

통발어선에서 발생하는 산업재해에 대한 정량적 위험성 분석

이승현 · 김수형¹ · 류경진² · 이유원^{2*}

국립부경대학교 해양생산시스템관리학부 대학원생, ¹국립부경대학교 실습선 교수, ²국립부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

Quantitative risk analysis of industrial incidents occurring in trap boats

Seung-Hyun LEE, Su-Hyung KIM¹, Kyung-Jin RYU² and Yoo-Won LEE^{2*}

Graduate student, Department of Fisheries Physics, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

¹Professor, Training Ship, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

²Professor, Division of Marine Production System Management, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

This study employs Bayesian network analysis to quantitatively evaluate the risk of incidents in trap boats, utilizing accident compensation approval data spanning from 2018 to 2022. With a dataset comprising 1,635 incidents, the analysis reveals a mortality risk of approximately 0.011 across the entire trap boat. The study significantly identifies variations in incident risks contingent upon fishing area and fishing processes. Specifically, incidents are approximately 1.22 times more likely to occur in coastal compared to offshore, and the risk during fishing processes outweighs that during maintenance operations by a factor of approximately 23.20. Furthermore, a detailed examination of incident types reveals varying incidence rates. Trip/slip incidents, for instance, are approximately 1.36 times more prevalent than bump/hit incidents, 1.58 times more than stuck incidents, and a substantial 5.17 times more than fall incidents. The study concludes by providing inferred mortality risks for 16 distinct scenarios, incorporating fishing areas, processes, and incident types. This foundational data offers a tailored approach to risk mitigation, enabling proactive measures suited to specific circumstances and occurrence types in the trap boat industry.

Keywords: Fishing incident, Trap boat, Quantitative risk analysis, Bayesian network, Formal safety assessment

서론

어업은 가장 안전하지 않은 직업 중 하나이다(Di and Thunberg, 2005). 2022년 기준 우리나라 어업의 재해 천인율은 10.60%으로 전 산업의 재해 천인율 6.46%에

비해 높게 집계되었다(MOEL, 2023). 특히, 어업은 어선을 이용한 항해뿐만 아니라 조업을 병행하여야 하기 때문에 많은 위험에 노출되어 있다. 어업에서 발생하는 재해를 예방하고 줄이기 위하여 해양수산부에서는 어업

Received 12 April 2024; Revised 18 May 2024; Accepted 21 May 2024

*Corresponding author: yooawns@pknu.ac.kr, Tel: +82-51-629-5895, Fax: +82-51-629-5886

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

작업 안전재해예방 기본계획에 따라 발표된 2019년 3.8%인 재해율을 2024년까지 2.4%로 낮추는 계획을 수립하여 통계자료의 표준화 및 고위험 업종을 대상으로 안전장비 및 작업환경 개선을 위한 정책을 시행하고 있다(Ryu et al., 2022). 또한, 기존의 「어선안전조업법」을 개정하여 2025년 1월부터 시행 예정인 「어선안전조업 및 어선원의 안전·보건 증진 등에 관한 법률」 개정안에는 제4장의2(어선원의 안전·보건 및 재해예방 관리체제)를 신설하여 어선에서 발생하는 재해를 예방하기 위한 내용을 명시하였다. 특히 제28조(위험성평가의 실시)에는 어선원의 작업 행동 및 업무로 인한 유해·위험 요인을 찾아내어 위험성을 평가하도록 명시하고 있다. 즉, 유해·위험요인이 재해로 이어질 수 있는 위험성을 정량적으로 평가하여 그에 맞는 조치를 취하기 위함이다.

또한, 국제해사기구(International Maritime Organization: IMO)에서는 2002년부터 공식 안전 평가(Formal Safety Assessment: FSA)과정을 제안하고 있으며 공식 안전 평가 과정(FSA)으로는 위험성 식별, 위험성 평가, 위험제어 옵션, 비용-편익평가, 의사결정의 5단계로 명시하였고 특히, 2단계인 위험평가 단계에서는 과학적이고 정량적인 평가를 위한 위험성 분석 기법 9가지를 제시하였다.

이러한 국내, 국제적 움직임에 맞추어 어업의 안전 및 재해와 관련한 많은 선행연구가 이루어져 왔다. 우리나라에서 10년간 발생한 어선의 해양사고 중 인명손실 관련 사고에 관련한 연구(Kang et al., 2007), 연근해 어선원 재해현황과 저감대책 마련을 위한 기초연구(Kim et al., 2014), 연근해어선 안전관리체제 도입에 관한 기초 연구(Ryu et al., 2018) 등이 있고 업종별 안전 및 어선원 재해에 관련한 선행연구로는 연안복합 어선원의 안전 위험도 평가(Lee, 2019), 근해통발 종사자의 설문조사를 통한 안전 향상 및 어로 장비 개발을 위한 연구(Ahn et al., 2021), 재결서를 이용한 자망어선의 어선원 어로작업 중 안전사고 분석(Lee et al., 2022), 우리나라 다랑어선망어선의 어선원 안전 위험요소 분석(Kim et al., 2022), 통발어선의 작업안전 재해분석(Ryu et al., 2022), 연안개량안강망어선 종사자의 설문조사를 통한 작업 안전과 작업부하에 관한 연구(Kim et al., 2023) 등 다양한 업종에서 다양한 연구가 진행되었다.

하지만, 대부분의 선행연구는 주로 통계분석 및 설문

등을 통한 정성적인 분석이 진행되었으므로 국제해사기구(IMO)에서 제안한 공식 안전 평가(FSA) 위험 분석 기법을 활용한 연구의 필요성이 있다.

따라서 이 연구에서는 공식 안전 평가(FSA)의 위험 분석 기법을 이용하고 우리나라 연근해어업에서 고위험 업종을 선별하여 최근 5년간(2018~2022년) 발생한 산업 재해의 위험성을 여러 요인과 발생 형태에 따라 정량적으로 평가하고 고찰하고자 한다.

자료 및 방법

분석자료

이 연구에서는 통발어선에서 발생하는 산업재해와 관련된 신뢰할 수 있는 자료를 확보하기 위하여 2018년부터 2022년까지 어선 및 어선원 재해보상보험(이하 ‘재해보상보험’ 이라 한다)의 사고보상금 승인자료를 이용하였다. 재해보상보험은 「어선원 및 어선 재해보상보험법」 제9조(업무의 위탁)에 의거하여 수산업협동조합중앙회에서 위탁 운영 중인 재해보상보험으로써, 사고보상금 승인자료에는 사고가 발생한 선원에게 지급한 보상금액 및 사고 발생의 원인과 결과 등에 대한 상세한 기록이 포함되어 있어 산업재해의 위험성을 정량적으로 분석하기 위한 자료라고 판단하였다. 2018년부터 2022년까지 사고보상금 승인자료를 토대로 통발어선에서 발생한 산업재해에 대한 데이터를 통계적으로 분석하고 나아가 베이저안 네트워크(Bayesian network)를 이용한 위험성 분석을 통하여 해역별, 과정별, 형태별 위험성을 정량적으로 분석하였다.

분석방법

국제해사기구(IMO)에서는 위험 분석 및 비용 편익 평가를 통해 생명, 건강, 해양 환경 및 재산보호를 포함한 해양 안전을 향상시키는 것을 목적으로 공식 안전 평가(FSA)를 2002년 승인하였고((MSC/Circ.1023/MEPC/Circ.392), 개정을 통해 2018년 현행에 이르렀다(MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2). 공식안전평가(FSA)에서는 여러 가지 위험성 분석 방법을 제안하고 있는데 그 중에서도 이 연구에서는 베이저안 네트워크를 이용하여 산업 재해의 위험성을 분석하였다.

베이저안 네트워크, 또는 신뢰 네트워크, 베이저안 넷, 확률적 방향성 비순환 그래프라고도 알려져 있으며,

이는 선택된 변수 집합의 결합 확률 분포를 그래픽으로 표현하는 기술이다(Pearl, 1988). 베이저안 네트워크는 원인 노드와 결과 노드로 구성된 변수들 사이의 조건부 확률을 표현하기 위한 모델로써, 변수 간의 의존성을 방향성 엣지로 표현한 비순환 그래프이며, 사전 확률과 후방 추론을 통한 예측이 가능하다는 장점을 가진다 (Trucco et al., 2008).

베이저안 네트워크를 적용하기 위해서는 우선 조건부 확률 논리를 이해해야 한다. 조건부 확률이란 어떤 이벤트가 발생할 경우에 다른 이벤트가 발생할 확률이다.

즉, 이벤트 B가 발생하는 경우에 이벤트 A가 발생할 확률을 ‘이벤트 B에 대한 A의 조건부 확률’이라 하고, $P(A | B)$ 로 나타낸다(단, $P(A | B)$ 는 이벤트 B의 영향을 받아 변할 수 있으며, 일반적으로 $P(A | B)$ 와 $P(B | A)$ 는 같지 않다). 이와 같은 두 확률변수의 사전 확률과 사후 확률 사이의 관계를 나타내어 조건부 확률과 주변 확률 사이의 관계는 다음 식과 같다.

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

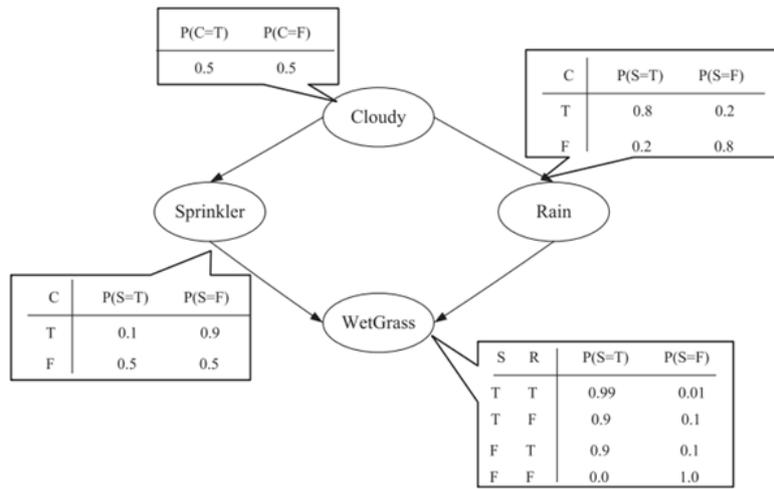


Fig. 1. An example of a Bayesian network (Hujer and Jao, 2011).

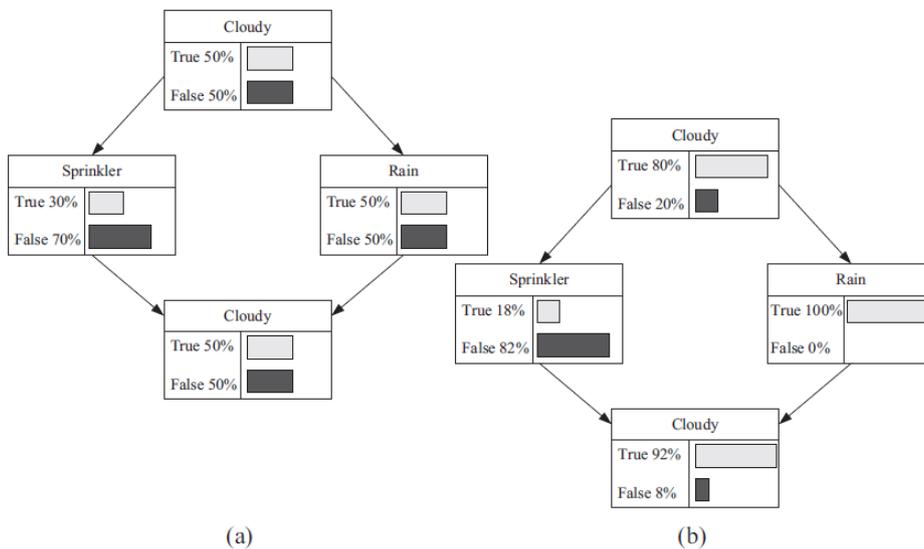


Fig. 2. Prior probabilities for example of Fig. 1 (a) and Posterior probabilities for example of Fig. 1 (b). (Zhang and Thai, 2016).

여기서, $P(A)$ 는 이벤트 B가 발생하기 전에 나타난 이벤트에서 계산한 사전 확률, $P(B)$ 는 이벤트 B에 대한 사전 확률, $P(A \cap B)$ 는 이벤트 B가 주어진 상태에서 이벤트 A가 발생한 것으로 둘 다를 만족하는 교차확률, $P(A | B)$ 는 이벤트 B가 주어진 경우 이벤트 A의 사후 확률, $P(B | A)$ 는 이벤트 B가 주어진 경우 이벤트 A의 우도함수(Likelihood function)이다(Kitson et al., 2023).

Fig. 1과 Fig. 2는 간단한 베이지안 네트워크 모델의 구성과 사전확률 및 조건부확률의 예시이다. 날씨가 흐릴 확률, 스프링클러 작동 확률, 강수 확률이라는 사전 확률을 통하여 잔디가 물에 젖을 확률을 조건부 확률로 구하고자 한다. 날씨가 흐린 경우와 흐리지 않은 경우의 사전 확률에 따라 스프링클러의 작동 여부가 결합되어 총 4가지의 조건부 확률을 기입한다. 마찬가지로 날씨가 흐린 여부에 따른 강수 여부의 조건부 확률을 기입한다. 이를 통하여 최종적으로 알고자 하는 잔디가 물에 젖게 되는 사후 확률을 총 8개의 경우로 구분하여 구할 수 있다.

최근에는 이 기법을 이용하여 인적 및 조직적 요소와 관련된 현상을 모델링하는 것에 대한 관심이 높아지고 있으며, 여러 해양 교통 안전 관련 연구에서도 활용되고 있다(Trucco et al., 2008; Hänninen and Pentti, 2014; Hänninen et al., 2014).

결과 및 고찰

산업재해 발생 현황

2018년부터 2022년까지의 재해보상보험의 사고보상금 승인건수는 총 13,641건으로 업종별 발생 현황을 비교하였다(Fig. 3).

사고보상금 승인내역에서 5년간 산업재해 발생 건수는 자망어업에서 가장 많은 3,841건, 통발어업 1,635건, 복합어업 1,551건, 선망어업 1,478건, 안강망어업 1,193건의 순으로 나타났다.

산업재해의 발생 건수가 해당 어업의 위험성을 나타내는 지표가 되기에는 무리가 있다고 판단하여 산업재해 발생 주요 5개 업종의 산업재해 발생 건수, 사망자와 사망률을 비교하였다(Table 1).

5년간 산업재해 발생인원 대비 사망자 즉, 사망율은 통발어업에서 약 3.85%로 가장 높게 나타났으며, 산업재해 주요 발생 5개 업종 중에서 유일하게 전체 사망률(약 3.70%)보다 높은 사망률을 나타내었다. 이를 통하여

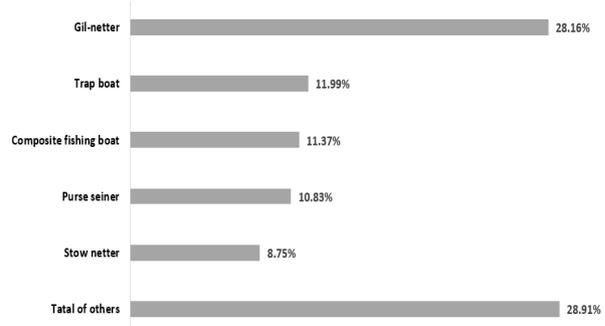


Fig. 3. Status of incidents by type of fishing (2018-2022).

Table 1. Status of rate of deceased by the top 5 types of fishing. Unit: numbers, (%)

Type of ship	Injured	Deceased	Mortality rate (%)
Gill-netter	3,841	138	3.59
Trap boat	1,635	63	3.85
Composite fishing boat	1,551	35	2.26
Purse seiner	1,478	39	2.64
Stow netter	1,193	42	3.52
Total	13,641	505	3.70

재해보상금 승인 사고보상금 자료의 분석에 따르면 3톤 이상의 연근해 어선 중, 통발어선에서 사망사고 위험성이 가장 높다고 추론할 수 있다.

5년간 발생한 통발어업 인명사고 재해자는 총 1,635명이며, 산업재해의 결과는 부상 1,408명(약 86.11%), 질병 164명(약 10.3%), 사망 63명(약 3.85%)로 집계되었다. 연평균으로는 327명의 산업재해가 발생하며 그 중에서 부상 281.6명, 질병 32.8명, 사망 12.6명이 발생하였다. 질병의 경우, 오랜 승선 생활과 반복된 동작 등에 의하여 발생한 것으로 부상과 동등한 결과로 가정하였다.

사고보상금 승인내역에는 통발어업을 연안과 근해로 구분되어 있어 이를 통해 조업 해역에 따른 산업재해 발생 현황을 비교하였다(Table 2).

조업 해역에 따른 산업재해 발생 현황 분류 결과, 5년간 발생한 1,635명의 산업재해 중 연안에서 903명, 근해에서 732명으로 나타났다. 또한 연안에서는 근해에 비해 부상의 발생 비중이 높았으며, 근해에서는 부상을 제외한 질병 그리고 특히, 사망의 발생 비중이 높게 나타났다. 이는 조업 해역에 따라 산업재해 발생 시 육지나

외부로부터의 받을 수 있는 지원의 정도, 급변하는 해상의 날씨 등에 의해 높은 위험성에 노출되어 있다고 추론할 수 있다.

산업재해의 발생이 조업 해역뿐만 아니라 작업 과정에 따라서도 어떠한 발생빈도를 보이는지 비교하기 위하여 사고보상금 승인내역을 토대로 연안과 근해의 통발어선에서 발생하는 산업재해 발생의 작업 과정을 크게 어업 과정과 정비 과정으로 구분하여 비교하였다 (Table 3). 출항, 항해, 조업, 입항 과정은 어업 과정에 포함하였고, 항내 혹은 조선소 등에서 선박 수리 및 정비 과정은 정비 과정에 포함하였다. 대부분의 산업재해는 어업 과정(약 95.05%)에서 발생하였음을 확인하였고 조업 해역에 따른 유의미한 차이는 보이지 않았다.

한편, 고용노동부에서는 산업재해를 발생 형태에 따라 분류하고 있으며 재해보상보험에도 발생 형태를 동

일하게 집계하고 있다. 고용노동부에서 분류한 산업재해 발생 형태 41가지의 코드 중 통발어선에서 발생한 인명사고의 형태는 넘어짐, 넘어짐, 깔림, 부딪힘, 맞음, 무너짐, 끼임, 부자연스러운 자세, 이상온도 노출, 화학물질 노출, 질병, 기타가 있다.

최근 5년간 통발어선에서 발생한 1,635건의 산업재해의 발생 형태 추이를 분석하기 위하여 연도별로 비교하였다(Table 4). 연도별로 상이한 추이를 나타내긴 하였지만 발생 형태로는 넘어짐/미끄러짐, 부딪힘/맞음, 끼임, 떨어짐의 순으로 많이 발생하는 것으로 나타났다.

이를 토대로 주요 4개 산업재해 발생 형태를 작업 과정에 따른 산업재해 발생 현황(Table 3)과 취합하여 작업 과정에 따른 산업재해 발생 형태를 분석하고(Table 5), 발생 형태의 위험성을 추론하기 위하여 각 형태에서 발생하는 사망사고 발생 건수 및 발생율을 분석하였다

Table 2. Status of incidents by fishing area. Unit: numbers, (%)

Status of incidents	Fishing area		
	Coastal (%)	Offshore (%)	Total (%)
Injured	806 (89.26)	602 (82.24)	1,408 (86.12)
Diseased	68 (7.53)	96 (13.11)	164 (10.03)
Deceased	29 (3.21)	34 (4.64)	63 (3.85)
Total	903 (100.00)	732 (100.00)	1,635 (100.00)

Table 3. Status of incidents by fishing area and fishing process. Unit: numbers, (%)

Fishing process	Fishing area		
	Coastal (%)	Offshore (%)	Total (%)
Fishing	859 (95.13)	695 (94.95)	1,554 (95.05)
Maintenance	44 (4.87)	37 (5.05)	81 (4.95)
Total	903 (100.00)	732 (100.00)	1,635 (100.00)

Table 4. Status of incident by the type. Unit: numbers, (%)

Incident type	Year					Total (%)
	2018	2019	2020	2021	2022	
Trip/slip	112	105	88	82	82	469 (28.69)
Bump/hit	69	91	65	52	51	328 (20.06)
Stuck	75	62	57	49	46	289 (17.68)
Falling	21	18	12	28	16	95 (5.81)
Unnatural posture	18	29	23	9	6	85 (5.20)
Exposure to chemicals	17	13	9	9	19	67 (4.10)
Exposure to extreme temperatures	2	2	4	1	2	11 (0.67)
Crumble/crushed	1	2	1	2	2	8 (0.49)
Disease	24	28	18	48	39	157 (9.60)
Others	34	38	23	13	18	126 (7.71)
Total	373	388	300	293	281	1,635 (100.00)

Table 5. Status of incident by the type and fishing process. Unit: numbers, (%)

Incident type	Fishing (%)	Boat maintenance (%)	Total (%)
Trip/slip	454 (27.77)	15 (0.92)	469 (28.69)
Bump/hit	319 (19.51)	9 (0.55)	328 (20.06)
Stuck	280 (17.13)	9 (0.55)	289 (17.68)
Falling	86 (5.26)	9 (0.55)	85 (5.20)

Table 6. Status of rate of deceased by incident type. Unit: numbers, (%)

Incident type	Deceased	Mortality rate (%)
Trip/slip	2	0.43
Bump/hit	4	1.22
Stuck	3	1.04
Falling	11	11.58

(Table 6).

그 결과 발생 형태에 따른 발생 건수의 순서와 대체적으로 상반되는 사망 건수 및 사망률을 확인하였다. 특히, 떨어짐 형태의 산업재해는 사망률(약 11.58%)이 압도적으로 높은 것을 확인하였다.

베이지안 네트워크를 이용한 위험성 분석

재해보상금 승인내역 자료를 분석한 내용을 토대로 조업 해역, 작업 과정, 발생 형태에 따른 조건부 확률을 이용하여 최종노드인 통발어선에서 발생하는 산업재해



Fig. 4. Prior probability values for Bayesian network modeling.

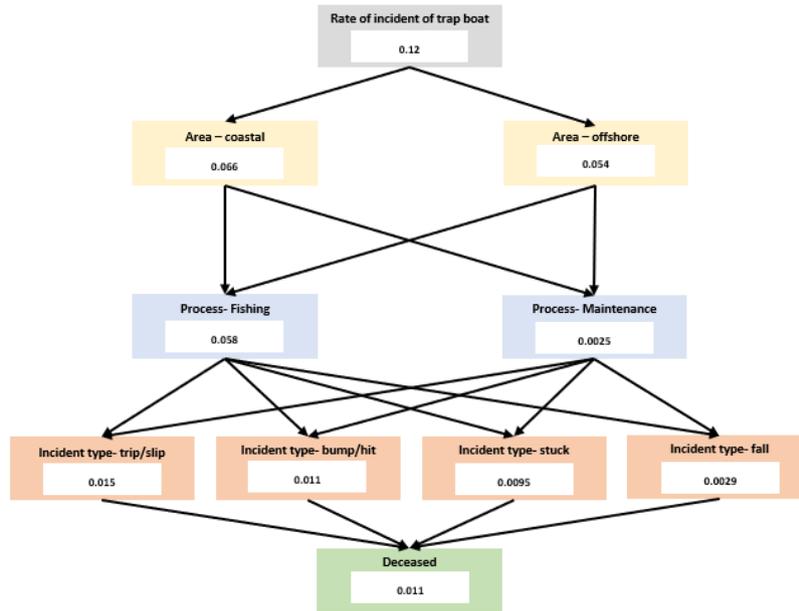


Fig. 5. Conditional probability values for Bayesian network models.

Table 7. Mortality risk value by the bayesian network model

Classification		Mortality risk value			
Fishing area	Coastal	Fishing	Trip/slip 0.18×10^{-4} Bump/hit 0.32×10^{-4} Stuck 0.24×10^{-4} Fall 0.34×10^{-4}		
		Maintenance	Trip/slip 0.20×10^{-8} Bump/hit 0.30×10^{-8} Stuck 0.30×10^{-8} Fall 0.25×10^{-7}		
			Fishing process	Fishing	Trip/slip 0.12×10^{-4} Bump/hit 0.22×10^{-4} Stuck 0.16×10^{-4} Fall 0.23×10^{-4}
				Offshore	Maintenance

에 의한 사망사고 위험성 정략적으로 평가하기 위하여 베이지안 네트워크 기법을 이용하였다. 각 요소들은 노드로써 상호 연관성을 가진다.

베이지안 네트워크 구성 순서의 예시로 5년간 전체 산업재해 발생 중 통발어선에서 발생한 산업재해 발생률이 부모노드가 되어 조업 해역의 구분에 따라 연안과 근해의 자식노드에게로 연결된다. 이 과정에서 통발어

선에서 발생한 산업재해 중 연안과 근해에서 발생한 조건부 확률을 기입하였다. 조업 해역에 따라 연안과 근해로 구분된 노드들은 통발어선의 산업재해 발생률이라는 부모노드의 자식노드이지만 작업 과정으로 구분된 어업 과정과 정비 과정의 부모노드가 되어 연결된다. 마찬가지로 이 과정에서 각 조업 해역에서 각 작업 과정에서 발생한 조건부 확률을 기입하였다. 이와 같은 방법으로

베이지안 네트워크를 구성하였다(Fig. 4).

Fig. 4과 같이 각 조업 해역, 작업 과정, 발생 형태 및 사망 여부에 따른 조건부 확률 기입하여 베이지안 네트워크를 이용한 통발어선의 산업재해 사망 위험성을 평가할 수 있으며, 베이지안 네트워크 모델을 이용한 정량적 사후확률은 다음과 같다(Fig. 5).

Fig. 5를 통하여 각 구분에 따른 통발어선의 전체적인 산업재해에 대한 위험성을 정량적인 사후 확률로 확인할 수 있다. Fig. 4의 베이지안 네트워크 모델을 이용하여 조업 해역, 작업 과정, 발생 형태에 따른 통발어선에서 산업재해에 의한 사망사고 위험성을 각각 정량적으로 분석하였다(Table 7).

결론

통발어선에서 발생한 산업재해와 산업재해에 의한 사망사고 발생 위험성을 재해보상보험 사고보상금 승인내역의 통계적 분석뿐만 아니라 베이지안 네트워크를 이용한 정량적으로 분석 결과 유의미한 결과를 확인할 수 있었다.

첫 번째, 조업 해역에 따라 구분하였을 때 통계적 분석에서 연안의 산업재해 발생율(약 55.23%)이 근해의 산업재해 발생율(약 44.77%)의 약 1.23배를 나타내었고 베이지안 네트워크를 이용한 정량적 분석에서도 연안(0.066)이 근해(0.054) 약 1.22배를 나타내었다. 조업 해역에 따른 사망 위험성은 통계적 분석에서는 근해(약 4.64%)에서 연안(약 3.21%)에 비해 다소 높은 사망률을 나타내었지만, 정량적 분석에서는 연안의 높은 산업재해 위험성으로 인하여 대체로 연안에서 높은 사망 위험성을 나타내었다.

두 번째, 작업 과정에 따른 통계적 분석에서는 어업 과정(약 95.05%)이 정비 과정(약 4.95%)의 약 19.20배 높은 위험성을 나타내었고, 정량적 분석에서는 어업 과정(0.058)이 정비과정(0.0025)의 약 23.20배 높은 위험성을 나타내었다.

세 번째, 산업재해 발생 형태에 따른 통계적 분석에서는 넘어짐/미끄러짐(약 28.69%) 형태의 산업재해가 부딪힘/맞음(약 20.06%), 끼임(약 17.68%), 떨어짐(약 5.20%)의 각 1.43배, 1.62배, 5.52배 높은 발생 위험성을 보였고, 정량적 분석에서는 넘어짐/미끄러짐(약 0.015) 형태의 산업재해가 부딪힘/맞음(약 0.011), 끼임(약 0.0095),

떨어짐(약 0.0029)에 비해 각각 약 1.36배, 약 1.58배, 약 5.17배 높은 위험성을 나타내었다.

네 번째, 통발어선 전체 산업재해에 의한 사망사고 발생 위험성은 통계적 분석에서는 약 3.85%로 추론되었고, 주요 발생 형태 4가지(넘어짐/미끄러짐, 맞음/부딪힘, 끼임, 떨어짐)에 의한 정량적 분석에서는 약 0.011로 평가되었다.

마지막으로, 각각 조업 해역과 작업 과정, 발생 형태에 따른 총 16가지의 사후 확률을 통하여 각 요인 및 각 형태에 의한 사망 위험성을 정량적으로 파악하였다.

이 연구에서는 우리나라 연근해 어선에서 발생하는 사망사고를 줄이기 위한 연구로써, 3톤 이상의 연근해 어선 중 가장 높은 사망률이 집계된 통발어선에서 발생한 산업재해 사망사고의 위험성을 정량적으로 분석하였다.

통발어선은 조업 방식의 특성상 투승과 양승이 연속적으로 이루어지며 특히 양승 과정에서는 통발을 하나씩 모릿줄로부터 분리하여야 하는 작업이 오랜 시간동안 반복적으로 이루어지기 때문에 집중력 저하, 피로감 등이 산업재해에 의한 사망사고로 이어졌을 것으로 추정할 수 있다.

또한, 일반적으로 통발은 해저바닥에 설치되기 때문에 어획물이나 통발 내부의 미끄러운 저질이 통발 분리 과정에서 갑판상 노출되어 넘어짐/미끄러짐 형태의 위험성이 가장 높게 나타났으며, 양승 과정에서 모릿줄의 강한 장력에 의한 부딪힘/맞음과 양승기에 의한 끼임의 위험성이 높게 났을 것으로 추정할 수 있다.

다만, 이 연구에서 구분한 각 요소들 외에 많은 요소들에 의해 산업재해가 발생하고 있고 사고보상금 승인내역에 포함되지 않은 산업재해 유발 요소가 많을 것으로 예상된다. 향후 추가되는 사고보상금 승인내역의 자료와 산업재해를 유발하는 요소를 추가로 이용하여 우리나라 연근해 어업의 사망사고를 저감시키기 위하여 현재 내재하고 있는 위험성을 정량적으로 평가하는 연구를 계속해서 진행할 필요가 있으며, 앞으로 통발어선에서 발생하는 산업재해를 예방하고 안전성을 개선하기 위한 기초자료로 제공될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 2022년도 해양수산부의 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(20220210,

AI기반 어선안전 설계 데이터플랫폼 개발 및 실증)의 일부입니다.

References

- Ahn JK, Jeong GC, Park YJ and An YS. 2021. The analysis of questionnaire survey to develop advanced fishing gear and to improve safe fishing procedure for offshore pot fishery. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 57, 302-315. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2021.57.4.302>.
- Di J and Eric TB. 2005. An analysis of fishing vessel accidents in fishing areas off the northeastern United States. *Safety Science* 43, 523-540. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.02.005>.
- Hänninen M and Pentti K. 2014. 1. Bayesian network modeling of port state control inspection findings and ship accident involvement. *Expert systems with applications*. 41, 1632-1646. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.08.060>.
- Hänninen M, Mazaheri A, Kujala P and Montewka J. 2014. Expert elicitation of a navigation service implementation effects on ship groundings and collisions in the gulf of finland. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability* 228, 19-28. <https://doi.org/10.1177/1748006X13494533>.
- Hujer T and Jao C. 2011. Design and development of a compound DSS for laboratory research. *Efficient Decision Support Systems-Practice and Challenges From Current to Future*, 1-475. <https://doi.org/10.5772/16720>.
- Kang IK, Kim HS, Shin HI, Lee YW, Kim JC and Jo HJ. 2007. Safety countermeasures for the marine casualties of fishing vessels in Korea. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 43, 149-159.
- Kim MS, Chang HY and Hwang BK. 2023. Effects of improvement of fishing operating system on a coastal improved stow net fishing vessel on the work safety and workload of seafarers. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 59, 074-084. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2023.59.1.074>.
- Kim OT, Jo HS, Chang HY and Lee YW. 2022. Analysis of safety risk factors of fishermen on the Korean tuna purse seiner. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 58, 251-261. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.3.251>.
- Kim WS, Cho YB, Kim SJ, Ryu KJ and Lee YW. 2014. A basic research on risk control measure for reducing the fishermen's occupational accident in offshore and coastal fishing vessel. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 50, 614-622. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2014.50.4.614>.
- Kitson NK, Constantinou AC, Gou Z, Liu Y and Chobtham K. 2023. A survey of bayesian network structure learning. *Artificial Intelligence Review*, 1-94. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10351-w>.
- Lee YW. 2019. Risk assessment for fisher's safety in coastal composite fishing vessels. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 55, 145-151. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.2.145>.
- Lee YW, Kim SH and Ryu KJ. 2022. Analysis of occupational accidents for fisher's on gillnet fishing vessel using the written verdict. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 58, 367-373. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.4.367>.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL). 2023. Status of occupational accident in 2022. 1-648.
- Pearl J. 1988. Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference. Morgan Kaufmann, 29-75.
- Ryu KJ, Kim HS, Lee YW and An YS. 2018. A basic study on the introduction of safety management system for the costal/offshore fishing vessels in Korea. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 54, 65-72.
- Ryu KJ, Yu GM, Kim HS, Kim SH and Lee YW. 2022. A analysis of occupational accidents in the Korea trap fishing vessel. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 58, 185-192. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.2.185>.
- Trucco P, Cagno E, Ruggeri F and Grande O. 2008. A Bayesian belief network modelling of organisational factors in risk analysis: A case study in maritime transportation. *Reliability Engineering & System Safety* 93, 845-856. <https://doi.org/10.1016/j.res.2007.03.035>.
- Zhang G and Thai VV. 2016. Expert elicitation and Bayesian network modeling for shipping accidents: A literature review. *Safety science* 87, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.019>.