

# 함정 간이 취약성 해석 프로그램 개발에 대한 연구

신윤호<sup>1,†</sup> · 권정일<sup>1</sup> · 정정훈<sup>1</sup>  
한국기계연구원 시스템다이내믹스연구실<sup>1</sup>

## Development of a Simplified Vulnerability Analysis Program for Naval Vessel

Yun-Ho Shin<sup>1,†</sup> · Jeong-Il Kwon<sup>1</sup> · Jung-Hoon Chung<sup>1</sup>  
Research Department of System Dynamics, Korea Institute of Machinery and Materials<sup>1</sup>

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Analysis and review of survivability is one of the most important aspects when naval vessels are designed. Because aiming points of threat towards the naval vessels in the battle field could not be estimated exactly, probabilistic and statistic approach is frequently introduced to evaluate and enhance the vessel survivability. Some commercial survivability analysis programs are used to perform the analysis for enhancement of susceptibility, vulnerability and recoverability but, they are usually classified and impossible to be exported to other countries because of their national security. In this paper, a simplified vulnerability analysis program is developed to evaluate the vulnerability of the warship in aspects of structure, redundancy and its mission capability at the conceptual design stage. To verify the developed program, the analysis results were compared with those of the commercial program MOTISS(Measure of Total Integrated System Survivability).

**Keywords** : Ship survivability(함정 생존성), Vulnerability analysis(취약성 해석), Conceptual design of war ship(함정 개념 설계)

## 1. 서론

함정 건조 기술이 진보하고 위협 무기가 고도화되는 상황에서, 신조 함정 설계에 있어서 함에 주어진 임무를 수행하고 유사시 승조원의 생존성을 반드시 확보하려는 노력이 가속화되고 있다. 이러한 노력은 함정의 생존성(Survivability) 확보라는 큰 틀에서 이루어 지고 있으며, 이는 피격성(Susceptibility), 취약성(Vulnerability), 회복성(Recoverability)으로 세분화되어 각각에 대해 함정 성능을 최대화 시키기 위한 설계안을 확보하려는 연구가 지속적으로 수행되고 있다.

함정 생존성 향상을 위해서는 상대적으로 고비용이 요구되기 때문에 비용대비 효과의 최적화 과정이 필요하며, 이러한 과정은 함의 각 설계 단계에서 격실/장비/무장 등의 설계와 함께 수행되어야 한다. 기본 설계 단계에서의 생존성에 대한 검토는 실측 결과 혹은 실선을 대상으로 향상안을 적용하여 검토하는 것이 불가능하므로 Modeling & Simulation(M&S)를 통한 검토를 적극적으로 활용하고 있다. M&S 기술을 활용한 함정의 생존성과 관련된 연구는 (Chung, et al., 2001, 2006) 에 의해 지속적으로 수행되고 있으며, (Kwon, et al., 2009; Kim, 2006) 등에 의해서도 수행되어 왔다. 확률 통계학적 이론에 기반한 함정 생존성 해석 및

검토와 관련된 연구는 국외에서 지속적으로 수행되어 왔으며, 이에 대한 국내 연구 수행은 최근 활발하게 진행되고 있다 (Kim, 2011; Kong, et al., 2011). 권정일은 단일 피격에 대한 충격하중에 의한 수중폭발에 초점을 맞추었으며, 김광식은 총알 및 파편에 의한 소형 함정 구조 손상 여부에 대한 검토에 초점을 맞추었다. 공영권은 상대적으로 단순화된 추진 체계 관련 장비 및 장비간 연관 관계 손상에 초점을 맞추어 평가 코드를 개발하였다.

본 연구에서는 선행 연구를 통해 검토한 생존성 해석을 위한 위협무기 선정 방법을 바탕으로 함정 개념설계 단계에서 생존성 해석 및 향상안을 제안하고 확률 통계에 기반한 위협 시나리오의 생성에서부터 격실/장비 배치와 임무 수행 가능 여부 평가에 중점을 둔 간이 취약성 해석 프로그램을 개발하였다. 그리고 Alion Science and Technology에서 개발한 상용 생존성 해석 프로그램인 MOTISS(Measure of Total Integrated System Survivability, USA, 2008)에서 예제로 제시한 유조선 모형을 이용한 간이 취약성 해석 수행 결과를 비교, 고찰하였다.

## 2. 간이취약성 해석 프로그램 개발

함정 생존성 강화 설계를 위한 간이 취약성 해석 방법(Damage

ellipsoid(simplified vulnerability) analysis method)은 기본 설계 단계에서 세부적인 위협 정보를 이용하여 시간에 따른 2차 폭발 및 회복성 등을 함께 검토하는 상세 취약성 해석(Detail vulnerability analysis)과는 달리 폭발력을 대변하는 손상유발체적(Damage ellipsoid volume)을 이용하여 개념 설계 단계에서 수행할 수 있는 생존성 검토 방법 중 하나이다. 본 장에서는 간이 취약성 해석 방법을 소개하고 이를 토대로 개발한 프로그램의 내용을 설명한다.

### 2.1 함정 생존성 해석 기본 이론

간이 취약성 해석에 대한 설명에 앞서 미국 해군의 함정 생존성 해석 및 설계 절차를 설명한다 (Chung, 2007). 함정 생존성 해석의 초기 단계에서는 대상 함정의 임무 및 기본 설계 지침에 기반한 생존성 요구조건들을 정의하고, 대상 함정의 작전 운용 지역 등을 고려하여 피격 확률이 높은 위협에 대한 시나리오를 선정한다. 정의된 생존성 요구 조건들은 각각 한계치(Threshold)와 목표치(Objective)로 구분하며, Table 1과 같이 5개의 생존성 요구수준(Survivability performance levels)으로 분류된다. 각 요구수준에 대한 만족여부를 판단하는 확률 기준 값은 대상 함정의 크기와 선정된 위협 시나리오의 폭발력에 따라 과소 위협무기(Under-match threat), 견딜만한 위협무기(Equivalent-match threat), 과도 위협무기(Over-match threat)로 분류하고 각각에 대한 요구수준 만족 기준을 정의한다.

Table 1 Survivability performance levels (Sajdak, 2007)

Survivability Performance Level	Capability
SP0	The minimum survivability design requirements to maximize crew survival in an abandon ship condition.
SP1	Stay afloat with sufficient electrical power for damage control so that the ship can be salvaged and towed.
SP2	SP1 plus minimum propulsion to limp home for repairs.
SP3	SP2 plus self defense to protect against subsonic aircraft/ASCM and small craft.
SP4	SP3 plus a minimum of surviving equipment and systems to conduct the ship's primary mission.

대상 함정의 생존성 해석을 수행하고, 해석 결과를 바탕으로 정의된 생존성 요구조건들의 만족여부를 판단하여 대상 함정의 취약 부위에 대한 1차 생존성 향상안을 제안한다. 제안된 1차 향상안에 대한 효과도 및 과도한 요구 조건들의 조율 여부를 선주, 조선소, 생존성 전문가 그룹에서 논의한 후 최종적인 생존성 향

상안을 제안한다. Fig. 1은 위에서 기술한 생존성 해석 및 향상안 제안 절차를 나타낸다.

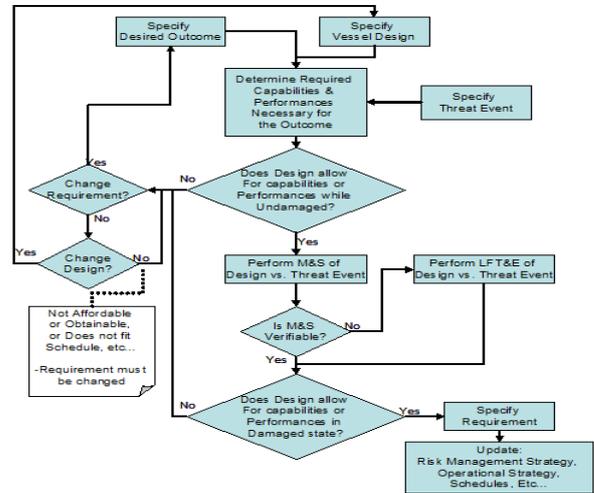


Fig. 1 Survivability enhancement design procedure (Sajdak, 2007)

### 2.2 간이 취약성 해석의 개념

간이 취약성 해석은 개념 설계 혹은 초기 설계 단계에서 격실 및 주요 장비 배치의 적절성을 해석을 통해 검토하는 과정을 포함한다 (Sajdak, 2007). 이는 대상 함정의 세부적인 설계 정보가 부족한 상황에서 임무 수행 가능 여부에 대한 거시적인 관점에서의 해석을 의미하며, 그러므로 분산 계통 및 시간에 따른 회복성에 대한 검토는 제외된다. 즉, 4단계 생존성 요구수준(SP4)에 대해서만 한계치와 목표치의 만족 여부를 검토하며, 개념 설계 단계에서 수행할 수 있으므로 적은 초기 투자비용으로 대상 함정의 효과적인 생존성 향상 방안을 제안할 수 있다.

간이 취약성 해석은 선정된 위협 무기의 등가 TNT 중량을 이용하여 위협 무기의 폭발력을 구 혹은 타원체로 가정하여 손상유발체적(Damage ellipsoid volume)으로 근사화하여 해석을 수행한다. 손상유발체적은 위협의 등가 TNT 중량 및 내부 탑재 파편 등을 고려하여 Fig. 2와 같이 해당 위협의 폭발 반경이 경험적으로 정의하여 함의 손상여부를 판단하는 입력 자료로 사용된다 (Gates, 1987).

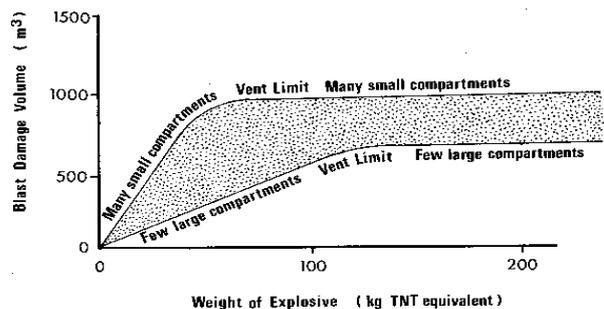


Fig. 2 Calculation of damage ellipsoid volume (Gates, 1987)

본 논문에서는 Sajdak (2007)이 제안한 방법을 근간으로 간이 취약성 해석 단계에서의 격실 혹은 장비 손상은 보수적인 관점에서 접근하였으며, 손상유발체적을 이용하여 Fig. 3과 같이 각 격실 및 장비가 손상유발체적 내에 위치하거나 접촉하여 있을 경우 해당 장비 및 격실은 손상을 입은 것(Fail)으로 판단하고, 임무에 대한 고장점 진단 모형을 이용하여 이 손상이 임무에 미치는 영향을 계산하였다. 이 과정은 생성된 위험 시나리오들을 이용하여 반복적으로 수행하였으며, 이를 바탕으로 요구조건들의 만족여부를 통계적으로 처리하고 대상 함정의 생존성 향상 방안을 제안하였다.



Fig. 3 Concept of damage ellipsoid analysis

### 2.3 프로그램의 구성

본 연구에서 개발된 프로그램은 크게 4가지 부분으로 구성된다. 위협의 대상함 피격 가능 위치 통계 자료를 바탕으로 한 피격 시나리오 생성 부분과 선체/장비/시스템 네트워크 모형에 대한 가시화, 해석 및 평가를 수행하는 부분으로 구성된다. 프로그램의 구성 및 내부 모듈간의 상관 관계를 Fig. 4에 도시화 하였으며, 프로그램의 내부 모듈에 대한 세부적인 내용은 2.4절과 2.5절을 통해서 설명하였다.

- 위협의 피격 시나리오 생성
- 선체 모형 가시화 및 손상 해석
- 장비 모형 가시화 및 손상 해석
- 시스템 네트워크 모형 해석 및 평가

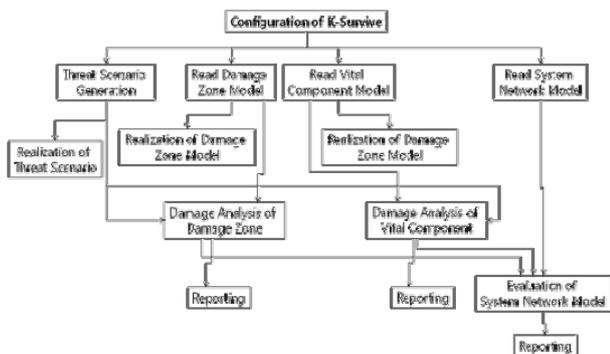


Fig. 4 Configuration of simplified vulnerability analysis program

## 2.4 대상 함정의 모형화

### 2.4.1 격실 및 주요 장비 모형화

간이 취약성 해석을 위한 대상 함정의 격실 및 장비 모형화는 등가 체적 개념을 이용한 직육면체(Box)로 가정하여 모형화하였다. 이는 확률 통계에 기반한 취약성 검토 프로그램에서 빈번하게 사용되는 방법으로 검토하고자 하는 관점에 따라 모형의 정확도를 상세화하는 것이 가능하나, 수백 회에 이르는 위험 시나리오에 대한 해석 결과를 일정 시간 내에 도출하기 위해 상대적으로 단순한 직육면체 형상을 이용하여 모형화하였다. Fig. 5는 장비의 단순화 과정의 개념도를 나타내며, 장비의 중요도, 크기, 무게 등을 고려하여 직육면체로 세분화 혹은 간략화하여 나타내었다. Fig. 6과 7은 본 연구에서 예시로 보여주기 위한 유조선(Auxiliary oiler ship)에 대한 격실 및 장비 모형을 본 연구를 통해 개발한 프로그램을 이용하여 가시화한 결과를 나타내었다. 해석 대상 모형에 대한 세부 정보는 엑셀(Microsoft excel)을 활용하여 모형화하는 MOTISS에서 제공하는 예시 유조선 모형을 활용하였으며, MOTISS에서 만들어진 모형이 본 연구에서 제안하는 프로그램에서 호환 가능하도록 개발하였다.



Fig. 5 Simplification of vital component by box model

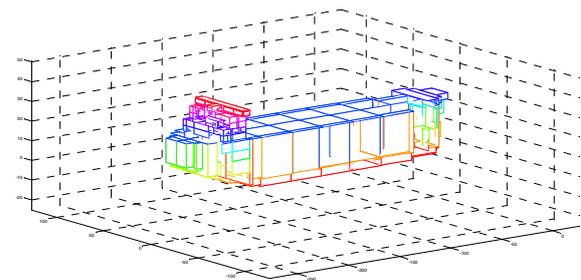


Fig. 6 Damage zone modeling of AUXILIARY OILER SHIP structure by MatLab

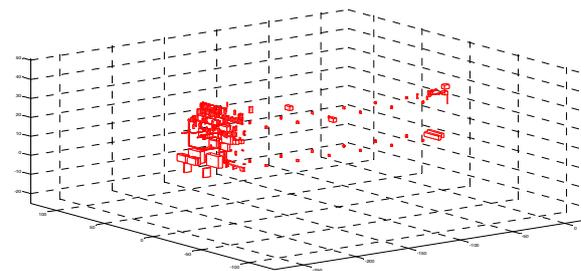


Fig. 7 Vital component modeling of vital equipment, crew, piping component by MatLab

### 2.4.2 시스템 네트워크 모형화

시스템 네트워크 모형화는 장비, 선체, 생존성 요구조건들 사이의 상관 관계를 논리 연산자(Boolean operator, AND/OR/NULL/VOTE)를 활용하여 모형화하는 과정이다. 시스템 네트워크 모형화 및 이에 대한 검토는 선급 혹은 선주 측에서 생존성 해석 시 요구하는 주요사항 중 하나로서 생존성 해석용 프로그램을 다른 해석 툴과 구분 짓게 하는 중요한 특징 중 하나이다. 간이 취약성 해석에서의 네트워크 모형화는 SP4에 해당하는 대상 함정의 주요한 임무와 관련된 생존성 요구조건을 기준으로 임무 수행을 위한 장비, 선체 등의 연관 관계를 기술한다. Fig. 8은 앞서 언급한 예시 선박의 추진 시스템 관련 요구조건 중 목표치(Table 2)에 대한 시스템 네트워크 모형화 과정의 일부를 나타내며, 예제 선박의 네트워크 모델링은 공학용 소프트웨어(MatLab)를 이용하여 구현하였다. 개발된 프로그램에서의 시스템 네트워크 모형화는 장비 및 구조 모형화 코드와 동일하게 엑셀을 활용하여 모형화가 가능하며, MOTISS 모형과 호환되도록 구현되었다.

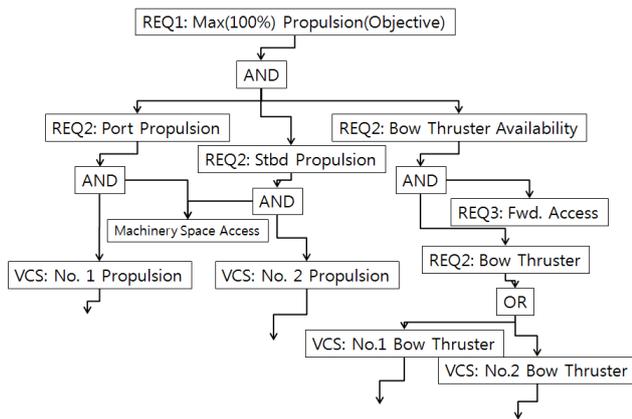


Fig. 8 System network model of AUXILIARY OILER SHIP: requirement(objective) for propulsion

Table 2 Requirement for propulsion system

Threshold	To sustain mission capability, 50% propulsion system availability after threat damage
Objective	To sustain mission capability, 100% propulsion system availability after threat damage

### 2.5 위협의 피격위치에 대한 통계 특성 값을 이용한 피격 시나리오 생성

간이 취약성 해석을 위한 입력에 해당하는 위협 시나리오는 선정된 위협 무기의 유도 방법과 대상 함정의 피탐 특성에 의해 도출된 통계 특성값을 이용하여 생성한다. 위협 선정 방법에 대한 자세한 내용은 (Shin & Chung, 2010)에 의해 소개되었으며, 본 연구에서는 통계 특성 값들을 이용하여 구현된 결과를 중심으로 설명한다.

위협에 대한 통계 특성 값을 이용한 위협 시나리오 생성 방법은 두 가지로 정리할 수 있다. 하나는 대상 함정의 피격 위치(Aiming point)를 중심으로 통계 특성 값들을 활용하여 시나리오를 생성하는 방법이며, 다른 하나는 전방위각에 대한 일정 고도에서의 대상 함정으로 입사 궤도를 생성하는 방법이다. 본 연구에서는 상대적으로 구현이 용이한 피격 위치에 대한 통계 특성 값들을 활용하여 피격 시나리오를 생성하였다. Fig. 9에는 250회의 피격 시나리오 예를 붉은색 구를 이용하여 나타내었다.

생성된 피격 시나리오에 대해 대상 위협무기의 폭발력을 이용하여 계산된 손상유발체적을 함께 나타내면 Fig. 10의 초록색 타원체와 같으며, 각 단일 피격 시나리오에 대해 장비, 선체 등의 손상 여부를 판단한다. 개발된 프로그램의 검증을 위하여 위협 시나리오 생성을 위해 사용된 위협 무기의 특성 자료는 Table 3과 같으며, 수직 방향(Z-axis)으로는 와이بل 분포(Weibull distribution)를 가정하며, 함의 수평/길이 방향으로(Y- and X-axis) 정규분포(Normal distribution)의 형태를 가정한다. 생성된 총 시나리오 수는 250회이며, 이는 MOTISS에서 제안하는 해석 결과의 차이가 수렴하는 해석 횟수 분석을 통하여 제안된 결과(신뢰구간 85%)이다.

Table 3 Threat characteristics for aiming point generation

Damage Ellipsoid Volume		1000 [m <sup>3</sup> ]	
Aiming Point	X-axis	Average( $u_x$ )	S.T.D.( $\sigma_x$ )
		-212 [m]	30 [m]
Aiming Point	Y-axis	Average( $u_y$ )	S.T.D.( $\sigma_y$ )
		0 [m]	20 [m]
Z-axis	Scale Factor	Shape Factor	
		10	1.3

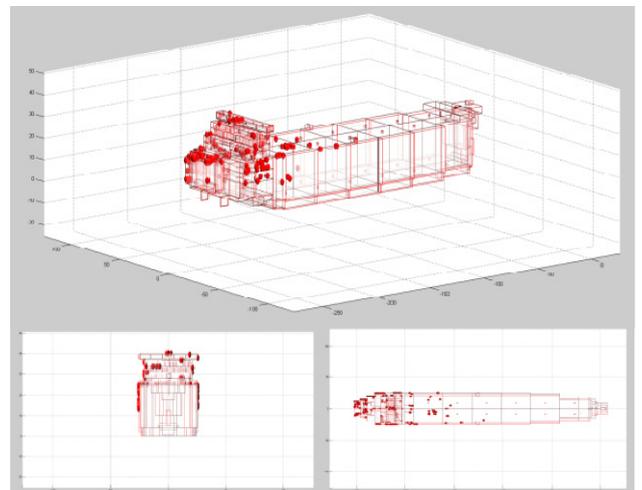


Fig. 9 Generation of selected threat scenarios using aiming point

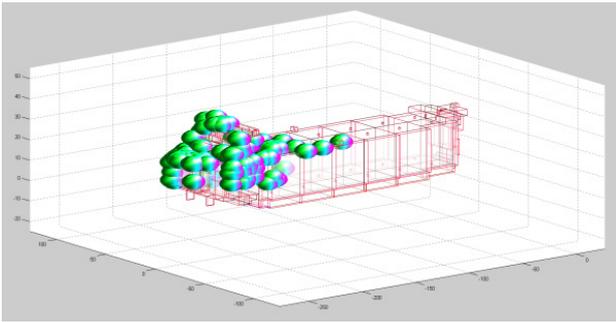


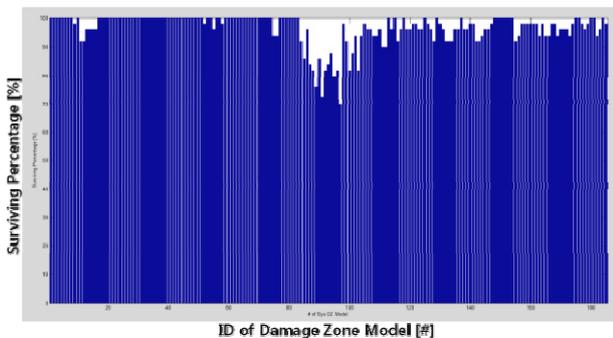
Fig. 10 Damage ellipsoid volumes for the selected threat scenarios

### 3. 간이 취약성 해석 예

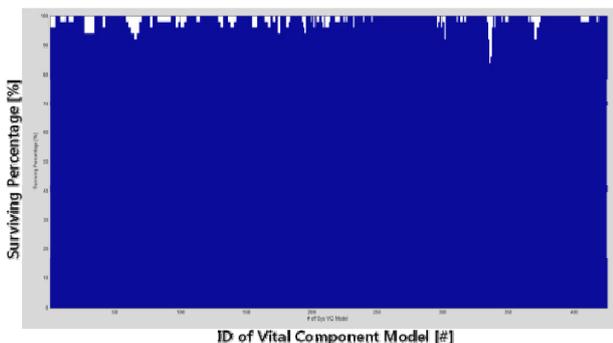
본 절에서는 MOTISS에서 예제로 제시하는 유조선 모형에 대해 개발된 코드를 활용하여 검토한 간이 취약성 해석 결과에 대해 논의한다.

#### 3.1 해석 결과에 대한 통계적 분석 결과 예

Fig. 11과 12는 생성된 피격 시나리오에 대한 간이 취약성 해석 결과를 나타낸다. Fig. 11(a)는 격실에 대한 통계적 분석 결과를 나타내며, Fig. 11(b)는 장비에 대한 통계적 분석 결과를 나타낸다.



(a) Survivability percentage of damage zone model



(b) Survivability percentage of vital component model

Fig. 11 Vulnerability analysis results based on the damage zone and vital component model

그리고 Fig. 12는 시스템 네트워크 모형에 대한 분석 결과이며, Fig. 13는 Fig. 12에 나타난 시스템 네트워크 해석 결과 중 추진 계통의 가용 여부에 대한 요구조건 만족 확률을 나타낸다. 요구 조건 불만족 원인에 대한 분석은 고장점 분석 과정을 통해서 수행되며, 이를 바탕으로 개념설계 단계에서의 생존성 향상 방안을 제안하는 것이 가능하다.

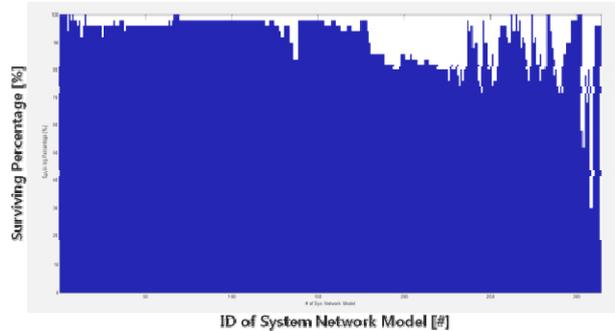


Fig. 12 Vulnerability analysis results based on the system network model

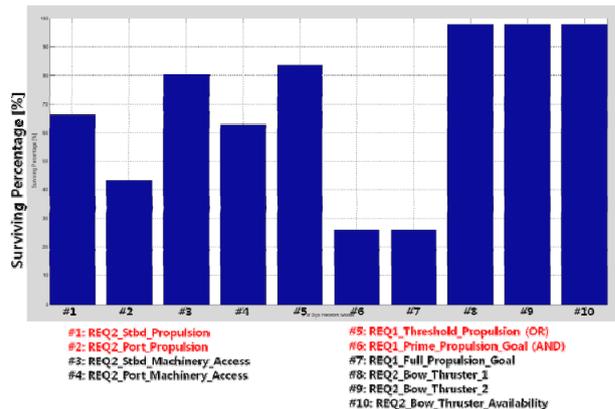


Fig. 13 Requirement satisfaction analysis results

#### 3.2 상용 해석 프로그램(MOTISS)과의 해석 결과 비교

개발된 해석 프로그램의 신뢰성을 확인하기 위하여 MOTISS의 해석 결과와 비교하였다. 보다 신뢰성 있는 비교를 위하여 MOTISS 관련 문헌 (Sajdak, 2008)에 기술된 해석 결과를 비교 대상으로 활용하였으며, 위협 시나리오 생성 횟수도 문헌과 동일한 40회를 수행한 후 그 결과를 비교·검토하였다. 해석 결과 비교는 Table 4와 같으며, 두 프로그램을 이용한 해석 결과의 차이를 함께 나타내었다. Fig. 13에 나타난 임무 기반의 최상위 요구조건(Requirement satisfaction analysis results)에 대한 확률 값을 기준으로 비교하였으며, 이는 시나리오 비교군이 작음에도 불구하고 전반적으로 3% 미만(평균 1.3%)의 적은 차이를 보였다. 이 차이는 위협 생성 시 확률 값들을 기준으로 생성하는 위협 시나리오 생성 방법에 기인한 차이로서, 평균과 분산을 이용하여 계산된 위협 시나리오가 참고문헌 상에 기술된 위협 시나리오들과 평균과 분산 이외에는 피격 지점이 상이하기 때문에 발생한 차이

이다. 해석 결과간의 차이가 확률에 기반하여 생성된 피격 위치의 차이에 기인한다는 점을 고려하면 해석 결과의 3% 미만의 차이는 수용할 만하며, 개발된 프로그램이 충분히 신뢰할 만하다고 판단된다.

Table 4 Comparison of requirement evaluation results between MOTISS and developed program

	Analysis Results by Developed Program	Analysis Results by MOTISS	Difference
Threshold	92.5%	92.5%	0.0%
Objective	27.5%	27.5%	0.0%
Survivable Percentage of Port Propulsion System	47.5%	50.0%	2.5%
Survivable Percentage of Stbd. Propulsion System	72.5%	70.0%	2.5%
Average	-	-	1.3%

### 3.3 단일 피격 시나리오에 대한 분석 결과 예

Fig. 14~15는 3.1절에서 기술한 250회의 피격 시나리오 및 해석 결과 중 단일 피격 시나리오(Single point attack scenario)에 대한 피격 위치와 관련 장비를 도시하였다.

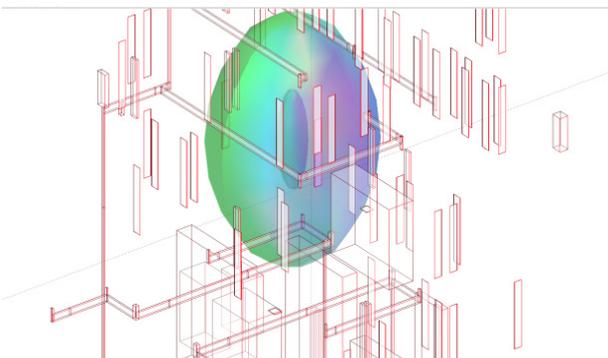
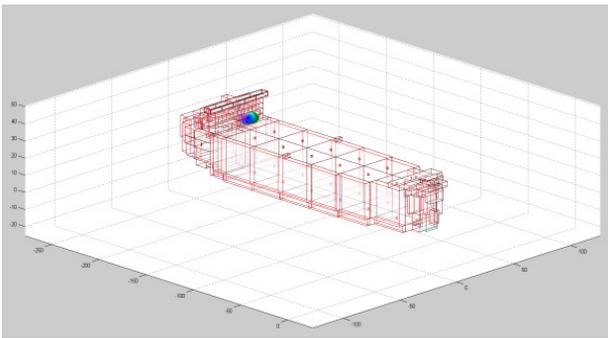


Fig. 14 Analysis no. 39 for single point attack scenario

Fig. 14의 경우는 추진을 위한 한계치 (50% 추진 성능 확보) 및 목표치 (100% 추진 성능 확보)를 모두 만족하지 못하는 위험 시나리오(250회 중 39번째 피격 시나리오)를 나타내며, Fig. 15는 추진 관련 임무 수행에 대해 피격의 영향이 상대적으로 적은 조타실 부위에 대한 피격 시나리오(250회 중 94번째 피격 시나리오)를 나타낸다.

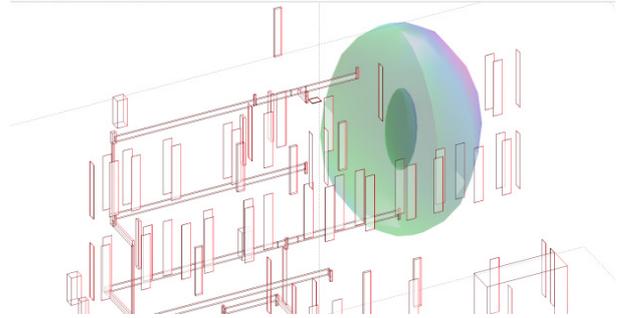
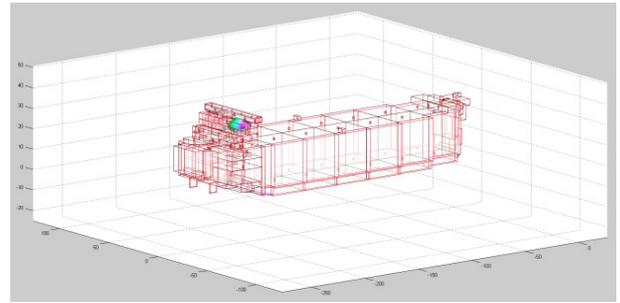


Fig. 15 Analysis no. 94 for single point attack scenario

Table 5 Results of survivability requirement of propulsion system by single point attack

Requirement	Ana. # 39	Ana. # 94
1: REQ2_Stbd_Propulsion (Stbd Propulsion System)	Fail	Pass
2: REQ2_Port_Propulsion (Port Propulsion System)	Fail	Pass
3: REQ2_Stbd_Machinery_Access (Stbd Machinery Access)	Pass	Pass
4: REQ2_Port_Machinery_Access (Port Machinery Access)	Fail	Pass
5: REQ1_Threshold_Propulsion (OR) (50% Propulsion Capability)	Fail	Pass
6: REQ1_Prime_Propulsion_Goal (AND) (100% Propulsion Capability)	Fail	Pass
7: REQ1_Full_Propulsion_Goal (Max. Speed Propulsion Capability)	Fail	Pass
8: REQ2_Bow_Thruster_1 (No. 1 Bow Thruster Capability)	Fail	Pass
9: REQ2_Bow_Thruster_2 (No. 2 Bow Thruster Capability)	Fail	Pass
10: REQ2_Bow_Thruster_Availability (Bow Thruster Availability)	Fail	Pass

Table 6 Failure analysis of damage zone and vital component by single point attack

Ana. # 39	Compartment (DZ) Damage	Portside MER, Lv.A Passage, General Store, Workshop 1, Lv.B Reefer Room
	Vital Component (VC) Damage	2 Doors, 2 Crew, Main Switchboard, Nozzle, Nozzle Plug, Fire Pipe
Ana. # 94	Compartment (DZ) Damage	Lv.B Passage, Lv.C Lounge & Locker, Lv.C Stateroom, Lv.D Chief Engineer Stateroom & Office, Lv.D Masters Stateroom & Office, Conference & Training Rm., Stbd. Side Window
	Vital Component (VC) Damage	11 Doors, 2 Nozzle Plugs, Fire Pipe

각 피격 시나리오 대해 추진과 관련된 생존성 요구조건 만족여부를 검토한 결과는 Table 5와 같으며, 한계치 및 목표치를 만족하지 못하는 원인을 고찰하기 위해 손상된 격실과 장비를 검토하면 Table 6과 같다. 이를 바탕으로 추진 체계 손상 원인이 주배전반(Main switchboard)의 손상에 기인함을 파악할 수 있으며, 이로부터 주배전반의 이중화, 분산 체계 도입 등의 생존성 향상안을 제안할 수 있고 재해석을 통해 제안된 향상안의 효과도를 분석할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 함정의 개념 설계 단계에서 수행하는 간이 취약성 해석을 위한 프로그램을 개발하였으며, 상용 생존성 해석 프로그램인 MOTISS에서 예제로 제시한 유조선 모형을 이용한 간이 취약성 해석 수행 결과를 비교, 고찰하였다.

개발된 간이 취약성 해석 프로그램은 한국 해군 함정의 개념 설계 단계에서 격실 및 장비 배치의 적절성을 검토하기 위한 도구로서 활용 가능하며, 이를 위해서는 관련 시스템 네트워크 모형 및 함형 별 특성을 반영한 요구조건 개발 자료들에 대한 데이터베이스(Database) 구축과 프로그램의 신뢰성 확보를 위한 노력이 지속적으로 이루어져야 한다.

### 후기

본 연구는 산업기술연구회 기초과제인 ‘극한 환경 시스템 하중 해석 및 평가 기술 개발’ 과제의 지원으로 수행되었습니다.

### References

Chung, J.H. & Lee, S.G., 2001. Current Status on Shock Response Analysis Techniques of Naval Vessel via Underwater Explosion. *Journal of the*

*Computational Structural Engineering Institute of Korea*, 14(2), pp. 11–17.  
 Chung, J.H. Lee, H.Y. Ryu J.M. Cho D.S. Park S.I. Im, G.H. & Park, J.G., 2006. Necessity of Survivability Design Technique on Korean Naval Vessel and its Developing Guidance. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(4), pp.41–49.  
 Chung, J.H., 2007. Study on the Development of Survivability Design Requirements Considering Class and Design Stage of Naval Vessel. *Naval Ship Technology Seminar, Society of Naval Architects of Korea Naval Ship Technology Committee*, pp.213–226.  
 Gates, P.J., 1987, *Surface Warships*, Brassey’s Defence Publishers.  
 Kim, J.H., 2006. *A Study on structural vulnerability countermeasure design and analysis techniques for survivability enhancement of naval ships*. PhD. Pusan: Korea Maritime and Ocean University.  
 Kim, K.S., 2011. A study on the procedure to assess the vulnerability of warship. Master degree thesis. Incheon: Inha university.  
 Kong, Y.K. Lee, H.Y. Chung, J.H. & Choi, W.S., 2011. Study on the vulnerability analysis method of naval vessel at concept design stage. *Proceedings of Annual Autumn Meeting Society of Naval Architects of Korea*, Mokpo, 4 November 2011, pp.777~782.  
 Kwon, J.I. Chung, J.H. & Kim, B.H., 2009. Study on the simplified vulnerability analysis and its application at concept design stage. *Joint Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies*, May 2009.  
 Sajdak, J.A.W., 2008. *MOTISS Analysis Short Summary of the Auxiliary Oiler*, Alion S&T: Washington D.C.  
 Sajdak, J.A.W. & P.F. Morrisseau, 2007. *MOTISS Beta 2.0 User Theory Manual*, Alion S&T: Washington D.C.  
 Sajdak, J.A.W. & P.F. Morrisseau, 2007. *MOTISS Beta 2.0 Ship Analysis Tutorial*, Alion S&T: Washington D.C.  
 Shin, Y.H. & Chung, J.H., 2010. A study on the threat scenario selection method for ship survivability analysis. *Proceedings of Annual Autumn Meeting Society of Naval Architects of Korea*, Changwon, 22 October 2010, pp.1442~1447.

