

e-Navigation 서비스를 위한 충돌사고 평가지표 개발

김정호* · 배석한** · 장은규***

* (사)한국해양안전진흥협회 연구원, ** 한국해양수산연수원 교수

Development a Collision Accident Evaluation Indicator
for an e-Navigation Service

Jeong-Ho Kim* · Sek-Han Bae** · Eun-Kyu Jang***

* Researcher, Korea Maritime Safety Association, Busan 48936, Korea

** Professor, Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology, Busan 49111, Korea

요 약 : IMO에서는 선박운항기술에 ICT기술을 융합하여 해양사고를 예방하는 e-Navigation의 도입을 추진하고 있다. 국내에서도 해양사고의 취약계층인 어선 및 연안을 항해하는 소형선박을 대상으로 한국형 e-Navigation을 개발하고 있다. 그러나 한국형 e-Navigation의 성공적인 개발을 위해서는 현재까지 진행된 개발성과를 평가하고 개발 방향성을 재정립할 수 있도록 개발성과를 평가할 수 있는 지표의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 주요한 해양사고인 충돌사고를 중심으로 e-Navigation 서비스의 개발목표에 맞춘 평가지표를 개발하고자 하였다. 본 연구에서는 RCA기법과 FTA 기법을 활용해 해상 충돌사고 발생 근본원인을 도출하고 이를 정량화하여 e-Navigation 서비스를 위한 충돌사고 평가지표를 개발하였다. 해당지표는 e-Navigation의 개발지표 및 충돌사고 분석을 위한 지표로 활용되어 해양사고 저감에 도움이 될 것으로 사료된다.

핵심용어 : e-Navigation, 해상충돌사고, 근본원인분석, 결합수 분석, 평가지표

Abstract : The International Maritime Organization (IMO) is promoting the introduction of e-Navigation that prevents maritime accidents by fusion of Information & Communication Technology (ICT) with ship operation technology. In Korea, Korean e-Navigation is also being developed for fishing vessels and small vessels sailing offshore, which are vulnerable to maritime accidents. However, for the successful development of Korean e-Navigation, it is necessary to develop an indicator that can evaluate the development performance so that the development performance that has been progressed so far can be evaluated and the development direction can be re-established. Therefore, this study attempted to develop an evaluation index tailored to the development goal of e-Navigation service centering on the collision accident, which is a major maritime accident. In this study, a collision accident evaluation index for e-Navigation service was developed by deriving and quantifying the root cause of maritime collision accidents using Root cause analysis(RCA) and fault tree analysis (FTA) techniques. This indicator is considered to be helpful in reducing maritime accidents as it is used as a development indicator for e-Navigation and an indicator for maritime collision accident analysis.

Key Words : e-Navigation, Maritime collision accident, RCA, FTA, Evaluation indicator

1. 서 론

세계 대부분의 물류는 선박운항을 통해 이루어진다. 그러나 운항환경 변화 추세에 따른 선박량의 증가와 선박의 대

형화, 고속화로 인해 해상교통사고의 발생위험이 점차 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위한 국가적, 국제적인 정책방향 및 기술개발이 이루어지고 있다.

4차 산업혁명이 도래함에 따라 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능, 클라우드 컴퓨팅 등 네트워크 기술들이 산업의 장벽을 넘어 개별 산업을 융합하고 그 형질을 지식과 기술이 결합된 형태로 변화시키고 있다(Oh, 2018). 이러한 변화의 과정에서 IMO(국제해사기구; International Maritime Organization)는 해양사고 예방을 위해 제81차 MSC(해사안전위원회(Maritime Safety

* First Author : zwmzks@gmail.com

† Corresponding Author : sirius46@daum.net

※ 이 논문은 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원과 한국형 e-Navigation 사업단의 지원을 받아 수행된 "IMO 차세대 해양안전 종합관리체계 기술개발" 연구 결과 중 일부이다.

Committee)에서 선박운항기술에 ICT(Information & Communication Technology)기술이 융합된 e-Navigation을 도입 필요성을 언급하였으며, 2015년 e-Navigation 이행계획을 수립하였다(Sim et al., 2010).

이러한 국제적인 흐름에 발맞추어 국내에서도 2016년도부터 2020년까지 「한국형 e-Navigation 서비스를 위한 핵심 기술 연구개발」 사업을 시행하고 있다. 한국형 e-Navigation 사업은 IMO에서 제시하는 해양사고 예방을 위한 ICT 기술 개발의 개념을 포함하고 있으며, 전체 선박의 약 80%를 차지하고 있는 어선 및 연안선박에 특화된 장비와 서비스를 개발하고 있다(An, 2015).

특히 한국형 e-Navigation 사업은 국적선박의 대다수를 차지하는 어선사고의 저감을 위한 필수 서비스를 개발하고 해상 네트워크 인프라를 확충하여 ECDIS 등과 같은 전자해도 및 위치정보 서비스를 쉽게 활용할 수 없는 어선 및 연안 선박에 e-Navigation 장비를 보급하여 해양사고를 저감하고자 하는 목표를 가지고 있다(Sim et al., 2010). 그러나 해양사고 저감목표의 달성여부를 실제로 확인하기 위해서는 실제 e-Navigation 장비의 상용화 이후 상당한 시간이 추가적으로 소요되며, 한국형 e-Navigation의 개발단계에서 필요한 사업 성과의 달성여부를 판단하기 어렵게 하여 추후 사업 방향성 설정에 문제가 발생한다.

따라서 해양사고 저감이라는 한국형 e-Navigation 사업의 핵심목표 달성여부를 검토하고 향후 사업의 방향성을 설정하기 위해서는 먼저 이를 측정하고 평가할 수 있는 지표를 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 「한국형 e-Navigation 서비스를 위한 핵심기술 연구개발」 사업의 효율적이고 안정적인 운영을 위해 다양한 해양사고의 근본원인을 분석하여 e-Navigation 서비스의 해양사고 발생 저감목표의 달성여부를 평가하고자 하였으며, 그 일환으로 주요 해양사고 중 하나인 충돌사고에 대한 e-Navigation 평가지표를 개발하였다.

2. 이론적 배경

2.1 해상충돌사고

「해양사고의 조사 및 심판에 관한 법률」 제2조(정의) 제1항에서 해양사고는 “해양 및 내수면에서 발생한 다음 각 목의 어느 하나에 해당하는 사고”를 말한다.

- 가. 선박의 구조·설비 또는 운용과 관련하여 사람이 사망 또는 실종되거나 부상을 입은 사고
- 나. 선박의 운용과 관련하여 선박이나 육상시설·해상시설이 손상된 사고
- 다. 선박이 멸실·유기되거나 행방불명된 사고
- 라. 선박이 충돌·좌초·전복·침몰되거나 선박을 조종할 수 없게 된 사고

마. 선박의 운용과 관련하여 해양오염 피해가 발생한 사고

해상 충돌사고란 중앙해양안전심판원 「해양안전심판법 사무처리 요령」 제13조(사고의 분류) 제1항 제1호 가목에 따라 항해중이거나 정박중임을 불문하고 다른 선박과 부딪치거나 맞붙어 닿은 것으로 정의하고 있다(Kim et al., 2000). 해당 규정에서는 선박이 타 선박과 충돌한 상황만을 충돌사고로 정의하고 있으며, 선박이 외부 시설물에 접촉한 상황을 접촉사고, 해저지면 또는 난파선과 접촉한 상황을 좌초사고로 규정하고 있다.

본 논문에서는 정선중인 선박에서 발생한 충돌사고의 경우 피해원인을 명확히 규명할 수 없어 충돌사고를 선박이 이동 중인 상황에서 타 선박과 접촉하여 발생한 사고로 정의하였다.

2.2 근본원인분석(RCA; Root Cause Analysis)

근본원인분석(RCA)는 원자력, 항공, 철도, 의료 등 다양한 산업분야에서 개발된 방법으로써 어떤 상황이 발생했는지, 그 상황이 왜 발생했는지, 위험상황의 재발을 예방하기 위해 어떤 조치를 해야 하는지를 알아내기 위한 분석방법이다. RCA는 사건의 직접적이고 표면적인 원인보다 사건내부에 잠재되어 있는 근본원인을 밝히기 위한 절차로써, 개인 수준의 책임소재를 밝히기보다 시스템 수준에서의 취약성을 개선시켜 미래에 발생할 가능성이 있는 사고를 예방하기 위한 목적 지향적이고 체계적인 절차이다(Lee et al., 2017).

RCA의 절차는 사용되는 상황과 조직의 특성에 따라 다양하게 활용되고 있다. RCA 절차에 대한 선행연구를 살펴보면 다음과 같다. 미국의 더 조인트 커미션(The Joint Commission)에서는 이미 발생한 사고 상황(Centinel event)이나 준사고 상황에 대한 직접적 원인과 내재적 원인을 살펴보기 위해 RCA 절차를 21단계로 나누어 실시하고 있다(Table 1). 해당 지침에서는 크게 RCA 준비단계, 직접원인 파악, 근본원인 파악, 개선을 위한 실행계획 및 실행계획 설계의 4단계로 구분하고 있으며, RCA를 실시하는 조직의 상황에 맞게 조절하여 사용할 수 있다고 명시하고 있다(Lee et al., 2017).

다음으로 미국 국가환자안전센터에서(National Center for Patient Safety, NCPS)는 홈페이지를 통해 RCA를 위한 단계적 지침과 자료를 제공하고 있다. 특히 NCPS의 지침은 모든 사건에 대해 안전평가코드를 부여하는 방법으로 실시되며, 원인과 결과를 추론할 수 있는 근본원인진술문(Root cause statement)을 작성할 수 있는 지침을 제공하고 있다. 영국의 런던 프로토콜에서는 사건조사결정, 조사팀 선정, 조직 및 자료수집, 사건연대기 작성, CDP확인, 기여요인 확인, 권고안 작성 및 실행계획 수립의 7단계를 제시하고 있다. 캐나다의 사건분석틀(Incident Analysis Framework)에서는 시스템 개선을 위해 사건결정수(incident decision tree)모델을 활용하여

해당 사건에 대해 책무성 검토(accountability review) 또는 시스템 개선 검토(system improvement review)를 결정하도록 하고 있다. 해당 지침에서는 개별 단계에 대한 안전평가코드를 작성하고 있으며, 복잡성수준, 영향을 미치는 영역, 맥락에 대한 내외부 압력, 필요 리소스, 소요시간의 기준으로 사고분석 기법을 선택할 수 있게 하고 있다. 일본의 이임세이퍼(ImSAFER)는 사고 분석, 개선방안 수립, 실시, 평가의 7단계로 구성되어 있다(Lee et al., 2017).

Table 1. Process for root cause analysis of The Joint Commission (Parker, 2015)

Category	level	Contents
Preparing for root cause analysis	1	Organize a team
	2	Define the problem
	3	Study the problem
Determining proximate causes	4	Determine what happened
	5	Identify contributing process factors
	6	Identify other contributing factors
	7	Measure-collect and assess data on proximate and underlying causes
Identifying root causes	8	Design and implement immediate changes
	9	Identify which systems are involved-the root causes
	10	Prune the list of root causes
Designing and implementing an action plan for improvement	11	Confirm root causes and consider their interrelationships
	12	Explore and identify risk reduction strategies
	13	Formulate improvement actions
	14	Evaluate proposed improvement actions
	15	Design improvements
	16	Ensure acceptability of the action plan
	17	Implement the improvement plan
	18	Develop measures of effectiveness and ensure their success
	19	Evaluate implementation of improvement efforts
	20	Take additional action
	21	Communicate the results

본 연구에서는 해상 충돌사고에 대한 더 조인트 커미션의 세부 개발지침과 질문문항의 작성방식이 해상 충돌사고의 잠재원인을 식별하고 분류하기에 가장 적절하다고 판단하여 해당 절차를 활용했으며, 연구의 목적인 충돌사고의 근본적인 발생요인을 도출하기 위해 실행계획의 설계 및 구현 단계를 생략한 3단계의 RCA를 실시하였다.

2.3 결함수 분석(Fault Tree Analysis, FTA)

시스템의 안전도를 과학적으로 분석하는 과학적인 방법인 FTA 기법은 시스템 안전공학의 대표적인 방법으로써 예상되는 사고에 대한 사상(Event)과 사고의 원인이 되는 근본원인(결함, 오류 등)의 관계를 논리기호를 활용하여 연결하

고 이를 연역적, 정량적, 확률적으로 분석하여 사고 원인의 발생확률을 추론할 수 있는 기법으로 사고원인분석에 주로 활용되는 기법이다(Kim and Na, 2017).

FTA 기법은 정상사상이라는 사고 및 재해 상황에서 출발하여 기본사상이라는 더 이상 나누어 질 수 없는 미시적인 원인까지 연역적으로 분석하는 기법으로 사고원인 항목을 세밀하게 작성하여 사고 항목의 연계를 통해 사고의 구조와 사고 발생 시 연쇄되는 원인들을 표시하는 특징을 가지고 있다. 또한 사고 발생의 원인을 정량적으로 측정하여 통계기법을 활용한 안전점검 Check list를 만들 수 있다(Kim and Na, 2017).

FTA의 분석절차는 정상사상(Top event)의 설정, 사상의 원인 규명, FT Diagramme 작성, FT 정량화, 사고발생 위험성 평가의 순서로 진행되며, 기본적으로 FTA의 결함사상은 하위 사상을 And 게이트와 Or 게이트를 사용하여 표시하지만, Table 2와 같이 여러 종류의 논리기호 또는 수정기호를 활용하여 시스템을 더욱 정교하고 간결하게 표현할 수 있다(Kim and Na, 2017).

Table 2. Logic symbol of FTA

Symbol	Name	Contents
	Intermediate event	Error events that occur as a result of logical combinations with other events
	Basic event	Basic initialization errors that require no further development
	External event	Events that are generally expected to occur
	Undeveloped event	Events no longer being developed or unavailable due to insufficient results or information
	AND Gate	Crossover calculation of events
	Or Gate	The union operation of event

FTA의 정상사상의 발생확률을 1로 가정했을 때, And와 Or 게이트의 계산은 부울 대수(Boolean Algebra)를 활용한다. 부울 대수는 논리계산의 한 방법으로 전체집합을 구성하는 부분집합들을 논리곱과 논리합을 사용하여 표현하고, 그 확률을 계산식을 활용하여 사고발생확률을 계산하는 방법을 의미한다. 예를 들어 정상사상의 발생확률을 A, 결함사상의 발생확률을 B, C로 가정했을 때, And 게이트로 결함사상이 연결된 경우 $A = B \times C$ 로 계산될 수 있으며, Or 게이트로 결함사상이 연결되어 있을 경우 $A = (B \times C) - (B + C)$ 로 계산된다. 본 연구에서는 한국형 e-Navigation 서비스의 개발성공률 평가하기 위해 근본원인분석을 통해 도출된 해상충돌사고의 원인들을 FTA 기법을 활용하여 정량화하고자 하였다.

3. 해상 충돌사고 평가지표 개발

3.1 연구방법

본 연구는 e-Navigation 서비스의 성과평가 및 중장기적 활용방안을 도출하기 위한 기반연구로 다양한 해양사고 중 해상 충돌사고의 직접적, 간접적 원인을 분석하고 이를 정량화 하는 것에 그 목적이 있다. 이를 위해 다양한 해양사고 중 특히 해상 충돌사고의 근본적인 발생 원인을 도출하고 이를 정량화 하여 e-Navigation 서비스가 충돌사고 발생원인 중 어떠한 부분을 제거하여 해양사고 저감에 기여할 수 있는지를 평가하고자 하였다.

이러한 연구목적을 달성하기 위해 먼저 선행연구 검토 및 해양안전심판원의 해양사고 재결서의 분석내용을 종합하여 충돌사고 발생 원인모델의 기초를 도출하였다. 다음으로 RCA 기법을 활용하여 해상 충돌사고에 대한 근본원인을 분석하고, 이를 FTA 기법을 활용하여 배열하여 정량화 하고자 하였다. RCA 분석을 위해 더 조인트 커미션의 근본원인 분석 프로세스에서 근본원인분석 준비, 직접원인 파악, 근본원인 파악의 3단계 절차를 준용하여 시행하였다. 이후 도출된 충돌사고 근본원인의 인과관계를 FTA 기법을 활용하여 배열하고, 해양사고 재결서를 활용하여 키워드 분석을 통해 이를 정량화 하여 한국형 e-Navigation 해상 충돌사고 평가지표를 개발하였다.

3.2 해양사고 원인 분류체계 검토

해양사고의 대표적인 원인으로는 기기적, 환경적, 인적요인이 있으며, IMO 조사코드의 도입 이전까지는 기기적, 환경적 요인에 대한 조사가 주를 이루고 있었다(Kim and Na, 2017). 그러나 선박 제어장치 및 운항 보조 장치들의 발달과 선박설계의 발달로 인해 기기적·환경적 요인의 지속적인 개선과 발전이 이루어 졌으며, 그에 따라 인적요인에 의한 사고의 발생건수가 증가하고 있다. 또한 해양사고의 발생은 단순한 요인에 의해 발생한 경우도 있지만, 다양한 요인들의 복합적인 상호작용에 의해 발생한 사고에 비해 적으며, 복합적인 원인요인의 구성에 있어서 원인 요인들 사이에 연관성을 형성하여 보다 정확한 해양사고의 원인 분석의 기준으로 활용된다.

사고를 분석하는 방법으로는 선박, 항공기, 철도 등의 사고원인분석에 활용되는 미국 교통안전 위원회(National Transportation Safety Board, NTSB)의 4M 기법이 있다(Kim et al., 2011). 4M 기법은 재해가 발생했을 때, 사실조사와 해석, 대책을 마련하기 위해 사용하는 방법으로 사고의 원인을 명확하게 분석하기 위해서 사고와 관련된 항목을 모두 시계열로 제시하고 사고원인들 사이의 연쇄관계를 밝히는 기법이

다. 4M 기법에서는 사고의 원인을 인간적 요인, 기계적 요인, 물질·환경적 요인, 관리적 요인으로 구분한다(Kim et al., 2011).

중앙해양안전심판원에서는 해양사고의 원인을 크게 운항과실, 운항과실, 취급불량 및 결함, 기타의 3가지 범주로 나누고 있다(Kim et al., 2011). 3가지 사고원인 분류 중 운항과실은 출항부터 입항까지의 전 과정을 항해사 또는 항해에 관련된 사람들의 준비불량, 지정된 항로 미사용, 법규위반, 안전감독 소홀 등과 같은 12가지 원인으로 분류하고 있다.

기계적 결함 및 선체결함과 관련된 사항은 취급불량 및 결함으로 분류하고 있으며, 기타는 기상상황이나 육상관리자의 실수 및 법규위반 등을 중심으로 6가지의 원인으로 분류하여 선박운항자가 대응하기 어려운 불가항력적인 사고에 대해 분류하고 있다.

해양경찰청에서는 해양사고의 원인을 크게 교통·환경적 요인, 인적요인, 자연적 요인, 경제적 요인의 4가지로 분류하고 있다(Kim and Na, 2017). 인적요인은 출항에서 입항까지의 전 과정에서 항해관련자의 인적오류를 13가지의 원인으로 분류하고 있으며, 자연적 요인은 환경적인 영향인 파도, 해일, 시계불량 등 3가지 요인으로, 교통·환경적 요인은 항만과 항로에 관련된 3요인으로, 경제적 요인은 선박을 관리하고 운영하는 선사의 관리능력 부족을 사고원인으로 분류하고 있다.

국의 해양사고 원인분류체계는 호주의 ATSB(Australian Transportation Safety Bureau)는 해양사고의 원인을 상황인식, 관리, 위험, 정비인적오류, 인적오류 외의 5가지 범주로 구분하고 있다(Baker and Seah, 2004; Kim et al., 2011에서 재인용).

영국의 MAIB(Marine Accident Investigation Board)에서는 해양사고의 원인을 상황인식, 관리, 위험, 정비인적오류, 인적오류 외 그룹으로 구분하고 있으며, 인적오류의 원인을 세분화 하여 분석하고 있다(Baker et al., 2004; Kim et al., 2011에서 재인용).

이러한 결과를 종합한 Kim et al.(2011)에 따르면 해양사고의 경우 인적과실이 차지하는 비율이 높고 같은 요인에 의한 사고가 반복적으로 발생하는 특징이 나타난다. 또한 IMO 조사코드를 비롯한 최근 국내·외 연구동향은 인적요인에 의한 사고의 발생에 초점을 맞추고 있다. 따라서 사고를 분석할 때 인적요인을 중심으로 해양사고를 분류할 필요가 있다. 해양사고를 발생시키는 인적요인은 고의적 행위, 비고의적 행위, 관리적 인적요인, 환경적 요인으로 구분할 수 있다고 하였다(Kim et al., 2011).

국내·외 해양사고 원인 분류체계를 종합해 보면, 보다 실제적이고 잠재적인 해양사고 원인을 규명하기 위해서는 운항과실을 발생시키는 근본적인 원인 분석이 필요하며, 특히

인적요인에 대한 분석이 필요하다는 결론이 도출된다. 즉, 충돌 사고원인 분석 시 운항과실을 발생시킬 수 있는 세부 원인에 주목할 필요가 있다는 점을 시사한다.

3.3 해상 충돌사고 근본원인분석

해상 충돌사고의 근본원인분석(RCA)을 위해 먼저 근본원인분석 준비를 실시하였다. RCA의 1단계에서는 해상교통안전 전문가 10인으로 구성된 TF팀을 구성하고 다양한 해양사고 중 해상충돌사고를 연구과제로 선정하였으며, 해상충돌사고와 그 원인에 관련된 참고자료를 수집하였다. 다음 2단계에서는 해상 충돌사고 원인 구조화를 위해 먼저 국제해상 충돌예방규칙(International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGs)을 기반으로 해양사고 원인분석 모델을 작성하고, 2004년부터 2014년까지 해양사고 재결서 분석을 통해 세부 충돌사고 원인을 검토하였다. 이후 3단계에서는 해양사고 전문가 회의를 통해 세부 충돌사고의 원인을 정의하고 정의된 충돌사고 원인을 기준으로 인과관계를 검토하여 충돌사고 원인모델을 구조화 하였다.

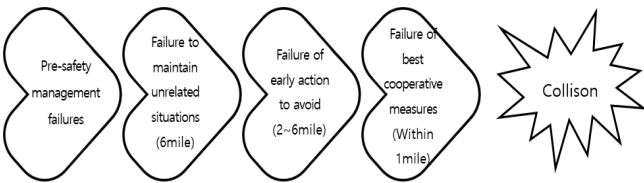


Fig. 1. Collision Accident Time Series Process.

COLREGs를 기준으로 작성한 충돌사고 발생의 시계열 프로세스는 Fig 1과 같이 사전안전관리 부실, 무관계 유지 실패, 조기피항 실패, 최선협력조치 실패로 규정하였다(Fig. 1). 이때, 사전 안전관리 부실은 출항전 시점에서 관리적 요인으로 발생할 수 있는 요인으로 정의하였으며, 무관계 유지실패는 상호시계를 결정하는 6마일 거리 진입 이전 시점으로 정의하였다. 조기피항 실패는 자선이 타선과 6마일에서 1마일 거리에 위치한 시점으로 정의하였으며, 최선협력조치 실패는 1마일 거리에 진입한 시점으로 정의하였으며, COLREGs상에서 제시하고 있는 상호시계항법을 기준으로 각 요인을 Table 3과 같이 정의하였다.

다음으로 직접원인 도출을 위해 2004년부터 2014년까지 11년간의 해양사고 재결서를 분석하였다. 충돌사고 재결서에 기록되어 있는 충돌사고의 사건흐름을 시계열 프로세스에 적용시켜 충돌사고 직접원인 항목을 분류하였다. 충돌사고 직접원인의 경우 해양사고 분류체계를 참고하여 상황적 요인과 행동요인으로 구분하였으며, 그 내용은 Fig. 2, 3과 같다.

Table 3. Example of sub-factor definition

Name	Definition
Pre-safety management failures	Inadequate planning and unsystematic inspection to prevent accidents before departure.
Failure to maintain unrelated situations	Situation in which two vessels under sail enter within 6 miles of reciprocal clock navigation
Failure of early action to avoid	Situation before the minimum distance of 1 to 2 miles from other ships that can take measures to be avoided early after entering the distance within 6 miles to which the mutual clock navigation is applied
Failure of best cooperative measures	A situation in which a collision may occur if two ships approach within 1-2 miles and the two ships do not take the best cooperative measures at the same time.

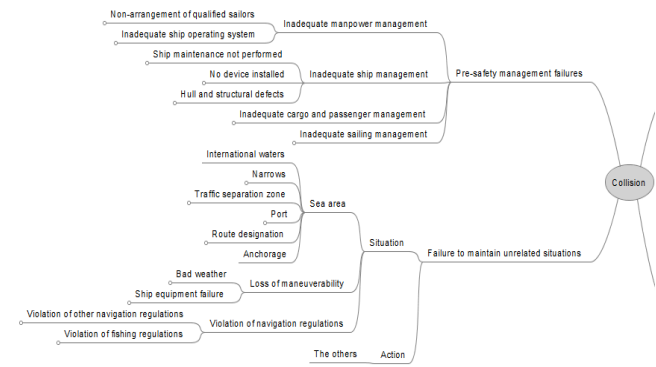


Fig. 2. Classification of direct causes of crash accidents (Part 1).

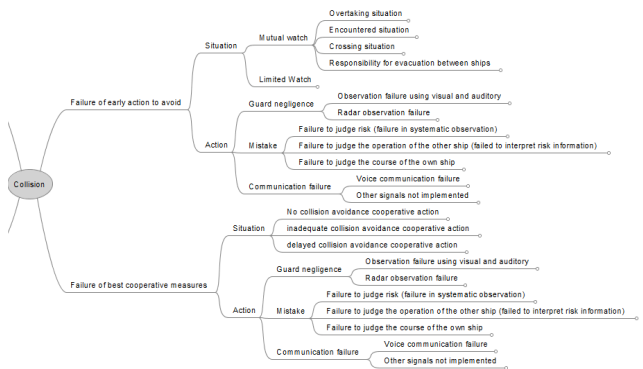


Fig. 3. Classification of direct causes of crash accidents (Part 2).

마지막으로 충돌사고의 근본원인을 파악하기 위해 관련된 시스템을 식별하고 근본원인목록을 작성하였다. 작성된 요인 중 특히 행동요인의 경우 타선을 인지하지 못한 경계 소홀과 타선의 위치를 인지하였으나 타선의 의도판단 또는

자선의 진로판단을 실패한 판단실패, 타선과의 부적절한 의사소통 또는 의사소통 미실시를 의미하는 의사소통 실패로 구분하였다.

작성된 요인 리스트는 전문가 회의를 통해 직접요인과 근본원인의 상호관계를 고려하여 충돌사고 시계열 프로세스에 배치하고 각 요인의 유사성을 고려하여 중간요인을 작성하였다. 작성된 RCA 모델은 충돌사고 발생 시계열 모델을 기준으로 사전안전관리 부실, 무관계 유지실패, 조기피항실패, 최선협력조치 실패를 기준으로 하였다. 먼저 사전 안전관리 부실의 경우 중분류 4개, 소분류 12개, 세분류 14개로 구성되었으며, 무관계유지실패는 중분류 2개, 소분류 5개, 세분류 10개, 세세분류 85개, 조기피항실패는 중분류 2개, 소분류 5개, 세분류 18개, 세세분류 60개, 최선협력조치 실패는 중분류 2개, 소분류 6개, 세분류 9개, 세세분류 46개로 구성되었다.

3.4 해상 충돌사고 원인모델 재구조화 및 정량화

앞서 RCA를 통해 도출된 충돌사고 원인분석 모델의 경우 인과관계에 따라 각 요인을 나열하기만 하였을 뿐 이를 정량화하기에 적절하지 않다. 따라서 이를 정량적으로 측정하기 위해 본 연구에서는 해상 충돌사고 FTA 모델을 활용하여 도출된 근본원인 요인들을 재구조화 하고자 하였다. 충돌사고 RCA 모델을 FTA로 재구조화하기 위해 개별지표를 중심으로 지표들 간의 관계를 재검토 하였다. FTA 모델에서 대분류는 상황과 행동을 중심으로 분류하였으며, 상황은 환경적 요인과 기계적 요인을 중심으로, 행동은 인적요인을 중심으로 분류하였다.

이후 분류된 세부 항목들을 AND 게이트와 OR 게이트를 활용하여 FT 다이어그램을 구성하였다. 다만 다수선박의 충돌 또는 정선한 선박을 충돌한 경우 피해선박이 사고에 기여한 원인을 분석할 수 없는 경우가 발생하여 피해선박이 아닌 가해선박의 사고원인을 중심으로 사고분석모델을 재구성 하였으며, 정선된 선박의 고박줄 풀림 또는 닻줄 끊김으로 인한 충돌사고는 제외하였다.

RCA 모델에서 도출된 해상 충돌사고의 발생 원인을 FT 다이어그램으로 나타내었다(Fig. 4~11). 충돌사고의 1차 요인은 해역, 시계, 운항과실로 구분하였으며, 해역은 해역의 형태에 따라 일반해역, 좁은 수로, 통항분리수역, 항내, 지정항로, 묘박지의 6가지로 구분하고 시계는 상호시계, 제한시계로 구분하여 각 환경적 상태에서 발생할 수 있는 상황에 대해 정의하고자 하였다. 인적요인에 대해서는 운항자의 운항과실을 기준으로 피항협력동작 미실시, 부적절한 피항협력동작, 지연된 피항협력동작의 3요인으로 분류하였다.

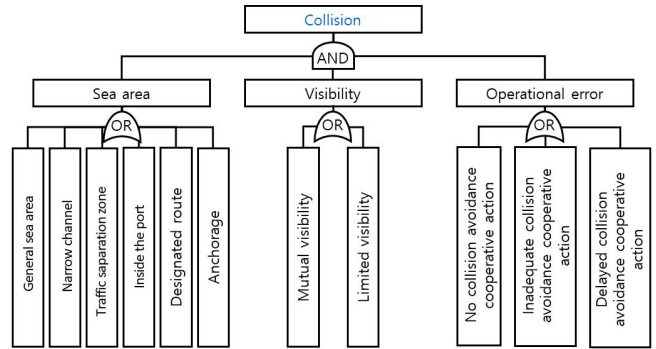


Fig. 4. Collision Accident FTA Model 1st Classification.

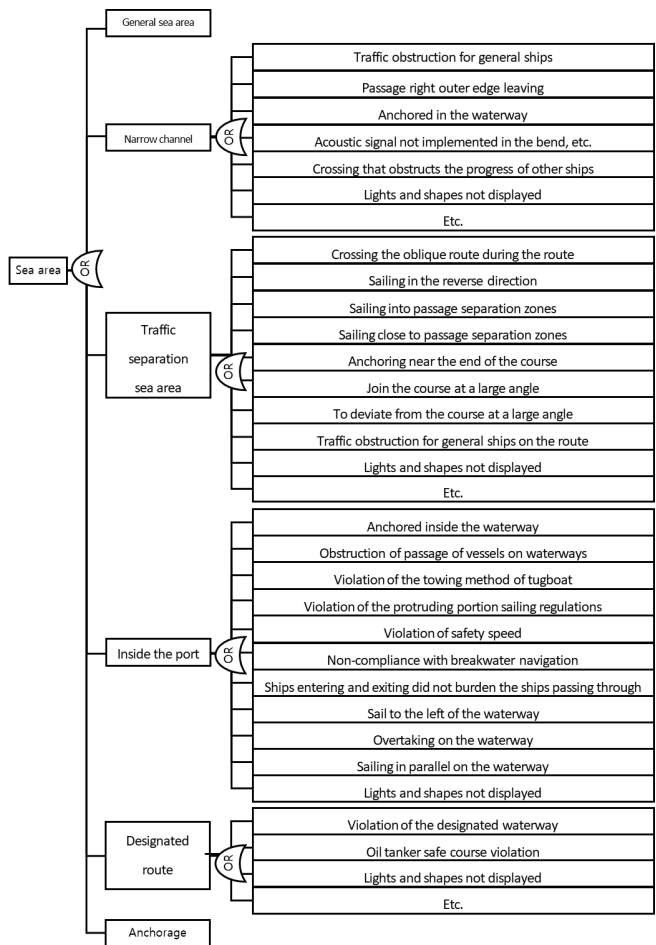


Fig. 5. Classification of sea areas among the crash accident FTA models.

해역의 경우 개별 해역에서 발생할 수 있는 COLREGs 위반사례를 기준으로 세부 상황을 분류하였으며(Fig. 5), 시계 또한 상호시계와 제한세계에서 발생할 수 있는 모든 상황을 COLREGs를 근거로 분류하였다(Fig. 6). 운항과실은 불안정한

e-Navigation 서비스를 위한 충돌사고 평가지표 개발

선박상태와 인적요인으로 구분되며, 하인리히의 도미도 이론에 따라 불안정한 선박상태와 인적요인이 결합하여 충돌상태를 발생시킨다는 결론을 도출하였다. 다만 모든 불안정한 선박상태가 해양사고 재결서에 기록된 것은 아니며, 인적요인 단독의 영향으로 인해 발생한 사고도 존재함을 감안하여 모델을 작성하였다. 운항과실의 하위요인인 피항협력동작 미실시, 부적절한 피항협력동작, 지연된 피항협력동작의 하위요인은 모두 동일하게 분류하였다. 운항과실의 분류 결과는 주제별로 Fig. 7부터 Fig. 11에서 제시하였다.

앞서 도출된 충돌사고 FTA 모델의 정량화를 위해 2004년부터 2014년까지 발생한 충돌사고 766건에 대한 해양사고 재결서의 키워드를 분석하여 충돌사고 세부요인의 발생빈도를 측정하고자 하였다. 이를 위해 먼저 정확한 판단기준을 수립하기 위해 개별요인들을 정의하였으며, 정의된 기준에 따라 세부요인의 발생빈도를 측정하였다.

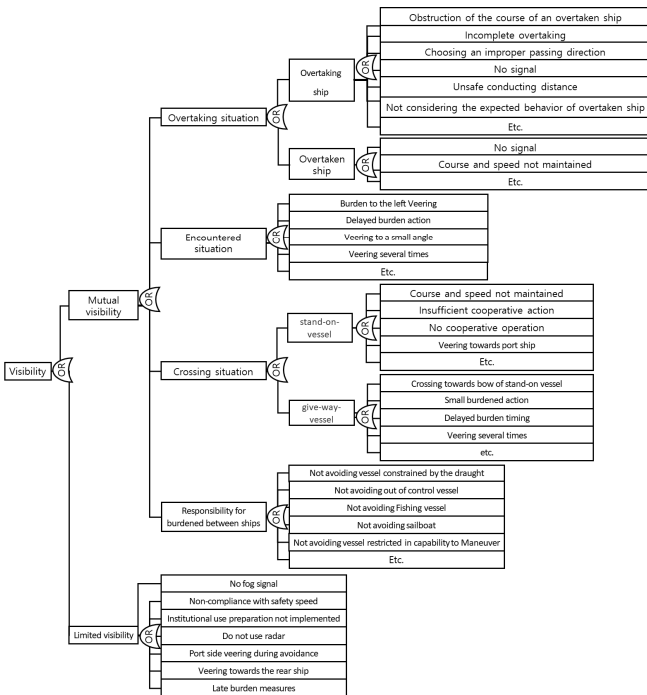


Fig. 6. Classification of visibility among FTA models of crash accidents.

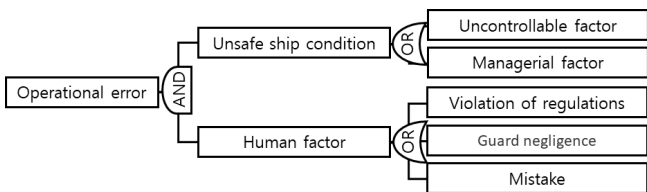


Fig. 7. Classification of operation error factors.

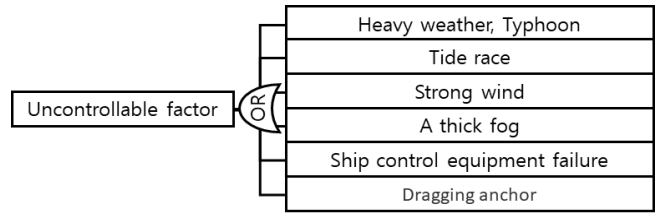


Fig. 8. Classification of uncontrollable factors.

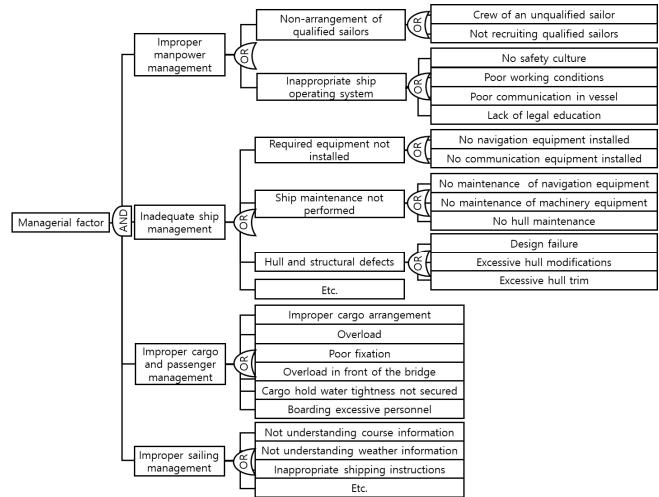


Fig. 9. Classification of management factors.

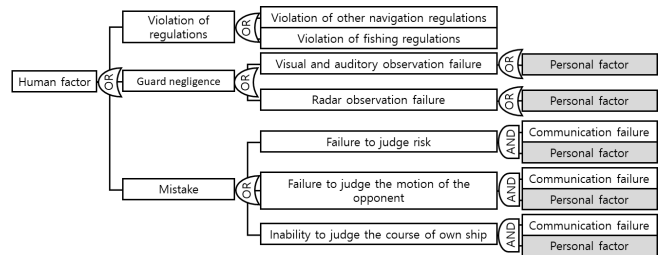


Fig. 10. Classification of human factors.

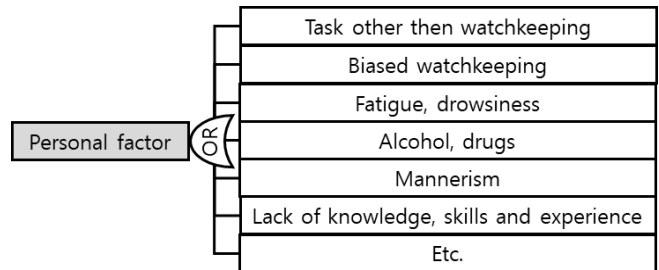


Fig. 11. Classification of personal factors.

해상 충돌사고 평가지표의 개발은 한국형 e-Navigation이 주요 성과지표인 해양 사고 저감 목표를 달성하였는지를 측

정할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다. 따라서 본 연구에서는 충돌사고를 발생시키는 개별요인들의 발생확률을 계산하여 한국형 e-Navigation 서비스가 개별요인들을 얼마나 통제할 수 있는지를 평가하고자 하였다. 이를 위해 해양사고 재결서 키워드 분석을 통해 측정된 빈도를 기준으로 전체 충돌사고 발생을 100%로 가정하고 개별요인의 발생확률을 계산하였다(Table 4~8).

해양 충돌사고 FTA 모델에서 해양 충돌사고 발생 빈도를 계산하기 위해서는 And 게이트와 Or 게이트의 성질을 파악해야 한다. Or 게이트로 연결된 A요인과 하위의 B요인과 C요인이 존재한다고 가정하였을 때, Or 게이트로 연결될 수 있는 사상들은 상호 독립적이기 때문에 A요인의 빈도는 $A=B+C$ 의 수식을 활용하여 계산한다. 그러나 And 게이트의 경우 두 사상이 독립적이지 않기 때문에 A요인의 빈도는 $A=(B+C)-(B \cap C)$ 공식을 활용하여 산출되었다.

분석결과 해양 충돌사고는 해역과 시계 등의 환경적인 요인과 운항과실의 복합적인 상호과정에서 발생하는 현상으로 나타났다. 먼저 해역의 경우 일반해역에서 사고가 발생하는 확률이 573건(74.8%)로 나타났으며, 다음으로 항내 80건(10.4%), 좁은 수로 58건(7.57%), 묘박지 31건(4.05%), 통항 분리수역 15건(1.96%), 지정항로 9건(1.17%) 순으로 나타났다. 시계에서는 상호시계가 가장 많은 606건(79.1%)로 나타났으며, 제한시계는 160건(20.9%)로 나타났다. 이러한 결과는 해양 충돌사고의 발생이 일반해역에서 상호시계에 주로 발생한다는 것을 의미하며, 그 근본적인 원인에는 인적요소가 기여하는바가 크다는 점을 의미한다.

다음으로 운항과실에서는 피항협력동작 미실시가 352건(46.0%)로 가장 높게 나타났으며, 지연된 피항협력동작 326건(42.6%), 부적절한 피항협력동작 88건(11.5%) 순으로 나타났다. 피항협력동작 미실시의 주요 원인으로는 인적요인-경계소홀(경계업무 실패)-목측 및 청측 실패가 245건-그 중 경계 외 업무가 149건(19.5%)로 나타났다. 부적절한 피항협력동작의 주요 원인으로는 인적요인-부정확한 판단-판단실패-자선 진로판단 실패-불안전한 개인의 상태가 25건(3.26%)로 나타났으며, 지연된 피항협력동작의 경우 인적요인-부정확한 판단-판단실패-자선 진로판단실패 64건(8.36%)로 나타났다. 이러한 결과를 종합해 볼 때, 피항협력동작 미실시의 경우 경계 외 업무 등으로 타선의 존재와 이동경로를 확인하지 못한 경계소홀(경계업무 실패)이 가장 주요한 사고의 원인이며, 부적절한 피항협력동작 또는 늦은 피항협력동작은 부정확한 판단으로 인한 자선의 진로판단 실패가 가장 주요한 사고의 원인이라는 것을 알 수 있다.

Table 4. Analysis result of sea area

Factor	Frequency	Percentage (%)
General sea area	573	74.80
Narrow channel	58	7.57
Traffic obstruction for general ships	9	1.17
Passage right outer edge leaving	8	1.04
Anchored in the course	0	0.00
Acoustic signal not implemented in the bend, etc.	3	0.39
Crossing that obstructs the progress of other ships	11	1.44
Lights and shapes not displayed	1	0.13
Etc.	26	3.39
Traffic separation sea area	15	1.96
Crossing the oblique route during the course	3	0.39
Sailing in the reverse direction	2	0.26
Sailing into passage separation zones	0	0.00
Sailing close to passage separation zones	1	0.13
Anchoring near the end of the course	0	0.00
Join the course at a large angle	0	0.00
To deviate from the course at a large angle	0	0.00
Traffic obstruction for general ships on the course	2	0.26
Lights and shapes not displayed	1	0.13
Etc.	6	0.78
Inside the port	80	10.44
Anchored inside the waterway	3	0.39
Obstruction of passage of vessels on waterways	29	3.79
Violation of the towing method of tugboat	2	0.26
Violation of the protruding portion sailing regulations	0	0.00
Violation of safety speed	7	0.91
Non-compliance with breakwater navigation	11	1.44
Ships entering and exiting did not burden the ships passing through.	3	0.39
Sail to the left of the waterway	3	0.39
Overtaking on the waterway	3	0.39
Sailing in parallel on the waterway	0	0.00
Lights and shapes not displayed	0	0.00
Etc.	19	2.48
Designated route	9	1.17
Violation of the designated route	2	0.26
Oil tanker safe course violation	0	0.00
Lights and shapes not displayed	0	0.00
Etc.	7	0.91
Anchorage	31	4.05
Sea area	766	100

e-Navigation 서비스를 위한 충돌사고 평가지표 개발

Table 5. Analysis result of visibility

Factor	Frequency	Percentage (%)
Mutual visibility	606	79.11
Overtaking Situation	34	4.44
Overtaking ship	32	4.18
Obstruction of the course of an overtaken ship	7	0.91
Incomplete overtaking	2	0.26
Choosing an improper passing direction	7	0.91
No signal	2	0.26
Unsafe conducting distance	1	0.13
Not considering the expected behavior of overtaken ship	4	0.52
etc.	9	1.17
overtaken ship	2	0.26
No signal	0	0.00
Course and speed not maintained	1	0.13
etc.	1	0.13
Encountered situation	112	14.62
Burden to the left Veering	15	1.96
Delayed burden action	87	11.36
Veering to a small angle	2	0.26
Veering several times	2	0.26
etc.	6	0.78
Crossing situation	201	26.24
Stand-on vessel	22	2.87
Course and speed not maintained	0	0.00
Insufficient cooperative action	3	0.39
No cooperative operation	13	1.70
Veering towards port ship	1	0.13
etc.	5	0.65
Give-way vessel	179	23.37
Crossing towards bow of stand-on vessel	40	5.22
Small burdened action	3	0.39
Delayed burden timing	104	13.58
Veering several times	2	0.26
etc.	30	3.92
Responsibility for burdened between ships	259	33.81
Not avoiding vessel constrained by the draught	78	10.18
Not avoiding out of control vessel	26	3.39
Not avoiding fishing vessel	114	14.88
Not avoiding sailboat	1	0.13
Not avoiding vessel restricted in capability to Maneuver	32	4.18
etc.	8	1.04
Limited visibility	160	20.888
No fog signal	50	6.53
Non-compliance with safety speed	68	8.88
Institutional use preparation not implemented	1	0.13
Do not use radar	9	1.17
Port side veering during avoidance	6	0.78
Veering towards the rear ship	0	0.00
Late burden measures	26	3.39
Visibility	766	100

Table 6. Analysis result of No collision avoidance cooperative action

Factor	Frequency	Percentage (%)
Unsafe ship condition	74	9.66
Uncontrollable factor	40	5.22
Heavy weather, Typhoon	1	0.13
Tide race	4	0.52
Strong wind	3	0.39
A thick fog	32	4.18
Ship control equipment failure	0	0.00
Dragging anchor	0	0.00
Managerial factor	44	5.74
Improper manpower management	26	3.39
Non-arrangement of qualified sailors	18	2.35
Crew of an unqualified sailor	6	0.78
Not recruiting qualified sailors	12	1.57
Inappropriate ship operating system	8	1.04
No safety culture	6	0.78
Poor working conditions	0	0.00
Poor communication in vessel	2	0.26
Lack of legal education	0	0.00
Inadequate ship management	13	1.70
Required equipment not installed	3	0.39
No navigation equipment installed	2	0.26
No communication equipment installed	1	0.13
Ship maintenance not performed	7	0.91
No maintenance of navigation equipment	4	0.52
No maintenance of machinery equipment	2	0.26
No hull maintenance	1	0.13
Hull and structural defects	3	0.39
Design failure	2	0.26
Excessive hull modifications	0	0.00
Excessive hull trim	1	0.13
Etc.	0	0.00
Improper cargo and passenger management	3	0.39
Improper cargo arrangement	2	0.26
Overload	0	0.00
Poor fixation	0	0.00
Overload in front of the bridge	1	0.13
Cargo hold water tightness not secured	0	0.00
Boarding excessive personnel	0	0.00
Improper sailing management	3	0.39
Not understanding course information	1	0.13
Not understanding weather information	0	0.00
Inappropriate shipping instructions	0	0.00
Etc.	2	0.26
Human factor	352	46
Violation of regulations	15	1.96
Violation of other navigation regulations	12	1.57
Violation of fishing regulations	3	0.39
Guard negligence	281	36.7
Visual and auditory observation failure	245	32
Task other than watchkeeping	149	19.5
Biased watchkeeping	23	3
Fatigue, drowsiness	51	6.66
Alcohol, drugs	0	0
etc.	22	2.87
Radar observation failure	36	4.7
Task other than watchkeeping	14	1.83

	Fatigue, drowsiness	1	0.13
	Alcohol, drugs	0	0
	Do not use radar	6	0.78
	etc.	15	1.96
	Mistake	71	9.27
	Failure to judge risk	35	4.57
	Communication failure	5	0.65
	Personal factor	35	4.57
	Mannerism	19	2.48
	Alcohol, drugs	1	0.13
	Lack of knowledge, skills and experience	1	0.13
	etc.	14	1.83
	Failure to judge the motion of the opponent	10	1.31
	Communication failure	1	0.13
	Personal factor	10	1.31
	Mannerism	5	0.65
	Alcohol, drugs	0	0.00
	Lack of knowledge, skills and experience	0	0.00
	etc.	5	0.65
	Inability to judge the course of own ship	26	3.39
	Communication failure	10	1.31
	Personal factor	26	3.39
	Mannerism	7	0.91
	Alcohol, drugs	1	0.13
	Lack of knowledge, skills and experience	1	0.13
	etc.	17	2.22
	No collision avoidance cooperative action	352	45.95

	equipment		
	No hull maintenance	0	0.00
	Hull and structural defects	0	0.00
	Design failure	0	0.00
	Excessive hull modifications	0	0.00
	Excessive hull trim	0	0.00
	Etc.	0	0.00
	Improper cargo and passenger management	0	0.00
	Improper cargo arrangement	0	0.00
	Overload	0	0.00
	Poor fixation	0	0.00
	Overload in front of the bridge	0	0.00
	Cargo hold water tightness not secured	0	0.00
	Boarding excessive personnel	0	0.00
	Improper sailing management	2	0.26
	Not understanding course information	1	0.13
	Not understanding weather information	1	0.13
	Inappropriate shipping instructions	0	0.00
	Etc.	0	0.00
	Human factor	88	11.49
	Violation of regulations	3	0.39
	Violation of other navigation regulations	2	0.26
	Violation of fishing regulations	1	0.13
	Guard negligence	19	2.48
	Visual and auditory observation failure	16	2.09
	Task other than watchkeeping	12	1.57
	Biased watchkeeping	1	0.13
	Fatigue, drowsiness	1	0.13
	Alcohol, drugs	0	0.00
	etc.	2	0.26
	Radar observation failure	3	0.39
	Task other than watchkeeping	1	0.13
	Fatigue, drowsiness	0	0.00
	Alcohol, drugs	0	0.00
	Do not use radar	0	0.00
	etc.	2	0.26
	Mistake	69	9.01
	Failure to judge risk	20	2.61
	Communication failure	0	0.00
	Personal factor	20	2.61
	Mannerism	9	1.17
	Alcohol, drugs	1	0.13
	Lack of knowledge, skills and experience	1	0.13
	etc.	9	1.17
	Failure to judge the motion of the opponent	24	3.13
	Communication failure	1	0.13
	Personal factor	24	3.13
	Mannerism	12	1.57
	Alcohol, drugs	0	0.00
	Lack of knowledge, skills and experience	2	0.26
	etc.	10	1.31
	Inability to judge the course of own ship	25	3.26
	Communication failure	10	1.31
	Personal factor	6	0.78
	Mannerism	0	0.00
	Alcohol, drugs	0	0.00
	Lack of knowledge, skills and experience	6	0.78
	etc.	13	1.70
	Inadequate collision avoidance cooperative action	88	11.5

Table 7. Analysis result of inadequate collision avoidance cooperative action

Factor	Frequency	Percentage (%)
Unsafe ship condition	13	1.70
Uncontrollable factor	12	1.57
Heavy weather, Typhoon	0	0.00
Tide race	1	0.13
Strong wind	1	0.13
A thick fog	9	1.17
Ship control equipment failure	1	0.13
Dragging anchor	0	0.00
Managerial factor	3	0.39
Improper manpower management	2	0.26
Non-arrangement of qualified sailors	2	0.26
Crew of an unqualified sailor	0	0.00
Not recruiting qualified sailors	2	0.26
Inappropriate ship operating system	0	0.00
No safety culture	0	0.00
Poor working conditions	0	0.00
Poor communication in vessel	0	0.00
Lack of legal education	0	0.00
Inadequate ship management	0	0.00
Required equipment not installed	0	0.00
No navigation equipment installed	0	0.00
No communication equipment installed	0	0.00
Ship maintenance not performed	0	0.00
No maintenance of navigation equipment	0	0.00
No maintenance of machinery	0	0.00

e-Navigation 서비스를 위한 충돌사고 평가지표 개발

Table 8. Analysis result of delayed collision avoidance cooperative action

Factor	Frequency	Percentage (%)
Unsafe ship condition	55	7.18
Uncontrollable factor	41	5.35
Heavy weather, Typhoon	2	0.26
Tide race	1	0.13
Strong wind	2	0.26
A thick fog	36	4.7
Ship control equipment failure	0	0
Dragging anchor	0	0
Managerial factor	15	1.96
Improper manpower management	4	0.52
Non-arrangement of qualified sailors	3	0.39
Crew of an unqualified sailor	0	0.00
Not recruiting qualified sailors	3	0.39
Inappropriate ship operating system	1	0.13
No safety culture	1	0.13
Poor working conditions	0	0.00
Poor communication in vessel	0	0.00
Lack of legal education	0	0.00
Inadequate ship management	6	0.78
Required equipment not installed	4	0.52
No navigation equipment installed	3	0.39
No communication equipment installed	1	0.13
Ship maintenance not performed	1	0.13
No maintenance of navigation equipment	1	0.13
No maintenance of machinery equipment	0	0.00
No hull maintenance	0	0.00
Hull and structural defects	1	0.13
Design failure	1	0.13
Excessive hull modifications	0	0.00
Excessive hull trim	0	0.00
Etc.	0	0.00
Improper cargo and passenger management	4	0.52
Improper cargo arrangement	1	0.13
Overload	0	0.00
Poor fixation	0	0.00
Overload in front of the bridge	3	0.39
Cargo hold water tightness not secured	0	0.00
Boarding excessive personnel	0	0.00
Improper sailing management	2	0.26
Not understanding course information	2	0.26
Not understanding weather information	0	0.00
Inappropriate shipping instructions	0	0.00
Etc.	0	0.00
Human factor	326	42.6
Violation of regulations	15	1.96
Violation of other navigation regulations	12	1.57
Violation of fishing regulations	3	0.39
Guard negligence	149	19.45
Visual and auditory observation failure	127	16.58
Task other than watchkeeping	87	11.36
Biased watchkeeping	20	2.61
Fatigue, drowsiness	7	0.91
Alcohol, drugs	0	0.00
etc.	13	1.70
Radar observation failure	22	2.87
Task other than watchkeeping	9	1.17

Fatigue, drowsiness	0	0.00
Alcohol, drugs	0	0.00
Do not use radar	5	0.65
etc.	8	1.04
Mistake	177	23.1
Failure to judge risk	58	7.57
Communication failure	6	0.78
Personal factor	58	7.57
Mannerism	20	2.61
Alcohol, drugs	2	0.26
Lack of knowledge, skills and experience	2	0.26
etc.	34	4.44
Failure to judge the motion of the opponent	55	7.18
Communication failure	8	1.04
Personal factor	55	7.18
Mannerism	22	2.87
Alcohol, drugs	0	0.00
Lack of knowledge, skills and experience	4	0.52
etc.	29	3.79
Inability to judge the course of own ship	64	8.36
Communication failure	10	1.31
Personal factor	64	8.36
Mannerism	15	1.96
Alcohol, drugs	0	0.00
Lack of knowledge, skills and experience	1	0.13
etc.	48	6.27
Delayed collision avoidance cooperative action	326	42.56

4. 결론 및 논의

한국형 e-Navigation 개발 사업은 국적선박의 80%를 차지하고 있는 어선 및 소형선박의 사고위험성을 저감하고 효율적인 운항을 지원하기 위해 ICT 기술을 적용하는 서비스이다. 본 연구에서는 한국형 e-Navigation의 개발단계에서 해양사고 저감이라는 서비스 핵심목표의 달성여부를 파악하고 향후 개발 방향성을 설정하는데 필수적이라고 할 수 있는 해양사고 평가지표 중 충돌사고 근본원인모형을 RCA와 FTA 기법을 활용해 개발하고 이를 정량화 하였다.

개발된 충돌사고 원인모형은 1차 요인으로 해역, 시계, 운항과실로 구분하며, 해역은 해역의 형태에 따라 일반해역, 좁은 수로, 통항분리수역, 항내, 지정항로, 묘박지의 6가지로 구분하고 시계는 상호시계, 제한시계로 구분하여 각 환경적 상태에서 발생할 수 있는 상황을 정의하였다. 인적요인은 운항자의 운항과실을 기준으로 피항협력동작 미실시, 부적절한 피항협력동작, 지연된 피항협력동작의 3가지로 분류하였으며, 각각 불안정한 선박상태와 인적요인으로 구분하였다.

충돌사고 원인모형 정량화 분석결과 해상충돌사고는 대부분 일반해역에서 상호시계일 경우 주로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 해상 충돌사고의 주요한 발생 원인이 인적원인임을 시사한다. 특히 인적요인 중에서도 피항협력동작

미실시의 경우 경계 외 업무 등으로 타선의 존재와 이동경로를 확인하지 못한 경계소홀(경계업무 실패)이 가장 주요한 사고의 원인이며, 부적절한 피항협력동작 또는 늦은 피항협력동작은 부정확한 판단으로 인한 자선의 진로판단 실패가 가장 주요한 사고의 원인으로 나타났다. 이러한 결과는 향후 한국형 e-Navigation의 개발과 추가 개발 방향성 도출에 반영될 수 있는 주요한 지표가 될 것이다.

본 연구의 한계로는 먼저 다수선박의 충돌 또는 정선한 선박을 충돌한 경우 또는 피해선박이 사고에 기여한 원인을 정확히 분석할 수 없는 경우가 많아 충돌사고의 대상 중 가해선박의 충돌원인만을 분석했다는 점이 있다. 또한 해양사고 재결서를 분석하면서 중앙해양안전심판원과 지방해양안전심판원의 재결서가 내용의 정확성 측면에서 큰 차이가 있음을 발견하였다. 특히 지방해양안전심판원의 재결서의 경우 사건의 경과만 기록하였을 뿐 사건이 발생하게 된 근본원인에 대한 구체적인 진술내용이 기록되지 않아 세부적인 원인 단계를 분석할 때 기타요인으로 뭉뚱그려진 부분이 발생하였다. 이러한 미비점을 해결하기 위해 e-Navigation 서비스의 적용과정에서 실제 사용사례와 사고사례를 통해 추가적인 검증과 업데이트가 필요하다.

하지만 본 연구는 항해사의 항해 프로세스를 반영하여 인적요인을 정밀하게 분석했으며, 해양사고 재결서를 분석하면서 명확한 언어와 구체적인 상황을 분류하여 새로운 충돌사고 분류체계를 마련하였다는 것에 그 의의가 있다. 또한 해양사고의 근본적인 해결을 위해 이미 발생한 충돌사고를 조사단계에서부터 충돌사고의 근본적인 원인 분석을 위한 조사절차를 실시해야 한다는 점을 제시하고 있으며, 본 연구의 결과는 한국형 e-Navigation 서비스의 실제 적용과 활용에 있어 길잡이가 될 것으로 기대된다.

References

- [1] An, K.(2015), A Study on the Collision Prevention Support System for Small Ships based on e-navigation, Doctoral dissertation, Graduate School of Mokpo National Maritime University.
- [2] Baker, C. C. and A. K. Seah(2004), Maritime accidents and human performance: the statistical trail, In MarTech Conference, Singapore, pp. 225-240.
- [3] Kim, H. T. and S. Na(2017), Development of a Human Factors Investigation and Analysis Model for Use in Maritime Accidents: A Case Study of Collision Accident Investigation. Journal of Korean Navigation and Port Reserch, 41(5), pp. 303-318.
- [4] Kim, H. T., S. Na, and W. H. Ha(2011), A case study of marine accident investigation and analysis with focus on human error. Journal of the ergonomics society of Korea, 30(1), pp. 137-150.
- [5] Kim, S. H., H. S. Kim, H. S. Kang, and W. S. Kim(2017), An analysis on marine casualties of fishing vessel by FTA method, Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, 53(4), pp. 430-436.
- [6] Kim, S. S., J. Y. Jong, W. J. Ha, D. H. Song, and J. S. Park(2000), A Study on the Investigation and Analysis of Collisions at Sea, Journal of Korean Navigation and Port Reserch, 24(1), pp. 13-22.
- [7] Lee, H. J., E. Y. Choi, M. S. Ock, and S. I. Lee(2017), Guidelines for Performing Root Cause Analysis. Quality improvement in health care, 23(1), pp. 25-38.
- [8] Oh, S. D.(2018), A comparative analysis of policy responses to the fourth industrial revolution: government strategies in view of capitalism, Master's Thesis. Graduate School of Yonsei University.
- [9] Parker, J.(2015), Root Cause Analysis in Health Care: Tools and Techniques, The Joint commission. 5th. Illinois, USA: Oak Brook.
- [10] Sim, W. S., J. W. Park, and Y. G. Lim(2010), The Study on the trend of international standards and the domestic plan to cope with e-navigation. The journal of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences, 14(5), pp. 1057-1063.

Received : 2020. 10. 16.

Revised : 2020. 12. 07. (1st)

: 2021. 01. 04. (2nd)

Accepted : 2021. 02. 25.