

20인승급 소형 위그선의 안전성 평가

이순섭^{†*}, 이종갑^{**}

경상대학교 해양과학대학 조선공학과, 해양산업연구소^{*}
한국해양연구원 해양시스템안전연구소^{**}

The Safety Assessment of Small WIG Craft in the 20-Passenger Class

Soon-Sup Lee^{†*} and Jong-Kap Lee^{**}

Dept. of Naval Architecture, Gyeongsang National University^{*}
Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI^{**}

Abstract

WIG crafts are a high speed vessel with features of dynamic supported craft. These crafts, which are predominantly of light weight and operate any substantially greater speeds than conventional craft such as bulk carrier, tanker, container ship, etc., could not be accommodated under traditional maritime safety instruments. It means that there is the need for risk and safety levels to be assessed on a holistic basis, recognizing that high levels of operator training, comprehensive and thoroughly implemented procedures, high levels of automation and sophisticated software can all make significant contributions to risk reduction. To response this requirement, the Interim Guideline for WIG craft(MSC/Circ.1054) were developed in the view of the configuration of WIG craft, which fall between the maritime and aviation regulatory regimes. This paper reviews a safety assessment process and methodology to be used in the design phase of a new ship. The process and methodology is based on the risk-based approach and is applied to safety assessment in concept development phase of small WIG craft in the 20-person class.

※Keywords: WIG craft(위그선), Interim guideline, Functional hazard assessment(기능 위해도 평가), Preliminary system safety assessment(초기 시스템 안전성 평가), Risk-based approach(위험도 기반 접근법), Risk index(위험지수)

1. 서론

현재 동북아 지역의 해상에서 이루어지는 물동량은 중국 및 주변 국가들의 경제 성장과 더불어 매우 급속하게 증가하고 있으며, 이러한 새로운 물류환경에 대응하는 해상교통수단의 고속화를 요구하고 있는 현실이다. 그 결과 현재까지 다양한 고속선 및 신형식의 선박들이 개발되고 있으며, 이중에서도 높은 효율성과 고속성 그리고 탄력적인 연계 수단으로 활용 가능한 위그선(Wing in Ground Effect Craft, WIG) 개발에 대한 관심이 집중되고 있다(Chun 2000, Kang et al. 2007).

위그선은 벌크캐리어, 탱커선, 컨테이너선과 같은 전통적인 형태의 선박들에 비하여 상대적으로 높은 속도, 경량화된 구조 및 항해특성 지원, 자세 제어, 고도계측과 같은 검증되지 않은 기술 등이 사고를 유발할 수 있는 요인으로 작용하며, 사고 발생 시 대량의 인명 손실로 이어지는 특성을 갖는다. 위그선과 관련된 대표적인 중대사고는 충돌, 좌초, 침수, 화재 및 폭발 등이 있으며, 특히 고속 운항 중 충돌이 발생할 경우 인명손실 및 선박의 전손이 따르는 대형사고가 예상된다. 따라서 사고 발생시 피해의 최소화를 위한 수단 보다는 사고 자체가 발생하지 않도록 원인요소를 식별하여 설계단계에서 제거하는 것이 필수적이다(Lee 2004, Lee et al. 2005a, Lee et al. 2005b).

위그선과 같은 신개념의 선박을 개발할 경우에는 이전의 실적선 사례가 없기 때문에 설계시 고려해야 할 위해요소가 기존의 선박보다 몇 배 혹은 몇 십 배로 증가하고 있으며, 선박과 관련한 사고에 대한 위해요소 또한 80% 이상이 선박자체의 결함보다는 승무원의 실수나 관리시스템과 관련이 있고 최근에는 이러한 요소들을 설계 단계에서부터 반영하기 위한 노력이 요구되고 있다(Lee et al. 2004).

지금까지 해양사고 예방을 위한 노력은 국제해사기구(IMO)를 중심으로 관련 법규의 보완과 적용을 통하여 이루어져 왔다. 그러나 계속되는 법규의 제정과 강화에도 불구하고 해양사고는 지속적으로 발생하고 있으며, 그 피해도 대형화되고 있다. 이에 따라 선박을 설계하는 과정에서도 기존

의 rule 및 성능 위주의 설계에서 안전을 중심으로 한 설계방법론을 도입하고자하는 노력이 시도되고 있다(Petersen and Braasch 2001).

특히, IMO에서 제안한 위그선에 대한 interim guideline인 MSC/Circ. 1054는 위그선의 전체적인 배치 관점에서 개발되었으며, 목적은 1974년 SOLAS(International Convention for the Safety of Life at Sea) 총회에서 개정된 안전성 기준들과 비교될 수 있는 안전표준을 얻는데 있다. 위그선 interim guideline은 유연성 있는 위험관리를 기반으로 하고 있지만 기존의 규범적인 기준(prescriptive rule)들도 내포하고 있다. 즉 위그선 interim guideline에서는 2000년에 개정된 고속선의 설계기준인 고속선 기준(High Speed Craft, HSC) 코드의 내용을 대부분 포함하고 있다(IMO 2002b).

본 논문에서는 IMO에서 제시한 위그선에 대한 안전성 설계를 위한 interim guideline에서 제시한 절차와 방법론을 토대로 위그선의 개념설계 단계에서 내포하고 있는 기능적 위험요소들에 대한 안전성평가를 수행하였다.

2. 관련연구 현황

2.1 위그선의 개발현황

위그선 개발의 선진국이라 할 수 있는 러시아는 1960년대부터 군사목적으로 위그선을 개발하였으며, 1985년부터 강이나 호수와 같이 파도가 없는 지역에서 운항 가능한 민수용 위그선을 개발하였다. 1990년대 들어 구 소련이 붕괴된 후 위그선 개발은 민간기업 주도로 이루어 졌으며, 현재 차세대 위그선 개발을 진행 중인 것으로 알려져 있다.

미국의 경우에는 1960년에서부터 1970년대까지 정부의 무관심속에서 개발자금이 없어 연구실 수준에 있었다. 하지만 1990년대에 이르러 버지니아 아르콘사는 러시아의 위그선 연구소와의 공동연구개발 협정을 체결하여 활발한 연구개발을 추진하였으며, 2002년부터 보잉(Boeing)사는 초대형 수송기 펠리컨(Pelican) 개발을 추진 중인 것으로 알려져 있다.

독일에서는 주로 20인승이하의 소형 위그선을 개발하고 있으며, 1960년대에서 1970년대에 서독 정부의 지원 하에 개발한 6인승 순시 및 인명구조용 위그선을 개발하였다. 그 후 꾸준한 선행개발로 성공적인 모델들을 개발하였지만, 이수 파도가 0.5m미만으로서 해상 상태에서 파랑 중 운항에 매우 취약한 특성 때문에 파도가 없는 강이나 호수 등지에서 주로 운항 되고 있다.

우리나라의 경우에는 1995년부터 한국기계연구원과 조선 4사(대우조선해양, 삼성중공업, 한진중공업, 현대중공업)가 컨소시엄으로 소형 위그선 개발에 착수하여 1인승 유인시험선을 건조하였으며, 실 해역 시험을 성공적으로 실시하였다. 2001년에는 한국해양연구원과 인피니티의 공동연구를 통하여 4인승 위그선 개발에 성공한 바 있으며, 2004년부터 산업자원부의 민군경용과제로 한국해양연구원이 20인승급 소형 위그선을 개발(Kang et al. 2007) 중에 있다.

2.2 안전성평가에 대한 연구현황

현재 핵발전소, 화학공장, 우주항공기 및 해양구조물 개발과 같이 타 산업분야에서 널리 활용되고 있는 확률론적 방법론을 선박의 안전성 평가기법에 적용하고자 하는 노력들이 유럽 국가들을 중심으로 진행되고 있다(Lee 2004). 이들 중 대표적인 것들은 위그선 설계에 대한 interim guideline (MSC/Circ.1054)에 제시된 안전성 평가 기법을 실제 설계에 적용하려는 연구와 EU의 공동 프로젝트(Safer EURORO I, II 2003)에서 수행하는 DFS(Design for Safety)에 대한 연구 등이 있다. 본 논문에서는 전자에 대한 내용만을 검토하였다.

위그선의 안전성 평가 또는 인증에 대한 관심 및 연구개발을 처음 시도한 나라는 러시아이다. 러시아에서는 위그선의 안전성에 대한 인증을 발급하기 위해 국제 민간항공기구(International Civil Aviation Organization, ICAO)에서 수행하고 있는 안전성평가 절차(aerospace recommended practice 4761 절차)를 도입하였으며(SAE 1996), 그 결과 러시아 선급은 위그선의 Amphistar 모델에 최초로 위그선 안전에 대한 인증서를 발급하였다. 이때 사용된 러시아 선급의 인증 법규는 이후

IMO에 제출되어 IMO에서 제시한 위그선의 interim guideline에 수록되어 있는 조항의 원형이 되었다(Petersen and Braasch 2001).

IMO MSC/Circ.1054인 위그선 interim guideline에서 제시하는 안전성 평가 절차는 초기의 개념을 설정하는 단계에서는 기능 위해도 평가(Functional Hazard Assessment, FHA), 설계 및 건조 단계에서는 초기 시스템 안전성평가(Preliminary System Safety Assessment, PSSA) 및 검증단계에서의 시스템 안전성 검증(System Safety Assessment, SSA)로 이루어져 있으며, 각 프로세스의 결과들은 다음 프로세스의 출발점이 된다.

아직까지 전 세계적으로 위그선을 설계/건조/검사하는 과정에서 위그선 interim guideline에서 제시한 절차 및 방법론에 따라 안전성평가를 직접 수행한 사례는 보고되지 않았지만, 국내에서는 해양시스템안전연구소를 중심으로 수행되는 민군경용과제를 통해서 실제 설계/건조되는 20인승급 소형위그선의 안전성 평가를 interim guideline에서 제시된 방법에 따라 수행하고 있다. 또한 이를 통해서 위그선의 안전성 평가를 위한 절차와 방법론의 검증이 자연스럽게 이루어 질 것으로 여겨진다.

3. 위그선의 안전성 평가 방법론

선박을 중심으로 한 해양시스템의 개발과정에서 요구되는 안전성평가 방법론은 크게 규칙/규정/기준과 같은 룰(rule)을 기반으로 한 확률론적 방법론(deterministic approach), 확률개념을 기초로 한 리스크 기반의 방법론(risk-based approach) 그리고 조종성능, 내항성능, 저항성능 등과 같은 각 종 성능에 대한 수치해석이나 실질적인 시험(모형시험, 풍동시험 등) 등을 이용한 시뮬레이션 기반의 방법론(performance-based approach)이 있다.

위그선의 경우에는 기존의 운항되는 선박과는 달리 매우 빠른 속도로 운항하고, 우리나라의 경우에는 현재까지 건조된 사례가 없기 때문에 보다 합리적이고, 과학적이고, 체계적이며, 전 수명주기 동안에 걸쳐 관리할 수 있는 통합적인 방법론이 요구된다. 특히, 위그선 설계 단계에서는 각 세부

시스템의 요구 성능, 개발일정 및 소요예산에 부정적인 영향을 미칠 수 있는 위험요소들을 식별하고, 사고 발생확률과 사고 피해 영향도를 분석하여 위험도(risk) 해소 및 저감을 위한 조치를 취하며 이들을 지속적으로 추적/관리하기 위한 방법론이 필요하다.

따라서 현재 해상에서 운항되고 있는 대부분의 선박들의 안전성을 평가하여온 확정론적 방법론 보다는 건조경험이 없는 신선박들의 사고예방 차원에서 많이 이용되는 리스크 기반의 방법론을 기초로 하여 선박사고의 결과피해 예측을 위해서 부분적으로는 시뮬레이션 기반의 방법론을 사용하여야 한다.

이들 방법론들 중에서 위그선 설계 단계에서 사용되어질 것으로 여겨지는 방법론이 MSC/Circ.1054인 위그선을 위한 interim guideline에서 제시하는 방법론, 공식안전성평가 방법론 및 MIL-STD-882D에서 제시한 방법론(US DoD 2000)이다.

3.1 공식안전성평가 방법론

해양시스템에서의 위험도 평가 및 관리방법론으로 최근 IMO에서는 해양 관련 규정을 제정하는데 공식안전성 평가(Formal Safety Assessment, FSA)라는 방법론을 사용하도록 규정하였다(IMO 2002a).

FSA란 IMO에서 개발한 선박 및 해양구조물과 같은 해양시스템을 위한 안전성평가 방법론으로 인명, 해상환경 및 재산보호를 포함하여 해상의 안전향상을 기하기 위한, 리스크와 비용-이익평가를 사용한 조직적이고 체계적인 안전평가 방법이다. 여기서 리스크이라 함은 앞서 언급한 바와 같이 사고 발생 빈도와 사고결과의 심각성의 조합으로 정의하며, 따라서 리스크 해석이라는 것은 모든 형태의 선박에 대한 구조강도의 표준, 복원성, 조종성, 해상에서의 성능과 안전경영이 포함된 주요 안전 목표의 근본을 형성하는 개념인 리스크를 정량화하는 것을 의미한다.

Fig. 1은 IMO의 FSA 평가절차를 보이고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 FSA는 위해요소 파악, 리스크 해석, 리스크의 제어방안, 비용-혜택 평가 그리고 의사결정을 위한 권고 등 5개의 단계로 일반적인 위험분석 및 평가절차를 기초로 하고 있

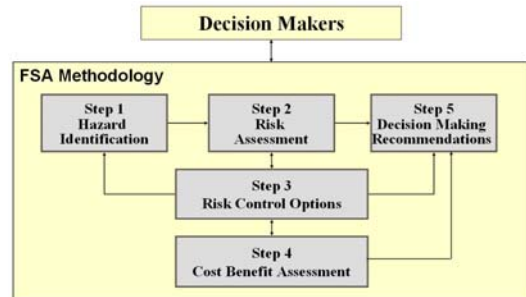


Fig. 1 FSA Process

며 함정시스템의 안전성 평가를 위한 규정 및 지침의 제정, 나아가 안전설계를 위한 정형화된 방법론으로 활용가능하다.

FSA는 선박 및 인명의 안전 확보를 위해 파급효과가 큰 국제규정, 협약 등에 우선적으로 적용하는데 그 목적을 두고 있다. 아울러 인적요소를 포함하는 다양한 기술적, 운영상 문제들 간의 균형, 그리고 안전과 비용간의 균형을 유지하기 위한 관점에서 현존 규칙과 새로 제안되는 규칙들 간의 비교 평가를 돕는 도구로서 사용될 수 있으며, 현 IMO의 의사결정과정과의 일관성을 유지하면서, 합리적 결정을 내리기 위한 기반을 제공한다. 또한 선박을 중심으로 한 해양시스템의 안전설계를 위한 방법론으로도 활용이 가능하다.

3.2 체계안전 요구사항(MIL-STD-882D)

미 국방성에서는 주요 국방무기체계 및 자동화 정보체계의 획득규정(DoD 5000.2-R)과 함께 MIL-STD-882D를 통하여 시스템 안전의 목표(system safety objective), 즉 위험요소의 분석, 위험도의 평가, 그리고 위험요소의 관리를 위한 체계적인 접근을 통하여 체계의 안전성을 보장하는데 필요한 절차와 방법론 및 각 프로그램에 적용하기 위한 기본적인 요구사항 및 이의 시행을 지침을 제공하고 있다.

- 체계안전에의 접근방법에 대한 문서화
- 위험요소(hazard)의 식별
- 사고위험도의 평가
- 사고위험도 감소 수단의 식별
- 사고위험도의 감소

- 사고위험도 저감 수단 및 결과에 대한 검증
- 위험요소의 검토 및 잔존사고위험도에 대한 승인
- 위험요소(hazard)의 추적 및 관리

3.3 Interim Guideline (MSC/Circ.1054)

IMO에서 제시한 위그선에 대한 interim guideline 문서(MSC/Circ. 1054)는 국제항해에 종사하는 위그선에 관한 규정을 포함하고 있으며, 특히 설계, 건조, 그리고 운항 및 보수의 조건에 대한 내용을 중점적으로 다루고 있다. 이 문서에서는 엄격한 운항통제와 함께 구조 및 장비기준의 적용을 통해서 개정된 SOLAS 1974 및 ICLL (International Convention on Load Lines) 1966에서 요구되어지는 전통적인 선박과 안전수준과 동등한 수준의 안전성을 목적으로 하고 있으며, 이 문서에서 제시된 안전성 평가프로세스는 중대한 고장상태 식별, 고장상태에 의한 선박 및 승선자에 대한 영향 평가 그리고 관련 시스템을 위한 안전 목표 및 안전 요구사항의 결정을 수행한다.

Interim guideline에서의 안전성평가 절차는 위그선의 개발단계에 따라 기능 위해도 평가(FHA), 초기 시스템 안전성평가(PSSA) 및 시스템 안전성 검증(SSA)으로 이루어져 있으며, Table 1에서는 위그선의 개발단계별 이용되는 안전성평가 프로세스를 나타내었다.

Table 1에서 보듯이 FHA는 위그선의 전 수명 주기 동안에 나타나는 사고들에 대한 위험요소들을 식별하고 평가하기 위한 절차로서 top-down approach로 이루어진다. PSSA에서는 위그선의 설계 및 건조단계에서 FHA를 통해서 도출되어진

Table 1 Safety Assessment Process in Development Stage

평가 프로세스	기능 위해도 평가 (FHA)	임시의 시스템안전평가 (PSSA)	시스템안전평가 (SSA)
프로세스의 목적:	- 고장상태 식별 및 분류 - 안전목표 설정	- 시스템 및 항목 안전 요건 설정 - 하드웨어 처리를 위한 설명서 개발	- FHA 및 PSSA에서 규정된 안전 요건이 만족한가 검증
개발 주기:	타당성조사/개념	초기 설계	상세 설계
		건조	설계검증

failure condition과 위험요소들을 안전한 수준으로 감소시키기 위한 작업들이 수행되어지며, 원하는 안전을 확보할 때까지 반복적인 작업이 이루어진다. SSA에서는 건조되어진 위그선이 FHA와 PSSA에서 정의된 안전에 관한 요구조건을 만족하는지를 검증한다.

본 논문에서는 이상의 방법론 중에서 IMO MSC/Circ. 1054에서 제시한 절차와 평가방법론을 이용하였다.

4. 20인승급 소형 위그선 안전성평가 절차

위그선 설계단계에서의 안전성평가는 설계시스템 기능들의 체계적인 평가 및 이 기능들을 수행하는 시스템의 안전성을 평가하는 프로세스이며, 식별된 시스템의 요구사항에 대한 고장상태(failure condition), 고장효과 (failure effect) 및 안전목표(safety objectives)를 정의한다.

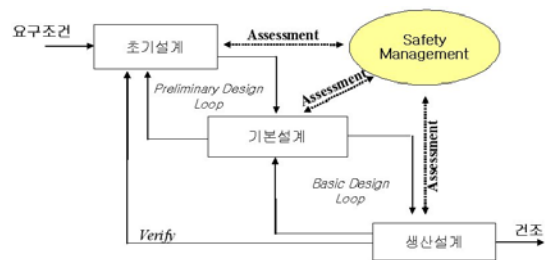


Fig. 2 Safety assessment and management in design process

Fig. 2에서는 위그선 설계 단계에서의 시스템과 서브시스템 수준에 대한 안전성 확보 및 관리를 위한 기본 프로세스를 나타내었다. 그림에서 보듯이 본 논문에서 사용된 기본 프로세스는 시스템 엔지니어링에서 제공하는 프로세스와 유사하며, 위그선의 안전은 일부 설계단계에서만 적용하는 것이 아니라 전 설계단계에 걸쳐서 평가/관리되어야 한다는 것을 나타내었다.

위그선에 대한 interim guideline에서도 이러한 프로세스를 포함하고 있으며, 특히 설계 뿐만 아니라 건조, 운항 및 유지보수에 대한 내용도 중

점적으로 다루고 있다. Interim guideline에서 제시된 안전성평가 프로세스는 시스템과 서브시스템의 중대한 사고에 대한 고장상태 식별, 고장상태에 따른 시스템과 서브시스템 및 승무원, 승객에 대한 영향 평가 및 일반 요구사항을 결정하는 프로세스이다. 또한 이 프로세스는 위그선 전 수명주기 동안의 안전성평가를 지원하며, 위그선의 개발에 따라 기능 위해도 평가(FHA), 초기 시스템 안전성평가(PSSA) 및 시스템 안전성 검증(SSA) 프로세스로 이루어져 있다.

먼저, 기능 위해도 평가 프로세스는 전 수명주기 동안에 나타나는 사고들에 대한 위해요소들을 식별하고 평가하는 절차로서 시스템에서 서브시스템/구성요소(component)로 정의하는 top-down 방식으로 정의한다. 이 프로세스의 목적은 위그선 시스템 레벨에서의 고장상태 식별, 분류 및 안전 목표 설정에 있으며, 위그선 개발을 위한 타당성 조사 및 개념설계 단계에서 수행된다.

초기 시스템 안전성평가 프로세스는 위그선의 초기설계 및 상세설계 단계에서 수행되며, 이미 정의된 기능 위해도 평가를 통해서 도출된 고장상태와 위해요소들을 안전한 수준으로 감소시키기 위한 작업들이 수행된다. 이러한 프로세스는 시스템에 대한 설계자의 원하는 안전을 확보할 때까지 반복적인 작업이 이루어진다.

시스템 안전성 검증 프로세스는 건조되어진 위그선에 대해서 설계단계에서 수행된 기능 위해도 평가와 초기 시스템 안전성평가 결과인 안전에 관한 요건들을 만족하는지를 검증한다.

5. 20인승급 소형 위그선의 안전성평가

본 논문에서는 IMO MSC/Circ.1054에서 제시하고 있는 절차와 평가방법론을 토대로 20인승급 소형위그선이 해양을 운항하면서 겪게 되는 동안에 발생하는 모든 고장들의 원인이 되는 위험요소들을 선박의 개념설계 단계에서 분석/정의하였으며, 선박이 내포하고 있는 위험요소들을 초기에 없애기 위한 안전성평가를 수행하였다.

위그선의 개념설계 단계에서 수행하는 기능적 위해도 평가 수행에 앞서 평가대상이 되는 위그선

의 선박, 시스템 및 서브시스템에 대한 정의와 이들 간의 관계 및 이들 시스템들의 안전성 요구사항(safety requirement)을 정의하여야 한다. 주요 시스템들의 안전성 요구사항은 위그선 안전목표 및 평가기준을 설정하는데 이용한다.

Fig. 3에서는 위그선을 구성하는 주요 시스템들 중에서 craft 수준에서의 안전성 요구사항을 정의한 것이다.

1. 적절한 유지보수를 이루어질 경우 전 수명주기 동안에 비 손상/손상 상태에서 지정된 운항 및 환경조건하에서 안전하도록 설계 및 건조
2. 선체구조 손상/붕괴에 기인하여 해상 오염 또는 선박의 침몰 등을 일으키는 위험을 최소화하기 위하여 선박은 적절한 구조강도/신뢰성/복원성을 가져야 함
3. 위그선의 설계수명은 [25]년보다 작지 않아야 함
4. 위그선의 운항수명은 선박의 유지보수 및 운항조건에 따라 설계수명보다는 길어지거나 짧아질 수 있음
5. 위그선은 [황해] 또는 이와 동등한 장기 파랑 분포자료에 따라 설계되어야 함
6. 적절한 수밀과 풍우밀을 가짐
7. 위그선은 모든 고장 및 결점에 대한 경고음을 울려야 함
 - 7.1 화재탐지/침수/과부하/위험물질의 노출/...
 - 7.2 기관 및 장비들의 고장
8. 위그선은 위험요소를 식별/저감하여 안전하게 운항하여야 함
9. 위그선 시리즈의 첫 번째 선박은 선급에 의해 승인된 프로그램에 의해 시험평가 되어야 함
10. 가장 나쁜 상태에서의 위그선의 운항안전 및 신뢰성에 대해서 충분히 인정

Fig. 3 Safety requirements of craft level

Table 2에서는 20인승급 소형위그선을 구성하고 있는 제품들의 관계를 표현한 시스템 레벨의 제품 분해구조(Product Breakdown Structure, PBS)를 나타내었다. Table 2에서 보듯이 PBS는 top-down 방식에 의해 시스템, 서브시스템 및 장비들을 정의하고 PBS에 사용된 시스템 및 장비들은 위그선의 작업분해구조(Work Breakdown Structure, WBS)에서 정의된 정보를 이용하여 정의하였다. 위그선의 WBS는 위그선의 획득 및 수명주기 관리를 위한 기술 및 정보 관리수단으로 MIL-STD-881B를 기반으로 위그선에 적합하도록 수정하였으며, 위그선의 안전성평가를 위한 기능을 도출하는데도 이용하였다.

Fig. 4에서는 위그선이 갖는 최상위 수준에서의 기능들을 나타내었으며, Fig. 5에서는 하위수준의

Table 2 Definition of PBS for WIG craft (System Level)

SWBS No.	시스템	서브시스템
100	선체	동체
		날개
		비행제어
200	추진	엔진
		축계
		기어박스
		프로펠러
		Thrust
300	전기	추진지원
		전력발전
		전력발전지원
		전력분배
400	항해 및 통신	전력제어
		조명
500	보기시스템	항해
		통신
		엔진계통
		유탄계통
		운항계통
		기상통계계통
		해수계통
		경수계통
		통풍시스템
		긴급시스템
환기지원		
600	의장시스템	선체의장품
		구획의장품
		조종실
700	제어시스템	도장
		탈출경로
		화물창부
		비행제어
		동력플랜트제어 서비스

List of Function Worksheet				Sheet 1 of 8
				Issue : SSL
				Date : 2005. 4. 30
Function No.	Function	System Subsystem Equipment	Equipment-ID-No.(SWBS)	
1.0	일반적인 성능(General Performance)	craft		
2.0	배수량 형태(Displacement Mode)가 가능	craft		
3.0	활주(Planning Mode) 가능	craft		
4.0	이수(Take-off) 가능	craft		
5.0	운항(Cruising) 가능	craft		
6.0	착수(Landing) 가능	craft		
7.0	육상이동(Amphibian) 가능	craft		

Fig. 4 Required functions in top level

기능들 중에서 배수량모드에 대한 기능들을 나타내었다. 그림에서 보듯이 위그선의 기능적 위해도 평가를 위한 기능들은 top-down 방식으로 정의하였으며, 최상위의 기능들은 위그선의 운항형태를 기반으로 정의하였다. 또한 기능들의 관계를 function no.로 정의하였으며, 기능들과 위그선을 구성하는 시스템 및 서브시스템과의 관계도 나타내었다.

20인승급 소형위그선의 안전성평가를 수행하기 위해서는 평가 결과를 판정하기 위한 기준이 주어 져야 한다. 본 논문에서는 국내외 위그선 관련 법규들을 조사 분석하여 기능적 위해도 평가 기준을 설정하였다.

List of Function Worksheet				Sheet 3 of 8
				Issue : SSL
				Date : 2005. 4. 30
Function No.	Function	System Subsystem Equipment	Equipment-ID-No.	
2.0	배수량 형태가 가능	craft		
2.1	부력을 가져야 함	craft		
2.1.2	부력을 얻을 수 있는 선체하부 형상을 가짐	craft		
2.2	횡복원력을 가져야 함	craft		
2.2.1	비손상 복원력이 충분해야 함	craft		
2.2.1.1	바다(횡풍/돌풍)에 대한 복원력 충분	craft		
2.2.1.2	파도에 대한 복원력 충분	craft		
2.2.1.3	여객의 갑중에 대한 복원력 충분	craft		
2.2.2	손상 복원력이 충분해야 함	craft		
2.2.2.1	바다(횡풍/돌풍)에 대한 복원력 충분	craft		
2.2.2.2	파도에 대한 복원력 충분	craft		
2.2.2.3	여객의 갑중에 대한 복원력 충분	craft		
2.3	해상정박 가능	의장시스템		
2.3.1	Anchor에 의한 정박 가능	의장시스템		
2.3.2	계류장착에 의한 정박 가능	의장시스템		
2.4	이-집안 가능	의장시스템		
2.4.1	예인장착에 의한 이-집안 가능	의장시스템		
2.5	연린 시동이 가능	추진시스템		
2.5.1	연료시스템의 교장이 없어야 함	추진시스템		
2.6	적속운항 가능	추진시스템		

Fig. 5 Required functions in displacement mode

Severity Index (SI)

SI	Severity	Effects on Human Safety	Effects on Ship	S (Equivalent fatalities)
4	Catastrophic	Multiple fatalities	Total loss	10
3	Hazardous	Single fatality or multiple severe injuries	Severe Damage	1
2	Major	Multiple or severe injuries	Non-severe ship damage	0.1
1	Minor	Single or minor injuries	Local equipment damage	0.01

Frequency Index (FI)

FI	Frequency	F (per hour in ground effect operation)
9	Frequent	10 ⁻³
7	Reasonably probable	~ 10 ⁻⁵
5	Remote	~ 10 ⁻⁷
3	Extremely remote	~ 10 ⁻⁹
1	Extremely improbable	10 ⁻⁹ ~

Risk Index (RI)

← Severity →			
10	11	12	13
8	9	10	11
6	7	8	9
4	5	6	7
2	3	4	5

↑ Frequency ↓

Fig. 6 Risk Index of WIG craft

Fig. 6은 분석된 법규 및 기준들을 참조하여 개발 중인 20인승급 소형위그선에 적합한 평가기준을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 정의된 평가 기준은 위그선의 위해도 평가를 위한 사고 빈도 및 결과에 대한 평가기준으로 나타내었다. 개발 중인 위그선의 기본 요구사항과 운항환경 및 특성을 고려하여 위그선의 평가기준을 다음과 같이 정의하였다.

- 10 이상 : 만족하지 않음
- 5 ~ 9 : ALARP이 요구됨
- 4 이하 : 무시해도 됨

본 논문에서는 위험지수(risk index)가 10 이상인 경우는 무조건 설계사항에 반영되어야 하며, 5

에서 9인 경우에는 실제 가능한 최소한의 위험도 (As Low As Reasonably Practicable, ALARP) 개념을 통해서 위험지수를 4이하로 감소하기 위한 수단을 식별하여 안전설계 요구사항으로 설계사양에 반영하도록 하였다.

Fig. 7에서는 위그선의 개념설계 단계에서 수행된 기능 위해도 평가 결과를 나타낸 것으로 Fig. 5에서 정의된 연료시스템의 기능들에 대해서 평가를 수행하였다. 기능 위해도 평가를 수행할 경우 고려해야 할 고장 상태에는 기능의 상실(발견된/발견되지 않은), 기능 이상(발견된/발견되지 않은), 부정확한 기능, 낮은 성능, 중단된 기능, 부주의한 기능 등이 있다. 또한 고장 상태는 선박 및 시스템 수준에 미치는 영향과 선원, 승선자 및 환경에 미치는 영향 관점에서 검토하였으며, 고장 상태의 영향을 평가할 때에는 모든 운항 형태, 환경 조건, 비상/비정상 상황을 고려하였다. 고장상태의 영향은 Fig. 6에서 정의한 심각도에 맞게 작은 영향(minor), 큰 영향(major), 위험한 영향(hazardous), 파국적 영향(catastrophic)으로 정의하였다.

초기 시스템 안전성 평가(PSSA)는 기능 위해도 평가에서 식별된 각각의 중대한 고장상태에 대해서만 수행하며, 독자적인 고장이거나 고장의 조합으로부터 기인하는 일련의 사건을 식별한다.

본 논문에서는 시스템이 내재되어 있는 위험 인자를 파악하고 리스크를 계산하기 위한 top-down 방식의 분석법인 결함도 분석(Fault Tree Analysis, FTA), 고장이 시스템 전체에 미치는 영향을 분석하는 기법인 고장 형태 영향 및 심각도 분석(Failure Modes Effect and Criticality Analysis, FMECA) 및 잠재적인 위험지역을 식별하는 기

Functional hazard analysis worksheet						Sheet ___ of ___ Issue : SSL Date : 2006.5.25
System: 추진시스템 Subsystem: 연료시스템			Function: 2.5 엔진시동이 가능			
Item No.	Failure Condition	Mission Phase	Failure effects	Classification	Objectives	Remarks
1	엔진의 시동이 원활하게 작동하지 않음	displacement	- 엔진의 시동이 걸리지 않음 - 엔진시동 횟수의 초과 - 정상치보다 높은 회전수를 발생시킴 - WIG선의 운항이 불가능	Major	10 ⁴	

Fig. 7 Result of FHA(Fuel System)

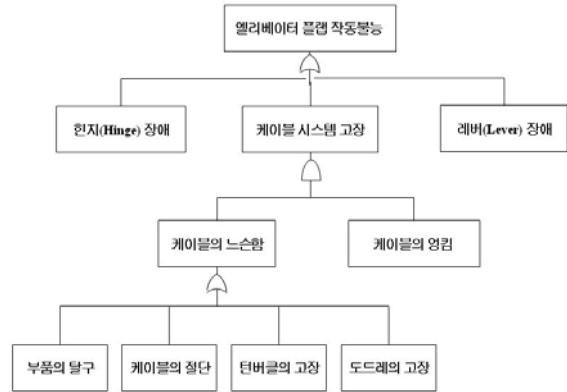


Fig. 8 Cause Analysis by FTA Method (Fuel System)

법인 구역 위해도 분석(Zonal Hazard Analysis, ZHA)을 통해서 20인승급 소형위그선에 대한 초기 시스템 안전성 평가를 수행하였다.

Fig. 8에서는 초기 시스템 안전성 평가에 사용되는 기법 중에서 FTA를 이용하여 추진시스템의 연료시스템의 고장원인을 분석한 예를 도식화한 것이다. 그림에서 보듯이 FTA 다이어그램은 고장 모드를 중심으로 작성하였으며, 고장의 원인(cause)이 식별가능한 단계까지 분해하였다.

Fig. 9는 20인승 위그선 추진시스템의 연료시스템에 대한 고장 형태 영향 및 심각도 분석(FMECA) 결과를 도식화하였다. 그림에서 보듯이 FMECA분석을 통해서 고장원인 식별 및 시스템 작동에 대한 영향을 분석하여 발생 확률(고장률)을 정량화하였다.

Item FMECA Worksheet								Sheet ___ of ___ Issue : SSL Date : 2006.5.25
System: 추진시스템 Subsystem: 연료시스템				FTA Reference: 엔진의 시동장치 작동 이상				
Item No.	Item	Item Failure Mode	Misk Failure Rate	Mission Phase	Failure Effect	Detection Method	Classification	Remarks
1	연료펌프	기계적인 고장	10 ⁶	Displacement	연료의 공급이 중단됨	엔진의 시동이 걸리지 않음	Major	
2	연료분사장치	기계적인 고장	10 ⁵	Displacement	시동이 걸리지 않음	엔진의 시동이 걸리지 않음	Major	
3	연료밸브	오염	10 ²	Displacement	- 연료펌프의 고장을 유발 - 시동캐진 중상이 나타남	엔진의 시동이 걸리지 않음	Major	
5	연료파이프	절단	10 ⁶	Displacement	연료의 누유	엔진의 시동이 걸리지 않음	Major	

Fig. 9 Results of FMECA(Fuel System)

Fig. 10에서는 구역 위험도 분석을 이용한 엔진 실내의 위험도 분석결과를 도식화하였다. 그림에서 보듯이 위험구역 내에 존재하는 위험요소와 초기 사건을 발생시키는 위험조건 뿐만 아니라 사건의 영향 및 안전조치까지를 제시함으로 위그선내의 위험구획들에 대한 안전관리가 가능하도록 하였다.

위그선의 기능적 위험도 평가 및 초기 시스템 안전성평가를 수행한 후 그 결과가 ALARP 구간에 있는 항목들에 대해서는 위험지수를 감소시키기 위한 통제수단이 필요하다.

리스크 통제수단(Risk Control Measure, RCM)은 사고의 발생의 가능성을 저감시키거나 사고자체를 예방(prevention)하기 위한 수단(measure)과 사고발생시 피해의 최소화(mitigation)를 위한 수단으로 구분할 수 있다. 일반적으로 초기설계 단계에서는 피해의 최소화 수단을 고려하지만 위그

선의 경우는 사고 자체를 예방하기 위한 수단이 함께 고려되어 설계에 반영되어야 한다. 이 수단들은 비용-효과분석 및 기술적 성능에 의한 영향 평가를 분석하여 설계대안으로 선정한다.

Fig. 11은 위그선에 적용 가능한 리스크 통제수단(RCM)들을 나타내었다.

6. 결론

현재 국제 교역 확대가 점점 확대되면서 선박의 고속화/대형화에 따른 해양사고의 위험성이 지속적으로 증가하고 있다. 선박의 설계 및 건조과정에서 안전성 확보를 위한 노력이 시도되고 있으나 실제 설계현업에서는 실적선의 자료나 설계자의 경험을 기반으로 하고 있다. 따라서 종합적으로 선박의 안전성 보장을 위한 보다 체계적이고 합리적인 방법론과 도구가 필요하다.

특히 위그선과 같은 새로운 개념의 선박을 개발할 경우에는 기존의 선박과는 달리 선박이 전 수명주기 동안에 만나게 될 사고에 대한 안전성 평가가 필수적으로 수행되어야 한다. 위그선은 빠른 속도로 수면 위를 운항하기 때문에 해양사고의 위험성이 매우 높으므로 안전성평가의 수행은 필수적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 새로운 개념을 가진 20인승급 소형위그선에 대한 개념설계 단계에서의 안전성 평가를 위한 수단으로 IMO MSC/Circ. 1054에서 제시한 평가절차 및 방법론을 검토하였다. 또한 이들 방법론 및 절차를 이용하여 실제 개발 중인 20인승급 소형위그선의 개념설계 단계에서의 안전성평가를 수행하였다. 그러나 IMO MSC/Circ. 1054에서 제시한 방법론을 보다 실질적인 위그선 안전성평가 기법으로 적용하기 위해서는 위그선의 사고사례와 이를 바탕으로 작성되는 평가기준들에 대한 보다 구체적인 정보가 필요하지만, 이러한 정보를 구하기 어렵기 때문에 전문가의 경험과 지식을 근거로 안전성평가를 수행하였다.

향후 개발된 20인승급 소형위그선이 제시된 안전목표와 요구사항을 만족시키는지 검증하기 위한 시스템 안전성 평가를 계속적으로 수행할 예정이며, 위그선의 사고 혹은 시스템 고장이 발생할 때

ZHA: 위험 식별 자료기록						장: ___의 발행부수: 일자
시스템: 지역: Engine Room 지역번호:	시스템: Main Engine & Auxiliaries 서브시스템: 장비: Main Engine, 연료펌프, 연료과이프, 연료필터, 연료분사장치...					
구분	위험요소	위험조건	초기사건	영향	확률	안전조치/ 수단수단
1	연료필터	여과기가 끼거나 노후	송출연료량 부족 연료누유	-시동이 안 걸림 -주행 중 시동이 꺼짐 -연진 Stall 발생	Hazardous	-주기적인 연료필터 교환 -연료필터 교환
2	연료분사장치 그 오일	연료필터가 가능 그 오일	관이 막힘	-아이들링이 안정되지 않는 현상 발생 -시동이 안 걸림	Minor	-1년에 한번 클러닝 -연료분사장치 교환

Fig. 10 Safety assessment for compartments (Engine room)

- 운항가능성 (부력, 복원력, 등)
- 구조적 안전 (재료, 강도, 손상제어, 격벽, 구획분할, 등)
- 거주구 및 탈출장비
- 제어시스템 (방향/자세/고도)
- 의장시스템 (계류/묘박/예인/정박)
- 화재 안전 (구조에 대한 방화조치/탐지/소화, 등)
- 구명장비 및 배치
- 기계류 (Machinery)
- 보조장치 (Auxiliary systems)
- 원격제어, 경보 및 안전시스템
- 전기 설비 (Electrical Installations)
- 항해 장비 (Navigational Equipment)
- 통신 설비 (Radio communication)
- 조종실 배치 (Operating compartment layout)
- 공기역학적 안정화 시스템 (Aerodynamic Stabilization Systems)
- 조종 (Handling), 제어 (Controllability) 및 성능 (Performance)
- 운항 규정 (Operational Provisions)
- 검사 및 유지보수 규정 (Inspection & Maintenance Provisions)

Fig. 11 Risk control measures

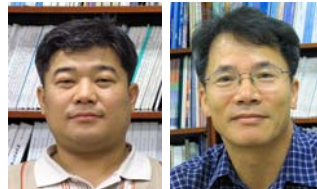
마다 그 원인과 결과의 형태와 그 심각성 및 조치 사항 등을 정리하여 데이터베이스로 구축해 나갈 계획이다.

후 기

본 논문의 내용은 한국해양연구원에서 수행하고 있는 “20인승급 소형 WIG선 개발” 과제 결과의 일부임을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- Chun, H.H., 2000, “A Study on Navy's Reinforcements and Characteristics of WIG Craft,” Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 37, No. 2, pp. 37-63.
- IMO, 2002a, Guidelines for FSA for use in the IMO rule-making process(MSC/Circ.1023).
- IMO, 2002b, Interim Guidelines for Wing-In-Ground (WIG) Craft (MSC/Circ.1054).
- Kang, K.J., Shin, M.S., Kim, Y.S. and Lee, S.S., 2007, Development of 20 Passenger Class WIG Ship-Public Report Stage 1, MOERI/KORDI Research Report.
- Lee, J.K., 2004, “Risk-based Approaches to the Safety in New Ship Design,” Proc. of the fourth Conference for New Ship and Marine Technology.
- Lee, S.S., Lee, J.K. and Park, B.J., 2004, “The Safety Assessment in Ship Design,” Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 224-229.
- Lee, S.S., Lee, J.K., Park, B.J. and Lee, D.K., 2005a, “The Functional Hazard Assessment of WIG Craft in Conceptual Design,” Proceeding of the Annual Spring Meeting, SNAK, pp. 1439-1444.
- Lee, S.S., Lee, J.K., Park, B.J. and Lee, D.K., 2005b, “The Safety Assessment of WIG Craft using Commercial Software,” Proceeding of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 500-505.
- Petersen, U. and Braasch, W., 2001, Application of Safety Assessment Process to WIG Craft.
- SAE International, 1996, Guideline and Methods for Conducting the Safety Assessment Process on Civil Airborne System and Equipment.
- U.S. DoD, 2000, MIL-STD-882D Standard Practice for System Safety Program Requirement.



< 이 순 섭 > < 이 종 감 >