

## 통합 피격 확률 분석을 이용한 RBD 기반의 전차 신뢰도 분석 방법

황훈규<sup>1</sup> · 강지원<sup>2</sup> · 이장세<sup>2\*</sup>

### A Method for Reliability Analysis of Armored Fighting Vehicle using RBD based on Integrated Hit Probabilities of Crews and Components

Hun-Gyu Hwang<sup>1</sup> · Ji-Won Kang<sup>2</sup> · Jang-Se Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ocean ICT & Advanced Materials Technology Research Division, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan 46757, Korea

<sup>2</sup>Division of IT Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Korea

#### 요 약

최근 전투 시스템의 신뢰도를 분석하는 것에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 특히 선행 연구의 한계점을 보완하기 위한 연구와 보다 통합적인 분석에 관한 연구의 필요성이 강조되고 있다. 본 논문에서는 선행 연구에서 분석된 전면과 측면의 피격 확률을 활용하여 시간-효율성을 향상시키기 위한 통합 피격 확률 도출 기법을 제안한다. 또한 도출된 통합 피격 확률을 기반으로 각 구성 요소의 신뢰도를 구하고, 전체 전투 시스템의 기능별 신뢰도를 분석하기 위하여 RBD 기법을 적용하는 방법을 제안한다. 전차 모델에 적용하여 신뢰도 분석을 수행하였으며, 이를 통해 제안하는 방법의 유용성을 검증하였다. 제안하는 방법은 선행 연구에서는 고려되지 않았던 승무원까지도 고려하며, 분석된 기능별 신뢰도는 선행 연구 대비 분석의 정확도 및 시간-효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### ABSTRACT

Recently, the studies of integrated reliability analysis for combat systems are actively progressing. Especially, the research of integrated reliability analysis is emphasized to overcome limitations of the previous studies. In this paper, we propose a calculation technique for integrated hit probability based on front and side hit probabilities that analyzed in previous studies to improve the time-effectiveness. Also, we find out the integrated reliability of each component based on the integrated hit probability which is calculated, and we propose the method which applied the reliability block diagram technique to analyze the whole combat system of the reliability by function kills. For verifying the proposed method, we applied the proposed method to armored fighting vehicle model. The proposed method considers crew which does not considered the element in the previous study and expects to enhance the accuracy of reliability analysis and the time-effectiveness compared with the previous study.

**키워드** : 피격 확률, 신뢰도 블록도, 기능별 신뢰성, 신뢰성 분석, 전차

**Key word** : Hit probability, Reliability block diagram, Kill reliability, Reliability analysis, Armored fighting vehicle

Received 22 March 2016, Revised 24 March 2016, Accepted 04 April 2016

\* 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 49112, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.5.1040>

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

전투 시스템의 임무 수행에 있어서 가장 이상적인 것은 승무원이나 전투 시스템에 대한 인적/물적 피해가 발생하지 않는 것이다. 하지만, 전투 상황에는 많은 위협과 다양한 변수가 존재하기 때문에 전투 시스템의 임무 수행 능력과 승무원의 생존성을 최대한 확보하기 위해서는 전투 시스템의 취약성을 분석하고 이를 개선하기 위한 과정이 필요하다[1-4]. 한편, 전투 시스템의 성공적인 임무 수행에 있어서 승무원들의 역할은 매우 중요하다. 대표적인 전투 시스템인 전차의 경우에는 일반적으로 3명 혹은 4명의 승무원이 탑승하기 때문에 전투 상황에서 한 승무원이 부상을 당하거나 전사하게 되면, 전체 임무 수행 능력에 큰 영향을 줄 수 있다. 또한 군 관련 차량 혹은 전차의 경우, 상용 차량과 달리 승무원 보호를 위한 조치가 제한적이며 미치는 영향과 안전성에 대한 연구가 필요하다[5]. 기존의 연구들은 전투 시스템 취약성을 구성 부품이나 기능의 손실을 중심으로 분석하였기 때문에 승무원의 역할이나 탑승 위치 등을 고려하지 않은 것들이 대부분이었다[6, 7]. 본 논문에서는 RBD(reliability block diagram) 분석[8] 기법을 이용하여 전차를 주요 구성 부품 및 기능을 비롯하여 승무원들의 역할과 탑승 위치를 고려하여 전투 시스템의 취약성을 분석하기 위한 방법을 제안한다. 여기서, RBD 분석 기법은 시스템을 구성하는 구성 요소들의 관계를 이해하기 쉽게 시각적으로 표현하고, 각 구성 요소의 신뢰도를 바탕으로 전체 시스템의 신뢰도를 분석하기 위한 기법이다. 이를 위해, 본 논문에서는 승무원의 탑승 위치 모델링 및 역할 등을 분석하고, 각 구성 요소들 간의 관계를 정의한다. 또한, 전면 및 측면의 관통 피격 확률을 기반으로 통합 피격 확률을 도출하기 위한 방법을 제안한다. 이를 통해 전차의 주요 부품 및 승무원의 탑승 위치에 대한 다중 관통 피격 확률 기반의 통합 생존성 분석 결과를 도출하는 것을 목적으로 한다.

## II. 관련 연구

### 2.1. 부품의 신뢰도

전체 시스템의 신뢰도를 분석하기 위해서는 가장 하위 레벨에 있는 각 구성요소들의 신뢰도를 알아야 한다.

일반적으로 시스템의 운용 및 유지보수 등의 목적을 위해서 구성 요소의 신뢰도를 활용한다. 이때, 신뢰도는 해당 구성 요소의 기능이 정상적으로 동작할 확률( $\lambda$ )을 의미하며, 신뢰도 함수를 이용하여 값을 구한다. 하지만, 설계 단계에서의 전투 시스템 취약성 분석에 있어서 특정 구성 요소의 고장 확률은 피격될 확률로 정의할 수 있기 때문에 본 논문에서는 식 (1)과 같이 고장(피격) 확률의 관계를 이용하여 신뢰도를 구한다.

$$\begin{aligned} \text{Reliability of component}(\lambda_{\text{component}}) \\ = 1 - \text{Fault(hit) probability of component} \end{aligned} \quad (1)$$

### 2.2. 선행 연구 고찰

피격 확률 분석 프로그램[7]을 이용하면 여러 각도의 관통선(shotline)에 대한 분석이 가능하지만, 3차원 연산을 이용하여 분석을 수행하기 때문에 전차를 구성하는 부품의 수가 많아질 경우 혹은 설정한 관통선의 간격이 좁아지거나 관통선의 수가 많아질 경우 분석에 소요되는 시간이 급격하게 증가하는 단점이 있다. 실제, 선행 연구의 분석 환경(CPU i5, RAM 4GB)에서 전면(관통선 960개 설정) 및 측면(관통선 1540개 설정)의 부품별(부품 26개) 피격 확률을 분석하는데 소요되는 시간은 약 20분 정도이다. 만약 프로그램을 이용하여 8-방향을 모두 분석한다면 약 3~4시간 정도, 16-방향을 분석할 경우, 약 5~8시간 정도가 소요된다. 또한, 부품의 수가 늘어나거나 관통선의 간격이 좁아질 경우 분석에 걸리는 시간은 더 오래 걸리게 된다.

현재, 이러한 한계점(정확도 vs. 시간)을 해결하기 위한 연구를 진행 중에 있으며, 그 일환으로 본 논문에서는 선행 연구를 통해 얻어진 전면과 측면의 구성 요소별 피격 확률을 활용하여 통합 피격 확률을 분석하기 위한 방법을 제안한다. 추가적으로 본 논문에서는 전투 시스템을 구성하는 부품만을 고려하였던 선행 연구를 확장하여 승무원(탑승 위치)까지도 고려한다. 왜냐하면 전투 시스템의 신뢰도는 승무원의 상태에 따라 큰 영향을 받을 수 있기 때문이다[5].

## III. 통합 피격 확률 분석 방법

### 3.1. 통합 피격 확률 및 전차 신뢰도 분석 과정

본 논문에서 제안하는 통합 피격 확률 분석을 통한 RBD 기반 전차의 기능별 신뢰도 분석 과정은 그림 1과 같다. 먼저 각 구성 요소의 신뢰도를 구하기 위해, 선행 연구[7]에서 분석한 전면과 측면의 피격 확률을 활용하여 통합 피격 확률을 도출한다. 즉, 전면 및 측면의 피격 확률을 식 (2)에 적용하여 최대 피격면에 대한 피격 확률을 도출하고, 도출된 피격 확률을 기반으로 식 (3)을 이용하여 8-방향의 통합 피격 확률을 도출한다. 또한, 통합 피격 확률을 식 (1)에 적용하여 각 구성 요소의 신뢰도를 분석하고 RBD 기법을 적용한 후, 얻어진 각 구성 요소의 신뢰도를 기반으로 전차의 기능별 신뢰도를 분석한다. 이때 기능은 구성 요소들의 분류에 따라 공격 기능(firepower), 이동 기능(mobility), 방어 기능(armor), 탐지 기능(sensor), 통신 기능(communication)으로 분류한다.

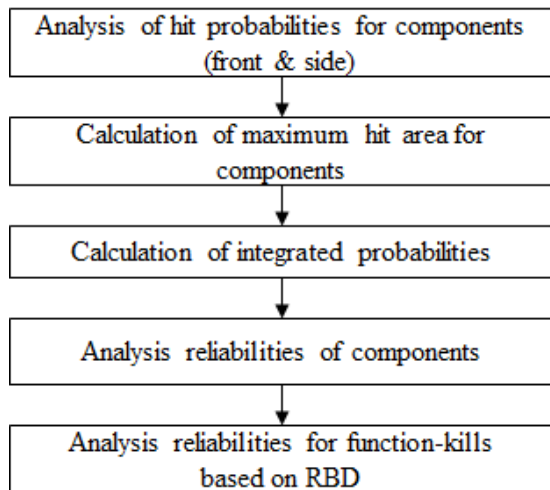


Fig. 1 Analysis process of proposed method

3.2. 구성 요소별 통합 피격 확률 도출 방법

본 논문에서는 전투 시스템을 구성하는 부품과 승무원의 전면 및 측면의 피격 확률을 활용하여 이를 기반으로 통합 피격 확률을 도출한다. 먼저, 최대 피격면에 대한 피격 확률이 도출되어야 한다. 전면과 측면 중 한 면이 최소 피격면이 되므로, 최대 피격면에 대한 피격 확률을 도출하기 위하여 박스 바운딩(bounding box) 형상 모델링 기법[9, 10]을 적용하여 각 부품을 단순 직육면체 형태로 만든다.

전면 및 측면의 피격 확률을 기반으로 식 (2)와 같은 피타고라스의 정리를 적용하면, 최대 피격면에 대한 피격 확률을 구할 수 있다. 이러한 과정의 개념도를 그림 2에 나타냈으며, 이 경우에는 (c)가 최대 피격면, (b)가 최소 피격면이 된다.

$$PH_{max} = \sqrt{PH_{front}^2 + PH_{side}^2} \tag{2}$$

Where, PH : Hit probability of component

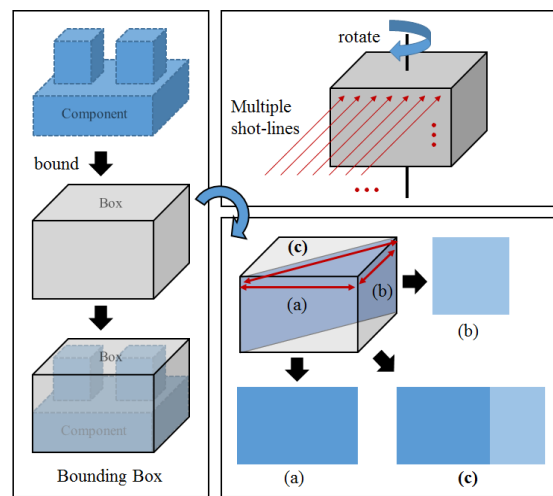


Fig. 2 Conceptual diagram of extraction for maximum hit surface

또한 방호성능이 고려되지 않는 것을 전제로 관통선을 설정하면 그림 3과 같이 전면 및 후면의 피격 확률이 동일하고, 좌측면 및 우측면이 피격 확률이 동일하며, 최대 피격면의 피격 확률이 동일하기 때문에 식 (3)이 성립된다. 이를 적용하여 같이 전/후면(2면), 좌/우측면(2면), 최대 피격면(대각선 4면)의 피격 확률을 이용하여 부품별 8-방향 통합 피격 확률을 도출할 수 있다. 본 논문에서는 구성 부품별 최대 피격 확률 도출 과정에서 발생하는 오차에 관해서는 고려하지 않는다.

$$PH_{8dir} = \frac{2PH_{front} + 2PH_{side} + 4PH_{max}}{8} \tag{3}$$

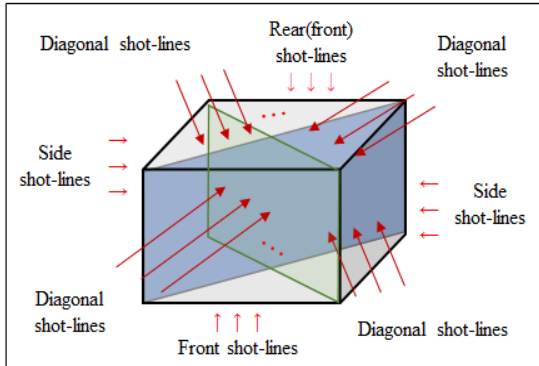


Fig. 3 Conceptual diagram of integrated hit surface

### 3.3. 통합 피격 확률 도출 방법을 적용 및 분석

본 논문에서 분석에 있어 승무원을 추가적으로 고려한다. 도출된 결과를 토대로 부품뿐만 아니라 승무원의 신뢰도를 구할 수 있으며, 이는 전투 시스템 뿐 아니라 승무원의 생존성 분석에 활용할 수 있다. 전차의 경우 일반적으로 전차장, 조종수, 포수, 탄약수가 탑승하여 각자가 맡은 역할을 수행하는데, 자동 장전 장치의 탑

재 유/무에 따라 탄약수의 탑승 여부가 결정된다. 본 논문에서는 승무원으로 전차장, 포수, 조종수의 3명이 탑승한다고 가정하고, 각각을 3차원 CAD로 모델링하여 일반적인 탑승위치에 배치하였다. 또한 선행 연구를 바탕으로 전차를 구성하는 여러 부품 중 기능별로 주요 부품을 선정하고 분류하였으며, 실제 전차의 구조를 고려하여 3차원 공간상에 구성 요소 모델을 위치시켰다.

제안하는 통합 피격 확률 도출 방법을 사용하기 위해 선행 연구에서 활용한 구성 요소별 피격 확률 분석 프로그램을 이용한다. 승무원의 위치를 고려하여 모델링한 승무원 모델들을 선행 연구에서 사용한 부품 모델과 함께 사용한다. 구성 요소별(승무원과 부품) 피격 확률 분석 프로그램을 사용한 결과 화면은 그림 4에 나타내었다.

또한, 프로그램을 통해 얻은 구성 요소별 전면 피격 확률( $PH_{form}$ ) 및 측면 피격 확률의 분석( $PH_{side}$ )의 결과는 표 1과 같다. 분석한 전면 및 측면의 각 구성 요소별 피격 확률을 기반으로 식 (2)를 사용하여 최대 피격면에 대한 피격 확률을 구한다. 도출된 최대 피격면에 대한 피격 확률을 기반으로 식 (3)을 사용하여 통합 피격 확

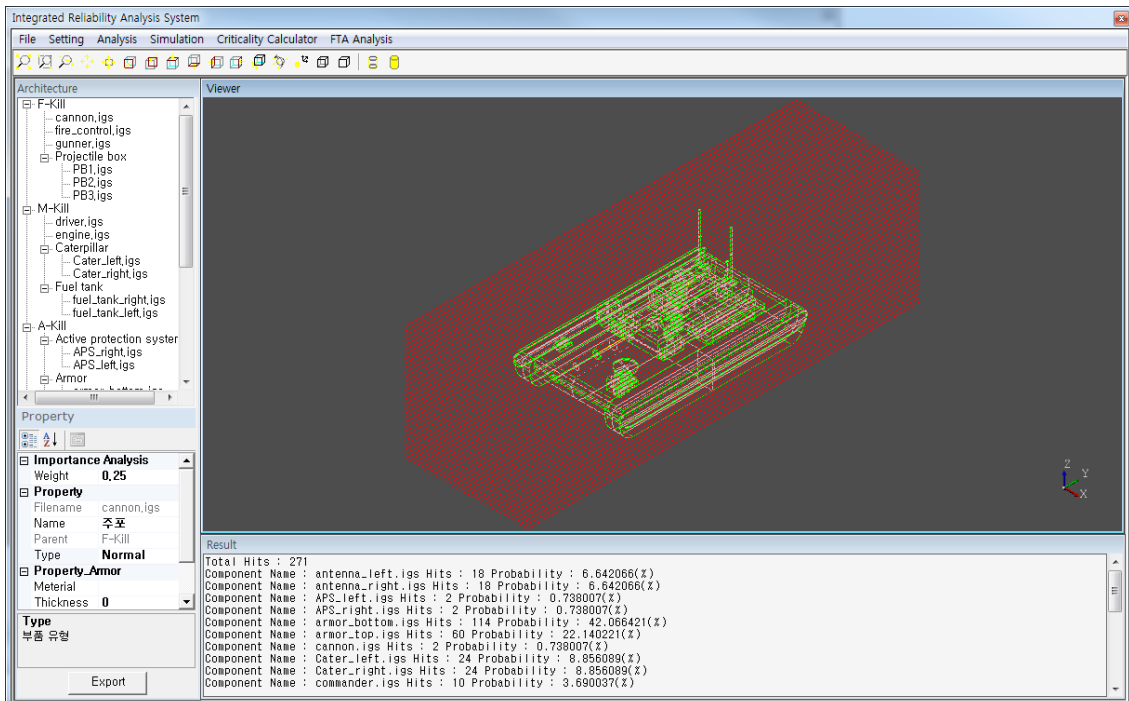


Fig. 4 An example of hit probabilities analysis using the program [7] (front case)

률을 도출한다. 예를 들어, 주포의 통합 피격 확률을 구하기 위하여 전면 피격 확률인 “0.738007”과 측면 피격 확률인 “7.786885”에 식 (2)를 적용하면, 최대 피격면에 대한 피격 확률인 “7.821779”가 도출되고 도출된 값을 식 (3)에 적용하면, 통합 피격 확률인 “6.042113”을 얻을 수 있다. 이런 과정을 다른 구성 요소에도 마찬가지로 적용하면 표 2와 같은 부품별 통합 피격 확률을 얻을 수 있다. 분석 결과를 보면 장갑(하), 무한궤도(좌/우), 장갑(상)의 순으로 높게 나타났다.

**Table. 1** Front and side hit probabilities of components

Function	Component	PH <sub>front</sub>	PH <sub>side</sub>
Fire power	Canon	0.738007	7.786885
	Fire control	2.214022	0.409836
	Projectile box(1)	2.952030	0.819672
	Projectile box(2)	2.214022	1.229508
	Projectile box(3)	2.214022	0.819672
	<i>Gunner</i>	4.059041	2.049180
Mobility	Engine	9.963100	6.762295
	Fuel tank(left)	1.845018	3.073770
	Fuel tank(right)	1.845018	3.073770
	<b>Caterpillar(left)</b>	8.856089	<b>57.172130</b>
	<b>Caterpillar(right)</b>	8.856089	<b>57.172130</b>
	<i>Driver</i>	3.321033	1.844262
Armor	<b>Armor(Top)</b>	<b>22.140220</b>	<b>19.672130</b>
	<b>Armor(Bottom)</b>	<b>42.066420</b>	<b>53.893440</b>
	Active Protection System(left)	0.738007	2.049180
	Active Protection System(right)	0.738007	2.049180
	Smoke bomb discharger(left)	1.476015	1.024590
	Smoke bomb discharger(right)	1.107011	1.024590
	Scope	2.583026	1.229508
Sensor	Hatch(1)	1.476015	1.024590
	Hatch(2)	1.845018	1.024590
	Hatch(3)	1.845018	1.024590
	Electronic device	7.380074	0.819672
Communication	Antenna(left)	6.642066	2.663934
	Antenna(right)	6.642066	2.663934
	<i>Commander</i>	3.690037	1.639344

**Table. 2** Integrated probabilities of components

Function	Component	PH <sub>dir</sub>
Firepower	Canon	6.042113
	Fire control	1.781782
	Projectile box(1)	2.474782
	Projectile box(2)	2.127135
	Projectile box(3)	1.938864
	<i>Gunner</i>	3.800541
Mobility	Engine	10.20198
	Fuel tank(left)	3.022192
	Fuel tank(right)	3.022192
	<b>Caterpillar(left)</b>	<b>45.434040</b>
	<b>Caterpillar(right)</b>	<b>45.434040</b>
	<i>Driver</i>	3.190703
Armor	<b>Armor(Top)</b>	<b>25.261720</b>
	<b>Armor(Bottom)</b>	<b>58.173610</b>
	Active Protection System(left)	1.785809
	Active Protection System(right)	1.785809
	Smoke bomb discharger(left)	1.523539
	Smoke bomb discharger(right)	1.287098
	Scope	2.383493
Sensor	Hatch(1)	1.523539
	Hatch(2)	1.772612
	Hatch(3)	1.772612
	Electronic device	5.762663
Communication	Antenna(left)	5.904683
	Antenna(right)	5.904683
	<i>Commander</i>	3.351245

#### IV. RBD 기반 전차의 기능별 신뢰도 분석

##### 4.1. RBD 기법의 개요

RBD는 시스템을 구성하는 요소들의 관계를 이해하기 쉽게 시각적으로 표현하고, 각 구성 요소의 신뢰도를 바탕으로 전체 시스템의 신뢰성을 분석하기 위한 방법을 제공한다. RBD는 FTA(fault tree analysis)와 함께 시스템의 신뢰도 분석을 위한 대표적인 기법으로, RBD는 시스템의 정상 동작에 초점을 맞추고 있으며, FTA

는 시스템의 실패(고장)에 초점을 맞추고 있다. RBD는 그림 5와 같이 시스템의 복잡도 등에 따라 서브시스템(subsystem), 부품(component) 등 여러 레벨로 나누어 각 요소의 직렬(series) 혹은 병렬(redundancy 혹은 parallel) 관계를 블록 다이어그램으로 표현한다.

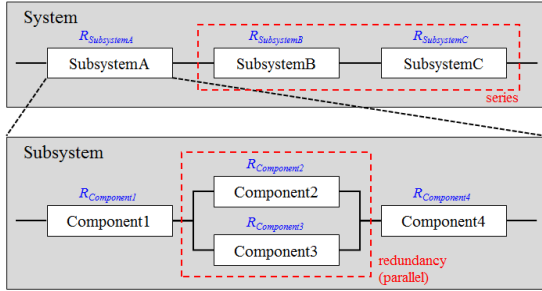


Fig. 5 Example of RBD representation

일반적으로 각 요소(블록)의 상단에 신뢰도( $R_{요소}$ )를 표시해주며, 각 요소들의 신뢰도 및 관계를 이용하여 상위 레벨의 신뢰도를 구하기 위한 공식은 식 (4) 및 식 (5)로 정의된다[8].

$$R_{series} = \prod_{i=1}^n R_i \quad (4)$$

$$R_{redundancy} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (5)$$

#### 4.2. 기능별 RBD 구성

앞서 언급하였듯이 본 논문에서는 기능별 신뢰도를 분석하기 위하여 RBD 기법을 사용한다. 이를 위해 각 구성 요소별 신뢰도와 요소들과의 관계를 알아야 한다. 통합 피격 확률 도출 방법을 이용하여 도출한 통합 피격 확률을 기반으로 식 (1)을 사용하여 각 부품의 신뢰도를 표 3에 나타내었다.

본 논문에서는 일반적인 RBD에서의 시스템부를 전투 시스템의 기능으로 정의하고, 서브시스템부를 세부 구성 요소로 정의한다. 각 구성 요소의 직렬 또는 병렬 관계를 블록 다이어그램으로 표현하며 표현된 관계를 그림 6 ~ 그림 10에 도식화하였다. 또한, 도출된 각 구성 요소별 신뢰도를 이용하여 블록 다이어그램의 각 구성 요소 블록 상단에 신뢰도( $\lambda$ )를 표시하였다. 이때, 각 구

성 요소간의 직렬 및 병렬 관계는 선행 연구[7]에서의 정의하였던 FTA의 논리 관계(and : 병렬, or : 직렬)를 활용하였다.

Table. 3 Reliabilities of components

Function	Component	Reliability ( $\lambda$ )
Firepower	Canon	0.939579
	Fire control	0.982182
	Projectile box(1)	0.975252
	Projectile box(2)	0.978729
	Projectile box(3)	0.980611
Mobility	Gunner	0.961995
	Engine	0.897980
	Fuel tank(left)	0.969778
	Fuel tank(right)	0.969778
	Caterpillar(left)	<b>0.545660</b>
Armor	Caterpillar(right)	<b>0.545660</b>
	Driver	0.968093
	Armor(Top)	<b>0.747383</b>
	Armor(Bottom)	<b>0.418264</b>
	Active Protection System(left)	0.982142
	Active Protection System(right)	0.982142
Sensor	Smoke bomb discharger(left)	0.984765
	Smoke bomb discharger(right)	0.987129
	Scope	0.976165
	Hatch(1)	0.984765
Communication	Hatch(2)	0.982274
	Hatch(3)	0.982274
	Electronic device	0.942373
Communication	Antenna(left)	0.940953
	Antenna(right)	0.940953
	Commander	0.966488

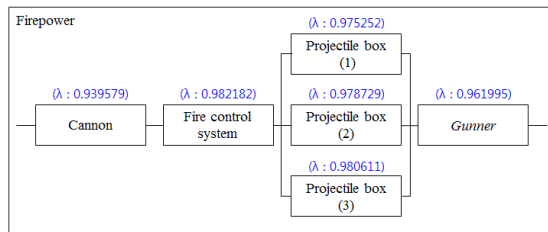


Fig. 6 The block diagram of firepower function

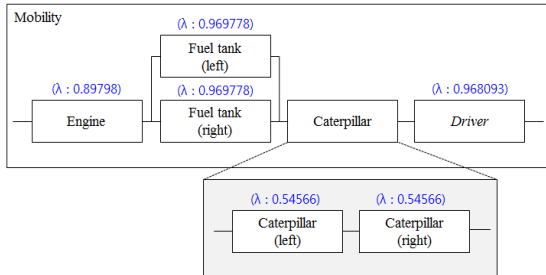


Fig. 7 The block diagram of mobility function

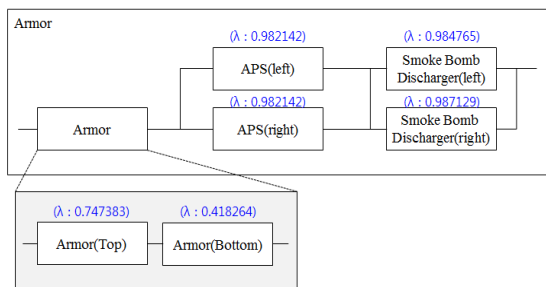


Fig. 8 The block diagram of armor function

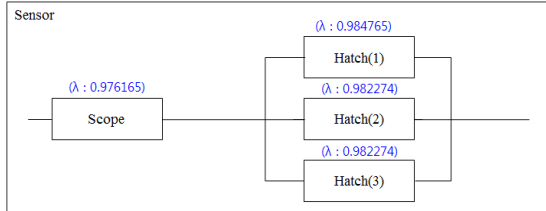


Fig. 9 The block diagram of sensor function

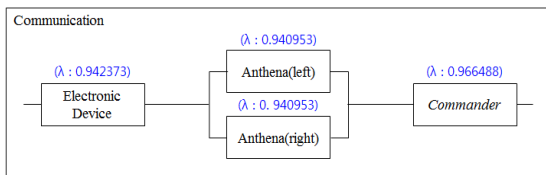


Fig. 10 The block diagram of communication function

4.3. RBD 기반의 신뢰성 분석 및 기능별 신뢰도

RBD에서는 각 구성 요소의 신뢰도를 바탕으로 전체 시스템의 신뢰도를 분석한다. 그림 6 ~ 그림 10까지의 기능별 블록 다이어그램에서 나타낸 각 요소간의 관계와 표시된 신뢰도를 이용하여 기능별 신뢰도를 도출해

낸다. 예를 들어, 공격 기능의 신뢰도를 구하기 위하여 먼저 하위 레벨인 탄약고 1(projectile box 1), 탄약고 2(projectile box 2), 탄약고 3(projectile box 3)의 신뢰도를 분석한다. 병렬 관계인 탄약고 1, 탄약고 2, 탄약고 3에 식 (5)를 적용하여 계산하면 전체 탄약고에 대한 신뢰도는 약 “0.999990”이 된다. 그 다음 식 (4)를 주포(cannon), 사격 통제 장치(fire control system), 전체 탄약고, 포수(gunner)에 적용하면 공격 기능의 신뢰도를 분석할 수 있다. 이렇게 계산된 공격 기능의 신뢰도는 “0.887756”이 되며, 이러한 과정으로 도출된 나머지 기능의 신뢰도를 표 4에 정리했다. 분석 결과를 보면, 탐지 기능, 통신 기능, 공격 기능, 방어 기능, 이동 기능 순으로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 즉, 탐지 기능의 신뢰도가 가장 높은 것으로 분석되었으며 이동 기능의 신뢰도가 가장 낮게 분석되었다. 이러한 결과를 활용하여 구성 요소의 소형화 등으로 인하여 변화하는 전차의 기능별 신뢰도를 분석할 수 있다.

Table. 4 Reliabilities of functions

Function	Reliability
Firepower	0.887756
<b>Mobility</b>	<b>0.258601</b>
<b>Armor</b>	<b>0.312442</b>
Sensor	0.976160
Communication	0.907616

V. 결론

본 논문에서는 통합 피격 확률을 이용한 RBD 기반의 전차 신뢰도 분석 방법에 대한 내용을 다루었다. 이를 위해 구성 요소를 기능에 따라 적절하게 분류하고 각 기능별로 구성요소의 신뢰도와 구성 요소간의 관계를 블록 다이어그램으로 나타내었다. 이때, 구성 요소별 신뢰도를 도출하기 위하여 구성 요소별 피격 확률을 이용하였다. 선행 연구의 한계를 극복하기 위하여 부품과 승무원에 대한 분석을 함께 진행하였으며, 분석된 전면과 측면의 피격 확률을 기반으로 하는 통합 피격 확률 도출 기법을 제안하였다. 제안하는 통합 피격 확률 도출 기법을 사용하면 피격 확률을 도출하는 과정에 있어 시간-효율성이 높아지고 통합 피격 확률을 도출할



수 있다. 향후에는 신뢰도 분석의 정확도를 높이기 위하여 관통 여부와 폭발, 화재, 충격 등의 영향도 고려하기 위한 연구가 필요하다. 이러한 이유로 현재 위협 및 방호 성능에 대한 전투 시스템의 관통 여부 등을 고려한 피격 확률 분석 및 신뢰도 분석 시스템을 개발 중에 있다.

### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Research fund of Survivability Technology Defense Research Center of Agency for Defense Development of Korea (No. UD1500131D)

### REFERENCES

- [ 1 ] M. O. Said, "Theory and practice of total ship survivability for ship design," *Naval Engineers Journal*, vol. 107, issue 4, pp. 191-203, Jul. 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 ] 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, Dec. 2012.
- [ 4 ] 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, Jan. 2014.
- [ 5 ] G. S. Lee, U. J. Jeong and G. J. Park, "Simulation model of rollover crashes and passenger injury assessment for a wheeled armored vehicle," *Journal A of Korea Society of Mechanical Engineers*, vol. 38, pp. 385-391, Apr. 2014.
- [ 6 ] H. G. Hwang, J. W. Kang, and J. S. Lee, "A development of component vulnerability analysis program for armored fighting vehicle using criticality based on FMECA," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, pp.1973-1980, Aug. 2015.
- [ 7 ] H. G. Hwang, B. G. Yoo, J. W. Lee, and J. S. Lee, "A development of hit probability-based vulnerability analyses system for armored fighting vehicle using fault tree analysis technique," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 8, pp.1981-1989, Aug. 2015.
- [ 8 ] Leemis, L. M., *Reliability - Probabilistic Models and Statistical Methods*, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [ 9 ] K. S. Kim, J. H. Lee, and S. Y. Hwang, "Simplified Vulnerability Assessment Procedure for the Warship Based on the Vulnerable Area Approach," *Society of Naval Architects of Korea*, vol. 48, no. 5, pp.404-413, Oct. 2011.
- [10] 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, Jul. 2012.



황훈규(Hun-Gyu Hwang)

2009년 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학심화전공 (공학사)  
 2011년 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 2016년 : 한국해양대학교 대학원 컴퓨터공학과 (공학박사)  
 2016년 ~ 현재 : 중소기업연구원 해양IT융복합소재연구본부 연구원  
 ※관심분야 : 모델링 및 시뮬레이션, 신뢰성 분석, 해양정보시스템, 네트워크, 정보보안





**강지원(Ji-Won Kang)**

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



**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