

Probabilistic Casualty Forecasting for Maritime Vessel Accident Risk Analysis

확률적 사상자 예측을 통한 해양선박사고의 위험성 분석

Dong Jin Kim¹

김동진¹

¹ Professor, Department of International Trade, Pusan National University, Korea,
ssskdj@hanmail.net

Abstract: Accidents are happening more frequently despite government safety initiatives to lower the incidence of marine accidents and the ensuing human casualties. Though, fishing vessels have the highest accident rates among others, few studies on the risk analysis of accidents have been performed. Usually a risk of an accident is calculated by multiplying frequency and consequence to produce an overall risk score. The resulting risk value can be commonly used in ranking and prioritizing risks among different accidents but in many real situations the score alone is not enough for identifying characteristics of accidents. The purpose of the study is to propose a new probabilistic approach using conditional probability and Bayesian theory in an effort to overcome the limitation of existing risk calculation method. The probabilities for fatality and injury of different accident types are calculated and consequently decision makers can easily take risk mitigation measures in an order of probabilistic priority. The probabilistic risk values were produced using maritime accident data from Korean Maritime Safety Tribunal (KMST) over the past five years (2018 to 2022). Safety accident type has the highest probabilities in both fatality and injury with corresponding values of 2.37% and 4.43%, respectively. The overall risk probabilities of fatality and injury are calculated as 3.25% and 8.52%, respectively and the probability of casualty is 11.78%. With the probabilistic method decision makers can easily verify characteristics of each accident type which would help establish more practical and efficient mitigation policy to reduce maritime accident in both frequency and fatality(injury). Also the suggested technique can be combined with other risk analysis methods to enhance the risk calculation process.

Keywords: Conditional Probability, Risk Analysis, Maritime Accident, Fatality, Injury

요약: 해양사고 발생건수 및 사상자를 줄이기 위한 정부의 안전대책에도 불구하고 사고는 계속 증가하고 있다. 특히, 어선의 사고비율은 가장 높지만 사고 위험성에 대한 연구는 미진한 편이다. 일반적으로 사고 위험도는 사고 빈도수와 사고 피해의 곱으로 계산되어지며 상이한 사고들에 대한 우선순위를 정하는데 주로 사용된다. 그러나 이러한 위험도 숫자만으로는 사고의 특성을 파악하기가 쉽지 않다. 본 연구의 목적은 기존의 사고 위험성 계산의 한계를 보완하기 위하여 조건부확률과 Bayesian 이론을 이용하여 사고 시 사망자와 부상자가 발생할 확률을 계산하는 확률적 접근법을 제시하는 것이다. 이를 통하여 의사결정자는 확률이 큰 사고 순으로 용이하게 사고저감 대책을 수립할 수 있다. 중앙안전심판원에서 제공되는 최근 5년간(2018-2022년)의 해양사고 데이터를 이용하여 사고확률을 계산한 결과 안전사고가 사망자와 부상자에서 각각 2.37%와 4.43%로 가장 높은 확률을 차지하였다. 또한 모든 사고종류를 고려한 사

Received: September 26, 2023; 1st Review Result: October 27, 2023; 2nd Review Result: December 01, 2023
Accepted: December 26, 2023

망자 확률과 부상자 확률은 각각 3.25%와 8.52%였으며 결과적으로 사상자 확률은 11.78%로 나타났다. 본 연구에서 제안한 확률적 방법은 의사결정자가 사고종류별 특성을 쉽게 파악하고 사고건수와 사상자를 줄일 수 있는 실질적이고 효과적인 정책을 수립에 도움이 될 것이다. 또한 다른 위험도 분석방법과 결합시 위험도 계산 과정을 향상시킬 수 있을 것이다.

핵심어: 조건부확률, 위험도 분석, 해양사고, 사망자, 부상자

1. 서론

우리나라는 수출입 물량의 약 99%가 컨테이너선박과 다양한 화물선에 의한 해상운송으로 이루어지고 있다[1]. 2022년 현재 세계 7위의 부산항[2] 및 국내 주요 항만(인천항, 울산항, 광양항 등)의 역할은 점차 증대될 것이며 특히 선박의 대형화 및 고속화에 의한 해상운송의 효율성이 더욱 중요해질 것으로 예상된다. 그러나 이러한 효율성 이면에는 증가하는 선박의 운항횟수 및 다양한 선박들의 동시다발적인 운항에 의한 해양사고와 이로 인한 인명피해 역시 지속적으로 발생하고 있다. 중앙해양안전심판원[3]의 사고 통계자료에 따르면 최근 5년간(2018-2022년)의 해양사고 중 65.4%가 어선에서 발생하였고 인명피해 역시 어선사고가 80.6%를 차지하여 사고 위험성이 가장 높은 것으로 집계되었다.

우리나라에서는 해양사고의 대부분이 어선에서 발생하고 있으나 이러한 사고에 대한 위험도 연구가 충분하지 않은 실정이다. 해양사고 방지를 위해서는 일차적으로 사고의 위험성에 대한 객관적인 예측이 이루어져야하고 이를 통하여 다양한 사고에 대한 적절한 사고감소 대책이 수립되고 실행될 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 어선사고를 대상으로 사고의 위험성 분석을 시행하고자 한다. 사고의 위험도는 사고의 빈도수 및 사고의 피해라는 두 개 변수의 함수로 나타내어지며[4] 일반적으로 두 변수를 곱하여 위험도를 표시하는 방식이 사용되고 있다.

$$\text{사고 위험도} = \text{사고 빈도수} \times \text{사고 피해} \quad (1)$$

상기 식 (1)에 근거한 기존의 위험도 산정연구에서는 사고 데이터의 사고 발생수와 피해(사망자수, 부상자수, 피해척수)와 같은 빈도를 이용하여 사고 위험수준의 상대적 순위를 정하고 있다. 그러나 이러한 위험도 분석결과는 다양한 사고의 우선순위를 결정하는 데에는 도움을 줄 수 있으나 결과로 나타나는 위험도 숫자로는 사고 위험성의 특성을 제대로 파악하기 어려운 단점이 있어 사고의 위험도를 단순한 숫자가 아닌 확률로 표현하는 것이 실질적인 의사결정에 도움이 된다[5]. 따라서 본 연구에서는 상기 식(1)의 한계점을 보완하기 위하여 사고 피해의 위험수준을 확률로 결정하고자 한다. 이를 통하여 의사결정자는 피해확률이 큰 사고종류에 대해서 피해를 저감할 수 있는 우선적이고 실질적인 사고감소 대책을 수립할 수 있을 것이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 연구와 관련된 선행연구를 고찰하고 3장에서는 2018년부터 2022년까지의 해양사고를 기반으로 사고의 피해에 대한 확률적 위험도 분석을 시행한다. 이를 위하여 사고 데이터를 의사결정나무로 변환하여 사고 피해에 대응되는 확률을 계산하고 해양사고에 대한 위험도를 수치화하여 분석하고자

한다. 4장에서는 분석결과를 요약하고 향후 연구방향을 모색한다.

2. 선행연구

International Maritime Organization(IMO)은 해양사고로 발생하는 인명피해 및 해양환경위험에 대한 위험도를 정량적으로 계산하도록 권장하고 있으며[6], Cause-Consequence Analysis, Event Tree Analysis(ETA), Failure Modes and Effects Analysis(FMEA), Fault Tree Analysis(FTA), Hazard and Operability(HAZOP) Analysis, What/If checklists 등과 같은 다양한 분석 기법의 적용 방안을 소개하고 있다[7].

IMO에서 제안하는 방법 중 본 연구와 관련된 확률적인 기법으로는 FTA와 ETA가 있다. FTA는 특정사고의 초기 요인들을 선정하고 이들 요인들의 영향을 받는 상위 요인들 간의 관계를 and 또는 or의 논리로 구성한 후 사고가 발생할 때까지의 모든 관련 요인들 간의 상호관계를 확률로 표시하는 체계적인 방식이다. 반면 ETA는 FTA의 특정사고를 초기사고로 하여 사고의 피해가 발생할 때까지 사고가 전개되는 과정을 확률로 표현하는 의사결정나무의 특수한 형태로 구성된다. ETA는 사고 전개 과정과 사고 피해를 동시에 산정할 수 있기 때문에 사고의 위험도를 Frequency-Number of Fatalities curve(F-N curve)의 형태로 나타낸다. F-N curve는 가로축에 사망자수의 분포를 나타내고 세로축에는 사고 빈도를 표시하여 사망자와 빈도의 관계를 계단모양의 그래프로 형상화하게 된다.

본 연구와 관련된 FTA 연구로는 Köse et al.[8]이 어선 선박사고가 발생하는 다양한 요인들에 대한 확률을 구하여 최종적으로 사고확률을 산정하였다. 이를 위하여 인적 요인, 장비 고장 그리고 주변의 환경적 요인들을 주요 요인으로 선정하였다. Kim et al.[9]는 경계소홀에 의한 어선 충돌사고의 확률을 구하기 위하여 인적 요인, 기계적 요인, 물질 및 환경적 요인 그리고 관리적 요인들을 주요 요인들로 선정하였다. ETA 관련 연구로는 Cho et al.[10]은 우리나라에서 위험물질 운송 시 발생하는 해상사고를 운항중의 사고(9개의 사고 전개 시나리오)와 정박 중 발생한 비 운항중의 사고(6개의 사고 전개 시나리오)로 분류하여 ETA를 구성한 후 F-N curve를 이용하여 위험성을 분석하였다. 폭발, 질식, 침몰 등의 사고는 관련 안전수칙 및 절차를 준수하면 사고발생의 주요 요인인 인적 오류를 상당부분 개선 할 수 있고 이를 통해 사고의 위험도가 감소됨을 보였다. Kim and Kwak[11]은 ETA 기법으로 컨테이너선박의 초기사고 후 사상자 발생까지의 사고 전개 과정을 13개의 세부 사고 시나리오로 작성하고 FN curve를 이용하여 위험수준을 산정하였다.

사고 데이터가 부족하거나 사용할 수 없는 경우에는 $(n \times n)$ risk matrix가 주로 사용되고 있으며 가로축과 세로축에 각각 가능한 사고 빈도수 범위와 사고 피해 범위를 설정하고 위험도 평가자가 빈도수와 피해정도를 결정하여 사고의 위험도를 계산하게 된다. Won and Kim[12]는 어선사고의 사고 데이터를 이용하여 사고유형별로 상대적 위험도를 계산하고 Risk matrix에 표시하였다. 그리고 사고원인을 운항 요인, 장비 요인, 기타 요인으로 세부적으로 구분하고 사고원인별로 상대적 위험도를 계산하여 Risk matrix에 표시하였다. 화재폭발, 기관손상을 제외한 모든 사고 유형에서 가장 위험한 요인은 인적 오류인 운항과실로 나타났으며 어선사고의 위험성을 낮추기 위해서는 사고유형별, 사고원인별 차별화된 대책의 수립이 필요함을 강조하였다. Risk matrix는 사용의 단순성과 편리성으로 해양사고의 위험성 분석에 많이 사용되고 있으나 가용 데이터의 부재 시 평가자의

주관에 의존하기 때문에 위험도 결과의 불확실성이 존재한다. 이러한 불확실성을 줄이기 위해 Risk matrix를 효과적으로 구성하기 위한 연구[13], 사고 빈도수 범위 및 피해 범위가 적절하지 못하게 구성되어 분석결과의 불확실성을 파악하지 못하는 상황에 대한 연구[14] 그리고 사고에 대한 경험 또는 인식정도에 따라 빈도수 및 피해의 선정이 평가자마다 다른 경우[15] 등에 대한 연구가 진행되고 있다.

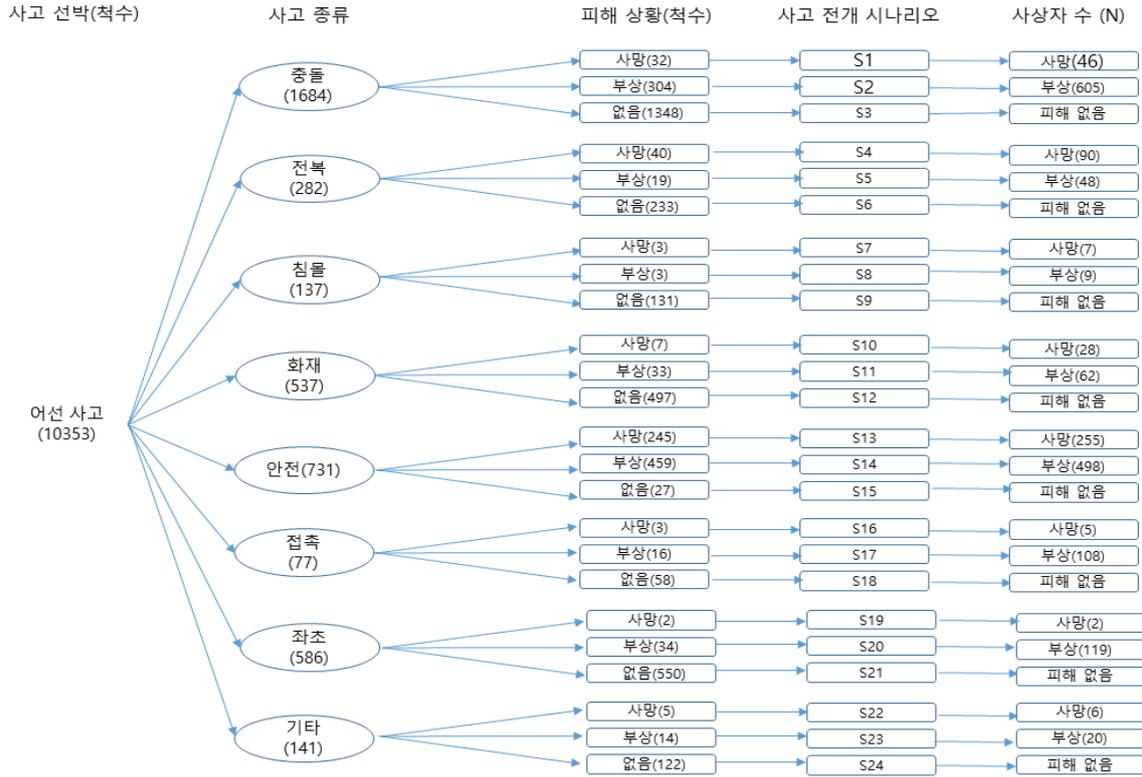
이 외에도 무작위로 발생하는 사건들에 대해 마코프 체인을 이용한 확률적 기법이 유용하게 사용되며[16] 해양사고의 위험성 예측에도 사용되고 있다. Jang[17]은 마코프 체인의 전이행렬모델을 이용하여 해양사고의 빈도수를 예측하였고, Shahrzad et al.[18]은 마코프 체인 몬테칼로 시뮬레이션기법(Markov chain Monte Carlo)으로 해양사고를 확률적으로 평가 하였다.

한편, 사고감소 대책관련 연구로는 Cho et. al[19]는 과거 20년간의 해양사고 데이터를 이용하여 사고원인을 파악하였다. 사고유형으로는 기관손상이 가장 빈도가 높았고 사고원인으로는 운항과실이 가장 위험한 사고요인으로 분석되었다. 사고저감 대책으로는 안전교육, 기관정비 강화 그리고 선박자율운항시스템의 도입 등을 제안하였다. Jung[20]의 연구에서는 원칙 미 준수, 운항과실, 정비점검 부적절 등이 주요 사고요인으로 선정되었으며 해결책으로 인적자원관리, 선박안전관리, 어선 설비개선 등을 제시하였다. Kang et al.[21]은 사고가 발생한 선박을 어선과 비 어선으로 구분하여 충돌과 기관손상 등 사고 빈도가 높은 사고유형에 대해서 구체적인 사고원인 및 대책을 강구하였다. 충돌사고의 원인은 경계소홀과 범규 미 준수이고 기관손상은 정비 및 점검불량이었다. 이외에도 다양한 사고원인들에 대한 연구가 이루어졌다(Jang et al.[22], Kim[23]).

3. 해양사고 데이터를 이용한 인명피해의 확률적 예측

3.1 어선사고 현황분석

중앙해양안전심판원에서 제공되는 해양사고 데이터는 사고 빈도수와 피해(사상자, 선박의 파손정도)를 표로 제공하고 있다. 어선사고는 과거 5년간(2018-2022년) 총 10,353건이 발생하였으며 매년 증가하는 추세를 보인다. 해양사고의 종류는 총 15가지(충돌, 전복, 침몰, 화재, 안전사고, 접촉, 좌초, 기관손상, 부유물 감김, 운항저해, 해양오염, 침수, 조타장치손상, 추진축계 손상, 기타)로 구분되며 이 중 인명피해(사망자 및 부상자)가 발생한 사고는 8가지 종류(충돌, 전복, 침몰, 화재, 안전사고, 접촉, 좌초, 기타)이다. 본 연구에서는 인명피해가 발생한 사고종류별로 분석하였으며 어선사고 빈도수와 인명피해에 대한 2차원 표의 데이터를 아래 [그림 1]의 의사결정나무로 변환하여 사고 전개 과정을 일목요연하게 나타내었다. 충돌사고의 경우 사고 빈도수는 1위이지만 사망자 발생척수 및 사망자수는 3위를 차지한 반면 안전사고는 사고 빈도수가 2위이지만 사상자(사망자와 부상자) 발생척수가 가장 많았다. 좌초사고는 사고 빈도수는 3위이고 사망자 발생척수와 사망자수는 최하위인 반면에 부상자 발생척수와 부상자수는 3위를 차지하여 사고 시 인명피해는 부상자가 많은 것으로 나타났다. 이렇듯 사고 빈도수와 사고 피해(사고척수 및 사상자수)는 일반적으로 양의 상관관계가 아니기 때문에([표1]참조) 사고종류를 고려하지 않고 전체적인 사고 빈도수나 인명피해를 경감시키는 사고경감 대책은 실질적인 사고저감 효과를 기대하기가 어렵다. 어선사고의 빈도수, 사고척수, 사상자 발생 순위들을 아래 [표 1]에 나타내었다.



[그림 1] 어선사고 데이터를 이용한 의사결정나무

[Fig. 1] Construction of Decision Tree with Fishing Vessel Accidents

[표 1] 사고종류별 빈도수 및 인명피해 순위

[Table 1] Frequency and Consequence for Accident Types

사고 종류	빈도 순위 (척)	사망자 발생	부상자 발생	피해발생 없음
		순위 (척/수)	순위 (척/수)	순위 (빈도)
충돌	1	3/3	2/1	1
안전	2	1/1	1/2	8
좌초	3	8/8	3/3	2
화재	4	4/4	4/5	3
전복	5	2/2	5/6	4
기타	6	5/6	7/7	6
침몰	7	6/5	8/8	5
접촉	8	6/7	6/4	7

상기 [표 1] 에서 보듯이 사고 빈도수 및 부상자수는 충돌이 1위이며 사망자수는 3위에 해당한다. 그러나 전체 발생건수 1684건 중에서 피해가 없는 사고가 1348건으로 충돌사고가 발생하면 82%는 인명피해가 없는 것으로 나타났다. 전복은 빈도수는 5위이나 사망자 발생척수 및 사망자수는 2위에 해당하여 사망자 피해가 안전사고 다음으로 큰 사고종류로 분석된다. 안전사고는 발생건수는 2위에 해당하나 사상자(사망자 및 부상자)

발생척수에서 가장 위험하고 부상자 역시 2위에 해당하여 사고가 발생하면 사상자에 의한 인명피해가 가장 큰 사고종류로 해석할 수 있다. 반면 빈도수가 낮은 기타, 침몰, 접촉 등의 사고는 인명피해 순위역시 빈도수가 낮게 나타났다.

3.2 인명피해 발생확률 예측을 통한 사고종류별 위험도 순위 결정

일반적으로 사고는 어떤 일정한 조건에서만 발생하는 것이 아니기 때문에 사고의 빈도수에만 의존하여 사고의 위험성을 분석하게 되면 사고의 특징을 파악하기가 어렵다[24]. [표 1]에서 나타나듯이 사고 빈도수와 실질적인 사상자수는 비례하지 않기 때문에 빈도수나 사상자수를 분리해서 해석하는 것보다는 이들을 결합하여 사고 위험성을 확률로 표시하는 것이 더욱 현실적인 데이터 분석이 될 것이다. 따라서 [그림 1]의 의사결정나무와 조건부확률의 개념을 이용하여 사고종류별 사상자 발생 확률을 구하고 위험수준을 파악하였다. 사고종류 i 에 의한 사망자 발생확률은 다음의 조건부확률로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(\text{사망자}(i)) &= P(\text{사고종류}(i) \cap \text{사망자}(i)) \\ &= P(\text{사고종류}(i)) \cdot P(\text{사망자}(i)|\text{사고종류}(i)) \end{aligned} \quad (2)$$

상기 식 (2)를 이용하여 사고종류를 모두 고려한 사망자 발생확률을

$$\begin{aligned} P(\text{사망자}) &= \sum P(\text{사고종류}(i) \cap \text{사망자}(i)) \\ &= \sum P(\text{사고종류}(i)) \cdot P(\text{사망자}(i)|\text{사고종류}(i)) \end{aligned} \quad (3)$$

로 구할 수 있다. 또한 부상자 발생확률도 다음 식 (4)와 (5)에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} P(\text{부상자}(i)) &= P(\text{사고종류}(i) \cap \text{부상자}(i)) \\ &= P(\text{사고종류}(i)) \cdot P(\text{부상자}(i)|\text{사고종류}(i)) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P(\text{부상자}) &= \sum P(\text{사고종류}(i) \cap \text{부상자}(i)) \\ &= \sum P(\text{사고종류}(i)) \cdot P(\text{부상자}(i)|\text{사고종류}(i)) \end{aligned} \quad (5)$$

반면, 인명피해가 발생하지 않을 확률은

$$P(\text{사상자 없음}) = 1 - [P(\text{사망자}) + P(\text{부상자})] \quad (6)$$

로 구해진다. 상기 식 (2)–(6)에 의해 구해진 사망자수, 부상자수 그리고 인명피해가 없을 확률을 [표 2]에 나타내었다.

[표 2] 사고종류별 사망자, 부상자, 인명피해 없을 확률

[Table 2] Probabilities of Accident Types for Fatality, Injury, and No Casualties

사고종류 피해확률	충돌	전복	침몰	화재	안전	접촉	좌초	기타
P(사망자 i)	0.0031 (3)	0.0039 (2)	0.0003 (6)	0.0007 (4)	0.0237 (1)	0.0003 (6)	0.0001 (8)	0.0005 (5)
P(부상자 i)	0.0294 (2)	0.0018 (5)	0.0003 (8)	0.0032 (4)	0.0443 (1)	0.0016 (6)	0.0033 (3)	0.0014 (7)
P(사상자 i)	0.0325 (2)	0.0047 (3)	0.0006 (8)	0.0039 (4)	0.0457 (1)	0.0019 (6)	0.0034 (5)	0.0019 (6)
P(사망자)	0.03255							
P(부상자)	0.08520							
P(사상자)	0.1178							
P(사상자 없음)	0.8823							

[표 2]에서 보듯이 사고종류별로 보면 사상자가 발생할 확률이 가장 높은 사고는 안전사고, 충돌, 전복의 순으로 나타났으며 어선사고 발생 시 사망자가 발생할 확률은 3.25%, 부상자가 발생할 확률은 8.52%, 그리고 사상자가 발생할 확률은 11.78%로 나타났다. 또한 인명피해가 없을 확률은 88.23%로 나타났다. 즉 100건의 사고가 나면 11.78건에서 사상자가 발생한다고 추정 할 수 있어 인명피해의 위험성은 11.78%로 예상된다. 반면 사상자가 발생 했을 시 특정 사고종류 i에서 발생 될 확률은 Bayesian이론을 이용한 조건부확률을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P(\text{사고종류}(i)|\text{사망자}) = P(\text{사고종류}(i) \cap \text{사망자}(i))/P(\text{사망자}) \tag{7}$$

$$P(\text{사고종류}(i)|\text{부상자}) = P(\text{사고종류}(i) \cap \text{부상자}(i))/P(\text{부상자}) \tag{8}$$

상기 식(7)과 (8)을 이용하여 사상자가 사고종류 i에서 발생할 확률을 다음 [표 3] 에 나타내었다.

[표 3] 인명피해가 사고종류 i에서 발생할 확률

[Table 3] Probability of Accident Type i given the Casualty

사고종류 피해확률	충돌	전복	침몰	화재	안전	접촉	좌초	기타
P(사고종류 i 사망자)	0.0950 (3)	0.1187 (2)	0.0090 (6)	0.0208 (4)	0.7270 (1)	0.0090 (6)	0.0060 (8)	0.0148 (5)
P(사고종류 i 부상자)	0.3447 (2)	0.0216 (5)	0.0034 (8)	0.0374 (4)	0.5204 (1)	0.0181 (6)	0.0386 (3)	0.0159 (7)

[표 3]에서 보듯이 사망자가 발생하였을 경우 안전사고에서 비롯될 가능성은 72%로 가장 높고 좌초에서 발생했을 가능성은 거의 없음을 알 수 있다. 또한 부상자 역시 안전사고에서 발생했을 가능성이 52%로 가장 높게 나타났으며 침몰의 경우에는 부상자가 나타날 가능성이 가장 낮게 예측되었다. 의사결정자가 단순히 사고 데이터에 근거하여 사고 빈도수, 또는 인명피해를 일반적으로 감소시키려는 노력보다는 상기 분석결과를 이용함으로써 사고종류별 인명피해 발생확률을 실현 가능한 범위 내에서 줄일 수 있는 실질적인 사고경감 대책의 마련에 도움이 될 것이다.

4. 결론

해양사고는 인명피해 뿐만 아니라 경제적인 피해도 야기할 수 있으며 나아가서는 국가 안전수준에 부정적인 영향을 미친다[12]. 해양사고가 발생하면 필연적으로 인적, 물적, 그리고 환경적 손실이 따르게 된다. 그러나 육상사고와 달리 선박에 의한 해양사고는 자연적/지리적/시간적으로 즉각적인 대처 및 사후관리가 어렵기 때문에 단순한 사고일지라도 중대사고로 이어지는 경우가 많으며 이로 인해 중상 또는 사망과 같은 대형 참사로 이어질 수 있는 위험을 내포하고 있다. 정부의 다양한 정책에도 불구하고 해양사고는 지속적으로 증가하고 있으며 사고에 따른 인명피해도 증감의 양상을 보이고 있다. 해양수산부는 2023년 어선안전조업 시행계획(2023년)에서 어선사고로 인한 인명피해를 줄이기 위한 시행계획을 적극적으로 추진하겠다고 발표하였고 이를 위하여 과거 5년간의 평균 인명피해인 87.8명을 2023년에는 79명으로 약 9%(8.8명) 감축하는 목표를 정하였다. 그러나 이러한 정책이 효과적으로 실행되기 위해서는 단순히 인명피해숫자의 감소보다는 사고발생 시 인명피해확률을 예측하고 피해확률을 감소시킬 수 있도록 목표를 설정해야 할 것이다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 보다 효율적이고 실질적인 사고경감 대책의 수립과 이의 실행에 도움이 되도록 어선사고에 대한 확률적 위험도 기법을 제안하였다. 특히 사고 빈도수와 사고 피해의 곱으로 계산되는 기존의 위험도 분석의 한계점을 보완하기 위하여 확률적 예측을 통해 사고종류별 인명피해를 정량적으로 표현하였으며 사고위험의 순위를 결정하였다. 이를 위하여 첫째, 사고 빈도수와 인명피해에 대한 사고 데이터를 조합하여 의사결정나무의 형태로 변환하였으며 둘째, 조건부확률을 이용하여 사고종류별 사상자 발생확률을 산정하고 이들 결과를 종합한 최종 위험도 확률을 계산하였다. 또한 Bayesian이론을 적용하여 사고 발생 시 사상자가 발생할 가능성이 높은 사고종류를 확률적으로 예측하였다. 본 연구의 주요 내용은 다음과 같다. 총 14개의 해양사고 중 사상자가 발생한 8개 사고종류에 대한 분석결과 안전사고가 사망자와 부상자에서 각각 2.37%와 4.43%로 가장 높은 확률을 차지하였다. 종합적인 사고 위험도는 사망자 확률과 부상자 확률이 각각 3.25%와 8.52%였으며 사상자 확률은 11.78%로 나타났다.

일반적으로 사고 빈도수와 사상자수는 비례하지 않기 때문에 빈도수나 사상자수를 분리해서 해석하는 방법으로는 사고의 특성 및 실질적인 위험성을 파악하기가 어려운 경우가 종종 발생한다. 확률적 기법을 적용한 연구결과로 사고유형별 사상자 발생확률과 종합적인 위험확률을 구함으로써 기존의 위험도 산정 방식의 한계를 보완하고자 하였다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 인명피해의 예측뿐 아니라 선박들의 운행 시 발생하는 다양한 사고 피해손실(경제적, 환경적)에 대한 확률적인 예측이 가능할 것이다. 둘째, 사고의 피해정도를 확률적으로 예측함으로써 사고유형별 특성과악 및 객관적인

사고 위험도 평가에 도움이 될 것으로 판단된다. 이를 이용하여 사고유형별 인명피해 발생확률을 실현 가능한 범위 내에서 줄일 수 있는 현실적인 대안 수립에 도움이 될 것이다. 마지막으로 기존의 사고 위험도 기법에 본 연구의 확률적 기법을 적용함으로써 향상된 분석 결과의 도출에 도움이 될 것으로 판단된다.

본 연구의 한계점 및 향후 방향은 다음과 같다. 본 연구에서는 사고종류의 위험도 계산에 중점을 두었으나 향후 선박별 위험성 우선순위 산정 및 선박종류를 모두 포함하는 종합적인 위험도 계산으로의 확장이 필요할 것이다. 또한 분석에 사용한 사고 데이터는 사고종류에 따라 적게는 77척 많게는 1684척의 사고가 발생하여 사상자 확률 도출시 데이터의 불균형으로 인한 결과의 불확실성이 존재한다. 향후 사고 데이터의 축적을 통한 보다 정확한 확률 값 도출이 필요하며 사고 데이터가 충분하지 않은 경우 사고확률의 가능한 범위를 나타내는 확률분포를 이용하여 결과의 불확실성을 보완하는 연구가 수행되어야 한다. 그리고 해양사고 발생의 주요 요인들에 대한 발생확률을 산정하고 이러한 요인들을 줄이기 위한 정책연구로 진행되어야 할 것이다.

5. 감사의글

이 논문은 부산대학교 인문·사회계열 연구활성화 지원사업(2023)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] <https://blog.naver.com/ampmall/223252308683>, Nov 1 (2023)
- [2] <https://gall.dcinside.com/board/view/?id=city&no=2128983>, Apr 4 (2023)
- [3] Korea Maritime Safety Tribunal, Statistics of marine accidents, (2023)
Available from: <https://www.kmst.go.kr/eng/>
- [4] T. Aven, On how to define, understand and describe risk, Reliability Engineering & System Safety, (2010), Vol.95, No.6, pp.623-631.
DOI: 10.1016/j.ress.2010.01.011
- [5] N. Fenton, M. Neil, Risk assessment and decision analysis with Bayesian network, CRC Press, (2013)
- [6] International Maritime Organization, Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, (2018)
- [7] S. J. Cho, D. J. Kim, A Study on accidents of hazardous materials (oil and HNS) maritime transportation in major domestic ports by Formal Safety Assessment, Journal of the Korean Society of Safety, (2013), Vol.28, No.8, pp.57-65.
DOI: 10.14346/JKOSOS.2013.28.8.057
- [8] E. KÖSE, A. C. Dincer, H. F. Durukanoglu, Risk assessment of fishing vessels, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, (1998), Vol.22, pp.417-428.
- [9] S. H. Kim, H. S. Kim, I. K. Kang, W. S. Kim, An analysis on maritime casualties of fishing vessel by FTA method, Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, (2017), Vol.53, No.4, pp.430-436.
DOI: 10.3796/KSFT.2017.53.4.430
- [10] S. J. Cho, D. J. Kim, K. S. Choi, Hazardous and Noxious Substances(HNS) risk assessment and accident prevention measures on domestic marine transportation, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, (2013), Vol.19, No.2, pp.145-154.
DOI: 10.7837/kosomes.2013.19.2.145

- [11] D. J. Kim, S. Y. Kwak, Risk analysis of container ship accidents and risk mitigation measures, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, (2016), Vol.22, No.3, pp.259-267.
DOI: 10.7837/kosomes.2016.22.3.259
- [12] Y. K. Won, D. J. Kim, Risk analysis and selection of the main factors in fishing vessel accidents through a risk matrix, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, (2020), Vol.25, No.2, pp.139-150.
DOI: 10.7837/kosomes.2019.25.2.139
- [13] M. Elmontsri, Review of the strengths and weaknesses of risk matrices. *Journal of Risk Analysis and Crisis Response*, (2014), Vol.4, No.1, pp.49-57.
DOI: 10.2991/jrarc.2014.4.1.6
- [14] C. Peace, The risk matrix: Uncertain results?, *Policy and practice in health and safety*, (2017), Vol.15. No.2, pp.1-14.
DOI: 10.1080/14773996.2017.1348571
- [15] D. N. Veritas, *Marine risk assessment, offshore technology Report, 2001/063*, HSE books, (2002)
- [16] X. Zheng, M. Liu, An overview of accident forecasting methodologies, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, (2009), Vol.22, No.4, pp.484-491.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2009.03.005>
- [17] E. J. Jang, A study on the prediction of the frequency of marine accidents using markov chain, *Journal of Korean Maritime Police Science*, (2020), Vol.10, No.3, pp.145-170.
DOI: 10.30887/jkmpps.2020.10.3.145
- [18] F. R. Shahrzad, X. Min, K. M. Ng, Accident risk assessment in marine transportation via Markov modelling and Markov Chain Monte Carlo simulation, *Ocean Engineering*, (2014), Vol.91, pp.363-370.
DOI: 10.1016/j.oceaneng.2014.09.029
- [19] H. K. Cho, B. S. Park, D. H. Kang, S. S. Kim, The main factor and counterplan for marine accidents in Korea, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, (2017), Vol.29, No.3, pp.746-756.
DOI: 10.13000/JFMSE.2017.29.3.746
- [20] C. H. Jung, A study on the improvement of safety by accidents analysis of fishing vessels, *Journal of Fisheries and Maritime Sciences Education*, (2018), Vol.30, No.1, pp.176-186.
DOI: 10.13000/JFMSE.2018.30.1.176
- [21] I. K. Kang, H. S. Kim, J. C. Kim, B. S. Park, S. J. Ham, I. H. Oh, Study on the maritime casualties in Korea, *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, (2013), Vol.49, No.1, pp.29-39.
DOI: 10.3796/KSFT.2013.49.1.029
- [22] J. H. Jang, M. J. Kang, D. C. Lee, A Study on the reason of marine accidents—focused on human factors, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, (2009), pp.495-501.
- [23] Y. S. Kim, Principal component analysis on marine casualties occurred at Korean littoral Sea in recent 5 Years, *Journal of Fisheries and Marine Science Education*, (2016), Vol.28, No.2, pp.465-472.
DOI: 10.13000/JFMSE.2016.28.2.465
- [24] J. S. Hong, M. J. Kim, Statistical analysis and its application of bicycle accidents, *Journal of the Korean Data & Information Science Society*, (2010), Vol.21, No.6, pp.1081-1090.
UCI: G704-000605.2010.21.6.037