

AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구

A Study on the Development of AIS Data-Based Marine Traffic
Risk Assessment Model

황선일 · 박상원 · 이경미 · 박민정



한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	황선일, 박상원, 이경미, 박민정
내부연구진	연구책임자 황선일 한국해양수산개발원 해운·물류연구본부 부연구위원 공동연구원 박상원 한국해양수산개발원 해운·물류연구본부 전문연구원 공동연구원 이경미 한국해양수산개발원 해운·물류연구본부 연구원 공동연구원 박민정 한국해양수산개발원 항만연구본부 연구원

연구기간	2021. 1. 1. ~ 2021. 10. 31.
------	-----------------------------

보고서 집필내역

연구책임자	황선일 제1장 제1절 일부
내부연구진	박상원 연구총괄, 제1장 제1절~제3절 일부, 제2장 제1절~제3절 일부, 제3장 제1절~제3절 일부, 제4장, 제5장 이경미 제2장 제1절 일부, 제4장 제1절 일부 박민정 제2장 제1절~제2절 일부, 제3장 제2절 일부, 제4장 제1절 일부

산·학·연·정 연구자문위원	박영수 한국해양대학교 교수 여기태 인천대학교 교수 이상윤 인하대학교 교수 이민중 해양수산부 서기관
-------------------	---

※ 순서는 산·학·연·정 순임

발간사

해양사고 예방을 위한 지속적인 노력에도 불구하고 해양사고는 꾸준히 발생하고 있다. 중앙해양안전심판원에서 발행한 통계연보에 따르면, 최근 5년간 발생한 해양사고는 1만 3,687건이다. 그중 1,238건이 발생한 충돌사고의 경우 발생 비율은 낮은 편이지만, 5년간 내려진 전체 심판의 31.6%(392건)를 차지할 정도로 사고 규모나 피해 규모 면에서 파급력이 큰 사고이다. 특히 2017년 15명의 사망자를 낸 인천 영흥수도 낚시어선과 급유선 충돌사고, 2021년 12월 여수 거문도 해상에서 발생한 어선과 화물선 충돌사고는 국민에게 큰 충격을 주면서 다시 한번 해양사고에 대한 경각심을 일깨웠다.

한편 산업 전반에 퍼진 디지털화 등 4차 산업혁명의 물결은 해운 분야에도 큰 영향을 미치고 있다. 올해 1월 시행한 바다 내비게이션 서비스, 2025년 개발 완료를 목표로 수행 중인 자율운항선박 기술 개발 등은 해운 분야의 대표적인 4차 산업혁명의 산물이라 할 수 있다. 이러한 기술의 최종적인 목적은 해양사고 원인의 대부분을 차지하는 인적 사고를 예방하기 위함이며 충돌사고 예방을 위한 기술은 서비스나 시스템의 핵심 요소라 할 수 있다.

해양사고의 예방 정책을 마련하기 위해서는 해양사고의 핵심 원인을 분석하고 선박 운항자의 행동을 수치화하는 모형과 관련한 연구가 필요하다. 본 연구는 주관적인 선박 운항자의 충돌 위험에 관한 생각을 정량화하였고, 해양사고 발생 위치를 이용하여 해양공간의 위험도를 제시한 모델을 개발하였다. 이를 통해 선박 내부 요인과 선박 통항 환경을 고려하여 해역 위험도를 수치화할 수 있는 가능성을 제시하여 유의미한 성과로 평가할 수 있을 것이다. 본 연구가 향후 해양사고 예방을 위한 정책 판단의 기초자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

코로나19 상황으로 연구 추진이 원활하지 않았음에도 불구하고 지혜롭게 연구를 수행한 우리 원의 황선일 부연구위원, 박상원 전문연구원, 이경미 연구원, 박민정 연구원의 노고에 깊은 감사를 표한다. 아울러 연구 전반에 걸쳐 세심한 관심을 갖고 조언해 주신 한국해양대학교 박영수 교수, 인천대학교 여기태 교수, 인하대학교 이상윤 교수, 해양수산부 이민중 서기관께도 감사드린다. 끝으로 이 보고서의 심사와 감리를 맡

아 적절한 지적과 충분한 조언을 해 주신 우리 원의 박용안 명예연구위원과 김태일
해운·물류연구본부장 그리고 보고서가 출판되기까지 도움을 주신 모든 분께 깊은 감
사를 드린다.

2021년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

요약_i

Executive Summary_vii

01

서론_1

제1절 연구 배경 및 목적	1
1. 연구 배경 및 필요성	1
2. 연구 목적	3
제2절 연구 내용과 방법	4
1. 연구 내용	4
2. 연구 방법	6
제3절 선행연구 검토	7
1. 선행연구	7
2. 본 연구와 선행연구의 차별성	13

02

해상교통 환경 및 해양사고 분석_15

제1절 해상교통 환경 및 관련 제도 분석	15
1. 주요 항만별 항만물동량 분석	15
2. 선박교통관제 제도	20
3. 해상교통안전진단 제도	28
제2절 최근 5년간 해양사고 분석	34
1. 해양사고 빈도 분석	34
2. 해양사고 심각도 분석	41
3. 재결서 주요 원인 분석	51
제3절 시사점	53
1. 물동량 증가와 더불어 복잡해지는 해상교통 환경	53
2. 다양한 기법을 통한 선박통항 해역의 정량적인 진단 필요	54

3. 충돌사고는 파급력이 큰 심각한 사고	55
------------------------	----

03 해상교통 안전 평가모델 개발_57

제1절 국제해상충돌예방규칙에 따른 충돌회피 과정	57
1. 충돌위험의 판단	58
2. 조우상황	59
제2절 주요 선박충돌 위험도 모델 사례	64
1. IWRAP 모델	64
2. ES 모델	71
3. AISyRisk	77
4. PARK 모델	84
5. CoRI 모델	88
6. 시사점	91
제3절 위험도 모델 및 결과 분석	93
1. 설문조사를 통한 내부 요인 분석	93
2. 충돌사고 공간분석을 통한 외부 요인 분석	106
3. 내부 요인과 외부 요인을 이용한 최종 모델 도출	123

04 AIS 데이터를 활용한 부산항 인근해역 해상교통안전 평가 모델 적용_125

제1절 교통 분야 위험도 지도 사례	125
1. 도로교통	125
2. 항공교통	129
3. 항만 해양안전지수	135
제2절 선박충돌 위험도 지도	136
1. 자료 및 범위	136
2. 다른 모델과 비교·분석	138
3. 주요 충돌 위험구역 도출	142

05

결론 및 제언_147

제1절 요약 및 결론	147
제2절 제언	150
1. 본 연구 기여	150
2. 제언	151

참고문헌 _159

표 목차

〈표 1-1〉 주요 선행연구 정리 및 비교	10
〈표 2-1〉 주요 항만별 항만물동량	16
〈표 2-2〉 부산항 항만물동량	17
〈표 2-3〉 광양항 항만물동량	17
〈표 2-4〉 울산항 항만물동량	18
〈표 2-5〉 인천항 항만물동량	18
〈표 2-6〉 평택·당진항 항만물동량	19
〈표 2-7〉 그 외 항만 항만물동량	19
〈표 2-8〉 「선박교통관제에 관한 법률」 법령 체계도	22
〈표 2-9〉 VTS센터 운영 현황	23
〈표 2-10〉 VTS 구역별 관제 대상 선박	27
〈표 2-11〉 안전진단대상사업의 범위	28
〈표 2-12〉 안전진단대상사업별 안전진단 항목	31
〈표 2-13〉 최근 5년간 해양사고 총괄	34
〈표 2-14〉 해역별 해양사고 현황	35
〈표 2-15〉 월별 해양사고 현황	36
〈표 2-16〉 시간대별 해양사고 현황	37
〈표 2-17〉 사고 종류별 해양사고 현황	38
〈표 2-18〉 선박 용도별 해양사고 현황	39
〈표 2-19〉 사고 종류별, 선박 용도별 해양사고 현황	40
〈표 2-20〉 IMO의 심각도별 해양사고 정의	41
〈표 2-21〉 해양사고 심판불필요처분 기준	42
〈표 2-22〉 심각도 관련 해양사고 기준	44
〈표 2-23〉 심각도별 해양사고 구분 기준	45
〈표 2-24〉 최근 3년간 심각도별 해양사고 총괄	45
〈표 2-25〉 심각도별 해역별 해양사고 현황	46
〈표 2-26〉 심각도별 월별 해양사고 현황	48
〈표 2-27〉 심각도별 시간대별 해양사고 현황	49
〈표 2-28〉 심각도별, 사고종류별 해양사고 현황	49
〈표 2-29〉 심각도별, 선박 용도별 해양사고 현황	50

〈표 2-30〉 사고 종류별 재결 현황	51
〈표 2-31〉 사고 종류별 해양사고 원인 현황	52
〈표 3-1〉 제7조 충돌의 위험 조문	59
〈표 3-2〉 제14조 마주치는 상태 조문	60
〈표 3-3〉 제13조 추월하는 상태 조문	60
〈표 3-4〉 제15조 교차하는 상태 조문	61
〈표 3-5〉 IALA에서 제시하는 기본 인과요인 값	71
〈표 3-6〉 해양사고 유형 및 계산 원리	78
〈표 3-7〉 조우상황별 안전영역 반지름	79
〈표 3-8〉 선종별 조우상황별 인과 요인(확률)	80
〈표 3-9〉 선종별, 사고 종류별 인명손실 발생 확률	82
〈표 3-10〉 PARK 모델 위험도 계산 요소	84
〈표 3-11〉 주요 충돌위험도 모델의 주요 변수 비교	93
〈표 3-12〉 컨조인트 분석을 위한 충돌 위험도의 속성 및 수준	96
〈표 3-13〉 속성 및 수준별 시나리오	97
〈표 3-14〉 설문 응답자 정보	99
〈표 3-15〉 시나리오의 독립표본 T검정 결과	101
〈표 3-16〉 내부 요인의 독립표본 T검정 결과	103
〈표 3-17〉 전체 컨조인트 분석 결과	104
〈표 3-18〉 충돌사고 공간분석을 위한 변수	111
〈표 3-19〉 로지스틱 회귀분석 결과	113
〈표 3-20〉 로지스틱 회귀분석을 이용한 혼돈행렬	115
〈표 3-21〉 의사결정나무 모델을 이용한 혼돈행렬	117
〈표 3-22〉 랜덤포레스트에 사용된 변수 중요도	117
〈표 3-23〉 랜덤포레스트 모델을 이용한 혼돈행렬	119
〈표 3-24〉 인공신경망에 사용된 변수의 상대적 중요도	120
〈표 3-25〉 인공신경망 모델을 이용한 혼돈행렬	121
〈표 3-26〉 충돌사고 공간분석 모델 비교	122
〈표 4-1〉 도로 위험도지수 산출 절차 및 변수의 조작적 정의	126
〈표 4-2〉 도로유형별 영향계수 도출 결과	127

〈표 4-3〉 도로위험도 평가 매트릭스	128
〈표 4-4〉 위해 요인별 발생 결과의 심각도 구분	131
〈표 4-5〉 위해 요인별 발생 결과 빈도	132
〈표 4-6〉 대상 해역 충돌사고 위치	145
〈표 5-1〉 항만·항행구역 대상 평가항목	153

그림 목차

〈그림 1-1〉 연구 흐름도	5
〈그림 2-1〉 전국 항만물동량 추이	16
〈그림 2-2〉 선박교통관제 법적 프레임워크 및 관련 지침	21
〈그림 2-3〉 전국 VTS센터 현황 및 위치도	26
〈그림 2-4〉 해상교통안전진단 업무 절차	30
〈그림 3-1〉 타 선박 위치 및 침로에 따른 구분	62
〈그림 3-2〉 조우상황 판단 차트	62
〈그림 3-3〉 수정된 조우상황 판단 차트	63
〈그림 3-4〉 마주치는 상황	66
〈그림 3-5〉 교차하는 상황	68
〈그림 3-6〉 선박 충돌 반경	69
〈그림 3-7〉 AISyRisk 모델 기본 구조	77
〈그림 3-8〉 AISyRisk 모델에서 사용하는 안전영역	79
〈그림 3-9〉 해양사고 위험도 모델을 이용한 가시화	83
〈그림 3-10〉 PARK 모델 위험도 계산 요소	86
〈그림 3-11〉 PARK 모델 위험도 조정 매트릭스	87
〈그림 3-12〉 선박 조우각도에 따른 위험지수	89
〈그림 3-13〉 대상 해역 및 충돌사고 위치(2018~2020년)	106
〈그림 3-14〉 수산자원별 포획 금지기간	111
〈그림 3-15〉 의사결정나무 분석 결과	116
〈그림 3-16〉 인공지능경망을 이용한 모델	119
〈그림 4-1〉 위험도로예보시스템 기반의 도로 위험도 지도	129
〈그림 4-2〉 항공안전 위험도관리 세부 절차	130
〈그림 4-3〉 위험도 평가 매트릭스	133
〈그림 4-4〉 위험도 평가 결과에 따른 조치 수준 기준	134
〈그림 4-5〉 위험도 대장(Risk Register)	134
〈그림 4-6〉 항만 해양안전지수 산출 알고리즘	135
〈그림 4-7〉 항계안전 해양정보 제공 시스템 화면	136
〈그림 4-8〉 대상 해역의 AIS 데이터	137
〈그림 4-9〉 해역 위험도 도출 콘셉트	139

〈그림 4-10〉 모델별 위험도 지도	141
〈그림 4-11〉 연구 모델을 이용한 위험도 지도(7일간 누적)	143
〈그림 4-12〉 대상 해역의 위험도 지도와 충돌사고 발생 위치	144
〈그림 5-1〉 해양공간특성평가 비교	154
〈그림 5-2〉 해로드 내 충돌위험 서비스 제공(안)	155
〈그림 5-3〉 해양사고 예방정보 예시	157

요약

1. 연구의 목적

- 본 연구는 우리나라 해상교통 환경을 반영한 해상교통 안전 평가모델을 개발하기 위해 진행함
 - 선행연구의 분석과 우리나라에서 발생했던 선박 충돌사고 데이터를 기반으로 모델을 개발하는 것이 주된 목적임
 - 최근 5년간 우리나라 연안해역에서 발생한 충돌사고 데이터와 선행연구에서 제시된 충돌 위험도 요인 간 관계 분석을 통해 모델을 개발함
 - 현재 사용되고 있는 충돌위험도 모델 간 비교를 통해 모델의 우수성을 검증함
- 우리나라 연안해역 중 선박 입출항이 빈번한 부산항 부근 해역을 대상으로 위험도 지도를 제시하고자 함
 - 해상교통 안전 평가모델은 공간의 개념을 포함하고 있으므로, 위험도 지도에 등급별로 전시하면서 시각적으로 위험구역을 표시할 수 있음
 - 그와 함께 위험도 지도와 실제 충돌사고 발생 위치를 비교함으로써 제시한 위험도 지도를 검증함

2. 연구의 방법 및 특징

1) 연구의 방법

- 본 연구에서는 우리나라 해상교통 환경 현황을 파악하기 위해 항만물동량, 해양사고 통계를 분석함
- 국내외 해상교통 안전 평가모델 관련 선행연구를 분석하여 평가모델의 주된 요소를 도출함
- 해상교통 안전 평가모델을 개발하기 위하여 선박운항자 설문조사, 머신러닝 등의 방법을 활용함
- 본 연구에서 도출된 해상교통 안전 평가모델은 GIS 프로그램을 이용하여 가시화했으며, 실제 발생한 해양사고와 비교 검증함

2) 연구의 특징

- 본 연구는 기초연구로 선행연구를 통해 해상교통 안전 평가모델의 주된 요소를 도출하고 평가를 위한 모델을 개발, 검증함
- 개발된 모형은 해상교통 관련 내부 요인과 외부 요인을 고려하여 도출함으로써 선박 간 실시간 평가뿐만 아니라 공간의 평가도 가능함
- 해상교통 안전 평가모델을 가시화함
- 가시화된 해상교통 안전 평가모델은 대상 해역에서 직관적으로 위험한 구역을 확인할 수 있으며, 해역 안전에 관한 정부정책 수립 시 활용할 수 있는 기초 모형을 제시함

3. 연구 결과

1) 연구 결과 요약

- 기존 해상교통 안전 평가모델 분석을 통해 한계점을 파악하고 내부 요인과 외부 요인을 동시에 고려할 수 있는 모델을 개발함
 - 내부 요인은 선행연구를 통해 도출된 선박 간 이격거리, 조우관계, 선박 속력을 주요 변수로 적용하고 컨조인트 방법론으로 중요도를 도출함
 - 최근 5년간 우리나라 연안해역에서 발생한 충돌사고를 종속변수로 로지스틱 회귀분석, 의사결정나무, 랜덤포레스트, 인공신경망 모델을 사용하여 충돌사고 발생 확률을 도출함
 - 외부 요인은 충돌사고 발생 확률 모형 중 정확도가 높았던 랜덤포레스트를 이용하여 도출함
 - 내부 요인과 외부 요인 간 영향력과 관련한 설문조사를 통해 최종 해상교통 안전 평가모델 가중치를 결정함
- GIS 프로그램을 이용하여 부산항 부근 해역을 대상으로 해상교통 안전 평가모델을 적용, 가시화하여 위험구역을 도출함
 - 기존에 사용되는 평가모델과 본 연구를 통해 도출된 평가모델을 이용하여 위험도 지도를 제시했으며, 평가모델은 조우하는 선박 간 요소뿐만 아니라 항행하는 구역의 환경도 동시에 고려할 수 있는 특징이 있음
 - 최근 3년간 발생한 부산항 부근 충돌사고와 위험구역을 비교했으며, 모든 해양사고는 제시한 모델의 위험구역에서 발생한 것으로 분석되었음
 - 이를 통해 위험도의 밀도로 분류한 위험도 지도는 현실의 충돌 위험을 잘 반영하는 것으로 판단함

2) 정책 대안 제시 내용 및 정책화 활용

- 본 연구에서 개발한 해상교통 안전 평가모델은 선박 간 조우 관계에서 발생하는 내부 요인과 선박이 운항하는 환경과 관련한 외부 요인을 모두 고려하여 정량적인 값을 도출한 점에서 학술적 의의가 있음
- 본 연구에서 사용한 데이터는 3년간(2018~2020년)의 해양사고 데이터로 지속적인 업데이트를 통해 모델을 강화할 필요가 있음
- 향후 내부 요인의 변수를 다양화하고 상황별 시나리오를 추가하는 연구를 통한 모델 고도화가 필요할 것으로 판단됨
- GIS 프로그램을 이용한 위험도 지도는 해상교통 안전 평가모델과 연계하여 가시화할 수 있는 방안을 제시하여, 일반 국민이 쉽게 해역의 안전정보를 확인할 수 있는 기반을 마련함
- 최근 수요가 늘고 있는 해양공간의 용도 결정 시 정책 판단의 기초가 될 수 있음
- 모델을 적용할 수 있는 플랫폼 개발 등 대국민 서비스를 통해 해양안전에 관한 국민 인식 향상 정책으로 연계 가능성이 있음

3) 정책적 기여 등 기대효과

- 해상교통 안전 평가모델에서 도출되는 정량적인 값은 해상교통안전 진단이나 해양공간 관리 계획 등 정책 대안 선택을 위한 지표로 활용될 수 있음
- 소형선 및 수상레저기구 이용자가 많이 사용하는 해로드 앱 플랫폼에 해상교통안전 평가 결과 전시를 통해 충돌사고 예방에 기여할 수 있음

- 중앙해양안전심판원에서 매월 제공하는 ‘해양사고 예방정보’에 기초 자료로 활용되어 선박운항자, 선사 등에게 연안해역의 해상교통안전 정보를 제공할 수 있음

EXECUTIVE SUMMARY

1. Purpose

- This study is to develop a maritime traffic safety evaluation model that reflects the maritime traffic environment of Korea.
- The main purpose of this study is to develop a model based on an analysis of previous studies and data on ship collision accidents that occurred in Korea.
- A model was developed by analyzing the relationship between collision accident data that occurred in coastal waters surrounding Korea over the past 5 years and the collision risk factors suggested in previous studies.
- Verification of the excellence of the model through comparison with the currently used collision risk model.
- To present a risk map for areas near Busan Port, where ships enter and depart frequently among coastal waters in Korea.
- Since the maritime traffic safety evaluation model includes the concept of space, it is possible to visually indicate hazardous

areas while displaying them by grade on the risk map.

- In addition, the suggested risk map was verified by comparing the risk map with the actual location of collision accidents.

2. Methodology and Feature

1) Methodology

- In this study, port traffic volume and marine accident statistics were analyzed to understand the current state of Korea's maritime traffic environment.
- The major factors of the evaluation model were derived by analyzing previous studies related to maritime traffic safety evaluation models.
- To develop a maritime traffic safety evaluation model, methods such as ship operator survey and machine learning were used.
- The maritime traffic safety evaluation model derived from this study was visualized using the GIS program, and compared and verified with actual marine accidents.

2) Feature

- This study is basic research, and through previous research, the main elements of the maritime traffic safety evaluation

model were derived while the model for evaluation was developed and verified.

- The developed model was derived in consideration of internal and external factors related to maritime traffic, enabling real-time evaluation between ships as well as spatial evaluation.
- Visualization of the maritime traffic safety evaluation model
- The visualized maritime traffic safety evaluation model can intuitively identify dangerous areas in a target sea area, and suggests a basic model that can be used when establishing governmental policies related to sea area safety.

3. Results

1) Summary

- Through the analysis of the existing maritime traffic safety evaluation model, limitations are identified and a model that can consider both internal and external factors is developed.
- For internal factors, the importance was derived using the conjoint methodology using the main variables of the separation distance between ships, the encounter relationship, and ship speed, which were derived through previous studies.
- The probability of the occurrence of a collision accident was derived using logistic regression analysis, decision tree, random forest, and artificial neural network models for collision

accidents that occurred in coastal waters surrounding Korea over the past 5 years as dependent variables.

- External factors were derived using random forest, which had high accuracy among collision accident probability models.
- The weight of the final marine traffic safety evaluation model was determined through a survey on the influence between internal and external factors.
- Using the GIS program, a marine traffic safety evaluation model was applied and visualized for the sea area near Busan Port to derive and locate dangerous areas.
- The risk map was presented using the existing evaluation model and the evaluation model derived from this study.
- The collision accidents near Busan Port that occurred in the past 3 years were compared with the danger zones, and all marine accidents were analyzed to have occurred in the danger zones of the proposed model.
- Through this, it is judged that the risk map classified by the density of risk reflects real collision risks well.

2) Policy suggestions and relevant activities

- The maritime traffic safety evaluation model developed in this study has academic significance in that it derives quantitative values by considering both internal factors that occur in the relationship between ships and external factors related to the environment in which ships operate.

- The data used in this study includes marine accident data over a three-year period from 2018 to 2020, and it is necessary to strengthen the model with continuous updates.
- In the future, it has been judged to be necessary to upgrade the model through research that diversifies variables for internal factors and adds scenarios for each situation.
- The risk map using the GIS program provides a way to visualize in connection with the maritime traffic safety evaluation model, laying the groundwork for the general public to easily check the safety information of sea areas.
- It can serve as a basis for policy decisions when determining the use of marine space, which has recently been in increasing demand.
- There is a possibility that it will be linked to a policy to improve public awareness of maritime safety through public services such as the development of a platform to which the model can be applied.

3) Expected benefits including policy contribution

- Quantitative values derived from the maritime traffic safety evaluation model can be used as indicators for policy alternative selection such as maritime traffic safety diagnosis or marine spatial planning.
- It can contribute to the prevention of collision accidents by displaying the results of the maritime traffic safety

evaluation on the 'Hae-roads' app platform, which is often used by users of small ships and water leisure equipment.

- It can be used as basic data in the 'Marine Accident Prevention Information' provided monthly by the Central Maritime Safety Tribunal to provide maritime traffic safety information in coastal waters to ship operators and shipping companies.

01

서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경 및 필요성

해양사고는 해양이나 내수면에서 발생한 사고를 의미하며, 그중 충돌은 항해 중이거나 정박 중임을 불문하고 다른 선박과 부딪치거나 닿은 것을 의미한다.¹⁾ 6대 해양사고 중 하나인 충돌사고는 해상교통 환경이 복잡해지면서 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 충돌사고는 물적, 인적 피해가 큰 것이 특징이다. 일례로 2017년 12월 인천 영흥수도에서 낚시어선과 급유선이 충돌했으며 15명의 사망자가 발생하였다. 그리고 2021년 5월 일본 구루시마해협에서 한국 흥아해운 소속 화학물질 운반선과 일본 프린스해운의 자동차 운반선이 충돌하였다. 이 사고로 한국 흥아해운 소속 선박은 좌현 선수가 일부 함몰되고 찌그러졌지만, 일본 자동차 운반선은 선원 3명이 실종되었다.²⁾ 이러한 충돌사고로 발생하는 피해를 줄이기 위해 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)는 국제해상충

1) 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률 사무처리요령」 제13조(사고의 종류)

2) 연합뉴스(2021. 5. 28)

돌예방규칙(COLREGs: International Regulation for Preventing Collisions at Sea)을 발표했고, 우리나라도 1986년 「해상교통법」을 제정한 바 있다. 그리고 2021년에는 해양수산부에서 2021년 해사안전시행계획에서 중점 추진과제로 3대 다발사고(안전사고, 전복, 충돌)의 집중관리를 제시하였다.³⁾ 그와 함께 교통흐름, 혼잡도 및 충돌확률 등을 이용하여 주요 선박통행로의 위해 요인을 식별하겠다고 제시하였다. 이를 통해 정부의 해양사고 중 충돌사고를 줄이기 위한 노력을 확인할 수는 있으나, 이 같은 노력에도 불구하고 충돌사고는 꾸준히 발생하고 있다. 중앙해양안전심판원에서 발행한 통계연보에 따르면, 최근 5년간(2016~2020년) 1만 3,687건의 해양사고가 발생했으며, 충돌사고는 1,238건으로 전체 해양사고 중 약 9.1% 수준이다. 그리고 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」에 따라 재결된 해양사고를 살펴보면, 최근 5년간 1,038건의 해양사고가 심판되었으며, 그중 392건은 충돌사고로 31.6%에 달하며, 해양사고 종류 중에 비율이 가장 높다. 다시 말해 충돌사고가 빈도는 낮지만, 사고에 따른 파급력이 크고 심각한 경우가 많다고 할 수 있다.

해상교통 환경 측면에서 보면, 우리나라 항만의 물동량은 2019년까지 증가세를 보였다. 2020년은 코로나19의 영향으로 다소 감소하였으나, 전반적으로 증가 추세를 보인다. 그중 부산항과 광양항, 울산항은 전국 1~3위의 물동량을 기록하고 있으며, 특히 부산항은 2020년 12월 기준 세계 7위의 항만 컨테이너 처리 실적을 보였다.⁴⁾ 즉, 우리나라는 지리학적 위치의 영향으로 남해안의 주요 항만을 중심으로 선박통행이 빈번하여 해상교통흐름이 복잡한 편이다. 그러므로 선박 간 충돌 위험이 늘 잠재하는 것으로 판단된다.

한편 정부는 비대면화-디지털화 대응에 중점을 둔 한국판 뉴딜을 통해

3) 해양수산부(검색일: 2021. 6. 6)

4) 해양수산부 보도자료(2021. 2. 22)

디지털 기반 경제혁신 가속화의 정책기조를 발표했다. 특히 국민체감 핵심 6대 분야 데이터 수집·활용 확대의 일환으로 교통 빅데이터 플랫폼 구축을 제시하였다. 이에 따라 해양수산부는 2021년부터 연안 선박자동식별시스템(AIS: Automatic Identification System) 수집정보를 외부에 개방할 예정이다. 따라서 이러한 데이터 개방에 발맞춰 해상분야의 빅데이터인 AIS 활용 방안의 선제적 연구가 필요한 시점이다.

충돌 위험도 관련 연구는 Fujii & Tanaka(1971)가 선박안전영역을 제안하면서 세계의 많은 학자가 다양한 방법으로 연구해 왔다. 특히 레이더를 이용한 실측 방법에서 지금은 AIS를 활용한 데이터 분석 방법이 많이 사용되고 있다. 그리고 충돌사고의 주요 원인 중 96%가 인적 과실로 대표되는 운항과실인 만큼 인적사항을 고려한 분석도 많이 이루어졌다. 즉, 선박충돌 위험도와 관련한 연구는 해상교통의 기본 분야이며, 해상교통 환경의 변화와 함께 모델 보완이 지속적으로 이루어지고 있다. 이러한 연구 흐름에 따라 해상교통 환경이 복잡한 우리나라의 교통 환경을 반영하고 실제 발생한 충돌사고 데이터와 AIS 데이터를 기반으로 한 실증 연구와 모델 개발이 필요하다.

2. 연구 목적

본 연구의 목적은 우리나라 해상교통 환경을 반영한 충돌위험도 모델을 개발하는 것이다. 지금까지 수많은 충돌위험도 모델이 제안되어 왔기 때문에 충실한 선행연구를 기반으로 우리나라 환경을 잘 반영할 수 있는 모델 개발이 필요하다. 이에 따라 선행연구의 분석과 우리나라에서 발생했던 선박 충돌사고 데이터를 기반으로 모델을 개발하는 것이 주된 목적이다. 이를 위해 최근 5년간 우리나라 연안해역에서 발생한 충돌사고 데이터와 선행연구에서 제시되었던 충돌 위험도 요인 간 관계 분석을 통해 모델을 개

발하고 현재 사용되고 있는 충돌위험도 모델 간 비교를 통해 모델의 우수성을 검증하고자 한다.

그리고 우리나라 연안해역 중 선박 입출항이 빈번한 부산항 부근 해역을 대상으로 개발된 모델을 적용하여 위험도 지도를 제시하고자 한다. 선박충돌 위험도 모델은 공간 개념을 포함하고 있으므로, 위험도 지도에 등급별로 전시하면서 시각적으로 위험구역을 표시할 수 있다. 그와 함께 위험도 지도와 실제 충돌사고 발생 위치를 비교함으로써 제시한 위험도 지도를 검증하고자 한다.

제2절 연구 내용과 방법

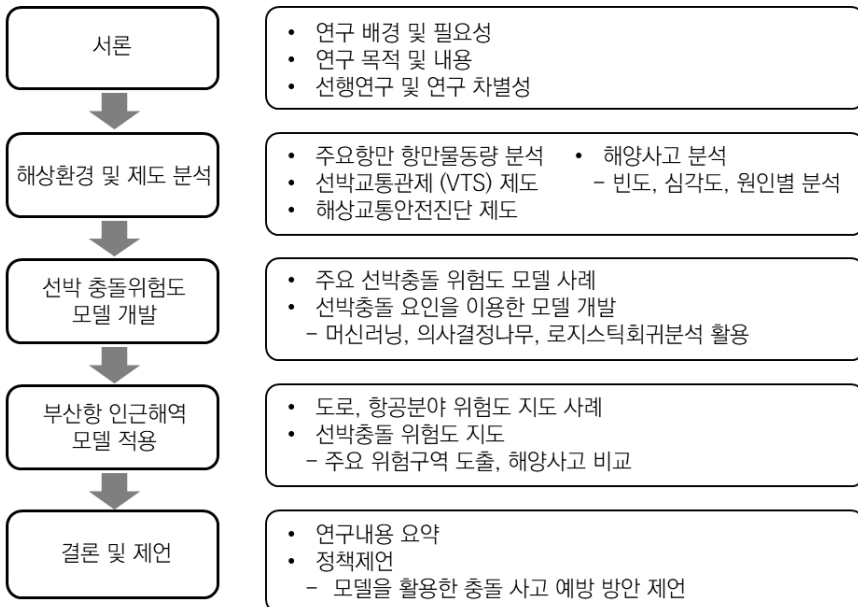
1. 연구 내용

본 연구는 다섯 개의 장으로 구성되어 있다. 제1장에서는 연구의 배경 및 필요성과 연구 목적을 기술하고 있다. 그리고 선박충돌 위험도와 관련한 선행연구 분석을 통해 본 연구의 차별성을 제시하였다. 제2장에서는 주요 항만의 항만물동량 분석을 통해 우리나라 주변 해역의 특징을 도출하였다. 또한 선박교통관제제도, 해상교통안전진단제도 등 해상교통과 관련한 국내 제도를 분석하였다. 이를 통해 본 연구에서 개발되는 선박충돌 위험도 모델 적용이 필요한 부분에 대한 시사점을 도출하였다. 제3장에서는 선박충돌 위험도 모델 개발을 위해 현재 사용되고 있는 IWRAP(IALA 공식 평가 모델), ES 모델(해상교통안전진단제도 사용 모델), AISyRisk(노르웨이 연안해역 적용 모델), PARK 모델(우리나라 선박운항자 의식기반 위험도 모델), CoRi 모델(선박교통관제 사용 위험도 평가 모델)의 사례를 분석

하였다. 그리고 선행연구에서 주로 사용된 선박충돌 위험도에 미치는 요인과 우리나라 해역에서 발생한 충돌사고의 데이터를 이용하여 선박충돌 위험도 모델을 개발하였다. 선박충돌 위험도 모델은 로지스틱 회귀분석, 의사결정나무 모형, 머신러닝을 이용하여 개발하였으며, 예측력이 높은 모델을 최종 선정하였다.

제4장에서는 도로, 항공 분야의 위험도 지도 사례를 분석하고, 해상교통 분야에 적용할 수 있는 시사점을 도출하였다. 또한 현재 사용되고 있는 충돌 위험도 모델 및 개발된 모델을 이용하여 주요 충돌 위험구역을 도출하고 실제 발생한 해양사고 구역과 비교하여 검증하였다. 제5장에서는 주요 결과를 요약하였으며, 충돌 위험도 모델을 기초로 충돌사고 예방을 위한 정책적 시사점을 도출하였다. 또한 충돌 위험도 모델을 활용할 수 있는 방안을 제안하였다. <그림 1-1>은 연구 흐름을 나타낸다.

<그림 1-1> 연구 흐름도



자료: 저자 작성

2. 연구 방법

본 연구는 문헌연구, 사례분석, 공간분석, 머신러닝 등 다양한 방법을 이용하여 수행하였다. 문헌연구를 통해 다양한 학자가 연구한 선박충돌 위험도 모델 및 모델의 근간이 되는 선박안전영역, 조우 관계 등 선박충돌 요인을 검토하였다. 이를 통해서 본 연구에서 개발하고자 하는 모델의 변수를 도출하였다. 사례분석은 대표적인 충돌 위험도 모델을 집중 분석하였다. 그리고 AIS 데이터를 이용하여 개발된 모델과 타 충돌 위험도 모델에 적용하여 해역의 선박충돌 위험도와 충돌 확률을 도출하였다. 또한 도로교통과 항공 분야에서 수행된 위험도 지도 사례 분석을 통해 해상에 적용할 수 있는 시사점을 도출하였다. 이를 바탕으로 개발된 모델을 적용하여 대상 해역의 위험도 지도를 제시하였으며, 충돌 위험이 높은 구간을 표현하였다.

공간분석은 GIS 프로그램을 이용하여 우리나라 해역을 소해구별로 구분하고 구역별 해양사고, 선박 간 조우 빈도, 밀집도 등을 도출하여 선박충돌 위험도 모델 개발을 위한 기초 자료를 마련하였다. 머신러닝은 선박충돌 위험도 모델을 개발하기 위해 사용하였다. 선행연구를 통해 도출된 요인과 우리나라 해역에서 발생한 해양사고 데이터를 이용하여 선박충돌 확률을 계산하였다. 그리고 로지스틱 회귀분석과 의사결정 모델도 함께 사용하여 예측력이 높은 모델을 최종 결정하였다.

종합하면, 본 연구는 선행연구 분석을 통해 선박충돌 위험도 측정을 위해 사용되는 주요 변수를 도출하고 공간 분석을 통해 기초 자료를 마련했으며, 최종적으로 머신러닝, 로지스틱 회귀분석 및 의사결정 모형으로 선박충돌 위험도 모델을 개발하였다. 개발된 모델을 대상 해역에 전시하여 위험구역을 도출하고 충돌사고 예방을 위한 정책의 기반이 되는 정량적인 자료로 제시하고자 한다.

제3절 선행연구 검토

1. 선행연구

선박 간 충돌 위험과 관련된 주요 선행연구를 선박안전영역, 최근접점, 선박충돌 위험도 모델 개발로 나누어 살펴보았다.

선박안전영역은 Fujii & Tanaka(1971)가 최초로 제안했으며, 선박 간 이격거리를 선박 길이 기준으로 무차원하여 충돌회피 시점(넓은 수역 장직경 8L, 단직경 3.2L / 좁은 수역 장직경 6L, 단직경 1.6L)을 판단하고자 하였다. Goodwin(1975)은 우현선수, 좌현선수, 선미 방향으로 선박안전영역을 3섹터로 구분하였다. 그리고 영역의 크기는 우현선수가 가장 크고 그다음 좌현선수, 선미 순이다. Davis, Dove, & Stockel(1980)은 Goodwin이 제안한 섹터를 통합하여 원으로 제시했으며, 선박안전영역에서 자선은 좌현 선미 쪽에 위치하도록 하였다. Coldwell(1983)은 국제해상충돌예방규칙의 우현변침 규정에 따라 선박안전영역의 중심을 좌측으로 이동시켰다. Kijima & Furukawa(2003)는 선수와 선미, 횡축을 이용한 안전영역을 제시했으며, 안전영역을 Blocking area와 Watching area로 구분하여 제안했다. Jeong, Park, & Park(2006)은 상하이항에 입항하는 실습선을 중심으로 상대 선박 간 이격거리를 조사하여 선박 간 안전 이격거리를 제시하였다. Szlapczynski(2006)은 선박충돌 위험도를 나타내기 위해 타원 모양의 선박안전영역을 제시하였다. Piertykowski & Uriasz(2009)는 선박안전영역을 전문가 지식 기반으로 도출하여 제시했다. Wang *et al.*(2009)은 Fujii, Coldwell, Kijima, Goodwin, Pietrzykowski, Zhu, David가 제안한 선박안전영역을 비교 분석하였다. 그 결과 David가 제안한 영역이 가장 컸으며, Fujii가 제안한 영역이 가장

작은 것으로 나타났다. Wang(2010)은 선박 조종 성능을 고려한 쿼터니안 선박안전영역을 제시하였다. 선박 중심은 좌현 선미에 치우쳐진 형태이다. 박영수·정재용·김종성(2010)은 선박운항자 설문조사를 통해 주간과 야간으로 구분하여 통항 선박 간 안전거리를 제시하였다. Hansen *et al.*(2013)은 덴마크 해역의 선박안전영역을, Rawson *et al.*(2014)은 템스강 구역의 선박안전영역을 도출하였다. 박영수·정재용 (2014)은 태풍 소멸 후 회항하는 시기의 가덕수도를 통과하는 선박의 이격거리를 조사하여 최소 선박안전거리를 도출하였다. 이진석(2017)은 우리나라 관제사를 대상으로 안전거리에 대한 설문조사를 수행했으며, 관제사 관점의 선박안전영역은 장직경 11.3L, 단직경 8.7L로 제시하였다.

DCPA(Distance to Closest Point of Approach, 최근접점)는 현재 침로와 속력으로 항행했을 때 타 선박을 통과하는 최소 거리이며, TCPA(Time to CPA, 최근접점까지 시간)는 DCPA까지 소요되는 시간이다. Kearon(1977)은 DCPA와 TCPA에 항해사 경험적 요소로 가중치를 정해 충돌 위험도를 평가하였다. Hasegawa *et al.*(1989)는 DCPA와 TCPA를 변수로 퍼지이론을 적용하여 주변 선박 간의 위험도를 측정하였다. Smeanton & Coenen(1990)은 Kearon이 제안한 평가 방법에 타 선박까지의 상대거리를 추가하여 충돌 위험도를 평가하였다. Lisowski(2002)는 Smeanton & Coenen(1990)이 제안한 방법에 다른 변수를 무차원하여 충돌 위험도를 제시하였다. Zhuo & Hearn(2008)은 DCPA와 퍼지추론을 이용하여 선박충돌 회피를 결정하는 시스템을 개발하였다. 김은경 등(2001)은 DCPA와 TCPA, 타 선박의 컴퍼스 방위 변화를 이용하여 충돌 위험도를 결정하는 모델을 개발하였다. Ozoga & Montewka(2018)는 DCPA와 TCPA를 이용해서 단계별로 위험도를 나눴으며, 등급은 항해사의 설문조사를 통해 구분하였다. 우주현·김낙완(2015)은 Hasegawa가 제안한 충돌 위험도와 장애물 영상정보로 획득하는 충돌 위험도를 이용해 충

돌 위험도를 추정하고 무인선박으로 검증하였다.

표현하기 애매한 것을 컴퓨터 언어로 표현한 퍼지이론도 충돌 위험도 측정에 사용되고 있으며, Lee & Rhee(2001)는 조우관계별로 퍼지를 적용하여 위험도 모델을 개발하였다. 손남선·김선영·공인영(2009)은 시뮬레이션을 기반으로 퍼지알고리즘과 환경스트레스 모델을 이용하여 충돌위험도를 추정하였다. 손남선·김선영(2010)은 퍼지알고리즘을 이용하여 개발한 충돌 위험도를 해상교통 데이터를 사용하여 검증하였다. Bukhari *et al.*(2013)는 Lee & Rhee의 모형에 컴퍼스 방위 변화를 추가하여 충돌 위험도 모델을 개발하였다.

그 밖에 박영수·이윤석(2008)은 실습선과 타 선박 간의 조우 형태를 조사하여 실습생 및 초급 항해사를 대상으로 수행한 설문조사를 통해 위험도를 분석하였다. Mou, Tak, & Ligteringen(2010)는 회귀분석을 이용하여 선박충돌에 영향을 미치는 변수를 도출하였다. 그리고 AIS 데이터를 이용하여 로테르담 항만 부근에 적용하였다. Qu, Meng, & Suyi(2011)는 선박 속력의 분산과 속력의 가·감속 정도, 퍼지 선박안전영역을 이용하여 선박 충돌 위험도를 제시하고 싱가포르해협에 적용하였다. 그리고 속력 제한이 필요한 구역을 제시하였다. Weng, Meng, & Qu(2012)은 싱가포르해협에서 충돌 위험 가능성이 높은 선종을 분석하였고, 충돌 위험이 높은 구역을 제시하였다. Przywarty *et al.*(2015)는 발트해에서 여객선과 유조선 간 충돌 위험도를 이론적으로 측정하여 150년간 1회 충돌사고 발생을 제시하였다. Altan & Otay(2018)는 분자 충돌 모델을 기반으로 선박충돌 위험도 모델을 개발하고, 이스탄불해협에 적용하여 공간 분석을 수행하였다. 김대식·임정빈(2016)은 통계분석을 통해 선박 조우상황별로 항해 당직자가 느끼는 충돌위기 체감지수를 제안하였다. Zhang *et al.*(2016)은 선박안전영역과 교차하는 각도 등을 이용하여 선박충돌 준해양사고 판단 기준을 개발하였다. Wu, Rahman, & Zaloom(2018)는 선박안전영역을 이용하여

Sabine-Neches Waterway의 선박충돌 위험구역을 제시하였다. 김도훈(2020)은 선박 간 근접 상황에서 항해사의 인적 요인(승선경력, 면허등급, 연령요인)이 충돌위험도에 미치는 영향을 도출하였다. 이진석·송재욱(2017)은 선박 조우상황, 근접시간, 선박 근접거리 등을 이용하여 VTS 관제사 관점의 선박충돌 위험도 평가 모델을 개발하였다.

〈표 1-1〉은 주요 선행연구의 방법론과 내용을 정리한 표이다.

〈표 1-1〉 주요 선행연구 정리 및 비교

연구		연구 방법	주요 연구 내용
선박 안전 영역	Fujii & Tanaka(1971)	• 실측조사	선박 간 이격거리를 실측하여 선박안전영역 제시
	Goodwin (1975)	• 시뮬레이션	레이더 시뮬레이션을 이용한 선박안전영역 제시
	Davis, Dove & Stockel (1980)	• 시뮬레이션	시뮬레이션을 이용하여 Goodwin이 제시한 영역을 수정하여 제시
	Coldwell (1983)	• 실측조사	조우상황을 고려하여 선박안전영역 제시
	Kijima & Furukawa (2003)	• 시뮬레이션	선수와 선미, 횡측을 이용한 안전영역을 제시, 안전영역을 Blocking area와 Watching area로 구분
	Jeong, Park & Park(2006)	• 실측조사	상하이항 입항 시 본선을 중심으로 상대 선 이격거리를 조사하여 선박 간 항행거리 제시
	Szlapczynski (2006)	• 수치계산	타원 모양의 선박안전영역 제시
	Piertykowski & Uriasz(2009)	• 설문조사	전문가 지식을 기반으로 선박안전영역 도출
	Wang <i>et al.</i> (2009)	• 비교분석	제안되었던 선박안전영역을 비교분석
	Wang(2010)	• 퍼지이론	선박 조종성능을 고려한 쿼터니안 선박안전영역 제시
	박영수·정재용·김종성(2010)	• 설문조사	선박운항자 인식기반 주·야간 통항 선박 간 안전거리 제시

연구	연구 방법	주요 연구 내용
	Hansen <i>et al.</i> (2013)	• 실측조사 덴마크 해역 자료를 이용하여 선박안전영역 도출
	Rawson <i>et al.</i> (2014)	• 실측조사 런던 템스강 해역 자료를 이용하여 선박안전영역 도출
	박영수·정재용 (2014)	• 실측조사 태풍 소멸 후 회항하는 시기에 통항하는 선박의 이격거리를 조사하여 최소 선박안전거리 도출
	이진석(2017)	• 설문조사 관제사 설문조사를 통해 선박안전거리 도출
DCPA & TCPA	Kearon(1977)	• 심층 분석 DCPA와 TCPA와 항해사의 주관적인 의견을 이용하여 선박 간의 충돌 위험도 측정
	Hasegawa <i>et al.</i> (1989)	• 퍼지이론 DCPA와 TCPA를 변수로 퍼지이론을 적용하여 주변 선박 간의 충돌 위험도 측정
	Smeanton & Coenen (1990)	• 퍼지이론 DCPA와 TCPA, 상대 거리를 변수로 선박 충돌 위험도 제안
	Lisowski (2002)	• 퍼지이론 기존의 충돌위험도 결정 변수 중 차원이 다른 변수를 무차원하여 충돌 위험도 제안
	Zhuo & Hearn(2008)	• 퍼지이론 DCPA 변수와 퍼지이론을 이용하여 선박충돌 회피 결정 시스템 개발
	김은경·강일권·김용기(2001)	• 퍼지이론 DCPA와 TCPA, 타 선박의 상대방위 변화를 이용하여 선박충돌 위험도 결정 모델 개발
	우주현·김낙완 (2015)	• 퍼지이론 DCPA와 TCPA, 장애물 영상정보를 이용하여 선박충돌 위험도를 추정하고 무인선박으로 검증
	Ozogaa & Montewkaabc (2018)	• 설문조사 선박운항자 의견을 기반으로 DCPA와 TCPA를 이용한 단계별 선박충돌 위험도 제시
위험도 모델 개발	Lee & Rhee(2001)	• 퍼지이론 조우관계별 퍼지 적용을 통한 위험도 모델 개발
	손남선·김선영·공인영(2009)	• 시뮬레이션 퍼지알고리즘과 환경스트레스 모델을 이용한 충돌 위험도 추정
	손남선·김선영 (2010)	• 실험적응 해상교통 데이터를 이용한 퍼지알고리즘 충돌 위험도 검증
	Bukhari <i>et al.</i> (2013)	• 퍼지이론 퍼지 위험도에 컴퍼스 방위 변화를 추가하여 충돌 위험도 모델 개발

연구	연구 방법	주요 연구 내용
박영수·이윤석 (2008)	• 설문조사	실습선과 타 선박 간 조우형태를 조사하여 위험도 분석
Mou, Tak, & Ligteringen (2010)	• 회귀분석	AIS 데이터를 이용하여 로테르담 항만 부근 선박의 크기와 속력, 침로 등을 변수로 충돌 위험도 모델 개발
Qu, Meng, & Suyi (2011)	• 선박안전영역, 속력 비교분석	AIS 데이터를 이용하여 싱가포르해협에서 가장 위험한 LEG를 설정
Weng, Meng, & Qu(2012)	• 확률분석	싱가포르해협에서 충돌 위험 가능성이 높은 선종 및 구역을 제시함
Przywarty <i>et al.</i> (2015)	• 확률분석	발트해의 여객선과 유조선의 교통량을 구분하여 충돌 위험도 측정
Altan & Otay(2018)	• 분자충돌이론	분자 충돌 이론을 바탕으로 충돌 모델 개발 및 이스탄불해협의 공간 분석
김대식·임정빈 (2016)	• 통계 분석	선박 조우상황별 항해 당직자가 느끼는 충돌위험 체감 지수 제안
Zhang <i>et al.</i> (2016)	• 문헌연구 • 인터뷰조사	AIS 데이터를 이용하여 준해양사고 추정 모델 개발
Wu, Rahman, & Zaloom(2018)	• 선박점용영역	선박점용영역을 이용한 선박 충돌 빈도 조사
김도훈(2020)	• 실선실험 및 사고사례 분석	해양경찰 선박을 이용, 선박운항자가 생각한 위험한 조우관계와 거리를 도출
이진석·송재욱 (2017)	• 선박점용영역 설문조사	VTS 관점의 선박충돌 위험도 평가 모델 개발
본 연구	• 문헌연구 • 사례연구 • 공간분석 • 로지스틱 회귀분석	우리나라 해역 특성을 반영한 선박충돌 위험도 모델 개발 선박충돌 위험도 모델을 이용한 위험도 지도 제시 선박충돌 위험도 모델 활용을 위한 정책제안

자료: 저자 작성

선박충돌 위험도를 측정하기 위한 연구는 레이더를 이용한 선박 실측조사를 통한 분석부터 AIS를 이용한 빅데이터 분석까지 해외의 다양한 학자가 수행하는 연구가 지금까지도 계속 이어지고 있다. 특히 데이터 처리 기

술의 발달과 함께 선박의 동적 정보와 정적 정보를 동시에 갖고 있는 AIS 데이터를 이용한 분석이 많아지는 추세를 보이고 있다. 한편 방법론 외에도 데이터 사용 근거와 모델 개발을 위해 다양한 선행연구를 분석했으며, 해당 문헌은 내용의 전개에 맞게 각 장에 정리하였다.

2. 본 연구와 선행연구의 차별성

선행연구 분석을 통해 선박충돌 위험도 관련 연구를 살펴보면, 세계의 많은 학자의 연구가 현재까지도 진행되고 있다. 선박 주변을 둘러싼 안전 영역은 Fujii & Tanaka(1971)가 일본 해협을 대상으로 실측조사를 통해 제시된 이후, 지금까지도 선박 크기, 조우각도, 해역 등의 다양한 요소에 따라 미세하게 조정되고 있다. DCPA와 TCPA는 Radar의 ARPA(Automatic Radar Plotting Aids) 기능과 함께 등장하여, 항해사가 충돌 위험을 정량적으로 측정하는 기본 요소로 사용되고 있다. 특히 이 DCPA와 TCPA는 Hasegawa *et al.*(1989)가 퍼지이론의 주요 변수로 사용하였으며, 지금까지도 각 모델의 한계를 보완하여 퍼지이론을 이용한 충돌 위험도 모델이 제안되고 있다. 다시 말해 선박충돌 위험도 모델은 선박 간의 다양한 요소를 기본으로 하여 이전 모델을 보완하면서 발전하고 있는 것으로 판단된다.

본 연구는 기초연구로 그간 진행된 선박충돌 위험도 모델을 개발한 선행 연구를 살펴보고 선박충돌 위험도를 정량적으로 측정할 수 있는 요인을 도출한다. 그리고 우리나라 해역 환경을 반영하기 위해 최근 5년간 발생한 해양사고를 분석하고 해양사고와 정량적인 선박충돌 위험도 요인 간의 영향력을 살펴본다. 이를 기반으로 우리나라 해상교통 환경을 반영한 정량적인 선박충돌 위험도 모델을 개발한다. 모델을 통해 우리나라 해상교통 환

경에서 취약한 부분을 찾을 수 있으며, 충돌사고를 예측할 수 있을 것이다.

그와 함께 AIS 데이터를 이용하여 충돌사고 발생할 확률이 높은 구간을 표시할 수 있는 위험도 지도를 개발하고자 한다. 이를 통해 향후 해상안전 관련 정책 개발 시 정량적인 자료를 제공할 수 있는 기초 모델을 마련할 수 있다는 점에서 선행연구와 차별성이 있다.

02

해상교통 환경 및 해양사고 분석

본 장에서는 우리나라 해상교통 환경 및 관련 제도를 분석하고자 한다. 주요 항만별 항만물동량과 해양사고 통계를 통해 해상교통이 복잡한 해역 정보를 도출하고자 한다. 그리고 선박교통관계 제도와 해상교통안전진단 제도를 분석하여 안전한 해상교통 확보를 위한 정부 정책을 살펴보고자 한다. 이를 통해 우리나라 해상교통 환경의 특징을 도출하고 본 연구의 해상교통 안전평가 모델 개발을 위한 범위와 요소를 확정하고자 한다.

제1절 해상교통 환경 및 관련 제도 분석

1. 주요 항만별 항만물동량 분석

전국 항만의 총 물동량은 2019년까지 차츰 증가세를 보이다가 2020년에 전년 대비 8.8% 감소한 15억 1,012만 톤을 기록하였다. 주요 5개 항만은 모두 전년 대비 감소했으며 부산항(-12.3%), 광양항(-11.7%), 울산항(-7.1%), 평택·당진항(-5.6%), 인천항(-3.5%) 순으로 감소세가 크게 나타났다. <표 2-

1)과 <그림 2-1>은 주요 항만별 항만물동량과 그 추이를 나타낸다.

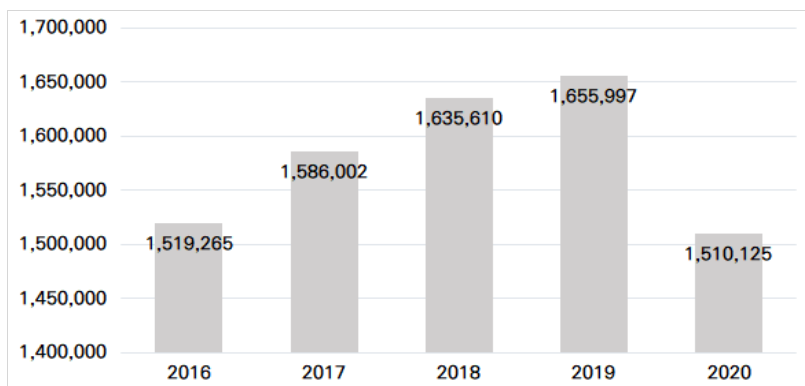
<표 2-1> 주요 항만별 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
전국	1,519,265	1,586,002	1,635,610	1,655,997	1,510,125
부산항	362,439	401,446	461,546	468,994	411,196
광양항	283,106	292,279	301,926	309,707	273,321
울산항	197,610	202,345	202,861	202,383	187,940
인천항	161,577	165,871	163,863	157,736	152,228
평택·당진항	112,948	112,491	115,146	113,201	106,847
그 외 항만 ⁵⁾	401,583	411,567	390,265	403,973	378,591

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

<그림 2-1> 전국 항만물동량 추이



자료: 해양수산부 PORT-MIS의 자료를 바탕으로 저자 작성

1) 부산항

부산항의 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 12.3% 감소한 4억 1,119만 톤을 기록하였다. 그중 외항화물은 전년 대비 감소(-12.9%)했으

5) 대산, 포항, 동해·묵호, 마산, 목포, 군산 등을 포함

나 내항화물은 증가세(10.6%)를 보였다. 특히 부산항은 2020년 12월 기준, 컨테이너 187만 TEU를 처리한 세계 7위의 컨테이너 항만이다.⁶⁾

〈표 2-2〉 부산항 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	306,889	337,218	396,615	407,193	354,456
	국적선	42,818	47,311	53,606	50,340	44,058
	합계	349,708	384,529	450,221	457,533	398,514
내항	연안화물선	12,661	16,702	11,239	11,227	12,439
	연안여객선	70	214	84	234	242
	합계	12,731	16,916	11,324	11,461	12,681
총계		362,439	401,446	461,546	468,994	411,196

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) 광양항

광양항의 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 11.7% 감소한 2억 7,332만 톤을 기록하였다. 외항화물은 전년 대비 감소(-12.3%)했으며 내항화물 또한 감소세(-7.1%)를 보였다.

〈표 2-3〉 광양항 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	230,716	238,265	250,806	257,790	224,809
	국적선	20,039	19,265	17,324	18,083	17,065
	합계	250,755	257,531	268,131	275,873	241,874
내항	연안화물선	32,351	34,748	33,794	33,833	31,446
	연안여객선	-	-	-	-	-
	합계	32,351	34,748	33,794	33,833	31,446
총계		283,106	292,279	301,926	309,707	273,321

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

6) 해양수산부 보도자료(2021. 2. 22.)

3) 울산항

울산항의 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 7.1% 감소한 1억 8,794만 톤을 기록하였다. 그중 외항화물은 전년 대비 감소(-8.5%)했으나 내항화물은 증가세(4.7%)를 보였다.

〈표 2-4〉 울산항 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	163,960	167,964	170,739	167,818	151,295
	국적선	11,403	11,794	11,768	14,228	15,353
	합계	175,363	179,758	182,508	182,046	166,649
내항	연안화물선	22,246	22,587	20,353	20,336	21,291
	연안여객선	-	-	-	-	-
	합계	22,246	22,587	20,353	20,336	21,291
총계		197,610	202,345	202,861	202,383	187,940

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

4) 인천항

인천항의 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 3.5% 감소한 1억 5,222만 톤을 기록하였다. 그중 외항화물은 전년 대비 감소(-7%)했으나 내항화물은 큰 폭으로 증가세(17.3%)를 보였다.

〈표 2-5〉 인천항 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	112,774	117,591	124,414	121,294	109,219
	국적선	12,418	15,692	13,020	13,411	15,999
	합계	125,192	133,284	137,434	134,705	125,218
내항	연안화물선	36,111	32,236	26,167	22,745	26,651
	연안여객선	273	350	261	285	357
	합계	36,384	32,586	26,428	23,031	27,009
총계		161,577	165,871	163,863	157,736	152,228

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

5) 평택·당진항

평택·당진항의 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 5.6% 감소한 1억 684만 톤을 기록하였다. 그중 외항화물은 전년 대비 감소(-6.8%)했으나 내항화물은 증가세(5.6%)를 보였다.

〈표 2-6〉 평택·당진항 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	93,153	91,855	96,420	93,653	85,012
	국적선	8,340	7,834	8,101	8,955	10,653
	합계	101,494	99,690	104,522	102,609	95,666
내항	연안화물선	11,454	12,800	10,624	10,592	11,181
	연안여객선	-	-	-	-	-
	합계	11,454	12,800	10,624	10,592	11,181
총계		112,948	112,491	115,146	113,201	106,847

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

6) 그 외 항만

그 외 항만의 전체 항만물동량은 2020년 기준 전년 대비 6.3% 감소한 3억 7,859만 톤을 기록하였다. 그중 외항화물은 전년 대비 감소(-10.2%)했으나 내항화물은 증가세(2.1%)를 보였다.

〈표 2-7〉 그 외 항만 항만물동량

단위: 천 톤(2021. 5. 14. 기준)

구분		2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
외항	외국선	200,560	217,633	228,285	239,478	213,050
	국적선	39,522	40,061	34,820	36,901	35,253
	합계	240,083	257,694	263,105	276,380	248,303
내항	연안화물선	152,057	142,775	116,550	116,081	120,015
	연안여객선	9,442	11,097	10,608	11,511	10,271
	합계	161,500	153,872	127,159	127,593	130,287
총계		401,583	411,567	390,265	403,973	378,591

자료: 해양수산부 PORT-MIS(검색일: 2021. 5. 14)의 자료를 바탕으로 저자 작성

2. 선박교통관제 제도

1) 선박교통관제의 개념

선박교통관제(VTS: Vessel Traffic Service)는 해상에서 인명과 안전에 관한 국제협약(SOLAS: International Convention for the Safety of Life at Sea) 제5장 12규칙에 따라 해상의 인명안전, 항해의 안전과 효율성 향상, 해상교통이 미칠 수 있는 악영향으로부터 해양 환경과 인근 해안 지역, 작업장, 연안 시설물 보호를 목적으로 규정하고 있다.⁷⁾

일반적으로 SOLAS 협약은 해상안전에 관한 국제 협약 중 가장 중요한 협약으로 간주되고 있으며, 국제항로표지협회(IALA: International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities)는 SOLAS 협약에 따라 VTS 목적 달성을 위한 기준, 권고, 가이드라인, 훈련 과정 등을 만들고 있다. 구체적으로 VTS 운영에 필요한 시스템, 서비스, 인력, 교육·훈련, 및 운영 절차 등을 포함하는 「VTS Manual」로 권고지침을 제시하고 있다.⁸⁾ IALA의 문서를 바탕으로 IMO는 VTS 가이드라인 개정안을 통해 각 회원국이 수용하고 이를 이행하도록 권장하고 있다.⁹⁾

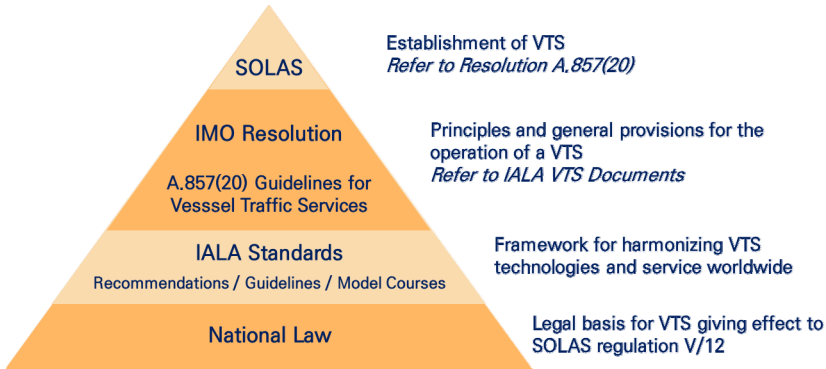
이러한 일련의 과정을 국제적으로 준용되고 있는 VTS 관련 법적 프레임워크로 볼 수 있다.

7) IALA(2021), p. 10.

8) 박상원 외(2020), p. 22.

9) IALA(2021), pp. 13-14의 내용을 바탕으로 저자 작성

〈그림 2-2〉 선박교통관제 법적 프레임워크 및 관련 지침



자료: IALA(2021), p. 13

우리나라에서는 「선박교통관제에 관한 법률(약칭: 선박교통관제법)」 제2조 제1항에서 VTS를 “선박교통의 안전을 증진하고 해양환경과 해양시설을 보호하기 위하여 선박의 위치를 탐지하고 선박과 통신할 수 있는 설비를 설치·운영함으로써 선박의 동정을 관찰하며 선박에 대하여 안전에 관한 정보 및 항만의 효율적 운영에 필요한 항만운영정보를 제공하는 것”으로 규정하고 있다.¹⁰⁾

2) 선박교통관제 관련 법령

2020년 6월부터 시행된 「선박교통관제법」은 우리나라 VTS에 필요한 사항을 규정하고 있다. 선박교통관제구역은 「선박교통관제에 관한 규정」에 따라 항만과 VTS센터별로 구역이 지정되어 있으며, 관제 대상 선박은 「선박교통관제법」 제3조 적용 범위에 따라 ①국제항해에 취항하는 선박 ②총톤수 300톤 이상의 선박(다만, 「어선법」 제2조 제1호에 따른 어선 중 국내항 사이만을 항행하는 내항어선은 제외) ③「해사안전법」 제2조 제6호에 따

10) 「선박교통관제에 관한 법률」 (2019. 12. 3, 법률 제16700호)

른 위험화물운반선 ④그 밖에 관할 선박교통관제구역에서 이동하는 선박의 특성 등에 따라 해양경찰청장이 고시하는 선박을 대상으로 선박교통관제를 시행하고 있다.

또한 「선박교통관제에 관한 법률 시행령」에는 운항자 대상의 교육·훈련, 선박교통관제 기본계획과 시행계획 등을 규정하고 있으며, 「선박교통관제에 관한 법률 시행규칙」에는 관제시설, 선박교통관제사의 업무 등 기술적 내용을 규정하고 있다. <표 2-8>은 선박교통관제에 관한 법률의 체계도를 나타낸다.

<표 2-8> 「선박교통관제에 관한 법률」 법령 체계도

구분	상하위법
법률	선박교통관제에 관한 법률(약칭: 선박교통관제법) [시행 2020. 6. 4.] [법률 제16700호, 2019. 12. 3. 제정]
시행령	선박교통관제에 관한 법률 시행령(약칭: 선박교통관제법 시행령) [시행 2020. 7. 30.] [대통령령 제30876호, 2020. 7. 28. 타법 개정]
시행규칙	선박교통관제에 관한 법률 시행규칙(약칭: 선박교통관제법 시행규칙) [시행 2020. 6. 4.] [해양수산부령 제414호, 2020. 6. 3. 제정]
행정규칙	선박교통관제에 관한 규정 [시행 2021. 3. 3.] [고시 제2021-2호, 2021. 3. 3. 일부개정]

자료: 저자 작성

3) 선박교통관제 운영 현황

1993년 포항항에 VTS 시스템이 최초로 도입된 이후, 1996년 여수·울산, 1998년 마산·인천·평택·대산·부산, 1999년 동해·군산·목포·제주, 2004년 완도, 2005년 부산신항, 2006년 진도 연안, 2011년 경인, 2012년 여수 연안, 2014년 통영 연안 등 전국의 항만과 연안 수역에 총 20개소의 VTS센터를 설치하여 운영 중이다.¹¹⁾ 인천항 VTS의 경우 2021년 3월 영흥수도까지 서비스 구역을 확대하였다. 영흥수도의 경우, 항로 폭이 좁은 편이고 어

선과 유선, 중형 선박까지 다양한 선박이 항해하고 있어 안전에 주의가 필요한 해역이다.¹²⁾ 특히 2017년 12월에는 낚시어선과 급유선이 충돌한 구역으로 기존의 장비로 탐지가 어렵다는 문제점을 개선하기 위해 관제 레이더가 추가로 설치되고 관제구역이 확대되었다. 즉, 선박교통관제는 해상교통의 안전을 증진하고 해양사고 예방을 위해 항행과 관련된 안전 정보를 제공하는 서비스라 할 수 있다. <표 2-9>와 <그림 2-3>은 우리나라의 VTS센터 운영 현황과 위치를 나타낸다. 우리나라의 항만 구역과 연안해역은 VTS센터에서 촘촘하게 관리하고 있다는 것을 알 수 있다.

<표 2-9> VTS센터 운영 현황

구분	센터명	적용 항만 (수역)	VHF 통신 채널	관제구역 면적
항만	대산항 VTS	대산항, 태안항, 당진화력	CH.12 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C) :990km² - 항계 내(B): 대산 70km², 태안 8km², 당진 6km², 보령 34km², - 항계 밖(C): 대산 393km², 장안 250km², 보령 229km²
		장안서 해역	CH.67 CH.16	
		보령항	CH.69 CH.16	
	평택항 VTS	평택·당진항	CH.10 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 488km² - 항계 내(B): 59km² - 항계 밖(C): 429km²
	인천항 VTS	인천항	CH.68	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 603km² - 항계 내(B): 248km² - 항계 밖(C): 355km²
		교통안전 특정해역	CH.14	
		CH.16 CH.06		
	경인항 VTS	경인항 제1항로	CH.09 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 48km² - 항계 내(B): 43.85km² - 항계 밖(C): 4.29km²
		경인 아라뱃길	CH.06	

11) 해양경찰청(2020), p. 2.

12) 해양경찰청 보도자료(2021. 3. 2.)

구분	센터명	적용 항만 (수역)	VHF 통신 채널	관제구역 면적
	여수항 VTS	여수항, 항계 밖 정박지, 특정해역	CH.12	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 769km² - 항계 내(B): 153km² - 항계 밖(C): 615.94km² (항계 밖 교통안전특정해역: 127.71km²)
		광양항	CH.67	
		낙포부두~중흥부두	CH.10 CH.67	
		CH.16 CH.06		
	완도항 VTS	완도항 VTS 관제구역	CH.10 CH.16	• 관제구역 총 면적: 1,361km² - 항계 내: 4.89km² - 항계 밖: 1,356km²
	목포항 VTS	목포항	CH.14 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 376km² - 항계 내(B): 35.32km² - 항계 밖(C): 340.75km²
	군산항 VTS	군산항	CH.12	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 536km² - 항계 내(B): 194km² - 항계 밖(C): 342km²
		장항항	CH.16	
	울산항 VTS	울산본항, 온산, 울산신항, 미포항	CH.14 CH.10 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 652km² - 항계 내(B): 110.69km² - 항계 밖(C): 540.87km²
	부산항 VTS	부산항, 수영만(용호부두)	CH.12	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 725km² - 항계 내(B): 80km² - 항계 밖(C): 645km²
		감천항, 남외항 정박지	CH.09	
		확대해역	CH.16	
	부산신항 VTS	부산신항만~ 진입보고선	CH.10	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 543km² - 항계 내(B): 104km² - 항계 밖(C): 439km²
		진입보고선~ 관제구역선		
	마산항 VTS	마산, 진해, 고현, 안정항	CH.14 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 541km² - 항계 내(B): 25.08km² - 항계 밖(C): 515.81km² * 통영·삼천포 제외
		옥포, 장승포, 지세포항	CH.67 CH.16	

구분	센터명	적용 항만 (수역)	VHF 통신 채널	관제구역 면적
		통영항	CH.06	
		삼천포항	CH.16	
	동해항 VTS	동해·묵호, 삼척, 옥계항	CH.12 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 1,032km² - 항계 내(B): 48.58km² * 동해항: 13.46km² * 묵호항: 4.11km² * 삼척항: 0.98km² * 옥계항: 5.58km² * 호산항: 24.45km² - 항계 밖(C): 983.87km²
		호산항	CH.14 CH.16	
	포항항 VTS	포항 신항	CH.12 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 1,062km² - 항계 내(B): 961.1km²
		영일만항		
		포항 구항		
	제주항 VTS	제주항 및 인근수역	CH.12 CH.16	• 관제구역 총 면적(A=B+C): 896km² - 항계 내(B): 4km² - 항계 밖(C): 892km²
		서귀포항 강정지구 (민군복합항) 및 인 근수역		
연안	경인 연안 VTS	경인 연안 VTS 관제구역	CH.71 CH.16	4,746km ²
	태안 연안 VTS	태안 연안 VTS 관제구역	CH.09 CH.16	2,237km ²
	진도 연안 VTS	진도 연안 VTS 관제구역	CH.67 CH.16	3,941km ²
	여수 연안 VTS	여수 연안 VTS 관제구역	CH.71 CH.16	3,887km ²
	통영 연안 VTS	통영 연안 VTS 관제구역	CH.16 CH.69	2,931km ²

자료: 해양경찰청(2020), pp. 10~61의 내용을 바탕으로 저자 작성

〈그림 2-3〉 전국 VTS센터 현황 및 위치도



자료: 해양경찰청(2020), p. 8

그리고 <표 2-10>은 VTS 구역별 관제 대상 선박을 나타내고 있으며, 항만이나 연안에 따라 관제 대상 선박이 구분된다. 기본적으로 국제항행에 취항하는 선박과 총톤수 300톤 이상의 선박은 관제 대상이며, AIS가 설치된 선박도 관제 대상에 포함된다.

<표 2-10> VTS 구역별 관제 대상 선박

구분	내용
항만	• 국제항해에 취항하는 선박 • 총톤수 300톤 이상의 선박(단, 내항어선은 제외) • 「해사안전법」 제2조 제6호에 따른 위험화물운반선 • 부선이나 구조물을 끌거나 밀어서 이동시키는 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 예인선 • 여객선 • 총톤수 2톤 이상의 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 유선 • 선박 길이 45m 이상의 어선 • 총톤수 300톤 미만의 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 다음 어느 하나에 해당하는 선박 - 선박입출항법 제2조 제4호에 따른 예선 - 선박입출항법 제2조 제5호 라목에 따른 급수선·급유선·도선선·통선 - 공사 또는 작업에 종사하는 선박 - 해양조사선·순찰선·표지선·측량선·어업지도선·시험조사선 등 행정 목적으로 운영하는 관공선
연안	• 국제항해에 종사하는 선박 • 총톤수 300톤 이상의 선박(단, 내항어선은 제외) • 「해사안전법」 제2조 제6호에 따른 위험화물 운반선 • 부선이나 구조물을 끌거나 밀어서 이동시키는 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 예인선 • 여객선 • 총톤수 2톤 이상의 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 유선 • 총톤수 300톤 미만의 선박자동식별장치(AIS)를 설치한 다음 어느 하나에 해당하는 선박 - 공사 또는 작업에 종사하는 선박 - 해양조사선·순찰선·표지선·측량선·어업지도선·시험조사선 등 행정 목적으로 운영하는 관공선

자료: 「선박교통관제에 관한 규정」(2021. 3. 3, 해양경찰청고시 제2021-2호) 및 해양경찰청(2020), pp. 10~61의 내용을 바탕으로 저자 작성

3. 해상교통안전진단 제도

1) 해상교통안전진단의 개요

선박의 대형화, 고속화가 계속되고, 각종 해양시설의 설치, 증설 등을 위한 작업이 증가함에 따라 선박 통항로가 협소해져 해양사고가 발생할 수 있는 위험성이 높아졌으며, ‘허베이스피리트호 유류오염사고’ 같은 중대 해양사고의 발생을 배경으로 우리나라에서는 해상교통안전진단 제도가 2009년부터 도입되었다.¹³⁾

「해사안전법」 제2조(정의)에 따르면 해상교통안전진단이란 “해상교통안전에 영향을 미치는 특정 사업으로 발생할 수 있는 항행안전 위험 요인을 전문적으로 조사·평가하는 것”이다. 여기서 특정 사업은 ‘안전진단대상사업’이라고 하며 <표 2-11>에 정리된 사업이 이에 해당된다.

〈표 2-11〉 안전진단대상사업의 범위

- | |
|---|
| 가. 항로 또는 정박지의 지정·고시 또는 변경 |
| 나. 선박의 통항을 금지하거나 제한하는 수역(水域)의 설정 또는 변경 |
| 다. 수역에 설치되는 교량·터널·케이블 등 시설물의 건설·부설 또는 보수 |
| 라. 항만 또는 부두의 개발·재개발 |
| 마. 그 밖에 해상교통안전에 영향을 미치는 사업으로서 대통령령으로 정하는 사업 |

자료: 「해사안전법」 제2조 제16항

이처럼 해상교통안전진단제도는 선박통항에 영향을 미치는 잠재적 위험요소를 제거하여 해양사고 발생 위험률 감소, 항만의 효율성 극대화 및 계획적인 사업시행에 기여하기 위한 제도이다.¹⁴⁾ 이를 위해 해양교통안전에 영향을 미치는 해양 이용·개발 사업을 대상으로 사업 영향을 조사평가하고

13) 한국해양교통안전공단(검색일: 2021. 5. 29)

14) 위 자료(검색일: 2021. 5. 29)

안전대책을 마련한다. 해상교통안전진단제도의 시행 후 2019년까지 총 174건의 사업을 대상으로 안전진단이 실시되었다.¹⁵⁾

2) 해상교통안전진단 관련 법령

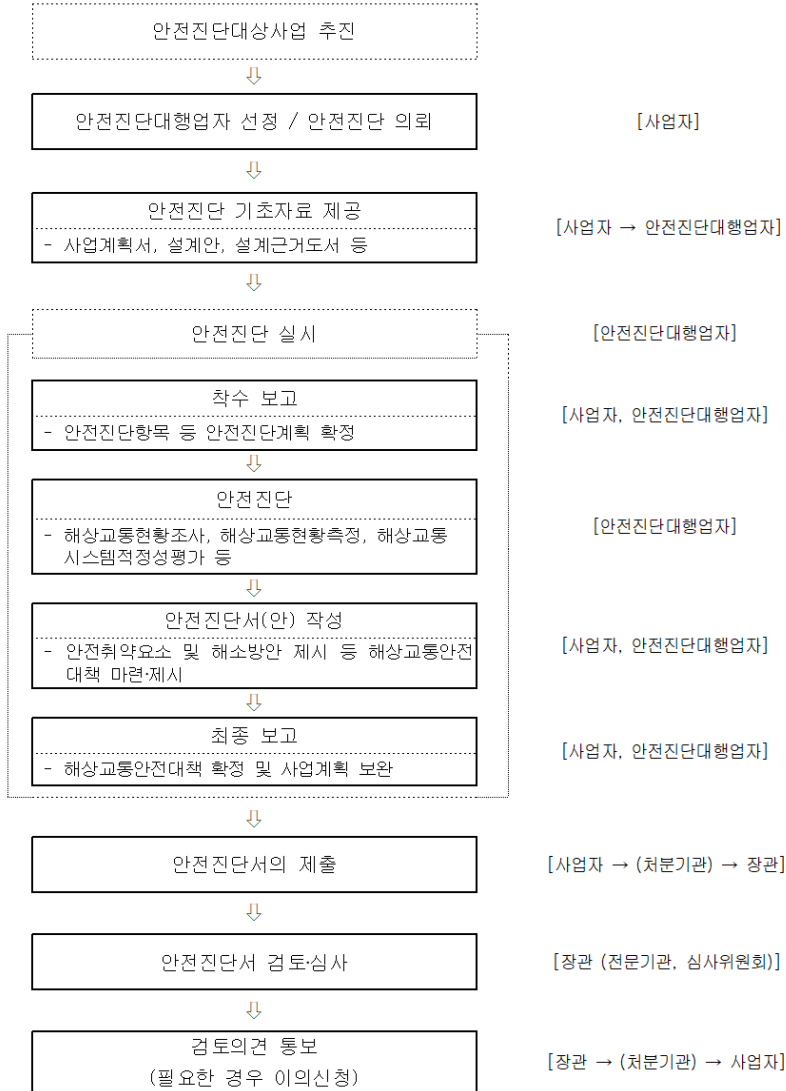
「해사안전법」 제15조에서는 안전진단대상사업을 하려는 자는 해양수산부령으로 정하는 안전진단기준에 따라 해상교통안전진단을 실시하여야 한다고 규정하고 있다. 또한 사업자는 안전진단대상사업을 대상으로 「항만법」과 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」, 「선박의 입항 및 출항 등에 관한 법률」 등 해양의 이용 또는 보존과 관련된 관계 법령에 따른 허가·인가·승인·신고 등을 받으려는 경우 제1항에 따라 실시한 해상교통안전진단의 결과를 허가 등의 권한을 가진 행정기관의 장에게 제출하여야 한다. 또한 「해상교통안전진단시행지침」은 「해사안전법」과 동법 시행령과 시행규칙에 따른 해상교통안전진단의 시행에 필요한 구체적인 사항을 규정하고 있다.

해상교통안전진단은 주로 「해사안전법」 제19조에 따라 안전진단대행업자가 수행하며, 이때 안전진단대행업자는 해양수산부령으로 정하는 기술인력·장비 등 자격을 갖추어 해양수산부 장관에게 등록한 자이다. 사업자는 안전진단대행업자에게 진단을 의뢰하고, 사업계획서, 설계안, 설계근거자료 등 안전진단을 수행하기 위하여 필요한 자료 및 안전진단대행업자가 안전진단을 위하여 요청한 자료를 제공한다. 안전진단대행업자는 접수한 자료를 바탕으로 안전진단계획을 수립하고 안전진단 항목을 결정한 후 안전진단을 수행한다. 진단 수행 결과를 바탕으로 작성된 안전진단서는 해양수산부의 심사와 검토를 거친다.¹⁶⁾

15) 한국해양교통안전공단(검색일: 2021. 5. 29)

16) 「해상교통안전진단시행지침」(2020.12.14, 해양수산부 고시 제2020-215호)

〈그림 2-4〉 해상교통안전진단 업무 절차



자료: 해상교통안전진단시행지침 별표1

3) 해상교통안전진단 항목

해상교통안전진단항목은 <표 2-12>와 같이 해상교통현황조사, 해상교통
현황측정, 해상교통시스템 적정성평가, 해상교통안전대책으로 구분된다.

<표 2-12> 안전진단대상사업별 안전진단 항목

대상 사업	진단 항목	해상교통 현황조사	해상교통 현황측정		해상교통시스템 적정성평가				해상교통 안전대책
			현황 측정	교통 혼잡도	통항 안전성	접·이안 안전성	계류 안전성	해상 교통류	
수역	설정	●	●	●	●	△	—	△	●
	변경	●	●	△	●	△	—	—	●
수역 내 시설물	건설· 부설	●	●	△	●	△	△	△	●
	보수	●	●	—	●	—	—	—	●
항만 또는 부두	개발	●	●	●	●	●	●	△	●
	재개발	●	●	△	●	●	△	—	●
그 밖의 해상 교통안전에 영향을 미치는 사업		●	●	△	●	△	△	△	●

주: 1) ●: 수행하여야 하는 항목

2) △: 조건에 따라 수행하지 아니하여도 되는 항목

3) 안전진단대행업자는 해상교통현황조사를 통하여 안전진단대상사업을 하려고 하는 수역에 대한 현황을 조사한 결과 해상교통시스템 적정성평가를 실시하여도 해상교통에 미치는 영향을 파악할 수 없는 등 유익한 결과를 얻을 수 없다고 판단하는 경우에는 해상교통시스템 적정성평가 중 일부 또는 전부를 생략하고 안전진단을 실시할 수 있다. 다만, 수면비행선박 등 선박의 조종능력 또는 조종특성이 일반적인 선박과 다른 선박이 해당 수역을 통항하거나 통항할 예정인 경우에는 그러하지 아니하다.

자료: 해상교통안전진단시행지침 별표2

그리고 대상사업에 따라 해상교통현황조사, 현황측정, 통항안전성은 필수로 수행되어야 한다. 그리고 교통혼잡도, 접·이안안전성, 계류안전성, 해상교통류는 조건에 따라 수행하는 항목이다.

(1) 해상교통현황조사

해상교통현황조사는 「항만 및 어항 설계기준」에 따른 적합성을 검토하고 해당 해역의 30년간 해상 및 기상 현황을 조사하도록 정하고 있다. 그리고 해당 해역에서 발생한 해양사고 현황과 분석 결과를 제시해야 한다. 해상교통조사는 GICOMS 자료와 현장관측 조사를 통해 선박 통항 데이터를 획득한다. GICOMS 자료의 경우 최소 1주일 이상의 자료가 필요하며, 현장관측 조사는 AIS 및 레이더를 활용하여 최소 3일(72시간) 이상의 관측을 통한 자료가 필요하다. 그리고 데이터를 이용하여 일자별, 시간대별, 선종별, 선박 규모별, 경로대별 해상교통을 분석해야 한다.

(2) 해상교통현황측정

해상교통현황측정은 현황측정, 해상교통혼잡도 측정·평가로 구분된다. 현황측정은 대상 해역을 이용하는 선박운항자와 도선사 그리고 해역을 관할하는 지방해양항만청과 VTS 등 해역 이용자 대상 인터뷰를 진행하고 의견을 수렴한다. 주요 의견은 반영 결과를 제시해야 한다. 해상교통혼잡도는 해당 항로를 통항하는 선박의 영역¹⁷⁾이 항로 수용용량에 대비하여 어느 정도인지를 평가하는 것으로 현재뿐만 아니라 미래의 예상 혼잡도도 제시해야 한다. 그리고 해상교통혼잡도 최종 평가의 개선 방안도 함께 제시해야 한다.

17) Bumper 모델, 대기 모델 등 해당 해역의 통항 특성을 충분히 반영할 수 있는 모델

(3) 해상교통시스템 적정성 평가

해상교통시스템 적정성 평가는 통항안전성 및 접이안안전성 평가, 계류 안전성 평가, 해상교통류 평가로 구분된다.

통항안전성 평가와 접이안안전성 평가는 선박조종 시뮬레이션을 시행하여 근접도 평가와 제어도 평가, 선박운항자의 주관적 평가를 수행한다. 여기서 근접도 평가는 장애물과 최근접 통항 거리를 기초로 표준편차 방식으로 충돌 확률을 계산하며, 제어도 평가는 대상 선박이 사용한 타각과 엔진의 평균 사용량과 여유 제어량을 산출한다. 마지막으로 운항자 평가는 선박운항자의 심리적 부담 또는 위험도를 7단계로 평가한다.

계류안전성평가는 공인된 소프트웨어를 사용하여 계류삭, 계선주, 방현재 등에 작용하는 힘을 분석하고 선종별 계류 한계동요량을 분석하여 평가하며 외력 변화에 따른 안전성 향상 방안을 제시해야 한다.

해상교통류 평가는 해상교통류 평가 모델¹⁸⁾을 이용하여 해당 해역의 위험도를 객관적으로 평가하고 제시해야 한다. 해상교통류 평가 모델은 조선 환경과 교통 환경을 모두 반영한 Inoue(2000)의 ES 모델이 주로 사용되고 있다. 여기서 조선 환경은 자선 기준 조종수역을 정하고 특정 장애물 간 거리와 속력 등에 따른 위험도를 평가하는 것이며, 교통 환경은 자선 기준 안전조종 영역을 설정하여 타 선박 간 상대거리에 따른 위험도를 평가하는 것이다. 이를 통해 정량적인 종합 위험값을 제시하고 교통량이 밀집된 위험해역을 제시해야 한다. 그와 함께 위험성 해소 방안도 함께 제시해야 한다.

18) 해상교통류에 대한 안전성 평가를 객관적이고 정량화할 수 있는 모델을 사용하여야 하며, 조선환경 및 교통환경을 분석하고 이를 종합하여 종합환경 안전성을 제시하여야 한다.

제2절 최근 5년간 해양사고 분석

1. 해양사고 빈도 분석

1) 해양사고 총괄 현황

최근 5년간(2016~2020년) 총 1만 3,687건의 해양사고가 발생했고, 사고 선박은 1만 5,208척이며, 총 2,489명의 인명 피해가 발생하였다. 해양사고 발생 건수와 사고 선박 척수는 꾸준한 증가 추세를 보이고 있으며, 인명 피해는 2017년까지 증가하다가 2018년에 감소하였지만, 그 후 다시 증가 추세를 보이고 있다. 즉, 최근 5년간 해양사고는 지속적으로 증가하고 있다고 볼 수 있다.

〈표 2-13〉 최근 5년간 해양사고 총괄

단위: 건, 척, 명

연도	구분	해양사고 발생 건수	해양사고 선박 수	해양사고 인명 피해
2016		2,307	2,549	411
2017		2,582	2,882	523
2018		2,671	2,968	455
2019		2,971	3,274	547
2020		3,156	3,535	553
합계		13,687	15,208	2,489

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 13의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) 해역별 해양사고 현황

최근 5년간 국내에서 총 1만 2,183건, 국외에서는 총 1,504건의 해양사고가 발생하였다. 무역항 및 진입수로에서는 총 1,713건의 해양사고가 발

생하였으며, 부산항과 진입수로, 울산항과 진입수로, 포항항·인천항과 진입수로 순으로 많이 발생하였다. 무역항과 진입수로를 제외한 영해에서는 총 1만 470건의 해양사고가 발생했으며 남해, 서해, 동해 순으로 많이 발생하였다.

〈표 2-14〉 해역별 해양사고 현황

단위: 건

해역		연도	2016	2017	2018	2019	2020	계
국내	무역항 및 진입수로	인천항과 진입수로	37	22	43	49	48	199
		장항·군산항과 진입수로	23	24	34	43	30	154
		대산항	5	3	8	4	7	27
		평택·당진항	11	10	20	18	15	74
		목포항과 진입수로	24	31	37	23	30	145
		여수항·광양항과 진입수로	13	27	16	12	34	102
		삼천포·통영항과 통영해만, 견내랑 수로	20	17	1	29	15	82
		마산항, 진해항, 진해만 (가덕수로)	28	5	2	15	8	58
		부산항과 진입수로	85	52	19	59	89	304
		부산-거제수역 (옥포, 장승포항)	-	2	-	-	7	9
		울산항과 진입수로, 포항항	47	52	30	66	83	278
		동해, 속초, 삼척항	11	4	6	7	11	39
		제주, 서귀포항	8	26	12	10	44	100
		기타 무역항	23	30	23	21	45	142
		계	335	305	251	356	466	1,713
	영해	동해	250	279	373	323	354	1,579
		서해	579	743	748	827	904	3,801
		남해	807	958	1,020	1,182	1,123	5,090
		계	1,636	1,980	2,141	2,332	2,381	10,470
		계 (국내)	1,971	2,285	2,392	2,688	2,847	12,183

연도		2016	2017	2018	2019	2020	계
해역							
국 외	동해 공해	132	128	108	101	94	563
	서해 공해	36	43	47	37	54	217
	남해 공해	96	91	74	91	124	476
	기타	72	35	50	54	37	248
	계(국외)	336	297	279	283	309	1,504
총계		2,307	2,582	2,671	2,971	3,156	13,687

주: 1) 기타 무역항: 경인항, 서울항, 태안항, 보령항, 완도항, 하동항, 고현항, 호산항, 옥계항 등
 2) 해역분류: '국내'는 '무역항 및 진입수로'와 무역항 및 진입수로를 제외한 '영해'로 나누고, '국외'는 '동, 서, 남해' 공해와 '기타'(외국수역 및 원양 등)로 구분함
 자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 23의 자료를 바탕으로 저자 작성

3) 월별 해양사고 현황

최근 5년간 해양사고는 9월, 10월, 8월 순으로 많이 발생하였으며, 2월에 가장 적게 발생하였다. 월별 해양사고는 2월에 가장 적었다가 2월부터 9월까지 지속적으로 증가하고, 9월 이후부터는 다시 감소하는 추세가 나타났다.

〈표 2-15〉 월별 해양사고 현황

단위: 건

연도	2016	2017	2018	2019	2020	계
월						
1월	166	168	187	198	209	928
2월	153	127	128	139	173	720
3월	168	151	186	182	192	879
4월	159	207	211	214	173	964
5월	209	243	213	244	265	1,174
6월	179	271	210	246	263	1,169
7월	195	242	217	262	305	1,221

연도 월	2016	2017	2018	2019	2020	계
8월	206	238	225	311	311	1,291
9월	212	256	317	358	399	1,542
10월	255	250	317	327	351	1,500
11월	206	242	223	262	286	1,219
12월	199	187	237	228	229	1,080
계	2,307	2,582	2,671	2,971	3,156	13,687

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 24의 자료를 바탕으로 저자 작성

4) 시간대별 해양사고 현황

최근 5년간의 해양사고를 4시간 단위의 시간대별로 살펴보면, 오전 시간대인 8~12시에 가장 많이 발생하였으며, 0~4시의 새벽 시간대에 가장 적게 발생하였다. 하루 24시간 중 8~16시에 발생한 해양사고는 총 6,819건으로 전체 해양사고의 약 50%를 차지하여 사고가 다른 시간대에 비해 비교적 많이 발생하는 것으로 나타났다.

〈표 2-16〉 시간대별 해양사고 현황

단위: 건

연도 시간	0~4시	4~8시	8~12시	12~16시	16~20시	20~24시	계
2016	190	370	618	528	400	201	2,307
2017	185	420	648	625	481	223	2,582
2018	223	469	679	623	461	216	2,671
2019	214	525	758	741	499	234	2,971
2020	216	586	826	773	499	256	3,156
합계	1,028	2,370	3,529	3,290	2,340	1,130	13,687

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 25의 자료를 바탕으로 저자 작성

5) 사고 종류별 해양사고 현황

최근 5년간 기관손상, 부유물감김, 충돌 순으로 사고가 많이 발생했으며, 특히 기관손상사고는 4,215건으로 전체 해양사고의 약 31%를 차지한다.

〈표 2-17〉 사고 종류별 해양사고 현황

단위: 건

연도 사고 종류	2016	2017	2018	2019	2020	계
충돌	209	258	250	244	277	1,238
전복	49	65	46	110	108	378
침몰	27	29	38	61	69	224
화재폭발	113	96	119	132	128	588
안전사고	131	160	162	228	203	884
접촉	23	25	20	38	39	145
좌초	137	149	142	140	198	766
기관손상	755	838	856	888	878	4,215
부유물감김	279	311	278	346	358	1,572
운항저해	111	131	155	151	161	709
해양오염	61	65	80	94	70	370
침수	157	154	210	196	227	944
조타장치손상	103	103	105	104	132	547
추진축계손상	138	184	180	185	259	946
기타	14	14	30	54	49	161
계	2,307	2,582	2,671	2,971	3,156	13,687

주: 기타: 속구손상, 시설물손상 등

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 17의 자료를 바탕으로 저자 작성

6) 선박 용도별 해양사고 현황

최근 5년간 어선의 해양사고는 전체 해양사고 선박 척수의 약 67%를 차지하여 가장 많이 발생하였으며, 그다음으로 수상레저기구, 기타선 순으로 많이 발생하였다.

〈표 2-18〉 선박 용도별 해양사고 현황

단위: 척

선박 용도		연도	2016	2017	2018	2019	2020	계
어선			1,794	1,939	2,013	2,134	2,331	10,211
비 어 선	여객선		65	46	44	53	47	255
	화물선		116	127	112	111	139	605
	유조선		67	73	89	93	83	405
	예인선		77	91	111	94	112	485
	수상레저기구		325	472	469	586	647	2,499
	기타선		105	134	130	203	176	748
합계			2,549	2,882	2,968	3,274	3,535	15,208

주: 1) 여객선의 정의는 「선박안전법」 제2조를 따름(13인 이상의 여객을 운송할 수 있는 선박)

2) 기타선: 부선, 준설선, 어업지도선, 시험조사선, 여장정화선, 유·도선(여객 13인 미만) 등

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 16의 자료를 바탕으로 저자 작성

7) 사고 종류별, 선박 용도별 해양사고 현황

최근 5년간 사고 종류별 선박 용도별 해양사고 현황을 살펴보면 선박 용도별로 주로 발생하는 해양사고가 상이한 것을 알 수 있다. 어선은 기관손상, 부유물감김, 충돌 순으로 사고가 많이 발생하였고, 여객선은 기관손상, 부유물감김, 운항저해, 충돌 순으로, 유조선은 해양오염, 충돌, 기관손상 순으로 사고가 발생했다. 예인선은 충돌, 기관손상, 해양오염 순으로, 수상레저기구는 기관손상, 운항저해, 추진축계 손상 순으로, 기타선은 침수, 화재·

폭발, 충돌 순으로 사고가 많이 발생하였다.

〈표 2-19〉 사고 종류별, 선박 용도별 해양사고 현황

단위: 건

선박 용도 사고 종류	어선	여객선	화물선	유조선	예인선	수상 레저 기구	기타선	합계
충돌	877	34	111	64	76	14	62	1,238
전복	252	-	-	-	5	108	13	378
침몰	122	-	1	-	28	40	33	224
화재폭발	433	10	27	31	17	6	64	588
안전사고	699	11	62	37	40	10	25	884
접촉	56	14	22	10	23	9	11	145
좌초	598	10	17	12	28	64	37	766
기관 손상	2,813	54	50	50	62	1,125	61	4,215
부유물감김	1,257	38	11	14	24	200	28	1,572
운항저해	306	38	11	7	15	293	39	709
해양오염	111	3	77	85	58	3	33	370
침수	603	7	10	8	35	197	84	944
조타장치 손상	439	12	10	5	18	52	11	547
추진축계 손상	687	5	5	6	7	229	7	946
기타	68	8	16	13	8	16	32	161
계	9,321	244	430	342	444	2,366	540	13,687

주: 1) 기타(사고종류): 속구손상, 시설물손상 등

2) 여객선의 정의는 「선박안전법」 제2조를 따름(13인 이상의 여객을 운송할 수 있는 선박)

3) 기타선: 부선, 준설선, 어업지도선, 시험조사선, 어장정화선, 유·도선(여객 13인 미만) 등

자료: 중앙해양안전심판원(2021b) p. 27의 자료를 바탕으로 저자 작성

2. 해양사고 심각도 분석

IMO의 MSC-MEPC.3/Circ.3 문서에 따르면 SOLAS 규정 I/21과 MARPOL 규정 Chapter 8, 12에 따라 회원국은 자국적 선박의 사고 조사를 수행하고, IMO에 관련 조사 내용을 제출해야 한다. IMO는 해양사고 보고를 위해 해양사고를 심각도에 따라 네 가지로 분류하고 있다.

〈표 2-20〉 IMO의 심각도별 해양사고 정의

종류	정의
매우 중대한 사고 (Very Serious Casualties)	선박의 전손, 인명 사상 또는 심각한 오염을 초래한 사고 여기서 심각한 오염이란 MEPC 37/22에 따라 오염에 영향을 받은 연안 국가들 또는 기국 정부가 평가한 바에 따르면 환경에 중대한 해로운 영향을 미치거나 적절한 예방조치가 없이 그러한 영향을 초래한 오염의 경우를 말함
중대한 사고 (Serious Casualties)	“매우 중대한 사고”로 분류되지 않고, 화재·폭발·충돌·좌초·접촉·기상 악화로 인한 손상·빙하로 인한 손상·선체 균열 또는 선체 결함으로 추정되는 것이 다음의 결과를 초래한 사고를 말함 • 주기관의 작동 불가, 광범위한 거주구역 손상, 수면하 침수와 같은 심각한 구조적 손상 등으로 인해 선박이 항행하기에 부적합한 경우 • 오염(오염량과 관계없음) • 예인 또는 육상의 지원이 필요한 고장
경미한 사고 (Less Serious Casualties)	“매우 중대한 사고”와 “중대한 사고”를 제외한 선박 사고로, 시사점을 기록할 목적으로는 “위험한 준사고”나 “니어 미스(near misses)”를 포함한 준사고도 해당함
해양 준사고 (Marine Incidents)	해양사고(Marine Casualty)를 제외하고 선박의 운항과 직접적으로 관련하여 발생한 사건 또는 일련의 사건을 의미하며, 이를 시정하지 않으면 선박, 승선자 또는 다른 사람이나 환경의 안전을 위협할 수 있음

주: 매우 중대한 사고, 중대한 사고, 경미한 사고의 정의는 MSC-MEPC.3/Circ.3에서 해양 준사고(Marine Incident)의 정의는 Casualty Investigation Code에서 인용함

자료: IMO(2008. 12)와 IMO(2008. 5)를 바탕으로 저자 작성

한편 우리나라에서는 해양사고를 심각도별로 분류하지는 않지만, 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제34조 제2항에 따라 조사관이 조사한 결과, 사건을 심판에 부칠 필요가 없다고 인정하는 경우 그 사건을 심판불

필요처분을 해야 한다. 심판불필요처분의 기준은 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 사무처리요령」 제46조에서 규정하고 있다. 심판불필요처분은 심판이 불필요한 경미한 사고와 원인이 간명한 것이 주요 대상임을 알 수 있다.

〈표 2-21〉 해양사고 심판불필요처분 기준

구분	내용
경미한 사건	• 충돌사건 중 속구만 손상된 것 또는 외판에 가벼운 손상¹⁹⁾이 생겼으나 선박의 항행에 지장을 주지 아니한 것 • 접촉사건 중 시설물에 가벼운 손상²⁰⁾이 생긴 경우로서 그 시설물의 운용에 아무런 지장을 주지 아니한 것 • 좌초사건 중 선저 또는 프로펠러에 가벼운 손상²¹⁾이 생긴 경우로서 선박의 항행에 지장을 주지 아니한 것 • 폐어망, 페로프 등 부유물이 선저에 접촉하였거나 키, 추진기 등에 감겨 관련 기기에 경미한 손상²²⁾이 발생한 것 • 기관손상사건 중 보기류에 손상이 생긴 경우로서 주기의 운전제 지장이 없는 것²³⁾ • 화재·폭발사건 중 손상이 경미²⁴⁾하고 항행에 지장을 주지 아니한 것²⁵⁾ • 속구손상사건 중 황천에 조우하여 속구의 유실 또는 손상이 생긴 경우로서 선박의 항행에 중대한 지장이 없는 것 • 기타 그 손상정도가 경미한 사건에 준하는 것이라고 인정되는 것
	• 선박의 기관손상사건, 추진기손상사건, 키손상사건 또는 조난사건으로서 그 선박이 자력항행은 불가능하나 그 손상 정도가 비교적 경미하고 또한 원인이 간명한 것²⁶⁾
	• 총톤수 30톤 미만인 선박의 해양사고로서 원인이 간명한 것²⁷⁾
	• 부상사건 중 그 부상의 정도가 경미한 것²⁸⁾
	• 선박의 안전 또는 운항저해사건 중 안전저해의 정도가 경미하거나²⁹⁾ 운항저해의 시간이 24시간 미만인 것
	• 실종 또는 사망사건 중 본인의 잘못으로 물속에 빠져 사망하였음이 명백한 것 또는 실종이 된 때의 상황에 대하여 목격자가 없어 선박의 구조, 설비 또는 운용과 관련하여 발생한 것인지의 여부가 분명하지 아니한 것
	• 해양사고의 원인이 억류, 나포 또는 전쟁사고 등 비상사변만인 것으로 밝혀진 사건
	• 우리나라 영해 안에서 발생한 외국선박의 단독사건 또는 외국선박 간에 발생한 사건으로서 심판의 실익이 없는 것으로 인정되는 것³⁰⁾

구분	내용
	• 오염물질배출사건 중 「해양환경관리법」 제2조의 규정에 의한 기름, 유해액체물질, 포장유해액체물질 및 폐기물 등의 유출이 있는 경우로서 「해양환경관리법시행령」 별표6의 신고기준 미만으로 오염물질이 배출된 사건 • 계류 중이거나 닻 정박 중인 비자항 부선의 침몰, 좌초사건으로 원인이 간명하여 심판의 실익이 없다고 인정되는 것³¹⁾ • 생존자 및 목격자가 없고 조사를 위한 증거 확보가 불가하여 사실의 경과와 원인판단이 곤란한 경우로서 사건 접수일로부터 1년이 경과한 것

자료: 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 사무처리요령」 제46조

그리고 심각한 사고로 간주할 수 있는 지침은 네 가지가 있다. 「해양사고 징계량 결정 지침」 제4조(피해의 경중)에 따르면, 1급 사상은 2인 이상 사망 또는 실종을 기준으로 정하고 있다. 「해양사고 특별조사부 운영지침」 제2조(정의)에 따르면, 1급 해양사고는 선박의 전손, 사망 또는 심각한 해양오염이 발생한 사고로 정하고 있다. 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 사무처리요령」 제19조(해양사고 발생보고)에 따르면, 중대한 해양사고의 기준은 10명 이상의 사망자 또는 실종자가 생긴 경우 등으로 정하고 있다. 마지막으로 「해양사고 등의 수습에 관한 규정」 별표 4에 따르면, 장·차관 보고 대상의 해양사고는 2명 이상의 사망·실종사고, 여객선 충돌·접촉·전

- 19) 스스로 운항이 가능하고 큰 수리를 요하지 않는 경우
- 20) 본래의 기능이 유지되거나 운용을 위해 별도 큰 수리를 요하지 않는 경우
- 21) 스스로 운항이 가능하고 큰 수리를 요하지 않는 경우
- 22) 관련기기의 기본 성능에 영향을 주지 않는 영향
- 23) 주기운전에 영향이 없는 단순 보기류의 손상이 발생한 경우
- 24) 자체수리가 가능한 손상 및 선박운항과 직접 관련이 없는 곳에서 부분적으로 손상이 발생하여 다른 곳으로 전이되지 않을 경우
- 25) 외판·갑판 및 선내 시설 등에 손상 또는 소손이 생겼음에도 항행이 위험하지 않은 경우
- 26) 부속품의 신환과 같은 간단하게 수리할 수 있고 손상원인이 노후, 탈락 등과 같이 명확한 경우
- 27) 복합적이지 않고 명백히 규명되는 1가지 이유에 의해서 발생한 경우
- 28) 1개월 미만의 입원비용이 필요한 경우
- 29) 예정된 항해를 완료할 수 없는 사고로서 사고원인이 간명한 경우
- 30) 우리나라의 이익을 해치지 아니하고 해양사고 재발방지를 위한 목적으로 심판을 할 필요가 없는 경우
- 31) 복합적이지 않고 명백히 규명되는 1가지 이유에 의해 발생한 경우

복·화재·폭발·침몰사고와 행방불명 사고, 항로상 선박 침몰사고 등으로 정하고 있다. <표 2-22>는 심각한 사고와 관련한 우리나라 근거 법령과 그 내용이다.

〈표 2-22〉 심각한 사고 관련 해양사고 기준

근거법령	심각한 사고 기준
「해양사고 징계량 결정 지침」 제4조(피해의 경중)	• 1급 사상: 2인 이상 사망 또는 실종
「해양사고 특별조사부 운영지침」 제2조(정의)	• 1급 해양사고: 선박의 전손, 사망 또는 심각한 해양오염이 발생한 사고
「해양사고의 조사 및 심판에 관한 사무처리요령」 제19조(해양사고 발생보고)	• 10명 이상의 사망자 또는 실종자가 생긴 경우 • 여객선의 해양사고로서 여객이 사망 또는 실종되거나 여객 5명 이상이 중상을 입은 경우 • 총톤수 1,600톤 이상의 선박이 전손된 경우 • 위험물에 의한 폭발 또는 화재로 선박의 손상이 중대한 것. • 기름 등의 유출로 심각한 해양오염을 일으킨 경우
「해양사고 등의 수습에 관한 규정」 별표 4	• 해양사고 등으로 인하여 2인 이상의 사망, 실종 사고 • 상선 및 원양어선 전손 사고 • 여객선의 충돌·접촉·좌초·전복·화재·폭발·침몰사고 및 여객선이 멸실·유기 또는 행방불명된 사고 • 항로상 선박침몰 등으로 항만운영·공사에 심각한 지장이 초래된 사고

자료: 저자 작성

본 연구에서는 우리나라 해양사고의 심각도 분석을 위해 IMO의 심각도별 사고 정의 기준과 우리나라 해양사고의 심판불필요처분 기준 및 심각도 관련 법령을 참고하여, 다음과 같은 기준으로 최근 3년간의 해양사고 발생 척수 데이터³²⁾를 심각도별로 분류하였다. IMO의 심각도별 기준 중 하나인 오염의 정도는 현재 해양사고 정보의 한계상 분석을 위한 심각도 기준에서 제외하였다.

32) 한국해양수산개발원(2021), p. 217.

〈표 2-23〉 심각도별 해양사고 구분 기준

종류	기준
매우 심각한 사고	- 선박의 전손 - 심판이 진행된 사고 중 2명 이상이 사망한 사고
심각한 사고	매우심각, 심판불필요처분을 제외한 6대 해양사고(충돌, 좌초, 침수, 침몰, 전복, 화재)와 사망, 실종자가 발생한 사고
경미한 사고	「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률 사무처리요령」 제46조(심판불필요처분의 기준)에 부합하는 사고

자료: 저자 작성

1) 연도별 해양사고 분석

해양사고 발생 척수의 3년간 평균 심각도별 비율을 살펴보면, 매우 심각한 사고는 1.5%, 심각한 사고는 14.7%, 경미한 사고는 83.8%로 나타났다. 매년 해양사고 발생 척수가 증가하면서, 대부분의 유형이 증가하고 있으며, 특히 매우 심각한 사고의 경우 3년간 꾸준히 증가하는 것으로 분석되었다.

〈표 2-24〉 최근 3년간 심각도별 해양사고 총괄

단위: 척, %

연도 \ 심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
2018	27	409	2,532	2,968	14.7
	0.9%	13.8%	85.3%	100.0%	
2019	55	522	2,697	3,274	16.6
	1.7%	15.9%	82.4%	100.0%	
2020	62	506	2,967	3,535	16.1
	1.8%	14.3%	83.9%	100.0%	
합계	144	1,437	8,196	9,777	16.2
	1.5%	14.7%	83.8%	100.0%	

주: 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임

자료: 한국해양수산개발원(2021), p. 239

2) 해역별 해양사고 분석

최근 3년간의 심각도별, 해역별 해양사고를 살펴보면 매우 심각 및 심각한 해양사고 발생 척수는 무역항과 진입수로의 약 21.1%, 무역항과 진입수를 제외한 영해의 약 15.1%, 국외의 약 16.5%를 차지한다.

무역항 진입수로에서는 총 1,263척의 선박에서 해양사고가 발생하였고, 부산항과 진입수로, 울산항과 진입수로, 포항항·인천항과 진입수로 순으로 해양사고 발생 척수가 많다. 하지만 무역항과 진입수로별 심각도 비율은 제주와 서귀포항이 약 50.0%로 가장 많았고 부산-거제수역, 대산항 순으로 많은 비율을 차지한다.

영해에서는 남해, 서해, 동해 순으로 전체 해양사고 발생 척수가 많았으며, 심각도 비율도 동일한 순이었다. 국외에서는 동해 공해, 남해 공해, 기타, 서해 공해 순으로 많지만 심각도 비율은 서해, 기타, 남해, 동해 순으로 많았다.

〈표 2-25〉 심각도별 해역별 해양사고 현황

단위: 척, %

해역		심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
국 내	무 역 항	인천항 및 진입수로	2	30	124	156	20.51
		장항, 군산항 및 진입수로	1	23	97	121	19.83
		대산항	-	8	18	26	30.77
		평택·당진항	1	5	48	54	11.11
	및 진 입 수 로	목포항 및 진입수로	1	27	86	114	24.56
		여수항, 광양항 및 진입수로	2	14	56	72	22.22
		삼천포, 통영항 및 통영해만, 견내량수로	-	8	43	51	15.69
		마산항, 진해항, 진해만(가덕수로)	-	4	25	29	13.79

해역		심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
영 해	부산항과 진입수로		3	36	174	213	18.31
	부산-거제수역 (옥포, 장승포항)		-	3	6	9	33.33
	울산항과 진입수로, 포항항		2	26	178	206	13.59
	동해, 속초, 삼척항		-	2	29	31	6.45
	제주, 서귀포항		6	33	39	78	50.00
	기타 무역항		2	28	73	103	29.13
	계		20	247	996	1,263	21.14
	동해		19	128	1,019	1,166	12.61
	서해		44	383	2,281	2,708	15.77
	남해		39	543	3,105	3,687	15.79
	계		102	1,054	6,405	7,561	15.29
	계(국내)		122	1,301	7,401	8,824	16.13
국 외	동해 공해		7	42	286	335	14.63
	서해 공해		2	35	115	152	24.34
	남해 공해		8	32	271	311	12.86
	기타		5	27	123	155	20.65
	계(국외)		22	136	795	953	16.58
총계			144	1,437	8,196	9,777	16.17

주: 1) 기타 무역항: 경인항, 서울항, 태안항, 보령항, 완도항, 하동항, 고현항, 호산항, 옥계항 등
 2) 해역 분류: '국내'는 '무역항 및 진입수로'와 무역항 및 진입수로를 제외한 '영해'로 나누고, '국외'는 '동, 서, 남해' 공해와 '기타'(외국수역 및 원양 등)로 구분함
 3) 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임
 자료: 한국해양수산개발원(2021) p. 217을 바탕으로 저자 작성

3) 월별 해양사고 분석

월별 해양사고 발생 척수는 9월, 10월, 8월 순으로 많지만, 심각도 비율은 12월에 약 30.53%로 다른 달에 비해 큰 비중을 차지하고, 그다음으로 11월, 10월, 9월 순으로 심각도 비율이 높다.

〈표 2-26〉 심각도별 월별 해양사고 현황

단위: 척, %

심각도 월	매우심각	심각	경미	계	심각도 비율
1	7	58	610	675	9.63
2	9	41	443	493	10.14
3	7	55	578	640	9.69
4	7	54	594	655	9.31
5	9	65	715	789	9.38
6	7	75	703	785	10.45
7	5	116	745	866	13.97
8	6	162	782	950	17.68
9	29	214	941	1,184	20.52
10	18	220	876	1,114	21.36
11	20	165	681	866	21.36
12	20	212	528	760	30.53
계	144	1,437	8,196	9,777	16.17

주: 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임

자료: 한국해양수산개발원(2021) p. 217을 바탕으로 저자 작성

4) 심각도별 시간대별

시간대별 해양사고 발생 척수는 8시에서 16시까지가 가장 많은 것으로 나타났으나 심각도 비율은 0~4시, 4~8시, 20~24시 순으로 높게 나타났다. 즉, 주간시간에는 사고가 많이 발생하지만, 심각한 사고는 야간시간에 더 많이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

〈표 2-27〉 심각도별 시간대별 해양사고 현황

단위: 척, %

시간대 \ 심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
0~4시	26	159	588	773	23.93
4~8시	28	334	1,454	1,816	19.93
8~12시	36	340	2,098	2,474	15.20
12~16시	19	287	1,995	2,301	13.30
16~20시	18	185	1,396	1,599	12.70
20~24시	17	132	665	814	18.30
계	144	1,437	8,196	9,777	16.17

주: 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임

자료: 한국해양수산개발원(2021) p. 217을 바탕으로 저자 작성

5) 심각도별, 사고종류별

해양사고 발생 척수는 기관손상이 가장 많은 것으로 나타났으나, 심각도 비율은 사고종류별 피해의 특성상 충돌, 전복, 침몰, 화재폭발, 좌초 순으로 높게 나타났다.

〈표 2-28〉 심각도별, 사고종류별 해양사고 현황

단위: 척, %

사고 종류 \ 심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
충돌	25	757	808	1,590	49.18
전복	33	77	172	282	39.01
침몰	41	22	110	173	36.42
화재폭발	24	126	263	413	36.32
안전사고	3	127	471	601	21.63
접촉	1	-	112	113	0.88
좌초	11	150	333	494	32.59
기관손상	-	-	2,625	2,625	0.00

사고 종류	심각도	매우 심각	심각	경미	계	심각도 비율
부유물 감김		-	-	985	985	0.00
운항저해		-	-	475	475	0.00
해양오염		1	-	245	246	0.41
침수		4	177	477	658	27.51
조타장치손상		-	-	342	342	0.00
추진축계손상		-	-	625	625	0.00
기타		1	1	153	155	1.29
계		144	1,437	8,196	9,777	16.17

주: 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임

자료: 한국해양수산개발원(2021) p. 241

6) 심각도별, 선박 용도별

선박 용도별 해양사고 발생 척수는 어선이 가장 많지만, 심각도 비율은 예인선, 기타선, 화물선, 여객선, 어선, 수상레저기구 순으로 높게 나타났다.

〈표 2-29〉 심각도별, 선박 용도별 해양사고 현황

단위: 척, %

선박 용도	심각도	매우심각	심각	경미	계	심각도 비율
어선		108	976	5,394	6,478	16.73
비어선	여객선	0	28	116	144	19.44
	화물선	2	78	282	362	22.10
	유조선	0	52	213	265	19.62
	예인선	10	59	248	317	21.77
	수상레저기구	17	136	1,549	1,702	8.99
	기타선	7	108	394	509	22.59
합계		144	1,437	8,196	9,777	16.17

주: 심각도 비율은 전체 해양사고 중 심각, 매우심각 사고의 비율임

자료: 한국해양수산개발원(2021) p. 241

3. 재결서 주요 원인 분석

중앙해양안전심판원에서는 재결된 해양사고에 한하여 사고 원인 통계를 제공하고 있다. 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률사무처리요령」 제 46조에 따른 해양사고 심판불필요기준에 따라 재결된 사고는 최근 5년간 1,038건으로 전체 해양사고의 약 7.6%를 차지한다.

해양안전심판원의 사고 종류별 재결 현황에 따르면 충돌사고가 총 392건으로 전체 재결 건수의 약 38%를 차지하여 제일 많은 것으로 나타났으며, 그다음으로 안전사고, 좌초 순이다.

〈표 2-30〉 사고 종류별 재결 현황

단위: 건

연도 사고 종류	2016	2017	2018	2019	2020	계
충돌	91	100	67	59	75	392
전복	10	8	7	6	10	41
침몰	8	8	10	9	8	43
화재폭발	14	13	17	17	17	78
안전사고	31	35	38	48	53	205
접촉	9	7	7	11	12	46
좌초	19	20	18	17	18	92
기관손상	15	17	9	2	4	47
부유물 감김	-	-	-	-	-	-
운항저해	-	1	-	-	-	1
해양오염	7	8	6	11	9	41
기타	18	16	8	6	4	52
계	222	233	187	186	210	1,038

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), p. 162의 자료를 바탕으로 저자 작성

재결된 해양사고의 원인을 살펴보면 운항과실이 약 77%로 사고 원인 중 가장 높은 비중을 차지한다. 특히 운항과실의 세부 원인 중에서 경계소홀은 전체 해양사고 재결분의 약 37%를 차지해 가장 높으며, 그다음으로 선내작업 안전수칙 미준수, 항행법규 위반 순이다. 주요 재결 해양사고 종류별 원인을 살펴보면, 충돌은 경계소홀과 항행법규 위반, 안전사고는 선내작업 안전수칙 미준수, 좌초는 선위확인 소홀이 주된 원인인 것으로 나타났다.

〈표 2-31〉 사고 종류별 해양사고 원인 현황

단위: 개

원인	사고 종류	충돌	전복	침몰	화재 폭발	안전 사고	접촉	좌초	기관 손상	기타	계
운항 과실	출항준비 불량	3	2	3	1	1	2	4	-	8	24
	수로조사 불충분	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	침로의 선정·유지불량	-	-	-	-	-	3	1	-	-	4
	선위확인 소홀	-	1	1	-	2	2	49	-	-	55
	조선 부적절	29	5	6	-	3	25	6	-	1	75
	경계소홀	514	4	2	-	2	10	10	-	7	549
	황천대비 대응불량	15	0	4	-	3	1	3	-	-	26
	묘박 계류 부적절	7	1	1	-	-	-	5	-	1	15
	항행법규 위반	157	-	-	-	-	-	-	-	-	157
	복무감독 소홀	-	-	-	1	16	-	-	-	1	18
	당직근무 태만	18	-	-	1	-	1	6	-	2	28
	선내작업 안전수칙 미준수	-	3	1	2	142	-	-	-	17	165
	운항과실 기타	14	4	2	-	1	5	3	-	3	32
	계	757	20	20	5	170	49	87		40	1,148

원인	사고 종류										
		충돌	전복	침몰	화재 폭발	안전 사고	접촉	좌초	기관 손상	기타	계
취급 불량 및 결함	선체, 기관설비 결함	3	7	3	34	11	1	-	16	23	98
	기관설비 취급 불량	6	2	3	20	4	-	1	30	21	87
	화기취급 불량, 전선노후, 합선	-	-	-	6	-	-	-	-	-	6
	계	9	9	6	60	15	1	1	46	44	191
기타	여객, 화물의 적재불량	-	12	2	4	-	-	-	-	3	21
	선박 운항관리 부적절	3	4	12	5	22	1	5	1	9	62
	승무원 배송 부적절	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
	항해원조시설 부적절	2	1	1	-	1	1	-	-	1	7
	기상 등 불가항력	15	2	6	-	-	1	1	-	2	27
	기타	14	-	1	6	3	-	-	-	1	25
	계	34	19	22	15	27	3	6	1	16	143
	합계	800	48	48	80	212	53	94	47	100	1,482

주: 1) 기타(사고종류): 부유물감김, 운항저해, 해양오염, 침수, 추진축계손상, 조타장치손상 등

2) 사건에 복수의 원인이 있을 경우에는 모든 원인을 중복 계상

자료: 중앙해양안전심판원(2021b), pp. 171~177의 자료를 바탕으로 저자 작성

제3절 시사점

1. 물동량 증가와 더불어 복잡해지는 해상교통 환경

우리나라는 3면이 바다로 둘러싸여 선박을 이용한 교역은 불가피하다. 이는 항만물동량 수치로도 나타나며, 최근 5년간 항만물동량 현황을 살펴 보면, 코로나19 상황으로 물동량이 감소한 경우를 제외하고 2019년까지는

증가 추세를 보였다. 특히 부산항과 광양항, 울산항 등 남해권 항만의 물동량이 다른 항만에 비해서 높았다. 그중 부산항은 2020년 12월 기준, 세계에서 7번째로 컨테이너 물량을 많이 처리하는 항만으로 자리 잡았다. 다시 말해 우리나라 항만 부근이나 항만으로 접근하는 수역은 물동량 증가와 함께 해상교통 환경이 복잡해질 것으로 판단할 수 있다.

복잡한 항만과 항만 접근 수역의 해상교통 안전을 증진하고 해양사고 예방을 위해 해양경찰은 선박교통관제 서비스를 시행하고 있다. 2017년 12월 영흥수도에서 발생한 급유선과 낚시어선 간 충돌사고를 통해 해당 구역이 선박교통관제의 사각지대임이 드러났으며, 이를 보완하기 위해 2021년부터는 영흥수도를 포함하여 관제구역이 확대되어 서비스가 제공되고 있다. 즉, 갈수록 복잡해지는 해상교통 환경에서 운항하는 선박의 안전을 위해 관제서비스 등 해양사고의 주원인인 운항과실을 줄일 수 있는 방안이 필요한 것으로 판단된다.

2. 다양한 기법을 통한 선박통항 해역의 정량적인 진단 필요

우리나라는 「해사안전법」을 통해 항로 또는 정박지의 지정 고시·변경, 선박통항 금지 및 제한 수역 설정 등 해상교통안전에 영향을 미치는 사업을 시행하기 전에는 해상교통안전진단을 통해 항행 위험요인을 조사하고 측정토록 정하고 있다. 특히 제2차 국가해사안전 기본계획을 통해서 정부는 해상교통안전진단 제도 고도화의 일환으로 합리적인 해상교통 영향평가를 위해 안전진단의 평가기법 전문성·객관성 제고를 추진하겠다고 제시했다.³³⁾ 즉 정량적인 해상교통 위험도 모델을 이용하여 해역안전을 객관적으로 평가하고 그 대책을 제시하는 제도를 운영 중이며, 정부에서는 전문성, 객관성 향상을 위해 노력하고 있는 것을 알 수 있다. 현재 해상교통 위험도

33) 해양수산부(검색일: 2021. 6. 7)

모델이 사용되는 항목은 해상교통류 평가로 조선 환경과 교통 환경을 고려하여 해상교통 위험도를 평가하도록 규정되어 있다. 이를 통해 현재와 미래의 교통 상황을 예측하고 위험도 변화를 살펴보면, 변화에 따른 안전대책을 제시한다. 그러나 사용되는 위험도 평가 모델은 ES 모델만 활용되고 있어, 다양한 모델을 이용한 다각도의 진단이 필요한 것으로 판단된다.

3. 충돌사고는 파급력이 큰 심각한 사고

최근 5년간 사고 종류별 해양사고 통계에 따르면, 기관손상사고가 4,215건 발생하여 전체에서 약 31%를 차지한다. 그리고 충돌사고는 1,238건으로 약 10% 수준이다. 그러나 사고 종류별 재결 통계에 따르면, 기관손상은 47건으로 전체 재결 건수 대비 약 4% 수준인 반면에 충돌사고는 392건에 약 38%로 전체 재결되는 사고 종류 중 가장 많은 사고 유형이다. 그리고 심각도별로 분류하면 심각도 비율은 약 50%로 상당히 높은 수준에 해당한다. 충돌사고의 발생 빈도는 10% 수준이지만, 절반 이상이 심각한 사고로 분류되며, 38%는 사고 원인을 밝히고 결과를 명백히 하기 위해 심판을 받아야 하는 사고이다. 즉, 충돌사고는 인적·물적 피해 규모가 다른 종류의 해양사고보다 상대적으로 크며, 사고 원인을 명확히 해야 하는 사고이다.

이러한 충돌사고는 2020년에 277건 발생해 2016년 209건에 비해 약 32.5% 증가했으며, 5년간 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있다. 그리고 재결된 충돌사고의 주원인은 95%가 운항과실이며 특히 경계소홀과 항행법규 위반이 대부분이다. 그러므로 해양사고 데이터나 항해사의 운항 데이터인 AIS 등의 실제 기록을 기반으로 선박충돌 위험도 모델이 개발되어야 하며, 개발된 정량적인 위험도로 충돌사고를 줄일 수 있는 방안이 제시되어야 할 것이다.

03

해상교통안전 평가 모델 개발

제2장에서는 해상교통 안전을 평가하기 위한 범위를 충돌사고로 한정하였다. 본 장에서는 국제해상충돌예방규칙에 따라 정의된 충돌 과정을 분석하여 안전 평가 모델에서 사용하는 충돌 상황을 정의하고자 한다. 그리고 대표적인 위험도 평가 모델의 심층 분석을 통해 시사점을 도출하고 본 연구의 해상교통안전 평가 모델 개발의 방향을 확정하고자 한다. 해상교통안전 평가 모델은 크게 내부 요인과 외부 요인으로 구분하고 내부 요인은 설문조사를 통해서, 외부 요인은 5년간 우리나라 연안에서 발생한 충돌사고와 AIS 데이터를 이용하여 분석하고자 한다.

제1절 국제해상충돌예방규칙에 따른 충돌회피 과정 ———

국제해사기구(IMO)는 1927년 해상에서 선박 간 충돌을 예방하기 위해 「국제해상충돌예방규칙 협약(COLREGs: Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea)」을 채택하였다. 그리고 COLREGs는 1977년 발효되었다. COLREGs는 총칙, 선

박의 항법, 등화·형상물, 음향·발광신호에 관한 규정으로 구성되어 있으며, 전 세계 해상의 모든 선박에 적용된다.

COLREGs에서 정의하는 선박 조우상황은 마주치는 상태(head on situation), 교차하는 상태(crossing situation), 추월하는 상태(overtaking) 등 세 가지로 구분된다. 마주치는 상태에서 선박은 좌현에 둔 다른 선박이 피할 수 있도록 우현으로 변침해야 한다. 교차하는 상태에서 다른 선박을 우현에 두고 있는 선박은 피항선이 되며, 다른 선박을 좌현에 두고 있는 선박은 유지선이 된다. 추월하는 상태는 추월 방향을 따로 규정하고 있지 않으나, 다른 선박의 진로를 피해서 추월해야 한다.

1. 충돌위험의 판단

COLREGs에 따르면, 모든 선박은 충돌위험의 유무를 판단하기 위해 당시의 상황에 적절한 모든 유용한 수단을 이용해야 한다. 특히 충돌위험의 판단은 방위 변화와 거리를 고려해야 한다고 언급하고 있다. 방위 변화는 CPA(Closest point of approach, 최근접점)를 통해 계산할 수는 있으나, 충돌위험이라 판단하는 기준은 제시하지 않고 있다. 윤점동(2018)은 각기 상황이 다르기 때문에 선장의 상황 판단에 맡겨야 하며 수치로 표시할 수 없다고 하였다. 그러나 충돌회피 규칙 안내서에 따르면³⁴⁾, 선박 간 충돌의 위험이 시작되는 근거리는 2~3NM, 시간적으로는 약 6분 전이라 한다.

34) Cockcroft & Lameijer(2011)

〈표 3-1〉 제7조 충돌의 위험 조문

제7조 충돌의 위험
(a) 모든 선박은 충돌 위험의 유무를 판단하기 위하여 당시의 시정과 상태에 적절한 모든 유용한 수단을 강구해야 한다. 만일 의심스러우면 그와 같은 위험이 존재한다고 봐야 한다. (b) Radar를 장착하고 작동 가능하면 충돌의 위험에 대한 조기경보를 얻기 위한 장거리 주사, Radar 작동 또는 같은 효과를 얻을 수 있는 탐지된 물체의 체계적인 관측 등을 포함하여 Radar 장비를 올바르게 사용하여야 한다. (c) 불확실한 정보 특히 Radar에 의한 불확실한 정보에 근거를 두고 억측을 해서는 안 된다. (d) 충돌의 위험 유무를 결정함에 있어서는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다. i) 만일 접근 중인 선박의 남침의 방위가 현저하게 변화하지 않을 때에는 충돌의 위험이 존재한다고 봐야 한다. ii) 그와 같은 위험은 때에 따라서는 방위의 변화가 충분한 경우에도 있을 수 있으며, 특히 거대형 선이나, 예인열선에 접근하거나, 근거리에서 다른 선박에 접근하는 경우도 그러하다.

자료: 윤점동(2018), p. 84

2. 조우상황

1) 정면으로 마주치는 상태

정면으로 마주치는 상태는 서로 마주 보며 반대방향으로 혹은 거의 반대 방향으로 항해하는 선박 간의 조우관계를 의미한다. 이는 정면에서 좌우로 약 6° 이내 범위, 즉 상대 선박의 양현등이 보이는 경우로 이를 정면으로 마주치는 상태로 본다. 이러한 조우관계에서는 우전하여 좌현 대 좌현으로 항과해야 한다. 여기서 정면으로 마주치는 상태를 판별하기 위해서는 본선과 상대선의 침로 및 상대위치가 필요하다.

〈표 3-2〉 제14조 마주치는 상태 조문

제14조 마주치는 상태
(a) 충돌의 위험이 존재하는 2척의 동력선이 서로 반대되는 침로 또는 거의 반대되는 침로에서 마주치는 경우 각 선박은 서로 다른 선박의 좌현 측을 통과할 수 있도록 각기 우현 측으로 변침하여야 한다. (b) 서로 다른 선박을 선수방향 또는 거의 선수방향에서 보는 경우 즉, 야간에는 다른 선박의 두 개의 마스트 정부 등을 일직선 또는 거의 일직선상에서 보며 동시에 양현등을 볼 수 있는 경우, 그러한 마스트 정부등이나 또는 양현등만 볼 수 있는 경우, 그리고 추간에 있어서는 다른 선박의 상응하는 면을 보는 경우에는 정면으로 마주치는 상태가 존재한다고 보아야 한다. (c) 그러나 상태가 존재하는지 여부에 관해 의문이 있는 선박은 정면으로 마주치는 상태에 있다고 생각하고 행동하여야 한다.

자료: 윤점동(2018), p. 137

2) 추월하는 상태

추월하는 상태는 타선박이 정형 후 22.5도를 넘는 후방에 있으며, 전방에 위치한 선박의 선미등만 볼 수 있는 조우관계를 의미한다. 그리고 추월은 추월선이 피추월선을 앞지르는 것을 의미하기 때문에 추월선이 피추월선의 속력보다 높아야 성립된다고 판단할 수 있다. 여기서 추월하는 상태를 판별하기 위해서는 본선과 상대선의 침로와 속력, 상대위치가 필요하다.

〈표 3-3〉 제13조 추월하는 상태 조문

제13조 추월하는 상태
(a) 추월선은 제2장 제1절 및 제2절에 있는 규정에도 불구하고 추월당하는 선박의 진로를 피하여야 한다. (b) 다른 선박의 정형 후 22.5도를 넘는 후방 즉, 추월당하고 있는 선박과의 관계에서 야간에는 그 선박의 선미등만 볼 수 있고 현등을 볼 수 없는 선박은 추월선으로 보아야 한다. (c) 다른 선박을 추월하고 있는지에 관해 의문이 있는 선박은 자신이 추월하고 있는 경우로 생각하고 이에 합당한 동작을 취하여야 한다. (d) 두 선박 간의 방위가 그 후에 변경되더라도 추월선이 본 규칙상의 의미에서 횡단선으로 되는 것이 아니며 추월선은 완전히 앞질러 멀어질 때까지 추월당하는 선박의 진로를 피하여야 할 의무를 벗어나지 못한다.

자료: 윤점동(2018), p. 130

3) 교차하는 상태

교차하는 상태는 정면으로 마주치는 경우와 추월의 경우를 제외한 진로 상 충돌의 위험을 안고 서로 접근하는 상태를 의미한다. 충돌회피 규칙 안에서 따르면, 본선 선수 방향을 기준으로 $247.5 \sim 354^\circ$, $006 \sim 112.5^\circ$ 에서 상대선이 접근하는 상태이다. 여기서 교차하는 상태를 판별하기 위해서는 본선과 상대선의 침로 및 상대위치가 필요하다.

〈표 3-4〉 제15조 교차하는 상태 조문

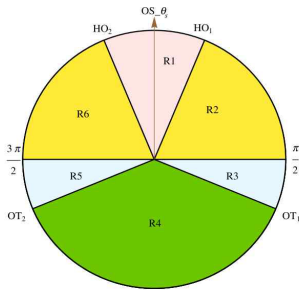
제15조 교차하는 상태
(a) 두 척의 동력선이 서로 진로를 횡단할 경우, 충돌의 위험이 있을 때는 다른 선박을 우현 측에 두고 있는 선박이 다른 선박의 진로를 피하여야 하며, 사정이 허락하는 한 다른 선박의 전방을 횡단하면 안 된다.

자료: 윤점동(2018), p. 153

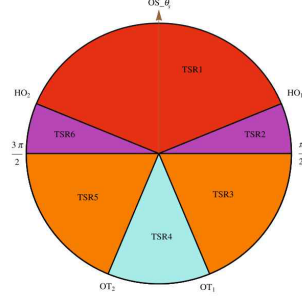
4) 조우상황의 판단

Tam & Bucknall(2010)은 COLREGs에 따른 조우상황을 판단할 수 있도록 간단한 그림을 제시했다. 〈그림 3-1〉의 (a)는 자선을 중심에 두고 선수각(heading, $OS_ \theta_s$)을 기준으로 타선이 위치한 구역을 여섯 구역(R1~6)으로 나눈 그림이다. 구역을 구분하는 각도 {HO1, HO2, OT1, OT2}는 $\{\pi/8, 15/8\pi, 5/8\pi, 11/8\pi\}$ 값을 제시하고 있으며, OT1, OT2는 COLREGs Rule 13(b)에서 명시하고 있지만 마주침(head on) 상황을 구분하는 각도 HO1, HO2는 COLREGs Rule 14에서 명시하고 있지 않기 때문에 $\pi/8, 15/8\pi$ 값을 추천하고 있다(Tam & Bucknall, 2010). 〈그림 3-1〉의 (b)는 자선을 중심에 두고 선수각($OS_ \theta_s$)을 기준으로 타선의 선수각을 여섯 구역(TSR1~6)으로 분류한 그림이다. TSR(Traffic Separation Region) 각 구역은 〈그림 3-1〉 (a)와 같은 조우상황 항목 중 하나를 의미하며, 각 R 구역 대비 모든 TSR 구역의 조우상황은 〈그림 3-2〉와 같은 조우상황 판단 차트로 정의하고 있다.

〈그림 3-1〉 타 선박 위치 및 침로에 따른 구분



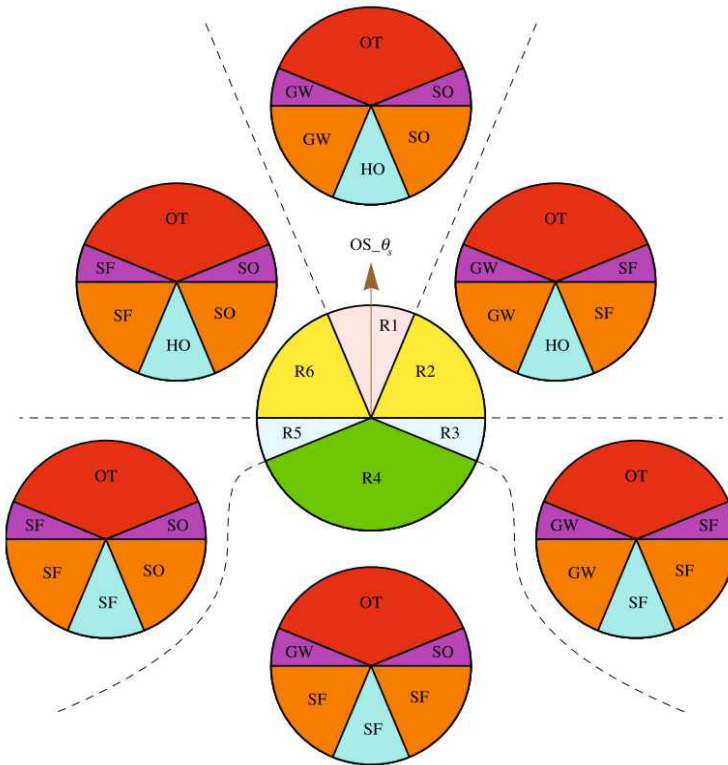
(a) 타 선박 위치에 따른 구분



(b) 타 선박 침로에 따른 구분

자료: Tam & Bucknall(2010)

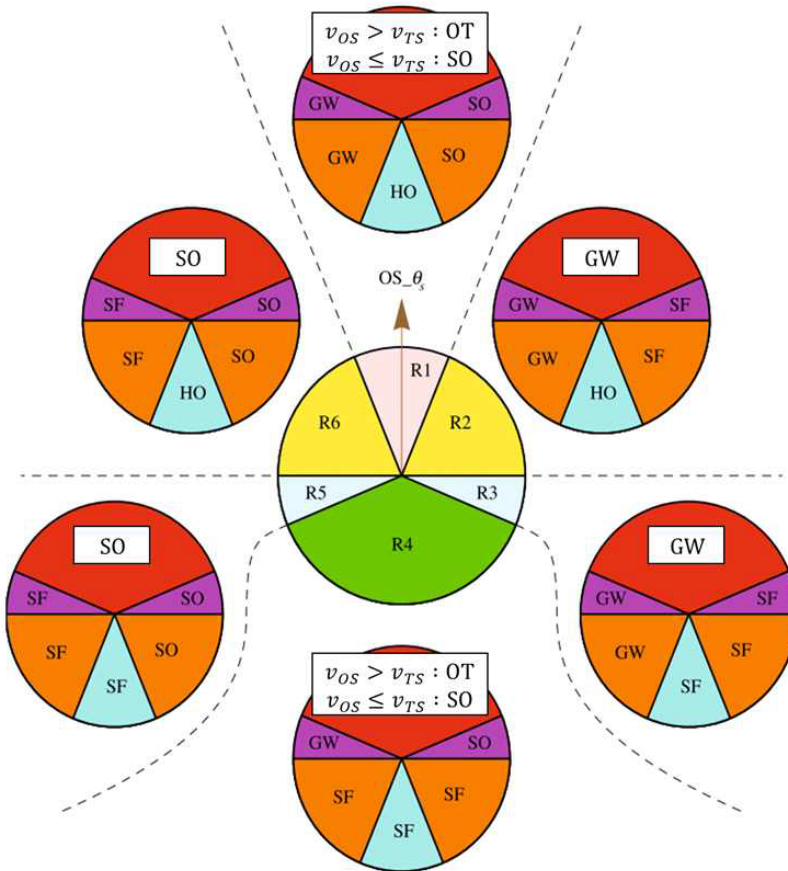
〈그림 3-2〉 조우상황 판단 차트



자료: Tam & Bucknall(2010)

한편 김동함(2019)은 Tam & Bucknall(2010)이 제안한 조우상황 판단 차트에서 교차하는 상태에서 피항선임에도 불구하고 추월선으로 분류되는 경우와 추월선과 피추월선이 모두 추월선으로 분류되는 문제점을 지적하였다. 그리고 이러한 문제점을 개선하기 위하여 타선이 자선 기준의 특정 영역을 침범했을 때는 영역을 벗어나기 전까지 조우상황이 변경되지 않는다는 가정을 하였다.

〈그림 3-3〉 수정된 조우상황 판단 차트



자료: 김동함(2019)

〈그림 3-3〉은 수정된 조우상황 차트이다. R2, R3 대비 TSR1 영역은 피항선(GW)으로 분류하고 R5, R6 대비 TSR1 영역은 유지선(SO)으로 분류하였다. R1과 R4 대비 TSR1 영역은 자선과 타선의 속력에 따라 추월선(OT)과 유지선(SO)이 결정되도록 한다. 속력이 상대적으로 느린 선박은 속력이 빠른 선박을 추월할 수 없기 때문에 속도를 비교하여 조우상황을 분류하였다(김동함, 2019). 본 연구에서는 김동함(2019)이 제안한 수정된 조우상황 차트를 활용하여 위험도 모델을 개발하고자 한다.

제2절 주요 선박충돌 위험도 모델 사례

1. IWRAP 모델

1) 개요

IWRAP(IALA Waterway Risk Assessment)는 항만수로의 위험도를 분석하는 정량적 평가 모델이다. 이 모델은 1998~2001년 캐나다 Coast Guard와 덴마크공과대학(Technical university of Denmark)이 공동으로 참여한 ISESO Project에 따라 개발되었다.

IWRAP는 IALA에서 공식적으로 추천하는 해상교통 안전성 평가모델이다. IWRAP에서는 도버해협, 지브롤터 해협, 일본(간몬, 아카시, 구루시마 해협 등) 등 선박통행이 많은 해협과 Great Belt, Danish waters, Dames Point bridge FL, New Orleans bridge 등 세계 여러 수역과 교량 주변의 연간 선박 충돌 빈도를 제시하고 있다. IWRAP에서 제시하는 충돌 빈도는 다음 식으로 산출된다.

$$\lambda_{col} = N_G \times P_C$$

여기서, λ_{col} : 연간 선박충돌 빈도

N_G : 기하학적 충돌 빈도

P_C : 인과요소

연간 선박충돌 빈도는 해당 구역에서 일어난 충돌 빈도이며, 모든 경우의 합이 수로 전체 위험도로 산출된다. 기하학적 충돌 빈도는 선박이 상호 근접상황이 되어 충돌위험이 발생할 경우의 수이다. 인과요소는 충돌침로로 항해할 경우 충돌 회피에 실패할 확률이다.

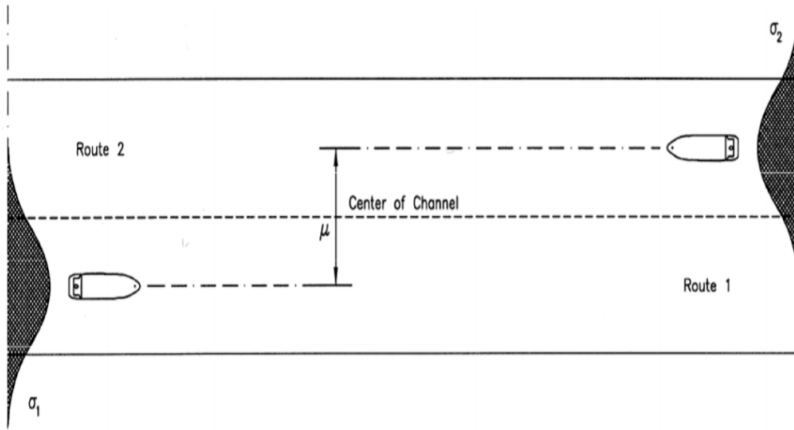
기하학적 선박 충돌 빈도는 선박의 충돌 회피 동작이 없는 상황에서 해당 구역의 선박통행 분포를 활용하여 산출된다. MacDuff(1974)는 선박 좌초 위험 확률을 제안하였으며, Pedersen(2010)은 변침점에서 2개의 항로 간 기하학적 선박 충돌 빈도 산출 방법을 제시하였다. Pedersen에 따르면 기하학적 선박 충돌 빈도 산출 방법은 다른 기법에 비해 상대적으로 충돌 확률 산출이 쉬운 장점이 있다(김광일, 2015).

Kaneko(2000)는 본선 진행 방향의 직사각형 영역과 타선의 원 영역을 설정하고, 본선과 타선 간의 거리가 원 안으로 진입하면 위험상황으로 간주하여 충돌 확률을 계산하는 모델을 제안하였다. 이 모델은 좁은 수로보다 대양에서 적합한 것으로 산출되었다.

2) 기하학적 선박 충돌 빈도

(1) 마주치는 상황과 추월 시 N_G 값 산출

〈그림 3-4〉 마주치는 상황



자료: IALA(검색일: 2021. 5. 29)

〈그림 3-4〉는 항로1(Route1)에서 선박 i와 항로 2(Route2)에서 선박 j가 μ 의 이격거리로 마주치는 상황이다. 마주치는 상황의 기하학적 선박 충돌 빈도는 다음 식으로 산출된다.

$$N_G^{head-on} = L_w \sum_{i,j} P_{G_{i,j}}^{head-on} \frac{V_{ij}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)})$$

여기서, L_w : 항로 길이

V_{ij} : 상대 속력 ($V_{ij} = V_i^{(1)} + V_j^{(2)}$)

$V_i^{(1)}$: 선종 i의 선박이 항로 1에서 통항하는 평균속력

$V_j^{(2)}$: 선종 j의 선박이 항로 2에서 통항하는 평균속력

$Q_i^{(1)}$: 항로 1의 선종 i 선박의 통항량

$Q_j^{(2)}$: 항로 2의 선종 j 선박의 통항량

각 항로에는 항로 중심선상으로부터 $\mu/2$ 의 평균값과 표준편차 σ 를 갖는 정규분포에 따른다고 가정하고, 마주치는 상태로 조우하는 항로선상에서 통항분포가 중첩되는 부분의 충돌 확률을 계산한다. P_G 는 마주치는 상태에서 양 선박이 서로 충돌할 확률이며, 다음의 식으로 산출된다.

$$P_{G_{ij}}^{head-on} = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\delta_{ij}}\right)$$

여기서, $\Phi(x)$: 표준정규분포함수

μ_{ij} : 통항분포 평균 ($\mu_{ij} = \mu_i + \mu_j$)

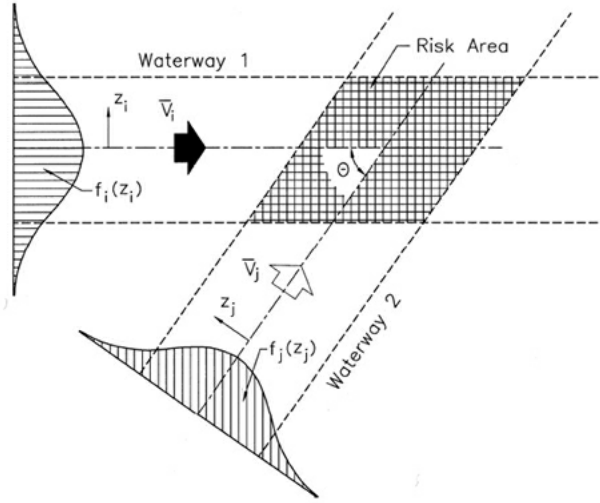
σ_{ij} : 표준편차 ($\sigma_{ij} = \sqrt{\sigma_i + \sigma_j}$)

B_{ij} : 선박 폭의 평균 ($B_{ij} = \frac{B_i + B_j}{2}$)

추월 상태에서 기하학적 선박 충돌 빈도(N_G)는 선박이 항로를 따라 같은 방향으로 항행하므로 다음의 식으로 산출이 가능하다. 상대속력은 $V_{ij} = V_i - V_j$ ($V_{ij} > 0$)으로 계산하기 때문에, $V_{ij} < 0$ 이면 추월하는 상황은 아닌 것으로 판별한다.

(2) 교차하는 상태 시 N_G 값 산출

〈그림 3-5〉 교차하는 상황



자료: IALA(검색일: 2021. 5. 29)

〈그림 3-5〉는 선박의 통항분포가 교차되는 구간을 나타낸다. 교차 시에 N_G 값은 선종 i인 선박이 항로 1과 선종 j인 선박이 항로 2에서 θ 의 교차각으로 횡단할 때 다음의 식으로 계산된다.

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin \theta} \quad \text{for } 10^\circ < |\theta| < 170^\circ$$

여기서, $Q_i^{(1)}$: 항로 1의 선종 i 선박의 통항량

$Q_j^{(2)}$: 항로 2의 선종 j 선박의 통항량

V_{ij} : 항로 1에서 선종 i 선박과 항로 2에서 선종 j 선박 간 상대속력

$$(V_{ij} = \sqrt{(V_i^{(1)})^2 + (V_j^{(2)})^2 - 2 V_i^{(1)} V_j^{(2)} \cos \theta})$$

$V_i^{(1)}$: 선종 i의 선박이 항로 1에서 통항하는 평균속력

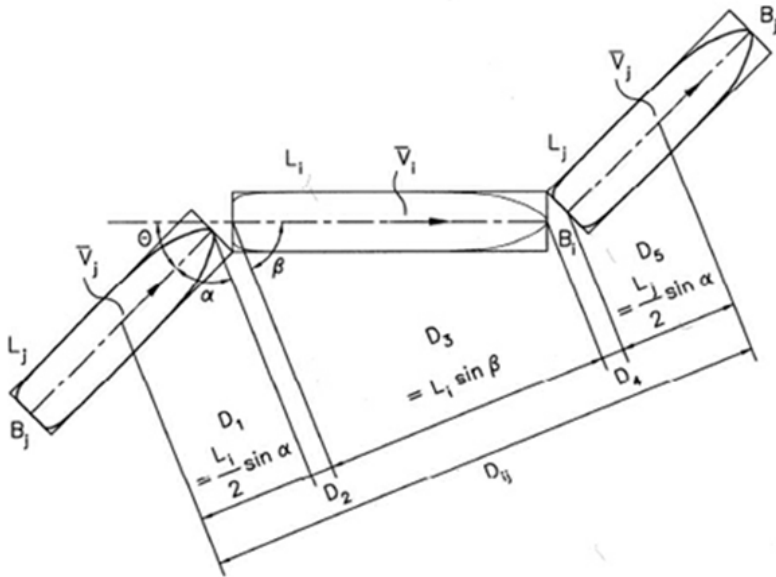
$V_j^{(2)}$: 선종 j의 선박이 항로 2에서 통항하는 평균속력

θ : 항로 간 교차각

D_{ij} : 항로별, 선종별 기하학적 충돌 반경

〈그림 3-6〉은 교차하는 상황에서 선박 간 기하학적인 충돌반경(D_{ij})을 나타낸다. 여기서 각 선박은 직사각형을 가정하여 계산한다.

〈그림 3-6〉 선박 충돌 반경



자료: IALA(검색일: 2021. 5. 29)

$$D_{ij} = \frac{L_i^{(1)} V_j^{(2)} + L_j^{(2)} V_i^{(1)}}{V_{ij}} \sin \theta + B_j^{(2)} \left\{ 1 - \left(\sin \theta \frac{V_i^{(1)}}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$+ B_j^{(1)} \left\{ 1 - (\sin \theta \frac{V_j^{(2)}}{V_{ij}})^2 \right\}^{1/2}$$

여기서, $L_i^{(1)}$: 항로 1에서 선종 i 선박 길이 평균

$L_j^{(2)}$: 항로 2에서 선종 j 선박 길이 평균

$B_i^{(1)}$: 항로 1에서 선종 i 선박 폭 평균

$B_j^{(2)}$: 항로 2에서 선종 j 선박 폭 평균

V_{ij} : 항로 1에서 선종 i 선박과 항로 2에서 선종 j 선박 간 상대속력

$$(V_{ij} = \sqrt{(V_i^{(1)})^2 + (V_j^{(2)})^2 - 2 V_i^{(1)} V_j^{(2)} \cos \theta})$$

$V_i^{(1)}$: 선종 i의 선박이 항로 1에서 통항하는 평균속력

$V_j^{(2)}$: 선종 j의 선박이 항로 2에서 통항하는 평균속력

θ : 항로 간 교차각

3) 인과요인

인과요인은 선박이 충돌침몰로 항해할 경우 충돌 회피를 못 할 확률이다. 인과요인은 Scenario approach와 Synthesis approach 방법이 있다. Scenario approach 방법은 해당 해역의 사고데이터를 기반으로 작성한다. Pedersen(1995)은 대상 해역에서 수집된 사고데이터로부터 인과요인(P_c) 이 추정되고 이 값을 대상 구역에 적용하는 것을 제안하였다. 이 방법은 간단하며, 다른 값의 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. Synthesis approach 방법은 선박에서 특정한 결함이 발생하는 것을 가정한다. 이러한 결함이 결정적인 순간에 발생한다면 사고로 이어질 것이다. Synthesis approach 방법에서 인과요인(P_c)은 BBN(Bayesian Belief Network)이나 FTA(Fault Tree Analysis)에 따라 계산된다.³⁵⁾

IALA에서는 기본 인과요인의 값을 <표 3-5>와 같이 제안하고 있다.

<표 3-5> IALA에서 제시하는 기본 인과요인 값

조우상황	인과요인(P_c)
마주치는 상황의 충돌	0.5×10^{-4}
추월하는 상황의 충돌	1.1×10^{-4}
교차하는 상황의 충돌	1.3×10^{-4}
만곡부에서의 충돌	1.3×10^{-4}
Merging situation 충돌	1.6×10^{-4}

자료: Peter Friis-Hansen(2008)

2. ES 모델³⁶⁾³⁷⁾³⁸⁾

Environmental Stress(ES) 모델은 해상교통안전진단(MSA: Maritime Safety Audit)³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾ 평가 모델로 주로 우리나라와 일본에서 해상교통 안전성 평가 기법으로 사용하고 있다. ES 모델은 항행하는 선박의 주변 환경 스트레스(ES: Environmental Stress)를 조선 환경 스트레스와 교통 환경 스트레스 등 두 가지로 구분한다.

1) 환경 스트레스 개념

35) Kujala *et al.*(2009), pp.1349-1357.

36) Inoue *et al.*(1997), pp. 225-234.

37) 공인영(2003), pp. 479-486.

38) Inoue(2000), pp. 167-180.

39) 조익순 외(2009), pp. 79-84.

40) Cho *et al.*(2010), pp. 699-704.

41) 조익순 외(2010), pp. 36-45.

ES 모델의 환경 스트레스는 항행선박 주변의 지형적인 제약에 해당하는 ‘조선 환경 스트레스’ 그리고 본선 주변 해역을 항행하는 타선의 분포에 해당하는 ‘교통 환경 스트레스’로 구성된다.

(1) 조선 환경 스트레스

조선 환경 스트레스는 선박이 항해하는 해역의 지형, 시설, 자연조건 등 주변 환경의 지리적, 물리적 제한으로 선박운항자가 조선상의 제한을 느끼게 되는 스트레스를 정량화한 지표이다.

조선 환경 스트레스의 정량적인 값 ES_L 을 산출하는 절차와 알고리즘은 다음과 같다.

[1단계] 현재 침로를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 범위의 본선 주변 조선 해역을 대상으로 선정한다.

[2단계] 현재 침로 기준 $\pm 90^\circ$ 범위에서 1도마다 위험물까지의 시간 여유를 본선 속력 V 와 물체까지의 거리 R 를 이용하여 계산한다.

[3단계] 각 침로에서 (매 1도) 얻어진 위험물을 조우하기까지의 여유 시간에 선박운항자가 느끼는 스트레스를 회귀식 SJL 을 이용하여 산출한다.

$$SJL = \alpha(R/V) + \beta$$

여기서,

SJL : 위험물의 접근으로 인해 조선자가 느끼는 스트레스

α, β : 본선 조건에 따라 결정되는 계수

R : 위험물까지의 거리[m]

V : 본선 속력[m/s]

GT : 본선의 총톤수[ton]

또한 운항 실무자를 대상으로 수행한 선박운항 시뮬레이터 실험과 설문 조사를 통해 도출된 선박운항자 주관을 반영한 계수 α, β 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\alpha &= -0.00092 \cdot \log_{10}(GT) + 0.0099 \\ &\quad (GT \leq 10,000 \text{ GT}) \\ &= +0.006671 \cdot \exp\{-7 \times 10^{-6}(GT)\} \\ &\quad (GT > 10,000 \text{ GT})\end{aligned}$$

$$\beta = -3.82$$

이때, S/JL 값과 선박운항자가 느끼는 스트레스의 관계는 다음과 같다.

- +3: 대단히 안전
- +2: 상당히 안전
- +1: 다소 안전
- 0: 어느 쪽이라고 할 수 없음
- 1: 다소 위험
- 2: 상당히 위험
- 3: 대단히 위험

[4단계] 본선에서 바라본 동일한 위험물의 상대 방위에 따라 선박운항자가 느끼는 스트레스가 달라지므로, 위험물의 방위에 따른 방향가중합수 $\omega(\theta)$ 를 적용하여 다음과 같이 조선환경 스트레스를 보정한다.

$$\omega(\theta) = \cos\left(\frac{90}{110}\theta\right)$$

여기서,

θ 는 본선 선수 방향을 기준으로 바라본 위험물의 방위[deg]를 나타낸다.

[5단계] 침로별 +3~-3의 스트레스를 0~6의 범위로 척도 변환하여

$\pm 90^\circ$ 침로 범위 내 전체 조선 환경 스트레스 ES_L 를 산출한다.

$$ES_L(t) = \int_{-90}^{+90} SJL(t) d\theta$$

이때,

조선 환경 스트레스 총합 ES_L 의 결과는 다음과 같이 해석된다.

- 0~500: Negligible(허용 가능)
- 500~750: Marginal(허용 가능)
- 750~900: Critical(경계)
- 900~1000: Catastrophic(허용 불가능)

(2) 교통 환경 스트레스

교통 환경 스트레스는 본선 주변의 해상 교통 환경이 선박운항자의 행동에 제약을 일으키고 그에 따라 선박을 운항하는 데서 선박운항자가 느끼게 되는 스트레스를 정량화한 지표이다.

교통 환경 스트레스의 정량적인 값 ES_s 를 산출하는 절차와 알고리즘은 다음과 같다.

[1단계] 현재 침로를 중심으로 $\pm 90^\circ$ 범위의 본선 주변 해상 교통 환경을 대상으로 선정한다.

[2단계] 현재 침로 기준 $\pm 90^\circ$ 범위에서 1도마다 타선까지의 시간 여유를 타선 상대속력 V 와 상대거리 R 를 이용하여 계산한다.

[3단계] 각 침로에서 (매 1도) 얻어진 타선을 조우하기까지의 여유 시간에 조선자가 느끼는 스트레스를 회귀식 SJS 를 이용하여 산출한다.

$$\begin{aligned}
 SJS &= \alpha(T \times V) / (\text{자선 및 타선의 평균 선장}) + \beta \\
 &= \alpha(\text{상대거리} / \text{자선 및 타선의 평균 선장}) + \beta \\
 &= \alpha(R / L_m) + \beta \\
 &= \alpha(R') + \beta
 \end{aligned}$$

여기서,

SJS : 타선의 접근에 따라 조선자가 느끼는 스트레스

α, β : 본선 조건에 따라 결정되는 계수

T : 여유 시간

R : 타선의 상대거리[m]

V : 타선 상대속력[m/s]

L_m : 자선과 타선의 평균 선장[m]

또한 운항 실무자를 대상으로 수행한 선박운항 시뮬레이터와 설문조사를 통해 도출된 선박운항자 주관에 반영한 계수 α, β 는 다음과 같다.

$$\alpha = 0.0019 \cdot L_m$$

타선 간 조우 조건에 따른 β 는 다음과 같다.

$$\text{우현에서 횡단하는 경우 } \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.07$$

$$\text{좌현에서 횡단하는 경우 } \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.35$$

$$\text{선수 헤드온(head-on) } \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 2.07$$

$$\text{선미 추월(overtaking) } \beta = -0.65 \cdot \ln(L_m) - 0.85$$

[4단계] 본선에서 바라본 동일한 타선의 상대방위에 따라 선박운항자가 느끼는 스트레스가 달라지므로, 타선의 상대방위에 따른 방향가중합수 $\omega(\theta)$ 를 적용하여 교통환경 스트레스를 보정한다.

$$\omega(\theta) = \cos\left(\frac{90}{110}\theta\right)$$

여기서,

θ 는 본선 선수방향을 기준으로 바라본 타선의 상대방위[deg]를 나타낸다.

[5단계] 침로별 +3~-3의 스트레스를 0~6의 범위로 척도 변환하여 $\pm 90^\circ$ 침로 범위 내 전체 교통 환경 스트레스 ES_S 를 산출한다.

$$ES_S(t) = \int_{-90}^{+90} SJS(t) d\theta$$

이때,

교통 환경 스트레스 총합 ES_S 결과는 다음과 같이 해석된다.

- 0~500: Negligible(허용 가능)
- 500~750: Marginal(허용 가능)
- 750~900: Critical(경계)
- 900~1000: Catastrophic(허용 불가능)

2) 환경 스트레스 추정

각 침로의 좌우 $\pm 90^\circ$ 이내에서 조선자가 느끼는 스트레스의 합이 환경 스트레스가 되며, 조선 환경 스트레스와 교통 환경 스트레스를 동시에 평가하는 경우에는 매 침로에서 ES_L 와 ES_S 값 중 큰 값을 선택하여 본선의 침로를 기준으로 좌우 $\pm 90^\circ$ 값을 합산하여 환경 스트레스 ES 값을 추정한다.

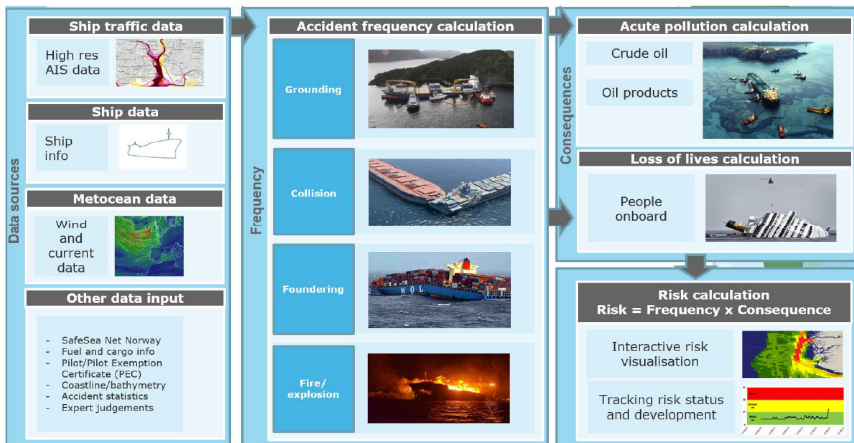
$$ES(t) = \int_{-90}^{+90} \max(SJL, SJS)(t) d\theta$$

3. AISyRisk

1) 개요

AISyRisk 모델은 노르웨이 연안해역을 항해하는 각 선박을 대상으로 위험도를 계산할 수 있는 모델이다. 해당 모델의 위험도는 AIS 데이터를 사용하여 계산되며, 해양사고로 발생한 인명 피해, 기름 유출에 따른 정량적인 위험도 값이 도출된다. <그림 3-7>은 AISyRisk 모델의 기본 구조를 나타낸다. 모델은 빈도와 심각도를 이용한 기본적인 위험 개념에 따라 개발되었다. 그리고 위험도 계산을 위해서는 AIS, Ship register, 사고와 준사고 데이터, 지리정보, 기상정보, VTS의 정보가 필요하다. 입력된 정보는 각각의 데이터 처리를 통해 정량적인 위험도 값이 도출된다.

<그림 3-7> AISyRisk 모델 기본 구조



자료: KYSTVERKET(2019), p. 13

2) 해양사고 유형별 모델

(1) 빈도 모델

해양사고 위험도 모델은 사고의 종류에 따라 좌초, 충돌, 침수, 화재, 폭발로 구분되며, <표 3-6>에 제시된 계산 원리에 따라 해양사고 발생 빈도를 계산한다.

<표 3-6> 해양사고 유형 및 계산 원리

해양사고 유형	계산 원리
충돌(마주치는 상황, 교차하는 상황, 추월하는 상황)	충돌 모델은 상황별로 발생하는 빈도를 추정하고 통계 분석을 통해 얻은 충돌 확률을 적용하여 빈도를 도출함
화재 / 폭발	화재/폭발 모델은 1마일당 화재/폭발사고 빈도에 노출되는 시간을 곱하여 사고 빈도를 도출함
침수	침수 모델은 1마일당 침수사고 빈도에 노출되는 시간을 곱하여 사고 빈도를 도출함
좌초	코스를 변경하지 않으면, 20분 내 좌초될 수 있는 변침점에서 변침하지 않은 경우와 확률을 이용하여 빈도를 도출함
	육상에 가깝게 항행하는 거리와 확률을 이용하여 빈도를 도출함

자료: KYSTVERKET(2019), p. 21의 자료를 바탕으로 저자 작성

위험도 모델에서 충돌은 두 선박이 접촉하는 사건으로 정의된다. 충돌 후보를 계산하기 위해서 선박안전영역을 도입하였다. 즉, 충돌 빈도는 선박 안전영역에 침입하는 횟수와 선박안전영역에 침입했을 때 사고로 이어지는 인과확률의 곱으로 계산된다. 선박안전영역은 6개의 꼭짓점을 연결한 육각형 형태를 이용하며, 선박 길이, 조우하는 상황과 속도에 따라서 크기가 결정된다.

$$R = R_0 \times 0.7 \log_{10}(SOG + 1.0)$$

여기서, R_0 : 조우 형태에 따른 반지름

SOG: 대상 선박의 대지속력(kt)

조우하는 두 선박 침로의 상대각도(θ)에 따라서 조우 형태가 결정된다. 마주치는 상황의 경우 상대각도는 $165^\circ < \theta < 195^\circ$ 이며, 추월하는 상황의 경우 상대각도는 $\theta \leq 25^\circ$ or $\theta \geq 335^\circ$ 이다. 그리고 교차하는 상황의 상대각도는 $25^\circ < \theta < 165^\circ$ or $195^\circ < \theta < 335^\circ$ 이다.

〈표 3-7〉은 조우상황별 안전영역의 반지름을 나타낸다.

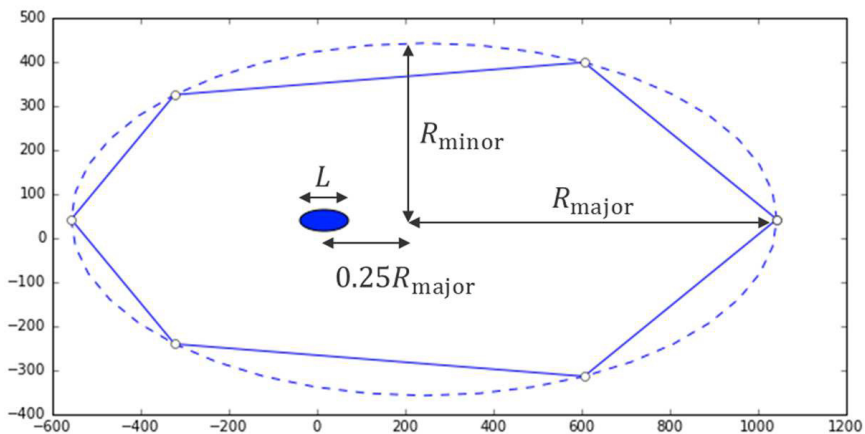
〈표 3-7〉 조우상황별 안전영역 반지름

조우상황	장직경	단직경
교차하는 상황	$8L$	$4L$
추월하는 상황	$7L$	$4L$
마주치는 상황	$20L$	$4L$

주: L 은 선박 길이를 의미함

자료: KYSTVERKET(2019), p. 38의 자료를 바탕으로 저자 작성

〈그림 3-8〉 AISyRisk 모델에서 사용하는 안전영역



자료: KYSTVERKET(2019), p. 38

AIS 데이터로 표시되는 점은 선박의 크기와 속도에 따라서 안전영역이 설정된다. 그리고 알고리즘에 따라서 AIS 데이터가 타 선박의 안전영역에 침범되었는지 확인한다. 여기서 항만 내에서 이동, 선회하는 선박을 제거하기 위해 4kt 이상의 선박만 대상으로 하며, 예인선, 도선선, SAR 선박 등 다른 선박과 접근하여 활동하는 선박도 제외하고 분석한다. 안전영역을 침범한 경우 중간지점을 찾아서 near-miss 선박으로 체크한다.

한편 충돌 인과요인은 충돌 위험 상황이 실제 충돌로 이어질 확률을 의미한다. AISyRisk 모델의 경우 2015년 노르웨이 연안해역에서 발생한 66만 3,163건의 충돌 위험 사항과 2013년부터 2017년까지 노르웨이 연안해역에서 발생한 실제 충돌사고의 비율을 이용하여 <표 3-8>과 같이 제시하였다.

<표 3-8> 선종별 조우상황별 인과 요인(확률)

선종	마주치는 상황	추월하는 상황	교차하는 상황
Crude oil tankers	3.6×10^{-6}	3.5×10^{-5}	5.6×10^{-5}
Oil product tankers	3.6×10^{-6}	3.5×10^{-5}	5.6×10^{-5}
Chemical tankers	3.6×10^{-6}	3.5×10^{-5}	5.6×10^{-5}
Gas tankers	3.6×10^{-6}	3.5×10^{-5}	5.6×10^{-5}
Bulk carriers	3.0×10^{-6}	2.7×10^{-5}	5.8×10^{-5}
General cargo ships	3.0×10^{-6}	2.7×10^{-5}	5.8×10^{-5}
Container ships	3.0×10^{-6}	2.7×10^{-5}	5.8×10^{-5}
Ro-Ro ships	3.0×10^{-6}	2.7×10^{-5}	5.8×10^{-5}
Refrigerated cargo ships	3.0×10^{-6}	2.7×10^{-5}	5.8×10^{-5}
Cruise ships	5.9×10^{-6}	3.5×10^{-5}	5.2×10^{-5}
Passenger ships	1.3×10^{-6}	1.3×10^{-5}	1.1×10^{-5}
Offshore supply ships	1.7×10^{-5}	1.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}
Other service offshore vessels	1.7×10^{-5}	1.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}
Other activities	7.2×10^{-6}	5.6×10^{-5}	1.4×10^{-4}
Fishing vessels	6.1×10^{-6}	5.6×10^{-5}	1.3×10^{-4}

자료: KYSTVERKET(2019), p. 41의 자료를 바탕으로 저자 작성

(2) 심각도 모델

가. 해양오염

해양오염은 연료와 화물 모두를 포함한다. 그리고 심각도는 유출 빈도(단위시간당 유출사고 횟수), 심각도 종류별 유출 횟수(단위시간당 유출범위별 유출사고 횟수), 유출량(연평균 유출량)을 고려한다.

나. 인명손실

인명손실은 해양사고로 사망자가 발생한 상황이다. 노르웨이 해사청에서 발표한 자료에 따르면, 1981년부터 2017년까지 노르웨이 해역에서 발생한 사고는 3,395건이며, 그중 1명 이상의 사망자가 발생한 사고는 총 119건이었다. 여기서 유선과 미등록 선박을 제외한 총톤수 100톤 이상의 선박을 대상으로 조사하였다. 그리고 해양사고가 발생했을 때 인명손실 발생 확률은 인명손실이 발생한 사고를 전체 해양사고 발생 수로 나눈 값이다.

인명손실이 발생할 확률을 선종별, 사고 종류별로 구분하면 <표 3-9>와 같다. 그리고 선종별, 사고 종류별 사상자 수를 도출하기 위해서는 선박에 등록된 인원으로 나눠야 한다.

〈표 3-9〉 선종별, 사고 종류별 인명손실 발생 확률

선종	좌초	충돌	화재/폭발	침수
Crude oil tankers	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Oil product tankers	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Chemical tankers	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Gas tankers	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Bulk carriers	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
General cargo ships	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Container ships	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Ro-Ro ships	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Refrigerated cargo ships	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Cruise ships	0.0003	0.0008	0.0014	0.0333
Passenger ships	0.0003	0.0008	0.0014	0.0333
Offshore supply ships	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Other service offshore vessels	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Other activities	0.0001	0.0017	0.0027	0.0250
Fishing vessels	0.0002	0.0012	0.0014	0.0455

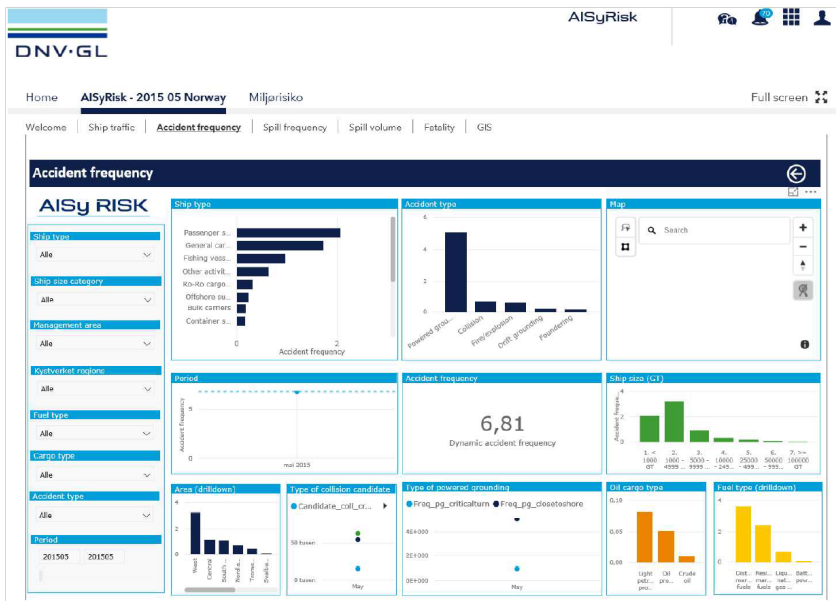
자료: KYSTVERKET(2019), p. 54의 자료를 바탕으로 저자 작성

3) AISyRisk 위험도 추정

선종별, 사고 종류별 위험 빈도와 심각도를 이용하여 다음 식과 같이 위험도 평가를 수행한다. 위험 빈도는 AIS를 기반으로 계산되며, 해양사고 심각도는 해양오염과 인명손실을 이용하여 계산된다. 그리고 위험도 평가 결과는 <그림 3-9>와 같이 시각화하여 제시한다.

$$R = F \times C$$

<그림 3-9> 해양사고 위험도 모델을 이용한 가시화



자료: KYSTVERKET(2019), p. 78

4. PARK 모델⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾

PARK(The Potential Assessment of Risk) 모델은 한국 연안해역을 항행하는 선박의 통행 위험성을 판단하기 위해 우리나라 선박운항자의 안전의식을 반영한 해상교통 위험도 평가 모델이다. 이 모델은 한국 선박운항자를 대상으로 선박 조우 형태와 선박 제반 사항별 주관적 위험도와 관련해 설문조사를 수행하고, 그 결과를 바탕으로 수행한 분산분석, 다중비교분석, 회귀분석을 통해 구축되었다.⁴⁶⁾⁴⁷⁾ 박영수·김종성·Volkan Aydogdu(2013), Nguyen, X.T.(2014)와 Nguyen, X.T.*et al.*(2015)은 PARK 모델과 우리나라 해상교통안전진단 시 사용되는 ES 모델의 비교분석을 위해 한국 수로에 적용한 결과, PARK 모델이 한국 수로의 충돌 위험 판단에 더 적합한 것으로 검증한 바 있다.

PARK 모델 위험도를 계산할 때 사용되는 계산 요소는 내부 요소와 외부 요소로 구분할 수 있다.

〈표 3-10〉 PARK 모델 위험도 계산 요소

내부 요소	외부 요소
• Type of Ship • Tonnages • Length • Width • Career • License • Position	• Crossing situation • Approaching side • Inside/Outside harbor • Speed correlation • Speed difference • Distance

자료: Nguyen(2014), p. 62

42) 국토해양부(2011), pp. 162-163.

43) Nguyen(2014), pp. 60-65.

44) Nguyen 외(2015), pp. 246-252.

45) 한국해양대학교(2020), p. 7.

46) 김종성 외(2011), pp. 227-233.

47) 허태영·박영수·김종성(2012), pp. 91-100.

선박충돌 위험에 영향을 미치는 내외부 요소를 바탕으로 PARK 모델 위험도를 산출하는 산출식과 계산 요소별 값은 다음과 같다.

$$Risk = 5.081905 + (T_p + T_f + L_f + W_f + C_f + P_f) + (0.002517L + C_f + S_f + Hi/o + S_p - 0.004930S_d - 0.430710D)$$

여기서,

T_p : 본선의 선종 요소(own ship type factor)

T_f : 본선의 총톤수 요소(own ship ton[GT] factor)

L_f : 본선의 길이 요소(own ship length factor)

W_f : 본선의 폭 요소(own ship width factor)

C_f : 본선 선박운항자의 면허 요소(own ship operator's license factor)

P_f : 본선 운항자의 직급 요소(own ship operator's position factor)

L : 타선의 전장(target ship's LOA[m])

C_f : 타선의 조우 형태 요소(approaching crossing factor of target ship)

S_f : 타선의 좌우현 접근 요소(approaching side factor of target ship)

Hi/o : 항내외 요소(in/out harbor factor of own ship)

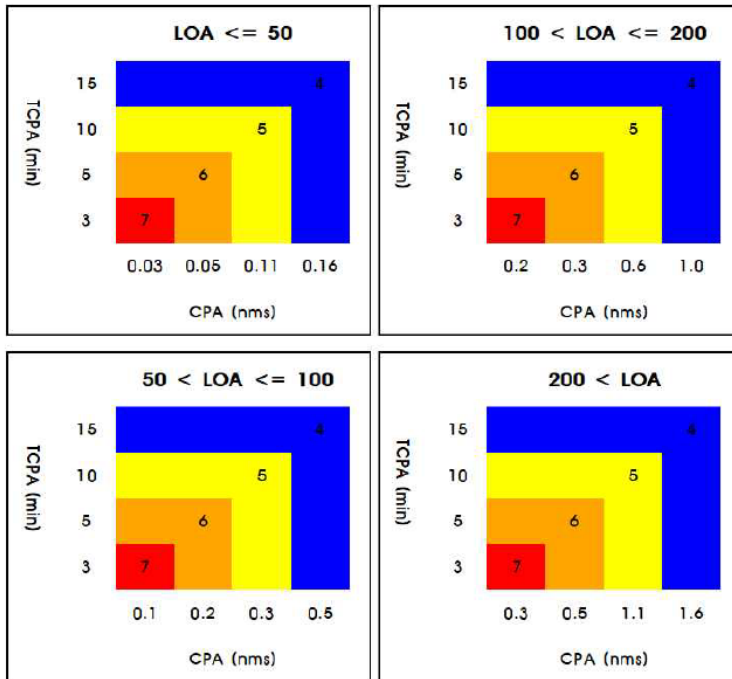
S_p : 선박 간 속력 요소(speed[kt] factor between ships)

S_d : 선박 간 속력 차이(speed[kt] difference between ships);

D : 선박 간 거리(distance between ships[NM])

산출식을 통해 계산된 위험도는 선박의 전장(LOA: Length Overall), 선박 간의 최근접점 간 거리(CPA: Closest Point of Approach), 최근접점 까지 소요되는 시간(TCPA: Time to CPA)에 따른 조정된 위험도와 비교하여, 두 값 중 낮은 위험도를 사용한다.⁴⁸⁾ PARK 모델의 위험도 범위는 1~7로 1~3은 안전하다고 식별된 상황, 3~5는 안전하지도 위험하지도 않은 상황, 5 이상은 위험한 상황으로 구분하여 판단한다.⁴⁹⁾

〈그림 3-11〉 PARK 모델 위험도 조정 매트릭스



자료: 이명기(2018), p. 32

48) Nguyen(2014), p. 64., 재인용: 이명기(2018), p. 32.

49) 박상원(2020), p. 17.

5. CoRI 모델⁵⁰⁾⁵¹⁾⁵²⁾

Collision Risk(CoRI) 모델은 선박 도메인⁵³⁾⁵⁴⁾을 기반으로 해상교통관제사가 해상에서 선박 조우상황을 인지하는 충돌 위험도를 평가하는 모델이다.

1) 충돌 위험도 개념

CoRI 모델을 이용한 선박 간 충돌 상황의 위험도는 두 선박의 조우상황에 따른 위험, 선박 간 근접거리에 따른 위험, 선박 간 최단 접근시간에 따른 위험 등 세 가지 위험지수로 구성된다.

(1) 선박 조우상황에 따른 위험도

선박 간 조우상황에 따른 위험도 E_{ij} 는 두 선박의 기하학적 위치(마주침 상태[head-on], 횡단 상태[crossing], 추월 상태[overtaking])에 따라 기준선 i 에서 느끼는 상대선 j 의 충돌 위험도를 정량적으로 나타낸 지수이다.

$$E_{ij} = R_{cpa}(\theta_i) + R_{cpa}(\theta_j)$$
$$R_{cpa}(\theta) = \begin{cases} a \operatorname{sech}(d\theta), & \text{if } 0 \leq \theta \leq \frac{2\pi}{3} \\ b \operatorname{sech}(e(\theta - \pi)), & \text{else } \frac{2\pi}{3} \leq \theta \leq \frac{3\pi}{2} \\ c \operatorname{sech}(f(\theta - 2\pi)), & \text{else } \frac{3\pi}{2} \leq \theta \leq 2\pi \end{cases}$$

50) Yoo & Lee(2019), pp. 1-13.

51) 이진석·송재욱(2018), pp. 25-30.

52) 이진석·송재욱(2017), pp. 93-102.

53) Fujii & Tanaka(1971), pp. 543-552.

54) Szlapczynski & Szlapczynska(2017), pp. 277-289.

여기서,

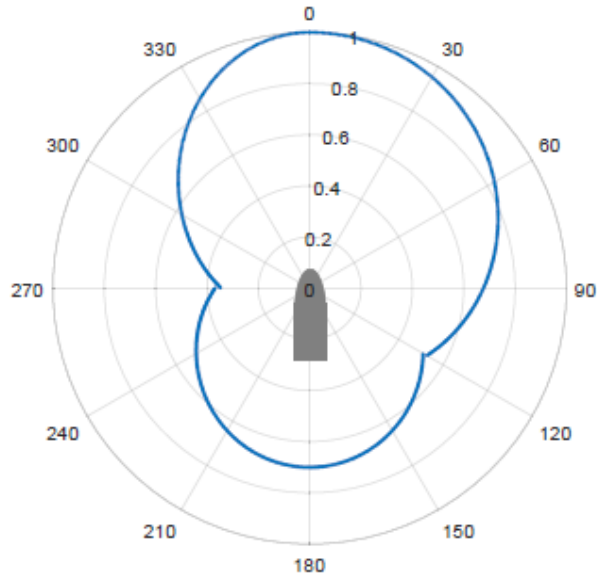
$R_{cpa}(\theta)$: 만남각 위험지수

θ_i, θ_j : 선박 i, j 의 상대방위[rad]

a, b, c : 선수·선미의 최대 위험값 계수

d, e, f : 위험 정도에 따른 기울기 계수

〈그림 3-12〉 선박 조우각도에 따른 위험지수



자료: Yoo & Lee(2019)

(2) 선박 근접거리에 따른 위험도

선박 간 근접거리에 따른 위험도 A_{ij} 는 두 선박 i, j 의 선박 도메인을 최 근접점(CPA: Closest Point of Approach) 위치로 이동하여 선박 도메인 D_s 와 선박의 근접 정도를 나타내는 근접인자 $f_{i,j}$ 를 사용하여 기준선 i 에

서 느끼는 상대선 j 의 근접 위험도를 정량적으로 나타낸 지수이다.

$$A_{i,j} = R_{sd}(f_i) + R_{sd}(f_j)$$

$$R_{sd}(f_{i,j}) = \text{sech}(g \cdot f_{i,j})$$

$$f_{i,j} = \frac{DCPA}{D_s}$$

여기서,

$DCPA$: 최단 근접거리(Distance to the Closest Point of Approach)

$R_{sd}(f_{i,j})$: 선박 i, j 의 근접 위험지수

g : 기울기 계수

(3) 선박 접근시간에 따른 위험도

선박 간 접근시간에 따른 위험도 T_{ij} 는 선종, 선장, 선폭, 흘수 등의 선박 제원을 구성하는 각 요인이 충돌까지 남아 있는 여유 시간에 미치는 영향 $t_{i,j}$ 를 고려하여 두 선박 i, j 의 최단 접근시간에 따른 근접 위험도를 정량적으로 나타낸 지수이다.

$$T_{i,j} = R_{at}(t_i) + R_{at}(t_j)$$

$$R_{at}(t) = \begin{cases} \text{sech}(ht), & t \geq 0 \\ \text{sech}(kt), & t < 0 \end{cases}$$

여기서,

$R_{at}(t)$: 선박의 접근시간 위험지수

h, k 는: 시간 위험값 결정 계수

2) 충돌 위험 추정

선박 간 충돌 위험은 선박의 만난 각(조우상황), CPA 지점에서의 두 선박 간 근접거리와 근접시간을 고려한 위험지수 $E_{i,j}$, $A_{i,j}$, $T_{i,j}$ 를 이용하여 위험지수 RI 를 산출한다.

$$RI = E_{i,j} \cdot A_{i,j} \cdot T_{i,j}$$

또한 RI 에 대한 VTSO의 위험태도(risk attitude)에 따른 충돌 위험도 $CoRI(RI)$ 값을 추정한다.

$$CoRI(RI) = \frac{P_{\max}}{1 - \exp(-\rho)} \left[1 - \exp\left(-\rho \frac{RI}{RI_{\max}}\right) \right]$$

여기서,

$P_{\max}$: 충돌 위험도 최댓값

ρ : VTSO 위험태도($\rho < 0$: 회피, $\rho = 0$: 중립, $\rho > 0$: 감수)

$RI_{\max}$: 위험지수 최댓값

6. 시사점

대표적인 선박충돌 위험도 모델은 대부분 조우관계와 선박안전영역, 이격거리, 접근시간, CPA 등의 요인을 사용하여 충돌 위험도를 도출하였다. 특히 적용하는 방법은 모델별로 다르지만 조우관계와 이격거리, 접근시간은 모든 충돌 위험도 모델에서 주된 요인으로 사용되었다. IWRAP과 AISyRisk의 경우 본선을 기준으로 선박안전영역을 설정하고, 선박의 안전영역에 다른 선박이 침범할 횡수를 이용하여 충돌 후보군을 도출하였다. 그리고 도출된 후보군에 조우상황별, 선종별로 제시된 충돌인과확률을 적

용하여 최종 해역의 위험도를 도출하였다. 여기서 충돌인과확률은 도출된 후보군이 충돌로 이어질 확률을 의미하는 것으로 조우상황별로 표준화된 수치도 있으며, 각 해역의 사례를 이용해서 제시된 확률도 있다. IWRAP의 경우 해역의 단위시간당 충돌 건수를 제시하는 반면에 AISyRisk는 횡수에 심각도 지수를 곱하여 지수 형태로 제시하는 것이 특징이다. 횡수와 심각도를 이용해서 위험도 평가를 수행한다.

ES 모델과 PARK 모델은 본선과 다른 선박의 조우각도별 이격거리 혹은 여유 시간을 주요 변수로 적용해 위험도를 도출한다. 그러므로 공간의 위험도보다는 각 선박을 중심으로 위험도를 도출할 수 있는 것이 특징이다. 각 선박을 중심으로 위험도를 제시하기 때문에 실시간으로 해당 선박의 위험도를 표시할 수 있다. 한편 PARK 모델은 우리나라 선박운항자의 설문조사를 통해 인적 요소(면허등급, 직급 등)를 고려하여 위험도를 도출할 수 있다는 것이 특징이다.

CoRI 모델은 우리나라 해상교통관제사의 설문조사를 통해 개발된 모델로 해역을 감시하는 관제사 관점의 위험도를 표현할 수 있는 모델이다. 선박안전영역, 이격거리, CPA 등은 관제사 관점의 변수이며 ES 모델과 PARK 모델같이 선박별로 위험도를 도출할 수 있다.

〈표 3-11〉은 주요 충돌 위험도 모델의 주요 변수를 비교분석한 표이다.

〈표 3-11〉 주요 충돌위험도 모델의 주요 변수 비교

모델	조우관계	선박안전 영역	이격거리	접근시간 (거리 및 속력)	CPA	기타	비고
IWRAP	O	O	O	O	X	충돌인과 확률	확률
ES	O	X	O	O	X	선박톤수 고려	회귀분석
AlSyRisk	O	O	O	O	X	충돌인과 확률	심각도 활용
PARK	O	X	O	O	O	인적요소 고려	회귀분석
CoRI	O	O	O	O	O	관제사요 소고려	설문조사

자료: 저자 작성

제3절 위험도 모델 및 결과 분석

본 연구에서 개발하고자 하는 선박충돌 위험도 모델은 선행연구와 주요 모델에서 사용하고 있는 요인뿐만 아니라 실제로 발생했던 충돌사고 데이터를 이용하여 요인과 충돌사고 간의 영향력을 분석한다. 그리고 이를 바탕으로 해당 구역의 충돌확률을 도출할 수 있는 모델을 개발하고자 한다.

1. 설문조사를 통한 내부 요인 분석

1) 방법론

본 연구에서는 주요 위험도 평가 모델을 통해 도출된 충돌 위험도 관련

요소가 위험도에 얼마만큼 영향을 미치는지 분석하기 위해 컨조인트 분석법을 사용하였다.

컨조인트 분석은 상품 마케팅에 주로 사용되는 방법론으로 소비자들이 유무형의 상품을 선택할 때 어떤 요소를 중요하게 생각하는지 파악하기 위한 분석법이다(Green & Rao, 1971).⁵⁵⁾ Green & Srinivasan(1978)은 컨조인트 분석을 정의된 다른 속성의 수준으로 이루어진 대안의 집합을 응답자가 전체적인 평가를 할 때 응답자의 선호도 구조를 추정하는 분해적 방법이라고 정의하였다.⁵⁶⁾

본 연구에서는 선박충돌 위험도에 영향을 미치는 요소의 수준으로 이루어진 시나리오를 선박운항자에게 제시하여 선박운항자가 평가한 위험 정도를 점수화하고자 하였다. 즉, 선박 간 조우상황 시나리오에 따라 평가한 위험도 값을 선박운항자에게서 받고 시나리오상 요소가 최종 위험도 값에 얼마만큼 영향을 미치는지를 확인하고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 점수형 컨조인트 모델을 사용하였다. 점수형 컨조인트 모델은 각 속성과 수준을 이용하여 만들어진 여러 가지 시나리오를 응답자가 평가하여 선호도에 영향을 미치는 속성과 부분 가치를 추정하는 것이다. 점수형 컨조인트 모델의 수식은 다음과 같다(김상우, 2016).⁵⁷⁾

$$Y_{h,k} = \alpha_k + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \beta_{ij,k} X_{ij,k} + \epsilon_k$$

k : 응답자, h : 시나리오

i : 시나리오 h 에 포함된 속성($i=1, \dots, I$)

j : 시나리오 h 에 포함된 속성(i)의 수준($j=1, \dots, J$)

55) Green & Rao(1971), pp. 355-363.

56) Green & Srinivasan(1978), pp. 103-123.

57) 김상우(2016), p. 12.

- α_k : 응답자 k 의 회귀분석 모델에서 절편값
 $\beta_{ij,k}$: 응답자 k 의 속성별 수준(ij)의 회귀계수(부분 가치)
 $X_{ij,k}$: 응답자 k 에게 제시된 시나리오 h 의 속성별 수준(ij)
 $Y_{h,k}$: 응답자 k 에게 제시된 시나리오 h 의 위험도
 ϵ_k : 응답자 k 의 선호도 추정 오차, $N(0, \sigma^2)$ 로 가정

2) 시나리오 설정

컨조인트 분석을 위해서는 속성과 속성 수준을 이용하여 프로파일을 구성해야 한다. 올바른 추정을 위해서는 모든 속성과 속성 수준을 조합하여 프로파일을 만들어야 하지만, 현실적으로 모든 속성과 속성 수준을 이용하기 어려우며, 응답자가 응답해야 하는 문항도 늘어난다. 그러므로 최대한 현실을 반영한 프로파일을 구성한다.

본 연구에서는 프로파일을 구성하기 위한 속성은 위험도 평가모델 분석을 통해 도출된 조우상황, 다른 선박 간 이격거리, 속력을 정하였다. 그리고 이들 속성 수준은 조우상황의 경우 마주치는 상황, 교차하는 상황(전방우현, 전방좌현, 후방우현, 후방좌현), 추월하는 상황으로 구분하였고, 이격거리는 0.5마일, 1마일, 2마일로 두었다. 조우관계의 시작 지점은 최대 이격거리를 2마일로 둔 이유는 현등 최소 가시거리가 2마일인 점을 고려한 것이다.⁵⁸⁾ 그리고 속력은 본선의 속력을 기준으로 타선의 속력 차이가 같음, 빠름, 느림으로 구분하였다. <표 3-12>는 컨조인트 분석을 위한 충돌 위험도의 속성과 그 수준을 나타낸다.

58) 박성호(2018), pp. 131~154.

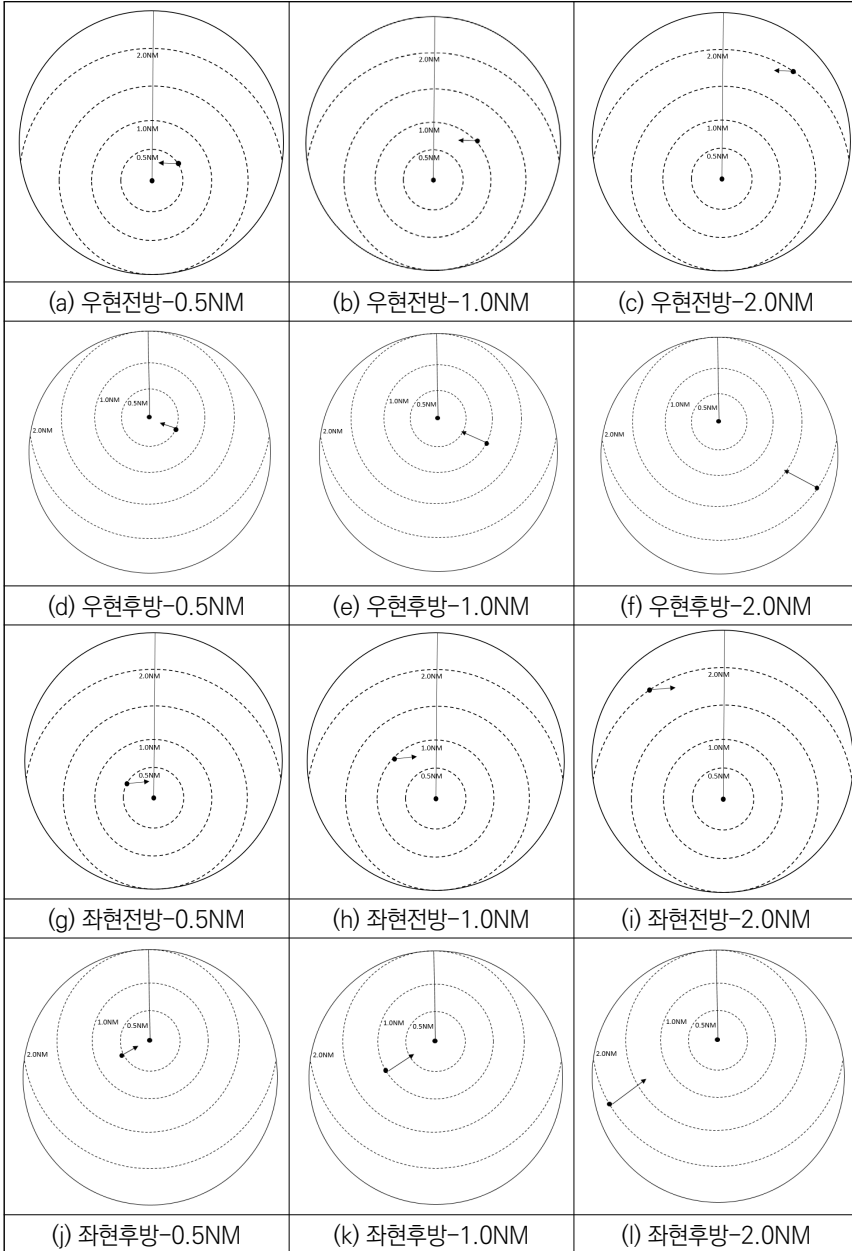
〈표 3-12〉 컨조인트 분석을 위한 충돌 위험도의 속성 및 수준

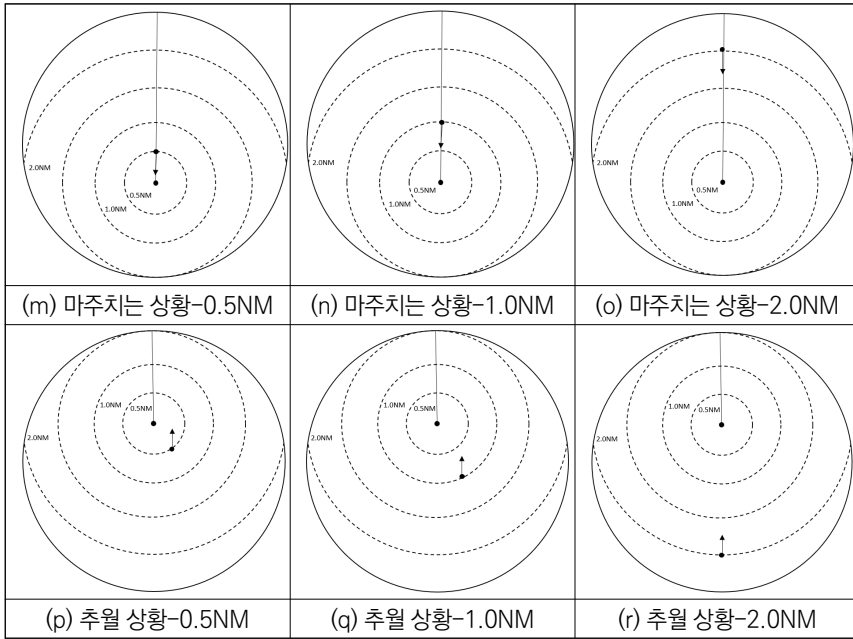
속성	수준	
조우상황	마주치는 상황	
	교차하는 상황	전방우현
		전방좌현
		후방우현
		후방좌현
이격거리	추월하는 상황	
	0.5NM	
	1.0NM	
	2.0NM	
속력	같음	
	빠름	
	느림	

자료: 저자 작성

한편 선박충돌 위험도의 속성은 세 가지이며, 속성이 각 6개, 3개, 3개로 모든 속성과 수준을 이용하면 총 54개(6×3×3개)의 시나리오가 구성된다. 하지만 현실적으로 응답자가 54개 시나리오에 모두 응답하기는 어려우며, 타선의 속력이 느린 경우는 추월이 성립하지 않는 등의 조우관계 조건도 있으므로, 성립이 가능한 현실적인 시나리오를 구성하였다. 〈표 3-13〉은 설문조사를 위한 시나리오이며, 조우상황별, 이격거리별로 타선 간 속력을 더하여 최종 시나리오를 설계하였다.

〈표 3-13〉 속성 및 수준별 시나리오





자료: 저자 작성

컨조인트 분석을 위한 시나리오 기반 설문조사에 더하여 다른 선박과 충돌 위험에 미치는 영향이 큰 요인과 요인 간 가중치를 파악하기 위해 설문 조사를 진행하였다. 이는 주가 되는 요인 이외 다른 요인도 선박충돌 위험도에 미치는 영향을 정량적으로 확인하기 위해서였다. 조우관계, 다른 선박 간 거리와 속력 등 내부 요인과 교통량 등 항행하고 있는 주변 해역의 환경적 외부 요인이 선박 충돌 위험도에 미치는 영향의 가중치를 설문하였다. 가중치는 내부 요인과 외부 요인의 합이 100일 경우, 얼마만큼의 비율을 차지하는지 설문했으며 이는 공간분석과 컨조인트 분석을 통해 도출되는 선박충돌 위험도 산정에 적용하기 위해서였다.

3) 설문조사 결과 분석

(1) 표본의 특성

본 연구의 설문조사는 항해 경험이 있는 선박운항자(항해사)를 대상으로 2021년 8월 11일부터 8월 18일까지 온라인으로 진행하였다. 설문지는 시나리오별로 설문 대상자가 느끼는 위험도를 1부터 7까지(매우 안전 1~매우 위험 7) 표기토록 구성하였다. 최종 응답자는 총 102명이었으며, 99명의 유효 데이터를 사용하였다.

〈표 3-14〉는 설문 응답자의 정보이다. 직급으로 보면 1등항해사가 53명으로 약 53.5%를 차지하며 가장 많이 응답하였다. 특히 선장, 1등항해사의 관리자⁵⁹⁾급 사관은 66명이며, 승선 경력 평균은 7.6년으로 항해 경력이 많은 선박운항자가 설문에 참여토록 하여 결과가 현실적인 값이 나오도록 유도하였다.

〈표 3-14〉 설문 응답자 정보

구분		응답 수(명)	비율(%)
직급	선장	13	13.1
	1등항해사	53	53.5
	2등항해사	26	26.3
	3등항해사	7	7.1
승선경력	3년 이하	28	28.3
	3~5년	26	26.3
	5~7년	15	15.2
	7~9년	6	6.1
	10년 이상	24	24.2

자료: 저자 작성

59) 「선박직원법 시행규칙」 별표1에 따르면, 선장과 1등항해사는 선내 조직의 관리자로 구분함

(2) 설문조사 결과

가. 직급에 따른 분석 결과

선장, 1등항해사를 관리자급, 2등항해사, 3등항해사를 운영자급으로 직급에 따라 구분하여, 시나리오별로 제시한 위험도 값의 평균에서 차이가 있는지 확인하였다. 이는 직급 혹은 경험에 따라 같은 상황에서 위험도 값이 다른지 확인하기 위해서였다.

위험도의 평균값이 직급에 따라 차이가 있는지 확인하기 위하여 독립표본 T검정을 수행하였다. 이를 위해 귀무가설은 ‘직급에 따라 위험도 평균값이 차이가 없다’로 설정했으며, 대립가설은 ‘직급에 따라 위험도 평균값이 차이가 있다’로 설정하였다.

〈표 3-15〉은 독립표본 T검정 결과를 나타낸다. 42개의 시나리오 중 39개의 시나리오는 직급에 따라 위험도 평균값의 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다. 즉, 대부분의 시나리오에서 위험도 값은 직급과 상관없었다는 것이다. 그러나 시나리오 33(정면에서 마주하는 상황, 0.5마일, 본선의 속력이 낮음), 시나리오 37(정면에서 마주하는 상황, 2마일, 속력 같음), 시나리오 38(정면에서 마주하는 상황, 2마일, 본선이 빠름)은 직급별로 통계적인 유의미한 차이가 있었다. 위험도 값에 차이가 있는 시나리오는 정면에서 마주하는 선박 상황 시나리오로 관리자급 사관이 운영자급보다 더욱 위험하다고 판단하였다. 정면에서 다가오는 선박의 경우 본선의 속력에 더하여 다가오는 선박의 속력만큼 거리가 가까워지므로 경험이 많은 관리자급 사관이 더 위험한 상황이라 판단한 것으로 사료된다. 차이가 있는 시나리오도 있지만, 대부분의 경우 직급과 위험도 값은 차이가 없었으므로 본 연구에서는 직급에 따라 구분하지 않고 분석을 진행하고자 한다.

〈표 3-15〉 시나리오의 독립표본 T검정 결과

시나리오	평균		표준편차		<i>t</i>	<i>p</i>
	관리자금	운영자금	관리자금	운영자금		
1	5.985	5.485	1.376	1.603	1.612	.110
2	5.242	5.424	1.637	1.480	-.537	.592
3	5.712	5.667	1.379	1.339	.156	.876
4	5.200	4.576	1.438	1.621	1.945	.055
5	4.636	4.242	1.679	1.659	1.105	.272
6	4.742	4.424	1.532	1.621	.955	.342
7	3.818	3.424	1.788	1.659	1.058	.293
8	3.621	3.188	1.643	1.615	1.232	.221
9	3.212	3.273	1.622	1.719	-.172	.864
10	3.154	3.091	1.725	1.809	.168	.867
11	4.106	4.000	1.675	1.803	.290	.773
12	2.462	2.848	1.542	1.603	-1.159	.250
13	3.152	3.515	1.666	1.503	-1.057	.293
14	1.955	2.182	1.408	1.467	-.747	.457
15	2.258	2.697	1.339	1.287	-1.559	.122
16	5.924	5.606	1.658	1.560	.918	.361
17	5.439	5.273	1.720	1.464	.477	.635
18	5.970	5.813	1.488	1.306	.510	.611
19	5.318	4.758	1.480	1.786	1.657	.101
20	4.955	4.313	1.553	1.554	1.918	.058
21	5.076	4.594	1.667	1.434	1.403	.164
22	4.242	3.576	1.627	1.521	1.963	.053
23	4.076	3.375	1.712	1.661	1.918	.058
24	3.773	3.424	1.717	1.521	.988	.326
25	3.636	3.515	1.862	1.873	.305	.761
26	4.091	4.273	1.919	1.842	-.450	.654
27	3.045	3.000	1.731	1.479	.129	.898
28	3.409	3.606	1.682	1.413	-.578	.565
29	2.318	2.364	1.469	1.388	-.148	.883
30	2.712	2.939	1.537	1.435	-.709	.480

시나리오	평균		표준편차		<i>t</i>	<i>p</i>
	관리자급	운영자급	관리자급	운영자급		
31	6.318	5.906	1.338	1.467	1.385	.169
32	6.333	5.970	1.293	1.380	1.290	.200
33	6.561	6.000	0.930	1.323	2.180	.034**
34	5.909	5.364	1.367	1.617	1.759	.082
35	5.803	5.273	1.327	1.682	1.711	.090
36	5.970	5.545	1.215	1.660	1.304	.198
37	4.909	4.242	1.465	1.768	1.990	.049**
38	4.818	4.061	1.456	1.713	2.299	.024**
39	4.742	4.156	1.481	1.762	1.725	.088
40	4.409	4.091	1.392	1.487	1.048	.297
41	3.818	3.485	1.335	1.503	1.123	.264
42	3.288	2.909	1.517	1.528	1.168	.245

** $p(0.05)$

자료: 저자 작성

외부 요인과 내부 요인이 위험도에 미치는 가중치가 직급에 따라 차이가 있는지 확인하기 위하여 독립표본 T검정을 수행하였다. 외부 요인과 내부 요인의 합은 100으로 내부 요인 값에 따라 외부 요인의 값이 자동으로 결정되기 때문에 내부 요인만 독립표본 T검정을 수행하였다. 이를 위해 귀무가설은 ‘직급에 따라 외부 요인의 평균값이 차이가 없다’로 설정했으며, 대립가설은 ‘직급에 따라 외부요인의 평균값이 차이가 있다’로 설정하였다.

〈표 3-16〉은 독립표본 T검정 결과를 나타낸다. *p*값이 0.768로 0.05보다 크기 때문에 귀무가설을 기각하지 못하여, 직급에 따라 내부 요인의 평균값은 차이가 없다고 볼 수 있다. 즉, 선박운항자가 생각하는 충돌 위험도에 영향을 미치는 내부 요인의 비율은 직급에 따라 다르지 않다는 의미이다. 그러므로 본 연구에서는 직급별로 구분하지 않고 외부 요인과 내부 요인의 가중치를 부여하고자 한다.

〈표 3-16〉 내부 요인의 독립표본 T검정 결과

항목	평균		표준편차		<i>t</i>	<i>p</i>
	관리자급	운영자급	관리자급	운영자급		
외부 요인	57.312	58.437	17.811	16.917	-.296	.768

자료: 저자 작성

나. 컨조인트 분석 결과

42개의 시나리오를 대상으로 3가지 요인을 이용한 컨조인트 분석 결과는 〈표 3-17〉과 같다. 위험도에 영향을 미치는 요인 중 조우상황이 57.66%로 가장 높았으며, 이격거리(30.99%), 다른 선박 간 속력 차이(11.35%) 순으로 분석되었다. 각 요인의 수준을 살펴보면, 조우상황의 경우 마주치는 상태가 효용성 1.4054로 위험도에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 추월하는 상태는 가장 낮았다. 마주치는 상황은 다른 선박이 정면에 위치한 것으로 장직경을 더 길게 여유를 두는 Bumper 이론(Fujii & Tanaka, 1971), 위험도 평가 모델 중 ES 모델(Inoue, 2000)과 비슷한 경향을 보이는 것으로 분석된다.

또한 전방의 선박이 후방의 선박보다 위험도에 미치는 영향이 크며, 피항선이 되는 우현전방의 선박보다는 유지선 상황에서 좌현전방 선박의 운항자가 더 크게 위험성을 느끼는 것으로 분석되었다. 유지선의 경우 항법상 현재의 속력과 침로를 유지해야 하지만, 상황에 따라서는 충돌 예방을 위해 적절한 조치를 취해야 하기 때문에 확실한 피항 동작을 하는 상황보다 위험도가 높을 수 있는 것으로 사료된다. 0.5NM의 이격거리가 위험도에 가장 큰 영향을 미쳤으며, 거리가 멀어질수록 위험도에 미치는 영향은 줄었다. 다른 선박 간 속력에서는 본선이 타선보다 느린 경우, 다시 말해 타선이 빠른 경우 위험도에 크게 영향을 미쳤다.

〈표 3-17〉 전체 컨조인트 분석 결과

요인 및 수준		효용성	효용 차이	중요도
조우상황	우현전방	0.4959	2.6104	57.66
	우현후방	-1.205		
	좌현전방	0.7238		
	좌현후방	-0.9141		
	마주치는 상태	1.4054		
	추월하는 상태	-0.5059		
이격거리	0.5NM	0.775	1.646	30.99
	1.0NM	0.096		
	2.0NM	-0.871		
타선박 간 속력 차이	같은 경우	-0.0083	0.2629	11.35
	본선이 빠른 경우	-0.1273		
	본선이 느린 경우	0.1356		
(상수)			4.136	
R-Square			0.337	
Adjusted R-Square			0.3356	

자료: 저자 작성

컨조인트 분석을 바탕으로 선박(i)이 타 선박 간 조우상황, 이격거리, 속력 차이로 도출되는 위험도는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$R_{(i)} = 4.136 + E + D + S$$

여기서 E는 조우조건에 따른 계수로

우현전방에서 조우하는 경우 $E = 0.4959$

우현후방에서 조우하는 경우 $E = -1.205$

좌현전방에서 조우하는 경우 $E= 0.7238$

좌현후방에서 조우하는 경우 $E= -0.9141$

마주치는 경우 $E= 1.4054$

추월하는 경우 $E= -0.5059$

D는 이격거리에 따른 계수로

0.5NM의 경우 $D= 0.775$

1.0NM의 경우 $D= 0.096$

2.0NM의 경우 $D= -0.871$

S는 속력 차이에 따른 계수로

본선과 타선의 속력이 같은 경우 $S= -0.0083$

본선이 타선보다 빠른 경우 $S= -0.1273$

본선이 타선보다 느린 경우 $S= 0.1356$

다. 내부 요인과 외부 요인의 가중치 도출

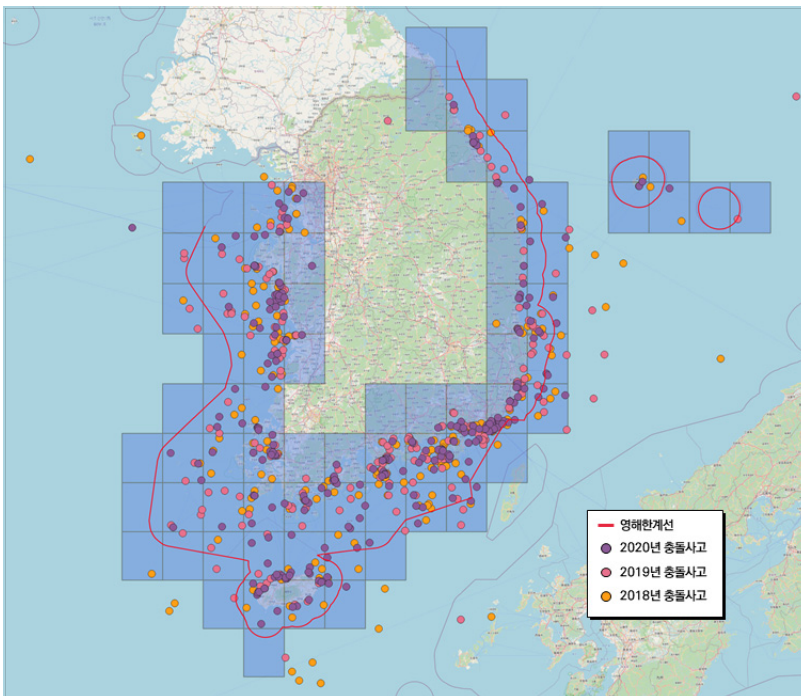
내부 요인과 외부 요인이 선박충돌 위험도에 얼마나 영향을 미치는지 선박 운영자의 설문을 통해 도출하였다. 여기서 내부 요인은 조우관계, 다른 선박 간 거리와 속력 등 선박과 선박 간 충돌과 관련된 요소이다. 외부 요인은 항행 밀집도, 기상, 어선 조업구역 등 선박이 항행하는 주변 환경에 관한 요소이다. 설문조사 결과 선박충돌 위험도에 내부 요인은 57.61%, 외부 요인은 42.38%의 영향을 미치는 것으로 조사되었다. 설문조사 결과에 따라 내외부 요인에 따른 가중치는 내부 57.61, 외부 42.38로 설정하였다.

2. 충돌사고 공간분석을 통한 외부 요인 분석

1) 자료 및 범위

충돌사고의 공간분석을 위해서 공간적 범위는 연안해역을 대상으로 하였다. 연안해역은 「연안관리법」 제2조(정의)에 따라 해안선으로부터 영해의 외측한계까지를 말하며, 본 연구에서는 영해가 포함된 대상 해역을 대해구 기준으로 구분하였다. 시간적 범위는 해양안전종합정보시스템(GICOMS) 데이터가 제공되는 2018~2020년(3년)으로 설정하였다. <그림 3-13>은 대상 해역과 2018~2020년 대상 해역에서 발생한 충돌사고를 나타낸다.

<그림 3-13> 대상 해역 및 충돌사고 위치(2018~2020년)



자료: 저자 작성

2) 방법론

충돌사고 공간분석은 격자로 구분된 대상 해역의 대해구에서 충돌사고 여부를 결정하기 때문에 종속변수는 범주형이다. 그러므로 종속변수가 범주형인 데이터를 처리할 수 있는 방법론을 이용하고자 하였다. 범주형 데이터를 처리하는 방법론으로는 크게 통계적 방법, 트리기반 방법, 머신러닝 기법이 있으며, 본 연구에서는 각 기법 중에서 대표적인 로지스틱 회귀분석, 의사결정나무 방법, 랜덤포레스트, 인공신경망을 이용하여 분석하고 정확도가 가장 높은 모형을 채택하고자 한다.

(1) 로지스틱 회귀분석

로지스틱 회귀분석은 종속변수가 범주형으로 주어진 경우 사용되는 통계 기법이다. 회귀분석은 종속변수가 연속변수가 아닌 경우 일반적으로 선형 회귀분석은 불가능하다. 이를 보완하고자 로짓변환을 이용한 로지스틱 모형이 개발되었다. 로지스틱 함수는 확률변수의 분포함수 형태인 시그모이드로 나타나며, 변수변환에 따라 선형으로 바꾸기가 쉽기 때문에 많이 사용되고 있다. 로지스틱 함수는 P_i 가 변수 X_i 값에 관계없이 항상 0 과 1 사이 값을 갖는 다음 식과 같은 함수를 따른다고 가정한다.

$$P_i = \frac{\exp(\alpha + \beta_i X_i)}{1 + \exp(\alpha + \beta_i X_i)}$$

여기서 변수 X_i 와 계수 추정이 어려우므로 다음과 같이 로짓변환을 통해 우변을 선형 회귀식으로 변환한다.

$$\text{logit}(P) = \ln \left| \frac{P}{1-P} \right|$$

여기서 $\frac{P}{1-P}$ 는 사건이 일어날 확률과 일어나지 않을 확률의 비이며, 이를 승산비라고도 한다.

회귀계수 β_1 의 해석은 다른 독립변수의 수준이 일정할 때 해당 독립변수를 한 단위 증가시키면 $\logit(P)$ 의 확률이 평균 $\exp(\beta_1)$ 만큼 증가하는 것을 의미한다. 로지스틱 회귀모형의 해석은 승산비 개념이 사용된다. 연속형 변수의 경우 독립변수 X 가 1(단위)만큼 증가한 이후와 증가하기 이전의 승산 비율을 말한다. 범주형 변수의 승산비 해석은 기준 범주에서 현재 범주의 승산비로 해석된다.

(2) 의사결정나무 방법

의사결정나무는 의사결정규칙을 도표화하여 관심 집단을 몇 개의 소집단으로 분류하거나 예측하는 분석 방법이다. 분석 과정이 나무구조로 표현되기 때문에 연구자가 분석 과정을 직관적으로 이해할 수 있다는 장점이 있다. 의사결정나무는 분류 또는 예측을 목적으로 하는 어떤 경우에도 사용될 수 있으나 분석의 정확도보다는 분석 과정의 설명이 필요한 경우에 더 유용하게 사용된다(신혜정, 2016).

일반적으로 의사결정나무 분석은 다음과 같은 단계를 거친다.

- 의사결정나무의 형성: 분석의 목적과 자료 구조에 따라 적절한 분리기준과 정지규칙을 지정하여 의사결정나무를 얻는다.
- 가지치기: 오분류를 크게 할 위험이 높거나 부적절한 추론규칙을 지닌 가지를 제거한다.
- 타당성 평가: 이익도표나 위험도표는 검정용 자료에 따른 교차타당성 등을 이용하여 의사결정나무를 평가한다.

- 해석과 예측: 의사결정나무를 해석하고 분류, 예측 모형을 설정한다. 이상과 같은 정지기준, 분리기준, 평가기준 등을 어떻게 지정하느냐에 따라 서로 다른 의사결정나무가 형성된다.

의사결정나무는 나무 구조를 이루고 있으며 ‘마디(node)’라는 구성요소로 이루어져 있다. 뿌리마디에서 어느 한 끝마디로 가는 길은 규칙으로 표현 가능하며 서로 다른 끝마디가 같은 분류를 만들 수도 있지만 각 끝마디는 서로 다른 근거에 따라 분류가 만들어진다. 의사결정나무의 장점은 분류 과정이 나무구조로 표시되기 때문에 과정을 이해하기가 쉽다. 그러므로 상호작용 파악이 용이하다. 반면 단점으로 연속형 변수를 비연속적인 값으로 간주하기 때문에 경계점 부근에서는 오류가 발생할 수도 있다.

(3) 랜덤포레스트

랜덤포레스트는 Breiman(2001)이 의사결정나무의 단점을 개선하기 위해 개발한 기법이다. 이 기법은 주어진 자료를 이용하여 여러 개의 예측 모형을 만들고 이를 하나로 결합하여 최종 모형을 도출한다. 다시 말해 여러 개의 의사결정나무를 만들어 최적의 모형을 도출하는 것이다. 의사결정나무 생성 시 모든 변수를 사용하지 않고, 무작위로 변수를 선택하기 때문에 다른 특성의 의사결정나무가 생성된다. 그러므로 의사결정나무 간 상관성이 낮아지나 예측 정확성은 높아진다. 그와 함께 의사결정나무보다 더 나은 일반화 성능을 보이며, 데이터 집합에 있는 이상치에 덜 민감하고 하이퍼 파라미터(Hyper parameter) 튜닝이 많이 필요치 않다고 알려져 있다(Sebastian & Vahid, 2019).⁶⁰⁾

랜덤포레스트 분석은 Bagging 과정을 수행한다. Bagging은 훈련용 데이터의 부분집합을 활용하며, 부분집합으로 의사결정나무를 생성한다. 즉,

60) Sebastian & Vahid (2019)

모든 나무는 다른 조합으로 만들어진 나무이지만, 결국엔 훈련용 데이터의 부분집합이다. 그리고 랜덤포레스트 모형은 예측력이 우수한 편이며, 안전성이 높다. 또한 변수의 중요성도 파악할 수 있다(Breiman, 2001).⁶¹⁾

(4) 인공신경망을 이용한 머신러닝

인공신경망 모델은 생물학적인 뉴런을 수학적으로 모델링한 것이다. 다시 말하면 생물학적인 뉴런이 다른 여러 개의 뉴런으로부터 입력값을 받아서 세포체에 저장했다가 자신의 용량을 넘어서면 외부로 출력값을 보내는 것과 같이 인공신경망 모델은 다양한 입력값을 받아 일정 수준을 넘어서면 활성화하여 출력값을 보낸다. 이때 일정 수준의 값의 판단은 시그모이드 함수를 주로 사용한다.

시그모이드 함수는 모든 실수값을 0과 1사이의 값으로 변환시킨다. 입력값과 각 입력값의 가중치로 계산된 결과는 시그모이드 함수를 통해 0과 1사이의 값으로 바뀌며, 보통은 0.5를 기준으로 0과 1로 구분된다. 모델은 크게 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되어 있으며 은닉층에서 다양한 노드가 연결되어 가중치를 계산한다. 그러나 입력층의 변수가 은닉층을 거치면서 어떤 입력변수가 출력값에 영향을 미치는지 알 수 없다. 즉, 입력값 대비 출력값의 정확도는 알 수 있지만 입력값이 출력값에 얼마만큼의 영향을 끼쳤는지는 알 수 없는 것이다.

3) 사용변수

충돌사고에 영향을 미칠 수 있는 변수를 시·공간으로 구분하여 적용하였다. 종속변수는 대상해역의 대해구별 해양사고 발생 유무로 정하고, 대상해역의 대해구별 관련 요소를 독립변수로 설정하였다. 공간에 따른 시간

61) Breiman(2001), pp. 5-32.

기준은 1월을 기준으로 했다. 즉, 종속변수는 월별 대해구별 해양사고 발생 유무이다. 해역밀집도는 선박위치정보(AIS) 통계정보 서비스를 이용하여 월별 대해구별 선박 척수를 도출하였다.⁶²⁾ 조업금지기간은 「수산자원관리법」 제14조에 따라 수산자원의 번식과 보호를 위해 시행 중인 수산자원의 포획, 채취 금지기간을 이용했으며, 수산자원 중 우리나라 주요 어종인 고등어, 갈치, 오징어의 금지기간을 적용하였다. <그림 3-14>는 수산자원별 포획 금지기간을 나타낸다.

<그림 3-14> 수산자원별 포획 금지기간



자료: 저자 작성

기상 현황은 기상청에서 제공하는 해양기상월보자료를 이용하였다. 여기에서 월간자료가 있는 유의파고 평균, 연안안개 일수, 파고 3m 이상 일수, 파고 5m 이상 일수, 월 수온·기온·풍속 평균을 사용하였다. 조업밀집구역으로 해양수산부에서 지정한 계절별 조업밀집구역을 사용하였다. <표 3-18>은 충돌사고 공간분석을 위한 변수 및 데이터 현황을 나타낸다.

<표 3-18> 충돌사고 공간분석을 위한 변수

변수	평균	표준편차	최댓값	최솟값	비고
충돌사고 발생 여부	0.19	0.39	1.00	0.00	종속변수 (이분형)
해역밀집도 (10,000척)	5.69	7.02	49.24	0.00	독립변수 (연속형)

62) 해양수산부(검색일: 2021. 6. 9)

변수	평균	표준편차	최댓값	최솟값	비고
어획금지기간(오징어)	0.17	0.37	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
어획금지기간(고등어)	0.14	0.35	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
어획금지기간(갈치)	0.08	0.27	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
어획량(100톤)	3.19	7.56	204.62	0.00	독립변수 (연속형)
안개일수(일)	2.93	4.45	26.00	0.00	독립변수 (연속형)
VTS 구역	0.55	0.50	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
조업밀집구역	0.57	0.50	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
양식장 유무	0.32	0.47	1.00	0.00	독립변수 (이분형)
해양안전심판원 구역 (1: 동해, 2: 부산, 3: 목포, 4: 인천)	2.51	1.10	4.00	1.00	독립변수 (범주형)
계절 (1: 봄, 2: 여름, 3: 가을, 4: 겨울)	2.47	1.14	4.00	1.00	독립변수 (범주형)
월평균 파고(m)	1.01	0.41	2.20	0.10	독립변수 (연속형)
유의파고 3m이상(일)	9.75	5.81	26.00	1.00	독립변수 (연속형)
유의파고 5m 이상(일)	3.58	2.69	14.00	1.00	독립변수 (연속형)
수온(℃)	16.97	5.79	28.60	1.30	독립변수 (연속형)
기온(℃)	14.95	7.14	28.90	-1.40	독립변수 (연속형)
월평균 풍속(m/s)	5.67	1.30	9.20	2.50	독립변수 (연속형)

자료: 저자 작성

4) 결과

모델 개발을 위해서 사용변수는 훈련용 데이터와 테스트용 데이터로 구분하였으며, 비율은 훈련용 80%, 테스트용 20%로 설정하였다. 훈련용 데이터를 이용하여 방법론별 모델을 만들고, 테스트용 데이터를 이용하여 모델별로 예측치(충돌사고 유무)를 도출하였다.

(1) 로지스틱 회귀분석 결과

로지스틱 회귀분석은 R 프로그램에 내재된 Package를 이용하여 분석하였으며, <표 3-19>는 로지스틱 회귀분석 결과를 나타낸다. 공간분석을 위한 <표 3-18>의 자료 중 유의 수준 5%에서 유의하지 않은 변수(어획금지 기간[갈치, 고등어], 조업밀집구역, 기온, 월평균 풍속)를 제외하였다.

<표 3-19> 로지스틱 회귀분석 결과

		Estimate	exp(x)	Std.Error	p-value
(Intercept)		-3.400	0.033	0.377	0.000***
해역밀집도(10,000척)		0.112	1.119	0.011	0.000***
어획금지기간(오징어)		-0.357	0.700	0.234	0.127
어획량(100톤)		0.017	1.017	0.007	0.017**
안개일수		0.041	1.042	0.016	0.012**
VTS 구역		0.776	2.173	0.174	0.000***
양식장		0.561	1.753	0.139	0.000***
해양안전심판 원구역 (기준: 동해)	부산	-0.680	0.506	0.239	0.004***
	목포	-0.285	0.752	0.180	0.113
	인천	-0.533	0.587	0.215	0.013**
계절 (기준: 봄)	여름	-0.700	0.496	0.296	0.018**
	가을	-0.270	0.764	0.256	0.293
	겨울	-0.512	0.599	0.232	0.027**
수온(°C)		0.053	1.055	0.019	0.007***

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$

자료: 저자 작성

최종적으로 해역밀집도, 어획금지기간(오징어), 어획량, 안개일수, VTS 구역, 양식장, 구역, 계절 변수를 이용하여 다음의 회귀식을 도출하였다.

$$\pi(x) = (1 + \exp(-(-3.4 + 0.112F_d - 0.357F_s + 0.017F_k + 0.041F_F + 0.776F_V + 0.561F_{FF} - 0.68F_{AB} - 0.285F_{AM} - 0.533F_{AI} - 0.7F_{SS} - 0.27F_{SF} - 0.512F_{FW} + 0.053F_t)))^{-1}$$

여기서, F_d : 해역밀집도(100,000척/1월)

F_s : 어획금지기간(오징어)

F_k : 어획량(100톤)

F_F : 월간 안개일수(일)

F_V : VTS 구역

F_{FF} : 양식장

F_{AB} : 해양안전심판원 구역(부산)

F_{AM} : 해양안전심판원 구역(목포)

F_{AI} : 해양안전심판원 구역(인천)

F_{SS} : 계절(여름)

F_{SF} : 계절(가을)

F_{SW} : 계절(겨울)

F_t : 수온(°C)

로지스틱 회귀분석의 경우 승산비를 이용하여 독립변수가 종속변수에 영향을 미치는 정도를 확인할 수 있다. VTS 구역은 다른 영역보다 충돌사고가 발생할 확률이 2.17배 높으며, 양식장이 있는 영역은 충돌사고가 발생할 확률이 양식장이 없는 영역보다 1.75배 높다. 반면에 오징어 포획 금지 기간에는 다른 기간에 비해 충돌사고가 발생할 확률이 0.7배 낮다. 그리고 동해를 기준으로 충돌사고가 발생할 확률이 부산은 0.5배, 목포는 0.75배, 인천은 0.58배 낮다. 계절의 경우 봄을 기준으로 여름은 0.49, 가을은

0.76, 겨울은 0.59로 충돌사고가 발생할 확률이 낮다.

한편 회귀식의 예측 정도는 테스트용 20% 데이터에 적용하여 확인하였다. 테스트용 데이터에 도출된 회귀식을 적용하여 충돌사고 발생 확률이 50% 이상의 경우를 해양사고 발생으로 두었다. <표 3-20>은 로지스틱 회귀분석을 이용한 혼돈행렬이다. 테스트용 데이터는 충돌사고 미발생 438건, 발생 102건으로 구성되어 있다. 정확도는 전체 데이터 중 충돌사고가 미발생한 경우와 발생한 경우를 정확히 예측 비율로 83.3%이다. 그리고 충돌사고가 발생한 건수로 예측한 경우는 22.5%, 미발생한 경우 중 미발생한 건수로 예측한 경우는 97.4%로 나타났다.

<표 3-20> 로지스틱 회귀분석을 이용한 혼돈행렬

		실제	
		미발생	발생
예측	미발생	427	79
	발생	11	23

주: 발생의 기준은 확률 0.5로 설정함

자료: 저자 작성

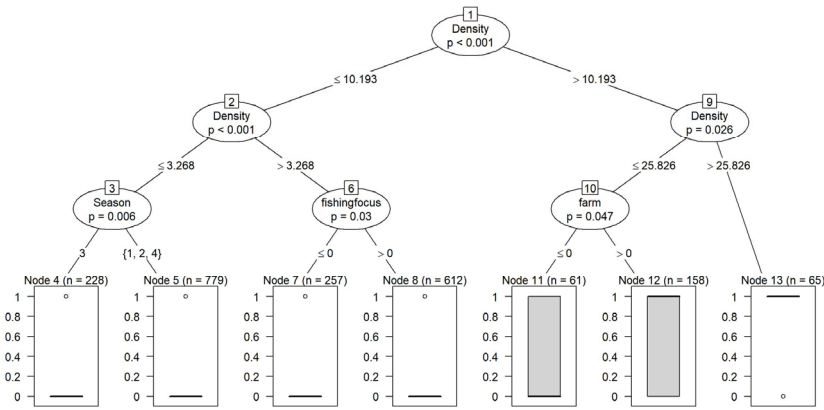
(2) 의사결정나무 분석 결과⁶³⁾

의사결정나무 분석은 R 프로그램의 party Package를 이용하여 분석하였으며, <그림 3-15>는 의사결정나무를 활용한 분석 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 의사결정나무를 이용하여 일곱 가지 케이스를 도출하였다. 그중 해역밀집도가 25.8 이상의 경우는 충돌사고가 발생할 확률이 0.5 이상이며, 해역밀집도가 10.19와 25.8 사이의 경우에도 양식장 구역에 있을 때는 발생 확률이 0.5 이상으로 분석되었다.

63) Package 'party'(2021)(검색일: 2021. 8. 23)

반면 해역밀집도가 10.19 이하일 때는 계절과 조업 밀집구역 등의 조건으로 비율은 다르지만, 모두 0.5 이하로 분류되는 것으로 분석되었다. 즉, 의사결정나무 모델에서는 해역밀집도와 해당 구역의 양식장 유무가 충돌사고 발생 여부를 결정하는 가장 중요한 요소인 것을 알 수 있다.

〈그림 3-15〉 의사결정나무 분석 결과



자료: 저자 작성

한편 의사결정나무 모델의 예측 정도는 테스트용 20% 데이터에 적용하여 확인하였다. 테스트용 데이터에 도출된 의사결정나무 모델을 적용하여 충돌사고 발생 확률이 50% 이상인 경우를 해양사고 발생으로 두었다. 〈표 3-21〉은 의사결정나무 모델을 이용한 혼돈행렬이다. 테스트용 데이터는 충돌사고 미발생 438건, 발생 102건으로 구성되어 있다. 정확도는 전체 데이터 중 충돌사고가 미발생한 경우와 발생한 경우를 정확히 예측하는 비율로 83.3%이다. 그리고 충돌사고가 발생한 건수로 예측한 경우는 33.3%, 미발생한 경우 중 미발생한 건수로 예측한 경우는 94.9%로 나타났다.

〈표 3-21〉 의사결정나무 모델을 이용한 혼돈행렬

		실제	
		미발생	발생
예측	미발생	416	68
	발생	22	34

주: 발생의 기준은 확률 0.5로 설정함

자료: 저자 작성

(3) 랜덤포레스트 결과⁶⁴⁾

랜덤포레스트 분석은 R 프로그램의 randomForest Package를 이용하여 분석하였다. 노드를 나눌 기준을 정하는 변수는 3개, 나무의 개수는 200개로 package 기본값을 사용하였다. 랜덤포레스트의 경우 다양한 의사결정나무를 이용해서 모델이 도출되기 때문에 모델 자체의 해석은 어렵다. 그러나 사용된 변수의 영향력은 중요도를 통해서 파악할 수 있다.

〈표 3-22〉는 랜덤포레스트에 사용된 변수의 중요도를 나타낸다. MDG(Mean Decrease Gini)는 변수의 특성이 모델 분류의 불순도를 얼마나 감소시키는지 알 수 있는 지표이다. 다시 말해 의사결정나무 가지가 내려갔을 때 분류가 잘되면 불순도가 크게 감소하는 것이며, 이때 감소폭이 커진 것은 MDG로 알 수 있다. 그러므로 MDG가 커지면, 분류 시에 영향력이 큰 변수를 확인할 수 있다. 변수의 중요도는 해역밀집도가 가장 컸으며, 어획량과 수온, 기온 순으로 나타났다.

〈표 3-22〉 랜덤포레스트에 사용된 변수 중요도

변수	MDG
해역밀집도	143.76

64) Package 'randomForest' (2018)(검색일: 2021. 8. 23)

변수	MDG
어획량	90.15
수온	52.7
기온	51.57
월평균 풍속	47.71
유익파고 3m 이상	39.77
월평균 파고	33.98
유익파고 5m 이상	30.10
안개일수	29.61
해양안전심판원 구역	19.55
VTS 구역	19.30
양식장 유무	16.66
계절	15.19
조업밀집구역	12.14
어획금지기간(오징어)	3.77
어획금지기간(갈치)	3.54
어획금지기간(고등어)	3.41

자료: 저자 작성

한편 랜덤포레스트의 예측 정도는 테스트용 20% 데이터에 적용하여 확인하였다. 테스트용 데이터에 도출된 랜덤포레스트 모델을 적용하여 충돌사고 발생 확률이 50% 이상인 경우를 해양사고 발생으로 두었다. <표 3-23>은 랜덤포레스트 모델을 이용한 혼돈행렬이다. 테스트용 데이터는 충돌사고 미발생 438건, 발생 102건으로 구성되어 있다.

정확도는 전체 데이터 중 충돌사고가 발생하지 않은 경우와 발생한 경우를 정확히 예측하는 비율로 83.5%이다. 그리고 충돌사고가 발생한 건수로 예측한 경우는 32.3%, 미발생한 경우 중 미발생한 건수로 예측한 경우는 95.4%로 나타났다.

〈표 3-23〉 랜덤포레스트 모델을 이용한 혼돈행렬

		실제	
		미발생	발생
예측	미발생	418	69
	발생	20	33

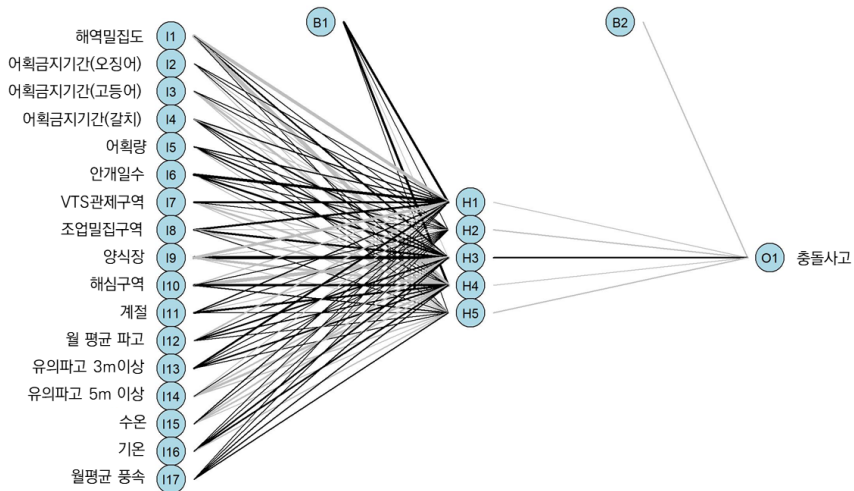
주: 발생의 기준은 확률 0.5로 설정함

자료: 저자 작성

(4) 머신러닝(인공신경망) 분석 결과⁶⁵⁾

의사결정나무 분석은 R 프로그램의 neuralnet Package를 이용하여 분석하였으며, 〈그림 3-16〉은 인공신경망을 활용한 분석 결과를 나타낸다. 인공신경망의 히든레이어는 5개로 설정했으며, 총 200회의 학습을 반복하여 모델을 도출하였다.

〈그림 3-16〉 인공신경망을 이용한 모델



자료: 저자 작성

65) Package 'nuralnet' (2019)(검색일: 2021. 8. 23)

인공신경망은 판별함수가 비선형이므로 설명변수와 종속변수 사이의 선형적 관계성을 직접적으로 해석하기는 어렵다. 그러므로 가중치 분할법을 사용하여 각 설명변수의 상대적인 중요성을 확인하였다. 이는 독립변수와 종속변수 사이의 관계를 중요도로 평가하는 방법이다(Garson, 1991).⁶⁶⁾

〈표 3-24〉는 인공신경망에 사용된 변수의 상대적 중요도를 나타낸다. 상대적으로 중요도가 가장 높은 변수는 해역밀집도이며, 해양안전심판원 구역, 양식장 유무, 기온, 유의파고 5m 이상 순으로 나타났다.

〈표 3-24〉 인공신경망에 사용된 변수의 상대적 중요도

변수	상대적 중요도
해역밀집도	0.099
해양안전심판원 구역	0.097
양식장 유무	0.092
기온	0.086
유의파고 5m 이상	0.075
수온	0.070
유의파고 3m 이상	0.068
조업밀집구역	0.065
VTS 구역	0.060
안개일수	0.051
월평균 풍속	0.047
월평균 파고	0.043
계절	0.038
어획량	0.032
어획금지기간(고등어)	0.027
어획금지기간(갈치)	0.026
어획금지기간(오징어)	0.022

자료: 저자 작성

66) Garson(1991), pp. 46-51.

한편 인공신경망 모델의 예측 정도는 테스트용 20% 데이터에 적용하여 확인하였다. 테스트용 데이터에 도출된 인공신경망 모델을 적용하여 충돌 사고 발생 확률이 50% 이상인 경우를 해양사고 발생으로 두었다.

〈표 3-25〉는 랜덤포레스트 모델을 이용한 혼돈행렬이다. 테스트용 데이터는 충돌사고 미발생 438건, 발생 102건으로 구성되어 있다. 정확도는 전체 데이터 중 충돌사고가 발생하지 않은 경우와 발생한 경우를 정확히 예측하는 비율로 83.1%이다. 그리고 충돌사고가 발생한 건수로 예측한 경우는 33.3%, 미발생한 경우 중 미발생한 건수로 예측한 경우는 94.7%로 나타났다.

〈표 3-25〉 인공신경망 모델을 이용한 혼돈행렬

		실제	
		미발생	발생
예측	미발생	415	68
	발생	23	34

주: 발생의 기준은 확률 0.5로 설정함
자료: 저자 작성

(5) 종합

충돌사고 공간분석을 위해 4가지 모델을 이용하여 충돌사고를 예측할 수 있는 모델을 도출하였다. 〈표 3-26〉은 도출된 모델 간 정확도, 민감도, 특이도 및 중요 변수를 나타낸다.

〈표 3-26〉 충돌사고 공간분석 모델 비교

모델	정확도	민감도	특이도	중요 변수
로지스틱 회귀분석	83.3%	97.4%	22.5%	VTS 구역, 해역밀집도, 양식장 유무
의사결정나무	83.3%	94.9%	33.3%	해역밀집도, 양식장 유무
랜덤포레스트	83.5%	95.4%	32.3%	해역밀집도, 어획량, 수온, 기온 등
인공신경망	83.1%	94.7%	33.3%	해역밀집도, 해양안전심판원 구역, 양식장유무, 기온 등

주: 민감도는 충돌사고가 없었던 상황을 미발생으로 예측한 비율, 특이도는 실제 충돌사고를 발생으로 예측한 비율, 정확도는 전체 사건 중 정확히 예측한 비율

자료: 저자 작성

정확도는 전체 데이터 중 정확히 예측한 비율을 나타내는 것으로 랜덤포레스트 모델이 83.5%로 가장 높았다. 민감도는 충돌사고가 없었던 상황을 사고가 발생하지 않은 것으로 예측한 비율로 로지스틱 회귀분석이 97.4%로 가장 높았다. 특이도는 실제 충돌사고가 발생한 상황을 발생한 상황이라고 예측한 비율로 의사결정나무, 인공신경망 모델이 33.3%로 가장 높았다. 한편 도출된 모델 중 중요한 변수로 사용한 것은 해역밀집도로 모든 모델에서 중요한 요인으로 사용되었다. 그리고 양식장 유무, 기온, VTS 구역 등의 변수가 있었다.

본 장에서 도출한 모델은 선박이 항행하는 환경의 시간적·공간적 특성을 이용하여 선박충돌 확률을 도출하고 최종 선박충돌 위험도에서 외부 요인의 값으로 사용된다. 민감도의 경우 사고가 발생하지 않은 안전한 영역을 예측한 정도, 특이도는 사고가 발생한 위험한 해역을 예측한 정도이다. 해역환경은 안전한 영역과 위험한 영역이 모두 고려되어야 하기 때문에 이를 종합할 수 있는 정확도가 가장 높은 모델인 랜덤포레스트 모델을 최종 선택하였다.

3. 내부 요인과 외부 요인을 이용한 최종 모델 도출

내부 요인과 외부 요인을 이용한 최종 충돌 위험도 모델은 내외부 요인의 가중치 행렬과 내외부 위험 평가 모델 행렬의 곱으로 다음의 식과 같이 도출되었다.

$$R_{ij} = W_{ij} \times R = [W_i, W_j] \begin{pmatrix} R_i \\ R_j \end{pmatrix}$$

R_{ij} 는 선박(i)가 해구(j)에서 항행할 때의 선박충돌 위험도를 의미한다. W_{ij} 는 가중치 벡터를 나타낸다. 가중치는 선박운항자 대상 설문조사를 통해 다음과 같이 도출되었다.

$$W_{ij} = [W_i, W_j] = [0.5761, 0.4238]$$

R_i 는 선박(i)가 타 선박과 조우 시 선박충돌 위험도를 의미하며, 아래의 식과 같다. 선박충돌 위험도는 1(매우안전)에서 7(매우위험)까지의 범위로서 선박과 조우관계에 있을 때 그 값이 도출된다. 선박 조우가 형성되지 않는 상황은 선박충돌 위험도를 측정하지 않는다.

$$R_i = 4.136 + E + D + S$$

여기서 E는 조우조건에 따른 계수로

우현전방에서 조우하는 경우 $E= 0.4959$

우현후방에서 조우하는 경우 $E= -1.205$

좌현전방에서 조우하는 경우 $E= 0.7238$

좌현후방에서 조우하는 경우 $E= -0.9141$

마주치는 경우 $E= 1.4054$

추월하는 경우 $E= -0.5059$

D는 이격거리에 따른 계수로

0.5NM의 경우 $D= 0.775$

1.0NM의 경우 $D= 0.096$

2.0NM의 경우 $D= -0.871$

S는 속력 차이에 따른 계수로

본선과 타선의 속력이 같은 경우 $S= -0.0083$

본선이 타선보다 빠른 경우 $S= -0.1273$

본선이 타선보다 느린 경우 $S= 0.1356$

R_j 는 해구(j)의 시공간적인 선박충돌 위험 확률을 의미하며, 앞서 제시한 충돌사고 공간분석 모델 중 랜덤포레스트로 도출된 모델을 사용한다.

04

AIS 데이터를 활용한 부산항 인근해역 해상교통 안전 평가모델 적용

본 장에서는 다른 교통 분야의 위험도 지도 사례를 분석하고 3장에서 도출된 해상교통안전 평가 모델을 이용하여 우리나라 연안해역 중 가장 복잡한 부산항 인근 해역을 대상으로 위험도 지도를 도출하고자 한다. 그리고 부산항 인근 해역에서 발생한 해양사고와 위험도 지도를 비교하여 평가 모델을 검증하고자 한다.

제1절 교통 분야 위험도 지도 사례

1. 도로교통

도로교통 분야에서 도로 위험도 지도란 교통량과 사고 자료를 이용하여 도로 노선을 따라 교통사고 건수를 추정하고, 계산된 위험도 지수를 지도에 나타내는 것이다.⁶⁷⁾

67) 성락훈 외(2020), p. 69.

현재 우리나라는 2015년부터 도로교통공단에서 교통사고정보와 기상정보(강우, 강설 등)의 빅데이터 분석을 통해 도로의 위험도를 알려주는 ‘위험도로 예보시스템’을 운영 중이다. 빅데이터는 교통사고 DB와 환경적 요인(소통, 기상정보 등)을 융합하여 위험도를 산출하고, 영향 변수 간 상관관계 유무(카이제곱검정) 및 영향 변수가 도로 위험도에 미치는 영향(다중회귀분석)을 바탕으로 분석하고 있다. 그리고 난 후 웹 기반 프레임워크인 ‘위험도로 예보시스템’에 이를 지도로 나타낸다. 위험도는 도로유형별, 차종별 등으로 구분하여 4단계(안전, 주의, 위험, 심각)로 제공하고 있다.⁶⁸⁾

〈표 4-1〉 도로 위험도지수 산출 절차 및 변수의 조작적 정의

도로위험도지수 = 10 · 도로위험도 _{Basic} × X _{Weather} × X _{Traffic} × X _{Time}					
10 ·	산출되는 도로위험도 지수 값이 적어 계산값에 10을 곱하여 지수 산정				
도로위험도 _{Basic}	링크 단위길이(km)당 사고 심각도 유형별 위험도지수 (사고 건수 × 사상자 수 × 사상자 환산계수*)				
	구분	사망자 수	중상자 수	경상자 수	부상신고
	*사상자 환산계수 (사고비용 고려)	1.0000	0.1168	0.0068	0.0033
X _{Weather}	기상 수정계수(맑음, 강우, 강설, 안개)				
X _{Traffic}	소통상황 수정계수(원활, 지체, 정체)				
X _{Time}	주야시간대 수정계수(주간, 야간)				

자료: 도로교통공단(검색일: 2021. 5. 26)

〈표 4-2〉에서 설명하는 영향변수의 계수값은 실제 사고 자료와 실시간 각 변수의 값을 기반으로 분석하여 도출되었다.⁶⁹⁾

68) 도로교통공단(검색일: 2021. 5. 26)

69) 성락훈 외(2020), p. 71.

〈표 4-2〉 도로유형별 영향계수 도출 결과

도로 구분	차종 구분	소통			기상				시간대	
		원활	지체	정체	맑음	강우	강설	안개	주간	야간
고속 국도	승용차	1.000		1.050	1.000	0.997	1.053		1.000	1.000
	버스			1.147		0.994	0.999			
	택시			1.145		0.921	0.902			
	화물차			1.033		0.973	0.958			
일반 국도	승용차	1.000		1.023	1.000				1.00	1.037
	버스			1.026						1.029
	택시			1.027						1.065
	화물차			1.026						1.051
지방 도	승용차	1.000		1.019	1.000	0.994		1.000	1.000	1.045
	버스			0.990		1.074	0.975			
	택시			0.993		1.000	1.075			
	화물차			1.035		1.043	1.051			
7대 도시	승용차	1.000		1.005	1.000	1.005		1.000	1.038	
	버스			1.024		1.024	1.039			
	택시			0.994		0.994	1.029			
	화물차			0.995		0.997	1.034			

자료: 도로교통공단(검색일: 2021. 5. 26)

〈표 4-1〉의 도로위험도지수 산출 절차 개발 후 최근 2년간의 도로구간에 적용하여 전체 분포도와 15th%, 50th%, 85th% 값 등을 검토하여 도로 위험도 1~4단계 평가 방법을 〈표 4-3〉과 같이 개발하였다. 각 도로 위험도 등급은 지역 특성을 고려한 도로 유형에 따라 다른 기준을 적용하여 각 교통사고 발생 지역의 특성과 도로 유형 특성이 반영되도록 하였다.⁷⁰⁾

70) 성락훈 외(2020), p. 71.

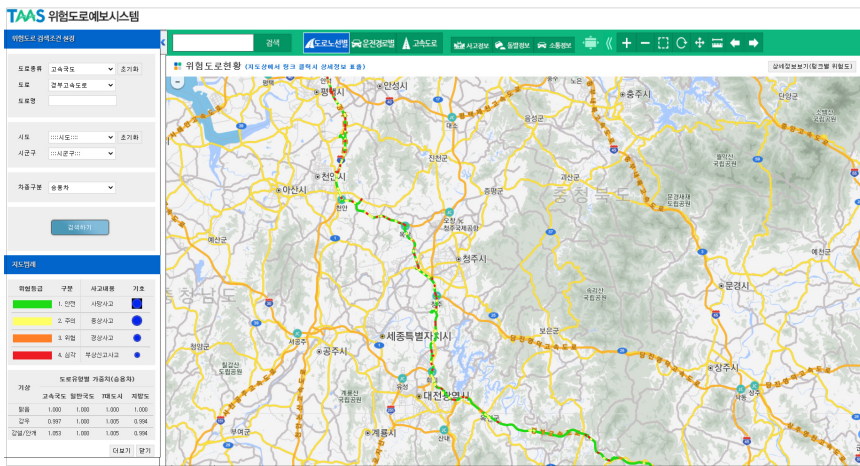
〈표 4-3〉 도로위험도 평가 매트릭스

도로구분	차종구분	위험도 평가 단계			
		1	2	3	4
		Green(안전)	Yellow(주의)	Orange(위험)	Red(심각)
고속국도	승용차	〈 3	〈 7	〈 12	〉 12
	버스	〈 3	〈 5	〈 10	〉 10
	택시	〈 3	〈 5	〈 7	〉 7
	화물차	〈 3	〈 7	〈 10	〉 10
일반국도	승용차	〈 8	〈 20	〈 27	〉 27
	버스	〈 5	〈 7	〈 20	〉 20
	택시	〈 5	〈 7	〈 20	〉 20
	화물차	〈 6	〈 15	〈 20	〉 20
지방도	승용차	〈 7	〈 13	〈 25	〉 25
	버스	〈 3	〈 7	〈 15	〉 15
	택시	〈 3	〈 7	〈 15	〉 15
	화물차	〈 7	〈 10	〈 15	〉 15
7대 도시	승용차	〈 7	〈 10	〈 17	〉 17
	버스	〈 7	〈 9	〈 14	〉 14
	택시	〈 7	〈 9	〈 14	〉 14
	화물차	〈 7	〈 10	〈 15	〉 15
지방 중소도시	승용차	〈 7	〈 12	〈 20	〉 20
	버스	〈 5	〈 8	〈 15	〉 15
	택시	〈 5	〈 8	〈 15	〉 15
	화물차	〈 7	〈 10	〈 16	〉 16
농어촌 지역	승용차	〈 5	〈 10	〈 20	〉 20
	버스	〈 3	〈 7	〈 17	〉 17
	택시	〈 3	〈 10	〈 17	〉 17
	화물차	〈 3	〈 7	〈 15	〉 15

자료: 도로교통공단(검색일: 2021. 5. 26)

위 도로위험도지수 산출 절차에 따라 도로 위험도를 평가한 결과는 아래 <그림 4-1>을 예시로 나타냈으며, 고속국도 중 경부고속도로에서 운행되는 승용차 기준을 반영한 결과이다. 가장 안전한 단계인 1등급은 '녹색'으로 표기되었고, 가장 위험한 단계인 4등급은 '붉은색'으로 표기되어 도로 위험도 지도를 한눈에 파악할 수 있다.

<그림 4-1> 위험도로예보시스템 기반의 도로 위험도 지도



주: 도로 종류 - 고속국도, 도로 - 경부고속도로, 차종 구분 - 승용차 기준으로 검색
자료: 도로교통공단 위험도로예보시스템(검색일: 2021. 5. 26)

2. 항공교통

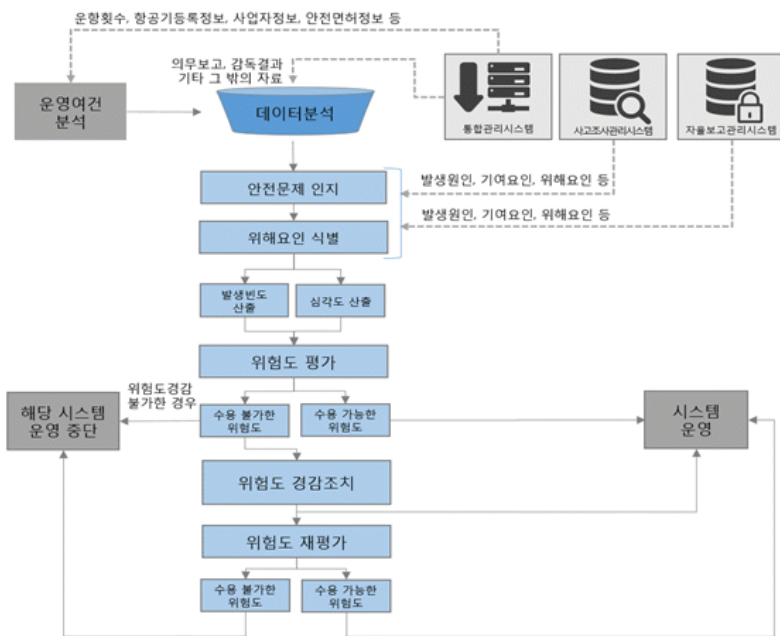
항공교통 분야에서는 국제민간항공기구(ICAO: International Civil Aviation Organization)의 안전관리체계가 대표적이다. 특히 ICAO에서 회원국마다 평가하는 항공안전도는 대표적으로 항공안전평가 프로그램(USOAP: Universal Safety Oversight Audit Programme)과 사고통계 등 두 가지 방법으로 시행되고 있다.⁷¹⁾

71) 김연명·안혁수(2006), p. 36.

USOAP를 통해 발견되는 위해요인(Hazard)을 식별하고 위험을 분석, 평가함으로써 운영 환경에서 존재하는 특정 위험을 경감하거나 항공안전프로그램을 개선하는 활동을 항공안전 위험도관리(SRM: Safety Risk Management)라고 한다. 도로교통 분야처럼 위험도 지수를 지도로 시각화한 자료는 없지만 SRM을 통해 위험평가그룹을 관리하고 위험정보 관리 등을 수행하고 있다.⁷²⁾

예를 들어 새로운 운영체계를 국가 항공체계에 도입하거나 기존에 운영하고 있는 사항에 변동이 발생한 경우, 안전관리시스템에 따라 항공안전 위해요인을 식별하고 위험도를 평가하는 것이다.

〈그림 4-2〉 항공안전 위험도관리 세부 절차



자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」(2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제48조

72) 「국가항공안전프로그램」(2020. 10. 31, 국토교통부고시 제2020-751호)

위해 요인은 ①물리적 여건, 기상 ②장비(하드웨어, 소프트웨어 등) ③제 3의 기관에 위탁한 업무(외주, 전기, 통신 등) ④휴먼-머신 인터페이스 ⑤ 인적 요인 ⑥정비 절차 또는 조종 절차 ⑦운영 환경(공역, 항공로 구조 등) ⑧조직문화 또는 조직적 문제점 ⑨정책·규정·규칙 등의 요소를 고려하여 다양한 전문가의 검증을 통해 발굴한다. 그리고 해당 위해 요인으로 나타난 발생 결과의 ‘심각도’와 ‘발생 빈도’를 산출하는 것을 목적으로 한다.

〈표 4-4〉 위해 요인별 발생 결과의 심각도 구분

구분	위험 구분	인명 피해	항공기 파손	운영상에 끼친 영향	위해 요인 평가 결과
A	매우 심각 (Catastrophic)	• 별표 3에 따른 사망자 발생	• 별표 3에 따른 항공기 전파	-	• 항공기 사망사고 • 해당 위해 요인이 사망사고 또는 항공기 전파 사고에 준하는 것으로 판단되는 경우 운항에 막대한 영향을 미칠 수 있거나 항공기 탑승자의 위험으로 발전될 수 있는 것으로 판단되는 경우
B	위험 (Hazardous)	• 별표 3에 따른 중상자 발생	• 별표 3에 따른 항공기 대파 • 항공기에 장착된 주요 장비, 구성품의 손상	• 안전한계 (Safety Margin)가 크게 축소된 경우 • 종사자가 업무를 정확하게 또는 완전히 수행할 수 없도록 만드는 신체적 고통이나 업무량 부하	• 항공기 사고(비사망) • 해당 위해 요인이 비사망 사고 또는 항공기 대파 사고에 준하는 것으로 판단되는 경우 운항에 심각한 영향을 미칠 수 있거나 관련 구체적인 위험 정보에 따라 즉각적 안전조치를 요하는 것으로 판단되는 경우
C	중요 (Major)	• 별표 3에 따른 경상자 발생 * 항공기 파손, 운항영향, 위	• 별표 3에 따른 항공기 대파 * 단, 항공기에 장착된 주요	• 안전한계가 축소되어 정상적인 업무 수행이 불가한 경우	• 항공기 준사고 • 항공안전장애이나 항공기 준사고에 준하게 운항에 미치는

구분	위험 구분	인명 피해	항공기 파손	운영상에 끼친 영향	위해 요인 평가 결과
		해요인 평가 등 고려 후 D 등급 구분	장비, 구성품의 손상에 해당하는 경우는 제외		영향이 상당하다고 판단되는 경우
D	경미 (Minor)	• 별표 3에 따른 경상자 발생	• 감항성에 영향을 주지 않는 손상이 발생한 경우	• 원인미상 또는 불필요할 수 있는 운영 제한 발생 • 비상절차 사용	• 항공안전장애훑에는 해당하나 운항에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단되는 경우
E	매우 경미 (Negligible)	• 해당 없음	• 항공기 또는 장비에 손상이 발생되지 않은 경우	• 거의 없음	• 항공안전장애훑에는 해당하나 운항에 미치는 영향 또는 탑승자에게 위험으로 발전되지 않는다고 판단되는 경우

자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」 (2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제55조

〈표 4-5〉 위해 요인별 발생 결과 빈도

구분	발생 가능성	정량적 판정 기준	
		1회 이상 발생하는 비행시간	2백만 비행시간으로 환산
5	매우 높음 (Frequent)	1만 시간 미만	일 단위
4	높음 (Occasional)	1만 시간 이상~10만 시간 미만	2주 단위
3	보통 (Remote)	10만 시간 이상~100만 시간 미만	월~분기 단위
2	낮음 (Improbable)	100만 시간 이상~1,000만 시간 미만	반기~연간 단위
1	매우 낮음 (Extremely Improbable)	1,000만 시간 이상~	5년 이상에 해당하는 단위

자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」 (2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제55조

이처럼 각 위해 요인의 심각도와 발생 빈도를 산출하여 위험도 평가 매트릭스를 바탕으로 해당 국가의 항공안전 위험도를 평가한다.

〈그림 4-3〉 위험도 평가 매트릭스

구 분			심각도				
			매우심각 A	위험 B	중요 C	경미 D	매우경미 E
발 생 가 능 성	매우 높음 5		5A	5B	5C	5D	5E
	높음 4		4A	4B	4C	4D	4E
	보통 3		3A	3B	3C	3D	3E
	낮음 2		2A	2B	2C	2D	2E
	매우 낮음 1			1B	1C	1D	1E

주: 평가결과 "1A"는 각종 전문가 의견 등을 고려하여 2등급 또는 3등급으로 구분 가능함
 자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」(2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제56조

이후 평가된 위험도에 따라 각 업무담당자와 관리책임자는 위험도 경감 조치 수준을 결정해야 하며, 위험도 경감 방식으로는 ①회피활동(운영을 제한하거나 금지하여 관련 위험을 완전히 회피하도록 규정 제정·개정, 인·허가 및 승인 취소, 업무 정지 등) ②저감활동(잠재 결과의 피해를 줄이거나 발생 가능성을 감소시키는 안전방호장치, 경보장치 도입 및 운용 시스템 기준 강화 등) ③격리활동(운영을 제한하거나 노출시간을 감축하여 위험을 부분적으로 회피하도록 운용 기준 강화) 등 총 세 가지를 들 수 있다.

〈그림 4-4〉 위험도 평가 결과에 따른 조치 수준 기준

위험도 (Risk level)	위험 경감을 위한 조치 수준	보고범위
1 등급 (심각, 수용불가)	① 현재 상태로 수용 불가 ② 최우선적 위험도 경감조치 즉시 수행 필요 ③ 최우선적 위험도 경감조치가 즉시 수행 불가한 경우 운영 중단 ④ 사실조사 실시	항공정책실장
2 등급 (경계, 수용가능성 검토)	① 위험도 경감조치를 통해 수용 가능 ② 사실조사 실시	항공정책실장
3 등급 (주의, 수용가능성 검토)	① 위험도 경감조치를 통해 수용 가능 ② 검토를 통해 경감조치 없이도 수용가능 (전문가검토, 의사결정 과정 등 필요)	항공안전정책관
4 등급 (경미, 수용가능)	① 허용 가능한 상태로써 추가 위험도 경감조치 불필요	담당 부서장

자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」(2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제57조

개선 조치가 완료된 경우 해당 개선 조치의 효용성을 평가하기 위해 위험도를 다시 평가해야 하며, 위험도 평가 결과를 관리시스템에 입력하고 지속적으로 현행화해야 한다.

〈그림 4-5〉 위험도 대장(Risk Register)

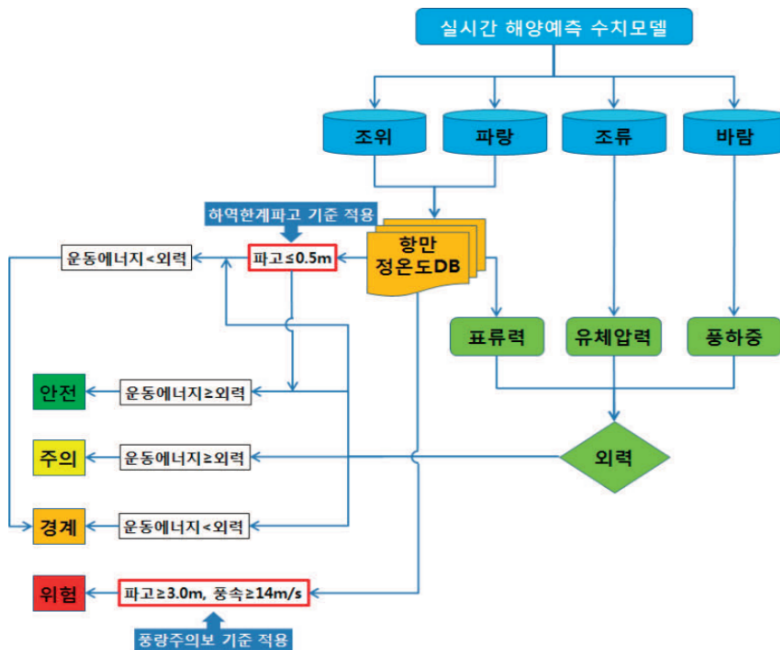
식별 번호	위해요인	잠재결과	위험도 평가			위험도 경감		위험도 재평가			위험도 경감 (추가 필요시)
			빈도	심각도	결과 (평가일)	조치내용	추진상태 (담당자)	빈도	심각도	결과 (평가일)	
1	안전문화		4	C	4C ('19.8.11)	▶ 행동질차 보완 ▶ 안전문화 증진 - 요령 재교육	진행중 (000) 진행중 (000)				
2											

자료: 「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」(2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호) 제59조

3. 항만 해양안전지수

국립해양조사원은 조위와 조류, 바람, 파랑 등 해양 현상 관측 정보를 이용하여 항만 활동의 안전성을 예측하는 항만해양안전지수를 제공하고 있다.⁷³⁾ 항만 해양안전지수의 주요 인자는 조류와 파랑, 바람 등 해양 환경이며, 예보지수는 해양 예측 모델의 결과를 이용하여 ‘관심, 주의, 경계, 위험’ 등 4단계로 산출된다(국립해양조사원, 2015).⁷⁴⁾ <그림 4-6>은 항만 해양안전지수의 알고리즘을 나타낸다.

<그림 4-6> 항만 해양안전지수 산출 알고리즘



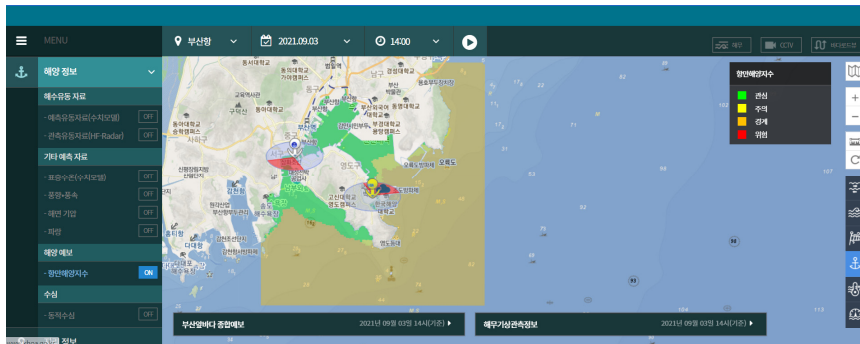
자료: 국립해양조사원(2015), p. 157

73) 해양수산부 보도자료(2017. 9. 25.)

74) 국립해양조사원(2015), p. 157.

〈그림 4-7〉은 항만 해양안전지수를 이용하여 웹플랫폼 기반으로 정보를 제공하는 시스템을 나타낸다. 서비스 대상 항만은 인천항, 대산항, 여수광양항, 부산항신항, 부산항, 울산항, 평택당진항, 군산항, 포항항, 목포항으로 총 10곳이다. 예보지수의 기준에 따라 향후 3일간의 예측자료를 총 네 가지 단계의 색상으로 구분하여 제시한다. 그와 함께 해수유동자료와 기타 예측자료(표층수온, 풍향·풍속, 해면기압, 파랑), 수심 자료도 함께 제공하고 있다.

〈그림 4-7〉 항계안전 해양정보 제공 시스템 화면



자료: 국립해양조사원, 「항계안전」(검색일: 2021. 9. 3)

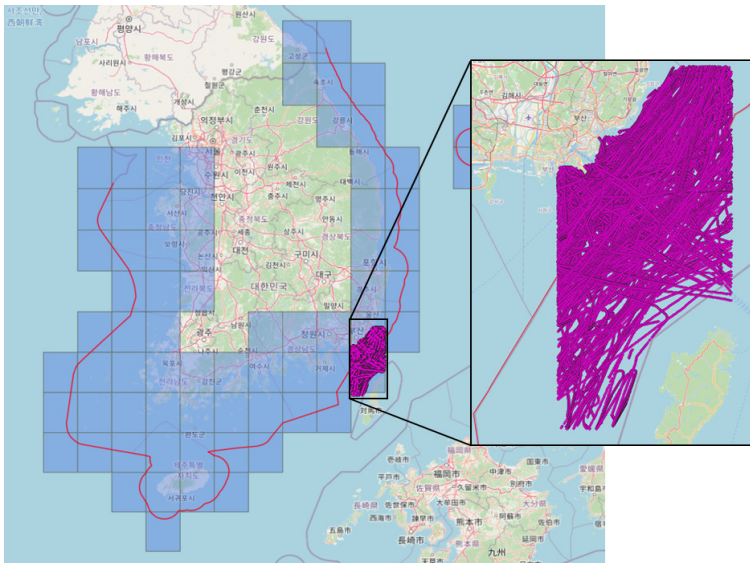
제2절 선박충돌 위험도 지도

1. 자료 및 범위

선박충돌 위험도 지도를 도출하기 위하여 물동량이 많고 충돌 해양사고가 많이 발생한 부산항 부근 해역을 대상으로 2021년 8월 5일 00:00부터 8월 12일 00:00까지 7일간 AIS 데이터를 수집하였다. Inoue &

Hara(1974)는 대상 해역의 1년간 해상교통 특성을 확인하기 위해서는 적어도 3일 이상의 해상교통 데이터가 필요하다고 했으며, Yoo *et al.*(2015)는 요일변화지수를 고려하여 해상교통조사는 최소 1주일 이상이 필요하다고 하였다. 또한 「해상교통안전진단시행지침」 별표 3의 해상교통조사 기준에서도 최소 3일 이상의 AIS 데이터를 요하고 있다. 그러므로 본 연구에서도 7일간의 해상교통자료를 사용하였다. <그림 4-8>은 대상 해역의 7일간 AIS 데이터를 나타낸다.

〈그림 4-8〉 대상 해역의 AIS 데이터



자료: 저자 작성

AIS 데이터는 시간에 따라 수신하는 동적데이터와 정적데이터로 구분되어 있다. 동적데이터는 수신시간과 선박 위치(경·위도), 속력, 침로, 선수방향으로 구성되어 있으며 정적데이터는 MMSI 등 선박 정보로 구성되어 있다. 동적데이터의 경우 AIS의 Class에 따라 수신 시간이 상이하다. 즉, 선박충돌 위험도는 동일한 시간에 위험 요인이 계산, 도출되어야 하지만, 수

신 시간이 다른 경우에는 동일한 시간의 위험도 도출이 불가능하다.

그러므로 본 연구에서는 부산항 부근에서 운항하는 선박의 평균 속력이 10.4kt임을 고려하여(Park, Kang, & Park, 2020), 2-14kt 속력으로 항해 중인 경우의 AIS 송신 주기인 30초 단위⁷⁵⁾로 동적데이터를 보간하였다. 선박의 동적데이터를 30초 단위로 보간하게 되면, 동일한 시간의 선박 간 충돌 위험도를 계산할 수 있고 길었던 주기로 선박안전영역에 침범하지 못했던 선박도 식별이 가능하다. 데이터 보간은 다음의 식을 이용하였다.

$$P(t+Itv) = \frac{l_1}{l}P(t) + \frac{l_2}{l}P(t+a)$$

여기서 $P(t)$: Position at time $t(x_1, y_1)$

$P(t+a)$: Position after time $a(x_2, y_2)$

$P(t+Itv)$: Position after interval to be interpolated

l_1 : Distance between $P(t)$ and $P(t+Itv)$

l_2 : Distance between $P(t+Itv)$ and $P(t+a)$

l : Distance between $P(t)$ and $P(t+a)$

2. 다른 모델과 비교·분석

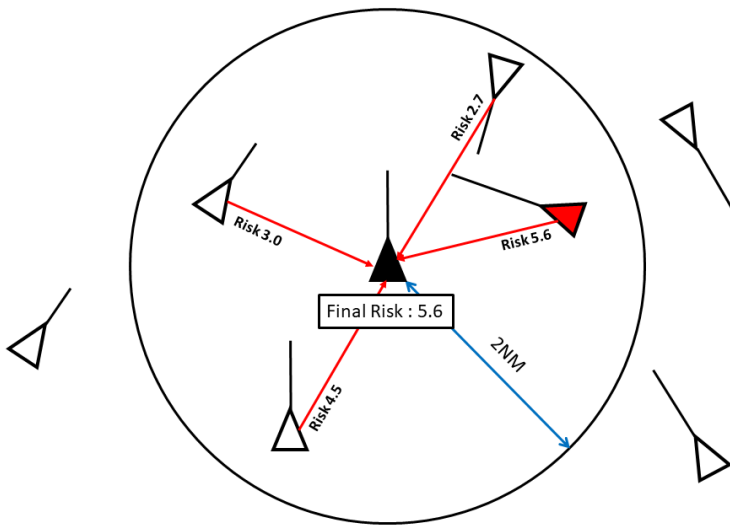
본 연구를 통해 도출된 모델과 기존의 다른 모델을 이용하여 위험도 지도를 도출하였다. IWRAP는 전용 프로그램으로 구현되어 지도의 임의 조정이 불가능했기 때문에 IWRAP 모델을 제외하고 다른 모델은 GIS 프로그램을 이용하여 격자형 형태로 위험도 지도를 제시하였다. 위험도 지도의 격자는 30" 간격을 사용하였다. 30" 간격의 격자는 해양수산부의 바다누

75) 국립전파연구원(2016), p. 17.

리 해양정보 서비스용으로 사용하는 격자 중 가장 정밀한 격자이다.⁷⁶⁾

다른 모델과 비교하기 위한 위험도 지도는 수집한 AIS 데이터 중 가장 혼잡했던 2021년 8월 11일 00:00시부터 8월 22일 00:00시까지 1일간의 데이터를 사용하였다. 위험도 지도는 각 모델을 이용하여 위험도 값을 도출하고 위험도 기준에 따라 위험한 상황으로 분류되는 값을 열지도 형태로 도출하였다. 이때 한 위치에 다수의 위험도 값이 있는 경우에는 가장 큰 위험도 값을 해당 위치의 위험도로 정의했다. <그림 4-9> 해역의 최종 위험도를 도출하는 방법을 나타낸다.

<그림 4-9> 해역 위험도 도출 개념도



자료: 저자 작성

<그림 4-10>의 (a)는 PARK 모델을 이용한 위험도 지도이다. PARK 모델은 위험도 5 이상을 위험한 상황으로 정의하고 있으므로, 위험도 지도는

76) 국립해양조사원, 「바다누리 해양정보서비스」(검색일: 2021. 9. 3)

위험도 5 이상의 상황을 열지도로 표시하였다. 열지도는 붉은색으로 갈수록 밀도가 높은 것으로 PARK 모델에 따라 위험 상황이 많이 분포하고 있다는 것을 의미한다. PARK 모델을 이용한 열지도에서 위험한 구역은 남항 접근 구역, 부산항과 기장 간 연안 구역, 남항, 부산북항으로 입항하는 선박과 횡단하는 선박이 교차하는 구역으로 나타났다.

〈그림 4-10〉의 (b)는 IWRAP 모델을 이용한 위험도 지도이다. IWRAP 모델은 선박의 항적을 바탕으로 선박이 운항하는 주요 LEG를 그리고, LEG에서 발생하는 위험도를 가시화한다. 즉, IWRAP 모델의 경우 선박과 선박 간 개별 위험도보다는 공간 기반의 위험도를 도출한다. IWRAP 모델을 이용한 위험한 구역은 남항 접근 구역, 부산항과 기장 간 연안 구역, 남항, 부산북항으로 입항하는 선박과 횡단하는 선박이 교차하는 구역으로 나타났다.

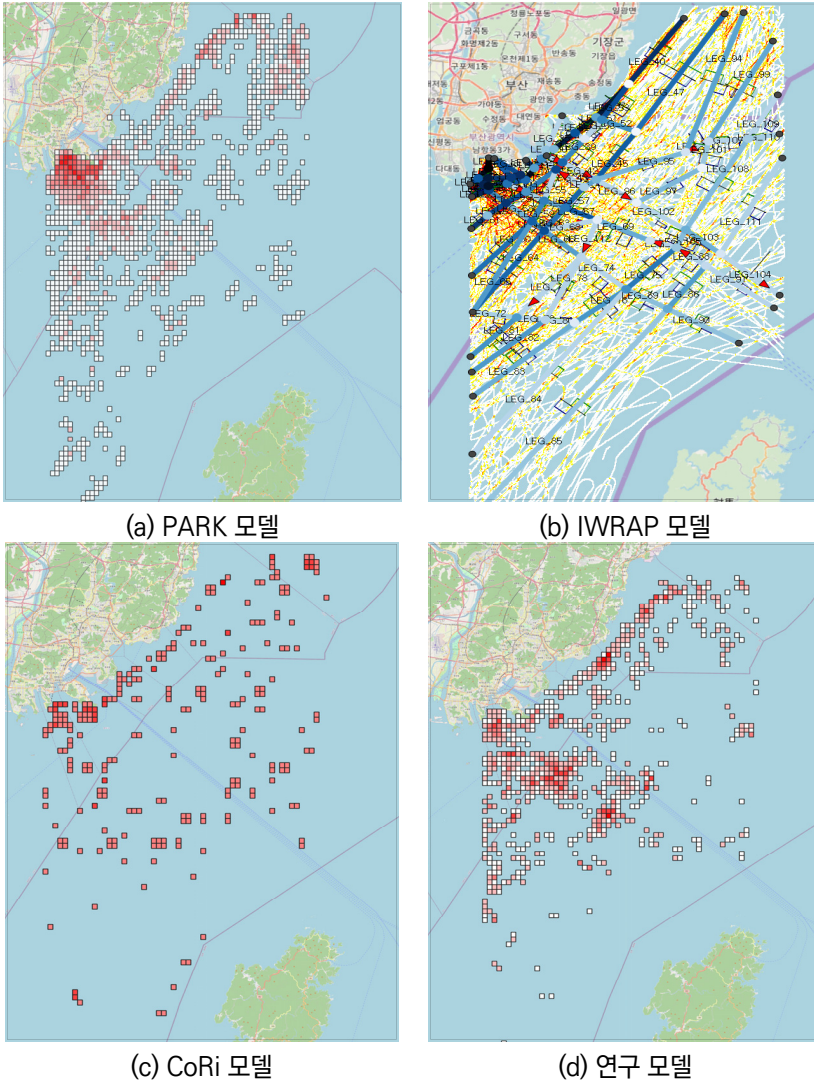
〈그림 4-10〉의 (c)는 CoRi 모델을 이용해 도출한 위험도 지도이다. CoRi 모델은 위험도 3 이상을 위험한 상황으로 정의하고 있으므로, 위험도 지도는 위험도 3 이상의 상황을 열지도로 표시하였다.⁷⁷⁾ 열지도는 붉은색으로 갈수록 밀도가 높은 것으로 CoRi 모델에 따라 위험상황이 많이 분포하고 있다는 것을 의미한다. CoRi 모델을 이용한 열지도에서 위험한 구역은 남항 접근 구역, 부산항 - 기장의 연안 구역으로 나타났으며, 그 외에도 위험구역은 넓게 분포했다.

〈그림 4-10〉의 (d)는 본 연구에서 도출된 모델을 이용해 작성한 위험도 지도이다. 연구 모델은 위험도 5 이상을 위험한 상황으로 정의하고 있으므로, 위험도 지도는 위험도 5 이상의 상황을 열지도로 표시하였다. 열지도는 붉은색으로 갈수록 밀도가 높은 것으로 위험 상황이 많이 분포하고 있다는 것을 의미한다. 연구 모델을 이용한 열지도에서 위험한 구역은 남항 접근

77) Yoo & Lee(2020)

구역, 부산항과 기장 간 연안 구역으로 나타났으며, 남향, 부산북향으로 입항하는 선박과 횡단하는 선박이 교차하는 구역으로 나타났다.

〈그림 4-10〉 모델별 위험도 지도



자료: 저자 작성

1일간의 데이터를 이용하여 위험도를 도출한 결과 공통적으로 감천항과 접근 수역, 부산과 기장 간 연안해역에서 위험한 구역이 도출되었다. 감천항과 남항 접근 수역의 경우 정박지가 부근에 있어, 정박하고 있는 선박과 그 부근을 운항하는 선박 간 위험도가 높은 것으로 판단된다. 부산과 기장 간 연안해역의 경우는 외해보다는 연안해역을 통항하는 선박이 많아 통항 밀도가 높고 상대적으로 위험한 구역이 많은 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 도출된 위험도 모델은 기존의 모델을 통해 도출된 위험도 지도와 비슷한 경향을 보였다. 그와 함께 조우하는 선박 간의 요소를 고려하여 위험도를 도출하는 것뿐만 아니라 항행하는 해역의 특성도 포함할 수 있다는 것이 큰 특징이다.

3. 주요 충돌 위험구역 도출

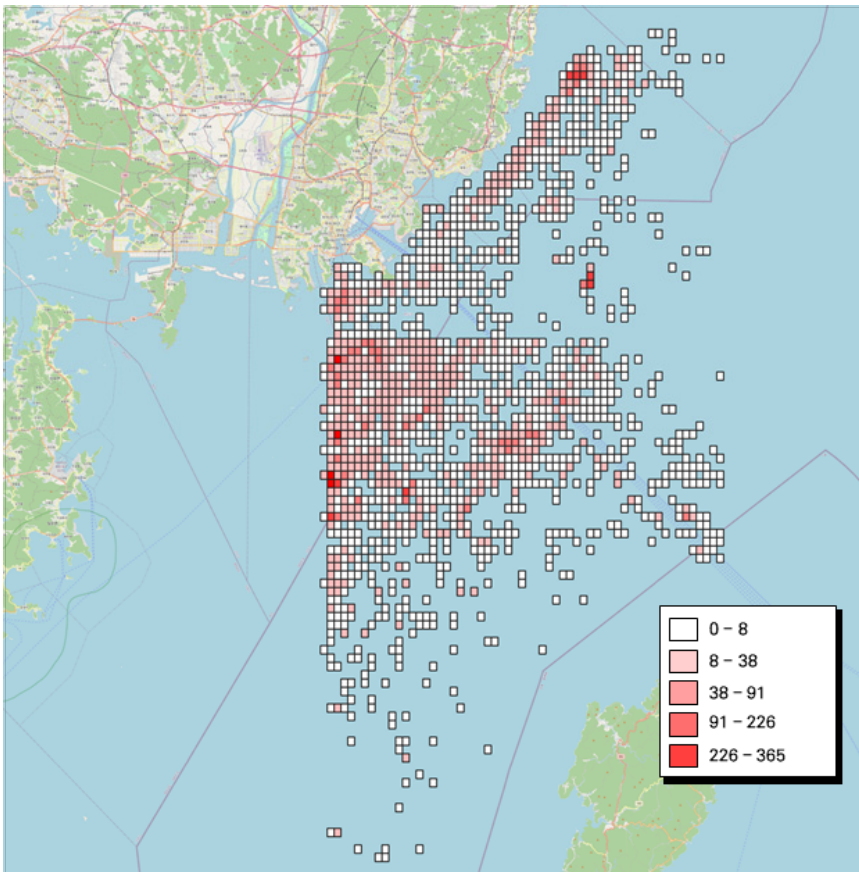
대상 해역의 충돌 위험구역을 도출하기 위하여 7일간 AIS 데이터를 이용하여 위험도를 계산하고 위험도 5 이상의 위험한 상황을 지도에 열지도 형태로 표시하였다. 열지도는 GIS 프로그램(QGIS 3.16.4)을 이용하였다. 열지도는 밀도가 높은 곳을 직관적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 여기서 밀도를 구분하는 기준은 열지도의 직관성과 연결되는 가장 중요한 요소로 본 연구에서는 GIS 프로그램에서 제공하는 'Natural Breaks'를 사용하였다.⁷⁸⁾

이는 데이터 값의 등급을 자연스럽게 구분하여 최적화된 데이터 클러스터를 구축하는 방법이다. 이때 각 등급 간의 분산은 극대화하고 같은 등급 내 값의 편차는 최소화하는 것이다. 다시 말해 같은 등급에서는 비슷한 위험도가 모이고 등급과 등급 사이의 위험도 값은 차이가 큰 것이다. 위험도

78) Jenks(1967), pp. 186-190.

지도는 대상 해역의 위험한 구역을 상대적으로 확연히 나타내야 하기 때문에 ‘Natural Breaks’를 이용했다. <그림 4-11>은 7일간 AIS 데이터를 이용하여 나타낸 위험도 지도이다. 지도상의 값이 붉은색으로 갈수록 위험도 모델의 5 이상 값이 많이 나타난 구역이라는 의미이다. 가장 진한 붉은색 구역의 경우 7일간 총 226~365회의 위험값 5 이상의 상황이 누적된 구역이다.

<그림 4-11> 연구 모델을 이용한 위험도 지도(7일간 누적)

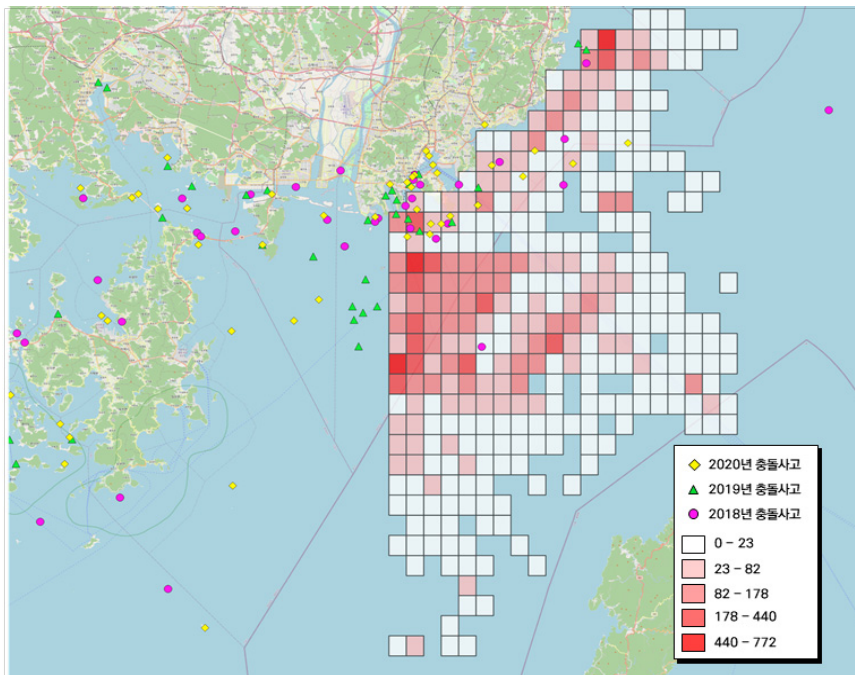


자료: 저자 작성

1일간의 데이터를 이용하여 도출된 구역과 비슷하게 남항, 감천항 접근 수역과 부산과 기장 간 연안해역이 위험한 구역으로 도출되었다. 그와 함께 부산북항, 남항, 감천항으로 입항하는 선박과 횡단하는 선박이 교차하는 과정에서 위험도가 높게 도출되었다.

도출된 위험구역의 현실 반영 여부를 확인하기 위해 3년간 부산항 부근 해역에서 발생한 충돌사고와 위험구역을 비교하였다. 충돌사고와 위험구역을 비교하기 위해서 사용한 격자는 해양수산부의 바다누리 해양정보 서비스용으로 사용하는 격자 중 1'30"(약 2.5km)의 격자를 사용하였다. <그림 4-12>는 대상 해역의 위험도 지도와 충돌사고 발생 위치를 동시에 표기한 그림이다. 위험도 지도의 밀도는 'Natural Breaks'를 사용하였다.

〈그림 4-12〉 대상 해역의 위험도 지도와 충돌사고 발생 위치



자료: 저자 작성

3년간 부산항 부근 해역에서 발생한 충돌사고는 총 30건으로 2018년 충돌사고 1건을 제외하고 대부분 연안 가까이에서 발생하였다. <표 4-6>은 위험도 지도 범위와 충돌사고 위치의 관계를 나타낸다.

〈표 4-6〉 대상 해역 충돌사고 위치

위험도지도 범위	2018년	2019년	2020년
(0-23]	5	-	3
(23-82]	4	4	7
(82-178]	1	1	2
(178-440]	1	2	-
(440-772]	-	-	-
합계	11	7	12

자료: 저자 작성

대상 해역의 모든 충돌사고는 위험도 값이 5 이상으로 도출된 해역에서 발생한 것으로 분석되었다. 충돌사고의 73.3%는 위험도 값 24 이상의 구역에 포함되어 위험도를 밀도로 분류한 위험도 지도는 현실의 충돌 위험을 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다.

05

결론 및 제언

제1절 요약 및 결론

본 연구는 우리나라 해상교통 환경을 반영한 해상교통안전 평가 모델 개발을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 승선 경력이 있는 항해사의 설문조사와 랜덤포레스트 모델을 이용했으며, GIS 프로그램을 통해 부산항 부근 해역의 선박충돌 위험도 지도를 도출하였다.

제1장에서는 연구의 배경과 목적, 방법을 기술하였다. 그리고 선행연구 분석을 통하여 연구의 차별성을 도출하였다. 선박충돌 위험도 모델은 오랜 기간 수많은 학자가 연구해 왔으며, 본 연구는 선박 내부 요인과 선박 항행 중의 외부 요인을 동시에 고려할 수 있다는 점에서 차별성을 두었다.

제2장에서는 우리나라의 해상교통 환경을 분석하고 최근 5년간 발생한 해양사고를 분석하였다. 3면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 선박을 이용한 교역은 불가피하며, 코로나19 상황으로 물동량이 감소한 시기를 제외하고는 지금까지 물동량은 증가 추세를 확인하였다. 특히 부산항과 광양항, 울산항을 포함하는 남해권 항만의 물동량이 많았다. 즉, 선박통항은 지속해서 증가할 것으로 예상되며, 이에 따라 해상교통 환경은 더 복잡해질 것으

로 판단할 수 있다. 현황 분석으로 도출된 복잡한 남해권은 제4장의 위험도 모델의 적용 구역에 활용되었다. 최근 5년간 해양사고 분석 결과, 충돌사고의 발생 빈도는 전체 해양사고 유형 중 약 10% 수준에 해당하지만, 재결건수 기준으로는 전체 38%를 차지하는 사고였다. 즉, 충돌사고는 인적·물적 피해 규모가 다른 유형의 해양사고보다 크고 사고 원인을 명확히 규명해야 하는 사고이다. 이를 통해 본 연구에서 해양사고 중 충돌사고 대상 위험도 모델을 개발하는 타당성을 제시하였다.

제3장에서는 국제해사기구(IMO)에서 발효한 국제해상충돌예방규칙 협약을 분석하고, 마주치는 상태, 교차하는 상태, 추월하는 상태의 충돌 상황을 정의했다. 그리고 국제항로표지기구(IALA)의 평가 모델인 IWRAP 모델과 노르웨이의 AISyRisk 모델, 해상교통안전진단에서 사용하는 ES 모델, 선박운항자 의식을 고려한 PARK 모델, 선박교통관제사 중심의 CoRi 모델을 분석했다. IWRAP 모델과 AISyRisk 모델은 선박안전영역 기반의 모델로 공간 중심의 모델이며, ES 모델과 PARK 모델은 본선 중심의 위험도 모델로 선박 간 내부 요인 중심의 모델로 분석되었다. CoRi 모델은 해상교통관제사 중심의 모델로 제3자의 선박 감시형 모델로 분석되었다. 이를 통해 선박이 항행하는 환경의 공간 요소와 선박 간 관계의 내부 요소가 고려된 본 연구의 모델이 차별성이 있다는 것을 확인하였다. 그와 함께 주요 모델에서 사용하는 변수인 조우관계와 선박 간 이격거리, 선박 속력을 위험도 모델 내부 요소의 변수로 사용하였다.

위험도의 내부 요인은 설문조사를 통한 컨조인트 방법을 이용하여 도출하였다. 컨조인트 분석 결과 조우관계가 선박충돌 위험도에 가장 크게 영향을 미쳤으며, 그다음 이격거리, 선박속력 순으로 분석되었다. 그리고 이를 통해 1~7 범위(1은 매우안전, 7은 매우위험)의 내부 요인 모델을 도출하였다.

위험도의 외부 요인은 5년간 우리나라 연안해역에서 발생한 충돌사고를 종속변수로 두고 로지스틱 회귀분석, 의사결정나무, 랜덤포레스트, 인공신

경망 모델을 이용하여 구역별 충돌사고 발생 확률을 예측하였다. 그중 모델 정확도가 가장 높았던 랜덤포레스트를 이용한 모델을 위험도 외부 요인 모델로 결정하였다.

최종 위험도 모델은 내부 요인과 외부 요인 간 영향력과 관련한 설문조사를 통해 도출된 가중치를 적용하였다.

제4장에서는 도로와 항공, 항만 분야에서 사용하고 있는 위험도 지도 사례를 분석하였다. 그리고 3장에서 제시한 기존의 위험도 모델과 본 연구에서 제시한 위험도 모델을 이용하여 위험도 지도를 열지도 형식으로 제시하였다. 이를 통해서 각 위험도 모델의 특성에 따른 위험구역을 도출하였다. 최종적으로 7일간 해상교통조사 자료를 이용하여 부산항 부근 해역의 위험도 지도를 도출하고 지난 5년간 인근 해역에서 발생한 충돌사고 영역과 비교하고 모델의 검증을 수행하였다.

충돌 위험도 모델은 수많은 학자가 꾸준히 연구하고 있는 주제이며, 다양한 방법론과 실험을 통해 지속적으로 각종 모델이 보완되어 발표되고 있다. 충돌사고는 다양한 모델을 이용해 많은 분석이 이루어지고 있지만, 우리나라의 충돌사고는 지속적으로 증가하고 있는 추세를 보인다. 그러므로 지속적으로 증가하는 충돌사고를 예방하기 위한 정책이 수립이 되어야 하며, 이를 뒷받침할 수 있는 정량적 모델이 필요하다. 본 연구는 다양한 모델의 분석을 통해 충돌 위험의 주된 요소를 도출하고, 조우하는 선박 간의 내부 요인과 선박이 항행하는 해역 환경 등 외부 요인을 고려한 선박충돌 위험도 모델을 개발하였다. 그리고 위험도 모델을 이용하여 해상교통 환경이 복잡한 부산항 부근 해역을 대상으로 위험도 지도를 제시하였다.

본 연구에서 개발한 모델은 기존의 충돌 위험도 모델과 다르게 내부 요인과 외부 요인을 동시에 고려하여 위험도를 제시했다는 점에서 연구의 차별성이 있다. 그러나 선종, 선박 길이, 주·야간 등 선행연구에서 제시되었던

다양한 변수를 내부 요인에 모두 고려하지 못한 점, 외부 요인의 설명력이 다소 부족했던 점은 본 연구의 한계점이다. 그럼에도 우리나라 현황을 고려한 선박충돌 위험도 평가 모델은 해사 안전과 관련한 정책적인 판단을 위한 기초 자료로 활용될 수 있는 이론적 기반을 마련하였기에 의의가 있다.

제2절 제언

1. 본 연구 기여

사고 파급력이 큰 충돌사고를 줄이기 위해서 정부는 다양한 정책을, 학계에서는 이와 관련해 다양한 연구를 진행 중이다. 그중 충돌 위험도를 측정하기 위한 평가 모델은 오래전부터 많은 학자가 수행해 왔던 연구 분야이다. 본 연구는 전 세계에서 다양하게 이뤄지고 있는 충돌 위험도 모델의 동향을 파악하고, 우리나라 현실에 맞는 모델을 개발하고자 하였다. 도출된 모델은 AIS의 실시간 자료뿐만 아니라 해양사고를 기반으로 공간적인 측면도 동시에 고려되었다는 점에서 충돌 위험도 평가 분야에 학술적으로 기여했다고 볼 수 있다.

그와 함께 2019년 수립된 해양공간기본계획을 통해 해양공간 이용자가 늘고 있고 수요가 다변화하는 것을 직접적으로 파악할 수 있었다. 기존의 전통적인 해양 이용자와 새로운 이용자 간 이해상충으로 갈등이 발생할 소지가 있으며, 그 와중에 해양공간에서 안전은 꾸준히 담보되어야 할 가치 중 하나이다. 그러므로 해양공간이 복잡해지는 시기의 본 연구는 해양안전 측면에서 중요성이 있으며, 제시된 모델로 도출되는 해양공간의 (준)실시간 위험도는 정책적인 판단에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

2. 제언

1) 정량적인 지표를 이용한 객관적인 평가 필요

지표란 측정 대상의 상태나 수준 등을 나타내는 개념이자 측정 도구를 의미한다. 일반적으로 지표는 측정 대상을 명확히 규정하여 대상의 상태, 수준, 변화를 정확하고 효율적인 수치로 파악하는 것을 목적으로 한다.⁷⁹⁾ 특히 정책지표는 특별히 정책 지향성을 지니는 지표로 정책 대안을 선택하는 과정에서 활용할 수 있는 통계 지표를 의미한다. 따라서 정책 대안을 선택하는 과정에서 정책 지표는 반드시 필요하다. 해상교통 환경과 관련해서도 다양한 정책이 있으며, 본 연구의 결과는 해상교통안전진단과 해양공간관리 계획에 적용될 수 있도록 제언을 하고자 한다.

항로나 정박지의 지정, 고시 또는 변경하는 경우, 선박의 통항을 금지하거나 제한하는 수역의 설정 또는 변경, 수역에 설치되는 교량, 터널, 케이블 등 시설물의 건설, 부설, 보수하는 경우, 항만 또는 부두의 개발·재개발의 경우, 그 밖에 해상교통안전에 영향을 미치는 사업을 시행하는 경우, 사업을 추진하고자 하는 자⁸⁰⁾는 항해안전에 미치는 영향을 사전에 전문적으로 조사, 측정, 평가하여 설계에 반영하고 해상교통안전진단을 시행토록 하고 있다. 해상교통안전 진단 항목은 해상교통환경조사, 해상교통현황 측정, 해상교통시스템 적정성 평가와 안전대책이 있다.

그중에서 해상교통현황 측정에서는 현황조사를 통해 분석된 잠재적 위험요인을 제시하도록 하고 있다. 그러나 해상교통안전진단 시행지침의 진단 항목별 기술기준에는 명확한 기준이 없다. 본 연구로 도출된 모델을 이용하면, 기술기준에서 제시하고 있는 최소 1주일 이상의 GICOMS 자료를 활

79) 통계청(2019), p. 3.

80) 「해사안전법 시행령」 별표 2의3

용하여 위험구역과 잠재적인 위험 요인을 정량적으로 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 특정 모델의 사용을 제한할 수는 없지만, 적어도 정량적인 평가 모델 사용은 명시가 필요하다. 모델을 사용한 정량적 평가는 해상교통 시스템 적정성 평가 중 해상교통류 평가에서 활용되고 있으므로, 정량적인 데이터 기반의 객관적인 모델 활용이 확대될 필요가 있다.

한편 해양공간 활용의 수요 확대와 다변화, 여건 변화 등에 대응하기 위해 정부는 해양공간계획을 수립하여 해양공간을 관리하고 있다. 전통적으로 해양은 해운, 항만, 어획 등으로 활용되고 있었으나, 최근에는 해상풍력 등 친환경에너지, 골재·광물 채취 등 다양한 니즈가 발생하고 있다. 그러므로 해양공간기본계획을 통해 합리적 용도의 배분과 지속가능한 해양공간 이용을 위한 일관된 체계를 구축하고 관리한다.

해양공간의 용도는 해양공간특성평가 지침에 따라 진행된다.⁸¹⁾ 그리고 이 지침을 근거로 해양공간의 자연적 특성과 입지, 활용 가능성 등의 해양공간특성평가를 시행한다. 해상교통과 직접 관련 있는 해양용도구역은 ‘항만·항행구역’이다. 현재 ‘항만·항행구역’의 평가항목은 주요 항만과 선박통항으로 구분하고 있다. <표 5-1>은 항만·항행구역 대상 평가항목을 나타낸다. GICOMS 통항량을 제외하고 모든 항목은 정성평가이다. 실제 부산 해양공간관리계획에 따르면, 정성평가 항목은 격자 범위 내의 존재 유무에 따라 결정되었다.⁸²⁾ GICOMS 통항밀집도는 화물선과 탱커선의 이동공간을 데이터로 추출하여 격자의 밀집도를 5단계로 구분하여 평가하였다(<그림 5-1>의 (a) 참조).

81) 해양수산부(2019), p. 5.

82) 부산광역시(2020), p. 88.

〈표 5-1〉 항만·항행구역 대상 평가항목

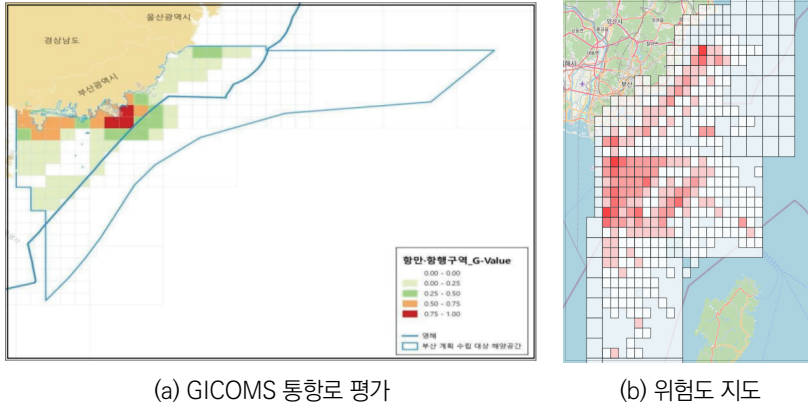
해양활동	핵심 해양활동	평가항목	필수/보조	정량/정성
항만·항행구역	주요 항만	무역항	필수	정성
		연안항	필수	정성
	선박통항	항로(일반, 주요)	필수	정성
		교통안전특정해역	필수	정성
		정박지	필수	정성
		통항분리제도	필수	정성
		GICOMS 통항밀집도	필수	정량

자료: 해양수산부(2019), p. 16

선박의 통항량은 구역의 위험도에 많은 영향을 미치지만, 통항량뿐만 아니라 다양한 요소가 항행 위험도에 영향을 미친다. 그러므로 GICOMS 통항량의 단편적인 지표보다는 다양한 요소를 고려한 평가 모델로 해양공간의 특성 평가를 수행할 필요가 있다.

〈그림 5-1〉 (b)는 해양공간계획 격자에 본 연구로 도출된 위험도 모델을 적용하여 가시화한 자료이다. 부산항 부근은 선박의 입출항으로 밀집된 구역으로 GICOMS 밀집도와 위험도 지도에서는 동일하게 위험한 구역으로 도출된다. 그러나 위험도 모델을 사용할 경우 연안해역이나, 입항 선박과 교차하는 해역에서 위험도가 상대적으로 높게 나오는 특징이 있다. 그러므로 위험도 모델을 사용하여 선박 운항의 특성을 고려한 특성평가가 필요할 것으로 판단된다.

〈그림 5-1〉 해양공간특성평가 비교



자료:부산광역시(2020), p. 93의 자료를 바탕으로 저자 작성

2) 해로드(海Road)를 이용한 해역 위험도 플랫폼 구축

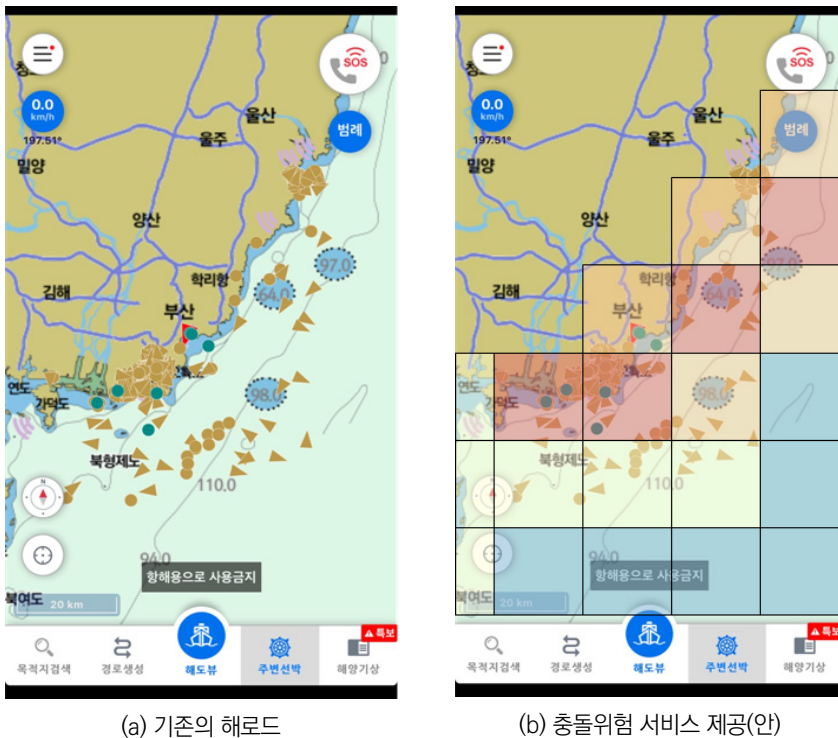
‘해로드’는 누구나 쉽게 자신의 위치를 전자해도에서 확인할 수 있고 그 위치를 전송할 수도 있는 스마트폰 앱이다. 이 서비스는 2014년 8월부터 시작되었으며, 낚시, 요트, 레저보트 등 해양레저 이용자의 안전을 위한 필수 앱이 되었다. 해로드는 긴급 구조요청뿐만 아니라 최신 전자해도를 이용한 항해보조 기능과 해양기상 정보도 제공하고 있다. 해양수산부 자료에 따르면, 해로드 앱의 누적 다운로드 건수가 37만 건에 이르고 있어 대표적인 해양안전 플랫폼 역할을 수행하고 있는 것으로 보인다.⁸³⁾

해로드는 항해 목적으로 사용하는 법적 장비는 아니다. 그러나 해양 레저활동 이용자나 항법장비를 갖추지 못한 소형 선박을 대상으로 제공되는 서비스인 만큼 항해안전과 관련하여 많은 서비스가 제공되고 있다. 주요 관련 서비스는 경로 생성(항해계획), 해양기상 정보, NAVTEX의 해양

83) 해양수산부 보도자료(2021. 3. 2)

안전정보 제공, AIS를 활용한 대형선박 접근 알림, 해상교통관제구역 알림 등이 있다. 특히 주변 선박의 실시간 위치를 AIS를 통해서 알 수 있고, 우리나라 전역의 전자해도를 제공하기 때문에 서비스의 일환으로 위치 기반의 충돌 위험도 서비스를 제공할 수 있으리라 판단된다. <그림 5-2>는 기존의 해로드 화면과 제안하는 서비스를 나타낸다. 기존 플랫폼에 충돌위험도 모델을 통해 도출되는 위험도 값을 지도(격자) 형태로 표시한다.

<그림 5-2> 해로드 내 충돌위험 서비스 제공(안)



자료: 저자 작성

소형선(어선) 및 수상레저기구의 충돌사고는 최근 5년간 891건이 발생하여 총 충돌사고의 71.9%에 달한다. 즉, 해로드 서비스 대상자의 충돌사고는 높은 비율로 발생한다는 것이다. 그러므로 충돌사고 예방을 위해서는 이를 위한 서비스를 보강할 필요가 있으며, 그 일환으로 해로드에 충돌 위험도 표시를 제안한다. 대표적인 해양안전 플랫폼으로 자리 잡은 해로드에 충돌 위험도 표시 서비스가 제공된다면, 적절한 정보를 적시에 제공할 뿐만 아니라 충돌사고 예방을 통해 우리나라 전체 해양안전에도 이바지할 수 있을 것이라 판단한다.

3) 해양안전심판원 ‘해양사고 예방정보’의 기초자료로 활용

중앙해양안전심판원은 매월 해양사고 예방 정보를 발표하여 선사나 선박 운항자에게 해당 달의 과거 자료와 유의사항을 전달하고 있다. 해양사고 예방 정보는 현재 최근 5년간 해양사고 현황(월별, 선종별, 사고 유형별), 기상 정보, 주요 사고 사례를 제공하고 있다. 해양사고 현황은 제공하는 시기의 특성과 주요 해양사고 예방을 위한 안전관리 방안 등을 제시하고 있다. 기상정보는 해당 시기(월)의 과거 유의파고, 수온, 풍랑특보일수 같은 자료를 기상청으로부터 받아 제공하고 있다. 그와 함께 해양기상 정보의 전달체계 정보도 제공한다. 마지막으로 주요 사고 사례는 최근 발생한 해양사고 중 해당 시기의 특성에 맞춰 사고 개요, 원인, 교훈을 제공한다.

중앙해양안전심판원에서 제공하는 정보는 주요 사고 사례를 제외하고는 모두 과거형 원데이터를 제공하고 있다. 즉, 과거에 일어난 정확한 데이터(사고 통계 및 기상)를 제공하고 있어, 정확한 정보가 선박운항자나 선사에 전달된다. 그러나 통계 데이터의 해석은 정보 이용자가 직접 해야 한다. 과거의 사고 자료와 기상 자료를 통해 해양사고 발생 가능성, 위험구역 등은 자료를 통해 직접 예측할 수밖에 없다. 예방 차원의 정보 전달은 가능하지

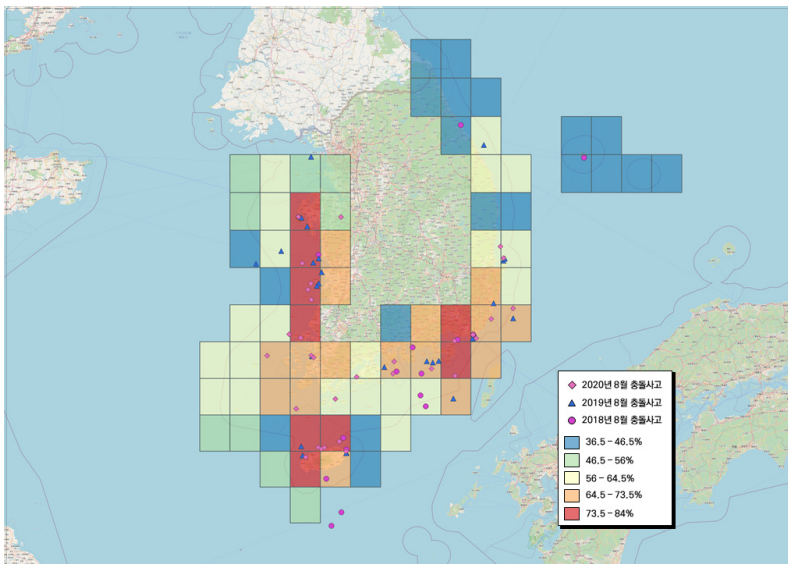
만, 적극적인 예방 활동에는 한계가 있는 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서 도출된 모델을 이용하여 이용자 편에서 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. <그림 5-3>은 위험도 모델을 이용한 해양사고 예방 정보의 예시이다.

〈그림 5-3〉 해양사고 예방정보 예시

- 8월은 본격적인 휴가철 시작으로 선박 이용객 증가로 해양사고 주의 필요
 ○ (충돌사고) 부산항 부근, 제주도-완도 구역, 서해안 연안해역이 충돌사고 발생 확률이 높음
 ■ 연안 항해 및 주요 어장 주변 항해 시 운항자의 주의가 필요

〈2021년 8월 구역별 충돌사고 예측〉



자료: 저자 작성

해양사고 예방 정보에는 우리나라 연안해역을 대상으로 충돌사고의 확률이 제시되어 있다. 그리고 구역별 충돌사고 확률은 가시화되어 있어 정보 이용자가 직관적으로 정보를 확인할 수 있다. 다만 본 연구에서는 충돌사

고를 대상으로 만든 모델이므로 추가로 해양사고 유형, 선종별 예측은 추가되어야 할 것이다. 특히 2021년 7월에는 「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」이 개정되어 해양사고를 조사하고 심판하는 과정에서 확보된 정보를 사고 예방 등 공익 목적을 위해서 외부 기관에 제공할 수 있게 되었다.⁸⁴⁾ 이를 통해 해양사고의 심층 분석을 위한 자료를 활용한다면, 모델의 성능을 더욱 향상시키고 설명력 있는 정보를 제공할 수 있을 것이라 판단한다.

84) 해양수산부 보도자료(2021. 7. 6)

참고문헌

국내 문헌

- 공인영(2003), 「해상교통 안전성 평가를 위한 환경 스트레스 모델의 특성 고찰(I)」, 『한국항해항만학회지』, 27(5), pp. 479~486.
- 국립전파연구원(2016), 「해상항공 및 지상망의 안전한 무선통신 환경 마련을 위한 기술기준 연구」
- 국립해양조사원(2015), 「해양조사기술연보 2015」, p.157.
- 국토해양부(2011), 「해상교통안전성 평가모델 기술개발 최종보고서」
- 김대식·임정빈(2016), 「선박조우 상황별 항해당직자의 충돌위기체감지수에 관한 연구」, 『해양환경안전학회지』, 22(1), pp. 98~107.
- 김도훈(2020), 「선박 근접상황에서 항해사의 인적특성요인이 지각한 충돌위험도에 미치는 영향에 관한 연구」, 『해양환경안전학회지』, 26(6), pp. 644~655.
- 김동함(2019), 「Velocity obstacles와 심층강화학습을 이용한 VLCC급 유조선의 충돌 회피 방법」, 한국해양대학교 대학원 박사학위논문.
- 김상우(2016), 「컨조인트 분석의 이론과 활용에 관한 연구」, 호서대학교 대학원 박사학위논문.
- 김연명·안혁수(2006), 「항공안전도 평가방안에 관한 연구」, 한국교통연구원.
- 김은경·강일권·김용기(2001), 「충돌회피를 위한 충돌위험도 결정 시스템」, 『퍼지 및 지능시스템학회 논문집』, 11(6), pp. 524~527.
- 김종성 외(2011), 「A Study on the Development of Basic Model for Marine Traffic

-
- Assessment Considering the Encounter Type Between Vessels」, 『해양환경 안전학회지』, 17(3), pp. 227~233.
- 남궁호(2020), 「선박의 자율운항을 위한 충돌위험평가와 지역경로 생성에 관한 연구」, 목포해양대학교 대학원 박사학위논문.
- 박상원(2020), 「효율적 해상교통관제를 위한 의사결정지원 모델 개발에 관한 연구」, 한국해양대학교 대학원 박사학위논문.
- 박상원 외(2020), 「자율운항선박 도입에 따른 해상교통관제 체계 개선방안」, 『Journal of Korean Maritime Police Science』, 10(4), pp. 19~50.
- 박성호(2018), 「항법 적용의 시점에 관한 연구-해양안전심판원의 재결사례를 중심으로-」, 『한국해사법학회』, 30(2), pp. 131~154.
- 박영수·정재용·김종성(2010), 「선박운항자 안전 의식에 기초한 선박통항 최소 이격 거리에 관한 연구」, 『해양환경안전학회지』, 16(4), pp. 401~406.
- 박영수·김종성·Volkan Aydogdu(2013), 「A Study on the Development the Maritime Safety Assessment Model in Korea Waterway」, 『한국항해항만학회지』, 37(6), pp. 567~574.
- 박영수·이윤석(2008), 「실습선을 이용한 선박 조우형태별 위험도 분석을 통한 효율적인 실습 교육자료 개발」, 『한국항해항만학회지』, 32(1), pp. 103~108.
- 박영수·정재용(2014), 「선박 점용영역 분석을 통한 해상교통혼잡도 고찰」, 『해양환경안전학회지』, 20(5), pp. 535~542.
- 부산광역시(2020), 「부산 해양공간관리계획 - 부산 및 부산인근 EEZ 해역-」.
- 성락훈 외(2020), 「도로위험도지수 기반의 위험도로예보시스템」, 『한국도로학회지』, 22(1), pp. 67~73.
- 신혜정(2016), 「의사결정 분류나무를 위한 다양한 R패키지들에 대한 비교 분석」, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문.
- 우주현·김낙완(2015), 「무인선의 비전기반 장애물 충돌 위험도 평가」, 『제어로봇시스템학회 논문지』, 21(12), pp. 1089~1099.
- 우주현(2018), 「심층강화학습을 이용한 무인수상선의 충돌회피(Doctoral dissertation)」, 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 윤점동(2018), 「국제해상충돌예방규칙 및 관련된 국내법규해설 (COLREG)」, 세종출판사
- 이명기(2018), 「RADAR/ARPA 시뮬레이션 교육 효과 평가에 관한 연구」, 한국해양대

- 학교 대학원 석사학위논문.
- 이진석(2017), 해상교통관제사 관점에서의 선박충돌위험도 평가모델 개발에 관한 연구, 한국해양대학교 대학원 박사학위논문.
- 이진석·송재욱(2017), 「해상교통관제사의 위험태도 분석을 통한 선박 충돌 위험도 연구」, 『한국항해항만학회지』, 41(3), pp. 93~102.
- _____(2018), 「선박 근접상황에 대한 VTSO의 상황 인식 분석에 관한 연구」, 『한국항해항만학회지』, 42(1), pp. 25~30.
- 손남선·김선영·공인영(2009), 「시뮬레이터 기반 퍼지알고리즘과 환경스트레스모델을 이용한 선박 충돌위험도 추정에 관한 연구」, 『한국항해항만학회지』, 33(1), pp. 43~50.
- 손남선·김선영(2010), 「선박충돌사고의 AIS 데이터를 이용한 선박 충돌위험도 추정 알고리즘 검증에 관한 연구」, 『한국항해항만학회지』, 34(10), pp. 727~733.
- 조익순 외(2009), 「해상교통안전진단제도 및 기술기준 소개」, 『해양환경안전학회』, 2009년도 춘계학술대회 발표 논문, pp. 79~84.
- 조익순 외(2010), 「해상교통안전진단제도 및 기술기준 연구」, 『Journal of the Korea Ship Safety Technology Authority』, (28), pp. 36~45.
- 중앙해양안전심판원(2021a), 「해양사고 발생분 로우데이터」, 내부자료.
- _____(2021b), 「해양사고 통계연보」
- 통계청(2019), 「지표 작성 방법론」
- 한국해양대학교(2020), 「선박 충돌위험 판단 및 회피 알고리즘 개발 연구 2차 연도 최종보고서」
- 한국해양수산개발원(2021), 「효과적인 해양사고 통계 관리체계 개발」
- 해양경찰청(2020), 「2020 전국 해상교통관제 안내지」
- 해양수산부(2019), 「해양공간특성평가 지침」
- 허태영·박영수·김종성(2012), 「선박운항자 해상교통위험도 모형 개발에 대한 연구」, 『대한교통학회지』, 30(5), pp. 91~100.
- Cho, I.S. *et al.*(2010), 「The introductory concept of Maritime Safety Audit as a tool for identifying potential hazards」, 『Journal of Navigation and Port Research International Edition』, 34(9), pp. 699~704.

-
- Jeong, J. Y., Y. S. Park & J. S. Park(2006), 「A Study on the Ship's Domain in the Restricted Water(I)」, 『Proceeding of Navigation and Port Research』, 30(2), pp. 5~7.
- Inoue, K. *et al.*(1997), 「해상교통안전평가를 위한 기술지침(I): 환경부하 개념에 근거한 조선 곤란 평가」, 『일본항해학회』 제97회 강연회 발표 논문, pp. 225~234.
- Nguyen X. T.(2014), 「A Study on the Development of Real Time Supporting System (RTSS) for VTS Officers」, 한국해양대학교 대학원 박사학위논문.
- Nguyen X. T. *et al.*(2015), 「A Comparison of ES and PARK Maritime Traffic Risk Assessment Models in a Korean Waterway」, 『Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety』, 21(3), pp. 246-252.

국외 문헌

- Altan, Y. & Otay, E.(2018) "Spatial mapping of encounter probability in congested waterways using AIS", *Ocean Engineering*, 164, pp. 263-271.
- Andrzej S. Lenart(2015), "Analysis of Collision Threat Parameters and Criteria", *Journal of Navigation*, 68, pp. 887-896.
- Ozoga, B. & Montewka, J.(2018), "Towards a Decision Support System for Maritime Navigation on Heavily Trafficked Basins", *Ocean Engineering*, 159, pp. 88-97.
- Breiman, L.(2001), Random forests. *Machine learning*, 45(1), pp. 5-32.
- Bukhari *et al.*(2013), "An intelligent real-time multi-vessel collision risk assessment system from VTS view point based on fuzzy inference system", *Expert System with Applications*, 40(4), pp. 1220-1230.
- Coldwell, T. G.(1983), "Marine traffic behaviour in restricted waters", *The Journal of Navigation*, 36(3), pp. 430-444.
- Cockcroft, A. & Lameijer, J.(2011), "A Guide to the Collision Avoidance Rules," Butterworth Heinemann.
- Davis, P. V., Dove, M. J. & Stockel, C. T.(1980), "A computer simulation of marine traffic using domains and arenas", *The Journal of Navigation*, 33(2), 215-222.

- Fang, Z. *et al.*(2019), "Automatic Identification System-Based Approach for Assessing the Near-Miss Collision Risk Dynamics of Ships in Ports", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(2), pp. 534-543.
- Fujii, Y. & Tanaka, K.(1971), "Traffic capacity", *The Journal of navigation*, 24(4), pp. 543-552.
- Garson, G.D.(1991), "Interpreting Neural-Network Connection Weights," *AI Expert*, 6(4), pp. 46-51.
- Goerlandt, F. & Kujala, P.(2011), "Traffic simulation based ship collision probability modeling", *Proceedings of Reliability Engineering and System Safety*, pp.91-107.
- Goodwin, E. M.(1975). "A statistical study of ship domains", *The Journal of navigation*, 28(3), pp. 328-344.
- Green, P. E. & Rao, V. R.(1971), "Conjoint measurement for quantifying judgmental data", *Journal of Marketing Research*, 8(3), pp. 355-363.
- Green, P. E. & Srinivasan, V.(1978), "Conjoint analysis in consumer research: Issues and outlook", *Journal of Consumer Research*, 5(2), pp. 103-123.
- Hansen, M. G. *et al.*(2013), "Empirical ship domain based on AIS data". *The Journal of Navigation*, 66(6), pp. 931-940.
- Hasegawa, K. *et al.*(1989), "Ship Auto-navigation Fuzzy Expert System(SAFES)", *Journal of the Society of Naval Architecture of Japan*, 166, pp.445-452.
- IALA(2021), VTS Manual.
- IMO(2008), "ADOPTION OF THE CODE OF THE INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES FOR A SAFETY INVESTIGATION INTO A MARINE CASUALTY OR MARINE INCIDENT (CASUALTY INVESTIGATION CODE)(RESOLUTION MSC.255(84))"
- IMO(2008), "CASUALTY-RELATED MATTERS REPORTS ON MARINE CASUALTIES AND INCIDENTS(MSC-MEPC.3/Circ.3)"
- Inoue, K.(2000), "Evaluation method of ship-handling difficulty for navigation in restricted and congested waterways", *Royal Institute of Navigation*, 53, pp. 167-180.

-
- Inoue, K. & Hara, K.(1974), "Relations between the Number of Observational Days and the Accuracy on the Estimation of Average Annual Daily Traffic Volume", *Japan Institute of Navigation*, 50, pp. 1-8.
- Jenks, George F.(1967), "The Data Model Concept in Statistical Mapping", *International Yearbook of Cartography*, 7, pp. 186-190.
- Kaneko, F.(2002), "Methods for probabilistic safety assessments of ships", *Journal of Marine Science and Technology*, 7(1), pp. 1-16.
- Kearon, J.(1977), "Computer Program for Collision Avoidance and Track Keeping", *Proceedings of the Conference on Mathematics Aspects of Marine Traffic*, pp. 229-242.
- Kijima, K. & Furukawa, Y.(2003), "Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area", *IFAC Proceedings*, 36(21), pp. 223-228.
- Kujala, P. *et al.*(2009), "Analysis of the marine traffic safety in the Gulf of Finland", *Reliability Engineering and System Safety*, 94(8), pp.1349-1357.
- KYSTVERKET(2019), Automated calculation of risk related to ship traffic
- Lee, H.J. & Rhee, K.P.(2001), "Development of collision avoidance system by using expert system and search algorithm", *International Shipbuilding Progress*, 48, pp. 197-212.
- Lim *et al.*(2018), "Models and computational algorithms for maritime risk analysis: a review", *Annals of Operation Research*, 271(2), pp. 765-786.
- Lisowski, J.(2002), "Game Control of Moving Objects", *Proceedings of the IFAC 15th Triennial World Congress*, 35(1), pp. 373-378.
- MacDuff, T.(1974), "The Probability of Vessel Collisions", *Ocean Industry*, 9, pp. 144-148.
- Mou, J., Tak C. & Ligteringen, H.(2010), "Study on collision avoidance in busy water ways by using AIS data", *Ocean Engineering*, 37(5-6), pp. 483-490.
- Park, S.W., Kang, W.S. & Park, Y.S.(2020), "Analysis of minimum speed control effect using queue model focusing on Busan port", *Journal of Marine Science and Technology*, 28(6), pp. 563-571.
- Pedersen, P.(1995), "Collision and grounding mechanics", *Proceedings of WEGEMT*

95. Copenhagen: The Danish Society of Naval Architects and Marine Engineers. p.125
- Pedersen, P.(2010), "Review and application of ship collision and grounding analysis procedures", *Marine structures*, 23(3), pp. 241-262.
- Peter Friis-Hansen(2008), IWRAP MK II WORKING DOCUMENT -Basic Modelling Principles for Prediction of Collision and Grounding Frequencies, Technical University of Denmark
- Pietrzykowski, Z. & Uriasz, J.(2009), "The ship domain-a criterion of navigational safety assessment in an open sea area". *The Journal of Navigation*, 62(1), pp. 93-108.
- Przywarty, M. *et al.*(2015), "Risk Analysis Of Collision Between Passenger Ferry And Chemical Tanker In The Western Zone Of The Baltic Sea". *Polish Maritime Research*, 22(2), pp. 3-8.
- Qu, X., Meng, Q. & Suyi, L.(2011), "Ship collision risk assessment for the Singapore Strait", *Accident Analysis and Prevention*, 43(6), pp.2030-2036.
- Rawson, A. *et al.*(2014), "Practical application of domain analysis: port of London case study", *The Journal of Navigation*, 67(2), pp. 193-209.
- Sebastian, R. & Vahid, M. (2019), Python Machine Learning, Packt Publishing.
- Smeaton, G. P. & F. P. Coenen(1990), "Developing an Intelligent Marine Navigation System", *Computing & Control Engineering Journal*, 1990, pp. 95-103.
- Szlapczynski, R.(2006), "A unified measure of collision risk derived from the concept of a ship domain". *The Journal of Navigation*, 59, pp. 477-490.
- Szlapczynski, R. & Szlapczynska, J.(2017), "Review of ship safety domains: Models and applications", *Ocean Engineering*, 145, pp. 277-289.
- Tam, C. & Bucknall, R.(2010), "Collision risk assessment for ships", *Journal of Marine Science and Technology*, 15(3), pp. 257-270.
- Wang, N. *et al.*(2009), "A unified analytical framework for ship domains", *The Journal of Navigation*, 62(4), pp. 643-655.
- Wang, N.(2010), "An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain", *The Journal of Navigation*, 63(4), pp. 733-749.

-
- Wang, Y. & Chin, H. C.(2016), “An empirically-calibrated ship domain as a safety criterion for navigation in confined waters”, *The Journal of Navigation*, 69 (2), pp. 257-276.
- Weng, J., Meng, Q. & Qu, X.(2012), “Vessel Collision Frequency Estimation in the Singapore Strait”, *Journal of Navigation*, 65(2), pp. 207-221.
- Wu, X., Rahman, A., & Zaloom, V.(2018), “Study of travel behavior of vessels in narrow waterways using AIS data – A case study in Sabine-Neches Waterways, *Ocean Engineering*, 147, pp. 399-413.
- Yoo, Y & Lee, J.S.(2019), “Evaluation of ship collision risk assessments using environmental stress and collision risk models”, *Ocean Engineering*, 191, pp. 1-13.
- Yoo, Y & Lee, J.S.(2021), “Collision Risk Assessment Support System for MASS RO and VTSS Support in Multi-Ship Environment of Vessel Traffic Service Area”, *Journal of Marine Science and Engineering*, 2021, 9, p. 1143.
- Yoo *et al.*(2015), “A Study on the Observation Days of Maritime Traffic Investigation”, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 21(4), pp. 397-402.
- Zhang *et al.*(2016), “An advanced method for detecting possible near miss ship collisions from AIS data”, *Ocean Engineering*, 124, pp. 141-156.
- Zhuo, Yongqiang & Hearn, G.E.(2008), “A Ship Based Intelligent Anti-Collision Decision-Making Support System Utilizing Trial Manoeuvres”, *Chinese Control and Decision Conference*, Yantai, China, pp. 3982-3987.

인터넷 자료

- 국립해양조사원, 「바다누리 해양정보 서비스」, <http://www.khoa.go.kr/oceangrid/khoa/intro/summary.do>(검색일: 2021. 9. 3.)
- 국립해양조사원, 「항계안전」, <http://www.khoa.go.kr/oceanmap/pois/pois.do>(검색일: 2021. 9. 3.)
- 도로교통공단 위험도로예보시스템, <http://taas.koroad.or.kr/TCFS/>(검색일: 2021. 5. 26.)

- 도로교통공단, http://taas.koroad.or.kr/web/shp/sbm/initRiskRoadFrstSys.do?menuId=WEB_KMP_TAI_AFS(검색일: 2021. 5. 26.)
- 연합뉴스(2021. 5. 28) 「한·일 화물선 충돌...한국인 전원 무사·일본 선원 3명 실종(중합)」, <https://www.yna.co.kr/view/AKR20210528039251073>(검색일: 2021. 6. 7.)
- 한국해양교통안전공단, 「해상교통 안전진단」, https://www.komsa.or.kr/kor/sub02_0302.do;jsessionid=9BCC924F601F57E579BA80C8D21564DD (검색일: 2021. 5. 29.)
- 해양경찰청 보도자료(2021. 3. 2.), 「해양경찰청, 인천 영흥수도 선박교통관제 정식 운영」, <http://kcg.go.kr/kcg/na/ntt/selectNttInfo.do?nttSn=28403> (검색일: 2021. 6. 7.)
- 해양수산부 보도자료(2017. 9. 25.), 「안전한 항만활동, ‘항만해양안전지수’로 지킨다」, <https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=17544&searchSelect=title&boardKey=10&searchStartDate=2017-09-09&searchEndDate=2017-10-10&menuKey=376¤tPageNo=5> (검색일: 2021. 9. 3.)
- 해양수산부 보도자료(2021. 2. 22.), 「2021년 1월 컨테이너 물동량(TEU) 3.8% 증가」, <https://www.mof.go.kr/iframe/article/view.do?articleKey=37760&boardKey=10&menuKey=376¤tPageNo=1> (검색일: 2021. 6. 7.)
- 해양수산부 보도자료(2021. 3. 2.), 「국민앱 ‘해로드’, 더 강력한 해양안전 기능으로 새 무장」(검색일: 2021. 9. 3.)
- 해양수산부 보도자료(2021. 7. 6.), 「해양사고정보 활용 확대로 안전정책 실효성 높인다」, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156460231> (검색일: 2021. 9. 3.)
- 해양수산부, 「선박위치정보(AIS) 통계정보 서비스」, <https://gicoms.go.kr/kodispub/cmm/main/mainPage.do> (검색일: 2021. 6. 9)
- 해양수산부(2017. 3. 31.), 「제2차 국가해사안전기본계획(2017~2021)」, <https://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=389&boardKey=25&articleKey=15671> (검색일: 2021. 6. 7.)
- 해양수산부(2021. 2. 9.), 「2021년 해사안전시행계획」, <https://www.mof.go.kr/article/view.do?articleKey=37641&boardKey=22&menuKey=386¤tPageNo=1> (검색일: 2021. 6. 6.)

해양수산부, PORT-MIS, <https://new.portmis.go.kr/portmis/websquare/websquare.jsp?w2xPath=/portmis/w2/main/intro.xml>(검색일: 2021. 5. 14.)

IALA(2009), 「IWRAP-User manual」, https://www.iala-aism.org/wiki/iwrap/index.php/User_Manual (검색일: 2021. 5. 29.)

IMO(1972), 「Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972(COLREGs)」, <https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/COLREG.aspx> (검색일: 2021. 5. 29.)

Package 'nueralnet'(2019), <https://cran.r-project.org/web/packages/neuralnet/neuralnet.pdf+%&cd=1&hl=ko&ct=clnk&gl=kr>(검색일: 2021. 8. 23.)

Package 'party'(2021), <https://cran.r-project.org/web/packages/party/index.html> (검색일: 2021. 8. 23.)

Package 'randomForest'(2018), <https://cran.r-project.org/web/packages/randomForest/randomForest.pdf>(검색일: 2021. 8. 23.)

법령 및 판례 자료

「국가항공안전프로그램」(2020. 10. 31. 국토교통부고시 제2020-751호).

「선박교통관제에 관한 규정」(2021. 3. 3. 해양경찰청고시 제2021-2호).

「선박교통관제에 관한 법률」(2020. 6. 4. 법률 제16700호).

「선박교통관제에 관한 법률 시행령」(2020. 6. 4. 대통령령 제32216호).

「선박교통관제에 관한 법률 시행규칙」(2020. 6. 4. 해양수산부령 제414호).

「선박직원법 시행규칙」(2021. 6. 30. 해양수산부령 제486호).

「항공안전데이터 처리 및 활용에 관한 규정」(2020. 4. 3. 국토교통부훈령 제1290호).

「해사안전법」(2021. 4. 13. 법률 제18063호).

「해상교통안전진단시행지침」(2014. 12. 30. 해양수산부고시 제2014-164호).

「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」(시행 2021. 1. 1. 법률 제17689호).

「해양사고의 조사 및 심판에 관한 사무처리요령」(시행 2021. 3. 31. 중앙해양안전심판원훈령 제88호).

기본연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정치호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 -新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도)-	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

2020년

01	해양수산업의 지역 간 연관구조 분석	장정인
02	해양수산 분야 기술 대외의존도 분석연구 - 스마트항만을 중심으로 -	전형모
03	지역 해양수산 오픈 플랫폼 구축방안 연구	최지연
04	갯벌 거버넌스 개선방안에 관한 연구	육근형
05	해양환경정책의 능동적 추진을 위한 재원체계 개선 방안 연구	박수진
06	항만 대기환경 관리 표준 및 평가모형 연구	안용성
07	해양수산분야 사회문제해결형 R&D 기반 구축 연구	좌미라
08	해양 유입 하천쓰레기 관리체계 개선방안	이윤정
09	수산식품 품질·안전관리 제도 개선방안 연구	이헌동
10	국제법 변화에 대응한 어선원 안전 및 권리 제고방안 연구	한덕훈
11	스마트 양식 클러스터 추진 방안 수립 연구	이상철
12	해양포유류 보호에 관한 수산업 대응 방안 연구	정명화
13	수산물 수급통계 개선 방안 연구	김수현
14	IMO 온실가스 규제 대응 정책방향 연구	박한선
15	퇴직전문가 활용을 통한 해운업 경쟁력 강화방안 연구	안영균
16	글로벌 선사들의 물류통합화 전략에 대한 국적선사의 대응방안	전형진
17	내항여객운송항로 정책 발전방안 연구	김태일
18	블록체인 기술기반 식품콜드체인 체계 구축 연구	조지성
19	항만자동화 도입 관련 노무 갈등 해소 방안 연구	김찬호
20	스마트항만과 스마트도시 연계 발전 방안 연구	이연경
21	항만의 회복탄력성 측정 모형 구축에 관한 연구	김성기
22	IMO 규제기반 해산산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해산산업의경제적파급효과분석연구(4차년도) -	박한선
23	국내 항만연계 산업의 가치사슬 및 공급사슬 연계성 강화방안 - 자동차 산업을 중심으로	신수용

수시연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진희
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

Ⅰ 2020년

01	포스트 코로나 19 해양수산 분야 정책방안	박광서
02	생분해성 어구 사용 활성화 방안 연구	심성현
03	해양법 전문인력 양성 방안 연구	박영길
04	무인도서 해양주권 강화와 이용 활성화를 위한 제도 개선방안	정지호
05	지역 해양수산 재정분권 대응방향	황재희
06	데이터 3법 개정에 따른 항만·물류 데이터 활용도 제고 방안	이기열
07	양식 활어 유통 효율화 방안 연구	마창모
08	해양레저관광사업 추진을 위한 제도정비 방안	홍장원
09	해양바이오기업의 규제 정비 방안 연구	최석문
10	비상체제 시 선원의 안전을 위한 선박-항만-항공 이동경로 구축방안	이혜진

일반연구보고서 발간목록

Ⅰ 2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

Ⅰ 2020년

01	지역 해양관광 경쟁력 지수 체계화 연구	최일선
02	AIS 기반 글로벌 선박 배기가스 배출량 분석 연구	강무홍
03	김 중기 수급전망모형 「Gim-MFoS」 구축 연구	허수진
04	중앙 북극 공해 비규제어업방지협정 이행방안 연구	김민수
05	동해 평화관광구역 조성 방안 연구	윤인주
06	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅱ) - 일반 수출입 컨테이너 정보교환방식 중심 -	이연경
07	스트레스 테스트를 통한 우리나라 해운·조선 기업의 안정성 분석	박성화
08	인공지능기반 해상운임예측 연구	황수진
09	국제물류주산업 실태분석 및 경쟁력 제고 방향 연구	최나영환
10	디지털화에 따른 개별 직업의 대체 가능성 추정 연구	박희대
11	시계열 분석을 통한 해운시장 분석 및 예측 연구	고병욱
12	해양수산분야 글로벌 경제효과 분석모형(KMI-GEM) 시범 구축 연구	임병호
13	해운항만물류 인력양성사업 관리운영 제도 개선 방안 연구	이자연

기본연구 2021-06

AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구

인쇄 2021년 12월 29일

발행 2021년 12월 31일

발행인 김 종 덕

발행처 한국해양수산개발원

주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연락처 0517974800 (FAX 0517974810)

등록 1984년 8월 6일 제31319841호

조판·인쇄 영진피앤피 (02-734-3713)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원