

FMECA 기반 위험도를 활용한 전차의 구성 부품별 취약성 분석 프로그램의 개발

황훈규¹ · 강지원² · 이장세^{2*}

A Development of Component Vulnerability Analysis Program for Armored Fighting Vehicle using Criticality based on FMECA

Hun-Gyu Hwang¹ · Ji-Won Kang² · Jang-Se Lee^{2*}

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

^{2*}Division of IT Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-080, Korea

요 약

전투 시스템은 목적에 따라 각기 다른 특성을 가지는데, 주요 목적과 관련된 기능을 하는 부품이 다른 기능과 관련된 부품보다 중요하다. 또한 이러한 부품의 피격 확률은 면적에 비례한다고 볼 수 있다. 따라서 부품의 중요도 및 피격 확률을 모두 고려하여 취약성 분석이 이루어져야 하며, 전투 시스템의 설계 단계에서부터 분석된 결과를 반영하여야 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 관련 연구를 바탕으로 FMECA 기반의 위험도를 적용하고, 전차의 구성 부품별 위험도를 도출하기 위한 방법과 계산 기준을 정의하며, 통합 위험도를 이용한 부품별 취약성 분석 방법을 제안한다. 추가적으로, 제안한 기법을 자동화해주는 위험도 기반의 취약성 분석 프로그램을 개발하고, 그것을 활용하여 제안한 기법의 유용성을 실험한다.

ABSTRACT

The combat system has a different purpose depending on its mission. All functions of combat system are important, but, the components that related main functions for the purpose, are important than other components. Also, the hit probability of component is proportional to area of the component. Therefore, when we analyze vulnerability of combat system, to consider the importance and hit probability of component. Thus to improve reliability of combat system, we apply the analyzed result to design combat system. In this paper, we develop a vulnerability analysis program based on criticality which calculated from importance and hit probability of components by related researches. To do this, we propose a methodology to apply criticality of components, and define classification rates for calculating criticality based on FMECA. Additionally, we propose a technique of vulnerability analysis using criticality of components, and apply the proposed technique to develop and test the vulnerability analysis program for automation of analysis.

키워드 : 위험도, FMECA, 부품, 취약성 분석, 전차

Key word : Criticality, Failure Mode, Effectiveness and Criticality Analysis, Component, Vulnerability analysis, Armored fighting vehicle

Received 10 April 2015, Revised 01 May 2015, Accepted 13 May 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.2015.19.8.1973>

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. 서 론

국방과 관련한 임무를 수행하는 전투 시스템의 범주에는 전투뿐만 아니라 정찰, 수송 등의 목적을 가진 시스템들도 포함되며, 이들 시스템은 목적에 따라 각기 다른 특성을 가진다. 공격, 이동, 방어, 탐지, 통신 등 전투 시스템의 모든 기능이 중요하지만, 전차와 같은 경우는 기동력을 바탕으로 여러 위협을 회피하거나 감내하여 적을 무력화시키기 위한 공격을 목적으로 가지기 때문에 상대적으로 이동, 방어, 공격 기능에 특화되어 있다[1]. 반면에 수송 목적의 시스템은 신속하고 안전한 수송을 위하여 상대적으로 이동 및 방어 기능이 중요하며, 정찰 목적의 시스템 같은 경우에는 이동과 탐지 기능이 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 전투 시스템의 주요 기능과 관련된 부품이 다른 기능과 관련된 부품보다 상대적으로 높은 중요도(importance)를 가지게 된다[2].

한편, 부품이 손상될 가능성은 부품의 피격 확률과 직결되며, 피격 확률이 높은 부품이 그렇지 않은 부품보다 상대적으로 위협에 대해 취약하다[3,4]. 따라서 전투 시스템의 설계 단계에서부터 이러한 중요도 및 피격 확률에 대한 취약성을 분석하고, 그 결과가 고려되어야만 전투 시스템의 신뢰성이 향상될 수 있다[5]. 이와 관련하여 전차를 구성하는 각각의 부품을 기능에 따라 중요도를 산정하기 위한 기법을 제안한 연구[2,6], 다중 관통선을 기반으로 피격면에 대한 부품별 피격 확률을 분석하기 위한 방법을 제안한 연구[4] 등이 있다.

본 논문에서는 선행 연구를 바탕으로 FMECA(failure mode, effectiveness and criticality analysis)[7] 기반의 위험도(criticality)를 활용하여 전투 시스템을 구성하는 부품별 취약성을 분석하는 프로그램을 개발한다. 전투 시스템의 설계 시에 우선적으로 고려되어야 하는 부품을 선정하기 위한 도구로서 전투 시스템의 신뢰성 분석에 도움을 주는 것을 목적으로 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 위협도와 관련한 연구 및 개념에 관한 내용을 소개하고, 3장에서 부품별 위험도를 적용하기 위한 방법과 기준을 제안하며, 4장에서 부품별 위험도를 기반으로 취약성을 분석한다. 또한 5장에서 제안한 기법을 적용하여 위험도를 활용한 부품별 취약성 분석 프로그램의 개발 및 실험에 관한 내용을 다루고, 6장의 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. 부품의 중요도를 이용한 전차 취약성 분석

전투 시스템의 주요 임무와 관련된 부품이 다른 기능과 관련된 부품보다 상대적으로 높은 중요도를 가진다. 여기서 중요도란, 전체를 구성하는 여러 부품(요소)들 중 한 부품이 차지하고 있는 비중을 수치화한 것을 의미한다[2]. 이는 시스템의 신뢰성 분석에 있어서 한 부품의 손상이 전체에 미치는 영향을 정량적으로 표현하기 위한 가장 기본적인 요소가 된다.

[6]의 연구에서는 전투 시스템의 생존성 분석을 위한 주요 부품의 중요도 산정 기법을 제안하였으며, [2]의 연구에서는 제안한 기법을 도입하여 전차를 구성하는 부품의 손상이 생존성에 미치는 영향을 분석하는 시스템을 개발한 바 있다. 중요도를 계산하기 위해서는 먼저, 전투 시스템을 구성하는 부품을 기능별로 분류하고, 분류된 각각의 부품에 가중치를 부여해야 한다. 부여된 가중치를 이용하여 중요도를 계산하게 되는데, 본 논문에서는 [2]의 연구에서 도출한 부품의 중요도를 참조하여, 이를 위험도 계산을 위한 요소 중 하나인 심각도로 활용한다.

2.2. 부품의 피격 확률을 이용한 전차 취약성 분석

피격이란, 총탄, 포탄 등의 위협탄에 의해 전투 시스템이 직접 혹은 간접적으로 피해를 입는 것을 의미한다. 위협탄에 의해 피격 및 관통되었다고 가정하면, 일반적으로 전투 시스템을 구성하는 부품의 면적이 넓을수록 그에 비례하여 피격 확률이 높아지게 되며, 이는 취약성과도 직결되기 때문에 부품의 취약 면적으로도 정의된다.

[3]의 연구에서는 함정의 주요 부품인 엔진 등을 사각형으로 단순화하여 단일 및 다중 관통시 면적에 대한 취약성을 계산하였다. 또한 [4]의 연구에서는 3차원 CAD를 기반으로 설정한 다중 관통선과 전차를 구성하는 부품의 교차 여부를 검사하는 방법으로 피격면에 대한 전체 유효 피격 횟수 중에 해당 부품의 피격 횟수를 통해 피격 확률을 계산하고, FTA를 기반으로 취약성을 분석하였다. 본 논문에서는 [4]의 연구에서 분석한 전면 및 측면에 대한 부품의 피격 확률 참조하여 위험도 계산을 위한 요소 중 하나인 발생도로 이용한다.

2.3. FMECA기반의 위험도

시스템의 신뢰성 분석에 널리 사용되는 기법인 FMECA 기법에서는 부품의 고장 모드 및 영향에 관한 위험 우선순위(RPN, risk priority number)를 결정하기 위하여 심각도(severity), 발생도(occurrence), 검출도(detection)의 세 가지 기준을 이용한다. 여기서 심각도는 부품의 고장으로 인한 영향의 심각한 정도를 나타내는 것이고, 발생도는 부품의 고장이 발생할 가능성을 나타내는 것이며, 검출도는 고장 및 원인의 검출 가능성을 나타내는 것이다. 각각은 1부터 10까지의 값을 가지며, 일반적으로 식 (1)과 같이 심각도, 발생도, 검출도를 모두 신뢰성 분석에 이용하지만, 경우에 따라 단순히 심각도만을 이용할 수도 있고, 식 (2)와 같이 심각도와 발생도(발생 확률)를 이용할 수도 있다[8,9].

$$RPN = Severity \times Occurrence \times Detection \quad (1)$$

$$Criticality = Severity \times Occurrence \quad (2)$$

특별한 경우를 제외하고는 여러 기준을 복합적으로 고려할수록 분석의 신뢰도가 향상된다. 하지만, 피격으로 인해 전투 시스템을 구성하는 부품의 손상으로 인한 전투 시스템의 취약성을 분석하는데 있어서 검출도는 고려되지 않는다. 왜냐하면, 전투 시스템의 지속적인 운용으로 인한 마모나 노후 등으로 발생하는 고장에 관한 분석이 아니라, 설계 단계에서 피격에 의한 부품 손상에 따른 영향 분석을 수행하는 것이기 때문에 기본적으로 검출이 된다는 것을 전제로 하며 식 (2)를 활용한다.

표 1. 부품별 중요도 및 피격 확률

Table. 1 Importance and hit probability for components

Category	Component name	Importance [2]	Hit probability(front) [4]	Hit probability(side) [4]
Components for firepower	주포	0.168	0.00738007	0.07786885
	사격 통제 장치	0.112	0.02214022	0.00409836
	탄약고(1)	0.04	0.02214022	0.01229508
	탄약고(2)	0.04	0.02214022	0.01229508
	탄약고(3)	0.04	0.02214022	0.01229508
Components for mobility	엔진	0.1	0.09963100	0.06762295
	연료 탱크(좌)	0.02	0.01845018	0.03073770
	연료 탱크(우)	0.02	0.01845018	0.03073770
	무한궤도(좌)	0.03	0.08856089	0.57172131
	무한궤도(우)	0.03	0.08856089	0.57172131
Components for defense function (armor)	장갑(상)	0.0875	0.22140221	0.19672131
	장갑(하)	0.0875	0.42066421	0.53893443
	능동 방어 체제(좌)	0.025	0.00738007	0.02049180
	능동 방어 체제(우)	0.025	0.00738007	0.02049180
	연막탄 발사기(좌)	0.0125	0.01476015	0.01024590
Components for detection (sensor) function	연막탄 발사기(우)	0.0125	0.01107011	0.01024590
	잠망경	0.055	0.02583026	0.01229508
	해치(1)	0.0153	0.01476015	0.01024590
	해치(2)	0.01485	0.01845018	0.01024590
Components for communication function	해치(3)	0.01485	0.01476015	0.00819672
	무전기	0.03	0.07380074	0.00819672
	안테나(좌)	0.01	0.06642066	0.02663934
	안테나(우)	0.01	0.06642066	0.02663934

III. 위험도 적용 방법과 점수 기준 정의

3.1. 위험도 계산을 위한 심각도 및 발생도 정의

본 논문에서는 여러 전투 시스템 중 전차 모델을 기준으로 위험도를 적용하기 위한 방법을 제안하며, [2]의 연구에서 도출된 전차를 구성하는 부품의 중요도를 재구성하여 심각도로 이용한다. 또한 [4]의 연구에서 도출된 전차의 전면 및 측면에 대한 부품별 피격 확률을 재구성하여 발생도로 이용한다. 표 1에 전차를 구성하는 부품의 분류와 부품명을 비롯하여 계산된 부품별 중요도 및 피격 확률을 정리하였다. 여기서 중요도는 정적인 요소가 되고, 피격 확률은 전면 및 측면에 따라 변화하기 때문에 동적인 요소가 된다.

3.2. 위험도 계산을 위한 점수 기준 정의

FMECA에서는 RPN이나 위험도의 계산을 위해서 심각도나 발생도에 대한 값을 직접 이용하지 않고, 1부터 10까지의 기준에 따른 점수로 변환하여 계산에 이용한다. 따라서 점수 기준을 정의하는 것이 필요한데[10], 본 논문에서는 위험도의 계산을 위해서 중요도 및 피격 확률의 각 기준을 표 2 및 표 3과 같이 선정한 부품의 수를 고려하여 임시적으로 정의하였으며, 이를 이용하여 전차를 구성하는 각 부품의 위험도를 계산한다. 이에 따라 식 (2)는 식 (3)과 같이 다시 정의된다. 본 논문에서는 선정한 부품의 수를 고려하여 점수 기준을 정의하였다. 하지만, 대상이 되는 부품의 수가 많아지게 되면 점수 기준이 점점 낮아지게 되는데, 이는 향후 국방 분야의 전문가 등에 의한 재정의가 필요할 것이다.

표 2. 중요도의 점수 기준

Table. 2 Classification rate for importance

Rate	Criteria for importance
10	0.15 이상
9	0.125 이상
8	0.1 이상
7	0.08 이상
6	0.06 이상
5	0.04 이상
4	0.02 이상
3	0.01 이상
2	0.005 이상
1	0 이상, 0.005 이하

표 3. 피격 확률의 점수 기준

Table. 3 Classification rate for hit probability

Rate	Criteria for hit probability
10	0.5 이상
9	0.3 이상
8	0.1 이상
7	0.08 이상
6	0.06 이상
5	0.04 이상
4	0.02 이상
3	0.01 이상
2	0.005 이상
1	0 이상, 0.005 이하

$$Criticality = Importance(rated) \times Hit\ probability\ of\ component(rated) \quad (3)$$

IV. 부품별 위험도 계산 및 취약성 분석

4.1. 피격면에 대한 부품별 위험도 계산

부품별 위험도 계산을 위하여 표 1의 중요도 및 피격 확률에 표 2와 표 3의 점수 기준을 적용하였으며, 전면과 측면에 대한 부품별 위험도를 계산하였다. 이때, 부품의 분류에 따라 F-Kill, M-Kill, A-Kill, S-Kill, C-Kill을 고장 모드로 설정하고, 이에 따라 공격 기능 상실, 이동 기능 상실, 방어 기능 상실, 탐지 기능 상실, 통신 기능 상실로 정의하였으며, FMECA 결과를 표 4에 정리하였다. 결과를 보면 상대적으로 위험도가 높은 부품(위험도 30 이상)은 전면의 경우, 엔진, 장갑(하), 장갑(상), 사격 통제 장치 순으로 나타났으며, 측면의 경우, 장갑(하), 주포, 장갑(상), 엔진, 무한궤도(좌), 무한궤도(우)의 순으로 나타났다. 예를 들어, 사격 통제 장치의 위험도는 측면의 경우보다 전면의 경우에 높게 나타났으므로 사격 통제 장치는 측면보다 전면의 취약성에 많은 영향을 끼친다. 반면에 주포의 위험도는 전면의 경우보다 측면의 경우에 높게 나타났으므로 주포는 측면의 취약성에 많은 영향을 끼치는 것으로 볼 수 있다.

4.2. 부품별 통합(평균) 위험도 계산

전면 혹은 측면에 대한 부품별 취약성만을 분석하는 것이 목적이거나 계산된 전면 및 측면의 부품별 위험도

표 4. FMECA 결과 및 부품별 위험도

Table. 4 Result of FMECA with criticality for components

Component name	Failure mode	Failure effectiveness	Importance rate (A)	Hit probability rate(front) (B)	Hit probability rate(side) (C)	Criticality(front) (A × B)	Criticality(side) (A × C)
주포	F-Kill	Loss of firepower	10	2	6	20	60
사격 통제 장치			8	4	1	32	8
탄약고(1)			5	4	3	20	15
탄약고(2)			5	4	3	20	15
탄약고(3)			5	4	3	20	15
엔진	M-Kill	Loss of mobility	8	8	6	64	48
연료 탱크(좌)			4	3	4	12	16
연료 탱크(우)			4	3	4	12	16
무한궤도(좌)			4	7	10	28	40
무한궤도(우)			4	7	10	28	40
장갑(상)	A-Kill	Loss of defense function (armor)	7	8	8	56	56
장갑(하)			7	9	10	63	70
능동 방어 체제(좌)			4	2	4	8	16
능동 방어 체제(우)			4	2	4	8	16
연막탄 발사기(좌)			3	3	3	9	9
연막탄 발사기(우)			3	3	3	9	9
잠망경			S-Kill	Loss of detection (sensor) function	5	4	3
해치(1)	3	3			3	9	9
해치(2)	3	3			3	9	9
해치(3)	3	3			2	9	6
무전기	C-Kill	Loss of communication function	4	6	2	24	8
안테나(좌)			3	6	4	18	12
안테나(우)			3	6	4	18	12

는 그 자체로도 의미가 있다.

하지만 일반적인 취약성을 나타내기 위하여 통합적인 고려가 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 전면 및 측면 위험도의 평균값을 이용한다. 전면과 측면 위험도의 평균값을 구한 후에 이를 기준으로 내림차순으로 정렬하였으며, 이를 표 5에 나타내었다. 이를 통해 전차의 설계 단계에서부터 우선순위를 두어야 할 부품을 확인할 수 있다. 이때, 평균법은 단순한 접근인 것 같지만 향후 전면 및 측면에 대한 위험도가 아닌 다양한 피격면(예 : 30° 혹은 45° 단위의 회전에 따른 부품별 위험도 도출 등) 혹은 피격각(예 : 직선이 아니라, 피격각에 따른 대각선이나 곡선의 관통선 설정 등) 등을 고려하여 통합적으로 적용하기 위한 가장 기초적인 방법이라고 볼 수 있다.

표 5. 위험도에 대한 부품별 우선순위

Table. 5 Priority of components by criticality

Component name	Average criticality
장갑(하)	66.5
엔진, 장갑(상)	56
주포	40
무한궤도(좌), 무한궤도(우)	34
사격 통제 장치	20
탄약고(1), 탄약고(2), 탄약고(3), 잠망경	17.5
무전기	16
안테나(좌), 안테나(우)	15
연료 탱크(좌), 연료 탱크(우)	14
능동 방어 체제(좌), 능동 방어 체제(우)	12
연막탄 발사기(좌), 연막탄 발사기(우), 해치(1), 해치(2)	9
해치(3)	7.5

V. 프로그램 개발 및 실험

5.1. 설계 및 개발 환경

위험도를 활용한 부품별 취약성 분석 프로그램의 동작 과정을 그림 1에 나타내었으며, 선행 연구를 통해 분석된 중요도와 피격 확률에 관한 데이터가 존재한다고 가정한다. 먼저, 표 1과 같은 부품의 중요도 및 피격면에 대한 피격 확률에 관한 데이터를 불러온 후 처리한다. 또한, 표 2와 표 3에서 정의한 기준을 설정하여 기준에 따라 각 값을 점수로 변환하고, 전면과 측면의 위험도를 계산하여 출력해준다. 끝으로 전면의 위험도와 측면의 위험도를 이용하여 부품별 평균 위험도를 계산하고, 계산의 결과에 따라 내림차순으로 출력해준다. 프로그램의 개발 환경으로 운영체제는 Windows 7, 개발 도구는 Visual Studio 2012, 프로그래밍 언어는 C#을 이용하였다.

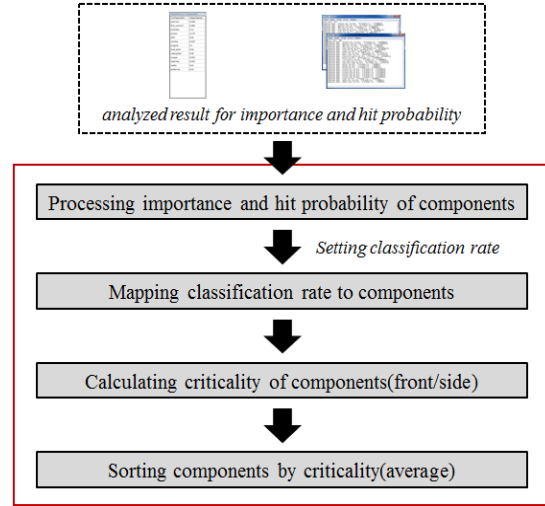


그림 1. 프로그램 동작 과정
Fig. 1 Operating process of program

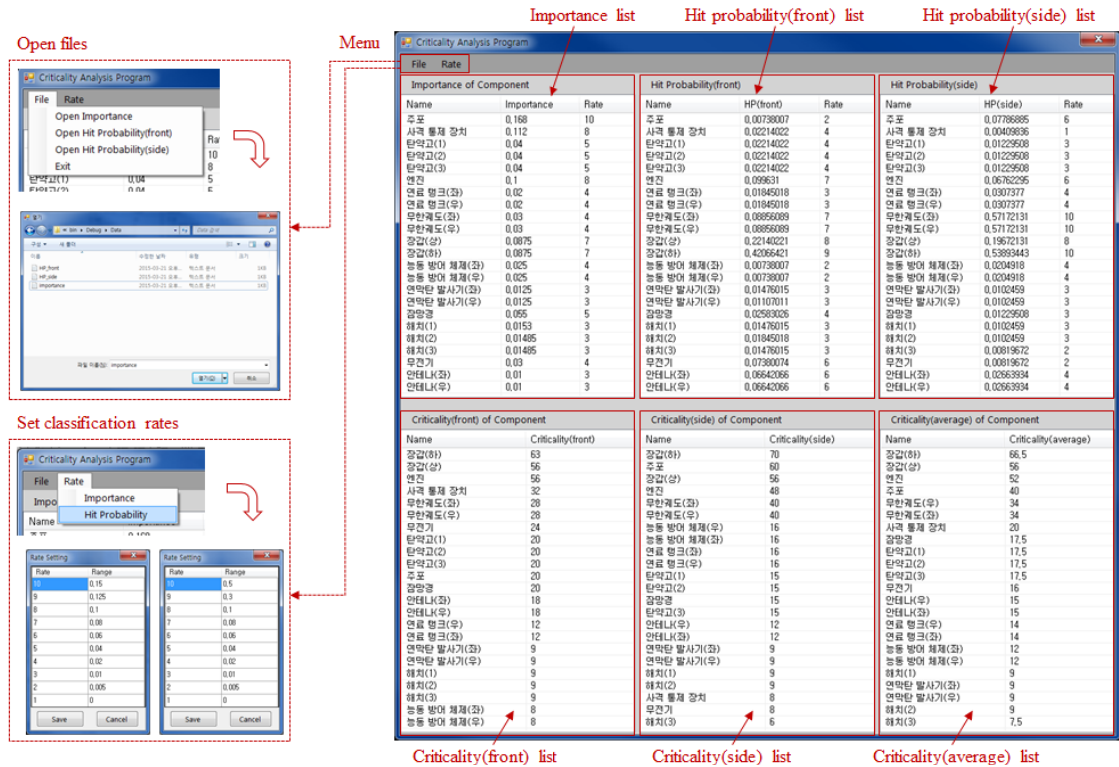


그림 2. 개발한 프로그램 및 분석 결과
Fig. 2 Analyzed result of developed program

5.2. 구현 및 실험

본 논문에서 제안한 취약성 분석 방법을 자동화하기 위하여 *위험도를 활용한 부품별 전차 취약성 분석 프로그램*을 개발하였으며, 프로그램의 동작 화면은 그림 2와 같다. 그림 2의 왼쪽에 이 과정을 나타낸 것과 같이 화면의 가장 상단에 중요도 및 피격 확률을 불러오고, 점수 기준을 설정하기 위한 메뉴가 있다. 메뉴의 아래, 즉 화면의 상단에는 중요도, 전면, 측면 피격 확률 목록창이 있으며, 화면의 하단에는 전면, 측면, 평균 위험도 목록창이 있다. 또한 그림 2는 중요도 및 피격 확률이 저장되어 있는 파일을 불러온 후, 이를 설정한 기준에 따라 점수를 부여하여 중요도, 전면 피격 확률, 측면 피격 확률 목록창에 출력하고, 전면, 측면, 평균 위험도를 계산하여 전면, 측면, 평균 위험도 목록창에 위험도를 기준으로 내림차순으로 출력한 화면이다. 개발한 프로그램을 이용하면, 선행 연구에서 분석된 중요도 및 피격 확률을 기반으로 부품별 위험도를 도출할 수 있으며, 전차의 설계 시에 우선적으로 고려되어야 하는 부품을 확인하고 그 결과를 전차의 취약성 분석에 활용할 수 있다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 선행 연구를 바탕으로 FMECA 기반의 위험도를 활용한 부품별 전차 취약성을 분석하는 프로그램을 개발하였다. 이를 위해 부품별 위험도를 적용하기 위한 계산 기준을 정의하고, 이를 활용한 취약성 분석 방법을 제안하였다. 또한 제안한 내용을 적용하여 부품별 취약성 분석 프로그램을 개발하였으며, 실험을 통해 그 유용성을 검증하였다. 개발한 프로그램을 활용하면 전차를 구성하는 부품별 중요도를 도출할 수 있으며, 이를 통해 전차의 설계 시에 우선적으로 고려되어야 하는 부품을 선정할 수 있다. 기존의 연구에서 중요도는 **시스템 수준(system level)**의 취약성을 분석하기 위한 목적을 가지고 있었으며, 다중 관통선 기반의 피격 확률은 **기능 수준(function level)**의 취약성을 분석하기 위해 활용되었다. 반면에 본 논문에서 다룬 위험도는 **부품 수준(component level)**의 취약성을 분석하기 위한 목적을 가지고 있으며, 정적인 요소와 동적인 요소를 함께 고려하기 때문에 보다 통합적인 취약성 분석이

가능하다. 향후에는 전면 및 측면뿐만 아니라, 30° 혹은 45° 등의 단위별 회전에 따라 달라지는 다양한 피격면에 대한 취약성 분석에 관한 연구와 직선이 아닌 대각선이나 포물선(곡선)의 관통선 설정 등 피격 각도가 고려된 취약성 분석 등 전투 시스템 취약성 분석의 신뢰도를 향상시키기 위한 연구가 필요하다.

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] W. E. Baker, J. H. Smith and W. A. Winner, "Vulnerability/Lethality Modeling of Armored Combat Vehicles - Status and Recommendations," Army Research Laboratory, U. S. 1993.
- [2] H. G. Hwang, J. W. Lee, J. W. Lee and J. S. Lee, "A development of survivability analysis system for tank using importance of components," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 5, pp. 1269-1276, 2015.
- [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] H. G. Hwang, J. W. Lee, B. K. Yoo and J. S. Lee, "A development of kill vulnerability analysis system for tank based on hit probability using fault tree analysis," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, 2015 (in press)
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] IEC 60812, *Analysis Techniques for System Reliability - Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, International Electrotechnical Commission, Switzerland, 1985.
- [8] MIL-STD-1629A, *Military Standard : Procedures for performing a Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis*, Department of Defense(DoD), Washington D. C., 1980.
- [9] R. J. Latino, K. C. Latino and M. A. Latino, *Root Cause Analysis: Improving Performance for Bottom-Line Results*, 4th ed. CRC Press, 2011.
- [10] D. J. Shin, A Study on Improvement of Reliability for the Urban Transit Vehicles using FMEA/FMECA, M.S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Sungkyunkwan University, Korea, 2011.



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



강지원(Ji-Won Kang)

2012년 ~ 현재 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공
※ 관심분야 : 국방 M&S, 신뢰성 분석, 정보보안, 포렌식



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