

공식 안전 평가(FSA)에 대하여

여인철 <한국선급 기술연구소 팀장>

1. 개요

FSA란 Formal Safety Assessment의 약자로서 우리말로는 '공식안전평가'라 번역되고 있다. 영국의 Marine Safety Agency에서 1993년 6월 IMO의 해상안전위원회(Maritime Safety Committee)에 제출한 문서에서 처음 나오는 말이지만 개념은 기존의 위험성해석에 기초하고 있다.

FSA의 주요 개념인 위험성(risk)은 사고빈도수와 결과의 함수로 정의된다. 이 개념은 원자력 발전소, 화학플랜트, 해양 구조물등 다른 분야에서는 상당히 오래 전부터 유용하게 사용되어 오던 것이나, 해운·조선분야에는 그다지 많이 쓰이지 않아 왔다. SOLAS와 MARPOL 그리고 OPA 90, ISM Code등에서 보듯이 오랫동안 해운 안전 관련 규정, 규칙 등은 사고가 난후 보완적 차원에서 강화하는 식으로 진행되어 왔으며, 이러한 사후야방문격의 규정으로는 사고를 예방하기 힘들다는 비판과 함께 사고의 요소를 미리 과학적으로 분석하여 그 위험도에 상응하는 규정을 만들어야 한다는 목소리가 높아졌다.

이에 따라 FSA가 도입되었으며, 이를 도입하는 취지는 다른 분야에서 이미 오래 전부터 검증되어 사용되고 있는 위험성해석에 관한 지식을 해운·조선 분야에도 적용시키자는 것이다. 이러한 노력이 주로 IMO와 국제선급연합회(IACS)를 통하여 이루어지고 있으며, IMO에서는 선박, 인명안전확보를 위해 파급효과가 큰 국제규정,

협약 등에 우선적으로 적용하는데 그 목적을 두고 있다.

FSA는 다음의 5가지 단계로 이루어져 있다.

- 1) 위험요소의 파악
(Identification of Hazards)
- 2) 사고와 연관된 위험성 평가
(Risk Assessment)
- 3) 위험성 제어방안
(Risk Control Options) 강구
- 4) 위험성 제어방안에 대한 비용-혜택 평가
(Cost-Benefit Assessment)
- 5) 의사결정 (Decision-Making)

2. FSA 도입의 배경

1980년 이후 국제 해사계는 많은 대형선박사고로 얼룩졌다. 1987년의 Herald of Free Enterprise호 전복사고, 1989년의 Exxon Valdez호 좌초로 인한 기름유출사고, 1991년 Scandinavian Star호의 화재 사고 등의 대형사고로 인하여 해상에서의 인명과 선박 안전이 다 시금 관심의 초점이 되었다.

이에 영국 상원에서는 과학기술특별위원회가 구성되어 이에 대한 원인, 대책에 대하여 조사를 하게 되었으며, 그 결과를 1992년 9월 IMO의 61차 MSC회의에 "선박 설계와 기술의 안전측면"이라는 제목의 보고서(MSC 61/20/12)로 제출하였다. 이 보고서는 "현대과학기술이 해상안전 유지를 위한 시스템에 적절히 이용되지 않고 있다"고 쓰고 있다. 그후 영국정부는 1993년 6

월 IMO의 62차 MSC회의에 “작금의 안전 issue- Formal Safety Assessment”라는 제목의 보고서 (MSC62/24/3)를 제출하였으며, 이것이 FSA의 기원이 되었다.

그후 MSC에서는 작업반이 구성되어 위의 보고서를 근거로 FSA적용 지침을 만들어 왔으며, '97년 6월 68차 회의에서 그 중간지침(Interim Guidelines for FSA Application to IMO Rule-Making Process)안을 채택하기에 이르렀다. 이번 보고서에서는 국제해사계에서 논의가 활발히 진행되고 있는 FSA를 소개하고자 한다.

3. FSA란 무엇인가

FSA를 한마디로 정의하기는 어려우나 IMO의 중간지침에서는 “FSA는 인명, 해상환경 및 재산보호를 포함하여 해상안전향상을 기하기 위한, 위험성과 비용-혜택평가를 사용한 조직적이고 체계적인 안전평가 방법이다

(FSA is a structured and systematic methodology, aimed at enhancing maritime safety, including protection of life, health, the marine environment and property, by using risk and cost-benefit assessment)”라고 정의하고 있다.

FSA의 중요한 개념은 위의 정의에서 보듯 위험성과 비용 - 혜택평가이다. 달리 얘기하면 위험성과 비용 - 혜택평가 등의 위험성 평가에 근거를 둔 과학적이고 포괄적인 해상안전관리체계(maritime safety management system)라고 할 수 있다. FSA의 5단계를 아래에서 자세히 설명한다.

Step 1 : 위험요소 파악

위험요소 (Hazard)란 사람, 재산이나 환경 등에 손상을 초래할 가능성을 지닌 상황으로 정의된다.

Step 1은 당면한 문제를 포괄적으로 정의하여

그에 따른 위해 요소와 위험성, 그리고 사고의 원인과 결과를 조사하고 사고자료와 전문가 판단을 동원하여 위해 요소를 선별하여 등급을 매기는 작업을 하게 되며 다음의 3단계로 나뉘어진다.

1) 문제 정의

고려 대상 문제를 현재 검토중이거나 개발되어 야할 규정들과 관련해서 대상과 범위를 설정하는 과정으로 선박의 종류, 시스템, 관련규정, 고려해 야할 위험성 등이 정의되어야 한다.

2) 위해요소 파악

이는 운항활동에 영향을 주는 많은 위해요소를 파악하는 과정으로 Brainstorming기법이 사용된다. 설계, 건조, 운항 등과 관련되는 모든 전문가로 구성된 그룹이 이미 정의된 문제와 관련된 모든 측면에 대하여 자유로운 토론을 벌여 문제에 철저히 접근함으로써 사고의 원인과 결과의 이해에 도움을 줄 초기적 고장수목(Fault tree) / 사건수목(Event tree)과 영향도(Regulatory Impact Diagram)의 초기구성을 하게 된다.

사고의 원인을 조사, 분석하여 사고에 이르게 한 초기사건(initiating events)을 밝히는 데 fault tree 해석 방법이 쓰이며, 사고의 확대진전, 사고결과의 추적과 사고빈도 발생 예측에 event tree 해석방법이 쓰인다.

사고 범주로는 대개 충돌 또는 접촉, 폭발, 화재, 침수, 좌초, 선체 손상, 기계 기관 손상 등을 들 수 있다.

3) 위해요소의 선별

이는 파악된 위해요소를 분류하고 우선순위를 정하기 위해 사고 자료를 검토 해석하는 과정으로 다음 단계에서의 상세한 위험성 평가를 위하여 파악된 모든 사고에 대한 위험성을 확립하는 단계이다. 여기서 위험성은 사고유형의 발생빈도와 결과의 심각성과의 곱으로 정의된다.

즉, 위험성 = 사고 결과 × 발생 빈도

Step 1의 결과는

- 1) 위해요소 파악자료, 사고원인과 전개과정 파악자료
- 2) Fault Tree, Event Tree, 그리고 이에 대한 설명자료, 그리고
- 3) 사고등급 결정자료라 할 수 있다.

Step 2 : 위험성 평가

Step 2는 기본적으로 각각의 사고 유형과 연관된 위험성을 정량하는 단계로서 다음의 과정을 거친다.

1) 직접 원인, 확대사건 및 결과 파악

Step 1에서 나온 사고 원인에 관한 자료를 검토하여 사고순서를 가능한 한 끝까지 역 추적하여 초기 사건을 찾음으로써 직접적 사고원인을 규명한다. 그리고 그 사고의 가능한 확대전개과정과 그에 따른 인명손상에 이르는 사건을 Step 2의 형식에 맞게 구성한다.

2) 위험성 기여 수목(Risk Contribution Tree) 구성
사고, 그 원인 그리고 인명손상에 이르는 확대전개과정에 대한 정보를 이용하여 위험성 기여수목을 구성하며 사건이 어떻게 결합하여 사고를 유발하는지를 보여 주는 fault tree와 사고가 어떻게 여러 다른 차원의 손실로 진행되는지를 보여주는 event tree를 구성한다.

3) 영향도 구성 및 정량화

사고의 발생 가능성과 사고의 심각도에 미치는 영향을 그 사고로부터 유발되는 선체의 손상 또는 손실과 인명손상의 크기로 나타내기 위하여 범용영향도를 알맞게 수정하여 영향도를 만든다.

4) 위험성 기여수목의 정량화

앞에서 만들어진 위험성 기여수목을 정량하여 여러 원인의 결과에 대한 상대적 기여도를 빈도치로써 나타내는 과정이다.

5) 기초사고에 대한 FN곡선의 계산

각 사고 범주에 대한 FN 곡선 (빈도 F와 인명 손실크기 N의 관계식)을 유도하고 고려 대상에 대한 하나의 FN 곡선으로 통합하여 적분함으로써 잠재인명손상치(Potential Loss of Life per year per vessel)를 구한다.

이 Step 2의 결과는 1)사고의 원인과 결과를 보여주는 위험성 기여수목, 2) 사고의 직접원인과 IMO쪽의 영향을 연결시켜주는 영향도 3) 정량화된 위험성이다.

Step 3 : 위험성 제어 방안

Step 3은 사고 위험성을 제어 또는 관리할 수 있는 수단 또는 방법을 강구하는 과정이며 만족할만한 결과를 얻기 위해 Step 2 위험성평가 및 Step 4 비용-혜택 평가와 상호보완적이고 반복적인 관계를 유지한다. Step 3의 주요 단계는 다음과 같다.

1) 위험성 제어가 필요한 분야에 초점 맞추기

Step 2의 결과를 선별하여 가장 제어가 필요한 분야에 노력을 집중하기 위하여 위험성이 큰 분야의 우선 순위를 열거하고 필요에 따라 위험성 기여수목을 수정 또는 추가 개발한다.

2) 위험성 제어수단(RCM, Risk Control Measures)

기록부 (Log)의 작성

Step 2에서 파악된 위험성과 관련 있는 기존의 RCM을 조사하고 기존의 RCM으로는 충분히 제어되지 않는 위험성에 대하여는 새로운 RCM을 개발한다. 그리고 이 RCM을 조합하여 RCM Log를 만든다.

3) 위험성 제어방안(RCO, Risk Control Options) 기록부 (Log)의 작성

RCM을 조합하여 RCO와 RCO Log를 만드는

작업이다. 이 RCO Log는 Step 3의 주요 결과물이다.

4) 위험성 제어 효과의 평가

Step 2로 돌아가 위험성 기여수목의 데이터를 변화시키며 위험도를 다시 계산함으로써 RCO의 효과를 평가한다.

Step 3의 결과물은 1) RCM과 RCM Log, 2) RCO와 RCO Log 그리고 3) 이를 뒷받침할 수 있는 충분하고 합당한 근거자료이다.

RCO Log는 Step 3의 가장 중요한 결과물로서 모든 RCO를 포함한다.

Step 4 : 비용-혜택 평가

비용-혜택평가는 이미 다른 분야에서 많이 쓰이고 있는 방법이며, 이번 단계에서는 Step 3에서 제시된 RCO를 집행하기 위해 드는 총비용과 그에 따른 혜택을 단위위험성감소비용(Cost per Unit Reduction in Risk)을 계산함으로써 비교 검토하여 Step 5 의사결정과정의 입력자료를 만드는 과정이다. 여기서 주목해야 할 점은 해운의 다양성 때문에 비용-혜택평가만으로는 가장 좋은 결정을 내릴 수 없다는 것이다.

Step 4는 다음의 5개의 과정으로 이루어진다.

1) 문제정의, 기초경우 정의, RCO정의

FSA의 이전 단계에서 얻어진 결과를 정리하여 비용-혜택평가에 적합한 형식으로 재구성하는 단계로 기초경우, 즉 현존하는 상황(do-nothing scenario라고도 함) 또는 RCO를 실행에 옮기기 전의 있는 그대로의 상황에 대한 정의를 내리고 비용-혜택평가의 입력으로서 각각의 RCO에 대한 상세자료, RCO를 실행에 옮길 때의 혜택에 대한 상세자료 등을 준비하는 과정이다.

2) RCO 비용 산정

RCO 비용을 산출하고 누가 그 비용을 대야 하

는지를 파악한다. 비용 항목을 파악하고 비용 정보를 수집하며, 각 RCO대해 매년 들어가는 총 비용을 테이블화 한다.

3) RCO 혜택 산정

각 RCO와 연관된 혜택을 산출하고 누가 혜택을 받는지 파악하는 단계이다.

4) RCO의 선택

각 RCO의 상대적 효율을 알기 위하여는 단위 위험성 감소 비용, 즉, CURR을 다음 식으로부터 구하여야 한다.

CURR =

$$\frac{\text{Net Cost of Implementation} (-\text{Cost})}{\text{Possible Reduction in Risk} (\text{Benefit})}$$

CURR은 단위 위험성을 줄이기 위해 얼마가 드는가를 나타내며, 각기 다른 RCO의 비용효율성을 재는 척도가 된다.

5) RCO의 재평가

비용-혜택평가 결과를 Step3으로 넘겨 Step 3에서 RCM을 달리 조합함으로써 RCO의 효율을 증진할 수 있는지를 평가한다.

Step 4의 결과는 1) Step 3에서 제시된 각각의 RCO에 대한 비용과 혜택, 2) 각각의 이해당사자의 비용과 혜택, 그리고 3) CURR으로써 표현된 비용 효율성이라고 할 수 있다.

Step 5 : 의사 결정 (Decision-Making)

Step 1에서 4까지의 과정에서 얻어진 정보를 이용하여 비용효율적인 결정을 내리는 단계로 주로 IMO MSC에서 협약, 규정에 대한 의사결정을 하는데 필요한 지원수단으로 개발되었다. 그러나 IMO회원국 또는 협약·규정의 이해당사자(stakeholder)들이 그들의 제안을 하거나 다른 제안이 그들에 미칠 영향을 알아내는데도 쓸 수 있다.

4. 끝맺는 말

FSA는 1993년에 영국정부에 의해 IMO에서의 규정제정 과정에 쓰이도록 제안되어 대다수 IMO 회원국의 지지를 얻어 왔으며, 이에 대한 적용 중간지침도 채택된 상태이다. 따라서, 앞으로 IMO의 협약, 규정 등의 제정과정에서 FSA가 사용될 전망이며, 이는 전세계의 기국, 항만국 정부와 해운선사, 조선소등에 지대한 영향을 미칠 것으로 보인다.

또한 IMO의 FSA채택은 지금까지의 안전문화에 많은 영향을 미칠 것으로 보인다. 즉 수동적이고 단순히 규정에 의존하던 순응문화(complianceculture)가 위험요소를 미리 내다보는 능동적이고 사고 예방적인 성능문화(performance culture)로 바뀌리라는 것이며, 이는 해상안전과 환경오염방지를 위해 긍정적인 변화라 할 수 있다. 물론 이에는 정부뿐 아니라 해운조선업계의 종사자, 학계와 관련 연구소에서의 적극적인 이해와 연구 노력이 전제가 되고 있다.

참고 문헌

[1] IMO MSC 문서 MSC 61/INF. 7, "House of Lords Select Committee on Science and Technology, Report on Safety Aspects of Ships Design and Technology", 영국정부, 1992. 9
 [2] IMO MSC 문서 MSC 62/24/3, "Consideration of Current Safety Issues, Formal Safety Assessment," 영국정부, 1993. 3
 [3] IMO MSC 문서 MSC 65/24/2, "Formal Safety Assessment," 영국정부, 1995. 2 Formal Safety Assessment, IACS Background Paper, IACS, 1995. 3
 [4] IMO MSC FSA 세미나 자료, Marine Safety Agency, 1995.5 Brennan, E. G., Peachey, J. H, Recent Research into Formal Safety Assessment for Shipping, Lloyd's Register Technical

Association, Paper No. 7 Session 1995-1996
 [5] IMO MSC 문서 MSC 66/14, "Formal Safety Assessment," 영국정부, 1996. 3
 [6] IMO MSC 문서 MSC 66/Informal Paper, "A Methodology for Formal Safety Assessment of Shipping," 영국정부, 1996. 5
 [7] IMO MSC 문서 MSC 66/WP.14, "Formal Safety Assessment," Report of the Working Group 3, 1996. 6
 [8] Emi, H 외, 선박의 FSA 서설, 일본해사협회회지 No.235, 1996(II)
 [9] 여인철 외, 공식안전평가에 대한 기초연구, FSA 연구회 최종보고서, 한국선급 1996. 12
 [10] Riding, J.F., Formal Safety Assessment(FSA) : putting risk into marine regulations, Trans IMarE, Vol 109, Part 2, PP 185-192, 1997
 [11] IMO MSC 문서 MSC 68/WP.13, "Draft-Interim Guidelines for FSA Application to IMO Rule-making Process," MSC 67 Working Group 3, 1997. 6
 [12] 선박의 확률론적 안전평가방법에 관한 조사연구보고서, 일본조선연구협회 제42기준연구부회, 평성 8년 3월



여인철

- 1955년 4월 10일생
- 1991년 버지니아주립대 공학박사
- 1981년 이후 KR 책임연구원
- 관심분야 : 구조신뢰도/위험성 해석, 복합재료 해석