

데이터베이스 기반 선박 위험도 평가에 관한 고찰

† 김혜진 · 김홍태 · 김선영 · 이문진*

† * 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

요 약 : 해상 교통 안전을 향상하고 선박 사고를 사전에 방지하기 위해서 선박 사고에 대한 위험도 평가가 선행되어야한다. 선박의 위험도에 대한 개념은 여러 가지로 정의되고 있는데, 본 연구에서는 데이터베이스를 기반으로 사고 발생 가능성과 피해를 예측하여 위험지수를 산출하는 위험도 평가 방법에 대해 고찰해보았다. 사고 발생에 따른 인명 손실과 오염 규모 등의 피해 결과에 따라 고위험 선박이 선별될 수 있으며, 선박의 위험도의 정량적 기준은 사고 발생 확률과 사고 결과의 심각성으로 결정된다. 대량의 데이터베이스를 통계적으로 분석하여 위험도를 도출하기 위해서는 데이터베이스의 확보 뿐 아니라 데이터베이스의 구조화가 기반이 되어야 한다. 또한 과거 자료에 입각한 데이터베이스만으로 위험도를 평가할 경우 미래 사고 발생을 예측하는데 한계가 있을 수 있으므로 데이터베이스의 보강 및 보정이 필요하다.

핵심용어 : 위험도, 데이터베이스, 사고 가능성, 사고 피해

선박 위험도 결정 요인

- 사고 발생 가능성에 의한 위험도
 - 사고 발생 확률이 높으면 위험도 상승
 - 선종 및 선령
 - 기상 상태
 - 항로 난항성 및 교통량
- 사고 발생 피해 결과에 따른 영향
 - 재산 피해
 - 인명 피해
 - 선박 및 선원 규모
 - 선박 운송 화물 종류 및 규모
 - 해역 환경 및 교통 민감도

Risk Index 산정

- 계산 요소
 - Probability 발생 확률
 - 사고 노출 정도, 사고 종대 인자
 - Consequences 결과
 - 인명손실, 환경오염, 구조적 문제
 - Implementation of Risk Control 위험 제어 방법
 - 손실 비용 문제와 관련
- 단위 : 시간당 비용

선박 위험도 평가

- 위험 평가 모델 활용
 - 에리카호(1999,12), 프레스티지호(2002,11) 등의 재난적 사고 이후 선박에 대한 위험평가 실시
 - 기상과 정량적 조건을 분석하여 특정 구역에서의 안전성 평가
 - 새로운 관리 체계에 대한 안전성 평가를 통해 비용-편익 분석에 사용
 - 항해 보조 장비, 통항 분리 체계, 통항 금지 구역 등...
- 고위험 선박
 - 대형 여객선 (인명 손실 규모가 크다)
 - 대형 유조선 (오염 규모가 크다)
- 사고 발생 확률과 사고 결과 심각성이 위험도 결정
- Risk = Probability X Consequence

Probability : Exposures

- Exposures(사고 노출 정도)
 - Nautical miles 항해
 - 선속 X 항해거리, 예상 항해 거리 X CASRAT
 - 항해거리 : 침몰, 선체 고장, 엔진 고장, 화재 폭발 사고 확률 계산에 기초
 - Encounters 조우
 - CPA, TCPA
 - 조우 노출도 = $e^{-i \cdot CPA} * e^{-6 \cdot TCPA}$
 - Stranding opportunity 좌초
 - 정박 및 표류에 의한 좌초, ETV 출현으로 확률 감소
 - Ramming opportunity 충돌
 - 선종, 선체길이, 물표와 거리에 의해 확률 결정

† 교신저자 정희원) hjk@moeri.re.kr

Probability : CASRAT

- 사고 노출 정도 X 사고율(CASRAT)
 - 모델 계산에 의한 조우 가능성이 실제 충돌 발생과 관련
 - 정적 CASRAT : 기존 사고 데이터로 계산
 - 평균 Probability = 노출 정도 X 정적 CASRAT
 - Multiplication factors(플래그, 선령, 바람, 가시도, 항해상태 등) 반영 가능

$$P_{\text{accident}(i)} = F_{\text{flag}} * F_{\text{age}} * F_{\text{wind}} * F_{\text{vis}} * F_{\text{nav}} * \text{EXP}(i) * \text{CASRAT}(i, \text{type}, \text{size})$$

Where:

- EXP(i) Exposure for a certain accident type (i)
- CASRAT(i, type, size) Casualty rate for a certain accident type (i), ship type and ship size
- F_{flag} multiplication factor for flag state
- F_{age} multiplication factor for age of the ship
- F_{wind} multiplication factor for wind
- F_{vis} multiplication factor for visibility
- F_{nav} multiplication factor for the navigation status
- P_{accident(i)} the probability of an accident type (i)

Consequences : 인명 손실

- 인명 손실 (Risk Index_LossOfLife)

$$\text{RI}_{\text{LoL}} = \frac{P_{\text{accident}(i)} * P_{\text{founder}} * N_{\text{people}} * (P_{\text{fatality}} * F_{\text{SAR}})}{C_{\text{life}}}$$

- P_{accident(i)} the probability of an accident type (i)
- P_{founder} probability of foundering after an accident
- N_{people} average number of people on board
- P_{fatality} probability of fatality after an accident
- F_{SAR} Factor for the SAR units (depended on the distance and capacity of the SAR-units)
- C_{life} value of life (€ 2,000,000.=¹)

Probability : Multiplication Factors

- Multiplication factors(사고 증대 인자)
 - Influence of flag
 - 블랙리스트에 등록된 고위험 선박이 사고 발생 확률 높다.
 - Influence of age
 - 선령이 오래될수록 침몰사고가 급격히 증가한다.
 - Influence of wind and visibility
 - 침몰 및 표류 좌초는 바람의 영향이 크지만, 바람강도와 충돌가능성의 상관성은 낮다.
 - 가시도는 충돌, 항해실수에 의한 조우에 큰 영향을 준다.
 - Influence of navigational status
 - AIS 메시지에 NUC(Not Under Command)가 포함되면, 선박 컨트롤이 불가능한 문제에 직면한 것이다.

Consequences : 오염 피해

- IMO 오염 확률 (Risk Index_Pollution)

$$\text{RI}_{\text{Pol}} = \frac{P_{\text{accident}(i)} * P_{\text{outflow}} * A_{\text{oil}} * \%_{\text{coast}} * (C_{\text{oilclean}} + C_{\text{environment}}) * F_{\text{coast}}}{}$$

- P_{accident(i)} the probability of an accident type (i)
- P_{outflow} probability of an outflow after an accident
- A_{oil} amount of oil spilled
- %_{coast} part of the oil that reaches the coastline – dependent on the distance to the coast and the wind direction
- C_{oilclean} clean up costs per m3 (estimated as €9,250.= per ton for Europe in 2009)
- C_{environment} estimated cost of the damage to the environment
- F_{coast} Factor for the sensitivity of the coast

Consequences

- 결과 위험도 = 인명 손실 + 오염 피해 + 구조적 피해
- 선박 침몰 사고는 최고 손실 결과 초래
 - 인명/선박 손실, 오염
- 결과 영향인자
 - 선박 특성 : 화물유 양, 연료유 양, 유종, 선원 수, 승객 수
 - 지리적 레이아웃 : 연안과 거리, 환경, 풍향과 풍속, 연안 형태
 - 위험통제방법 : SAR 범위, OPRC 범위, ETV 위치

Consequences : 선박 손실

- P&I club과 같은 자료 소스에 기반하여 비용 산출
- 선박 종류, 선박 크기, 사고 유형에 따른 고정 비용 책정
 - 지연에 따른 손실 + 수리기간 동안 수입 손실
 - 화물 유실
 - 손상 선박 수리
 - 선박과 화물 유실
 - 인양 비용

$$\text{RI}_{\text{struc}} = P_{\text{accident}(i)} * C_{\text{damage}(type, size)}$$

Risk Control Option

- 예방 조치 (사고 확률에 영향을 미침)
 - 터그, 도선 및 VTS
 - 항구 주변 터그 지원 또는 도선을 통해 항해 오류 감소 → 충돌 좌초 예방
 - VTS에서 제공되는 정보를 통해 충돌 확률 감소
 - ETV
 - 표류 충돌 예방을 위한 ETV 출동
 - ETV 위치, 가용 전력, 악기상에서 속력
 - 지역 폐쇄
 - 경로 설정
- 복구 조치 (사고 결과에 영향을 미침)
 - SAR 활동
 - 지역내 SAR 유닛의 가용성에 따라 사고 후 인명 생존 가능성 증가
 - 유출유 방제 활동
 - OPR 방지 가용성에 따라 해안가 오염 감소, 환경 피해 비용 저감, 방제 비용 저감

SAMSON을 이용한 위험 평가

- DB 기반 유형별 연간 사고 건수 발생 예측
- 사고에 대한 위험도(손실 비용) 예측

Casualty type	Average number per year based on LMIU database 1999-2007	Expected number of accidents per year based on the calculation with SAMSON and the general figures provided by ITC/MARIS	
		2004	2008
Ships involved in collisions	34.8	49.59	72.58
Stranding (navigational error and engine failure)	44.4	38.41	46.53
Grounding	19.9	8.14	11.70
Half Failure / Machinery Failure	186.2	14.89 (only Half Failure)	15.97 (only Half Failure)
Fire explosion	23.4	23.32	26.41
Total without Half/Machinery Failure	121.5	119.46	155.91

Table 5-4 Costs of casualties at sea-level 2004, price level 2001

Casualty type	acc	W.Med	E.Asian	S.NE	N.NE	N.Amer	Other	Total
Costs of shipwrecks	MC/year	6011	4824	2078	284	100	2440	15535
Repair costs	MC/year	2507	2347	1711	2519	2555	2520	14569
Salvage costs	MC/year	2474	1879	1385	3319	2008	1181	7486
Security costs of oil pollution	MC/year	4624	2831	1924	978	812	1104	14163
Other costs	MC/year	3405	3489	2301	2022	2001	2327	15452
Cost of insurance	MC/year	6368	3712	2128	2081	2008	2307	18504
SAMSON's homogeneity	MC/year	19318	8712	14126	2380	2000	13284	60424
Willingness to pay for stability	MC/year	12318	8100	5049	5108	5100	5100	38425
Repair costs	MC/year	4458	4385	3184	1304	2000	2453	19712
Cost of oil pollution	MC/year	37403	24483	14912	16474	1141	20768	116781
Costly cases of collisions	MC/year	2342	1289	2762	2271	2000	2742	8516
Cost of insurance	MC/year	14254	8363	3550	2297	2001	2327	46192
Amount of oil spill (in tonnes)	MC/year	2104	1078	566	566	41	602	5314
Willingness to pay for stability (in dollars)	MC/year	174	92	68	24	2	64	454
Cost of emergency costs	MC/year	1205	1801	1051	2426	2001	2474	11224

데이터베이스 확보와 보정

- 선박 데이터베이스 확보와 갱신
- 사고 데이터베이스 확보와 갱신
- 과거 항해 및 사고 데이터 자료의 DB화
 - 링크 설정과 링크 강도 계산
- AIS 데이터를 이용한 항해 자료 보강
- 항공데이터를 이용한 항해 자료 보강
- 통계자료를 통한 사전 데이터베이스 구축과 실시간 자료를 이용한 데이터베이스 보정



<AIS 데이터를 이용한 교통 데이터베이스 보정>

후기

본 연구는 한국해양연구원 "예부선의 사고분석 및 예방기술 개발(PES132D)"과 "관제기능 고도화 기술개발(PMS2040)"의 지원에 의해 수행되었습니다.

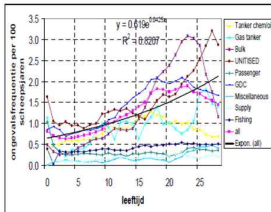
참고문헌

- [1] MARIN, "Risk Awareness; a model to calculate the risk of a ship dynamically"
- [2] MARIN, "The importance of a risk based index for vessels to enhance maritime safety"
- [3] MARIN, "

데이터베이스 분석

* Lloyd 데이터베이스 분석 결과(MARIN)

선령에 의한 위험도 가중치



검사 기관에 의한 위험도 가중치

code	Classification bureau	ratio	% of traffic	% of accidents
RS	Register of Shipping Russian	0.31	7.1%	2.2%
NK	Nippon Kaiji Kyokai	0.45	18.5%	8.3%
KR	Korean Register of Shipping	0.46	3.5%	1.6%
RI	Registro Italiano Navale	0.64	2.9%	1.9%
AB	American Bureau of Shipping	0.89	9.5%	8.5%
NV	Norske Veritas	1.23	8.7%	10.8%
LR	Lloyd's Register of Shipping	1.49	14.6%	21.9%
HR	Hellenic Register of Shipping	1.79	1.5%	2.7%
GL	Germanische Lloyd	1.81	10.4%	18.8%
BV	Bureau Veritas	1.92	9.6%	18.5%