

공식안전평가(Formal Safety Assessment)를 이용한 선박의 안전성 평가

김 중 호†

(원고접수일 : 2009년 1월 21일, 원고수정일 : 2009년 2월 16일, 심사완료일 : 2009년 2월 26일)

The Evaluation Ship Safety by Formal Safety Assessment

Jong-Ho Kim†

Abstract : Formal Safety Assessment(FSA) was introduced by the IMO as "a rational and systematic process for accessing the risk related to maritime safety and the protection of the marine environment and for evaluating the costs and benefit of IMO's options for reducing these risks". FSA can be used as a tool or a rule making process to help develop new rules and regulations. The purpose of this paper is to conduct a general review of the FSA methodology and to propose ways to use it in rule making process of machinery parts.

Key words : IMO(국제해사기구), Maritime Safety(해사안전), Formal Safety Assessment(공식 안전평가), Hazard Identification(위해요소 식별), Risk Analysis(위험성 평가), Risk Control Option(위험성 제어 방안)

1. 서 론

국제연합(United Nations)의 산하기구인 국제해사기구(International Maritime Organization, 이하 "IMO"라고 한다)에서는 그 동안 해상안전과 해양환경의 보전을 위해 선박자체의 구조·설비에 관한 각종 기준을 강화했음에도 불구하고 1980-1990년대에 발생한 여객선과 유조선의 전복 사고¹⁾때문에 무언가의 대책을 강구하여야 하는 분위기가 조성되었다.

1992년 영국은 IMO의 제61차 해사안전위원회(Marine Safety Committee, 이하 "MSC"라 한다)에 '선박 설계 및 기술의 안전 측면에 관한 보고서'(MSC 61/INF.7)를 제출하고, 1993년에는 공식안전평가(Formal Safety Assessment)에 관한 최초의 의제문서(MSC 62 24/3)를 제출하였다. 이 의제문서에서는 FSA를 해운산업에 적용하게 된 배경을 설명하였는데 이것이 IMO가 FSA를 공식적으로 사용한 효시가 되었다. 이후 FSA를 규정화하기 위한 영국 정부의 지속적인 노력으로

† 교신저자(한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부, E-mail:kjh@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4251

1) 1987년 3월 6일 야간에 193명의 선원과 여객이 사망한 M/V "Herald of Free Enterprise"의 전복 사고, 1989년 3월 24일 M/V "Exxon Valdez"의 좌초 사고, 2002년 11월 19일 스페인 연안에서 단일 선체구조인 M/V "Prestige"의 침몰 사고

1996년 제 66차 MSC회의에서는 FSA 적용지침을 작성하기 위한 작업반(working group)을 구성하였고 1997년 6월에 개최된 제 68차 MSC회의에서는 임시지침(Interim guidelines for FSA Application for FSA Application to IMO Rule-Making Process)을 채택하였다. 이후 여러 차례의 회의를 거쳐 2002년에는 IMO소관의 국제협약, 선급 규칙 등의 제정에 FSA를 반영하는 지침(GUIDELINES FOR FORMAL SAFETY ASSESSMENT (FSA) FOR USE IN the IMO RULE-MAKING PROCESS, Document ID: MSC.1/Circ.1023-MEPC.1/Circ.392)를 제정되었다. 그 후부터 현재까지 일본, 영국, 한국 등을 중심으로 FSA관련 의제문서가 IMO의 각종 위원회에 제출되면서 활발한 논의와 연구^{[1]-[11]}가 진행 중에 있다.

2. FSA의 정의 및 흐름

2.1 FSA의 정의

FSA는 IMO가 원자력 발전소를 비롯한 육상산업분야에서 사용하던 위험분석(risk analysis)를 해사산업분야에 적용할 때 도입한 명칭으로 해상에서의 인명의 안전과 해양환경 보호하기 위하여 해사산업분야의 위험성 평가, 비용-이익 평가 등을 사용하는 조직적이고 체계적인 안전평가 체제이다.

예를 들어 말라카 해협에서 선박의 충돌을 방지하기 위하여 통항분리방식(traffic separation Scheme: TSS)을 설정하기 위한 항해보조기구를 설치하는 경우 선박의 충돌사고로 인한 손실 비용과 항해보조기구를 설치하기 위한 총비용간의 차이를 통계적으로 조직적으로 체계적으로 평가하는 체제를 FSA²⁾라고 할 수 있다. 또 선박 동력전달장치의 손상으로 인한 선박의 각종 손실비용과 선박 안전법에 규정된 강제적인 검사 기간을 단축하는 경우의 비용간의 차이를 통계적으로 조직적으로 체계적으로 평가하는 것도 기관장치에 적용되는 FSA라고 할 수 있다.

2.2 FSA의 흐름

FSA는 다음과 같이 5단계로 구성되며 구체적인 절차는 우리나라의 해양사고 통계를 이용하여 다음절에서 구체적으로 서술한다.

- 1) 위해요소의 식별(hazard identification)
- 2) 위험성 평가(risk assessment)
- 3) 위험성 제어 방안(risk control option)
- 4) 위험성 제어 방안에 대한 비용-이익 평가(cost-benefit assessment)
- 5) 의사결정을 위한 권고(recommendations for decision making)

3. FSA의 절차

3.1 위해요소의 식별(Hazard Identification)

위해요소는 사람, 재산, 환경 등에 손상을 입힐 가능성을 있는 물리적 상황으로 정의되며, FSA의 제 1단계는 FSA를 적용하고자 하는 문제에서 위해요소를 식별하는 것이다. 제1단계에서는 해석하고자 하는 문제를 포괄적으로 정의하고 문제의 원인과 결과를 조사하여 위해요소를 식별하여 그 등급을 매기는 과정이다. 제 1단계는 문제의 정의(problem definition), 위해요소의 식별(hazard identification), 위해요소의 선별(hazard screening) 등으로 구성된다.

3.1.1 문제의 정의(Problem definition)

이 과정은 FSA를 적용하고자 하는 문제를 선정하는 과정이다. 통상 이를 위하여 Table 1과 같은 형태의 자료¹²⁾가 사용된다. Table 1은 2002년부터 5년 동안 우리나라의 해양사고종류별 발생현황을 나타낸 것이다. 이 표에서 기관손상 사고는 충돌사고 다음으로 발생 빈도가 높은 것을 알 수 있으며, 5년 동안 연평균 135건으로서 전체 해양사고의 21%정도를 점하고 있다. 2006년의 경우 접수된 195건의 기관손상 사고 중 165건의 심판 불요 처분되었고, 10건은 심판 청구되었으며 나머지 사고는 다음 해로 이월된 것으로 추정된다.

3.1.2 위해요소의 식별(Hazard identification)

이 과정은 선박의 안전에 영향을 주는 많은 위해

Table 1 Statistics of marine accident causes(200-2006)

Type of accident Year	Colli sion	Contact	Groun ding	Fire, Explosion	Sinking	Machinery fail	Distress	Facility damage	Death	NUC	Others	Total
2002	184	13	58	42	55	110	18	3	20	13	41	557
2003	182	9	65	53	50	57	21	-	43	12	39	531
2004	210	12	75	57	69	147	45	1	80	42	66	804
2005	172	10	46	71	45	166	16	2	34	41	55	658
2006	167	17	66	41	25	195	11	1	20	68	46	657
Total	915	61	310	264	244	675	111	7	197	176	247	3,207
(%)	28.53%	1.90%	9.67%	8.23%	7.61%	21.05%	3.46%	0.22%	6.14%	5.49%	7.70%	100.00%
Average	183	12.2	62	52.8	48.8	135	22.2	1.75	39.4	35.2	49.4	

요소를 식별하는 과정으로 통상 브레인 스토밍(brain storming)기법이 사용된다. 이 기법은 자유로운 토론으로 창조적인 아이디어를 끌어내는 것으로 기업의 기획 회의에서 아이디어 개발 방식의 하나로 사용한다. 선박에서 기관손상은 감항성에 치명적인 영향을 미치지 않으나 선박의 안전 운항을 저해하는 요소로서 통상 여러 원인에 의해서 발생하게 된다.

Table 2는 2006년에 심판 불요 처분된 165건의 기관손상사고에 대한 해양안전심판원의 통계분석 보고와 재결된 10건의 기관손상 사고를 그 원인별로 정리한 것이다. 2006년 발생한 195건의 기관손상 사고 중에서 상기 175건에 포함되지 않은 사고는 기타 사고로 분류하였다. 이 표에서 보면 동력전달 장치의 손상은 전체 기관손상사고의 약 25%정도로서 가장 많은 것을 알 수 있다. 여기서 동력전달장

치라는 것은 동력전달축 및 기어, 역전기축, 축커플링 및 축커플링 등을 포함하는 것으로 표본 선박이 대부분이 어선이고 소형 연안선박이라는 것을 감안할 때 예상되어질 수 있는 손상이라고 할 수 있다. 다음으로 기관손상사고에서 높은 비중은 차지하는 것은 냉각계통, 연료계통, 실린더라이너 등의 순이다.

3.1.3 위해요소의 선별(Hazard screening)

이 과정은 파악된 위해요소를 분류하여 우선순위를 정하기 위하여 사고 자료를 검토하는 것으로 해당 사고에 대한 위험성(risk)을 정의하게 된다. 위험성은 사고결과의 심각도(severity)와 사고유형의 발현빈도(frequency of occurrence)의 조합으로 위험성은 사고의 결과와 발생빈도의 곱으로 쓸 수 있다. 여기서 사고결과의 단위는 손실이며

Table 2 Statistics of machinery accident causes(2006)

Item	Power Trans. Sys	Cooling Sys.	Fuel Sys.	Cyl. Liner	Starting Sys.	Suc./Exh. V.	L.O Sys.
Sum	41	24	21	16	13	12	12
%	21.03%	12.31%	10.77%	8.21%	6.67%	6.15%	6.15%
Item	Crank shaft	Piston	Elec. Sys.	Aux. Mach.	Eng. Body	Turbine Sys.	Etc
Sum	9	4	4	4	3	3	29
%	4.62%	2.05%	2.05%	2.05%	1.54%	1.54%	14.87%
Total sum	195						
%	100%						

Table 3 Risk matrix

consequence level		Frequency						
		«----- Low High -----»»						
		F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Minor	S1	1	2	3	4	5	6	7
Significant	S2	2	3	4	5	6	7	8
Severe	S3	3	4	5	6	7	8	9
Catastrophic	S4	4	5	6	7	8	9	10

인명손실, 환경오염, 선박 손실, 재산손실 등이 된다. 따라서 위험성은 일정 시간 동안 예상될 수 있는 손실을 의미하는 것으로 예를 들어 사고의 결과(consequence)가 재산손실이라면 위험성은 일정 기간 동안 예측되는 재산 손실액이 된다. 통상 위험요소를 선별하는 방법은 행렬법(risk matrix approach)과 누적손실법(cumulative loss approach)이 사용된다.

Table 3은 행렬법을 이용한 위험성 평가법의 일례^{[4]-[5]}를 나탄 낸 것이다. 여기서 위험성은 결과와 발현빈도의 합이 되며 표에서 10이라는 수치는 가장 위험성이 높은 사고를 의미한다.

Table 3에서 발현빈도와 사고결과는 다음과 같이 표현할 수 있으며 일단 이와 같은 표가 완성되면 사고에 대한 위험성은 자동적으로 결정된다.

- F0 : 매 100,000년에 1번이나 2번 이하 발생
- F1 : 매 10,000년에서 99,999년 사이에 1번 발생
- F2 : 매 1,000년에서 9,999년 사이에 1번 발생
- F3 : 매 100년에서 999년 사이에 1번 발생
- F4 : 매 10년에서 99년 사이에 1번 발생
- F5 : 매 1년에서 9년 사이에 1번 발생

F6 : 매 1년에 1번이상 발생

S1 : Minor, 한명의 경상

S2 : Significant, 한명의 중상

S3 : Severe, 한명 또는 소수의 사망

S4 : Catastrophic, 수 많은 사람의 동시 사망 (10명 이상)

본 연구에서 수집한 자료의 범위에서는 기관손상으로 인한 직접적인 인명 피해, 선박손실 등이 없었으므로 재산손실의 정도에 따라 위험요소를 선별하고 그 결과를 바탕으로 위험성을 평가하기로 한다.

3.2 위험성 평가(Risk Assessment)

FSA의 제 2단계인 위험성 평가는 개개의 사고 유형과 이와 연관된 위험성의 정량화하는 과정이라고 할 수 있다. 이 단계를 통하여 사고의 직접적인 원인을 규명하며, 이를 바탕으로 위험성 기여 나무(risk contribution tree), 결함나무(fault tree), FN곡선(빈도 F와 손실 정도 N의 관계식) 등을 작성하게 된다.

Table 4 Frequency of occurrence of machinery accident causes

Item	Power Trans. Sys	Cooling Sys.	Fuel Sys.	Cyl. Liner	Starting Sys.	Suc./E xh. V.	L.O Sys.	Crank shaft	Piston	Elec. Sys.	Aux. Mach.	Eng. Body	Turbine Sys.	Etc
Frequency	4.23 E-03	2.48 E-03	2.17 E-03	1.65 E-03	1.34 E-03	1.24 E-03	1.24 E-03	9.30 E-04	4.13 E-04	4.13 E-04	4.13 E-04	3.10 E-04	3.10 E-04	3.00 E-03

Machinery accident													
2.01 E-02													
Power Trans. Sys	Cooling Sys.	Fuel Sys.	Cyl. Liner	Starting Sys.	Suc./E xh. V.	L.O Sys.	Crank shaft	Piston	Elec. Sys.	Aux. Mach.	Eng. Body	Turbine Sys.	Etc
4.23 E-03	2.48 E-03	2.17 E-03	1.65 E-03	1.34 E-03	1.24 E-03	1.24 E-03	9.30 E-04	4.13 E-04	4.13 E-04	4.13 E-04	3.10 E-04	3.10 E-04	3.00 E-03

Fig. 1 Risk contribution tree of machinery accident causes

Table 4는 기관손상의 원인들을 발생 빈도로써 정량화한 것이다. Fig. 1은 기관손상사고에 대한 위험성 기여 수목(risk contribution tree)이다.

4. 결 론

2002년 FSA가 IMO소관의 국제협약, 선급 규칙 등의 제정에 FSA를 반영하는 지침으로 제정된 이래 일본, 영국, 한국 등을 중심으로 FSA관련 의 제문서가 IMO의 각종 위원회에 제출되면서 활발한 논의가 진행 중에 있다. IMO가 FSA를 채택한 것은 해사산업분야에서 안전문화에 대한 기존 틀에 적지 않은 영향을 미칠 것으로 전망된다. 즉 규정이나 규칙의 적극적인 시행을 통하여 선박의 안전을 확보하던 체제를 탈피하여 위험요소의 사전 예측과 예방을 통하여 품질 비용을 줄이는 하는 추세로 나아갈 것으로 전망된다.

본 연구에서는 중앙해양안전심판원의 2006년도 심판 불요 처분 통계 분석보고를 이용하여 전술한 FSA의 절차를 사용하여 기관손상의 원인들을 발생 빈도로써 정량화하고 기관손상사고에 대한 위험성 기여수목(risk contribution tree)를 작성하였다. 우리나라의 경우 선박에서 기관손상 사고의 사고유형별 발생빈도를 보면 동력전달장치의 손상은 전체 기관손상사고의 약 21%정도로써 가장 많은 것을 알 수 있다. 다음으로 기관손상사고에서 높은 비중을 차지하는 것은 냉각계통, 연료계통, 실린더 라이너 등의 순이다.

본 연구에서 FSA를 이용하여 국내의 선박 기관손상사고의 위험성을 평가한 본 연구의 절차는 향후 선박 기관장치의 안전성 평가에 대한 기초적인 연구가 될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국해양대학교의 연구비 지원으로 이루어 졌음을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] IMO, "Preliminary FSA study on the application of requirement of inert gas systems to tankers of less than 20,000 dwt", Document ID: DE 50/17/1, 2007
- [2] 여인철, "공식안전평가(FSA)에 대하여", 대한조선학회지, 제35권, 제2호, pp. 54-58, 1998.
- [3] 양원재외 2인, "공식안전평가시스템에 의한 선박 충돌사고 위험성 평가에 관한 연구(I)", 해양환경·안전학회지, 제7권, 제3호, pp. 61-74, 2001.
- [4] 여인철, "공식안전평가에 대한 기초연구", FSA 연구회 최종보고서, 한국선급, 1996. 12.
- [5] Michael Julian, "Special presentation on formal safety assessment", IMO Seminar, pp. 1-28, 1998.
- [6] IMO, "Guidance on the use of human element analysing process (Heap) and

formal safety assessment (Fsa) in the imo rule making process”, Document Id: MSC.1/Circ.1022-MEPC.1/Circ-391, 2002.

[7] IMO, “Guidelines for formal safety assessment (Fsa) for use in the imo rule-making process document” Id: MSC.1/Circ.1023 - MEPC.1/Circ.392, 2002.

[8] IMO, “Amendments to the guidelines for formal safety assessment (Fsa) for use in the IMO rule-making process (MSC/Circ.1023 - MEPC/Circ.392)”, Document Id: MSC.1/Circ.1180 - MEPC.1/Circ.474. 2005.

[9] IMO, “Mandatory emergency towing systems in ships other than tankers greater than 20,000 Dwt”, Document Id: De 48/14/1, 2005

[10] IMO, “Preliminary FSA study on the application of requirement of inert gas systems to tankers of less than 20,000 Dwt”, Document Id: De 50/17/1, 2007

[11] IMO, “Preliminary FSA study on application of requirement of inert gas systems to tankers of less than 20,000 DWT”, Document Id: Fp 51/10/1, 2006

[12] 중앙해양안전심판원, 2006년도 심판불요처분 통계 분석보고, 중앙해양안전심판원, pp.2-8, 2007.

저 자 소 개



김종호

1982년 한국해양대학교 기관공학과 졸업, 1995년 동대학원 졸업(공학박사), 1987년-1996년 3월 한국선급, 현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 교수