

양식어업 어장관리선에 승선하는 어선원의 안전사고 위험요인 분석

이승현 · 김수형¹ · 류경진² · 이유원^{2*}

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

Analysis of risk factors for safety accidents for fisher onboard aquaculture fisheries management vessel

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

Graduate student, Division of Marine Production System Management, 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 aimed to quantitatively analyze the risk using data from 329 safety accidents that occurred in aquaculture fisheries management vessels over the recent five years (2018-2022). For quantitative risk analysis, the Bayesian network proposed by the International Maritime Organization (IMO) was used to analyze the risk level according to the fishing process and cause of safety accidents. Among the work processes, the fishing process was analyzed to have the highest risk, being 12.5 times that of the navigation, 2.7 times that of the maintenance, and 8.8 times that of the loading and unloading. Among the causes of accidents, the hull and working environment showed the highest risk, being 1.7 times that of fishing gear and equipment, 4.7 times that of machinery and equipment, and 9.4 times that of external environment. By quantitatively analyzing the safety accident risks for 64 combinations of these four work processes and four accident causes, this study provided fundamental data to reduce safety accidents occurring in aquaculture fisheries management vessels.

Keywords: Aquaculture fisheries management vessel, Quantitative risk analysis, Risk matrix, Bayesian network, Formal safety assessment

서론

우리나라 2023년 어업 총생산량은 2022년 361만 톤 대비 1.8% 증가한 368만 톤으로 그중 연근해어업 95.5만 톤, 해면 양식어업 226.9만 톤, 원양어업 41.0만 톤, 내수

면어업 4.2만 톤으로 집계되었다. 해면 양식어업에 의한 생산량은 어업 총생산량에서 61.7%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며 세부적으로는 해조류 생산량 169.4만 톤, 패류 생산량 38.9만 톤, 어류 등 그 외 생산량 18.4만

Received 23 April 2024; Revised 18 May 2024; Accepted 21 May 2024

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

Copyright © 2024 The Korean Society of Fisheries and Ocean Technology

톤과 같이 다양한 해조류 및 어·패류를 생산하고 있다.

해면 양식어업의 양식시설은 양식산업발전법 시행규칙 [별표 3]과 같이 해조류, 패류, 어류 등 양식물에 따라 다양한 방법으로 운영되고 있다. 평수구역 내에 설치되어 있기 때문에 평수구역 밖에서 대부분 조업하는 연근해어업보다 상대적으로 낮은 재해율을 보이고는 있지만, 최근 5년간 평균 3.12% 재해율(어업인안전보험 포함)을 나타내었고, 이는 2022년 한국산업안전보건공단 발표 전체 산업 업종별 평균 재해율 0.65%의 4.8배 높게 나타났다(NIFS, 2023). 특히, 2024년 2월 15일 완도 전복양식장에서 양식장 관리선이 전복되면서 6명 중 3명이 사망·실종되었고, 최근 10년간 해양안전심판원 재결서에 의하면 해조류 양식장 관리선에서 조업 중 물에 떨어져 5명의 사망사고가 보고되었다(KMST, 2024).

어업의 위험요소 식별을 위한 연구는 설문조사와 현장 청취조사를 이용하는 방법, 수협 어선원 및 어선재해보상보험급여 지급명세서를 이용하는 방법, 해양안전심판원의 재결서를 이용하는 방법, 비디오 관찰시스템 등을 이용하는 방법 등 다양한 시도가 있었고, 최근에는 기존 정성적인 연구를 보다 정량화하기 위한 노력으로 베이지안 네트워크 등을 이용한 방법 등이 시도되고 있다.

설문조사와 현장 청취조사를 이용한 방법은 우리나라 동해안 연근해어업에 대한 산업재해와 예방대책에 대하여 이루어졌고, 미국에서도 미국 텍사스주와 노스캐롤라이나 연안에서 조업하는 어선원들을 대상으로 어로작업 중 안전에 관한 연구들이 이루어졌다(Davis, 2012; Levin et al., 2010; McDonald and Kucera, 2007; Song et al., 2005). 수협의 어선원 및 어선재해보상보험급여 지급명세서를 이용하여 대형선망어업, 근해안강망어업, 대형트롤어업의 조업 중 위험요인 등에 대한 연구가 이루어졌다(Choi et al., 2019; Lee et al., 2015a; 2015b; 2016). 해양안전심판원의 재결서를 이용하여 자망어업 특히, 서해안에서 이루어지는 닻자망어업의 위험요인에 관한 연구가 있었다(Lee et al., 2022). 비디오 관찰시스템을 이용한 연안복합어선에서 연승조업 과정별 선장의 주의 배분에 관한 연구가 있었다(Kim and Hwang, 2022).

한편 베이지안 네트워크(Bayesian Networks)를 이용한 연구는 통발어선에서 발생한 사망사고의 위험요인 식별과 감소 대책에 관한 연구가 있었다(Kim et al., 2023). 베이지안 네트워크는 2002년 IMO에서 인명, 해

양환경 및 재산보호를 포함한 해양안전을 향상시키는 것을 목표로 체계적인 방법론으로 공식안전평가(Formal safety assessment: FSA)의 2단계에 해당하는 위험성을 평가하기 위한 분석 기법 중 하나로 제안하였다(IMO, 2018). 최근에는 이 기법을 이용하여 인적 및 조직적 요소와 관련된 현상을 모델링하거나, 불확실성을 포함한 전문가 시스템을 구축할 때 모델링 접근법 및 다양한 해양교통안전 관련 연구에서도 활용되어 있다(Trucco, 2008; Hänninen and Pentti, 2014; Hänninen et al., 2014). 특히, 사건 간의 연관성을 고려하여 확률적 데이터를 모델링할 수 있는 베이지안 네트워크는 위험 분석에 적합한 것으로 보고되고 있다(Weber et al., 2012).

다양한 방법과 어업을 대상으로 위험요인 식별을 위한 시도가 있었으나, 양식어업 어장관리선에 승선하여 어선원이 조업 중 발생하기 쉬운 안전사고 위험요인 분석에 대한 연구는 거의 시도되지 않고 있다. 그래서 본 연구에서는 수협의 어선원 및 어선재해보상보험급여 지급명세서와 베이지안 네트워크를 이용하여 양식어업 어장관리선에서 발생한 안전사고를 작업 과정과 사고 원인에 따라 정량적으로 분석하고 고찰하고자 하였다.

재료 및 방법

분석 자료

분석에 이용된 자료는 수협에서 최근 5년간(2018~2022년) 양식어업과 관련된 재해보상보험급여 지급명세서 329건을 전수 조사하여 조업 과정별, 사고 원인별 발생빈도를 분석하여 안전사고 자료로 활용하였다. 분석에서 어선원 및 어선재해보상보험법 제23조의6(재요양)에 따른 동일 사고에 대하여 중복 지급된 지급명세서는 사고접수 후 첫 번째 것만 이용하고 제외하였으며, 재해발생률 계산에 이용된 어선원 수는 수협 재해 보험 가입자 수로 계산하였다.

또한, 안전사고 발생 형태는 해조류 양식장 관리선에서 조업 시 어선원에게 위험을 줄 수 있는 어선의 구조·설비 또는 운용에 의한 위험요소의 식별을 위하여 한국산업안전보건공단(Korea Occupational Safety Health Agency: KOSHA)의 산업재해 기록·분류에 관한 지침의 발생 형태 분류코드의 대부분인 물체 및 설비에 접촉 항목에 해상에서 발생할 수 있는 분류 항목을 떨어짐, 넘어짐, 깔림·뒤집힘, 부딪힘, 맞음, 끼임, 무너짐, 산소

결핍·질식, 화재, 폭발, 감전 등으로 나누었다(KOSHA, 2016).

위험 매트릭스

해양 사상자 및 사고에 대한 보고서를 국제해사기구(International Maritime Organization: IMO)에 제공하는 것은 여러 IMO 문서의 당사국에 대한 조약 의무이며, 보고 요건은 SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea) 1974 규정 I/21, MARPOL (International Convention for the Prevention of Pollution) 제8조 및 제12조, LL (Load Line) 1966/1988 조 23, 그리고 사상자 조사법 제14장과 같은 조항에 명시되어 있다. 또한, IMO의 실행 분과위원회(Ⅲ) (Subcommittee on implementation of IMO instruments (III))는 해양 인명피해 및 사고에 대한 조사보고서 분석과 관련된 기술적, 운영적 사항을 고려하고 IMO 규칙 제정에 대한 동향 파악을 지원하기 위한 효율적이고 포괄적인 지식기반 메커니즘을 유지하는 임무를 수행한다(IMO, 2024). 실행 분과위원회(Ⅲ)는 인명피해 관련 사항을 다루는 통신단과 해양 안전 조사보고서 분석 실무단이 있으며, 특히 잠재적인 안전 문제를 파악하기 위한 해양 안전 조사보고서 분석 과정이 있다. 분석 과정은 안전 문제를 평가하는 절차가 포함된 사상자 분석 절차(Casualty analysis procedure (document FSI 17/WP.1, annex 2))를 기반으로 한다. 사상자 분석 절차의 부록에는 발생빈도와 심각도를 이용하여 예상 위험 수준을 지정하기 위한 방법으로 위험 매트릭스를 제시하였다(IMO, 2018). 본 연구에서는 양식장 어장관리선에 승선하는 어선원의 재해 형태별 발생빈도는 Lee et al. (2024)와 동일한 방법으로 MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2의 선박 수를 어선원 수로 수정하여 4단계로 분류하였고, 심각도는 사망자 수와 어선원재해보상보험급여의 평균값을 활용하여 4단계로 분류하여 발생빈도(frequency: F)와 심각도(severity: S)를 이용하여 재해 형태별 위험도(R)를 평가하였다.

베이지안 네트워크

베이지안 신뢰 네트워크(Bayesian Belief Networks)라고도 불리는 베이지안 네트워크는 불확실한 증거로부터 불확실한 결론을 추론하는 이론으로 알려져 있다.

불확실한 문제에 베이지안 네트워크를 적용하는 이유는 상황 요인을 통해 특정 결과의 발생을 맥락화할 수 있다는 것이다. 이러한 상황 요인은 연구 대상 시스템의 관찰 가능한 측면을 나타낸다. 또한 베이지안 네트워크는 다양한 유형의 증거를 통합하고, 민감도 분석을 수행하는 수단을 제공한다. 궁극적으로 네트워크는 변수 간의 인과 관계를 그래픽적으로 나타내고, 그들 간의 불확실한 종속성을 조건부 확률을 사용하여 도출한다. 베이지안 네트워크 모델은 일반적으로 네트워크의 노드를 구성하는 변수 집합, 방향성이 있는 링크로 연결된 화살표 집합, 각 노드에 대한 확률 분포 목록으로 구성된다. 종속 구조는 조건부 확률 분포의 집합으로 나타낸다. 다른 변수에 종속적인 변수는 종종 '자식 노드'로 나타낸다. 직접 전 단계 변수는 '부모 노드'로 나타낸다. 부모가 없는 노드를 '루트 노드'라고 하며, 자식이 없는 노드를 '리프 노드'라고 한다. 양적 확률 정보는 조건부 확률 표 형식으로 나타낸다(John et al., 2016).

베이지안 네트워크는 베이즈의 정리(Bayes' theorem)를 기본으로 하며, 사건 B가 발생하는 경우에 사건 A가 발생할 확률을 '사건 B에 대한 A의 조건부 확률'이라고 하고, $P(A | B)$ 로 나타낸다(단, $P(A | B)$ 는 사건 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.

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

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

결과 및 고찰

안전사고 발생현황

양식어업 어장관리선에 승선하는 어선원의 연도별 안

전사고 발생 현황은 Table 1과 같다. Table 1에서 최근 5년간(2018~2022년) 어선원 및 어선재해보상보험에 가입한 양식장 관리선은 총 5,526척으로 연평균 1105.2척, 양식어업의 종사자는 총 12,497명으로 연평균 2499.4명이며 안전사고는 총 329건, 연평균 65.8건 접수되었다. 즉, 약 2,500명의 종사자에게 약 65건의 안전사고가 매년 발생하는 것으로 양식어업 종사자의 안전사고 발생율은 약 2.63%로 집계되었다. 이는 고용노동부에서 발표한 2022년 기준 전 산업의 재해율 0.65%, 어업 전체의 재해율 1.06%에 비해 높은 수치로써, 앞서 언급한 바와 같이 상대적으로 안전할 것으로 예상되는 양식어업에서도 많은 안전사고가 발생하고 있음을 확인하였다(MOEL, 2023).

양식어업에서 발생한 안전사고의 결과를 부상, 질병, 사망으로 구분하여 분석한 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 연평균 부상이 61.0건, 질병이 3.4건, 사망이 1.2건 발생하는 추세를 나타내었다. 대부분 안전사고의 결과가 부상(약 93.0%)에 집중되어 있으나, 최근 5년간 7건의 사망을 통해 양식어업 어장관리선에 대한 안전

사고 대책이 시급하다고 판단되었다.

양식어업 어장관리선에서 안전사고의 작업과정별 사고 원인에 대한 결과는 Table 3과 같다. 작업과정은 항해, 조업, 정비, 하역 및 기타로 구분하고, 사고 원인은 선체 및 작업 환경, 어구 및 어업기기, 선박기계 및 기구, 외부 환경요인, 기타로 구분하여 안전사고 발생 건수를 분석하였다. 한편 작업과정과 사고 원인에서 기타는 재해 상세 내용에 명확하게 기재되어 있지 않은 미상의 사고를 기타로 분류하였다.

작업과정에 따른 안전사고 발생은 조업 중 187건으로 압도적으로 높았으며, 정비 70건, 기타 36건 등의 순으로 집계되었다. 사고 원인은 선체 및 작업 환경에 의한 안전사고 발생이 145건으로 가장 높았으며, 어구 및 어업 기기 84건, 기타 53건 등의 순으로 집계되었다. 작업 과정과 사고 원인의 조합에 따라서는 조업 중 선체 및 작업 환경에 의한 안전사고가 73건과 조업 중 어구 및 어업기기에 의한 안전사고가 72건 발생하여 가장 많이 집계되었다. 여러 작업 과정을 수행하는 과정에서 다양한 원인에 의한 안전사고가 발생함을 확인할 수 있다.

Table 1. Annual safety accident occurrence rate (2018-2022). Unit: persons, number, (%)

Items	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Number of insured boat	1,065	1,090	1,108	1,105	1,158	5,526
Number of insured aquaculture workers	2,343	2,427	2,463	2,518	2,746	12,497
Number of safety accident	73	74	59	66	57	329
Safety accident occurrence rate (%)	3.12	3.05	2.40	2.62	2.08	2.63

Table 2. Annual safety accident outcomes. Unit: number, (%)

Safety accident	2018	2019	2020	2021	2022	Total (%)
Injury	68	73	53	62	49	305 (93.0)
Disease	4	0	3	3	7	17 (5.2)
Fatality	1	1	3	1	1	7 (1.8)
Total	73	74	59	66	57	329 (100.0)

Table 3. Number of safety accidents by work processes and cause of accidents. Unit: number

Safety accident	Sailing	Fishing	Maintenance	Loading and unloading	Others	Total
Hull and working environment	12	73	32	16	12	145
Fishing gear and equipment	2	72	10	0	0	84
Machinery and equipment	0	9	20	1	1	31
External environment	1	11	2	2	0	16
Others	0	22	6	2	23	53
Total	15	187	70	21	36	329

Table 4. Safety accidents by type in recent 5 years (2018-2022). Unit: number, (%)

Type of safety accident	2018	2019	2020	2021	2022	Total (%)
Slip/trip	25	31	25	25	17	123 (37.4)
Stuck	15	20	12	14	13	74 (22.5)
Bump/hit	14	8	8	11	10	51 (15.5)
Exposure and contact with hazardous substances	6	7	3	7	5	28 (8.5)
Diseased	3	1	4	3	5	16 (4.9)
Unnatural posture and excessive forceful movements	3	2	4	1	4	14 (4.3)
Fall	3	4	1	2	2	12 (3.7)
Exposure and contact with abnormal temperatures	0	0	1	2	0	3 (0.9)
Explosion	0	0	1	0	0	1 (0.3)
Others	4	1	0	1	1	7 (2.1)
Total	73	74	59	66	57	329 (100.0)

연근해어업은 어선의 크기, 선형, 어로설비, 어장 및 어법 등이 상이하어 업종에 따라 다양한 형태의 안전사고가 발생하고 있다. 특히, 양식어업의 경우, 해조류, 패류, 어류 등 양식물에 따라 다른 형태의 어장관리선이 사용되고 있으므로 연근해어선과 차이가 있을 것으로 예상되어 양식어업에서 발생한 안전사고의 발생 형태를 연도별로 분석한 결과는 Table 4와 같다.

양식어업 어장관리선에서 발생하는 안전사고는 다양한 형태로 나타났지만, 특히, 미끄러짐/넘어짐 123건 (37.4%), 끼임 74건(22.5%), 부딪힘/맞음 51건(15.5%) 3가지 형태에 약 75% 이상의 안전사고 발생이 집중되어 있으며, 유해·위험물질 노출·접촉 28건(8.5%) 질병 16건 (4.9%), 부자연스런 자세 및 과도한 힘 동작 14건(4.3%),

떨어짐 12건(3.7%) 등의 순으로 발생하였다. 참고로, Table 2와Table 4의 질병의 수가 상이한 것은 다른 발생 형태에 의해 안전사고가 발생하였으나, 결과적으로 질병으로 이어진 경우이다.

위험 매트릭스를 이용한 발생형태별 위험도

안전사고의 형태별 발생빈도와 심각도를 이용한 위험도는 Table 5와 같다. Table 5에서 위험도는 질병이 12로 가장 위험한 것으로 나타나 어선원 고령화에 따른 체계적인 건강관리가 필요한 것으로 판단되며, 끼임과 떨어짐이 9, 그 외 넘어짐과 부딪힘 등이 6으로 나타났다. 발생빈도는 다른 선행연구와 유사하게 미끄러짐/넘어짐이 가장 높게 나타났고(Choi et al., 2019; Lee et al.,

Table 5. Analysis of safety accident types using risk matrix. Unit: number, won

Type of safety accident	Number of safety accident	Frequency rating (F)	Number of fatality	Average compensation for safety accidents (Won)	Severity rating (S)	Estimated risk level
Slip/trip	123	3	0	11,005,740	2	6
Stuck	74	3	1	21,820,921	3	9
Bump/hit	51	3	0	11,838,101	2	6
Exposure and contact with hazardous substances	28	3	0	10,361,624	2	6
Diseased	16	3	3	19,360,120	4	12
Unnatural posture and excessive forceful movements	14	3	0	7,713,324	2	6
Fall	12	3	1	45,573,613	3	9
Exposure and contact with abnormal temperatures	3	3	0	5,235,389	2	6
Explosion	1	1	0	62,140,000	2	2

2015a; 2015b; 2016), 끼임, 부딪힘/맞음 순으로 나타났다. 위험도 평가에서 발생빈도는 대부분 3으로 크게 영향을 미치지 않았으나, 심각도가 위험도 결정에 영향을 미친 것으로 나타났다.

Table 3에서 사망·실종자 수는 7명이었으나, 전복 2건이 해양사고 기타로 분류되어 Table 5에서는 제외되었다. 위험 매트릭스를 통해 분석한 안전사고의 형태에 따른 상대적 위험도는 질병, 끼임, 떨어짐, 미끄러짐/넘어짐 및 부딪힘/맞음 등이 높게 나타났다. 특히 떨어짐 형태의 경우, 최근 5년간(2018~2022년) 12건 밖에 발생하지 않았지만, 사망사고가 발생하여 재해보상보험 승인금액이 높고 높은 위험도를 나타내었다.

베이지안 네트워크를 이용한 안전사고 위험성 분석

양식장 어장관리선의 안전사고의 형태 중 질병을 제외한 작업 중 높은 예상 위험 수준을 나타낸 4가지 형태, 끼임, 넘어짐, 부딪힘/맞음 및 떨어짐에 대한 안전사고 발생의 위험성을 정량적으로 분석하기 위하여 베이지안 네트워크를 이용하였다. 각 노드는 상호 연관성을 가지도록 구성하였으며, 전체 양식장 어장관리선의 어선원 및 어선재해보상보험 가입자와 양식장 어장관리선 안전사고 발생 건수를 이용한 안전사고 발생율은 루트노드

로 설정하였다. 그리고 안전사고 발생율이 부모노드가 되어 작업과정과 사고 원인이라는 자식노드로 연결하였으며, 이 과정에서 명확하지 않은 데이터를 제외하기 위하여 기타에 해당하는 데이터는 제외하였다. 이후 각 작업과정과 사고 원인으로 이어지는 조건부 확률을 기입하였으며, 최종적으로 최종노드이자 리프노드인 4가지 형태의 안전사고, 끼임, 넘어짐, 부딪힘/맞음, 떨어짐에 대한 위험성을 도출하고자 베이지안 네트워크를 구성한 결과는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1은 양식장 관리선의 주요 4가지 안전사고 발생 형태의 위험성을 분석하기 베이지안 네트워크 구성으로써, 각 노드에 표시된 확률은 각각의 조건부 확률을 나타낸 것으로, 조건부 확률을 이용한 정량적 사후확률값을 나타내면 Fig. 2와 같다.

Fig. 2에 나타낸 것과 같이 양식장 어장관리선의 안전사고의 발생 위험성을 정량적으로 분석결과, 우선, 작업 과정에 따른 구분을 살펴보면 조업 중(8.30%)이 가장 높은 위험성을 나타내었고, 항해 중(0.67%), 정비 중(3.10%), 하역 중(0.94%)이 그 뒤를 이었다. 사고 원인에 따른 구분에서는 선체 및 작업환경(9.40%), 어구 및 어업기기(5.50%), 선박 기계 및 기구(2.00%), 외부 환경요인(1.00%)의 순으로 높은 위험성을 나타내었다.

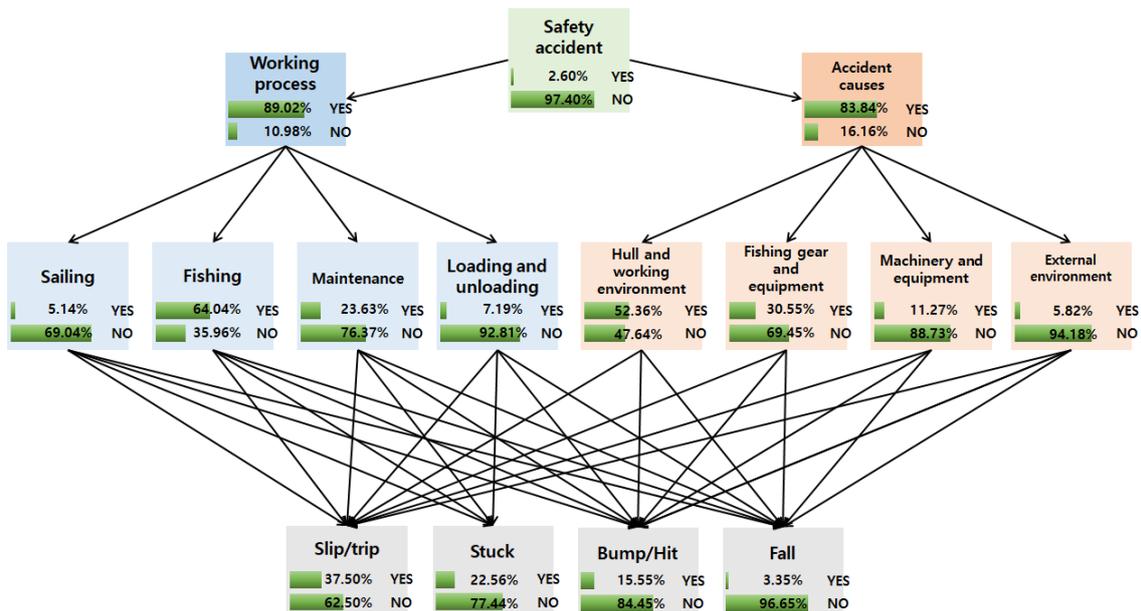


Fig. 1. Constructing a Bayesian network for safety accident risk analysis in aquaculture management vessel.

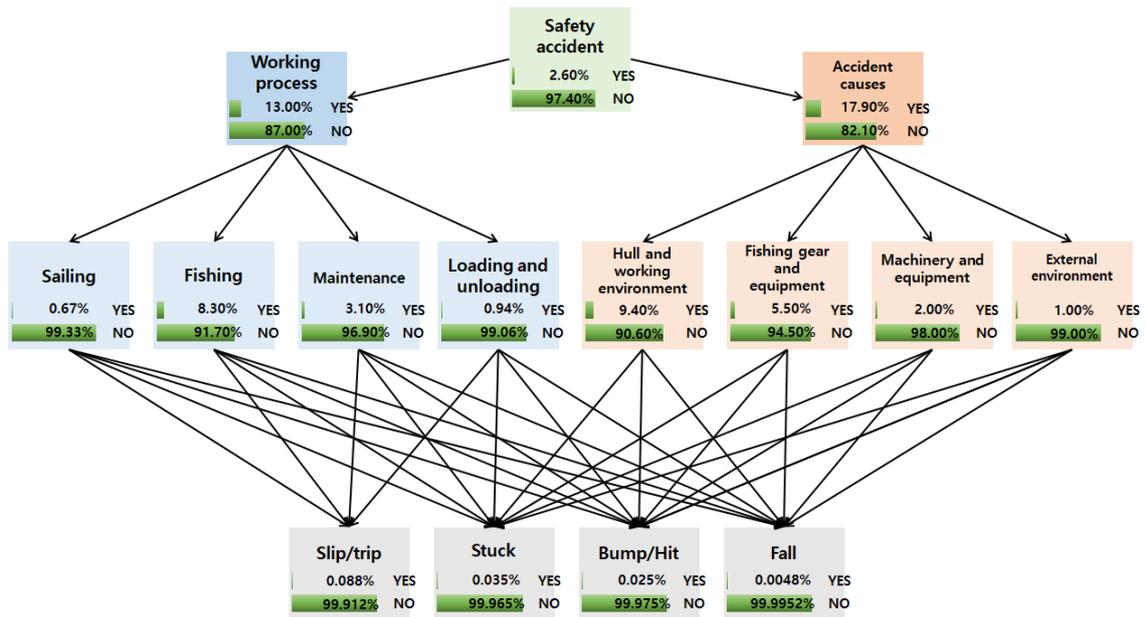


Fig. 2. Quantitative risk assessment of aquaculture management vessel safety accidents analyzed by Bayesian network.

Table 6. Quantitative risk assessment of work processes and accident causes by Bayesian network. (%)

Type of safety accident	Processes				
	Causes	Sailing	Fishing	Maintenance	Loading and unloading
Slip/trip	Hull and working environment	3.74E-06	8E-04	7.4E-05	5.3E-06
	Fishing gear and equipment	0	7E-05	1.2E-06	0
	Machinery and equipment	0	0	0	0
	External environment	0	3E-06	3.6E-07	0
Stuck	Hull and working environment	1.6E-06	1E-04	5.5E-06	0
	Fishing gear and equipment	2.2E-07	2E-04	8E-06	0
	Machinery and equipment	0	0	2.9E-06	0
	External environment	0	5E-06	0	4.5E-08
Hit/bump	Hull and working environment	5.2E-07	1E-04	8.3E-06	6.6E-06
	Fishing gear and equipment	2.2E-07	1E-04	1.2E-06	0
	Machinery and equipment	0	2E-06	3.6E-07	9.3E-08
	External environment	0	3E-06	0	4.5E-08
Fall	Hull and working environment	5.2E-07	4E-05	5.5E-06	7.4E-07
	Fishing gear and equipment	0	0	0	0
	Machinery and equipment	0	0	3.6E-07	0
	External environment	3.2E-08	0	0	0

형태에 따른 구분으로는 넘어짐/미끄러짐(0.088%), 끼임(0.035%), 부딪힘/맞음(0.025%), 떨어짐(0.0048%)의 순으로 높은 위험성을 가지는 것으로 분석되었다.

최종적으로 각 형태의 안전사고가 작업과정과 사고 원인에 따라서 어떠한 정량적 위험성을 가지는지 분석한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6의 작업과정과 사고 원인에 따른 안전사고 발생 위험성 분석에 따르면, 가장 높은 위험성은 조업 중에 선체 및 작업 환경에 의한 넘어짐/미끄러짐 사고로 분석되었고, 조업 중 어구 및 어업 기기에 의한 끼임 사고, 조업 중 어구 및 어업 기기, 선체 및 작업환경에 의한 부딪힘/맞음 사고, 조업 중 선체 및 작업 환경에 의한

끼임 사고가 그 뒤를 이었다. 떨어짐 형태는 조업 중 선체 및 작업 환경에 의한 위험성이 가장 높은 것으로 분석되었다.

이 연구에서 이용한 어선원 및 어선재해보상보험의 재해보상지급명세서 내역이 비교적 안전사고에 대한 상세 내용이 포함되어 있었지만, 안전사고가 작업 과정이나 사고 원인에 의해 단독적으로 발생하는 것이 아닌 복합적으로 발생하는데 이러한 부분들이 반영되지 못하는 한계가 있다. 추후 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 더 많은 안전사고에 대한 데이터를 확보하고 여러 전문가 의견을 반영하여 베이지안 네트워크 모델을 보완할 계획이다.

결론

이 연구에서는 수협 어선원 및 어선재해보상보험급여 지급명세서 및 베이지안 네트워크를 이용하여 우리나라 양식어업 어장관리선에서 발생하는 안전사고에 대한 정량적인 위험성을 분석하였다.

위험성 분석을 위하여 IMO에서 제안한 사상자 분석 절차의 위험 매트릭스를 이용하여 안전사고의 다양한 형태 중 높은 심각도를 가진 4가지 형태를 분석하였고, 이를 바탕으로 IMO의 FSA에서 제안한 위험성 분석 기법인 베이지안 네트워크를 이용하였다. 작업 과정 중에서는 조업이 항해 과정의 약 12.5배, 정비 과정의 약 2.7배, 하역 과정의 약 8.8배 높은 위험성을 나타내었으며, 사고 원인으로는 선체 및 작업환경이 어구 및 어업기기의 약 1.7배, 선박 기계 및 기구의 4.7배, 외부 환경요인의 9.4배 높은 안전사고 발생 위험성을 나타내었다. 발생 형태로는 넘어짐/미끄러짐이 끼임의 약 2.5배, 부딪힘/맞음의 약 3.5배, 떨어짐의 약 18.3배 높은 위험성을 가지는 것으로 분석되었다. 작업 과정과 사고 원인의 조합에 따른 분석으로는 조업 과정에서 선체 및 작업 환경에 의한 넘어짐/미끄러짐이 조업 과정에서 어구 및 어업 기기에 의한 끼임의 3.9배, 조업 과정에서 선체 및 작업 환경에 의한 부딪힘/맞음 및 끼임의 6.5배 높은 위험성을 나타내었다. 이와 같은 연구 결과는 양식장 관리선에서 발생하는 안전사고를 줄이기 위한 위험 제어 방안 도출과 비용-편익 분석을 통하여 최종 의사결정을 위한 기초 자료로 활용 가능할 것으로 기대된다.

사사

본 연구는 2023년도 부경대학교 자율창의학술연구비의 지원을 받아 수행된 연구의 일부이다.

References

- Choi JI, Kim HS, Lee CW, Oh TY, Seo YI, Lee YW and Ryu KJ. 2019. A study on the risk factors of the fishermen's in offshore large powered purse seine fishery using the accident compensation insurance proceeds payment data of NFFC. *J Kor Soc Fish Ocean Technol* 55, 82-93. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2019.55.1.082>.
- Davis ME. 2012. Perceptions of occupational risk by US commercial fishermen. *Mar Pol* 36, 28-33. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.03.005>.
- Hänninen M and Pentti K. 2014. Bayesian network modeling of Port State Control inspection findings and ship accident involvement. *Expert Syst Appl* 41, 1632-1646.
- Hänninen M, Mazaheri A, Kujala P, Montewka J, Laaksonen P, Salmiovirta M and Klang M. 2014. Expert elicitation of a navigation service implementation effects on ship groundings and collisions in the Gulf of Finland. *Proc Inst Mech Eng O J Risk Reliab* 228, 19-28.
- International Maritime organization (IMO). 2018. Revised guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. *MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev. 2*, 1-71.
- International Maritime organization (IMO). 2024. Retrieved from <https://www.imo.org/en/OurWork/IIS/Pages/Casualty.aspx> on Apr 09.
- John A, Yang Z, Riahi R and Wang J. 2016. A risk assessment approach to improve the resilience of a seaport system using Bayesian networks. *Ocean Engineering*, 111, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.10.048>.
- Kim MS and Hwang BK. 2022. Allocation of the skipper's attention depending on the longline fishing process of the coastal composite fishing vessel. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 58, 175-184. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.2.175>.
- Kim SH, Ryu KJ, Lee SH, Lee KH, Kim SH and Lee YW. 2023. Enhancing sustainability through analysis and prevention: A study of fatal accidents on trap boats within the commercial fishing industry. *sustainability* 15,

15382. <https://doi.org/10.3390/su152115382>.
- Kitson NK, Constantinou AC, Guo Z, Liu Y, Chobtham K. 2023. A survey of Bayesian network structure learning. *Artif Intell Rev* 56, 8721-8814.
- Korean Maritime Safety Tribuna (KMST). 2024. Decision of marine accident. Retrieved from <https://www.kmst.go.kr/web/verdictList.do?menuIdx=121> on Apr 10.
- Korean Occupational Safety Health Agency (KOSHA). 2016. Guide of records and classification for industrial accident. 1-64.
- Lee YW, Cho YB, Kim SK, Kim SJ, Park TG, Ryu KJ and Kim WS. 2015a. Hazard assessment for the fishermen's safety in offshore large powered purse seiner using insurance proceeds payment of NFFC in 2013. *J Kor Soc Fish Technol* 51, 188-194. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.2.188>.
- Lee YW, Cho YB, Kim SK, Kim SJ, Park TG, Ryu KJ and Kim WS. 2015b. Hazard factors assessment for the fishermen's safety on the vessel of offshore stow nets on anchor using insurance proceeds payment of NFFC. *J Fish Mar Sci Edu* 27, 1129-1135. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2015.27.4.1129>.
- Lee YW, Cho YB, Kim WS, Kim SJ, Park TG, Park TS, Kim HS and Ryu KJ. 2016. Hazard analysis for the fishermen's safety in offshore trawler using insurance proceeds payment of NFFC. *J Kor Soc Fish Technol* 52, 241-247. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2016.52.3.241>.
- Lee YW, Kim SH and Ryu KJ. 2022. Analysis of occupational accidents for fisher's on gillnet fishing vessel using the written verdict. *J Korean Soc Fish Ocean Technol* 58, 367-373. <https://doi.org/10.3796/KSFOT.2022.58.4.367>.
- Lee YW, Ryu KJ, Kim SH, Kim H, Koo KY, Lee C and Kim S. 2024. Risk assessment of gillnet fishing vessels in South Korea: a statistical analysis of occupational accidents 2016-2020. *Fish Aquat Sci* 27, 7-16. <https://doi.org/10.47853/FAS.2024.e2>.
- Levin JL, Gilmore K, Shepherd S, Wickman A, Carruth A, Nalbone JT, Gallardo G and Nonnenmann MW. 2010. Factors influencing safety among a group of commercial fishermen along the Texas Gulf Coast. *J Agromedicine* 15, 363-374. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2010.509701>.
- McDonald MA and Kucera KL. 2007. Understanding non-industrialized workers' approaches to safety: how do commercial fishermen "stay safe"?. *J Safety Res* 38, 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2006.10.009>.
- Ministry of Employment and Labor (MOEL). 2023. Status of occupational accident in 2022. 1-11.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS). 2023. Fishing work safety disaster survey and prevention guideline development. Report of NIFS, 1-182.
- Song JS, Choi HS, Seo JC, Kwak YH, Park WS, Kim SA, Yoon YY. 2005. The present state of occupational injuries and prevention on east side of Korea fishing. *J Kor Mar Envir Eng* 8, 78-82.
- Trucco P, Cagno E, Ruggeri F, Grande O. 2008. A Bayesian belief network modelling of organisational factors in risk analysis: a case study in maritime transportation. *Reliab Eng Syst Saf* 93, 845-856.
- Weber P, Medina-Oliva G, Simon C and Iung B. 2012. Overview on Bayesian networks applications for dependability, risk analysis and maintenance areas. *Eng Appl Artif Intell* 25, 671-682. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2010.06.002>.