

## 침몰선박의 관리를 위한 위해도 평가시스템 개발

최혁진<sup>1,\*</sup> · 류재문<sup>2</sup> · 김홍태<sup>1</sup> · 이승현<sup>1</sup> · 강창구<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
충남대학교 선박해양공학과<sup>2</sup>

## Development of the Risk Assessment Systems for Management of Sunken Ships

H. J. Choi<sup>1,\*</sup>, J. M. Lew<sup>2</sup>, H. Kim<sup>1</sup>, S. H. Lee<sup>1</sup> and C. G. Kang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering/KORDI, 171 Jang-Dong,  
Yuseong-Gu, Daejeon 305-343, Korea

<sup>2</sup>Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chungnam National University,  
220 Gung-Dong, Yuseong-Gu, Daejeon 305-764, Korea

### 요 약

본 논문에서는 침몰선박이 보유하고 있는 모든 위해요인을 체계적으로 규명하고, 위해요인으로 인한 손실정도를 정량적으로 산출하여 효과적이고 일관된 침몰선박 관리와 과학적이고 경제적인 침몰선박 처리 의사결정에 활용할 수 있는 침몰선박 위해도 평가모델 및 정보시스템의 개발내용을 소개하고자 한다.

**Abstract** – Marine risk assessment considers events such as collision/grounding, sinking/capsize, fire/explosion and flooding, developing relationships between their causes and effects. In addition, risk assessment of previously sunken ships are also necessary since they continuously have possibility for further oil spill or can cause other marine accidents. The objective of this paper is to develop the risk assessment systems for sunken ships to prevent oil spill and further marine casualties in order to preserve safe and clean oceans around Korea peninsula. The risk assessment systems for sunken ships comprise of database management sub-system for sunken ships, qualitative risk assessment sub-system, quantitative risk assessment sub-system, and cost-benefit analysis subsystem.

**Keywords:** Sunken ships(침몰선박), Risk assessment(위해도 평가), Marine accidents(해양사고), Information system(정보시스템)

### 1. 서 론

연안에서 침몰선박은 사고 당시뿐 아니라 장시간이 경과된 후에도 선체내 잔존 유해물질이 유출되어 추가 해양 오염사고를 발생시킬 수 있으며, 주요 항로나 항만 내에서 해양사고 유발요인으로 작용할 수도 있다. 따라서 침몰선박으로부터 해양안전 확보와 깨끗한 해양환경을 보존하기 위해서는 침몰선박에 대한 체계적 관리 체계 구축과 처리기술 및 관련 장비의 개발이 매우 중요하다.

2002년 11월 스페인 연안에서 발생한 유조선 프레스티지호 침몰사고는 사고당시 피해보상과 방제비용으로 상당한 비용이 소요

되었으며, 환경회복까지 천문학적 비용이 소요될 것으로 추정되고 있으나, 사고 당시 신속한 유출공 밀폐작업으로 더 큰 피해를 예방한 사례를 보여준 사고라 할 수 있다. 하지만 아직도 3,600 m의 수심에 침몰된 선체내에 많은 기름이 남아 있으며, 추가 해양오염을 방지하기 위해 이를 제거하려는 노력이 국제적으로 계속되고 있다.

국내에서도 1990년대 중반 우리나라 연안에서 집중적으로 발생하여 연안 해양환경에 막대한 피해를 초래한 유조선 사고중 육지와 가까운 연안해역에서 침몰한 제1유일호와 제3오성호의 잔존유 제거작업을 계기로 국가차원의 침몰선관리대책의 필요성을 절감하여, 1999년부터 해양수산부와 한국해양연구원 해양시스템안전연구소를 중심으로 10년 계획의 연구사업으로 추진 중에 있다.

본 논문에서는 침몰선박이 보유하고 있는 모든 위해요인을 체

\*Corresponding author: hjchoi@moeri.re.kr

계적으로 규명하고, 위해요인으로 인한 손실정도를 정량적으로 산출하여 효과적이고 일관된 침몰선박 관리와 과학적이고 경제적인 침몰선박 처리 의사결정에 활용할 수 있는 위해도 평가시스템의 개발내용을 소개하고자 한다.

### 2. 국내 침몰선박의 현황

1983년부터 2004년 12월말까지 우리나라 연안에 침몰되어 있는 선박은 1,486척이다. 국내 침몰선박을 선박 규모별로 구분하면 10톤 미만의 침몰선박이 전체 침몰선박의 45.6%(677척)이며, 10톤 이상 100톤 미만의 선박이 42.8%(636척), 100톤 이상의 선박이 11.6%(173척)이다. 100톤 이상 173척의 침몰선박을 분석해 보면, 서해와 남해에 주로 분포되어 있다. 한편, 173척을 선종별로 분류하면 화물선이 전체의 41.5%인 72척이며, 어선이 32.7%인 56척, 유조선이 2.9%인 5척, 예선이 1.2%인 2척이며, 선종이 불명 또는 미상인 선박이 14.5%인 25척이다. Fig. 1과 Fig. 2는 100톤 이상 국내 침몰선박의 전체 분포현황과 선종별 분포현황을 나타내고 있다(최혁진 외[2004]).

### 3. 위해도 평가기법 분석

#### 3.1 위해도 평가의 정의 및 개요

일반적으로 위해도 평가는 인간의 생명 및 재산, 그리고 환경에 원하지 않는 나쁜 영향을 미칠 수 있는 위험 요소들의 본성을 파악하고 그들의 영향을 정량적으로 평가하고 관리하기 위한 모든 과정을 일컫는 것이라고 정의할 수 있다(Ray et al.[2002], ABS[2000], Wilcox[2000]).

위해도 평가와 관련된 국내외 자료들마다 용의 정의가 상이하

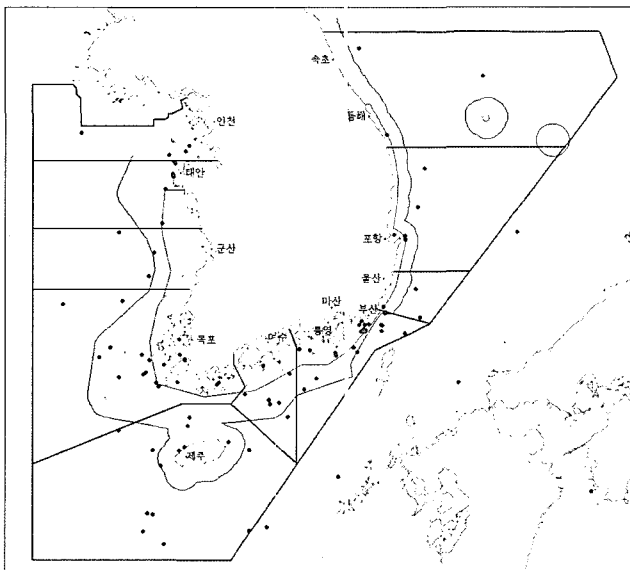


Fig. 1. The distribution of sunken ships of size larger than 100 tons in Korea.

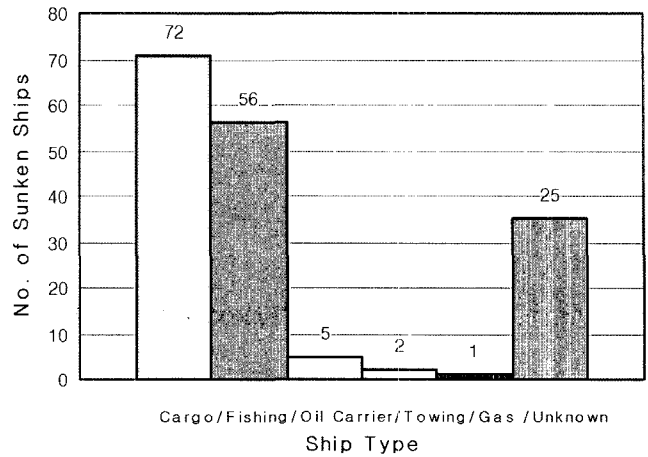


Fig. 2. Classification of sunken ships of size larger than 100 tons according to the Ship Type.

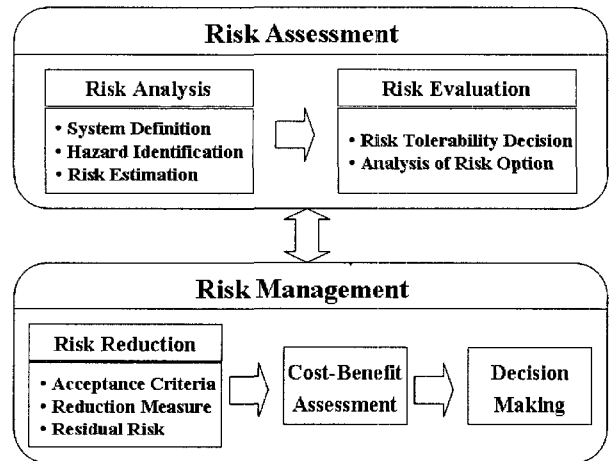


Fig. 3. Risk assesment model.

여 약간의 혼란은 있을 수 있으나, 일반적으로 포괄적 의미로 위해도 관리(Risk Management) 또는 위해도 평가(Risk Assessment)라는 용어가 혼용되어 쓰이고 있다. 본 논문에서는 위해도 평가로 통일하여 기술하기로 한다.

위해도 평가모델은 Fig. 3에서와 같이 크게 두 부분으로 나뉘게 되는데, 위해도 해석과 평가에 따른 허용치의 검토를 위한 위해도 평가(Risk Assessment)와 위험감소 수단, 잔류 위험도 평가 및 경제성 평가를 위한 위해도 관리(Risk Management)가 그것이다(공인영 외[1998]).

Fig. 3에서 위해도 평가는 시스템 인지, 위험요소 파악, 시나리오 작성, 발생빈도 분석, 결과영향 분석, 위해도 계산을 통해 위험의 정도를 정량화 시키는 과정이다. 한편, 위해도 관리의 가능한 여러 가지 방법을 통해 사건의 발생 자체를 억제함으로써, 사고 발생 빈도의 감소시키고, 사건의 확대로 인해 피해를 일정한 허용수준 이내로 최소화하기 위한 제어 방안을 찾으며, 사고로 인한 비용-이득평가를 행하는 과정이다.

**Table 1.** Risk assessment techniques

단계	적용 기법
Hazard Identification	What-If Analysis, HAZOP, PHA, FMEA, FMECA
Risk Estimation	Event Tree Analysis(ETA) Fault Tree Analysis(FTA) Quantitative Risk Assessment(QRA)
Risk Evaluation	Influence Diagram, F-N Curve Risk Matrix, Decision Analysis
Risk Reduction(Control)	Gap Analysis
Cost-Benefit Assessment	Net Benefit

일반적으로 위해도(Risk)는 사고의 발생빈도와 사고결과의 심각성을 곱한 형태로 나타낼 수 있으며, 유사한 용어로 인명, 재산, 환경 등에 손상이나 손실을 초래할 가능성이 있는 상황을 위해요소(Hazard)가 있다. 한편, 사고결과의 심각성은 안전, 환경, 비용 및 이들 요소의 조합을 나타낼 수 있으며, 해양분야에서는 선박사고로 인한 인명손실, 유류오염으로 인한 환경피해 등이 구체적인 결과로 나타날 수 있다.

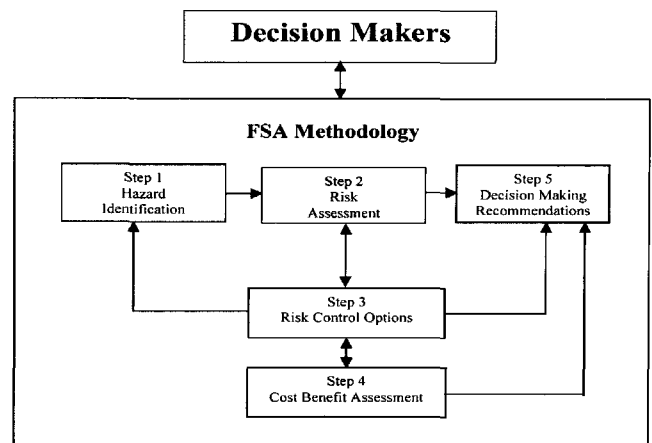
이러한 위해도 평가를 위해서는 Table 1과 같이 각 단계별 다양한 기법의 적용이 필요하며, 대표적인 위해도 정량화 방법으로는 사상수 분석법(ETA; Event Tree Analysis), 결함수 분석법(FTA; Fault Tree Analysis), F-N 곡선을 이용한 정량적 위해도평가(QRA; Quantitative Risk Assessment) 등이 있다.

**3.2 선박해양분야에서의 위해도 평가**

선박해양 분야에서의 위해도 평가 개념의 적용이 가능한 분야는 인명안전, 환경오염 및 구조 안전 등의 분야이다. 이들 중 현재까지 선박해양공학 분야에서 위해도 평가 개념을 활발하게 적용한 분야는 인명안전 분야에서 화재 및 폭발이나 구조안전 분야에서 충돌과 검사 및 유지보수 등이다(하우일 외[2001]). 앞으로는 인명안전과 관련된 탈출 및 피난분석, 환경오염과 관련된 기름 유출사고 분석 등의 다양한 분야에 활용될 것이다. 선박해양분야에서의 대표적 위해도 평가 방법론으로는 국제해사기구(IMO; International Marine Organization)의 공식안전성평가(FSA; Formal Safety Assessment) 기법과 미연안경비대(USCG; United States Coast Guard)의 위해도 기반의 의사결정(RBDM; Risk-based Decision Making) 가이드라인 등이 있다.

**3.2.1 공식안전성평가(FSA) 기법**

FSA 기법은 IMO에서 1993년경부터 도입된 개념으로, “해운분야의 위험을 관리하는 시스템의 구축을 위해 위험 평가(Risk Assessment)기법을 사용하는 공식적이고 구조적이며 조직적인 도구 및 방법”이다(RINA [2002]). 즉 기존의 결정론적(Deterministic)한 해석방법에서 벗어나 선박이 조우할 수 있는 위해요소와 위험을 분석하고 확률론적인 방법을 동원하여 위해 요소를 관리하고 줄이는 방법이라고 할 수 있다. 이러한 FSA 기법은 새로운 기법이 아니고, 원자력 발전소, 화학설비 공장, 해양구조물산업 등에 적용되어 오던 위험 분석(Risk Analysis)기법인 확률론적 안전성



**Fig. 4.** Formal safety assessment (FSA) process.

평가(PSA; Probabilistic Safety Assessment)를 해운 및 조선분야에 구별짓기 위해 사용하게 된 것이다. 한편 FSA의 수행은 Fig. 4와 같은 위해요소의 파악, 파악된 위해요소와 연관된 위해도 평가, 위해도 통제방안 파악, 통제방안에 대한 비용-편익분석, 통제방안의 결정 등의 5단계의 절차로 이루어진다(IMO [2002]).

현재 FSA는 선박 및 인명의 안전확보를 위해 파급효과가 큰 국제규정이나 협약 등에 우선적으로 적용하고 있으며, IACS에서는 이를 선박안전 관련 제반규정의 개정에 적용하고 있다. 또한 IMO의 MSC에서는 Bulk Carrier Safety에 대한 FSA의 적용(MSC/INF.14 및 MSC/INF.15)을 완료하였으며, 다양한 분야에의 적용이 이루어지고 있다. IMO를 중심으로 진행된 "Bulk Carriers Formal Safety Assessment (FSA) Study"(RINA[2002])는 1998년 12월 MSC 70 차 회의에서 영국의 Maritime and Coastguard Agency가 FSA Study에 대한 개요를 발표한 이래, 현재까지 17개 Work Packages와 관련된 연구가 진행되고 있다.

**3.2.2 위해도 기반의 의사결정(RBDM) 가이드라인**

RBDM 가이드라인은 해양안전을 위한 위해도 분석에 요구가 증가하는데 반해, 한정된 정보와 자원으로 인해 적절하게 대응하지 못함에 따라, USCG에서 1997년에 제시한 Guideline으로, 2001년에 2차 개정판을 내놓았다. Coast Guard Marine Safety and Environmental Protection Business Plan (FY2001-2005)에서 위험관리 분야가 USCG의 다섯 가지 최종목표 중의 하나로 채택되어 있는 상태이다(USCG[2001]). RBDM 가이드라인의 구성 요소는 Fig. 5와 같이 ‘Decision Structure’, ‘Risk Assessment’, ‘Risk Management’, ‘Impact Assessment’, ‘Risk Communication’의 5가지로 이루어진다.

‘Decision Structure’는 RBDM 과정에서 소홀히 하기 쉬운 부분으로서, 의사결정에 대한 이해와 정의를 나타낸다, ‘Risk Assessment’는 무슨 사고가 어떻게 발생하였고, 그 영향을 어느 정도인가를 파악하는 과정이다. ‘Risk Management’는 가능한 한 위험을 감소시키는 위한 과정으로, 투입비용 보다는 효과가 큰 방향으로 진행되어야 한다. ‘Impact Assessment’는 위험관리를 위해

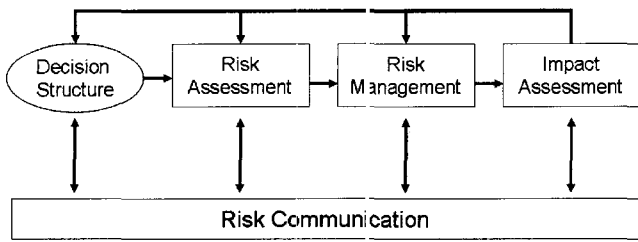


Fig. 5. Risk based decision making process.

행해진 활동의 유효성을 분석하는 과정이며, 이를 통해 보다 나은 위험관리 활동이 이루어진다. 마지막으로 ‘Risk Communication’는 RBDM의 단계에서 이해당사자들 간의 정보의 교류를 나타낸다.

#### 4. 침몰선박 위해도평가 모델 개발

침몰선박의 위해도 평가는 여러 가지 위해도 평가모델과 평가 기법들 중에서 침몰선 위해도 평가의 특성에 알맞은 모델을 구축하고 적절한 기법을 선택하여 적용하는 것은 매우 중요하다. 이를 위해 먼저, 선박해양공학 분야에서의 위험분석 적용 가능 분야와 적용 예를 검토하고, 이를 바탕으로 적절한 기법 및 도구를 선택하였다.

IMO의 FSA, USCG의 RBDM 가이드라인 및 기타 Risk-based Technology들에서 살펴본 바와 같이, 선박해양공학 분야에 적용되었던 위해도 평가의 일반적 절차는 시스템의 인지, 위해도요소의 파악, 위해도 평가, 위해도 제어, 위해도 관리, 시스템 설계 변경/시험/모니터링, 위해도 커뮤니케이션의 순서로 이루어진다. 본 연구에서는 IMO의 FSA와 Risk-based 접근방법을 기반으로 하여, 침몰선박의 위해도 평가에 맞도록 일부 절차를 수정한 침몰선박 위해도 평가모델을 Fig. 6과 같이 개발하였다.

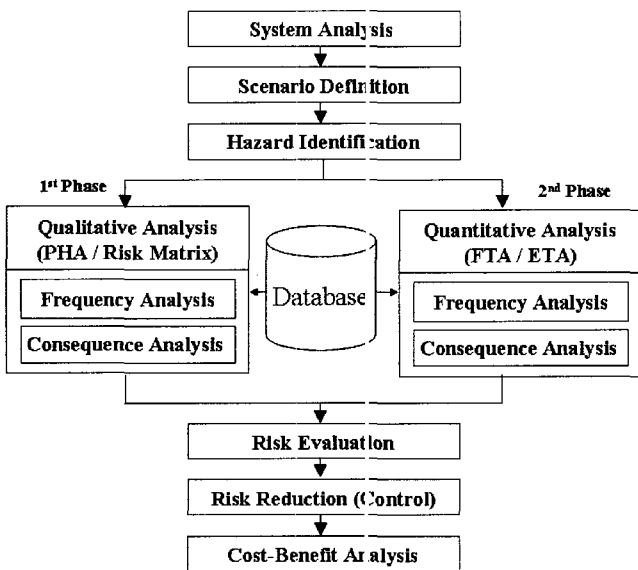


Fig. 6. Risk assessment model for sunken ships.

#### 4.1 시스템 분석 및 시나리오 정의

시스템의 분석은 침몰선박의 위해도를 평가하기 위해서 가장 우선적으로 이루어져야 한다. 침몰선박은 다른 해양사고 선박과는 달리 상태를 육안으로 확인할 수 없어, 그 위해성을 간과할 수 있으나 실제로는 선체내 잔존 유해물질의 유출로 인한 해양 오염사고와 항로 및 항만에서의 사고 유발요인으로 작용할 수 있다. 침몰선박의 위해도에 대한 문제의 인지는 위해도 평가를 하고자 하는 침몰선박에 대하여 전반적인 지식을 습득하는 단계로서, 다음 단계들을 수행하는데 기본이 된다.

시나리오의 정의는 침몰선박의 위해 요소들이 실제 사고로 연결될 경우 나타날 수 있는 여러 가지 침몰선박의 사고형태를 체계적으로 기술하는 것이며, 다수 개의 시나리오가 존재하게 된다. 다수 개의 시나리오를 논리적이고 체계적으로 작성하기 위해서는 RCT (Risk Contribution Tree)를 구성해야 하는데, 본 연구에서는 침몰선박의 사고 시나리오를 표현하기 쉽도록 테이블 형태의 RCT를 구성하였으며, 여기서 구성된 RCT는 침몰선박의 2차 사고를 유형, 원인, 결과, 피해에 따라 Tree 형태로 세분화되어 있다. 이와 같은 RCT는 사고 원인요소와 결과의 영향을 파악하기 위해 필수적인 사항이며, 이를 바탕으로 위해도 평가를 위한 시나리오를 생성할 수 있다.

#### 4.2 위해도요소의 파악

침몰선박의 위해도요소는 기름유출 등에 의한 해양환경 요소와 사고유발과 인명손실로 인한 해양안전 요소로 구분할 수 있다. 해양환경 위해도요소는 선체내에 잔존하고 있는 유해물질이 유출되거나 폭발하는 경우인데 주요 원인으로는 선체부식, 자연재해, 선박 충돌 등이 있고, 유류 유출, 해양생태계 및 환경피해 등의 결과를 초래한다. 해양안전 위해도요소는 해상교통 장애로인한 2차사고가 발생하는 경우인데, 주요 원인으로는 항행선박 충돌, 어로작업 등이 있으며, 해상교통 및 어로작업 장애, 인명손실을 초래한다.

이러한 침몰선박의 위해도요소들은 침몰선박이 가지고 있는 다양한 특성에 따라 위해도의 크기가 달라질 수 있다. 침몰선박의 위해도를 평가할 때에는 침몰선박 정보, 침몰사고 정보, 환경특성 정보 등이 기본적인 정보가 고려되어야 한다.

또한 침몰선박으로 인한 항행선박의 충돌사고는 인명사상 및 사고선박의 유실로 인한 재산손실과 같은 결과를 가져오게 되는데, 이러한 결과들은 침몰선박이 기본적으로 가지고 있는 침몰선박 정보와 환경특성 정보와 관련이 깊다. 즉, 침몰선박의 화물정보(화물 종류 및 양)와 같은 침몰선박 정보와 침몰선박의 침몰위치, 통항선박 규모 등과 같은 환경특성 정보 가운데, 해상안전 관련정보와 밀접한 관련이 있다.

#### 4.3 정성적 위해도 평가(1단계 우선조사 선박 선정)

침몰선 위해도 평가의 초기단계에서 도출된 침몰선 위해 시나리오를 통해 위해도요소 파악하고 시트를 작성하여 위해도를 평가

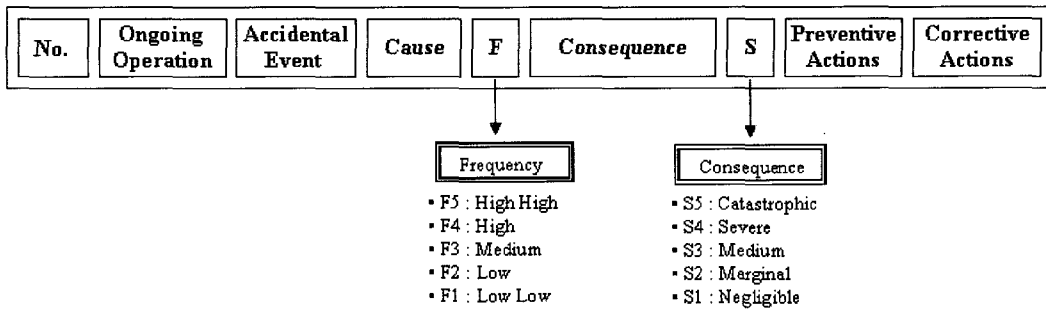


Fig. 7. Basic form of PHA report.

함으로서, 우선조사 대상선박을 결정하는 단계이다. 이러한 정성적 위해도 평가방법으로 What If Analysis, HAZOP(Hazard and Operability), PHA(Preliminary Hazard Analysis), FMEA(Failure Mode and Effects Analysis) 등이 있으나, 본 연구에서는 정성적 위해도 평가방법 중에서 가장 널리 활용되고 있고 침몰선 위해도 평가에 적합하다고 판단된 PHA를 사용하기로 하였다. PHA는 침몰선 위해 시나리오의 위해요소들을 세부적인 사항을 포함한 시트 형태로 작성하고, 여러 가지 등급으로 구분한 위험도 지수를 매트릭스 형태로 나타내어 검토할 수 있다. Fig. 6은 침몰선박의 2차 사고분석을 위한 PHA 분석 시트이다.

Fig. 7에서 ‘F’는 사고빈도를 나타내는 지수로서, 기름유출사고의 원인인 선체부식과 관련된 선박의 건조년도, 사고 발생년도, 선체부식 정도, 유출량의 증가정도, 침몰 지점의 수온/용존산소/염분 등 해역특성, 침몰 수심, 사고 지점의 해상조건 등과 항목들의 평가를 통하여 사고빈도를 정성적으로 평가할 수 있다. 본 연구에서는 선체부식의 정도를 파악하기 위하여 실적선을 대상으로 선박의 건조이후 경년별 선체외판의 두께 변화 추이를 조사한 후 기준에 발표된 여러 선체부식량 추정 이론 및 부식량 산정 기준과 비교하여 부식량에 관한 실적과 가장 근접한 부식량 추정 기준이라 판단되는 국제석유회사해사평의회(OCIMF)에서 제시한 항해중 선체부위별 외판 부식량과 일본조선학회에서 발표한 침몰 후 선체외판의 부식량 추정 기준을 적용하였다(변성훈 외[2002], OCIMF[1997], 일본조선학회[제767호]). 또한 항행선박과 침몰선박간의 충돌에 의한 2차 해양사고 유발 가능성에 관한 여유수심 판정에 대해서는 국제수로기구(IHO)에서 침몰기간 경과에 다른 선종별 침몰선박의 전체높이 판정기준을 바탕으로 해당 침선 해역에 항행하는 최대 규모의 선박을 대상으로 여유수심을 산정하도록 하였다(국립해양조사원, [1999]). 한편 ‘S’는 사고결과 심각도를 나타내는 지수로서, 사고의 결과인 해양환경 오염과 관련된 적재화물의 종류 및 양, 사고 해역의 환경 등의 항목들에 대한 평가를 통하여 사고결과 심각도를 정성적으로 평가할 수 있다. 이상과 같은 사고빈도수와 사고결과 심각도에 대한 정성적 위해도 평가 지수에 관하여는 향후 공학적 기반의 심도있는 추가 연구가 필요하다.

이러한 사고 빈도와 사고결과 심각도를 이용하여 Fig. 8과 같

		Consequence (S)		Minor <=> Catastrophic					
				S1	S2	S3	S4	S5	
Frequency (F)	Low ↑ ↓ High	Low Risk		F1	1	2	3	4	5
				F2	2	4	6	8	10
				F3	3	6	9	12	15
				F4	4	8	12	16	20
				F5	5	10	15	20	25
				ALARP (As Low As Reasonably Practicable)					

Fig. 8. Risk martrix.

은 위해도 매트릭스(Risk Matrix)를 작성할 수 있다.

Fig. 8에서 낮은 빈도와 낮은 결과의 심각도를 갖는 구역은 위해도 낮은 영역이므로 별도의 위해도 제어 수단이 필요없으며, 높은 빈도와 높은 결과의 심각도를 갖는 구역은 위해도 높은 영역이므로 위해도를 감소시키기 위한 근본적인 수단(침몰선박 처리 등)이 필요하다. 중간에 위치한 ALARP(As Low As Reasonably Practicable) 영역은 가능한 한도내에서 낮은 위해도를 가질 수 있도록 합리적인 제어수단이 필요하므로 정량적 위해도 평가를 통한 상세분석이 필요한 것이다.

침몰선박 위해도 평가의 경우에 2차사고 발생가능성이 매우 낮고, 사고 결과의 심각도도 매우 낮은 경우에는 별도의 관리가 필요없는 것으로 판단할 수 있다. 또한, 2차사고 발생가능이 매우 높고, 사고 결과의 심각도도 매우 높은 경우에는 상세한 위해도 평가의 과정이 필요없이 바로 위해도를 감소시키기 위한 행동(선체인양, 유해물질 제거 등)이 이루어져야 한다. 마지막으로 ALARP 영역에 포함된 경우에는 정량적 위해도 평가를 통한 상세분석을 행함으로서, 상세조사를 위한 우선순위를 결정하는 과정이 필요할 것이다.

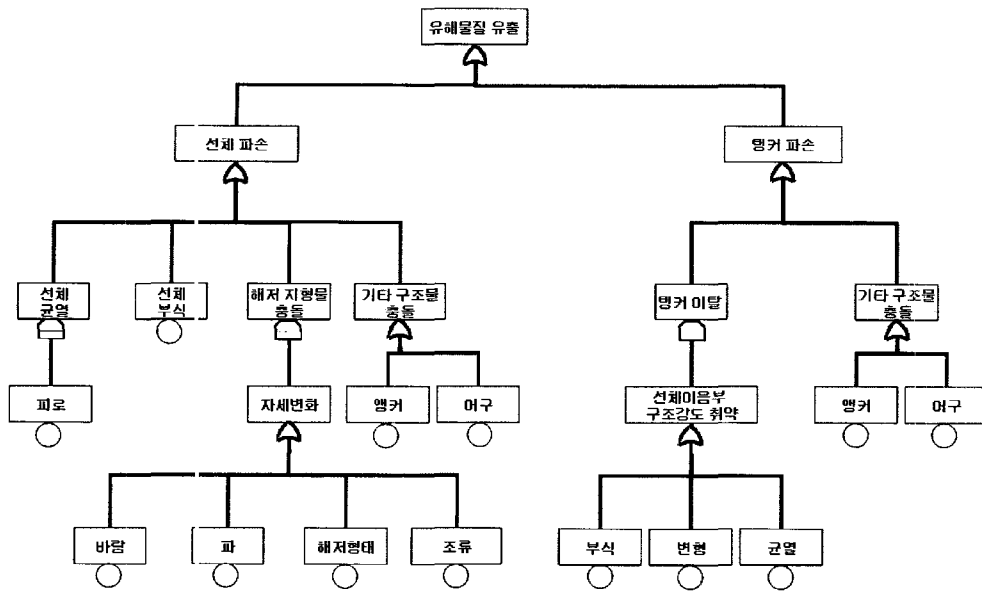


Fig. 9. FTA example.

4.4 정량적 위해도 평가(2단계 우선처리 대상선박 선정)

정량적 위해도 평가는 정성적 위해도 평가로부터 얻은 위해도 소들의 위해도 크기를 산출하는 단계로서, 사고발생 가능성과 사고 피해결과의 확률론적으로 모델링하는 과정이다. 침몰선의 정량적 위해도 평가에서는 앞서 언급한 바와 같이 FTA를 이용한 사고 피해결과의 정량적 산출과 ETA를 이용한 사고발생 가능성의 정량적 산출 방법이 사용된다.

FTA를 통한 사고발생 가능성의 정량적 산출은 각 세부 사건들의 사고 원인조사에 용이하며, 확률 값은 전문가의 판단이나 사고 데이터베이스, 혹은 공학적 계산에 의해 구한다. Fig. 9는 FTA를 이용하여 침몰선박의 2차 사고인 잔존유 유출사고의 원인을 정량적화 하기 위한 예를 보여주고 있다.

ETA를 통한 사고 피해결과의 정량적 산출은 사고의 확대진전 및 사고결과의 추적을 일관성 있게 정리할 수 있으며, 상위 사건

으로부터 하부의 세부사건을 나열하여 사고 시나리오의 전체적 흐름을 파악할 수 있다. Fig. 10은 ETA를 이용하여 충돌사고로 침몰된 선박의 잔존유 유출 사고결과의 피해정도를 정량화 하는 예를 보여주고 있다.

4.5 위해도 제어방안 및 비용 편익분석

정성적 위해도 평가를 통하여 우선조사 선박이 선정하고, 이들 선박들 중에서 정량적 위해도 평가기법을 통하여 위해도 높은 우선처리 선박이 선정하게 된다. 그리고 이렇게 선정된 침몰선박의 위해도를 낮추기 위한 제어방안들을 도출하고, 이들 제어방안에 대한 비용-편익분석을 통하여 최종적인 위해도 제어방안을 결정하게 된다.

비용-편익분석(Cost-Benefit Analysis)이란 특정한 사업의 실시 여부나 우선순위를 결정하고자 할 때, 동 사업 실시에 수반되는 비용과 실시결과 예상되는 편익들을 종합적으로 비교하여 평가하는 방법을 말한다. 여기에서 평가기준으로는 순편익(Net Benefit) 기준과 편익/비용 비율(Benefit/Cost Ratio) 기준 등이 있다.

침몰선박의 위해도를 낮출 수 제어방안으로는 선체 인양, 유해물질 제거, 방치 등의 세 가지가 있다. 일반적으로 해양안전 위해도가 큰 경우는 선체를 인양하는 방법이 주로 활용되고, 환경피해 위해도가 큰 경우는 선체 인양방법과 유해물질만 제거하는 방법을 적용할 수 있다.

5. 침몰선박 위해도 평가 시스템 개발

본 연구에서는 침몰선박 위해도 평가모델을 기반으로 하여 전산시스템을 개발하였다. 침몰선박 위해도 평가시스템은 크게 4가지의 세부 시스템으로 구성되어 있다. 첫 번째는 위해요소와 시나

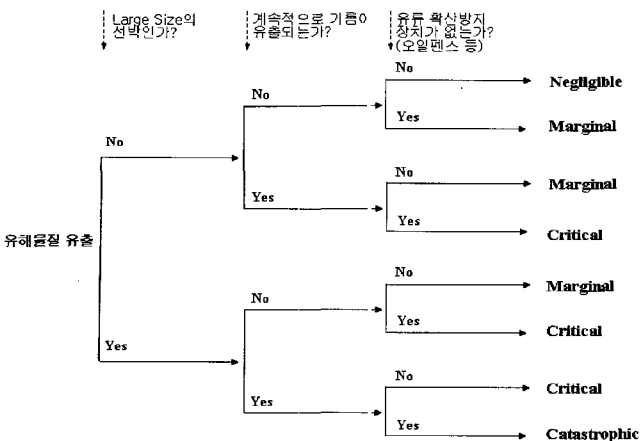


Fig. 10. ETA example.

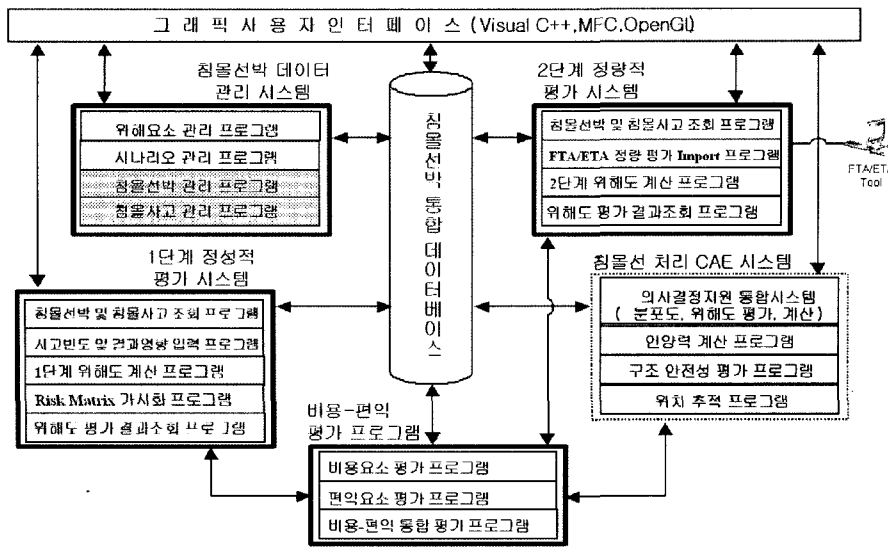


Fig. 11. Risk-based information system for sunken ships.

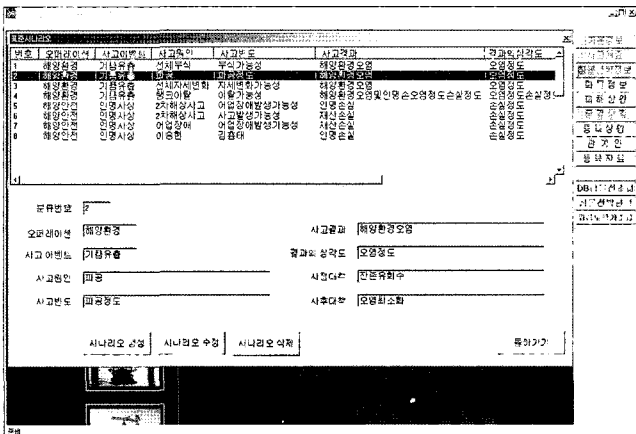


Fig. 12. Scenario generation.

리오 등의 관련 데이터를 관리하는 데이터 관리 시스템이고, 두 번째는 PHA 분석과 Risk Matrix를 이용한 1단계 정성적 평가시스템이다. 세 번째는 FTA/ETA 분석을 기반으로 한 2단계 정량적 평가시스템이며, 마지막이 비용-편익 평가시스템이다. 침몰선박 위해도 평가시스템의 전체적 구성은 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 점선으로 표시된 침몰선 처리 CAE(Computer Aided Engineering) 시스템은 향후 추가적인 연구를 통해 개발될 예정이다.

Fig. 12는 침몰선박 사고시나리오 관리 프로그램의 화면을 나타내고 있다. 이 화면은 PHA 분석을 위해서 침몰선박의 Risk Contribution Tree를 이용하여 만든 8개의 표준 시나리오를 관리하는 기능을 한다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 시나리오의 추가적인 생성, 수정, 삭제가 가능하다. 표준 시나리오는 현재 8개가 만들어져 있으나, 향후 추가연구를 통하여 시나리오와 선종별 표준 시나리오의 분류 등이 추가 될 예정이다. 또한 2단계 정량적 위해도 평가를 위한 FTA/ETA 분석을 위한 보다 자세한 시나리오



Fig. 13. Menus of qualitative assessment (1st Phase).

를 포함시킬 계획이다.

한편 Fig. 13는 1단계 정성적 위해도 평가를 위한 메뉴를 나타내고 있다. 침몰선박의 1단계 정성적 위해도 평가는 정밀조사에 들어가지 전에 침몰선박에 대한 기초적인 정보를 이용하여, 다수의 침몰선박을 빠른 시간에 평가하여 중점적으로 관리해야 할 침몰선박을 선별해 주기 위해 필요하다. 본 시스템에서 사용한 PHA 분석은 침몰선박의 사고 시나리오를 오퍼레이션, 사고 이벤트, 사고 원인, 사고빈도, 사고결과, 결과의 심각도, 사전대책, 사후 대책 등의 항목으로 구성된 시트 형태로 작성하고, 사고빈도와 결과의 심각도를 정성적으로 추정하고, 이를 이용해 여러 가지 등급으로 구분한 위험도 지수를 매트릭스 형태로 나타내어 위해도를 평가하는 기법이다.

침몰선박의 2단계 정량적 위해도 평가는 1단계 정성적 위해도 평가를 통하여 선정된 침몰선박에 대하여 정밀조사 등의 과정을 거쳐 추가적으로 확보된 정보를 이용하여 수행한다. 2단계 정량적 위해도 평가는 유해물질 유출과 같은 해양환경 위해도와 해상사



Fig. 14. Menus of quantitative assessment (2nd Phase).

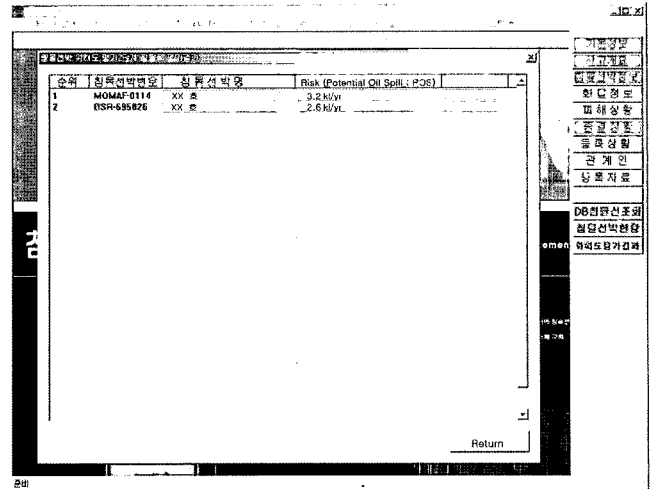


Fig. 17. Results of risk assessment (2nd Phase).

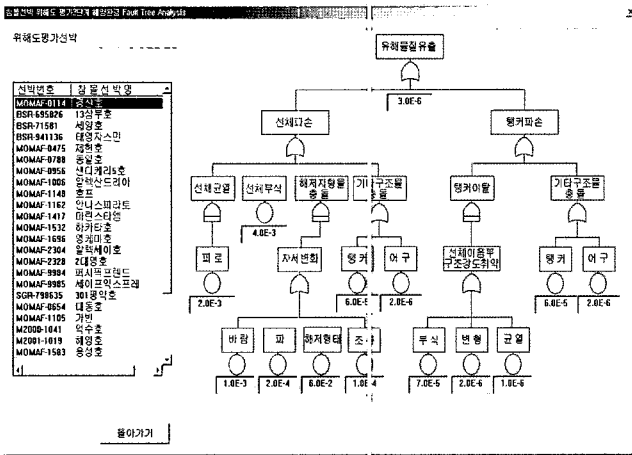


Fig. 15. FTA module (Marine Environment).

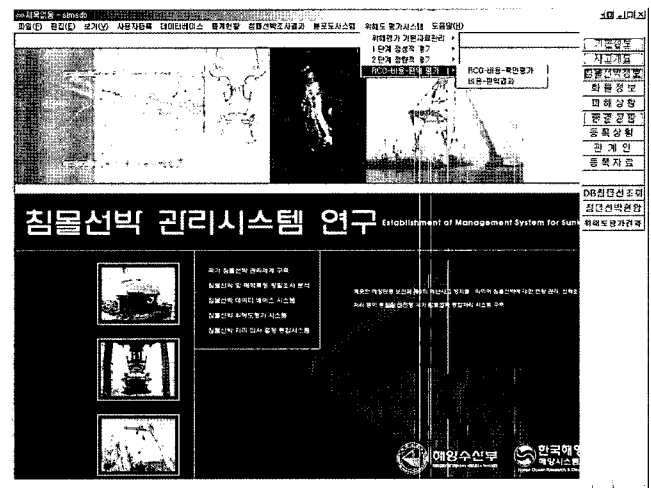


Fig. 18. Menus of cost-benefit assessment.

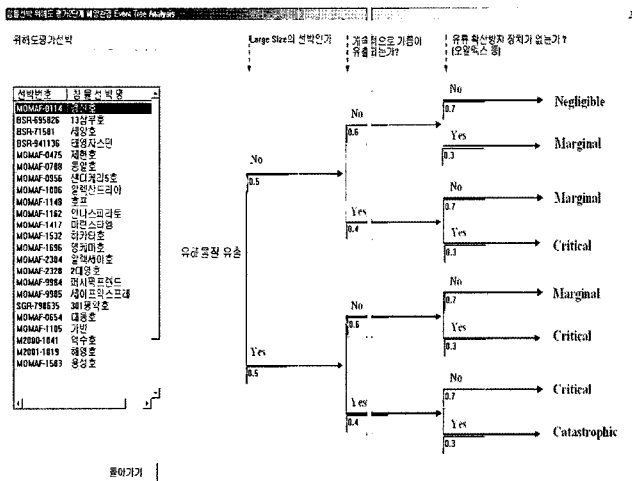


Fig. 16. ETA module (Marine Environment).

고발생과 같은 해양안전 위해도에 대하여 FTA를 이용한 사고발생 가능성의 정량화와 ETA를 이용한 사고 피해결과의 정량적 산

출을 통해 이루어진다. Fig. 14는 2단계 정량적 위해도 평가를 위한 메뉴를 나타내고 있다.

Fig. 14에서 보는 바와 같이 해양환경 위해도와 해양안전 위해도에 대하여 각각 FTA와 ETA 분석을 수행한다. Fig. 15와 Fig. 16은 해양환경 위해도의 산출을 위한 FTA와 ETA 분석 모듈을 나타내고 있으며, Fig. 17은 정량적 위해도 평가의 결과이다.

1단계와 2단계를 거쳐 평가된 침몰선박의 위해도를 제어하기 위한 다양한 방안에 대하여 비용-편익 평가가 최종적으로 이루어져야 한다. Fig. 18은 비용-편익 평가를 위한 메뉴를 나타내고 있으며, Fig. 19는 비용-편익 평가를 위한 RCO의 선택화면을 나타내고 있다.

침몰선박의 위해도를 제어하기 위한 RCO에 대한 비용요소의 계산은 Lloyd's Standard Form Salvage Agreement에서 언급된 SCOPIC Clause에 근거한다. 침몰선박이 갖고 있는 위해도의 제어를 위해 RCO를 수행하게 되면, 실제적으로 침몰선박의 위해도가 저감하게 된다. 즉, RCO의 미수행시 나타날 수 있는 피해가



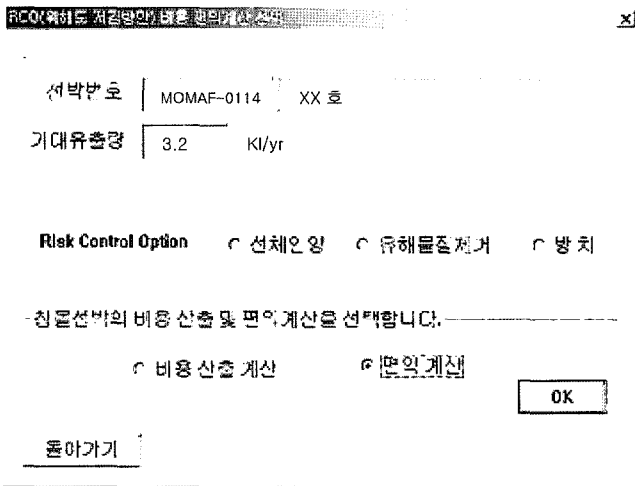


Fig. 19. Selection of risk control options.

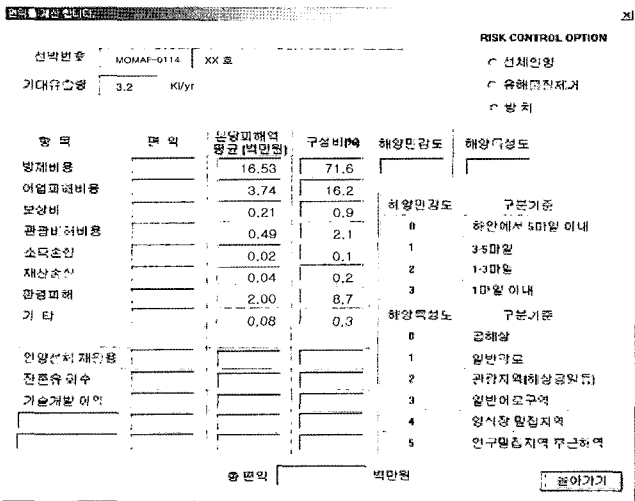


Fig. 20. Benefit assessment of sunken ships.

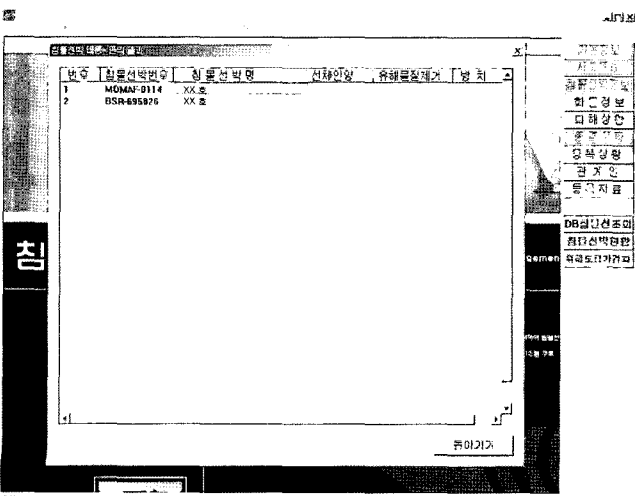


Fig. 21. Results of cost-benefit assessment.

줄어들게 되는 것이다. 침몰선박의 위해도 평가에서 RCO의 수행에 따라 발생하는 편익요소는 위해도의 저감에 의한 피해의 감소와 추가적인 이득을 포함한다. Fig. 20은 침몰선박의 RCO별 편익평가를 위한 화면의 예를 보여주고 있다. Fig. 20에서 보는 바와 같이 해양 민감도와 해양 특성도를 포함한 RCO별 편익요소가 계산되면, 앞서 계산된 비용요소와의 비교를 통하여, Fig. 21의 화면과 같은 침몰선박의 최종적인 비용-편익 평가결과를 조회할 수 있다. 편익평가에서 언급된 해양 민감도와 해양 특성도의 기준에 대해서는 관련 전문가들 간의 협의를 통하여 보다 객관적으로 산정할 필요가 있다.

## 6. 결 론

본 연구에서 개발된 침몰선 위해도 모델은 침몰선박이 보유한 잠재적 위해도에 따라 우선적으로 위치를 조사할 선박의 선정에 위한 1차 평가를 정성적 평가 방법론에 의해 수행한 후, 침몰선박의 해양오염 가능성과 해양사고 유발 가능성 등에 중점을 두어 우선처리 대상선박을 선정하기 위한 2차 평가를 정량적 평가 방법론에 의하여 수행하도록 되어 있다. 또한 1단계와 2단계 평가에서 위해도 제어방안에 대한 비용-편익분석이 가능하도록 개발되었다.

침몰선박 위해도 평가시스템은 본 연구에서 개발된 침몰선박의 위해도 평가모델을 기반으로 개발되었으나, 이 평가 모델이 침몰선박이 가지고 있는 특수한 위해도소들을 충분히 반영하기에는 부족함이 있을 수 있다. 따라서 향후 관련 연구를 통해 본 연구에서 개발된 평가모델의 한계점을 극복할 수 있는 공학적 기반의 정성적, 정량적 평가 지수 개발이 필요하다.

한편 본 연구에서 제시한 침몰선박 위해도 평가를 위한 비용-편익 모델은 침몰선박의 위해도를 환경피해 위해도와 해양안전 위해도 등 2가지의 위해도로 나누어 분석한 후, 양쪽을 종합하여 위해도를 산정하는 방식이며, 위해도 제거 혹은 경감조치로 얻어질 수 있는 편익의 개념을 화폐가치로 평가할 수 있는 모델이다. 따라서 위해도의 절대적 크기나 상대적 크기 모두 의미를 가질 수 있는 평가척도이다. 또한 본 연구에서 개발하여 제시한 비용-편익 모델은 위해도에 영향을 미치는 제요소들과 위해도와의 관계를 함수 형태로 제시함으로써 위해도 평가의 객관성과 합리성을 높이는 데 기여할 것이다. 다만 비용-편익모델의 구체적 적용을 위해서는 보다 많은 데이터와 자료가 수집되어야 할 것이다.

향후 관련 연구를 통해 공학적 기반의 평가지수를 개발하여 본 연구에서 개발된 평가시스템에 반영하는 것이 필요하며, 이후 본 평가시스템의 신뢰성이 검증된 후 국내 해역에 침몰되어 있는 선박의 위해도 평가에 활용된다면 과학적이고 경제적인 침몰선박 관리 및 처리 정책 수립에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 후 기

본 논문은 한국해양연구원의 기본연구사업으로 수행 중인 “해난사고 예방 및 구난체계 구축사업”과 해양수산부의 지원으로 수

행 중인 “침몰선박 관리시스템 구축연구”의 연구결과 중 일부임을 밝힌다.

### 참고문헌

- [1] 공인영 외, 1998, FSA 기법의 선박운항 안전성 평가에의 적용연구(I), 한국기계연구원.
- [2] 최혁진 외, 2004, 침몰선박 관리시스템구축 연구(VII), 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서, UCM00500-2473.
- [3] 하우일 외, 2001, “선박 해양구조물의 위해도 해석 연구(I)”, 기술현대, Vol. 21, No. 1, 3-10.
- [4] ABS, 2000, Guidance Notes on Risk Assessment Applications for the Marine and Offshore Oil and Gas Industries.
- [5] IMO, 2002, Guidelines for Formal Safety Assessment for Use in the IMO Rule-Making Process, MSC/Circ.1023.
- [6] Ray, P.S. et al., 2002, “Risk analysis: tools successful in contemporary industries”, Proceeding if the XVI Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference, Toronto.
- [7] RINA, 2002, Formal Safety Assessment Study of Bulk Carrier, Final Report.
- [8] USCG, 2001, Risk-Based Decision Making Guideline, Vol. I, II, III.
- [9] Wilcox R., 2000, “Risk-based technology for the safety assessment of marine compressed natural gas fuel systems”, Proceedings for the 8th ICMES/SNAME New York Metropolitan Section Symposium.
- [10] 변성훈 외, “침몰 유조선 경신호의 부식 조사 및 추정”, 선박해양기술, 제34호, 2002.
- [11] “Factors Influencing Accelerated Corrosion of Cargo Oil Tanks”, OCIMF, 1997.
- [12] “대형 산적화물선의 부식과 해난”, 일본 조선학회 제767호
- [13] “IHO 해도편수기준”, 국립해양조사원, 1999.
- [14] 강창구 외, 침몰선박 관리시스템 구축 연구, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 연구보고서 BCM00904-2267, 2000.

---

2005년 7월 4일 원고접수

2005년 11월 17일 수정본 채택