



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](#)

工學碩士 學位論文

최적안전항로 설정을 위한  
충돌위험도 평가시스템의 개발 및 적용

Development and Application of Collision Risk Assessment System  
for establishing Optimum Safe Route



2018年 2月

韓國海洋大學校 大學院

航海學科

全 號 君

본 논문을 전호군의  
공학석사 학위논문으로 인준함.

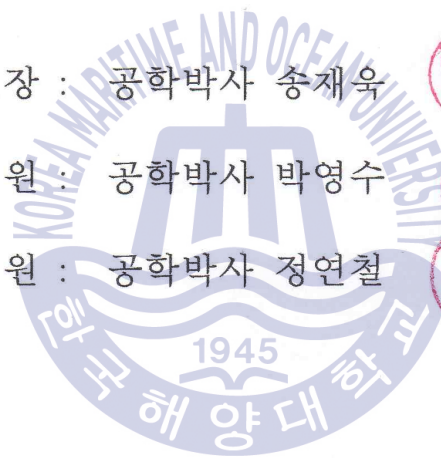
위원장 : 공학박사 송재욱



위 원 : 공학박사 박영수



위 원 : 공학박사 정연철



2017 년 12 월

한국해양대학교 대학원

# 목 차

<b>List of Tables</b> .....	iii
<b>List of Figures</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	vi

## 1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 구성 .....	3

## 2. 기존 충돌위험도 평가모델의 소개

2.1 ES 모델 .....	5
2.2 교통혼잡도 모델 .....	10
2.3 IWRAP 모델 .....	13
2.4 PAWSA 모델 .....	18
2.5 기존 모델들의 비교 및 분석 .....	21

## 3. 충돌위험도 평가시스템의 개발

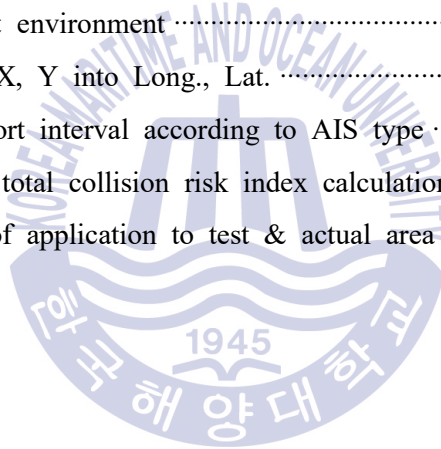
3.1 충돌위험도 평가에 적용된 이론 .....	23
3.1.1 범퍼이론 .....	23
3.1.2 조우형태에 따른 충돌위험지수 .....	26
3.2 평가시스템의 소개 .....	30
3.2.1 개발환경 .....	30
3.2.2 데이터 처리 .....	30
3.2.3 계산순서 .....	34

4. 개발된 평가시스템의 적용 및 결과	
4.1 적용조건	45
4.2 평가시스템의 시험해역 적용 및 결과	47
4.2.1 시험해역	47
4.2.2 적용 및 결과	48
4.3 평가시스템의 실패역 적용 및 결과	51
4.3.1 실패역	51
4.3.2 적용 및 결과	55
5. 결론	61
감사의 글	63
참고문헌	64



## List of Tables

Table 2-1 Ship handling difficulties in ES model .....	10
Table 2-2 Inputs & outputs in IWRAP .....	14
Table 2-3 Causation Probability of MacDuff, Fujii and IWRAP .....	17
Table 2-4 Comparison of collision risk assessment models .....	22
Table 3-1 Causation factors used in IWRAP .....	27
Table 3-2 Ship handling difficulties in ES model .....	27
Table 3-3 Collision Risk Index according to encounter type .....	28
Table 3-4 Development environment .....	30
Table 3-5 Conversion X, Y into Long., Lat. ....	31
Table 3-6 Position report interval according to AIS type .....	33
Table 3-7 Example of total collision risk index calculation for 10days .....	43
Table 4-1 Conditions of application to test & actual area .....	45



## List of Figures

Fig. 1-1 Status and trend of types of marine accidents in Korea .....	1
Fig. 1-2 Flow chart of the study .....	4
Fig. 2-1 Concept of ES <sub>A</sub> calculation .....	7
Fig. 2-2 ES Stress ranking & acceptance criteria .....	8
Fig. 2-3 ES model applied at Ulsan .....	9
Fig. 2-4 Typical encounter situation in ES model .....	9
Fig. 2-5 Concept of traffic congestion model .....	11
Fig. 2-6 Bumper size according to ship's speed .....	12
Fig. 2-7 Degree of precision according to grid size .....	13
Fig. 2-8 Concept of leg & waypoint .....	13
Fig. 2-9 Inputs & outputs in IWRAP .....	14
Fig. 2-10 Head-on situation .....	15
Fig. 2-11 Crossing situation .....	16
Fig. 2-12 PAWSA Procedure .....	19
Fig. 2-13 Six conditions and risk levels .....	19
Fig. 2-14 Mitigation Effectiveness .....	20
Fig. 3-1 Bumper models of Fujii, Goodwin and Coldwell .....	24
Fig. 3-2 Bumper sizes according to ship's speed .....	25
Fig. 3-3 Collision Risk Index according to encounter type .....	29
Fig. 3-4 Dizitizing work by PlotDigitizer .....	31
Fig. 3-5 AIS data before & after processing .....	32
Fig. 3-6 AIS position data before & after interpolating .....	34
Fig. 3-7 Flowchart of collision risk assessment system .....	34
Fig. 3-8 Sequence diagram of collision risk assessment system .....	35
Fig. 3-9 Example of route calculation .....	36

Fig. 3-10 Example of bumper element calculation .....	37
Fig. 3-11 Sequence of bumper calculation .....	38
Fig. 3-12 Bumper calculation & drawing procedure .....	39
Fig. 3-13 Cell structure in MATLAB .....	40
Fig. 3-14 Sequence diagram of collision risk assessment .....	41
Fig. 3-15 Passing time & time allocation for data extraction .....	43
Fig. 3-16 Example of collision risk index for a day .....	43
Fig. 3-17 Original, scaled and relative values .....	44
Fig. 4-1 Comparison of AIS data extraction time interval .....	46
Fig. 4-2 Ulsan main routes(a) & ship trajectories(b) .....	47
Fig. 4-3 The results of collision risk assessment for test area .....	49
Fig. 4-4 Risk assessment result of bumper A .....	50
Fig. 4-5 Risk assessment result of bumper B .....	51
Fig. 4-6 Ship's trajectories on actual area .....	52
Fig. 4-7 The comparison of ship's trajectories according to ship's lengths .....	53
Fig. 4-8 Trajectory comparison between small ships and other ships .....	54
Fig. 4-9 The comparison of risk values according to ship's lengths .....	56
Fig. 4-10 The comparison of risk values according to various sailing times .....	57
Fig. 4-11 The comparison of encounter frequencies according to various sailing times .....	58
Fig. 4-12 Actual & recommended route .....	59
Fig. 4-13 The comparison of risk values according to routes .....	60
Fig. 4-14 The comparison of encounter frequency according to routes .....	60



# 최적안전항로 설정을 위한 충돌위험도 평가모델의 개발 및 적용

전 호 군

한국해양대학교 대학원  
항해학과

## 초 록

산업화로 인한 전세계 선박량 증가와 함께 선박충돌사고에 대한 관심이 증대되었고 연구자들은 선박의 충돌위험도를 평가하는 모델들을 연구해왔다. 그러나 기존의 충돌위험도평가모델들은 주로 항만관리자나 항만관제사가 이용하기에 적합한 모델이며 실제로 현장에서 선박을 운항하는 항해사는 이러한 정보들로부터 소외되어 있다. 본 연구는 충돌위험에 관한 것으로 최적안전항로 설정에 필요한 충돌위험도를 평가하여 항해사에게 제공하는데 목적을 두고 있다. 이를 위해서 기존의 모델들을 분석하고 과거 AIS 데이터를 바탕으로 충돌위험도를 평가하는 시스템을 개발하였다.

기존의 대표적인 충돌위험도평가모델은 ES 모델, 교통혼잡도 모델, IWRAP 모델, PAWSA 모델이다. ES 모델은 항해자의 주관적 항해부담감을 기초로, 교통혼잡도 모델은 수로의 교통용량과 수로를 지나는 교통량의 비로, IWRAP 모델은 기하학적 충돌확률과 인과확률의 곱으로, PAWSA 모델은 전문가들의 브레인스토밍을 통해 각각 다른 정의와 형태로 선박의 충돌위험 정도를 나타낸다. 각 모델은 항만 및 수로와 같이 정해진 해역을 평가하여

항만 및 수로 관리자의 의사결정에 도움이 된다. 그러나 아직까지 항해사의 의사결정에 필요한 충돌위험도 평가시스템을 개발하는 연구는 미비하다.

충돌위험도 평가에 필요한 기본이론은 두 가지이다. 첫째는 범퍼이론으로 본선 주변의 일정한 영역인 범퍼를 설정하여 이 안으로 들어오는 타선박을 식별한다. 둘째는 충돌위험지수이론으로 COLREG 규정을 바탕으로 정의된 조우형태마다 교차각도, 접근속도, 피항방법의 가중치를 정하고 이를 조합하여 충돌위험지수를 정하였다. 이 이론들은 충돌위험도평가에 다음과 같이 적용된다. 먼저 본선의 범퍼영역을 통과하는 선박들을 식별한다. 그 후 이 선박들이 본선과 갖는 조우형태에 따라 충돌위험지수를 부여하고 선박별 충돌위험지수를 합산하여 해당 범퍼의 충돌위험도를 계산한다.

평가시스템은 크게 해도구성, 범퍼구성, 충돌위험도평가의 3단계로 구성되어 있다. 해도구성 단계에서는 전자해도의 해안선 데이터를 추출하고 MATLAB과 M\_Map을 이용하여 해안선을 출력한다. 범퍼구성 단계에서는 본선정보와 항로정보를 이용하여 항로의 거리와 시간을 계산하고 범퍼를 항로상에 배치하게 된다. 충돌위험도평가 단계에서는 범퍼이론과 충돌위험지수이론을 적용하여 충돌위험도를 평가하고 결과를 다양한 그래프로 나타낸다.

개발된 평가시스템을 이용하여 시험해역인 울산항 접근수역과 실해역인 부산에서 여수에 이르는 남해안의 충돌위험도를 평가하였다. 시험해역에서는 시험항로와 하루치 AIS 데이터를 통해 평가시스템의 정상작동 여부를 확인하였다. 실해역에서는 선박길이, 출발시각, 항로 조건을 다르게 설정하여 충돌위험도를 평가 및 비교하였다. 선박길이를 다르게 적용하여 평가한 결과 선박길이가 증가할수록 충돌위험도가 비례하여 증가했다. 출발시각을 다르게 적용하여 평가한 결과 같은 항로일지라도 항해시기에 따라 충돌위험도가 다르게 나타났다. 실제 선박이 이용하는 항로와 주요 교통류를 피해 만든 추천항로를 평가한 결과 추천항로에서 충돌위험도가 더 낮게 나타났다.

# **Development and application of Collision Risk Assessment System for setting optimum safe route**

Jeon, Hokun

Department of Navigation Science

The Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## **Abstract**

With increasing global fleet due to industrialization, interest in ship collision has increased and researchers have studied models to assess ship collision risk. However, existing collision risk assessment models are suitable for use by port managers or VTS officers. Actually, navigators in the field are excluded from such information. This study deals with the risk of collision and aims to provide the navigator with the evaluation of the risk of collision. To accomplish this, existing models were analyzed and a collision risk assessment system has been developed to evaluate collision risk based on AIS data.

Existing representative collision risk assessment models are ES model, traffic congestion model, IWRAP model, and PAWSA model. The ES model is based on the subjective navigational burden of the navigator, the traffic congestion model is on the ratio of the traffic volume of the waterway and the traffic passing through the waterway. The IWRAP model is on the product of geometric collision probability and causation probability. The PAWSA model is on brainstorming by experts. Each model has different definition and form indicates the collision risk of the ship. Each model assesses a defined area, such as harbors and waterways, to assist port and waterway managers in making

decisions. However, there are still few studies to develop a collision risk assessment system necessary for the decision making of the navigator.

There are two basic theory necessary to evaluate the risk of collision. First, the bumper theory that sets a bumper around own ship to identify other ships entering this area. Second, the collision risk index theory by defining weights of intersection angle, approach speed, and attack method for each type of encounter defined based on COLREG rule. These theories are applied to collision risk assessment as follows. First, identify the vessels that pass through the bumper region of own ship. After that, the ships will be assigned a collision risk index according to the encounter type with own ship and the collision risk index for each ship is sum up to calculate the collision risk of the corresponding bumper.

The evaluation system consists of three stages: map configuration, bumper configuration, and collision risk assessment. The coastline data of the electronic chart are extracted and the coastline is output using Matlab and M\_Map. In the bumper configuration stage, the distance and time of the route are calculated by using own ship information and route information, and the bumper is placed on the route. In the collision risk assessment stage, the risk of collision is evaluated by applying the bumper theory and the collision risk index theory, and the results are displayed in various graphs.

Using the developed evaluation system, the risk of collision for the Ulsan port access area and the sea area from Busan to Yeosu was evaluated. In the test area, the test route and the AIS data were used to verify the normal operation of the evaluation system. In the sea area, the collision risk was assessed and compared by setting the vessel length, departure time, and course conditions differently. As a result of evaluating different ship lengths, the risk of collision increased proportionally as ship length increased. As a result of evaluating different departure times, the risk of collision varies according to the time of sailing even for the same route. As a result of evaluating the recommended route that avoided the actual route and the main traffic flow, the risk of collision was lower in the recommended route.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

1960년대 산업화의 영향으로 세계선복량 증가와 함께 해양사고 또한 증가하였다. 해양사고는 선박에서 기인되는 사고로 선박자체의 손해뿐만 아니라 해양 환경과 인명피해까지 초래하는 복합적인 문제이므로 이러한 해양사고를 방지하기 위한 방법에 세계적인 관심이 대두되었다. 우리나라 역시 산업발달과 함께 국제무역에 종사하는 선박이 증가하면서 1990년 후반에 선박간의 충돌사고가 급증하였다. 1981년부터 2015년까지 35년간 모든 선종을 대상으로 한 해양사고 통계에 따르면 우리나라 연근해에서 충돌사고가 10,888척(32%)으로 가장 큰 비중을 차지하고, 그 다음으로 기관손상이 8,127척(24%), 기타사고가 5,888척(17%)으로 높은 비중을 차지하고 있다[10].

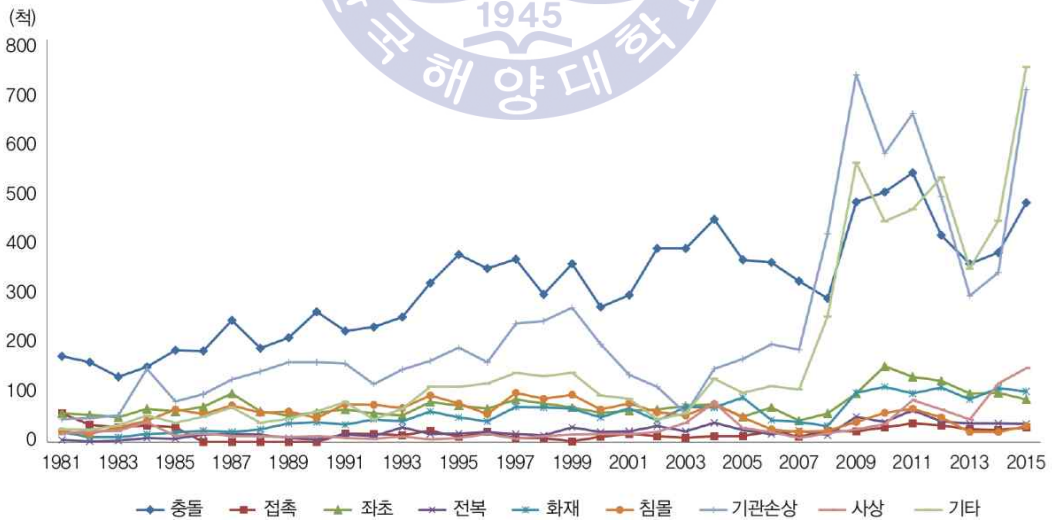


Fig. 1-1 Status and trend of types of marine accidents in Korea(1981-2015)

우리나라 연근해에서 일어나는 해양사고를 획기적으로 줄이기 위해 2016년 11월 21일 해양수산부는 ‘한국형 이네비게이션’을 2020년까지 구축할 것이라고 발표하였다[13]. 한국형 이네비게이션에서는 해상의 교통상황과 기상정보, 항만 정보 등의 빅데이터를 실시간으로 활용하여 선박의 항해계획 지원서비스부터 선박운항상태 모니터링, 사고 초기대응, 맞춤형 해상기상 및 교통정보, 입항지원서비스까지 고려하고 있다[13]. 여기서 항해계획 지원 서비스(이하 최적안전항로지원서비스)의 대상은 우리나라 연근해를 항해하는 선박이다. 육상의 e-Navigation Center에서 항로와 관련된 해양정보(조류, 조석, 기상, 과거 해상교통정보 등)를 관리하고 항해사의 요청에 따라 안전성과 경제성이 고려된 항로를 계산하여 항해사에게 제공하게 된다[11]. 항로의 안전성에 대해서는 선박의 충돌위험도, 좌초위험도, 전복위험도를 고려하고 항로의 경제성에 대해서는 거리 및 시간, 연료유 소모량 등을 고려한다[11].

국외와 국내의 해상교통평가에 관한 연구들은 다음과 같다. Fujii et al.(1971)은 일본해상의 교통안전평가를 위해 범퍼 영역과 수로에서의 혼잡도를 계산하는 방법을 제시하였다[26]. 이후 범퍼모델은 유럽의 연구자들에 의해 다시 연구되어 연구목적에 따라 다양한 형태와 크기를 띄게 되었다. 일본의 Inoue(2000)는 선박을 운항하는 항해사가 느끼는 부담감을 정량화하는 방법을 연구하여 ES 모델을 개발하고 일본의 2개 항만에 적용하였다[18]. 한국에서는 박영수 등(2015)이 한국의 해역특성과 해기사특성을 고려한 위험도평가방법을 연구하여 PARK모델을 개발하고 부산항 관제해역에 적용하였다[6]. IALA는 Fujii et al.(1974)의 일본해협에서의 연구와 MacDuff(1974)의 Dover해협에서의 연구내용을 토대로 수로에서의 충돌·좌초위험을 분석할 수 있는 IWRAP 모델을 개발하였다[17]. 한국의 김광일 등(2013)은 IWRAP 모델이 가진 교차해역평가의 부족함을 범퍼 영역을 이용하여 보완하는 방법을 연구하고 완도해역에 적용하였다[2]. 미국의 USCG에서는 해역전문가들의 토론을 통해 항만의 안전성을 정성적으로 평가하는 방법을 제시하였다[22].

본 연구의 목적은 최적안전항로 설정을 위한 충돌위험도 평가시스템을 개발하고 적용하는데 있다. 기존의 연구들은 항만관리자 또는 해상교통관제사의 관

점에서 진행된 것으로 해역의 교통평가가 주로 목적이다. 한편 실제 선박을 운항하는 항해사의 의사결정에도 객관적인 교통정보가 필요하지만 이러한 정보는 항해사에게 제공되지 않는다. 해역교통정보에 근거한 충돌위험도가 항해사에게 제시된다면 선박의 항로계획 시 의사결정에 도움이 될 것이다. 항로에 대한 충돌위험정보를 제공하기 위해서는 선박제원정보과 선박의 항로계획정보, 과거 AIS 데이터를 활용하여 본선이 항로계획대로 진행할 때 마주칠 충돌위험경향을 분석해야한다. 따라서 본 연구에서는 해사안전종합정보시스템(General Information Center on Maritime Safety and Security, 이하 GICOMS)에서 관리하는 과거 AIS 동적데이터 및 정적 데이터를 바탕으로 주어진 항로계획에서 본선이 타 선박들과 마주치는 조우형태와 빈도를 계산하고 이를 가시적으로 확인할 수 있도록 하였다.

## 1.2 연구의 구성

1장 “서론”에서는 연구의 배경으로서 세계선복량 증가와 함께 늘어나는 해양사고와 우리나라의 선박충돌사고 현황을 소개하였다. 이러한 한국연안에서의 선박사고를 줄이기 위해 우리나라에서 시행하는 한국형 이네비게이션사업의 최적안전항로제공서비스와 해상교통평가에 관한 국내외 연구들을 소개하고 연구의 목적과 최적안전항로 설정을 위한 충돌위험도평가에 필요한 조건 그리고 연구의 구성에 대해 설명하였다.

2장 “기존 충돌위험도평가모델의 소개”에서는 충돌위험도를 평가하기 위한 기존의 연구모델들을 소개하고 비교분석하여 정리하였다.

3장의 “충돌위험도 평가시스템의 개발”에서는 첫 번째로 본 모델에 적용되는 범퍼 이론과 충돌위험지수 이론을 소개하였다. 두 번째로는 평가시스템에 대한 소개로서 평가시스템의 개발환경, 평가시스템에 사용되는 해안선과 AIS 데이터의 소개와 처리과정, 평가시스템의 계산순서에 따른 기본적인 알고리즘과 이에 대한 근거들을 설명하였다.

4장 “개발된 평가시스템의 적용 및 결과”에서는 제작된 평가시스템을 시험해

역에 우선 적용하여 평가시스템이 이상 없이 작동하는 것을 확인하고, 실패역에서 선박의 길이, 출항시각, 항로조건을 다르게 적용하여 항로상의 충돌위험도를 평가한 내용과 그 결과를 설명하였다.

5장 “결론”에서는 연구의 배경과 충돌위험도 평가시스템의 필요성을 언급하고 이를 위한 본 논문의 연구방법과 연구결과를 정리하였다.

Fig. 1-2는 연구진행과정을 도식화한 것이다.

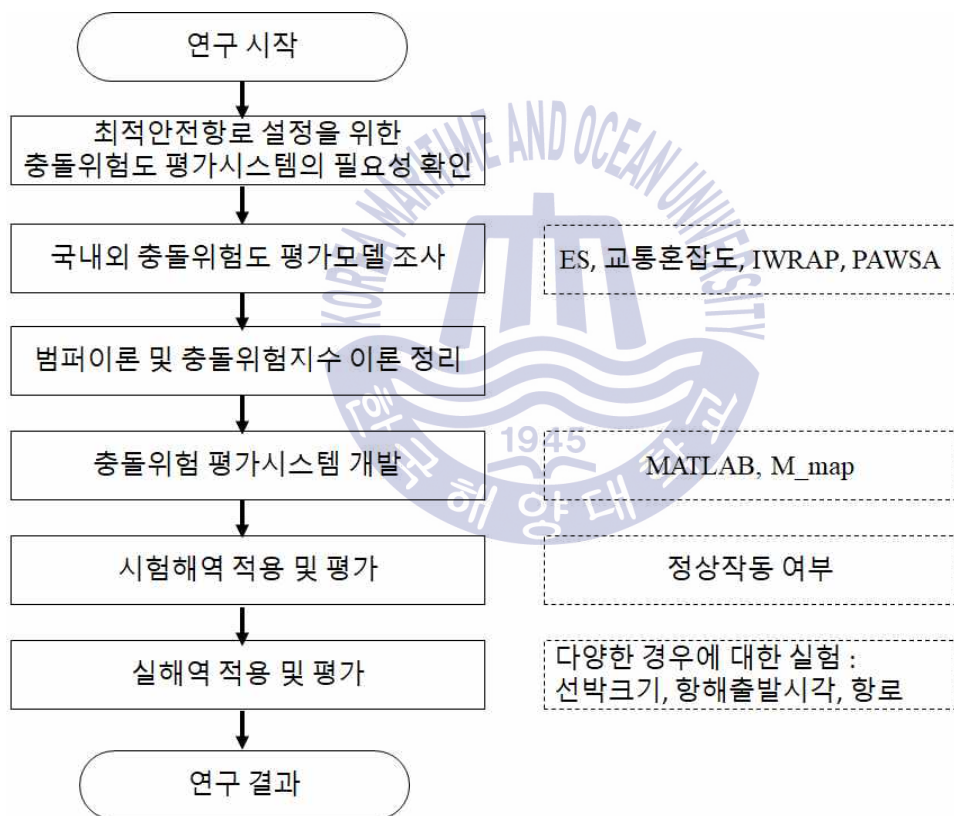


Fig. 1-2 Flow chart of the study



## 제 2 장 기존 충돌위험도 평가모델의 소개

이 장에서는 기존의 선박충돌위험도 평가에 주로 사용되는 ES(Environmental Stress) 모델, 교통혼잡도 모델, IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment Programme) 모델, PAWSA(Port and Waterway Safety Assessment) 모델을 소개하고 각 모델들의 장·단점들과 주요 특징들을 비교, 분석하였다.

### 2.1 ES 모델

ES 모델은 우리나라 해상교통안전진단제도(Marine Traffic Safety Diagnostic Scheme, MTSDS)에 주로 사용되는 모델로 본선의 운항에 영향을 미치는 요소를 크게 조종환경과 교통환경으로 구분하고 이러한 환경으로 인해 항해사가 느끼는 스트레스의 크기를 각각의 항해부담감에 기초하여 정량화한 모델이다[7][18].

#### 1) 조종환경 스트레스

조종환경 스트레스값(Land of ES value, 이하  $ES_L$ )은 항해구역의 자연조건과 지형조건, 시설조건 즉, 고정장애물을 반영한다. 식 (2.1)은 선수방위 기준 좌우 90°씩 물표를 탐색하고 탐색된 고정장애물에 도달하기까지 여유시간을 이용하여 항해사가 조종환경에서 느끼는 주관적 부담감을 구하는 식이다. 거리와 속도를 이용해 여유시간(TTC)를 구하고 본선크기에 따른 계수를 곱하여 주관적 부담감을 구하고 있다. 식 (2.2)는 주관적 부담감을 합산하여 조종환경 스트레스값을 구하는 식이다[18].

$$SJ_L = \alpha \times TTC = \alpha \times (R/V) \quad (2.1)$$

$$ES_L = \sum_{i=1}^n (SJ_L)_i \quad (2.2)$$

(단,  $i = -90 \sim +90$ )

$SJ_L$  : 조종환경에 대해 TTC에 따라 항해사가 느끼는 주관적 부담감

$\alpha$  : 본선의 크기에 따라 결정되는 계수

$TTC$  : 장애물과의 위험이 가시화 될 때 까지 남은 시간(sec)

$R$  : 본선과 고정장애물 사이의 거리(meter)

$V$  : 본선의 속도(m/s)

## 2) 교통환경 스트레스

교통환경 스트레스값(Ship of ES value, 이하  $ES_S$ )은 항해구역의 교통흐름과 교통환경을 반영한다. 여기서는 타선의 침범을 허용하지 않는 본선주위의 범퍼 영역을 설정하고 상대선의 벡터가 범퍼 영역에 들어오는 경우 충돌위험이 있는 것으로 고려한다. 식 (2.3)은 상대선과 만나기까지 여유시간을 이용하여 항해사가 교통환경에서 느끼는 주관적 부담감을 구하는 식이다. 이 식에서는 여유시간(TTC)에 본선 크기에 따른 계수를 곱하여 주관적 부담감을 구하고 있다. 식 (2.4)는 주관적 부담감을 합산하여 교통환경 스트레스값을 구하는 식이다[18].

$$SJ_S = TTC + \beta = (R/V) + \beta \quad (2.3)$$

$$ES_S = \sum_{i=1}^n (SJ_S)_i \quad (\text{단, } i = -90 \sim +90) \quad (2.4)$$

$SJ_S$  : 교통환경에 대해 TTC에 따라 항해사가 느끼는 주관적 부담감

$\beta$  : 본선과 상대선의 크기에 따라 결정되는 계수

$TTC$  : 상대선의 위험이 가시화 될 때 까지 남은 시간(sec)

$R$  : 본선과 상대선의 사이의 거리(meter)

$V$  : 본선의 속도(m/s)

Fig. 2-1(a)은 ES 모델이 본선의 침로방위에 대해 주변을 어떻게 탐색하는지 나타낸 것이다[7]. 본선의 침로를 중심으로  $\pm 90^\circ$ 의 방위에 있는 물표를 탐색하고 해당방위에서 탐지된 물표에 도달하기까지 여유시간을 구한다. Fig. 2-2는 환경스트레스의 정도에 따른 정의와 위험지수를 보여주고 있다. Fig. 2-1(b)은 본선 침로중심에서 탐색방위에 대한 위험지수를 표시한 것이다[7]. 환경스트레스에 대한 정의는 다시 순위에 의해 허용가능과 허용불가능으로 구분된다[7].

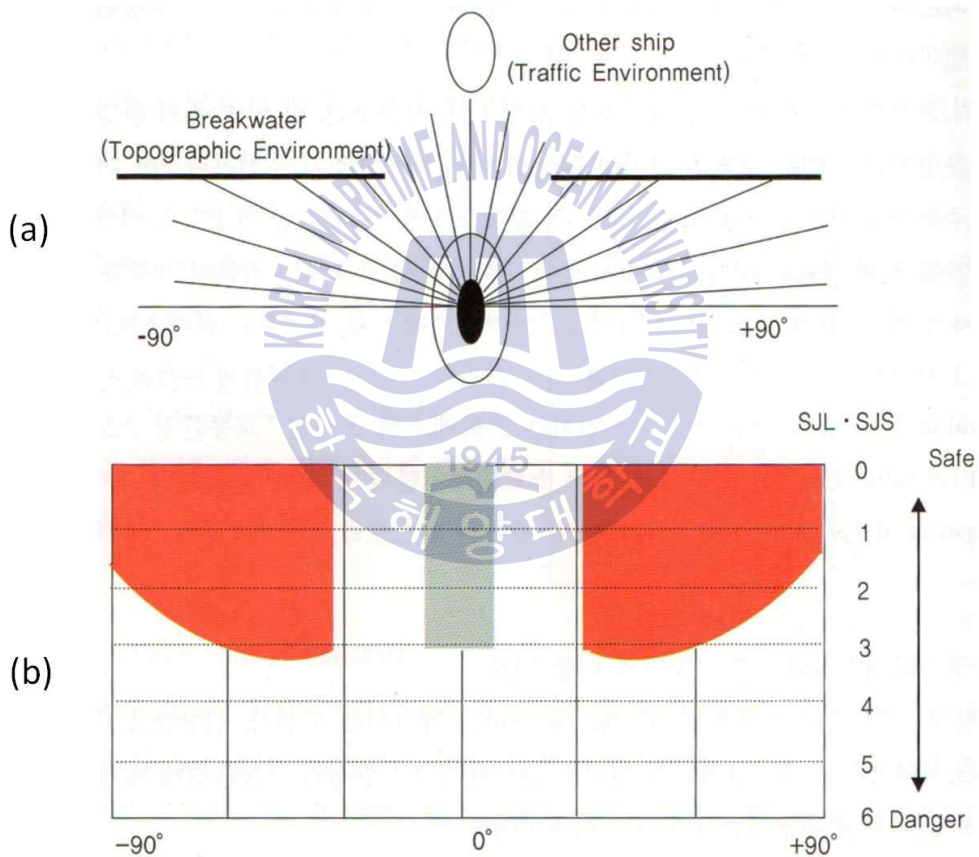


Fig. 2-1 Concept of  $ES_A$  calculation

SJ: MARINERS' JUDGEMENT		ES VALUE $\sum[SJ]_i$	STRESS RANKING	ACCEPTANCE CRITERIA
0	Extremely safe	[0]	NEGLECTIBLE	ACCEPTABLE
1	Fairly safe			
2	Somewhat safe			
3	Neither safe or dangerous	[500]	MARGINAL	UNACCEPTABLE
4	Somewhat dangerous	[750]	CRITICAL	
5	Fairly dangerous	[900]	CATASTROPHIC	
6	Extremely dangerous	[1000]		

Fig. 2-2 ES Stress ranking & acceptance criteria

### 3) 종합환경 스트레스

ES 모델에서는 조종환경 스트레스값과 교통환경 스트레스값을 동시에 평가할 수 있다. 식 (2.5)는 조종환경과 교통환경 모두를 고려하여 주관적 부담감을 구하는 식이다[7]. 식 (2.6)은 두 가지 조건을 모두 고려하여 환경스트레스값을 구하는 식이다. 조종환경조건과 교통환경조건인 스트레스값 중 큰 값을 해당 방위( $i$ )에 대한 환경 스트레스값으로 결정한다[7].

$$SJ_L, SJ_S = \alpha \times TTC + \beta = \alpha \times (R/V) + \beta \quad (2.5)$$

$\alpha$  : 본선의 크기에 따라 결정되는 계수( $SJ_L$ 의 경우)

$\beta$  : 본선과 상대선의 크기에 따라 결정되는 계수( $SJ_S$ 의 경우)

$$ES_A = \sum_i^n \max((SJ_L)_i, (SJ_S)_i) \quad (2.6)$$

(단,  $i = -90 \sim +90$ )

Fig. 2-3은 ES 모델을 울산해역에 적용하여 분석한 결과를 나타낸 것이다[20]. 환경 스트레스값의 크기에 따라 값이 낮은 녹색부터 값이 높은 빨간색까지 평가되어 나타난다. 부두로 향하는 항만진입로와 Fairway #3과 Fair #1이 교차되는 지점에서 환경 스트레스값이 높은 것을 확인할 수 있다.

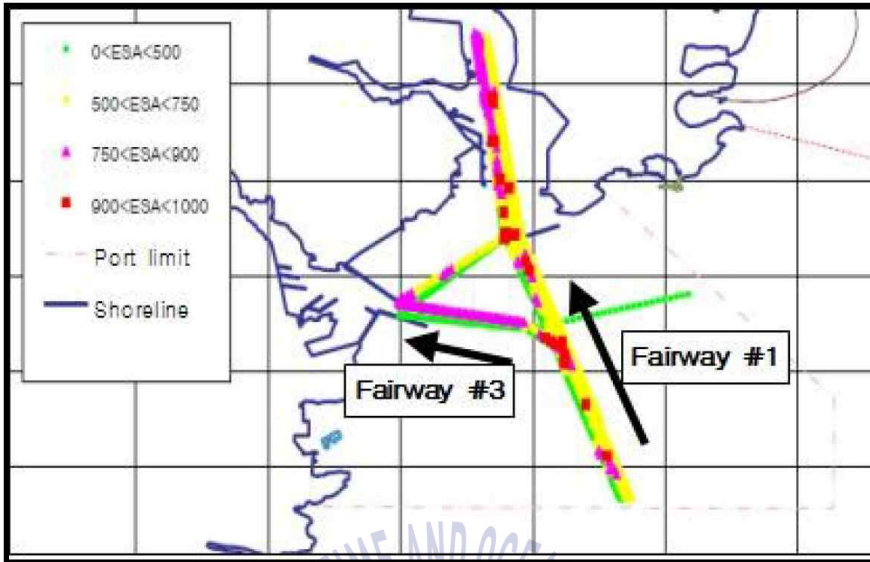


Fig. 2-3 ES model applied at Ulsan

#### 4) 조우형태별 교통환경 스트레스

Inoue(2000)는 ES 모델을 이용하여 전형적인 조우형태별 교통환경 스트레스 (ESs)를 계산하였다[18]. Fig. 2-4는 ES 모델에서 정의된 조우형태를 나타낸다.

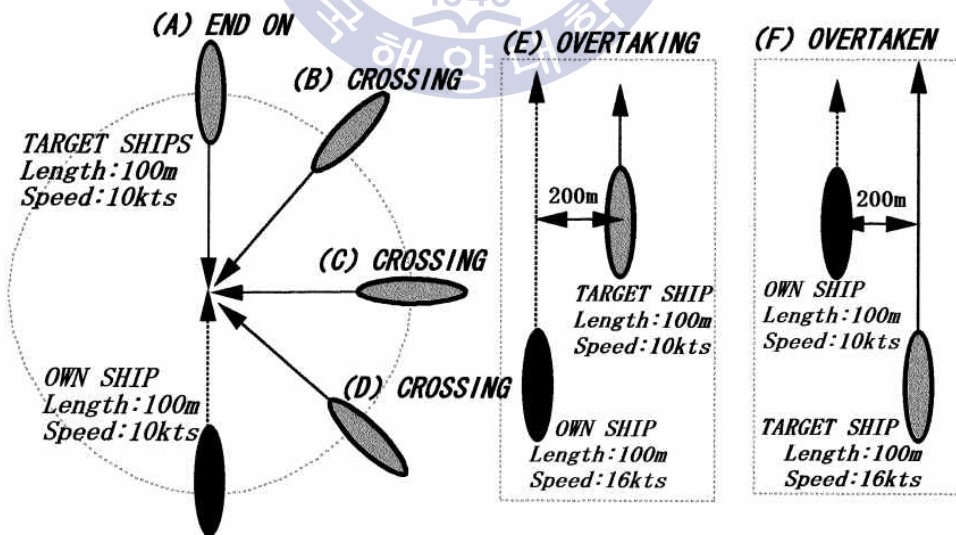


Fig. 2-4 Typical encounter situation in ES model

조우형태는 선수방위 기준 좌우 동일하게 45°간격으로 마주침(A), 교차 45°(B), 90°(C), 135°(D), 추월(E, F)로 정의되어있다. 특별히 추월은 본선이 타선을 추월하는 경우(Overtaking)와 본선이 타선에 의해 추월당하는 경우(Overtaken)로 구분된다. 조우형태에 따른 스트레스값의 계산과정은 다음과 같다. 먼저 본선과 타선 한 척의 길이와 속도, 두 선박의 거리를 설정하고 조우별로 충돌직전까지 교통환경 스트레스값을 계산하여 누적한다. 그 후 조우형태별로 누적값을 상대비교하기 위해 마주침값을 기준으로 하여 다른 조우형태의 값을 이에 대한 비로 나타낸다[18].

Table 2-1 Ship handling difficulties in ES model

Condition	Difficulty
Head on	1.0
Crossing 45°	1.14
Crossing 90°	1.71
Crossing 135°	3.01
Overtaking	0.72
Overtaken	2.46

ES 모델은 선박을 운항하는 항해사의 주관적인 항해부담감을 정량화한 모델이다. 따라서 다음에서 설명할 교통혼잡도 모델과 달리 주위 선박 뿐 아니라 지형과 같은 고정 장애물에 대해 항해사가 느끼는 부담감을 반영하는 장점이 있다.

## 2.2 교통혼잡도 모델

해상교통안전진단에 사용하는 교통혼잡도 모델은 수로에 대한 선박교통량과 교통용량의 비를 구하여 이에 대한 백분율을 교통혼잡도로 평가하고 있다[5]. Fig. 2-5는 교통혼잡도 모델의 개념을 나타낸 것이다[5].

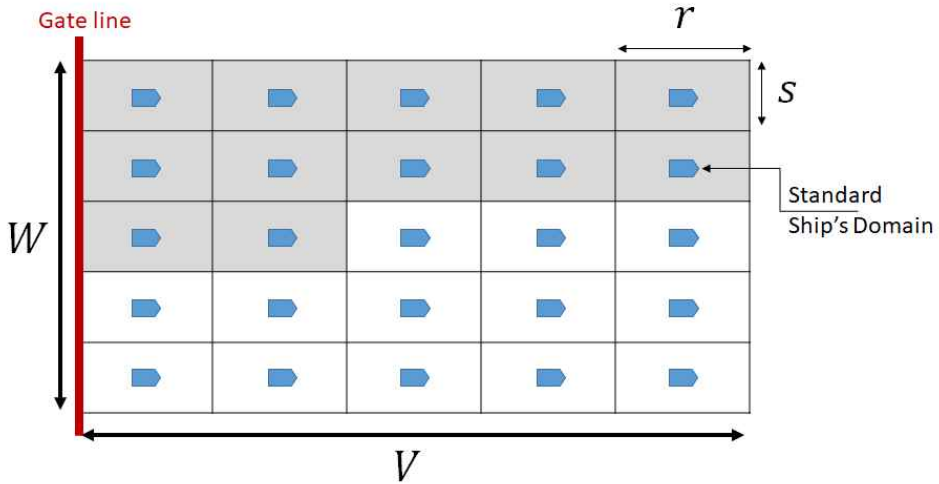


Fig. 2-5 Concept of traffic congestion model

일정한 폭을 가지는 수로 내에서 단위시간당 몇 척의 선박이 통행 가능한지 나타내는 수치를 교통용량( $Q_p$ )이라고 하고, 현재의 선박교통량( $Q_T$ )과 그 수로의 교통용량에 대한 비를 혼잡도(또는 폭주도)라고 한다. 식 (2.7)은 교통혼잡도를 계산하는 식이다[7].

$$S = \frac{Q_T}{Q_p} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot L / V_i}{L \cdot W \cdot T} \times 100 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i / V_i}{W \cdot T} \times 100 \quad (2.7)$$

$S$  : 혼잡도(%)

$a_i$  : 점유 영역( $m^2$ ),  $r \times s$

$V_i$  : 속도(m/s)

$L$  : 항로 길이(meter)

$W$  : 항로 폭(meter)

$T$  : 시간(sec)

교통혼잡도에 이용하는 점용영역(Domain)은 기존의 범퍼 영역과 성격이 유사하다. 타 선박과 고정장애물, 천수(Shallow water) 등을 피하기 위해 항해사가 설정한 일정한 거리의 안전구간이며 다른 선박의 점용영역과 중첩되지 않을 때 안전하다고 볼 수 있다.

이 점용영역의 크기는 선속(Speed)과 시정(Visibility), 피항대상의 종류에 따라 달라진다. Y. Fujii & N. Mizuki(1998)은 선박조종이 자유로운 개방해역에서의 항해속도에서  $8L \times 3.2L$  를, 수로와 같이 선박조종이 제한되는 해역에서의 조종속도에서는 그 반 정도인  $6L \times 1.6L$  로 그 크기를 적용하고 있다[27]. 일반적으로 해상교통에서의 점용영역은 타원형의 범퍼이지만 간단히 하여 Fig. 2-6과 같이 직사각형의 형태로 해도 큰 차이는 없다[26].

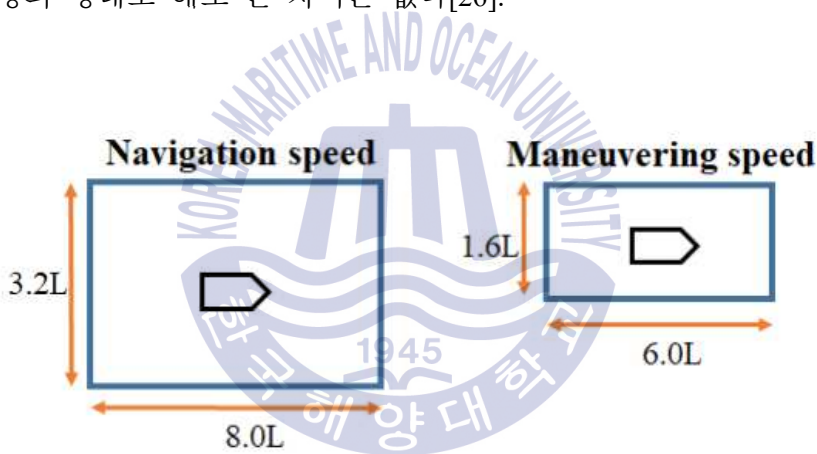


Fig. 2-6 Bumper size according to ship's speed

교통혼잡도 모델은 수로에서의 단위 면적·시간당 교통량을 계산하여 해당 수로에서 교통혼잡으로 인한 충돌위험 정도를 추측할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이 모델을 범위가 정해져 있는 제한해역이 아닌 개방해역에 적용하고자 한다면 해역을 격자로 분할하여 평가해야 할 것이다. 그러나 격자단위로 평가를 한다고 가정할 때 Fig. 2-7(a)과 같이 계산하는 격자 크기가 클수록 정밀도가 낮아지게 되고, Fig. 2-7(b)과 같이 격자 크기가 작을수록 정밀도는 높아지나 계산량이 많아지게 된다. 또한 통항밀도만을 고려하므로 선박간의 조우형태가 고려된 충돌위험은 계산하지 못한다는 단점이 있다.



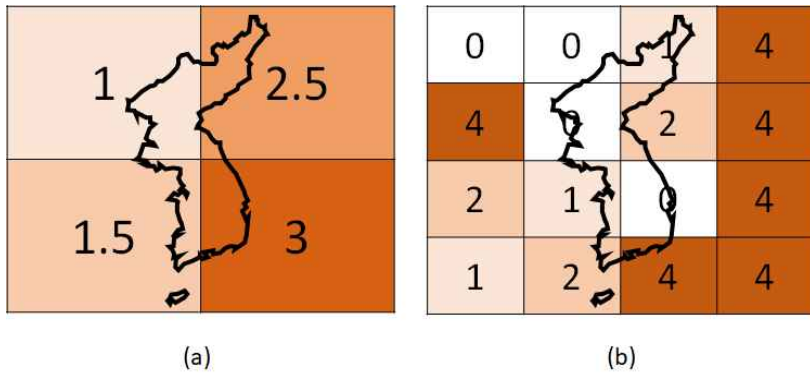


Fig. 2-7 Degree of precision according to grid size

### 2.3 IWRAP 모델

IWRAP는 IALA가 해상교통안전평가를 위해 사용을 권장하는 정량적인 평가 모델로서 1974년 Fujii와 MacDuff의 연구와 캐나다의 MSD(Minimum Safe Design)연구를 바탕으로 충돌·좌초 확률을 예측하기 위해 개발되었다[17].

IWRAP 모델의 개략적인 진행방식은 다음과 같다. 먼저 Model View 화면에서 수로정보인 수로 폭과 수심을 입력하고 항로정보인 Leg과 Waypoint의 위치를 설정한 후 Leg 편집기와 Waypoint 편집기에서 교통량, 충돌 및 좌초 확률계수 등을 입력하면 충돌확률과 좌초확률이 계산된다. Fig. 2-8은 Leg와 Waypoint의 개념을 나타낸 것이다. Node인 Waypoint가 주어지고 Line인 Leg가 Waypoint와 Waypoint 사이를 연결한다.

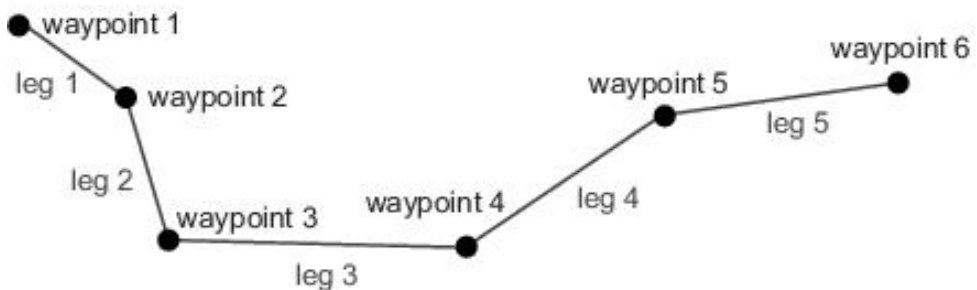


Fig. 2-8 Concept of leg & waypoint

Fig. 2-9와 Table 2-2는 IWRAP에서 입력사항과 출력사항을 정리한 것이다[3].  
 항로와 수심을 설정하고 Leg과 Waypoint에서 교통량과 위험계수를 입력하면 충돌·좌초 확률이 계산되어지고 위험의 정도는 색으로 구분된다.

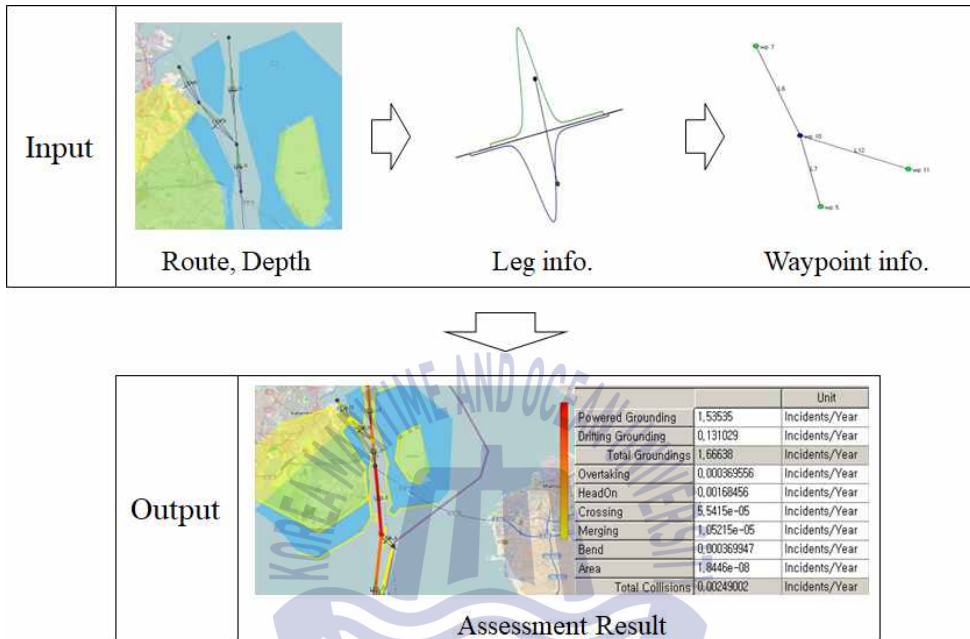


Fig. 2-9 Inputs & outputs in IWRAP

Table 2-2 Inputs & outputs in IWRAP

입력		출력	
해도화면	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 항로(Leg, Wapoint)</li> <li>● 수심</li> </ul>	Job View	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 작업목록</li> <li>● 결과</li> <li>● 선종간 사고확률</li> </ul>
Leg Editor	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 분산 (분포형태, 표준편차 등)</li> <li>● 충돌·좌초·추월 계수</li> <li>● 연간 선박교통량 (선종별, 길이별)</li> </ul>		
Waypoint Editor	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 교통량 비중</li> <li>● 충돌확률 계수</li> </ul>	Result View	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 연간 충돌·좌초 확률</li> </ul>

이 모델에서 사용되는 선박의 충돌확률은 Fujii et al.(1974)과 McDuff(1974)의 연구에서 제시한 식을 바탕으로 하며 그 식은 다음과 같다.

$$P = N_G \times P_C \quad (2.8)$$

$N_G$ 는 선박의 기하학적 충돌확률(Geometrical Collision Probability)로서 충돌 빈도(Number of Collision candidates)로도 불리우며  $P_C$ 는 인과확률(Causation Probability) 즉, 충돌회피동작을 실패할 확률을 의미한다. 기하학적 충돌확률과 충돌 빈도의 곱으로 선박의 충돌확률을 계산하고, 이 값은 위험도로 고려할 수 있다[2].

마주침과 추월의 경우 통항선박들이 서로의 측면을 통과하는 통항분포를 가지고 있고 교차의 경우 각각의 항로에 따라 독립된 선박통항분포를 가지기 때문에 기하학적 충돌확률( $N_G$ )은 조우형태에 따라 그 식이 다르게 적용된다. McDuff는 개별적인 특성(선종과 크기)을 가진 두 선박이 조우하는 형태를 다음과 같이 정의하였다[31].

### 1) 마주침 / 추월

Fig. 2-10은 마주침(Head-on)상태를 나타낸다.

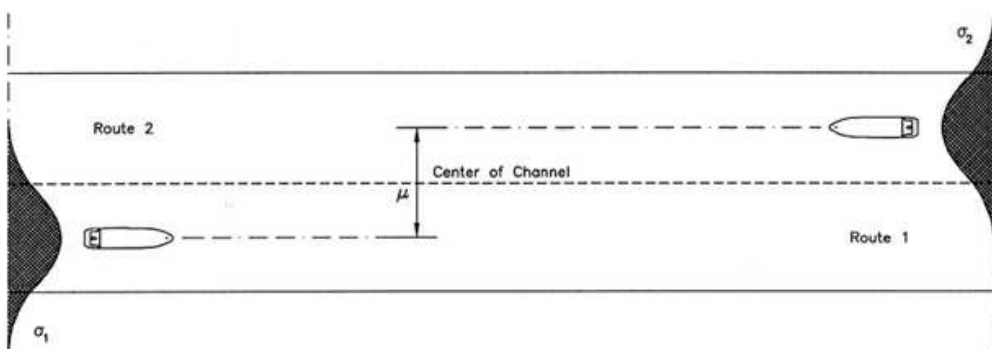


Fig. 2-10 Head-on situation

직선수로에서 선박들이 서로 마주보는 진행방향을 갖는 경우이다. 이와 반대로 직선수로에서 선박들이 같은 방향으로 진행하고 그 속도가 각각 다른 경우 추월(Overtaking)상태가 형성될 수 있다.

## 2) 교차

서로 다른 각도를 가진 두 개의 Leg가 한 Waypoint에서 만나는 경우이다. Fig. 2-11은 교차상태를 나타낸다. 서로 다른 각도를 가진 Waterway 1과 Waterway 2가 한 영역에서 만나고 있고, 1)의 마주침/추월 상태와 달리 Risk Area가 추가로 고려된다.

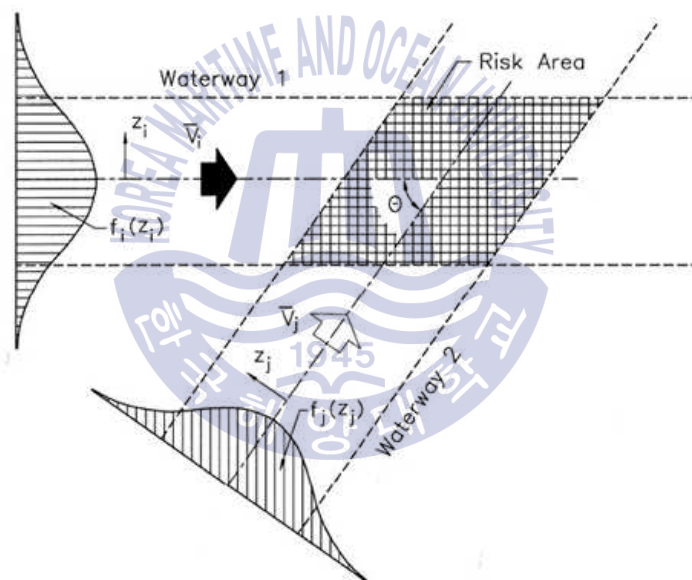


Fig. 2-11 Crossing situation

## 3) 인과확률(Causation Probability, $P_C$ )

IWRAP 모델에서는 충돌 빈도의 보정계수로 항해사가 피항동작에 실패할 확률, 즉 인과확률을 이용하고 있다. 인과확률은 MacDuff(1974)와 Fujii & Mizuki(1974) 외 몇몇의 연구자에 의해 계산되어졌으며 IWRAP 모델에서는 Fujii & Mizuki가 제시한 값에 가까운 인과확률을 표준으로 적용하고 있다.

MacDuff는 Dover 해협에서 그리고 Fujii & Mizuki는 일본의 몇몇 해협에서 등록된 사고수와 예상충돌 빈도의 차에 기반하여 인과확률을 계산하고 제안하였다[21]. Table 2-3은 MacDuff, Fujii & Mizuki가 구한 선박 간 충돌에 대한 인과확률과 IWRAP에서 표준으로 제시하는 인과확률을 나타낸 것이다[32].

Table 2-3 Causation Probability of MacDuff, Fujii&Mizuki and IWRAP

연구자 및 위치	조우형태	인과확률( $\times 10^{-4}$ )
MacDuff (Dover해협)	마주침, TSS 미적용	5.18
	마주침, TSS 적용	3.15
	교차, TSS 미적용	1.11
	교차, TSS 적용	0.95
Fujii&Misuki (일본의 해협들)	마주침	0.49
	교차	1.23
	추월	1.10
IWRAP	마주침	0.5
	교차	1.3
	추월	1.1

IWRAP는 수로의 교통량과 항적자료를 바탕으로 하여 좌초 및 충돌확률을 계산하는 모델이다. 해역특성에 맞는 인과확률을 사용자가 직접 입력할 수 있도록 하였기 때문에 사용자는 자신이 가진 평가기준에 따라 조우형태에 대한 가중치를 부여할 수 있다. 또한 Graphic Interface를 이용하여 서로 다른 각도를 가진 Leg가 Waypoint에서 만나는 다양한 경우를 사용자가 쉽게 편집할 수 있고 상세한 정보들을 입력할 수 있으므로 정교한 결과를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 Leg 단위의 위험도를 평가하므로 단조로운 수로 이외의 해역, 즉 선박의 교차상황이 복잡한 해역에 적용하기 어렵다. 만약 이를 복잡한 해역에 적용한다면 Leg를 여러 개 만들고 각 Leg에 대한 정보를 개별적으로 입력하는 등 평가 전에 작업이 추가로 필요하게 된다.

## 2.4 PAWSA 모델

PAWSA 모델은 1996년 미의회가 USCG에 새로운 VTS 시스템을 구축할 것을 지시하면서 개발이 시작되었다. 이 모델에는 절차에 따라 지방 공무원, 수로이용자 및 항만당국 간의 브레인스토밍이 진행되고 이를 통해 평가된 수로의 위험도가 반영된다[22]. 이러한 과정을 거치면 수로이용자와 전문가의 의견을 종합하여 지역상황에 맞는 위험을 평가하고 장기적인 해결방안을 찾을 수 있다.

### 1) 위험조건 6가지

이 모델에서 위험도는 재난확률과 그 결과로 정의된다. 재난에 영향을 미치는 6가지 위험조건이 있으며 평가과정을 통해 각 조건의 세부요소에 대한 위험 수준이 부여된다.

- (1) 선박조건 : 수로에서 운항하는 선박과 선원의 품질.
- (2) 교통조건 : 수로와 수로를 이용하는 선박들의 상호작용.
- (3) 항해조건 : 바람, 조류 등 선박조종과 관련된 조건.
- (4) 수로조건 : 항해의 난이도에 영향을 미치는 수로의 물리적 성질.
- (5) 즉각적 결과 : 부상/사망 등의 인명피해와 기름유출사고 등으로 인한 영향.
- (6) 후속조치 : 어장파괴, 어종감소, 수질오염 등과 같이 단기부터 장기까지 발생할 수 있는 문제.

### 2) PAWSA 진행절차

PAWSA에는 위험요인을 식별하고 전문가의 의견에서 얻은 조치방안을 평가하기 위한 절차가 있다. 이 절차에는 해상교통상황, 수로상태 및 항만 안전에 대해 자세히 알고 있는 수로전문가가 참여해야한다. PAWSA 모델은 Fig. 2-12와 같이 Book 1부터 Book 4까지 4단계에 걸쳐 평가를 진행한다[22].

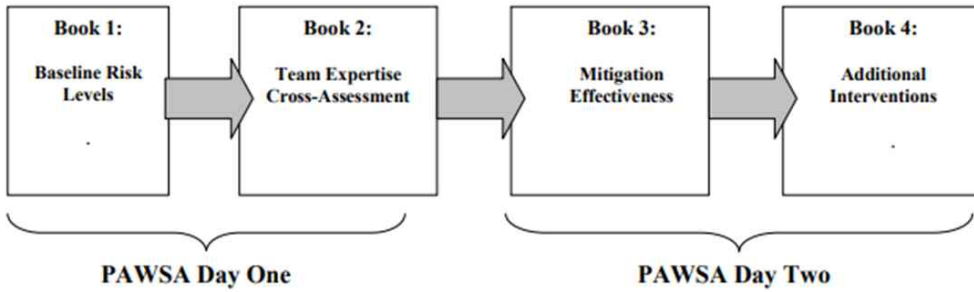


Fig. 2-12 PAWSA Procedure

- (1) **Book 1** : 기본위험수준 단계에서는 이전의 10차례의 PAWSA 평가를 통해 수로에서 어느 요소가 위험정도에 해당하는지 결정한다. Fig. 2-13은 미국의 Savannah 항에 PAWSA 모델을 적용한 결과보고서 중 기본위험수준 단계에서 평가된 결과를 나타낸 것이다[23].

Baseline Risk Levels					
Vessel Conditions	Traffic Conditions	Navigational Conditions	Waterway Conditions	Immediate Consequences	Subsequent Consequences
Deep Draft Vessel Quality	Volume of Commercial Traffic	Winds	Visibility Impediments	Personnel Injuries	Health and Safety
2.5	3.7	1.7	1.5	6.8	4.6
Shallow Draft Vessel Quality	Volume of Small Craft Traffic	Water Movement	Dimensions	Petroleum Discharge	Environmental
2.9	2.2	3.0	3.2	7.3	6.9
Commercial Fishing Vessel Quality	Traffic Mix	Visibility Restrictions	Bottom Type	Hazardous Materials Release	Aquatic Resources
4.6	3.2	2.7	2.7	7.1	4.6
Small Craft Quality	Congestion	Obstructions	Configuration	Mobility	Economic
5.6	3.1	2.3	3.9	6.1	7.1

Fig. 2-13 Six conditions and risk levels

항만에서의 기본위험수준을 결정하기 위해서는 워크샵 참여자들이 IWRAP 모델에서의 24가지 요소(6조건×4요소)대해 토론한다. 그 결과에는 수로의 안전을 확보하기 위해 이미 시행한 조치사항은 고려하지 않고 토론된 각 요소의 위험수준을 그대로 반영한다.

- (2) **Book 2** : 팀전문성 교차평가 단계에서는 워크샵에 참여한 각 팀의 전문지식을 평가한다. 참가팀들은 모델에 대한 배경과 경험을 서로 설명하고 그들이 6가지 위험조건에 대해 Top, Middle, Lower 중 어느 수준에 해당하는지 평가한다. 그 결과 각 팀은 위험조건마다 그들의 의견에 대한 가중치를 부여받게 된다.
- (3) **Book 3** : 완화효과 단계에서 워크샵 참가자들은 24가지 위험요소에 대한 기존의 완화조치의 효과를 검토한다. Fig. 2-14는 완화효과 단계에서의 평가 결과를 나타낸다[23].

Mitigation Effectiveness											
Vessel Conditions		Traffic Conditions		Navigational Conditions		Waterway Conditions		Immediate Consequences		Subsequent Consequences	
Deep Draft Vessel Quality		Volume of Commercial Traffic		Winds		Visibility Impediments		Personnel Injuries		Health and Safety	
2.5	2.0	3.7	2.5	1.7	1.6	1.5	1.4	6.8	5.8	4.6	3.7
Balanced		Balanced		Balanced		Balanced		Balanced		Maybe	
Shallow Draft Vessel Quality		Volume of Small Craft Traffic		Water Movement		Dimensions		Petroleum Discharge		Environmental	
2.9	2.3	2.2	2.1	3.0	2.3	3.2	2.4	7.3	5.3	6.9	4.7
Balanced		Balanced		Balanced		Balanced		Balanced		Balanced	
Commercial Fishing Vessel Quality		Traffic Mix		Visibility Restrictions		Bottom Type		Hazardous Materials Release		Aquatic Resources	
4.6	4.2	3.2	2.2	2.7	2.1	2.7	1.9	7.1	5.2	4.6	3.3
Maybe		Balanced		Balanced		Balanced		Balanced		Balanced	
Small Craft Quality		Congestion		Obstructions		Configuration		Mobility		Economic	
5.6	4.8	3.1	2.4	2.3	1.9	3.9	2.6	6.1	5.3	7.1	5.9
Maybe		Balanced		Balanced		Balanced		Maybe		Balanced	

Fig. 2-14 Mitigation Effectiveness



요소별로 좌측에는 기존의 PAWSA 평가 결과, 우측에는 금번의 PAWSA 평가 결과를 기입한다. 기존의 완화조치가 해당위험을 적절하게 다룬다면 Yes, 아니라면 No로 답한다. 2/3 이상이 Yes이면 녹색(Balanced)으로 표시하고 그 위험요소는 추가논의에서 제외된다. Yes나 No가 2/3 이하이면 노란색(Maybe)으로, No가 2/3 이상이면 빨간색(Rising)으로 표시하고 위험조치에 대한 토론을 하게 된다.

- (4) **Book 4** : 추가 완화조치 단계에서는 제안된 위험완화조치와 중재조치가 얼마나 성공적으로 위험요소들의 위험수준을 낮출지 평가한다. Book 3 단계와 같이 색으로 평가 결과를 나타내는데 녹색(Balanced)이면 중재조치가 필요하지 않은 것이며, 노란색(Caution)이면 가장 효과적인 조치와 다수의 참가자가 선택한 추가조치에 차이가 있는 것이다.

PAWSA에는 항만관리자 뿐 아니라 선박을 운항하는 항해사, 도선사, 예인선 항해사, 터미널관계자, 경찰, 소방원, 환경단체, 부표관리자 등 다양한 전문가들이 참여하여 항만의 위험도를 평가하게 된다. 따라서 특정관점에 편향된 의사 결정을 피할 수 있고, 안전과 환경, 효율을 모두 생각할 수 있으나 참여자들의 이해관계에 따라 위험도평가가 달라질 수 있다.

## 2.5 기존 모델들의 비교 및 분석

위에서 소개한 모델들은 그 용도에 따라 평가에 이용하는 데이터가 다르고 평가 결과도 각각 다른 의미를 지니고 있다. ES 모델은 우리나라 해상교통안전 진단에 사용되는 모델이다. 해역에서 항해사가 느끼는 주관적 항해부담감을 정량화하여 충돌위험도를 평가하므로 항해사 관점에서 자료를 이용할 수 있다는 장점이 있다. 교통혼잡도 모델 역시 해상교통안전진단에 이용되는 모델이다. 수로의 면적과 선박교통량의 관계를 이용하여 교통혼잡도를 평가하므로 이에 비례하는 충돌위험도를 추측할 수 있다. 그러나 이 모델을 개방해역에 적용하려면 해역을 격자단위로 나누어 계산해야하며 격자크기에 따라 정밀도가 낮아지거나 계산량이 많아지므로 개방해역평가에는 적합하지 않다. IWRAP 모델은 항만과 수로의 수심정보, 교통량, 사고정보를 바탕으로 충돌 및 좌초위험을 평가

하는 모델이다. 평가에 필요한 정보들을 Leg와 Waypoint의 속성에 입력하면 충돌위험도가 계산되므로 비교적 단순한 교통형태를 가진 수로평가에 적합하다. 그러나 이 모델을 조우형태가 복잡한 개방해역에 적용하려면 정밀성을 높이기 위해 더욱 많은 Leg를 생성해야 하고 입력해야 할 자료 또한 방대해지므로 개방해역 평가에는 적합하지 않다. PAWSA 모델은 대상 항만 및 수로에 관계된 전문가들의 브레인스토밍을 통해 위험도를 평가하는 모델이다. 다양한 관점에서 위험도를 평가할 수 있지만 정성적인 내용을 바탕으로 위험도를 결정하므로 참여자의 이해관계에 따라 평가값이 달라지는 단점이 있다.

Table 2-4은 위에서 소개한 충돌위험평가모델들의 특징 및 용도를 정리한 것이다.

Table 2-4 Comparison of collision risk assessment models

모델	특징	용도
ES	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본의 Inoue가 개발, 2000</li> <li>- 교통 및 지형 정보를 바탕으로 항해사가 느끼는 항해부담감을 계산</li> <li>- 해상교통안전진단제도에 주로 사용</li> </ul>	해역의 항해부담감 평가
교통 혼잡도	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 일본의 Fujii가 개발, 1981</li> <li>- 특정 수로에 대한 선박교통량과 교통용량의 비를 계산</li> <li>- 해상교통안전진단제도에 주로 사용</li> <li>- 개방해역에 적용 시 정밀도와 계산량의 한계</li> </ul>	수로의 교통혼잡도 평가
IWRAP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- IALA가 개발, 2001</li> <li>- 특정 수로의 사고자료, 교통량 및 수로 정보를 바탕으로 충돌 및 좌초 위험도평가</li> <li>- Leg 단위로 평가하므로 조우관계가 복잡한 개방해역에 적용하기 어려움</li> </ul>	수로의 충돌 및 좌초 위험평가
PAWSA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미국의 USCG가 개발, 1996</li> <li>- 전문가들의 브레인스토밍을 통해 정성적으로 위험도를 평가</li> <li>- 참여자의 이해관계에 따라 평가값이 달라짐</li> </ul>	항만과 수로의 위험평가

## 제 3 장 충돌위험도 평가시스템의 개발

기존의 연구모델들은 주로 특정 해역과 수로에 대한 위험도를 평가한 모델들로 항만운영자의 의사결정에 도움이 될 수 있다. 그러나 이러한 모델을 이용한 평가는 항만개발계획, 해역의 안전성 평가 등 연구필요에 따라 일시적으로 시행되므로 항해사들은 항로설정에 있어 이러한 해역평가 결과를 이용하지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 항해사의 관점을 고려하여 최적안전항로 설정을 위한 충돌위험도 평가시스템을 개발하였다.

### 3.1 충돌위험도 평가에 적용된 이론

선박의 충돌위험도를 계산하기 위해 범퍼이론과 충돌위험지수에 관한 이론을 고려하였다. 범퍼이론은 해상교통량 계산에 주로 이용되며 충돌위험지수에 관한 이론은 본 연구 자체의 이론으로 항해사의 관점을 반영하기 위해 COLREG 규정에 기반한 조우형태[4]마다 충돌위험계산요소에 가중치를 부여하고 이를 지수화한 것이다.

#### 3.1.1 범퍼이론

##### 1) 범퍼이론 소개

범퍼란 타 선박과 고정 장애물, 천수 등을 피하기 위해 항해사가 본선 주위에 설정한 일정한 거리의 안전구간이다.

1971년 일본의 해상교통량을 계산하기 위해 Fujii et al.(1971)이 처음으로 제안한 이후로 Goodwin(1975)과 Coldwell(1983) 외 다수의 연구자들이 연구관점에 따라 다른 형태와 크기를 가진 범퍼들을 제안해왔다[28]. Fig. 3-1는 Fujii, Goodwin and Coldwell의 범퍼모델이다.

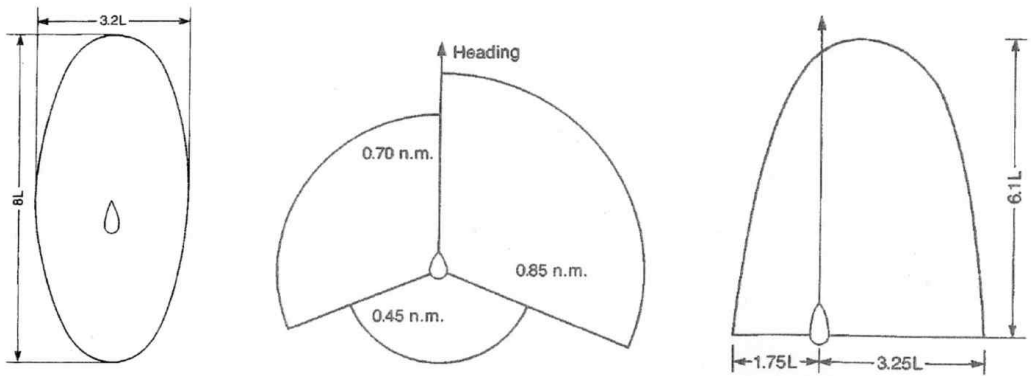


Fig. 3-1 Bumper models of Fujii, Goodwin and Coldwell

범퍼 크기는 항해안전정도에 따라 유연하게 변하는 Fuzzy 형태와 몇 가지 고정된 크기를 갖는 Crips 형태로 구분된다[15]. Fujii et al.(1998)은 항해속도와 조종속도를 구분하여 Crips 형태의 범퍼 크기를 제시하였고[26], Fuzzy 형태는 Pietrazy Kowski et al.(2008)이 제안하였으나 아직은 연구 중에 있다[15].

범퍼 영역에 대한 연구는 COLREG에서 정의하는 두 선박 간의 조우형태와 해상교통밀도를 고려하고 해상교통조사와 시뮬레이터 실험을 통해 그 모양과 크기를 결정한다는 공통점이 있다. 범퍼 영역에 영향을 미치는 요소는 연구된 모델별로 다소 차이가 있으나 기본적으로 본선의 전장과 속도, 교통밀도, 주변 수역의 조건이 있고 연구의 목적과 특성에 따라 항해사의 인적사항, 선박의 선적국가, 선박의 종류, 상대선의 각도, 양 선박간의 상대속도 등이 추가로 고려된다[28].

범퍼 영역은 해상교통안전진단 항목별 기술기준 중의 하나로써 해상교통용량을 분석하고 해상교통혼잡도(또는 폭주도)를 평가하는데 이용된다[12]. 그 외에도 범퍼 영역은 해상교통시뮬레이션, 충돌위험 평가, VTS 설계, 항만의 수역과 묘박지의 설계, 협수로 준설 작업 설계 등에 이용되고 있다[28].

## 2) 본 연구에 채택된 범퍼모델

본 연구에서는 Fujii et al.(1998)이 제시한 범퍼모델을 채택하였다. 이 모델에서 범퍼의 크기는 속도에 따라 두 가지 크기로 구분된다. 먼저 지형이나 수심의 영향이 적어 비교적 자유롭게 항해할 수 있는 개방해역에서는 선박이 항해 속도(Navigation speed)을 갖게 되고 범퍼 크기는 장축 8.0L(L은 선박의 길이), 단축 3.2L이 적용된다. 이와 달리 항만 및 협수로와 같이 지형과 수심의 영향이 커서 항해가 비교적 제한되는 제한해역에서는 선박이 조종속도(Maneuvering speed)을 갖게 되고 범퍼 크기는 장축 6.0L, 단축 1.6L이 적용된다[27]. 범퍼기준점(Bumper Reference Point)은 전면에서 오는 선박의 상대속도가 크고, 후면에서 오는 선박의 상대속도가 낮은 점과 전통적인 Pivot Point(선회권을 그리며 회전할 때 선박의 중심)를 참고하여 전진 시 선수방향 2/3, 선미방향 1/3으로 결정하였다.

통상적인 해상교통안전성평가에 사용되는 범퍼모델은 타원형이지만 이미 언급한 바와 같이 이를 간단히 하여 직사각형으로 하여도 큰 차이가 없으므로 [26] 본 연구에서의 용이성과 평가대상인 본선의 항로상에 범퍼 영역을 고르게 배치하기 위해 Fig. 3-2와 같이 직사각형 모델을 이용하였다.

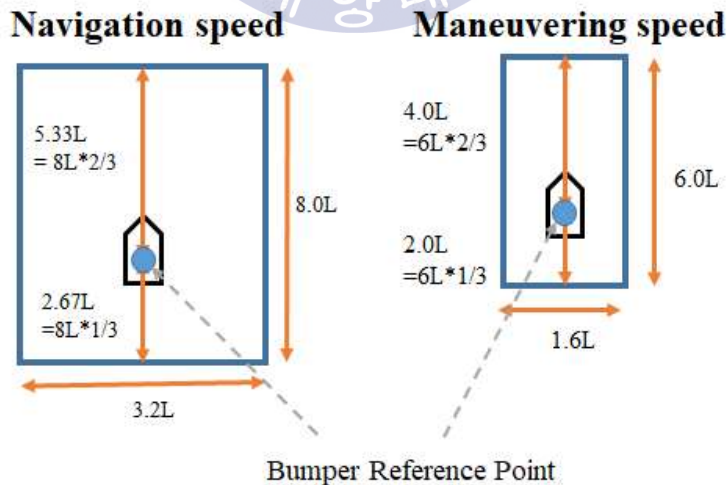


Fig. 3-2 Bumper sizes according to ship's speed

### 3.1.2 조우형태에 따른 충돌위험지수

#### 1) 조우형태

본 평가시스템에서는 국제해상충돌예방규칙(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 이하 COLREG)에서 정의하는 조우형태를 고려하였다. COLREG에서 정의한 각각의 조우형태는 주간에 식별되는 상대선의 방향과 항해등의 식별가능 범위에 따라 구분될 수 있고, 이는 다시 본선의 선수방향을 기준으로 한 타선과의 위치관계로 정의될 수 있다[4]. 다음은 COLREG 규칙과 타선과의 위치관계를 정리한 것이다.

##### (1) 마주침(Head-on, Rule.14)

- 서로 다른 선박을 선수방향 또는 거의 선수방향에서 보는 경우
- 야간에는 다른 선박의 두개의 마스트정부등을 일직선 또는 거의 일직선상에서 보며 동시에 양현등을 볼 수 있는 경우
- 마스트정부등이나 또는 양현등만을 볼 수 있는 경우
- 주간에 있어서는 다른 선박의 상응하는 면을 보는 경우
- 선수방향 기준  $355^{\circ} \sim 005^{\circ}$

##### (2) 추월(Overtaking, Rule.13)

- 다른 선박의 정횡후  $22.5^{\circ}$ 를 넘는 후방.
- 추월당하는 선박과의 관계에 있어서 야간에는 그 선박의 선미등만을 볼 수 있고 현등을 볼 수 없는 경우
- 선수방향 기준  $112.5^{\circ} \sim 247.5^{\circ}$

##### (3) 교차(Crossing, Rule.15)

- 선수방향 기준으로 좌현  $247.5^{\circ} \sim 355^{\circ}$ , 우현  $005^{\circ} \sim 112.5^{\circ}$

## 2) 충돌위험지수

IWRAP에 적용된 위험도는 선박의 기하학적 충돌확률( $N_C$ )과 인과확률( $P_C$ )의 곱으로 표현된다. 여기서의 인과확률은 피항동작에 실패하는 확률로서 Fujii et al.(1974)이 일본의 해상교통 빅데이터를 이용하여 제시한 수치를 표준으로 사용하고 있다[21]. Table 3-1은 IWRAP에서 표준으로 사용하는 인과확률(Causation Factor)이다[32]. 교차상태에서 그값이 가장 높으며, 마주침상태에서 가장 낮고, 추월상태는 그 중간이다.

Table 3-1 Causation factors used in IWRAP

Condition	Causation Factor
Head on	$0.5 \times 10^{-4}$
Crossing	$1.3 \times 10^{-4}$
Overtaking	$1.1 \times 10^{-4}$

Table 3-2는 Inoue(2000)가 ES 모델을 이용해서 조우형태별로 계산한 곤란도이다[18]. 먼저 조우형태별로 교통환경 스트레스값을 계산하여 누적한다. 그 후 각 조우형태에 대한 스트레스값과 마주침에 대한 스트레스값의 비로서 곤란도를 나타낸다. 교차상태의 경우 전방에서 후방으로 갈수록 곤란도가 높아진다. 추월상태는 마주침상태보다 곤란도가 낮다. 추월당하는 경우 교차 95°보다 곤란도가 높고 교차 135°보다 스트레스값이 낮다.

Table 3-2 Ship handling difficulties in ES model

Condition	Difficulty
Head on	1.0
Crossing 45°	1.14
Crossing 90°	1.71
Crossing 135°	3.01
Overtaking	0.72
Overtaken	2.46

본 연구에서는 선박의 조우관계를 항해사의 관점에 적용하기 위해 COLREG 규정에 기준하여 결정하였다. COLREG는 주간에 식별되는 상대선의 방향과 야간에 식별되는 선박의 등화각도에 따라 선박 간의 피항관계를 정의하고 있고 [19] 이를 통해 조우형태를 정의할 수 있다. Table 3-3은 본 연구에서 자체적으로 조우형태별 충돌위험지수(Collision Risk Index)를 계산한 표이다. 조우형태별로 교차각도, 접근속도, 피항방법(능동/수동)에 따른 가중치를 1부터 4까지 적용하였다. 적용된 가중치는 조우형태별로 합산하고 이에 대한 순위를 매겨 충돌위험지수를 결정한다.

Table 3-3 Collision Risk Index according to encounter type

	교차각도	접근속도	피항방법	합계	충돌위험지수
마주침	1	4	1	6	1
교차(우현)	4	3	1	8	3
교차(좌현)	4	3	3	10	4
추월	3	1	3	7	2

교차각도는 선수미 방향을 기준으로 좌우(0~90°)로 커지는 각의 크기다. 교차각도에 대한 가중치는 각의 크기가 가장 작을 때 1, 가장 클 때 4를 적용한다. 따라서 마주침에서 가장 작은 1, 추월에서 그보다 큰 3, 교차에서 가장 큰 4를 각각 가중치로 적용하였다.

접근속도는 본선과 상대선의 방위 및 속도관계에서 결정되는 속도이다. 접근속도에 대한 가중치는 속도가 가장 낮을 때 1, 가장 빠를 때 4를 적용한다. 따라서 마주침에서 가장 큰 4, 추월에서 가장 낮은 1, 교차에서 마주침과 추월의 중간인 3을 적용하였다. 접근속도를 계산치가 아닌 가중치로 표현한 이유는 기존의 연구모델들이 실시간 위치데이터를 통해 시계열에 따라 변하는 선박의 위치와 방위를 이용해 충돌위험정도를 계산하였다면 본 모델은 과거 AIS 데이터 중 타 선박이 본선의 범퍼 영역을 통과 할 때의 시각, 위치 및 코스 정보들 중 첫 번째 데이터만을 평가에 이용하기 때문이다.



피항방법은 각 조우형태에서 본선의 능동 또는 수동 피항을 의미한다. 피항 방법에 대한 가중치는 능동 피항이 가능한 마주침과 좌현교차에서 1, 교신 없이 능동 피항이 불가능한 경우, 즉 수동 피항인 추월과 우현교차에서 각각 3을 적용하였다.

Fig. 3-3은 COLREG 규정에 따라 구분된 조우형태와 그에 따른 충돌위험지수를 나타낸 것이다.

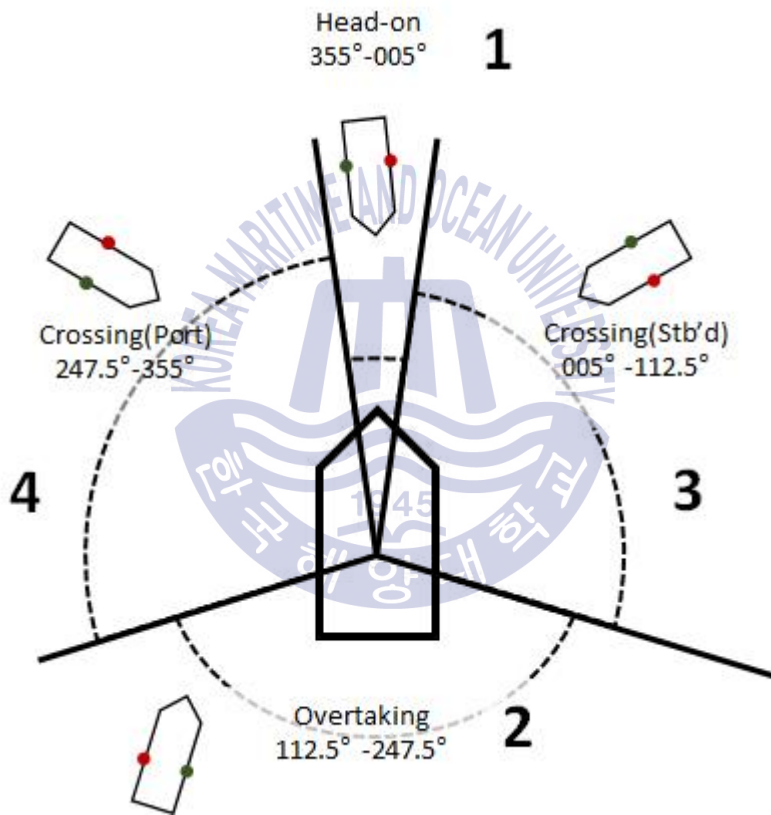


Fig. 3-3 Collision Risk Index according to encounter type

## 3.2 평가시스템의 소개

### 3.2.1 개발환경

본 연구에 사용된 컴퓨터 S/W 및 H/W의 개발환경은 Table 3-4와 같다.

Table 3-4 Development environment

	Content	Specification
S/W	Operating System	Windows 10 Pro 64bit
	Nautical Chart Digitizing	PlotDigitizer 2.6.8
	Chart & AIS data process	MS Developer Studio
	Calculation & Visualization	MATLAB 2016b
	Chart Visualization	Matlab based M_map
H/W	CPU	I7-3QM@ 2.40GHz
	RAM	24G

평가시스템을 개발하는데 주로 이용한 프로그래밍 도구는 MATLAB 2016b이다. MATLAB은 인터프리터 언어이므로 명령어를 입력 시 바로 결과물을 확인할 수 있지만 대용량 데이터 처리 시 작업속도가 느리다. 따라서 AIS 데이터를 편집하고 보관할 때는 MS Developer Studio를 통해 컴파일언어인 Fortran을 사용했다.

### 3.2.2 데이터 처리

#### 1) 해안선 데이터

해안선 데이터를 만들기 위해 우리나라 종이해도 No.2200(부산항에서 거문도)를 스캔(Scan)하였다. 스캔한 종이해도는 디지털라이징 소프트웨어인 PlotDigitizer (ver. 2.6.8)을 사용해 디지털라이징 작업을 하였다. 인쇄물을 올려놓고 수행하는 디지털라이저와 달리 PlotDigitizer는 작업할 이미지파일 위에서 작업하므로 편리하게 이용할 수 있다. 디지털라이징 작업초기에 좌측상단 기준점과 우측하단 기

준점을 입력한다. 이때 우측하단 기준점은 해상도에 따라 달라질 수 있다.



Fig. 3-4 Ditzizing work by PlotDigitizer

Fig. 3-4는 PlotDigitizer를 이용하여 디지털화하는 장면이다. 해안선을 따라 마우스를 클릭하면 위의 그림과 같이 십자모양으로 점(Node)이 마킹되고 X, Y 좌표가 입력된다. 두 번째 점부터는 점을 따라 선(Line)이 연결되고 원하는 면(Polygon)의 작업의 완료는 처음 시작점을 마우스로 클릭하면서 마무리된다. 위치데이터는 일련의 점으로 구성되어 있으며 좌측상단을 기준으로 우측으로는 X, 하측으로는 Y값을 가진다.

Table 3-5 Conversion X, Y into Long., Lat.

기준점(X, Y)		→	기준점(Long., Lat.)	
0	0		127.6666	35.2000
6422	4130	129.1666	34.4000	
여수해안(X, Y)		여수해안(Long., Lat.)		
0.6666	1844.6700	128.0975	35.1999	
13.0000	1856.0000	128.1001	35.1975	
19.0000	1865.0000	128.1027	35.1963	
37.0000	1849.0000	128.1022	35.1907	

Table 3-5는 여수해안의 일부를 디지털화하여 X, Y 좌표를 얻고 경/위도로 좌표변환을 한 예이다. 구해진 X, Y 좌표는 점장도상에 나타내기 위해 경도와 위도로 변환하는 작업이 필요하다. 좌표변환작업은 Fortran 프로그램을 사용하여 처리하였다. 해도에서 원하는 영역의 좌측상단 경/위도와 우측하단 경/위도를 설정하고 이를 디지털화 작업초기에 입력한 좌측상단과 우측하단 X, Y 좌표에 연결한 후 비례식을 이용하여 좌표변환을 한다.

## 2) AIS 데이터

### (1) 불필요한 데이터의 삭제

GICOMS의 AIS 데이터는 동적데이터와 정적데이터로 나누어져 있고 파일은 쉼표로 구분된 값(commma-separated values, 확장자 CSV) 서식으로 저장되어 있다. 처음에 받은 GICOMS의 AIS 데이터는 시간에 따라 수신되는 정보들을 순차적으로 입력한 RAW 데이터였다. 따라서 시간에 따라 그리고 각각의 선박별로 항적을 출력하기 위해 먼저 시간 오름차순 정렬과 MMSI 오름차순 정렬을 하였다. 또한 주어진 데이터에서 다음과 같은 몇 가지 문제점이 식별되어 본 연구에 맞게 Fortran 프로그램으로 처리를 하였다.

- ① 선박식별자(MMSI, IMO No.)가 없는 정체불명의 데이터 삭제
- ② 대상해역 범위를 벗어나는 데이터 삭제
- ③ 육지를 가로지르거나 특정위치를 직선으로 왕복하는 데이터 삭제

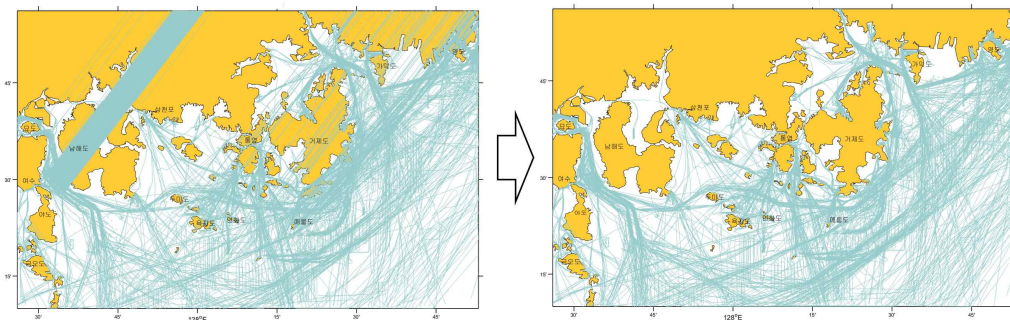


Fig. 3-5 AIS data before & after processing

Fig. 3-5는 AIS 데이터 처리 전과 후의 모습을 나타낸다. 데이터 처리 전에는 일직선으로 육지를 지나가는 항적들이 다수 나타나지만 처리 후에는 해상을 통항하는 선박들의 항적만 표시된 것을 확인할 수 있다. 처리된 데이터는 추후 MATLAB에서의 빠른 데이터처리를 위해 MATLAB의 Matrix 확장자인 .mat으로 저장하였다.

## (2) 위치데이터 보간

AIS 동적데이터의 위치정보, 시간간격 그리고 지리적 정밀도는 장비의 종류에 따라 다르다. AIS 장치는 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 IMO)의 AIS 기능요건 전체를 만족하는 Class A와 일부만 만족하는 Class B-SO와 Class B-CS로 구분된다. Table 3-6은 AIS 장비에 따른 위치전송 시간간격을 나타내고 있다[24].

Table 3-6 Position report interval according to AIS type

	Class A	Class B(SO)	Class B(CS)
over 23kts	2sec	5min	-
alter course over 5°	3.33sec	-	-
14-23kts	6sec	15min	-
2-14kts	10sec	-	-
less 3kts	3sec	3min	-
less 2kts	-	3min	-
Mooring Anchoring	3sec	-	3min
Navigation	-	-	30±4sec (Slot available)

위의 표에서 보듯이 3노트 이하이거나 정박, 묘박일 경우 AIS 장비의 위치전송 시간간격은 3분이다. 본 연구에서는 타 선박이 본선의 범퍼 영역을 통과 할 때의 시각, 위치 및 코스 정보들 중 첫 번째 데이터를 이용하여 조우관계를 분별하므로 동적데이터의 시간간격이 1분 이상인 경우에는 본 연구에 적합하지 않다. 따라서 위치데이터를 10초 간격으로 보간(Interpolation)하여 연구에 이용하였다. Fig. 3-6은 위치데이터의 보간 전, 후와 이용하는 위치데이터를 나타낸 것이다. 보간

전에는 타 선박의 항적이 범퍼 영역을 통과하더라도 AIS 데이터가 범퍼 내에 위치하지 않아 통과여부를 인식하지 못하는 경우가 발생한다. 보간 후에는 범퍼 영역 내에 AIS 데이터가 존재하므로 범퍼 영역을 통과하는 것을 인식할 수 있다.

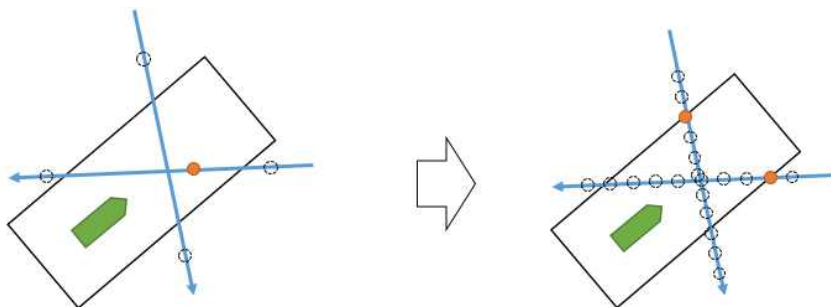


Fig. 3-6 AIS position data before & after interpolating

### 3.2.3 계산순서

본 연구에서 개발한 충돌위험도 평가시스템은 크게 맵구성, 범퍼구성, 충돌위험도평가의 3단계로 구성되어 있다. Fig. 3-7은 평가시스템의 전체적인 진행순서를 나타내고 있다.

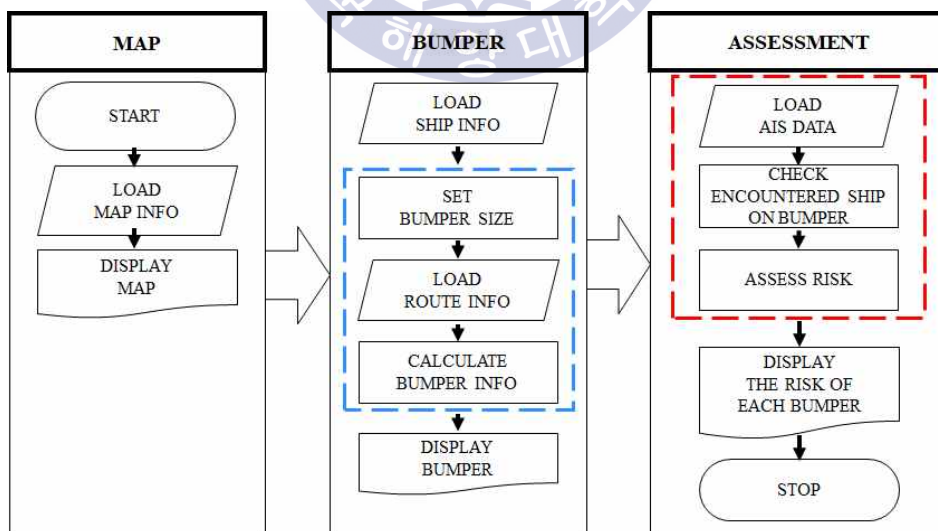


Fig. 3-7 Flowchart of collision risk assessment system

맵구성 단계에서는 해안선 정보를 읽어 도시하고, 범퍼구성 단계에서는 주어진 선박정보와 항로정보를 이용하여 범퍼크기와 위치를 계산한 후 범퍼를 항로상에 배치한다. 마지막으로 충돌위험도평가 단계에서는 본선의 범퍼 영역을 통과하는 타 선박의 AIS 항적 데이터를 추출하고 본선과의 충돌위험도를 평가한다.

위의 그림에서 파란색 점선상자는 범퍼를 형성하는 주요과정이고, 빨간색 점선상자는 타 선박과의 조우빈도와 조우형태를 분석하여 충돌위험도를 계산하는 주요과정이다.

Fig. 3-8은 개발한 평가시스템의 진행순서를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 그림으로 나타낸 것이다.

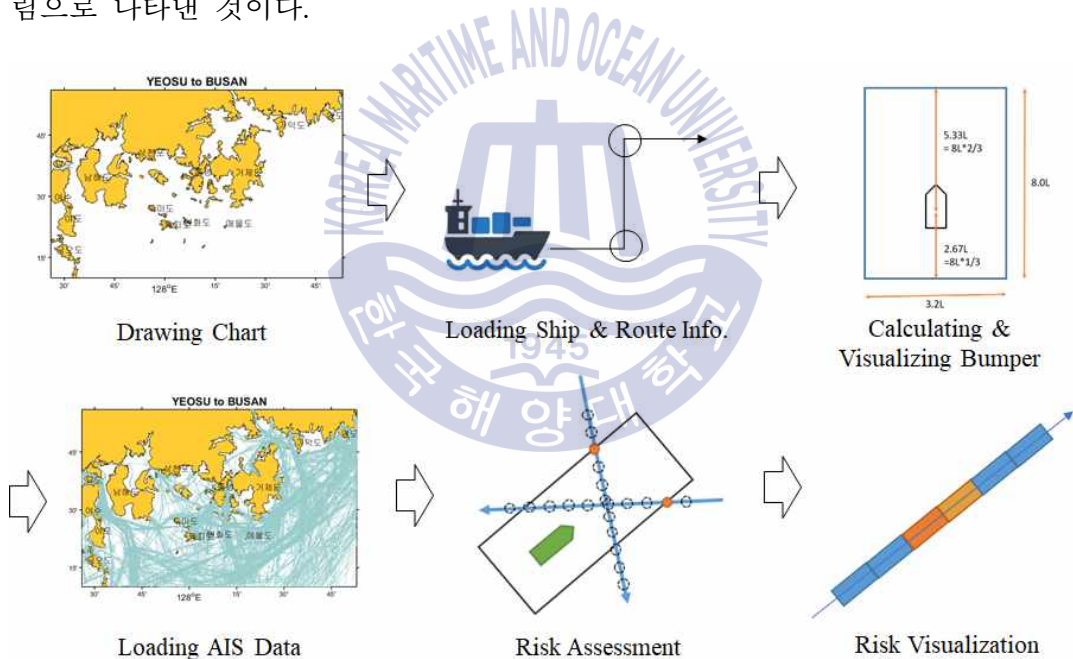


Fig. 3-8 Sequence diagram of collision risk assessment system

### 1) 해도 도시

본 연구에서는 전자해도의 일부 누락된 해안선 정보를 피하고 보다 정밀한 해안선 데이터를 얻기 위해 디지털라이징 프로그램 PlotDigitizer를 이용하여 종이 해도를 디지털라이징하고 해안선 데이터를 추출하였다. 추출된 해안선 데이터는

MATLAB의 공개소스인 M\_map을 이용하여 출력하였다. M\_map은 British Columbia대학 지구해양대기과학부 Rich Pawlowicz 교수의 홈페이지에서 공개소스로 배포하고 있다[33]. M\_map을 이용하면 점장도법뿐만 아니라 람베르트 도법, 밀러 도법 등 다양한 도법을 적용하여 여러 가지 해양정보(해안선과 수심, 풍향벡터 등)을 도시할 수 있다.

## 2) 본선정보 및 항로정보 읽기

본선정보로는 선박의 길이, 항해속도, 조종속도, 출발시각 등이 입력된다. 항로정보는 독립변수로 변침점(Waypoint)들의 경/위도와 그 위치에서의 속도구분(항해속도/조종속도)가 입력된다.

입력된 경/위도는 식(3.1)의 점장위도항법(Mercator Sailing) 공식을 이용하여 Leg(연결된 변침점간의 선분)의 코스와 거리계산에 이용된다.

$$m = 7915.704468 \times \log\left(\tan\frac{\pi}{4} + \frac{lat}{2}\right) \dots \quad (3.1)$$

$$- (23.268932 \times \sin(lat) + 0.0525 \times \sin^2(lat) + 0.000213 \times \sin^5(lat))$$

Fig. 3-9는 점장위도항법을 이용하여 항로를 계산한 예이다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	lon	lat	dist	c_dist	spd	course	tp_time	c_time	ot_mm	ot_hm
1	129.3300	35.3190	0	0	0	0	0	0	570	9.5000
2	129.4002	35.3190	3.4368	3.4368	16.5000	90	0.2083	12.4973	582.4973	9.7083
3	129.4002	35.4147	5.7420	9.1788	16.5000	0	0.3480	33.3773	603.3773	10.0563
4	129.4738	35.4750	5.1137	14.2925	16.5000	44.9673	0.3099	51.9726	621.9726	10.3662
5	129.5506	35.4079	5.5164	19.8088	16.5000	136.8719	0.3343	72.0322	642.0322	10.7005
6	129.4748	35.3500	5.0935	24.9024	16.5000	226.9967	0.3087	90.5541	660.5541	11.0092
7	129.4228	35.3979	3.8459	28.7483	16.5000	318.3566	0.2331	104.5391	674.5391	11.2423
8	129.4228	35.3054	5.5500	34.2983	16.5000	180	0.3364	124.7209	694.7209	11.5787
9	129.3526	35.3054	3.4373	37.7356	16.5000	270	0.2083	137.2203	707.2203	11.7870

Fig. 3-9 Example of route calculation

lon, lat : 변침점의 경도, 위도 정보 (°)



- dist : 변침점간(Leg)의 거리(NM)
- c\_dist : 변침점간의 거리 누적값(NM)
- spd : 적용된 선박속도(Knot)
- course : 변침점간(Leg) 코스( °)
- tp\_time : 변침점간 이동시간(hours) 예) 0.2083hrs=12.4973min
- c\_time : 변침점간 이동시간 누적값(minutes)
- ot\_mm : 변침점 예상 통과시각(minutes) 예) 570, 9hr×60+30, 9시30분
- ot\_hm : 변침점 예상 통과시각(hours) 예) 9.50, 9hr+0.5×60, 9시30분

본 시스템에서는 본선의 출발시각을 기점으로 항로상에 범퍼기준점이 위치할 좌표와 본선이 이곳을 통과할 때의 예상시각 등 범퍼요소를 계산한다. 범퍼기준점의 좌표는 후에 범퍼들을 도시할 때 이용되고 예상 통과시각은 앞뒤로 20분씩을 더해서 본선의 범퍼 영역을 통과하는 타 선박의 AIS 데이터를 추출하는 시간(이하 AIS 데이터 추출 간격)으로 사용한다. 평가하고자 하는 해역의 교통량에 따라 AIS 데이터 추출 간격은 다르게 적용될 수 있다. 교통량이 적은 경우에는 간격을 길게 설정하여 표본수를 늘리고, 교통량이 많은 경우에는 간격을 짧게 설정하여 적정수의 표본을 유지한다. (AIS 데이터 추출 간격에 대해서는 “4.1 적용조건”에서 자세히 다룸)

Fig. 3-10은 첫 번째 범퍼의 범퍼요소를 계산한 결과를 나타낸 것이다. 그림의 상단에 위치한 {1,1}{1,1}은 첫 번째 항로의 첫 번째 Leg을 의미한다.

in_dotdb{1, 1}{1, 1}								
	1 in_dotx	2 in_doty	3 ot_mm	4 ot_hm	5 st_hm	6 fn_hm	7 st_mm	8 fn_mm
1	129.3300	35.3190	570	930	910	950	550	590
2	129.3521	35.3190	573.9270	933.9270	913.9270	953.9270	553.9270	593.9270
3	129.3741	35.3190	577.8539	937.8539	917.8539	957.8539	557.8539	597.8539
4	129.3962	35.3190	581.7809	941.7809	921.7809	1.0018e+...	561.7809	601.7809

Fig. 3-10 Example of bumper element calculation

$in\_dotx, in\_doty$  : 범퍼기준위치의 경도, 위도(°)  
 $ot\_mm$  : 범퍼기준위치의 예상 통과시각(minutes)  
 $ot\_hm$ : 범퍼기준위치의 예상 통과시각(HHMM), 예)930, 9시30분  
 $st\_hm$  :  $ot\_hm$  - 여유시간 20분(HHMM), 예)910, 9시10분  
 $fn\_hm$  :  $ot\_hm$  + 여유시간 20분(HHMM)  
 $st\_mm$  :  $ot\_mm$  - 여유시간 20분(minutes), 예)550,  $9 \times 60 + 10$   
 $fn\_mm$  :  $ot\_mm$  + 여유시간 20분(minutes)

위에서 시각의 형태가 다양한 이유는 시스템에서 시간을 자연수로 읽기 때문에 시간계산에 용이하도록 이를 minutes 단위로 변환하여 계산했고, 계산된 값은 다시 사용자가 쉽게 식별할 수 있도록 HHMM(시/분)으로 표시했기 때문이다.

### 3) 범퍼계산 및 도시

범퍼의 모형은 직사각형 모델이며 Y. Fuji & N. Mizuki(1998)가 제시한 크기를 사용하였다. 속도에 따라 범퍼의 크기가 달라지며 크기가 결정된 범퍼들은 Leg의 코스와 거리에 따라 항로상에 고르게 배치된다.

Fig. 3-11은 직사각형 범퍼의 계산순서를 나타낸다.

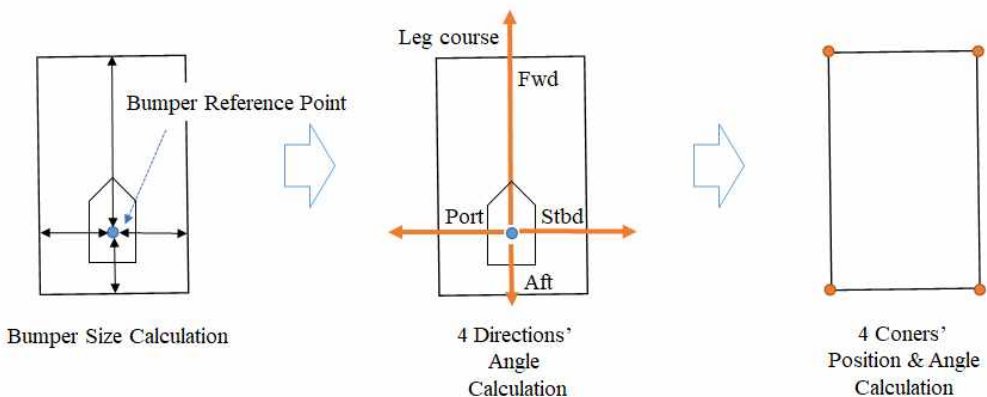


Fig. 3-11 Sequence of bumper calculation

- ① 범퍼기준위치를 중심으로 한 범퍼의 폭, 즉 전후좌우의 거리가 계산된다.
- ② 2)에서 계산된 Leg의 코스를 기준으로 전후좌우의 방위를 계산한다.
- ③ 2)에서 계산된 방위과 1)에서 입력된 범퍼의 폭을 점장위도 항법에 대입 및 계산하여 범퍼의 각 모서리에 해당하는 좌표를 구한다.
- ④ 구해진 모서리 위치를 Plot 명령어를 이용하여 작도한다.

Fig. 3-12는 범퍼가 도시되는 형태와 계산순서를 나타내고 있다.

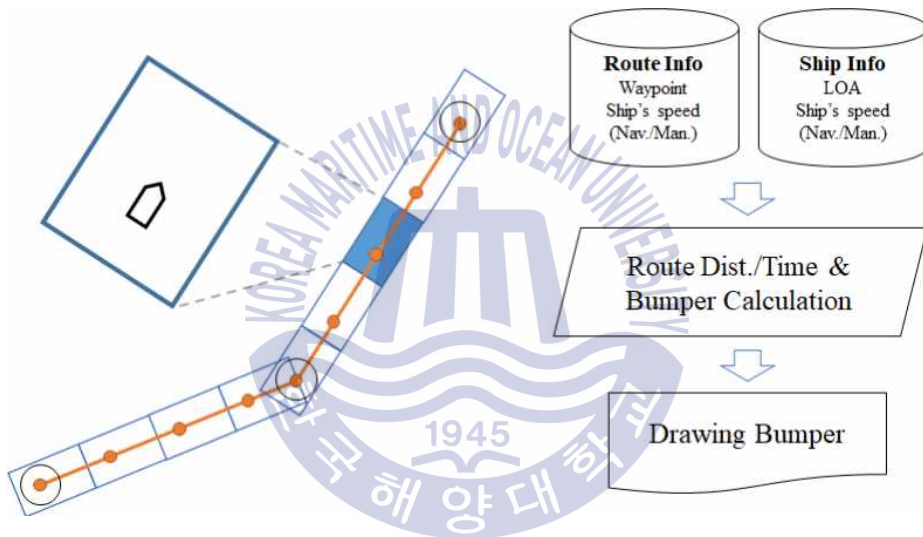


Fig. 3-12 Bumper calculation & drawing procedure

항로정보와 본선정보를 기반으로 범퍼기준점의 좌표와 예상 통과시각을 계산한 후 Fujii & Mizuki(1998)가 제시한 범퍼 크기(항해속도 장축 8.0L, 단축 3.2L 조종속도 장축 6.0L, 단축 1.6L)의 직사각형 범퍼가 항로상에 도시된다.

범퍼계산을 위해 항로정보로는 Waypoint와 그 위치에서의 속도구분자(항해속도 1, 조종속도 2)가 입력되고 본선정보로는 선박의 전장과 속도구분(항해속도 16.5kt, 조종속도 13.2kt)이 입력된다. 항해속도는 대양항해에서 선박기관의 회전수(RPM)을 유지할 때의 속도로 Navigation speed를 의미한다. 조종속도는 협수로나 항만과 같은 제한해역에서 기관의 RPM을 낮추어 속도 조정이 용이하도록

록 한 Maneuvering speed를 의미한다. 조종속도는 RPM에 따라 다양하지만 여기서는 대표적인 Full ahead에 해당하는 속도를 적용하였다. 항해속도와 조종속도는 선박제원에 따라 다르게 적용이 가능하다.

#### 4) AIS정보 읽기

본 연구에서는 해상교통안전진단의 기술기준[12]을 만족하는 10일간의 AIS 데이터를 이용하였다. 시스템에서 10일치 AIS 데이터를 읽은 후에는 다음의 절차에 따라 평가에 필요한 AIS 데이터를 추출한다.

- ① 본선의 출발시각과 2)에서의 계산된 예상 통과시각 사이의 AIS 데이터를 추출한다.
- ② 선박별 항적을 구하기 위해 선박식별자인 MMSI 번호를 기준으로 AIS 데이터를 분류하고, 이를 각각의 독립된 Cell에 저장한다.

Cell이란 MATLAB에서 데이터를 저장하는 공간구조로 Cell 배열을 이용하면 서로 다른 타입을 가지는 데이터들을 배열형태(Array)로 저장할 수 있고, Cell 안에 내부 Cell을 생성하여 계층구조를 만들 수도 있다. Fig. 3-13은 Cell 구조를 나타낸 것이다.[34]

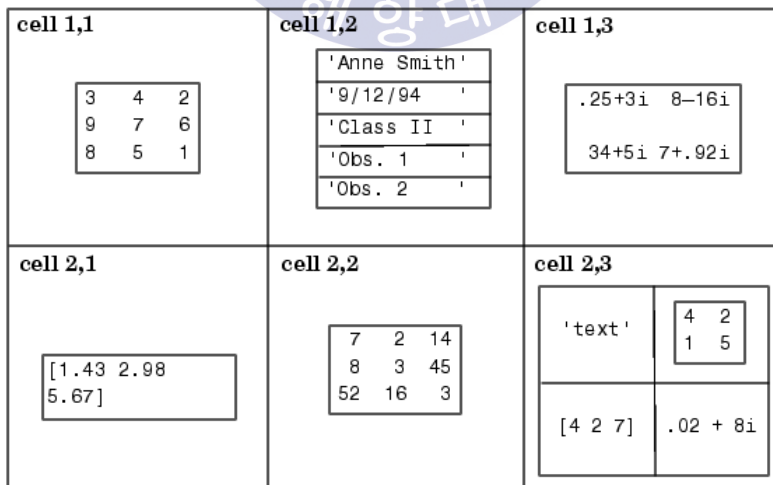


Fig. 3-13 Cell structure in MATLAB

### 5) 충돌위험도 평가

충돌위험도 평가는 AIS 데이터를 불러들인 후 평가에 필요한 타선박의 AIS 데이터를 추출하는 단계, 조우빈도와 조우형태를 확인하는 단계, 범퍼를 통과하는 개별선박에 충돌위험지수를 적용하는 단계, 범퍼의 충돌위험도를 계산하는 단계, 충돌위험도 상대값을 계산하는 단계로 구성되어 있다. Fig. 3-14는 충돌위험도 평가의 진행순서를 나타낸다.

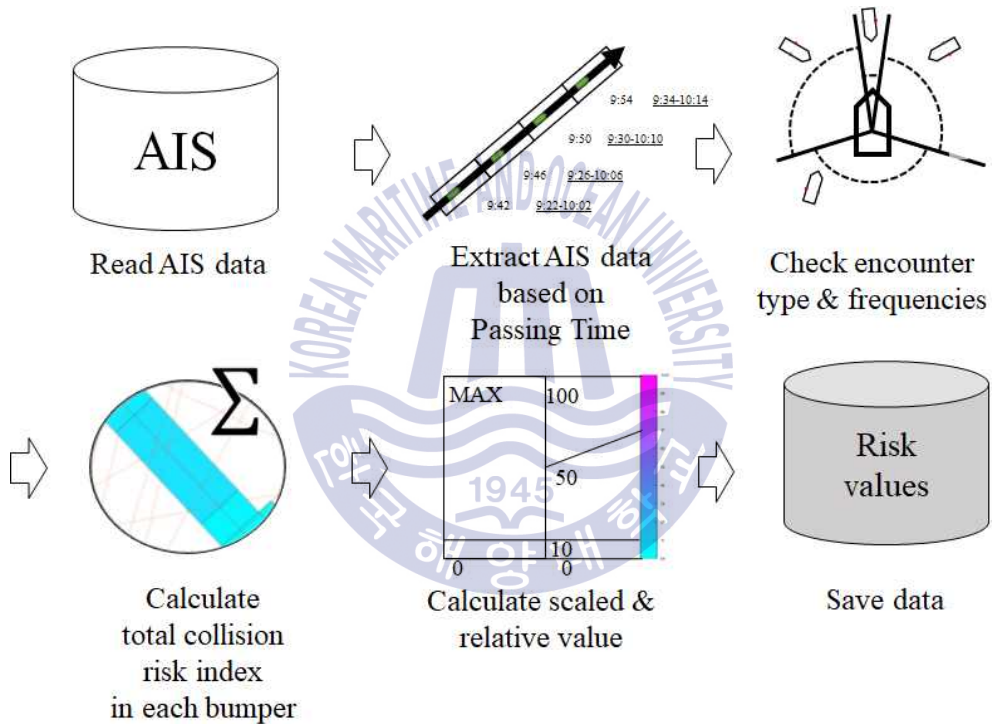


Fig. 3-14 Sequence diagram of collision risk assessment

(1) AIS 데이터를 추출하는 단계에서는 2)에서 계산된 AIS 데이터 추출 간격에 따라 본선의 범퍼 영역을 통과하는 타 선박의 AIS 데이터를 추출한다. 이 시간은 10일 동안의 데이터 추출에 모두 동일하게 적용된다. Fig. 3-15은 본선의 범퍼기준위치 예상 통과시각과 타 선박의 AIS 데이터 추출 시간을 나타내고 있다.

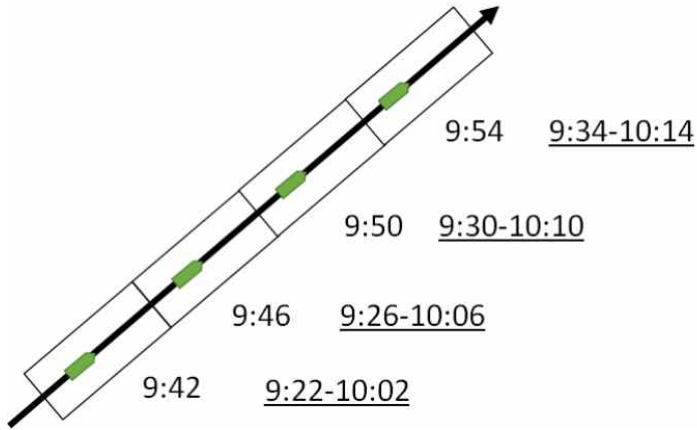
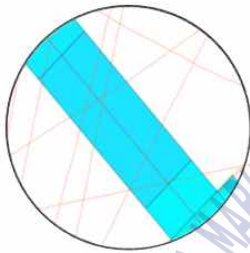


Fig. 3-15 Passing time & time allocation for data extraction

- (2) 조우빈도와 조우형태를 확인하는 단계에서는 하루 중 (1)에서 할당된 AIS 데이터 추출 간격 동안 본선의 범퍼 영역을 통과하는 선박척수가 얼마나 되는지 확인한다. 식별된 선박들의 코스와 항로상 Leg의 코스를 비교하여 조우형태를 확인하고 이에 대한 충돌위험지수를 적용한다. 본 모델에서는 마주침에 1, 좌현교차에 4, 우현교차에 3, 추월에 2를 각각 충돌위험지수로 적용하였다.
- (3) 범퍼의 충돌위험도를 계산하는 단계에서는 (2)에서 식별된 선박들의 충돌위험지수를 합산하여 범퍼 1개의 하루 동안 총충돌위험지수(Total Collision Risk Index, TCRI, 이하 충돌위험도)를 구하고 이 방법을 다른 날짜에도 동일하게 적용하여 각 날짜의 충돌위험도를 계산한다.

Fig. 3-16은 범퍼 1개의 하루 동안 충돌위험도를 계산한 예이다. 좌측상단의 eval{1,1}{1,4}{1,5}{1,1}은 첫 번째 항로, 네 번째 Leg, 다섯 번째 범퍼, 첫째 날의 평가임을 의미한다. 개별선박은 MMSI로 구분되며 동 선박이 범퍼를 통과할 때의 첫 번째 시각(utc), 위치(lat/long), 속도(spд), 코스(cog), 조우형태(diffas), 충돌위험지수(danger)가 표시된다.

eval{1, 1}{1, 4}{1, 5}{1, 1}								
	1	2	3	4	5	6	7	8
	mmsi	utc	lat	long	sog	cog	diffas	danger
1	258787000	521103541	35.4240	129.5378	8	239	'LC'	4
2	273146000	520173550	35.4199	129.5317	13	17.2000	'RC'	3
3	305177000	520174138	35.4132	129.5390	12.7000	80.2000	'O'	2
4	351930000	520184814	35.4180	129.5336	13.6000	13.2000	'RC'	3
5	354374000	520194914	35.4198	129.5430	8.8000	209.2000	'LC'	4
6	373737000	521123233	35.4243	129.5263	11.7000	13.3000	'RC'	3



$$\sum_{i=1}^n TCRI_i = 4+3+2+3+4+3=17$$

Fig. 3-16 Example of collision risk index for a day

Table 3-7은 10일치 데이터를 이용해 1개 범퍼의 충돌위험도를 구하는 예를 나타내고 있다. 범퍼의 Day1부터 Day10까지 충돌위험도를 평가하고 이를 산술평균하여 10일치에 해당하는 충돌위험도를 구한다.

Table 3-7 Example of total collision risk index calculation for 10 days

Bumper No.1							
Encounter	Day1	Day2	Day3	...	Day9	Day10	Avr.
1st	3	3	4	...	3	3	↓
2nd	3	3	4	...	4	3	
3rd	4			...		3	
...				...			
TCRI	10	6	8	...	7	9	

- (4) 교통량이 많은 구역에 위치한 범퍼의 충돌위험도가 상대적으로 너무 높아 그 외 상대적으로 충돌위험도가 낮은 범퍼들의 충돌위험도를 해도상에 도

시할 때에 색으로 구분이 안 될 수 있다. 상대값을 계산하는 단계에서는 이런 현상을 예방하기 위해 충돌위험도의 상대값(Relative value)을 계산한다. Fig. 3-17은 상대값의 계산형태를 나타내고 있다. 먼저 범퍼별로 평가된 충돌위험도를 백분위값(Scaled value)으로 변환한다. 변환된 값은 1~10, 10~50, 50~100으로 구간이 나뉘고 이를 다시 0~10, 10~70, 70~100 구간에 맞추어 상대값(Relative value)으로 변환한다. 상대값은 충돌위험도를 색으로 구분하여 해도상에 도시할 때 사용되는 것으로 충돌위험도 원본값에 영향을 미치지 않는다. 따라서 상대값의 계산형태는 해역의 교통량에 따라 달리 적용이 가능하다.

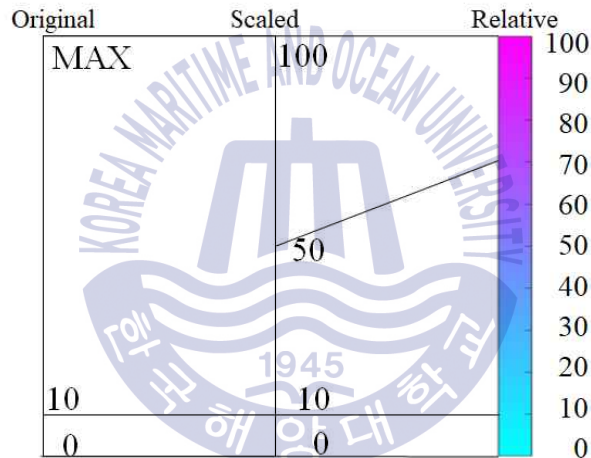


Fig. 3-17 Original, scaled and relative values



## 제 4 장 개발된 평가시스템의 적용 및 결과

본 연구에서는 개발된 시스템을 시험해역과 실해역에 각각 적용하여 시스템을 검증하였다. 시험해역 적용은 시스템의 정상적인 계산여부를 확인하기 위한 것으로 비교적 평가영역이 넓지 않은 울산항 접근수역을 선정하였다. 실해역 적용은 각종 계산 및 실험을 통해 다양한 경우의 계산 결과를 확인함으로써 시스템의 유효성을 검증하는 것으로 부산에서 여수에 이르는 남해안을 선정하였다.

### 4.1 적용조건

Table 4-1은 시험해역과 실해역의 적용조건을 나타내고 있다.

Table 4-1 Conditions of application to test & actual area

	Test area	Actual area
Purpose	Test	Evaluation
Area	Ulsan Approach	South Sea of Korea Busan~Yeosu
Route	Test Route	Actual route
		Recommended route
Encounter type	Considered	Considered
Encounter numbers	Considered	Considered
Sailing time	Not considered	Considered
AIS Data	1 day	10 days
Time interval for selecting AIS data	Not applicable	40mins

시험해역에서는 시스템의 정상작동 여부를 확인하기 위해 시스템의 가장 기본적인 기능만을 이용하고 실해역에서는 항로비교 기능과 AIS 데이터 추출 기

능을 추가하였다. 평가항로에 있어 시험해역에서는 임의로 테스트항로를 만들어 적용하고 실해역에서는 선사의 실항로와 주요 교통류를 피해 만든 추천항로를 적용하였다. 조우빈도와 조우형태는 시험해역과 실항로에 동일하게 고려하였다. 항해시간은 출발지에서부터 목적지까지의 시간을 의미한다.

시험해역에서는 항해시간의 구분 없이 24시간의 모든 AIS 데이터를 바탕으로 범퍼의 충돌위험도를 평가하고 실해역에서는 항해시간을 고려하여 평가하였다.

해상교통안전진단에서는 해상교통조사 시 표본수의 적절성을 위해 기본적으로 7일간의 AIS 데이터를 요구하고 있다. 본 연구에서 시험해역에서는 하루 동안 AIS 데이터를 이용한 반면 실해역에서는 평가 결과의 신뢰도를 높이고 봄철의 해상교통특성을 반영하기 위해 4월 중 10일간의 AIS 데이터를 이용하였다. 10일간의 데이터를 사용하면 항해시간에 따른 충돌위험도평가가 가능하며 다른 계절에 해당하는 AIS 자료를 추가로 이용할 경우 계절별 비교가 가능하다.

시험해역에는 24시간의 데이터가 모두 동일하게 각 범퍼의 충돌위험도 평가에 이용되었지만 실해역에는 40분의 AIS 데이터 추출 간격이 범퍼의 충돌위험도 평가에 이용되었다. AIS 데이터 추출 간격이 40분인 근거는 다음과 같다.

Fig. 4-1은 AIS 데이터 추출 간격을 5, 10, 20, 30, 60분으로 설정하고 10일간의 항적 자료를 바탕으로 평가한 충돌위험도의 원본값과 백분위값 그래프이다.

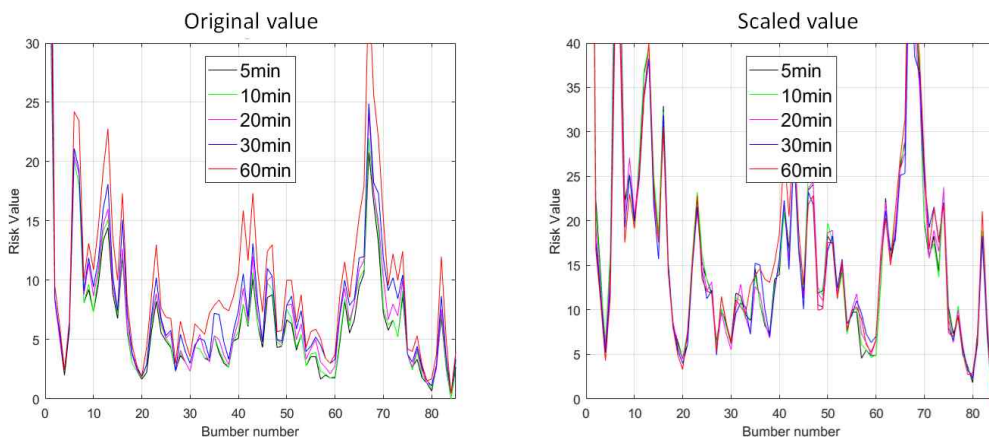


Fig. 4-1 Comparison of AIS data extraction time interval

추출 간격이 길수록 원본값에서 충돌위험도가 높게 나타나지만 이를 백분위 하였을 때는 그 값의 차이가 크지 않다. 즉, 3장에서 언급한 바와 같이 백분위 값에 따라 해도상에 충돌위험도가 색으로 구분되므로 AIS 데이터 추출 간격이 다르게 적용되더라도 표시되는 색에는 큰 차이가 없다. AIS 데이터 추출 간격이 너무 짧으면 표본이 너무 적어 평가가 불가능하고 반대로 너무 길면 표본이 너무 많아 계산 속도가 느려지므로 본 연구에서는 적절한 40분을 추출 간격으로 설정하였다. 적절한 표본수를 유지하기 위해 교통량이 적은 해역에서는 AIS 데이터 추출 간격을 늘리고, 반대로 교통량이 많은 해역에서는 줄일 수 있다.

## 4.2 평가시스템의 시험해역 적용 및 결과

### 4.2.1 시험해역

시험해역으로는 울산항 접근수역을 선정하였다. 2015년 기준으로 항만은 울산분항, 온산항, 울산신항, 미포항으로 이루어져 있으며 부두마다 이용하는 위험액체화물 운반선의 선종이 다양하고 입출항하는 선박들이 다양한 각도로 조우하기 때문에 선박통항규칙을 일관되게 적용하기가 어렵다[14].

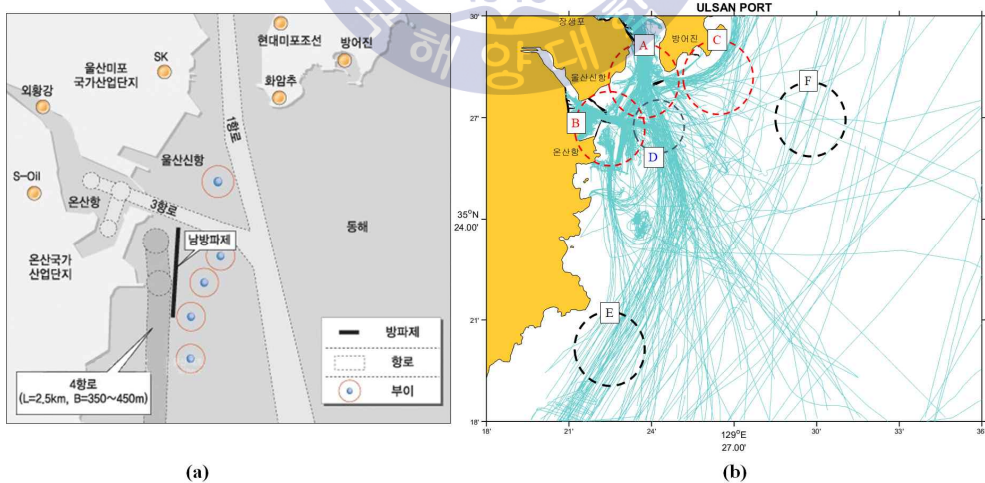


Fig. 4-2 Ulsan main routes(a) & Ship trajectories(b)

Fig. 4-2는 시험해역의 주요 항로(a)[29]와 하루 동안 선박들의 항적(b)을 나타내고 있다. 그림(b)에서 A구역은 제1항로의 북쪽 부분으로 가장 많은 선박들이 통항하는 해역이다. 울산분항에 입출항하는 선박들이 A구역의 동서남북에서 모여 조우관계가 복잡하다. B구역은 제3항로로 온산항에 입출항하는 선박들이 동서로 움직이고 제3항로 남쪽에 위치한 묘박지의 선박들이 입항하면서 교차형태가 복잡하게 형성된다. D구역은 제1항로와 제3항로가 만나는 곳으로 가장 많은 교차형태가 형성된다. C구역은 울산분항으로 입출항하는 통항량이 B, D에 비해 적은 편이다. 울산항 제1~3항로에서 벗어난 E구역은 통항량이 F구역에 비해 많으나 평행항적을 보이고 있어 교통이 안정되어 보인다. 반면 F구역은 통항량이 E구역에 비해 적은 편이지만 교차항적을 보이고 있어 주의가 요구된다.

## 4.2.2 적용 및 결과

### 1) 적용

#### (1) 항로

시험해역에서는 시험을 위한 항로를 별도로 구성하였다. 시험항로의 목적은 다음과 같다. 첫째로 항로의 거리와 코스에 따라 범퍼의 배치가 정상적으로 되는지 확인하는 것이고, 둘째로 본선과 타 선박간의 다양한 조우형태에서 정상적인 충돌위험도 평가 여부를 확인하는 것이다. 모든 경우의 코스와 조우 각도를 고려하기 위해 4방위 직선코스과 4방위 대각선 코스를 포함한 시험항로를 만들었다.

#### (2) 선박제원

충돌위험도 평가에 필요한 선박제원은 선박의 길이(LOA), 항해속도, 조종속도이다. 시험해역에 입출항하는 다양한 길이의 선박이 있을 수 있으나 본 연구에서는 상선항로에 대한 충돌위험도를 평가하기 위해 대형선의 길이인 250m를 시험선박의 길이로 선택하였다. 본 시스템은 항해속도와 조종속도 모두를 고려할 수 있도록 설계되었지만 시험해역에서는 개방해역에 대한 평가만 시행하므로 항해속도 16.5kt가 적용되었다. 선박의 길이는 범퍼의 크기 계산에 이용되며,

속도는 본선의 범퍼기준위치 예상 통과시각을 계산하는데 이용된다.

## 2) 결과

시스템이 정상적으로 작동하는지 확인하기 위해 시험해역에 1)에서 만든 시험항로를 적용하고 충돌위험도를 평가하였다. Fig. 4-3은 충돌위험도 평가 결과를 해도상에 나타낸 것이다. 선박의 통항량이 많아 위험한 곳으로 붉은색으로, 통항량이 적어 안전한 곳은 파란색으로 표시된 것을 확인할 수 있다.

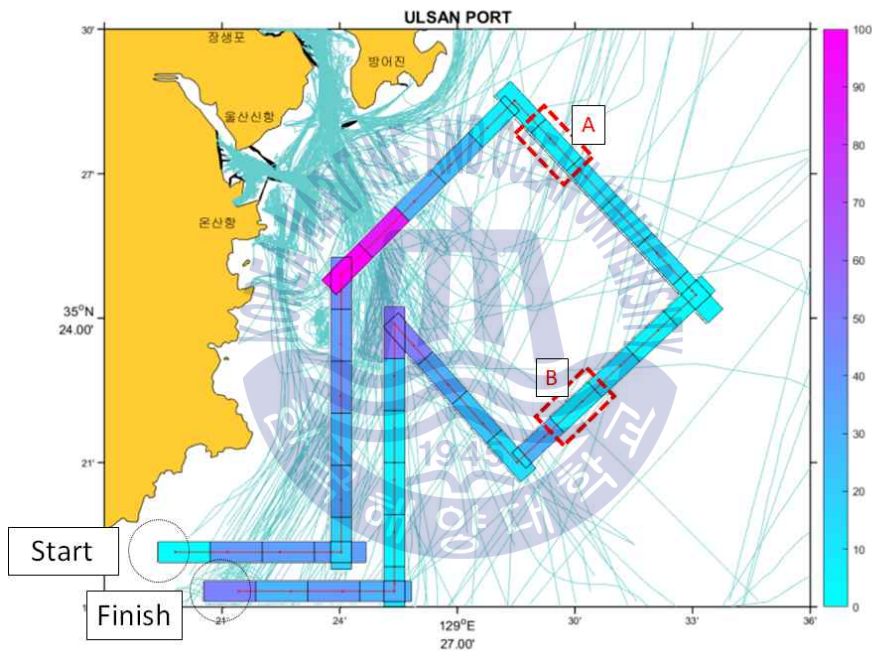


Fig. 4-3 The results of collision risk assessment for test area

통항량이 많은 곳에 위치한 범퍼의 충돌위험도 평가 결과는 너무 많은 선박의 AIS 데이터를 포함하고 있어 예시로 제시하기에 적절하지 않다. 따라서 비교적 통항량이 적은 곳에 위치한 범퍼 A와 범퍼 B의 평가 결과를 확인하고 다음과 같이 서술하였다.

Fig. 4-4는 범퍼 A의 평가 결과이다. 그림 상단의 eval{1,1}{1,4}{1,2}{1,1}은

첫째 항로, 네 번째 Leg, 두 번째 범퍼, 첫째 날 데이터의 평가임을 의미한다. 범퍼 A는 Fig. 4-1(b)에서 F구역에 해당하는 곳으로 교통량이 많지는 않으나 교차형태가 형성되는 곳에 위치해있다. 평가 결과에는 우현교차 선박이 3척, 추월 각도에서 다가오되 속도는 본선보다 느린 선박이 3척이 있다. 조우선박들의 충돌위험지수를 합하여 구한 충돌위험도는 9가 된다.

eval{1, 1}{1, 4}{1, 2}{1, 1}								
	1	2	3	4	5	6	7	8
	mmsi	utc	lat	long	sog	cog	diffas	danger
1	353116000	521022302	35.4549	129.4913	11.6000	16.9000	'RC'	3
2	440084000	521122244	35.4624	129.4941	6.7000	192.8000	'NN'	0
3	440100670	520190533	35.4620	129.4947	6.8000	196.1000	'NN'	0
4	440106310	521131623	35.4609	129.4840	11.8000	67.2000	'RC'	3
5	440121010	521115158	35.4526	129.4980	11	16.2000	'RC'	3
6	440140050	520192850	35.4551	129.4906	3.9000	119.6000	'NN'	0

Fig. 4-4 Risk assessment result of bumper A

mmsi : 범퍼 영역 통과선박의 선박식별번호

utc : 범퍼 영역 통과선박의 평가시각(월,일,시,분,초)

lat, long : 범퍼 영역 통과선박의 위, 경도(°)

spd, cog : 범퍼 영역 통과선박의 속도(knot), 코스(°)

diffas : 조우형태(H:마주침, LC/RC:좌/우현교차, OB:추월, NN:비추월)

danger : 조우형태에 따른 위험도값

Fig. 4-5는 범퍼 B의 평가 결과이다. 범퍼 B는 울산항에 입출항하는 선박이 남동 및 북서로 진행하는 항적과 울산항에 입출항하지 않고 멀리 떨어져 북동 및 남서로 진행하는 항적이 교차하는 곳에 위치해 있다. 울산항에서 멀리 떨어져있기 때문에 충돌위험도는 범퍼 A보다 비교적 낮다. 평가 결과는 아래 그림과 같이 앞에서 마주치는 선박이 2척으로 총 2점, 우현과 좌현에서 교차하는 선박이 각각 1척으로 총 7점, 추월형태이나 본선보다 느린 선박이 2척으로 총

0점이 계산된다. 이들의 충돌위험지수를 합산하여 충돌위험도를 구하면 8이 된다.

eval{1, 1}{1, 5}{1, 4}{1, 1}								
	1 mmsi	2 utc	3 lat	4 long	5 sog	6 cog	7 diffas	8 danger
1	273442740	521121556	35.3634	129.4913	11.9000	46'H'		1
2	304019000	520210955	35.3642	129.4904	15	33.5000'LC'		4
3	352879000	521031952	35.3697	129.4956	15.7000	127'RC'		3
4	354374000	520201143	35.3731	129.5099	8.6000	209.6000'NN'		0
5	440109610	521015948	35.3773	129.5050	10.1000	211'NN'		0
6	440113900	521085037	35.3633	129.4914	9.4000	44.1000'H'		1

Fig. 4-5 Risk assessment result of bumper B

시험해역에서는 하루의 AIS 데이터만을 사용하였으므로 여기서 평가된 충돌위험도의 크기가 해역에서의 절대적인 충돌위험도 평가 결과라 판단할 수는 없다. 따라서 실험해역에서는 10일간의 데이터를 활용하여 각 날짜별 충돌위험도를 계산하고 이를 산술평균하여 평균된 충돌위험도를 구하였다.

### 4.3 평가시스템의 실험해역 적용 및 결과

#### 4.3.1 실험해역

실험해역으로는 여수에서 부산까지 이르는 남해안의 해역을 선정하였다. 남해안은 우리나라 해역 중에서 선박교통량이 가장 많은 곳이다. 우리나라 주요 항구인 부산항과 부산신항, 여수·광양항 외에도 마산항, 진해항, 거제 고현항, 거제 옥포항 등 다양한 항구가 발달해 있고 지역별로 국가어항 및 지방어항이 분포되어 있어 화물선과 어선간의 해상교통이 복잡하다. 1981~2015년 통계에 따르면 남해안은 우리나라 해안 중에서 해양사고 발생률이 가장 높고 해가 지날수록 그 수치가 점점 증가하고 있는 추세이다[10].

## 1) 해상교통현황

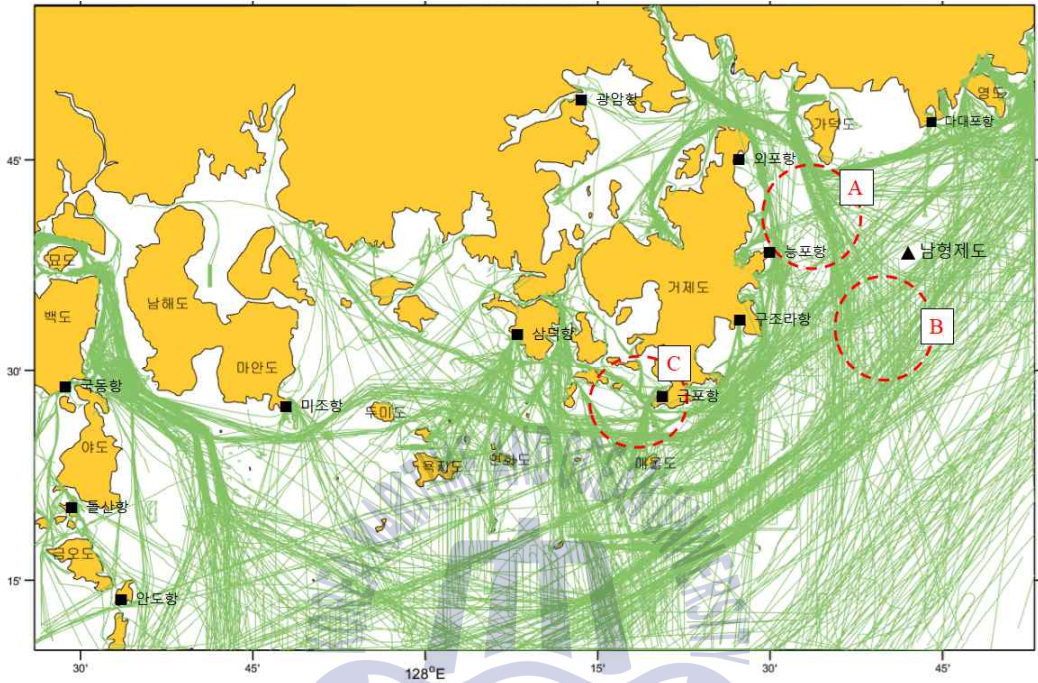


Fig. 4-6 Ship's trajectories on actual area

Fig. 4-6은 2017년 4월 15일 실해역의 하루 동안 선박항적을 나타낸 것이다. 북태평양과 남중국해 방향, 즉 북동 및 남서로 왕래하는 선박들과 남해안에 위치한 주요 무역항과 국가어항에서 입출항하는 선박들의 항적이 복잡하게 교차하는 것을 확인할 수 있다. 사각형 표식(■)은 우리나라 국가어항의 위치다. A 구역은 가덕도 남단의 해역으로 부산신항을 입출항하는 선박들이 교차형태를 이루고 국가어항인 외포항과 능포항이 인접해있어 항해 시 주의가 요구된다. B 구역은 남형제도 남단의 해역으로 부산신항을 입출항하는 북남 방향의 선박들과 대한해협을 지나려는 북동 및 남서 방향의 선박들이 교차형태를 이룬다. C 구역은 거제도 남단 매물도 부근으로 국가어항인 근포항을 입출항하는 선박들이 복잡한 항적을 형성하고 있다.



## 2) 선박 길이별 항로분석

선박의 길이가 길어지면 선박의 폭과 흘수도 커지고 이용할 수 있는 수로의 폭과 깊이도 그에 따라 제한된다.

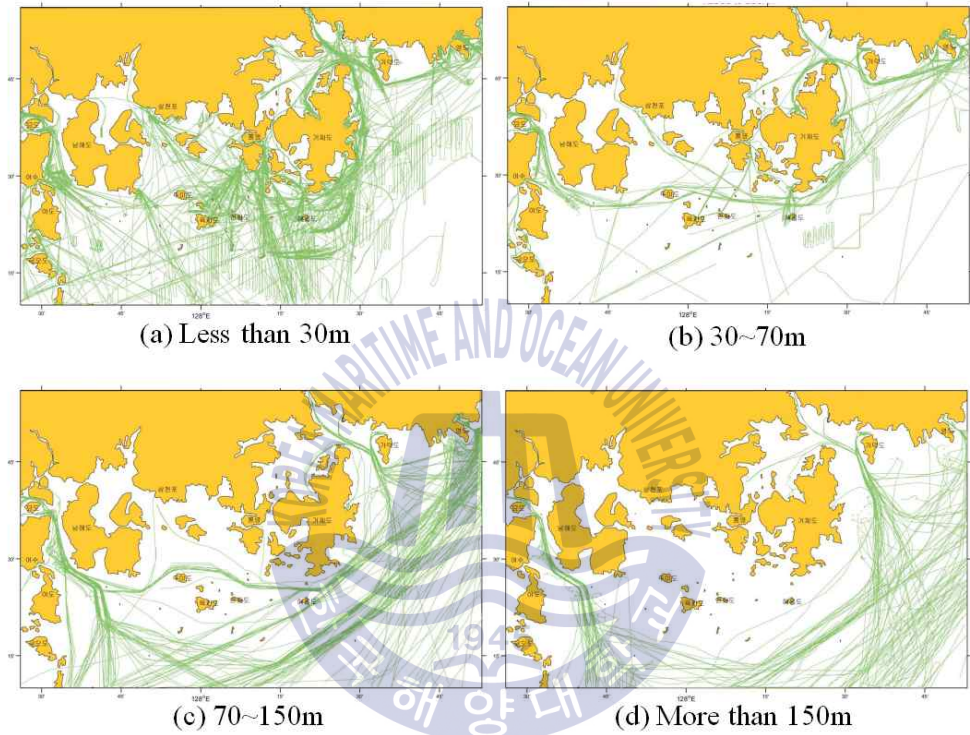


Fig. 4-7 The comparison of ship's trajectories according to ship's lengths

Fig. 4-7은 위와 동일한 날짜의 항적을 선박의 길이별로 나타낸 것이다. 어선을 고려하여 30m 미만, 소형 화물선과 예인선을 고려하여 30~70m, 중형 화물선을 고려하여 70~150m, 대형 화물선을 고려하여 150m 이상을 각각 적용하였다. 그림(a)에서 30m 이하의 선박은 주로 어선으로 흘수가 낮아 섬 사이를 자유롭게 통항하며, 개방해역에서는 항적이 복잡하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그림(b)에서 30~70m의 선박은 주로 소형 화물선과 예인선으로 대형 화물선에 비해 비교적 흘수가 낮다. 따라서 거리를 단축하기 위해 개방해역보다는 섬 사

이로 통항하며, 근처 항만을 입출항하는 항적을 볼 수 있다. 그림(c)에서 70~150m의 선박은 주로 중형 화물선이다. 0~70m의 선박과 마찬가지로 근처 항만을 입출항하지만 비교적 흘수가 깊은 선박은 천수해역(Shallow water)을 피하고 개방해역을 항해한다. 개방해역은 주변 항만을 입출항하는 선박들과 남해안을 지나쳐 남중국해로 향하거나 일본의 쓰가루해협으로 향하는 선박들로 항적을 이룬다. 그림(d)에서 150m 이상의 선박은 주로 대형 화물선이다. 70~150m의 선박과 마찬가지로 남해안을 지나치는 선박들과 주변의 항만을 입출항하는 항적이 있다. 하지만 비교적 흘수가 깊어 섬 사이를 통과하지 않고 개방해역을 이용한 항적이 보인다.

### 3) 30m 소형선과 타 선박의 조우

Fig. 4-8은 2017년 4월 15일 30m 미만의 소형선의 항적을 분홍색으로 그 이상의 길이를 가진 선박의 항적을 하늘색으로 출력한 것이다.

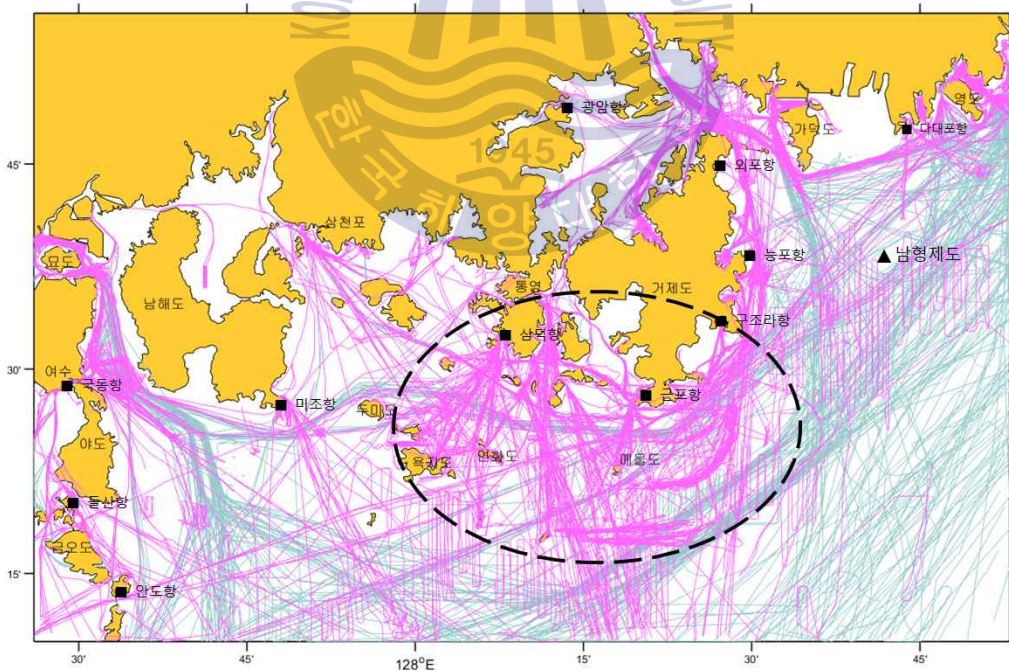


Fig. 4-8 Trajectory comparison between small ships and other ships

소형선은 주로 어선이다. 광암항을 제외한 개방해역을 마주하고 있는 대부분의 어항에 입출항하는 소형선들은 항구 앞에서 부채꼴 형태의 항적이 나타난다. 특히 거제도 남단의 근포항, 통영 남쪽의 삼덕항, 육지도, 연화도, 매물도 부근의 해역은 소형선의 항적이 그보다 큰 선박의 항로를 두드러지게 가로지르는 것을 확인할 수 있다. 또한 거제도 동안과 매물도 남안, 육지도 남안에 걸친 개방해역에는 중·대형 화물선의 주요 교통류가 있는데 이곳에 소형선이 남북으로 연속적으로 이동하는 항적이 있어 타 선박들의 통항에 영향을 줄 수 있음을 생각할 수 있다.

### 4.3.2 적용 및 결과

#### 1) 적용

##### (1) 항로

실해역에서는 선박의 길이, 출발시각, 항로 조건을 다르게 적용하여 충돌위험도를 평가하였다. 여기서 사용된 실항로는 실제 국내 H선사의 선박에서 사용하는 부산신항 부두로부터 광양항 부두까지의 항로이다. 선박의 길이와 항해시간에 따른 평가비교에서는 실항로만 이용하여 평가하였으나 항로비교 평가에서는 선박의 주요 교통류를 피한 추천항로를 만들어 비교하였다.

##### (2) 선박제원

실해역에서 선박의 길이는 시험해역과 동일하게 250m를 적용하였다. 속도는 자선 운항구간인 도선사 하선 지점과 도선사 승선 지점 사이에서 항해속도 16.5kt를 적용하고, 도선사 조종구간인 도선사 승하선 지점과 부두 사이는 조종속도 13.2kt를 적용하였다. 항해속도와 조종속도는 선박의 제원에 따라 다르게 적용이 가능하다.

## 2) 결과

### (1) 선박 길이에 따른 충돌위험도

선박 길이를 25m, 50m, 100m, 250m로 다르게 적용하여 충돌위험도를 평가해 보았다. 25m는 소형선, 50m와 100m는 중형선, 250m는 대형선의 선박길이를 고려한 길이이다.

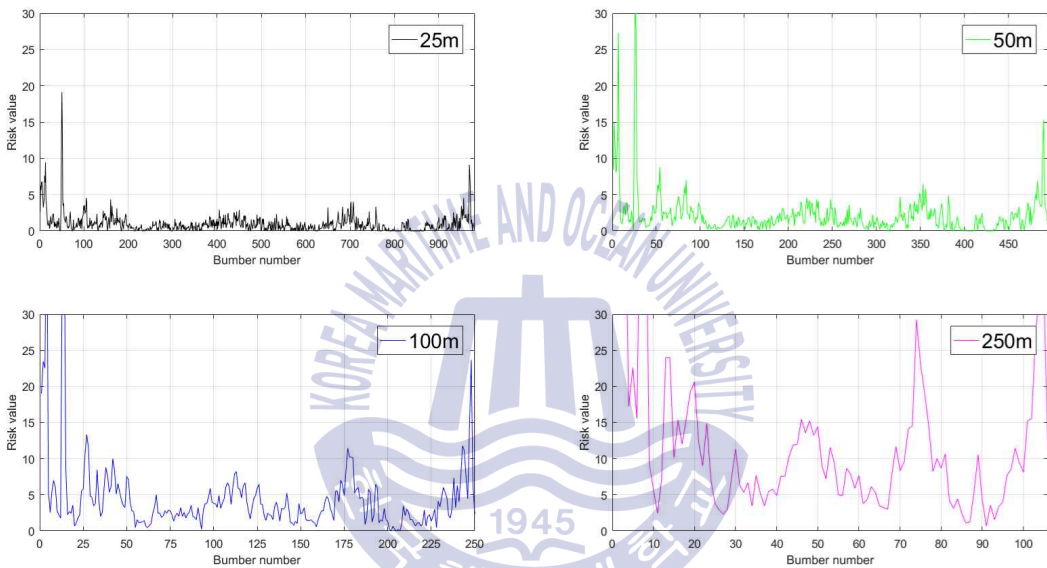


Fig. 4-9 The comparison of risk values according to ship's lengths

Fig. 4-9는 선박 길이에 따른 충돌위험도평가 결과를 그래프로 나타낸 것이다. X축은 항로에서 출항하는 부두로부터 배치된 범퍼의 오름차순 번호이고, Y축은 평가된 범퍼의 충돌위험도이다. 선박의 길이가 길어질수록 범퍼크기도 커지고 본선의 범퍼 영역을 통과하는 선박수도 증가하므로 충돌위험도가 높아지는 것을 볼 수 있다. Y축의 범위는 동일한 반면 X축의 범위가 선박 길이에 반비례하여 작아지는 것은 선박의 길이가 길어질수록 범퍼 영역이 커지게 되면서 길이가 고정된 항로상에 배치되는 범퍼 개수가 줄기 때문이다.

## 2) 항해시기에 따른 충돌위험도

출발시각을 UTC 00시부터 3시간 간격으로 다르게 적용하여 충돌위험도를 평가해보았다. Fig. 4-10은 출발시각에 따라 다르게 나타나는 충돌위험도를 평가한 그래프이다. 동일한 위치라도 출발시각을 다르게 적용하면 항해시기에 따라 충돌위험도가 다르게 나타난다.

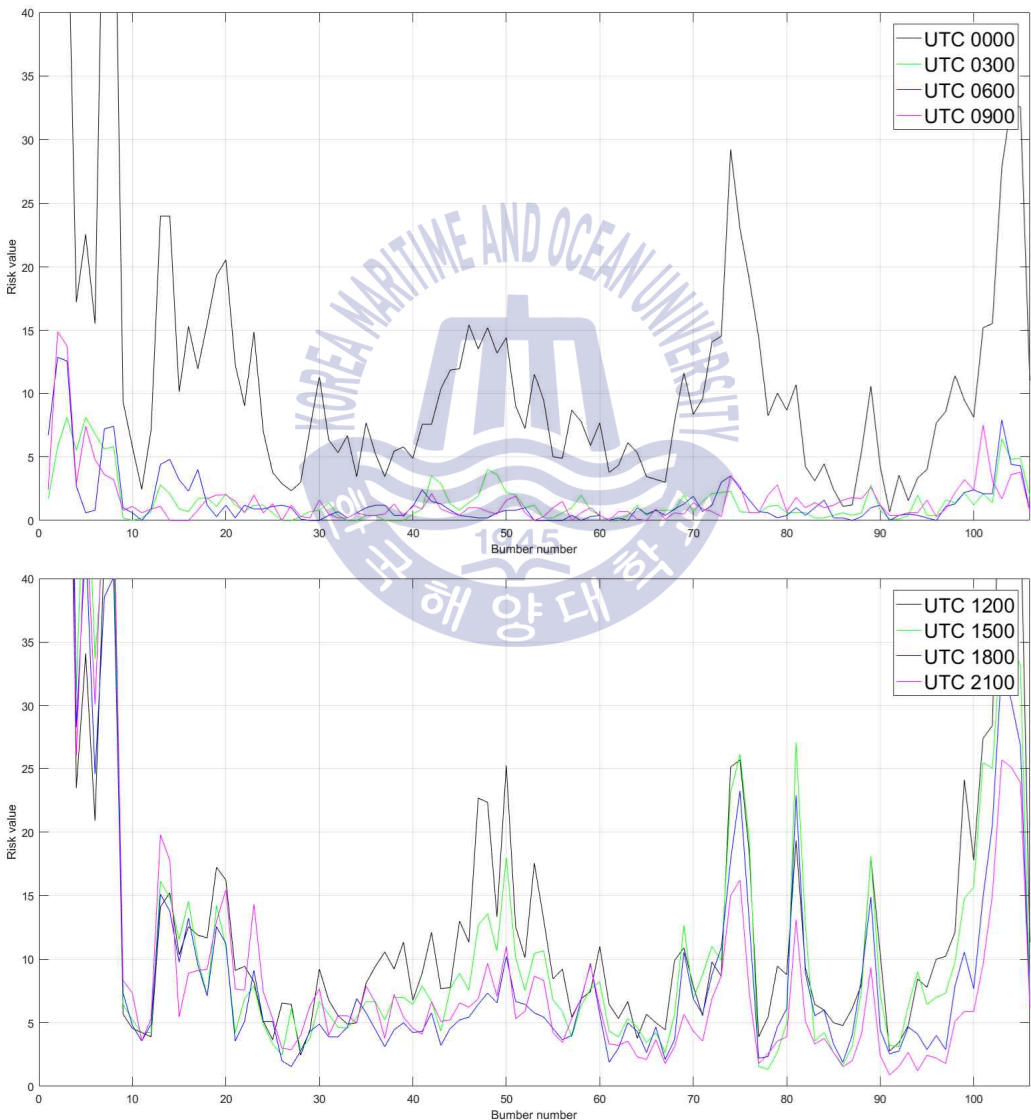


Fig. 4-10 The comparison of risk values according to various sailing times

Fig. 4-11은 출발시각별 선박조우빈도를 나타내고 있다. 마찬가지로 동일한 위치라도 출발시각을 다르게 적용하면 항해시기에 따라 조우빈도가 다르다.

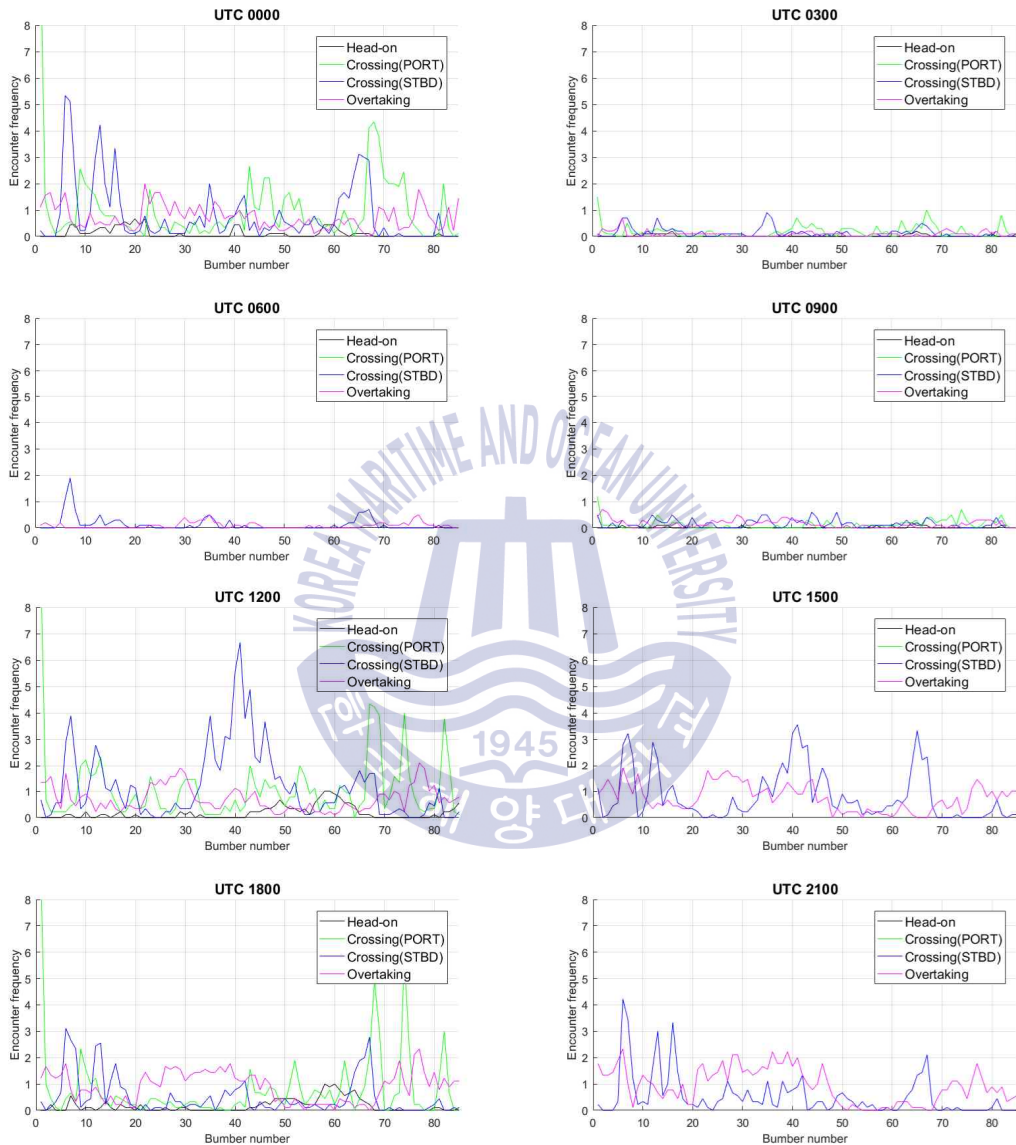


Fig. 4-11 The comparison of encounter frequencies according to various sailing times

### (3) 실항로와 추천항로의 충돌위험도 비교

실항로와 추천항로의 충돌위험도를 평가 및 비교하였다. 실항로는 실제 선사에서 이용하는 항로이며 추천항로는 전자해도에서 수심과 이안거리를 고려하고 AIS 데이터에 기초한 선박의 주요 교통류를 피하여 구성하였다.

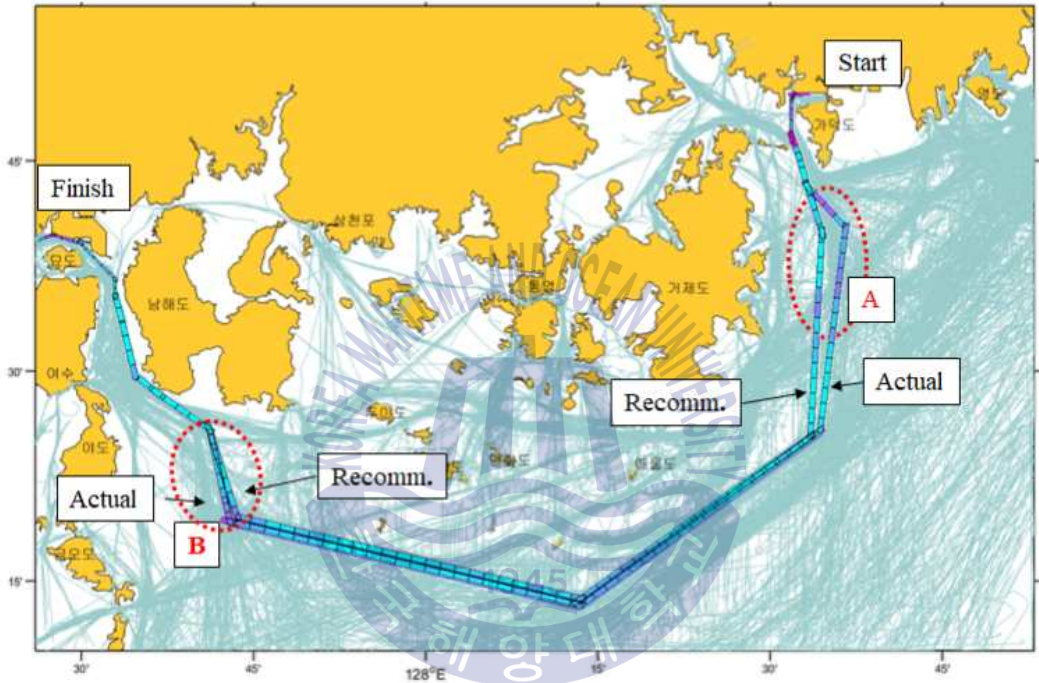


Fig. 4-12 Actual & recommended route

Fig. 4-12는 실항로와 추천항로의 충돌위험도의 상대값을 해도에 색으로 구분하여 나타낸 것이다. A 구역에서 실항로는 노선사 하선 후 가덕도 남서안에서 남동쪽으로 변침하여 항해한 후 원래 코스로 합류한다. 이는 남쪽으로부터 부산신항으로 입항하는 선박들을 피하려는 의도로 보인다. 그러나 시스템의 평가 결과를 보면 변침 없이 남쪽으로 그대로 항해하는 것이 오히려 더 안전한 것을 확인할 수 있다. B 구역에서는 실항로보다 추천항로의 변침각을 작게 하여 교통류를 피하고 거리를 단축하였다.

Fig. 4-13은 두 항로의 충돌위험도 그래프이고 Fig. 4-14는 항로에 따른 조우 형태별 빈도를 나타낸 것이다. A 구역에서는 추천항로의 충돌위험도가 실항로보다 많이 낮게 평가되었는데 이는 좌현교차와 우현교차 빈도가 추천항로에서 많이 줄었기 때문이다. B 구역에서는 A 구역보다 적은 차이로 추천항로의 위험도가 낮게 평가되었는데 이는 추천항로의 좌현교차, 우현교차, 추월 빈도의 차이가 실항로와 크게 다르지 않기 때문이다.

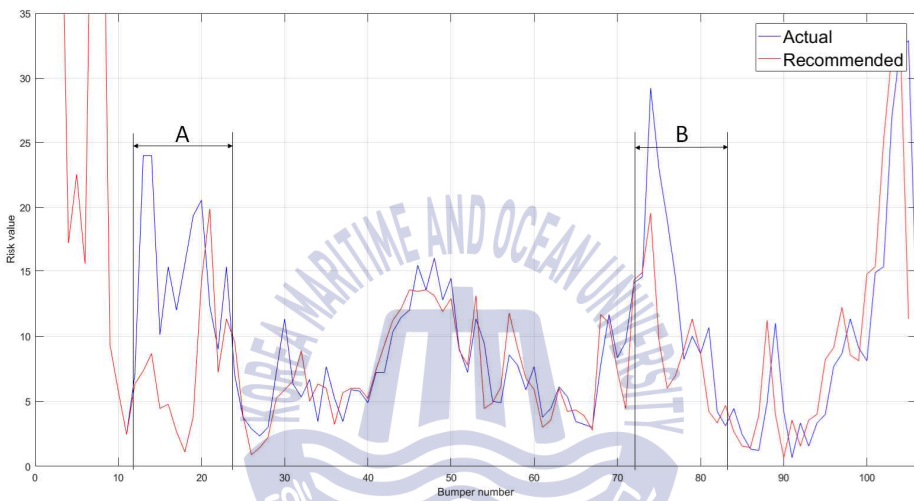


Fig. 4-13 The comparison of risk values according to routes

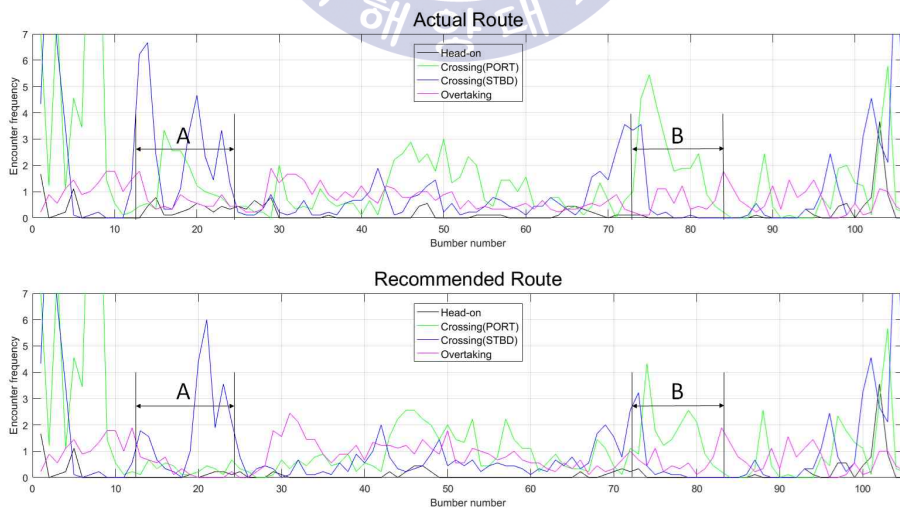


Fig. 4-14 The comparison of encounter frequencies according to routes



## 제 5 장 결 론

산업화로 인한 전세계 선박량 증가와 함께 선박충돌사고 예방에 대한 관심이 증대되었다. 충돌사고를 예방하기 위해 개발된 충돌위험평가모델들은 대표적으로 ES 모델, 교통혼잡도 모델, IWRAP 모델, PAWSA 모델이 있다. 이들은 주로 항만관리자나 항만관계사가 이용하기에 적합한 모델이며 실제로 현장에서 선박을 운항하는 항해사는 이러한 정보들로부터 소외되어 있다. 현재 연구 중인 한국형이네비게이션 최적안전항로서비스는 경제성과 안전성에서 최적화된 항로를 항해사에게 제공할 예정이다.

본 연구는 충돌위험에 대한 것으로 GICOMS에서 관리 중인 과거 AIS 데이터를 바탕으로 최적안전항로 설정을 위한 충돌위험도 평가시스템을 연구 및 개발하였다.

본 시스템의 충돌위험도 평가에는 두 가지의 이론이 고려되었다. 첫째는 범퍼이론이고, 둘째는 충돌위험지수에 관한 이론이다. 범퍼이론으로는 선박의 항해속도와 조종속도에 따라 두 가지 크기로 구분되는 Fujii & Mizuki의 범퍼이론을 적용하였다. 충돌위험지수이론으로는 먼저 COLREG에서 규정된 등화각도와 상대선의 방향에 따라 정의될 수 있는 조우형태를 고려하였다. 조우형태별로 교차각도, 접근속도, 피항방법(능동피항/수동피항)에 대한 가중치를 부여하고 이를 통해 충돌위험지수가 결정된다.

본 시스템의 평가순서는 다음과 같다. 먼저 해도를 도시하고 본선정보와 항로정보를 바탕으로 범퍼를 배치한다. 그 다음 과거 AIS 정보를 읽어 배치된 본선범퍼와 이를 통과하는 각 선박들의 조우형태에 따라 충돌위험지수를 부여하고 이를 합산하여 범퍼의 충돌위험도를 구한다.

시스템을 적용할 해역으로 시험해역인 울산항 접근수역과 실패역인 부산-여수에 이르는 남해안을 선정하였다. 평가에 앞서 시험해역과 실패역 모두 해역

에 대한 조사를 하고 특징들을 확인하였다. 시험해역에서는 평가시스템의 정상 작동 여부를 확인하기 위해 테스트 항로를 만들어 시험하고 그 결과 평가시스템에서 이상 없이 충돌위험도 평가가 진행된 것을 확인할 수 있었다. 실험해역에서는 선박의 길이, 항해출발시각, 항로 조건을 다르게 적용하여 항로상의 충돌위험도를 평가하였다. 그 결과 선박의 길이가 증가할수록 범퍼 영역이 커지면서 충돌위험도가 증가하였다. 선박출발시각을 다르게 적용해 충돌위험도를 평가했을 때 같은 항로일지라도 타 선박과의 조우빈도가 달라져 충돌위험도가 다르게 나타났다. 실험항로와 추천항로 사이의 충돌위험도를 비교한 결과 추천항로의 충돌위험도가 실험항로에 비해 낮게 나타났다. 이러한 평가 결과들을 통해 본 평가시스템의 유효성을 확인할 수 있었다.

본 연구의 미비점은 다음과 같다. 첫째, AIS 정보로는 소형어선 등 AIS 장비를 탑재하지 않은 선박들의 움직임을 고려할 수 없고, AIS 장비가 탑재되었더라도 장비의 상태와 항해사의 이용방법 숙지 등의 문제로 완전한 해상교통류를 분석하지 못한다[16]. 따라서 과거 AIS 데이터를 이용한 본 시스템은 어느 정도의 오차를 포함할 수 있다. 둘째, 선박의 정적인 위치관계를 바탕으로 충돌위험도를 평가하였기 때문에 선박간의 상대속도를 독립변수로 고려하지 않았고 상대선을 범퍼 영역 대신 점으로 간주하여 평가를 하였다. 셋째, 항해자 관점으로 가중치를 부여하여 충돌위험지수를 만들었으나 정량적인 근거를 제시하기에 부족하다. 이러한 부족한 점들은 추후 연구에서 보완되어야 할 사항이다. 몇 가지 연구의 미흡한 점에도 불구하고 본 연구의 가치는 제한되지 않은 해역에서 선박의 항로계획에 따른 충돌위험도를 평가하는데 있다고 볼 수 있다.

지금까지 해상에서의 인명과 재산 그리고 해양환경을 지키기 위한 연구자들의 노력들이 있어왔다. 본 연구 또한 해상의 선원들과 선박의 안전을 위해 조금이나마 기여할 수 있기를 기대해본다.

## 감사의 글

모교에 재학 중인 후배들과 대화하고 싶어 승선생활을 마무리 짓고 하선한지 이제 4년이 되어갑니다. 하선 후 처음 2년 동안 한국해양교회 간사로 근무하면서 학생들과 함께 웃고 울던 시간들이 있었습니다. 돌이켜보면 그 시간 동안 다짐하고 소원하던 것들이 대학원 생활의 가장 큰 버팀목이 된 듯합니다. 저에게 그러한 발을 허락해 주신 하나님께 감사드리며 저를 위해 기도해주시는 해양교회 이요한 목사님과 섬겨주신 베다니 사역팀 그리고 저와 함께 해준 베다니 학생들에게 감사드립니다. 또한 대학청년들에 대한 마음을 함께 나누었던 한국해양대학교 교수신우회 교수님들과 해기연 김지훈 간사님, 길민준 간사님, 김영광 간사님, 김은수 간사님, 허성은 간사님께 감사드립니다.

후배들을 만나고 싶다는 동기로 시작은 했지만 학문방향을 정하지 못한 처음 대학원 생활은 진북을 잃은 나침반처럼 방향이 불분명했습니다. 그런 과정 가운데서도 무엇을 공부하고 싶은지 스스로 생각할 수 있도록 충분한 시간과 기회를 주신 정연철 교수님께 감사를 드립니다. 교수님께서 도전을 주셨기에 여러 학문분야를 탐구해보고 가장 가슴 뛰는 방향을 정할 수 있었습니다. 또한 교수님은 신앙적으로도 언제나 본을 보여주셨습니다. 사모님과 함께 부족한 제자를 위해 기도해주시는 것에 감사드립니다.

논문심사를 위해 수고해주시고 학자가 되기까지 삶을 나누어주신 한국해양대학교 항해학과 송재욱 교수님, 박영수 교수님, 공부에 대해 고민할 때 상담해주신 해사수송과학부 김시화 교수님, 기관시스템공학부 윤용섭 교수님, 항해학과 설동일 교수님, 유윤자 박사님, 고신대학교 신학과 Gabriel 교수님, 한국해양수산개발원 박한선 실장님, 김우호 본부장님, 김종덕 본부장님, 류희영 연구원님, 서울대학교 조선공학과 유원철 연구원님께 감사드립니다. 대학원 생활에 지칠 때 응원을 해주신 항해학과 반보봉 선배, 국제대학 임상섭 선배, 압둘라 선배, 영국 최정환 선배, 동기 이두형 겸임교수, 해양정책학과 김찬란 선배에게 감사드립니다. 또한 “할 수 있다!” 를 항상 각인시켜 주신 박향선 목사님, 김지은 사모님, 기도하시는 홍준기 목사님께 감사드립니다.

마지막으로 아들을 항상 믿어주시는 아버지께 감사드립니다. 사랑합니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 강원식, 박정대, 조익순, 김대희, 2014. 국내 연안 최적안전항로시스템 개념설계에 관한 고찰, 해양환경안전학회
- [2] 김광일, 정중식, 박계각, 2013. 선박항로 위험도평가 시뮬레이터 개발에 관한 연구, 한국지능시스템학회
- [3] 김대원, 2011. 해상교통안전성 평가모델 개발을 위한 기초 연구. 석사학위논문. 한국해양대학교 pp.16-41
- [4] 김동균, 정중식, 박계각, 2011. 국제해상충돌예방규칙에 따른 충돌회피알고리즘에 관한 연구, 한국지능시스템학회
- [5] 김성태, 이한교, 공인영, 2017. 통항선박의 점용영역 밀집도 분석을 통한 해상교통혼잡도 평가 개선에 관한 연구, 해양환경안전학회
- [6] 박영수, 박상원, 조익순, 2015. 선박운항자 의식 기반 충돌 위험도 예측모델 개발에 관한 연구, 한국항해항만학회지
- [7] 박진수, 박영수, 나송진, 해상교통공학·정책론, 2013. pp.187-191 pp.256-266
- [8] 이윤석, 박준모, 안영중, 2014. 충돌위험 회피를 위한 선박 운항자의 초동조치에 관한 연구, 한국항해항만학회지
- [9] 이진석, 2017. 해상교통관제사 관점에서의 선박 충돌 위험도 모델 개발에 관한 연구. 공학박사 학위논문. 한국해양대학교
- [10] 중앙해양안전심판원, 2017. 해양안전백서, pp.52-54, pp.61-62,
- [11] 한국형이네비게이션사업단, 2017. SV30 최적안전항로제공서비스 운용개념기술서 1.20 p.1
- [12] 해상교통안전진단시행지침, 해양수산부고시 제2014-14호
- [13] 해양수산부 보도자료 2016.11.21. 이네비게이션
- [14] 해양수산부, 2015. 울산항 요약보고서
- [15] EfficienSea, 2012. Analysis of the near-collisions using AIS data for the selected locations in the Baltic Sea, p.4
- [16] Andy Norris, 2007. AIS Implementation - Success or Failure?, The Journal

of Navigation

- [17] IALA, 2009. IALA Recommendation O-134 on the IALA Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways, Edition2
- [18] Inoue, 2000. Evaluation Method of Ship-handling Difficulty for Navigation in Restricted and Congested Waterways
- [19] International Regulations for Preventing Collisions at Sea
- [20] Park, J. S. & Park, Y. S., 2014, Marine Traffic Safety Diagnostic Scheme in Korea, The 12th Annual General Assembly of IAMU
- [21] M. Hanninen & P. Kujala, 2015. The Effects of Causation Probability on the Ship Collision Statistics in the Gulf of Finland
- [22] USCG, 2010. Chapter1 : Introduction to PAWSA
- [23] USCG, 2010. PAWSA Final Report, Savannah
- [24] USCG, 2016. AIS comparison by Class
- [25] Y. Fujii & K. Tanaka, 1971. Traffic capacity. Journal of Navigation, 24, p.543
- [26] Y. Fujii & K. Hara, 1981. Marine Traffic Engineering, Kaibundo, p.123
- [27] Y. Fujii & N. Mizuki 1998, Design of VTS systems for water with bridges, Proceeding of the int'nal symposium on advanced in ship collision analysis
- [28] Zhao. J & Wu. Z & Wang. F, 1993. Comments on Ship Domains, Journal of Navigation.
- [29] Gyeongsang Ilbo, Ulsan Main Route  
<http://m.ksilbo.co.kr/news/articleView.html?idxno=267977#cb>
- [30] IWRAP, Predicting Collision Frequencies  
[http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Predicting\\_Collision\\_Frequencies](http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Predicting_Collision_Frequencies)
- [31] IWRAP, Probabilistic Collision and Grounding  
[http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Probabilistic\\_Collision\\_and\\_Grounding\\_Analysis](http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Probabilistic_Collision_and_Grounding_Analysis)

[32] IWRAP, Causation Probabilities

[http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Causation\\_Probabilities\\_from\\_Literature](http://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/Causation_Probabilities_from_Literature)

[33] M\_map

<https://www.eoas.ubc.ca/~rich/research.html>

[34] MATLAB Cell Concept

[http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/MATLABhelp/techdoc/MATLAB\\_prog/ch13\\_c11.html](http://www.ece.northwestern.edu/local-apps/MATLABhelp/techdoc/MATLAB_prog/ch13_c11.html)

