

국적일반화물선 초기안전성평가 연구(2)

† 이종갑 · 나성* · 김홍태**

† , ** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, * 한국선급 연구원

A Study on High-level FSA for Korean-flagged General Cargo Ships

† Jongkap Lee · Seong Na* · Hongtae Kim**

† , ** Korea Ocean Research & Development Institute/KORDI, Daejeon, 305-343, Korea

* R&D Center/KR, Daejeon, 305-343, Korea

요 약 : 본 논문은, 국적일반화물선 공식안전성평가(Formal Safety Assessment, 이하 FSA) 연구의 1, 2 단계에 해당하는 위험요소 식별(Hazard identification) 및 식별된 사고 시나리오에 대한 위험도 분석(Risk analysis) 결과를 소개한 “국적일반화물선 초기안전성평가 연구(1)”에 이어서 FSA 연구의 3, 4 그리고 5단계의 내용으로, 국적일반화물선의 위험도 수준을 저감할 수 있는 위험도제어방안들(Risk Control Options)을 식별하는 단계(Step 3)와 식별된 위험도제어방안들 중 전문가 의견수렴을 통하여 선별된 위험도제어방안들을 대상으로 한 비용-효과 평가 단계(Step 4: Cost-Benefit Assessment) 그리고 비용-효과 평가의 결과를 정리하여 국적일반화물선의 안전성 제고를 위한 구체적인 방안을 제안하는 단계(Step 5: Recommendation for Decision Making)의 결과를 소개하였다.

핵심용어 : FSA 공식안전성평가, general cargo ship safety 일반화물선 안전, Hazard identification(HAZID) 위험요소 식별, risk analysis 위험도 분석

1. 서 론

국제 교역 확대에 따른 선박의 고속화/대형화에 따른 해양 사고의 위험성이 지속적으로 증가하고 있다. 또한 새로운 개념의 선박건조에 대한 요구가 계속적으로 증대되고 있어 신선박의 설계/건조/운용에 따른 위험도 증가하고 있는 실정이며, 이러한 위험으로부터 인명, 재산 및 환경을 보호하기 위한 국제법규 및 기준도 지속적으로 강화되고 있다.

FSA는 위험도 분석과 비용-효과 평가를 바탕으로 한 구조화되고 체계적인 안전성 평가 방법론으로, 인명, 해양환경 및 재산의 보호를 포함한 해상안전의 향상을 위한 목적으로 IMO에서의 해사관련 법규의 변경 및 개발에 대한 의사결정 수단이며, 최근에는 GBS(goal-based ship construction standards)의 개발을 포함한 위험도 기반 설계(Risk-based Design)를 위한 수단으로서 검토되고 있다(IMO, 2007; IMO, 2006b).

본 연구는 FSA 방법론의 유용성 확인 및 향후 IMO에서 논의될 일반화물선 안전에 대한 기초 자료를 확보하고, 더 나아

가 우리나라 연안을 주로 항행하는 국적일반화물선의 안전수준 평가 및 안전성 제고를 위한 합리적인 방안을 식별하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 논문에서는 국적일반화물선에 대한 초기안전성평가(High-level FSA) 작업의 준비단계(step 0), 위험요소 식별(step 1) 그리고 위험도 분석(step 2) 단계 작업에 이어 결과를 토대로 수행된 위험성제어방안(RCOs: Risk Control Options)의 식별(step 3), 선별된 방안들을 대상으로 한 비용-효과 평가(step 4), 그리고 국적일반화물선의 안전성 제고를 위한 구체적인 방안 제안(step 5)의 결과를 정리하였다.

2. 국적일반화물선의 위험도분석 및 평가 결과 (Step 0 ~ 2)

국적일반화물선의 안전성평가의 1단계 연구(이 등 2010)에서는 FSA의 다섯 단계 중 준비단계(step 0), 위험요소 식별(step 1) 그리고 위험도 분석(step 2) 단계를 수행하였으며 주

† 교신저자 : 정희원, jklee@moeri.re.kr 042)866-3411

* 정희원, sna@krs.co.kr 042)869-9225

** 종신회원, kht@moeri.re.kr 042)866-3643

요결과는 다음과 같다.

2.1 문제 정의 (Step 0)

FSA 수행을 위한 대상 선박은 국토해양부에서 분류한 산적화물선을 포함하는 일반화물선으로, 컨테이너 전용선, 냉동화물선 등 특수목적 전용선을 제외한 선박으로 제한하였으며, 선급공통구조규칙(IACS CSR-Common Structural Rules)의 적용을 받는 선박(길이(L) 90m 이상) 이외의 국적일반화물선에 대한 안전성 향상을 위하여 우리나라 연안 항해에 종사하는 선박을 중심으로 안전성 평가 작업이 진행되었다. 이후 위험요소식별 등 후속작업의 효율성을 위한 대표선박(generic model)으로는 연안을 항해하는 자체 크레인을 가진 산적화물선을 선정하였다. 검토 대상 위험의 유형(risk type)으로는, 위험요소 식별 및 분석(HAZID) 단계에서는 인명손상(loss of life), 환경손상(environmental loss), 선박 및 화물의 손상(loss of property) 모두를 고려하였으나 정량적인 위험분석 단계에서는 선원에 대한 사망 위험도(fatality)만을 대상으로 하였다. 그리고 본 연구에 사용되어진 사고 데이터는 한국해운조합에 등록된 총톤수 500톤 이상 25,000톤 이하의 일반화물선으로 분류되어진 선박에 대한 5년간(2004년 ~ 2008년)의 자료를 사용 하였다.

2.2 위험요소 식별 (Step 1)

위험요소 식별 단계는 대상선박의 운항 중 인명, 재산 또는 환경을 위협하는 잠재요소(hazard)들을 식별하고 정성적인 평가를 통하여 주요 사고시나리오를 식별하는 과정으로서, 각 분야별 전문가로 구성된 작업팀(HAZID team)에 의한 브레인스토밍(Brainstorming)을 통하여 작업을 수행하였다. 위험요소의 식별을 위하여 계류 중 적하역, 항계 내 및 제한수역(통항 밀집수역) 항해, 연안 항해, 그리고 원양 항해 세션으로 구분하였으며, 총 115개의 위험요소(hazards)가 식별되었다. 식별된 위험요소들에 대한 정성적인 위험도 분석을 통하여 고위험요소들을 식별하고 일반화물선의 대표적 사고시나리오로 충돌, 접촉, 좌초와 화재/폭발 사고를 정량적 분석의 대상으로 정의하였다.

2.3 위험도 분석 (Step 2)

Step 1에서서는 정의된 사고 시나리오에 대한 ETA(Event Tree Analysis) 모델을 작성하고 이를 통해 각 사고시나리오별 정량적 위험도를 분석하였다. 그리고, F-N 선도를 작성하고 현존선박의 안전수준을 평가하였으며, 그 결과로 국적일반화물선의 안전수준이 ALARP 영역에 존재하며, 또한 국제항해 선박에 비해 상대적으로 위험수준이 높음을 확인하였다.

3. 위험도 제어방안 식별(Step 3)

위험도 저감방안(RCO: Risk Control Option)마련 단계에서는 현존하는 위험들과 새로운 기술 또는 새로운 운영/관리 방법에 의해 생겨나는 위험들을 제어할 수 있는 방안을 도출하는 단계로, Step 1과 Step 2의 작업내용을 바탕으로, 이미 알려진 위험들(historical risks)과 새로이 파악된 위험들(new risks)을 모두 고려하여 폭넓은 위험도제어방안들을 도출하는 과정으로 다음의 내용을 포함한다. (IMO, 2007).

- 제어가 필요한 위험 영역 선별
- 가능한 위험도제어방안들(RCOs)의 식별
- 위험도제어방안들에 대한 정성적 평가 실시
- 비용-효과 평가 대상 위험도제어방안 선별

3.1 제어가 필요한 위험영역 선별

위험 영역 선별의 목적은 Step 1과 Step 2로부터 나온 결과들에 대하여 위험도 제어가 가장 필요한 곳에 위험도 제어를 위한 노력이 집중되도록 하기 위함이다. 위험 영역 선별을 위하여 일반적으로 고려하는 주요 관점들은 다음과 같다.

- 위험도 수준
- 발생가능성(probability)
- 심각성(severity)
- 신뢰성(confidence)

본 연구에서는, 위험요소 식별작업(Step 1)을 통하여 파악된 위험도 지수(Risk Index) 6.0을 초과하는 고 위험요소들과 ETA(Event Tree Analysis)를 이용한 위험도 분석(Step 2) 작업을 통하여 파악된 빈도(frequency)와 심각도(consequences-선원, 선박, 화물, 환경에 대한)가 높은 사고 시나리오들을 위험도제어방안 도출을 위한 위험영역으로 선별하였다.

3.2 RCO 식별

위험도제어방안의 도출을 용이하게 하기 위하여, 일반적으로, 위험도제어방안이 어떻게 위험도를 제어하는지와 관련된 '위험도 속성'들과 초기사건에서 사망에 이르는 과정의 어디에 위험도제어방안이 도입되어야 하는지와 관련된 '인과 사슬'을 작성하는 방법이 사용되고 있다. 위험도 속성은 위험도제어방안이 어떻게 작용하며 어떻게 적용되고 운용될 것인가에 대한 구조화된 사고 과정을 용이하게 하기 위하여 사용되며, FSA 지침서에 의하면 3가지(Category A, B & C attributes) 분류 속성으로 구분하고 있다(IMO, 2007). 인과사슬(causal chains)은 파악된 원인 요소로부터 장비 및 기능 고장, 위험요소 발생 시 환경, 위험원인으로 인한 사고 및 결과에 이르기까지의 일련의 과정들 즉, 사고 시나리오들을 작성함으로써 어디에 어떠한 위험도제어방안이 도입되어야 하는지의 파악을 용이하게 한다.

위험도 저감을 위한 방안 도출을 위하여 위험도 분석단계에서 파악된 높은 위험도를 잠재하고 있는 사고 시나리오와 위험요소 식별단계에서 파악된 고 위험요소 목록을 바탕으로 전문가들의 브레인스토밍 작업을 수행하였다. 도출된 위험도제어방안들은 인명, 환경, 선박 및 화물관련 사항으로 분류하였으며, Table 1은 분류된 위험도제어방안의 목록이다.

Table 1 Risk Control Options (RCOs)

구분	No.	RCOs
인명안전 (A)	A1	VTS 비상통항관리 시스템 구축
	A2	선속 제한규정 마련
	A3	법정 최소승무정원 증원
	A4	접등식 비상탈출 유도표시 설치
	A5	흡연/음주 관리 규정
	A6	항해사 피로도 관리규정
	A7	선원 예비원을 확대
	A8	해사노동협약(MLC) 도입
	A9	선원 교육/훈련 체계 보완
	A10	선종별 매트릭스 제도 도입
	A11	노후된 계류색 관리 지침/규정
	A12	장비 instruction 또는 교육 자료의 시각화
환경관련 (B)	B1	비상 알람 시스템 마련(연료유 공급/이송 작업)
	B2	선상에서 발생하는 오염물질 처리절차
	B3	선상 오염물질 육상 수거/처리 시설 마련/강화
	B4	혼선선 직무 회화 책자
선박관련 (C)	C1	PMS(기관예방정비제도) 추가 도입
	C2	Bridge resource 최대 사용을 위한 교육
	C3	ECDIS 또는 ARPA 탑재
	C4	예비(redundant) 자이로컴파스, GPS 장비 탑재
	C5	전방 음파탐지장치(Forward Looking Sonar) 설치
	C6	AIS와 radar 통합 시스템 구축
	C7	항로 유지 장치(이로 시 경보) 설치
	C8	선교 디자인 개선
	C9	버너 등 주방 조리기구 자동 소화장치 설치
	C10	기관실 유지 관리 지침/규정
	C11	기상정보/예보 시스템
	C12	발지 경보장치(Bilge alarm) 설치
	C13	발지 배출 시스템 개선 (추가 발지펌프 설치 등)
	C14	자동 계류색 장력 조절장치 설비
	C15	선내 안전관리 위원회, 안전관리자 운영
	C16	안전운항관리체계
	C17	상선과 여선의 VHF System 통일
화물관련 (D)	D1	화물 고박장비/고박상태 관리 감독 절차 마련
	D2	화물에 대한 정보제공 시스템
	D3	해양경찰과의 직접 통신 라인(hot line) 구축

상기 기술한 위험도제어방안들의 적용 시 위험 감소 효과가 기대되는 해양사고 종류들과, 위험도제어방안이 사고 예방을 목적으로 하는지 또는 사고 발생으로 인한 피해 저감을 목적으로 하는지(카테고리 A 속성), 그리고 도출된 위험도제어방안이 어떠한 형식(장비-Equipment, 운용-Operation, 디자인-Design, 시스템-System)으로 적용되어지는지에 대하여 분류하여 아래 Table을 작성하였다.

Table 2 Initial list of RCOs

구분	RCO No.	Scenarios				Type		Category		
		충돌	접촉	좌초	화재/폭발	기타	예방(P)		저감(M)	
인명안전 (A)	A1	✓	✓				✓		Operation	
	A2	✓	✓				✓		Operation	
	A3	✓	✓	✓			✓	✓	Operation	
	A4				✓				✓	Equip.
	A5					✓	✓			Operation
	A6	✓	✓	✓			✓	✓		Operation
	A7						✓	✓		Operation
	A8						✓	✓		Operation
	A9	✓	✓	✓	✓		✓	✓		Operation
	A10	✓	✓	✓			✓	✓		Operation
	A11						✓	✓		Operation
	A12	✓	✓	✓	✓		✓	✓		Equip.
환경관련 (B)	B1					✓		✓		Equip.
	B2					✓	✓			Operation
	B3					✓	✓			Operation
	B4					✓	✓			Operation
선박관련 (C)	C1					✓	✓			Operation
	C2	✓	✓	✓			✓			Operation
	C3	✓		✓			✓			Equip.
	C4	✓		✓			✓			Equip.
	C5		✓				✓			Equip.
	C6	✓	✓	✓			✓			Equip.
	C7	✓		✓			✓			Equip.
	C8	✓	✓	✓			✓			Design
	C9				✓		✓			Equip.
	C10				✓		✓			Operation
	C11	✓		✓			✓			System
	C12						✓		✓	Equip.
	C13						✓	✓		Equip.
	C14						✓	✓		Equip.
	C15	✓	✓	✓			✓	✓		Operation
	C16						✓	✓		Operation
	화물관련 (D)	C17	✓							
D1						✓	✓			Operation
D2						✓	✓			System
D3					✓		✓		System	

3.3 상세분석을 위한 RCO 선별

IMO FSA 지침서에 의하면 모든 위험도제어방안들에 대한 비용-효과 평가를 수행하도록 권고하고 있으나, 일반적으로, 도출된 모든 위험도제어방안들에 대한 비용-효과 평가가 어려울 경우 정성적 평가를 통하여 상세분석을 위한 대상 위험도제어방안들을 선별하는 작업을 수행하였다. 상세분석 대상 RCO 선별을 위해 SAFEDOR 컨테이너 선박 FSA 작업에서 사용한 방법에 따라, 각 위험도제어방안들의 적용 시 기대되는 위험도 감소량, 적용 시 소요 비용, 소요 비용에 대한 정보 획득의 용이성 등을 고려하여 table 3과 같이 정리하였다.

추가 분석을 위한 대상으로는 ‘High’ 영역에 위치한 ‘A1 - VTS 비상통항관리 시스템 구축’, ‘A3 - 법정 최소승무정원 증원’과 ‘C6 - AIS와 Radar 통합 시스템 구축’이 선정되었으며, 선택된 각 RCO들의 현실적인 적용을 위하여, A1은 ‘VTS와 연동한 선박항행위험경보 시스템 구축’, A3은 ‘추가 항해담당자 배치(항해사 1인, 당직부원 1인 추가)’ 형식의 좀 더 구체적인 내용으로 바꾸어 추가 분석을 수행하는 것으로 하였다.

Table 3 RCO priority

	High	Medium	Low
인명안전(A)	A1, A3	A2, A5, A6, A8, A9, A10	A4, A7, A11, A12
환경관련(B)		B1, B4	B2, B3
선박관련(C)	C6	C2, C3, C7, C12, C15, C17	C1, C4, C5, C8, C9, C10, C11, C13, C14, C16
화물관련(D)		D2, D3	D1

각 RCO를 적용함으로써 소요되는 비용은 초기 설치비용과 선박생애 기간을 기준으로 연간 소요되는 유지 및 보수비용의 두 부분으로 나누어 책정하였으며, 최초 설치시기부터 선박생애가 끝나는 시기까지의 연도별 소요비용의 흐름을 현재가치로 환산하여 그 합을 구하기 위하여 다음 수식으로 표현되어지는 NPV를 사용하였다(SAFEDOR, 2007b):

4. 비용-효과 평가(Step 4)

비용-효과 평가 단계는 Step 3에서 식별된 각 RCO의 실행과 관련된 비용과 이득을 파악하고 비교하는 단계로, Step 2 단계에서 빈도와 결과의 관점에서 평가된 위험들을 검토하여 RCO의 적용 결과로 발생하는 비용과 이득을 추정하고, 순수 소요비용을 위험성의 저감 정도로 나누어서 얻어지는 ‘단위 위험성 감소당 소요되는 비용’ 형태를 사용함으로써 각 RCO에 대한 비용효과정도를 예측하고 비교하는 작업이다(IMO, 2007). 이러한 결과로 얻어진 RCO의 비용효과정도의 순위는 Step 5 단계의 의사결정을 위한 권고를 용이하게 한다.

4.1 비용-효과 평가 방법론

RCO의 적용에 따른 소요비용과 효과는, 일반적으로, GCAF(Gross Cost of Averting a Fatality)와 NCAF(Net Cost of Averting a Fatality) 형식을 이용하여 평가되어진다. 또한, 비용과 효과를 비교하고 GCAF와 NCAF를 계산하기 위하여 ‘순 현재 가치(NPV: Net Present Value)’가 주로 사용된다(SAFEDOR, 2007b).

GCAF는 인명에 대한 위험도 감소를 위한 관점에서 RCO를 한계(부가적) 비용의 비율로서 나타냄으로써 비용효과정도를 측정하는 수단이며, NCAF는 인명에 대한 위험도 감소를 위한 관점에서 RCO를 경제적 이득을 고려한 한계(부가적) 비용의 비율로서 나타냄으로써 비용효과정도를 측정하는 수단이다. GCAF와 NCAF는 다음과 같이 표현된다:

$$GCAF = \frac{\Delta C}{\Delta R} \quad (1)$$

$$NCAF = \frac{\Delta C - \Delta B}{\Delta R} \quad (2)$$

ΔC 는 RCO를 적용함으로써 소요되는 선박생애 동안의 비용;

ΔB 는 RCO 적용의 결과로 얻게 되는 선박생애 동안의 경제적 이득;

ΔR 은 RCO를 적용으로 얻게 되는 피하여진 인명사상의 관점에서의 위험도 저감(선박생애 동안).

전문가 회의를 통하여, RCO A1을 적용하였을 경우 충돌사고는 항계 내(low speed) 항해 시와 선박 통항량이 많은 연/근해(restricted) 항해 시에 사고 발생 빈도가 각각 25% 감소한다고 가정하였고, 접촉 사고는 항계 내와 연/근해 항해 시 각각 5% 감소한다고 가정하였다. 좌초 사고의 경우 위험도 분석 단계에서(ETA 작업 시) 선박의 추진력이 있는 경우(powerd grounding)와 추진력이 없이 떠밀려서(drift grounding) 좌초된 경우로 분류하였고, RCO A1을 적용 할 경우 추진력이 있는 경우인 Powered grounding 시에만 좌초사고 발생 빈도가 10% 감소한다고 가정하였다.

Table 5는 RCO A1을 적용할 경우 기대되어지는 각 사고종류에 따른 위험도 감소량을 나타내고 있다.

Table 5 Risk reduction for RCO A1

RCO-A1		initial F	PLL	% reduction	F reduction	PLL final	N.Lives Sav.
충돌	Low speed	1.7x10 ⁻²	3.4x10 ⁻⁴	25%	4.2x10 ⁻³	2.5x10 ⁻⁴	8.4x10 ⁻⁵
	Restricted	2.8x10 ⁻²	3.9x10 ⁻³	25%	7.0x10 ⁻³	2.9x10 ⁻³	9.8x10 ⁻⁴
	Full speed	1.1x10 ⁻²	1.0x10 ⁻²	0	0	1.0x10 ⁻²	0
접촉	Low speed	2.6x10 ⁻²	0	5%	1.3x10 ⁻³	0	0
	Restricted	6.2x10 ⁻³	1.6x10 ⁻³	5%	3.1x10 ⁻⁴	1.5x10 ⁻³	7.8x10 ⁻⁵
	Full speed	3.8x10 ⁻⁴	4.1x10 ⁻⁵	0	0	4.1x10 ⁻⁵	0
좌초	Powered	8.6x10 ⁻³	2.6x10 ⁻³	10%	8.6x10 ⁻⁴	2.4x10 ⁻³	2.6x10 ⁻⁴
	Total	9.7x10 ⁻²	1.9x10 ⁻²		1.4x10 ⁻²	1.7x10 ⁻²	1.4x10 ⁻³

② RCO A3. 추가 항해당직자 배치(항해사-1인, 당직부원-1인)

추가 항해당직자를 배치할 경우 충돌사고 발생의 감소 비율은 전문가의 의견을 수렴하여 20%로 가정하였다. 접촉사고의 경우 사고 데이터(한국해운조합)에 의하면, 접/이한 작업 및 입/출항 시 부두 또는 방파제 등에 접촉하는 사고가 전체 접촉사고의 40%정도를 차지하는 것을 알 수 있으며, 선교와 기관실의 통신문제 등으로 인한 기관오작동이 몇 건 발생하였다. 그리고 연안항해의 경우 어귀와의 접촉사고가 많은 부분을 차지하는 것을 알 수 있다. 이러한 사항을 감안하여 추가 항해당직자를 배치 할 경우 항계 내에서 항해 시 15%의 접촉사고 감소, 근해/연안 항해 시 5%의 접촉사고 감소를 가정하였다. 또한, 좌초 사고는 Powered grounding 시에만 좌초사고 발생 빈도가 15% 감소한다고 가정하였다. Table 6은 RCO A3 적용 시 기대되어지는 위험도 감소량을 나타내고 있다.

Table 6 Risk reduction for RCO A3

RCO-A3		initial F	PLL	% reduction	F reduction	PLL final	N.Lives Sav.
충돌	Low speed	5.6x10 ⁻²	1.4x10 ⁻²	20%	1.1x10 ⁻²	1.1x10 ⁻²	2.9x10 ⁻³
	Restricted	2.6x10 ⁻²	0	15%	3.9x10 ⁻³	0	0
	Full speed	6.2x10 ⁻³	1.6x10 ⁻³	5%	3.1x10 ⁻⁴	1.5x10 ⁻³	7.8x10 ⁻⁵
접촉	Low speed	2.6x10 ⁻²	0	15%	3.9x10 ⁻³	0	0
	Restricted	6.2x10 ⁻³	1.6x10 ⁻³	5%	3.1x10 ⁻⁴	1.5x10 ⁻³	7.8x10 ⁻⁵
	Full speed	3.8x10 ⁻⁴	4.1x10 ⁻⁵	0	0	4.1x10 ⁻⁵	0
좌초	Powered	8.6x10 ⁻³	2.6x10 ⁻³	15%	1.3x10 ⁻³	2.2x10 ⁻³	3.9x10 ⁻⁴
	Total	9.7x10 ⁻²	1.9x10 ⁻²		1.7x10 ⁻²	1.5x10 ⁻²	3.3x10 ⁻³

③ RCO C6. AIS와 RADAR 통합시스템 구축

RCO C6을 적용할 경우 충돌사고의 발생빈도만 감소한다고 가정하였으며, 감소량은 초기 발생빈도의 15%로 가정하였다. Table 7은 RCO C6 적용 시 기대되어지는 충돌사고 관련 위험도 감소량을 나타내고 있다.

Table 7 Risk reduction for RCO C6

RCO-C6	initial F	PLL	% reduction	F reduction	PLL final	N.Lives Sav.
충돌	5.6x10 ⁻²	1.4x10 ⁻²	15%	8.4x10 ⁻³	1.2x10 ⁻²	2.2x10 ⁻³
Total	5.6x10 ⁻²	1.4x10 ⁻²		8.4x10 ⁻³	1.2x10 ⁻²	2.2x10 ⁻³

Table 8은 상기 내용을 바탕으로 계산되어진 각 RCO에 대한 비용-효과 평가(Cost-Benefit Assessment: CBA)의 결과를 나타내고 있다. 예를 들어, RCO A1을 적용함으로써 기대되어지는 사고 발생빈도 감소량(% reduction)을 위험도 분석 단계에서 작성된 각 사고 ETA에 적용할 경우 선박연간 인명 사상 발생 위험 감소량(ΔPLL)은 1.44 x 10⁻³이며, 수식 (4)에 의하여 선박생애 기간(20년) 동안 위험도 감소량 ΔR은 2.88 x 10⁻² 이 된다. RCO A1을 적용함으로써 소요되는 비용 ΔC(NPV)는 초기 설치 비용(A) 9,000 USD, 연간 유지/보수비용(X) 2,500 USD, 감가 상각률 5%를 수식 (3)에 대입하여 40,156 USD가 계산되었으며, 수식 (1)에 의하여 RCO A1의 적용에 따른 GCAF는 1,429,480 USD로 나타났다. RCO A3과 RCO C6의 적용에 따른 GCAF 값 또한 같은 방법으로 계산되어졌다.

Table 8 Detailed results of the CBA

RCO ID	ΔPLL	ΔR	ΔC	GCAF
A1	1.4 x 10 ⁻³	2.8 x 10 ⁻²	40,156	1,429,480
A3	3.3 x 10 ⁻³	6.7 x 10 ⁻²	690,497	10,338,951
C6	2.2 x 10 ⁻³	4.3 x 10 ⁻²	67,402	1,566,863

Table 8에 의하면, 국적일반화물선에 적용할 경우 가장 많은 위험도 감소량(ΔR)이 기대되어지는 위험도제어방안은 “A3. 추가 항해당직자 배치”이며, RCO C6, RCO A1 순으로 나타나고 있다. 또한, GCAF 관점에서 볼 때 “A1. VTS와 연동한 선박항행 위험경보 시스템 구축”과 “C6. AIS와 RADAR 통합 시스템 구축”이 각각 1.4m USD와 1.6m USD로 가장 효과적인 위험도제어방안으로 나타났으며, RCO A3의 경우 위험도 감소량은 가장 높게 나타났으나 위험도 감소량에 따른 소요 비용(GCAF)이 10m USD로 높게 나타났다.

6. 결론

본 연구는 IMO FSA 방법론의 유용성 확인 및 국적 일반화물선의 안전수준 평가와 안전성 제고를 위한 합리적인 방안의

식별을 목적으로 하고 있으며, FSA의 다섯 단계 중 위험도제어 방안 마련(step 3), 비용-효과 평가(step 4)를 수행하고 그 결과를 토대로 국적일반화물선의 안전성 제고를 위한 방안을 제안(step 5)하였다.

지금까지의 연구를 통하여 국적일반화물선의 안전수준이 ALARP 영역에 존재하며, 또한 국제항해 선박에 비해 상대적으로 위험수준이 높음을 확인하였다. 그러나 정량적 평가를 위한 데이터의 부족 및 작업 내용에 대한 충분한 검토기간의 부족 등으로 인하여 결과의 신뢰성에 대한 재검토와 신뢰성 제고를 위한 보완과정의 필요성 또한 존재하며, 이러한 신뢰성 제고를 위한 노력이 수반될 경우, 국적일반화물선의 안전수준 평가를 위한 수단으로서 IMO FSA 방법론은 유용할 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 향후 IMO에서 본격적으로 논의될 일반화물선 안전 및 MSC 88차 회의부터 본격적인 논의가 예상되는 SLA기반 GBS의 개발을 위한 기초 자료로도 활용할 예정이다.

후기

이 논문은 국토해양부에서 지원하는 ‘IMO GBS에 대한 기초기술 확보 및 대응기술개발연구’ 중 ‘위해도 평가 적용 방법론 연구’ 결과의 일부임을 밝히며 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 이종갑, 나성, 김홍태, 김경미(2010), “국적일반화물선 초기 안전성평가(High-level FSA) 연구(1)”, 한국항해항만학회지, 34권, 3호, pp.213-220.
- [2] IMO(2007), Consolidated text of the Guidelines for Formal Safety Assessment(FSA) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023-.MEPC/Circ.392), MSC 83/INF.2.
- [3] Passenger Vessel Association(PVA)(1997), PVA Risk Guide-A Guide to Improving the Safety of Passenger Vessel Operations by Addressing Risk, Available at: http://www.uscg.mil/hq/cg5/cg5211/docs/pvarisk_guide.pdf
- [4] SAFEDOR(2007), FSA-container vessels Details of the Formal Safety Assessment, MSC 83/INF. 8.