

## FTA 기법을 활용한 피격 확률 기반의 전차 취약성 분석 시스템 개발

황훈규<sup>1</sup> · 유병규<sup>2</sup> · 이재웅<sup>2</sup> · 이장세<sup>2\*</sup>

### A Development of Hit Probability-based Vulnerability Analysis System for Armored Fighting Vehicle using Fault Tree Analysis Technique

Hun-Gyu Hwang<sup>1</sup> · Byeong-Gyu Yoo<sup>2</sup> · Jae-Woong Lee<sup>2</sup> · Jang-Se Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Computer Engineering, Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-080, Korea

<sup>2</sup>Division of IT Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-080, Korea

#### 요 약

최근 전투 시스템의 신뢰성을 통합적으로 분석하는 것에 관한 연구의 필요성이 강조되고 있으며, 이와 관련하여 전투 시스템 신뢰성 분석 시스템의 개발 요구가 생겨나게 되었다. 이러한 이유로 본 논문에서는 시스템의 고장 원인 및 확률 분석을 위한 대표적인 신뢰성 분석 기법인 FTA를 적용하여 이를 기반으로 전차의 취약성을 분석하는 시스템을 개발하는 것에 관한 내용을 다룬다. 이를 위해 FTA를 전투 시스템의 취약성 분석에 적용하기 위한 방법을 제안하였으며, 제안한 방법을 기반으로 FTA 기반의 전차 취약성 분석 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템은 3차원 전차 모델을 기반으로 다중 관통선을 설정하여 주요 부품의 피격 확률을 도출하고, 이를 통해 기능별 상실 확률을 분석한다. 분석된 기능별 상실 확률을 통해 피격면에 따른 전차의 취약성을 분석할 수 있다.

#### ABSTRACT

Recently, the development of reliability analysis system for combat system is required, because, necessities of integrated reliability analysis research are emphasized. In this paper, we develop a system which analyzes vulnerabilities for tank(or armored vehicle) based on the fault tree analysis(FTA) technique. The FTA is representative technique of reliability analysis to find cause of fault and calculate probability of fault. To do this, we propose a method to apply FTA technique into domain of vulnerability analysis for tank. Also, we develop the vulnerability analysis system using the proposed method. The system analyzes hit probabilities of components of tank based on multiple shot-lines, and calculates kill probabilities. The analyzed and calculated data support vulnerability analysis of tank.

**키워드** : FTA, 피격 확률, 기능별 취약성, 취약성 분석, 전차

**Key word** : Fault tree analysis, Hit probability, Kill probability, Vulnerability analysis, Armored fighting vehicle

Received 13 March 2015, Revised 02 April 2015, Accepted 15 April 2015

\* Corresponding Author Jang-Se Lee(E-mail:jslee@kmou.ac.kr, Tel:+82-51-410-4577)  
Division of IT Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-080, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.8.1981>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©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.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

전투 시스템은 전투와 관련한 임무를 수행하는 시스템을 의미하며[1], 육상의 전차, 해상의 함정, 공중의 전투기 등을 대표적인 예로 들 수 있다. 전투 시스템의 신뢰성 확보를 위해서는 위협에 대한 전투 시스템의 취약성을 분석하고, 설계 단계에서부터 체계적으로 분석된 내용을 반영해야 한다[2]. 전투 시스템 취약성 분석을 위한 목적의 컴퓨터 시뮬레이션 기반 프로그램은 몇몇의 외국산 상용 프로그램이 알려져 있을 뿐 국방/군사 분야라는 특성으로 인해 거의 알려진바 없다. 또한 함정이나 항공기의 취약성 분석에 관한 연구나 개발은 상대적으로 활발하게 이루어지고 있지만[1,3,4], 전차와 같은 육상의 전투 시스템에 관한 취약성 분석 시스템 개발에 관한 연구는 그렇지 않은 실정이다.

이러한 이유로 최근 들어 우리나라 실정에 맞는 국산 시뮬레이션 기반 전투 시스템 취약성 분석 프로그램의 개발에 관한 요구가 생겨나게 되어 이와 관련한 연구가 진행 중이다[5,6]. 그 일환으로 본 논문에서는 FTA (fault tree analysis)[7] 기반의 전차 취약성 분석 시스템의 개발에 관한 내용을 다룬다. FTA는 시스템의 고장 원인 및 고장 확률 분석을 위한 기법으로, 이를 전차의 취약성 분석에 적용하기 위한 방법을 제안한다. 기본적으로 FTA는 원인이 되는 부품의 고장 확률을 이용하여 전체 고장 확률을 계산하는데, 제안하는 방법은 부품의 고장 확률 대신 부품의 피격 확률을 이용하며, 이를 통해 전체 고장 확률이 아닌 특정 기능의 상실 확률을 계산한다. 또한 이러한 방법을 적용하여 3차원 전차 모델을 이용한 부품별 피격 확률 분석 프로그램과 FTA 기반의 기능별 상실(kill) 확률 분석 프로그램을 개발하여 실험해봄으로써 FTA 기반의 전차 취약성 분석 시스템의 유용성을 검증한다.

## II. 필요성 및 관련 연구

### 2.1. 전투 시스템 취약성 분석 및 필요성

전투 시스템은 육상전, 해상전, 공중전 등의 전투 환경에서 국방과 관련된 임무를 수행하는 능력을 갖춘 시스템으로 첫째, 전차, 야전포, 군함, 전투기 그리고 보병 등과 같이 실제 전투에 가담하는 화력 및 병력이 있고,

둘째, 박격포, 기관총, 개인 화기, 보급품 등을 지원하기 위한 수송 수단들이 있으며, 셋째, 그 이외 전투에 운용하는 군수 물자, 시설물, 전략, 전술용 장비 및 체계 등이 있다. 전투 시스템 취약성은 위협으로부터 입는 피해의 정도를 나타내는 것으로 전투 시스템의 개발시에 취약성 분석을 통한 보완이 필요하며, 이러한 목적의 기반 기술을 마련할 필요성이 대두되고 있다[5,6].

전투 시스템의 취약성 분석과 관련한 연구는 국방/군사 분야의 특성상 접근이 제한되어 있으며, 일반적으로 접근할 수 있는 연구들 중, 국외의 경우에는 80~90년대의 자료들이 거의 대부분이다. 또한 국내의 경우, 전투 시스템의 취약성 분석에 관한 연구는 거의 전무하며, 최근에서야 그 필요성이 강조되면서 연구에 대한 요구가 생겨나게 되었다.

### 2.2. 관련 연구

전투 시스템의 취약성 분석과 관련한 최근 연구로는 먼저, 전차의 관통 해석 프로그램 개발에 대한 연구[8,9]가 있다. 이 연구에서는 3차원 그래픽 라이브러리인 Open CASCADE를 이용하여 CAD 전차 모델에 관통선(shot line)을 설정하고, 설정된 관통선에 대하여 관통 해석식을 적용한 후, 관통 여부를 분석하는 기능을 한다. 이때, 균질압연장갑 기준의 방호 성능을 기반으로 포탄의 종류에 따른 관통 성능, 관통 여부, 잔여 관통 성능 등을 분석하는 기능을 한다. 또한, [10,11]의 연구에서는 연료 탱크 및 적재 포탄과 같은 화재 및 폭발 가능성을 가진 치명 부품을 대상으로, 순간 화재의 발생 여부를 예측하는 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램은 위협(포탄)을 비롯하여 연료 종류 및 적재 포탄의 종류를 설정할 수 있으며, 설정된 위협의 최대 관통 성능과 장갑의 임계 두께에 따른 연료 및 적재 포탄의 발화점 및 인화점에 대한 발생 여부를 분석하는 기능을 한다.

이밖에도 전투 시스템 중 함정을 대상으로 위협, 함정의 구성품, 위협에 따른 구성품의 취약 확률을 정의하여 구성품의 위치와 면적에 따른 취약 확률로 취약성을 평가하는 방법을 제시하고, 함정의 단순 모델을 이용하여 취약 면적을 기반으로 이동과 관련된 부품의 취약성을 분석하는 연구[3]가 있다. 이러한 선행 연구를 기반으로 전투 시스템의 취약성 분석의 신뢰성을 높이기 위한 연구가 필요하며, 본 논문에서는 이를 위해 FTA 기법을 적용한다.

### III. FTA 기반의 취약성 분석 기법

#### 3.1. FTA의 개요, 용어, 표기법

FTA는 시스템의 고장 원인 분석 및 고장 확률 예측을 위한 대표적인 신뢰성 분석 기법이다. 시스템의 신뢰성 향상을 위하여 특정 고장을 발생시키는 사건(event)과 그 원인을 논리 기호인 AND 혹은 OR 게이트를 이용하여 트리 구조로 표현함으로써 해당하는 고장과 그 원인이 되는 부품간의 관계 및 고장 발생 확률을 쉽게 파악할 수 있다. 그림 1과 같이 FTA의 가장 상위 노드(top event, 정상 사건)에는 고장이 위치하며, 그 아래에는 해당하는 고장의 원인이 되는 노드(event or basic event, 사건 혹은 기본 사건)들이 위치한다. 이때, 기본 사건은 말단(terminal) 노드를 의미하며, 상위 레벨의 노드와 하위 레벨의 노드는 각각의 관계에 따라 AND 혹은 OR 게이트로 연결된다. 일반적으로 FTA에서는 정상 사건 및 사건(하위 레벨에 노드가 존재하는 경우)은 사각형으로 표현하며, 기본 사건(하위 레벨에 노드가 존재하지 않는 경우)은 원으로 표현한다. 본 논문에서는 FTA의 기본 사건이 발생할 확률을 기반으로 정상 사건이 발생할 확률을 계산하여 이를 취약성 분석에 이용한다[7,12].

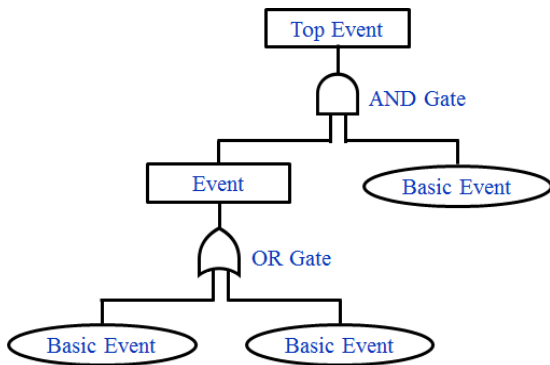


그림 1. FTA 용어 및 표기법의 예  
Fig. 1 Example of terms and notations for FTA

#### 3.2. 부품별 고장 확률 정의 및 계산

일반적으로 FTA에서 고장 확률은 부품의 평균 사용 시간(MTBF, mean time between failure) 등을 고려하여 결정된다. 하지만 전투 시스템의 취약성 분석에 FTA 기법을 적용하기 위해서는 평균 사용 시간이 아니라

피격으로 인한 부품의 손상 확률을 고려하여 결정해야 한다.

일반적으로 구성 부품의 면적이 넓을수록 피격되어 손상될 확률이 높기 때문에[3] 본 논문에서의 피격 확률은 피격면(전면/측면)에 대한 전체 유효 피격 횟수 중에 해당 부품의 피격 횟수를 통해 결정한다. 따라서 부품의 피격 확률(PHC)은 식 (1)과 같이 전체 피격 횟수(HTotal) 중에 부품(i)이 피격된 횟수(HC)와 같이 정의할 수 있다. 단, 본 논문에서는 장갑의 방호 성능은 고려하지 않으며, 전차의 전면과 측면에 일정 간격마다 관통선(shotline)을 설정한 후, 부품과의 교차 여부를 검사하여 피격 유무를 판단한다. 이때, 한 관통선에 여러 부품이 중복해서 교차될 수도 있기 때문에 중복(overlap)을 허용한다.

$P_{HC}$ (Probability of component hit) :

$$P_{HC_i} = \frac{H_{C_i}}{H_{Total}} \quad (1)$$

Where,  $H_{Total}$  : Count of total hit

$H_{Component}$  : Count of component hit

#### 3.3. FTA에서의 정상 사건 정의

피해 기준은 전투 시스템의 신뢰성 분석에 사용하는 기준으로 피해에 대한 기능 상실의 기준을 의미한다 [13,14]. 여러 피해 기준이 존재하지만, 본 논문에서는 표 1과 같은 F(firepower)-Kill, M(mobility)-Kill, A(armor) -Kill, S(sensor)-Kill, C(communication)-Kill의 다섯 가지 피해 기준을 FTA의 정상 사건으로 가정하여 각각에 대한 확률을 도출하여 전차의 취약성을 분석한다.

표 1. FTA의 정상 사건 정의  
Table. 1 Definitions for top event of FTA

Top event	Definition
F-Kill	Loss of firepower
M-Kill	Loss of mobility
A-Kill	Loss of defense function(armor)
S-Kill	Loss of detection(sensor) function
C-Kill	Loss of communication function

3.4. FTA기법의 적용 방법 및 정상 사건 확률 계산

전투 시스템을 구성하는 부품은 취약성에 치명적인 영향을 주는 치명 부품(critical component)과 그렇지 않은 일반 부품(non-critical component)으로 나눌 수 있다. 앞서 언급한 것과 같이 본 논문에서는 기능 상실을 고장이라고 가정하며, FTA 기법을 여기에 적용하면 치명 부품은 OR 게이트, 일반 부품은 AND 게이트로 표현할 수 있다. 또한 치명 부품이라도 여러 개(redundant)로 이루어져 있거나 분산되어 있어서 일부가 손상되더라도 정상적인 기능을 할 경우에는 AND 게이트로 표현이 가능하다. 일반적으로 FTA에서 AND게이트 및 OR 게이트로 연결된 노드간의 확률 계산은 식(2)과 같이 정의된다[12].

AND gate :

$$P_{Kill} = \prod_{i=1}^n P_{HC_i}$$

OR gate :

$$P_{Kill} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_{HC_i}) \tag{2}$$

Where,  $P_{Kill}$  : Probability of Kill

IV. 분석 대상 정의 및 시스템 설계

4.1. 시스템 설계

본 논문에서 개발하는 FTA 기반의 전차 취약성 분석 시스템은 그림 2와 같이 두 개의 프로그램으로 구성된다. 먼저, 부품별 *피격 확률 분석 프로그램*은 전차를 구성하는 부품의 3차원 CAD 기반 모델을 이용하여 다중 관통선을 설정한 후, 피격면에 대한 부품별 피격 확률을 분석하고 그 결과를 파일로 출력해주는 기능을 하는데, 이때 식 (1)이 사용된다. 또한 FTA 기반의 *기능별 상실 확률 분석 프로그램*에서는 출력된 분석 결과 파일을 기반으로 FTA로 구성할 수 있도록 해주는 기능을 비롯하여 기본 사건(basic event)의 확률을 통해 사건(event)의 확률을 계산한 후, 상위 사건의 확률을 이용하여 정상 사건(top event)의 확률을 계산하는 형태(bottom-up 방식)로 기능별 상실 확률을 도출하고 분석 결과를 시각화해주는 기능을 하는데, 여기서 식 (2)가 사용된다.

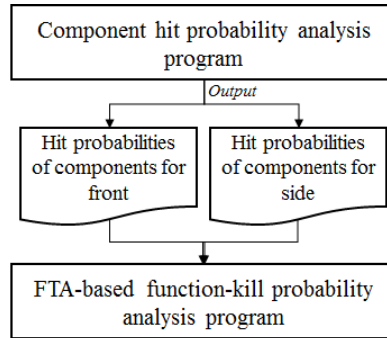


그림 2. 시스템 동작 과정(구조도)  
Fig. 2 System flowchart(architecture)

4.2. 분석 대상 부품 정의

실제 전차는 아주 많은 부품들로 구성되지만, 일반이 쉽게 BOM(bill of materials)과 같은 정보에 접근할 수 없는 등의 이유로 인해 모든 부품을 대상으로 분석을 수행하기에는 한계가 있다. 이러한 이유로 [15]의 연구에서는 전차를 구성하는 공격, 이동, 방어, 관측, 통신 기능 관련 주요 부품을 선정하여 이용하였으며, 본 논문에서는 이를 표 2와 같이 보다 세분화하여 활용한다.

표 2. 전차의 주요 부품 및 기능별 분류  
Table. 2 Representative components of tank

Function	Component	
Firepower	회전 포탑	주포, 사격 통제 장치
	적재 포탄	적재 포탄(1), 적재 포탄(2), 적재 포탄(3), 적재 포탄(4), 적재 포탄(5), 적재 포탄(6)
Mobility	엔진	-
	연료 탱크	연료 탱크(좌), 연료 탱크(우)
	무한궤도	무한궤도(좌), 무한궤도(우)
Defense (armor)	장갑	장갑(상), 장갑(하)
	능동 방어 체계	능동 방어 체제(좌), 능동 방어 체제(우)
	연막탄 발사기	연막탄 발사기(좌), 연막탄 발사기(우)
Detection (sensor)	잠망경	-
	해치	해치(1), 해치(2), 해치(3)
Communication	무전기	-
	안테나	안테나(좌), 안테나(우)

## V. 부품별 피격 확률 분석

### 5.1. 부품별 피격 확률 분석 프로그램

전차를 구성하는 부품의 피격 확률을 도출하기 위해 **부품별 피격 확률 분석 프로그램**을 구현하여 전면 및 측면에 대한 피격 확률의 분석을 수행하였다. 구현한 프로그램은 3차원 CAD 기반의 전차 모델을 이용하여 관통선과 부품의 교차 여부를 분석하고, FTA 기반의 기능별 상실 확률 분석 프로그램에서 이용할 수 있도록 분석 결과를 출력해주는 기능을 한다.

부품별 피격 확률 분석 프로그램의 개발 환경은 다음과 같다. Windows 7 운영체제에서 Visual Studio 2008을 사용하였으며, 프로그래밍 언어로는 C언어와 C++ 기반의 MFC를 이용하여 개발하였다. 또한 관통선 설정 및 부품 모델 시각화는 CAD 기반 그래픽 라이브러리인 Open CASCADE 기반의 DLL을 개발하여 활용하였다.

### 5.2. 전면에 대한 부품별 피격 확률 분석

전면에 대한 부품의 피격 확률을 분석한 화면을 그림 3에 나타내었다. 지정한 범위 내에 일정 간격마다 관통선을 설정하였으며, 총 960개의 관통선 중 271개가 전차를 구성하는 부품 중 하나 이상을 관통하였다. 전면에 대한 부품별 피격 확률의 분석 결과를 표 3에 정리하였으며, 분석 결과를 보면 전면에 대한 피격 확률은 장갑(하), 장갑(상), 엔진, 무한궤도(좌), 무한궤도(우), 무전기의 순으로 높게 나타났다.

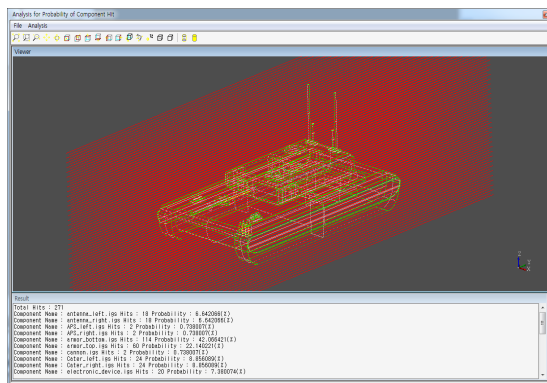


그림 3. 부품별 피격 확률 분석 과정(전면)  
Fig. 3 Probability analysis of component hit(front)

표 3. 부품별 피격 확률(전면)

Table. 3 Probability of component hit(front)

Component name	$H_C$	$P_{HC}$
주포	2	0.00738007
사격 통제 장치	6	0.02214022
적재 포탄(1)	3	0.01107011
적재 포탄(2)	3	0.01107011
적재 포탄(3)	3	0.01107011
적재 포탄(4)	3	0.01107011
적재 포탄(5)	3	0.01107011
적재 포탄(6)	3	0.01107011
엔진	27	0.09963100
연료 탱크(좌)	5	0.01845018
연료 탱크(우)	5	0.01845018
무한궤도(좌)	24	0.08856089
무한궤도(우)	24	0.08856089
장갑(상)	60	0.22140221
장갑(하)	114	0.42066421
능동 방어 체제(좌)	2	0.00738007
능동 방어 체제(우)	2	0.00738007
연막탄 발사기(좌)	4	0.01476015
연막탄 발사기(우)	3	0.01107011
잠망경	7	0.02583026
해치(1)	4	0.01476015
해치(2)	5	0.01845018
해치(3)	4	0.01476015
무전기	20	0.07380074
안테나(좌)	18	0.06642066
안테나(우)	18	0.06642066
$H_{Total}$	<b>271</b>	

### 5.3. 측면에 대한 부품별 피격 확률 분석

측면에 대한 부품의 피격 확률을 분석한 화면을 그림 4에 나타냈다. 전면의 경우와 마찬가지로 지정한 범위 내에 일정 간격마다 관통선을 설정하였고, 총 1540개의 관통선 중 488개가 전차를 구성하는 부품 중 하나 이상을 관통하였으며, 전면 및 측면의 부품별 피격 확률의 분석 결과를 표 4에 정리하였다. 분석 결과를 보면 측면에 대한 피격 확률은 무한궤도(좌), 무한궤도(우), 장갑(하), 장갑(상), 주포, 엔진의 순으로 높게 나타난 것을 확인할 수 있다.

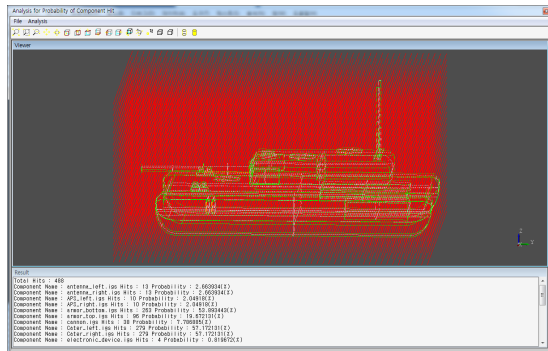


그림 4. 부품별 피격 확률 분석 과정(측면)  
 Fig. 4 Probability analysis of component hit(side)

표 4. 부품별 피격 확률(측면)  
 Table. 4 Probability of component hit(side)

Component name	$H_C$	$P_{HC}$
주포	38	0.07786885
사격 통제 장치	2	0.00409836
적재 포탄(1)	3	0.00614754
적재 포탄(2)	3	0.00614754
적재 포탄(3)	3	0.00614754
적재 포탄(4)	3	0.00614754
적재 포탄(5)	3	0.00614754
적재 포탄(6)	3	0.00614754
엔진	33	0.06762295
연료 탱크(좌)	15	0.03073770
연료 탱크(우)	15	0.03073770
무한궤도(좌)	279	0.57172131
무한궤도(우)	279	0.57172131
장갑(상)	96	0.19672131
장갑(하)	263	0.53893443
능동 방어 체제(좌)	10	0.02049180
능동 방어 체제(우)	10	0.02049180
연막탄 발사기(좌)	5	0.01024590
연막탄 발사기(우)	5	0.01024590
잠망경	6	0.01229508
해치(1)	5	0.01024590
해치(2)	5	0.01024590
해치(3)	4	0.00819672
무전기	4	0.00819672
안테나(좌)	13	0.02663934
안테나(우)	13	0.02663934
$H_{Total}$	<b>488</b>	

## VI. FTA 기반 기능별 상실 확률 분석

### 6.1. FTA 기반 기능 상실 확률 분석 프로그램

전투 시스템을 구성하는 부품의 손상에 따른 기능 상실 확률의 분석을 위하여 FTA 기반 기능별 상실 확률 분석 프로그램을 구현하였다. 개발한 프로그램은 FT(fault tree)를 구성하고, 출력된 부품별 피격 확률을 이용하여 기본 사건에 대입(mapping)할 수 있도록 해 주는 기능을 제공한다. 또한 연결된 확률을 이용하여 정상 사건의 발생 확률, 즉 기능 상실 확률을 계산하여 그 결과를 표와 그래프로 출력하는 기능을 비롯하여 구성된 FT와 분석 결과를 저장하는 기능을 한다. FTA 기반 기능별 상실 확률 분석 프로그램의 개발 환경으로 Windows 7 운영체제에서 Visual Studio 2012를 사용하였으며, 프로그래밍 언어는 C#을 이용하였다. 그림 5는 FTA 기반 기능별 상실 확률 분석 프로그램의 동작 화면이다.

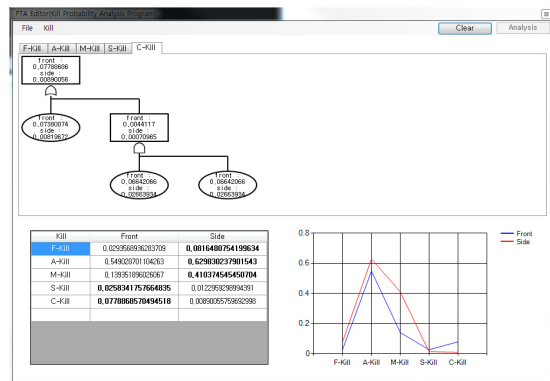


그림 5. FTA 기반 기능별 상실 확률 분석 프로그램  
 Fig. 5 FTA-based function loss probability analysis program

### 6.2. 기능 상실별 FT 구성 및 분석

개발한 프로그램을 기반으로 전차를 구성하는 각 부품의 논리적인 관계를 고려하여 그림 6~그림 10과 같이 앞서 정의한 정상 사건인 F-Kill, M-Kill, A-Kill, S-Kill, C-Kill의 하위에 사건 및 기본 사건을 추가한 후, AND 게이트 및 OR 게이트를 연결하여 각 기능 상실에 대한 FT를 구성하였다. 또한 각 부품의 피격 확률을 기본 사건에 대입하여 기능 상실 확률을 분석하였으며, 그 결과를 표 5에 정리하였다.

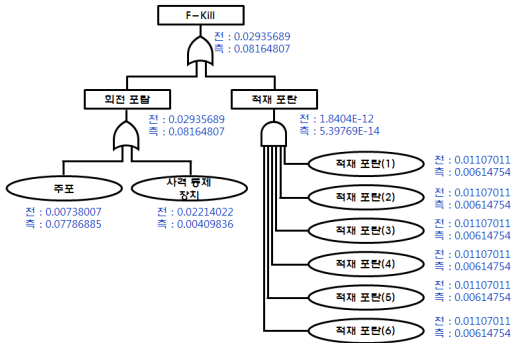


그림 6. 공격 기능 상실(F-Kill) FTA 구성 및 확률 계산  
Fig. 6 Probability of F-Kill

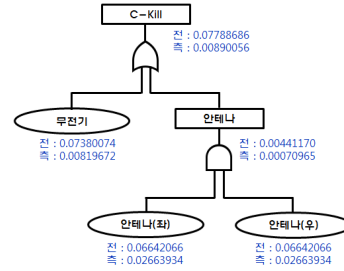


그림 10. 통신 기능 상실(C-Kill) FTA 구성 및 확률 계산  
Fig. 10 Probability of C-Kill

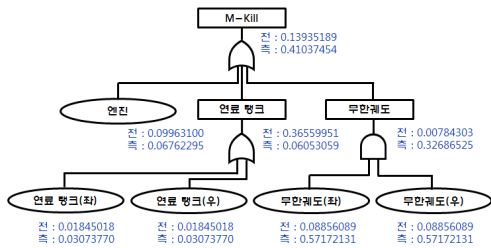


그림 7. 이동 기능 상실(M-Kill) FTA 구성 및 확률 계산  
Fig. 7 Probability of M-Kill

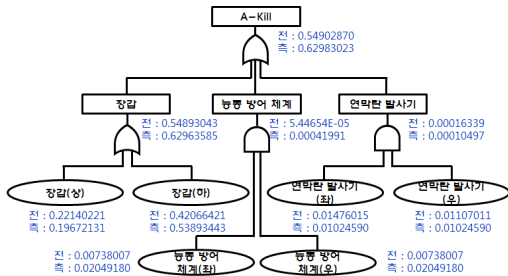


그림 8. 방어 기능 상실(A-Kill) FTA 구성 및 확률 계산  
Fig. 8 Probability of A-Kill

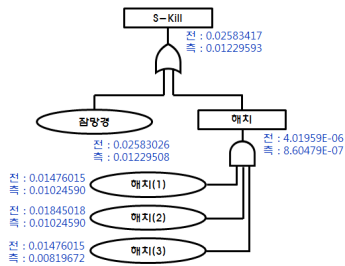


그림 9. 탐지 기능 상실(S-Kill) FTA 구성 및 확률 계산  
Fig. 9 Probability of S-Kill

표 5. 기능 상실 확률 분석 결과(전면/측면)

Table. 5 Result of kill probability analysis(front/side)

	전면	측면
F-Kill	0.02935689	<b>0.08164807</b>
M-Kill	0.13935189	<b>0.41037454</b>
A-Kill	0.54902870	<b>0.62983023</b>
S-Kill	<b>0.02583417</b>	0.01229593
C-Kill	<b>0.07788686</b>	0.00890056

분석 결과를 보면, F-Kill, M-Kill, A-Kill은 전면보다는 측면에서 발생할 확률이 높고, S-Kill과 C-Kill은 전면에서 발생할 확률이 높다. 특히 M-Kill의 경우, 전면과 측면에서의 기능 상실 확률이 큰 차이를 보이고 있기 때문에 상대적으로 전면에 비해 측면이 M-Kill에 매우 취약한 것으로 나타났다. 즉, 전면은 측면에 비해 S-Kill, C-Kill에 취약하고, 측면은 전면에 비해 F-Kill, M-Kill, A-Kill에 취약한 것으로 볼 수 있다.

## VII. 결 론

본 논문에서는 FTA 기반의 전자 취약성 분석 시스템의 개발에 관한 내용을 다루었다. 개발한 시스템은 부품별 피격 확률 분석 프로그램과 FTA 기반의 기능별 상실 확률 분석 프로그램으로 구성된다. 피격 확률 분석 프로그램은 전차를 구성하는 부품의 3차원 모델을 기반으로 다중 관통선을 설정하여 피격면에 대한 부품별 피격 확률을 분석하고, 그 결과를 파일로 출력해주는 기능을 한다. 또한 FTA 기반의 기능별 상실 확률 분석 프로그램에서는 출력된 분석 결과 파일을 기반으로

FTA로 구성하여 시각화해주는 기능 및 기능별 상실 확률을 계산하는 기능을 한다. 개발한 시스템을 활용하면 전차의 피격면에 대한 각 기능별 상실 확률의 비교가 가능해지며, 이를 통해 취약성 분석이 가능함을 확인하였다. 또한 다른 전투 시스템의 부품별 CAD 모델을 이용하더라도 피격면에 따른 다중 관통선 기반의 피격 확률 분석이 가능하며, 분석된 결과의 출력 데이터를 기반으로 FTA 기반의 기능 상실 확률에 따른 취약성 분석이 가능하다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Research fund of Survivability Technology Defense Research Center of Agency for Defense Development of Korea (No. UD150013ID)

### REFERENCES

- [ 1 ] Michael O. Said, "Theory and practice of total ship survivability for ship design," *Naval Engineers Journal*, vol. 107, issue 4, pp. 191-203, 1995.
- [ 2 ] M. S. Wi, S. M. An, T. H. Eom, H. J. Jin, D. S. Kim and J. S. Park, "Survivability and reliability analysis for combat system by using fault tree structure" in *Proceeding of The 2014 Spring Conference of The Korean Society of Mechanical Engineers(Division of Reliability)*, Jeju, Korea, p. 174, 2014.
- [ 3 ] K. S. Kim and J. H. Lee, "Simplified vulnerability assessment procedure for a warship based on the vulnerable area approach," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 26, no. 7, pp. 2171-2181, 2012.
- [ 4 ] Li, J., Yang, W., Zhang, Y., Pei, Y., Ren, Y., and Wang, W., "Aircraft vulnerability modeling and computation methods based on product structure and CATIA," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 26, no. 2, 334-342, 2013.
- [ 5 ] H. G. Hwang, H. K. Kim and J. S. Lee, "An agent based modeling and simulation for survivability analysis of combat system," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 12, pp. 2581-2588, 2012.
- [ 6 ] H. G. Hwang, J. W. Lee, J. S. Lee, and J. S. Park, "A development of 3D penetration analysis program for survivability analysis of combat system : Focused on Tank Model," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 244-250, 2014.
- [ 7 ] International Electrotechnical Commission, IEC 61025 : Fault Tree Analysis (FTA) Second edition, International Electrotechnical Commission, 2006.
- [ 8 ] H. G. Hwang, H. K. Kim, J. S. Lee, H. J. Lee and J. S. Park, "A development of penetration analysis program for analyzing survivability of combat system," in *Proceeding of The 2013 Annual Conference of Korea Institute of Military Science and Technology*, Jeju, Korea, pp. 1997-1998, 2013.
- [ 9 ] H. G. Hwang, J. W. Lee, J. S. Lee and J. S. Park, "A development of 3D penetration analysis program for survivability analysis of combat system : focused on tank model," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 244-250, 2015.
- [ 10 ] H. G. Hwang, J. S. Lee, S. C. Lee, Y. J. Park and H. P. Lee, "A development of flash fire prediction program for combat system" *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 255-261, 2013.
- [ 11 ] H. G. Hwang, H. K. Kim, J. S. Lee, H. J. Lee, E. M. Lee and H. P. Lee, "A development of vulnerability analysis program for combat system by flash fire" in *Proceeding of The 2013 Annual Conference of Korea Institute of Military Science and Technology*, Jeju, Korea, pp. 1999-2000, 2013.
- [ 12 ] W. E. Vesely, F. F. Goldberg, N. H. Roberts and D. F. Haasl, "Fault Tree Handbook," U.S. Nuclear Regulatory Commission, U.S., 1981.
- [ 13 ] M. D. Burdeshaw, J. M. Abell, S. K. Price, and L. K. Roach, "Degraded States Vulnerability Analysis of a Foreign Armored Fighting Vehicle," Army Research Laboratory, U. S. 1993.
- [ 14 ] Michael V. Carras Jr, "BDA Enhancement Methodology using Situational Parameter Adjustments," Air Force Institute of Technology, 2006.
- [ 15 ] H. G. Hwang, H. K. Kim, J. W. Lee and J. S. Lee, "A study on importance estimation of critical components for combat system survivability analysis," in *Proceeding of The 1st Annual Conference of Next Defense*, Seoul, Korea, pp.145-146, 2014.





**황훈규(Hun-Gyu Hwang)**

2009년 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공 (공학사)  
2011년 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)  
2011년 ~ 현재 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정  
※ 관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 신뢰성 분석, 해양정보시스템, 정보보안



**유병규(Byeong-Gyu Yoo)**

2010년 ~ 현재 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공  
※ 관심분야 : 스마트폰 어플리케이션, 사물인터넷(IoT), 모델링 및 시뮬레이션



**이재웅(Jae-Woong Lee)**

2015년 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공 (공학사)  
2015년 ~ 현재 : (주)비트밸리 연구원  
※ 관심분야 : 조선 · 해양IT융합, 네트워크, 모델링 및 시뮬레이션



**이장세(Jang-Se Lee)**

1997년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
1999년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
2003년 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
2004년 ~ 현재 : 한국해양대학교 IT공학부 부교수  
※ 관심분야 : 컴퓨터보안, 지능시스템, 모델링 및 시뮬레이션