO1, HO2를 $8/\pi$ 로 증가시켜 조우상황은 분류한다. Fig. 2는 타선을 기준으로 Fig. 1과 동일한 방법으로 TSR1~TSR6의 6개 구역으로 나누는 결과입니다. 자선과 타선의 조우 상황은 Fig. 1과 Fig. 2를 조합하여 Fig.3와 같이 나타내며, 표와 같이 6개의 조우상황으로 분류한다. 본 연구에서는 자선이 피항의무선에 해당하는 Head-on, Give-way, Overtaking 상황에 대한 분석을 수행했다.

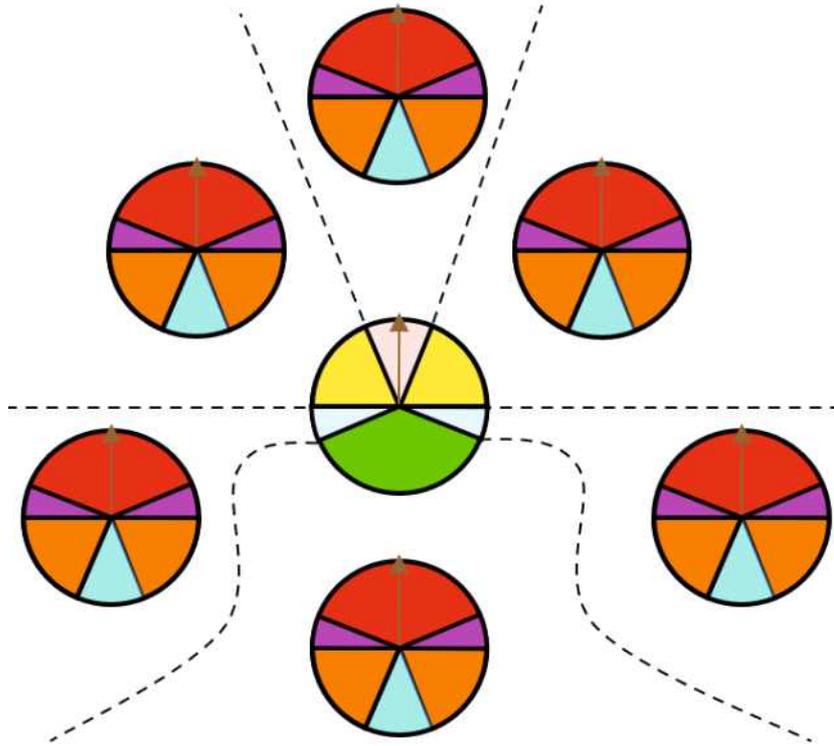


Fig. 2.3 Chart used to determine the encounter type

Table. 2.5 Encounter type

Abbreviation	Encounter type	Encounter situation
HO	Head-on encounter	Head-on
OT	Overtaking encounter	Overtaking
SO	Stay-on encounter	Crossing (stand-on)
SF	Safe encounter	-
GW	Give-way encounter	Crossing (give-way)
ST	Static obstacle	-

2.3 선박 안전 영역

선박 충돌을 해상에서 가장 빈번히 발생하는 사고 중 하나로 이를 방지하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 이 중 Ship Domain은 항해사가 충돌 방지 조치를 위한 적절한 시점을 찾는 데 도움이 되는 방법 중 하나로 연구된다. Fujii and Tanaka(1971)는 레이더 데이터를 이용하여 대부분의 항해사가 선박 주변의 임의 영역으로의 접근을 피할 것이라는 점을 고려하여 선박의 길이 방향으로 4L, 폭 방향으로 1.6L의 타원 영역을 정의하고 해당 영역을 Ship Domain을 정의한다. 이후 이를 기반으로 다양한 유형의 Ship Domain이 제안된다. Goodwin(1975)은 레이더의 성능과 북해의 교통조사를 바탕으로 3가지 다른 크기를 가지는 부채꼴의 집합 형태로 Ship Domain을 제시한다. Weng(2012)은 싱가포르 해협에서 Lloyd's Marine Intelligence Unit(Lloyd's MIU)데이터베이스의 실시간 선박 이동 데이터를 사용하여 선박 충돌 횟수와 인과 확률의 곱을 통해 원 형태의 Ship Domain을 제시한다. 하지만 지금까지의 연구 중 각 선박에 대한 고유한 Ship Domain을 고려한 내용은 없다. 본 연구에서는 Tam and Bucknall(2010)의 조우 상황 분류를 바탕으로 Goodwin(1975)와 같이 선박의 각 조우상황에 따른 정량적인 위협을 바탕으로 부채꼴을 결합한 형태의 각 선박의 고유한 Ship Domain 도출을 목표로 한다.

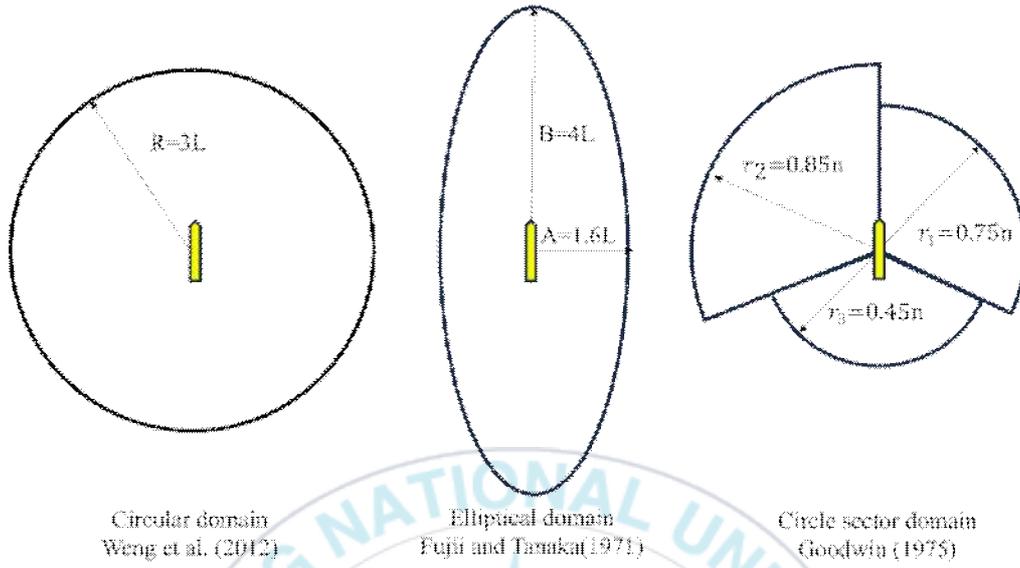


Fig. 2.4 Development of Ship domain

Ⅲ. 회피 행태 분석 방법

3.1 조우 상황 시나리오 분석

앞서 2-2장에서 선박의 조우상황에 대하여 6가지로 분류하였으나, 각 조우 상황에서 자선과 타선이 어떻게 행동하는지에 대해서는 정의하지 않았다. 일반적으로 타선을 조우 한 후 수행하는 초동조치는 CORLEG 규정을 따르므로 CORLEG를 준수한다는 가정 하에 조우 상황에서 각 선박이 초동 조치를 수행하는 시나리오를 작성하였다. 각 상황 별 자세한 CORLEG 규정 및 시나리오 예시는 다음과 같다.

3.1.1 Head on

Head on 상황은 COLREG 규정상 다음과 같다.

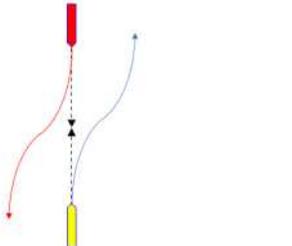
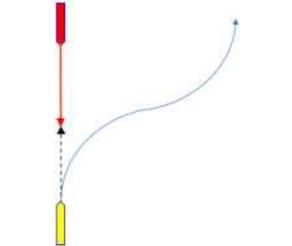
- (a) 2척의 동력선이 충돌의 위험이 있을 정도로 상호 또는 거의 상호적인 경로에서 만날 때 각각은 상대방의 좌현을 통과하도록 자신의 침로를 우현으로 변경해야 한다. 이때 마주치는 선박이 적절한 조치를 취하지 않는 경우 두 선박 모두 피항을 할 때 보다 더 큰 침로각으로 변경해야 한다.
- (b) 이러한 상황은 선박이 전방에 있는 상대 선박을 인식하고 야간 항해 시 일직선에 있는 상대 선박의 마스트 등 또는 양측 현등을 볼 수 있는 상황, 주간 항해 시 견시한 상황에서 유효하다.
- (c) 선박을 견시하지 못한 경우 또는 상대 선박이 존재하는지에 대한 의심이 있는 경우 선박은 존재한다고 가정하고 행동한다.

이러한 COLREG 규정에 따라 선박을 조우하는 상황 중 자선과 타선이 정면으로 운항 중 회피하는 경우를 Head on 상황으로 판단하였고, 초동조치

시나리오 중 회피 시점은 타선을 회피하기 위해 우현으로 선수각을 변경하는 시점으로 설정했고, 회피 종료 시점은 타선을 회피한 후, 원래의 선수각으로 복귀하는 시점을 회피 종료 시점으로 설정하였다.

표 3.1에는 Head on 상황에서 자선이 피항 의무선이며, 타선의 회피 기동 유무에 따른 피항 각도 차이를 도시하였다. 선종, 속도 등에 따라 피항 각도는 상이하나 COLREG 규정상에는 타선이 명확한 회피 의사를 밝히지 않을 경우 두 선박 모두 회피하는 경우보다 회두각을 크게 할 것을 권고하고 있다.

Table. 3.1. COLREGs Head-On Avoidance Regulation

두 선박 모두 회피 의사를 밝힌 경우	타선이 회피 의사를 밝히지 않은 경우
	

3.1.2 Crossing

Crossing 상황은 COLREG 규정상 다음과 같다.

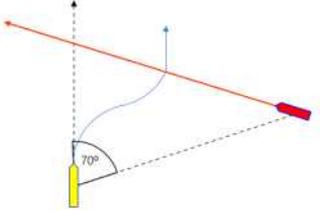
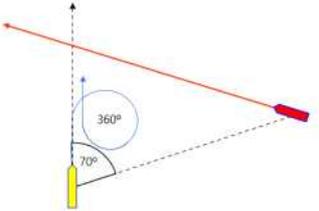
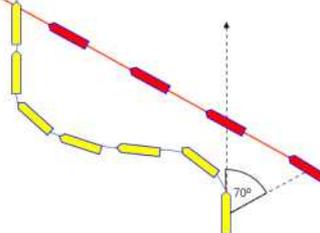
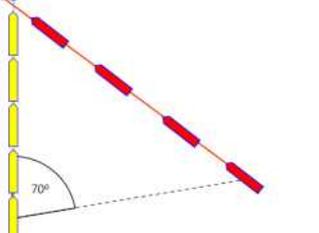
(a) 2척의 동력선이 충돌의 위험이 있을 정도로 횡단하고 있을 때는, 상대방을 우현에 두고 있는 선박은 그 진로를 피하여야 하며, 이러한 경우 다른 선박보다 먼저 교차점을 지나서는 안 된다.

COLREG 규정에 따라 타선이 자선의 우현으로 다가오는 경우 Crossing 상황 중에서도 Give way 상황으로 분류했으며, 타선이 자선의 좌현으로 다가오는 경우 Stand on 상황으로 분류하였다. 시나리오 인덱싱을 위해 자선이 타선의 침로에서 벗어나기 위해 선수각을 변경하는 시점을 회피 시작 시점

으로 하고, 타선이 교차점을 지나고 자선이 원래의 선수각으로 변경하는 시점을 회피 종료 시점으로 설정하였다. 반대의 경우에는 타선의 선수각 변경을 기준으로 인덱싱을 수행하였다.

Crossing 상황을 그림으로 표현하면 3.2와 같다. 그림에서 타선을 우현 측에 두고 운항하는 경우를 나타내었으며 일반적으로 피항선이 변침으로 회피기동을 수행하는 상황에서는 우현으로 변침하여 타선의 진행경로를 피한다. 불가피하게 우현으로 변침함에도 타선의 경로를 피하지 못할 경우 타선의 경로를 침범하지 않는 범위에서 한 바퀴 선회하여 피항하는 경우도 있다. 피항선이 속도 변화를 통해 회피 기동을 수행하는 경우 빠른 속도로 좌현으로 변침하여 타선이 근접하기 전에 경로를 벗어나거나 속도를 낮춰 타선이 지나간 후 통과하는 방법이 있다.

Table. 3.2. COLREGs Crossing Avoidance Regulation

우현 변침을 통해 타선의 침로를 회피	우현 선회를 통해 타선의 침로를 회피
	
<p>속도 증가를 통한 좌현 변침으로 타선의 침로를 회피하는 경우</p>	<p>속도 저하를 통해 타선의 침로를 회피</p>
	

3.1.3 Over taking / Taken over

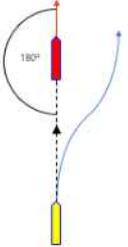
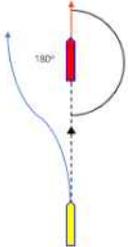
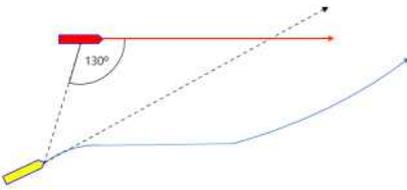
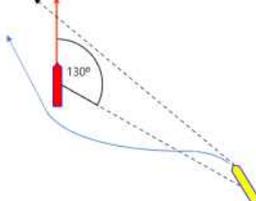
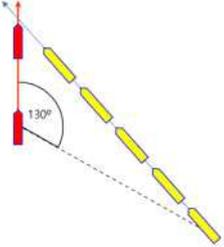
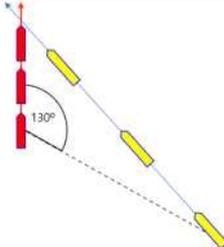
Over taking 상황은 COLREG 규정상 다음과 같다.

- (a) 다른 선박을 추월하는 선박은 추월당하는 선박의 진로를 피하여야 한다.
- (b) 선박은 전횡 후방 22.5° 이상의 방향 또는 야간 항해 시 현등이 보이지 않고, 선미만 보이는 경우 추월 의사가 있는 것으로 판단한다.
- (c) 선박이 다른 선박을 추월하고 있는지 의심이 가는 경우 이를 가정하고 그에 따라 행동해야 한다.
- (d) 두 선박 사이의 방향이 변경되더라도, 추월선은 이 규칙 내에서 횡단선이 되지 않으며 추월선이 완전히 지나갈 때까지 추월선을 피해야 할 의무가 면제되지 않는다.

COLREG 규정에 따라 자선이 타선을 추월하는 경우를 Over taking 상황으로 분류했으며, 타선이 자선을 추월하는 경우는 Over taken으로 분류하였다. 시나리오 인덱싱을 위해 회피 시점은 타선을 추월하기 위해 선수각을 변경하는 시점으로 설정했고, 회피 종료 시점은 타선을 추월한 후 원래의 선수각으로 복귀하는 시점을 회피 종료 시점으로 설정하였다.

Over taking 조우 상황을 그림으로 표현하는 다음과 같다 그림 3.3에서 추월선이 타선의 정후방으로 변침을 통해 추월을 시도하는 경우 좌·우현으로 모두 회피 가능하나 좌현으로 회피할 것을 권장한다. 타선의 정후방이 아닌 상황에서 변침을 통해 추월하는 경우 좌·우현 중 어떠한 방향으로 추월하더라도 타선의 경로를 지나쳐서는 안 된다. 추월선이 속도 변화를 통해 추월하는 경우 타선이 자선보다 현저히 빠르거나 느린 경우에 해당한다.

Table. 3.3. COLREGs Over-Taking Avoidance Regulation

<p>타선의 정후방으로 추월을 시도하는 경우</p> 	<p>타선의 정후방으로 추월을 시도하는 경우</p> 
<p>추월선이 우현 변침을 통해 추월하는 경우</p> 	<p>추월선이 좌현 변침을 통해 추월하는 경우</p> 
<p>추월선이 속도저하를 통해 추월하는 경우</p> 	<p>추월선이 속도증가를 통해 추월하는 경우</p> 

3.2 최근접점 상대방위

충돌 회피 행태 분석을 위해 자선을 위·경도 좌표계 상 중심에 고정하고 타선이 시간에 따라 변화하는 애니메이션 코드를 작성하였다. 애니메이션을 재생함과 동시에 TCPA 및 DCPA를 계산하여 그래프를 생성하고, 이러한 DCPA 변화와 자선의 궤적을 통해 앞서 3.1절에서 정의한 시나리오를 바탕으로 인덱싱을 수행하였다. 애니메이션 코드 실행 시 표현되는 정보는 자선과 타선의 위·경도상 위치, 타각, ROT(Rate Of Turn), 선수각, TCPA, DCPA가 출력된다. 해당 코드의 실행 화면은 그림545454와 같다.

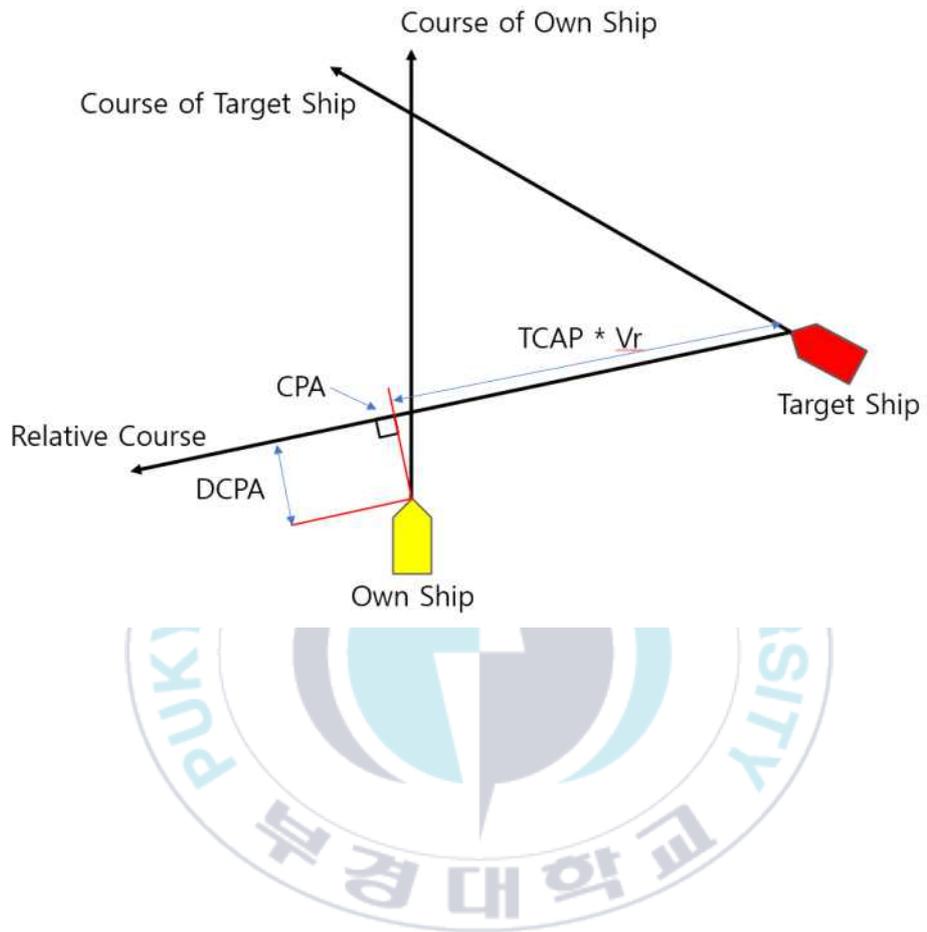
그림 3.1에서 CPA는 Closest Point of Approach의 약어로 자선과 타선의 현재의 속도와 방향을 유지했을 때, 가장 근접해지는 점을 의미한다. DCPA는 Distance of the Closest Point of Approach의 약자로 CPA 포인트와 자선 사이의 최단 접근 거리이며, TCPA는 Time to the Closeest Point of Approach의 약자로 타선이 CPA 포인트에 현재의 속력을 유지했을 때, 도달하는 시간을 의미한다. 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$TCPA = \frac{(p_A - p_B) \cdot (V_B - V_A)}{\|V_B - V_A\|}$$

$$DCPA = \|(p_A + V_A \cdot TCPA) - (p_B + V_B \cdot TCPA)\|$$

이때, DCPA는 항상 양수의 값을 가지게 되며 TCPA는 타선이 자선을 지나쳐 갈 경우 음수로 나타날 수 있다.

Figure. 3.1. CPA/TCPA/DCPA



IV. 회피 행태 분석 결과

4.1 선박 별 최근접점 상대방위 분석 결과

최근접점 상대방위는 선박의 회피 행동을 결정하는 중요한 수단으로 사용된다. 선박에서는 레이더를 이용한 APRA를 이용하여 인식한 타선의 DCPA 및 TCPA를 자동적으로 화면상에 표시해주며 항해사는 이를 참고하여 회피 결정을 내리게 된다. 이에 착안하여 본 논문에서는 선박의 운항데이터를 이용하여 항해사의 의사를 고려한 선박 영역 및 회피 시점을 도출하고자 한다.

자선과 타선이 현재의 속력과 침로를 유지하며 항해하는 경우, DCPA는 일정하다. 또한 DCPA는 자선과 타선이 가장 가까워지는 거리를 의미하므로 항해사는 DCPA를 통해 타선과 충돌할 가능성을 판단하게 된다. 따라서 DCPA는 충돌 가능성을 의미하는 지표로 활용가능하며, 선박 운항데이터를 통해 회피 시점의 DCPA를 분석하여 이를 무차원화하여 이를 NDCPA라 하고, 조우 상황별로 자선의 안전영역을 도출한다.

TCPA의 경우 자선과 타선이 현재의 속력과 침로를 유지하는 경우 점진적으로 감소한다. 이는 항해사가 어느 시점에 회피할 것인지에 대한 지표가 된다. TCPA를 분석하는 과정에서 자선과 속도별로 TCPA가 상이하므로 TCPA를 무차원화하여 이를 NTCPA라 하고, 어느 시점에서 회피를 수행하는지에 대하여 분석하였다.

선박 별 최근접점 상대방위의 분석 결과는 다음과 같다.

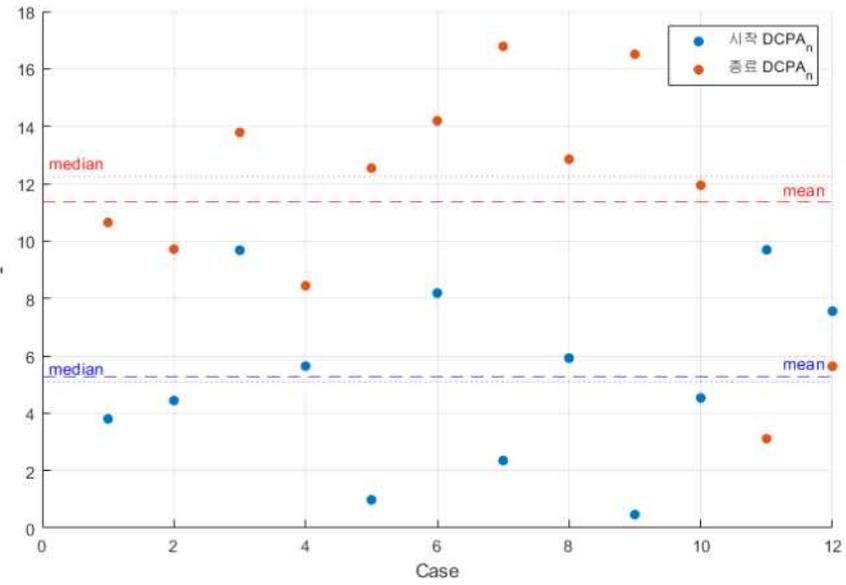


Fig. 4.1 DCPA of Ship A in Head-on Situation

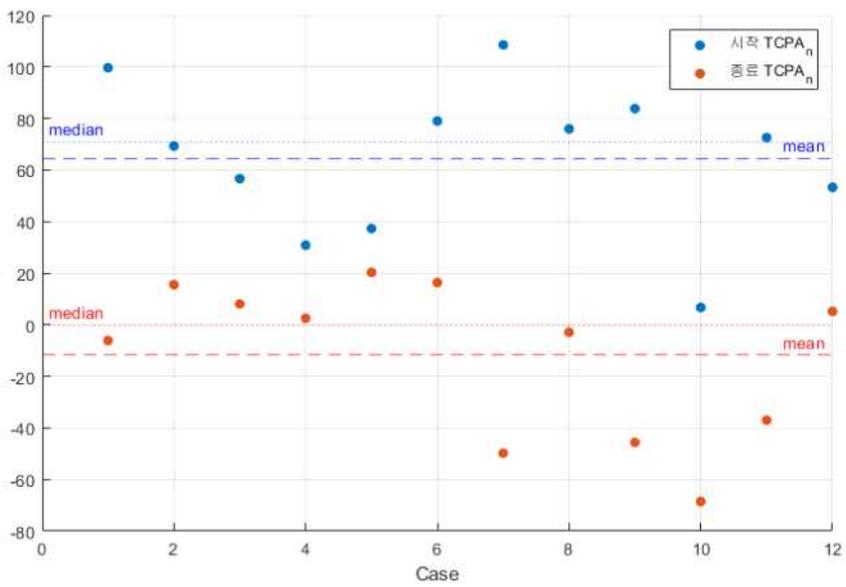


Fig. 4.2 TCPA of Ship A in Head-on Situation

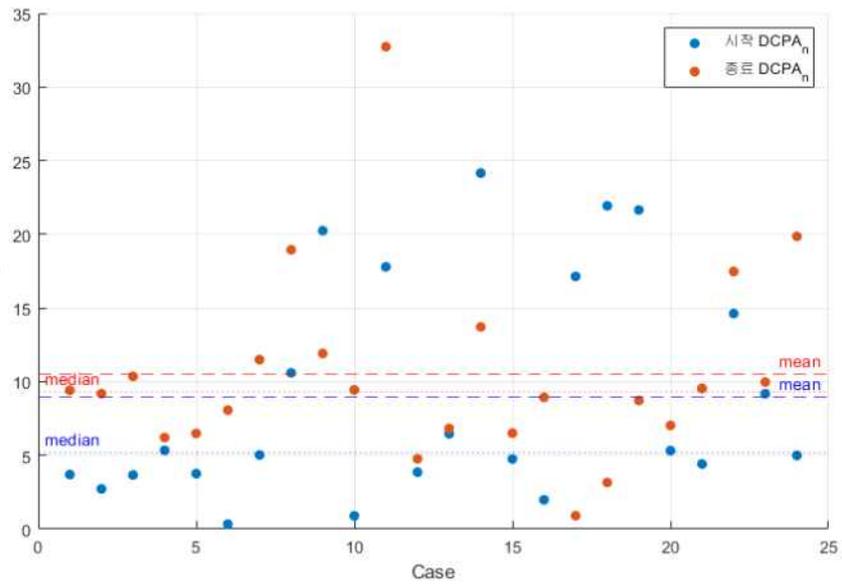


Fig. 4.3 DCPA of Ship A in Give-way Situation

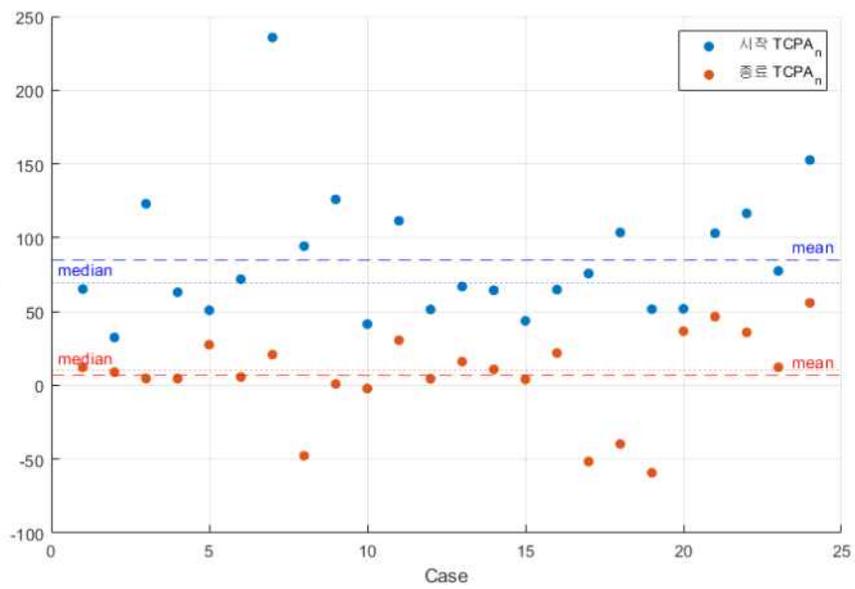


Fig. 4.4 TCPA of Ship A in Give-way Situation

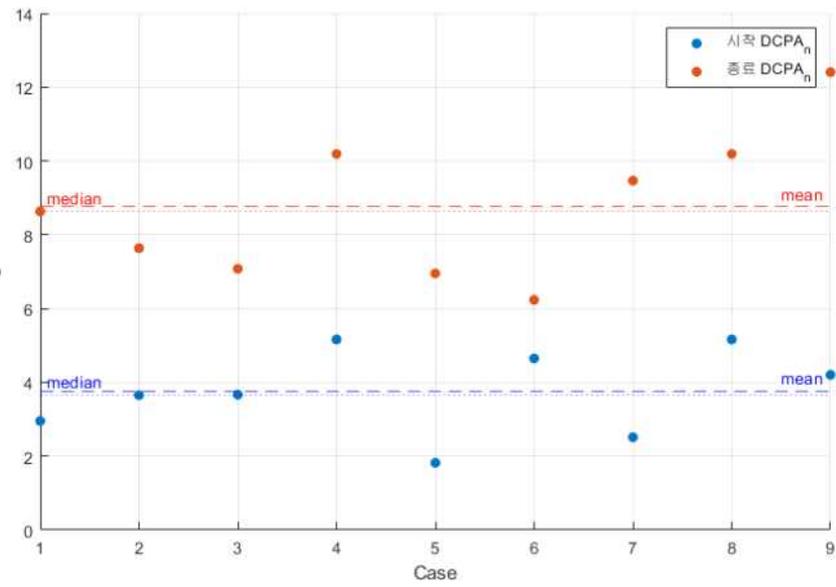


Fig. 4.5 DCPA of Ship A in Over-taking Situation

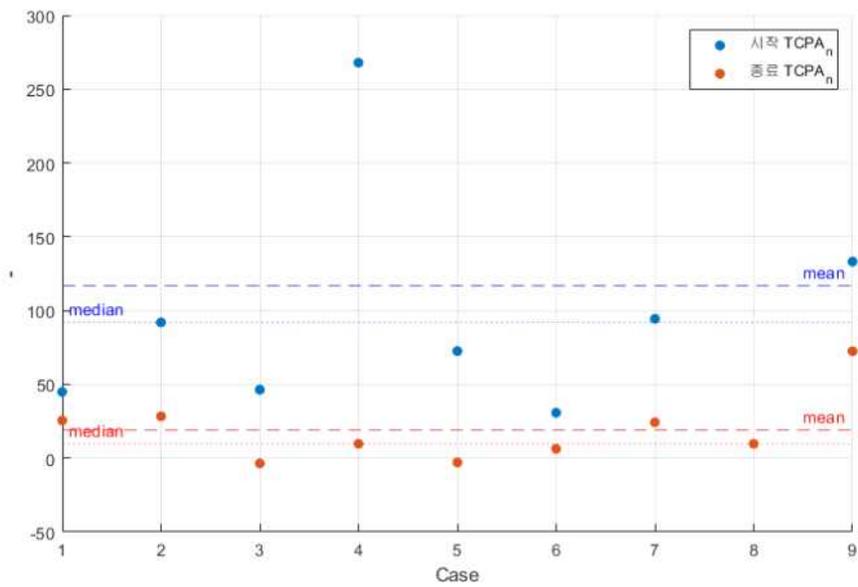


Fig. 4.6 TCPA of Ship A in Over-taking Situation

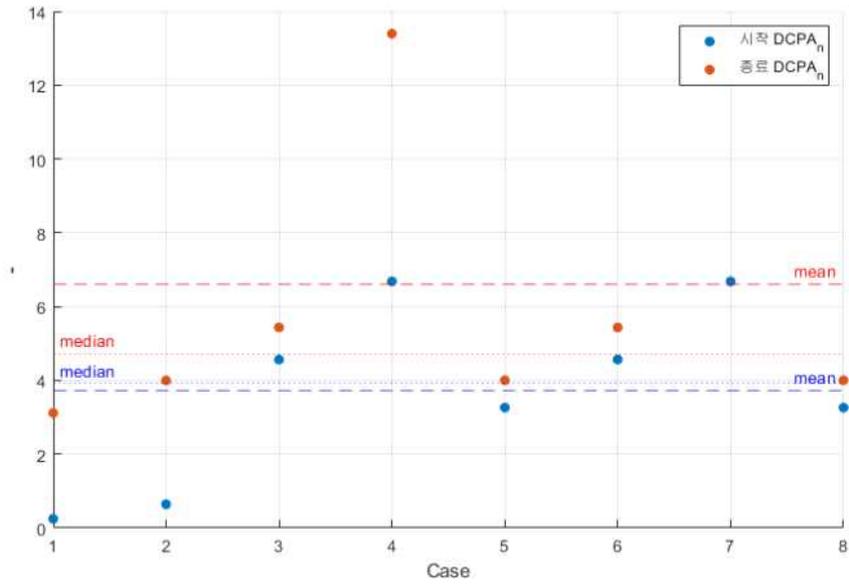


Fig. 4.7 DCPA of Ship B in Head-on Situation

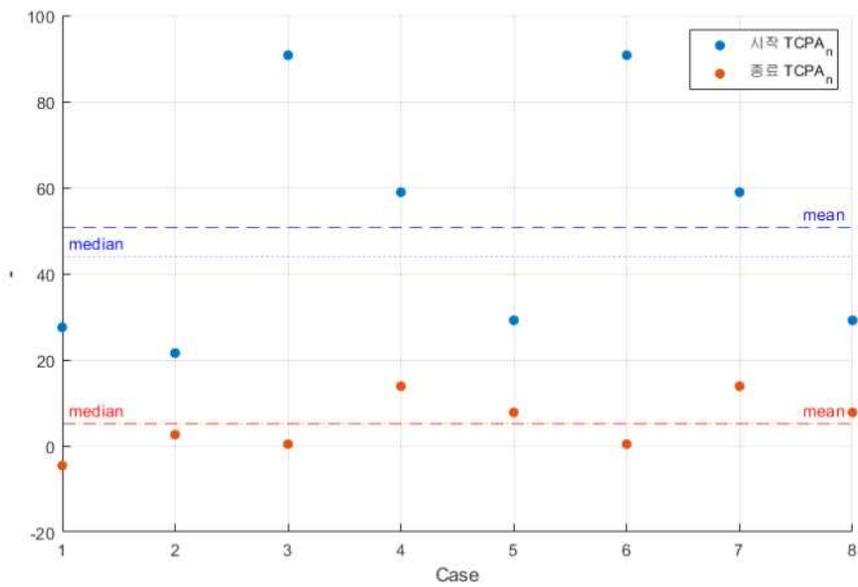


Fig. 4.8 TCPA of Ship B in Head-on Situation

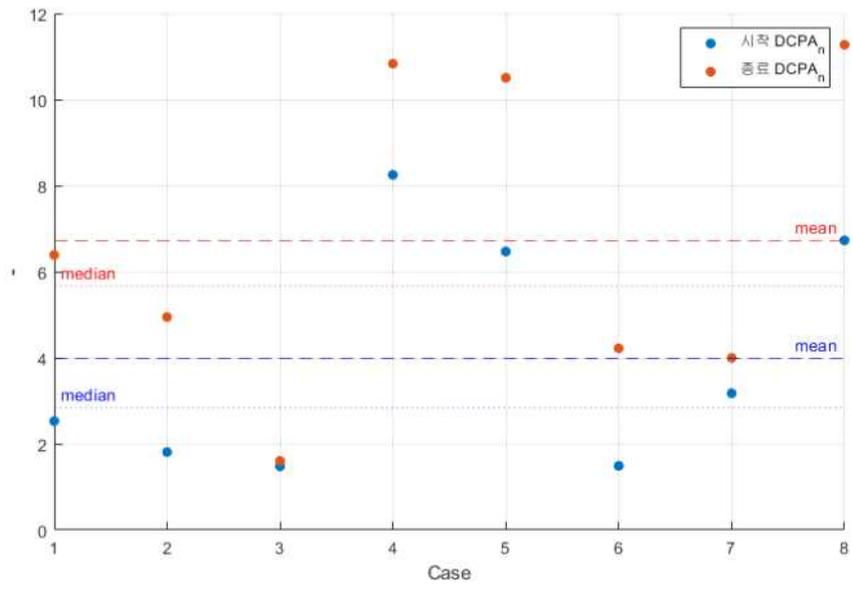


Fig. 4.9 DCPA of Ship B in Give-way Situation

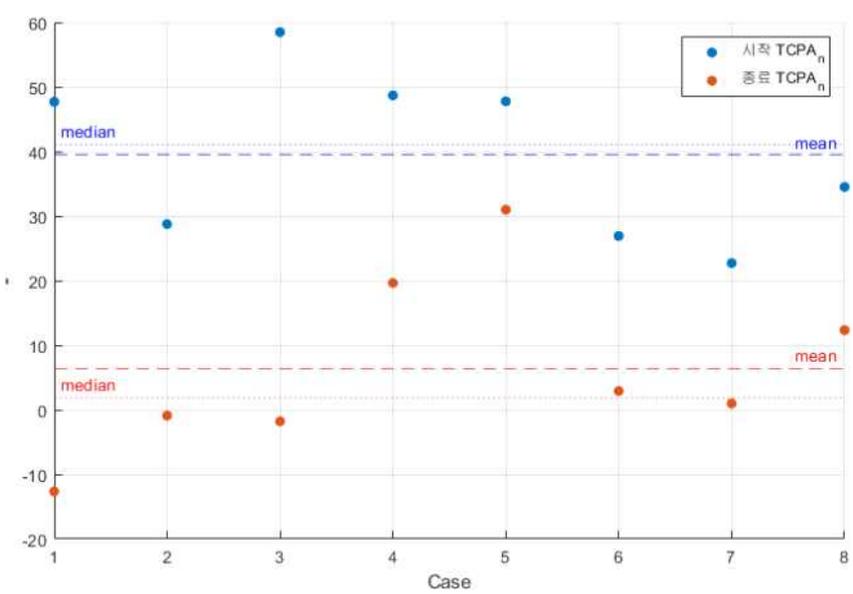


Fig. 4.10 TCPA of Ship B in Give-way Situation

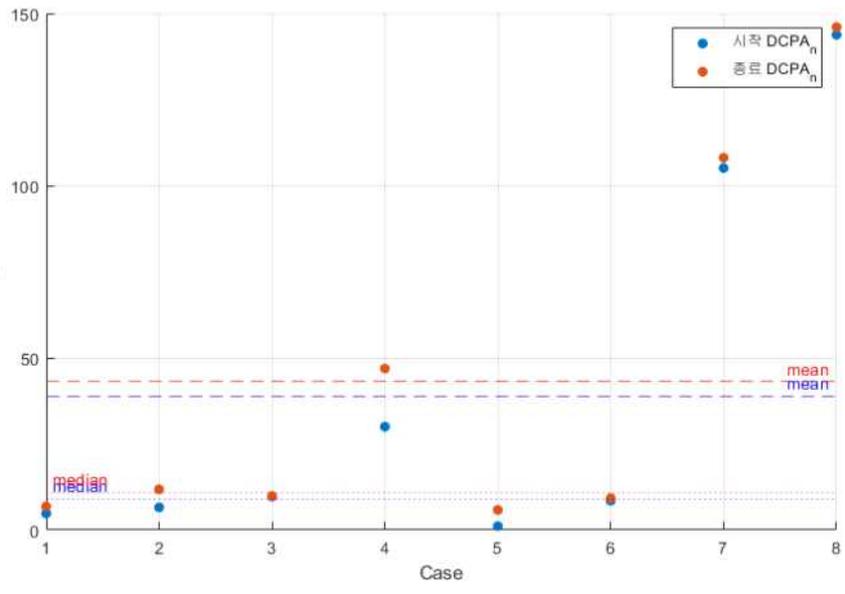


Fig. 4.11 DCPA of Ship C in Head-on Situation

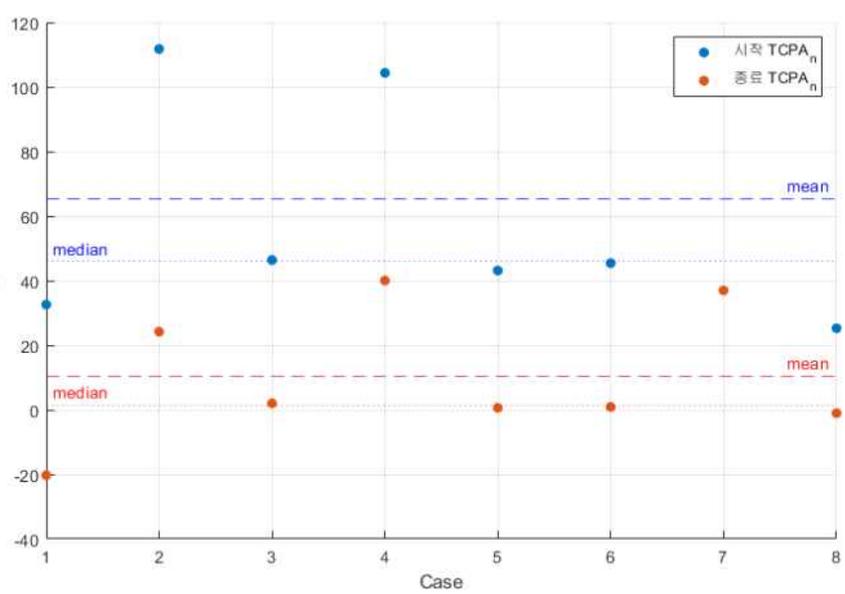


Fig. 4.12 TCPA of Ship C in Head-on Situation

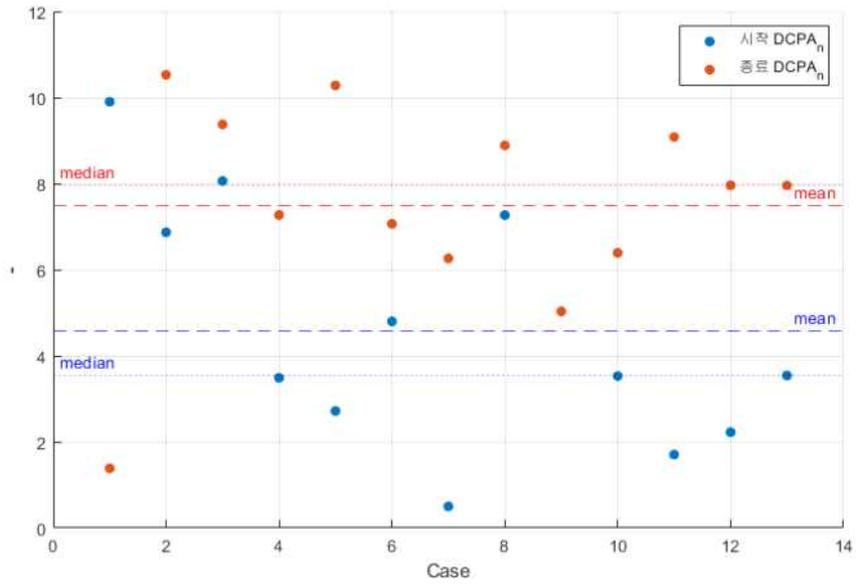


Fig. 4.13 DCPA of Ship C in Give-way Situation

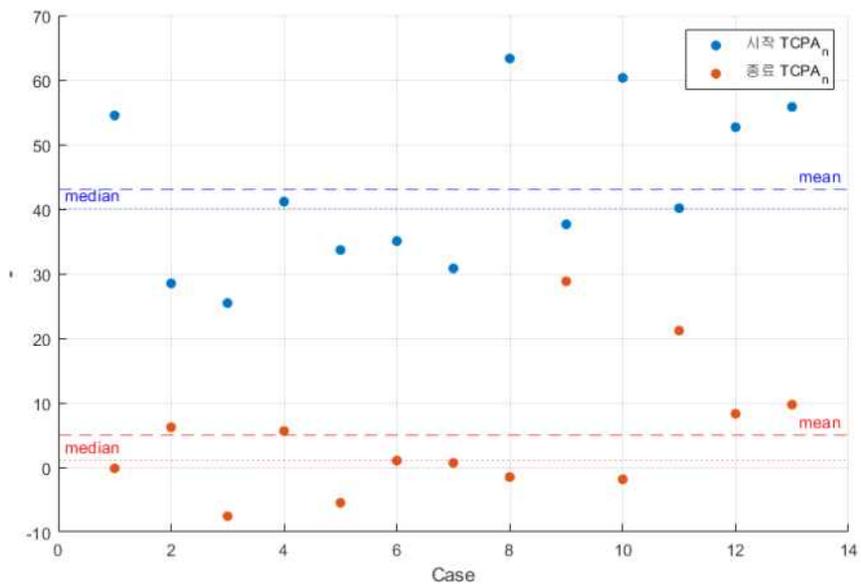


Fig. 4.14 TCPA of Ship C in Give-way Situation

Table. 4.1 DCPA, TCPA of Ship A in various situation

Ship A				
Head-on		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	5.2694	5.0868	3.1133
	NTCPA	64.4594	70.9016	29.1862
종료 시점	NDCPA	11.3421	12.2391	4.1146
	NTCPA	-11.8329	-0.18912	30.1648
Give-way		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	8.945	5.1793	7.5329
	NTCPA	84.9713	69.4586	44.7442
종료 시점	NDCPA	10.4902	9.3066	6.5479
	NTCPA	6.6636	9.8898	29.7407
Over-taking		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	3.7538	3.6674	1.1676
	NTCPA	116.6567	91.996	91.1921
종료 시점	NDCPA	8.7538	8.6328	1.9888
	NTCPA	18.8885	9.7325	22.2278

Table. 4.2 DCPA, TCPA of Ship B in various situation

Ship B				
Head-on		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	3.7385	3.9137	2.4174
	NTCPA	50.8306	44.0313	28.4237
종료 시점	NDCPA	6.5977	4.718	4.2667
	NTCPA	5.2584	5.1956	6.6672
Give-way		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	3.9904	2.8519	2.722
	NTCPA	39.4368	41.0888	12.8714
종료 시점	NDCPA	6.7192	5.6662	3.6834
	NTCPA	6.4447	1.9515	13.8314

Table. 4.3 DCPA, TCPA of Ship C in various situation

Ship C				
Head-on		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	38.6933	9.1196	54.5942
	NTCPA	65.2054	45.9033	37.5238
종료 시점	NDCPA	43.0679	10.8405	54.4495
	NTCPA	10.4295	1.4641	21.0517
Give-way		평균값	중앙값	표준편차
회피 시점	NDCPA	4.5864	3.5425	2.7451
	NTCPA	42.999	40.1373	12.7798
종료 시점	NDCPA	7.4968	7.9554	2.4448
	NTCPA	5.0087	1.0517	10.3322

Fig 4.1 ~ 4.14는 A, B, C선박의 Head-on, Give-way, Taking over 상황에서 NDCPA와 NTCPA를 나타낸다. 또한 Table 4.1 ~ 4.3은 A, B, C선박의 조우상황에 대한 NDCPA와 NTCPA의 평균값, 중앙값, 표준편차를 회피시점과 종료시점에 대하여 정리하였다. A선박의 경우 Head-on 상황에서 NDCPA의 평균값이 약 5.26, NTCPA의 평균값이 약 64.4594로 나타난다. 이때 NTCPA의 표준편차가 29.19로 비교적 크게 나타난 것을 알 수 있는데 이는 운항중의 조류, 타선들의 밀집도, 운항 해역, 기상상황 등의 차이로 인해 어느 시점에서 회피하는지에 대한 차이가 존재한다. Give-way 상황에서는 NDCPA의 표준편차가 7.5319로 크게 나타나는데 이는 조우 선박의 침로와 자선의 침로에 의해 DCPA가 민감하게 달라지는 것이 원인으로 보인다.

B선박의 경우 Head-on 상황과 Give-way 상황에서 각각 3.7385, 3.994의 값을 가진다. 또한 표준편차가 각각 2.4124, 2.722로 A선박에 비해 편차가 적으며 이는 B선박의 경우 항해경로가 타선이 많은 경우가 다수이기 때문인 것으로 사료된다.

C선박의 경우 Head-on 상황에서 NDCPA의 평균값이 38.6933으로 비교적 크게 나타났으며 표준편차의 경우 54.5942로 평균값보다 높은 결과를 보인다. 이는 C선박의 경우 항해속도가 느린 선박으로 비교적 속도가 빠른 A, B선박에 비해서 비교적 조기에 침로를 변경한 것으로 사료되며, C선박의 경우 조우 상황이 적어 통계적으로 분석함에 오류가 발생한 것으로 생각된다.

4.2 선박 별 안전영역 및 회피시점

선박 운항데이터를 통해 회피 시점에 대한 데이터 분석을 수행했으나, 데이터의 양적 한계로 인해 A선박의 경우 정면 충돌 12개, 교차 상황 25개, 추월 상황 9개, 총 38개의 데이터를 취득하였다. B선박의 경우 정면 충돌 8개, 교차 상황 8개, 추월 상황 0개, 총 16개의 데이터를 취득하였다. 마지막으로 C선박의 경우 정면 충돌 8개, 교차 상황 14개, 추월 상황 0개, 총 22개의 데이터를 취득하였다.

실운항 데이터를 분석하는 과정에서 방대한 데이터를 얻기는 불가능하므로 적은 데이터를 분석할 때 발생할 수 있는 이상치(Outlier)문제를 해결해야 한다. 이를 위해 표준화점수(Standardized score)를 기준으로 이상치를 제거하였다. 표준화점수는 원점수와 평균값의 차에 표준편차를 나누어 계산되며 평균의 기준을 0으로 설정하고 얼마만큼 평균에서 떨어져 있는지 나타낸다. 본 논문에서는 데이터 중 표준화점수가 2이상 나타나는 데이터의 경우 평균값과 비교하여 큰 오차가 있다고 판단하여 제외하였다.

해당 내용으로 제시할 수 있는 Ship domain은 Tam and Bucknall(2010)의 조우 상황 분류 방법을 이용하여 해당 영역의 크기에 n배를 적용하는 방법을 제안한다. 해당 방법을 통해 각 조우영역별로 접근하는 타선에 대해 회피 여부를 판단하고, NTCPA를 통해 회피 시점을 결정한다. A선박을 기준으로 생성한 Ship domain은 다음 fig 4.15와 같다.

또한 평균적으로 계산된 NTCPA를 통해 조우 시점을 결정할 수 있다. 본 논문에서 제안된 Ship domain에 타선이 접근할 것으로 예상되는 경우 회피 시점은 NTCPA에 의해서 결정된다. TCPA는 자선과 타선의 속도가 포함되어 계산되기 때문에 자선과 타선의 속도에 따라서 회피 시점이 결정되게 된다.

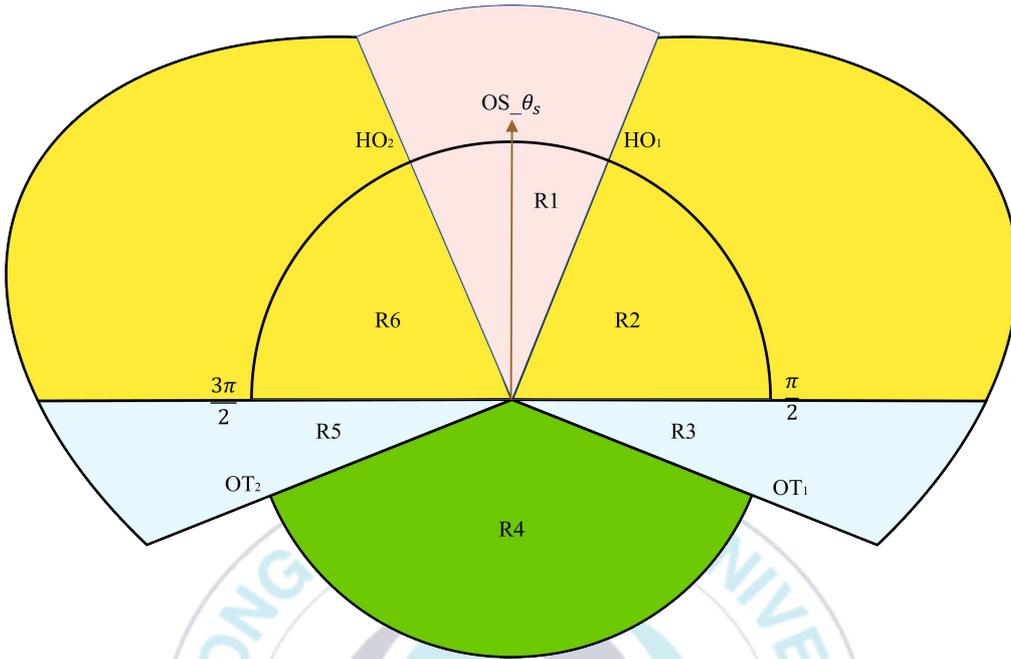


Fig. 4.15 Ship domain of Ship A

V. 결 론

본 연구에서는 실 운항 데이터 분석을 통해 타선을 회피하는 과정에서 항해사의 의사를 고려하였다. 선박에 저장되는 데이터 중 선박의 센서와 통신을 위해 사용되는 NMEA 01883 프로토콜과 AIS 메시지를 사용하여 데이터를 재구조화 및 보간하여 사용했다. 선박의 운항 데이터를 이용하여 Tam and Bucknall(2010)의 조우 상황 분류를 이용하여 선박의 조우 상황별 회피 데이터를 구분하여 통계적 분석을 수행했다. 조우 상황 분석에 있어 최근접점 상대방위인 DCPA와 TCPA를 무차원화하여 타선과 자선의 충돌 시점과 최소접근거리를 도출하였다. 도출한 NDCPA를 통해 항해사가 의사를 고려하여 선박 영역을 결정하는 Ship domain을 제안하였고 NTCPA를 통해 조우상황에서의 타선 회피 시점을 결정하였다. 이러한 방법을 통해 실제 선박의 데이터를 통해 항해사가 실제 위협을 느끼는 거리를 고려하였고 회피 시점을 도출하였다. 본 논문을 바탕으로 선박의 자율운항시스템이 개발되는 현재의 상황에서 각각의 선박을 운항하는 항해사의 의사가 고려된 충돌회피 알고리즘의 기반이 될 수 있을것으로 기대한다.

하지만 본 연구에서는 데이터의 양이 제한적이고 실제 선박 운항에 사용되는 데이터 중 일부만을 사용한 제한점이 존재한다. 실제 선박 운항에서는 조우상황에서 더 많은 정보를 고려하여 회피 거리와 회피 시점을 결정한다. 또한 상대적으로 데이터의 양이 제한적이므로 통계적 오류가 발생할 수 있고, 조우 상황에서 자선이 피항의무선이 되는 3가지의 제한적인 상황만 고려했기 때문에 각 조우 각도별로 차이가 존재한다. 따라서 더 많은 운항데이터를 통하여 세분화된 조우상황을 고려한다면 좀 더 신뢰성 있는 선박 영역과 회피 시점을 도출할 수 있을것으로 기대된다.

참고문헌

- [1]이윤석, 박준모 and 안영준. "충돌위험 회피를 위한 선박 운항자의 초동조치에 관한 연구" 한국항해항만학회지 38, no.4 (2014) : 327-333.doi: <http://dx.doi.org/10.5394/KINPR.2014.38.4.327>
- [2]김홍태, 안영중 and 양영훈. "해상교통분석 시뮬레이션을 위한 항해사의 충돌회피 행동분석에 관한 연구" 한국항해항만학회지 44, no.6 (2020) : 469-476.
- [3]손남선 and 김선영. "선박충돌사고의 AIS 데이터를 이용한 선박 충돌위험도 추정 알고리즘 검증에 관한 연구" 한국항해항만학회지 34, no.10 (2010) : 727-733.
- [4]유동희, and Yu Dong-Hui. "한글 텍스트 메시징을 위한 AIS 지역 기반 메시지 설계." 융합신호처리학회 논문지 (JISPS) 14.2 (2013): 77-81.
- [5] 유영준, "충돌비율을 이용한 선박충돌회피 알고리즘의 개발 : Development of a Ship Collision Avoidance Algorithm using the Collision Ratio," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. ko., SNU., 2017.
- [6] 양형선, 예병덕, "속력을 고려한 선박충돌회피모델에 관한 연구" 한국항해항만학회지 v. 30: pp.779-785. 2006
- [7] Y. Fujii, K. Tanaka, "Traffic Capacity" Journal of Navigation v. 24(1): pp. 543-552, 1971
- [8] H. Iwasaki, K. Hara, "A Fuzzy Reasoning Model to decide the Collision Avoidance Action (in Japanese)" The Journal Japan institute of Navigation v.75: pp.69-77. 1986
- [9] K. Hasegawa, A. Kouzuki. "Automatic Collision Avoidance System for Ships Using Fuzzy Control (in Japanese)" Journal of the Kansai Society of Naval Architects v.205: pp.1-10. 1987
- [10] C. Tam, R. Bucknall, "Collision Risk Assessment for Ships." Journal of Marine Science and Technology v. 15(3): pp.257-270, 2010