

# 위험도 매트릭스를 이용한 어선의 사고 위험도 분석과 사고 주요 요인 도출에 관한 연구

원유경\* · 김동진\*\*

\*, \*\* 부산대학교 무역학부

## Risk Analysis and Selection of the Main Factors in Fishing Vessel Accidents Through a Risk Matrix

Yoo-Kyung WON\* · Dong-Jin KIM\*\*†

\*, \*\* Pusan National University, 63 beon-gil 2, Busandaehak-ro, Geumjeong-gu, 46241 Busan, Korea

**요 약 :** 우리나라 해역에서 발생하는 해양사고 중 어선사고가 약 70%를 차지하고 있음에도 불구하고, 대부분의 연구는 해양사고 전체를 대상으로 하고 있으며 단순히 사고 발생률에 대한 분석과 사고 발생 빈도를 줄이기 위한 대책 마련에 중점을 두고 있다. 그러나 효과적인 사고 저감 대책의 수립과 이를 실행하기 위해서는 정량적인 사고 위험도 예측 및 평가가 반드시 선행되어야 한다. 본 연구에서는 해양안전심판원의 최근 5년간의 어선사고 통계에 근거하여 9가지 사고유형에 대한 위험도를 연도별로 비교하였다. 또한 현재 우리나라의 경우 객관적인 위험도 평가기준이 없다는 점을 고려하여 이에 대한 대안으로 사고 유형별 사고 빈도와 사고 피해의 조합을 4사분면 상에 표시하는 2차원 사고 빈도-피해 매트릭스를 제안하고 이를 이용하여 사고 빈도와 사고 피해의 영향을 쉽게 확인할 수 있도록 하였다. 이러한 과정을 통한 위험도 평가 결과는 저감대책을 수립하고 안전대책을 마련하는 정책 제안자로 하여금 보다 다양하고 현실적인 사고 저감 대책을 마련하는데 도움을 줄 것이다. 또한 위험도 평가 매트릭스를 이용하여 각 사고유형에 대한 인적요인을 포함한 사고 원인의 상대적인 빈도 및 결과를 비교함으로써 사고 유형별로 원인에 따른 차별화된 위험 저감 대책을 수립할 수 있다.

**핵심용어 :** 위험도 분석, 위험도 매트릭스, 빈도-피해, 위험도 경감정책, 어선사고

**Abstract :** Though, fishing vessel accidents account for 70% of all maritime accidents in Korean waters, most research has focused on identifying causes and developing mitigation policies in an attempt to reduce this rate. However, predicting and evaluating accident risk needs to be done before the implementation of such reduction measures. For this reasons, we have performed a risk analysis to calculate the risk of accidents and propose a risk criteria matrix with 4 quadrants, within one of which forecasted risk is plotted for the relative comparison of risks. For this research, we considered 9 types of fishing vessel accidents as reported by Korea Maritime Safety Tribunal (KMST). Given that no risk evaluation criteria have been established in Korea, we established a two-dimensional frequency-consequence grid consisting of four quadrants into which paired frequency and consequence for each type of accident are presented. With the simple structure of the evaluation model, one can easily verify the effect of frequency and consequence on the resulting risk within each quadrant. Consequently, these risk evaluation results will help a decision maker employ more realistic risk mitigation measures for accident types situated in different quadrants. As an application of the risk evaluation matrix, accident types were further analyzed using accident causes including human error (factor) and appropriate risk reduction options may be established by comparing the relative frequency and consequence of each accident cause.

**Key Words :** Risk Analysis, Risk Matrix, Frequency-Consequence, Risk Mitigation Measures, Fishing Vessel Accidents

\* First Author : charmhanai@gmail.com

† Corresponding Author : ssskdj@hanmail.net, 051-510-2548

## 1. 서론

해양안전심판원의 해양사고 통계에 따르면 우리나라의 최근 5년 동안 해양사고 발생건수와 인명피해는 꾸준히 증가하는 추세를 보인다. 2017년 우리나라 해양사고는 전해 대비 11% 정도 증가한 2,582건이며 사고로 인한 인명피해도 부상자와 실종자를 포함하여 523명으로 2016년 대비 27% 증가하였다. 해양사고는 타 산업에서 발생하는 사고와 마찬가지로 인명피해와 경제적 피해를 야기하며 국가의 안전수준을 저하시켜 국가경쟁력에 부정적인 영향을 미친다. 특히 해양사고 중 어선사고는 전체 해양사고의 약 70%를 차지하며 전체 해양사고 발생 경향에 큰 영향을 미치고 있다.

이에 대한 국가 정책으로 해양수산부는 2011년 ‘어선 해난사고 예방대책 추진계획’을 시작으로 2013년에는 ‘어업관리 역량강화 종합대책’을 통해 2017년까지 연근해 어선사고와 불법어업행위를 각각 30%씩 감축한다는 목표를 제시했다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2018). 이에 따라 해양수산부는 어업종사자 관리체계를 향상시키고 어업관리 인프라를 확충하여 어선사고 감축을 위한 노력을 해왔으며 중장기적인 정책추진과 제도적 미비점을 해소하기 위한 관련 법령의 제정도 함께 추진하였다.

또한 많은 연구자들에 의해 해양사고와 어선사고에 대한 연구가 진행되고 있다. Cho et al.(2017)은 20년간 연근해 운항선박과 어선사고 자료를 이용하여 사고유형별 발생빈도를 기반으로 사고의 위험수준을 파악하고 있으며, Kang et al.(2013)은 어선과 비어선을 구분하여 사고유형중 빈도가 가장 높은 유형인 충돌과 기관손상에 대한 원인과 대책을 고찰하였다. 그리고 Kim(2016)은 주성분 분석을 통해 사고 요인들간의 상관성과 주요원인을 분석하고 있다. 이러한 국가차원의 대책수립과 연구자들의 연구에도 불구하고 앞선 통계에서와 같이 어선사고는 여전히 증가하는 추세를 보이고 있다.

어선사고 감축을 위한 효율적인 저감대책의 수립과 실행을 위해서는 어선사고의 위험도 분석이 선행되어야 한다. 그리고 이를 기반으로 사고의 원인과 사고 유형에 맞는 적합한 저감대책이 수립되어야 한다. 그러나 우리나라에서는 앞서 언급한 것처럼 해양사고의 대부분을 어선사고가 차지하고 있음에도 불구하고 어선사고에 대한 구체적이고 정량적인 위험도 분석이 충분하지 않으며 위험도 평가를 위한 객관적인 평가기준이 마련되어 있지 않다. 그리고 기존 연구에서는 주로 사고발생 빈도만을 기준으로 위험수준을 평가하고 있으며 사고원인에 대한 구체적인 분석이 부족하다.

그러므로 본 연구에서는 최근 5년간 발생한 우리나라 어선사고 통계를 근거로 사고유형을 9가지로 분류하여 사고빈

도와 피해를 함께 반영하여 사고 위험도를 정량적으로 평가하고자 한다. 또한 사고 유형별 사고원인에 대한 위험도를 산정하여, 유형별 주요 사고원인을 선정하고 전체 사고유형에서 공통적으로 나타나는 사고원인을 찾고자 한다. 이를 위하여 사고빈도와 사고피해를 이용한 위험도 매트릭스를 구성하여 사고 유형별 위험도를 상대 비교하고 사고유형별로 주요 사고원인을 분석하였다. 이는 향후 저감대책을 수립하고 안전대책을 제안하는 의사결정자가 사고 유형별로 적합한 정책을 마련하는데 있어 우선적으로 고려할 사고원인을 선정하는 데 도움이 될 것이다. 연구의 범위에 있어 위험도 산정의 사고피해는 인명피해로 한정하였으며, 사망자와 함께 부상자와 실종자들을 포함하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서 우리나라 해양사고와 어선사고 현황을 정리하고 3장에서는 어선사고의 위험도 분석에 관한 선행연구를 요약한다. 4장에서는 해양안전심판원의 데이터를 이용하여 사고 유형별 위험도를 계산하고, 5장에서는 각 유형별 사고 원인에 대한 위험도 분석 및 평가를 진행한다. 마지막 6장에서는 연구를 종합하며 연구의 한계점 및 향후 방향에 대해서 논의하도록 한다.

## 2. 어선사고 현황

Fig. 1~2에서와 같이 우리나라의 최근 5년간 해양사고는 정부의 정책에도 불구하고 꾸준히 증가하고 있으며 특히 어선사고의 비율이 약 70%를 차지하며 높은 수준을 보이고 있다. 해양사고는 2013년 1,093건에서 2017년 2,582건으로 최근 5년 동안 2배 이상 증가하였다. 해양사고는 여객선, 화물선, 유조선, 예인선, 수상레저기구, 어선에 의한 사고로 구성되는데 이 중에서 어선사고의 단독 사고건수가 나머지 비어선의 사고건수의 총합을 넘어서며 최근 5년의 통계에 따르면 평균 67.72%를 차지한다.

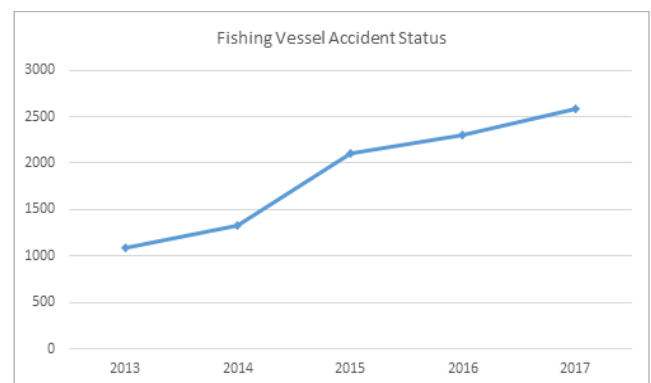


Fig. 1. Fishing vessel accident status.

위험도 매트릭스를 이용한 어선의 사고 위험도 분석과 사고 주요 요인 도출에 관한 연구

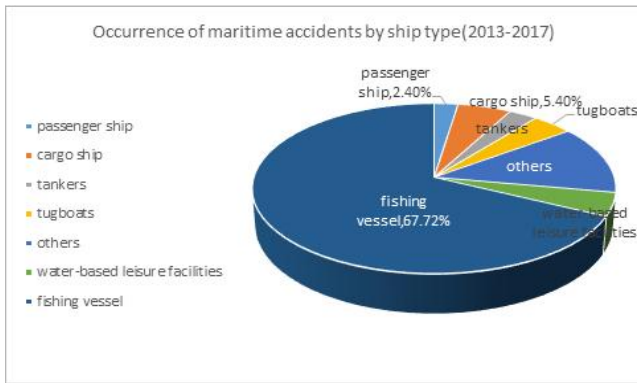


Fig. 2. Occurrence of maritime accidents by ship type.

Fig. 3~5는 해양안전심판원에서 집계한 2013년부터 2017년까지 어선사고의 사고유형별 사고 발생건수와 사망자수의 통계자료를 근거로 구성한 것이다. Fig. 3에서 보듯이 어선사고 빈도수는 9가지 사고 유형 중 기관손상에 의해 발생한 사고가 2,025건(39.31%)으로 가장 많으며 기타사고 1,229건(23.86%), 충돌 682건(13.24%), 좌초 420건(8.15%), 화재폭발 356건(6.91%), 인명사상 182건(3.53%), 전복 148건(2.87%), 침몰 68건(2.87%), 접촉 41건(0.80%) 순으로 나타난다. 또한 Fig. 4는 사고유형별 사고빈도수를 연도별로 구분하여 나타낸 것으로 기관손상과 기타 사고에 의한 사고빈도수는 2013년 이래로 꾸준히 증가하는 추세이며, 나머지 사고유형의 사고발생 빈도는 연도별로 증감 현상을 보이고 있다.

Fig. 5는 어선사고의 사고유형별 사망자수를 나타낸 것이다. Fig. 5에 표시된 사망자수는 사고발생시 사망자수와 잠재적 사망자수를 합한 최종 사망자수를 의미한다. 여기서 잠재적 사망자수는 부상자수와 실종자수에 Kim et al.(2013)의 변환계수(사망: 1, 행방불명: 0.996, 부상: 0.043)를 반영하여 계산한 값이다. 어선사고의 사고유형별 사망자수는 인명사상이 223.83명(42.52%)으로 가장 많으며 충돌은 122.25명(23.22%), 침몰65.06명(12.36%), 전복 64.43명(12.24%), 화재폭발 38.63명(7.34%), 좌초 8.18명(1.55%), 접촉 2.29명(0.43%), 기타 1.56명(0.30%), 기관손상 0.22명(0.04%) 순으로 나타난다.

이와 같이 어선사고 발생현황에서 사고 발생건수와 사고 사망자수를 종합하여 살펴보면, 전체 사고 유형 중 사고발생 빈도는 기관손상이 가장 큰 비중을 차지하는 반면 이로 인한 사망자수는 전체 사고 유형 중 가장 작은 비중을 차지하는 것을 알 수 있다. 또한 기타사고 역시 사고발생 건수는 두 번째로 많은 편이나 이로 인한 사망자수는 두 번째로 작은 편이다. 이와는 대조적으로 인명사상의 경우 사고 빈도수는 작은 편이나 사고발생시 사망자수가 가장 많아 사고유형에 따라 사고발생 건수와 사망자수는 각각 다르게 나타남을 확

인할 수 있다. 따라서 사고 위험도 분석 및 이를 통한 저감 대책 수립 시 사고 유형별 발생 건수와 피해 정도를 동시에 고려하여야 함을 알 수 있다.

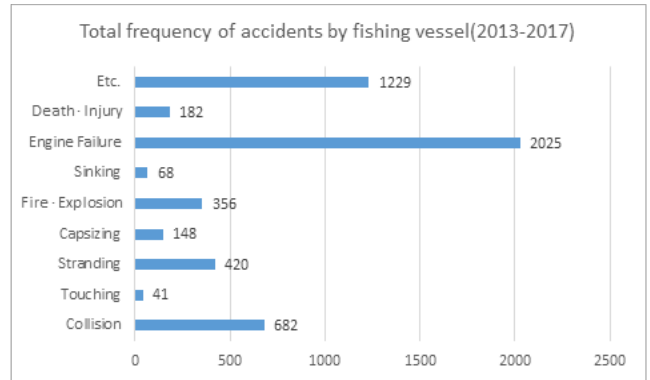


Fig. 3. Frequency of accidents by type of fishing vessel.

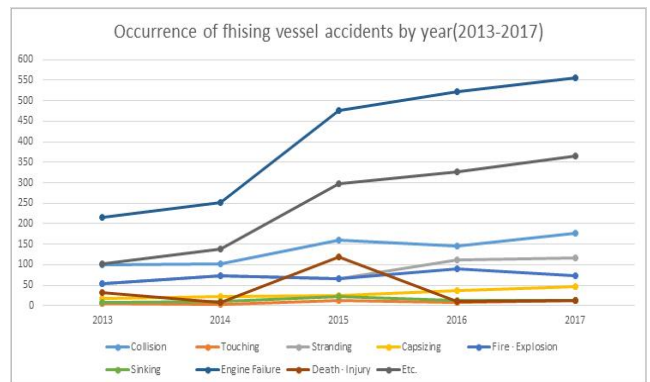


Fig. 4. Occurrence of fishing vessel accidents by year (2013-2017).

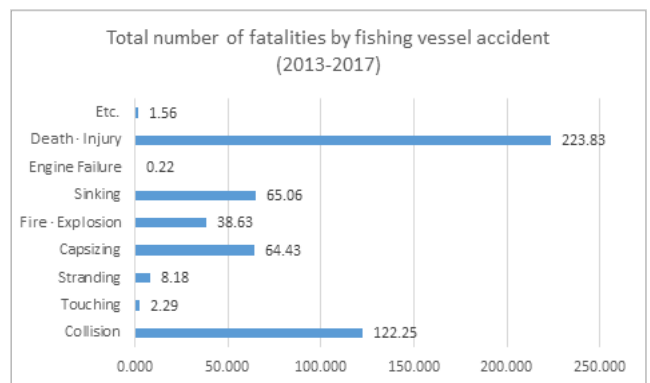


Fig. 5. Total number of fatalities by fishing vessel (2013-2017).

### 3. 선행연구

본 절에서는 기존의 연구를 요약하고 종합하였다. Cho et al.(2017)은 1996년부터 20년간의 우리나라 연근해 운항 선박과 어선의 선종 별 해양사고의 구성을 분석하고 사고유형별 구성 비율에 따라 원인을 살펴보았다. 또한 해양사고를 원인, 시간, 사고발생자의 인적 특성에 따라 분석한 후 이를 바탕으로 저감 대책을 제안하였다. Jung(2018)은 과거 10년간의 데이터를 근거로 한 분석을 통해 사고발생의 주요 원인을 운항규칙 미 준수와 운항과실로 보고 있으며 이에 대한 대책으로 인적 요인관리와 해양안전시스템의 강화, 어선 관련 시설의 개선 필요성을 주장하였다. Kang et al.(2013)은 해양사고 데이터를 이용하여 최근 우리나라 해양사고 현황을 어선과 비 어선으로 나누어 파악하고 가장 발생빈도가 높은 사고유형인 충돌과 기관손상에 대한 원인과 대책에 대하여 고찰하였다.

Kim et al.(2013)은 우리나라 어선 해양사고 제어요소에 관한 기초연구에서 위험발생 요인을 인명 피해 위험도 정량화 방법을 이용하여 분석하였다. 이 연구에서 어선선원의 사망, 실종 저감의 관점에서 상대적으로 위험도가 높은 어선해양사고 유형과 어선 충돌사고를 분석하고 제어요소들을 고찰하였다. Park et al.(2018)은 소형어선의 해양사고를 줄이기 위한 방안에 대한 연구에서 소형어선의 해양사고 발생 원인을 분석하고 저감 대책을 제안하고 있으며 일본의 사례도 함께 제시하였다. Kim et al.(2017)은 기존연구들이 초점을 맞추었던 인적요인을 보다 세분화하여 사고에 내재된 간접적인 원인들을 정량적으로 파악하였다. 이를 바탕으로 4M(Man, Machine, Media, Management) 재해분석 방법을 결합하고 결합수 분석(FTA, Fault Tree Analysis)을 통해 간접적인 원인들에 의한 사고발생 확률을 계산하여 어선사고 예방문제를 다른 시각으로 분석하였다. Wang et al.(2005)은 Marine Accident Investigation Branch의 데이터를 이용하여 어선사고의 발생 현황과 어선의 크기에 따른 사고발생 현황을 살펴보고 사고유형에 따라 원인을 분석하였다.

Kim(2016)은 주성분 분석을 통해 사고 요인들의 상관성 및 주요 해양사고의 원인을 분석하고 해양사고의 주된 원인은 기관실 및 조타실 관련 인적요인임을 주장하였다. Jang et al.(2009)은 선박사고 요인 중 가장 높은 비율을 차지하는 인적요인에 집중하여 인적요소의 정확한 분류체계를 조사, 분석하였다. 항해사와 도선사를 대상으로 한 설문조사를 바탕으로 직급에 따른 해양사고 저감 방안에 대한 인식 차이를 알아보았으며, 그 결과 공통적으로 근무태만과 안전의식불감으로 나타났다.

Pillay et al.(2004)은 어선사고 안전성 평가 논문에서 어선사고 데이터는 불확실성이 동반되어 일반적인 확률론적 평가의 사용이 적합하지 않다고 주장했다. 그리고 퍼지집합이론과 지연시간분석을 사용한 모형을 제안하고 그 결과에 대해 분석하였다. Kim(2018)은 우리나라의 어선사고 위험도 분석에서 사고발생의 빈도와 피해자수에 대한 불확실성을 고려한 어선사고의 위험도를 예측하여 분석하였다.

기존의 연구를 종합해 볼 때, 대부분의 연구에서 사고발생 빈도만을 기준으로 사고유형과 선박종류별 사고발생 위험수준의 상대적 순위를 정하고 있으며 사고원인의 파악에 있어서도 원인에 따른 사고발생 빈도를 기준으로 정하고 있다. 즉, 사고유형별로 사고빈도와 사고피해를 함께 고려한 분석이 부족하며 사고유형에 따른 사고원인을 분석한 연구가 충분하지 않다. 그러므로 본 연구에서는 사고유형별로 사고빈도와 사고피해를 동시에 고려한 위험도 분석을 제안함과 동시에 사고유형별로 주요사고 원인을 분석하여 대표 사고원인을 선정하였다.

### 4. 사고 유형별 위험도 분석

#### 4.1 사고 유형별 평균 위험도 분석

위험도 분석에 있어서 사고의 위험도는 두 가지 주요 요인인 사고 발생 확률(빈도)과 사고 피해(강도)의 조합으로 나타낸다.

$$R = f(P, C) \quad (1)$$

식(1)에서  $R$ 은 사고의 위험도,  $P$ 는 사고빈도(확률), 그리고  $C$ 는 사고피해(인명피해, 환경피해, 경제적 피해 등)을 나타낸다. 본 연구에서는 사고빈도를 전체 사고 건수 대비 사고유형별 비율을 사용하였고 사고피해는 사망자수를 사용하였으며 사고로 인한 실종자 및 부상자는 Kim et al.(2013)의 변환계수(사망: 1, 행방불명: 0.996, 부상: 0.043)를 이용하여 대응되는 사망자수로 변환하였다. 그리고 분석근거 자료는 해양안전심판원의 5년간(2013년-2017년)의 사고 통계데이터를 이용하였으며, 사고 유형은 9가지(충돌, 접촉, 좌초, 전복, 화재, 침몰, 기관손상, 인명사상, 기타)로 분류하여 유형별 평균 사고 빈도와 인명피해를 계산하고 이들의 곱을 이용하여 사고 유형별 위험도를 Fig. 6에 표시하였다. Fig. 6에서 가로축은 위험도를, 세로축은 사고유형을 의미한다. 어선사고 위험도 분석에서 충돌과 인명사상, 그리고 화재폭발이 평균 위험도인 0.695보다 높게 나타났으며 다음으로 전복, 침몰,

좌초 순으로 위험도가 높은 것으로 나타났다. 특히 충돌에 의한 사고위험도는 차 순위인 인명사상에 비해 약 2.5배 높은 위험도를 보인다.

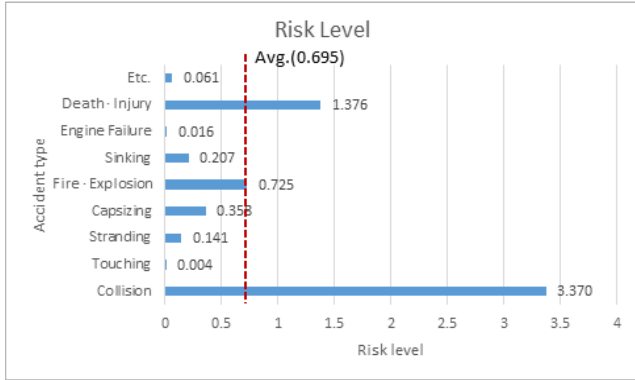


Fig. 6. Fishing vessel accident risk level.

#### 4.2 연도별 사고유형별 위험도 분석

Fig. 7~15는 각 사고유형에 대한 위험도의 연도별 현황을 나타낸다. 가로축은 위험도를, 세로축은 연도를 나타낸다. 사고유형별 위험도는 연도에 따라 증가와 감소를 반복하고 있으며 일정한 방향성은 보이지 않는 것으로 나타났다. 충돌, 좌초의 경우 2013년도에 높았던 위험도가 감소했다가 다시 2016년부터 증가하는 경향을 보이며, 2017년도의 위험도는 다시 평균 위험도 수준을 상회하는 것으로 나타났다. 전복의 경우 위험도는 2013년부터 5년 동안 꾸준히 증가하여 2015년 이후의 위험도는 평균 위험도 보다 높은 수준을 보인다. 반면 화재폭발, 침몰, 기관손상, 인명사상의 경우 과거에 비하여 최근으로 올수록 사고 위험도가 낮아지며 최근 2년 동안의 위험도는 평균 위험도 수준보다 낮은 것으로 나타났다. 침몰의 경우 5년 동안 대부분 위험도가 낮았으나 2014년도에 급격하게 증가하였다.

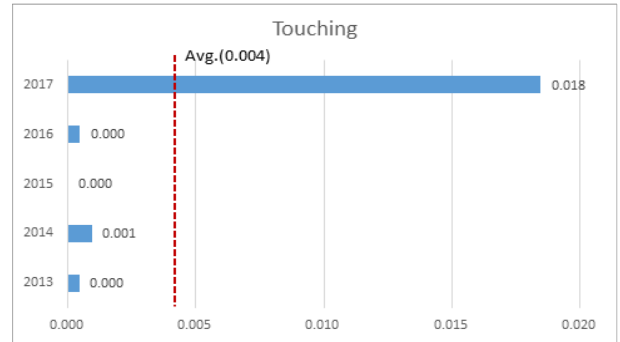


Fig. 8. Touching.

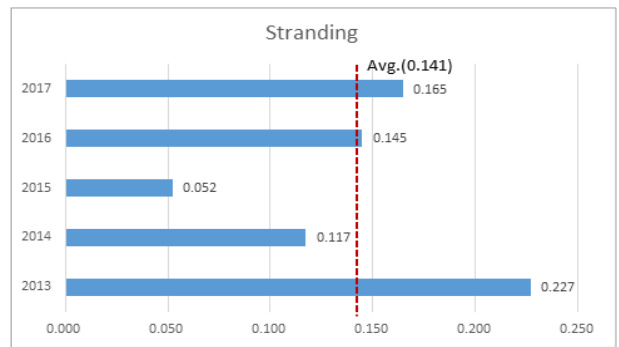


Fig. 9. Stranding.

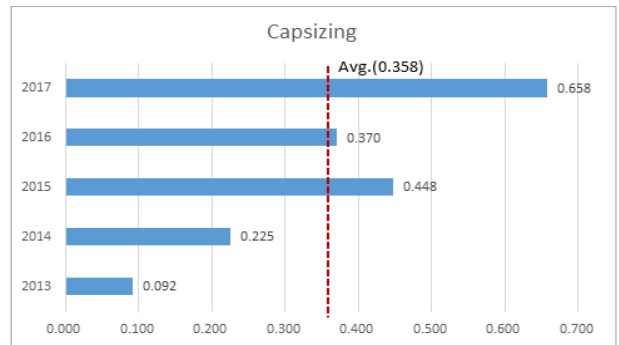


Fig. 10. Capsizing.

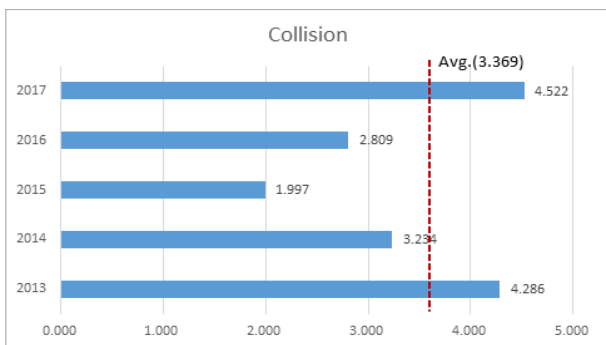


Fig. 7. Collision.

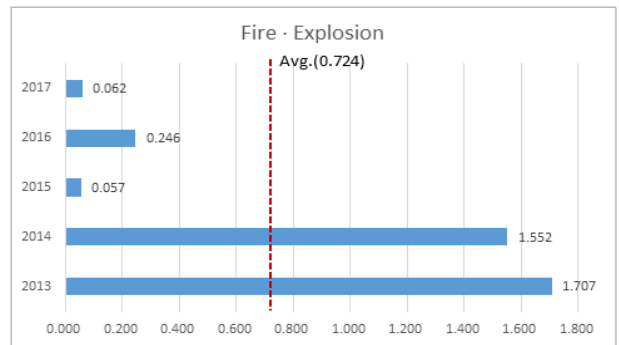


Fig. 11. Fire · explosion.

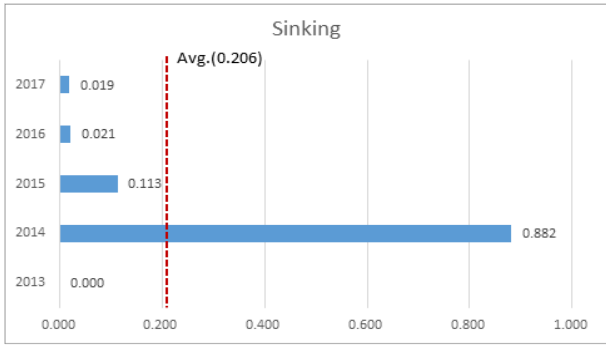


Fig. 12. Sinking.

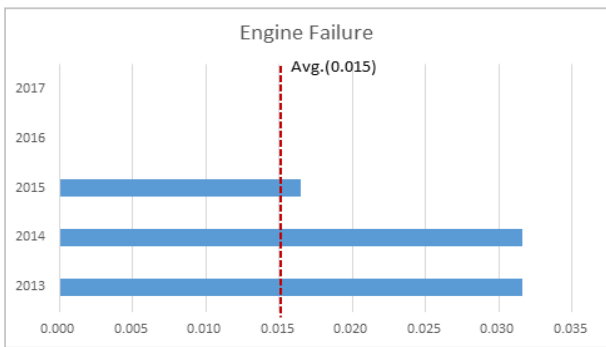


Fig. 13. Engine failure.

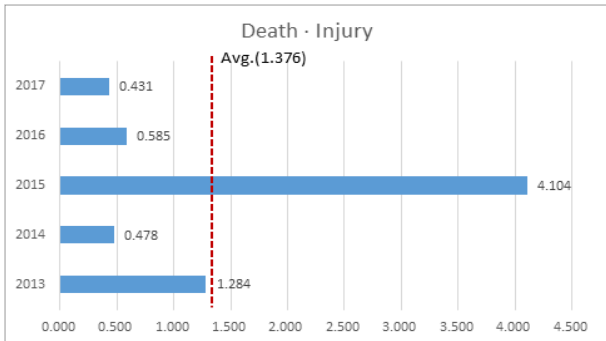


Fig. 14. Death · injury.

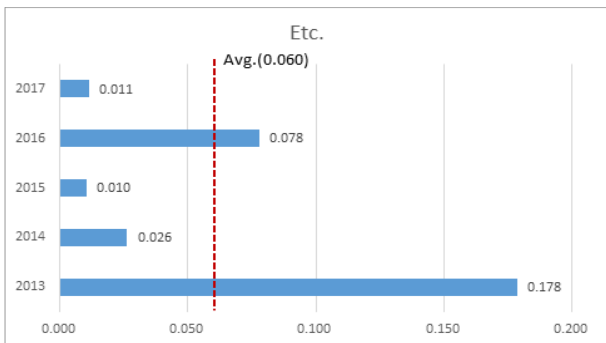


Fig. 15. Etc.

그러나 4.1절과 4.2절에서 산출된 기존의 위험도 분석 결과로는 사고 유형별 위험도 크기와 순위만 알 수 있으며, 유형별 사고 빈도와 피해 정도가 최종 위험도에 미치는 영향을 파악하는데 한계점이 발생한다. 따라서 본 연구에서는, 사고 빈도와 사고 피해의 곱으로 계산하는 기존의 절대적 위험도 산정방식을 보완하기 위해서, 사고 유형별 사고 빈도와 피해 정도를 이용하여 사고 유형별 위험도를 상대 비교하는 위험도 매트릭스 방법을 제시하고 이를 이용한 상대적 위험도 분석방법을 제시한다. 또한 제안된 매트릭스 방법을 이용하여 사고 유형별로 사고 발생 요인들 간의 상대적 위험도를 비교하고 주요 사고원인들을 분석하고자 한다.

## 5. 위험도 매트릭스를 이용한 어선 사고 위험도 분석

### 5.1 위험도 매트릭스를 이용한 사고 유형별 상대적 위험도 평가

본 절에서는 사고빈도와 피해정도를 이용하여 사고유형별 위험성을 구체적으로 식별할 수 있는 위험도 매트릭스를 수립하고 어선사고의 사고유형별 위험도를 평가하였다. 어선사고의 위험도 매트릭스는 Fig. 16과 같이 나타낼 수 있다. Fig. 16에서 가로축은 유형별 사고빈도를 확률로 표시한 값이며 세로축은 사고의 피해인 사망자수를 나타낸다. 그리고 붉은색 가로선은 사고유형별 인명피해의 평균을 나타내고, 세로선은 사고유형별 사고빈도의 평균을 나타낸다. 이 두선을 기준으로 매트릭스를 네 영역으로 구분하고, 각 사고 유형별로 확률과 피해의 좌표 (P, C)로 표현함으로써, 사고 유형별 위험성의 상대적인 비교가 가능하게 된다.

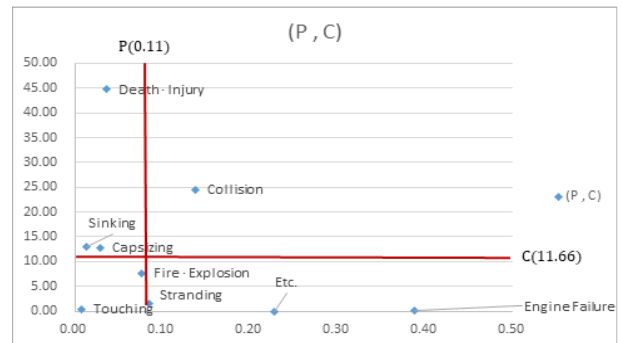


Fig. 16. Type-specific risk matrix of fishing vessel.

오른쪽 상단의 1사분면은 사고발생 확률과 사망자수가 평균보다 높은 사고발생 유형이 포함되며 확률과 피해의 위험도가 높은 영역으로 충돌이 해당된다. 왼쪽 상단의 2사분면은 사고발생 확률은 낮으나, 사고 발생 시 인명피해가 높은 영역을 나타내며 인명사상과 침몰, 전복이 해당된다. 이 들 세 가지 사고유형은 2사분면에 공통적으로 속해있으나 각

위험도 매트릭스를 이용한 어선의 사고 위험도 분석과 사고 주요 요인 도출에 관한 연구

유형별로 P, C값의 구성이 다르게 나타난다. 전복과 인명사상은 P값이 비슷하며 평균값보다 낮게 나타나지만 인명사상의 C값이 전복의 경우보다 평균 C값을 크게 상회하는 것을 알 수 있다. 이는 두 사고 유형이 2영역에 속하지만 위험도를 낮추기 위한 저감 대책이 사고유형에 따라 차별적으로 적용되어야 함을 시사한다. 왼쪽 하단의 3사분면은 사고 발생 확률과 사망자수가 평균값보다 낮게 나타남으로써, 상대적으로 위험도가 낮은 영역으로 화재폭발과 접촉이 포함된다. 화재폭발의 경우 위험도 분석에서 위험수준이 평균값을 상회(Fig. 6)하여 높은 것으로 나타났으나 사고 유형별 상대비교를 통한 위험도 매트릭스에서는 P와 C값이 모두 P, C의 평균수준에 미치지 못하여 위험도가 낮은 사고 유형으로 분류된다. 마지막으로 오른쪽 하단의 4사분면은 사고 발생 확률은 높으나, 사고 발생 시 상대적으로 사망자수가 평균값보다 낮은 영역이며 좌초, 기타, 기관손상이 해당된다. 4사분면의 경우에도 기관손상과 기타 사고유형은 C값이 비슷한 값을 보이지만, 기관손상의 P값이 기타보다 상대적으로 더 크게 나타나는 특징을 보인다. 이와 같은 분석결과를 요약하면 Table 1과 같다.

Table 1. Classification for the type of accidents in the risk matrix

	Risk Level	Accident Type
1 <sup>st</sup> Quadrant	High in P High in C	Collision
2 <sup>nd</sup> Quadrant	Low in P High in C	Death · Injury, Sinking, Capsizing
3 <sup>rd</sup> Quadrant	Low in P Low in C	Fire · Explosion, Touching
4 <sup>th</sup> Quadrant	High in P Low in C	Stranding, Engine failure, Etc.

5.2 사고 주요 요인 도출을 위한 위험도 매트릭스 방법의 적용

본 절에서는(사고의 위험도를 낮추기 위한 실질적인 저감 대책 제안을 위하여) 각 사고유형에 따라 다양한 사고발생 원인들에 대한 위험도를 평가함으로써, 사고유형별 사고원인의 특징을 분석한다. 이를 위하여 해양안전심판원에서 분류한 사고원인을 기준으로 집계된 사고원인별 사고발생건수를 사용하여 사고 원인별 위험도를 평가하였다. 해양안전심판원에서 분류한 사고원인은 크게 운항과실, 취급불량 및 결함 그리고 기타로 나뉘며, 각 원인은 Table 2와 같이 총 22개 세부 원인으로 나눌 수 있다. 운항과실의 세부원인이 (Cause No.1~13) 82.9%로 가장 큰 비중을 차지하며 이 원인들은 공통적으로 인적 오류에서 비롯됨을 알 수 있다. 그리고 취급불량 및 결함으로 분류되는 세부원인은 (Cause No.14~16)

10.3%를 차지하며 기계적인 결함으로 발생하는 사고원인에 해당된다.

Table 2. 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
	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

사고유형에 따른 사고 원인별 위험도 분석결과를 Fig. 17~25와 Table 3~11에 나타내었다. 분석에 사용된 사고 원인별 사고 발생 빈도에 대한 통계자료는 있으나 사고 원인별 사망자수에 대한 통계자료의 부재로 인하여 사망자수를 직접 반영할 수 없으므로 각 사고 원인별 발생확률로 비례 배분하여 반영하였다. 이는 사고피해를 직접적으로 반영하지 못하는 한계점이 있을 수 있으나, 본 연구에서는 사고 원인별로 사고빈도와 사고피해를 각각 반영하여 위험도를 파악하고 주요원인을 찾는 데 주요 목적을 두었으므로 위험도 매트릭스 방법을 적용하는데 의의를 둔다.

각 사고 원인별 위험도 결과에서 Fig. 17~25는 각 사고원인에 의해 발생하는 사고발생확률과 사고피해를 이용한 사고원인 매트릭스를 나타낸 것이다. 그리고 Table 3~11은 사고원인 매트릭스의 결과를 각 사분면 별로 정리한 표이다. 사고원인의 위험도 매트릭스에서 P, C값이 모두 평균값보다 높은 1 영역에 속하는 사고원인이 위험도가 가장 높은 고위험 요

인에 해당하며 각 사고유형별 대표 사고원인이라 할 수 있다.

Fig. 17은 충돌사고의 원인별 위험도 매트릭스를 나타낸 것으로 위험이 가장 높게 나타나는 1 영역에 속한 사고원인은 경계소홀(Cause No.6)과 항행법규 위반(Cause No.9)이며, 접촉(Fig. 20)의 경우 경계소홀(Cause No.6)이 가장 높은 사고원인으로 나타났다. 좌초(Fig. 21)의 경우 1 영역에 여러 요

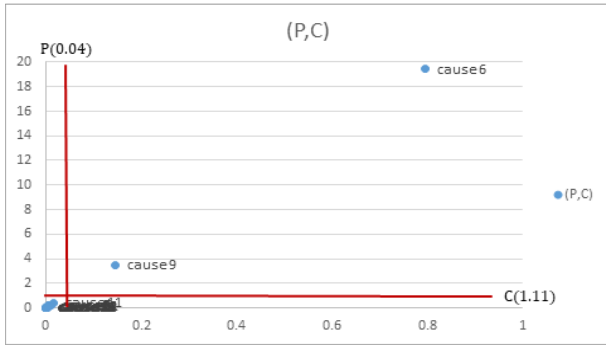


Fig. 17. Cause-specific risk matrix of collision.

Table 3. Classification for cause of collision

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 6 Cause 9	none	Cause 1-5 Cause 7-8 Cause 10-22	none

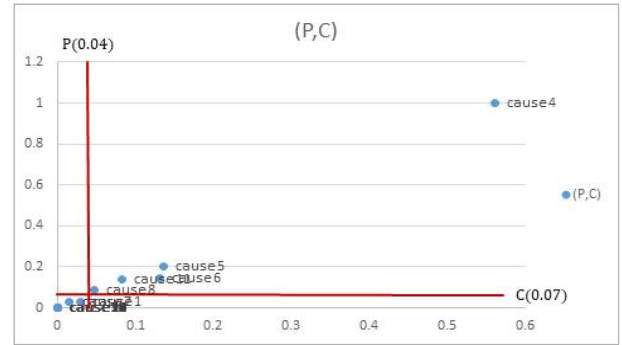


Fig. 19. Cause-specific risk matrix of stranding.

Table 5. Classification for cause of stranding

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 4-6 Cause 8 Cause 11	none	Cause 1-3 Cause 7 Cause 9-10 Cause 12-22	none

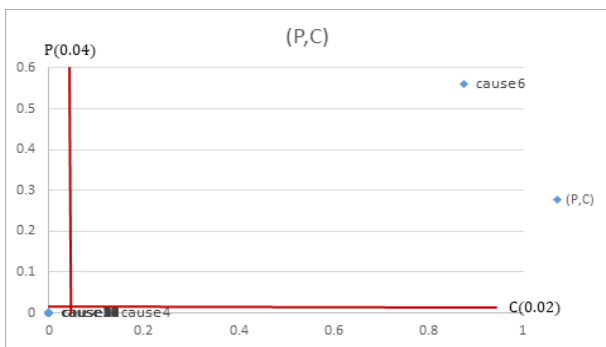


Fig. 18. Cause-specific risk matrix of touching.

Table 4. Classification for cause of touching

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 6	none	Cause 1-3 Cause 5 Cause 7-22	Cause 4

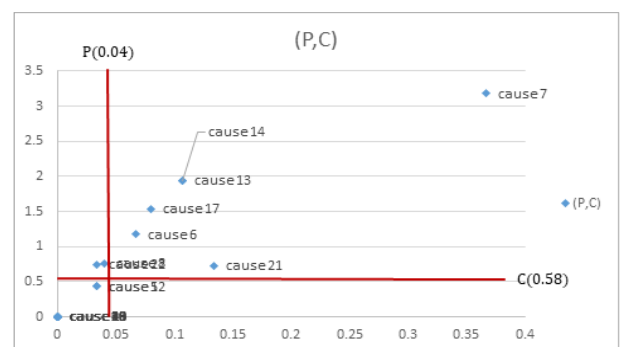


Fig. 20. Cause-specific risk matrix of capsizing.

Table 6. Classification for cause of capsizing

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 6-7 Cause 13-14 Cause 17	Cause 8 Cause 22	Cause 1-5 Cause 9-10 Cause 11-12 Cause 15-16 Cause 18-21	none



위험도 매트릭스를 이용한 어선의 사고 위험도 분석과 사고 주요 요인 도출에 관한 연구

인이 있으나 가장 위험도가 높게 나타나는 원인은 선위확인 소홀(Cause No.4)이다. 전복(Fig. 22)은 황천대비·대응불량(Cause No.7)이 주원인이며 선내작업 안전수칙 미준수(Cause No.13), 기관설비 취급불량(Cause No.14), 경계소홀(Cause No.6), 여객·화물의 적재불량(Cause No.17) 또한 위험도가 높은 사고원인으로 나타난다. 화재폭발(Fig. 24)의 경우 대원인인 취급불량 및 결함에 속하는 세부요인 세 가지(Cause

No.14~16) 모두가 높은 위험도를 가지며 이 중에서 선체·기관설비 결함(Cause No.16)이 가장 높은 위험도를 갖는 사고 원인이다. 침몰(Fig. 23)의 경우 황천대비·대응불량(Cause No.7)이 고위험 원인이며 기관손상(Fig. 25)의 경우에는 기관설비 취급불량(Cause No.14)이 대표적 사고 원인이다. 인명사상(Fig. 26)의 경우 선내작업 안전수칙 미준수(Cause No.13)에 의한 사고 위험도가 가장 높다.

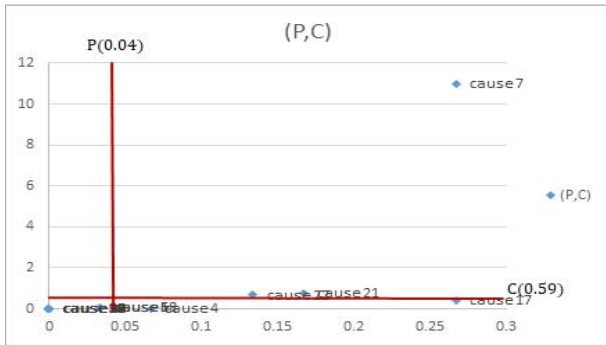


Fig. 21. Cause-specific risk matrix of sinking.

Table 7. Classification for cause of sinking

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 7 Cause 17 Cause 21-22	none	Cause 1-3 Cause 5-6 Cause 8-16 Cause 18-20	Cause 4

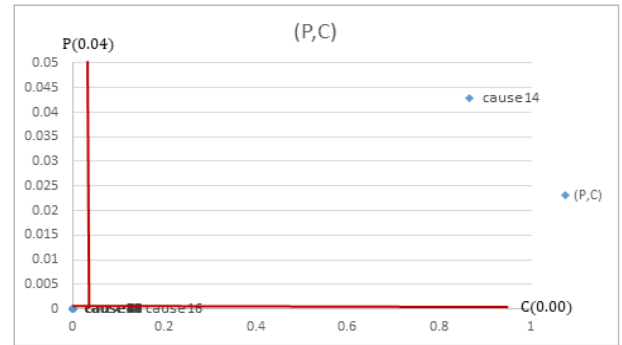


Fig. 23. Cause-specific risk matrix of engine failure.

Table 9. Classification for cause of engine failure

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 14	none	Cause 1-13 Cause 14-15 Cause 17-22	Cause 16

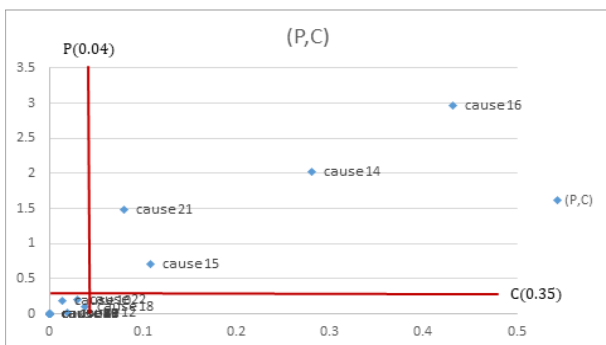


Fig. 22. Cause-specific risk matrix of fire · explosion.

Table 8. Classification for cause of fire · explosion

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 14-16 Cause 21	none	Cause 1-13 Cause 17-20 Cause 22	none

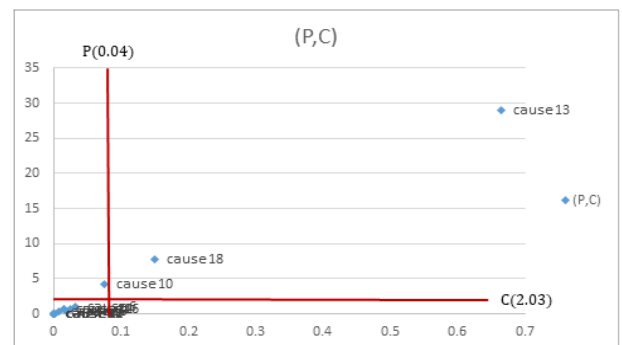


Fig. 24. Cause-specific risk matrix of death · injury.

Table 10. Classification for cause of death · injury

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 13 Cause 18	Cause 10	Cause 1-9 Cause 11-12 Cause 14-17 Cause 19-22	none

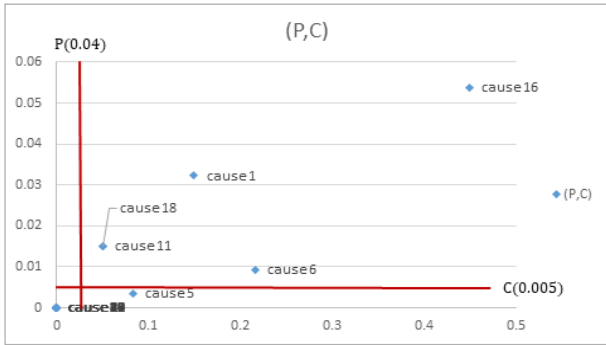


Fig. 25. Cause-specific risk matrix of etc.

Table 11. Classification for cause of etc.

	1 <sup>st</sup> Quad	2 <sup>nd</sup> Quad	3 <sup>rd</sup> Quad	4 <sup>th</sup> Quad
Cause	Cause 1 Cause 6 Cause 11 Cause 16 Casue 18	none	Cause 2-5 Cause 7-10 Cause 12-15 Cause 17 Cause 19-22	none

이와 같이 위험도 매트릭스를 통해 분석한 사고유형별 위험도와 사고유형별 사고 원인의 위험도를 함께 고려하여 어선 사고유형 전체에서 발생하는 공통적인 사고원인을 아래 Table 12에 요약하였다. 9가지 사고유형별 사고원인은 사고유형에 따라 다양하지만 몇 가지 공통적인 원인이 있음을 알 수 있다. 화재폭발과 기관손상, 기타사고를 제외한 모든 사고유형에서 가장 위험도가 높은 사고원인(Cause No.4, Cause No.6, Cause No.7, Cause No.13)은 대원인인 운항과실에

속하므로 이는 대부분의 사고가 인적 오류에서 비롯되어 발생함을 의미한다. 이는 어선사고 대부분이 기계적 결함보다는 사람에 의해 발생되고 있음을 의미하므로 향후 정책제안에 있어 인적 오류개선에 집중하여야 함을 알 수 있다. 그리고 화재폭발과 기관손상, 기타사고의 경우 기계적 결함이 문제(Cause No.14, Cause No.16)가 되어 사고가 발생하므로 사고방지를 위해 장비와 하드웨어의 보완 정책을 중심으로 한 저감 대책이 필요하다. 즉, 어선사고의 위험도 저감을 위해서는 사고유형별로 사고원인에 따라 차별적인 저감 대책 마련이 필요함을 시사한다.

예를 들어 사고 유형별 구분 중, 충돌의 경우 경계소홀(Cause No.6)과 항해법규 위반(Cause No.9)이 주원인이 되어 사고 발생 빈도와 사고 피해가 모두 평균보다 높아 1사분면 영역에 속하며, 두 원인의 공통요인인 인적오류를 개선하여 사고 발생 빈도와 사고 피해를 동시에 낮추는 방향의 저감 대책이 필요하다. 또한 전복의 경우에는 인적요인 뿐만 아니라 취급 불량 등 장비관련 요인이 주요 사고원인이므로 두 요인을 함께 고려하되 사고 원인 중 우선순위인 인적요인에 먼저 집중하여 사고발생 저감 대책을 적용함으로써 사고 위험도를 낮출 수 있다.

## 6. 결 론

최근 5년간 우리나라의 해양사고는 정부의 정책에도 불구하고 꾸준히 증가하고 있으며 이에 따른 인명피해도 증가하는 추세이다. 해양사고는 인명피해 뿐만 아니라 경제적 피해도 야기할 수 있으며 나아가서는 국가 안전수준에 부정적인 영향을 미친다. 해양사고 중에서도 특히 어선사고의 빈

Table 12. Classification of Risk Matrix and Cause of Accidents by Type

Accident type	Type-specific risk matrix		Cause of High risk	Cause Classification
	Quad.	P&C		
Collision	Quad. 1	High P&C	cause 6> cause 9	Human Error
Touching	Quad. 3	Low P&C	cause 6	Human Error
Stranding	Quad. 4	High P Low C	cause 4> cause 5,6> cause 8> cause 11	Human Error
Capsizing	Quad. 2	Low P High C	cause 7> cause 17> cause 13,14> cause 22	Human Error
Fire · Explosion	Quad. 3	Low P&C	cause 16> cause 21> cause 14	Mechanical Defect
Sinking	Quad. 2	Low P High C	cause 7	Human Error
Engine Failure	Quad. 4	High P Low C	cause 14	Mechanical Defect
Death · Injury	Quad. 2	Low P High C	cause 13> cause 18	Human Error
Etc.	Quad. 2	Low P High C	cause 16> cause 1> cause 6	Mechanical Defect

도수는 나머지 비어선 사고 전체의 합보다 많은 비중을 차지하므로 해양사고 감축을 위해서는 어선 사고에 집중할 필요가 있다.

본 연구에서는 어선 사고를 대상으로 효율적인 사고 저감 대책의 수립과 실행을 위하여 위험도 분석을 시행하였다. 기존의 일반적인 위험도 산정의 한계점을 보완하기 위하여 사고유형별 위험도뿐만 아니라 사고유형별 원인 간의 위험도를 산정하고 주요 사고 원인을 분석하였다. 이를 위하여 해양안전심판원에서 제공하는 최근 5년간 어선사고 사고빈도수와 사고피해를 이용하여 위험도 매트릭스를 구성하고 위험도를 평가하였다. 9가지 사고 유형 중에서 충돌의 위험도가 가장 높게 나타났으며 사고빈도와 사고피해 모두가 평균값보다 높은 영역에 위치하였다. 인명사상과 침몰, 전복은 사고빈도수는 평균값보다 낮으나 사고피해가 평균값보다 높게 나타났으며, 기관손상, 좌초, 기타사고는 이와 반대로 사고빈도수가 평균값을 상회하고 사고피해는 평균값보다 낮게 나타났다. 접촉의 경우 사고빈도와 사고피해 모두 평균보다 낮은 수준을 보여 위험수준이 가장 낮으며, 화재폭발은 기존의 위험도 산정에 의한 위험수준은 충돌과 인명사상 다음으로 높았지만 사고빈도와 사고피해로 구체화한 매트릭스에서는 접촉과 함께 위험도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

또한 사고 저감 대책 수립 시 우선적으로 고려할 사고원인을 선정하기 위한 사고 원인별 위험도 분석에서는 사고 유형에 따라 위험도가 높은 사고원인이 다르게 나타났다. 그러나 기관손상과 화재폭발, 기타사고를 제외한 모든 사고 유형에서 인적 오류로 비롯되는 운항과실에 속하는 원인들이 공통요인으로 나타났다. 이는 어선사고 유형의 대부분이 인적 오류에서 비롯됨을 의미하므로 위험도 저감 대책 수립에 있어 인적오류 개선에 중점을 두어야 할 것을 시사한다. 다음으로 본 연구에서는 사고빈도와 사고피해가 위험도에 어떻게 영향을 주는지 알 수 있는 위험도 매트릭스를 이용하여 사고 유형별 빈도수와 사고피해의 특징을 분석하였다. 그리고 다양한 주요 사고 원인의 규명을 위해 위험도 매트릭스 방법을 적용하여 이를 적절한 사고 저감 대책 수립과 정책집행에 활용함으로써 어선사고의 발생빈도와 사고피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 제안한 위험도 분석을 기반으로 한 저감 대책의 수립과 정책의 집행을 통해 어선사고의 발생빈도와 사고피해를 줄일 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구의 분석결과에서와 같이 인적요인에 의해 발생한 사고위험도를 낮추기 위해 안전의식을 제고하고 안전사고 예방에 관한 홍보를 강화하며 체험, 참여교육을 통한 안전교육을 더욱 강화할 필요가 있다. 그리고 안전장비와 어업정보통신 인프라를 지

속적으로 확충하고 관리하여 안전관리를 보다 체계화하는 것이 필요하다. 이와 함께 안전조업에 관한 법령의 제·개정을 통한 안전규정 강화가 뒷받침 되어야 한다. 마지막으로 모든 사고유형에서 대표적 사고원인으로 나타나고 있는 경계소홀에 대한 저감 대책으로 어선선원에 대한 항법 교육과 최첨단 기술을 이용한 시뮬레이션 교육이 필요 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 사용한 위험도 산정과 위험도 매트릭스의 기준좌표는 최근 5년간의 데이터를 바탕으로 계산되었으나 향후 연구에서는 우리나라 실정에 맞도록 보다 정확한 기준좌표의 설정이 필요하며 위험도 계산에 있어 사고빈도와 사고피해 정도의 불확실성을 고려한다면 더 현실적인 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 사고 원인별 위험도매트릭스를 적용한 주요원인 분석에서 사고피해를 정확하게 반영할 수 없었던 한계점을 해결 할 수 있는 적합한 방법을 도입하는 것이 추후 연구 과제라 하겠다.

## Acknowledgements

이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5A2A01030722).

## References

- [1] Cho, H. K., B. S. Park, D. H. Kang and S. S. Kim(2017), The main factor and counterplan for maritime accidents in Korea, *Journal of Fisheries and Maritime Sciences Education*, 29(3), pp. 746-759.
- [2] Jang, J. H., M. J. Kang and D. C. Lee(2009), A Study on the Reason of Marine Accidents - focused on Human Factors, *Ergonomics Society of Korea*, pp. 495-501.
- [3] Jung, C. H.(2018), A study on the improvement of safety by accidents analysis of fishing vessels, *Journal of Fisheries and Maritime Sciences Education*, 30(1), pp. 176-186.
- [4] Kang, I. K., H. S. Kim, J. C. Kim, B. S. Park, S. J. Ham and I. H. Oh(2013), Study on the maritime casualties in Korea, *Journal of the Korean Society of Fisheries Technology*, 49(1), pp. 29-39.
- [5] Kim, D. J.(2018), 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), pp. 302-311.
- [6] Kim, S. H., H. S. Kim, I. K. Kang and W. S. Kim(2017), An analysis on maritime casualties of fishing vessel by FTA

- method, Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, 53(4), pp. 430-436.
- [7] Kim, W. S., J. H. Lee, S. J. Kim, H. S. Kim and Y. W. Lee(2013), A basic study on control factor for the maritime casualties of fishing vessel in Korea, Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, 49(1), pp. 40-50.
- [8] Kim, Y. S.(2016), Principal Component Analysis on Marine Casualties Occurred at Korean Littoral Sea in Recent 5 Years, Journal of Fisheries and Marine Science Education, 28(2), pp. 465-472.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(2017), Master Implement Plan for Maritime Safety.
- [10] Pillay, A., C. G. Loughran, J. Wang, A. Wall and T. Ruxton(2004), Formal safety assessment of fishing vessels: Risk and maintenance modelling, Journal of marine engineering and technology 2004(4), pp. 29-42.
- [11] Park, T. G., S. J. Kim, Y. S. Chu, T. S. Kim, K. J. Ryu and Y. W. Lee(2018), Reduction plan of maritime casualty for small fishing vessels, Journal of the Korean Society of Fisheries Technology, 54(2), pp. 173-180.
- [12] Wang, J., A. Pillay, Y. S. Kwon, A. D. Wall and C. G. Loughran(2005), An analysis of fishing vessel accidents, Accident Analysis and Prevention, 37, pp. 1019-1024.

---

Received : 2019. 02. 11.

Revised : 2019. 03. 18. (1st)

: 2019. 04. 03. (2nd)

Accepted : 2019. 04. 26.