

전투 시스템 생존성 분석을 위한 3차원 관통 해석 프로그램 개발 : 전차 모델을 대상으로

황훈규¹ · 이재웅² · 이장세^{2*} · 박중서³

A Development of 3D Penetration Analysis Program for Survivability Analysis of Combat System : Focused on Tank Model

Hun-Gyu Hwang¹ · Jae-Woong Lee² · Jang-Se Lee^{2*} · Jong-Sou Park³

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

³Department of Computer Engineering, Korea Aerospace University, Goyang 412-791, Korea

요 약

국방과 관련하여 주어진 임무를 수행하는 전투 시스템은 외부 위협에 의한 피해를 회피하여야 하며, 만약 피해를 입더라도 이를 최소화시켜 지속적인 임무 수행이 가능해야 한다. 이러한 이유로 외부 위협에 대한 전투 시스템의 취약점을 분석하고, 이를 개선하여 전투 시스템의 생존성을 향상시키기 위한 목적의 모델링 및 시뮬레이션 기반의 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 전투 시스템 생존성 분석을 위하여 3차원 관통 해석 프로그램을 개발하는 것에 관한 내용을 다룬다. 이를 위해, 전투 시스템 중 전차를 대상으로 외부 위협과 방호 성능에 따른 관통 해석식을 적용하였다. 실험을 위하여 3차원 CAD 기반으로 전차를 단순화하여 모델링하고, 시나리오에 따른 실험을 통해 개발한 프로그램이 설정된 장갑과 외부 위협의 속성에 따른 관통 해석 및 결과의 시각화가 가능함을 보였다.

ABSTRACT

Survivability is avoidance and tolerance ability of combat systems for accomplishing mission in battle field. Therefore, the combat system has to protect or minimize any damage from threats. For this reason, many modeling and simulation based studies which analyze vulnerability of the combat system by threats, are in progress to improve survivability of the combat system. In this paper, we developed a 3D penetration analysis program for survivability analysis of combat system. To do this, we applied the penetration analysis equation to threat and protection performance of tank. Also we implemented simple tank models based on 3D CAD, and tested the developed program using the implemented tank models. As a result, we verified the developed program that is possible to analyze penetration by threat and protection performance of tank and to visualize its result, based on scenarios.

키워드 : 관통 해석, 생존성 분석, 전투 시스템, 전차(장갑차), 모델링 및 시뮬레이션

Key word : Penetration analysis, Survivability analysis, Combat system, Tank(armored vehicle), Modeling and simulation

접수일자 : 2014. 12. 08 심사완료일자 : 2014. 12. 23 게재확정일자 : 2015. 01. 02

* **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.2015.19.1.244>

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

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

I. 서론

전투 시스템은 국방과 관련하여 주어진 임무를 수행하는 시스템을 의미한다. 전투 시스템은 외부 위협에 의한 피해를 차단 및 회피하거나, 피해를 입더라도 그것을 최소화시켜 지속적인 임무 수행이 가능해야 한다[1]. 이를 위해 설계 단계에서부터 외부 위협에 대한 전투 시스템의 취약점을 분석하고, 이를 개선하여 전투 시스템의 생존성을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 전투 시스템의 생존성을 저하시키는 대표적인 외부 위협으로는 총탄이나 포탄 등을 들 수 있다. 만약, 전투 시스템이 외부 위협에 의해 피격되면 전투 시스템을 구성하는 부품의 파손, 화재(폭발) 등을 비롯하여 승무원의 부상 혹은 사망 등의 피해가 발생할 수 있으며, 이로 인해 전투 시스템의 임무 수행 능력이 상실될 수 있다. 따라서 외부 위협에 대한 전투 시스템의 피해를 예측 및 분석하여 취약성을 찾고, 전투 시스템의 설계/제작 및 개선/보강 단계에서부터 취약성을 개선하여 생존성을 향상시켜야 한다[2-5]. 이를 위한 가장 기본적인 첫 단계로서 전투 시스템 장갑의 관통 해석이 요구된다.

전투 시스템의 취약성을 분석하고 이를 개선하기 위한 가장 좋은 방법은 실제 전투 시스템에 직접 위협을 가해 실험하는 것이다. 하지만 이러한 방법은 그 위험성으로 인하여 실험에 있어 시공간적 제약이 뒤따르며, 많은 경제적 손실을 야기하는 등의 문제를 수반한다. 이러한 이유로 인하여 오래전부터 국방 분야에 모델링 및 시뮬레이션(M&S: Modeling and Simulation) 기법이 도입되었고, 이를 기반으로 하는 분석 프로그램이 널리 활용되고 있다. 하지만 전투 시스템 취약성 분석을 목적으로 하는 프로그램은 외국에서 개발한 것들이 주를 이루고 있다. 하지만 이러한 프로그램들은 소스 코드 등 프로그램 내부가 공개되지 않아 특정 요구에 대한 즉각적인 수정의 어려움 등의 이유로 인해 우리나라의 실정에 맞는 프로그램의 개발이 필요하다[2].

본 논문에서는 전투 시스템의 생존성 분석을 위한 기초 연구로서 관통 해석 프로그램의 개발에 관한 내용을 다룬다. 이를 위해, 전차의 외부 위협의 관통 성능과 방호 성능에 따른 관통 유/무를 해석하기 위한 관통 해석식을 적용하였다. 또한, 3차원 그래픽 라이브러리인 Open CASCADE를 기반으로 프로그램을 구현하여 관

통 해석 및 결과를 시각화하였으며, 두 가지 시나리오를 설정하여 개발한 프로그램을 실험하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관통 해석 프로그램 개발에 있어서 전투 시스템, 외부 위협, 방호 성능에 관한 연구 범위를 설정하고, 3장에서는 관통 해석식을 설명하며, 프로그램의 내부 동작 과정을 설계한다. 또한 4장에서는 관통 해석을 위한 3차원 전차 모델 및 개발한 프로그램의 사용자 인터페이스를 설명한다. 5장에서는 시나리오를 정의하여 실험을 수행하며, 6장의 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

II. 연구 목적 및 범위

2.1. 전투 시스템

전투 시스템이란, 육상, 해상, 수중, 공중 등에서 국방과 관련된 임무 수행 능력을 지닌 시스템을 의미하며, 임무에 따라 다양한 크기 및 종류를 가진 전투 시스템이 존재한다. 대표적으로 육상에는 전차, 장갑차 등이 있고, 해상은 구축함, 호위함, 초계함, 고속정 등이 있다. 또한, 수중은 잠수함이 있으며, 공중은 전투기, 폭격기, 정찰기, 수송기 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 여러 전투 시스템 중 전차를 대상으로 하는 관통 해석 프로그램에 관한 내용을 다룬다.

2.2. 외부 위협

외부 위협이란, 전투 시스템의 임무 수행 능력에 영향을 주는 외부 요소를 의미한다. 전차에는 육상을 비롯하여 공중으로부터 가해지는 외부 위협 또한 존재할 수 있지만, 육상일 경우를 중심으로 외부 위협의 종류를 살펴보면 일반적으로 대전차 포탄이나 대전차 지뢰가 있다. 주로 대전차 포탄은 장갑을 관통하여 피해를 줌으로써 전차를 파괴하거나 무력화시키기 위한 목적을 지니고, 대전차 지뢰는 무한궤도를 손상시켜 전차의 이동성을 저하시키기 위한 목적을 지닌다. 본 논문에서는 여러 외부 위협 중 **대전차 포탄**에 의한 관통을 해석하는 것에 관한 내용을 다룬다.

2.3. 방호 성능

전차의 방호 성능은 표면경화장갑이나 균질압연장갑(RHA, rolled homogeneous armor) 등 장갑의 제조/가

공 방법에 따른 재질 및 밀도, 두께 등에 의해서 결정된다. 하지만, 최근에는 외부 위협이 계속해서 발전하여 피해가 증가함에 따라 방호 성능을 높이기 위한 수단으로 복합장갑이나 반응장갑 등이 등장하게 되었고, 능동 방어체계(APS, active protection system)와 같은 첨단 장비도 탑재되고 있다. 이에 따라, 전차의 방호 성능은 장갑뿐만 아니라 다른 요소들도 종합적으로 고려되어 결정되어야 한다. 본 논문에서는 전차의 방호 성능은 기본 요소만을 고려하여 **균질압연장갑**을 기준으로 환산하여 적용한다.

III. 설 계

3.1. 관통 해석식

관통 유무 및 잔류 관통 성능의 해석을 위해서는 대전차 포탄과 같은 외부 위협의 관통 성능 및 전차의 장갑 효율이 고려되어야 한다. 여러 관통 해석식이 존재하지만, 본 논문에서는 독일의 CONDAT사에서 개발한 장갑차 및 전차에 대한 탄도 시뮬레이션 프로그램인 GSS(Gesamt Schutz Simulation)에서 사용되는 관통 해석식을 적용하였으며 이는 식 (1)과 식 (2)에 나타내었다[6, 7].

$$Steq = \frac{L_{Path} \times \rho_{Armor}}{\rho_{RHA}} \quad (1)$$

$$P_{res} = P_0 - Steq \quad (2)$$

여기서, 식 (1)의 Steq는 기준 물질인 RHA 대비 장갑의 방호 성능, LPath는 관통 경로에 의한 장갑 두께(path length), ρArmor는 장갑의 밀도, ρRHA는 기준 물질인 RHA의 밀도(ρRHA = 7.85g/cm³)를 의미한다. 또한 식 (2)의 Pres는 잔류 관통 성능, P0는 외부 위협의 관통 성능을 의미한다. 이때, 계산된 Pres가 양수 값이면 관통이 되었다는 것을 의미하며, 음수 값이면 관통되지 않았다는 것을 의미한다[3].

예를 들어, 관통 경로에 의한 장갑 두께(LPath)가 600mm이고, 장갑의 밀도(ρArmor)가 4g/cm³이면, Steq는 식 (1)에 의해 “600 × 4 ÷ 7.85 = 305.73”이 된다. 또한 외부 위협의 관통 성능(P0)이 400mm이라고 가정하

면, 잔류 관통 성능(Pres)은 식 (2)에 의해 “400 - 305.73 = 94.27”이 된다. 따라서 장갑이 외부 위협에 의해 관통되었고, 잔류 관통 성능이 “94.27”이라는 것을 알 수 있다. 이렇게 얻어진 잔류 관통 성능에 대한 값은 향후 전투 시스템 내부의 부품 손상에 따른 생존성 분석에 활용 예정이다[8].

3.2. 프로그램의 동작 과정

본 논문에서 개발한 관통 해석 프로그램의 동작 과정은 그림 1과 같다. 먼저, 부품 단위로 모델링된 전투 시스템의 3차원 CAD 모델을 불러온 후 표시하고, 외부 위협 및 장갑을 설정한다. 또한 표시된 3차원 모델을 기반으로 관통 해석을 수행할 위치에 관통선(shot line)을 설정하고, 구현한 3차원 교차점 분석 함수를 통해 관통선과 해당 장갑이 교차하는지를 검사한 후, 만약 교차한다면 설정된 외부 위협 및 장갑의 속성 정보를 관통 해석식에 대입하여 관통 해석을 수행하게 된다. 그 후, 해석 결과는 결과 창에 출력해주며, 위험도에 따라 표시된 3차원 장갑 모델의 색상 변화를 통해 시각화한다.

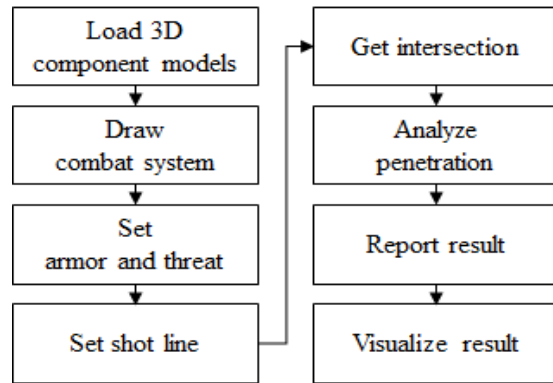


그림 1. 관통 해석 프로그램 흐름도
Fig. 1 Flow chart for penetration analysis program

IV. 구 현

4.1. 개발 환경 및 Open CASCADE

전투 시스템 생존성 분석을 위한 3차원 관통 해석 프로그램의 개발을 위한 환경으로 운영체제는 Windows 7 64bit, 개발 도구는 Visual Studio 2008(.NET Framework

3.5), 언어는 C++ 및 C#을 이용하였으며, 그래픽 라이브러리인 Open CASCADE를 이용하여 3차원 모델의 표현을 하였다. Open CASCADE는 3D CAD, CAM, CAE 등을 활용할 수 있도록 해주는 3차원 그래픽 소프트웨어 개발 플랫폼으로, 다양한 기능을 API 형태로 제공하는 오픈 소스 기반의 그래픽 라이브러리이다[3, 9].

4.2. 전차 모델링

관통 해석을 위해 단순 전차 모델을 3차원 CAD를 기반으로 그림 2와 같이 모델링하였다. 모델링한 전차는 회전포탑부(top), 몸체부(bottom), 무한궤도(caterpillar), 주포(cannon), 몸체부 전면 장갑(bottom front armor), 몸체부 좌/우측면 장갑(bottom left/right armor)으로 나누어진다. 여기서 관통 해석의 대상이 되는 장갑 부분은 몸체부 전/측면 장갑 즉, 그림 2에서 빨간색으로(진하게) 표시된 부분이라고 가정한다.

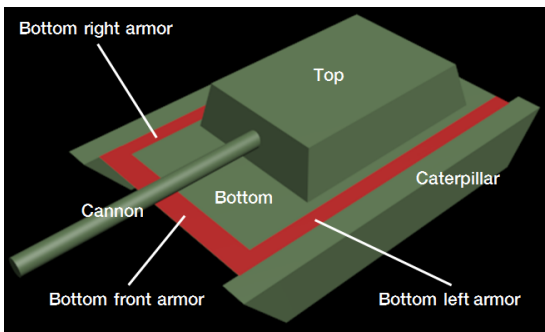


그림 2. 관통 해석을 위해 모델링한 단순 전차 모델
Fig. 2 Simple tank modeling for penetration analysis

4.3. 사용자 인터페이스

구현한 프로그램의 사용자 인터페이스는 그림 3과 같다. 화면의 상단에 파일 메뉴 및 3차원 모델의 확대, 축소, 이동, 회전 등을 위한 “3차원 모델 시각화 제어부”가 있으며, 좌측 상단에 전투 시스템을 구성하는 부품 목록을 표시하고, 그 중 관통 해석의 대상이 되는 장갑을 선택하기 위한 “구성 부품 목록 표시 및 장갑 선택부”가 위치한다. 좌측 하단에는 선택한 장갑에 대한 재질, 두께, 밀도의 속성을 설정하는 “장갑 설정부”가 있으며, 화면의 중앙에 전투 시스템의 3차원 모델을 시각화하고, 더블 클릭을 이용하여 관통선을 설정하는 “3차원 모델 시각화 및 관통선 설정부”가 위치한다. 또한 화

면의 중앙 하단에 해석 결과를 텍스트로 출력해주는 “분석 결과 출력부”가 있으며, 화면의 오른쪽에 외부 위협의 포탄 종류 및 관통 성능을 설정하는 “외부 위협 설정부” 및 “범례 표시부”가 있다.

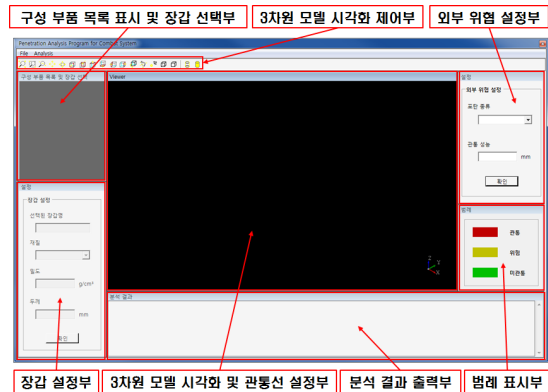


그림 3. 관통 해석 프로그램의 사용자 인터페이스
Fig. 3 User interface of penetration analysis program

V. 실 험

구현한 관통 해석 프로그램을 관통의 경우(몸체부 전면 장갑)와 미관통의 경우(몸체부 좌측면 장갑)의 두 가지 경우에 해당하는 시나리오를 설정하여 실험해 보았다.

5.1. 시나리오 1 : 관통(몸체부 전면 장갑)

- **설정:** 분석 대상으로 몸체부 전면 장갑(bottom front armor)을 선택하였다. 이때, 장갑의 재질은 “RHA”, 그에 따른 밀도는 RHA의 기준 값인 “ 7.85 g/cm^3 ”, 두께는 “600 mm”로 설정하였다.

- **분석 및 결과:** 외부 위협을 관통 성능이 “650 mm”인 “운동에너지탄”으로 설정하였으며, 몸체부 전면 장갑을 지나도록 관통선을 설정한 후 관통 해석을 수행하였으며, 그 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 분석 결과 출력부를 보면, 관통 해석식에 의해 계산된 잔류 관통 성능은 약 “50”으로 관통이 되었다는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 3차원 모델 시각화부의 몸체부 전면 장갑의 색깔이 빨간색으로 표시된다.

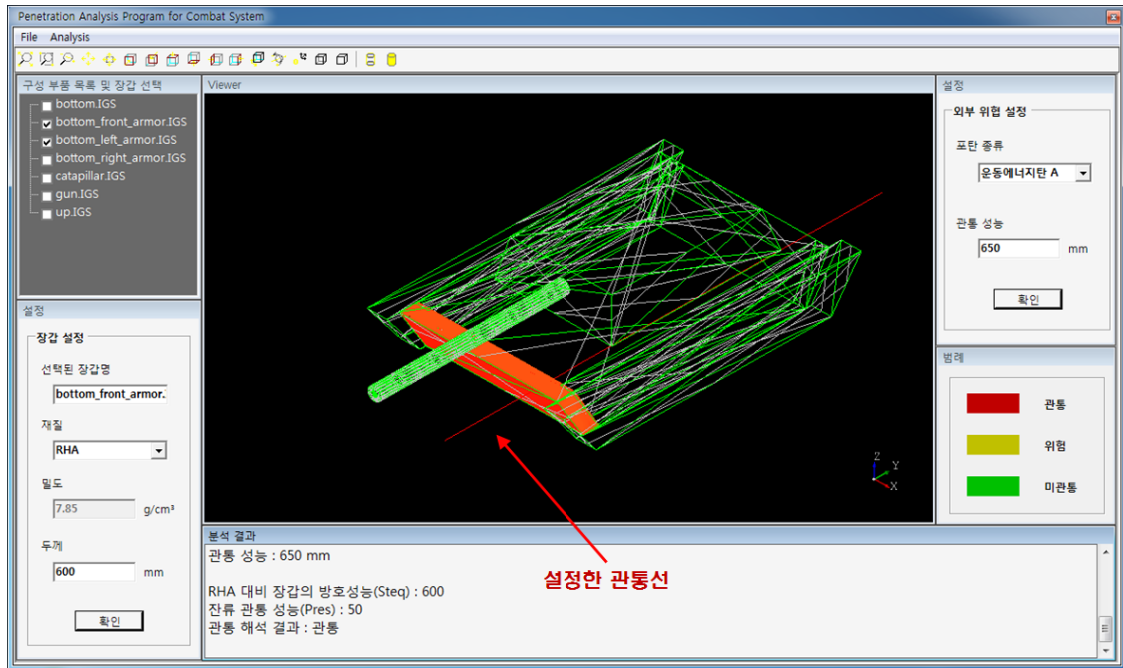


그림 4. 시나리오 1의 관통 해석 결과 : 관통(몸체부 전면 장갑)
 Fig. 4 Penetration analysis result of scenario 1 : penetration(bottom front armor)

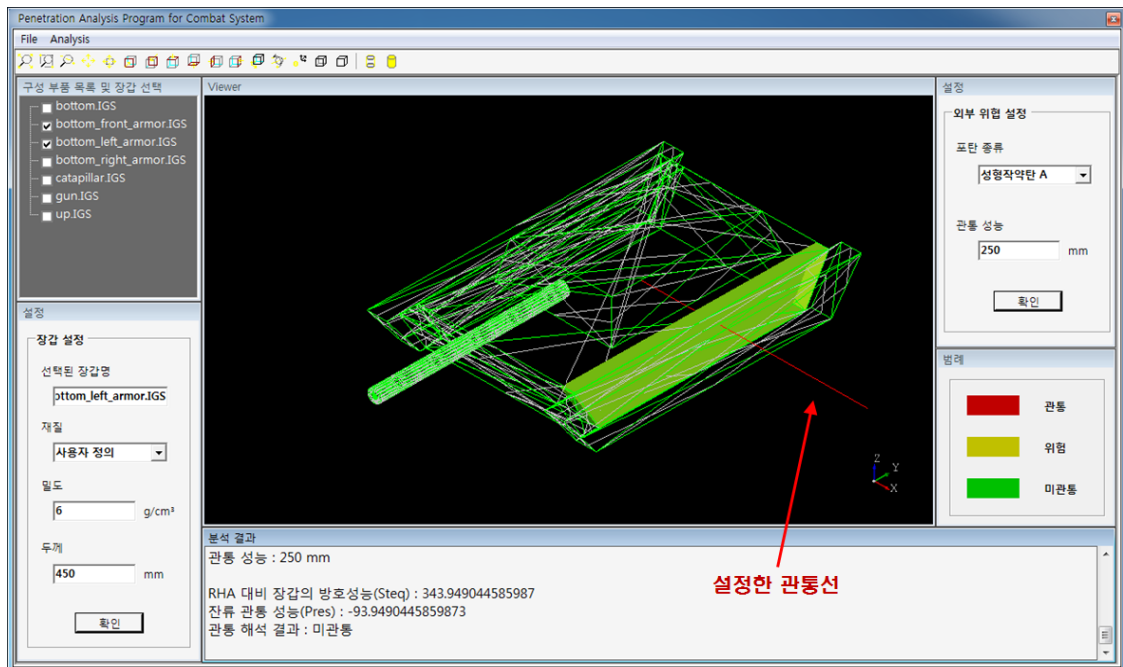


그림 5. 시나리오 2의 관통 해석 결과 : 미관통(몸체부 좌측면 장갑)
 Fig. 5 Penetration analysis result of scenario 2 : non-penetration(bottom left armor)

5.2. 시나리오 2 : 미관통(몸체부 좌측면 장갑)

- **설정:** 몸체부 좌측면 장갑(bottom left armor)을 선택하였다. 이때, 장갑의 재질은 “사용자 정의”, 그에 따른 밀도는 “ 6 g/cm^3 ”, 두께는 “ 450 mm ”로 설정하였다.

- **분석 및 결과:** 외부 위협을 관통 성능이 “ 250 mm ”인 “성형작약탄”으로 설정하였으며, 몸체부 좌측면 장갑을 지나도록 관통선을 설정한 후 관통 해석을 수행하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다. 그림 5의 분석 결과 출력부를 보면, 관통 해석식에 의해 계산된 잔류 관통 성능이 약 “ -93.95 ”로 관통이 되지 않았다는 것을 확인할 수 있으며, 이에 따라 3차원 모델 시각화부의 몸체부 좌측면 장갑의 색깔이 초록색으로 표시된다.

VI. 결론 및 향후 연구

모델링 및 시뮬레이션 기반의 분석 프로그램은 다양한 분야에서 활용되고 있다. 시공간의 제약 및 비용 등의 문제로 국방 분야에서도 많이 적용되고 있으나, 대부분의 분석 프로그램은 외국산이 주를 이루고 있어 우리나라의 실정에 맞는 모델링 및 시뮬레이션 기반 분석 프로그램의 개발이 요구되어 왔다. 본 논문에서는 전투 시스템의 통합적인 생존성 분석을 위한 첫 단계로서 관통 해석 프로그램의 개발에 관한 내용을 다루었다. 개발한 프로그램은 전차의 외부 위협과 방호 성능 등을 설정하고, 관통선에 해당하는 장갑이 교차하는지를 검사한 후, 관통 해석식을 적용하여 그 결과를 분석하고, 3차원으로 시각화해준다. 개발한 프로그램은 생존성 향상을 위하여 전투 시스템의 설계 및 제작 단계에서 활용될 수 있을 것이다. 관통 해석의 결과로 얻어진 잔류 관통 성능은 전투 시스템 내부의 부품에 미치는 영향 분석에 활용될 수 있을 것이다.

향후 연구로는 첫째, 전투 시스템의 특성 등을 고려하여 전차뿐만 아니라 다른 전투 시스템으로의 분석 대상을 확대하는 것이 필요하며, 둘째, 대전차 포탄뿐만 아니라 다른 외부 위협(대전차 지뢰 혹은 육/해/공으로부터 가해지는 다른 위협 등)들을 종합적으로 고려하기 위한 연구가 필요하다. 셋째, 방호 성능에 영향을 주는 요소들(복잡장갑, 반응장갑, 능동방어체계 등)을 정량적으로 표현해주기 위한 연구가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 국방과학연구소 생존성기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음 (계약번호 UD1200190D)

REFERENCES

[1] Michael O. Said, “Theory and practice of total ship survivability for ship design,” *Naval Engineers Journal*, vol. 107, issue 4, pp. 191-203, 1995.

[2] H. G. Hwang, H. K. Kim and J. S. Lee, “An agent based modeling and simulation for survivability analysis of combat system,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 16, no. 12, pp. 2581-2588, 2012.

[3] H. G. Hwang, H. K. Kim, J. S. Lee, H. J. Lee and J. S. Park, “A development of penetration analysis program for analyzing survivability of combat system,” in *Proceeding of The 2013 Annual Conference of Korea Institute of Military Science and Technology*, Jeju, Korea, pp. 1997-1998, 2013.

[4] M. D. Burdeshaw, J. M. Abell, S. K. Price, and L. K. Roach, “Degraded States Vulnerability Analysis of a Foreign Armored Fighting Vehicle,” Army Research Laboratory, U. S. 1993.

[5] H. G. Hwang, J. S. Lee, S. C. Lee, Y. J. Park and H. P. Lee, “A development of flash fire prediction program for combat system,” *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 255-261, 2013.

[6] CONDAT, “GSS Attack Simulation Manual(Version 0707-04),” CONDAT, Germany, 2007.

[7] CONDAT, “GSS Target and Technology Description (Version 0707-05),” CONDAT, Germany, 2007.

[8] 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.

[9] Open CASCADE Technology. Open CASCADE documentation [Internet]. Available: <http://www.opencascade.org/doc/occt-6.8.0/overview/html/index.html>.



황훈규(Hun-Gyu Hwang)

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



이재웅(Jae-Woong Lee)

2009년 ~ 현재 : 한국해양대학교 IT공학부 컴퓨터정보공학전공
※ 관심분야 : 조선·해양IT융합, 네트워크, 모델링 및 시뮬레이션



이장세(Jang-Se Lee)

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



박종서(Jong-Sou Park)

1983년 : 한국항공대학교 항공통신학과 (공학사)
1986년 : 노스캐롤라이나대학 전기·컴퓨터공학과 (공학석사)
1994년 : 펜실베이니아주립대학교 컴퓨터공학부 (공학박사)
1996년 ~ 현재 : 한국항공대학교 컴퓨터공학과 교수
※ 관심분야 : 네트워크 보안, 임베디드 시스템