JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(3): 149-160
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.3.149
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Study on the Risk Analysis of Maritime Accidents Considering Uncertainty of the Accident Data and the Cause of Maritime Accidents focusing on Human Error

Yoo Kyung Won[1], Dong Jin Kim[2]

[1]Korea Maritime & Ocean University, Department of Shipping Management, Busan, 49112
[2]Pusan National University, Department of International Trade, Busan, 46241

사고 데이터의 불확실성을 고려한 해양사고 위험도 분석 및 인적오류 중심의 사고원인 분석에 관한 연구

원유경[1], 김동진[2]

[1]한국해양대학교 해운경영학부
[2]부산대학교 무역학부

Corresponding Author
Dong Jin Kim
Pusan National University, Department of International Trade, Busan, 46241
Email : ssskdj@hanmail.net

Received : February 17, 2021
Revised : April 14, 2021
Accepted : May 31, 2021

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The purpose of this study is to modify quantitative risk assessment of the maritime accident using the risk matrix considering uncertainty of the data and to figure out the main cause through all types of maritime accident.

Background: Maritime accidents happen not frequently but it causes severe consequences such as human losses, economic losses and environmental damage. It has negative impacts on the level of national safety and national competitiveness. Although Korean government makes huge efforts to decrease the number of maritime accidents through the mitigation policy, unfortunately recent maritime accidents are not declining, resulting in fatality and economic losses. In the research field, it is necessary to consider the risk assessment criteria based on the quantitative analysis of the maritime accidents. Also, to increase effectiveness of the mitigation policy, first we focus on the cause related to human error.

Method: In the study, (i) we modify the existing risk matrix considering uncertainty of the data set in order to get more concrete results and suggest the practical risk assessment criteria. (ii) In the analysis on the cause of the accident, first we calculate the rate of occurrence from each cause of the different accident type and find out the main cause by each accident type. Secondly, we figure out the reason which causes various accident types.

Results: By applying the criteria of the modified risk matrix, it is possible to interpret the results as more sensitive considering uncertainty of the data set. And the main cause of each accident type and common cause of the maritime accident are due to human error.

Conclusion: Quantitative risk assessment using the modified risk matrix, and cause analysis can suggest well-founded risk mitigation measures and improve the performance of the accident mitigation policy.

Application: It may help the policy maker to make appropriate mitigation measure and apply to other fields as the objective risk assessment criteria.

Keywords: Maritime accident, Risk assessment, Risk matrix, Uncertainty, Human error

1. Introduction

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸인 지형적 조건과 산업구조적 특징으로 인해 선박을 이용한 대외무역의 비중이 높다. 또한 경제적 수준의 향상과 기술수준의 발전으로 선박의 대형화와 고속화가 이루어졌으며 운항기술도 선진화 되었다. 그러나 이와 함께 해양사고의 발생건수도 매년 증가하고 있다는 사실은 해양산업 발전의 또다른 이면이다.

2019년에 발생한 씨그랜트호 사건과 많은 사망자를 낸 허블레이나호 사건과 같은 해양사고는 사고발생 빈도는 작지만 사고발생 시 사고피해 규모가 크기 때문에 국민의 안전을 위협하는 요인 중 하나이다. 뿐만 아니라 해양사고는 해상운송이 대부분을 차지하는 대외무역과도 밀접한 연관이 있어 국가 산업 경쟁력에 부정적인 영향을 미친다는 점에서 간과할 수 없는 부분이다.

해양안전심판원의 통계에 따르면 우리나라의 해양사고는 2019년 3,274건을 기록하며 매년 증가하는 추세이며 해양사고로 인한 사상자는 연평균 188명에 달한다(Korea Maritime Safety Tribunal, 2019). 정부는 해양사고 저감을 위해 예산을 투입하여 정책을 집행하고 있으나 해양사고는 계속해서 발생하고 있으며 이에 따른 인명피해와 경제적 손실이 발생하는 것은 안타까운 현실이다. 그러므로 해양사고를 방지하기 위한 보다 현실적이고 합리적인 사고저감 대책 수립이 필요하며 이를 위해 우선적으로 해양사고의 위험도 분석이 선행되어야 한다. 또한 사고원인에 대한 종합적인 분석이 필요하며 이를 바탕으로 하여 사고저감 대책의 실효성을 높여야 한다.

지금까지 학계에서 해양사고에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 우선 사고원인에 대한 연구를 보면, Jang et al. (2009)은 항해사 및 도선사를 대상으로 선박사고의 원인에 대한 실증연구를 진행하였고 Hong and Bae (2019)는 선박 충돌사고에서 항해사의 단계별 상황인식에 대해 분석하였다. Kim and Kwak (2011)은 해양안전심판원의 사건재결서를 분석하여 해양사고 인적오류 요인의 중요도를 연구하였고 Cho et al. (2017)는 20년간 우리나라 연근해 운항 선박과 어선을 대상으로 선종별 해양사고의 구성을 분석하였으며 Jung (2018)은 10년간의 데이터를 근거로 해양사고의 안전성 개선을 위한 정책을 제안하고 있다.

다음으로 위험도 평가 기준에 대한 연구와 데이터의 불확실성을 고려한 해양사고 연구 현황은 다음과 같다. Kim (2018)은 우리나라의 어선사고 위험도 분석에서 사고발생 빈도와 피해자수에 대한 불확실성을 고려한 위험도 분석을 진행하였고 Sun and Zheng (2018)은 시계열 데이터에 대한 불확실성을 보완하기 위해 사고빈도와 사고피해의 데이터 분포특성을 고려한 타임윈도우를 적용하였으며 Markowski et al. (2010)는 위험도 분석에서 사용되는 데이터의 불확실성에 대해 Fuzzy 이론을 적용하여 위험도의 신뢰수준을 높이고자 하였다. 그리고 Won and Kim (2019)은 사고빈도와 사고피해 데이터를 사용하여 어선사고의 위험도를 계산하고 위험도 매트릭스를 통해 위험도 평가 기준을 제안하였다.

기존의 연구에서는 해양사고의 통계적 분석과 함께 다양한 정책적 제안을 하고 있으며 이미 실행단계에 있는 정책들도 있다. 그러나 해양사고 위험도에 대한 정량적인 분석이 부족하며 객관적인 위험도 평가 기준이 명확하지 않은 것은 사고저감 대책 마련에 있어 우선적으로 보완이 필요한 부분이다.

본 연구는 Won and Kim (2019)의 연구를 기반으로 위험도 매트릭스의 한계점을 보완하여 보다 현실적인 위험도 기준을 제안하고 적용한 점에서 의의를 가진다. 기존 위험도 분석에서 사용한 위험도 매트릭스 기법과 위험도의 수치적 도출은 해양사고의 위험도를 정량적으로 분석한 점에서 의의가 있으나(Won and Kim, 2019) 정량적 위험도 분석에서 데이터의 불확실성을 고려하지 못한 점에서 한계점을 갖기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 해양안전심판원에서 공시하는 우리나라의 상선사고 통계를 이용하여 9가지 사고유형에 대해 데이터의 불확실성을 보완한 위험도 매트릭스 기법을 적용한 위험도 분석을 시행하고 위험도 평가 기준을 제시하였다. 또한 사고저감 대책 마련을 위해 최근 5년간의 상선사고 데이터를 근거로 사고원인을 분석하여 사고유형별로 주요 사고원인을 파악하였다. 이에 추가적으로 사고유형 전체에서 공통적으로 적용되는 사고원인을 도출하고 이를 바탕으로 기존의 저감정책을 구체화하여 제안하였다.

2. Maritime Accident Current State

첫 번째로 우리나라의 2014년부터 2019년까지 발생한 해양사고 발생 빈도수를 살펴보면 2014년 1,565건을 시작으로 매년 증가하여

2019년에는 2014년의 2배가 넘는 3,274건을 기록하였다. 그리고 선박용도에 따른 해양사고의 사고발생 현황에 따르면 어선사고가 전체사고의 70.15%를 차지하며 가장 큰 비중을 보이고 다음으로 상선사고의 비중이 크게 나타난다. 상선에는 화물선, 여객선, 유조선, 예인선이 포함되며 화물선, 유조선, 예인선 순서로 사고비중이 크게 나타난다.

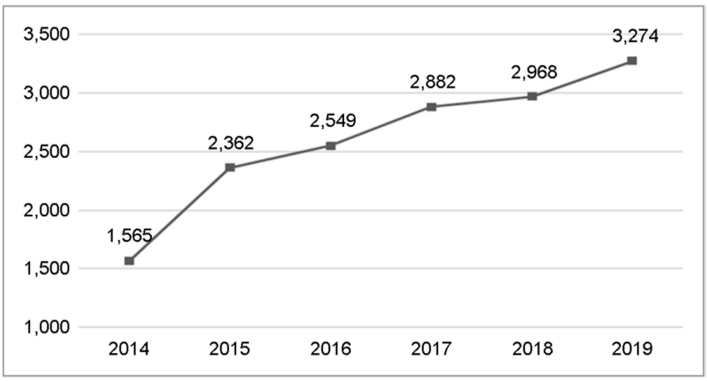

Figure 1. Number of maritime accidents

두 번째로 해양사고에 의한 인명피해의 최근 6년간 현황은 다음과 같다. 인명피해는 사망, 실종, 부상으로 나뉘며 사망자는 2014년 35명을 시작으로 증가와 감소를 반복하여 가장 최근인 2019년에는 69명이다. 그리고 해양사고 발생 시 부상자는 사망자와 실종자 수보다 많으며 2014년 176명에서 매년 증가하여 2019년에는 449명이다. 마지막으로 실종자 역시 증가와 감소를 반복하고 있으며 최근 2019년은 29명으로 과거 5년 중 작은 수치를 보인다. Figure 1과 Figure 2에서 나타난 것처럼 해양사고 빈도수와 인명피해는 운항기술의 발전과 사고저감 대책에도 불구하고 증가하는 양상을 보인다.

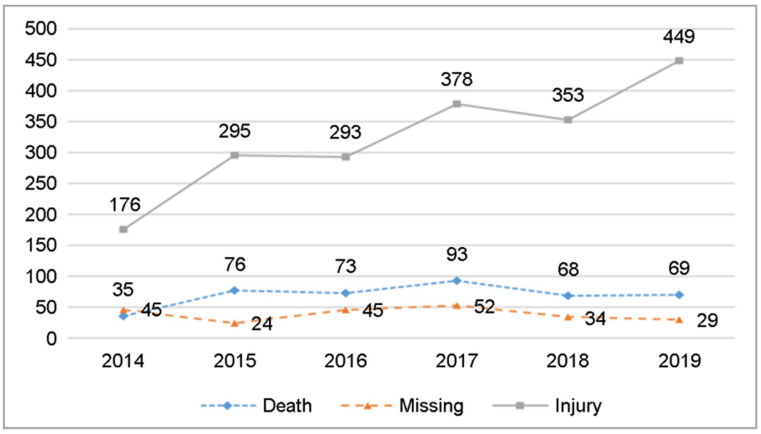

Figure 2. Fatality of maritime accident

3. Methods

본 연구에서는 사고 데이터의 불확실성을 반영한 수정된 위험도 매트릭스를 적용하여 상선사고의 사고유형별 위험도 분석을 시행하였다. 기존의 위험도 매트릭스 기법(Won and Kim, 2019)은 데이터의 평균값을 사용한다는 점에 있어 데이터의 특징을 잘 반영하는

장점을 갖고 있지만 데이터의 분포특성과 편차에 의해 큰 영향을 받는다는 한계점이 존재한다. 또한 위험도 분석에서 사용된 데이터가 부족하거나 불확실할 경우 위험도 분석의 신뢰성이 떨어진다.

본 연구의 분석에서는 기존 위험도 매트릭스와 같이 위험도 산출 주요 요인으로 사고빈도(P)와 사고피해(C)를 사용하며, 사고빈도는 전체 사고건수 대비 사고유형별 사고건수의 비율을 사용하고 사고피해는 사망자수와 실종자수, 그리고 부상자수를 Kim et al. (2013)이 제안한 변환계수(사망: 1, 실종: 0.996, 부상: 0.043)를 적용하여 변환 후 반영하였다. 이는 일반적으로 사망자 수를 인명피해로 반영하는 것과 차별화하여 실종자와 부상자를 잠재적인 인명피해로 보고 적절한 가중치를 통해 계산함으로써 잠재적인 인명피해를 구체화하고자 함이다. 위험도 분석을 위해 해양안전심판원에서 제공한 1985년부터 2019년까지의 연도별 상선사고 통계 데이터를 이용하였으며 분석대상 사고유형은 해양안전심판원에서 분류한 9가지(collision, touching, stranding, capsizing, fire · explosion, sinking, engine failure, death · injury, etc.)이다.

위험도 매트릭스는 사고빈도 확률의 평균값과 인명피해 평균값을 기준으로 4사분면으로 나누어지는데 식 (1), (2)를 이용하여 그 값을 구할 수 있으며 이는 위험도 평가 기준이 된다. 또한 이를 통해 위험도 매트릭스를 구체화 할 수 있다(Figure 3). 식 (1), (2)에서 k는 9가지 사고유형을 1~9로 구분하여 적용한 값이다.

$$\mu(\mathrm{P}) = [\sum_{k=1}^{9} \mu(P^k)]/9 \quad (1)$$

$$\mu(\mathrm{C}) = [\sum_{k=1}^{9} \mu(C^k)]/9 \quad (2)$$

즉, 위험도 매트릭스는 가로축을 사고빈도로 하고 세로축을 사고피해로 하여 평면을 네 개의 사분면으로 나누고 오른쪽 상단부터 반시계 방향으로 1, 2, 3, 4사분면이 되며 각 사분면은 다음과 같은 특징을 갖는다. 1사분면은 빈도와 피해가 평균값보다 높아 사고위험도가 높은 영역이고 2사분면은 빈도는 낮으나 피해가 높은 사고위험 중간 영역이며 3사분면은 빈도와 피해가 모두 낮아 위험도가 낮은 영역이다. 마지막으로 4사분면은 빈도는 높고 피해가 낮은 사고위험도가 중간 영역으로 분류된다. 따라서 위험도 매트릭스를 통해 위험도 평가 기준을 정하고 각 사고유형의 위험도를 빈도와 피해의 조합으로 구체적으로 표시할 수 있다. 이는 각 사고유형의 위험도를 순위로 비교하는 것에 비해 사고빈도와 사고피해로 구분하여 분석함으로써 사고유형별 사고위험의 특징을 구체적으로 파악할 수 있다는 장점을 갖는다.

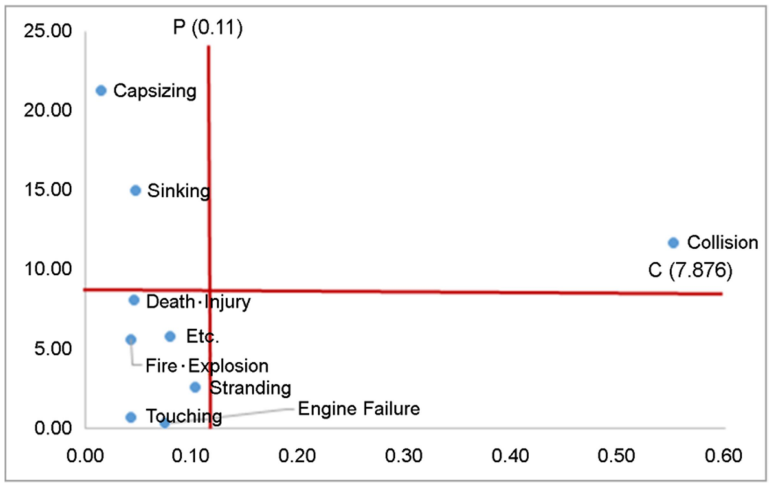

Figure 3. Risk matrix on merchant vessel

그러나 Figure 3의 위험도 매트릭스에 표시되는 각 점들은 각 사고유형의 평균을 의미하기 때문에 점들에 대한 가변성의 한계를 갖기 때문에 축에 가까운 점들에 대한 해석이 불분명하다는 단점을 갖는다. 예를 들어 2사분면에 완벽하게 속하는 점과 2사분면에 속하지만 1사분면과 3사분면의 경계에 근접한 점의 차이에 대해 설명하지 못한다. 이러한 문제점은 의사 결정자로 하여금 합리적인 의사결정을 내리는 것을 방해할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 기존의 위험도 매트릭스의 한계점을 보완하기 위해 각 사고유형 평균값의 신뢰구간을 추정하고 이를 반영한 수정된 위험도 매트릭스를 사용하여 사고유형별 위험도를 분석하였다. 이는 기존 ISA를 확장한 다양한 연구에서 적용된 바가 있으며 단순 평균값을 대신하여 신뢰구간을 사용함으로써 불확실성 문제를 보완하고자 한 것이다(Freitas, 2013). 본 연구에서 사용된 사고빈도와 사고피해의 표본수는 30개 이상이므로 정규분포를 가정하고 사고빈도와 사고피해의 95% 신뢰구간을 식 (3)을 통해 도출하였다.

$$\bar{x} \pm t_{\alpha/2}\frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)\ (\bar{x} = \text{표본평균}, s^2 = \text{표본분산}, \mathrm{n} = \text{표본수})$$

4. Results

4.1 Risk matrix with uncertainty

수정된 위험도 매트릭스는 기존 위험도 매트릭스와 동일하게 사고빈도와 사고피해 값들의 평균값을 기준으로 하여 4사분면으로 나뉘어진다. 이에 추가적으로 수정된 위험도 매트릭스에서는 각 값들의 신뢰구간을 포함하고 있는데 Figure 4에서 보이는 각 사고유형 값들에서 가로축, 세로축으로 구간값 표시가 되어있는 것이 이를 의미한다. 즉, 가로축의 구간은 사고빈도의 신뢰구간을 의미하며 세로축의 구간은 사고피해의 신뢰구간을 의미한다. 그러므로 수정된 사고 위험도 매트릭스는 기존의 위험도 매트릭스와 같은 사분면별 특징을 갖는 반면 신뢰구간이 각 축에 겹쳐지는가의 여부에 따라 해석의 열린 가능성이 존재한다. 예를 들어 수정된 위험도 매트릭스에서 기관손상과 같이 신뢰구간의 상·하한값이 3영역에 완전하게 포함되는 경우에는 3사분면의 특징을 갖는 반면 인명사상과 같이 평균값은 3영역에 속하지만 사고피해의 신뢰구간 상한값이 가로축을 넘어서 2영역에 걸쳐지는 경우 이는 명확하게 3사분면 만의 특징을 갖는다고 볼 수 없다. Table 1은 사고빈도와 사고피해의 평균값과 95% 신뢰구간을 계산한 값이며 경계를 포함하는 유형을 X로 표기하였다.

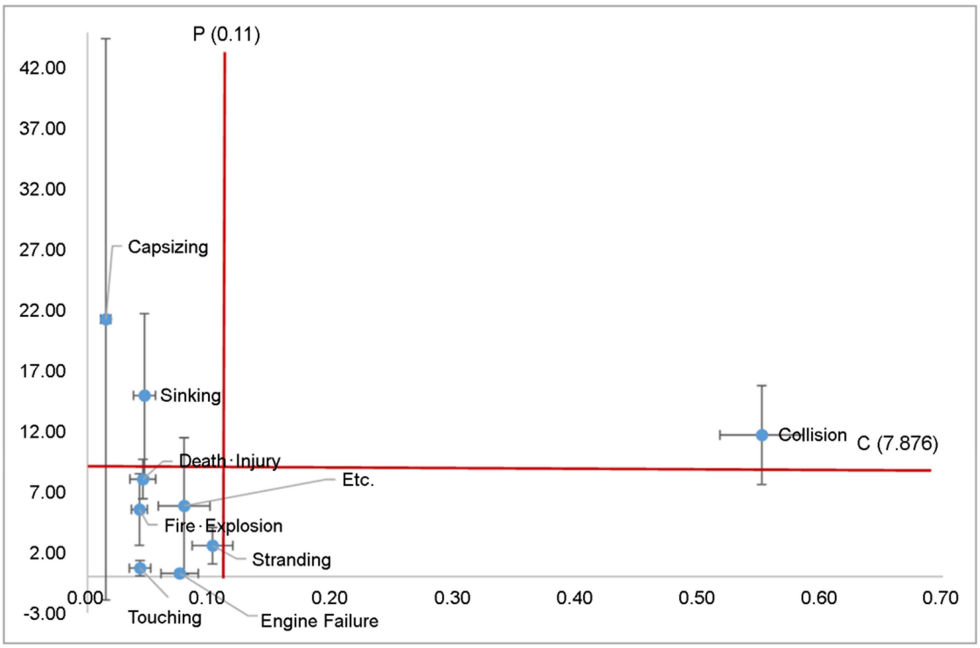

Figure 4. Risk matrix on merchant vessel with uncertainty

Table 1. Result of risk matrix with uncertainty

	P				C			
	$\mu(P^k)$	$\mu(P^k)_{sup}$	$\mu(P^k)_{inf}$	Overlap	$\mu(C^k)$	$\mu(C^k)_{sup}$	$\mu(C^k)_{inf}$	Overlap
Collision	0.552	0.586	0.517		11.703	15.792	7.614	X
Touching	0.043	0.052	0.034		0.684	1.328	0.039	
Stranding	0.102	0.119	0.086	X	2.547	4.065	1.029	
Capsizing	0.015	0.019	0.011		21.283	44.506	-1.940	X
Fire · explosion	0.042	0.049	0.036		5.546	8.510	2.582	X
Sinking	0.046	0.055	0.037		14.980	21.735	8.225	
Engine failure	0.075	0.091	0.060		0.249	0.509	-0.012	
Death · injury	0.045	0.056	0.035		8.057	9.683	6.431	X
Etc.	0.079	0.100	0.058		5.834	11.493	0.175	X
	$\mu(P) = 0.11$				$\mu(C) = 7.876$			

Table 2의 각 사고유형의 신뢰구간을 반영한 사고유형별 위험도 특징을 사분면에 따라 정리하면 다음과 같다.

- 1사분면: 1사분면에 속하는 점들은 사고빈도와 사고피해 모두가 평균값을 상회하여 위험도가 높은 사고유형으로 분류된다. 그러나 충돌(Collision)의 경우 1사분면에 속하기도 하지만 불확실성을 고려한다면 C축의 경계값에 근접함을 알 수 있다. 즉, 신뢰구간을 고려하면 충돌의 사고빈도는 신뢰구간이 (0.517, 0.586)로 충분한 1사분면 내의 값이나 사고피해의 경우 신뢰구간이 (7.614, 15.792)로 하한값이 평균값인 11.703보다 작아 신뢰구간 범위에 경계값이 포함된다. 이 경우 사고피해가 명확하게 1사분면의 특징을 갖는다고 보고 이에 따른 사고저감 대책을 제안하기에 무리가 있다. 그러나 위험과 안전에 관한 사고저감 대책 마련을 위한 분석임을 감안할 때 보수적인 기준을 적용하는 것이 합리적이라고 생각되며 이에 따라 충돌은 사고빈도와 사고피해 모두 높은 고위험 사고유형으로 분류할 수 있다.

Table 2. Summary of risk matrix with uncertainty

	1st Quadrant (+, +)	2nd Quadrant (−, +)	3rd Quadrant (−, −)	4th Quadrant (−, +)
Risk level	High	Middle	Low	Middle
Accident type	○ Collision	◈ Capsizing	◈ Capsizing	○ Collision
		◈ Death · Injury	◈ Death · Injury	◆ Stranding
		◈ Etc.	◈ Etc.	
		◈ Fire · Explosion	◈ Fire · Explosion	
		◎ Sinking	◆ Stranding	
			◇ Engine failure	
			◇ Touching	
Note	○: 1 & 4 Quadrant		◎: 2 Quadrant	
	◈: 2 & 3 Quadrant		◇: 3 Quadrant	
	◆: 3 & 4 Quadrant			

- 2사분면: 2사분면은 사고빈도는 평균값보다 작고 사고피해는 평균값보다 높은 위험도 중간수준의 특징을 나타낸다. 전복(Capsizing)과 침몰(Sinking)이 2사분면에 속하나 두 유형은 다른 특징을 보인다. 전복의 경우 사고피해의 95% 신뢰구간이 C축의 경계값에 걸쳐지므로 2사분면과 3사분면에 공통적으로 속한다고 볼 수 있다. 반면 침몰의 경우 신뢰구간을 고려하더라도 2사분면에 충분히 포함되어 온전히 2사분면의 특징을 갖는 사고유형이다. 그러므로 전복의 경우 위험도의 특징을 구분함에 있어 해석의 다양함이 존재하며 보수적 기준을 적용한다면 사고빈도는 평균값을 하회하지만 사고피해는 높은 유형이라고 분류할 수 있다.

- 3사분면: 3사분면은 사고빈도와 사고피해 모두가 평균값보다 낮은 특징을 가지며 인명사상(Death · Injury), 화재폭발(Fire · Explosion), 기타(Etc.), 좌초(Stranding), 기관손상(Engine failure), 접촉(Touching)이 해당된다. 95% 신뢰구간을 고려한 위험도 특징을 살펴보면 좌초의 경우 사고빈도의 신뢰구간 상한값이 P축이 경계를 넘어서므로 불확실성을 반영한 경우 명확히 3사분면의 특징을 갖는다고 볼 수 없으며 보수적 기준을 적용한다면 사고빈도가 높은 4사분면의 특징을 갖는다고 해석할 수 있다. 또한 인명사상과 화재폭발의 경우 이와 상반되게 사고피해의 신뢰구간 값이 C축의 경계를 넘어서므로 평균값 만으로 사고빈도가 낮다고 볼 수 없으며 안전에 대한 보수적 기준을 적용한다면 사고빈도가 높은 2사분면의 특징을 갖는다고 해석할 수 있다.

4.2 Analysis on the cause of accident

본 절에서는 해양사고의 발생원인에 집중하여 사고원인에 대한 분석결과를 제시하였다. 해양안전심판원에서 분류한 사고원인을 기준으로 사고발생건수 통계를 사용하였으며 사고원인 분류는 아래 Table 3과 같다. Table 3에서 보듯이 해양사고의 사고원인은 세 개의 대원인(Top cause)과 22개의 세부원인(Sub Cause)으로 이루어져 있다. 대원인은 운항과실(Operational Fault), 취급불량 및 결함(Fault in handle & defect), 기타(Others)로 나뉘어지며 각 대원인은 여러 개의 세부원인으로 구성되어 있다. 우선 운항과실에 속하는 세부원인(cause 1-cause 13)이 82.9%로 가장 큰 비중을 차지하며 세부원인의 내용을 볼 때 공통적으로 인적오류에 기반을 둔다. 다음으로 취급불량 및 결함으로 분류되는 세부원인(cause 14-cause 16)은 10.3%를 차지하며 기계적인 결함에서 비롯된 원인이다.

Table 3. Classification for cause of accident

Top cause	Cause No.	Sub cause	Ratio (%)
Operational fault	1	Unsuitable preparation for sailing	0.5
	2	Insufficient water survey	0.0
	3	Poor selection	0.1
	4	Inattention of confirmation of position	3.3
	5	Improper shipbuilding	1.6
	6	Poor watching	53.8
	7	Poor action on bad weather	1.6
	8	Unsuitable anchoring	0.6
	9	Not comply with the sailing rules	9.2
	10	Inattention on a director of service	1.3
	11	Failure in duty	1.8
	12	Others	0.4
	13	Incomplete work safety rules	8.7
	Sub total		82.9
Fault in handle & defect	14	Fault in handle engine	4.4
	15	Fault in electricity and fire equipment	0.9

Table 3. Classification for cause of accident (Continued)

Top cause	Cause No.	Sub cause	Ratio (%)
Fault in handle & defect	16	Fault in hull and engine	5.0
	Sub total		10.3
Others	17	Poor cargo loading	0.5
	18	Improper ship operating management	2.9
	19	Poor work and environmental condition	0.1
	20	Inadequate navigational aids	0.0
	21	Irresistible force	2.0
	22	Others	1.3
	Sub total		6.8
Total			100.0

Source: Korea Maritime Safety Tribunal (http://kmst.go. kr)

4.2.1. Main cause by accident type

사고유형별 위험 특징을 알아본 후 구체적인 사고발생의 원인을 사고발생 빈도를 기준으로 분석한 결과를 Table 4에 정리하였다. 현재 사고유형별 사고원인의 인명피해는 데이터화 되어 있지 않으므로 원인별 사고발생빈도에 의해 주요 사고발생 원인을 분석하였다. 먼저 충돌의 경우 원인 6 (Poor watching)과 원인 9 (Not comply with the sailing rules)가 전체의 77.83%를 차지하며 대분류상으로 인적오류에 의한 원인에 해당된다. 접촉은 원인 5 (Improper shipbuilding)와 원인 13 (Incomplete work safety rules)가 주요원인이며 이 역시 원인 대분류 기준에서 인적오류에 해당한다. 좌초도 사고원인 4 (Inattention of confirmation of position)과 원인 13이 주요원인이며 인적오류에 기인한 사고원인이다. 전복과 화재폭발사고의 주요원인은 원인 14 (Fault in handle engine)로 공통적이며 사고원인 대분류에서 기계적 결함에 속하는 원인이다. 침몰의 경우 원인5가 주요원인이며 원인 대분류에서 인적오류에 의한 원인이다. 기관손상에서는 주요원인인 원인 14와 원인15로 나타나고 전체의 99%를 차지하며 이는 기관손상 사고는 기계적 결함에 대부분 기인하여 발생함을 의미한다. 인명사상은 원인 12 (Etc.)에 의한 비중이 54.05%로 절반 이상을 차지하고 있으며 운항과실의 기타원인에 의함이므

Table 4. Main cause by accident type

Accident type	Main cause				Top classification
	1st cause	Ratio (%)	2nd cause	Ratio (%)	
Collision	Cause 6	59.00	Cause 9	18.83	Human error
Touching	Cause 5	42.86	Cause 13	14.29	Human error
Stranding	Cause 4	50.00	Cause 13	7.14	Human error
Capsizing	Cause 14	36.36	Cause 5, cause 17	18.18	Mechanical defect
Fire · explosion	Cause 14	21.74	Cause 16, cause 18	13.04	Mechanical defect
Sinking	Cause 5	26.32	Cause 7, cause 18	15.79	Human error
Engine failure	Cause 15	78.00	Cause 14	22.00	Mechanical defect
Death · injury	Cause 12	54.05	Cause 14	13.51	Human error
Etc.	Cause 15	24.32	Cause 12	17.57	Mechanical defect

로 인적오류에 기인한 원인에 의한 사고발생이 많음을 알 수 있다. 각 사고유형별 주요사고원인을 분석해 보면 사고유형별로 주요사고원인이 다르게 나타나고 전체적으로 종합해볼 때 기계적 결함에 의한 원인보다 인적 요소가 주요원인이 되어 발생한 사고가 많음을 알 수 있다.

4.2.2. Common cause of the accident

해양사고는 모든 다른 사고와 마찬가지로 하나의 원인에 의해 발생하는 것이 아니라 최소한 두 가지 이상의 원인이 복합적으로 결합되어 발생한다. 그러므로 이번 섹션에서는 모든 사고유형을 대상으로 공통적으로 나타나는 사고원인을 찾아봄으로써 해양사고에 반복적으로 나타나는 원인을 파악하고자 한다. 여러 유형에 반복적으로 나타나는 사고원인을 파악하여 이 원인에 집중한 저감대책을 마련한다면 이는 이 원인에 의한 사고유형에 모두 적용될 수 있으므로 종합적인 해양사고 저감대책이 될 수 있을 것이다.

Table 5는 모든 사고유형을 대상으로 해당하는 사고원인을 표시한 것이다. 최근 5년 동안(2015~2019) 발생한 사고를 대상으로 사고원인을 조사하였으며 각 사고유형에서 복수의 사고원인이 나타나는 경우 복수표기 하여 정리하였다. 원인 18 (Improper ship operating management)이 가장 많은 수의 사고유형에 공통적인 원인이 되며 충돌을 제외한 모든 사고에서 원인으로 나타났다. 선박운항을 위한 관리가 제대로 되지 않은 것이 사고를 직접적으로 유발하거나 다른 원인들과 복합적 또는 순차적으로 발생하여 대부분의 사고원인으로 작용하는 것으로 생각된다. 부적절한 선박운항관리를 보완하기 위해 전기설비 등의 주기적인 점검과 정비가 철저하게 이루어져야 하며 운항 중 기관과 냉각시스템의 점검 또한 주기적으로 행해져야 한다. 다음으로 공통적인 원인은 원인 14 (Fault in handle engine)로 이는 좌초와 인명사상사고를 제외한 모든 사고에 공통원인이 된다. 기관설비 취급불량 문제점을 해결하기 위해서는 기관에 대한 점검과 함께 노후화된 기계설비의 대책을 마련해야 하며 점검 매뉴얼을 개발하여 이중점검을 하는 등 점검 절차의 체계화가 필요하다.

이와 함께 또 다른 공통원인으로 원인5는 화재폭발과 기관손상을 제외한 모든 사고유형의 공통원인으로 나타난다. 선박의 운항에서 기상과 운항 상황에 적합한 조선기술은 가장 기본적인 것에 해당한다. 각 상황에 적합한 조선기술을 위해서는 해상에서 발생할 수 있는 다양한 상황을 전제로 반복적인 훈련과 연습이 필요하다. VR 및 자동화 시뮬레이션 등 AI를 활용한 가상현실 기술을 접목한 훈련 프로그램을 개발하여 담당자들을 체계적으로 훈련한다면 원인 5에 의해 발생하는 사고를 줄일 수 있을 것이다. 다음으로 원인 1 (Unsuitable preparation for sailing)이 6개의 사고유형에 공통적인 원인으로 나타난다. 상선의 경우 어선에 비해 많은 사람들과 화물들을 운반하는 목적으로 사용되므로 출항 전에 기상조건과 지형조건, 항로파악 등 다양한 준비가 필요하다. 출항을 위한 완벽한 준비를 위해 담당자들의 업무 분장이 정확하게 이루어져야 하며 관리당국의 철저한 점검도 함께 이루어져야 한다. 마지막으로 원인 13 역시 화재폭발, 기관손상, 인명사상을 제외한 모든 사고유형의 공통원인이 된다. 선박에서 이루어지는 모든 작업과정에 정해진 규칙과 규정을 준수할 수 있도록 선원들의 책임의식과 안전의식 고취가 무엇보다 중요하다.

상기 공통원인들 중에서 원인 1, 원인 5, 원인 13은 해양안전심판원에서 분류한 사고원인 대분류에서 운항과실에 속하는 세부원인이며 인적오류에 의한 원인이다. 공통 사고원인 역시 인적오류로 인한 사고원인이 과반수를 차지하며 사고저감을 위해 인적오류에 의해 발생할 수 있는 부분들을 집중적으로 해결할 수 있는 저감정책이 필요하다. 위에서 원인별로 언급한 보완방안을 종합하면 인간이 행하는 모든 일에는 실수가 발생할 수 있으므로 이를 최소화 하기 위해 반복적인 훈련과 모의연습, 그리고 체계적이고 주기적인 점검이 필요하다. 이를 위해 VR과 자동화 기술을 활용한 모의훈련 프로그램 개발과 이를 적용한 훈련과 연습이 필수적이다. 또한 사고예방을 위한 책임의식과 안전의식에 대한 변화를 위해 선원뿐만 아니라 육상의 운항관리자와 경영진(선주)에게도 반복적이고 지속적인 교육이 필요하다. 그리고 선박의 출항 통제기능을 강화할 필요가 있다. 즉 현재 행정관료체제에서 발생하는 통제시스템의 일원화 문제를 해결하기 위해 부서간 협조를 바탕으로 새로운 행정명령 하달체계를 구축하여 효율적인 통제시스템의 운영을 가능하게 해야 할 것으로 보인다. 마지막으로 안전시스템의 유기적인 활용을 위해 해양수산부와 해양경찰청, 그리고 해양안전심판원의 상호 협조와 대응이 공동적으로 이루어져야 한다.

또한 가장 많은 사고유형에 공통적으로 해당한 원인 14는 기계적 결함에 해당하는 사고원인으로 이로 인해 발생하는 사고를 저감하기 위해서는 기관설비에 대한 주기적인 교육과 현장점검을 통한 선박검사가 행해져야 하고 빈번하게 발생하는 어선과의 충돌사고 예방을 위한 새로운 장비의 개발 및 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

Table 5. Common cause of the accident

	Col	Tou	Str	Cap	Fir	Sin	Eng	Dea	Etc.	Total
C1	√	√	√		√	√			√	**6**
C2										0
C3	√	√	√							3
C4			√							1
C5	√	√	√	√		√		√	√	**7**
C6	√	√				√			√	4
C7	√	√	√			√		√		5
C8	√		√						√	3
C9	√									1
C10					√			√	√	3
C11	√	√	√		√				√	5
C12					√			√	√	3
C13	√	√	√	√		√			√	**6**
C14	√	√		√	√	√	√		√	**7**
C15		√			√		√	√	√	5
C16					√				√	2
C17				√	√				√	3
C18		√	√	√	√	√	√	√	√	**8**
C19										0
C20		√						√		2
C21	√	√	√			√			√	5
C22	√				√			√	√	4

(C: cause, ex: C1=cause 1, Col=Collision, Tou=Touching, Str=Stranding, Cap=Capsizing, Fire=Fire · explosion, Sin=Sinking, Eng=Engine failure, Dea=Death · injury)

5. Conclusion

해양사고 저감대책 수립을 위해 정부 행정부처와 지방자치단체는 다양한 정책들을 제안하고 집행하고 있으나 해양사고 발생 규모는 줄어들지 않고 있다. 사고 저감대책의 실효성을 높이기 위해서는 사고에 대한 정량적인 위험도 분석이 선행되어야 하며 이를 바탕으로 위험도 기준을 확립하는 것이 필요하다. 또한 사고원인에 대한 종합적인 분석을 통해 주요 사고원인에 집중하여 사고 저감대책의 실효성을 높이는 것이 중요하다.

본 연구에서는 상선사고를 대상으로 과거 35년간 사고 통계 데이터를 사용하여 사고유형별로 사고 위험도를 분석하였다. 우선 기존의 위험도 매트릭스 방법에서 데이터의 불확실성을 보완한 새로운 위험도 매트릭스를 적용하여 위험도 분석을 시행하고 위험도 기준을 설정하였다. 사고 위험도가 가장 높은 충돌사고는 위험도 매트릭스의 1사분면에 위치함과 동시에 그 신뢰구간이 4사분면에 걸쳐지지만 보수적 기준을 적용하여 사고빈도와 사고피해가 가장 높은 사고유형으로 분류된다. 그리고 사고빈도와 사고피해가 낮은 특징을 보이는 3사분면에 위치한 사고유형 중에서 기관손상과 접촉만 순수하게 3사분면의 특징을 갖고 전복과 인명사상 기타, 화재폭발

은 사고피해의 95% 신뢰구간의 상한값이 2사분면에 속하기 때문에 안전에 대한 보수적 기준을 적용할 때 사고빈도는 낮으나 사고피해가 높아 사고 위험도가 중간에 속하는 사고유형으로 분석된다. 또한 좌초의 경우 95% 신뢰구간을 반영한 사고빈도가 경계값을 넘어서므로 사고피해는 낮으나 사고빈도가 높은 4사분면의 사고 위험도 중간의 영역에 속한다. 이처럼 데이터의 불확실성을 고려한 위험도 매트릭스는 기존의 위험도 매트릭스에 비해 데이터의 변동성과 불확실성에 보다 민감하게 적용되고 해석되기 때문에 사고유형의 위험도 특징을 구체화할 수 있는 장점을 갖는다.

사고원인에 대한 종합적인 분석에서는 사고유형별로 주요원인과 전체 사고를 대상으로 사고유형의 공통적인 원인을 파악하였다. 사고유형별 주요원인과 전체 사고에 대한 공통 사고원인 모두가 세부요인은 다르게 나타나지만 사고원인의 대분류 기준에서 인적오류에 의해 발생하는 원인으로 나타났다. 따라서 우선적으로 인적오류를 수정, 보완할 수 있는 사고저감 대책을 구체화하여 시행하는 것이 필요하다. 선원들의 안전의식과 책임의식을 고취시키기 위한 다양한 방법의 연구, 개발이 필요하며 VR 및 시뮬레이션 기술을 접목한 새로운 교육, 훈련 프로그램의 개발을 통해 모의훈련과 연습을 시행하는 것도 사고저감 대책의 실효성을 높일 수 있는 방안이 될 것이다. 이와 병행하여 선박시설에 대한 주기적인 점검과 철저한 모니터링을 통한 체계적인 안전점검 시스템의 구축이 필요하다. 이러한 사고저감 대책의 실효성을 높이기 위해서는 행정부처와 여러 기관과의 긴밀한 상호협조를 통해 안전점검 시스템과 교육훈련 프로그램이 유기적으로 운영되도록 해야 할 것이다.

본 연구에서는 데이터의 불확실성 문제에 대해 통계적 방법으로 접근하였으며 사고원인에 대한 분석에서 사고빈도에 근거하여 주요 사고 원인을 파악하였고 각 원인에 대한 사고저감 대책을 정리하였다. 향후 연구에서는 퍼지이론이나 확률론적 방법을 통해 불확실성을 효과적으로 보완할 수 있는 방법을 적용해 볼 수 있을 것이다. 그리고 해양사고는 여러 가지 사고원인들이 복합적으로 결합하거나 순차적으로 발생하여 나타나므로 사고원인들 간의 관계를 다각도로 분석하는 것 또한 향후 연구에서 진행되어야 할 부분이다.

Acknowledgement

This work was funded by grants from National Research Foundation of Korea (NRF-2018S1A5A2A01030722).

References

Cho, H.K., Park, B.S., Kang, D.H. and Kim, S.S., "The Main Factor and Counterplan for Maritime Accidents in Korea", *Journal of Fisheries and Maritime Sciences Education*, 29(3), 746-759, 2017.

Freitas, A.L.P., "Assessing the quality of intercity road transportation of passengers: An exploratory study in Brazil", *Transportation Research Part A*, 49, 379-392, 2013.

Hong, S.K. and Bae, Y.G., "Effect of Maritime Officers' Situation Awareness on Ship Collision Accidents in Korean Coast", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 38(6), 565-574, 2019.

Jang, J.H., Kang, M.J. and Lee, D.C., "A Study on the Reason of Marine Accidents-focused on Human Factors". *Proceedings of the ESK Conference*, 495-501, 2009.

Jung, C.H., "A Study on the Improvement of Safety by Accidents Analysis of Fishing Vessels", *Journal of Fisheries and Maritime Sciences Education*, 30(1), 176-186, 2018.

Kim, D.J. and Kwak, S.Y., "Evaluation of Human Factors in Ship Accidents in the Domestic Sea", *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 30(1), 87-98, 2011.

Kim, D.J., "A Probabilistic Approach to Forecasting and Evaluating Risk of Fishing Vessel Accidents in Korea", *Journal of the Korean*

Society of Maritime Environment & Safety, 24(3), 302-311, 2018.

Kim, W.S., Lee, J.H., Kim, S.J., Kim, H.S. and Lee, Y.W., "A basic Study on Control Factor for the Marine Casualities of Fishing Vessel in Korea", *Journal of Korea Society for Fishery Technology*, Vol.49, No.1, 40-50, 2013.

Korea Maritime Safety Tribunal Home Page, http://kmst.go.kr (retreived Jan 15, 2021)

Markowski, A.S., Mannan, M.S., Kotynia A. and Siuta D., "Uncertainty aspect in process safety analysis", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 23, 446-454, 2010.

Sun, M. and Zheng, Z., "Vessel Traffic Risk Assessment Based on Uncertainty Analysis in the Risk Matrix", *Algorithms*, 11(5), 60-72, 2018.

Won, Y.K. and Kim, D.J., "A Study on Risk Analysis and Selection of Main Factors of Fishing Vessel Accidents through Risk Matrix", *Journal of the Korean Society of Maritime Environment & Safety*, 25(2), 139-150, 2019.

Author listings

Yoo Kyung Won: charmhanai@gmail.com
Highest degree: PhD, Department of International Trade, Pusan National University
Position title: Lecturer, Department of Shipping Management, Korea Maritime & Ocean University University
Areas of interest: Risk Analysis, Probabilistic Risk Assessment, Shipping and Logistics

Dong Jin Kim: ssskdj@hanmail.net
Highest degree: PhD, Department of Management Science, New York State University
Position title: Professor, Department of International Trade, Pusan National University
Areas of interest: Risk Analysis, Multi-Objective Decision Making, Logistics