



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

SES/MB 프레임워크 및 DEVS 시뮬레이션을  
이용한 전차 취약성 분석

Vulnerability Analysis for Armored Fighting Vehicle  
using SES/MB Framework and DEVS Simulation



2015년 8월

한국해양대학교 대학원

컴퓨터공학과

김 헌 기

본 논문을 김현기의 공학석사 학위논문으로 인준함.



위원장 류길수 (인)

위원 박휴찬 (인)

위원 이장세 (인)

2015년 6월 29일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Tables .....	iii
List of Figures .....	iv
Abstract .....	vi
제 1 장 서론 .....	1
제 2 장 관련 연구 .....	3
2.1 전투 시스템의 취약성 분석 .....	3
2.2 SES/MB 프레임워크 .....	6
2.2.1 SES/MB .....	6
2.2.2 DEVS .....	9
제 3 장 SES/MB를 이용한 전차 시스템 모델링 .....	11
3.1 전차 시스템의 구조 모델링 .....	12
3.1.1 SES 및 PES .....	12
3.1.2 시뮬레이션 구조 .....	17
3.2 전차 시스템의 부품 모델링 .....	31
3.2.1 부품 및 위협탄 모델링 .....	31
3.2.2 모델 상태도 .....	34
3.3 관통 해석 및 전차 부품 중요도 .....	38
3.3.1 부품 및 장갑 관통 해석 .....	38
3.3.2 전차 부품의 중요도 .....	39

제 4 장 시뮬레이션 및 취약성 분석 .....	47
4.1 시뮬레이션 .....	47
4.2 취약성 분석 .....	51
제 5 장 결 론 .....	61
감사의 글 .....	62
참고문헌 .....	63



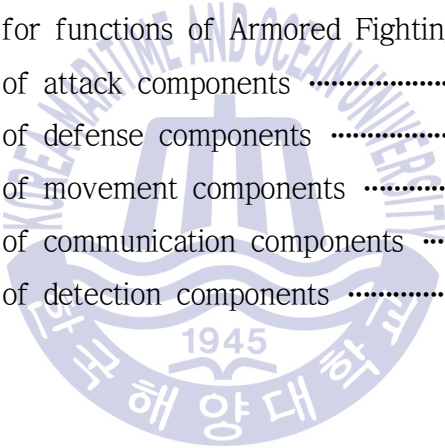
## List of Tables

Table 3.1	Attribute of normal component .....	31
Table 3.2	Attribute of critical component .....	32
Table 3.3	Attribute of armor .....	33
Table 3.4	Attribute of projectile .....	33
Table 3.5	Importance of attack components .....	43
Table 3.6	Importance of defense components .....	44
Table 3.7	Importance of movement components .....	45
Table 3.8	Importance of communication components .....	46
Table 3.9	Importance of detection components .....	46
Table 4.1	Set of threat for simulation .....	47
Table 4.2	Attribute of LeftArmor_T .....	48
Table 4.3	Attribute of Intercom .....	49
Table 4.4	Attribute of RightArmor_T .....	49
Table 4.5	Result of simulation .....	50
Table 4.6	Component classification by criteria .....	51
Table 4.7	Importance of attacked components .....	52
Table 4.8	Data of kinetic energy projectiles : Test 1 .....	54
Table 4.9	Penetration check and damage of components : Test 1 .....	55
Table 4.10	Vulnerability of components and kill-type : Test 1 .....	56
Table 4.11	Vulnerability analysis result : Test 1 .....	57
Table 4.12	Data of chemical energy projectiles : Test 2 .....	58
Table 4.13	Penetration check and damage of components : Test 2 .....	58
Table 4.14	Vulnerability of components and kill-type : Test 2 .....	59
Table 4.15	Vulnerability analysis result : Test 2 .....	60

## List of Figures

Fig. 2.1 Example of SES .....	7
Fig. 2.2 Example of PES .....	8
Fig. 2.3 Example of model base and simulation structure .....	9
Fig. 3.1 Diagram for simulation structure modeling .....	11
Fig. 3.2 SES of Vulnerability Analysis System .....	13
Fig. 3.3 PES of Vulnerability Analysis System .....	15
Fig. 3.4 Design of Armored Fighting Vehicle .....	16
Fig. 3.5 Simulation structure of Vulnerability Analysis System .....	19
Fig. 3.6 Port relation of overall structure .....	20
Fig. 3.7 I/O port of Periscope .....	20
Fig. 3.8 I/O port of Cannon .....	21
Fig. 3.9 I/O port of Fire Control System .....	21
Fig. 3.10 I/O port of Sight .....	22
Fig. 3.11 I/O port of Hatch .....	22
Fig. 3.12 I/O port of Smoke Bomb Discharger .....	23
Fig. 3.13 I/O port of Body Armor .....	24
Fig. 3.14 I/O port of Turret Armor .....	25
Fig. 3.15 I/O port of Wheel .....	26
Fig. 3.16 I/O port of Return Roller (L) .....	27
Fig. 3.17 I/O port of Return Roller (R) .....	27
Fig. 3.18 I/O port of Road Wheel (L) .....	28
Fig. 3.19 I/O port of Road Wheel (R) .....	28
Fig. 3.20 I/O port of Projectile .....	29
Fig. 3.21 I/O port of Communication Device .....	29
Fig. 3.22 I/O port of Fuel Tank .....	30

Fig. 3.23 I/O port of Power Train .....	30
Fig. 3.24 State diagram of Generator model .....	34
Fig. 3.25 State diagram of Transducer model .....	35
Fig. 3.26 State diagram of LeftArmor_T model .....	35
Fig. 3.27 State diagram of Cannon model .....	36
Fig. 3.28 State diagram of Projectile 1 model .....	37
Fig. 3.29 Weight tree for functions of Armored Fighting Vehicle .....	40
Fig. 3.30 Weight tree of attack components .....	40
Fig. 3.31 Weight tree of defense components .....	41
Fig. 3.32 Weight tree of movement components .....	42
Fig. 3.33 Weight tree of communication components .....	42
Fig. 3.34 Weight tree of detection components .....	43





# Vulnerability Analysis for Armored Fighting Vehicle using SES/MB Framework and DEVS Simulation

Kim, Hun Ki

Department of Computer Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

## Abstract

To improve the survivability of an armored fighting vehicle, vulnerabilities should be analyzed and improved. To analyze the vulnerabilities, shooting real missiles to an armored fighting vehicle is required, but it is impossible due to high cost and riskiness. In order to overcome such constraints, this thesis proposes the modeling and simulation methods. This thesis uses SES/MB framework for modeling armored fighting vehicles consisting of various components. Additionally, the thesis proposes the method to simulate the vulnerability of the armored fighting vehicle by adopting DEVS formalism. This thesis identifies whether components of the armored fighting vehicle are penetrated or not by penetration formula according to component types. Also, It analyzes the vulnerabilities with component state changing which considers the relation of position by criteria of side hit. After that, vulnerability of the armored fighting vehicle are analyzed based on importance of damaged components.

**KEY WORDS:** Armored Fighting Vehicle 전차; Vulnerability 취약성; M&S 모델링 및 시뮬레이션; SES/MB; DEVS; Combat system 전투시스템; Importance 중요도;



## 제 1 장 서 론

전투 시스템은 국방과 관련된 임무를 수행하는 화력, 병력, 전략, 시설 등을 의미하며, 실제 전투에 투입되는 공격 수단은 전차, 전투기, 군함 등이 대표적이다[1]. 전투 환경에서 전투 시스템은 외부 위협에 노출될 수 있고, 총탄 및 포탄 등의 위협탄에 의해 피격이 되면 임무에 필요한 기능을 상실할 수 있다. 이러한 피해 가능성은 전투 시스템의 취약성이 되고, 취약성은 곧 전투 생존성의 저하로 이어진다. 따라서 전투 시스템이 위협에 노출되어 피격되었다고 가정했을 때, 피해를 최소화하기 위해 취약성을 분석하여 이를 개선하고 보강하는 과정이 반드시 필요하다[2].

전투 시스템의 취약성을 평가하는 방법으로 실제 전투 상황과 같은 모의환경을 조성하여 총탄, 포탄 등의 위협을 직접 가하는 실험 방법이 있다[3]. 이 방법은 실험 결과에 대한 신뢰도가 높고, 취약성을 평가하기에 가장 좋은 방법이지만 여러 가지 제약이 따른다. 실제 전차 및 위협탄으로 실험하기 때문에 매우 많은 비용이 들고, 준비 과정 및 실험에 소요되는 시간이 상당히 길다. 또한 사람이 직접 실험을 수행하는 것이므로 안전과 관련된 문제가 따르게 된다. 이와 같은 문제점을 극복하고 보다 효율적인 실험을 수행하기 위한 방법으로, 국방 분야에서는 모델링 및 시뮬레이션(M&S, Modeling and Simulation) 기법을 도입하여 수학적인 모델을 적용하거나 시뮬레이션 프로그램을 개발하여 전투 시스템의 취약성을 분석하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 예로, 독일의 CONDAT사에서는 3차원 모델을 기반으로 한 전투 차량 및 구조물의 취약성 분석하는 시뮬레이션 프로그램인 GSS(Gesamt Schutz Simulation)를 개발하였으며[4], 미국의 Alion Science and Technology사에서는 함정 취약성 해석 프로그램인 MOTISS(Measure Of Total Integrated System Survivability)를 개발하였다[5].

본 논문에서는 전투 시스템 중 대표적인 지상 공격 수단인 전차를 선정하여, 모델링 및 시뮬레이션 기법을 적용한 전차의 취약성 분석 방법에 관한 내용을 다룬다. Zeigler가 제안한 SES/MB(System Entity Structure/Model Base) 프레임워

크는 복잡한 시스템의 구조를 체계적으로 표현할 수 있으며, 다양한 부품으로 구성된 전차를 모델링 및 시뮬레이션하기에 용이하다. 따라서 SES/MB 프레임워크를 이용하여 전차의 부품을 모델링하고, 시스템의 동적인 변화를 기술하는 DEVS(Discrete Event System Specification) 형식론을 전차 모델에 적용한 취약성 분석 방법을 제안한다. 전차의 취약성은 전차가 위협탄에 의해 피격되었을 때, 장갑 및 부품이 파손되거나 관통된 것을 기준으로 분석할 수 있으며 관통 여부는 관통 해석식을 통해 위협탄의 관통 성능과 장갑 및 부품의 방호 성능을 비교한 결과에 따라 결정된다. 방호 성능은 일반 부품, 치명 부품, 장갑으로 분류한 전차의 부품 종류 및 정의한 속성에 따라 결정되고, 모든 부품은 중요도를 산정하기 위한 가중치를 가진다. 전차의 취약성을 분석하기 위해 제작한 시뮬레이션 프로그램에서는 위협탄에 의해 관통된 부품 및 피해를 입은 부품의 중요도를 기반으로 하여 전체 취약성을 분석하고, 개별 부품이 전차에서 담당하는 기능을 정의하여 기능별 피해 기준에 따라 취약성을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 전투 시스템의 취약성 분석 연구와 구조적 지식 기법인 SES/MB 프레임워크 및 DEVS 형식론에 대해 설명한다. 3장에서는 제안하는 시뮬레이션의 구조를 설계하고 전차의 부품, 장갑, 위협탄을 모델링한 후, 위협탄의 부품 관통에 대한 해석 방법을 나열한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 전차의 취약성을 분석하고, 5장에서 결론 및 향후연구로 끝을 맺는다.

## 제 2 장 관련 연구

### 2.1 전투 시스템의 취약성 분석

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 둘째로 박격포, 기관총, 개인 화기, 보급품 등을 지원하기 위한 수송 수단들이 있으며 셋째로 그 이외 전투에 운용하는 군수 물자, 시설물, 전략, 전술용 장비 및 체계 등이 있다. 전투 환경에서 생존성은 ‘전투 시스템이 적으로부터 위협을 회피하거나 견뎌내어, 임무가 가능한 상태를 유지하거나 성공적으로 수행해낼 수 있는 능력’으로 정의된다[1]. 전차가 위협탄에 의해 피격되어 중요 부품이 파손되거나 승무원이 사상하게 되면 무력화되거나 임무 수행에 치명적일 수 있다. ‘중요 부품’이란 전차가 임무를 수행하는데 필요한 공격, 이동 등과 같은 기능을 수행하는 핵심 부품을 의미한다. 예를 들어, 전차의 가장 강력한 공격 수단인 주포가 파손된다면 기관총이나 기본 화기 등으로 밖에 대전할 수가 없기에 임무 수행 능력이 현저히 떨어지게 된다. 또한 무한궤도를 움직이게 하는 여러 부품 중 기동륜이 파손될 경우, 엔진에서 발생한 동력을 무한궤도가 전달받지 못하게 되어 이동할 수 없게 된다.

전투 생존성은 다음과 같은 세 가지 요소로 평가할 수 있다. (1) 피격성(susceptibility) (2) 취약성(vulnerability) (3) 회복성(recoverability). 피격성은 총탄, 포탄 등의 위협탄으로부터 공격 받아 전투 시스템이 피격될 확률이고, 취약성은 적군의 피격으로부터 아군이 입는 피해 또는 파괴될 확률을 나타내는 것이며, 회복성은 피해를 견딜 수 있는 능력과 피격을 당한 후 상태를 회복하는 정도를 의미한다[6]. 특히 취약성은 위협으로부터 입는 피해의 정도를 나타내는 것으로, 사전 분석을 통해 약점을 보완하는 노력이 필요하다.

전투 생존성을 향상시키기 위해 전투 시스템의 취약성 분석을 목적으로 한

기반 기술을 마련할 필요성이 대두되고 있으며, 이와 관련하여 전투 시스템의 생존성 분석을 위해 3차원 관통 해석 프로그램을 개발한 선행 연구가 있다 [7,8]. Open CASCADE 그래픽 라이브러리를 이용하여 전차를 3차원으로 모델링 하고, 전투시스템 취약성 분석 프로그램인 GSS에서 사용되는 관통 해석식을 적용하여 대전차 포탄의 관통 여부를 판단하였다. 이 프로그램에서는 균질압연장 갑을 기준으로 환산한 방호 성능 데이터를 사용하여, 기존의 연구 대비 신뢰도를 높이고 포탄의 관통 성능을 다양하게 설정하여 실험하였다. 또, [9,10]의 연구에서는 연료탱크 및 적재포탄과 같은 화재 잠재력을 가진 부품을 대상으로, 순간 화재의 발생 여부를 예측하는 프로그램을 개발하였다. 위협탄으로 운동 에너지탄과 성형작약탄을 선정하여 서로 다른 관통 성능을 가진 것으로 설정하였으며 연료의 종류는 휘발유, 경유, 등유로 설정하였다. 포탄의 최대 관통 성능과 장갑의 임계 두께를 비교하고, 연료의 발화점 및 인화점에 따라 화재 발생 여부를 판단하였다. 또한, 함정의 전투 환경에서 위협, 함정의 구성품, 위협에 따른 구성품의 취약확률을 정의하여 구성품의 위치와 면적에 따른 취약 확률로 취약성을 평가하는 방법을 제시한 사례가 있다. [11]에서 제안한 방법은 취약 면적을 기반으로 하여 함정의 단순 모델을 이용하여 이동과 관련된 부품의 취약성을 계산법을 적용하여 취약성을 분석하는 연구를 수행하였다.

전투 시스템의 성능이 높아짐에 따라 구입비용 및 유지비용이 매우 비싸기 때문에 설계 단계에서부터 생존성에 대한 해석이 고려되어야한다. 전투 시스템이 개발되기 시작하면 개발 중간에 추가 기능을 탑재하거나 설계를 일부 수정하는 것이 매우 어렵다. 특히, 생존성을 평가하는 요소 중 취약성은 전투 시스템의 개발 초기 단계에서 최우선적으로 고려해야한다. 이와 같은 사항을 반영하여 전투 시스템 중 함정을 대상으로, 함정의 설계 단계에서 취약성을 해석하는 방법을 제시한 연구가 있으며[12], 여러 척도를 적용하여 전투기의 취약도를 Fuzzy 이론을 통해 정성적으로 분석하는 기법에 관한 연구도 진행되었다[13]. 또한 [14]와 같은 연구에서는 위협탄의 공격 원리, 구조 등의 특성을 반영하여 전투 시스템 관통 메커니즘의 물리적 특성을 적용한 취약성 분석 방법을 제시하였다.

## 1) 관통 해석식

GSS에서는 전투 시스템의 취약성을 계산하기 위해 위협 및 방호 성능 데이터를 입력으로 받고, 식 (2.1)~식 (2.3)을 사용하여 위협탄의 관통 여부를 계산한다 [4]. 위협탄의 성능과 장갑의 방호 성능은 RHA(Rolled Homogeneous Armor) 환산치를 기준으로 한다. 식 (2.1)을  $P_{res}$ 를 기준으로 치환하면 식 (2.2)가 되고, 장갑의 효율을 '1' 이라고 가정했을 때 식 (2.3)이 도출된다. 도출된 식 (2.3)은 잔류 관통 성능을 구하기 위한 식이며, 위협탄의 관통 성능이 장갑의 방호 성능보다 크면 관통한 것이고, 위협탄의 관통 성능이 장갑의 방호 성능보다 작으면 관통하지 않은 것으로 판단한다. 즉,  $P_0$ 가 '0' 보다 크면 관통된 것이고, '0' 보다 작으면 관통하지 않은 것을 의미한다.

$$E_m = \frac{P_0 - P_{res}}{Steq} \quad (2.1)$$

$$P_{res} = P_0 - E_m \times Steq \quad (2.2)$$

$$P_{res} = P_0 - Steq (E_m = 1) \quad (2.3)$$

여기서,  $E_m$  : 장갑 효율(질량 효율)

$P_0$  : 기준 물질 대비(RHA, Steel) 위협탄의 장갑 관통 성능

$Steq$  : 기준 물질 대비(RHA, Steel) 장갑의 방호 성능

$P_{res}$  : 잔류 관통 성능

## 2) 중요도 산정 기법

중요도란 시스템을 이루는 요소 중 하나가 전체 시스템에서 차지하는 비중을 뜻하며[15], 전차의 취약성 분석에서는 특정한 부품의 손상이 전차 전체에서 미치는 정도를 나타낸다. 식 (2.4)는 중요도를 산정하는 식으로, 이를 적용하여 취약성을 분석하는 연구가 선행되었다. [16,17]의 연구에서는 일반적인 전차의 특



성을 고려하여 부품을 선정하였고, 전차의 부품을 기능에 따라 ‘공격’ 부품, ‘방어’ 부품, ‘이동’ 부품, ‘관측’ 부품, ‘통신’ 부품으로 대분류를 정의하였다. 동일한 계층에 있는 기능의 가중치 합은 ‘1’ 이 되며, 각 기능은 전차 전체에서 차지하는 중요도에 따라 가중치를 가진다. 대분류 아래에 있는 개별 부품 또한 동일한 계층에서의 가중치 합은 ‘1’ 이 되며, 부품들은 각자의 가중치를 가진다. 예를 들어, ‘공격’ 부품의 가중치가 ‘0.3’ 이고, ‘공격’ 부품에 속하는 ‘주포’ 의 가중치가 ‘0.7’ 이라면, 전차 전체에서 ‘주포’ 가 차지하는 중요도는 ‘0.3 × 0.7 = 0.21’ 이 된다. 전차의 주포가 완전히 파손되었을 경우, 전차는 ‘0.21’ 만큼 취약한 상태라고 판단할 수 있다. 또한, 전차의 전체 생존성인 ‘1’ 에서 취약성 ‘0.21’ 을 뺀 값인 ‘0.79’ 는 ‘주포’ 가 파손된 이후의 전차 생존성이 되며, ‘79%’ 의 생존성이 남아있다고 판단할 수 있다.

$$IC = \prod_{i=0}^n WC_i \quad (2.4)$$

여기서,  $IC$  : 부품의 중요도

$WC$  : 부품의 가중치

$i$  : 부품의 계층

## 2.2 SES/MB 프레임워크

### 2.2.1 SES/MB

SES/MB 프레임워크는 시스템의 분할(decomposition), 분류(component taxonomies), 결합(coupling specification) 관계에 대한 각종 지식이 포함된 구조적 지식 표현 기법으로, 계층적 관계가 포함된 시스템에서 설계를 용이하게 하는 장점이 있으며 SES와 MB로 구성되어 시뮬레이션 모델을 이룬다[18,19].

SES는 모델간의 관계를 표현하기 위해 Fig. 2.1과 같은 트리 형태로 표현되며



Entity, Aspect, Specialization 노드를 가진다. Entity 노드는 독립적으로 식별될 수 있는 모델 또는 시스템의 구성원 모델을 의미한다. Entity 노드는 트리의 하위 노드와 연결되기 위해 세 가지 모드 중 하나를 선택해야한다. 하위 노드가 상위 Entity 노드의 구성원일 경우 Aspect 또는 Decomposition 노드로 부르고, 하위 노드가 어떤 구성원들로 이루어졌는지 나타내는 분할적 표현을 담당하며 한 줄의 수직선(|)으로 표현한다. 상위 Entity 노드의 분류 및 종류를 나타내는 노드는 Specialization 노드로 부르고 선택적 상황일 때 어떤 것을 선택할지에 대한 대안을 나타내며, 두 줄의 수직선(=)으로 표현한다. 그리고 중복의 수가 가능하거나 다수의 선택을 할 수 있는 구조일 때는 Multiple Entity라고 부르며 세 줄의 수직선(≡)으로 표현하고, 최대로 선택할 수 있는 경우의 수를 수직선과 함께 표시한다. SES는 이와 같은 관계 표현을 통해 시스템의 전체 구조를 표현할 수 있다. SES는 다음과 같은 규칙을 따른다. SES는 Entity로 시작해서 Entity로 끝나야하며, 동일한 이름의 Entity가 연속적인 계층 구조상에 존재할 수 없다. 또한, Entity의 특성을 표현하는 Attribute 변수는 타입 간 유일한 값을 가져야한다.

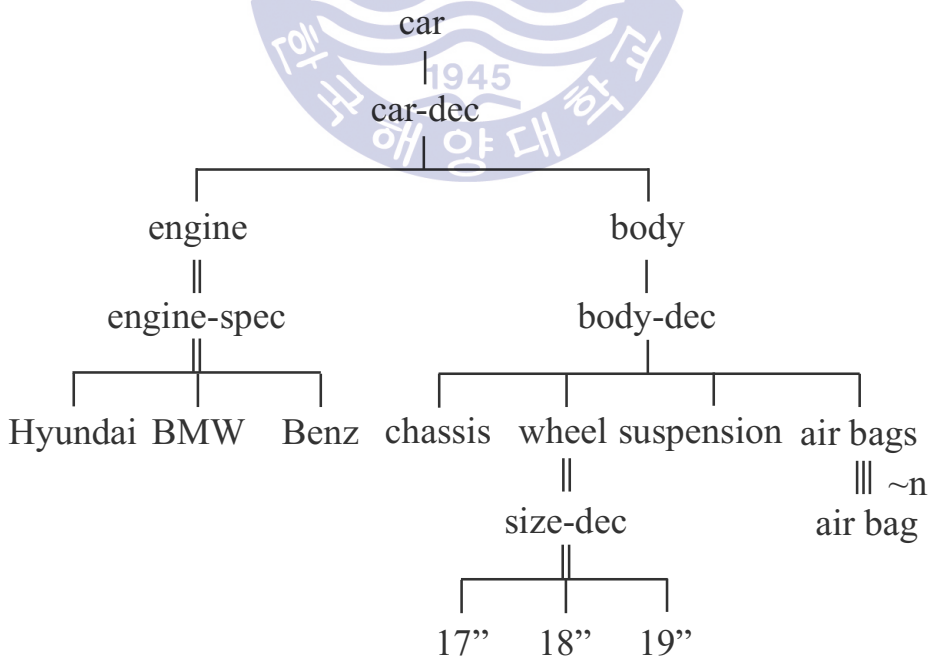


Fig. 2.1 Example of SES

SES로 나타낸 전체 시스템에서 모든 가능한 구조 중 한 가지의 대상 구조를 선택한 것을 PES(Pruned Entity Structure)라고 부르며, 이것은 SES에서 가지치기(pruning) 과정을 통해 생성할 수 있는 구조이다. Fig. 2.1의 SES에서 도출한 PES의 예는 Fig. 2.2와 같다. 가지치기 과정은 SES의 Specialization 및 Multiple Entity에서 각각 단 하나의 Entity만 남겨두고 나머지는 모두 제거하는 방법으로, PES는 오직 Aspect(혹은 Decomposition) 노드로만 이루어진 구조가 된다.

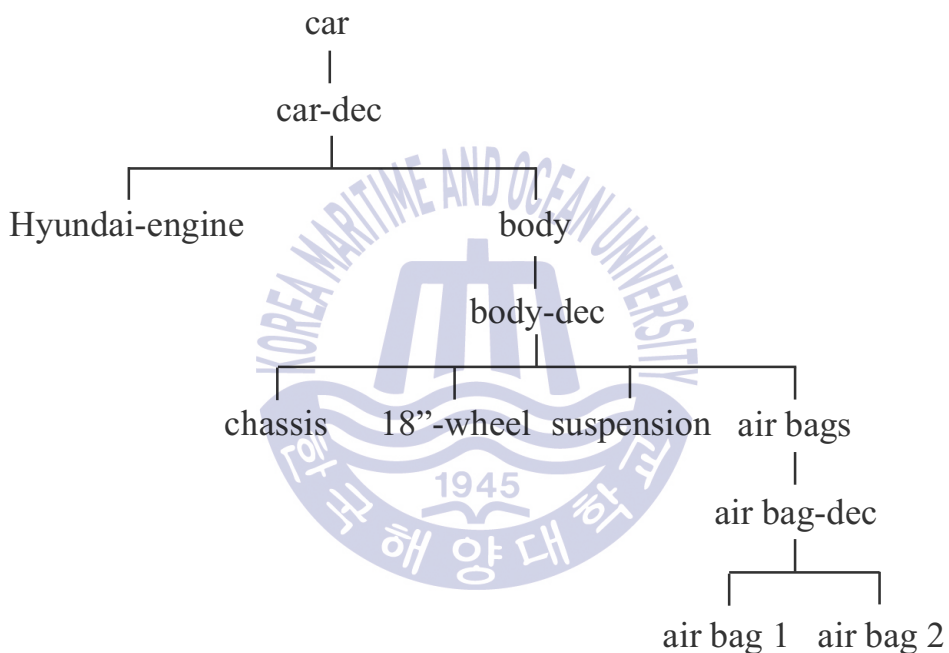
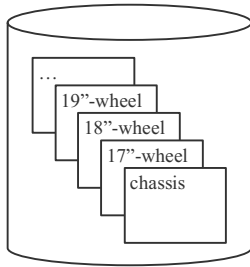


Fig. 2.2 Example of PES

MB는 시스템의 행위적 특성을 나타내는 것으로 절차적 성격을 가지며, 동역학적이고 상징적으로 행위를 표현할 수 있는 수단을 제공하는 모델들로 구성된다. MB의 모델은 SES의 모든 Leaf Entity이며, 모델들이 모여서 하나의 시스템을 구성하게 된다. MB에 있는 각 모델은 결합 관계에 따라 다른 모델과 커플링(coupling)되어 시뮬레이션에 필요한 모델 구조를 이룬다. Fig. 2.3은 Fig. 2.2의 PES에 대한 모델 베이스와 모델 구조의 예이다.

Model Base



Simulation Structure

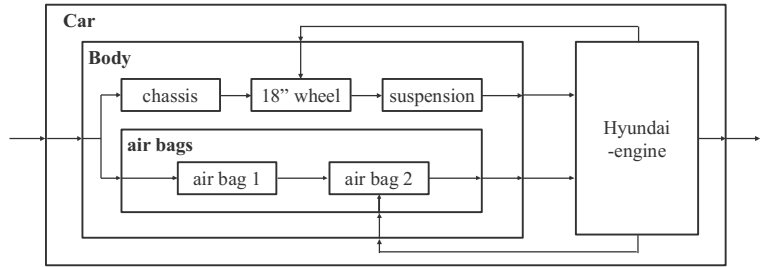


Fig. 2.3 Example of model base and simulation structure

### 2.2.2 DEVS

SES/MB 프레임워크에서 각 모델들을 DEVS 모델로 표현하여, 입력에 따른 모델의 상태 변화를 나타낼 수 있다. DEVS는 연속적인 시간상에서 이산적으로 발생하는 사건들에 대하여 시스템의 동적인 변화를 기술한 형식론으로, 이산 사건 시스템을 계층적으로 모델링하는 틀을 제공한다. 구조화된 모델링이 가능한 DEVS는 수학적으로 크게 원소 모델(atomic model)과 연결 모델(coupled model)로 구성된다.

원소 모델은 시간의 진행 및 입력 사건에 따라 상태가 천이되며, 식 (2.5)와 같이 세 개의 집합과 네 개의 함수로 표현된다[18]. 외부 상태 천이함수  $\delta_{ext}$ 는 외부로부터 입력  $X$ 를 받았을 때 상태를 변화시키며, 내부 상태 천이함수  $\delta_{int}$ 는 현재 상태에 따른 행동을 하며, 시간 진행 함수  $ta$ 에서 설정한 시간이 경과한 후 내부 상태를 천이한다.

$$M = \langle X, Y, S, \delta_{\text{ext}}, \delta_{\text{int}}, \lambda, \text{ta} \rangle \quad (2.5)$$

여기서,  $X$  : 입력 포트 및 사건 집합

$Y$  : 출력 포트 및 사건 집합

$S$  : 상태 집합

$\delta_{\text{ext}}$  : 외부 상태 천이함수 ( $Q \times X \rightarrow S$ )

$\delta_{\text{int}}$  : 내부 상태 천이함수 ( $S \rightarrow S$ )

$\lambda$  : 출력 함수 ( $S \rightarrow Y$ )

$\text{ta}$  : 시간 진행 함수 ( $S \rightarrow R^+_{0,\infty}$ )

(단,  $R^+_{0,\infty}$ 는 음수를 제외한 실수 집합)

$Q = \{(s,e) \mid s \in S, \text{ and } 0 \leq e \leq \text{ta}(s)\}$

(시간이 포함된  $M$ 의 상태)

연결 모델은 여러 구성 모델을 연결하여 더 큰 시스템을 표현하기 위한 모델이며, 내부에 위치한 모델은 원소 모델 또는 결합 모델이 된다. 식 (2.6)은 연결 모델을 표현한 것으로, 원소 모델의  $X, Y$ 를 포함한 세 개의 집합, 세 개의 관계, 한 개의 함수로 표현된다.

$$CM = \langle X, Y, D, \{M_d \mid d \in D\}, \text{EIC}, \text{EOC}, \text{IC}, \text{Select} \rangle \quad (2.6)$$

여기서,  $X$  : 입력 포트 및 사건 집합

$Y$  : 출력 포트 및 사건 집합

$D$  : 구성 모델의 이름 집합

$M_d$  : 구성 모델 집합

$\text{EIC}$  : 외부 입력 관계(External Input Coupling)

$\text{EOC}$  : 외부 출력 관계(External Output Coupling)

$\text{IC}$  : 내부 연결 관계(Internal Coupling)

$\text{Select}$  : 동률 해결 함수 ( $2^D - \{\} \rightarrow D$ )

### 제 3 장 SES/MB를 이용한 전차 시스템 모델링

Fig. 3.1은 전차 시스템의 구조를 모델링하는 과정을 나타낸 그림이다. 전차의 구조를 SES로 나타내고 가지치기 과정으로 시뮬레이션에 필요한 구조인 PES를 도출한다. MB는 SES에서 Leaf Entity들의 집합이며 입력 및 출력, 상태를 가진다. CAD로 제작한 전차의 좌표 정보를 MB의 각 모델에 부여하고, 좌표를 기반으로 한 전차의 모델들은 커플링 관계로 결합된다. 이와 같은 구조로 ‘Vulnerability Analysis System’을 구성하였으며, ‘Vulnerability Analysis System’은 ‘Generator’ 모델, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델, ‘Transducer’ 모델로 이루어진다.

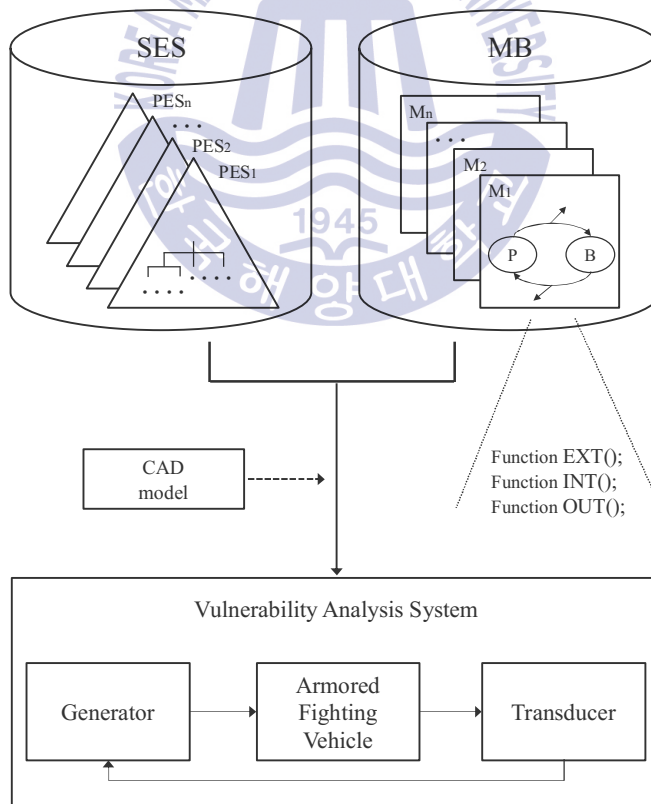


Fig. 3.1 Diagram for simulation structure modeling

### 3.1 전차 시스템의 구조 모델링

#### 3.1.1 SES 및 PES

전차에는 수많은 부품 및 장비가 탑재되어 있으며, 임무 수행에 필요한 기능을 기준으로 부품군을 정의할 수 있다. 즉, 전차를 큰 시스템으로 보고 하나의 구조로 표현할 수 있으며, SES/MB 프레임워크 기법을 적용하기에 적합하다[20]. 전차 모델과 시뮬레이션에 필요한 구조인 ‘Vulnerability Analysis System’을 Fig. 3.2와 같이 SES로 나타내었다. ‘Vulnerability Analysis System’의 SES는 세 개의 큰 모델로 구성된다.

‘Armored Fighting Vehicle’ 모델은 전차가 어떤 부품군 및 부품으로 구성되어 있는지를 나타내며 ‘Periscope’, ‘Cannon’, ‘Fire Control System’, ‘Sights’, ‘Hatches’, ‘Smoke Bomb Dischargers’, ‘Armors’, ‘Wheels’, ‘Projectiles’, ‘Communication Devices’, ‘Fuel Tanks’, ‘Power Train’이 있다. ‘Armors’는 종류에 따라 ‘Turret’과 ‘Body’를 Specialization 노드로 분류하였으며, ‘Turret’과 ‘Body’는 각각 위치적 구분에 따라 ‘Front’, ‘Side’, ‘Rear’를 Decomposition 노드로 가진다. ‘Side’ 또한 위치적 구분에 따라 ‘Left Side’와 ‘Right Side’를 Decomposition 노드로 가진다. ‘Communication Devices’는 ‘Intercom’과 ‘Antennas’를 Decomposition 노드로 가지며, ‘Power Train’은 Decomposition 노드로 ‘Engine’과 ‘Transmission’을 가진다. ‘Sights’, ‘Projectiles’, ‘Smoke Bomb Dischargers’, ‘Hatches’, ‘Antennas’, ‘Fuel Tanks’는 다수를 선택할 수 있는 부품이므로 Multiple Entity로 구성하였다. ‘Wheel’은 크게 전차의 좌, 우측의 부품으로 구분하기 위해 Multiple Entity로 구성하였으며 ‘Caterpillar’, ‘Idler Wheel’, ‘Sprocket Wheel’, ‘Return Rollers’, ‘Road Wheels’를 Decomposition 노드로 가진다. ‘Return Rollers’와 ‘Road Wheels’는 다수의 부품으로 구성되어있기 때문에 Multiple Entity로 나타내었다. 또한, ‘Generator’ 모델은 위협탄을 생성하여 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 보내는 기능을 하며 ‘Transducer’ 모델은

‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 발생한 시뮬레이션 결과를 수집하고 분석하는 기능을 한다.

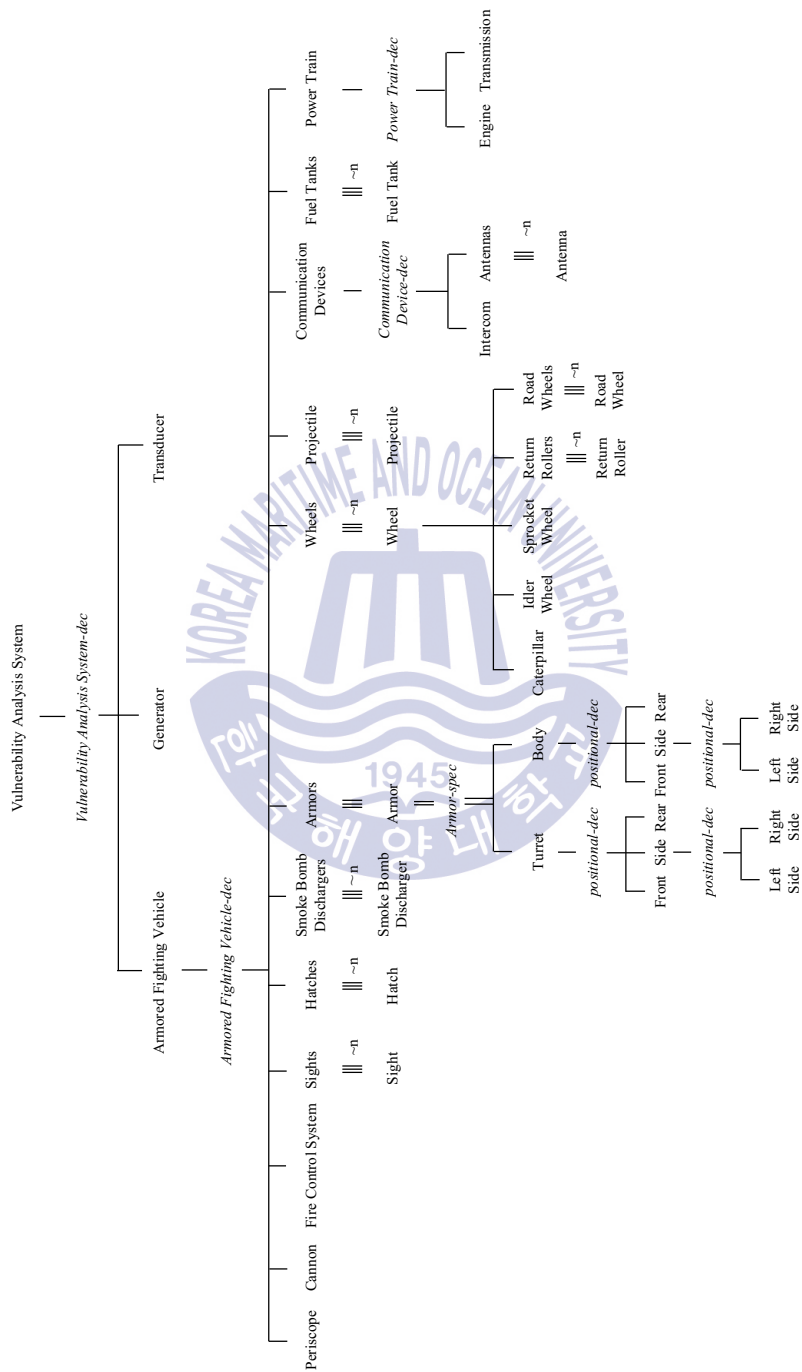


Fig. 3.2 SES of Vulnerability Analysis System

‘Vulnerability Analysis System’의 SES에서 가지치기 과정을 거쳐 도출한 PES를 Fig. 3.3에 나타내었다. SES에서 Multiple Entity로 만든 노드들은 시뮬레이션에 필요한 최종적인 전차 모델을 만들기 위해 필요에 따라 개수를 지정하였다. ‘Fuel Tank’는 전차의 내부에 두 개 있는 것으로 선택하였고, ‘Smoke Bomb Discharger’는 ‘Cannon’의 양 옆으로 하나씩 배치되어 있는 것으로 두 개를 선택하였다. 또한, ‘Projectile’은 전차 내부에 탄약을 보관하는 탄약고가 세 개 있는 것으로 선택하였으며, ‘Hatch’는 전차 외부에 세 개가 있는 것으로 선택하였다. ‘Communication Device’의 ‘Antenna’는 전차의 포탑에 좌, 우 대칭으로 두 개가 있는 것으로 선택하였다. ‘Wheel’부품군은 크게 전차의 좌, 우측에 대칭하고 있기 때문에 위치적 관계를 고려하여 두 개로 선택하였다. ‘Caterpillar’는 궤도의 멍치를 하나로 보고 좌, 우측 각 하나씩 배치된 것으로 선택하였으며, ‘Idler Wheel’ 및 ‘Sprocket Wheel’ 또한 일반적인 전차의 부품 배치를 근거로 하여 좌, 우측 각 하나씩 선택하였다. ‘Return Roller’와 ‘Road Wheel’은 좌측 및 우측에 각각 세 개, 여섯 개씩 배치된 것으로 개수를 선택하였다.







전차 모델을 구성하는 부품의 위치적 관계를 고려하기 위해, PES와 상응하는 전차의 부품 모델을 Fig. 3.4의 설계도로 나타내었다. 전차의 부품들은 일반적으로 알려진 전차의 구조와 유사하게 배치 및 구성하였으며, 각 부품들은 CAD 기반의 좌표를 가지고 있다.

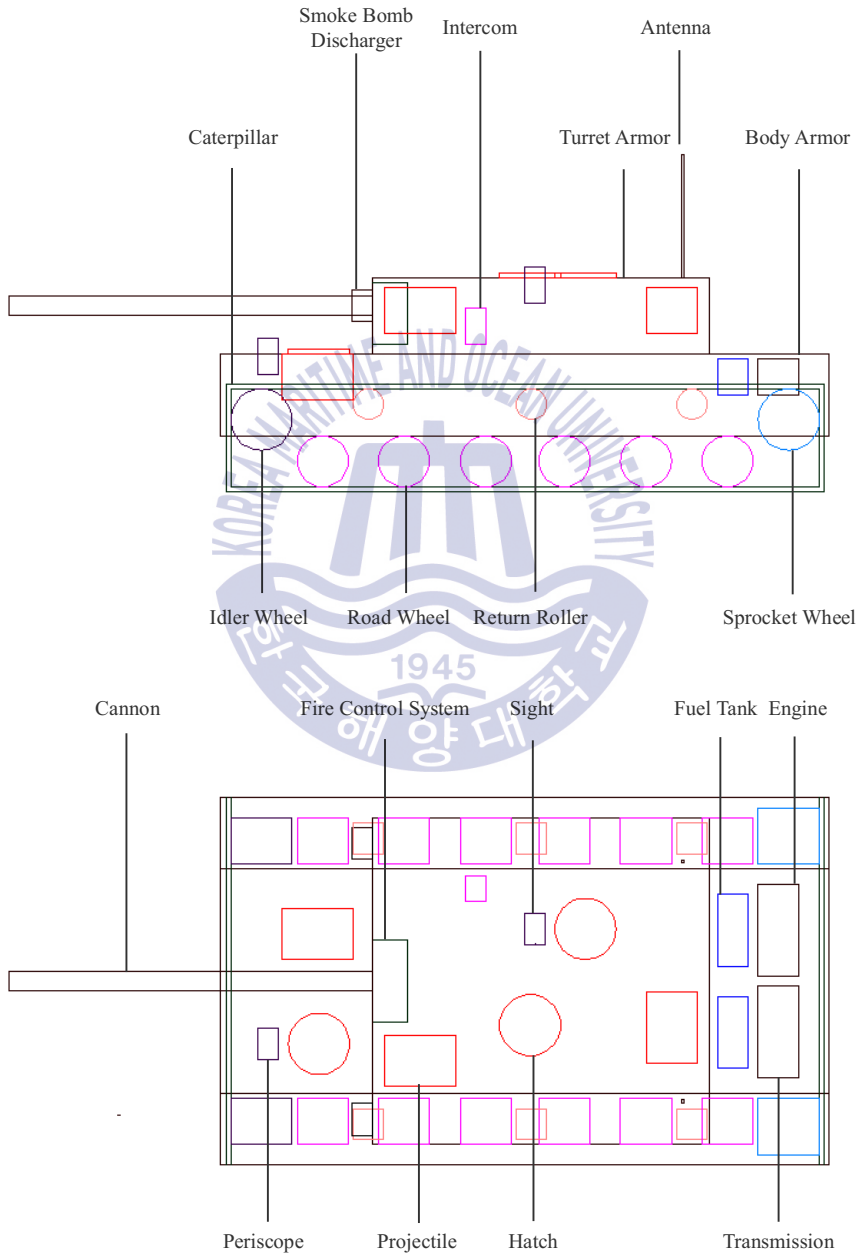


Fig. 3.4 Design of Armored Fighting Vehicle

### 3.1.2 시뮬레이션 구조

3.1.1절에서 SES/MB 프레임워크를 이용하여 전차를 모델링하였고, 전차 시스템의 행위를 측정하기 위해 DEVS 형식론을 적용한다. DEVS 형식론을 적용한 전차의 모델은 다음과 같은 과정으로 상태를 천이한다. 전차의 각 부품은 하나의 모델로서 현재 상태를 가지고 외부의 입력에 따라 상태를 변화시킨 뒤 다음 부품으로 전달한다. 외부 입력인 위협탄은 ‘Generator’ 모델의 출력 함수  $\lambda$ 를 통해 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 보내지고, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델의 부품들은 위협탄을 입력 사건 X로 받게 된다. 부품이 위협탄에 의해 파손되거나 관통이 되면, 외부 상태 천이함수  $\delta_{ext}$ 를 실행하여 상태를 천이하고  $ta$  함수를 통해 다음 출력이 발생할 때까지 시간 간격을 둔다. 설정한 시간이 끝나면 위협탄 및 피격에 의한 피해 정보를 출력 사건 집합 Y로 보내고, 커플링 관계로 결합되어 있는 다음 모델이 입력 사건 집합 X를 통해 위협탄을 전달 받게 된다.

커플링은 서로 영향을 미치거나 관통력이 전달될 수 있는 모든 부품 모델 간 이루어져 있으며, Fig. 3.5의 다이어그램과 같이 하나의 시뮬레이션 구조를 구성한다. 각 부품은 하나의 모델로서 자신의 상태를 가지며, 외부 입력 즉, 위협탄에 의해 변화된 상태 및 정보를 커플링 관계로 결합된 부품으로 전달하며, 각 모델로 입력되는 정보 및 그에 따른 상태 변화와 출력 포트에 내보내는 정보에 관한 내용은 3.2.2절에 다루었다. 모든 모델은 포트를 가지며 모델로 들어가기 위해서는 입력 포트를, 모델로 나가기 위해서는 출력 포트를 거쳐야한다. 시뮬레이션이 시작되면 ‘Generator’ 모델에서 관통 성능 및 종류 등의 속성을 가진 위협탄을 생성하여 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 보내게 된다. 위협탄을 최초로 전달 받을 수 있는 부품은 가장 먼저 피격당할 수 있는 부품이고 즉, 전차의 외부에 노출되어 있는 부품들이다. 전차의 좌측면을 기준으로 했을 때, ‘Periscope’, ‘Cannon’, ‘Sight’, ‘Hatch’, ‘Turret Armor’, ‘Body Armor’, ‘Smoke Bomb Discharger’의 ‘Smoke Bomb Discharger 1’, ‘Communication Device’의 ‘Antenna 1’, ‘Wheel’의 ‘Idler Wheel (L)’, ‘Road Wheel (L)’, ‘Sprocket Wheel (L)’, ‘Caterpillar (L)’ 과 같은

모델이 그에 해당한다.

위협탄에 의해 전차의 부품이 관통되었다면 부품을 관통한 이후의 잔여 관통 성능은 일직선상에 위치하는 다음 부품까지 전달되고, 잔여 관통 성능을 전달 받은 부품은 위협탄이 부품을 관통했는지 여부를 판단한다. 각 부품 모델은 위협탄의 관통 성능이 자신의 방호 성능보다 높으면 관통한 것으로 판단하고, 피해의 정도와 위협탄의 관통 성능에 대한 정보를 수집한다. 이와 같이 위협탄의 관통 성능을 전달하기 위한 과정은 Fig. 3.5의 시뮬레이션 구조에 의해 이루어진다.

예를 들어, ‘Periscope’와 같은 부품은 전차 내에 위치하면서 상단의 일부는 장갑 외부로 노출되어있는 형태이다. 장갑 내에 위치한 좌표를 기준으로, 무한으로 뺄어나가는 위협탄에 의해 피격이 되었다는 예를 들어보면 다음과 같은 순서로 관통 성능이 전달된다. 먼저, ‘Generator’ 모델에서 위협탄을 생성하여 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 보낸다. ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델과 직접적으로 연결되어 있는 모든 부품은 자신의 좌표와 위협탄의 좌표를 비교하여 피격 여부를 확인한다. ‘Periscope’ 부품의 일부가 장갑 내에 위치하고 있고, 그 좌표를 향해 발사하였다고 가정하였기 때문에, 위협탄에 의해 최초로 피격당하는 곳은 ‘Body Armor’ 모델의 ‘Side Armor (B)’ 모델 내에 있는 ‘Left Armor (B)’ 모델이 된다. 이 때, ‘Left Armor (B)’ 모델은 위협탄의 관통 성능과 자신의 방호 성능을 비교하여 관통 여부를 결정하고, 위협탄의 좌표에 상응하는 다음 부품인 ‘Periscope’ 모델이 위협탄을 받게 된다. ‘Periscope’ 모델 또한 관통 여부를 확인한 후, 위협탄의 좌표에 상응하는 다음 모델인 ‘Body Armor’ 모델의 ‘Side Armor (B)’ 모델 내에 있는 ‘Right Armor (B)’ 모델로 위협탄을 보낸다. 이와 같은 과정으로, 위협탄의 좌표와 상응하는 부품 모델을 모두 거치게 되며, 최후의 부품 모델은 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델을 빠져나가서 ‘Transducer’ 모델로 정보를 전달한다. ‘Transducer’ 모델은 위협탄, 관통된 부품, 위협탄이 관통하지 못하고 최종적으로 멈춘 부품 등의 정보를 수집 및 해석하여 취약성을 분석하며, ‘Generator’ 모델로 시뮬레이션이 종료되었음을 알린다.

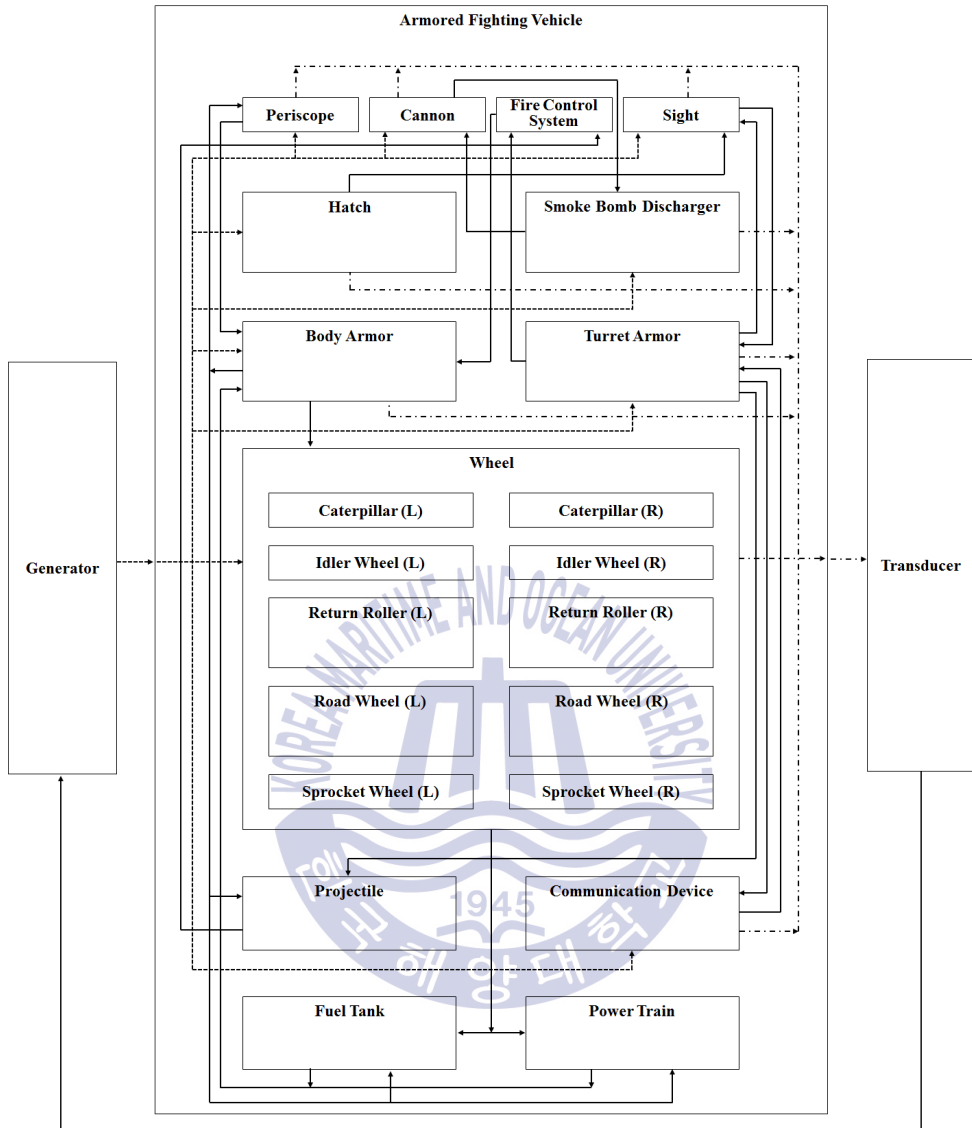


Fig. 3.5 Simulation structure of Vulnerability Analysis System

Fig. 3.6은 Fig 3.5의 시뮬레이션 구조에서 가장 큰 모델인 ‘Generator’, ‘Armored Fighting Vehicle’, ‘Transducer’ 모델의 입력 및 출력 포트와 그 관계를 나타낸 그림이다. ‘Generator’ 모델에서는 출력 포트 ‘gen\_out’을 통해 위협탄을 발사하고, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델은 입력 포트인 ‘AFV\_in’으로 위협탄을 전달 받는다. ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델은 시뮬레이션의 결과를 ‘AFV\_out’ 포트로 내보내고, ‘Transducer’ 모델은 ‘transd\_in’ 포트로 그 결과를 받는다. ‘Transducer’ 모델에서는 ‘transd\_out’ 포트를 이용하여 시뮬레이션 종료 메시지를 ‘Generator’ 모델로 보내고, ‘Generator’ 모델은 ‘gen\_in’ 포트를 통해 그 메시지를 받는다.

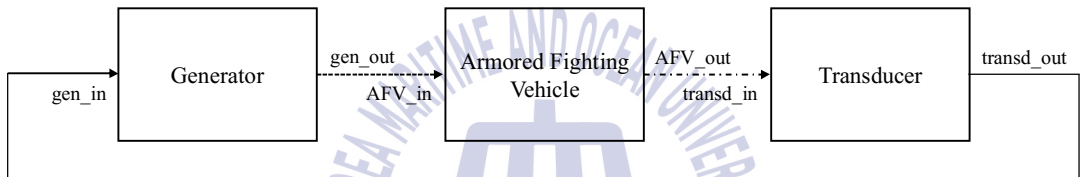


Fig. 3.6 Port relation of overall structure

전차의 부품 모델들은 Fig. 3.7~Fig. 3.23과 같은 포트를 통해 결합되며, 위협탄을 직접 입력 받거나 다른 부품을 거쳐온 위협탄을 입력 받는다. 또한, 위협탄을 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 내보내거나 다른 부품으로 전달한다.

Fig. 3.7은 ‘Periscope’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 위협탄을 바로 입력 받는 경우와 ‘Body Armor’ 모델을 거친 후 입력 받는 경우가 있다. 출력 포트 또한 입력 포트에 따라 두 가지로 구분된다.

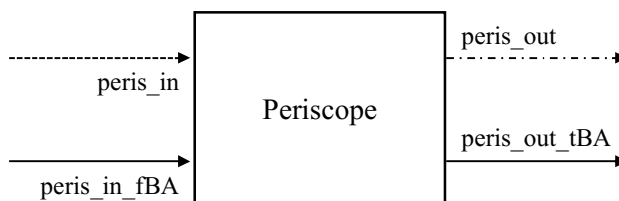


Fig. 3.7 I/O port of Periscope

Fig. 3.8은 ‘Cannon’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 위협탄을 바로 입력 받는 경우와 ‘Fire Control System’ 모델을 거친 후 입력 받는 경우가 있다. 출력 포트는 ‘Cannon’ 모델을 관통한 후 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 빠져나가는 포트와, ‘Smoke Bomb Discharger’ 모델로 들어가는 포트로 구분된다. 그림의 ‘cannon\_out\_tSBD’ 포트는 ‘Smoke Bomb Discharger 1’을 관통한 후, ‘cannon\_in\_fSBD’ 포트를 통해 ‘Cannon’ 모델에 입력된 위협탄이 출력되는 포트이다.

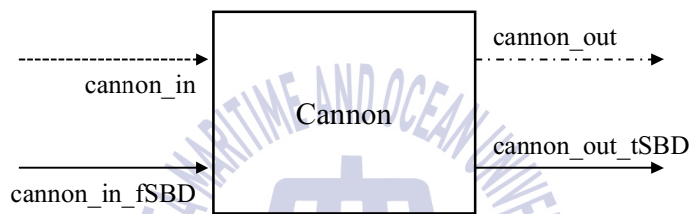


Fig. 3.8 I/O port of Cannon

Fig. 3.9는 ‘Fire Control System’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, 위협탄을 ‘Turret Armor’ 모델로부터 입력 받는 경우와 ‘Projectile’ 모델로부터 입력 받는 경우가 있다. ‘Fire Control System’ 부품은 전차 내부에 있기 때문에 ‘Fire Control System’ 모델의 출력은 ‘Right Armor (T)’의 입력이 되어야한다. 따라서 ‘Turret Armor’ 모델로 향하는 출력 포트를 가진다.

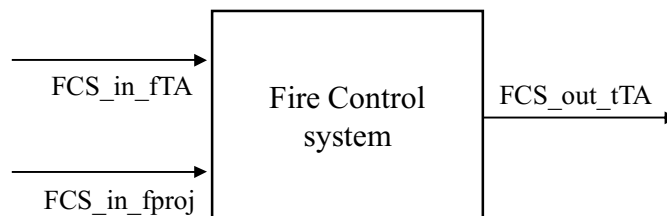


Fig. 3.9 I/O port of Fire Control System

Fig. 3.10은 ‘Sight’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 위협탄을 바로 입력 받거나 ‘Hatch’ 모델을 거친 후 입력 받는 경우, ‘Turret Armor’ 모델을 거쳐서 입력 받는 경우가 있다. 출력 포트는 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델을 빠져나가는 것과 다시 ‘Turret Armor’ 모델로 들어가기 위한 포트가 있다.

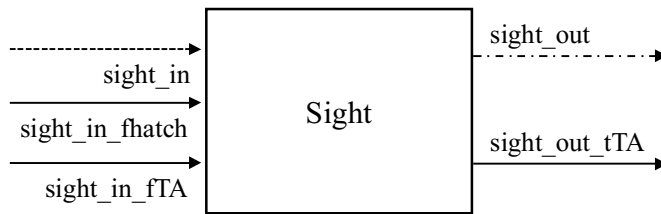


Fig. 3.10 I/O port of Sight

Fig. 3.11은 ‘Hatch’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, 위협탄을 ‘hatch\_in’ 포트에 입력 받아 ‘Hatch 1’ ~ ‘Hatch 3’ 모델로 들어간다. ‘Hatch 1’ 모델과 ‘Hatch 3’ 모델은 하나의 출력 포트를 가지고, ‘Hatch 2’ 모델은 두 개의 출력 포트를 가진다. ‘Hatch’ 모델을 빠져나갈 때는 ‘hatch\_out’ 포트와 ‘hatch\_out\_tsight’ 포트에 출력된다.

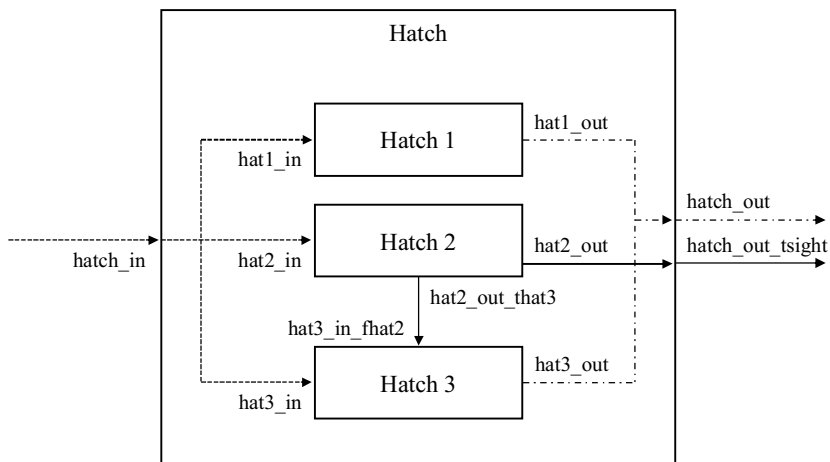


Fig. 3.11 I/O port of Hatch



Fig. 3.12는 ‘Smoke Bomb Discharger’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림으로, 위협탄이 ‘SBD\_in’ 포트에 들어온 후 ‘SBD1\_in’, ‘SBD2\_in’ 포트에 들어간다. ‘Smoke Bomb Discharger 1’ 모델은 ‘Smoke Bomb Discharger’ 모델을 빠져나가기 위한 ‘SBD1\_out’ 포트와 ‘Smoke Bomb Discharger 2’ 모델로 들어가기 위한 ‘SBD1\_out\_tSBD2’ 포트를 가진다. 또한, ‘Smoke Bomb Discharger’ 모델의 출력 포트는 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델로 빠져나가기 위한 ‘SBD\_out’ 포트와 ‘Cannon’ 모델로 들어가기 위한 ‘SBD\_out\_tcannon’ 포트가 있다.

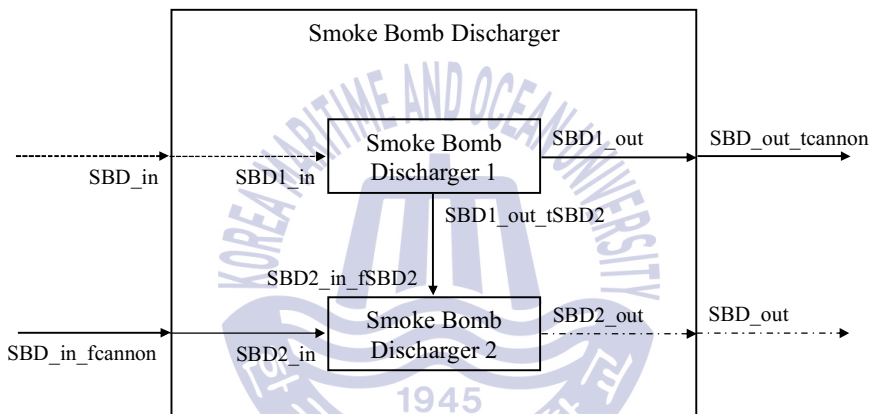


Fig. 3.12 I/O port of Smoke Bomb Discharger

Fig. 3.13은 ‘Body Armor’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. ‘Body Armor’ 모델은 크게 ‘Front Armor (B)’, ‘Rear Armor (B)’, ‘Side Armor (B)’ 모델을 가지고 있으며, ‘Side Armor (B)’ 모델은 내부에 ‘Left Armor (B)’ 모델과 ‘Right Armor (B)’ 모델을 가지고 있다. ‘Body Armor’ 모델은 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 위협탄을 바로 입력 받는 경우와 위협탄이 전차 내에 있는 부품을 관통한 후, 다시 ‘Body Armor’ 모델 내에 있는 ‘Right Armor (B)’ 모델로 들어가기 위해 입력받는 경우가 있다. 후자의 경우 ‘Wheel’, ‘Fuel Tank’, ‘Power Train’, ‘Projectile’ 모델이 그 예이다. ‘Body Armor’ 모델의 내부에서 입력 및 출력 포트를 통해 모든 모델이

연결된 후 최종적으로 ‘Body Armor’ 모델의 출력 포트로 나가게 되고, 출력 포트 또한 입력 포트와 같이 직전 모델에 따라 구분되어 있다. 또한 ‘LeftArmor\_B’ 모델을 거친 후 전차 내부에 있는 부품을 관통하지 않은 채, 반대편에 위치한 장갑인 ‘RightArmor\_B’ 모델로 향하는 경우에는 ‘BA\_out\_fRAB’ 포트로 출력된다.

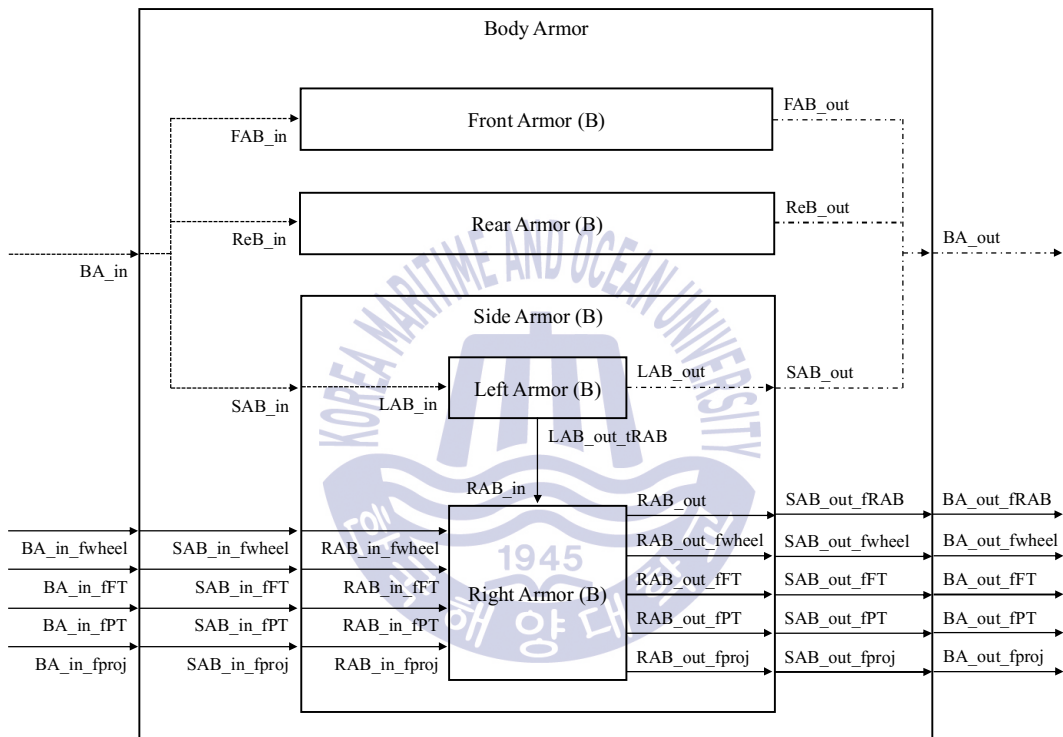


Fig. 3.13 I/O port of Body Armor

Fig. 3.14는 ‘Turret Armor’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. ‘Turret Armor’ 모델은 ‘Body Armor’ 모델과 마찬가지로 ‘Front Armor (T)’, ‘Rear Armor (T)’, ‘Side Armor (T)’ 모델을 가지고 있으며, ‘Side Armor (T)’ 모델은 ‘Left Armor (T)’ 모델과 ‘Right Armor (T)’ 모델을 가지고 있다. ‘Turret Armor’ 모델은 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 위협탄을 바로 입력 받는 경우와 위협탄이 전차의 포탑 내에 있는 부품을 관통한

후, 다시 ‘Turret Armor’ 모델 내에 있는 ‘Right Armor (T)’ 모델로 들어가기 위해 입력받는 경우가 있다. 후자의 경우 ‘Intercom’, ‘Sight’, ‘Fire Control System’, ‘Projectile’ 모델이 그 예이다. ‘Turret Armor’ 모델의 내부에서 입력 및 출력 포트를 통해 모든 모델이 연결된 후 최종적으로 ‘Turret Armor’ 모델의 출력 포트로 나가게 되고, 출력 포트 또한 입력 포트와 같이 구분되어 있다. 또한 Fig. 3.13의 ‘Body Armor’ 모델과 마찬가지로 ‘LeftArmor\_T’ 를 거친 후 전차 내부에 있는 부품을 관통하지 않은 채, 반대 측면에 위치한 장갑인 ‘RightArmor\_T’ 모델로 향하는 경우에는 ‘TA\_out\_fRAT’ 포트로 출력된다.

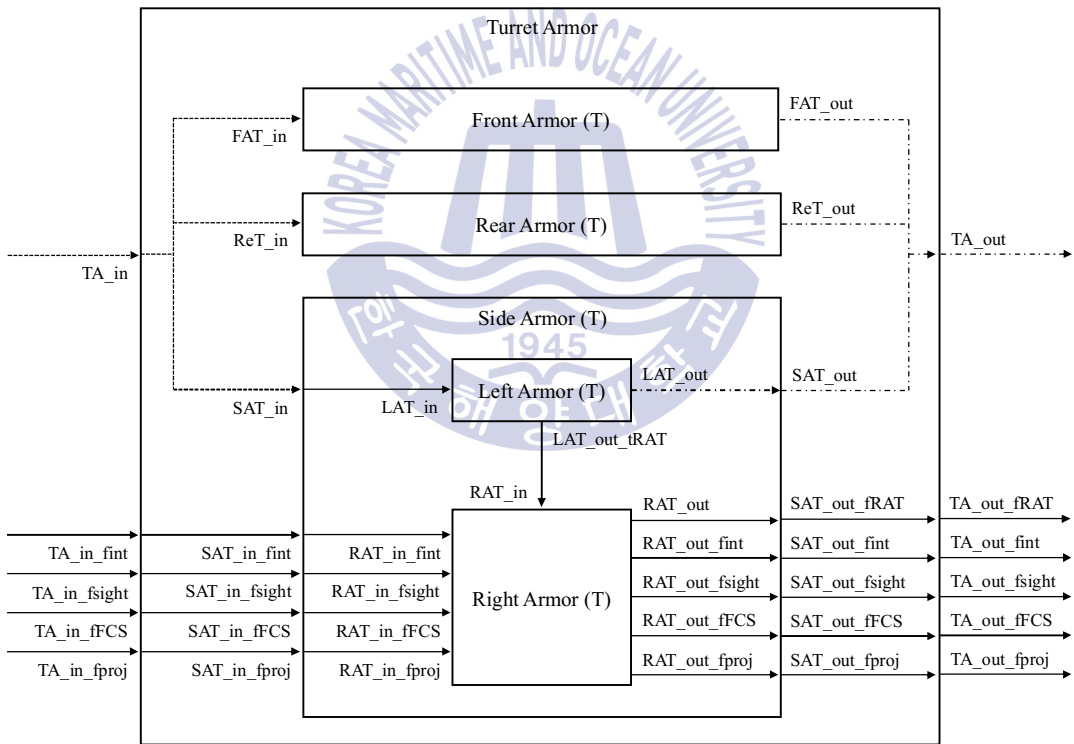


Fig. 3.14 I/O port of Turret Armor

Fig. 3.15는 ‘Wheel’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이며, ‘Wheel’ 모델 내부에는 ‘Caterpillar (L)’, Caterpillar(R)’, ‘Idler Wheel

(L)', 'Idler Wheel (R)', 'Return Roller (L)', 'Return Roller (R)', 'Road Wheel (L)', 'Road Wheel (R)', 'Sprocket Wheel (L)', 'Sprocket Wheel (R)' 모델이 있다. 'Wheel' 모델은 'Armored Fighting Vehicle' 모델에서 위협탄을 바로 입력 받을 수 있고, 이 경우는 부품이 전차의 외부에 노출되어 있는 경우이다. 또한, 전차의 측면 장갑을 관통한 이후에 피격되는 경우가 있으며, 이 때는 'Body Armor' 모델로부터 위협탄을 입력 받는다. 위협탄이 전차의 내부에 위치한 부품을 관통한 이후, 반대 측면에 위치한 부품을 향하는 경우도 포트를 구분하였다. 'Caterpillar (R)' 모델은 'Fuel Tank' 및 'Power Train' 모델을 거쳐 온 경우에 대한 출력 포트를 가지며, 'Wheel' 모델의 나머지 모델들은 'wheel\_out' 포트를 통해 출력된다.

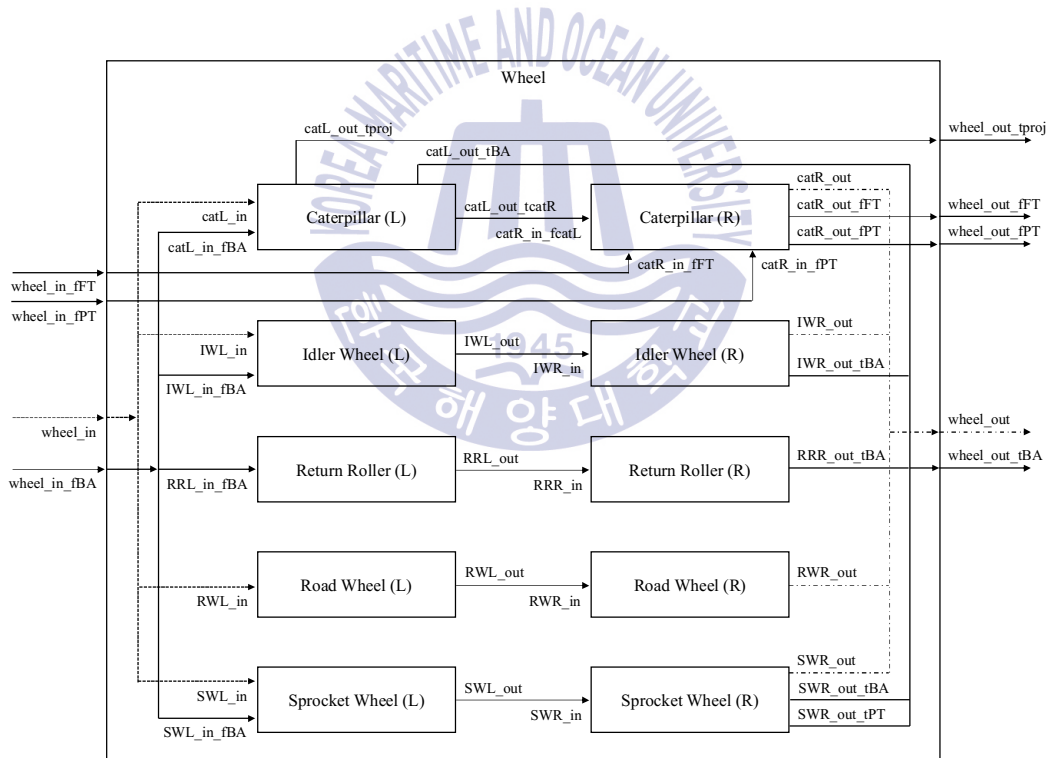


Fig. 3.15 I/O port of Wheel

Fig. 3.16과 Fig. 3.17은 'Return Roller (L)' 및 'Return Roller (R)' 모델의 포트를 나타낸 그림이다. 각 모델은 하나의 입력 및 출력 포트를 가지며, 내부

에 있는 모델들도 각각 하나의 입력 및 출력 포트를 가진다.

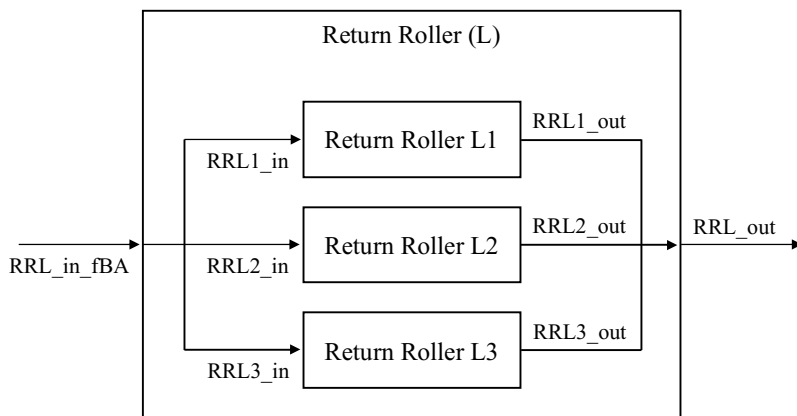


Fig. 3.16 I/O port of Return Roller (L)

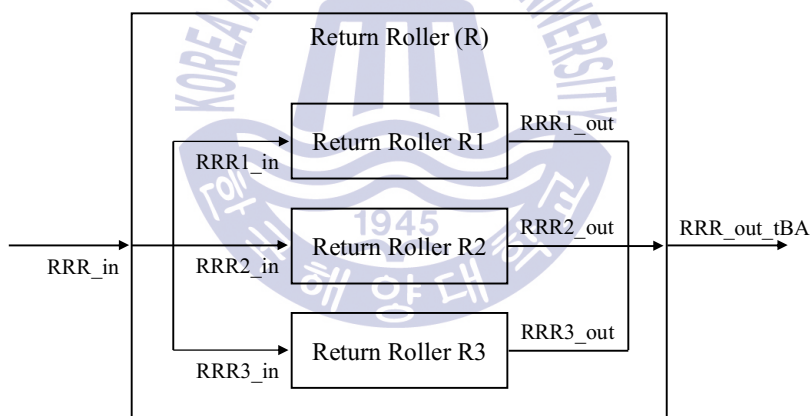


Fig. 3.17 I/O port of Return Roller (R)

Fig. 3.18과 Fig. 19는 각각 ‘Road Wheel (L)’ 모델과 ‘Road Wheel (R)’ 모델의 포트를 나타낸 그림이다. 두 모델 모두 하나의 입력 및 출력 포트를 가지며, 내부에 있는 모델들도 각각 하나의 입력 및 출력 포트를 가진다.

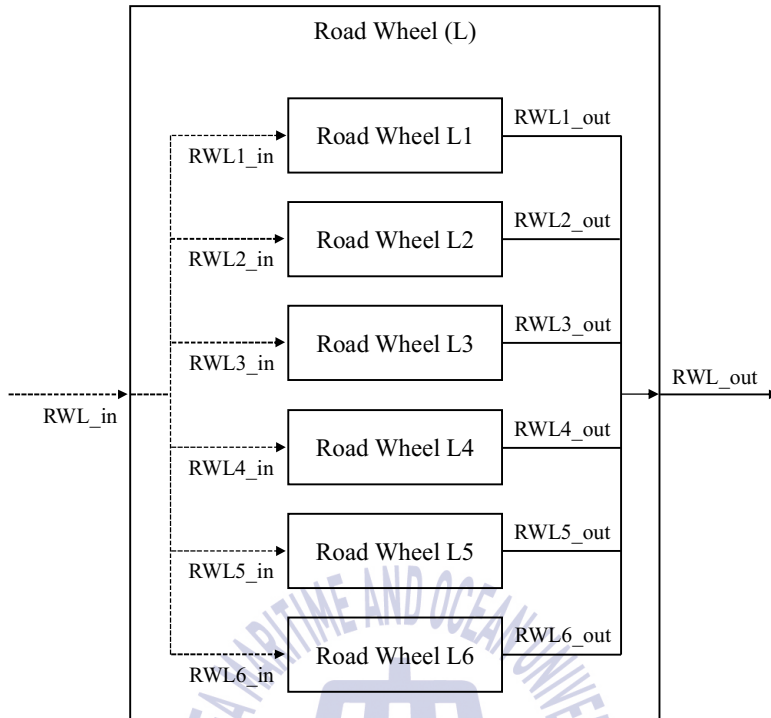


Fig. 3.18 I/O port of Road Wheel (L)

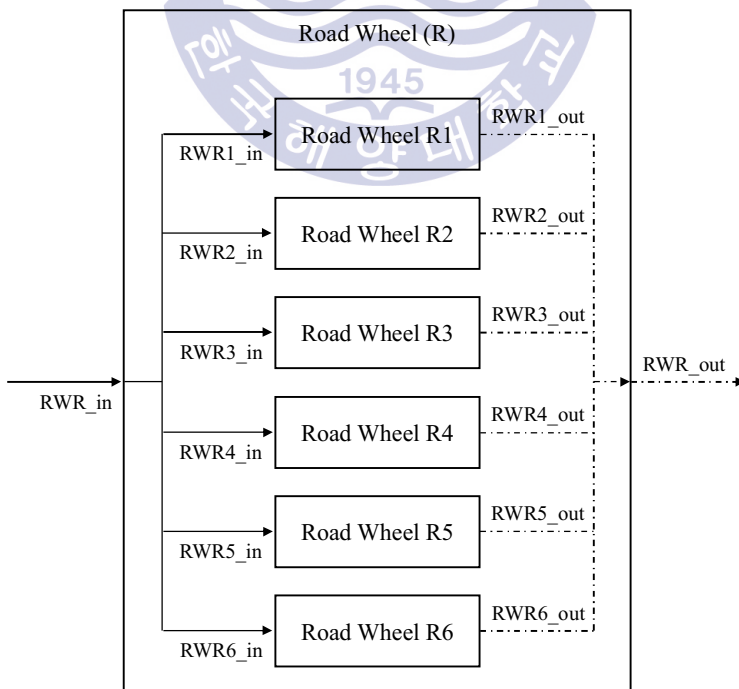


Fig. 3.19 I/O port of Road Wheel (R)

Fig. 3.20은 ‘Projectile’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. 하나의 입력 및 출력 포트를 가지며, 내부에 있는 ‘Projectile 1’ ~ ‘Projectile 3’ 모델도 각각 하나의 입력 및 출력 포트를 가진다.

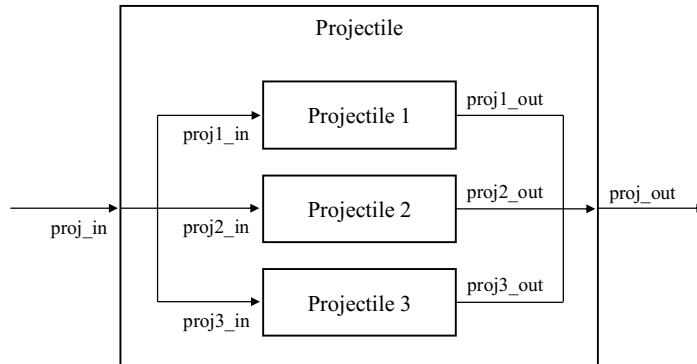


Fig. 3.20 I/O port of Projectile

Fig. 3.21은 ‘Communication Device’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. ‘Antenna’ 모델로 들어가는 ‘CD\_in’ 포트와 ‘Intercom’ 모델로 들어가는 ‘CD\_in\_tint’ 포트가 있으며, 출력 포트도 하나씩 가진다. ‘Antenna’ 모델은 내부에 ‘Antenna 1’ 과 ‘Antenna 2’ 모델을 가지고 있다.

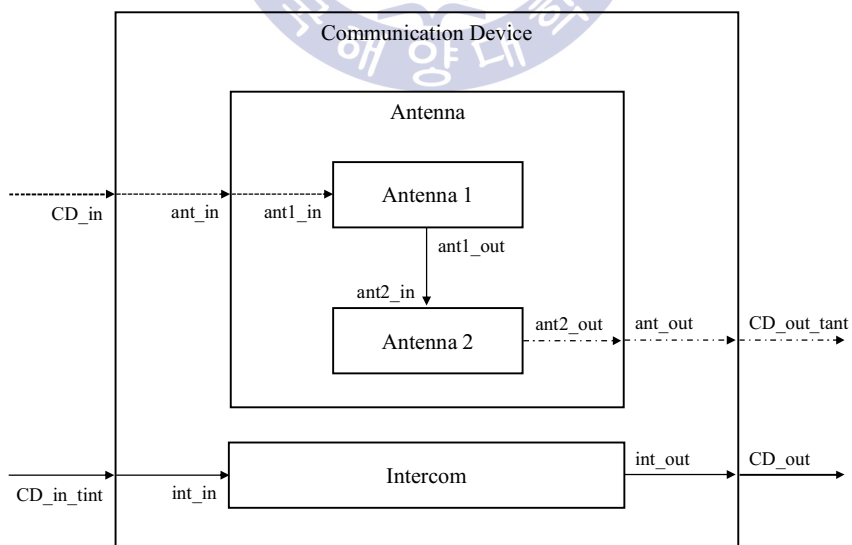


Fig. 3.21 I/O port of Communication Device

Fig. 3.22는 ‘Fuel Tank’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. ‘Fuel Tank’ 모델은 ‘Body Armor’ 모델의 ‘Left Armor (B)’ 모델을 거쳐서 들어오는 경우와, ‘Wheel’ 모델의 ‘Caterpillar (L)’ 모델을 거쳐서 들어오는 경우가 있다.

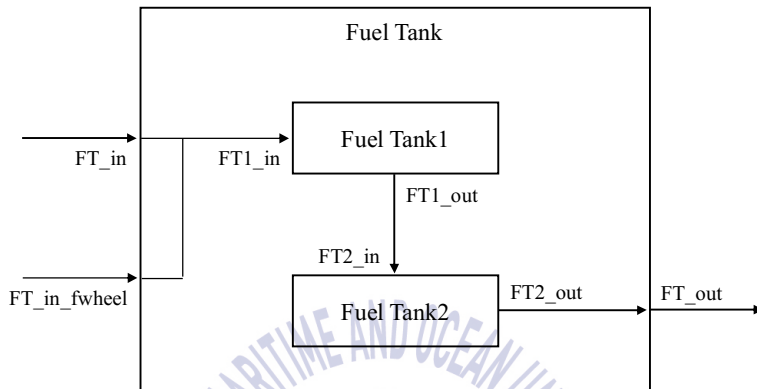


Fig. 3.22 I/O port of Fuel Tank

Fig. 3.23은 ‘Power Train’ 모델의 입력 및 출력 포트를 나타낸 그림이다. ‘Power Train’ 모델은 ‘Body Armor’ 모델의 ‘Left Armor (B)’ 모델을 거쳐서 들어오는 경우와, ‘Wheel’ 모델의 ‘Caterpillar (L)’ 및 ‘Sprocket Wheel (L)’ 모델을 거쳐서 들어오는 경우가 있다.

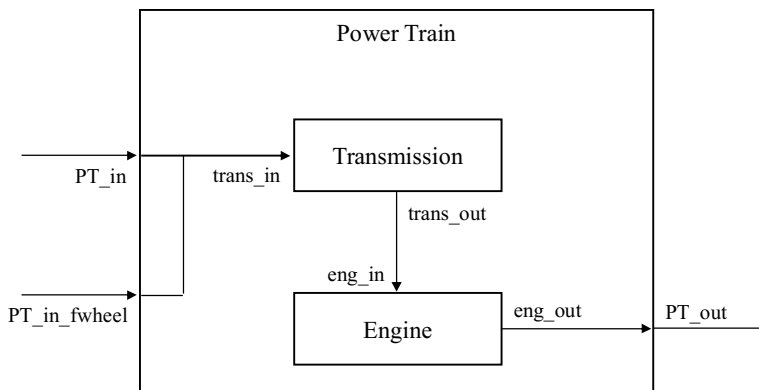


Fig. 3.23 I/O port of Power Train



### 3.2 전차 시스템의 부품 모델링

#### 3.2.1 부품 및 위협탄 모델링

전차를 구성하는 부품을 특성에 따라 일반 부품, 치명 부품, 장갑으로 분류하였다. 부품 및 장갑의 두께는 CAD로 설계한 전차의 좌표에서 ‘z’ 값을 기반으로 정의하였으며, 부품의 두께와 속성은 부품 및 장갑의 방호 성능을 계산하는데 사용된다. Table 3.1은 일반 부품으로 분류한 부품의 목록이며, 내구도는 전차 전체에서 차지하는 중요도를 기반으로 일반적인 기준에서 정의하였다.

**Table 3.1** Attribute of normal component

일반 부품 종류	두께	내구도
Periscope	30	1.1
Cannon	19	1.2
Fire Control system	80	1.4
Sight	30	1.1
Hatch	60	1.1
Smoke Bomb Discharger	31	1.1
Caterpillar	70	1.0
Idler Wheel	45	1.3
Return Roller	30	1.1
Road Wheel	55	1.2
Sprocket Wheel	55	1.3
Antenna	3	1.0
Intercom	25	1.1
Transmission	90	1.6
Engine	90	1.6

전차의 부품 중 ‘Projectile’ 과 ‘Fuel Tank’ 를 치명 부품으로 정의하였고, 그 속성은 Table 3.2와 같다. 치명 부품이 파손되면 일반 부품에 비해 상대적으로 위험하며 전차의 기능에 큰 영향을 미치기 때문에 내구도를 높게 정의하였으며, 치명 부품이 파손될 경우 유폭되는 것으로 가정하여 전차의 모든 기능을 상실하는 것으로 판단한다.

**Table 3.2** Attribute of critical component

치명 부품 종류	세부 부품	두께	내구도
Projectile	Projectile 1	50	2.2
	Projectile 2	50	2.2
	Projectile 3	70	1.9
Fuel Tank	Fuel Tank 1	70	1.8
	Fuel Tank 2	70	1.8

전차의 장갑은 탄약과 상호 견제하면서 발전이 이루어진다. 대부분의 기본 장갑은 강철 소재가 주를 이루며 최근에는 복합 장갑, 반응 장갑, 공간 장갑 등 다양한 방식의 장갑이 개발되어, 관통 성능이 높은 탄약에 대해 방호 성능을 증가시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히 복합 장갑은 공간 장갑에서 한 단계 발전된 형태로, 장갑판 사이에 세라믹, 티타늄 등의 금속재를 여러 겹으로 적층하여 운동 에너지탄에 대한 방어력이 우수하다. 본 논문에서는 전차의 장갑이 복합 장갑으로 이루어진 것으로 가정하고 장갑의 특성을 정의하였다. 실제 복합 장갑에 들어가는 충전물의 소재, 양, 적층 방식 등에 대한 자료는 군사 보안상 알 수 없기 때문에 복합 장갑을 이루는 복합 소재의 비율에 따라 장갑의 방호 성능이 결정된다고 가정하였고, 피격 가능성이 높은 전차의 전면부와 측면부 장갑에 사용되는 것으로 정의하였다. 장갑의 종류 및 세부 장갑의 분류에 따라 복합 소재의 비율이 다르므로, Table 3.3과 같이 장갑의 속성을 정의하였다. 예를 들어, ‘Turret Armor’ 의 세부 장갑 중 ‘Right Armor’ 는 두께가 ‘50’ 이며, 복합 소재가 ‘85%’ 포함된 장갑이다.

**Table 3.3** Attribute of armor

장갑 종류	세부 장갑	두께	복합 소재 비율(%)
Body Armor	Left Armor	40	75
	Right Armor	40	75
	Front Armor	30	85
	Rear Armor	30	60
Turret Armor	Left Armor	50	85
	Right Armor	50	85
	Front Armor	40	90
	Rear Armor	40	65

Table 3.4는 위협탄의 속성을 나타낸 표이다. 운동 에너지탄은 물리력을 이용하여 공격하며, 화학 에너지탄은 장갑의 표면에서 재폭발하여 열, 파편 등의 추가 에너지를 이용하여 공격한다. 즉, 화학 에너지탄은 피격부위를 중심으로 그 주변까지 피해를 입힐 수 있고, 이에 따라 범위 공격이 가능한 것으로 피격 범위를 정의하였다. 피격 범위는 위협탄의 피격 좌표를 기준으로 x축 및 y축으로 증감한 값이 되며, CAD 모델의 좌표와 3.3.1절의 관통 해석식에서 사용하는 수치와의 레벨을 맞추기 위해 전차의 배율 '1.2'를 곱하여 계산한다.

**Table 3.4** Attribute of projectile

위협탄 종류	이름	관통 성능(mm)	피격 범위( $\pm x,y$ )
운동 에너지탄	KE_150	150	-
	KE_250	250	-
	KE_350	350	-
화학 에너지탄	CE_100	100	4.0
	CE_180	180	12.5
	CE_260	260	21.0

### 3.2.2 모델 상태도

‘Generator’ 모델 및 ‘Transducer’ 모델을 포함한 모든 부품 모델은 ‘passive’ 상태와 ‘busy’ 상태를 가지며, 입력 포트를 통해 들어오는 정보를 모델 내에서 처리하고 출력 포트로 정보를 내보내면서 모델의 상태가 천이된다.

Fig. 3.24는 ‘Generator’ 모델의 상태도이며, ‘busy’ 상태를 초기 상태로 가진다. ‘Generator’ 모델은 시뮬레이션이 시작되면 이름, 종류, 관통 성능, 좌표 정보를 갖고 있는 위협탄을 생성하여 ‘gen\_out’ 포트를 통해 내보내고, 3.1.2 절에서 커플링 관계로 연결된 부품 모델들은 위협탄 정보를 입력 포트로 전달 받는다. ‘Generator’ 모델은 ‘Transducer’ 모델로부터 시뮬레이션 종료로 알리는 메시지를 ‘gen\_in’ 포트를 통해 받게 되면 ‘passive’ 상태로 천이된다.

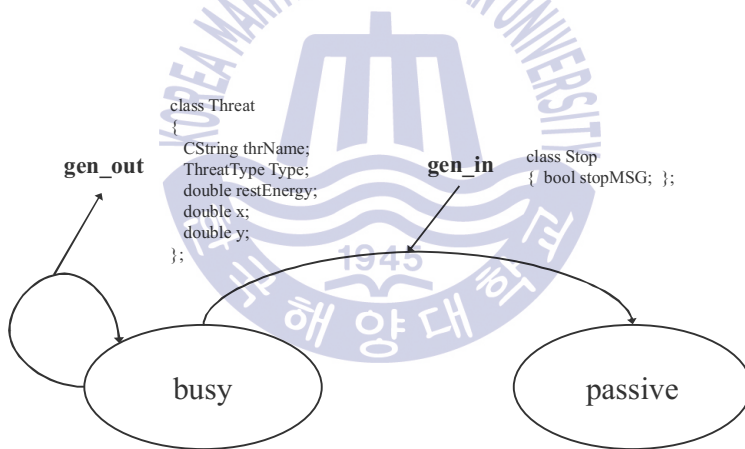


Fig. 3.24 State diagram of Generator model

Fig. 3.25는 ‘Transducer’ 모델의 상태도이며, Fig. 3.5의 ‘Armored Fighting Vehicle’ 모델에서 ‘AFV\_out’ 포트로 전달된 위협탄 및 관통 정보를 ‘transd\_in’ 포트를 통해 설정한 시간 동안 입력 받는다. 이 때, 1회의 시뮬레이션을 통한 결과로, 위협탄에 의해 관통된 부품과 관통하지는 못했지만 피격을 받아 피해를 입은 부품의 목록을 수집한다. 또한 ‘Transducer’ 모델은 ‘transd\_out’ 포트를 통해 시뮬레이션이 종료되었음을 알리는 메시지를

‘Generator’ 모델로 보내고 ‘passive’ 상태로 천이된다.

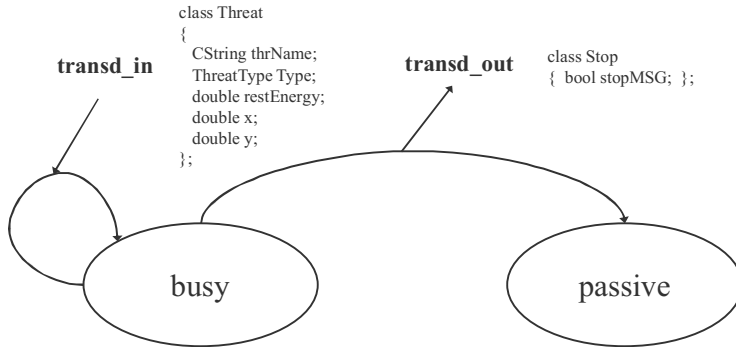


Fig. 3.25 State diagram of Transducer model

Fig. 3.26은 전차의 일반 부품 중 ‘Canon’ 모델의 상태도이며, 모든 부품 모델은 이와 동일한 상태 변화를 가진다. 초기 상태는 ‘passive’ 상태이며 ‘cannon\_in’ 포트를 통해 위협탄이 들어온다. 위협탄이 다른 부품을 관통한 후에 들어온 것이라면, 잔여 관통 성능 및 관통한 모델의 정보가 입력된다. 위협탄의 잔여 관통 성능과 ‘Canon’ 모델의 방호 성능을 비교하여 관통 여부를 계산한 후 ‘busy’ 상태로 천이되며, ‘cannon\_out’ 포트를 이용하여 위협탄 및 관통 부품의 정보를 다음 모델로 전달하고 ‘passive’ 상태로 천이된다.

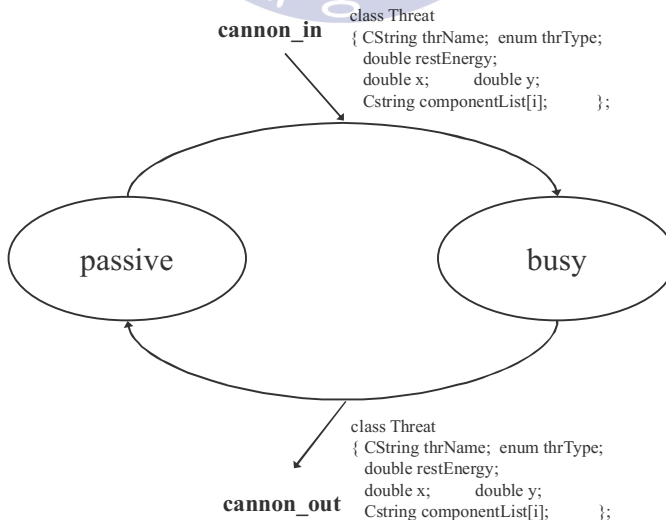


Fig. 3.26 State diagram of Cannon model

Fig. 3.27은 치명 부품으로 분류한 ‘Projectile 1’ 모델의 상태도이다. 초기 상태는 ‘passive’ 상태이며, ‘proj1\_in’ 포트를 통해 위협탄이 들어온다. 전차의 일반 부품과 마찬가지로, ‘LeftArmor\_B’ 또는 ‘LeftArmor\_T’ 등과 같은 다른 부품을 관통한 후 ‘Projectile 1’ 모델로 들어온 것이라면, 이전 부품을 관통한 이후의 잔여 관통 성능 및 관통한 모델의 정보가 입력된다. 위협탄의 잔여 관통 성능과 ‘Projectile 1’ 모델의 방호 성능을 비교하여 관통 여부를 계산하고 ‘busy’ 상태로 천이되며, ‘proj1\_out’ 포트로 위협탄을 내보낸 후에는 ‘passive’ 상태로 천이된다. 이와 같이 ‘Projectile 1’ 모델은 일반 부품과 동일한 상태 천이 과정을 가지지만 ‘Projectile’ 모델은 치명 부품에 속하는 모델이므로 일반 부품과는 다르게 해석된다. 시뮬레이션 결과를 수집하여 해석하는 ‘Transducer’ 모델이 받게 되는 부품의 관통 정보에 ‘Projectile’, ‘Fuel Tank’ 와 같은 치명 부품이 포함되어 있을 경우, 전차가 완파되는 것으로 판단한다.

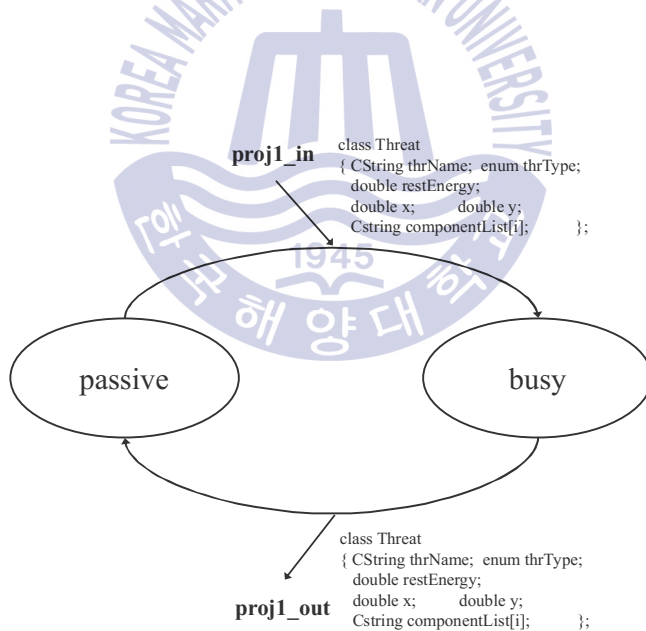


Fig. 3.27 State diagram of Projectile 1 model

Fig. 3.28은 전차의 장갑 중 ‘LeftArmor\_T’ 의 모델의 상태도를 나타낸 것이며, 다른 장갑 모델도 이와 같은 상태 변화를 가진다. 부품 모델과 마찬가지로

‘passive’ 상태를 초기 상태로 가지며, ‘LAT\_in’ 포트에 위협탄이 들어오게 되면 위협탄의 좌표를 확인하여 피격 여부를 확인한 후 ‘busy’ 상태로 천이된다. ‘busy’ 상태에서는 위협탄의 관통 성능과 ‘LeftArmor\_T’ 모델의 방호 성능을 비교하여 관통 여부를 계산하고, 그 결과를 ‘LAT\_out’ 포트에 내보낸 후 ‘passive’ 상태로 천이된다.

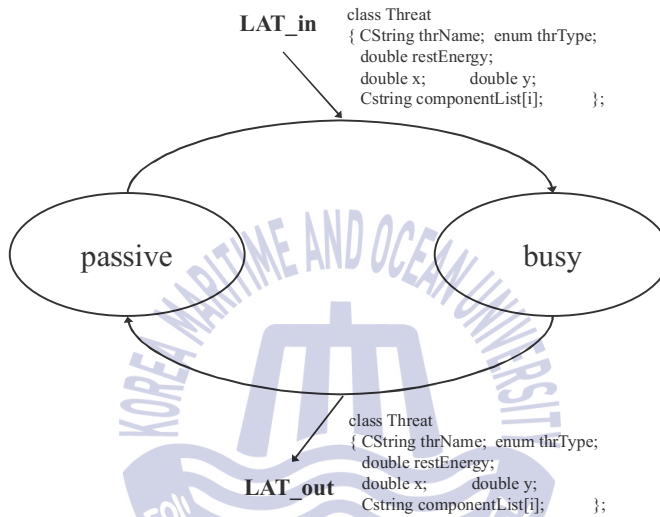


Fig. 3.28 State diagram of LeftArmor\_T model

### 3.3 관통 해석 및 전차 부품 중요도

#### 3.3.1 부품 및 장갑 관통 해석

본 논문에서는 부품 및 장갑의 관통 여부를 판단하기 위해 GSS에서 사용하는 식 (3.1)의 관통 해석식을 적용하였고, 관통 해석식에서 RHA 대비 장갑의 방호 성능을 나타내는  $Steq$ 는 본 논문에서 정의한 부품 및 장갑의 특성을 고려하기 위해 변경하여 사용한다.

$P_0$ 는 위협탄의 관통 성능을 의미하고,  $P_0$ 에서  $Steq$ 를 뺀 값은  $P_{res}$ 가 되며 잔여 관통 성능을 뜻한다. 계산된  $P_{res}$  값이 0보다 크면 위협탄이 관통된 것을 의미하며, 0보다 작으면 관통되지 않은 것을 의미한다. 즉,  $P_{res}$  값이 양수이면 위협탄의 관통 성능이 부품 또는 장갑의 방호 성능보다 센 것을 의미한다.

$$P_{res} = P_0 - Steq \quad (3.1)$$

식 (3.2)는 부품에 대한 관통 해석을 할 때 사용하는  $Steq$  계산식이다. Table 3.1~Table 3.2에서 정의한 부품의 두께는  $L_{path}$ 가 되며, 부품의 내구도는  $R_{Durability}$ 가 된다.  $S_{size}$ 는 전차 CAD 모델의 좌표계와 관통 해석식에서 사용하는 수치와의 레벨을 맞추기 위해 적용하는 배율이며, 장갑의  $Steq$ 를 계산할 때도 동일하게 사용된다.

$$Steq = L_{path} \times S_{size} \times R_{Durability} \quad (3.2)$$

여기서,  $L_{path}$  : 관통 경로에 의한 부품 두께

$S_{size}$  : 전차 배율 (= 1.2)

$R_{Durability}$  : 부품의 내구도



$Steq$ 는 피격 대상에 따라 다르게 산정된다. 식 (3.3)은 위협탄이 장갑을 공격했을 때 사용하는  $Steq$  계산식이며, 부품의  $Steq$  계산식에서 사용되는 내구도  $R_{Durability}$  대신에,  $\rho_{Armor}$ ,  $R_{CA}$ ,  $\rho_{RHA}$ 를 사용한다.  $\rho_{Armor}$ 는 장갑의 밀도이며, 강철을 기준으로 하였기 때문에  $7.87g/cm^3$  값을 사용한다. 복합 소재의 비율을 나타내는  $R_{CA}$ 는 Table 3.3에서 정의한 값을 사용하며, RHA 밀도를 나타내는  $\rho_{RHA}$ 는  $7.85g/cm^3$  값을 사용한다.

$$Steq = \frac{L_{path} \times \rho_{Armor} \times S_{size} \times (1 + R_{CA})}{\rho_{RHA}} \quad (3.3)$$

여기서,  $L_{path}$  : 관통 경로에 의한 장갑 두께

$\rho_{Armor}$  : 장갑 밀도 (=  $7.87g/cm^3$ )

$S_{size}$  : 전차 배율 (= 1.2)

$R_{CA}$  : 복합 소재 비율

$\rho_{RHA}$  : RHA 밀도 (=  $7.85g/cm^3$ )

### 3.3.2 전차 부품의 중요도

전차의 취약성 분석에서 중요도는 어떤 하나의 부품이 전차 전체에서 차지하는 비중을 의미한다. 중요도를 산정하기 위해 식 (2.4)를 이용하며, 가중치는 모든 부품에 부여된다. 가중치는 전차의 기능에 따라서도 부여되며, Fig. 3.29는 기능에 따른 가중치를 나타낸 트리이다. 전차는 ‘기지의 지시를 받아 적군을 찾아내어 파괴하고, 전선을 확보하기 위한 목적의 전투 차량’ 이므로, 전차의 기능을 크게 ‘공격(Attack)’, ‘방어(Defense)’, ‘이동(Movement)’, ‘통신(Communication)’, ‘탐지(Detection)’로 분류하였으며, 각 기능에 따른 부품의 가중치 트리는 Fig. 3.30~Fig. 3.34와 같다. 동일한 계층에 있는 부품의 가중치 합은 항상 ‘1’이며, 기능에 따라 분류한 부품의 가중치 합 또한 ‘1’이 된다. 전차의 모든 기능이 중요하지만, 특히 공격 및 이동과 관련된 부품은 전차의 핵심 기능을 담당하는 부분이므로 전차의 다른 기능에 비해 상대적으로

높은 가중치를 가진다[21].

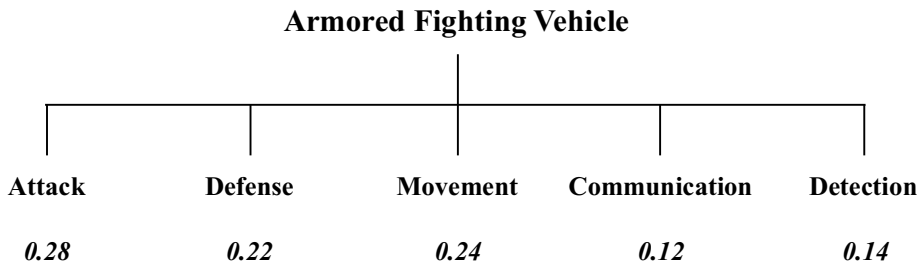


Fig. 3.29 Weight tree for functions of Armored Fighting Vehicle

Fig. 3.30은 공격 부품의 가중치를 나타낸 트리이다. 전차의 가장 강력한 공격 무기인 ‘Cannon’은 다른 공격 부품에 비해 상대적으로 높은 가중치를 가지며, ‘Projectile’ 또한 공격 기능에서 큰 비중을 차지하므로 높은 가중치를 부여하였다. 공격 부품 내에서 ‘Projectile 1’의 중요도를 예로 들면, 식 (2.4)의 계산식에 따라 ‘Projectile의 가중치 × Projectile 1의 가중치’로 계산되며, ‘ $0.25 \times 0.34 = 0.085$ ’가 ‘Projectile 1’의 중요도가 된다.

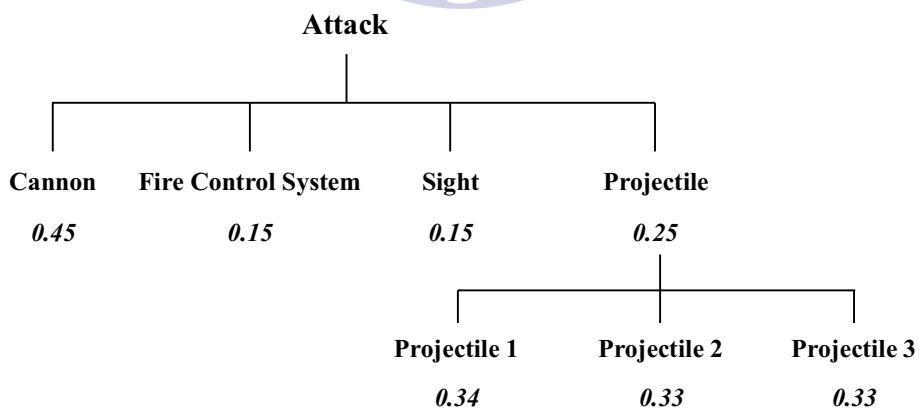


Fig. 3.30 Weight tree of attack components

Fig. 3.31은 방어 부품의 가중치를 나타낸 트리이며, 방어 부품에서 가장 중요한 ‘Turret Armor’ 가 높은 가중치를 가지고 특히 피격 확률이 높은 ‘Front Armor’ 는 ‘Turret Armor’ 의 부품 중 가장 높은 가중치를 가지고 있다. ‘Rear Armor’ 는 상대적으로 피격 확률이 낮기 때문에, 낮은 가중치는 가진다.

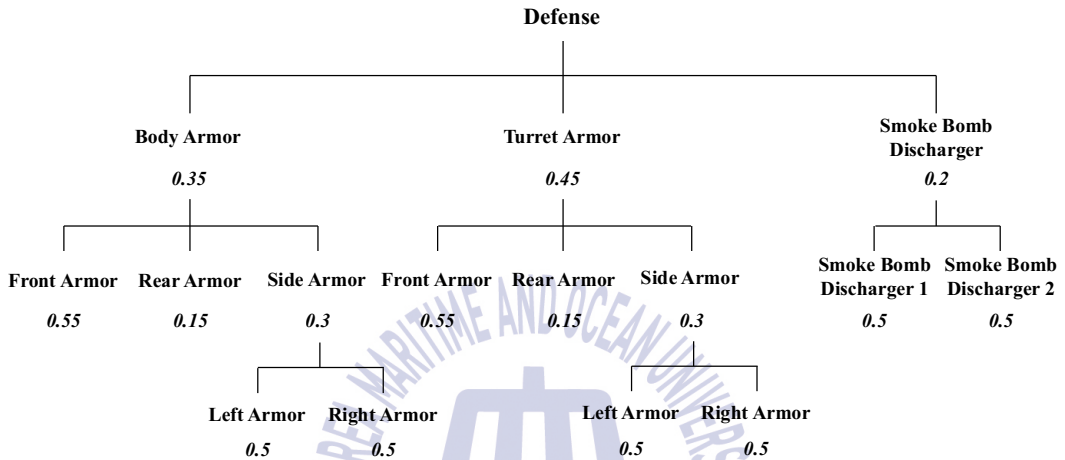


Fig. 3.31 Weight tree of defense components

Fig. 3.32는 이동 부품의 가중치를 나타낸 트리이며 ‘Return Roller 1’, ‘Return Roller 3’ 은 전차의 하중을 많이 받는 부분으로 ‘Return Roller 2’ 에 비해 높은 가중치를 부여하였고, ‘Road Wheel 2’, ‘Road Wheel 5’ 는 파손될 경우 궤도를 정렬하는데 지장을 줄 수 있는 부분이므로 더 높은 가중치를 부여하였다. 전차 전체에서 ‘Caterpillar (L)’ 의 중요도를 예로 들면, ‘이동 부품의 가중치 × Wheel의 가중치 × Caterpillar (L)의 가중치’ 로 계산되어 중요도는 ‘ $0.24 \times 0.4 \times 0.09 = 0.00864$ ’ 가 된다.

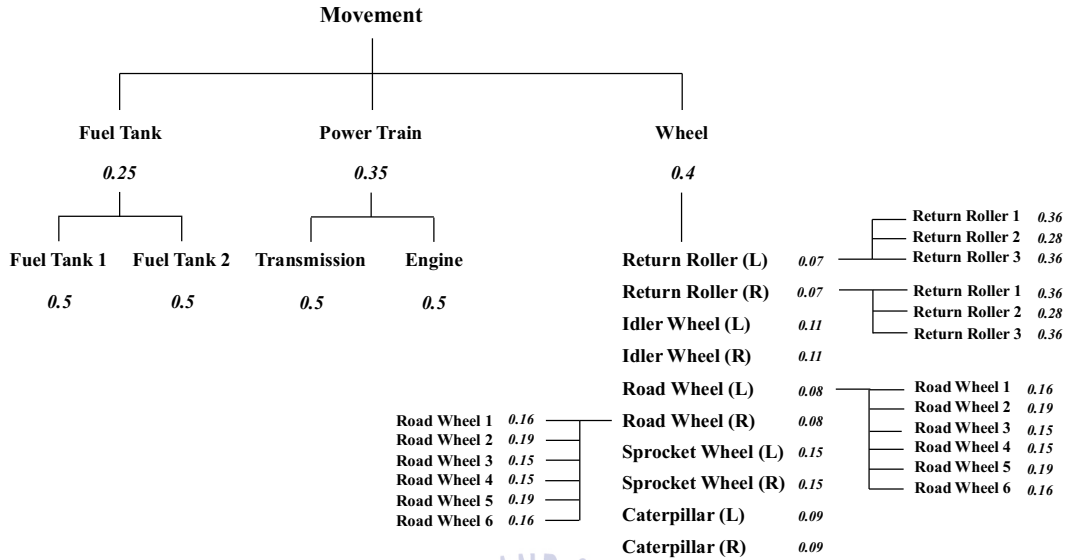


Fig. 3.32 Weight tree of movement components

Fig. 3.33은 통신 부품의 가중치를 나타낸 트리이며, 통신 부품 중 핵심이 되는 ‘Intercom’이 ‘Antenna’에 비해 상대적으로 높은 가중치를 가진다.

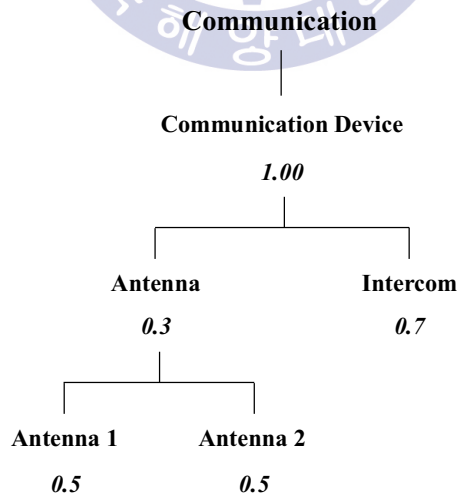


Fig. 3.33 Weight tree of communication components

Fig. 3.34는 탐지 부품의 가중치를 나타낸 트리이다. ‘Hatch 3’은 전차의 승무원 중 전차장이 배치되는 위치로, ‘Hatch 1’ 및 ‘Hatch 2’에 비해 다소 높은 가중치를 부여하였다.

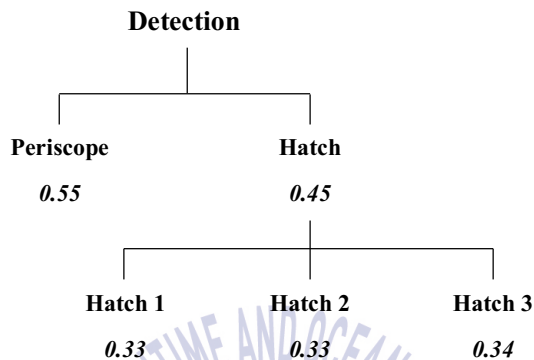


Fig. 3.34 Weight tree of detection components

Table 3.5는 공격 부품의 중요도를 나타낸 표로, Fig. 3.29에서 공격 기능의 가중치와 Fig. 3.30에서 공격 부품의 가중치를 식 (2.4)에 적용하여 산출하였다.

Table 3.5 Importance of attack components

기능	부품	중요도	
공격	Cannon	0.126	
	Fire Control System	0.042	
	Sight	0.042	
	Projectile	Projectile 1	0.0238
		Projectile 2	0.0231
		Projectile 3	0.0231

Table 3.6은 방어 부품의 중요도를 나타낸 표로, Fig. 3.29에서 방어 기능의 가중치와 Fig. 3.31에서 방어 부품의 가중치를 식 (2.4)에 적용하여 산출하였다.

**Table 3.6** Importance of defense components

기능	부품		중요도	
방어	Body Armor	Front Armor	0.01155	
		Rear Armor	0.01155	
		Side Armor	Left Armor	0.04235
			Right Armor	0.01155
	Turret Armor	Front Armor	0.01485	
		Rear Armor	0.01485	
		Side Armor	Left Armor	0.05445
			Right Armor	0.01485
	Smoke Bomb Discharger	Smoke Bomb Discharger 1	0.022	
		Smoke Bomb Discharger 2	0.022	

Table 3.7은 이동 부품의 중요도를 나타낸 표로, Fig. 3.29에서 이동 기능의 가중치와 Fig. 3.32에서 이동 부품의 가중치를 식 (2.4)에 적용하여 산출하였다.

Table 3.7 Importance of movement components

기능	부품	중요도	
이동	Power Train	Transmission	0.042
		Engine	0.042
	Fuel Tank	Fuel Tank 1	0.03
		Fuel Tank 2	0.03
	Return Roller (L)	Return Roller 1	0.002419
		Return Roller 2	0.001882
		Return Roller 3	0.002419
	Return Roller (R)	Return Roller 1	0.002419
		Return Roller 2	0.001882
		Return Roller 3	0.002419
	Idler Wheel (L)		0.01056
	Idler Wheel (R)		0.01056
	Road Wheel (L)	Road Wheel 1	0.001229
		Road Wheel 2	0.001459
		Road Wheel 3	0.001152
		Road Wheel 4	0.001152
		Road Wheel 5	0.001459
		Road Wheel 6	0.001229
	Road Wheel (R)	Road Wheel 1	0.001229
		Road Wheel 2	0.001459
		Road Wheel 3	0.001152
		Road Wheel 4	0.001152
		Road Wheel 5	0.001459
		Road Wheel 6	0.001229
	Sprocket Wheel (L)		0.0144
	Sprocket Wheel (R)		0.0144
	Caterpillar (L)		0.00864
Caterpillar (R)		0.00864	

Table 3.8은 통신 부품의 중요도를 나타낸 표로, Fig. 3.29에서 통신 기능의 가중치와 Fig. 3.33에서 통신 부품의 가중치를 식 (2.4)에 적용하여 산출하였다.

**Table 3.8** Importance of communication components

기능	통신 부품		중요도	
통신	Communication Device	Antenna	Antenna 1	0.018
			Antenna 2	0.018
		Intercom		0.084

Table 3.9는 탐지 부품의 중요도를 나타낸 표로, Fig. 3.29에서 탐지 기능의 가중치와 Fig. 3.34에서 탐지 부품의 가중치를 식 (2.4)에 적용하여 산출하였다.

**Table 3.9** Importance of detection components

기능	탐지 부품		중요도
탐지		Periscope	0.077
	Hatch	Hatch 1	0.02079
		Hatch 2	0.02079
		Hatch 3	0.02142



## 제 4 장 시뮬레이션 및 취약성 분석

### 4.1 시뮬레이션

3.1절에서 설계한 시뮬레이션 아키텍처를 이용하여 전차 취약성 분석 프로그램인 ‘Vulnerability Analysis System’을 구현하였다. ‘Vulnerability Analysis System’은 Microsoft Windows 7 Professional K(64-bit) 운영체제 환경에서 Microsoft Visual Studio Professional 2013, C++ 언어를 사용하여 개발하였다. 프로그램에서 사용하는 전차 부품의 좌표 및 상대적인 위치는 Autodesk AutoCAD 2008을 사용하여 설계한 전차 모델을 기반으로 하며, 한국군 주력전차인 K1 및 K1A1의 구조와 구성 부품 전반을 따른 모델이다.

취약성 분석 실험의 예로 Table 4.1의 위협탄을 발사하는 것으로 설정하였다. 위협탄은 ‘KE\_250’라는 이름을 가진, ‘250’의 관통 성능을 가지는 ‘운동 에너지탄’이며 전차의 측면을 기준으로 하여 좌표 (460,170)으로 발사된다.

Table 4.1 Set of threat for simulation

위협탄	
이름	KE_250
종류	운동 에너지탄
관통 성능(mm)	250
좌표(x,y)	(460,170)

위협탄이 발사되면 전차의 각 부품 모델은 자신의 좌표와 위협탄의 좌표를 비교하여, 피격 여부를 판단한다. ‘Turret Armor’의 세부 부품에 속하는 ‘Left Armor’는 좌표 (460,170)에 해당하는 최초의 부품이므로, 위협탄은

‘LAT\_in’ 포트를 통해 ‘LeftArmor\_T’ 로 들어가게 된다. ‘LeftArmor\_T’ 는 전차의 부품 중 장갑에 해당하며, Table 3.3에서 정의한 장갑의 속성을 가지고 있다. Table 4.2는 ‘LeftArmor\_T’ 의 속성을 나타낸 것으로 두께는 ‘50’ , 복합 소재의 비율은 ‘85%’ 이다.

**Table 4.2** Attribute of LeftArmor\_T

장갑	세부 장갑	두께	복합 소재 비율(%)
Turret Armor	Left Armor	50	85

관통 해석을 위해서 식 (3.1)을 사용하며, 위협탄의 관통 성능인  $P_0$ 는 ‘250’ 가 된다. 방호 성능인  $Steq$ 는 ‘LeftArmor\_T’ 가 장갑이므로 식 (3.3)을 이용하여 계산하면 식 (4.1)과 같이 ‘111.2828’ 이 된다.

$$Steq = \frac{50 \times 7.87 \times 1.2 \times 1.85}{7.85} = 111.2828 \quad (4.1)$$

잔여 관통 성능을 구하기 위해서,  $P_0$ 와  $Steq$ 를 식 (3.1)의 계산식에 적용하면 식 (4.2)와 같다.  $P_0$ 에서  $Steq$ 를 뺀 값이 양수이므로 위협탄이 ‘LeftArmor\_T’ 를 관통한 것을 의미하고, ‘LeftArmor\_T’ 를 관통한 이후의 잔여 관통 성능  $P_{res}$ 는 ‘138.7172’ 가 된다.

$$P_{res} = 250 - 111.2828 = 138.7172 \quad (4.2)$$

식 (4.2)에서 계산된 잔여 관통 성능  $P_{res}$ 는 좌표 (460,170) 선상에 있는 다음 부품인 ‘Intercom’ 으로 전달된다. ‘Intercom’ 의 부품 속성은 Table 4.3과 같으며 두께는 ‘25’ , 내구도는 ‘1.1’ 을 가지는 부품이다.

**Table 4.3** Attribute of Intercom

부품	두께	내구도
Intercom	25	1.1

‘Intercom’ 은 일반 부품에 해당하므로 부품의 관통 해석식인 식 (3.2)를 적용하며, 식 (4.3)과 같이 계산되어 ‘Intercom’ 의  $Steq$ 는 ‘33’ 이 된다.

$$Steq = 25 \times 1.2 \times 1.1 = 33 \quad (4.3)$$

‘LeftArmor\_T’ 를 관통한 이후의 잔여 관통 성능인  $P_{res}$ 는 다음 부품의 관통을 해석할 때  $P_0$ 가 된다. 즉, ‘Intercom’ 의 관통 해석은 식 (4.4)와 같이 계산된다. 식 (4.4)에서  $P_{res}$  값이 양수이므로, ‘Intercom’ 은 관통된 것을 의미하고 잔여 관통 성능 ‘105.7172’ 를 다음 부품으로 전달한다.

$$P_{res} = 138.7172 - 33 = 105.7172 \quad (4.4)$$

식 (4.4)에서 계산된 잔여 관통 성능  $P_{res}$ 는 좌표 (460,170) 선상에 있는 다음 부품인 ‘RightArmor\_T’ 로 전달된다. ‘RightArmor\_T’ 는 Table 4.4와 같이 두께 ‘50’ , 복합 소재의 비율은 ‘85%’ 를 가지며, 장갑에 해당하므로 식 (3.3)의  $Steq$  계산식을 사용한다.

**Table 4.4** Attribute of RightArmor\_T

장갑	세부 장갑	두께	복합 소재 비율(%)
Turret Armor	Right Armor	50	85

식 (4.5)는 ‘RightArmor\_T’의  $Steq$ 를 계산한 식이며, ‘111.2828’이 ‘RightArmor\_T’의 방호 성능이 된다.

$$Steq = \frac{50 \times 7.87 \times 1.2 \times 1.85}{7.85} = 111.2828 \quad (4.5)$$

‘Intercom’을 관통한 이후의 잔여 관통 성능  $P_{res}$ 는 ‘RightArmor\_T’의 관통 해석을 위한 식에서  $P_0$ 가 되며, 식 (4.6)과 같이 계산된다.  $P_{res}$ 의 값이 ‘-5.5658’로 계산되었으므로 위협탄이 ‘RightArmor\_T’를 관통하지 못한 것을 의미한다.

$$P_{res} = 105.717 - 111.2828 = -5.5658 \quad (4.6)$$

Table 4.5는 위협탄 ‘KE\_250’을 좌표 (460,170)로 발사한 것에 대한 시뮬레이션의 결과를 나타낸 표이다. ‘LeftArmor\_T’와 ‘Intercom’은 관통이 되어 ‘100%’의 피해가 발생하였고, ‘RightArmor\_T’는 피격은 당했지만 관통은 되지 않았다. ‘RightArmor\_T’가 입은 피해는 ‘(피해 정도/방호 성능) × 100(%)’로 계산할 수 있으며, ‘(105.717/111.2828) × 100 = 94.9985%’가 된다.

Table 4.5 Result of simulation

피격된 부품	종류	관통 여부	피해(%)
LeftArmor_T	장갑	관통	100
Intercom	일반 부품	관통	100
RightArmor_T	장갑	미관통	94.9985

## 4.2 취약성 분석

4.1절의 시뮬레이션 결과를 이용하여 부품의 중요도를 기반으로 취약성을 분석할 수 있다. 전차의 부품은 ‘공격’, ‘방어’, ‘이동’, ‘통신’, ‘탐지’ 중 하나의 기능을 가지며, 부품의 파손으로 인해 해당 기능을 상실하게 되면 그것이 곧 취약성이 된다. 기능에 따른 피해 기준을 Table 4.6과 같이 F-Kill(Firepower-Kill), A-Kill(Armor-Kill), M-Kill(Mobility-Kill), C-Kill(Communication-Kill), D-Kill(Detection-Kill)로 구분하였다. ‘Projectile’ 과 ‘Fuel Tank’ 가 파손될 경우, 폭발을 일으키거나 전차의 임무 수행이 불가능할 만큼 치명적이므로 피해 기준에서는 전차가 완파되는 것으로 분류하여 K-Kill(Catastrophic-Kill)로 정의하였다[22,23].

Table 4.6 Component classification by criteria

기능	부품	피해 기준
공격	Cannon	F-Kill
	Sight	
	Fire Control System	
방어	Body Armor	A-Kill
	Turret Armor	
	Smoke Bomb Discharger	
이동	Power Train	M-Kill
	Wheel	
통신	Communication Device	C-Kill
탐지	Periscope	D-Kill
	Hatch	
완파	Projectile	K-Kill
	Fuel Tank	

부품의 취약성은 식 (4.7)과 같이 계산된다. 하나의 부품에 대한 취약성은 방호 성능 대비 피해의 정도와 부품 중요도의 곱으로 계산되며, 피격당한 모든 부품의 취약성을 합하면 전차 전체에서의 취약성이 된다.

$$Vulnerability_{all} = \sum_{i=1}^n D_i IC_i \quad (4.7)$$

여기서,  $D$  : 방호 성능 대비 피해의 정도

$IC$  : 부품의 중요도

Table 4.7은 시뮬레이션의 결과에 대한 표로, 식 (4.7)의 취약성 계산식에 적용하면 다음과 같은 과정으로 산정된다. ‘LeftArmor\_T’의 중요도는 ‘0.01485’이며, ‘Intercom’의 중요도는 ‘0.084’이다. ‘RightArmor\_T’의 중요도는 ‘0.01485’이며, 4.1절의 시뮬레이션 결과에서는 ‘94.9985’의 피해를 입었으므로 ‘ $(94.9985/100) \times 0.01485 = 0.0141$ ’의 취약성을 가지게 된다. 피격당한 부품의 취약성을 모두 합하면 ‘ $0.01485 + 0.084 + 0.0141 = 0.11295$ ’가 되어 전체 취약성은 ‘0.11295’가 된다.

**Table 4.7** Importance of attacked components

피격된 부품	피해(%)	중요도
LeftArmor_T	100	0.01485
Intercom	100	0.084
RightArmor_T	94.9985	0.0141

3.3.2절에서 정의한 기능에 따른 가중치를 이용하여, 식 (4.8)의 계산식을 통해 피해 기준에 따른 취약성을 분석할 수 있다. 4.1절의 시뮬레이션에서 피격된 전차의 부품 ‘LeftArmor\_T’와 ‘RightArmor\_T’는 ‘방어’ 부품이고,

‘Intercom’은 ‘통신’부품이다. 즉, 피해 기준은 A-Kill과 C-Kill이 되며, 식 (4.8)의 계산식에 적용하면 다음과 같다. ‘방어’부품은 기능별 분류에서 ‘0.22’의 가중치를 가진다. 따라서 ‘LeftArmor\_T’의 피해 기준에 따른 취약성은 ‘ $0.01485 \times 0.22 = 0.003267$ ’, ‘RightArmor\_T’의 취약성은 ‘ $0.0141 \times 0.22 = 0.003102$ ’가 되며 그 합은 ‘0.006396’이 되며, ‘방어’부품의 전체 취약성 ‘1’ 중 ‘0.006396’의 A-Kill이 발생한 결과가 도출된다. 또한, ‘Intercom’은 ‘통신’부품으로 기능별 가중치는 ‘0.12’를 가진다. 식 (4.8)의 계산식에 적용하여 계산하면 ‘ $0.084 \times 0.12 = 0.01008$ ’이 되어, ‘통신’부품의 전체 취약성 ‘1’ 중 ‘0.01008’의 C-Kill이 발생한 것을 알 수 있다.

$$Vulnerability_x = \sum_{i=1}^n V_{xi} WF_{xi} \quad (4.8)$$

여기서,  $x$  : 부품의 피해 기준

$x = \{F(\text{Firepower}), A(\text{Armor}), M(\text{Mobility}),$   
 $C(\text{Communication}), D(\text{Detection}), K(\text{Catastrophic})\}$

$V$  : 취약성

$WF$  : 기능에 따른 가중치

위와 같은 취약성 분석 방법을 이용하여, 위협탄의 종류 및 관통 성능에 따른 전차의 취약성 분석 실험을 수행하였다. 실험의 입력값은 위협탄의 정보 즉, 위협탄의 종류, 관통 성능, 좌표가 되며, 실험의 결과값은 피격 및 관통된 부품의 정보, 피해의 정도, 피해 기준에 따른 취약성 및 전체 취약성이 된다.

## 1) 실험 1

실험 1에서는 Table 4.8과 같은 운동 에너지탄을 위협탄으로 설정하였다. 위협탄은 ‘KE\_150’, ‘KE\_250’, ‘KE\_350’ 으로 각각 ‘150mm’, ‘250mm’, ‘350mm’ 의 관통 성능을 가진다. 또한, 위협탄이 발사되는 좌표는 (770,130)으로 설정하였다.

**Table 4.8** Data of kinetic energy projectiles : Test 1

위협탄	위협탄 이름	관통 성능(mm)	좌표(x,y)
1	KE_150	150	(770,130)
2	KE_250	250	
3	KE_350	350	

Table 4.9는 Table 4.8의 위협탄을 발사하여 시뮬레이션의 결과로 얻어진 부품의 관통 여부 및 피해의 정도를 나타낸 표이다. 위협탄 ‘KE\_150’ 은 ‘LeftArmor\_B’ 를 관통하여 ‘100%’ 의 피해를 주었고, ‘Caterpillar\_L’ 은 관통하지 못하고 ‘78.316652%’ 의 피해를 주었다. 위협탄 ‘KE\_250’ 은 ‘LeftArmor\_B’ 와 ‘Caterpillar\_L’ 을 관통하여 각각 ‘100%’ 의 피해를 주었고, ‘Transmission’ 은 관통하지 못하고 ‘47.314229%’ 의 피해를 주었다. 위협탄 ‘KE\_350’ 은 ‘LeftArmor\_B’, ‘Caterpillar\_L’, ‘Transmission’ 을 관통하여 각각 ‘100%’ 의 피해를 주었고, ‘Engine’ 은 관통하지 못하고 ‘5.200224%’ 의 피해를 주었다.



**Table 4.9** Penetration check and damage of components : Test 1

위협탄	피격된 부품	관통 여부	피해(%)
1	LeftArmor_B	관통	100
	Caterpillar_L	미관통	78.316652
2	LeftArmor_B	관통	100
	Caterpillar_L	관통	100
	Transmission	미관통	47.314229
3	LeftArmor_B	관통	100
	Caterpillar_L	관통	100
	Transmission	관통	100
	Engine	미관통	5.200224

Table 4.10은 피격된 부품의 취약성 및 피해 기준을 나타낸 표이다. 위협탄 ‘KE\_150’을 비롯한 모든 위협탄이 관통한 ‘LeftArmor\_B’의 취약성은 식 (4.7)의 계산식에 따라 ‘0.04235’가 되며, 장갑에 해당하므로 피해 기준은 A-Kill이 된다. ‘Caterpillar\_L’의 경우, 위협탄 ‘KE\_150’에 의해 피격되었을 때는 관통되지 않았고 ‘78.316652%’의 피해를 입었으므로 취약성은 ‘0.006767’이 되며, 위협탄 ‘KE\_250’ 및 ‘KE\_350’에 의해 피격되었을 때는 완전히 관통되어 ‘100%’의 피해를 입고 취약성은 ‘0.00864’가 된다.

**Table 4.10** Vulnerability of components and kill-type : Test 1

위협탄	피격된 부품	부품 취약성	피해 기준
1	LeftArmor_B	0.04235	A-Kill
	Caterpillar_L	0.006767	M-Kill
2	LeftArmor_B	0.04235	A-Kill
	Caterpillar_L	0.00864	M-Kill
	Transmission	0.019872	M-Kill
3	LeftArmor_B	0.04235	A-Kill
	Caterpillar_L	0.00864	M-Kill
	Transmission	0.042	M-Kill
	Engine	0.002184	M-Kill

Table 4.11은 Table 4.9 및 Table 4.10의 결과를 통해 도출된 취약성 분석의 결과를 나타낸 표이다. 실험 1에서는 관통 성능만 다르게 설정한 세 위협탄 ‘KE\_150’, ‘KE\_250’, ‘KE\_350’을 발사하였고, 발사된 좌표는 (770,130)으로 동일하다. 좌표 (770,130)에 해당하면서 가장 최초로 피격되는 부품은 ‘LeftArmor\_B’ 이고, 세 위협탄 모두가 ‘LeftArmor\_B’를 관통하였다. Table 4.11의 피해 기준에 따른 취약성에서 A-Kill에 해당하는 부품은 ‘LeftArmor\_B’가 유일하다. 좌표 (770,130)에 해당하면서 가장 마지막으로 피격될 수 있는 부품인 ‘RightArmor\_B’까지는 관통 성능이 전달되지 못하였고, 만약 위협탄 ‘KE\_350’보다 더 큰 관통 성능을 가진 위협탄에 의해 피격되었다면 ‘RightArmor\_B’까지 관통할 수도 있다. M-Kill에는 ‘Caterpillar\_L’, ‘Transmission’, ‘Engine’이 해당하며, 위협탄의 관통 성능에 따른 피해 정도에 근거하여 취약성이 계산되었다.

**Table 4.11** Vulnerability analysis result : Test 1

위협탄	피해 기준에 따른 취약성		전체 취약성
1	F-Kill	0	0.049117
	A-Kill	0.04235	
	M-Kill	0.006767	
	C-Kill	0	
	D-Kill	0	
2	F-Kill	0	0.070862
	A-Kill	0.04235	
	M-Kill	0.028512	
	C-Kill	0	
	D-Kill	0	
3	F-Kill	0	0.095174
	A-Kill	0.04235	
	M-Kill	0.052824	
	C-Kill	0	
	D-Kill	0	

**2) 실험 2**

실험 2에서는 화학 에너지탄을 위협탄으로 선정하였고, 위협탄은 ‘CE\_100’, ‘CE\_180’, ‘CE\_260’ 으로 각각 ‘100mm’, ‘180mm’, ‘260mm’ 의 관통 성능을 가진다. 또한 화학 에너지탄은 Table 3.4의 정의에 따라 피격 범위를 가지며 전차의 배율을 ‘1.2’ 로 설정하였기 때문에, 위협탄 ‘CE\_100’, ‘CE\_180’, ‘CE\_260’ 은 각각 ‘4.8’, ‘7.2’, ‘9.6’ 의 피격 범위를 가진다.

**Table 4.12** Data of chemical energy projectiles : Test 2

위협탄	위협탄 이름	관통 성능(mm)	피격 범위( $\pm x,y$ )	좌표(x,y)
1	CE_100	100	4.8	(480,191)
2	CE_180	180	15	
3	CE_260	260	25.2	

Table 4.13은 Table 4.12의 위협탄을 발사하여 시뮬레이션의 결과로 얻어진 부품의 관통 여부 및 피해의 정도를 나타낸 표이다. 위협탄 ‘CE\_100’은 ‘LeftArmor\_T’에 ‘89.861144%’의 피해를 주었고, 위협탄 ‘CE\_180’은 ‘LeftArmor\_T’와 ‘Intercom’을 관통하여 각각 ‘100%’의 피해를 주었다. 또한 위협탄 ‘CE\_260’은 ‘LeftArmor\_T’와 ‘Intercom’, ‘Hatch 2’를 관통하여 각각 ‘100%’의 피해를 주었고, ‘Sight’에는 ‘98.8282%’의 피해를 주었다.

**Table 4.13** Penetration check and damage of components : Test 2

위협탄	피격된 부품	관통 여부	피해(%)
1	LeftArmor_T	미관통	89.861144
2	LeftArmor_T	관통	100
	Intercom	관통	100
3	LeftArmor_T	관통	100
	Intercom	관통	100
	Hatch 2	관통	100
	Sight	미관통	98.8282

Table 4.14는 피격된 부품의 취약성 및 피해 기준을 나타낸 표이다. 위협탄

‘CE\_100’에 의해 피격된 부품은 ‘LeftArmor\_T’이며, 위협탄이 관통하지 못했기 때문에 ‘89.861144%’의 피해에 대한 취약성 ‘0.048929’를 가진다. 위협탄 ‘CE\_180’ 및 ‘CE\_260’은 ‘LeftArmor\_T’와 ‘Intercom’을 관통하였고, 위협탄 ‘CE\_260’은 피격 범위에 따라 ‘Hatch 2’를 관통하고, ‘Sight’에도 피해를 주었다. ‘Sight’는 피격을 받았지만 관통되지는 않았으므로, ‘98.8282%’의 피해에 대한 ‘0.041508’의 취약성을 가진다.

**Table 4.14** Vulnerability of components and kill-type : Test 2

위협탄	피격된 부품	부품 취약성	피해 기준
1	LeftArmor_T	0.048929	A-Kill
2	LeftArmor_T	0.05445	A-Kill
	Intercom	0.084	C-Kill
3	LeftArmor_T	0.05445	A-Kill
	Intercom	0.084	C-Kill
	Hatch 2	0.02079	D-Kill
	Sight	0.041508	F-Kill

Table 4.15는 Table 4.13 및 Table 4.14의 결과를 통해 도출된 취약성 분석의 결과를 나타낸 표이다. 실험 2에서는 관통 성능 및 피격 범위를 다르게 설정한 세 위협탄 ‘CE\_100’, ‘CE\_180’, ‘CE\_260’을 발사하였고, 발사된 좌표는 (480,191)로 동일하다. 운동 에너지탄을 발사한 실험 1과는 달리 피격 범위가 고려되었기 때문에, 위협탄 ‘CE\_180’ 및 ‘CE\_260’의 경우에는 관통 성능에 의한 공격뿐만 아니라 피격 범위에 있는 부품에도 영향을 미쳤고 그 결과가 반영되었다.

**Table 4.15** Vulnerability analysis result : Test 2

위협탄	피해 기준에 따른 취약성		전체 취약성
1	F-Kill	0	0.048929
	A-Kill	0.048929	
	M-Kill	0	
	C-Kill	0	
	D-Kill	0	
2	F-Kill	0	0.13845
	A-Kill	0.05445	
	M-Kill	0	
	C-Kill	0.084	
	D-Kill	0	
3	F-Kill	0.041508	0.200748
	A-Kill	0.05445	
	M-Kill	0	
	C-Kill	0.084	
	D-Kill	0.02079	

## 제 5 장 결 론

전투 시스템의 취약성을 분석하기 위해 위협탄을 전투 시스템에 직접 발사하는 실험 방법은 많은 비용 및 시간이 소요되고, 사람이 직접 실험을 하기 때문에 안전에 관한 문제가 따른다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위한 대안으로 모델링 및 시뮬레이션 기법을 전투 시스템에 도입하였고, 전투 시스템 중 전차를 선정하여 취약성을 분석하는 연구를 하였다.

본 논문에서는 SES/MB 프레임워크 및 DEVS 형식론을 전차에 적용하여 복잡한 구조를 가진 전차의 부품을 체계적으로 표현하였고, 위협탄의 입력에 따른 부품의 동적인 변화를 명세하여 융통성 있는 분석이 가능함을 검증하였다. 군사 보안상 실제 데이터를 수집하는 것이 불가능하기 때문에 일반적으로 알려진 기준에서 부품의 속성 및 장갑의 속성을 정의하여 방호 성능을 산정하였으며, 관통 해석식을 통해 위협탄의 관통 여부 및 피해 정도를 결정하였다. 취약성 분석의 결과로 전차 전체에서 차지하는 개별 부품의 중요도와 전차의 주요 기능 내에서 차지하는 중요도를 기반으로, 전차의 전체 취약성 및 피해 기준에 따른 취약성을 평가하였다. 본 논문에서 제안한 취약성 분석 방법은 전차 이외의 다른 전투 시스템에 적용할 수 있고, 여러 전투 시스템의 취약성을 분석하기 위한 확장된 시스템을 구성하기에 용이하며 그 기반을 마련하였다.

향후에는 전차의 장갑이 관통되어 특정 부품이 파손되거나 폭발이 발생했을 경우, 그 영향력으로 인해 다른 부품이 입을 수 있는 피해에 대한 분석도 고려되어야 한다. 또한, 통합 전투 시스템에서 취약성 분석이 가능하도록 시스템을 구축해야 하며, 다양한 위협요인 및 조건을 적용하는 추가적인 연구가 필요하다. 본 논문에서는 위협탄이 직선으로 관통하는 것으로 가정하였지만, 위협탄의 속도에 따른 비행 형태 및 비행 중에 상실하는 에너지 등을 고려한 신뢰성 높은 모델을 적용하여 취약성을 분석하는 연구가 필요할 것이다.

## 감사의 글

부족한 저를 이끌어주시고 옆에서 끝까지 도와주신 이장세 교수님께 먼저 감사의 말씀을 드립니다. 기대치만큼 해내지 못한 것 같아 죄송스러운 마음이 크며, 그동안의 보살핌에 다시 한번 감사드립니다. 바쁘신 와중에 논문 심사 및 지도를 해주신 류길수 교수님과 박휴찬 교수님께 감사드리며 김재훈 교수님, 신옥근 교수님, 손주영 교수님, 이서정 교수님께도 그동안의 지도와 격려에 감사드립니다. 또, 대학생활 내내 어려움이 없도록 많은 도움을 주시고 따뜻하게 대해주신 강군호 조교님과 김정언 조교님께 감사드립니다.

보안시물레이션 연구실에서 함께 생활한 황훈규 형님. 더 좋은 후배가 되어야 하는데 그러지 못하고 졸업하게 되었습니다. 막상 연구실을 떠난다고 생각하니 매우 섭섭하고 많이 생각날 것 같습니다. 챙겨주셔서 감사드리고 좋은 추억들 간직하겠습니다. 많이 도와주지 못해 미안한 연구실 후배 유병규님, 전우성님, 강지원님께도 감사드리며, 논문 검토를 도와주신 서형원 형님께 감사드립니다. 대학생활에 정신적인 지주가 되어주시고, 부족한 후배에게 주말도 반납하면서 큰 도움을 주신 송재훈 형님께도 진심으로 감사드립니다. 그동안 투정 다 받아주고 여러모로 고생시켜 미안한 동생 김승기님에게도 고마움을 표하며, 먼저 학교를 떠나신 문성미 누님, 서수경 형님, 권홍석 형님, 이재웅님, 이재홍님, 정구진님께도 감사드립니다. 인생 선배로서 아낌없이 상담해주고 이끌어주시는 김기웅 형님을 비롯한 모든 친척 형님들, 친척 어른들께 감사드립니다. 항상 우리가족을 보살펴주시고 신경 써 주시는 정현정 약사님, 김정연님께도 감사드립니다. 부족한 아들에게 무한한 지원을 해주시며, 보여드린 것 하나 없는 저를 오랫동안 믿고 기다려주신 부모님과 동생. 감사하고 사랑합니다. 지면을 빌려 감사의 말을 전했는데, 나열하지 못한 고마운 분들이 너무나도 많습니다. 미처 언급하지 못한 많은 분들께 죄송스러움을 표합니다.

마지막으로 석사과정을 시작할 수 있게 해준, 늘 곁에서 응원해주고 힘이 되어주는 주하나님께 고맙고 사랑한다는 말을 전합니다.



## 참고문헌

- [1] Michael O. Said, 1995. Theory and practice of total ship survivability for ship design. *Naval Engineers Journal*, 107(4), pp.191-203.
- [2] 황훈규, 김헌기, 이장세, 2012. 전투 시스템 생존성 분석을 위한 에이전트 기반 모델링 및 시뮬레이션. *한국정보통신학회논문지*, 16(12), pp.2581-2588.
- [3] 진근찬, 최창, 1992. 전투차량의 취약성 분석 및 감소기법. *국방과 기술*, 166, pp.48-55.
- [4] CONDAT GSS, <http://www.condat-scheyern.de/>
- [5] Alion Science and Technology MOTISS, <http://www.alionscience.com/>
- [6] Ball, R.E., 1985. *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*. AIAA education series: New York
- [7] 황훈규, 김헌기, 이장세, 이헌주, 박종서, 2013. 전투 시스템 통합 생존성 분석을 위한 관통 해석 프로그램의 개발. *2013년도 한국군사과학기술학회 종합학술대회*. pp.1997-1998.
- [8] 황훈규, 이재웅, 이장세, 박종서, 2015. 전투 시스템 생존성 분석을 위한 3차원 관통 해석 프로그램 개발 : 전차 모델을 대상으로. *한국정보통신학회논문지*, 19(1), pp.244-250.
- [9] 황훈규, 이장세, 이승철, 박영주, 이해평, 2013. 전투 시스템의 순간 화재 예측 프로그램 개발. *한국정보통신학회논문지*, 17(1), pp.255-261.
- [10] 황훈규, 김헌기, 이장세, 이헌주, 이은민, 이해평, 2013. 순간 화재에 의한 전투 시스템 취약성 분석 프로그램의 개발. *2013년도 한국군사과학기술학회 종합학술대회*. pp.1999-2000.
- [11] 김광식, 이장현, 황세윤, 2011. 취약면적 기반의 함정 취약성 간이 평가 방법에 관한 연구. *대한조선학회논문집*, 48(5), pp.404-413.

- [12] 공연권, 이현엽, 정정훈, 최완수, 2011. 함정 개념설계 단계에서의 취약성 해석 방법에 관한 연구. *2011년도 대한조선학회 정기총회 및 추계학술대회*. pp.777-782.
- [13] 양주석, 최영진, 이경태, 지철규, 2012. 전투기 개념설계 단계의 Fuzzy 이론을 적용한 전투기 취약도 분석기법 연구. *2012년도 한국항공우주학회 춘계학술대회*. pp.812-817.
- [14] 장은수, 박강, 최상영, 2014. 지상전투차량의 취약성 평가를 위한 탄의 특성 비교. *2014년도 한국CAD/CAM학회 하계학술대회 논문집*. pp.197-199.
- [15] 황훈규, 박동욱, 박종일, 이장세, 류길수, 2014. 부품별 고장 영향 및 교체 알람을 제공하는 시설물 관리 시스템의 개발. *한국마린엔지니어링학회지*, 38(4), pp.456-462.
- [16] 황훈규, 김헌기, 이재웅, 이장세, 2014. 전투 시스템 생존성 분석을 위한 주요 부품의 중요도 산정 기법 연구. *2014 제1회 미래국방컨퍼런스 발표자료집*, pp.145-146.
- [17] 황훈규, 이재웅, 유병규, 이장세, 2015. 부품의 중요도를 활용한 3차원 전차 모델 기반 생존성 분석 시스템 개발. *한국정보통신학회논문지*, 19(5).
- [18] Zeigler, B.P., 1990. *Object-oriented Simulation with Hierarchical, Modular Models: Intelligent Agents and Endomorphic systems*, Academic Press.
- [19] Zeigler, B.P., 1984. *Multifaceted Modeling and Discrete Event Simulation*, Academic Press.
- [20] 김헌기, 황훈규, 강지원, 이장세, 2015. 전차 취약성 분석을 위한 DEVS 기반 시뮬레이션 아키텍처 설계. *2015 한국군사과학기술학회 종합학술대회*.

- [21] W. E. Baker, J. H. Smith and W. A. Winner, 1993. *Vulnerability/Lethality Modeling of Armored Combat Vehicles - Status and Recommendations*. Army Research Laboratory, U. S.
- [22] Michael V. Carras Jr, 2006. BDA Enhancement Methodology using Situational Parameter Adjustments. *Air Force Institute of Technology*.
- [23] M. D. Burdeshaw, J. M. Abell, S. K. Price, and L. K. Roach, 1993. *Degraded States Vulnerability Analysis of a Foreign Armored Fighting Vehicle*. Army Research Laboratory, U. S.

