



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

이 학 석 사 학 위 논 문

베이지안 네트워크를 이용한  
어선 해양사고 분석에 관한 연구



국립부경대학교

대학원 수산물리학과

박상아

이 학 석 사 학 위 논 문

베이지안 네트워크를 이용한  
어선 해양사고 분석에 관한 연구



지도교수 박 득 진

이 논문을 이학석사 학위논문으로 제출함.

2024년 2월

국립부경대학교

대학원 수산물리학과

박상아

박상아의 이학석사 학위논문을 인준함.

2024년 2월 16일



위원장 이학박사 이 성 일 (인)

위원 이학박사 김 수 형 (인)

위원 공학박사 박 득 진 (인)

# 목 차

List of Figures .....	iii
List of Tables .....	v
Abstract .....	vi
제 1 장 서 론 .....	1
제 2 장 연구 방법 .....	4
2.1 해양사고 데이터 수집 및 분류 .....	6
2.2 전문가 의견 조사 .....	12
2.3 베이지안 네트워크 .....	15
2.4 민감도 분석 .....	20
제 3 장 결과 및 고찰 .....	21
3.1 해양사고 데이터 분류 .....	21
3.2 전문가 의견 .....	31

3.3 베이지안 네트워크 시나리오 모델링 .....	35
3.4 시나리오 민감도 분석 .....	47
3.5 고찰 .....	50
제 4 장 결 론 .....	52
References .....	54
감사의 글 .....	59



## List of Figures

Fig. 1 Flowchart showing research procedure of this study	5
Fig. 2 Basic structure of BN	16
Fig. 3 BN structure for fishing vessel accident type	18
Fig. 4 Schematic diagram of fishing vessel accidents	24
Fig. 5 Boxplot of SMEs' opinion survey results	33
Fig. 6 Scenario modeling of engine damage	37
Fig. 7 Scenario modeling of collision	38
Fig. 8 Scenario modeling of casualty	39
Fig. 9 Scenario modeling of fire explosion	40
Fig. 10 Scenario modeling of grounding	41
Fig. 11 Scenario modeling of flooding	42
Fig. 12 Scenario modeling of capsizing	43
Fig. 13 BN scenario of fishing vessel marine accident	45
Fig. 14 BN scenario modeling of fishing vessel marine accident	46

Fig. 15 Sensitivity analysis of capsizing accident ..... 47

Fig. 16 Sensitivity analysis of flooding accident ..... 48

Fig. 17 Sensitivity analysis of casualty accident ..... 49

Fig. 18 Scenario modeling of fire explosion ..... 51

Fig. 19 Fire explosion scenario with added probability case ..... 51



## List of Tables

Table 1. Quantification code for marine accident data .....	9
Table 2. Classification of marine safety judgment decision data	10
Table 3. Classification of marine accident situation transmission data .....	11
Table 4. SMEs' opinion survey on causes of fishing vessel accidents .....	13
Table 5. Example of NPT .....	19
Table 6. Number of marine accidents by type .....	21
Table 7. Number of marine accidents by cause .....	22
Table 8. Number of fishing vessel marine accidents by tonnage	23
Table 9. Number of marine accidents by vessel type .....	25
Table 10. Number of fishing vessel marine accidents by type ..	26
Table 11. Number of fishing vessel marine accidents by area	27
Table 12. Number of fishing vessel marine accidents by tonnage .....	28
Table 13. Number of fishing vessel marine accidents by type	29
Table 14. Results of SMEs' opinion survey .....	31

# A Study on Fishing Vessel Accident Analysis using Bayesian Networks

Park Sang-A

*Department of Fisheries Physics*

*The Graduate School, Pukyong National University*

## Abstract

Fishing vessels have different fishing methods and operate in different areas depending on the type of fisheries. In addition, as the causes of accidents and work environment factors are complex, a research on various analytical methods is necessary. In this study, data of marine safety judgment decisions and the transmission of marine accident situations were collected and identified to classified marine accident variables. To investigate the causes of accidents, Subject Matter Experts(SMEs) opinions were used to investigate each type of accident. Based on the results of the SMEs' opinion survey, scenario modeling was conducted for analyzing the seven types of accident causes. In addition, a fishing vessel marine accident scenario was modeled by combining classified data of situational transmission and SMEs' opinions.

Posterior probability changes were inferred by adding a probability case from the results of Bayesian Network scenario modeling. Reducing the probability of occurrence of a node in a fire explosion scenario confirmed that the probability of an accident occurring decreased. Sensitivity analysis was performed to verify the modeled Bayesian Network scenario.



# I. 서론

우리나라는 어업 활동이 활발하게 이루어지며 어업의 종류도 다양하다. 그러나 어업이 활발해지면 그만큼 해상 활동 빈도가 증가하며, 이에 따라 해양 사고 발생 확률이 높아질 수 있다(Yim et al., 2014).

중앙해양안전심판원의 2018~2022년간의 해양사고 통계에 따르면, 해양사고는 연간 평균 2,876건으로 많은 사고가 지속해서 발생하고 있다. 또한 전체 해양 사고 중에서 어선 해양사고는 65.4%로 상당한 비중을 차지한다(KMST, 2018~2022).

해양 산업에 관한 국제적 연구와 기술은 발전하고 있지만, 해양사고의 발생은 현재까지도 중요한 문제로 인식되고 있다(Akyuz et al., 2014). 또한, 선박은 구조와 운항이 복잡한 특성이 있어 사고를 완전히 예방하는 것은 불가피하지만(Kececi et al., 2017), 그럼에도 불구하고 사고를 지속적으로 분석하고 원인을 규명하여 최소한으로 줄이는 방안을 모색할 필요가 있다.

우리나라는 어선의 안전 향해와 조업을 목적으로 어선법과 어선 안전 조업법을 시행하고 있으며(www.law.go.kr), 어선 사고 예방 및 사고 시 구조를 위한 어선 안전 조업국도 전국 20개소에서 운영 중이다. 그러나 최근 5년 동안 어업으로 인해 총 439명의 사망 또는 실종자가 발생하여 이로 인한 인명피해가 발생했다(KOMSA 2018~2022). 이처럼 어선 해양사고는 높은 인명피해 위험과 많은 사고 건수가 특징이다.

어선 해양사고 위험도 평가에 관한 연구는 퍼지 평가법을 이용하여 국내 해역에서 발생한 어선 해양사고의 종합위험도를 추정한 연구가 있고(Sur and

Kim, 2020), 터키 어선의 해양사고 데이터를 BN(Bayesian Network)과 ARM(Association Rule Mining)을 사용하여 하이브리드 모델을 개발한 연구(Özaydın et al., 2022) 등이 있다.

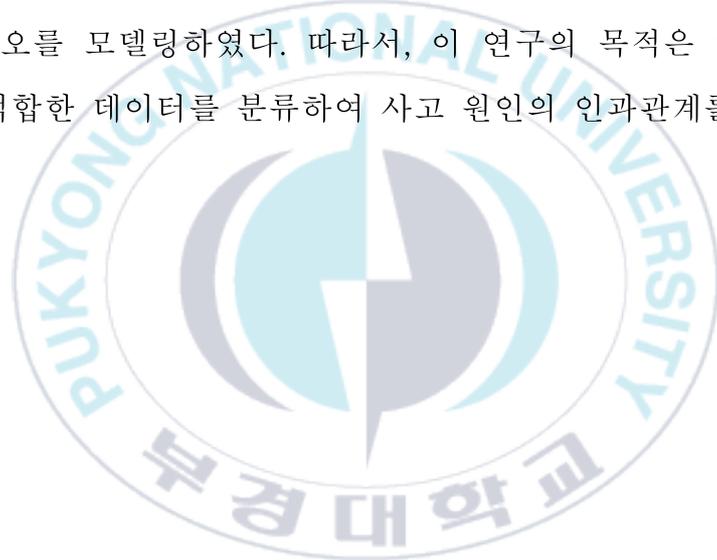
어선 해양사고의 분석에 관한 연구는 어선 전복 사고에 관한 재결 사례를 바탕으로 원인을 분석하여 어선의 전복 사고 예방을 위한 조치를 제안하였으며(Jung et al., 2012), 인명피해 위험도가 높은 사고의 유형을 식별하고 충돌 사고 피해를 줄이기 위한 요소들의 분석도 수행되었다(Kim et al., 2013). 충돌사고에 관해서도, 재결서 분석을 통한 어선과 비어선을 분류하여 충돌사고의 근본적인 원인을 분석한 연구(Lee et al., 2013) 및 충돌사고 감축을 위한 어선의 대응 방안에 관한 연구(Jung, 2014)가 수행되었다. 사고 원인을 분석하기 위하여 결함수분석 기법을 이용하기도 하였으며(Kim et al., 2017), 해양안전심판원의 어선 해양사고 통계를 분석하고, 소형어선의 해양사고를 줄이기 위한 방안을 제시하였다(Park et al., 2018). 10년간의 해양사고 통계 분석을 통해 사고 발생 현황과 사고 종류별 원인을 알아보고 어선 해양사고 예방을 위한 안전성 제고 방안을 제시한 연구도 수행되었으며(Jung, 2018), 해양사고 통계와 재결서, 등록 어선 통계를 이용하여 어선의 업종별 해양사고의 원인과 대책에 관해서도 수행되었다(Kim et al., 2020).

위의 연구들은 대부분 해양안전심판 재결서 또는 해양수산부의 통계 데이터를 바탕으로 수행된 연구이다. 그러나 해양안전심판 재결서는 재결되지 않은 사고에 대한 정보는 얻을 수 없으며, KMST의 통계 데이터에서는 상세한 내용을 수집하기가 어렵다(Kim et al., 2014). 또한, 위의 연구들에서는 복잡하고 다양한 원인들의 인과관계에 대한 통계적인 분석을 수행하지 않았다. 해양사고는 한가지의 원인만으로 발생하는 것이 아니기 때문에 이러한 결점을 보완할 수 있는 방법을 통하여 해양사고 분석에 관한 연구를 수행할 필요가 있다.

또한, 어선은 업종에 따라 항행 구역과 조업 방식이 다른 특수성이 있으며

(Kim et al., 2014), 사고의 원인과 근무 환경 요인들이 다소 복잡하게 작용한다. 어선 해양사고는 주로 조업 중과 항해 중에 발생하는데, 특히 조업 중에는 기계를 사용하는 경우가 빈번하여 그만큼 위험 요인이 상대적으로 높다 (Uğurlu et al., 2020). 또한, 어선 해양사고는 매년 갱신되기 때문에 주기적으로 원인을 분석하고 식별할 필요가 있으며, 사고의 원인을 규명하고 재발생을 예방하기 위해서는 해양사고 분석을 통해 정확한 원인 조사가 필요하다(Lee et al., 2019).

이러한 사항들을 해결하기 위해 새로운 데이터를 활용하여 분류하고, 어선 해양사고의 복잡한 변수들의 관계를 나타내기 위해 베이지안 네트워크를 사용하여 시나리오를 모델링하였다. 따라서, 이 연구의 목적은 어선 해양사고 분석을 위한 적합한 데이터를 분류하여 사고 원인의 인과관계를 분석하는 것이다.



## II. 연구 방법

Fig. 1에 나타낸 연구 절차에 따라 먼저 해양사고 데이터를 수집하였다. 해양사고 데이터는 두 가지로 분류되며, 중앙해양안전심판원의 해양안전심판 재결서와 해양수산부의 해양사고 상황전파 데이터이다. 수집한 데이터는 문자로 된 데이터이므로, 이를 통계적으로 분석할 수 있도록 각각 코드를 지정하여 분류하였다. 수량화한 데이터는 업종별, 톤수별 등으로 분류하였고, 분석을 위해 적합한 데이터를 선택하였다. 그러나 수집한 해양사고 데이터에는 사고 원인에 관한 정보가 상세하지 않다는 단점이 있다. 따라서 사고 종류에 따른 원인을 조사하기 위해 해당 분야 전문가들의 의견 데이터를 수집하였다. 따라서 이 연구에서는 객관적 사실 기반의 해양사고 데이터와 어선 해양사고 전문가들의 주관적 의견을 동시에 고려하여 활용하였다. 분석 방법은 어선 해양사고의 원인분석을 위해 베이저안 네트워크(Bayesian Network, BN)를 적용하였다. BN의 검증에는 민감도 분석(Sensitivity analysis)을 적용하였으며, 민감도 분석을 통해 사고 종류에 영향을 미치는 원인의 민감도를 확인하였다. 최종적으로 BN 시나리오 모델링 결과를 기반으로 화재폭발 사고의 확률 케이스 추가를 예시로 들어 고찰하였다.

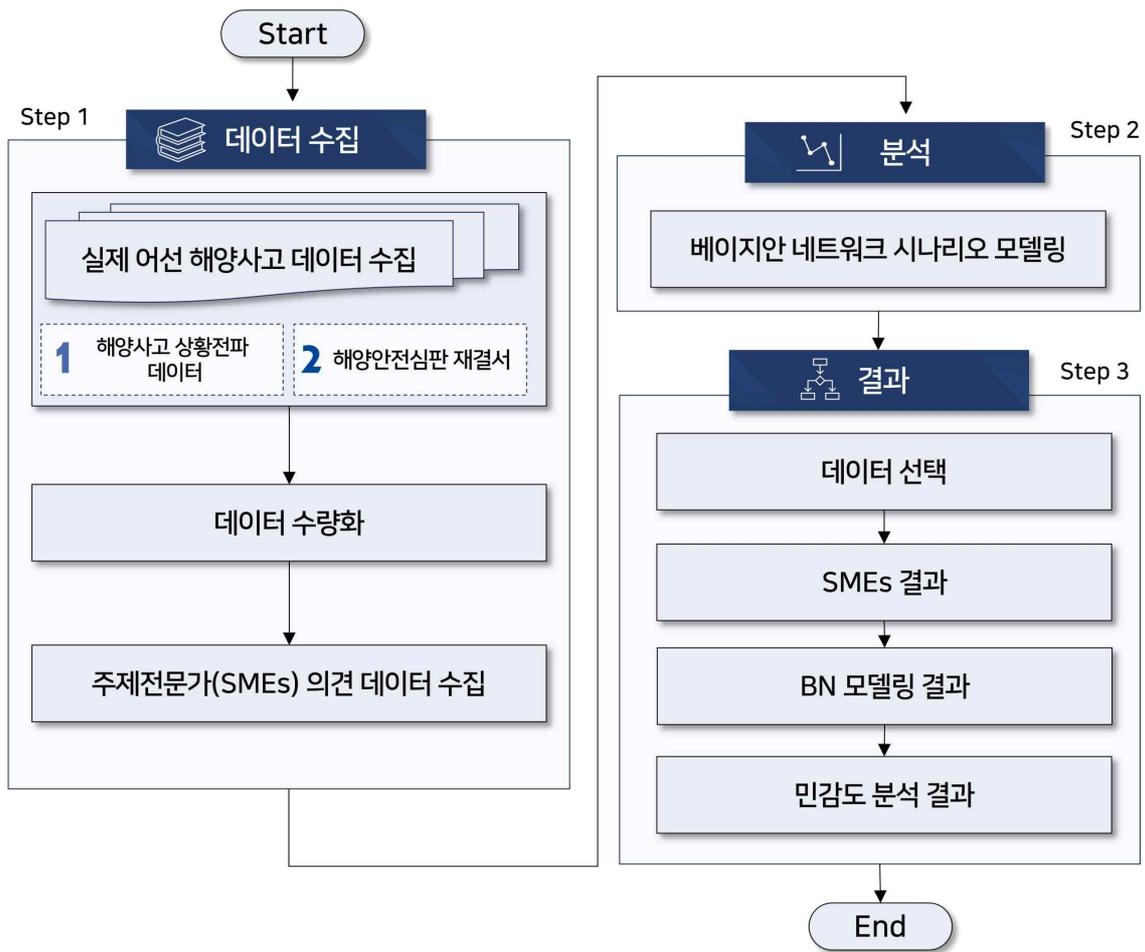


Fig. 1 Flowchart showing research procedure of this study.

## 2.1 해양사고 데이터 수집 및 분류

### 2.1.1 해양안전심판 재결서 데이터 수집

해양안전심판 재결서 데이터는 중앙해양안전심판원에서 확인할 수 있으며 해양사고에 관한 재결을 나타내는 자료로(www.kmst.go.kr), 해양사고 사례에 대한 자세한 정보의 파악이 가능하다.

이 연구를 위해 16년간(2005~2020)의 어선 대상의 해양안전심판 재결서 총 1,921건을 수집하였다. 비어선을 포함한 전체 해양사고 재결서 중 어선에 한정하여 식별하였으며, 변수는 사건명, 사고 일시, 사고 종류, 주제어(사고 원인), 사고 선박 톤수, 사고 지역, 위도 및 경도, 사고 관련 법규로 설정하였다. 숫자 0으로 표시된 부분은 작성되지 않은 정보이거나 확인되지 않은 정보이다. 또한, 선박 단독 사고의 경우 톤수 B는 0으로 표시하였다.

## 2.1.2 해양사고 상황전파 데이터 수집

두 번째로 수집한 데이터는 해양수산부 해양안전종합정보시스템의 해양사고 상황전파 데이터이다([www.gicoms.go.kr](http://www.gicoms.go.kr)). 이 데이터는 해양사고뿐만 아니라 해양 기상 정보, 해적 정보 및 해양 안전 통계도 제공한다. 최근 3년간(2019~2022)의 전체 해양사고 총 1,917건을 수집하였는데, 그 중에서 어선 해양사고 1,178건을 식별하였다. 변수는 사고 종류, 선박 종류, 톤수, 사고 일시, 해경 도착시간, 날씨, 파고, 인명·오염피해 여부, 사고 원인, 사고 위치로 설정하였다.

또한, 상황전파 데이터는 어선의 업종별 사고 정보를 확인할 수 있다. 어선 업종 구분을 위해 수산업법 제3장 제41조(허가어업) 제1항에 따라 10톤을 기준으로 연안어업과 근해어업으로 구분하였다([www.law.go.kr](http://www.law.go.kr)).



### 2.1.3 해양사고 데이터 분류

수집한 자료들은 Park and Park,(2023)의 기준을 참고하여 Table 1과 같이 식별 코드를 지정하여 분류하였다. 데이터를 분류하는 이유는 문자 데이터가 많은 경우에 계산량이 증가하는 단점을 피하기 위함이며, 프로그램상에서의 계산을 용이하게 하기 위함이다(Yim, 2017).

분류 방법은 사고 종류, 선박 종류, 사고 지역 등에 따른 임의의 숫자를 지정하였으며, 시간을 단축하고 분류를 쉽게 하기 위해 문자를 분류 코드에 따라 숫자로 변환하였다. 예를 들어, 사고 종류는 지정한 코드에 따라 충돌은 1로, 좌초는 2로 변환하였다. Table 2와 3은 각각 해양안전심판 재결서 데이터와 상황전파 데이터를 식별 코드에 따라 분류한 것을 나타낸다. 분류 데이터 또한 제공되지 않는 정보는 숫자 0으로 표시하였다.

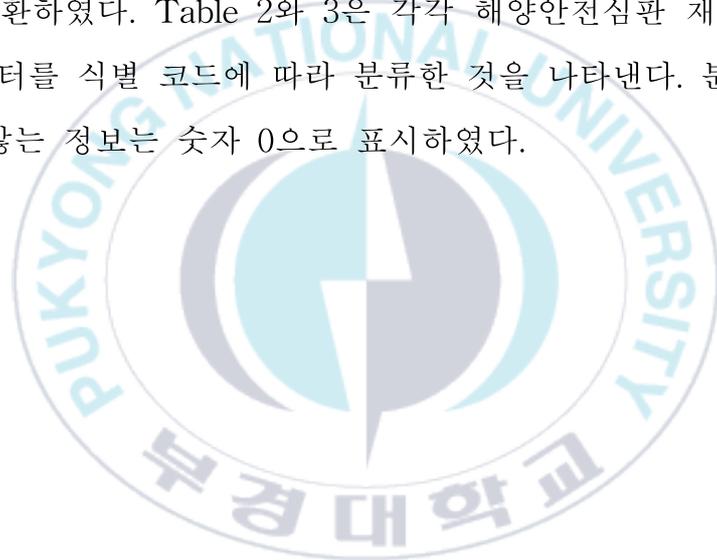


Table 1. Quantification code for marine accident data

사고 종류					
1	충돌	5	침몰	10	인명사상
2	좌초	6	기관손상	11	침수
3	접촉	7	폭발	12	해양오염
4	화재	8	추진기 이물질	13	전복
5	침몰	9	조타장치 손상	99	기타
어선 종류					
1	정지망	7	근해안강망	13	연안개량안강망
2	연안자망	8	외끌이기선저인망	14	쌍끌이기선저인망
3	연안복합	9	기선권현망	15	건착망
4	연안새우조망	10	근해연승	16	트롤
5	연안통발	11	근해통발	20	기타
6	근해채낚기	12	근해자망		
비어선 종류					
30	화물선	33	예·부선	36	어획물운반선
31	여객선	34	관공선	99	기타
32	유조선	35	양식장관리선		
사고 지역					
1	인천	5	전남	9	경북
2	경기	6	경남	10	강원
3	충남	7	울산	11	제주
4	전북	8	부산	99	기타
날씨					
1	맑음	2	흐림, 구름 많음	4	비
5	풍랑주의보, 풍랑경보	6	안개	7	눈
관련 법규					
법규 조항에 따른 숫자(예시 : 해사안전법제63조 → 63)					
주제어					
1	경계소홀	2	항법 미준수	3	무리한 조업
4	부적절한 피항동작	5	황천 대비 소홀	6	전선 단락
⋮					

Table 2. Classification of marine safety judgment decision data

사건명	사고 일시	사고 시간	사고 종류	주제어	톤수 A	톤수 B	사고 지역 위도	사고 지역 경도	사고 관련 범규A	사고 관련 범규B
어선 ○○호 침몰	150906	1540	5	5	0.43	0	344207	1272717	0	0
어선 ○○호, 어선 ○○호 충돌	081102	1000	1	1	0.57	0.71	342100	1264437	2	26
어선 ○○호, 어선 ○○호 충돌	071006	1800	1	1	0.61	0.47	350145	1261906	25	26
어선 ○○호, 선외기 ○○호 충돌	080726	2130	1	1	0.7	1.96	350458	1285011	8	1
어선 ○○호, 어선 ○○호 충돌	071010	1500	1	1	0.72	0.65	344826	1262117	25	26
어선 제1○○호 침몰	150118	1548	5	6	0.73	0	381822	1283420	8	0
어선 ○○○호 어선 ○○호 충돌	060925	0255	1	1	0.81	0.5	344818	1262124	2	0
어선 ○○○호 진북	160818	1535	13	1	0.85	0	374339	1263058	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Table 3. Classification of marine accident situation transmission data

사건명	사고 일시	사고 시간	사고 종류	선박 A	선박 B	톤수 A	톤수 B	해경 도착 시간	날 씨	파 고	인명, 오염 피해	사고 위치
독도, 어선 추진기 장애	220601	2100	8	11	0	0.43	0	0	1	2	x,x	9
제주, 레저보트 기관고장	220601	0	7	20	0	1.47	0	1730	1	0.5	x,x	11
창원, 양식장관 리선 화재	220601	1157	4	20	0	6.22	0	1210	1	1	x,x	6
고흥, 어선간 충돌	220601	0	1	2	20	1.49	9.77	0	2	0.5	x,x	5
울산, 어선 기관고장	220601	0630	8	6	0	39	0	0824	1	1.5	x,x	7
강릉, 어선원 안전사고 발생	211031	0930	12	4	0	4.67	0	1010	3	2	o,x	10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

## 2.2 전문가 의견 조사

상황전파 데이터는 사고 원인에 대한 정보가 부족했기 때문에, 이 연구에서는 데이터 제한 상황에서 적용 가능한 전문가 의견 조사 방법을 사용하였다. 어선은 종류가 다양하고 구조가 복잡하므로, 어선 해양사고 조사 및 연구 경험을 지닌 전문가의 의견이 필요하다(Ulusçu et al., 2009).

전문가의 의견을 조사하기 위해 수행된 연구는 브레인스토밍을 통해 해양사고를 유발하는 요인의 위험성을 평가한 연구가 있었으며(Hu and Park, 2020), 주제 전문가(Subject Matter Experts, SMEs)의 의견을 조사하여 해상 운송 위험도를 평가한 연구가 있다(Baksh et al., 2018). 주제 전문가의 의견 수렴은 특정 분야의 충분한 지식과 경험을 공유하기 때문에 기능적으로 우수하다.

따라서 어선 승선경력과 연구 경력이 있는 전문가를 선정하여 의견 조사를 수행하고 사고 원인의 기본값을 추정하였다. 전문가 그룹은 6인으로, 어선 승선경력이 9년 이상이며, 해양수산 분야의 석사학위 이상을 소지하고, 어선 해양사고 분석에 관한 연구를 수행한 어선의 기본 전문 지식을 갖춘 자를 대상으로 하였다. 의견 조사지는 Table 4와 같고, 사고의 종류는 기관손상, 충돌, 인명사상, 화재·폭발, 좌초, 전복, 침수로 구분하였다. 수집한 SMEs 의견은 평균과 표준편차를 이용하여 어선 해양사고 원인에 대한 인과관계 데이터로 활용하였다. 의견 조사지에 사용된 사고원인은 해양안전심판원의 해양사고통계 및 재결서, 한국해양교통안전공단의 해양교통안전정보시스템([mtis.komsa.or.kr](http://mtis.komsa.or.kr))을 참고하였다.

Table 4. SMEs' opinion survey on causes of fishing vessel accidents

사고종류	사고 원인	비율 (%)
기관손상	정비점검의 부족으로 인한 파손·손상	
	피로파괴	
	기관설비 노후화	
	전선 단락·합선	
	추진기 이물질 감김	
충돌	졸음으로 인한 경계소홀	
	음주로 인한 경계소홀	
	조업 중으로 인한 경계소홀	
	항법 미준수	
	제한된 시야	
	기상악화	
인명사상	안전 수칙 미준수로 인한 해상추락	
	안전 수칙 미준수로 인한 어로 장비 끼임	
	안전 수칙 미준수로 인한 넘어짐	
	안전 수칙 미준수로 인한 맞음	
	음주로 인한 해상추락	
	너울성 파도로 인한 해상추락	
	프로펠러 이물질 끼임으로 인한 해상 입수	
화재·폭발	정비점검 소홀로 인한 배터리 과열	
	윤활유계통 취급 부주의	
	작업중(도색, 취사) 유증기 폭발	
	전기장비 노후화	
	전선 누전·단락	
	흡연 및 개인 화기사용 부주의	
좌초	수심 미확인으로 인한 저수심	
	선위 확인 소홀	
	졸음, 음주로 인한 경계소홀	
	기상악화로 인한 너울성 파도	
	추진력 상실 및 기관 고장	

침수	적재 불량으로 인한 해수 유입	
	정비점검 소홀로 인한 파이프 부식·파손	
	작업 중 유증기 폭발	
	암초·구조물로 인한 외부 충격	
	너울성 파도로 인한 해수 유입	
	노후화에 의한 파공	
전복	과적으로 인한 복원성 손실	
	황천대비 소홀에 의한 부적절한 항해	
	해수유입으로 인한 복원성 손실	
	충돌로 인한 전복	



## 2.3 베이저안 네트워크

어선 해양사고 종류별 원인 변수를 분석하기 위하여 BN을 적용하였다. BN은 주요 원인과 결과 사이의 조건부 종속성, 연결된 노드 간의 공통 원인 문제, 새로운 사고 사전확률 추가 및 실시간 사후 업데이트와 같은 장점을 적용할 수 있다(Baksh et al., 2018). 또한, BN은 사전확률(Prior probability)과 사후 추론(Posterior propagation)을 통한 예측이 가능하며, 간단한 인과관계 구조를 고도의 모델링 기술 없이 구축할 수 있어 비전문가도 쉽게 이해할 수 있다는 장점이 있다(Chen et al., 2012).

Fig. 2는 해양사고 BN의 기본 구조를 나타낸다. BN은 베이즈 정리(Bayes' Theorem)를 기반으로 하며, 노드(node)와 호(arc)를 포함한 위상구조와 조건부 확률표(Conditional Probability Table, CPT)로 구성된다. 노드와 호는 각각 변수와 변수 간의 확률 관계를 나타낸다(Friedman et al., 1997). X1~X3과 같이 화살표인 호가 표현되는 노드는 부모노드(Parent node)이며, 자식노드(Child node)는 부모노드로부터 화살표가 향하는 노드이다(Pristrom et al., 2016).

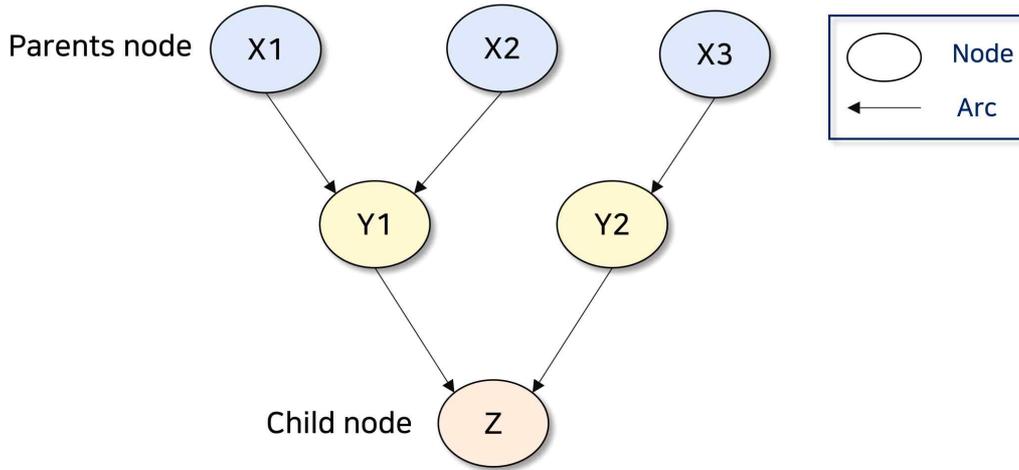


Fig. 2 Basic structure of BN.

베이지안 네트워크 분석을 위해서는 특정 사건들로부터 사전확률을 구한 뒤, 특정 사건들에 관한 새로운 정보를 추가하여 사전확률을 갱신함으로써 식 (1)과 같이 사후확률을 구한다.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

여기서,  $P(A)$ 는 사건  $A$ 에 대한 사전확률,  $P(B)$ 는 사건  $B$ 에 대한 사전확률,  $P(A|B)$ 는 사건  $B$ 가 주어질 때 사건  $A$ 의 사후확률,  $P(B|A)$ 는 사건  $A$ 가 주어질 때의 사건  $B$ 의 우도(Likelihood)를 의미한다.

그리고 변수들의 집합  $P(U) = \{A_1, \dots, A_n\}$ 은 각각의 부모노드에 대한 조건부 독립성과 체인 규칙(Chain rule)을 기반으로 한 확률 변수들의 결합 확률 분포(Joint Probability Distribution)는 다음의 식 (2)와 같이 표현된다.

$$P(U) = \prod_{i=1}^n P(A_i | Pa(A_i)) \quad (2)$$

여기서  $P(U)$ 는 변수의 결합 확률 분포를 나타내고  $Pa(A_i)$ 는 변수  $A_i$ 의 상위 집합을 나타낸다. 따라서  $A_i$ 의 확률은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$P(A_i) = \sum_{A_j, j \neq i} P(U) \quad (3)$$

여기서, 합계는  $A_i$ 를 제외한 모든 변수에 적용된다.

BN에서 베이지 정리는 새로운 관측이 주어진 사건의 사전 발생 확률을 갱신하기 위해 사용되며, 증거  $E$ 는 다음과 같이 (4)식을 사용하여 사후확률을 추론한다. 따라서, BN은 사고 시나리오를 모델링하며, 사고의 발생 사전확률을 사용하여 다양한 시나리오의 확률을 산출할 수 있다.

$$P(U|E) = \frac{P(U,E)}{P(E)} = \frac{P(U,E)}{\sum_U P(U,E)} \quad (4)$$

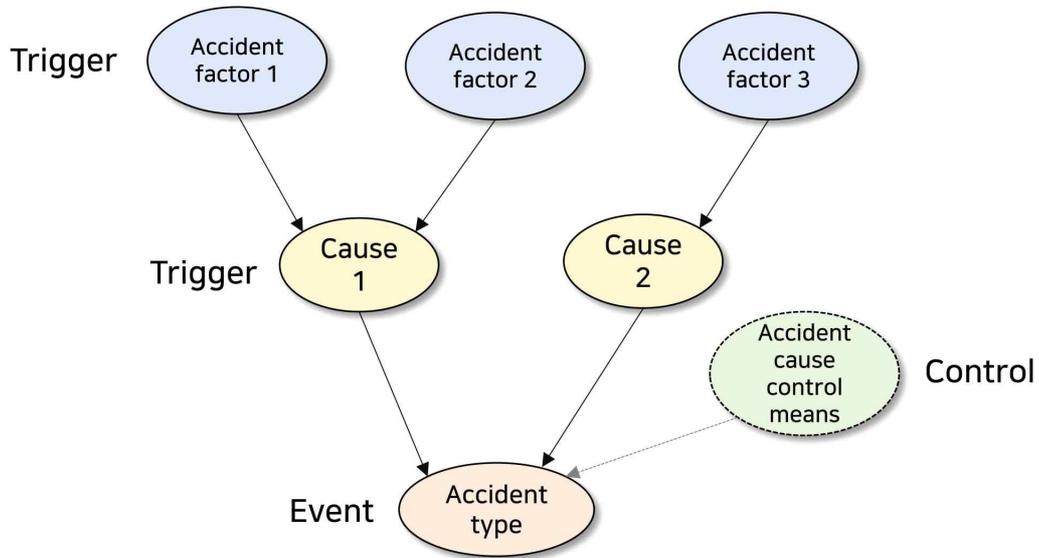


Fig. 3 BN structure for fishing vessel accident type.

Fig. 3에 어선 해양사고 종류에 대한 BN 구조를 나타내었다. 사고 종류는 각 사고 원인에 대한 최종 지식 노드로 설정하였으며, 사고 요인과 주요 원인 간의 조건부확률 관계를 분석하여 사고 종류의 확률을 나타내었다. 사고 원인은 전문가 의견 조사 데이터를 활용하였으며, 사고 종류와 사고 지역과 같은 객관적 데이터는 해양사고 데이터를 활용하였다. 모델링한 어선 해양사고 BN에 사고 원인 제어수단을 이용하여 인과관계에 대한 사후확률 변화를 예시를 통해 논의하였다. 사고 요인과 주요 원인은 사고를 발생시키는 유발 요인 (Trigger) 역할을 한다. 여기서 사고 원인의 제어(Control)를 통하여 사고 발생 확률을 감소시키는 방법을 추론할 수 있다.

Table 5. Example of NPT

West sea	No			
South sea	No		Yes	
East sea	No	Yes	No	Yes
No	0.5	0.5	0.5	0.5
Yes	0.5	0.5	0.5	0.5

Table 5는 조건부확률에 기반한 노드가 가질 수 있는 다양한 상태 또는 값을 나타내는 확률 표(Node Probability Table, NPT)의 예시로, 해당 노드의 값에 대한 확률을 나타내고, 그래픽 모델을 통해 확률적 관계를 정의하는 데 사용된다.

이 연구에서는 베이지안 네트워크 분석을 위해서 Agenarisk 소프트웨어 (version 9336)를 사용하였다. Agenarisk는 복잡한 인과관계 및 기타 종속성에 대한 데이터와 지식을 결합하여 예측 및 진단을 수행하는데 사용되며 의사 결정의 수단으로 이용될 수 있다(Agena 2023).

## 2.4 민감도 분석

모델링한 BN 시나리오에서 사고 종류에 영향을 미치는 원인을 조사하기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석을 통해 사고 종류에 따른 원인을 상세하게 조사할 수 있으며, BN 시나리오의 입력 변수 또는 확률 분포에 대한 변화가 모델의 출력 또는 결과에 어떤 영향을 미치는지 알 수 있다(Leu et al., 2013). 토네이도 차트(Tornado Chart)를 구성할 때 목표 노드(Target node)와 민감도 노드를(Sensitivity node)를 선택하면 파란색 막대로 나타난 그래프를 볼 수 있다. 막대의 길이가 길수록 민감도가 높으며, 민감도가 높은 노드는 모델에 미치는 영향이 더 크다고 볼 수 있다(Qiao et al., 2022).

사고 종류에 대한 원인 노드의 민감도 분석을 토네이도 차트로 나타내었다. 전복, 침수, 인명사상을 목표 노드로 설정하고, 민감도 노드를 사고 종류에 대한 원인으로 구성하였다. 민감도 분석으로부터 값이 높게 나오는 원인들은 사고 발생 감소를 위한 우선적 요인으로 고려할 수 있다.

### III. 결과 및 고찰

#### 3.1 해양사고 데이터 분류

##### 3.1.1 해양안전심판 재결서 데이터 분류

해양안전심판 재결서 데이터의 분류 결과는 사고종류별, 사고원인별, 총톤수별, 사고 위치별로 나타내었다. Table 6은 사고종류별 어선 해양사고 분류 결과를 나타낸 것이다. 재결서 데이터에 나타난 사고종류별 어선 해양사고는 충돌이 1,085건(56.48%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 인명사상이 256건(13.33%), 화재가 189건(9.84%)의 순으로 나타났다.

Table 6. Number of marine accidents by type

사고 종류	사고 건수 (건)	비율 (%)
충돌	1085	56.48
인명사상	256	13.33
좌초	113	5.87
화재	189	9.84
기관손상	8	0.42
기타	270	14.06
합계	1,921	100.00

사고원인별 어선 해양사고 분류 결과, 16년간 발생한 어선 사고 1,921건 중에서 가장 많이 발생한 원인은 경계소홀이 973건(50.65%)이었고, 이어서 정비·점검 소홀이 226건(11.76%), 선원 부주의 168건(8.75%), 항법 미준수 97건(5.05%) 등의 순으로 나타났다(Table 7).

Table 7. Number of marine accidents by cause

해양사고 원인	사고 건수 (건)	비율 (%)
경계소홀	973	50.65
정비점검 소홀	226	11.76
선원 부주의	168	8.75
항법 미준수	97	5.05
항해 부주의	36	1.87
과적	30	1.56
선위 확인 소홀	25	1.31
기관실 전선 단락	29	1.51
기타	337	17.54
합계	1,921	100.00

Table 8에 총톤수별 해양사고 분류 결과를 나타내었다. 사고가 가장 많이 발생한 톤수는 20톤 이상~100톤 미만의 선박이 839건(39.02%)이었고, 다음은 5톤 이상~10톤 미만이 421건(19.58%), 2톤 이상~5톤 미만이 275건(12.79%) 순으로 발생하였다.

Table 8. Number of fishing vessel marine accidents by tonnage

톤수	사고 건수 (건)	비율 (%)
2톤 미만	145	6.74
2~5톤 미만	275	12.79
5~10톤 미만	421	19.58
10~20톤 미만	259	12.05
20~100톤 미만	839	39.02
100~500톤 미만	194	9.03
500톤 이상	17	0.79
합계	2,150	100.00

Fig. 4는 우리나라 어선 해양사고를 지도에 도식화한 것이다. 우리나라의 어선 해양사고는 근해보다 주로 연안에서 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다.

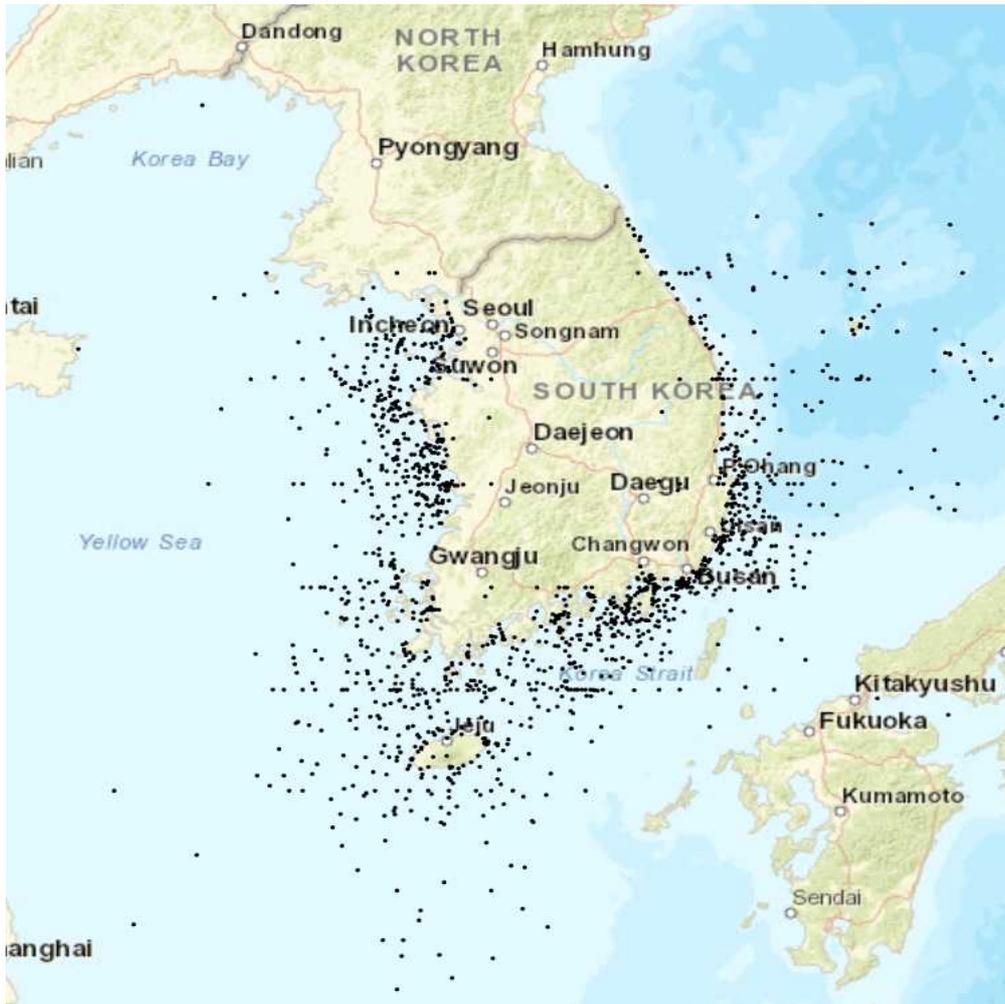


Fig. 4 Schematic diagram of fishing vessel accidents.

### 3.1.2 해양사고 상황전파 데이터 분류

해양수산부의 상황전파 데이터는 선박 종류별, 사고 종류별, 사고지역별, 총톤수별, 어선 업종별로 나타내었다.

최근 3년간의 선박 종류별 해양사고를 분류한 결과, 비어선을 포함한 선박 종류별 해양사고는 어선에서 1,178건(61.45%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 여객선이 241건(12.57%), 화물선 157건(8.19%)으로 확인되었다(Table 9).

Table 9. Number of marine accidents by vessel type

선박 종류	사고 건수 (건)	비율 (%)
어선	1,178	61.45
여객선	241	12.57
화물선	157	8.19
예·부선	113	5.89
관공선	94	4.90
유조선	59	3.08
양식장관리선	37	1.93
기타	38	1.98
합계	1,917	100.00

Table 10에 사고유형별 어선 해양사고 분류 결과를 나타내었다. 최근 3년간 발생한 어선 해양사고 1,178건 중에서 기관손상 사고가 266건(22.58%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 추진기 이물질 감김 사고가 204건(17.32%), 충돌 사고가 173건(14.69%), 인명사상 사고 164건(13.92%) 등의 순으로 발생했다.

Table 10. Number of fishing vessel marine accidents by type

사고 종류	사고 건수 (건)	비율 (%)
기관손상	266	22.58
추진기 이물질	204	17.32
충돌	173	14.69
인명사상	164	13.92
화재	94	7.98
좌초	88	7.47
침수	69	5.86
전복	55	4.67
접촉	25	2.12
침몰	17	1.44
조타장치 손상	16	1.36
기타	7	0.59
합계	1,178	100.00

Table 11에 지역별 해양사고 분류 결과를 나타내었다. 사고 지역별 어선 해양사고는 전남에서 307건(26.06%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 제주에서 229건(19.44%), 경남에서 130건(11.04%) 순으로 발생했다. 이를 해역별로 구분하면, 남해에서 사고가 가장 자주 발생한 것으로 판단된다.

Table 11. Number of fishing vessel marine accidents by area

사고 지역		사고 건수 (건)	비율 (%)
서해	경기	8	0.68
	인천	54	4.58
	충남	120	10.19
	전북	79	6.71
동해	경북	110	9.34
	울산	38	3.23
	강원	42	3.57
남해	경남	130	11.04
	전남	307	26.06
	제주	229	19.44
	부산	40	3.40
기타(독도, 울릉도 등)		21	1.78
합계		1,178	100.00

Table 12에 총톤수별 어선 해양사고 분류 결과를 나타내었다. 10톤 미만의 어선이 700건(55.60%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 20~30톤 미만이 199건(15.81%), 50톤~100톤 미만이 161건(12.79%)으로 발생하였다.

Table 12. Number of fishing vessel marine accidents by tonnage

톤수	사고 척수 (척)	비율 (%)
10톤 미만	700	55.60
10~20톤 미만	42	3.34
20~30톤 미만	199	15.81
30~40톤 미만	59	4.69
40~50톤 미만	59	4.69
50~100톤 미만	161	12.79
100~200톤 미만	25	1.99
200톤 이상	14	1.11
합계	1,259	100.00

Table 13에 어선의 업종별 해양사고 분류 결과를 나타내었다. 연안복합어선이 328건(27.84%)으로 가장 많이 발생하였고, 이어서 연안자망어선이 145건(12.31%), 근해자망어선이 100건(8.49%)의 순으로 발생했다. 연안복합어선은 낚시어업, 문어단지어업, 손꽂치어업, 패류껍질어업, 패류미끼망어업을 복합적으로 할 수 있는 어선으로(수산업법 제41조), 이 연구에서는 낚시 조업을 하는 어선을 연안복합어선에 포함하였다.

Table 13. Number of fishing vessel marine accidents by type

어선 종류	사고 건수 (건)	비율 (%)
연안복합어선	328	27.84
연안자망어선	145	12.31
근해자망어선	100	8.49
근해연승어선	90	7.64
근해채낚기어선	81	6.88
근해통발어선	78	6.62
연안통발어선	77	6.54
근해안강망어선	43	3.65
외끌이기선저인망어선	32	2.72
연안안강망어선	23	1.95
기타	181	15.37
합계	1,178	100.00

### 3.1.3 해양사고 데이터 선택

해양안전심판 재결서 데이터와 해양사고 상황전파 데이터를 수집하여 분류하였다. 해양안전심판 재결서 데이터는 사고 당시의 상황, 사고 원인, 관련 법규가 상세히 기재되어 있지만 재결되지 않은 사고의 정보는 파악할 수 없었다. 해양사고 조사 결과 원인이 분명하여 심판에 불일 필요가 없다고 인정될 때는 심판 불필요 처분을 하고, 그 외의 사건에 대해서는 심판을 청구하게 된다. 따라서 어선에서 가장 많이 발생하는 사고 종류인 기관손상과 같은 경미한 사고의 경우 심판 불필요 처분이 내려지기 때문에 재결서의 건수가 실제 해양사고 발생 건수보다 현저히 적은 이유일 것으로 생각된다.

반면, 해양사고 상황전파 데이터는 전체 사고 발생 정보가 기록되어 있다. 피해가 미비한 사고도 기록되어 있어 해양사고의 전체 파악이 가능하며, 어선의 업종별 사고를 제공함으로써 어선 해양사고 분석에 더 효율적인 것으로 판단된다. 그러나, 사고의 원인에 대한 기록이 없는 문자가 많았다. 그 이유는 문자가 실시간으로 발신되기 때문에 원인 파악보다 상황 수습이 우선이라고 판단된다.

따라서, 이 연구에서는 어선 해양사고에서 중요하다고 판단하는 어선의 업종별 사고와 전체 사고 정보가 제공된 해양수산부 해양사고 상황전파 데이터를 선택하여 베이지안 네트워크 분석을 수행하였다.

### 3.2 전문가 의견

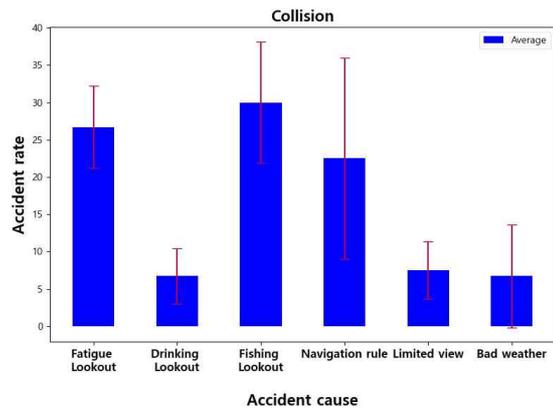
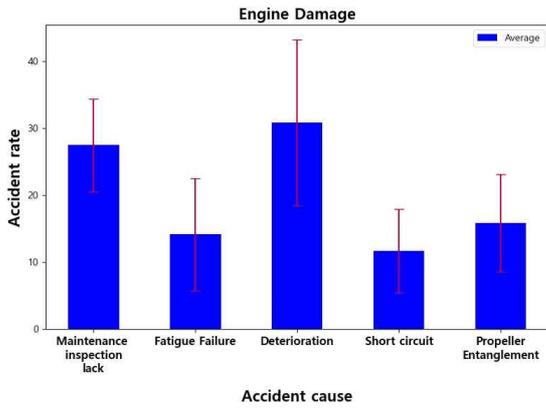
SMEs 의견 조사지는 총 10문항으로 구성하였다. 의견 조사 대상자의 어선 승선경력은 최소 9년부터 최대 15년으로, 모두 현재 국립부경대학교 및 한국해양수산연수원에서 교수 및 항해사로 재직 중인 전문가로 구성하였다.

Table 14는 SMEs 결과를 평균과 표준편차로 나타낸 것이다. 사고 종류는 기관손상, 충돌, 인명사상, 화재·폭발, 좌초, 침수, 전복 등 총 7개로 분류하였다. Fig. 5는 SMEs 결과를 시각화하여 나타낸 것이다.

Table 14. Results of SMEs' opinion survey

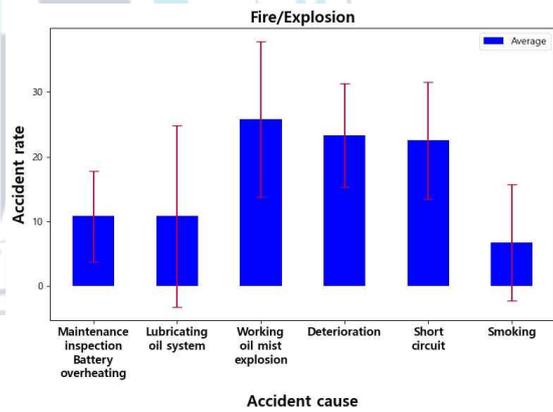
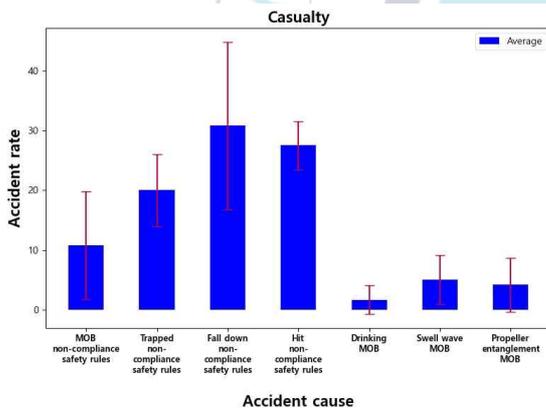
사고종류	사고 원인	평균	표준편차
기관손상	정비점검 부족으로 인한 파손·손상	27.50	6.92
	피로파괴	14.17	8.37
	기관설비 노후화	30.83	12.39
	전선 단락·합선	11.67	6.24
	추진기 이물질 감김	15.83	7.31
충돌	졸음으로 인한 경계소홀	26.67	5.53
	음주로 인한 경계소홀	6.67	3.73
	조업 중으로 인한 경계소홀	30.00	8.16
	항법 미준수	22.50	13.46
	제한된 시야	7.50	3.82
	기상악화	6.67	6.87

인명사상	안전 수칙 미준수로 인한 해상추락	10.83	9.32
	안전 수칙 미준수로 인한 어로 장비 끼임	20.00	5.77
	안전 수칙 미준수로 인한 넘어짐	30.83	14.26
	안전 수칙 미준수로 인한 맞음	27.50	3.8
	음주로 인한 해상추락	1.67	2.36
	너울성 파도로 인한 해상추락	5.00	4.08
	프로펠러 이물질 끼임으로 인한 해상 입수	4.17	4.49
화재· 폭발	정비점검 소홀로 인한 배터리 과열	10.83	7.31
	윤활유계통 취급 부주의	10.83	13.67
	작업(도색, 취사) 중 유증기 폭발	25.83	12.39
	전기장비 노후화	23.33	7.99
	전선 누전·단락	22.50	8.54
	흡연 및 개인 화기사용 부주의	6.67	9.43
좌초	수심 미확인으로 인한 저수심	21.67	8.50
	선위 확인 소홀	30.00	7.64
	졸음, 음주로 인한 경계소홀	30.00	14.14
	기상악화로 인한 너울성 파도	9.17	6.07
	추진력 상실 및 기관 고장	9.17	14.26
침수	적재 불량으로 인한 해수유입	17.50	11.46
	정비점검 소홀로 인한 파이프 부식·파손	7.50	8.04
	작업 중 유증기 폭발	4.17	4.49
	암초·구조물로 인한 외부 충격으로 선저 파공	34.17	8.37
	너울성 파도로 인한 해수유입	30.83	14.84
	노후화에 의한 파공	5.83	9.32
전복	과적으로 인한 복원성 손실	23.33	4.71
	황천 대비 소홀에 의한 부적절 항해	33.33	9.43
	해수유입으로 인한 복원성 손실	22.50	9.90
	충돌로 인한 전복	20.83	10.96



(a) : Engine damage

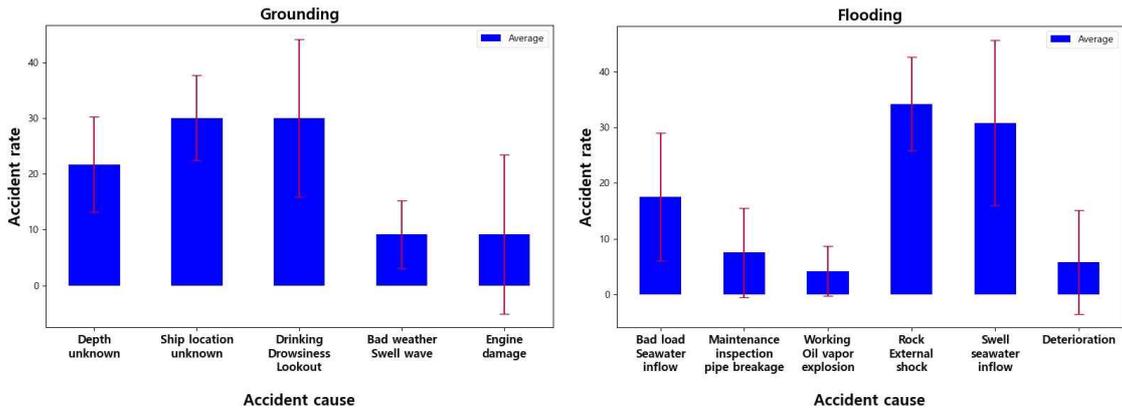
(b) : Collision



(c) : Casualty

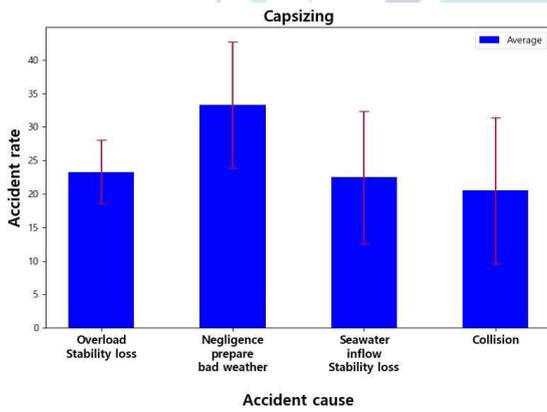
(d) : Fire explosion

Fig. 5 Boxplot of SMEs' opinion survey results.



(e) : Grounding

(f) : Flooding



(g) : Capsizing

Fig. 5 Continued.

### 3.3 베이저안 네트워크 시나리오 모델링

#### 3.3.1 사고종류별 BN 모델링

Figs. 6~12는 어선에서 가장 많이 발생하는 사고 종류인 7개의 기관손상, 충돌, 인명사상, 화재·폭발, 좌초, 침수, 전복 사고의 시나리오 모델링 결과로, 분홍색 노드는 인적요인, 파란색 노드는 비인적요인, 초록색 노드는 사고종류를 나타낸다. 여기서 사고원인은 SMEs 데이터를 기반으로 사전확률을 계산하였고, 사고 종류별 사고 발생 확률은 해양사고 상황전파 데이터를 활용하여 계산하였다. 노드 타입은 ‘예’ 또는 ‘아니오’를 나타내는 부울리안(Boolean) 방식을 적용하였다.

Fig. 6은 기관손상 사고 BN 시나리오이다. 정비점검 소홀과 피로과피, 기관의 노후화, 전선 단락, 추진기 이물질 감감의 원인을 기관손상 노드의 부모노드로 나타내었다.

Fig. 7은 충돌 BN 시나리오이다. 피로, 음주, 조업 중은 경계소홀 노드의 부모노드이다. 경계소홀은 위 세 가지 노드의 자식노드이며, 동시에 충돌 노드의 부모노드이다. 제한된 시야, 기상악화, 항법 미준수도 충돌 노드의 부모노드이다.

Fig. 8은 인명사상 사고 BN 시나리오이다. 끼임 노드의 부모노드는 안전 수칙(Non-Compliance/Compliance) 노드이며, 넘어짐 노드의 부모노드는 안전 수칙과 작업환경(Bad/Good) 노드이다. 맞음 노드의 부모노드는 안전 수칙과 로프 장력(Excessive/Proper) 노드이다. 해상추락의 부모노드는 안전 수칙, 너울성 파도, 추진기 이물질 감감 노드이다.

Fig. 9는 화재·폭발 사고 BN 시나리오이다. 배터리(Overhitting/Proper) 노드의 부모노드는 정비점검(Lack/Proper) 노드이며, 유증기(Explosion/Normal) 노드의 부모 노드는 도색과 취사이다. 그 외 화재·폭발 노드의 부모노드는 유탄유(Careless/Care)와 흡연, 전기장비(Deterioration/Normal), 전선 단락 노드이다.

Fig. 10은 좌초 사고 BN 시나리오이다. 너울성 파도와 저수심의 부모노드는 각각 기상악화와 수심 미확인 노드이다. 경계소홀 노드의 부모 노드는 음주와 졸음 노드이다. 그 외 좌초 노드의 부모노드는 선위 확인 소홀과 기관손상 노드이다.

Fig. 11은 침수 사고 BN 시나리오이다. 유증기 폭발의 부모노드는 작업 중 노드이다. 해수침입 노드의 부모노드는 너울성 파도와 적재 불량 노드이다. 파이프 파손 노드와 외부 충격 노드의 부모노드는 각각 정비점검(Lack/Proper) 노드와 암초 노드이다. 그 외 침수 노드의 부모노드는 노후화 노드이다.

Fig. 12는 전복 사고 BN 시나리오이다. 복원성 손실 노드의 부모노드는 과적, 기상악화 대비 소홀, 해수침입 노드이다. 그 외 전복 노드의 부모노드는 충돌 노드이다.



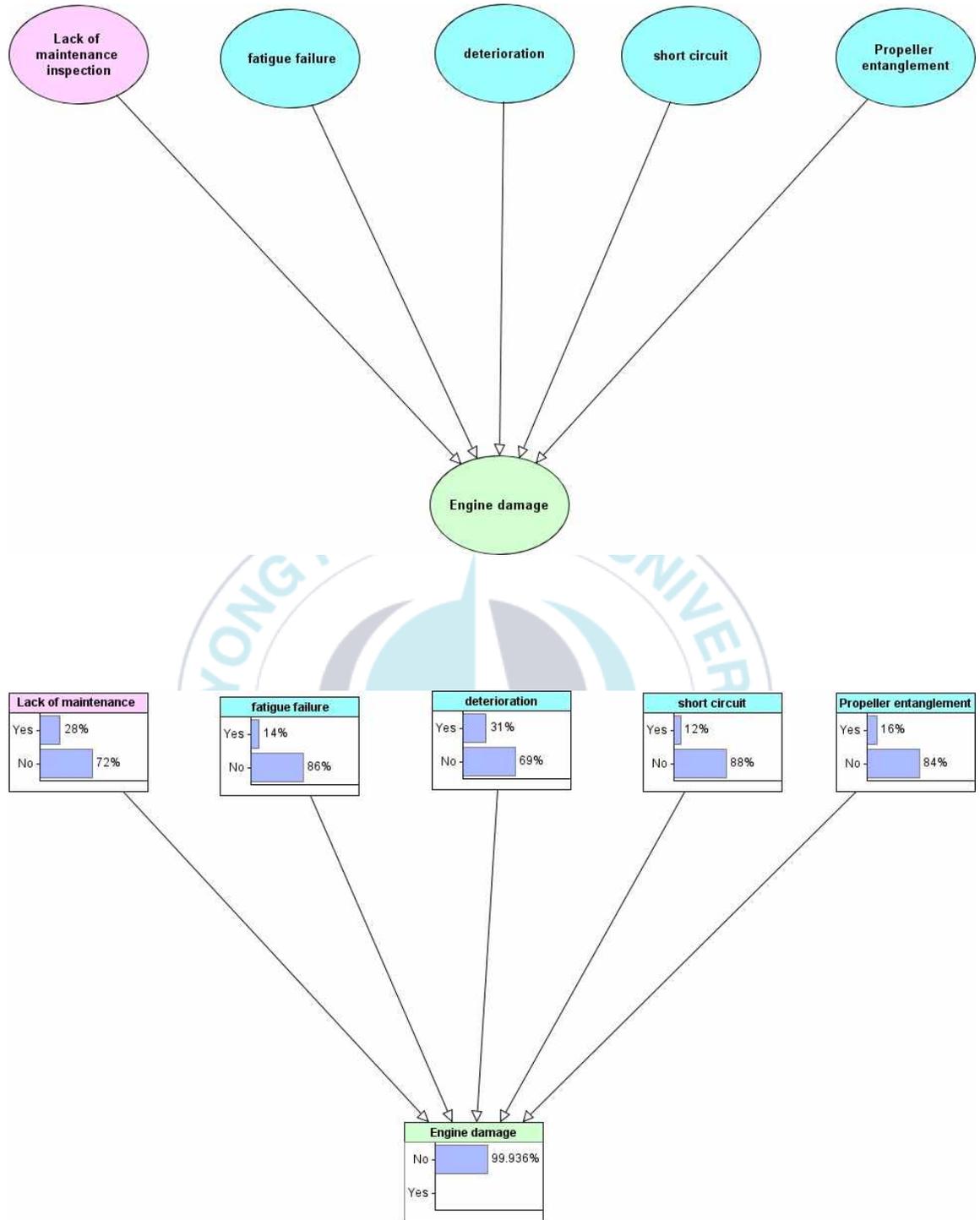


Fig. 6 Scenario modeling of engine damage.

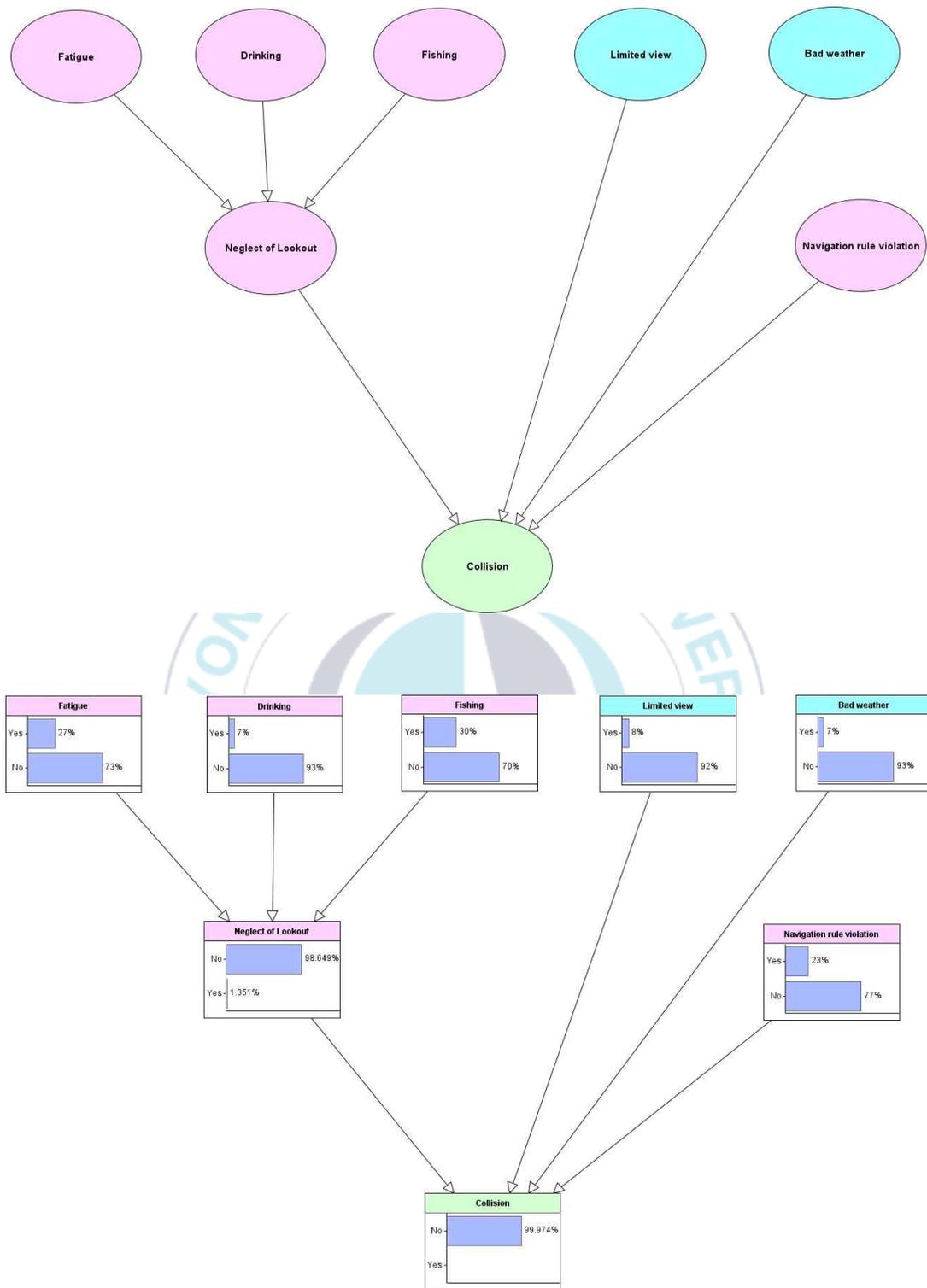


Fig. 7 Scenario modeling of collision.

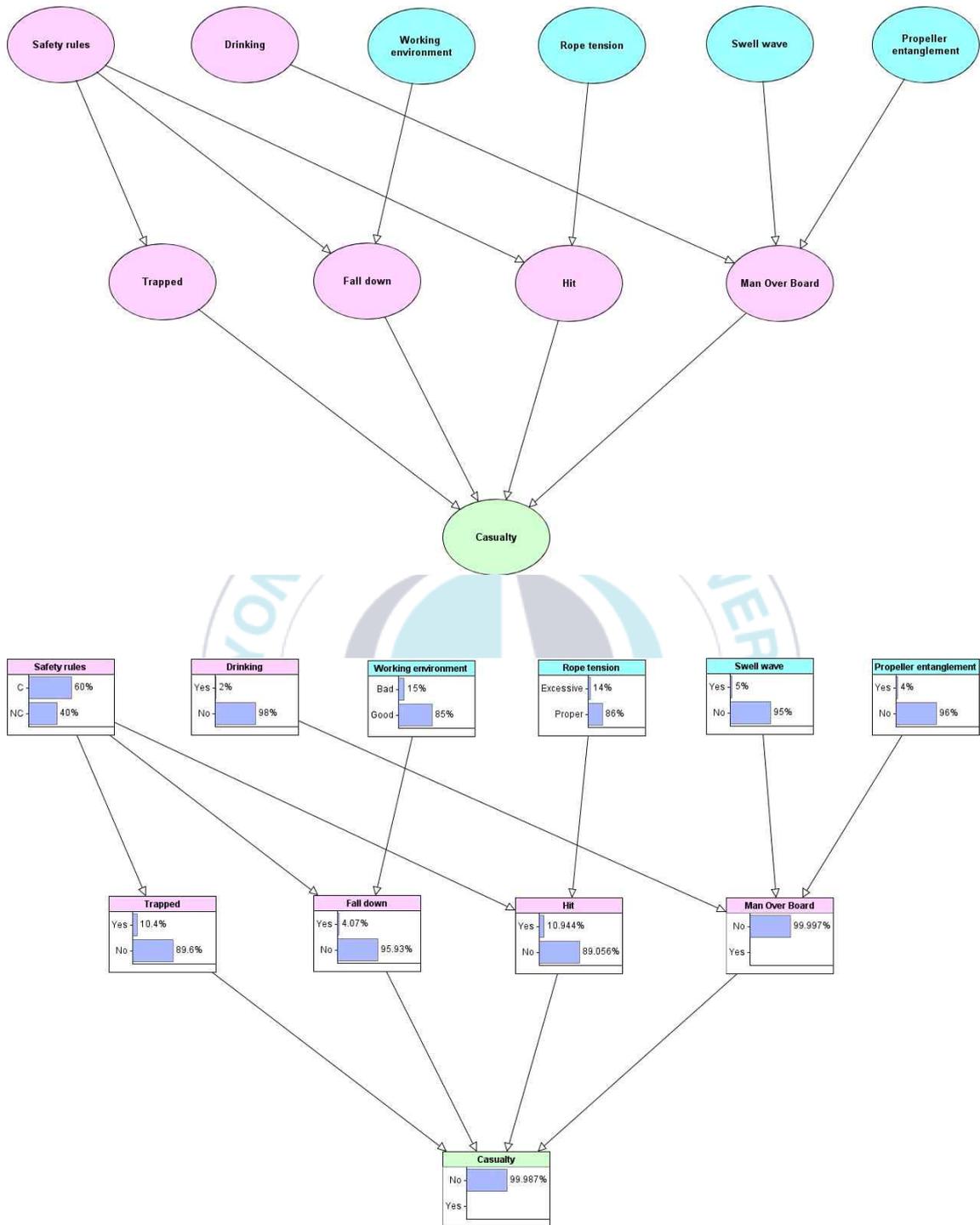


Fig. 8 Scenario modeling of casualty.

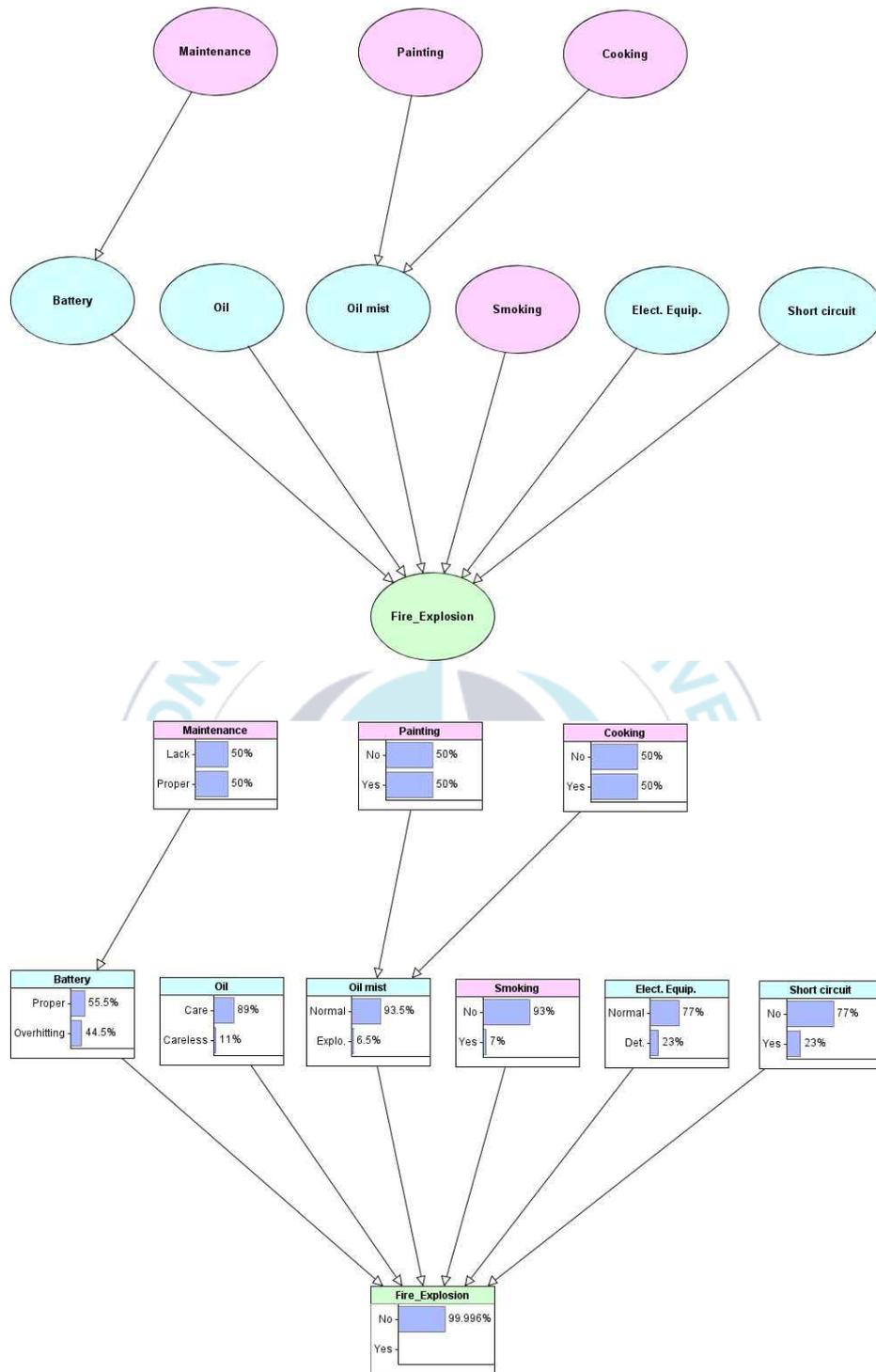


Fig. 9 Scenario modeling of fire explosion.

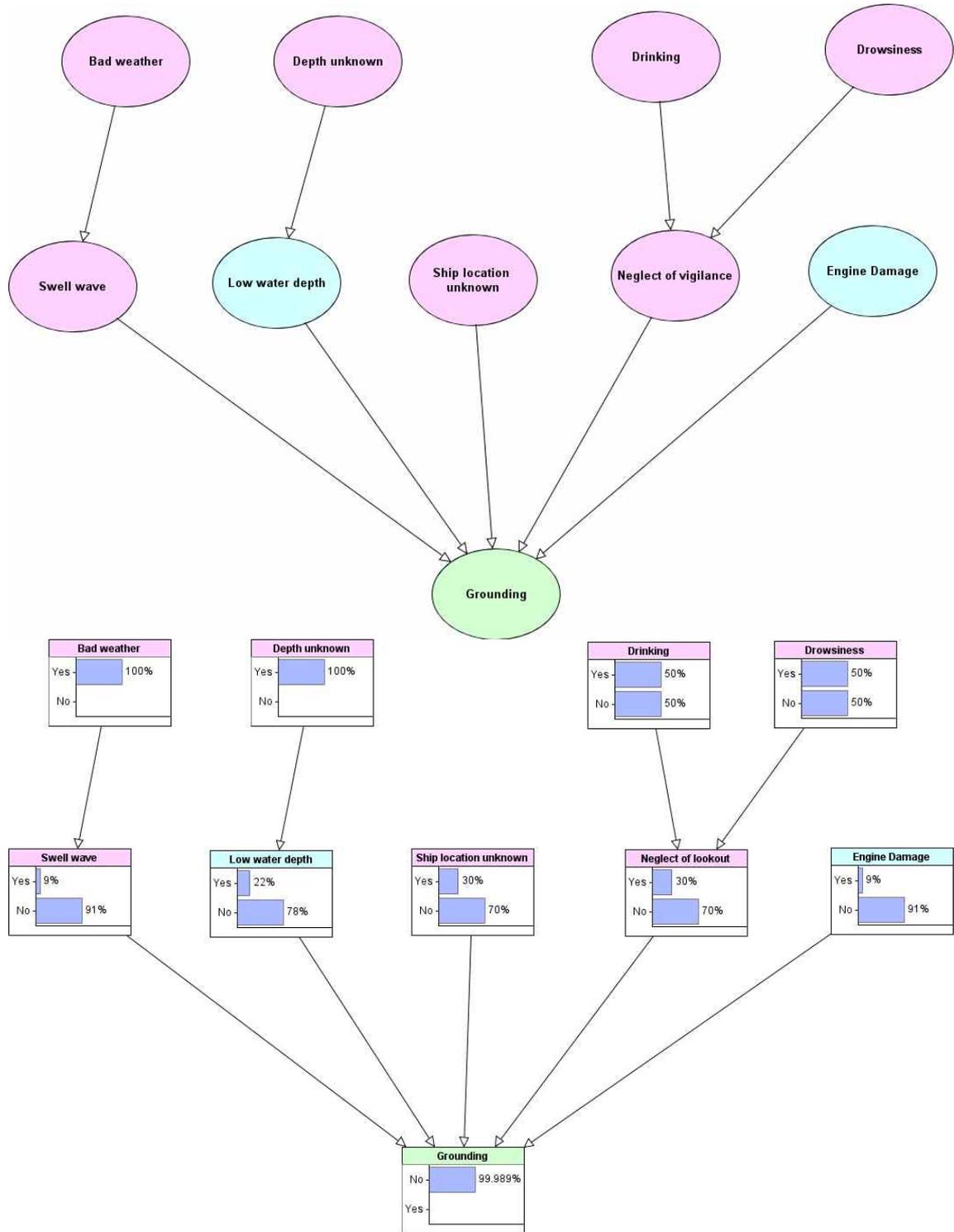


Fig. 10 Scenario modeling of grounding.

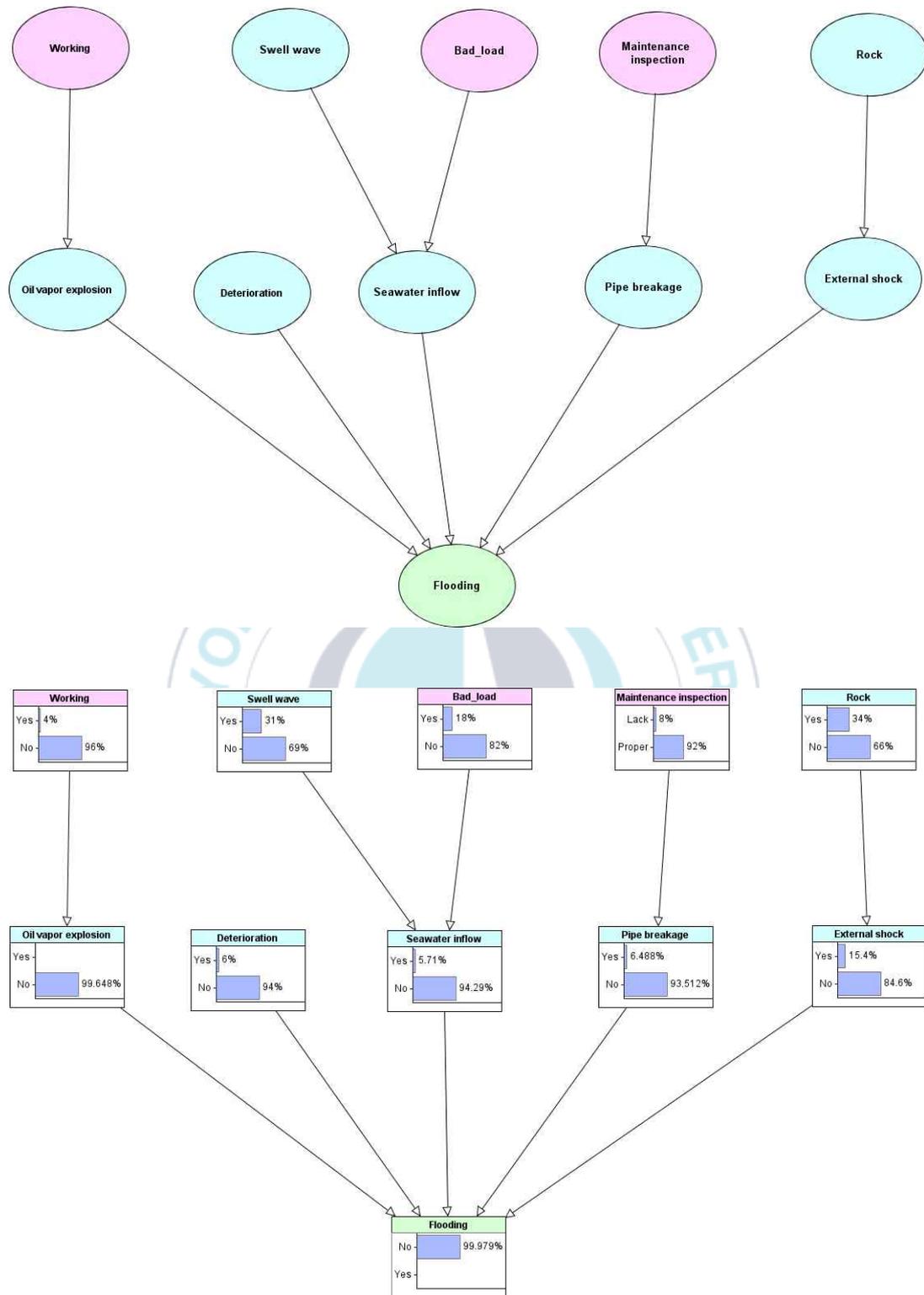


Fig. 11 Scenario modeling of flooding.

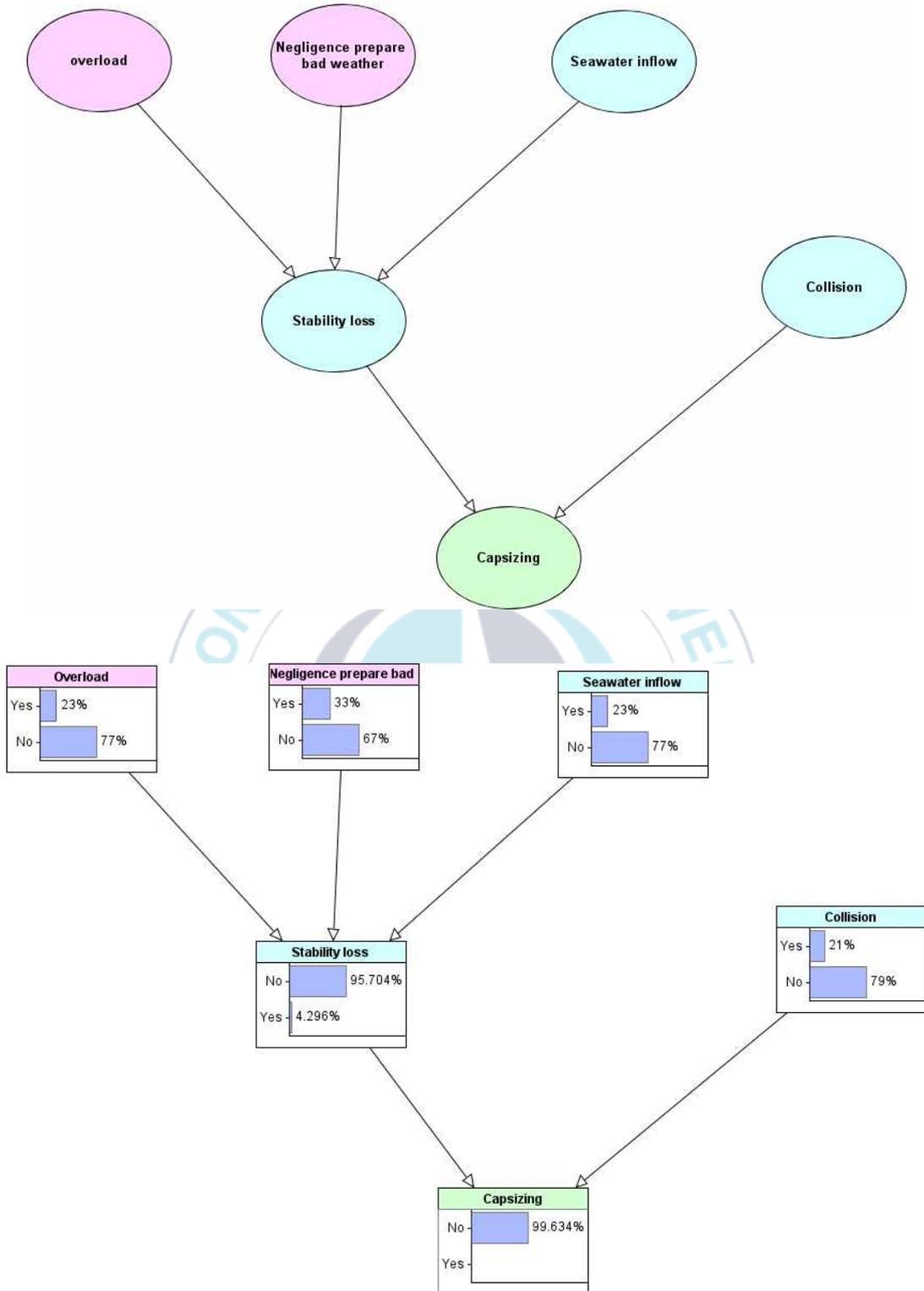


Fig. 12 Scenario modeling of capsizing.

### 3.3.2 어선 해양사고 BN 시나리오 모델링

Fig. 13은 어선 해양사고 변수에 대한 BN 시나리오를 나타낸다. 가운데 파란색 노드인 어선 해양사고 노드는 노란색 노드인 연안과 근해 어선의 조건부확률에 영향을 받으며, 사고종류와 사고 원인에 대하여 영향을 받을 수 있게 모델링하였다. 여기에서 연안, 근해 어선과 사고 종류 노드는 객관적인 데이터인 해양사고 상황전과 데이터값에 의해 입력되며, 사고 원인 노드들은 주관적 데이터인 전문가 의견 조사의 결과로 모델링하였다.

또한 Fig 14는 어선 해양사고 변수에 대한 BN 종합 모델링 결과이다. 호로 연결된 노드들은 조건부확률에 대한 확률 분포를 나타낸다.







### 3.4 시나리오 민감도 분석

민감도 분석은 모델링한 시나리오의 타당성을 확인하는 데 유용한 분석 방법이다(Hossain et al., 2019).

Fig. 15는 전복 사고의 원인 노드의 영향을 알아보기 위해 전복을 목표 노드로 설정하였다. 민감도 노드는 복원성 손실, 충돌, 과적, 해수 침입, 기상악화 대비 소홀을 포함하여 전복 사고가 발생하였을 때 미치는 영향을 나타낸다. 분석 결과, 복원성 손실의 민감도가 가장 높으며, 기상악화 대비 소홀의 민감도가 가장 낮음을 알 수 있다.

따라서 복원성 손실의 민감도가 가장 높게 나타났기 때문에, 복원성 손실에 영향을 미치는 과적, 기상악화 대비 소홀, 해수 침입으로 인한 사고를 예방하는 방안이 필요하다고 판단된다.

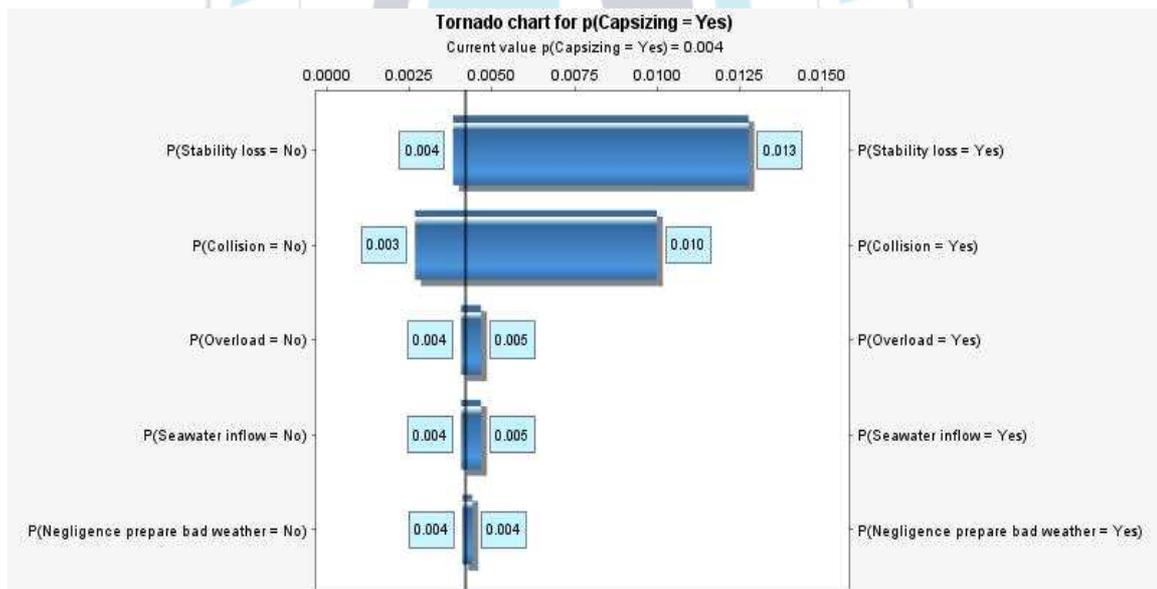


Fig. 15 Sensitivity analysis of capsizing accident.

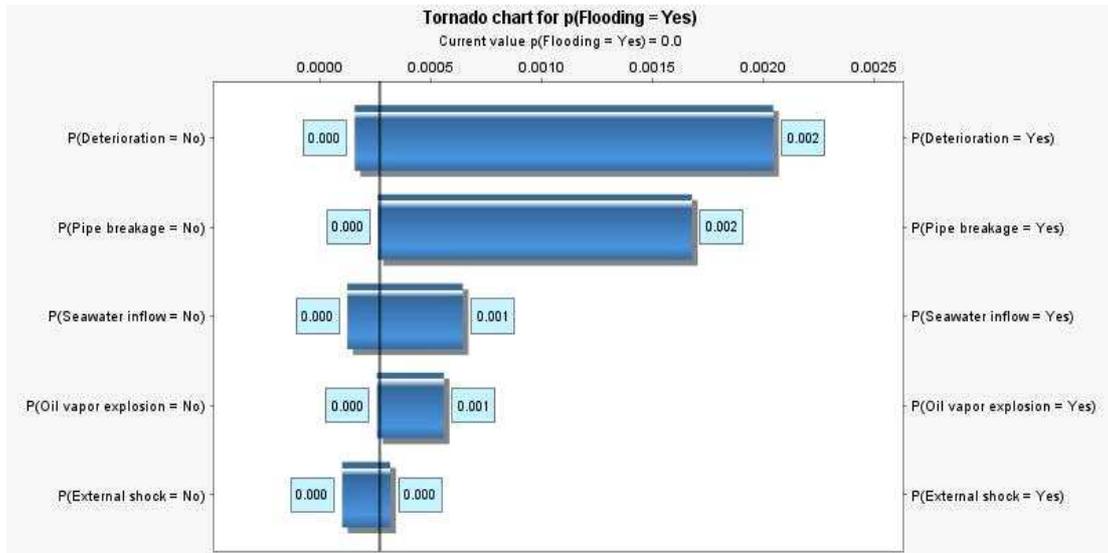


Fig. 16 Sensitivity analysis of flooding accident.

Fig. 16은 침수 사고의 민감도 분석 결과이다. 목표 노드는 침수, 민감도 노드는 노후화, 파이프 부식, 해수침입, 유증기 폭발, 외부 충격 노드로 설정하였다. 노후화, 파이프 부식의 노드가 가장 높았으므로, 침수 시나리오 모델을 조정할 때 노후화와 파이프 부식의 변수들을 우선으로 고려해야 할 필요가 있다.

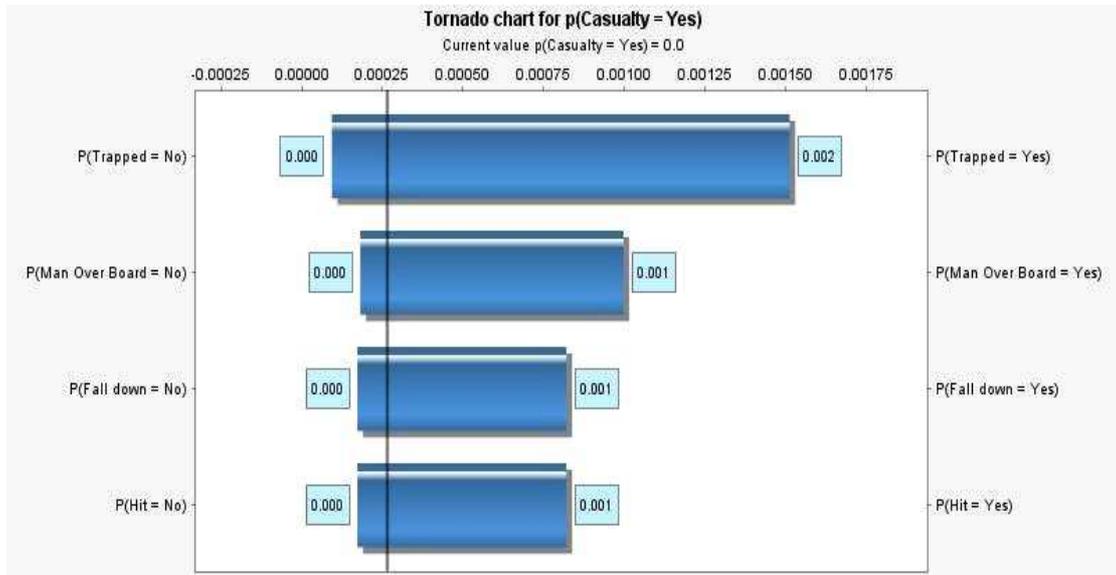


Fig. 17 Sensitivity analysis of casualty accident.

Fig. 17은 인명사상 사고의 민감도 분석 결과이다. 목표 노드는 인명사상, 민감도 노드는 끼임, 해상추락, 넘어짐, 맞음 노드로 설정하였다. 인명 사상 민감도 분석 결과 어로 장비에 의한 끼임과 해상추락의 민감도가 가장 높았다. 또한 넘어짐과 맞음 또한 민감도가 적지 않음을 확인하였다.

### 3.5 고찰

베이지안 네트워크 시나리오 모델링 결과에서 모델이 다양한 조건에서 어떻게 확률이 변화하는지를 파악하기 위해 확률 케이스를 추가하였다. 예시로, Fig. 18은 화재·폭발 시나리오의 BN 모델링 결과이다. 여기서 Battery 노드를 100% Proper로, Short circuit 노드를 100% No로 변경했을 때 화재·폭발 발생 확률은 0.004%에서 Fig. 19와 같이 0.001%로 감소한 것을 확인하였다. 확률 케이스를 추가하여 BN 모델에서 다양한 해양사고 시나리오의 시뮬레이션 및 분석이 가능하며, 사고가 많이 발생하는 조건과 사고 예방 방법을 확인하여 사고 발생 감소에 도움을 줄 수 있다.

이 연구에서는 상황전파 데이터의 객관적 정보와 전문가 의견 조사 결과의 주관적 정보를 통합하여 어선 해양사고에 대한 종합적인 베이지안 네트워크 (BN) 모델링을 수행하였다. 추후 객관적인 사고원인 정보와 더 많은 변수 노드를 추가한다면 더 정확한 확률을 나타낼 수 있을 것으로 예상된다.

또한, 어선 해양사고는 업종에 따라 조업 방법, 조업 구역, 선박의 크기 및 톤수 등이 다르다. 이에 따른 어선 해양사고 발생 원인도 업종에 따라 각각 다른 위험 요인들이 있다. 따라서 어선 해양사고의 원인을 각 업종별에 따라 심층적으로 분석한다면 향후 더 나은 안전 대책 및 예방 조치를 도출하는 데 기여할 수 있을 것으로 고려된다.

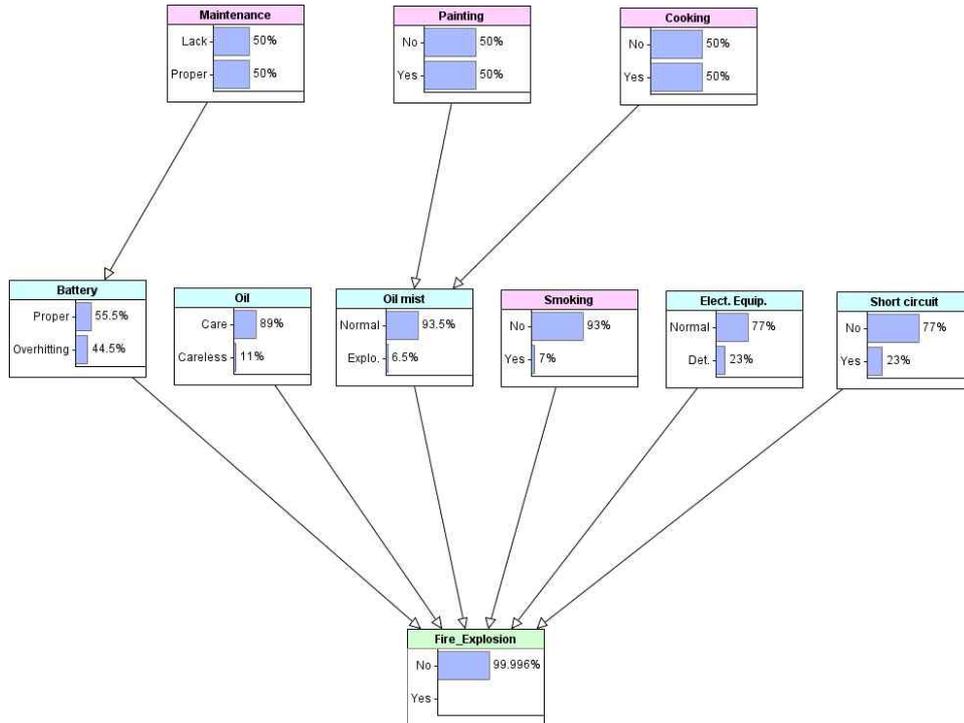


Fig. 18 Scenario modeling of fire explosion.

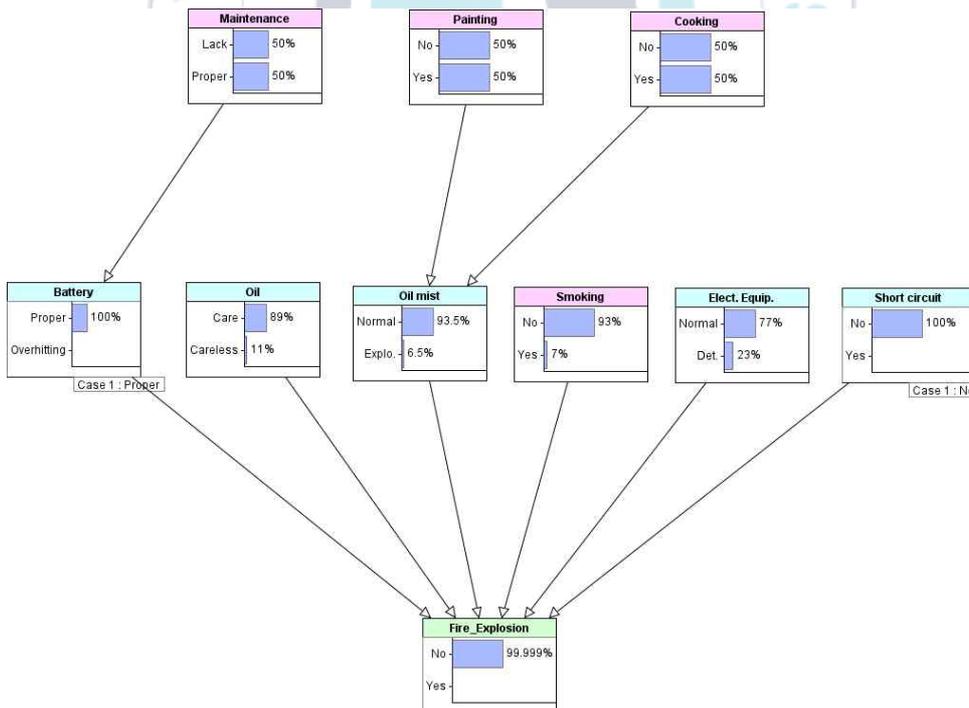


Fig. 19 Fire explosion scenario with added probability case.

## IV. 결론

어선 해양사고는 재산 손실과 인명에 큰 영향을 미치기 때문에 원인을 파악하여 예방하는 것이 중요하다. 또한 사고 건수와 항행 구역, 조업 방식의 특수성으로 인하여 원인이 복잡하게 작용하기 때문에 여러 관점에서 분석하여야 한다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 어선 해양사고 데이터를 수집하여 분류하였다. 어선 해양사고 데이터는 해양안전심판 재결서 데이터와 해양사고 상황전파 데이터이며, 식별 코드를 지정하여 분류하였다. 이 연구에서는 어선 해양사고 분석에 적합한 해양사고 상황전파 데이터를 선택하여 적용하였다.

둘째, 수집한 데이터에서는 어선 해양사고 원인에 대한 인과관계를 확인하기 어렵기에 전문가 의견 조사(SMEs)를 수행하였고, 이를 통해 사고 원인에 대한 인과관계를 파악하였다.

셋째, 어선 해양사고 데이터와 전문가 의견 조사의 결과를 활용하여 어선 해양사고 BN 시나리오 모델링을 수행하였다. 사전확률에 따른 어선 해양사고 종류별, BN 종합 시나리오 모델링을 수행하였다.

넷째, 어선 해양사고 모델링한 BN 시나리오에서 변수들이 미치는 영향을 평가하기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 수행한 결과 전복 사고의 경우 복원성 손실의 민감도가 가장 높게 나타났기 때문에, 복원성 손실에 영향을 미치는 과적, 기상악화 대비 소홀, 복원성 손실에 의한 사고를 예방하는 방안이 필요하다고 판단된다.

다섯째, 해양사고 분석 방법은 다양하지만, BN은 불확실한 변수들의 인과

관계를 분석하여 위기관리와 의사 결정에 유용하다고 판단된다. 이에, BN 분석은 해양사고 분석 중 하나의 효과적인 방법론으로 적용될 수 있다.

복잡한 사고원인의 인과관계를 갖는 어선 해양사고는 이와 같은 모델링을 통해 어선 해양사고의 정밀한 분석이 가능하며, 확률 케이스 추가 및 더 많은 수의 노드를 추가함으로써 더 정확한 분석 결과를 도출할 수 있다. 또한, 이 연구에서는 부울리안 방식을 적용했지만, 추후 함수 노드를 통해 더 복잡하고 다양한 입력값에 대응하는 시나리오를 모델링할 수 있을 것으로 고려된다.



## References

- [1] Agena, Software Project Risk Models Manual, Ver. 10, 2018
- [2] AgenaRisk, B. N. Simulation Software Tool.
- [3] Akyuz, E., & Celik, M. (2014). Utilisation of cognitive map in modelling human error in marine accident analysis and prevention. *Safety science*, 70, 19-28.
- [4] Baksh, A. A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters. *Ocean Engineering*, 159, 422-436.
- [5] Chen, S. H., & Pollino, C. A. (2012). Good practice in Bayesian network modelling. *Environmental Modelling & Software*, 37, 134-145.
- [6] Fisheries Industry Act, Article 41. Source: National Law Information Center ([www.law.go.kr](http://www.law.go.kr))
- [7] Fishing Vessels Act, Act on accident compensation insurance for fisheries and fishing vessels, <https://www.law.go.kr/>
- [8] Friedman, N., Geiger, D., & Goldszmidt, M. (1997). Bayesian network classifiers. *Machine learning*, 29, 131-163.
- [9] GICOMS(2023), "General Information Center on Maritime Safety & Security(2019-2022), Maritime safety information, [www.gicoms.go.kr](http://www.gicoms.go.kr)".
- [10] Hossain, N. U. I., Jaradat, R., Hosseini, S., Marufuzzaman, M., & Buchanan, R. K. (2019). A framework for modeling and assessing system r

resilience using a Bayesian network: A case study of an interdependent electrical infrastructure system. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 25, 62–83.

- [11] Hu, Y., & Park, G. K. (2020). Collision risk assessment based on the vulnerability of marine accidents using fuzzy logic. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 12, 541–551.
- [12] Jung, C. H. (2014). A study on the requirement to the fishing vessel for reducing the collision accidents. *Journal of the Korean society of marine environment & safety*, 20(1), 18–25.
- [13] Jung, C. H. (2018). A study on the improvement of safety by accidents analysis of fishing vessels. *J. Fish. Mar. Sci. Educ*, 30, 179–186.
- [14] Jung, C. H., Park, Y. S., Kim, J. S., & Kim, S. W. (2012). A study on the cause analysis for the capsizing accident in fishing Vessels. *Journal of fisheries and marine sciences education*, 24(1), 1–8.
- [15] Kececi, T., & Arslan, O. (2017). SHARE technique: A novel approach to root cause analysis of vessel accidents. *Safety science*, 96, 1–21.
- [16] Kim, S. H., Kim, H. S., & 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*, 56(3), 246–257.
- [17] Kim, S. H., Kim, H. S., Kang, I. K., & 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*, 53(4), 430–436.

- [18] Kim, W. S., Cho, Y. B., Kim, S. J., Ryu, K. J., & Lee, Y. W. (2014). A basic research on risk control measure for reducing the fisherman's occupational accidents in offshore and coastal fishing vessel. *J Korean Soc Fish Technol*, 50(4), 614-622.
- [19] Kim, W. S., Lee, J. H., Kim, S. J., Kim, H. S., & 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*, 49(1), 40-50.
- [20] KMST(2022), "Korean Maritime Safety Tribunal (2005-2020), Investigation report of Maritime Safety Judgement, [www.kmst.go.kr](http://www.kmst.go.kr)".
- [21] KMST(2023), "Korean Maritime Safety Tribunal (2018-2022), Statistics of marine accidents, [www.kmst.go.kr](http://www.kmst.go.kr)".
- [22] KOMSA(2023), ""The trend of human casualties in fishing vessel maritime accidents over the past five years(2018-2022), [mtis.komsa.or.kr](http://mtis.komsa.or.kr)"
- [23] Lee, M., Park, Y. S., Lee, E. B., & Na, S. J. (2019). A Study on the Improvement plan of Marine Accident Investigation Method. *Korean Association of Maritime Police Science*, 9(1), 111-129.
- [24] Lee, Y. W., Kim, S. J., & 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*, 49(2), 136-143.
- [25] Leu, S. S., & Chang, C. M. (2013). Bayesian-network-based safety risk assessment for steel construction projects. *Accident Analysis & Pre*

vention, 54, 122–133.

- [26] Özeydin, E., Fışkın, R., Uğurlu, Ö., & Wang, J. (2022). A hybrid model for marine accident analysis based on Bayesian Network (BN) and Association Rule Mining (ARM). *Ocean Engineering*, 247, 110705.
- [27] Park, B. S., Kang, I. K., Ham, S. J., & Park, C. W. (2014). The main factor and counterplan for marine casualties of fishing vessel according to the type of fishing job in Korea. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 50(3), 252–261.
- [28] Park, S. A., & Park, D. J. (2023). A Study on the Analysis of Marine Accidents on Fishing vessels Using Accident Cause Data. *Journal of Navigation and Port Research*, 47(1), 1–9.
- [29] Park, T. G., Kim, S. J., Chu, Y. S., Kim, T. S., Ryu, K. J., & Lee, Y. W. (2018). Reduction plan of marine casualty for small fishing vessels. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology*, 54(2), 173–180.
- [30] Pristrom, S., Yang, Z., Wang, J., & Yan, X. (2016). A novel flexible model for piracy and robbery assessment of merchant vessel operations. *Reliability Engineering & System Safety*, 155, 196–211.
- [31] Qiao, W., Ma, X., Liu, Y., & Deng, W. (2022). Resilience evaluation of maritime liquid cargo emergency response by integrating FRAM and a BN: A case study of a propylene leakage emergency scenario. *Ocean Engineering*, 247, 110584.
- [32] Sur, J. M., & Kim, D. J. (2020). Comprehensive risk estimation of mar

itime accident using fuzzy evaluation method - Focusing on fishing vessel accident in Korean waters. *The Asian Journal of Vesselping and Logistics*, 36(3), 127-135.

- [33] Uğurlu, F., Yıldız, S., Boran, M., Uğurlu, Ö., & Wang, J. (2020). Analysis of fishing vessel accidents with Bayesian network and Chi-square methods. *Ocean Engineering*, 198, 106956.
- [34] Ulusçu, Ö. S., Özbaş, B., Altıok, T., & Or, I. (2009). Risk analysis of the vessel traffic in the strait of Istanbul. *Risk Analysis: An International Journal*, 29(10), 1454-1472.
- [35] Yim, J. B. (2017). A Study on the Reduction of Common Words to Classify causes of Marine Accidents. *Journal of Navigation and Port Research*, 41(3), 109-118.
- [36] Yim, J. B., Yang, W. J., Kim, H. T. (2014). *Marine Accident Analysis*. pp. 1-392.

## 감사의 글

석사과정 동안 여러 방면에서 성장할 수 있도록 지도해 주시고, 열린 마음으로 학문의 길을 인도해 주신 박득진 교수님께 깊은 감사의 인사를 전합니다.

논문 완성에 이르기까지 함께 고민 해주시고, 아낌없는 격려의 말씀을 해주신 이성일 교수님께도 깊은 감사의 인사를 전합니다.

따뜻한 응원과 더불어 훗날 후회 없는 성과물을 낼 수 있게 꼼꼼히 조언 해주신 김수형 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

항상 유쾌한 모습으로 맞아주시고 응원의 말을 건네주신 비타민과 같은 류경진 교수님, 학부 시절부터 격려와 조언 아끼지 않으신 이유원 교수님께도 감사의 말씀 전합니다.

철없던 어린 시절부터 대학원 졸업까지 같이 자라온 민아, 부족한 저를 좋은 사람이 되고 싶게 만들어 주고 항상 응원해 준 재혁이, 같은 연구실에서 함께 꿈을 키워 나간 태연이와 명빈이, 어려울 때마다 항상 조언과 격려를 아끼지 않으신 이희진 박사님께도 감사한 마음을 담습니다.

마지막으로 제가 하고자 하는 일에 항상 부정 없이 응원해 주시고 제 행복을 위해 끊임없이 고민 해주시는 부모님과 할머니와 할아버지, 존재만으로 든든한 오빠에게 감사하다는 말씀 전합니다.

학위 논문의 완성은 여러분들의 따뜻한 지도와 도움 덕분에 가능했습니다. 진심으로 감사드립니다.