한국항해항만학회지 제34권 제3호, pp. 213~220, 2010 (ISSN-1598-5725)
Journal of Navigation and Port Research

국적일반화물선 초기안전성평가(High-level FSA) 연구(1)

이종갑† · 나 성* · 김홍태** · 김경미***

†,*,** 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, *** 선박안전기술공단 해사안전연구센터

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

Jong-Kap Lee† · Seong Na · Hong-Tae Kim** · Kyoung-Mi Kim****

† ,,** Korea Ocean Research & Development Institute/KORDI, Daejeon, 305-343, Korea*
**** Maritime Safety Research Center/KST, Incheon, 406-840, Korea*

요 약 : 최근 IMO에서는 산적화물선 및 유조선, 대형여객선에 이어 '일반화물선의 안전(general cargo ships safety)'에 대한 논의의 필요성이 제기(IMO, 2006a)되고 있으며, 본격적인 논의를 위한 준비 작업으로 국제선급협회(IACS)를 통한 공식안전성평가(Formal Safety Assessment, 이하 FSA) 작업이 수행되고 있다. FSA란 위험도(risk)분석과 비용-효과 평가(cost-benefit assessment)를 바탕으로 인명, 해양환경 및 재산의 보호를 포함한 해사안전의 향상을 목적으로 한 구조화되고 체계적인 방법론으로서 새로운 법규의 평가, 기존법규와 새로운(제안) 법규와의 비교, 그리고 여러 이해관계자의 공감대 형성을 통해 법규 변경/개발을 용이하게 하는 수단이다(IMO, 2007). 본 연구는 국적일반화물선의 안전성 평가를 위한 수단으로서 IMO FSA방법론의 유용성을 확인하고, 향후 IMO에서의 '일반화물선 안전'에 대한 논의에 대응하기 위한 기초자료의 확보를 목적으로 하고 있다. 본 논문에서는 국적일반화물선에 대한 FSA의 1, 2 단계에 해당하는 위험요소 식별(Hazard identification) 및 사고시나리오에 대한 위험도 분석(Risk analysis) 결과를 중심으로 소개하였다.

핵심용어 : 공식안전성평가, 일반화물선, 위험요소 식별, 위험도 분석, 위험도 허용기준

Abstract : *Following the application of Formal Safety Assessment(FSA) to bulk carriers, crude oil tankers and large passenger ships, an urgent need to consider the safety of general cargo ships has recently been raised through the International Maritime Organization(IMO)(IMO, 2006a), and related FSA studies are being carried out by International Association of Classification Societies(IACS) as a preparatory work for the discussion on the issue of general cargo ship safety in the IMO committee. FSA is a structured and systematic methodology which is based on the techniques of risk analysis and cost benefit assessment to assist in the decision-making process, and aims at enhancing maritime safety, including protection of life, health, the marine environment and property. FSA can be used as a tool to facilitate the development of regulatory changes equitable to the various parties, with a view to aiding the achievement of consensus, and to help in the evaluation of new regulations and in making a comparison between existing and possibly improved regulations(IMO, 2007). This study aims at verifying the usefulness of FSA methods as a tool to conduct a safety assessment of general cargo ships flying the Korean flag, and providing useful information on 'the safety of general cargo ships' for IMO committee's discussion on the matter at a future session. FSA comprises five steps, however, steps 1(Hazard identification) and 2 (Risk analysis) from the FSA study for the Korean-flagged general cargo ships are discussed in this paper.*

Key words : *FSA, general cargo ship safety, Hazard identification(HAZID), risk analysis, risk acceptance criteria*

1. 서 론

최근 국제 교역 확대로 인한 선박의 고속화/대형화에 따른 해양사고의 위험성이 지속적으로 증가하고 있다. 또한 새로운 개념의 선박건조에 대한 요구가 계속적으로 증대되고 있어 신선박의 설계/건조/운용에 따른 위험성도 증가하고 있는 실정이다. 이러한 모든 위험으로부터 인명, 재산 및 환경을 보호하기 위한 국제법규 및 기준이 강화되는 추세에 있으며, 선박의 설계 및 건조과정에서 안전성 확보를 위한 노력이 시도되고 있다.

FSA는 위험도 분석과 비용-효과 평가를 바탕으로 한 구조화되고 체계적인 안전성 평가 방법론으로, 인명, 해양환경 및 재산의 보호를 포함한 해사안전의 향상을 위한 목적으로 IMO에서의 해사관련 법규의 변경 및 개발에 대한 의사결정 수단으로서 권고되고 있으며, 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

† 교신저자 : 정회원, jklee@moeri.re.kr 042)866-3411
* 대표저자 : 정회원, ras4002@moeri.re.kr 042)866-3658
** 종신회원, kht@moeri.re.kr 042)866-3643
*** 정회원, jeagni77@kst.or.kr 032)260-2267

가 우리나라 연안을 주로 항행하는 국적일반화물선의 안전수준 평가 및 안전성 제고를 위한 합리적인 방안을 식별하고 제안하기 위하여 국적일반화물선에 대한 초기안전성평가(High-level FSA) 작업을 수행 중이며, 본 논문에서는, FSA 과정을 위한 준비단계(step 0), 위험요소 식별(step 1) 그리고 위험도 분석(step 2) 단계의 결과를 정리하였다.

2. FSA 절차 및 방법론

FSA란 국제해사기구(IMO)에서 개발한 선박 등 해양시스템의 안전성평가 방법론으로 인명, 해상환경 및 재산보호를 포함하여 해상의 안전향상을 기하기 위한, 리스크와 비용-효과평가를 사용한 조직적이고 체계적인 안전성 평가 방법이다(IACS, 2008).

안전성 평가를 위한 기법들은 1970년대에 처음으로 개발되기 시작한 이래 원자력 산업이나 우주/항공 산업 등, 한 번의 사고로 커다란 경제적 손실을 초래하는 고 위험도 기술기반 산업들에서 주로 사용되어져 왔으며, 해양산업 분야에서는 1988년도에 발생한 Piper Alpha 화재/폭발사고를 계기로 영국 해양 플랜트 산업에서 안전성 평가 기법(Safety Case Approaches)이 사용되었다. 해운산업에서는, 1980년대부터 1990년대 초 까지 크고 작은 해양사고들이 많이 발생하였으며, 특히, 1987년 발생한 Herald of Free Enterprise호 사고를 계기로, 해상인명안전조약(SOLAS 90 - International Convention for the Safety of Life at Sea)을 개정하고 International Safety Management(ISM) 코드를 도입하는 등 해양 안전에 대한 관심이 높아졌으며, 이에 따라, IMO에서는 영국 해양 플랜트 산업에 성공적으로 적용되었던 안전성 평가 기법을 기반으로 한, 선박의 안전성평가를 위한 방법론인 FSA기법을 도입하게 되었다.

FSA가 도입된 이후, IMO 회원국들에 의하여 고속여객선, 선박평형수 처리, 헬리콥터 착륙장, 산적화물선 등을 대상으로 FSA 연구들[1]이 수행되어졌으며, 그 결과를 토대로 FSA 및 FSA의 활용에 대한 지침들이 개정되었다. 또한 최근에 종료된 EU SAFEDOR 프로젝트[2]에서는 위험도기반 설계 및 관련 법규체계의 정립을 위한 기초 자료의 확보를 위하여 주요 선종에 대한 소위 초기안전성평가(High-level FSA) 작업을 수행하고 그 결과를 IMO에 제출하였다(SAFEDOR, 2007a; 2007b; 2008a; 2008b; 2008c).

Fig. 1은 IMO FSA의 절차를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 FSA는 대상 선박 혹은 시스템의 정의(Problem Definition: step 0)를 시작으로, 위해요소 파악(Hazard Identification: step 1), 위험도 분석(Risk Assessment: step 2), 위험도의 제어방안(Risk Control Options: step 3), 비용-효과평가(Cost-Benefit Assessment: step 4), 그리고 의사결정을 위한 권고(Recommendation for Decision Making: step 5) 등 5개의 단계로 구성되어 있다.

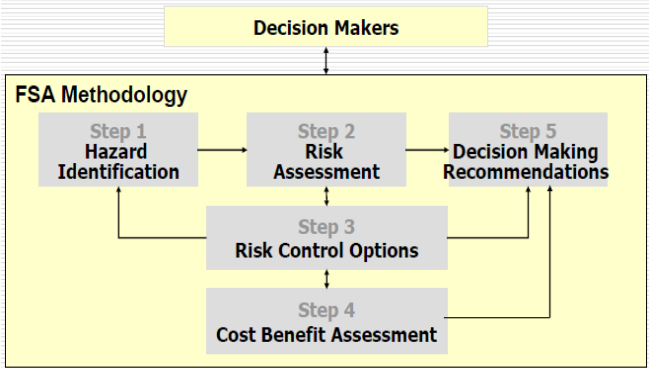

Fig. 1 FSA process

IMO FSA는 일반적인 위험분석 및 평가방법론을 기초로 하고 있으며 GBS를 포함한 IMO에서의 주요법규 제·개정, 나아가 위험도 기반 설계 목표(design objectives) 정의를 위한 수단으로서 활용이 기대되고 있다. 그러나 국내에서는 IMO FSA의 시험적용단계에서 한국선급을 중심으로 산적화물선의 침수 및 해치커버의 수밀에 관련한 FSA 연구를 수행하고 그 결과를 IMO에 제출한 바 있으나(IMO, 2001a; IMO, 2001b), 이후 FSA의 활용을 위한 본격적인 연구가 지속되지 못하고 있다.

3. 국적 일반화물선의 안전성평가

최근 IMO에서는 대형여객선, 산적화물선 및 유조선의 안전문 제에 이어 일반화물선의 안전[3]에 대한 논의의 필요성이 제기 되었으며, 본격적인 논의를 위한 준비 작업으로 국제선급협회(IACS)를 통한 FSA 준비 작업이 진행 중이다(IMO, 2006a; IACS, 2008).

---

1) IMO 회원국들에 의하여 수행된 FSA 연구들은: Trial Application to High-Speed Passenger Catamaran Vessels, United Kingdom, MSC 68/INF.6, DE 41/INF.7, MSC 69/14/4, MSC 69/INF.14; HAZID Water Ballast Exchange, IACS, MEPC 41/9/2, MEPC 45/2/1; Helicopter Landing Area, Norway/ICCL, COMSAR 3/2, DE 41/INF.2; Helicopter Landing Area, Italy, MSC 69/14/7, MSC 69/INF.31; BC FSA/Life-saving Appliances, Norway/ICFTU, MSC 72/16, MSC 74/5/5; BC FSA, Japan Study, MSC 75/5/2; BC FSA, IACS, MSC 74/5/4; BC FSA, International Study, United Kingdom, MSC 76/5/4; BC FSA, Less than 150m, Cyprus, MSC 77/5/2; FSA Study for Bulk Carrier Safety, Greece, MSC 78/5/1 등이 있다.

2) EU SAFEDOR (Design, Operation and Regulation for Ship Safety): 보다 고품질의 깨끗하고 안전한 운송 수단의 혁신을 위한 해양 산업의 요구에 대응하면서, 유럽 조선해양 산업의 경쟁력 향상을 목적으로 한 EU 공동 프로젝트(FP6, IP). 위험도 기반 설계/승인(risk-based design and approval) 및 관련 법규체계(risk-based regulatory framework)의 구축, 관련 핵심기술(H/W 및 S/W)의 개발, 그리고 전문 인력양성을 주요 내용으로 하고 있는 이 프로젝트는 2005년 2월부터 4년간, 유럽각국의 53개 관련기관이 참여하였으며, 총 2000만 유로가 투입되었으며, 크루저선 등 6가지 선종에 대한 초기안전성평가(High-level FSA)를 수행하고 그 결과를 IMO에 제출한 바 있음.

3) 최근 러시아가 제출한 IMO 문서에 의하면(IMO, 2006a), 1999년부터 2004년까지 전 세계에 운항된 선박들 중 일반화물선이 차지하는 비율이 전체 선박의 17%인 것으로 나타났으며, 이에 비하여, 일반화물선의 선박전손 및 인명사고 발생 비율이 각각 전체 선박전손의 42%와 전체 인명사고의 27%로 타 선종에 비하여 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 우리나라 연안을 항행하는 국적일반화물선의 안전수준 평가 및 안전성 제고를 위한 합리적인 방안을 식별함은 물론, 향후 IMO에서 논의될 일반화물선 안전에 대한 기초 자료의 확보를 목적으로 한 국적일반화물선에 대한 초기안전성평가(High-level FSA) 작업을 IMO FSA 절차에 따라 수행하고 있다.

3.1 준비 단계(Preparatory Step)

이 단계는 FSA 작업의 목표 및 검토대상 선박 혹은 시스템을 구체화하고 관련 자료를 확보하며 작업팀을 구성하는 단계로서 FSA 연구의 성패를 좌우하는 매우 중요한 단계이다.

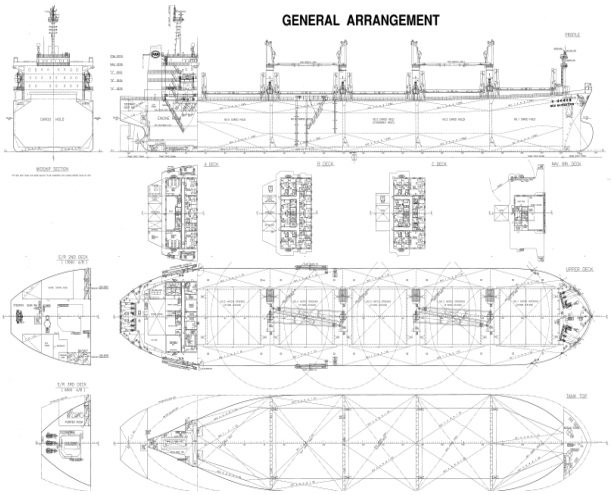

Fig. 2 Generic ship model

본 연구를 위한 FSA 작업팀은 운항안전 및 사고사례, 위험모델 및 FSA 기법, 해사법규 및 국제기구, 선박설계, 인적요소 관련 분야의 전문가 13인으로 구성되었으며, FSA 작업은 작업단계에 따라 총 6회의 회의와 이메일을 이용한 통신작업을 통하여 진행되었다.

FSA 수행을 위한 대상 선박은 국토해양부에서 분류한 산적화물선을 포함하는 일반화물선으로, 컨테이너 전용선, 냉동 화물선 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(Fig. 2 참조).

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.

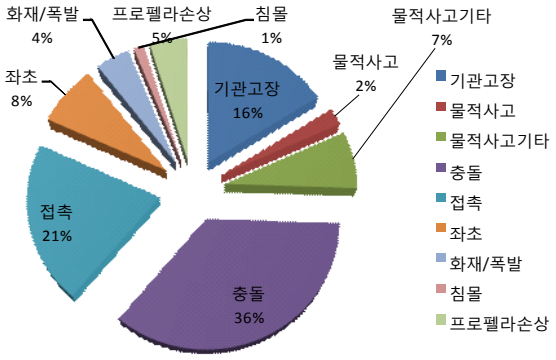

Fig. 3 General cargo ship accidents(2004 - 2008)

Fig. 3은 해당하는 기간 동안 대상선박의 사고발생현황을 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 일반화물선 관련 사고는 231건이 발생하였으며, 사고유형별로는 충돌사고가 36%로 가장 많이 발생하였고, 접촉사고와 기관고장이 각각 21%와 16%로 뒤를 잇고 있다. 참고로 2004년도부터 2008년도까지 각 연간 운항된 500톤 이상 25,000톤 이하의 일반화물선은 2004년 199척, 2005년 273척, 2006년 325척, 2007년 328척, 2008년 339척으로 총 합은 1,464척이다.

3.2 위험요소 식별 (Step 1)

위험요소 식별 단계에서는 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 작업이 수행된다.

본 연구에서는 SAFEDOR FSA 작업 결과와의 비교검토를 위하여 SAFEDOR에서 수행한 컨테이너선에 대한 HAZID 절차 및 방법을 참고하였다(SAFEDOR, 2005). 즉, FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) 기반의 worksheet를 사용하였으며, 작업 단계 및 검토대상 시스템 카테고리를 많은 부분 공유하였으나, 각 카테고리와 관련된 위험요소들은 대상선박인 국적일반화물선의 특성을 반영하여 식별되었다. Table 1은 HAZID 작업을 위하여 분류된 4개의 세션 및 각 세션별 사고 카테고리를 보여주고 있다.

계류 중 적하역(Ⅰ) 세션은 선박이 안벽에 접안하여 하역작업 등을 할 때 발생할 수 있는 위험요소들을 식별하기 위한 세션이며, 항계 내 및 제한수역(통항밀집수역) 항해(Ⅱ) 세션은 항계 내에서의 항행과 선박 통항량이 많은 통항 분리대 또는 협수로 등 통항밀집해역에서의 항해, 연안 항해(Ⅲ) 세션은 연근해에서의 항행, 원양 항해(Ⅳ) 세션은 평수, 연근해 구역 이외의 해역을 항행할 때 발생할 수 있는 위험요소들을 식별하기 위한 세션들이다. 또한, 각 세션에서 선박운항 중 발생할 수 있는 위험요소들의 식별을 위하여 세션별 관련 카테고리들을

분류하였다. Table 1에 제시된 단계별 사고 카테고리를 바탕으로 전문가들의 브레인스토밍을 통하여 총 115개의 위험요소(hazards)가 식별되었다.

Table 1 Main sessions and their accident categories

단계(Phase)	검토시나리오(Scenario)
Ⅰ.적하역 (항만 내)	1. Loading/unloading operations 2. Cargo 3. Fire and Explosion 4. Lashing 5. Electrical System 6. Piping System 7. Human Error
Ⅱ.항계 내 및 제한수역 항해	1. Collision 2. Contact 3. Grounding/Stranding 4. Fire & Explosion 5. Structural failure including foundering 6. Machinery failure 7. Miscellaneous 8. Boarding pilot
Ⅲ. 연안 항해	1. Collision 2. Contact 3. Grounding/Stranding 4. Fire & Explosion 5. Structural failure including foundering 6. Machinery failure 7. Extreme Weather 8. Miscellaneous
Ⅳ. 원양 항해	1. Large Ship Motions 2. Collision 3. Contact 4. Fire & Explosion 5. Machinery failure 6. Extreme Weather 7. Unlawful act(piracy, security) 8. Structural failure including foundering

Table 2 Example of HAZID worksheet

HAZID Ⅰ: Loading / unloading at berth

HAZID Worksheet				FI	Concequence (SI)				Risk (RI)				
ID	Failure Mode	Failure Effects	Failure Causes		Human	Env	Cargo	Ship	Human	Env	cargo	Ship	Remarks
1.1	적료중 선체움직임(large motion)		계류상태 불량										
		gangway 손상(추락사고, 사상)											
		mooring equipment 손상											
		mooring ropes로 인한 상해											
1.2	크레인으로부터 화물 추락		인간과실 hooks의 잘못된 사용, slings and wires의 잘못된 사용(fatigue of material)										
		화물손실											
		환경오염											
		선체 손상											
		인명사고, 상해											
1.3	cargo / hatch cover의 over swinging		인간과실 작업자의 불안전한 하역작업, instructions를 따르지 않음, 의사소통 불량										
		다른 화물 손상											
		선체손상, 환경오염											
		인명사고, 상해											
1.4	loading plan에 없는 중량 분포 형성		실제 화물중량 확인 불가 또는 잘못된 표기										
		과소/과대 복원력, resulting in loss of ship											
		excessive bendings, shear forces and torsion으로인한 선체손상											
1.5	작업후		하역작업 중 소나기 등										
		화물손상											
2	cargo												
2.1	화물(DG)의 잘못된 표기 (labelling)		인간과실, 허위 표기 (criminal)										
		잘못된 위치에 적재											
		위험물 격리 불가											

Table 2는 본 연구에서 사용된 FMEA(Failure Mode Effects Analysis) 기반의 HAZID worksheet의 일부이다. 표에서 보듯이 각 단계(session)별로 고장모드(failure mode) 및 그 영향(failure effects)과 원인들(failure causes)을 정리하고 각 위험요소별로 빈도(frequency)와 인명, 환경, 화물 및 선박에 대한 영향의 심각도(severity)를 예측하고 이들을 결합한 위험도 지표(risk index, RI)를 정의하였다.

위험요소들에 대한 발생빈도와 심각도의 등급기준[4]은 다른 FSA작업과의 비교를 위하여, IMO FSA 지침서(IMO, 2002)에서 제시하고 있는 빈도 지수(frequency index, FI)와 심각도 지

Fig. 4 Event tree for collision

4) IMO FSA 지침서(MSC/Circ.1023, MEPC/Circ.392)의 APPENDIX 4 Initial ranking of accident scenarios와 SAFEDOR의 Hazard Identification for Container ships(SAFEDOR-D-4.4.1 rev-1.5) pp.29~32 참조.

수(severity index, SI)를 이용하였으며, 빈도 지수는 1 ~ 7등급, 심각도 지수는 1 ~ 4등급으로 나누어 고장모드의 등급 매김 작업을 위한 기준으로 사용하였다.

일반적으로 위험도(R)는 사고발생 빈도(F)와 사고결과의 심각도(S)의 곱으로 나타내며, 이를 대수(log) 형식으로 나타내면 다음 수식과 같이 표현할 수 있다:

$$R = F * S; \quad (1)$$

$$\ln(R) = \ln(F) + \ln(S) \text{ 또는 } RI = FI + SI. \quad (2)$$

위험요소는 HAZID 팀 전문가들의 브레인스토밍을 통하여 식별되었으며, 위험도 평가는 시간 관계상 전문가들이 각자 매긴 등급을 다음 회의에서 토론하여 의견을 조율하는 방식의 델파이(Delphi) 방법을 사용하였다.

HAZID 작업의 결과를 토대로 정량적인 위험도 분석이 요구되는 고 위험요소(high risk area)를 식별하였다. Table 3은 검토대상 위험의 유형 중 선원의 인명안전과 관련된 위험도 지수(RI) 6.0을 초과하는 고 위험요소들의 목록이다.

Table 3 Priority risks for human safety

Risk Index	Category	Failure Mode ID	Failure Mode Description
8	Fire & Explosion	Ⅲ-4.3	기관실내 화재/폭발로 인한 선원 상해(연안항해 시)
7.3	Human error	Ⅰ-7.3	선원의 피로도 누적으로 인한 상해
7	Fire & Explosion	Ⅰ-3.3	기관실 화재/폭발로 인한 선원 상해(하역작업 중)
7	Human error	Ⅰ-7.2	선원의 부주의에 의한 상해
6.8	Loading/unloading operations	Ⅰ-1.1	계류중 선체동요에 의한 계류색 파단으로 인한 상해
6.75	Boarding pilot	Ⅱ-8.3	해상에서 도선사 승/하선작업 시 도선사 상해
6.6	Boarding pilot	Ⅱ-8.1	악천후와 rough sea conditions에 의한 도선사 상해
6.6	Collision	Ⅲ-1.1	제한시계시 선박 충돌로 인한 상해/사상
6.5	Lashing	Ⅰ-4.2	불리한 작업환경(예, 젖은 또는 얼어붙은 갑판)으로 인한 상해
6.5	Fire & Explosion	Ⅲ-4.1	화물창 화재로 인한 선원상해(침몰 가능)
6.5	Fire & Explosion	Ⅲ-4.2	화물창내 폭발로 인한 선원 상해(침몰 가능)
6.3	Human error	Ⅰ-7.4	선원의 작업도 미숙으로 인한 상해
6.2	Loading/unloading operations	Ⅰ-1.2	크레인으로부터 화물 추락으로 인한 상해

3.3 위험도 분석 (Step 2)

위험도 분석 단계에서는 Step 1에서 식별된 고 위험군에 대한 정량적 분석 작업으로서, 정의된 사고 시나리오에 대한 위험도 분석을 위한 ETA(Event Tree Analysis) 모델을 작성하고 이를 통해 초기사고(initiating event)로부터 전개되는 세부 시나리오의 발생 확률과 결과를 예측하는 작업이다.

HAZID의 결과 일반화물선의 대표적인 사고 시나리오는 화재/폭발, 충돌, 접촉 및 좌초 등의 사고와 인적 과실, 도선사 승하선 작업, 기계고장 등과 관련된 위험요소들이 높은 위험도를 가진 것으로 나타났다. 그러나 인적과실 또는 기계고장의 경우 충돌, 화재/폭발 등 사고 카테고리에 공통적인 원인요소로 정의될 수 있으며, Fig. 3에서 보았듯이 500톤 이상 25,000톤 이하의 국적일반화물선의 경우 충돌, 접촉, 좌초와 화재/폭발 사고가 전체 해양사고의 70%를 차지하고 있는 상황을 감안하여 충돌, 접촉, 좌초와 화재/폭발 사고를 정량적 분석의 대상으로 정의하였다.

Table 4 Frequency of initiating events

Accident scenario	Accidents frequency (per ship year)	F-Proportion (%)
Collision	5.60×10^{-2}	51.90 %
Contact	3.27×10^{-2}	30.38 %
Grounding	1.23×10^{-2}	11.39 %
Fire/explosion	6.83×10^{-3}	6.33 %
Total	1.08×10^{-1}	100 %

각 사고 시나리오에 대한 초기 값(사고발생 빈도)은 한국해운조합의 사고 데이터로부터 도출하였다. 2004년도부터 2008년도까지 5년 동안 운항된 500톤 이상 25,000톤 이하 국적일반화물선은 총 1,464척이며, 본 연구에서는, 한국해운조합의 데이터 상에서 각 해당년도에 발생한 등록선박의 등록변경 및 새로운 등록과 등록 해제 사항의 정확한 파악이 어려운 상황을 감안하여 연간 운항일수를 365일로 가정하고 이에 따라 5년간 운항된 선박들이 위험에 노출된 총 선박연(ship year)은 1,464년으로 가정하였다. Table 4는 각 사고 시나리오에 대한 선박연간(per ship year) 사고발생 빈도를 나타내고 있다.

Fig. 4는 선택된 분석대상 사고들 중 충돌사고에 대한 ETA 모델 및 위험도 분석 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 ETA 모델로부터 선박연간(per ship year) 발생할 수 있는 또는 예상되어지는 선원 사상 수(PLL-Potential Loss of Life), 선박 및 화물의 손실 정도(값) 그리고 기름유출 등으로 인한 환경오염 정도(값)를 얻을 수 있다. Table 5는 각 사고 시나리오에 대한 ETA 모델로부터 얻어진, 선박연간 예상 사상자(Potential Loss of Life: PLL)이다.

Table 5 Potential loss of life among crew members on Korean-flagged general cargo ships

Accident scenario	PLL(Crew) (per ship year)	PLL(Crew) Proportion
Collision	1.43×10^{-2}	64.97 %
Contact	1.60×10^{-3}	7.24 %
Grounding	3.58×10^{-3}	16.23 %
Fire/explosion	2.55×10^{-3}	11.55 %
Total PLL	2.21×10^{-2}	100 %

PLL은 사회적 위험도(Societal Risk)를 측정하기 위한 간단한 방법 중 하나이며, 사회적 위험도는 F-N 선도를 사용함으로서 사고의 빈도와 사상자 수 사이의 관계를 보여주는 방식으로 표현되어질 수 있다. F-N 선도를 작도하기 위해서는 사회적으로 허용되어지는 위험도(risk) 기준을 정의하여야 하며, 선박연간 발생할 수 있는 N명의 사상자의 빈도를 구하여야 한다.

Table 6 Frequency of N fatalities per accident category

N	Collision	Contact	Grounding	Fire/ explosion	Total	Cumulative Frequency
1	$2.24x10^{-3}$	$1.60x10^{-3}$	$3.87x10^{-4}$	$1.01x10^{-4}$	$4.33x10^{-3}$	$9.16x10^{-3}$
2	$2.13x10^{-3}$		$8.23x10^{-4}$	$2.42x10^{-4}$	$3.20x10^{-3}$	$4.83x10^{-3}$
3			$4.42x10^{-4}$		$4.42x10^{-4}$	$1.63x10^{-3}$
4			$5.53x10^{-5}$		$5.53x10^{-5}$	$1.19x10^{-3}$
5				$3.1x10^{-4}$	$3.1x10^{-4}$	$1.14x10^{-3}$
10	$7.84x10^{-4}$			$4.13x10^{-5}$	$8.25x10^{-4}$	$8.25x10^{-4}$

ETA 모델로부터 얻어진, 선박연간 N명의 사상자가 발생할 수 있는 빈도는 각 사고 종류별로 Table 6에 제시되어져 있으며, F-N 선도의 작성을 위하여 사용되어질 누적빈도(Cumulative frequency) 또한 계산되어져 있다.

F-N 선도에서 사회적으로 허용되어지는 위험도(risk) 기준을 정의하기 위하여 MSC 72/16 문서에 제시되어진 다음 수식들을 사용하였다(IMO, 2000).

$$q = \frac{Number\ of\ occupational\ fatalities}{GNP} \tag{3}$$

$$PLL_A = q.EV \tag{4}$$

$$F_1 = \frac{PLL_A}{\sum_{N=1}^{N_u} \frac{1}{N}} \tag{5}$$

수식 (3)에서 q는 국민총생산(GNP)에 대한 평균사상자 비율을 나타내고, 수식 (4)에서 PLL_A는 선박운송 등 특정 활동에 대하여 평균적으로 받아들여질 수 있는 PLL을 나타내며, EV는 특정 활동의 경제적 가치를 나타낸다. 수식 (5)에서 F_1는 하나 또는 그이상의 인명사상과 관련된 사고의 빈도를 나타내며, N_u는 하나의 사고로 인하여 발생할 수 있는 최대 사상자 수(선박의 경우 승선한 전체 선원 수)를 나타낸다.

우리나라의 사회적 위험도 허용기준을 구하기 위하여 국가통계포털 사이트에 제시된 2001년부터 2006년까지의 통계를 사용하였다(KOSIS, 2009). 해당 기간 동안에 발생한 사상자의 수는 5,207명이며 동 기간 동안의 국민총생산(본 논문에서는 명목 국민총소득(GNI)을 사용함)의 합은 약 2.8×10^{12} 파운드(£)이므로 q는 수식 (3)에 의하여 약 1.8 사상자(fatalities)/10억 파운드(£ billion)가 된다. 본 연구에서 제시한 국적일반화물선의 대표선박의 경우 평균 하루 용선료[5](average daily charter rates)가 약 US$ 13,000 정도이기 때문에 추정되는 연간 경제적 가치(EV)는 약 US$ 4,750,000 이므로, 수식 (4)에 의하여 PLL_A는 5.8×10^{-3}이 된다. 또한, 국적일반화물선 대표선박(generic model)의 최대 승선 인원을 10명으로 가정하였으므로 N_u는 10이 되고, 수식 (5)에 의하여 한명 또는 그 이상의 인명사상과 관련된 사고의 발생빈도 F_1은 1.99×10^{-3}이 된다.

일반적으로 광범위하게 사용되고 있는 사회적 위험도 허용기준에 의하면, 위험도 수준이 평균적으로 받아들여질 수 있는 위험도를 10배(log 단위로 1) 이상 넘어서면 허용될 수 없다고(intolerable) 정의하며, 1/10(log 단위로 1) 이하로 떨어지면 전반적으로 허용된다고(negligible) 정의한다(IMO, 2007). 이러한 상/하 경계는 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 영역을 나타내며, 100배(log 단위로 2)의 크기 영역을 가진다. 만약 위험도 수준이 'Intolerable' 영역에 위치한다면 위험도는 정당화될 수 없고 비용에 관계없이 감소시켜야 하며, 'Negligible' 영역에 위치한다면 위험도는 무시할 수 있으며 위험도 감소도 요구되지 않는다. 위험도 수준이 이 두 경계사이 즉, ALARP 영역에 위치한다면 경제적인 부담을 고려하여 합리적이고 실용적인 최소수준으로 감소되어야 한다(IMO, 2000; IMO, 2007).

상기 수식에 의한 계산결과, 국적일반화물선의 경제활동을 고려하여 평균적으로 받아들여질 수 있는 한명 또는 그이상의 사상자가 발생하는 사고의 빈도는 1.99×10^{-3}이 되므로, 국적일반화물선의 선원에 대한 최대허용 위험도 기준은 평균적으로 허용된 사고발생 빈도의 10배인 1.99×10^{-2}가 되며, 무시해도 좋을 정도의 위험도 기준은 평균적으로 허용된 사고발생 빈도의 1/10배인 1.99×10^{-4}가 된다. Fig. 5는 우리나라의 국적일반화물선에 대한 사회적 위험도 허용기준과 ETA 작업으로부터 얻어진 N명의 사상자가 발생할 수 있는 빈도에 의하여 작성된 F-N 선도이다.

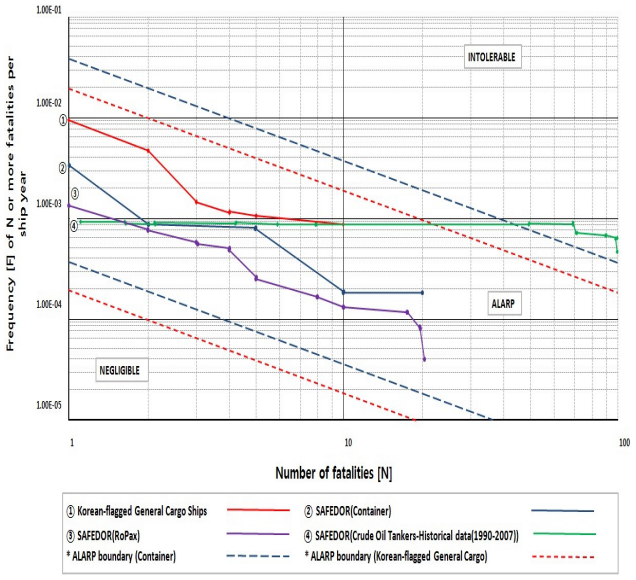

Fig. 5 F-N Diagram for Korean-flagged general cargo ships

5) EV는 선박운항이라는 특정 활동의 경제적 가치를 나타낸다. 선박의 운항 관점에서 보았을 때 그 선박의 운항으로 얻어지는 경제적 가치는 선박의 용선료로 볼 수 있다고 판단하였으며, 선박의 용선료를 EV로 정한 SAFEDOR 컨테이너선 FSA 작업(SAFEDOR, 2007b) 결과와의 비교 또한 용이하게 하기 위하여 본 논문에서도 대상 국적일반화물선의 대표선박에 대한 평균 용선료를 계산하여 EV를 나타내고 있다.

Fig. 5의 F-N 선도에서 ①은 국적일반화물선에 대한 위험도를 나타내고, ②, ③ 그리고 ④는 각각 EU SAFEDOR에서 작성한 Container, RoPax, Crude Oil Tanker에 대한 위험도를 나타내며, 그림에서 보는 바와 같이 국적일반화물선의 위험도 수준은 ALARP 영역에 위치하고 있으나 국제항해에 종사하는 타 선종에 비해 상대적으로 위험도 수준이 높음을 알 수 있다. 이러한 이유로는 SAFEDOR에서 사용한 LMIU(Lloyds Maritime Information Unit) 데이터베이스에 비해 본 연구에서 사용된 한국해운조합 데이터(선박공제 사고보고)의 특성상 사고 보고의 누락 가능성이 상대적으로 낮고, 대상 선박 또한, 국제항해에 종사하는 선박을 대상으로 한 SAFEDOR의 결과에 비하여, 총톤수 10,000톤 미만[6] 선박이 주를 이루는 우리나라 연안을 주로 항행하는 선박을 대상으로 한 본 연구의 결과가 위험도 수준이 높게 나오는 것은 자명한 것으로 보인다. 하지만, SAFEDOR에서 수행한 연구에 대한 더욱 객관적인 비교 결과를 얻기 위해서는 다른 여러 선종들에 대한 안전 수준 평가가 추가적으로 수행되어야 한다.

4. 결 론

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 준비단계(step 0), 위험요소 식별(step 1) 그리고 위험도 분석(step 2) 단계를 수행하였다.

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 유용한 것으로 판단된다. 계속적인 연구를 통하여, 차기 논문 '국적일반화물선 초기안전성평가 연구(2)'에서는 국적일반화물선의 위험수준을 저감할 수 있는 위험성제어방안들(RCOs)을 식별하는 단계(step 3)와 식별된 방안들 중 전문가 의견수렴을 통하여 선별된 방안들을 대상으로 한 비용-효과 평가 단계(step 4) 그리고 비용-효과 평가의 결과를 정리하여 국적일반화물선의 안전성 제고를 위한 구체적인 방안을 제안하는 단계(step 5)의 결과를 정리 할 예정이다. 또한, 본 연구의 결과는 향후 IMO에서 본격적으로 논의될 일반화물선 안전 및 MSC 88차 회의부터 본격적인 논의가 예상되는 SLA기반 GBS의 개발을 위한 기초 자료로 활용할 예정이다.

후 기

이 논문은 국토해양부에서 지원하는 'IMO GBS에 대한 기초기술 확보 및 대응기술개발연구' 중 '위해도 평가 적용 방법론 연구' 결과의 일부입니다.

참 고 문 헌

[1] IACS(2008), Formal Safety Assessment of General Cargo Ships - Preparatory Step, pp.1~44.

[2] IMO(2000), FSA-Decision parameters including risk acceptance criteria, Submitted by Norway, MSC 72/16.

[3] IMO(2001a), A trial application of FSA methodology to No.1 cargo hold flooding of bulk carriers, Submitted by the Republic of Korea, MSC 74/INF.14.

[4] IMO(2001b), A trial application of FSA methodology to the hatchway watertight integrity of bulk carriers, Submitted by the Republic of Korea, MSC 74/INF.15.

[5] IMO(2002), Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, MSC/Circ.1023, MEPC/Circ.392.

[6] IMO(2006a), Work Programme-General cargo ships safety, Submitted by the Russian Federation, MSC 82/21/19.

[7] IMO(2006b), Amendments to the Guidance on the use of Human Element Analyzing Process(HEAP) and Formal Safety Assessment(FSA) in the rule-making process of IMO(MSC/Circ.1022, MEPC/Circ.391), MSC/Circ.1022 & MEPC/Circ.391, pp.1~9.

[8] 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.

[9] KOSIS(2009), 국가통계포털(Korean Statistical Information Service), Accessed 13 November 2009, Available at: www.kosis.kr.

[10] SAFEDOR(2005), Hazard Identification for Container ships (SAFEDOR-D-4.4.1 rev-1.5), pp.1~56.

[11] SAFEDOR(2007a), FSA-Liquefied Natural Gas(LNG) Carriers Details of the Formal Safety Assessment, MSC 83/INF. 3.

[12] SAFEDOR(2007b), FSA-container vessels Details of the Formal Safety Assessment, MSC 83/INF. 8.

[13] SAFEDOR(2008a), FSA-Crude Oil Tankers, MEPC 58/INF. 2.

6) 한국해운조합에 등록된 일반화물선의 톤수별 분포를 살펴보면(2008년도) 499톤 이하 선박 26%, 500톤 이상 9,999톤 이하 선박 67%, 10,000톤 이상 선박이 7%를 차지하고 있다.

[14] SAFEDOR(2008b), FSA-Cruise ships Details of the Formal Safety Assessment, MSC 85/INF. 2.
[15] SAFEDOR(2008c), FSA-RoPax ships Details of the Formal Safety Assessment, MSC 85/INF. 3.

원고접수일 : 2009년 12월 22일
심사완료일 : 2010년 3월 2일
원고채택일 : 2010년 3월 4일