

# 사고 데이터의 주요 원인을 이용한 어선 해양사고 분석에 관한 연구

박상아\* · † 박득진

\*부경대학교 대학원 수산물리학과 석사과정, † 부경대학교 수산과학대학 해양생산시스템관리학부 교수

## A Study on the Analysis of Marine Accidents on Fishing Ships Using Accident Cause Data

Sang-A Park\* · † Deuk-Jin Park

\*Student Graduated School of Pukyong National University

† Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University

**요 약** : 해양사고 분석에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며, 해양사고는 매년 업데이트되고 있어 주기적으로 원인을 분석하고 규명하는 것이 필요하다. 이 연구에서는 이전의 데이터와 새로운 데이터를 활용하여 해양사고를 파악·분석을 통해 어선 해양사고 원인을 규명하여 사고를 예방하는 것이다. 해양사고 데이터는 어선의 특수성을 고려하여 해양안전심판원의 어선에 대한 해양사고재결서 16년간의 1,921건을 수집하였으며, 해양수산부 종합상황실 사고알림문자 이력 3년간의 1,917건을 수집하였다. 재결서 데이터와 문자 데이터는 변수에 따라 분류하였으며, 수량화 작업을 수행하였다. 수량화 작업을 통한 데이터를 사용하여 베이지안 네트워크를 이용해 사전확률을 계산하였고, 후방 추론을 이용하여 어선 해양사고를 예측하였다. 두 가지 수집한 데이터 중 해양사고재결서는 모든 어선의 사고가 재결서에 포함되지 않았기 때문에 해양수산부 사고알림문자를 선택하였다. 분류한 데이터를 베이지안 네트워크를 사용하여 어선 해양사고의 사전 확률을 계산하였다. 후방 추론으로 계산한 기관손상이 서해 연안에서 발생할 어선 해양사고의 확률은 0.0000031%였다. 이 연구의 기대효과는 어선 해양사고를 분석하기 위하여 새로운 사고알림문자 데이터를 활용하여 실제 어선 특성에 맞는 해양사고를 분석할 수 있다는 것이다. 추후에는 어선 해양사고에 영향을 미치는 변수들 간의 인과관계에 관한 연구를 수행할 예정이다.

**핵심용어** : 해양사고, 어선, 사고 예방, 사고원인, 베이지안 네트워크

**Abstract** : Many studies have analyzed marine accidents, and since marine accident information is updated every year, it is necessary to periodically analyze and identify the causes. The purpose of this study was to prevent accidents by identifying and analyzing the causes of marine accidents using previous and new data. In marine accident data, 1,921 decisions by the Korea Maritime Safety Tribunal on marine accidents on fishing ships over 16 years were collected in consideration of the specificity of fishing ships, and 1,917 cases of accident notification text history by the Ministry of Maritime Affairs and Fisheries over 3 years were collected. The decision data and text data were classified according to variables and quantified. Prior probability was calculated using a Bayesian network using the quantified data, and fishing ship marine accidents were predicted using backward propagation. Among the two collected datasets, the decision data did not provide the types of fishing ships and fishing areas, and because not all fishing ship accidents were included in the decision data, the text data were selected. The probability of a fishing ship marine accident in which engine damage would occur in the West Sea was 0.0000031%, as calculated by backward propagation. The expected effect of this study is that it is possible to analyze marine accidents suitable for the characteristics of actual fishing ships using new accident notification text data to analyze fishing ship marine accidents. In the future, we plan to conduct research on the causal relationship between variables that affect fishing ship marine accidents.

**Key words** : marine accident, fishing ship, cause of accident, accident prevention, Bayesian network

### 1. 서 론

해양안전심판원의 해양사고 통계자료에 따르면, 최근 5년 동안 해양사고는 꾸준히 증가하면서 2020년에 3,156건으로 정점을 기록했다. 이후 2021년에는 2,720건으로 전년 대비 13.8% 감소하였지만(KMST, 2016~2021), 여전히 해양사고는

많이 발생하고 있으며, 이는 막대한 인명피해와 재산손실을 발생시킨다(Kang et al., 2013).

해양사고 분석에 관한 많은 연구가 수행되었음에도, 해양사고는 지속해서 발생하고 있다(Kim et al., 2017). 따라서 사고의 원인을 규명하고 재발생을 예방하기 위해서는 해양사고 분석을 통해 정확한 원인 조사가 필요하며(Lee et al., 2019), 또

† Corresponding author : 종신회원, pdj@pknu.ac.kr 061)629-5887

\* 정회원, rhjk2046@naver.com 051)629-58874

(주) 이 논문은 “자율운항선박의 인적오류 예방 방안에 관한 기초 연구”란 제목으로 “2020 공동학술대회 한국항해항만학회논문집, 2020.7.22-23, pp.13-14”에 발표되었음

한 해양사고는 매년 갱신되기 때문에 주기적으로 원인을 분석하고 식별할 필요가 있다(Yim, 2009).

선박은 큰 분류로 어선과 상선으로 나뉘며, 그중 어선 해양사고는 전체 해양사고의 67.6%로 큰 비중을 차지한다(KMST, 2016~2021). Cho et al.(2017)의 연구에서는 어선의 해양사고 발생 추세가 우리나라의 해양사고 발생 경향을 좌우하기 때문에 우리나라의 해양사고를 경감시키기 위해서는 어선의 해양사고를 줄여야 한다고 주장하였다. 현재까지 상선 해양사고에 관한 연구는 많이 수행되었지만, 어선 해양사고에 관한 연구는 비교적 적었다. 그 이유는 어선은 업종별에 따라 조업 방식과 항행 구역이 다른 특수성이 있으며(Cho et al., 2017), 사고 원인과 근무 환경의 요인들이 다소 복잡하게 작용하기 때문에, 어선 해양사고의 분석은 다양한 방법으로 이루어져야 한다(Kim et al., 2014).

어선 해양사고 분석에 관한 연구는 Jung et al.(2012)의 연구에서 어선 전복사고의 원인별 분석을 수행하였으며(Jung et al., 2012), 어선 해양사고 제어 요소에 관한 연구도 수행되었다(Kim et al., 2013). 충돌사고에 대해서도 어선과 비어선 간 충돌사고에 관한 연구(Lee et al., 2013) 및 충돌사고 감축을 위한 어선의 대응 방안에 관한 연구가 수행되었다(Jung, 2014). 사고원인을 분석하기 위하여 결함수 분석 기법을 이용하기도 하였으며(Kim et al., 2017), Lee et al.(2018)의 연구는 소형어선의 해양사고를 줄이기 위한 방안을 제시하였다. 낚시 어선이나 어로작업에 따른 사고 예방에 관한 연구도 수행되었으며(Jang et al., 2021; Kim et al., 2022), 어선의 업종별 해양사고의 원인과 대책에 관해서도 서술하였다(Kim et al., 2020).

위의 연구들은 대부분 해양사고 재결서와 해양수산부 통계 자료를 바탕으로 수행된 연구이다. 그러나 해양사고 재결서는 재결되지 않은 사고에 대한 정보는 얻을 수 없으며, KMST의 통계자료에서는 상세한 내용을 구하기가 어렵다(Kim et al., 2014). 이러한 점을 보완할 수 있는 데이터를 바탕으로 해양사고 분석을 수행할 필요가 있다. 이 연구에서는 이 필요성에 대한 해결을 위하여 두 가지 데이터를 수집하여, 어선 해양사고 분석에 더 효율적인 데이터를 선택하고자 하였다. 따라서 이 연구의 목적은 새로운 데이터를 활용하여 어선 해양사고 분석을 통해 사고원인을 규명하여 사고를 예방하는 것이다.

본 연구의 구성은 Fig. 1과 같다. 먼저, 해양사고 데이터 두 가지를 수집하였다. 수집한 데이터들은 분류할 수 있도록 변수를 설정하여 식별하였다. 이후 데이터를 수량화하였고, 이를 바탕으로 3장에서 어선 해양사고 데이터 분류 결과를 나타내었다. 마지막으로 4장에서는 어선 해양사고 데이터의 결과를 분석하였다.

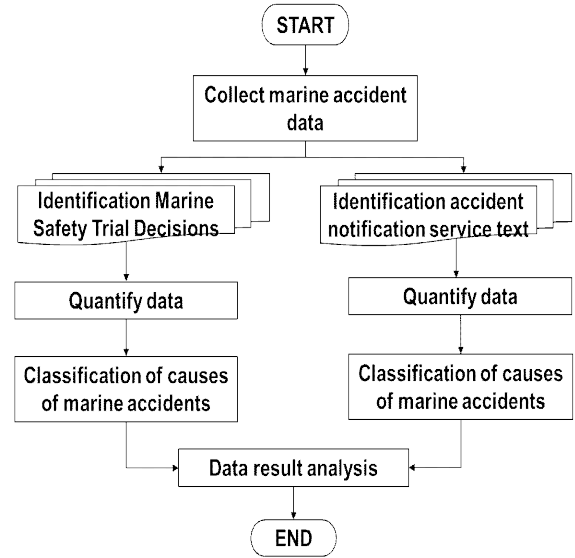


Fig. 1 Procedure of study

## 2. 연구 방법

어선 해양사고 분석을 위하여 이 연구에서는 두 가지 데이터를 수집하였다. 첫 번째 데이터는 이전 연구들에서 사용한 해양사고 재결서이다(Yim, 2017; KMST, 2022). 두 번째 데이터는 해양수산부 종합상황실 사고알림문자 이력의 데이터이다(www.mof.go.kr, 2022). 먼저 데이터는 계산이 가능하도록 수량화를 수행하였다(Yim, 2017). 수집한 데이터는 변수에 따라 해양사고 별 분류를 수행하였으며, 분류한 데이터를 분석하였다. 데이터의 분석은 베이지안 분석 기법을 적용하였다.

### 2.1 해양사고재결서 데이터의 수집 및 분류

재결서 데이터는 해양안전심판원의 해양안전심판 재결서로, 사고에 대한 재결을 나타내는 자료이다(KMST, 2022). 해양사고 재결서는 심판원의 결정이 필요하기에 많은 정보를 확인할 수 있다. 주요 정보는 사건명, 사고 일시, 사고원인, 사고 선박 종류, 톤수, 사고 당시 속력, 사고 지역(위도, 경도, 사고 해역), 사고 관련 법규 등이다. 그중 2005년부터 2020년까지 총 16년간의 어선을 대상으로 한 해양사고재결서 총 1,921건을 수집하였다. Fig. 2는 해양사고재결서에서 추출한 데이터이다. 전체 재결서 중 어선 해양사고에 한정하여 식별하였으며, 분류를 수행하기 위한 변수는 주제어(사고원인), 사고 종류, 톤수, 사고 위치, 사고 일시, 사고 관련 법규로 설정하였고, Fig. 2와 같이 데이터를 수집 및 분류하였다.

사건명	사고 연월일 (YYYYMMDD) (0909AM)	사고 시간	사고종류(번호)	주책자	변수 번호	사고지역 번호	사고지역 명칭	사고관련법규 번호	사고관련법규 명칭
연안 안전조종 충돌사건	20190906	1548	충돌	항행비소용	0.48	0	246207	127217	충돌
연안 선박회회 충돌사건	20081102	1500	충돌	경계비소용	0.27	0.71	259105	126437	COLREG제2조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20071006	1800	충돌	경계비소용	0.61	0.47	259145	126196	해상교통안전법제64조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20080728	2130	충돌	경계비소용(주)	0.7	1.96	258458	128911	해상교통안전법제64조(선박회상규) 및 해상교통안전법제65조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20071015	1500	충돌	경계비소용	0.72	0.65	244626	126217	COLREG제2조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20071010	1540	충돌	경계비소용	0.72	0.65	244626	126217	COLREG제2조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20190118	1548	충돌	무방한 조종	0.73	0	281822	1283420	해상교통안전법제65조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20190118	1548	충돌	무방한 조종	0.73	0	281822	1283420	해상교통안전법제65조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20060203	0255	충돌	경계비소용	0.81	0.5	244818	1282124	COLREG 제2조 선박회상규
연안 선박회회 충돌사건	20160818	1535	충돌	경계비소용	0.85	0	274339	1283558	충돌
연안 선박회회 충돌사건	20061112	1925	충돌	경계비소용	0.89	0.1	252254	1281960	해상교통안전법제65조
연안 선박회회 충돌사건	20190518	1300	충돌	경계비소용	0.9	0.9	245881	1283760	해상교통안전법제64조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20061030	2200	충돌	경계비소용	0.93	0.5	259224	1281960	COLREG 제2조 선박회상규
연안 선박회회 충돌사건	20120918	1300	충돌	경계비소용	0.93	0.88	245881	1283760	해상교통안전법제64조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20120901	1750	충돌	경계비소용	0.94	0.88	245120	1284837	COLREG제2조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20120901	1750	충돌	경계비소용	0.94	0.88	245120	1284837	충돌(항행비소용) 및 해상교통안전법제65조(선박회상규)
연안 선박회회 충돌사건	20080414	1510	충돌	조종부실	0.97	0	225640	1261227	충돌
연안 선박회회 충돌사건	20181209	1614	충돌	조종부실	0.99	0	225640	1261227	충돌

Fig. 2 Classification of fishing ship marine accident ruling

2.2 해양수산부 사고알림문자 데이터의 수집 및 분류

해양수산부 사고알림문자 데이터는 해양수산부의 해양안전 정보시스템 사이트에서 확인할 수 있다(Gicoms, 2022). 일괄적으로 열람할 수 있으며, 해양사고 뿐만 아니라 해양 기상 정보, 해양 안전 통계 및 해적 정보도 열람할 수 있다. 이 데이터에서 확인할 수 있는 주요 정보는 사고 일시, 사고 지역, 사고 선박 종류, 선박 톤수, 피해 사항, 조치 사항, 현지 기상, 전파처, 해양경찰 도착시간 등이다. 그중 2019년부터 2022년까지 총 3년간의 어선을 대상으로 한 문자 데이터 총 1,917건을 수집하였다. 변수는 사고 종류, 선종, 톤수, 사고 일시, 사고 시간, 해경 도착시간, 날씨, 파고, 인명·오염피해, 사고원인, 사고 위치로 설정하였다.

문자 데이터는 어선의 업종별 사고에 관한 정보를 알 수 있으며, 이 연구에서는 연안어업과 근해어업을 구분하였고, 기준은 다음과 같다. 수산업법 제3장 제41조(허가어업) 제1항에 따라 총톤수 10톤 미만의 동력어선을 사용하는 어업은 연안어업이라 하고, 제2항에 따라 무동력어선, 총톤수 10톤 미만의 동력어선을 사용하는 어업을 연안어업이라 한다. 또한 수산업법 제24조에서 연안어업의 종류는 연안개량안강망어업을 포함한 총 8개의 어업이 있으며 제25조 근해어업의 종류에는 근해채낚기어업을 포함한 총 21개의 어업이 있다(MOLEG, 2021).

2.3 데이터의 수량화

수집한 자료들은 Table 1과 같이 식별 코드를 지정하여 수량화하였다. 데이터를 수량화하는 이유는 글자 데이터가 많은 경우에 계산량이 증가하는 단점을 피하기 위함이고(Yim, 2017), 프로그램상에서의 계산이 가능하기 때문이다(Yim 2009).

수량화의 방법은 사고 종류, 선박 종류, 사고 지역에 따른 숫자를 지정하였으며, 분류를 쉽게 하고 시간을 단축하기 위하여 문자를 분류 코드에 따라 숫자로 변환하였다. 예를 들어, 사고원인 중 지정된 식별 코드에 따라서 충돌사고를 1로 변환하고, 좌초사고를 2로 변환하는 방법으로 진행하였다. 이 방법은 초기에는 분류 시간이 늘어나지만, 구축한 이후에는 쉽게 프로그래밍을 할 수 있는 장점이 있다.

Table 1 Accident notification text data to numerical data code

Accident Type			
1	Collision	8	Propeller entanglement
2	Grounding	9	Steering gear damage
3	Contact	10	Casualty
4	Fire	11	Flooding
5	Sinking	12	Marine pollution
6	Engine damage	13	Capsizing
7	Explosion	99	Others(Dragging, etc.)
Fishing Ship Type			
1	Set net	10	Offshore long line
2	Coastal gill nets	11	Offshore pots
3	Coastal composite	12	Offshore gill nets
4	Coastal beam trawl	13	Costal improved stow net
5	Coastal pots	14	Pair trawling
6	Offshore jigging	15	Purse seine
7	Offshore stow net	16	Trawl
8	Danish seine	20	Others(Pound net, etc.)
9	Anchovy tow net		
Non-fishing Ship Type			
30	Cargo ship	34	Government ship
31	Passenger ship	35	Farm management line
32	Oil tanker	36	Fish carrier
33	Tug, Barge	99	Others
Accident Area			
1	Incheon	7	Ulsan
2	Gyeonggi	8	Busan
3	Chung-nam	9	Gyeong-buk
4	Jeon-buk	10	Gangwon
5	Jeon-nam	11	Jeju
6	Gyeong-nam	99	Others

2.4 베이저안 네트워크

수량화 자료의 원인과 변수와의 관계를 분석하기 위하여 베이저안 네트워크(Bayesian Network, BN)를 적용하였다. BN을 적용하는 이유는 사전확률(Prior probability)과 후방 추론(Posterior propagation)을 통한 예측이 가능하며, 이를 위해서는 원인과의 연계성이 중요하다(Fenton et al., 2018).

BN은 원인 노드(Node)들과 결과 노드로 구성된 변수들 사이의 조건부확률을 표현하기 위한 모델로, 변수 간의 의존성을 방향성 에지로 표현한 비순환 그래프(directed acyclic graph)이다(Yu et al., 2009). 노드의 확률값을 계산하기 위해서는 조건부확률 논리를 알아야 한다. 조건부확률이란 어떤 사건 B가 일어남에 따라 다른 사건 A가 발생하는 것으로 먼저 일어난 사건 B에 따라 사건 A가 영향을 받을 확률을 의미한다. 베이저안 정리는 이러한 두 확률변수의 사전확률과 사후확률 사이의 관계를 나타내어 조건부확률과 주변 확률 사이의 관계를 규정하는데 적용된다.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)}$$

(1)

여기서,  $P(A)$ 는 사건  $B$ 가 발생하기 전에 나타난 사건들에서 계산한 사전확률,  $P(B)$ 는 사건  $B$ 에 대한 사전확률,  $P(A | B)$ 는 사건  $B$ 가 주어진 경우 사건  $A$ 의 사후확률,  $P(B | A)$ 는 사건  $B$ 가 주어진 경우 사건  $A$ 의 우도함수(Likelihood)이다.

그리고 변수들의 집합  $X \in \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_n\}$ 으로 구성된 확률모델을 고려하는 경우, 식(2)와 같이 곱하기 형태를 갖는  $X$ 에 관한 결합 확률 분포(Joint Probability Distribution, JPD)는 각각의 부모 노드(parent node)에 대한 조건부 독립성을 적용하여 전개할 수 있다(Andrew Gelman et al., 2004).

$$\begin{aligned} &P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ &= P[x_1 | \text{parent}(X_1)] \times P[x_2 | \text{parent}(X_2)] \times \dots \times P[x_n | \text{parent}(X_n)] \\ &= \prod_{i=1}^n P[x_i | \text{parent}(X_i)] \end{aligned}$$

(2)

여기서,  $P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ 는 JPD로서, 조건부확률 분포(Conditional Probability Distribution, CPD)와 같이 변수의 값으로 구성된 조건부확률 테이블(CPT)로 고려할 수 있다(Timothy, et al., 2000).

CPT를 이용하면 하나의 입력에 대해서 각 변수들이 서로 연계되어 취할 수 있는 값들의 조합을 만들고, 이로부터 사후확률을 간단하게 계산할 수 있다. JPD 계산에서의 문제점은 고려한 변수의 지수 함수적으로 비례하여 계산시간이 증가하는 것인데, 다음 식(3)과 같은 JPD의 인수분해 특징을 적용하면 변수의 수를 효율적으로 줄일 수 있다.  $X$ 에 대한 JPD는 확률의 체인 규칙(Chain Rules)을 적용하여 다음 식(3)과 같이 순차적으로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} &P(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \\ &= P(X_1 | X_2, \dots, X_n) P(X_2, \dots, X_n) \\ &= P(X_1 | X_2, \dots, X_n) P(X_2 | X_3, \dots, X_n) P(X_3, \dots, X_n) \\ &= P(X_1 | X_2, \dots, X_n) P(X_2 | X_3, \dots, X_n) \dots P(X_{n-1} | X_n) P(X_n) \end{aligned}$$

(3)

이러한 확률의 체인 규칙은 인수분해에서 변수들의 순서가 바뀌더라도 허용할 수 있는데, 세 가지 사건 A, B, C를 고려하는 경우, 이에 대한 JPD는 다음과 같이 순서를 바꾸어 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &P(A, B, C) \\ &= P(A | B, C)P(B | C)P(C) \\ &= P(A | B, C)P(B, C) \\ &= P(B | A, C)P(A | C)P(C) \\ &= P(B | A, C)P(A, C) \end{aligned}$$

(4)

따라서, 사건  $B$ 와 사건  $C$ 가 동시에 발생하는  $B \rightarrow A \leftarrow C$ 의 조건이 주어지는 경우  $A$ 의 조건부확률은 다음 식(5)과 같이 간단히 나타낼 수 있으며, 아래의 식을 이 연구에서는 각 노드가 진행됨에 따라 발생하는 사전확률로 계산하였다.

$$P(A | B, C) = \frac{P(B | A, C)P(A | C)}{P(B | C)}$$

(5)

### 3. 어선 해양사고 데이터 분류 결과

#### 3.1 해양사고재결서 데이터 분류 결과

해양사고재결서 데이터의 분류 결과는 사고원인별, 총톤수별, 사고유형별, 사고 위치별로 나타내었다.

사고원인별 어선 해양사고 분류 결과는 Table 2와 같다. 16년간 발생한 어선 사고 1,921건 중에서 경계소홀로 인한 사고가 973건(50.65%)으로 가장 많이 발생했고, 이어서 정비·점검 소홀 226건(11.76%), 선원 부주의 168건(8.75%), 항법 미준수 97건(5.05%) 등의 순서로 나타났다.

Table 2 Marine accidents by cause

Causes of Marine Accidents	Number of Accidents	Ratio (%)
Neglect of vigilance	973	50.65
Neglect of inspection and management	226	11.76
Carelessness of the crew	168	8.75
Non-compliance with navigation	97	5.05
Careless navigation	36	1.87
Overload	30	1.56
Negligence of ship positioning	25	1.31
Engine room short circuit	29	1.51
Others	337	17.54
Sum	1,921	100.00

총톤수별 해양사고 분류 결과는 Table 3과 같다. 20톤 이상~100톤 미만의 선박이 839건(39.02%)으로 가장 많이 발생했고, 다음은 5톤 이상~10톤 미만이 421건(12.79%), 2톤 이상~5톤 미만이 275건(12.79%) 순으로 발생했다.

Table 3 Marine accidents by gross tonnage

Tonnage	Number of Accidents	Ratio (%)
Less than 2	145	6.74
Less than 2-5ton	275	12.79
Less than 5-10ton	421	19.58
Less than 10-20ton	259	12.05
Less than 20-100ton	839	39.02
Less than 100-500ton	194	9.03
500ton or more	17	0.79
Sum	2,150	100.00

사고유형별 해양사고 분류 결과는 Table 4와 같다. 해양사고재결서에 나타난 사고유형별 어선 해양사고는 충돌사고가 1,085건(56.48%)으로 가장 많이 발생했고, 이어서 인명사상 256건(13.33%), 화재사고 189건(9.84%) 등의 순서로 나타났다.

Table 4 Marine accidents by accident type

Type of Accidents	Number of Accidents	Ratio (%)
Collision	1085	56.48
Casualty	256	13.33
Grounding	113	5.87
Fire	189	9.84
Engine damage	8	0.42
Others	270	14.06
Sum	1,921	100.00

마지막으로, 위도·경도에 따른 어선 해양사고를 도식화한 것을 Fig. 3에 나타내었다. 그림과 같이, 어선 해양사고는 우리나라 근해보다 연안에서 비교적 더 많은 건수가 발생하는 것을 확인하였다.

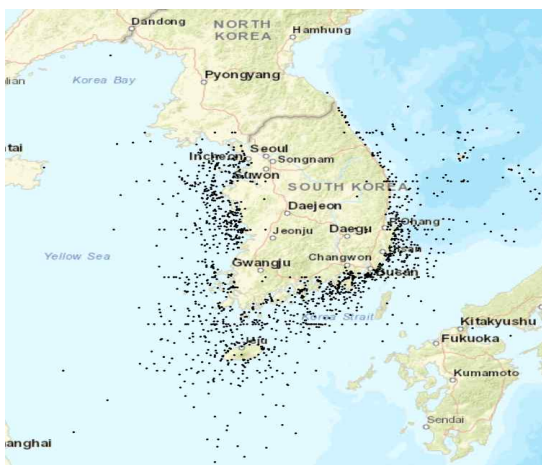


Fig. 3 Diagram of a fishing ship marine accident

### 3.2 해양수산부 사고알림문자 데이터 분류 결과

해양수산부 사고알림문자 데이터는 사고유형별, 선박 종류별, 사고 지역별, 총톤수별, 어선의 업종별로 나타내었다.

사고유형별 해양사고 분류 결과는 Table 5와 같다. 3년간 발생한 어선 해양사고 1,178건 중에서 기관손상 사고가 266건(22.58%)으로 가장 많이 발생했고, 이어서 부유물감김 사고 204건(17.32%), 충돌사고 173건(14.69%), 인명사상 사고 164건(13.92%) 등의 순으로 발생했다.

Table 5 Marine accidents by accident type

Type of Accidents	Number of Accidents	Ratio (%)
Engine damage	266	22.58
Propeller entanglement	204	17.32
Collision	173	14.69
Casualty	164	13.92
Fire	94	7.98
Grounding	88	7.47
Flooding	69	5.86
Capsizing	55	4.67
Contact	25	2.12
Sinking	17	1.44
Steering gear damage	16	1.36
Others	7	0.59
Sum	1,178	100.00

선박 종류별 해양사고 분류 결과는 Table 6과 같다. 비어선을 포함한 선종별 해양사고는 어선이 1,178건(61.45%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 여객선 241건(12.57%), 화물선 157건(8.19%)으로 나타났다. 3년간의 해양사고 중 어선에서 61.45%로 사고가 가장 많이 발생하였으며, 이는 어선 해양사고가 큰 비중을 차지하는 것을 의미한다.

Table 6 Marine accidents by accident type

Ship Type	Number of Accidents	Ratio (%)
Fishing ship	1,178	61.45
Passenger ship	241	12.57
Cargo ship	157	8.19
Tug, barge	113	5.89
Government ship	94	4.90
Oil tanker	59	3.08
Farm management line	37	1.93
others	38	1.98
Sum	1,917	100.00

사고 지역별 해양사고 분류 결과는 Table 7과 같다. 사고 지역별 해양사고는 전라남도에서 307건(26.06%)으로 가장 많이 발생했고, 이어서 제주도 229건(19.44%), 경상남도 130건(11.04%) 순으로 발생했다. 해역별로 구분하였을 때, 남해에서 사고가 가장 많이 발생했다.

총톤수별 해양사고 분류 결과는 Table 8과 같다. 10톤 미만의 어선이 700건(55.60%), 이어서 20톤 이상~30톤 미만이 199건(15.81%), 50톤 이상~100톤 미만이 161건(12.79%)으로 발생하였다. 10톤 미만의 연안 어선에서 사고가 가장 많이 발생한 것을 확인하였다.

Table 7 Marine accidents by province

Accident Area		Number of Accidents	Ratio (%)
West sea	Gyeonggi	8	0.68
	Incheon	54	4.58
	Chung-nam	120	10.19
	Jeon-buk	79	6.71
East sea	Gyeong-buk	110	9.34
	Ulsan	38	3.23
	Gangwon	42	3.57
South sea	Gyeong-nam	130	11.04
	Jeon-nam	307	26.06
	Jeju	229	19.44
	Busan	40	3.40
Others		21	1.78
Sum		1,178	100.00

Table 8 Marine accidents by gross tonnage

Tonnage	Number of Accidents	Ratio (%)
Less than 10	700	55.60
less than 10-20ton	42	3.34
less than 20-30ton	199	15.81
less than 30-40ton	59	4.69
less than 40-50ton	59	4.69
less than 50-100ton	161	12.79
less than 100-200ton	25	1.99
200ton or more	14	1.11
Sum	1,259	100.00

어선의 업종별 해양사고 분류 결과는 Table 9와 같다. 연안 복합어선이 328건(27.84%)으로 가장 많이 발생했고, 이어서 연안자망어선 145건(12.31%), 근해자망어선 100건(8.49%) 순으로 발생했다. 연안복합어선은 낚시어업, 문어단지어업, 손뽕치어업, 패류껍질어업, 패류미끼망어업을 복합적으로 할 수 있는 어선으로, 이 연구에서는 낚시 조업을 하는 어선을 연안복합어선에 포함시켰다.

### 3.3 데이터 분류 결과에 따른 데이터의 선택

해양사고재결서 데이터와 사고알림문자 데이터를 수집하여

분류하였다. 먼저, 해양사고재결서 데이터는 사고 당시의 상황, 사고원인, 관련 법규가 상세히 기재되어 있지만 재결되지 않은 사고 전체를 대변할 수는 없었다. 해양사고 조사 결과 원인이 간명하여 심판에 불일 필요가 없다고 인정되는 경우에는 심판불필요처분을 하고, 그 외의 사건에 대해서는 심판을 청구하게 된다. 어선의 경우 발생 비율에 비하여 재결서의 건수가 현저히 적은 이유일 것으로 보인다.

Table 9 Marine accidents by fishing ship type

Fishing Ship Type	Number of Accidents	Ratio (%)
Coastal composite	328	27.84
Coastal gill net	145	12.31
Offshore gill net	100	8.49
Offshore long line	90	7.64
Offshore jigging	81	6.88
Offshore pots	78	6.62
Coastal pots	77	6.54
Offshore improved stow net	43	3.65
Danish seine	32	2.72
Coastal stow net	23	1.95
Others	181	15.37
Sum	1,178	100.00

해양수산부 사고알림문자 데이터에서는 사고 발생에 대한 기초적인 정보가 기록되어 있다. 피해가 미비한 사고도 기록되어 있기에 해양사고의 전반적인 파악이 가능하며, 어선의 업종별 사고를 제공해 줌으로써 어선 해양사고 분석에 더 효율적인 것으로 판단하였다. 하지만, 사고원인에 대해 기록이 되어 있지 않은 문자도 많았다. 그 이유는 실시간으로 발신되는 문자이며, 원인 파악보다는 상황을 수습하는 것이 먼저인 것으로 보인다.

그래서 이 연구에서는 어선 해양사고에서 중요하다고 판단하는 어선의 업종과 사고 위치 등이 제공되어 있는 해양수산부 사고알림문자 데이터를 활용하여 베이지안 네트워크를 활용하여 분석하였다.

## 4. 어선 해양사고 분석 및 논의

### 4.1 어선 해양사고 분석

어선 해양사고 분석은 연구 방법에 서술한 BN을 활용하였다. 분류와 데이터의 선택 결과에 따라 BN을 활용하여 추론하기 위하여 노드의 진행에 따른 추론을 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

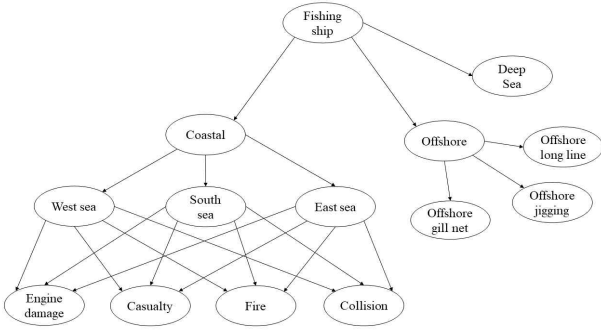


Fig. 4 Inference according to node progress using BN

노드의 연결을 위해서는 사전확률 계산이 필요하며, 이 계산을 위하여 다음과 같이 변수를 설정하였다. 사전확률을 얻기 위하여 선박 종류는  $F_i$ , 어획 구역은  $F_{i,j}$  해양사고 유형은  $F_{i,j,k}$ , 조업 종류는  $F_{i,j,k,f}$ 로 놓고 계산하였다.  $F_i$ 는 어선과 상선으로 구분하였으며,  $F_{i,j}$ 는 연안(coastal), 근해(offshore), 원양(deep sea)으로 구분하였다.  $F_{i,j,k}$ 는 가장 많은 사고 유형을 보인 충돌, 인명사상, 기관손상, 화재로 구분하였다.  $F_{i,j,k,f}$ 는 근해 어선 중 가장 많은 업종별 사고를 보인 근해자망어선, 근해연승어선, 근해채낚기어선으로 구분하였다.

선박 종류별 사고의 빈도는 식 6과 같이 계산된다.

$$N_i = \sum_{m=1}^M DF_{m,i} \quad (6)$$

여기서,  $DF_{m,i} = 1$ 일 때  $D_{m,r} | r = I_{fishing\ ship} = i$ 이고,  $DN_{m,i} = 0$ 이면 제외한다.

선박 종류에 따른 어획 구역의 빈도는 다음 식 7과 같이 계산된다.

$$N_{i,j} = \sum_{m=1}^M DN_{m,i,j} \quad (7)$$

여기서,  $DN_{m,i,j} = 1$ 일 때

$D_{m,r} | r = I_{fishing\ ship} = i$ 와  $D_{m,r} | r = I_{fishing\ area} = j$ 이고,  $DN_{m,i} = 0$ 이면 제외한다.

선박 종류별 어획 구역에 따른 해양사고 종류는 다음 식 8과 같이 계산된다.

$$N_{i,j,k} = \sum_{m=1}^M DN_{m,i,j,k} \quad (8)$$

여기서,  $DN_{m,i,j,k} = 1$ 일 때

$D_{m,r} | r = I_{fishing\ ship} = i$ ,  
 $D_{m,r} | r = I_{fishing\ area} = j$ 와  
 $D_{m,r} | r = I_{Type\ of\ accident} = k$ 이고,  $DN_{m,i,j,k} = 0$ 이면 제외한다.

식(6)-(8)에 따라 계산한 결과는 Fig. 5와 같다. 어선 해양사고의 변수들에 따른 데이터의 사전확률을 BN으로 나타내었다. 해양사고를 어선 사고와 비어선 사고로 구분하였을 때, 어선 해양사고가 발생할 확률은 61%이며, 발생하지 않을 확률은 39%이다. 어선 해양사고 중에서 10톤을 기준으로 연안 어선과 근해 어선을 구분하였을 때 사고 발생 확률은 각각 34%, 27%이다. 또한 연안 어선 중에서 사고 발생 해역에 따라 서해, 남해, 동해로 구분하였을 때 서해에서 사고가 발생할 확률은 9%, 남해에서 발생할 확률은 18%, 동해에서 발생할 확률은 5%로 나타내었다. 마지막으로 사고 해역별 가장 많이 발생한 사고 유형인 기관손상, 인명사상, 화재, 충돌사고에 따른 사전확률을 나타내었다.

해양사고 예측을 위해서는 사전확률과 동시에 사후확률 계산이 필요한데, 그 계산 방법은 다음과 같다. 기관손상으로 인한 서해 연안에서 발생할 어선의 해양사고 확률은 기관손상이 발생할 확률인 2.55%, 서해 9%, 연안 34%, 어선 61%에 2019년도 사고가 발생한 비율은 등록 척수 97,623척에 639척이 발생하였기에, 이 확률을 후방 추론으로 계산하면 0.0000031%이다.

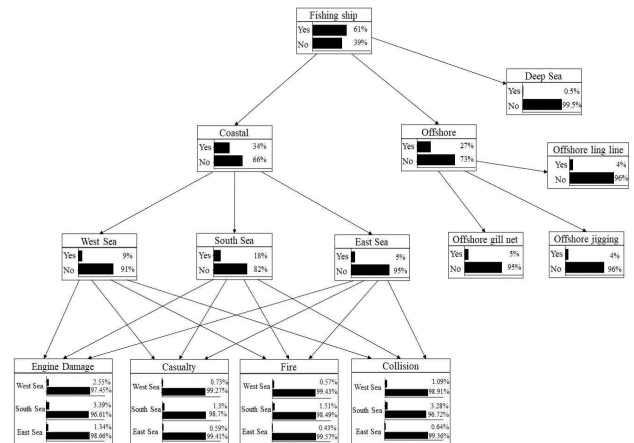


Fig. 5 Prior probabilities of fishing ship marine accident variables using BN

#### 4.2 논의 및 한계점

먼저, 수집한 데이터는 해양수산부 해양안전정보시스템에서 제공되는 문자 데이터이기에, 자세한 사고원인과 사고 당시의 날씨, 파고 등을 미포함하는 경우의 문자도 있었다. 따라서 사고알림문자 데이터 변수 중에서 사고원인, 사고 당시 환경에 대한 분류는 수행되지 않았다. 어선 해양사고는 상선과 다르게 항해, 조업, 날씨, 월별 등의 형태가 각각 다르기에 많은 변수의 영향을 받는다. BN은 새로운 변수가 추가됨에 따라 사

전확률이 즉각적으로 계산되기 때문에, 다른 사고 분석에 비하여 변수의 추가 등에 대한 영향도를 확인하기가 매우 쉬운 장점이 있다. 데이터의 추가적인 정보를 제공받음에 따라 더 정확한 확률을 나타낼 것으로 기대해 볼 수 있다.

또한, 어선 해양사고는 상선의 해양사고와 달리 조업 종류, 업종별에 따라 항해 방법, 조업, 항해구역, 선박의 크기 등이 달라진다. 그래서 이전의 어선 해양사고 분석에서는 이들의 관계를 분석하는 것보다 작업자 또는 특정 조업에 따른 위험성에 관한 연구를 수행하였다(Kim et al., 2017; Lee et al., 2014). 그렇기 때문에 이러한 새로운 데이터를 활용한 해양사고 분석은 의미가 있다고 주장한다.

추가적으로, 사전 조건부확률은 입력된 변수의 인과관계를 갖는 데이터를 활용해야 한다. 해양사고도 마찬가지로 변수들의 인과관계를 증명하는 것이 필요하지만, 이 연구의 목적은 새로운 데이터를 활용하여 어선의 해양사고를 분석하는 것이었기 때문에, 인과관계에 대한 증명은 추후 연구로 남겨둔다.

## 5. 결 론

해양사고 분석을 통하여 사고의 원인을 규명하는 것은 해양사고의 예방 및 대책 마련에 중요하게 작용한다. 본 연구에서는 어선 해양사고 데이터를 수량화하여 분류하고, 분류한 결과를 베이지안 네트워크를 사용하여 분석하였다.

데이터 분류에 사용된 해양사고 데이터는 중앙해양안전심판원의 해양사고재결서와 해양수산부의 사고알림문자를 수집하였다. 연구 방법에 따른 이 연구의 결과는 다음과 같다.

첫째, 해양사고재결서 데이터에서 16년간 발생한 어선 해양사고 1,921건을 수집 및 분류하였다. 데이터의 분류 결과는 사고원인별, 총톤수별, 사고유형별, 사고 위치별로 수량화하였다.

둘째, 해양수산부 사고알림문자 데이터에서 3년간 발생한 어선 해양사고 1,917건을 수집 및 분류하였다. 사고유형별, 선박 종류별, 사고 지역별, 총톤수별, 어선의 업종별로 분류하였다. 사고알림문자 데이터의 특징인 어선의 업종별 사고는 연안복합어선, 연안자망어선, 근해자망어선 순으로 발생하였다.

셋째, 두 가지 수집한 데이터 중 해양수산부 사고알림문자 데이터를 선택하였다. 해양사고재결서는 모든 어선의 사고가 재결서에 포함되지 않았다. 하지만 사고알림문자 데이터는 이를 포함하고 있기에 어선 해양사고 분석에 더 적합한 것으로 판단하였다.

넷째, 베이지안 네트워크를 사용하여 어선 해양사고를 분석하였다. 선박 종류, 어획 구역, 해양사고 유형, 조업 종류에 대하여 사전확률을 계산하였으며, 후방 추론으로 계산한 기관손상 사고가 우리나라 서해 연안에서 발생할 어선 해양사고의 확률은 0.0000031%로 확인하였다.

이 연구는 어선 해양사고를 분석하기 위하여 이전의 재결서를 통한 해양사고 분석에서, 새로운 사고알림문자 데이터를 활용할 수 있다는 점에서 실제 어선 해양사고 분석의 가능성

을 확인하였다. 어선 해양사고는 상선과 다르게 항해 또는 조업의 형태가 각각 다르기에 많은 변수의 영향을 받는다. 따라서 새로운 해양사고 변수가 추가됨에 따라 즉각적으로 반응하는 BN을 적용함으로써 변수의 추가 등에 대한 영향도를 확인할 수 있었다. 하지만 추후에는 이 연구에 적용된 변수의 인과관계에 관한 연구가 필요할 것이다.

## 후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(CD20210799, 2021년)에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Camliyurt, G., Choi, S. A., Kim, S. R., Guzel, A. T. and Park, Y. S.(2022), "Risk Assessment for Marine Pilot Occupational Accidents using Fault Tree and Event Tree Analysis", Journal of Navigation and Port Research, Vol. 46, No. 5, pp. 400-408.
- [2] Cho, H. K., Park, B. S., Kang, D. H. and Kim, S. S.(2017), "The Main factor and Counterplan for Marine accidents in Korea", Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, Vol. 29, No. 3, pp. 746-756.
- [3] Fenton, N. and Neil, M.(2018), "Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks", CRC Press.
- [4] Hänninen, M. and Kujala, P.(2014), "Bayesian network modeling of Port State Control inspection findings and ship accident involvement", Expert systems with applications, Vol. 41, No. 4, pp. 1632-1646.
- [5] Jo, S. S.(2016), "A Study on the Pattern Classification of Event Tree Analysis for Marine Accident Assessment", Mokpo National Maritime University, Graduate School, Master's thesis.
- [6] Jung, C. H.(2018), "A study on the improvement of safety by accidents analysis of fishing vessels" J. Fish. Mar. Sci. Educ, Vol. 30, pp. 179-186.
- [7] Kang, I. K., Kim, H. S., Kim, J. C., Park, B. S., Ham, S. J. and Oh, I. H.(2013), "Study on the marine casualties in Korea", Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, Vol. 49, No. 1, pp. 29-39.
- [8] Kang, I. K., Kim, H. S., Shin, H. I., Lee, Y. W., Kim, J. C. and Jo, H. J.(2007), "Safety countermeasures for the marine casualties of fishing vessels in Korea", Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, Vol. 43, No. 2, pp. 149-159.
- [9] Kim, D. J. and Kwak, S. Y.(2011), "Evaluation of human factors in ship accidents in the domestic sea", Journal of



- the Ergonomics Society of Korea, Vol. 30, No. 1, pp. 87-98.
- [10] Kim, M. S., Hwang, B. K. and Chang, H. Y.(2019), “Analysis of the working characteristics of the skipper and risk factors of marine accident in Korea coastal composite fishing vessels”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 55, No. 2, pp. 152-161.
- [11] Kim, S. H., Kim, H. S. and Lee, Y. W.(2020), “The causes and counterplan for marine casualties of fishing boats according to the fishing types”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 56, No. 3, pp. 246-257.
- [12] Kim, S. H., Kim, H. S., Kang, I. K. and Kim, W. S.(2017), “An analysis on marine casualties of fishing vessel by FTA method”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 53, No. 4, pp. 430-436.
- [13] Kim, W. S., Lee, J. H., Kim, S. J., Kim, H. S. and Lee, Y. W.(2013), “A basic study on control factor for the marine casualties of fishing vessel in Korea”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 49, No. 1, pp. 40-50.
- [14] KMST(2022), “Korean Maritime Safety Tribunal (2005-2020), Investigation report of Maritime Safety Judgement, www.kmst.go.kr”.
- [15] Lee, H. J. and Kim, B. R.(2021), “Study to Improve the Legal System to Reduce Marine Accidents caused by Marine Plastic Litter”, *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 27, No. 7, pp. 967-976.
- [16] Lee, H. K. and Chang, S. R.(2005), “Cause analysis and prevention of fishing vessels accident”, *Journal of the Korean Society of Safety*, Vol. 20, No. 1, pp. 153-157.
- [17] Lee, M. k., Park, Y. S., Lee, E. B. and Na, S. J.(2019), “A Study on the Improvement plan of Marine Accident Investigation Method”, *Korean Association of Maritime Police Science* Vol. 9, No. 1, pp. 111-129.
- [18] Lee, Y. W., Kim, S. J. and Park, M. K.(2013), “A study on the collision between fishing vessel and non fishing vessel using the analysis of written verdict”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 49, No. 2, pp. 136-143.
- [19] MOF(2022), “Ministry of Oceans and Fisheries, General Information Center on Maritime safety & Security (2019-2022), Marine accidents, www.mof.go.kr”.
- [20] MOLEG(2021), “Introduction of Korean Law Information Center(2021), Fisheries Act, www.law.go.kr”.
- [21] Na, S., Lee, S. H. and Choi, H. J.(2016), “Fundamental Research on the Development of a Risk Based Decision Support System for Maritime Accident Response: Focused on Oil Tanker Grounding”, *Journal of navigation and port research*, Vol. 40, No. 6, pp. 391-400.
- [22] Park, D. J., Yang, H. S. and Yim, J. B.(2022), “Compression of the Variables Classifying Domestic Marine Accident Data”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 46, No. 2, pp. 92-98.
- [23] Park, T. G., Kim, S. J., Chu, Y. S., Kim, T. S., Ryu, K. J. and Lee, Y. W.(2018), “Reduction plan of marine casualty for small fishing vessels”, *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, Vol. 54, No. 2, pp. 173-180.
- [24] Uğurlu, F., Yıldız, S., Boran, M., Uğurlu, Ö. and Wang, J.(2020), “Analysis of fishing vessel accidents with Bayesian network and Chi-square methods”, *Ocean Engineering*, Vol. 198, p. 106956.
- [25] Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U. and Yüksekıldız, E.(2015), “Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method”, *Maritime Policy & Management*, Vol. 42, No. 2, pp. 163-185.
- [26] Yim, J. B.(2009), “Development of Quantitative Risk Assessment Methodology for the Maritime Transportation Accident of Merchant Ship”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 33, No. 1, pp. 9-19.
- [27] Yim, J. B.(2009), “Implementation Techniques for the Seafarer’s Human Error Assessment Model in a Merchant Ship: Practical Application to a Ship Management Company”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 33, No. 3, pp. 181-191.
- [28] Yim, J. B.(2017), “A Study on the Reduction of Common Words to Classify causes of Marine Accidents”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 41, No. 3, pp. 109-118.
- [29] Yim, J. B.(2019), “Analysis of Seafarers’ Behavioral Error on Collision Accidents”, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 43, No. 4, pp. 237-242.
- [30] Yu, Y. J. and Cho, M. G.(2009), “A Short-Term Traffic Information Prediction Model Using Bayesian Network”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 13, No. 4, pp. 765-773.

Received 13 January 2023

Revised 18 January 2023

Accepted 18 January 2023