

공식안전평가시스템에 의한 선박 충돌사고 위험성 평가에 관한 연구(I)

양 원 재*·전 승 환*·금 종 수**

Risk Assessment of the Ship's Collision using Formal Safety Assessment Methodology

Weon-Jae Yang*·Seung-Hwan Jun*·Jong-Soo Keum**

1. 서 론

해상에서 선박의 안전관리체제를 확립하고 항법을 규정하여 선박 항행상의 각종 위험을 방지하고 장애물을 제거함으로써 해상안전을 확보하려는 많은 제도적, 관리적, 인적 등의 노력을 기울임에도 불구하고 선박교통량의 증가, 선박의 대형화와 고속화 등으로 인하여 여전히 크고 작은 해양사고는 발생하고 있는 것이 현실이라고 할 수 있다.

해운산업분야뿐만 아니라 모든 활동에서 위험으로부터 자유로운 것은 없다. 그렇기 때문에 본질적인 위험성과 드러나지는 않지만 내재되어있는 잠재적인 위험성에 대한 정확한 파악과 평가 그리고 적절한 제어 및 관리는 반드시 필요하며 대단히 중요하다고 볼 수 있다.

인간의 필요에 의해 산업체에서 생산활동이 이루어지고 있는 장소, 예를 들면, 화학플랜트, 원자력발전소, 해양구조물분야, 항공산업, 철도산업 등에서는 이미 오래 전부터 위험성해석에 대한 연구와 안전관리체제를 확립하고 각종 사고에 기인한 인명손실, 환경오염 및 피해, 재산상의 손실 등에 대해서 사전에 예방하고 사고 발생 시 그 피해를 최소화하려는 수많은 노력을 기울여 온 것이 사실이다.¹⁾

그러나 선박운항을 비롯한 해운산업분야에서는 최근에 들어와서야 이러한 위험성에 대한 체계적인 연구의 필요성과 그 중요성을 인식하여 다각적인 측면에서 위험성 평가방법 및 기술적인 내용에 관한 논의가 활발하게 이루어지고 있으며 그 구체적인 방법론으로 공식안전평가시스템(Formal Safety Assessment, FSA)이라는 위험성 해석 및 평가법을 제안하고 각종 해양사고 사례에 적용하여 그 유효성과 필요성을 확인하고 있는 것이 현실이다.²⁾

따라서 본 연구에서는 IMO(국제해사기구)를 중심으로 수행되고 있는 FSA 방법론을 통한 위

* 한국해양대학교

** 목포해양대학교

험성 평가에 대해서 각 단계별로 나누어진 위험성 해석 과정에서 첫 번째 단계의 위해요소파악과 관련하여 기존의 여러 가지 방법론 이외에 정성·정량적인 속성을 포함하고 있는 인간의 주관적인 요소를 고려하여 복잡한 시스템을 구조화하는데 유효한 것으로 알려진 퍼지구조모델(Fuzzy Structural Modeling, FSM)법을^{4,7)} 이용하여 파악된 위해요소들의 중요성을 감안하여 그 우선순위를 결정하였다. 또한 10년간(1991~2000년)의 국내 해양사고통계자료를 선박 충돌사고를 중심으로 분석하여 그 위험성을 정량적으로 평가하였으며, 이것은 해상에서 선박운항과 관련하여 발생하는 크고 작은 해양사고를 사전에 예방하고 그 피해를 최소화할 수 있도록 하는 하나의 방안으로써 해상안전관리시스템을 구축하고자 하는데 목적을 둔 기초 연구를 수행하였다.

2. 공식안전평가시스템과 인적요소

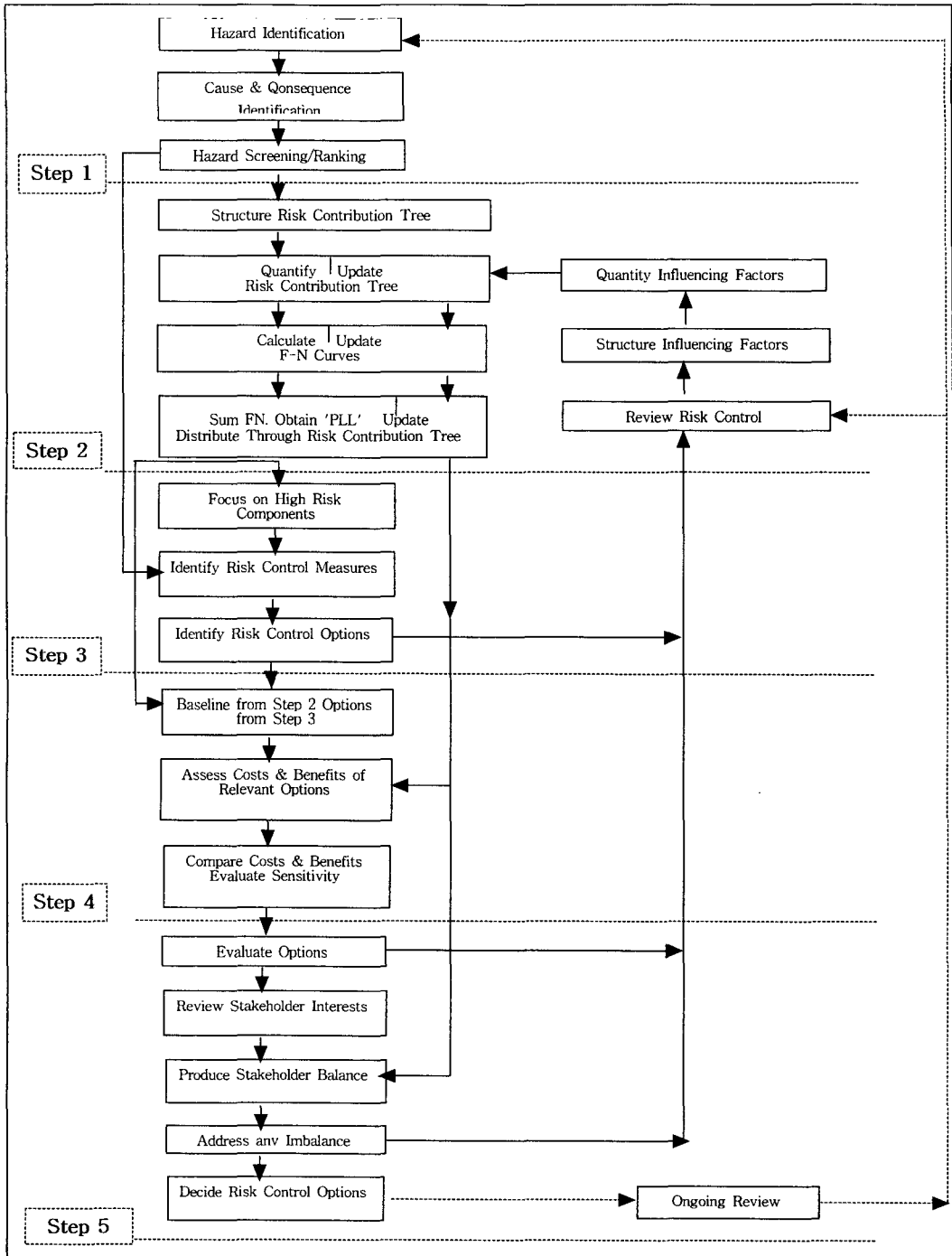
2.1 공식안전평가시스템

공식안전평가시스템은 인명, 해상환경 및 재산보호를 포함하여 해상안전을 확보하기 위한 위험성(Risk)과 비용-혜택평가(Cost-Benefit Assessment)를 사용한 조직적이고 체계적인 안전평가 방법, 즉 위험성과 비용-혜택평가 방법에 근거를 둔 과학적이고 포괄적인 해상안전 관리체계(maritime safety management system)라고 할 수 있다.²⁾

FSA는 다음 5단계로 구성된다.

1. 위해요소의 파악(Identification of Hazards)
2. 위험성 평가(Risk Assessment)
3. 위험성 제어방안(Risk Control Option)
4. 비용-혜택평가(Cost-Benefit Assessment)
5. 의사결정을 위한 권고(Recommendation for Decision Making)

다음 <그림 1>은 공식안전평가시스템의 각 단계별 수행과정을 요약한 흐름도 이다.



<그림 1> 공식안전평가 방법론의 흐름도

위의 흐름에 따른 각 단계별 시스템 내용을 정리하면 아래와 같다.

Step 1 : 위해요소 파악(Hazard Identification)

위해요소(Hazard)란 인명, 재산, 환경 등에 손상을 초래할 가능성을 지닌 상황으로 정의된다. 이 단계의 당면한 문제를 포괄적으로 정의하여 그에 따른 위해요소와 위험성, 그리고 사고의 원인과 결과를 조사하고 사고자료와 전문가의 판단을 동원하여 위해요소를 평가하여 사고등급(Ranking)을 정하는 작업을 하게 되며 다음의 3단계로 나뉘어진다.

1) 문제정의

고려하는 문제를 현재 검토중이거나 개발되어야할 규정들과 관련해서 대상과 범위를 설정하는 과정으로 선박의 종류, 시스템, 관련규정, 고려해야할 위험성 등이 정의되어야 한다.

2) 위해요소 파악

이는 운항중에 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 구성을 하게 된다.

사고의 원인을 조사, 분석하여 사고에 이르게 한 초기사건(Initiating events)을 밝히는데는 고장수목해석(FTA) 방법이 쓰이며 사고의 확대진전, 사고결과의 추적과 사고빈도 발생예측에 사건수목해석(ETA)방법이 쓰인다. 사고 범주로는 대개 충돌, 접촉, 폭발, 화재, 침수, 좌초, 선체손상, 기계/기관 손상 등을 들 수 있다.

3)위해요소의 평가

이는 파악된 위해요소를 분류하고 그에 따른 사고의 우선 순위를 정하기 위해 사고자료를 검토해석하는 과정으로 2단계에서의 상세한 위험성 평가를 위하여 파악된 모든 사고에 대한 위험성을 확립하는 단계이다. 여기서 위험성은 사고유형의 발생빈도와 결과의 심각성의 곱으로 정의된다.³⁾

$$\text{위험성} = \text{사고결과(Consequence)} \times \text{발생빈도(Frequency)}$$

Step 1 의 결과는 첫 번째, 위해요소 파악자료, 사고원인과 전개과정 파악자료, 두 번째, 고장수목, 사건수목 그리고 이에 대한 설명자료, 세 번째, 사고등급 결정자료라 할 수 있다.

Step 2 : 위험성 평가(Risk Assessment)

이 단계는 기본적으로 각각의 사고 유형과 연관된 위험성을 정량화 하는 단계로서 다음 과정을 거친다.

- ① 직접원인, 확대사건 및 결과파악
- ② 위험성기여수목(Risk Contribution Tree)구성
- ③ 영향도 구성 및 정량화
- ④ 위험성기여수목의 정량화
- ⑤ 기초사고에 대한 F-N곡선의 계산

Step 2 의 결과는 첫 번째, 사고의 원인과 결과를 보여주는 위험성기여수목, 두 번째, 사고의 직접원인과 IMO 등으로부터의 영향을 연결시켜주는 영향도, 세 번째, 정량화된 위험성이다.

Step 3 : 위험성 제어방안(Risk Control Options)

이 단계는 사고 위험성을 제어 또는 관리할 수 있는 수단과 방법을 강구하는 과정이며 만족한 결과를 얻기위해 Step 2 및 Step 4와 상호보완적이고 반복적인 관계를 유지한다. 이 단계의 주요단계는 위험성제어가 필요한 분야에 초점 맞추기, 위험성제어수단(Risk Control Measure) 파악과 그 기록부의 작성, 위험성 제어수단을 실용적인 방안(RCO)으로의 그룹화하는 위험성제어방안(RCO)과 그 기록부의 작성, 위험성제어효과의 평가이다.

이 단계의 결과는 RCM과 RCM Log, RCO와 RCO Log, 그리고 이를 뒷받침 할 수 있는 합당한 근거자료이다.

Step 4 : 비용-혜택 평가(Cost-Benefit Assessment)

이 단계에서는 Step3에서 제시된 각 위험성 제어방안을 실행하기 위해서 드는 총비용과 혜택을 단위 위험성 감소 비용(CURR : Cost per Unit Reduction in Risk)을 계산함으로써 비교 검토하여 Step 5의 의사결정과정의 입력자료를 만드는 과정이다.

여기서 CURR은 단위 위험성을 줄이기 위해 얼마의 비용이 소요되는지를 나타내며 각기 다른 RCO의 비용효율성을 재는 척도가 된다. 이 단계의 결과는 Step 3에서 제시된 각각의 제어방안에 대한 비용과 혜택, 각각의 이해당사자의 비용과 혜택, 그리고 단위 위험성 감소비용으로 표현된 비용효율성이라 할 수 있다.

Step 5 : 의사결정을 위한 권고(Recommendation for Decision Making)

Step 1에서 Step 4까지의 과정에서 얻어진 정보를 이용하여 비용 효율적인 결정을 내리는 단계로 주로 IMO에서 협약·규정에 대한 의사결정을 하는데 필요한 지원수단으로 개발되었다. 그러나 IMO회원국 또는 협약·규정의 이해당사자(Stakeholder)들이 그들의 제안을 하거나 다른

제안이 그들에게 미칠 영향을 알아내는데도 쓸 수 있다.

2.2 인적요소

인적요소는 사고의 유발과 회피에 기여하는 가장 중요한 요소 중의 하나로 사고발생, 근본적인 원인 또는 영향과 직접적으로 연관지어 공식안전평가시스템의 구성체계 내에서 조직적으로 다루어져야 하며 이러한 인적요인을 고려하기 위한 적절한 기법이 사용되어야 한다.

그리고 이 시스템의 각 단계별 사용하고 있는 모든 요소들을 분석 또는 평가하는 방법가운데 인적요소에 대하여 어떻게 이 시스템에 접합시키느냐 하는 것과 인적요소의 모델화 도구에 대하여 살펴보면 먼저, 인적요소를 시스템에 도입하는 목적은 첫 번째, 위험성 분석 전문가로 하여금 인적요소에 대한 인식을 제고하여 해상안전에 있어서 인적요소의 중대한 역할을 보다 많이 고려하도록 하기 위한 것이며 두 번째, 해상에서 사용하고 있는 시스템에 인적과실의 모델화와 실수를 예상할 수 있도록 하기 위한 기술을 제공하기 위해서 세 번째, 인적과실 및 그 이면에 숨어있는 원인에 대한 확률을 계량화 네 번째, 인간의 실수로 발생하는 위험을 감소시키기 위하는 데에 그 목적이 있다고 할 수 있다.8)

이와 같은 인적요소 모델화를 위한 도구는 인간이 실수를 할 것 같은 것을 수치적으로 평가하기 전에 먼저 이들에 대하여 시스템적 방법을 통한 식별을 할 필요가 있다. 이 방법에는 사람이 어떠한 일을 정상적으로 운영하고 있거나 사고발생의 진행상태로 들어가기 시작할 때 인간의 행동을 모델화하는 기술로 구성되어 있다. 이것은 사고 발생을 초기화하는 행동이 되었는지 또는 인명의 손실로 이어지는 사고발생의 상승의 결과가 되는 인간의 실수로 되는 행동인지를 식별하게 하는 것이 되며 이 방법에는 다음과 같이 4단계로 구성되어 있다.

제1단계 : 직무구성요소 파악 → 제2단계 : 중대한 직무 식별 → 제3단계 : 직무분석
→ 제4단계 : 수행 영향요소 분석

우선 제1단계는 다양한 상태의 시스템 작동기간 동안 이루어지는 정상적인 직무와 비정상적인 직무 활동을 명확히 하는 것이고, 제2단계는 만일 인간의 실수가 발생할 경우 심각한 결과를 초래할 수 있는 경우에 있어서 그러한 직무가 무엇인가를 식별하기 위한 선별과정이며, 제3단계는 2단계에서 식별된 중대한 직무의 상세한 내용과 그 분석이 포함된다. 마지막으로 제4단계는 인간이 실수를 야기할 수 있음직한 것을 결정하는 요소들을 식별하는 것이다. 그러나 시스템에서의 계량화 과정 중 특정요소에 대한 평가는 전문가의 판단에 의존하는 한계성을 가지고 있다.

3. 선박 충돌사고 위험성 평가

3.1 문제의 정의(Problem Definition)

지금까지 국내에서 발생한 해양사고의 종류별 현황분석에 관한 <표 1>과 <표 2>에서와 같이 가장 많은 발생빈도를 보이는 것이 충돌사고이다. 또한 사고선박의 크기는 100톤 미만이 대부분을 차지하고 있으며 화물선과 어선의 충돌사고가 현저하게 나타나고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 사고들의 원인을 살펴보면 인적요소에 의한 운항과실이 가장 높은 사고의 원인으로 드러나고 있다. 따라서 본 연구에서는 해상에서 선박운항의 안전확보 차원에서 해양사고 중 충돌사고 문제에 대하여 그 위험성평가를 하고자 한다.

<표 1 > 국내 해양사고 현황분석
(1991~2000년)

구 분	최대 발생빈도	
선박용도별/사고종류별	충돌	
톤수별	20~100톤	
해역별/항구별	남해/인천항	
인명피해(사망,부상)	충돌	
손상별	진손	침몰
	중손	충돌
	경손	기관손상
선박별 손상	어선	
시간별	04~08시	

<표 2 > 국내 충돌사고 현황분석
(1991~2000년, 해양심판원 재결분)

구 분	최대 발생빈도
충돌선박	비어선과 어선
시정상태	맑은 날씨
충돌시 속도	5kt이상~10kt미만
상대선 초인거리	1마일 미만
충돌원인	운항과실(인적요소)

3.2 위해요소 파악(Hazard Identification)

해양사고와 관련된 요소는 하드웨어적인 요소, 인적요소, 외부적인 요소 등으로 나누어 볼 수 있고 그 중에서도 특히 인적요소가 가장 많은 사고의 원인요소로 작용하고 있다는 것은 수많은 사고의 원인분석결과를 통하여 나타나고 있다. 또한 충돌사고에 대한 통계분석결과를 살펴보면 약 80%이상이 운항과실에 원인이 있다는 것을 알 수 있으며 조선부적절, 경계소홀, 항행법규위반 등과 같은 항해일반원칙 미준수 및 충돌관련법규위반에 관련된 인적요소가 충돌사고의 원인 중에서도 대부분을 차지하고있는 것을 보면 충돌사고와 인적요소는 불가분의 관계가 있다는 것이 분명하게 되었다. 그러므로 본 연구에서 충돌사고와 관련된 위해요소 파악은 인적요소에 집중하여 각 요소가 사고에 미치는 영향을 알아내고 그 위험성을 분석하고자 한다.

3.2.1 충돌사고와 인적요소

해양사고 중에서 선박의 충돌사고와 관련된 원인은 단순히 하나의 요인에 의한 것보다는 여러 요인이 복합적으로 상호작용을 일으켜서 결국 사고를 발생한다고 본다. 우선 이와 같은 다양한 사고요인을 크게 세 가지로 분류하여 정리하면 다음 <표 3>과 같이 나타낼 수 있다.

<표 3 > 충돌사고관련 요소 파악

구 분	내 용
하드웨어적 요소	선박의 구조, 설계, 추진력, 조종성능, 각종 항해장비, 전기적인 요소, 통신장비, 안전시스템 등 선박 자체적인 원인 등
인적요소	승무원의 자격, 능력, 각종 항법 및 안전관련 절차준수, 건강, 의사소통, 안전문화, 언어능력, 교육, 훈련, 지휘통제능력(리더쉽), 직무에 대한 의욕 및 사기 등
외부적 요소	해역, 바람, 해상상태, 조류, 해류, 시정, 홀수제한, 속도제한, 항로, 통항분리대, 예인선 운용 등

그러나 실제 해양사고 원인별 통계분석결과에서 뿐만 아니라 FSA 방법론에서도 사고의 근본적인 원인이 되고 가장 많은 영향을 미치는 인적요소를 무엇보다 중요하게 다루고 있다. 국내 해상에서 발생한 충돌사고에 대한 통계를 보면 인적요소에 의한 영향이 약 85%로 가장 높은 것으로 드러나고 있으며, 인적요소가 사고에 직접적, 간접적, 그리고 사고의 확대진전요소로 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 따라서 충돌사고에 관련된 인적요소를 철저히 분석하고 그 대책을 마련하는 것이 무엇보다 필요하고 시급한 문제라고 할 수 있다.

3.2.2 인적요소의 분류

선박운항에 있어서 사고를 유발시키는 인적요소의 주요범주를 미국 연안경비대 Quality Action Team의 “Prevention Through People”보고서에서는 관리적 요소, 운영자 요소, 작업환경 요소, 지식요소, 의사결정요소 등으로 분류하고 있으며⁹⁾, IMO의 해상안전위원회 및 해양환경 보전위원회에서 공동으로 발행한 회람문서에서는 인간성능을 저하시키는 요소, 해상 환경적 요소, 안전행정 요소, 관리적 요소, 정신적 요소 등으로 분류하고 있다.¹⁰⁾ 또한 해상안전위원회에서는 “해양사고에 있어서 인적요소의 역할”이라는 문서에서 인간의 의사결정에 영향을 미치는 인적요소의 분류로 문화적요소, 개인능력 및 상황인식 요소, 건강요소, 선박 요소, 법적 요소, 사회적 요소 등으로 나누고 있다.¹¹⁾

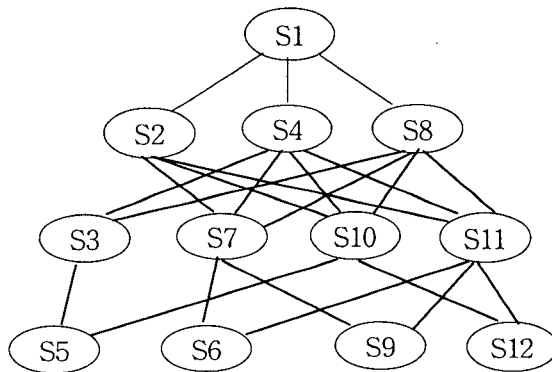
이상과 같은 다양한 분류방법이 있지만 본 연구에서는 FSA방법론에 의한 위해요소를 파악하기 위해 충돌사고와 관련한 위해요소 범주인 개인능력, 절차준수, 내부 및 외부 근무환경, 의사소통, 피로, 유용한 정보 등의 각 세부요소들에 대해서 Brainstorming법을 이용하여 인적요소들

을 다음 <표 4>와 같이 정리하였다.

<표 4 > 충돌사고발생 인적요소

요소	요소의 내용	요소	요소의 내용
S1	충돌사고의 인적요소	S7	교육·훈련의 부족
S2	승무원 자질 및 능력부족(전문지식 및 기술 등)	S8	의사소통 실패
S3	승무원 피로(업무과중)	S9	초과속도
S4	부적합한 운항계획 및 절차	S10	불충분한 견시
S5	배치 승무원수의 부족	S11	충돌예방규칙 미준수
S6	각종 장비 사전테스트 미실시	S12	전자장비 과신

그리고 추출된 인적요소에 대하여 전문가의 의견을 수렴하여 각 요소간의 상대적인 중요도를 주관적으로 나타내도록 하여 그 결과를 바탕으로 정성·정량적인 속성을 포함하고 있는 인간의 주관적인 요소를 고려하여 시스템구조를 모델화 하는데 유효한 방법으로 알려져 있는 FSM법을 이용하여 각 요소를 계층화하고 계층간 및 계층에 속한 요소간의 종속관계를 구조그래프로 나타낸 것은 다음 <그림 2>와 같다.¹²⁾ 이 구조그래프를 이용하여 인적요소와 관련된 위해요소들의 우선순위를 결정하게 되는데 이 결과는 FSA방법론에 의한 Step 3의 위험성 제어 방안에서 시급하고 중요한 분야에 초점을 맞추기 위한 것이라 할 수 있다.



<그림 2> FSM법에 의한 구조그래프 결과($p = 0.45$, $\lambda = 0.5$)

3.3 위험성 평가(Risk Assessment)

3.3.1 충돌사고

해운산업분야의 해상안전을 확보하기 위해서는 먼저 기존에 발생한 해양사고를 정확하게 분석하고 그 현황을 체계적으로 파악하여 문제의 초점이 무엇인가를 찾아내는 것이 중요하다고 할 수 있다. 다음 <표 5>는 국내에서 발생한 1991년~ 2000년 사이의 해양사고통계자료를 충돌사고를 중심으로 하여 정리한 것이며, 이 자료내용을 토대로 충돌사고 발생빈도와 인적요소에 의한 충돌사고 발생빈도 그리고 해역별 충돌사고 발생빈도를 알아보았다.

<표 5> 충돌사고 통계(1991 ~ 2000년)

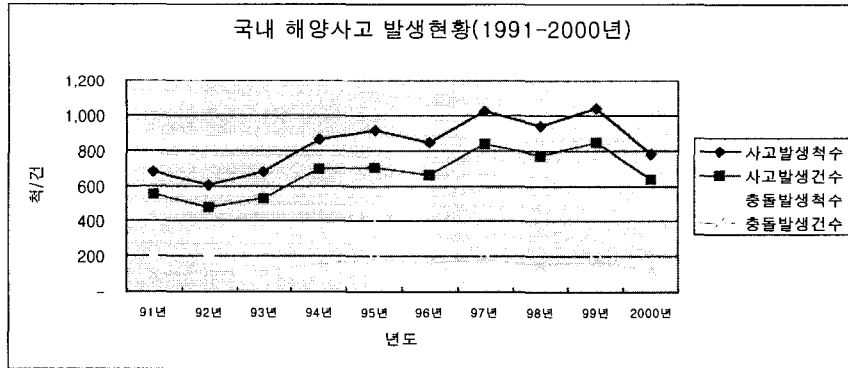
내용 년도	전체 선박 척수	전체 사고		충돌사고						인명사상		충돌인명피해(명)			충돌선박피해(건)			
		척수	건수	척수	건수	항내	연해	원양	척수	건수	전체	사망	부상	전체	전손	중손	경손	
1991	108,644	678	555	222	102	15	64	16	10	10	31	29	2	64	26	12	26	
1992	99,085	606	476	230	108	22	54	11	3	3	69	42	27	102	19	33	50	
1993	92,464	678	529	250	117	21	59	23	12	10	76	42	34	117	29	51	37	
1994	82,356	868	699	317	156	30	71	18	5	5	75	55	20	95	18	29	48	
1995	81,769	911	709	375	183	23	84	20	8	8	115	80	35	181	44	60	77	
1996	80,354	844	661	347	170	44	104	32	15	15	68	52	16	148	15	34	99	
1997	86,134	1,027	840	365	181	44	72	28	6	6	85	44	41	125	29	28	68	
1998	95,903	936	772	295	147	28	102	11	8	8	45	27	18	78	12	7	59	
1999	101,307	1041	849	356	173	22	80	29	14	13	158	73	85	113	15	28	70	
2000	102,384	780	634	270	130	32	62	26	19	19	46	33	13	71	9	15	47	
합계	930,400	8,369	6,724	3,027	1,467	281	752	214	100	97	768	477	291	1,094	216	297	581	
평균	93,040	837	672	303	147	28	75	21	10	10	77	48	29	109	22	30	58	

위의 충돌사고 발생빈도 분석에 관한 <표 6>과 같이 국내 해양사고 중에서 충돌사고 발생현황은 전체사고의 약 36%이며, 그 가운데서 인적요소에 기인한 충돌사고의 발생빈도는 약 85%로 거의 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 충돌사고 발생해역현황을 살펴보면 연해구역 약 60%, 항내 약23%, 원양구역 약17% 등의 순으로 발생하는 것을 알 수 있으며, 해양사고 중에서 충돌사고에 대한 인명사상사고는 약 6.6%정도 발생하고 있는 것으로 나타나고 있다.

<표 6 > 해양사고 발생빈도 분석

구 분		발생빈도
연간 척당 사고 (1991~2000년)	척당 전체 해양사고	9.00E-03
	척당 충돌사고	3.25E-03
	전체 해양사고와 충돌사고	3.62E-01
	척당 인명사상사고	1.04E-03
인적요소에 의한 사고 (1988~2000년, 건수)	전체 해양사고에서 인적요소 (3773건/5690건)	6.63E-01
	충돌사고에서 인적요소 (2073건/2438건)	8.50E-01
해역별 충돌사고 (해양안전심판원 재결분) (1991년~2000년, 건수)	항내	2.25E-01
	연해주역(평수구역포함)	6.03E-01
	원양구역(근해포함)	1.72E-01

다음 <그림 3>은 국내에서 발생한 해양사고 현황을 나타낸 것이다.



<그림 3 > 국내 해양사고 발생현황(1991-2000년)

다음 <표 7>은 해양사고통계를 이용한 충돌사고 발생해역분포와 그로 인하여 사망에 이르게 한 인명피해결과, 그리고 인명에 대한 척당 그 위험성을 나타낸 것이다. 단 여기서 인명피해는 행방불명자도 사망자수에 포함하였고 부상자수는 부상 10명을 1명 사망으로 환산하여 전체 인명피해자로 하였다.13)

<표 7 > 충돌사고의 발생해역, 인명피해, 위험성 분석

	발생빈도(Frequency)	결과(Consequence)	위험성(Risk)
충돌(Collision)	3.25E-03	496명/3,027척=0.164	496명/93,040척=0.00533
항내	7.31E-04	-	-
연해주역	1.96E-03	-	-
원양구역	5.59E-04	-	-

3.3.2 인명 및 선박피해와 환경오염

해양사고에 의한 인명피해, 재산피해, 환경오염 등에 대해서 적극적이고 능동적인 예방책을 마련하기 위한 것이 공식안전평가시스템의 가장 주된 목적이라 할 수 있고 그렇기 때문에 해양사고에 의한 인명손실크기, 선박피해규모, 오염발생현황을 파악하고 분석하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 다음 <표 8>은 국내 해양사고 결과 발생하는 인명피해를 나타낸 것이며, <표 9>는 사고에 의한 인명피해 발생빈도를 나타낸 것이다. 또한 <그림 4>와 <그림 5>는 인명피해현황을 도식적으로 나타낸 것이다.

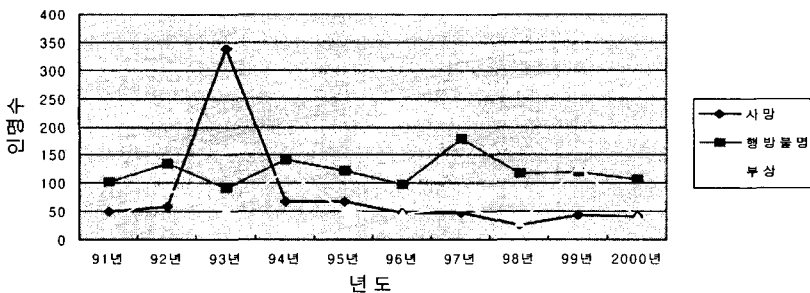
<표 8> 전체 해양사고와 충돌사고 인명피해 현황비교

구분 년도	전체 해양사고		충돌사고	
	사망	부상	사망	부상
91년	153	31	29	2
92년	195	89	42	27
93년	430	53	42	34
94년	209	122	55	20
95년	190	50	80	35
96년	147	46	52	16
97년	227	58	44	41
98년	143	30	27	18
99년	164	129	73	85
2000년	149	40	33	13
계	2007	648	477	291

<표 9> 해양사고에 의한 인명피해 발생빈도

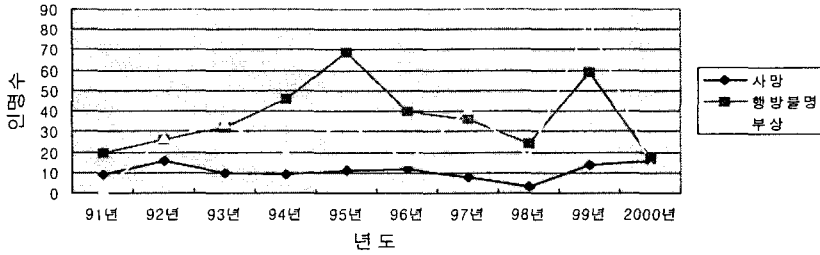
구 분		인명피해 발생빈도
전체 해양사고(사망, 행방불명, 부상)		2007명/8369척=0.240명
충돌사고	사망, 행방불명, 부상	768명/3027척=0.254명
	사망, 행방불명	477명/3027척=0.158명
	부상	291명/3027척=0.096명

해양사고 인명피해현황(1991년 - 2000년)



<그림 4> 해양사고 인명피해 현황(1991-2000년)

충돌사고 인명피해 현황(1991-2000년)



<그림 5> 충돌사고 인명피해 현황(1991-2000년)

해양사고에 의한 선박피해의 통계구분은 침몰 또는 행방불명, 좌초 및 화재 등으로 구조불능 상태가 되거나 수리하여도 선박으로 사용할 수 없는 경우는 전손으로 하였고, 손상의 정도가 심하여 스스로 운항이 불가능한 경우는 중손, 손상의 정도가 경미한 경우는 경손으로 하였다. 다음 <표 10>은 선박피해 발생빈도를 나타낸 것이다.

<표 10> 해양사고에 의한 선박피해 발생빈도

구분		선박피해 발생빈도
전체 해양사고(전손, 중손, 경손)		1094건/6724건 = 0.163(1.63E-01)
충돌사고	전손, 중손, 경손	1094건/1467건 = 0.746(7.46E-01)
	전손	216건/1467건 = 0.147(1.47E-01)
	중손	297건/1467건 = 0.202(2.02E-01)
	경손	581건/1467건 = 0.396(3.96E-01)

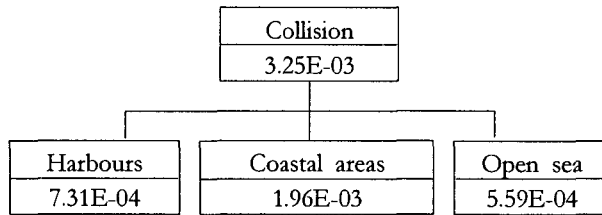
해양사고에 의한 환경오염피해를 발생하는 선저폐수, 병커유, 경유, 폐기물, 유해물질 등의 유출량을 나타내는 다음 <표 11>에 의하면 해양사고 발생건수(1990~1999년, 6654건)에 의한 해상환경오염 발생빈도는 5.26E-01이다.

<표 11> 해양사고에 의한 오염발생현황(1990-1999년)

연도	발생건수	유출량(kl)	연도	발생건수	유출량(kl)
1990	248	2420.6	1995	299	15775.9
1991	240	1257.0	1996	337	1720.1
1992	328	2942.5	1997	379	3441.0
1993	371	15460.3	1998	470	1050.2
1994	365	456.1	1999	463	386.9
계				3500	44910.6

3.3.3 위험성 기여수목 및 사건수목해석(ETA)

국내 해양사고에 대한 분석결과에서 충돌사고의 하위범주(Risk Sub-categories)는 항내, 연해구역, 원양구역으로 구분할 수 있으며, 다음 <그림 6>은 충돌사고에 대한 위험성 기여 수목(Risk contribution tree)을 정량적으로 나타낸 것으로 연안해역의 발생빈도는 3.25E-03으로 충돌사고가 가장 많이 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 그리고 이 해역에서의 인적요소에 의한 발생빈도는 1.67E-03이다. 따라서 연안해역의 충돌사고 감소 및 예방에 초점을 맞추어 FSA방법론에 의한 Step 3에서 그 제어방안을 마련하는 것이 필요하고 중요한 사항이라고 할 수 있겠다.



<그림 6> 위험성 기여 수목

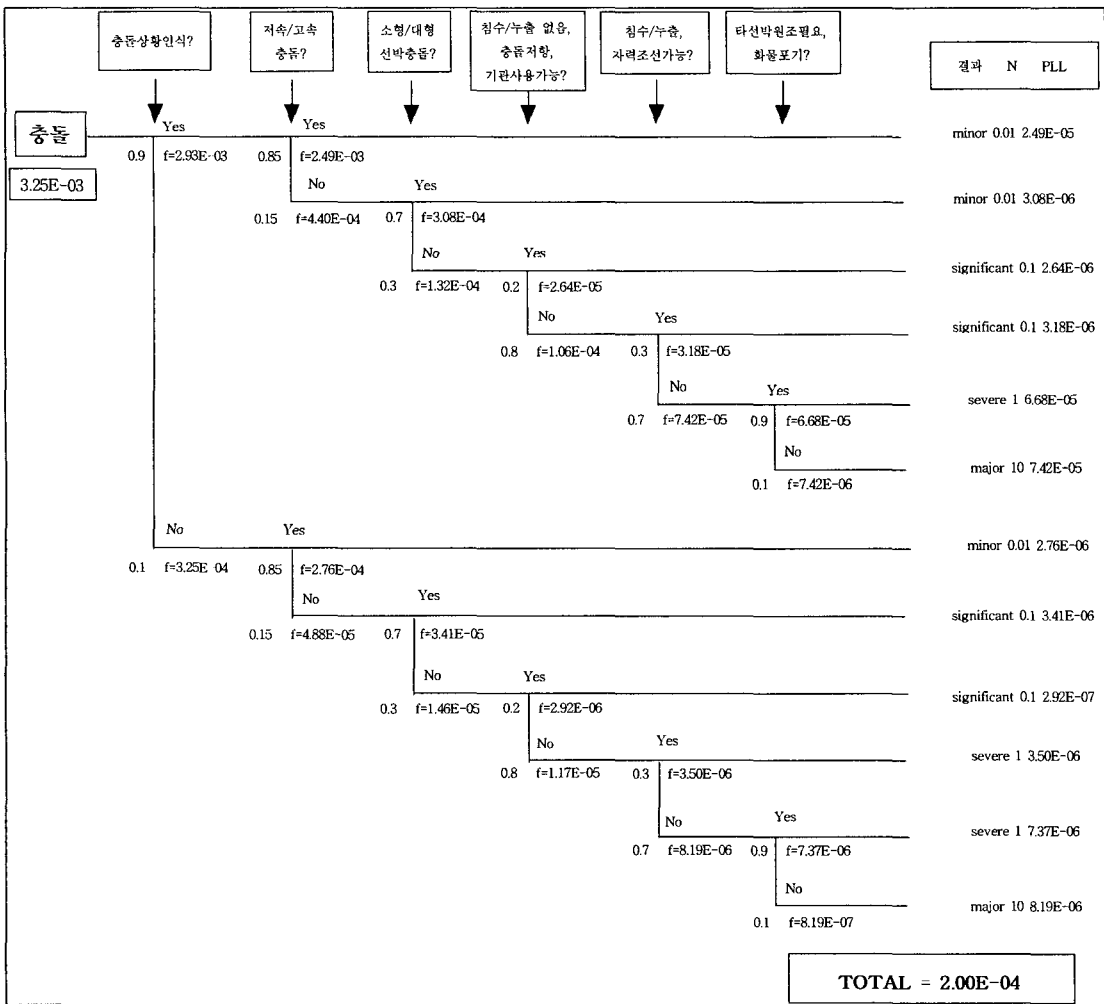
다음으로 사건수목해석(Event Tree Analysis, ETA)에서 충돌사고에 대한 잠재적 인명손실크기(Potential Loss of Life, PLL)의 예상치를 구하고 그 크기를 감소하기 위한 것이 위험성 평가의 목적 가운데 하나이며, 다음 단계에서 효과적인 제어방안을 마련하기 위한 것이라 할 수 있다. 사건수목을 해석하고 잠재적 인명손실크기를 얻기 위해 다음 <표 12>와 같이 그 구성요소를 결정하였고, 충돌사고발생 빈도값(3.25E-03)을 토대로 각 분기점의 발생확률을 전문가의 의견과 실제 국내 해양사고 통계분석결과를 이용하여 구한 후 <표 13>을 이용하여 <그림 7>과 같이 해석결과에 따른 최종적인 발생빈도와 결과발생 위험수준에 의한 값을 곱하여 잠재적 인명손실크기를 구하였다. 사건수목해석에 의한 잠재적인 인명손실크기는 2.00E-04로 나타났다.

<표 12> 충돌사고에 대한 사건수목 구성요소

구 분	내 용
Initiating Event	충돌
First action	충돌발생상황에 대한 인식여부?
Second action	저속 또는 고속 충돌인가?
Third action	소형 또는 대형선박과의 충돌인가?
Fourth action	침수나 누출 없이 선체가 충돌에 저항하고 있으며 기관사용이 가능한지 여부?
Fifth action	침수나 화재가 발생하였어도 자력으로 안전한 항구로의 항해가 가능한지 여부?
Sixth action	다른 선박의 원조가 필요한지, 선적하고 있는 화물을 포기해야 하는지 여부?

<표 13> 사건수목해석 내용 설명

Consequence	구분	Minor	Significant	Severe	Major
	내용	1명 또는 소수의 부상	다수의 부상	1명 또는 소수의 사망 예) 10명 이하 사망	동시에 다수 사망 예) 10명 이상 사망
Weighting factor(N)		0.01	0.1	1	10
Potential Loss of Life for ship's Collision(PLL) : 발생빈도와 결과의 심각성 값의 곱에 대한 총합					



<그림 7> 충돌사고 사건수목

4. 결 론

해상에서 선박운항과 관련하여 발생하는 각종 해양사고에 대한 방지대책이 무엇보다 중요하다는 것은 누구나 충분히 인식하고 있는 문제이다.

최근 우리 나라를 비롯하여 전세계적으로 해양사고발생률이 다소 감소되고 있는 것처럼 보이지만, 대형해양사고로 인한 피해규모는 여전히 증가하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 이미 다른 산업분야에서 사용하고 있는 안전에 대한 시스템적 위험기반 접근법인 공식안전평가기스템의 단계별 흐름에 의해 국내에서 발생한 해양사고통계를 분석하여 선박 충돌사고의 위험성을 평가하였다. 또한 충돌사고의 주된 원인이 되는 인적요소에 관하여 추출된 위해요소들의 우선 순위를 결정하기 위해서 정성·정량적인 속성을 포함하고 있는 인간의 주관적인 요소를 고려하여 시스템구조를 모델화 하는데 유효한 수법으로 알려진 FSM법을 이용하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 선박 충돌사고와 관련된 인적요소들의 FSM에 의한 위해요소 우선순위는 선박을 운항하는 승무원의 자질 및 능력부족, 부적합한 운항계획 및 절차, 그리고 다양하게 나타날 수 있는 상황(선박내부, 선박간, 선박내부와 외부사이 등)에 대한 의사소통 실패 등의 요소가 가장 중요한 것으로 파악되었다. 다음으로 중요한 것은 승무원 피로, 교육·훈련부족, 불충분한 견시, 충돌예방규칙 미준수 등이었다.
2. 10년간(1991~2000년)의 국내 해양사고 통계를 이용하여 선박 충돌사고 위험성을 평가한 결과 충돌사고 발생빈도는 $3.25E-03$, 그에 따른 충돌사고발생선박 척당 인명손실결과는 0.164명, 그리고 충돌사고발생선박 척당 인명손실에 대한 위험성은 $5.33E-03$ 이었다. 또한 전체 해양사고에서 선박 충돌사고에 의한 잠재적 인명손실크기(PLI)의 예상치는 $2.00E-04$ 로 나타났다.

이상과 같은 결과에 의해서 파악된 위해요소와 위험성을 기반으로 충돌사고를 사전에 예방하고 그 피해를 최소화하기 위한 해상안전관리시스템 구축방안이 수립되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) 한국선급기술연구소, “FSA 적용지침 개발”, 1999.
- 2) IMO, MSC/Circ.829, MEPC/Circ.335, “Interim Guidelines for the Applications of FSA to IMO Rule-Making Process”, 1997.
- 3) Marine Safety Agency, UK, “A Methodology for Formal Safety Assessment of Shipping”, MSC 66 Informal Paper, 16 May, 1996.
- 4) E. Tazaki and M. Amagasa, “Structural Modeling in a Class of Systems Using Fuzzy Sets Theory”, Fuzzy Sets Systems. Vol.2 No.1, pp.1-17, 1979.
- 5) 田崎 榮一郎, “ファジィ理論に依る社會システム構造化”, 別冊 [教理科學] ファジィ理論への道, サイエンス社, pp.140-153, 1988.
- 6) 木下榮藏, “わかりやすい意思決定論入門”, 近代科學社, 1996.
- 7) 椎塚久雄, 伊藤節子, “ファジィ構造モデル : Case Study-學生採用意の意識構造-”, 經營の科學, 1992.
- 8) 황병호 · 이종인, “선박운항시스템에 있어서 인적요소(Human Factors)의 조사방법론에 관한 고찰”, 한국항해학회지, 제24권 제1호, pp.23-33, 2000.
- 9) Quality Action Team, USCG, “Prevention Through People”, 15 July, 1995.
- 10) IMO, MSC/Circ.813, MEPC/Circ.330, “The Role of the Human Element”, 23 June, 1997.
- 11) IMO, MSC/65/15/1, “Role of Human Element in Maritime Casualties”, 10 Feb., 1995.
- 12) 양원재 · 박계각 · 진승환, “FSM을 이용한 해기사 신규채용 및 선사선택에 관한 의식구조분석”, 한국항해학회지, 제24권 제1호, pp.35-44, 2000.
- 13) UK, DE41/INF.7, “Trial Application to high speed passenger catamaran vessels”, 12 Dec., 1997.