

탑재형 선박 및 함정의 생존시간 추정시스템 개발

황호진[†]·공인영·이경중
한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Development of On-Board Survival Time Estimation System for Ships and Naval Vessels

Ho-Jin Hwang[†]·In-Young Gong·Gyeong-Jung Lee
Maritime and Ocean Engineering Research Institute / KORDI

Abstract

Damages of ships and naval vessels due to accidents and attacks would arouse enormous loss of lives and properties. To prevent maritime accidents is the best, and many researches have been achieved. But maritime accidents occurs continuously and to minimize casualties is considered as the second best. This paper has focused on the method and implementation of survival time estimation system for ships(STES system). The developed STES system provides plain and easy operations to get the survival time of damaged ship and naval vessel. The officers feed damaged conditions simply and quickly, and grasp instantly the survival time for damages. It would be attained by query and retrieval of survival time DB collected in a design process. We also check an effectivity of the system by practical applications.

Keywords : Survival time estimation(생존시간 추정), On-board system(탑재형 시스템)

1. 서론

선박 사고의 대부분은 높은 파도, 강한 비바람, 안개, 야간 등과 같은 악천후 상태에서 발생한다. 함정의 경우에도 함정 위험무기의 급속한 발전과 전투 환경의 변화로 인해 함정의 구조 손상을 위협받고 있다. 이러한 환경에서 선박 및 함정은 경미한 사고의 경우에도 손상이 계속 진행되어 마침내 전복되거나 침몰되는 치명적인 2차 사고가 발생할 수 있다(Lee, et al., 2004). 이와 같은 사고 및 피격에 의한 선박 및 함정의 전복 및 좌초는 막대한 인명적 피해와 재산의 손실, 치명적인 환경오염을 초래하는 요인이 되고 있다. 충돌, 좌초 및 피격 등 유사 시, 선박 및 함정의 생존시간을 빠르게 파악하여 신속하고 정확한 대피를 지원함으로써 인명적, 재산적 피해를 감소시킬 수 있다(Lee & Lee, 1999).

이러한 배경에서 대한민국 해군은 함정의 설계 과정에서 생존시간 계산을 통한 생존성 평가와 그 계산 결과를 함정에 탑재하는 시스템에 대한 수요를 지속적으로 요구하고 있다(Jung, et al., 2006). 이를 위해 여러 가지 선박 및 함정의 생존시간 계산 및 평가 시스템이 국내외적으로 개발이 되고 있지만, 국외 시스템의 경우 상당히 고가이며, 주로 선박 및 함정의 설계 단계에서 생존성 및 생존시간을 계산하는 것을 주 목적으로 하고 있다. 이로 인해 해군이 요구하는 탑재형 실시간 생존시간 추정에 사용하는 것은 다소 무리가 있다고 판단한다. 본 논문의 '추정'이란 생존시

간 DB로부터 주어진 손상 환경에 대한 결과를 검색하여 생존시간을 추측하고 판단한다는 것을 뜻하며, 생존성 관련 수식 등을 처리하여 생존시간을 구하는 '계산' 및 그에 대한 '평가'와는 다른 의미를 가진다.

선박 및 함정에 탑재되는 생존시간 추정 시스템은 간단하고 신속하게 선박 및 함정의 피해를 입력하고 피해에 대응할 수 있는 선박 및 함정의 생존시간을 신속하게 도출해 내야 한다. 하지만, 이미 개발된 생존시간 관련 시스템들은 설계 관점에서의 해석 및 계산을 목적으로 하며, 입력이 복잡하고 계산에 많은 시간이 걸리는 단점이 있다. 선박 및 함정의 충돌, 좌초 및 피격으로 인한 사고 시에는 여러 가지 대처 방안을 수립하기 이전에 사고 피해로부터 선박 및 함정이 생존할 수 있는 시간을 판단하는 것이 가장 우선되어야 하는데, 기존의 시스템들은 이를 만족시킬 수 없다. 따라서 이를 선박 및 함정 탑재형으로 사용하는 것은 그 효용성 및 신뢰도가 낮다고 판단한다.

이에 본 논문에서는 선박 및 함정의 생존시간을 실시간으로 추정할 수 있는 탑재형 시스템 개발 및 방법론을 목적 및 대상으로 하고 있다. 설계에서의 일반적인 생존성 계산, 해석, 평가(손상 복원성, 구조 안전성)는 그 대상이 아니다. 유사 시 간단하고 신속한 피해 상황의 입력을 통해 생존시간을 추정함으로써 선장 및 함장의 신속한 초기 의사 결정을 지원하며, 승객 및 승조원들의 신속하고 정확하게 대피할 수 있도록 하여 인명적, 재산적 피해를 크게 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

2. 국내외 관련 연구현황

국내의 선박 생존성 관련 연구는 한국해양연구원 해양시스템 안전연구소(Lee, 2003)에서, 함정의 생존성 관련 연구는 대한조선학회 함정기술연구회에서 주도적으로 이루어지고 있다. 국외에서는 미국의 ITE 사(ITE Inc., 2009), SIMSMART 사(Simsmart Technologies Inc., 2009)와 캐나다의 GasTOPS 사(GasTOPS Ltd., 2009)에서 생존성 관련 도구의 개발이 이루어지고 있다.

이 가운데 ITE 사에서 개발한 프로그램인 "FCCS/HSSS/IDA"는 미해군이 자국의 함정이 평상시 작전 중에 발생할 수 있는 충돌이나 좌초 등과 같은 일반적인 손상과 적과의 교전에 의한 손상으로부터 함정의 생존성을 향상시키기 위한 시스템으로 개발하여 시험 탑재하였다(Garber, et al., 1996). 이 시스템은 국내에서도 적용한 사례가 있다. 하지만 손상 시, 안정성, 구조취약성에 대한 정보를 실시간으로 표시해 주고 지휘관의 의사결정을 지원해주는 기능을 보유하고 있으나, 생존시간의 계산 및 추정에 대한 기능이 포함되어 있지 않다.

선박 및 함정의 설계 단계에서 생존시간 예측을 위해 사용되는 프로그램은 MOTISS, ASAP, SVM, SURVIVE 등 다수 있으나, 선박 및 함정의 탑재형으로 개발된 프로그램 중 생존시간 계산 및 추정 기능을 갖고 있는 것은 없는 것으로 알려져 있다. 설계 단계의 생존시간 계산 프로그램을 탑재용으로 확장하는 것도 고려해 보았으나 여러 가지 복잡한 입력값과 계산에 필요한 정보를 얻는데 어려움이 있을 것으로 예상된다. 또한 생존성에 대한 정의 자체가 매우 어려우며 이에 대해서는 미해군도 정확한 정의가 내려지지 않은 상태이다. "FCCS/HSSS/IDA" 프로그램에 생존 시간을 계산 및 추정하는 기능을 포함시키려면 검증된 생존시간 계산 프로그램을 활용하고 이를 Simulink 등의 Model Center(혹은 Wrapper) 프로그램으로 통합시키는 방법이 있으나, 매우 고가라는 단점이 있다. 또한 탑재형 시스템으로 활용하기 위해서는 프로그램이 실시간 운용되어야 하나 기존의 프로그램들은 시뮬레이션 계산시간이 다소 소요되는 비실시간 계산 프로그램인 한계가 있다. 다양한 해상상태에서 함정의 피격 후 생존시간을 계산하는 방법 중의 하나로 정적 접근 방법(Static approximation method)을

활용한 생존시간 간이계산법을 정립한 연구(Kim & Park, 2007)도 있다. 이 연구는 계산 측면에서 손쉽다는 장점이 있으나 그 결과에 있어 신뢰할 만한 결과는 얻을 수 없다고 판단한다. 이러한 기존 연구들은 대한민국 해군이 요구하는, 유사 시 신속하게 사용하는 탐재형 생존시간 추정 시스템으로는 무리가 있으며, 이러한 요구에 부합하는 시스템은 현재 없는 것으로 조사되었다.

이러한 문제들을 해결하기 위해 본 논문에서는 선박 및 함정의 손상 및 피격에 의한 생존시간 계산을 다양한 경우에 대해서 미리 시뮬레이션 계산하고, 그 결과를 DB화(DB화)하여 구축하는 방법론을 채택하였다. 구축된 DB를 기반으로 최대한 간단하고 쉬운 사용자 인터페이스를 구성하여 시스템을 구현하였다. 이를 통해 손상 부위에 대한 대략적인 위치 및 크기, 해상상태를 입력하여 실시간으로 생존시간을 도출/추정하고 이를 사용자에게 제공하는 생존시간 추정 시스템을 대상선박에 적용하였다. Table 1은 기존의 선박성능 계산 시스템과 본 논문의 탐재형 생존시간 추정 시스템을 주요 항목에 대해서 비교한 것이다.

3. 탐재형 생존시간 추정시스템

3.1 시스템 개요 및 구성

선박 및 함정의 생존시간이란 충돌, 좌초 및 피격에 의한 손상 후 회복이 불가능한 경우에 침몰되기까지 남아있는 잔존 시간을 의미하며 이는 대피 준비를 하는 데 사용될 수 있다. 생존시간 계산 및 평가는 통상 어떠한 상황에서도 대피가 가능한 최소한의 생존시간이 확보될 수 있도록 선박 및 함정의 설계 과정에서 해석/분석된다. 본 논문에서의 생존시간 추정이란, 선박 및 함정에 탑재된 컴퓨터에서 운용하기 위한 용도로 활용되고 선박 피격, 충돌과 같은 유사 시 선원의 대피 및 이함 등을 신속하게 명령해야 하는 선장 및 함장의 초기 의사 결정을 지원하기 위한 것을 의미한다. 이는 통상적인 설계 단계에서의 생존시간 계산 및 평가와는 다르다.

이러한 목적을 만족시키기 위해, 사용자는 유사 시 손상 상황을 간단하고 신속하게 입력하고 이를 기반으로 선박 및 함정이 생존

Table 1 Comparison with Survival Time Estimation System and Survivability Evaluation System

	탐재형 생존시간 추정 시스템 (본 논문)	생존성능 계산 시스템
목적	· 선박 손상 시, 실시간으로 생존시간을 추정하여 선장 및 함장의 신속한 초기 의사결정을 지원	· 선박의 설계 단계에서의 생존성 계산, 해석, 평가 (손상복원성, 구조안전성)
요구 조건 및 주요 특징	· 선박에 탑재되어 간단하고 신속하게 선박의 함정의 피해를 입력할 수 있어야 하며, 실제 해상상태를 고려해야 함 · 일반적인 생존성능보다 신속한 실시간 생존시간 판단이 최우선시됨	· 설계 단계에서의 생존성능 계산 및 해석이 주 목적으로, 입력정보가 복잡하고 계산에 많은 시간이 소요됨 · 탑재형 시스템으로 적합하지 않음
주요 방법론	· 다양한 선박의 손상시나리오에 대하여 미리 시뮬레이션 계산을 수행하여 생존시간 DB를 구축함 · 구축된 DB를 기반으로 손상 상태를 입력받아 일치하거나 유사한 상태의 생존시간을 실시간으로 추정함	· 입력정보를 바탕으로 생존성 관련 다양한 수식 등을 이용하여 직접 시뮬레이션을 수행함 · 생존성능에 대한 해석결과를 도출함
관련시스템	· FCCS/HSSS/IDA: 미해군 개발, 시험적으로 함정에 탑재하여 테스트함 · 생존시간 계산 및 추정기능 불포함	· MOTISS, ASAP, SVM, SURVIVE 등 주로 고가의 시스템

할 수 있는 시간을 판단하는 것이 가장 우선되어야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 선박 및 함정 유사 시의 손상시나리오와 생존 시간을 사전에 시뮬레이션 계산하고 이를 DB화하였다. 이를 바탕으로 실제 사고 발생 시 승조원들이 손상 부위에 대한 대략적인 위치 및 크기, 해상상태를 입력으로 하면, 이와 일치하거나 가장 유사한 손상시나리오에 대한 계산결과를 DB로부터 도출하여 손쉽게 선박 및 함정의 생존시간을 실시간으로 확인할 수 있도록 지원하는 탑재형 선박 및 함정의 생존시간 추정 방법 및 시스템을 개발하였다.

Fig. 1은 개발된 선박 및 함정의 탑재형 생존시간 추정 시스템의 구성도를 나타낸다. 선박 및 함정에 대한 제원들의 입력데이터를 작성하고, 해상상태(Sea State), 손상 부위에 대한 위치 및 크기들로 표현되는 손상시나리오를 선정한다. 이를 생존성 해석 프로그램의 하나인 SurvShip을 활용하여 선박의 손상거동 시뮬레이션을 계산한다. 시뮬레이션 결과에 대한 데이터들을 취합하여 생존시간 시뮬레이션 DB(데이터베이스)를 구성한다. 이러한 DB의 검색 및 결과에 대한 가시화를 위한 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 통해 손상 시 쉽고 빠르게 생존시간을 추정할 수 있도록 하였다.

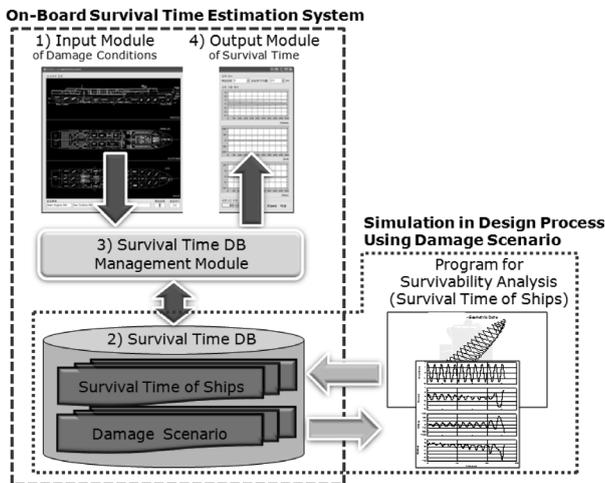


Fig. 1 Schematic diagram of STES system

개발된 탑재형 선박 및 함정의 생존시간 추정시스템은 크게 4 모듈로 구성되었다. 1) 선박 및 함정의 충돌, 좌초 및 피격 사고 발생 시 선박 및 함정의 피해 상황을 입력받는 피해상태 입력 모듈(Input Module of Damage Conditions), 2) 선박 및 함정에 대한 각 피해 상황을 예측 가능한 손상시나리오로 구성하고(손상시나리오 데이터), 각각의 손상시나리오에 대응하는 개별적인 선박 및 함정의 생존시간(생존시간 데이터)을 데이터베이스로 구축된 생존시간 DB 모듈(Survival Time DB), 3) 선박 및 함정의 피해상태 입력 모듈을 통해 입력된 피해 상황을 기반으로 하여 생존시간 DB로부터 실제 피해 상황과 일치하는 손상시나리오 및 이에 대응하는 생존시간 데이터를 검색해 낸 후, 그 결과를 실시간 생존시간 출력 모듈에 전달하는 생존시간 DB 관리 모듈(Survival Time DB Management Module), 그리고 4) 생존시간 DB 관리

모듈에 의하여 검색된 생존시간 데이터들을 승조원들이 직관적으로 확인할 수 있도록 출력해 주는 선박 및 함정의 생존시간 출력 모듈(Output Module of Survival Time)을 포함하고 있다.

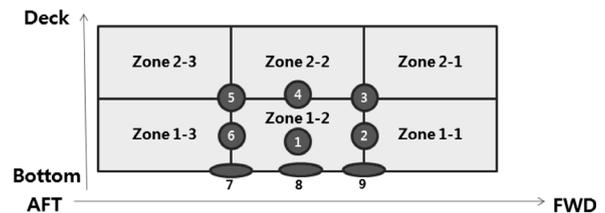
3.2 각 모듈별 기능

본 논문의 시스템은 설계 과정 중의 생존성 해석 및 계산이 아닌, 선박 및 함정에 직접 탑재되어 실제 사고 시 생존시간을 추정하여 주는 시스템이다. 설계 과정 중에 축적되는 생존시간 해석 시나리오 및 시뮬레이션 데이터를 DB화하여 유사 시 승조원이 피해 상황을 입력하면 실시간으로 선박의 생존시간을 추정하여 줌으로써 승조원의 신속한 판단 및 의사 결정이 가능하도록 지원하는 시스템이다.

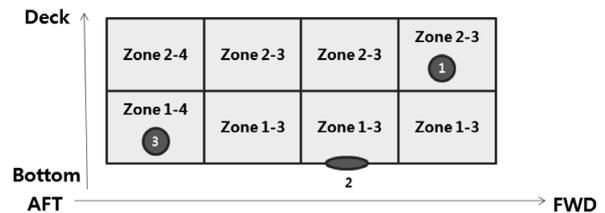
(1) 피해상태 입력 모듈

선박 및 함정이 충돌, 좌초 및 피격 발생 시 선박 및 함정의 피해 상황을 입력받는 모듈이다. <피해상태 입력 모듈>은 선박 및 함정에서 사고 발생 시 승조원들이 피해상태를 신속하고 손쉽게 입력할 수 있도록 지원한다. 이를 위하여, <피해상태 입력 모듈>은 선박 및 함정의 일반배치의 측면도 및 평면도, 갑판단면도 등을 그래픽 사용자 인터페이스(GUI)를 통해 나타낸다. 이때, <피해상태 입력 모듈>은 그래픽 사용자 인터페이스 상에서 선박 및 함정의 주요 피해 구획에 대한 포인트를 Fig. 2 (a)와 같은 방식으로 도면 상에 미리 설정하였다. 승조원들이 마우스로 선택 가능하도록 설정하여(스냅 기능), 손쉽게 손상 구획을 지정하고 해당 구역에서의 피해 사항(손상 크기 등)을 입력할 수 있도록 지원한다. 현재 시스템은 Fig. 2 (a)와 같은 하나의 손상 파공에 여러 구획이 걸쳐 있는 피해는 지원하고 있으나, Fig. 2 (b)와 같이 다수의 손상 파공이 발생하는 경우에 대해서는 지원하고 있지 않다.

기존에 개발된 생존시간 계산 및 평가 시스템의 경우에는 피해 상황에 대한 상세한 내용을 필요로 하므로 입력에 많은 시간이



(a) Single damage in several compartment



(b) multiple damages

Fig. 2 Scenarios of damage conditions

필요하나, 이 시스템에서는 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 승조원들이 피해 상황을 신속히 간단하게 입력할 수 있도록 함으로써 이러한 문제를 해결하였다.

한편, <피해상태 입력 모듈>은 사고 발생 시의 해상상태를 설정할 수 있는 별도의 입력부를 그래픽 사용자 인터페이스 상에 배치(Fig. 6 우측 상단부분)함으로써, 승조원들이 사고 시 해상상태(Sea State, 파고 등)를 손쉽게 입력할 수 있도록 하였다. 이는 선박 및 함정의 생존시간은 선박 및 함정 자체의 피해상태뿐만 아니라 사고 당시의 해상상태가 어떠한가에 의해서도 크게 변화할 수 있기 때문이며, 이 시스템은 이러한 데이터의 입력을 통하여 보다 빠르게 선박생존시간 추정이 가능해지도록 하였다.

(2) 생존시간 DB

선박 및 함정에 대한 각 피해 상황을 예측 가능한 손상시나리오로 구성하고(손상시나리오 데이터), 각각의 손상시나리오에 대응하는 개별적인 선박 및 함정의 생존시간(생존시간 데이터)을 데이터베이스로 구축하고 있는 모듈이다. <생존시간 DB>는 선박 및 함정의 손상시나리오 및 이에 대응하는 생존시간을 담고 있는 정보체계인데, 이때의 손상시나리오 및 생존시간은 선박 및 함정의 설계과정 중 도출된 생존성 해석 결과를 기반으로 하여 작성된다. 생존시간의 계산 및 해석은 상용 생존성 시스템이나 기개발된 관련 프로그램을 이용하게 된다. 계산된 생존시간의 신뢰도는 사용된 생존성 시스템에 의해 결정되며, 본 논문의 시스템에서는 그 결과들만을 수집하여 DB화하여 활용하게 된다. 이와 같이 생존시간 계산 및 해석 프로그램과는 별도의 독립적인 프로그램으로 개발함으로써 보다 신뢰도 있고 정확한 계산 해석 결과로의 대체에 대응하도록 하였다.

손상시나리오에는 선박 및 함정의 구획을 구성하는 부재들의 손상 정도가 다양한 경우의 수로 나뉘어 설정되는데, 구체적으로는 Fig. 2 (a)와 같이 손상된 구획의 부재의 손상 위치를 설정하며, 손상 면적으로써 손상의 정도를 설정한다. 손상 위치의 수는 구조적으로 중요한 구획에 대해서는 많은 경우의 수로 설정되고, 중요하지 않은 구획에 대해서는 최소한의 수로 설정된다. 중요한 구획이란 피해 시 선박 및 함정의 생존에 치명적인 영향을 줄 수 있는 구획을 말하는데, 이러한 '중요성' 여부는 선박 및 함정의 설계 시 구조나 제원 등 다양한 사항을 종합적으로 검토하여 결정할 문제이다. 또한 손상 면적은 선박 및 함정의 제원에 비례하여 설정된다. 즉, 대형 선박에 대해서는 큰 손상 면적으로 설정되고, 소형 선박에 대해서는 작은 손상 면적으로 설정된다. Fig. 2 (a)에서 손상 1은 하나의 구획이 손상된 경우, 손상 2, 4, 6은 두 구획에 걸친 경우, 손상 3, 5는 네 구획에 걸쳐 손상을 입은 경우를 나타낸다. 손상 7, 8, 9는 선체 바닥에 손상을 입은 경우를 표현한다. Fig. 2 (b)는 다수의 파공(손상 1, 2, 3)이 생겨 손상된 경우를 나타낸 것이다.

이처럼 손상시나리오는 선박 및 함정 구획의 중요성이나 제원에 비례하여 손상 위치와 손상 면적을 설정함으로써 실제 피해 상황을 최대한 정확하게 모델링 할 수 있도록 하였다. <생존시간 DB>는 <피해상태 입력 모듈>로부터 선박 및 함정의 피해상태가

입력되면, 기존에 다양하게 구축되어 있는 손상시나리오 중 실제 입력된 피해상태와 일치하는 손상시나리오 및 이에 대응하는 생존시간을 곧바로 도출해낸다. 이로써 실시간으로 선박 및 함정의 생존시간을 추정하는 것이 가능해진다.

(3) 생존시간 DB 관리 모듈

<피해상태 입력 모듈>을 통해 입력된 피해상태를 기반으로 하여 <생존시간 DB>로부터 실제 피해 상황과 일치하는 손상시나리오 및 이에 대응하는 생존시간 데이터를 검색해 낸 후, 그 결과를 <생존시간 출력 모듈>에 전달하는 어댑터 기능을 수행하는 모듈이다.

<생존시간 DB 관리 모듈>은 <생존시간 DB>에 기존에 구축되어 있는 손상시나리오 중 <피해상태 입력 모듈>을 통해 입력된 피해 상황과 정확히 일치하는 것이 없는 경우에는 가장 유사한 경우를 유추하여 검색된 결과를 제공한다. 예를 들어 손상크기 1.5m와 2.0m에 해당하는 손상시나리오가 DB로 구축되어 있는데 실제로는 1.8m 크기의 피해를 입은 경우, <생존시간 DB 관리 모듈>은 두 시나리오(손상크기 1.5m와 손상크기 2.0m)에 대한 데이터를 검색하고 보간법을 통해 결과를 전달하는 과정을 수행한다.

(4) 생존시간 출력 모듈

<생존시간 DB 관리 모듈>에 의하여 검색된 생존시간 데이터들을 승조원들이 직관적으로 확인할 수 있도록 출력해 주는 모듈이다. 이때 <생존시간 출력 모듈>은 선내 및 함내에 설치된 컴퓨터 모니터, TV 등의 화면을 통하거나 프린터를 통하여 결과를 출력하게 된다.

<생존시간 출력 모듈>은 기본적으로 추정된 생존시간을 출력해 주고, 선박 및 함정의 손상에 의한 시간에 따른 거동 특성(Pitch, Roll, Heave 등)에 대한 그래프들을 출력하여 생존시간 추정에 대한 결과를 가시화한다. <생존시간 출력 모듈>은 선박 및 함정의 생존에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 위험 수준의 거동 특성(예를 들어, Roll 거동이 $\pm 60^\circ$ 이면 위험 수준에 도달한다)을 함께 표시할 수 있다.

한편, <생존시간 출력 모듈>은 선박 및 함정의 생존시간이 얼마 남지 않은 긴급한 상황이 되면 경보음을 울려 승조원들이 사태의 심각성을 깨달을 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

4. 시스템 개발 및 적용

본 논문에서는 한국해양연구원 해양시스템안전연구소에서 개발한 생존성 계산 및 해석 프로그램인 Survship(이동곤 외 2004)을 활용하여 선박의 손상 시의 거동을 시뮬레이션하고 그 결과를 데이터베이스로 구축하였다. 물론, MOTISS, SURVIVE 등과 같은 상용 시스템을 통한 계산 및 해석 결과를 활용할 수도 있다. 생존시간 계산을 위해 대상선박의 주요 치수 및 오프셋 자료를 입력으로 활용하였다. 여기서 기본 가정으로 주갑판까지만을 부력 계산 대상으로 하였다. 즉 상부구조물은 자유롭게 침수가 되는 것으

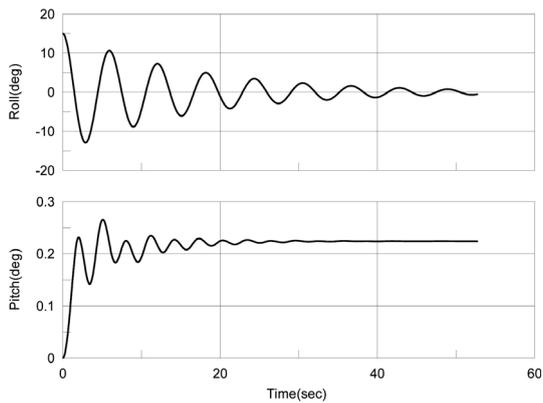


Fig. 3 Free decay

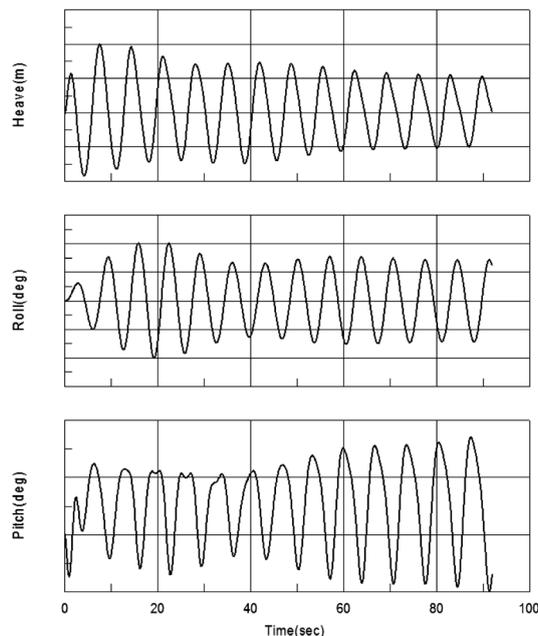


Fig. 4 Sea state 4(Significant Wave Height 1.88m, 1.5m)

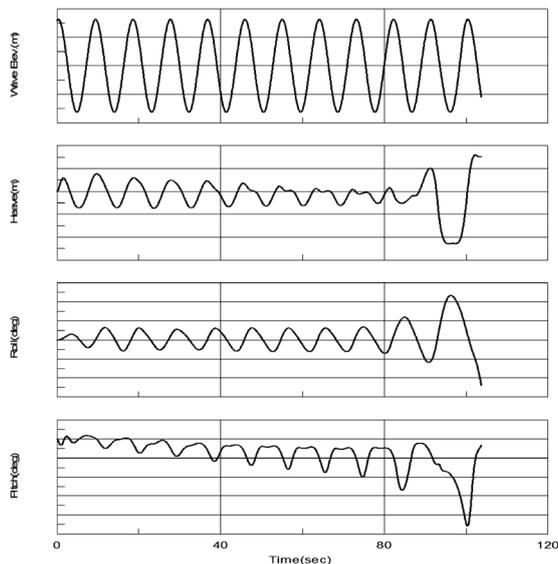


Fig. 5 Example of capsizing(Significant Wave Height 3.25m)

로 가정한다. 따라서 상부구조물은 기하학적 자료에 포함하지 않는다.

대상선박의 GZ 곡선을 확인하고, 계산은 Roll을 기울이고, Heave를 움직여서 부력이 원래의 부력과 같아지도록 정적평형이 이루어지도록 한 후, Roll 복원력을 계산한다. 이러한 자료를 기반으로 자유 감쇠를 계산하면 Fig. 3과 같은 결과가 도출되었고, 이를 통해 대상선박의 공진주기는 약 6초 정도가 된다. 손상이 없는 경우에 대한 계산 예로 Fig. 4는 해상상태 4(유의파고 1.88m)일때의 계산 결과이며, 계산결과 대상선박의 Roll 고유주기 6초와 비슷한 파도가 많은 해상상태 4에서 Roll 운동이 커지는 것을 알 수 있다. 대상선박의 특정 구획이 침수되었을 경우, 고유주기가 원래의 6초에서 상당히 길어져서 약 8-9초 정도가 된다. 이때 해상상태 5(유의파고 3.25m)에서 운동을 계산해보면 초기에는 고유주기가 6초 정도이나, 침수가 진행되면서 고유주기가 길어져서 결국 공진이 발생하고 전복이 되는 경우가 발생할 수 있다(Fig. 5).

구획(Compartment)에 대해서 가능한 많은 경우의 수를 고려하기 위해 두 구획 및 그 이상이 인접하는 구획까지 고려해서 89개의 구역을 설정하였으며, 해상상태는 주요 상태로 6개의 해상상태(정수상태, 해상상태 3(유의파고 0.88m), 해상상태 3~4(유의파고 1.25m), 해상상태 4(유의파고 1.88m), 해상상태 4~5(유의파고 2.5m), 해상상태 5(유의파고 3.25m))를 설정하였다. 정확한 생존시간 계산을 위해서는 파고, 파장 등을 고려한 시뮬레이션이 이루어져야 하지만, 본 논문에서는 임계(Critical) 상태를 가정해서 각 해상상태를 설정하였다. 손상크기(면적)는 8개의 경우(0.1m, 0.3m, 0.5m, 0.7m, 1.0m, 1.5m, 2.0m, 2.5m)로 설정하여 시뮬레이션 하였다. 최종적으로 총 4,272개의 시뮬레이션 결과 데이터를 계산하였고, 이를 DB화 하였다. 방법론적으로는 이러한 시뮬레이션 데이터들은 선박 및 함정의 설계과정에서 획득되어야 한다.

이러한 데이터베이스에 빠르고 쉽게 접근하여 쿼리(Query)할 수 있는 생존시간 DB 관리 모듈을 개발하였고, 이를 대상선박의 손상 부위를 입력할 수 있는 구획을 나타내는 화면과 해상상태 및 손상 크기 등의 입력 변수를 선택하는 화면, 생존 시간 추정 버튼 및 시간을 표시하는 화면, 기 분석된 결과를 그래프를 통해 보여주는 화면으로 구성하여 입력 GUI를 개발하여 통합하였다. 이렇게 개발된 시스템이 STES 시스템(선박 생존시간 추정 시스템 Survival Time Estimation for Ship)으로, Fig. 6은 STES 프로그램의 GUI를 나타낸다. 프로그램의 좌측상단은 선박의 일반배치도의 일부로, 이를 통해 손상부위를 입력한다. 좌측하단은 선택된 손상부위의 구획명을 사용자에게 보인다. 우측상단에는 해상상태 및 손상 크기에 해당하는 입력 변수를 입력할 수 있도록 구성하고 우측하단의 생존시간 계산 버튼을 통해 추정 명령을 프로그램에 주고, 우측중간의 선박 거동 해석 화면에서 그 결과물을 확인하고 이에 따른 선박 생존시간의 추정값을 도출할 수 있도록 구성하였다.

STES 시스템의 적용을 위해 대상선박을 선정하고 이에 대한 생존시간 DB를 구축하고 시험하였다. 선정된 대상선박은 두 개 이상의 구획이 손상되어 침수되어도 가라앉거나 전복이 되는 경우가 나타나지 않았다. 이는 통상적으로 선박은 기본설계단계에서 정

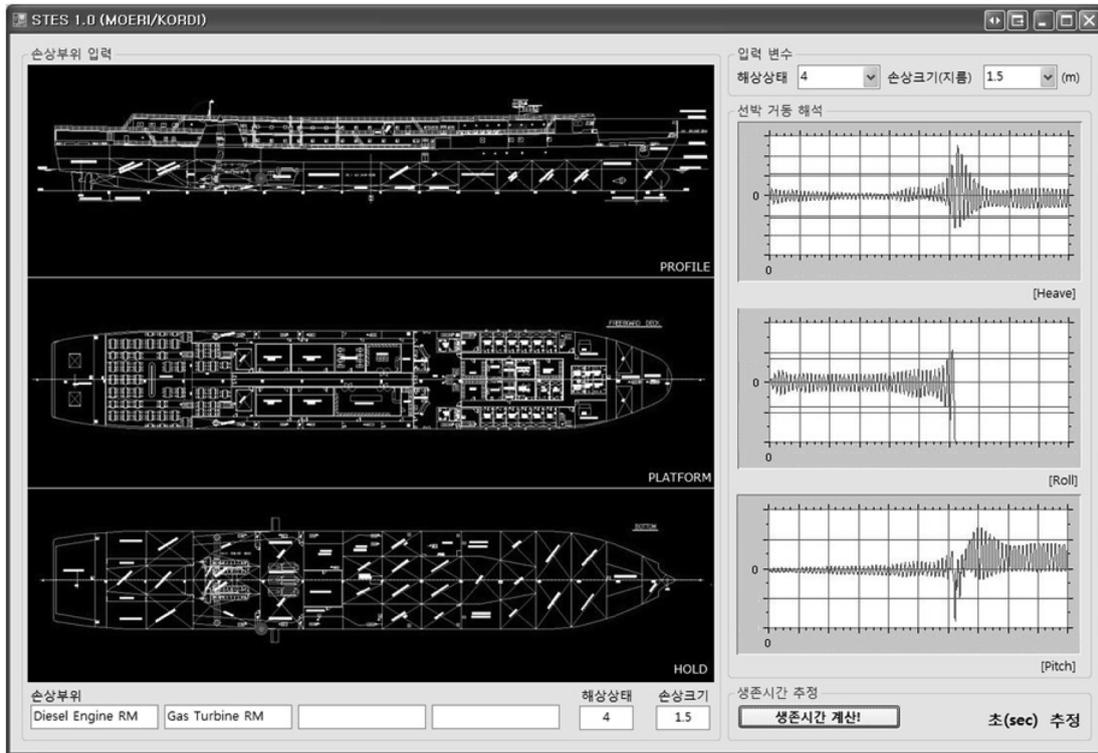


Fig. 6 GUI(Graphic User Interface) configuration of STES Program

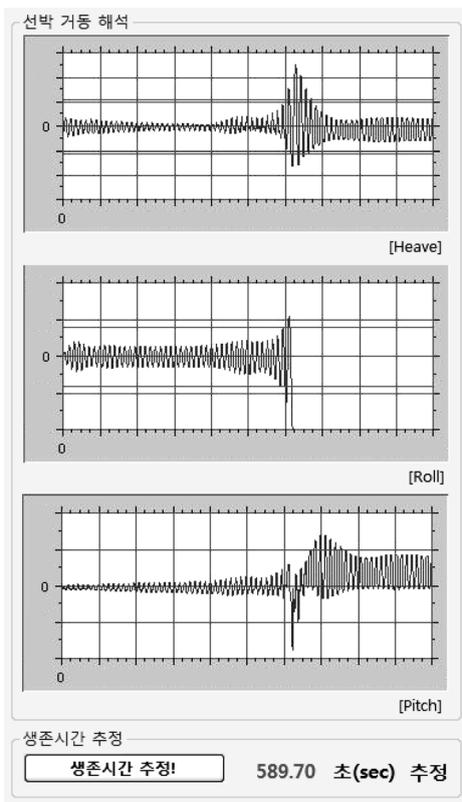


Fig. 7 Capsizing by damages

적안정성을 확보하도록 설계되어 있기 때문이다. 하지만 특정 손상의 경우, 해상상태 4(유의파고 1.88m)에서의 동적안정성을 계산하며 대상선박이 전복을 하게 되었으며, 이는 파도의 주기와 선박

의 고유주기가 같아져서 발생하는 공진현상에 의한 것으로 판단한다. Fig. 7은 이와 같은 환경에 대한 입력이 주어질 경우 STES 시스템이 제시하는 생존시간 추정에 대한 결과를 나타내며, 대상선박은 10분 정도 후에 횡동요(Rolling)에 의해 전복될 것으로 추정되었다. 정확한 선박의 거동 해석은 파도의 파고, 파장, 파향 등의 변수들을 정확하게 입력하여야 가능한 것이며, 본 논문에서는 이러한 변수들을 임계 상태로 가정하였으므로 실제 선박의 거동과는 차이가 있을 수 있다.

5. 결론

해상에서의 사고 및 피격에 의한 선박 및 함정의 사고는 막대한 인명적 피해와 재산의 손실을 유발한다. 이를 사전에 방지하는 것이 최선의 방법이며, 이에 대한 많은 노력과 연구들이 이루어지고 있다. 하지만 해상 사고는 지속적으로 발생하고 있으며 일단 사고가 발생하면 그 피해를 최소화하는 것이 차선책으로 여겨지고 있다. 또한 대한민국 해군에서는 함정의 설계 과정에서의 생존시간 계산을 통한 생존성 평가와 이러한 계산 결과를 함정에 탑재하는 시스템에 대한 수요를 지속적으로 요구하고 있다.

이에 본 논문에서는 선박 및 함정의 생존성 향상의 일환인 탑재형 생존시간 추정 시스템 개발에 관한 방법론 및 구현/ 적용에 대해 다루었다. 일단 사고 발생 시의 긴급한 상황에서 선박 및 함정의 승조원들로 하여금 손상 피해를 간단하고 신속하게 입력하고, 손상에 의한 생존시간을 빠르게 파악할 수 있어야 하는 요구 사항에 부합하여야 한다. 이러한 배경에서 기존 시스템들은 설계 단계에서 생존성의 계산 및 평가를 주목적으로 하고 있어 탑재형

으로 운용하기에는 무리가 있다고 판단하였다. 이에 예상되는 손상시나리오를 통해 설계 과정에서 계산된 생존시간을 데이터베이스로 구축하고 탑재형 추정 시스템에서는 손상 환경을 손쉽게 신속하게 입력하고 그 결과를 추정하는 STES 시스템을 설계하여 개발하였다. 이 시스템을 선정된 대상선박에 적용하여 시스템의 효용성을 점검하였다. 이러한 방법론은 기존의 설계 관점에서의 생존성 계산 및 평가 시스템을 선박 및 함정에 탑재할 수 있도록 하며, 유사 시 신속한 의사 결정을 지원할 것으로 기대된다.

탑재형 생존시간 추정 시스템의 완성을 위해서는 추가적인 연구와 기능의 확장이 필요하다. 현재 시스템은 다수 구획에 걸친 단일 손상 파공에 대한 사항(Fig. 2 (a))만을 DB화 하였으나, 다수의 손상 파공(Fig. 2 (b))에 대한 추정을 위한 DB의 구축 또한 필요하다. 또한 실시간 생존시간 추정을 위해 기구축된 생존성(생존시간) DB를 활용하였으나 이러한 기반자료가 없을 경우에 대해서는 생존시간 계산이 이루어져야 하며, 이를 위해서는 빠른 계산에 대한 알고리즘 개발이 필요할 것이다. 또한 선박 및 함정 전체에 센서를 부착하고 이를 유/무선 통신을 통해 손상 정보를 자동적으로 입력받아 사용자의 입력 없이 생존시간을 계산 및 추정하여 손상에 의한 피해를 최소화할 수 있는 연구가 필요하다. 이러한 연구들을 통해 보다 안전하고 피해를 최소화할 수 있는 선박의 환경이 구성될 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 한국해양연구원 기본연구사업(PES132D, PES132C)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

GasTOPS Ltd., 2009. *Intellectual Knowledge and Condition Monitoring Systems for Marine Vessels*. [Online] Available at: <http://www.gastops.com> [Accessed 20 July 2010].

- Garber, J. Bourne, J. & Snyder, J., 1996. *The Hull Structure Survival System*. Advanced Marine Enterprise, Inc: Virginia.
- ITE Inc., 2009. *ITE Team Experience*. [Online] Available at: <http://www.businessdevelopmentusa.com> [Accessed 20 July 2010].
- Jung, J.H. et al., 2006. Needs and State-of-the-art for Development of Survivability Design Technique for Naval Ships in Korea. *Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(4), pp.41-49.
- Kim, J.H. & Park, M.K., 2007. A Study on Simple Calculation Method of Survival Time for Damaged Naval Ship Due to the Explosion. *Journal of Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 10(4), pp.211-217.
- Lee, K.H. & Lee, D., 1999. Ship Safety Assessment and Salvage Assistance System. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 36(3), pp.115-121.
- Lee, D., 2003. A Study on the Survivability Assessment System of Damaged Ships. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(2), pp.34-40.
- Lee, D. et al., 2004. *Development of the Survivability Assessment System for Ships, Research Report(UCM00740-04092)*. Maritime and Ocean Engineering Research Institute /KORDI, DaeJeon.
- SimsMart Technologies Inc., 2009. *Engineering Suite(formerly SIMSMART)* [Online] Available at: <http://www.simsmart.com> [Accessed 20 July 2010].



황 호 진



공 인 영



이 경 중