

베이지안 네트워크를 이용한 항로표지사고 주요 요인 분석

박상원* · 박영수** · † 문범식

*한국해양수산개발원 전문연구원, **한국해양대학교 항해융합학부 교수, † 한국해양대학교 연구원

Analysis of Main Factors in aids to Navigation Accidents using a Bayesian Network

Sangwon Park* · Youngsoo Park** · † Beom-Sik Moon

*Senior Researcher, Korea Maritime Institute, Busan, 49111, Korea

**Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

† Researcher, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 항로표지는 선박의 위치·방향 및 장애물의 위치 등을 알려주는 항행보조시설로써 중단없는 서비스가 중요하다. 본 연구는 서비스의 중단을 야기하는 항로표지 사고를 분석하고 사고와 관련된 주요 요인을 도출하는 것이 목적이다. 이를 위해 2000년부터 2022년까지 발생한 항로표지 사고자료를 활용했다. 항로표지 사고의 변수를 사고유형, 원인, 지방청, 계절, 항로표지 유형으로 구분했으며, 상관관계 분석을 통해 네트워크를 도출했다. 항로표지 사고 기반으로 도출한 베이지안 네트워크에 사전확률을 부여하고, 항로표지 사고 유형별로 발생 확률을 높이는 요소들을 도출했다. 도출된 결과는 신고되지 않은 항로표지 사고의 원인을 추론할 수 있으며, 항로표지 사고 예방을 위한 기초 자료로도 사용할 수 있다.

핵심용어 : 항로표지, 베이지안 네트워크, 상관관계 분석, 항로표지 사고, 해사안전

Abstract : Aids to navigation, which provide information about a ship's position, direction, and the location of obstacles, are crucial for uninterrupted maritime services. This study aimed to analyze accidents involving aids to navigation that resulted in service disruptions and identify the key factors associated with these accidents. Aids to navigation accident data from 2000 to 2022 were utilized to achieve this. We categorized accidents by accident type, cause, region, season, and type of navigation aid and established a network through correlation analysis. Bayesian networks based on aids to navigation accidents were assigned prior probabilities, and the factors that increased the probability of accidents for different types of aids to navigation were identified. The findings can be used to infer the causes of unreported aids to navigation accidents and serve as foundational data for the prevention of such accidents.

Key words : aids to navigation, Bayesian network, correlation analysis, aids to navigation accident, maritime safety

1. 서 론

「항로표지법」에 따르면, 항로표지는 항행하는 선박에 대하여 등광·형상·색채·음향·진파 등을 수단으로 선박의 위치·방향 및 장애물의 위치 등을 알려주는 항행보조시설로써 광파표지, 형상표지, 음파표지, 진파표지 및 특수신호표지 등을 의미한다(MOLEG, 2023). 그리고 항로표지는 선박이 항만간을 운항할 때 경제적이고 안전한 항로를 선택할 수 있도록 유도하는 항행원조시설이라 할 수 있다(Jeong and Gug, 2013). 그러므로 항로표지 역할 수행을 위해 항로표지의 기능이 상실되지 않도록 효율적으로 관리되어야 하며, 항로표지 기능 상실을 야기하는 사고 분석이 필요하다.

「항로표지의 고시에 관한 업무취급 요령」에 따르면, 항로표지가 천재지변이나 혹은 선박충돌 그 밖의 원인으로 인하여 그 기능이 정지(소등, 유실, 침몰, 무너짐, 취명정지, 발사정지 등) 또는 위치이동 된 상태를 항로표지 사고로 정의하고 있다(MOLEG, 2021). 해당 요령의 목적은 항로표지의 고시에 관한 업무를 정한 것으로 항로표지 사고에 집중된 규정은 아니다. 또한 항로표지사고는 사고유형과 사고요인이 혼재되어 있으며, 명확한 정의가 없기 때문에 통계화하기는 어렵다(Moon et al., 2023). 이러한 항로표지 사고 통계 관리의 한계점을 극복하기 위해서 Moon et al(2023)은 항로표지 연보 및 항로표지 이력카드에 기록된 항로표지사고 4,227건을 분류하고 분석했다. 해당 연구의 목적은 항로표지사고 관리를 위한 유형 재분류로, 항로표지사고가 야기되는 원인 분석은 하지 못했다. 즉

† Corresponding author : tigerfood@hanmail.net

* psw6745@kmi.re.kr 051)797-4919

(주) 이 논문은 “베이지안 네트워크를 이용한 항로표지 사고 주요 요인 도출”이란 제목으로 “2023 추계학술대회 한국항해항만학회논문집(부산, 2023.11.2.-3, pp.190-191)”에 발표되었음.

항로표지 사고를 예방하고 효율적인 관리를 위해서는 항로표지 사고에 대한 명확한 유형 분류뿐만 아니라, 분류된 유형에 따른 원인을 분석하고 이를 효과적으로 방지할 수 있는 정책이 마련되어야 한다.

항로표지 사고에 대해서 Han et al(2019)은 부선에 의한 항로표지 충돌사고 예방을 위해 선박간의 위치를 분석하여 예부선 운항 상황을 식별하고, 등부표 등에 근접하여 운항하는 경우 사전에 AIS 메시지를 전파하는 시스템을 개발했다. Lee et al(2020)은 해상교통평가지표를 활용하여 등부표 접촉사고의 위험성을 평가했다. 항로표지 사고에 대한 사회적 비용과 항행위험비용을 추정하여 항로표지의 중요성을 경제적 가치로 제시하기도 했다(Kim and Moon, 2018; Moon and Kim, 2019). 지금까지 항로표지사고와 관련해서는 비용과 선박 충돌을 중심으로 논의가 되었으며, 사고유형과 원인에 대한 연구는 부족하다.

이외에도 항로표지 서비스에 대한 연구도 지속적으로 이루어지고 있다. Park et al(2010)은 항로표지의 이탈이나 고장 상태의 정보는 전달이 어렵기 때문에 AIS 기반 항로표지 통신망을 정의하였다. Choi et al(2023)은 외력에 의해 위치가 유동적인 등부표의 위치 오류를 분석하여 서비스의 정확도를 높이는 연구를 수행했다. Kim et al(2023)은 항로표지 정보를 관리하기 위해 항로표지 구분 기준을 국제표준인 S-201에 맞춰 진행했으며, 디지털화를 위한 준비단계라 할 수 있다. 항로표지의 서비스는 데이터 기반으로 디지털화되고 있는 추세이며, 항로표지 사고도 서비스를 위한 데이터로 활용하기 위해서는 체계적인 분석이 필요하다.

한편 「항로표지법」 제17조(신고)는 누구든지 항로표지가 소등, 유실, 침몰, 무너짐, 위치이동 등의 사고가 있는 것을 발견했을 때 해양수산부나 해양경찰서에 신고하도록 정하고 있다. 즉 항로표지는 관리자가 지속해서 모니터링하지 않는 이상 사고는 신고에 의해서 접수되며, 이는 사고 즉시 인식하지 못할 수도 있다는 의미이다. 그러므로 원인 파악을 위해서는 신속한 사고 식별 뿐만아니라, 사고 사례 분석을 통한 원인의 추론도 필요하다.

본 연구의 목적은 항로표지 사고 발생 후 원인 추론을 위해 항로표지 사고의 인과요인을 분석하는 것이다. 이를 위해 Moon et al(2023)이 분석한 2000년부터 2022년까지 항로표지 연보 및 항로표지 이력카드에 기록된 4,227건의 항로표지사고를 활용하여 각 요인별 상관관계를 분석하고자 한다. 그리고 상관관계가 높은 요소를 베이지 이론을 활용하여 사고에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 한다.

2. 연구 자료 및 방법

2.1 연구 자료

본 연구에서는 2000년부터 2022년까지 발생한 항로표지사

고 4,227건을 활용하였다. Fig. 1은 본 연구에서 사용한 항로표지사고의 연도별 현황을 나타낸다.

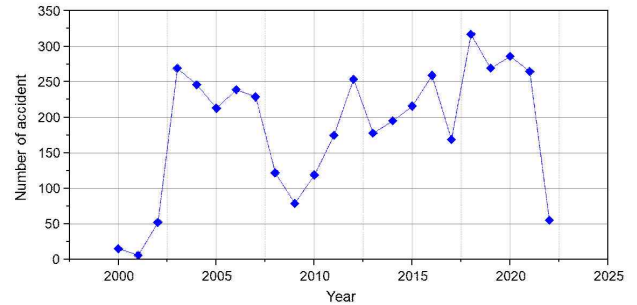


Fig. 1 Annual aids to navigation accident by year

항로표지사고는 IALA 항로표지 정보 표준인 S-201에 따라 재분류되었다(Moon et al.,2023). Table 1은 항로표지사고 데이터의 변수 목록이다. 연구를 위해서 항로표지 사고의 각 담당 지방청(Location), 항로표지 형식(Type of AtoN), 계절(Season), 원인(Cause) 및 결과(Result)를 구분하여 정리했다.

Table 1 List of variable

Variable	Contents	Data type
Location	Gunsan, Daesan, Donghae, Masan, Mokpo, Busan, Yeosu, Ulsan, Incheon, Jeju, Jindo, Pyeongtaek, Pohang	Categorical
Type of AtoN	Bridge, Leading light, Light buoy, Staff light, Light beacon, Radar beacon, Fog signal, Unmanned lighthouse, Breakwater lighthouse, buoy, Manned lighthouse, Beacon, Tidal current signal station, Projector light, Sector light, AIS_AtoN	Categorical
Season	Spring, Summer, Autumn, Winter	Categorical
Cause	Mooring part, Power source, Flood, Weather, Ship, Tide, other	Categorical
Result	Turn off the lights, Lost, Sinking, Collapse, Mark damaged, Mark lost, Out of position, Failure, others	Categorical

Source: Moon et al(2023)

우리나라 지방청별로 항로표지는 2022년 기준 국유항로표지가 총 3,264개(측위정보원 19기 제외) 설치되어 있으며, 항로표지 종류 별 지방청별 설치현황은 Table 2와 같다. 국유항로표지의 83.8%는 광파표지이며, 부산, 인천, 마산 순으로 항로표지가 많이 설치되어 있다.

Table 2 Installation status of AtoN

	Light	Mark	Sound	Radio	Special	Total	Rate (%)
Busan	441	8	2	6	26	483	14.8
Jeju	183	1	3	9	16	212	6.5
Incheon	307	56	2	10	48	423	13.0

Yeosu	274	9	3	10	23	319	9.8
Masan	326	2	2	9	22	361	11.1
Ulsan	96	2	4	3	15	120	3.7
Donghae	133	1	6	4	23	167	5.1
Gunsan	148	1	2	4	24	179	5.5
Mokpo	205	6	4	11	18	244	7.5
Jindo	172	4	5	8	27	216	6.6
Pohang	188	-	6	6	28	228	7.0
Pyeongtaek	118	2	2	3	18	143	4.4
Daesan	144	1	2	8	14	169	5.2
Total	2,735 (83.8)	93 (2.8)	43 (1.3)	91 (2.8)	302 (9.3)	3,264 (100)	

Source: MOF(2022)

2.2 연구방법

2.2.1 상관 분석

항로표지 사고 발생 후 원인 추론을 위해서 어떤 변수 간 관계가 있는지 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 변수 간 상관관계 분석 중 범주형 데이터 간 상관관계를 분석할 수 있는 Cramer's V를 활용했다(Cramer, 1946). Cramer's V는 식(1)에 따라 카이제곱 값을 도출하고, 식(2)를 통해 계산된다.

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (1)$$

여기서, O_i : Observed frequency counts in each category

E_i : Expected frequency counts in each category

k : Number of categories

$$Cramer's V = \sqrt{\frac{X^2/n}{\min(k-1, r-1)}}$$

여기서, X^2 : The chi-square statistic

n : Total sample size

k : Number of rows

r : Number of columns

Cramer's V를 통해 도출된 값은 0과 1사이의 값이며, Table 3에 따라 연관성을 해석할 수 있다.

Table 3 Interpretation of Cramer's V

Cramer's V	Interpretation
>0.25	Very strong
>0.15	Strong
>0.10	Moderate
>0.05	Weak
>0	No or very weak

Source: Haldun(2018)

2.2.2 베이저안 네트워크

항로표지 사고 발생 후 원인 추론을 위해서 베이저안 네트워크를 활용하였다. 베이저안 네트워크는 확률변수 간 인과관계를 도출후 그래프로 표현하고 주어진 데이터에 대한 확률변수의 분포를 학습하는 확률 그래프 모형이다. 그리고 그래프는 노드와 엣지로 표현할 수 있다. 여기서 노드는 확률변수, 엣지는 확률적인 관계가 된다. 엣지의 확률적인 관계는 베이저 정리를 기반으로 한다. 베이저 정리는 확률변수의 사건 확률과 사후확률 사이의 관계를 나타내며, 식(3)과 같다.

$$P(A | B) = \frac{P(B | A)P(A)}{P(B)} \quad (3)$$

여기서, $P(A)$: Probability of occurrence of event A

$P(B)$: Probability of occurrence of event B

$P(A | B)$: Conditional probability of A given B

$P(B | A)$: Conditional probability of B given A

베이저안 네트워크의 결합확률분포는 인수분해정리에 따라 모든 조건부확률분포의 곱으로 나타낼 수 있다. 변수들의 집합 $X \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 이 주어진 경우, X_i 의 부모 변수를 $Pa(x_i)$ 라고 할 때, 결합확률 분포는 식(4)와 같다.

$$P(x) = \prod_{i=1}^n P(x_i | Pa(x_i)) \quad (4)$$

여기서, $P(x_i | Pa(x_i))$ 는 부모 변수 $Pa(x_i)$ 가 주어졌을 때, x_i 에 대한 조건부확률 분포이다. 그리고 베이저안 네트워크가 조건부 독립이라 가정하고, 연쇄 법칙을 적용하면 노드에 대한 결합확률은 체인 규칙을 적용하여 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} (2) P(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) &= P(x_1 | x_2, \dots, x_n)P(x_2, \dots, x_n) \\ &= P(x_1 | x_2, \dots, x_n)P(x_2 | x_3, \dots, x_n)P(x_3, \dots, x_n) \\ &= P(x_1 | x_2, \dots, x_n)P(x_2 | x_3, \dots, x_n) \dots P(x_{n-1} | x_n)P(x_n) \end{aligned} \quad (5)$$

이를 활용하여, 사건 B 와 C 가 동시에 발생했을 때, A 의 조건부확률은 식(6)과 같이 표현할 수 있다.

$$P(A | B, C) = \frac{P(B | A, C)P(A | C)}{P(B | C)} \quad (6)$$

3. 분석결과 및 고찰

3.1 상관관계 분석

항로표지 사고의 변수인 지방청, 항로표지 형식, 계절, 원인 및 결과를 교차하여, Cramer's V 계수를 도출했다. Table 3의

해석에 따르면, Cramer's V 계수가 0.15이상이면 강한 상관관계가 있다고 한다. 각 변수 간 강한 상관관계가 있는 변수는 Table 4와 같다.

Table 4 Result of correlation analysis

Variable	Chi-square	Total	Cramer's V
Cause-Result	5730.16	4227	0.475
Cause-Season	361.91	4227	0.168
Cause-Type	942.40	4227	0.192
Cause-Location	821.32	4227	0.179

항로표지 사고의 원인과 결과는 0.475로 매우 큰 상관관계가 있는 것으로 분석되었으며, 원인은 계절, 항로표지 유형, 지방청 위치와 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

3.2 베이지안 네트워크 분석

베이지안 네트워크는 노드와 노드간 인과관계가 중요하다 (Fenton et al., 2018; Park and Park, 2023). 상관분석을 통해 도출된 변수간 관계에 따라 노드 간 연결은 Fig. 2와 같이 구성할 수 있다.

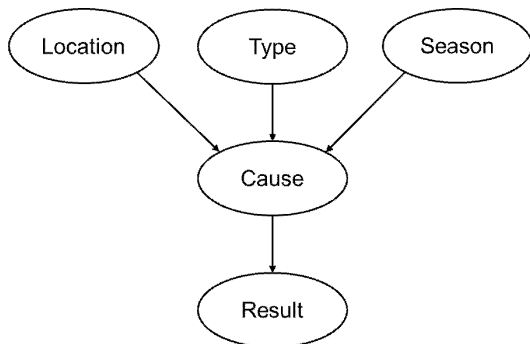


Fig. 2 Inference according to node progress using bayesian network

네트워크 구성을 위해서는 각 노드의 사전확률을 배정할 필요가 있다. 소속 지방청과 항로표지 종류에 대한 사전확률은 Table 2의 항로표지 현황을 활용하였다. 그리고 계절은 사계절을 같은 비율로 할당했다. 노드의 결합확률은 연구방법에서 제시한 식에 따라 지방청 위치(L), 항로표지 종류(T), 계절(S)에 따른 원인(C)에 대한 결합 확률은 식(7)과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(C, L, T, S) &= \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^7 P(C_i | L_i, T_j, S_k) P(L_i, T_j, S_k) \\
 &= \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^7 P(C_i | L_i, T_j, S_k) P(L_i | T_j, S_k) P(T_j, S_k) \\
 &= \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^4 P(C_i | L_i, T_j, S_k) P(L_i | T_j, S_k) P(T_j | S_k) P(S_k)
 \end{aligned} \tag{7}$$

그리고 변수들간의 독립과 부분독립에 의한 확률정리에 따

라 $P(C, L, T, S)$ 에 대한 결합확률은 식(8)로 표현할 수 있으며, 이에 따라, 항로표지 사고 원인에 대한 결합확률을 구하면, 다음과 같다.

$$P(C, L, T, S) = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^{16} \sum_{k=1}^4 \sum_{l=1}^7 P(C_i | L_i, T_j, S_k) P(L_i) P(T_j) P(S_k) \tag{8}$$

$P(C = mooringpart, L, T, S) = 3.38(\%)$

$P(C = Flood, L, T, S) = 3.65(\%)$

$P(C = Weather, L, T, S) = 10.92(\%)$

$P(C = Powersource, L, T, S) = 22.49(\%)$

$P(C = Ship, L, T, S) = 8.65(\%)$

$P(C = Tide, L, T, S) = 2.69(\%)$

$P(C = Other, L, T, S) = 48.23(\%)$

항로표지 사고 원인에 따른 결과는 식(3)의 베이지 이론에 따라 구할 수 있다. 항로표지 사고에 관한 베이지안 네트워크 구조 및 사전확률은 Fig. 3과 같다.

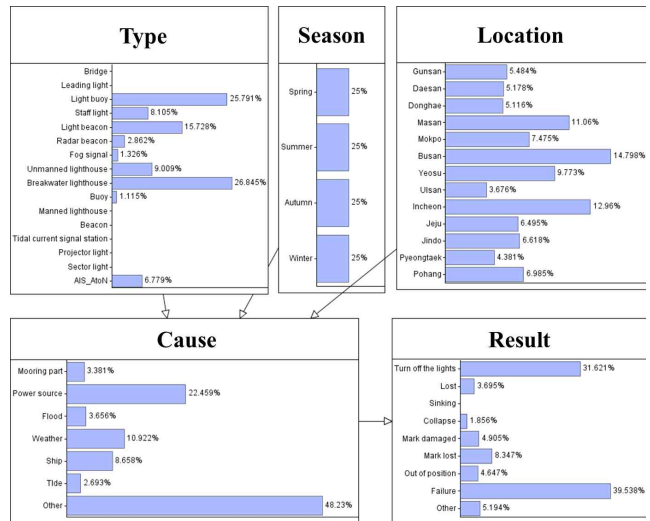


Fig. 3 AtoN accident bayesian network and prior probability

항로표지 사고 원인은 기타요인이 48.23%로 가장 높으며, 공급전원 문제(22.45%), 기상악화(10.92%), 선박추돌(10.14%) 순인 것으로 나타났다. 그리고 항로표지 사고의 유형은 장비 고장이 39.53%로 가장 많았으며, 소등(31.62%), 표체유실(8.34%) 순으로 나타났다.

구축된 네트워크를 대상으로 민감도 분석을 수행했다. 민감도 분석은 여러 요인 중 대상 노드에 큰 영향을 미치는 요소를 식별하는데 사용한다(Zou and Yeu, 2017; Kim et al., 2022). 본 연구에서는 항로표지 사고에 미치는 요인을 확인하기 위해 사고 종류를 대상으로 사고 원인, 사고 항로표지 유형, 지방청, 계절의 민감도 분석을 수행했다.

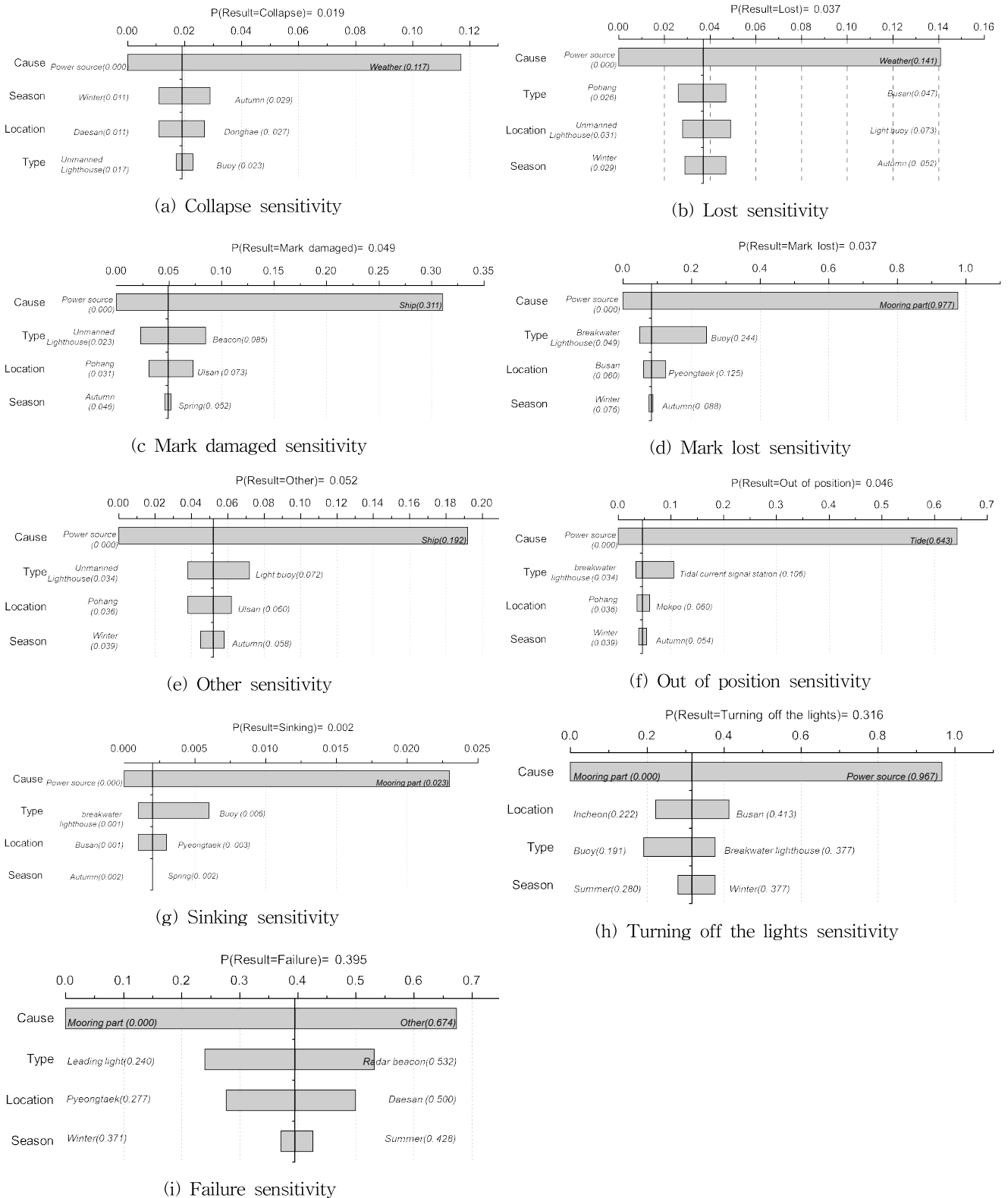


Fig. 4 Result of sensitivity analysis

Fig. 4의 (a) ~ (i)는 각 항로표지 사고 유형에 영향을 미치는 사고원인, 표지유형, 지방청 및 계절을 나타낸다. 예를 들

어 항로표지 무너짐 사고의 경우, 사전확률은 1.9%이나, 기상 악화의 증거가 있는 경우 11.7%로 약 9.8%정도 발생확률이 올라가며, 가을(2.9%), 동해(2.7%), 항로표지 유형이 부표일때 2.3% 증가하는 것으로 분석되었다. 즉 민감도 분석을 통해서

어떤 조건이 주어졌을 때 어떤 항로표지 사고가 발생할 확률이 높은지 파악할 수 있다.

3.3 고찰

본 연구는 항로표지 사고의 인과요인을 분석하여 항로표지 사고 발생 원인을 추론하기 위해 수행되었다. 설계한 베이지안 네트워크의 민감도 분석에 따르면, 기상악화의 경우 항로표지 무너짐이나 유실 등의 사고가 발생할 확률이 높다. 선박 추돌이 발생한 경우에는 표체 손상이나 기타 사고가 발생할 확률이 높다. 계류구 손상은 항로표지의 침몰이나 표체손상이 발생할 확률이 높다. 조류의 영향이 높으면 항로표지 위치 이동이 발생할 확률이 높다. 기타원인이 발생하는 경우는 장비 고장이 발생할 확률이 높으며, 전원부 문제가 발생하면 항로표지 소등이 발생할 확률이 높다.

항로표지 사고를 야기하는 주요 원인을 베이지안 네트워크를 통해 도출할 수 있었으므로, 해당 사고의 예방을 위해서 주요 원인을 중심으로 예방책을 세워 나갈 수 있다. 또한 지금까지의 항로표지 관리자 경험에 의한 추론에서 벗어나 이론에 근거하여 수치로 발생확률을 제시한 점에서는 본 연구에 의의가 있다.

베이지안 이론의 특징 중 하나는 확률 갱신에 있다. 증거가 수집되어 도출된 사후확률은 다시 사전확률로 업데이트 될 수 있다는 의미이다. 그러므로 추후에도 항로표지 사고 통계를 활용하여 지속하여 모형을 업데이트 하면, 더욱 정확한 모형을 만들 수 있을 것으로 사료된다.

다만, 본 연구에서는 Moon et al(2023)이 재분류한 항로표지 사고 데이터 중 5가지의 비교적 적은 변수들만 활용하여 네트워크를 구성했다. 실제 세계에는 항로표지 사고를 야기하는 무수히 많은 요인이 있으나, 수집된 데이터의 범위 내에서 모형을 설계 했으므로 실제 항로표지 환경을 완벽히 반영하지 못할 수 있다. 추후에는 항로표지 사고 원인에 영향을 끼치는 요소를 추가하여 모형의 완성도를 높일 필요가 있다.

4. 결 론

항로표지는 선박의 위치, 방향 및 장애물의 위치 등을 알려주는 항행보조시설로서 선박의 안전운항을 지원하는 중요한 인프라이다. 항로표지 관련 사고는 신고를 통해 접수 받고 있으며, 본 연구는 즉시 인지 못한 항로표지사고를 야기하는 요인을 추론하기 위해 수행되었다. 본 연구의 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 항로표지 사고의 요인들의 상관관계 분석을 수행한 결과, 사고발생 원인-항로표지 유형, 계절, 위치한 지역이 상관관계가 있었다. 특히 사고발생의 원인과 사고 유형은 높은 수준으로 연관이 있었다. 즉 항로표지 사고와 관련된 일부 요인들은 서로 상관관계가 있었다.

(2) 상관관계가 있었던 항로표지 유형, 계절, 위치한 지역, 발생원인 및 사고 유형을 활용하여 인과관계의 네트워크를 구성했으며, 2000년부터 2022년까지의 항로표지 사고를 활용하여 사전확률을 입력한 베이지안 네트워크를 설계했다.

(3) 설계한 베이지안 네트워크의 민감도 분석을 수행한 결과, 항로표지 사고 유형에 영향을 미치는 주요 요인을 도출할 수 있었으며, 이를 통해 예방 정책을 세울 수 있다.

본 연구의 결과는 항로표지 사고와 관계된 요인들이 상호간에 어떤 영향을 미칠 수 있는지 베이지안 네트워크로 정량적으로 제시한 것에 의의가 있다. 이를 통해 항로표지 사고 유형에 따른 원인 및 주요 요인을 좀 더 객관적으로 추론하고 이에 따른 예방책으로 항로표지 사고 방지에 대응할 수 있다. 본 연구에서 제시한 모형은 사고 통계를 기반한 모형으로 추후에는 항로표지관리자의 실무적인 의견 및 각 요인과 관련된 다른 요인들도 추가하여 현실에 가까운 모형으로 발전될 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(해양 디지털 항로표지 정보협력시스템 개발(3/5) (20210650)).

References

- [1] Choi, G. Y., Kim, S. R., Park, S. W. and Song, C. U.(2023), A Study on Data Clustering of Light Buoy Using DBSCAN(I), Journal of Navigation and Port Research, Vol. 47(4), pp. 231-238.
- [2] Cramér, Harald(1946), Mathematical Methods of Statistics. Princeton: Princeton University Press, p. 282.
- [3] Fenton, N. and Neil, M.(2018), "Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks", CRC Press
- [4] Haldun A.(2018), User's guide to correlation coefficients, Turkish Journal of Emergency Medicine, Vol. 18(3), pp. 91-93.
- [5] Han, J. S., Yu, Y. S., Park, T. K. and Kim, H. Y.(2019), A Study on the Development of the Collision Prevention System for Aids to Navigation by Early Identification of the Tug, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 43(6), pp. 437-443.
- [6] Jeong, T. G. and Gug, S. G.(2013), "Theory of Marine Aids to Navigation", Sejong Publisher, p. 13.
- [7] Kim, N. Y., Lee, S. H. and Park, C. S.(2022), Policy Assessment of Climate Change Adaptation Measures

- Using Bayesian Networks: Busan Metropolitan City, *Journal of Climate change research*, Vol. 13(5), pp. 597-610.
- [8] Kim, T .G. and Moon, B. S.(2018), Study on Estimating Economic Risk Cost of Aids to Navigation Accident in Busan Port, Korea using Contingent Valuation Method, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 42(6), pp. 478-485.
- [9] Kim, Y., Kim, T. and Oh, S. W.(2023), A Study on S-201 Standards-based Management of Aids to Navigation Information, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 47(4), pp. 220-230.
- [10] Korea Ministry of Government Legislation(2021), Instructions for handling work related to notice of aids to navigation.
- [11] Korea Ministry of Government Legislation(2023), Aids to navigation ACT.
- [12] Lee, M. K., Park, Y. S., Jeong, H. S. and Gug, S. G.(2020), Risk Assessment for Contact Accident of Buoy - Focusing on Busan New Port-, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 44(3), pp. 158-165.
- [13] Ministry of Oceans and Fisheries(2022), Annual report of aids to navigation.
- [14] Moon, B. S. and Kim, T. G.(2019). Study on Development of Social Cost Estimating Model for Aids to Navigation Accident(II), *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 43(3), pp. 166-171.
- [15] Moon, B. S., Kim, T. G., Song, C. U. and Kim, Y. J.(2023), A Study on the Re-establishment of the Accident Classification for Aids to Navigation, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 47(3), pp. 128-133.
- [16] Park, I. H., Lee, S. J. and Hwang, S. W.(2010), Design and Test of Communication Networks for Aids to Navigation based on AIS, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 34(5), pp. 337-342.
- [17] X, Zou. and Yue, W. L.(2017), A Bayesian network approach to causation analysis of road accidents using Netica, *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1-18.

Received 06 November 2023

Revised 22 November 2023

Accepted 29 November 2023