

# 운동에너지탄에 의한 전투시스템의 순간화재 발생가능성에 대한 연구

박영주 · 이은민\*\* · 이해평 · 황미정\*\* · 이창현\*\*\*

강원대학교 소방방재학부 · \*강원대학교 일반대학원 · \*\*강원대학교 방재전문대학원 · \*\*\*국방과학연구소  
(2013. 10. 4. 접수 / 2014. 3. 3. 채택)

## A Study on The Possibility of Flash Fire of Combat System by Kinetic Energy Ammunitions

Young Ju Park · Eun Min Lee\*\* · Hae Pyeong Lee\* · Me Jung Hwang\*\* · Chang Hyun Lee\*\*\*

Department of Fire & Emergency Management, Kangwon National University

\*Graduate School, Kangwon National University

\*\*Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University

\*\*\*Agency for Defense Development

(Received October 4, 2013 /Accepted March 3, 2014)

**Abstract :** This study analyzed various possibilities of flash fire which could occur in a variety of combats, in order to predict that of flash fire of combat system armor using Autodyn program. The possibility was judged by the temperature distribution of fuels, which was caused by the impact of parts of fuel systems through an armor, in the event of getting shot by external ammunition. Diverse variables could affect the possibility of flash fire: external ammunition(Type A: penetration 570 mm, Type B: penetration 410 mm), fuels(Gasoline, Diesel, Kerosene), the thickness of an armor(100, 200, 300, 400, 500 mm), the gap of a fuel tank and an armor(45, 95, 145, 195, 245, 295 mm). As a result, when an armor was 20 mm thick, the temperature of 3 fuels ranged like this: Gasoline 372~387 K, Diesel 442~408 K, Kerosene 384~395 K. Although they made a little difference among them, they all didn't reach their ignition points. When an armor was 200 mm thick, each fuel reached the maximum temperature, not reaching its ignition points as well. The thicker an armor was, the lower the temperature got. When Type B ammunition was used, the temperature of fuels went up 19~59 K higher than Type A was used. In the case that the gap of fuel tank and an armor was 20 mm thick, the temperature distribution of Gasoline showed 389~450 K, the maximum temperature appeared in the gap of 145 mm, and the minimum temperature 295 mm. For Type B, the temperature distribution of fuels ranged 386~401 K, the maximum temperature appeared in the gap of 245 mm, and the minimum temperature 45 mm. There was no significant difference between two cases, and neither of them reached its ignition point. Accordingly, as the tested fuels of combat systems didn't reach their ignition points, it is thought that the possibility of flash point of an armor is low.

**Key Words :** survivability, flash fire, vulnerability, fuel tank, combat system

### 1. 서론

최근의 전투양상은 과거에 비해 눈에 띄게 변화되었다. 과학기술과 산업화의 영향으로 새로운 무기의 개발과 대량 생산이 가능해졌고 적의 약점을 정밀 타격하는 방법으로 전쟁은 단기간에 종결되는 추세를 보인다. 또한, 새로운 무기가 개발됨에 있어 효과적인 무기를 선점하여 보다 우위에 서려는 연구가 각 나라마다 활발하게 진행되고 있다. 전쟁의 양상은 과학기술의 발달 정도와 정보의 수집·활용하는 방법에 따라 차이

를 보이며, 정확한 정보를 바탕으로 한 정밀 타격이 가능한 무기 공격의 발달로 과거처럼 근접무기로 무장한 병력들이 직접적으로 부딪히는 전투의 필요성은 상당히 줄었다<sup>1-2)</sup>.

적은 전략적으로 아군에게 타격을 입히기 위해 피해를 최대화 할 수 있는 공격을 시도 할 것이다. 특히, 전투상황에서 전투시스템을 무력화시키는 것 보다 좋은 방안은 없을 것이다. 과학기술이 발달함에 따라 전투시스템은 컴퓨터 시스템에 의해 움직이도록 설계되는데, 컴퓨터 시스템의 파괴는 곧 전투시스템의 무력화

\* Corresponding Author : Eun Min Lee, Tel : +82-33-575-1119, E-mail : skyluka7@naver.com

Graduate School, Kangwon National University, Samcheok 2nd Campus, 346, Hwangjo-gil, Dogye-eup, Samcheok-si, Gangwon-do 245-905, Korea

로 이어지므로 피격에 의한 전투시스템의 취약성은 주의 깊게 고려하여야 할 사항이다. 아군이 적의 주요부품에 정밀하게 공격하려는 만큼 적의 정밀타격에 대처하는 전투시스템의 취약성 또한 적의 외부위협에 대한 취약성을 높이는 것은 전투시스템 초기 설계부터 고려되어야 한다. 따라서 실제 전투상황에서 가장 많이 사용되는 전투시스템을 분석하여 적의 공격에 따른 피해를 최소화하는 연구도 활발히 진행되어야 한다.

전투상황 시 전투시스템이 무력화되는 여러 원인 중 하나는 순간화재에 의한 전투시스템의 사용불능, 승무원의 사망 등이 있다. 순간 화재는 전투시스템이 위협에 의해 피격되었을 경우, 외부위협이 장갑을 관통하여 화재 발생의 가능성을 지닌 치명 부품에 도달하고, 도달하는 순간의 잔류 에너지가 치명 부품 내에 있는 가연성 물질이 착화 온도보다 높아 순간적으로 화재가 발생하는 현상이다<sup>3)</sup>.

전투시스템 중 전차의 순간화재 발생확률을 분석하는 방법 중에는 실제 모형을 통해 연료계통 부품에 외부 위협을 가하는 방법과, 전산모사해석을 통해 분석하는 방법으로 나눌 수 있다. 하지만, 실제 외부 위협을 실험하기엔 막대한 비용과 시간이 소요되므로<sup>4)</sup>, 전산모사를 통한 분석을 사용하게 되었다.

전산모사 해석은 과학기술의 발달로 많은 발전이 있었다. 과거에는 실제 실험을 통해 데이터를 축적했던 것과는 달리 과학기술의 발달로 실험을 통하지 않고도 충분히 실제와 비슷하게 모사가 가능하게 됨으로서 전산모사 해석을 통한 분석의 활용도가 높아지는 추세이다<sup>5)</sup>. 또한, 전산모사 해석은 시작과 동시에 미세한 오차라도 발생한다면 예상했던 결과로 이어지기 힘들 뿐만 아니라 축적된 데이터가 없다면 모델 설계의 시도조차 어렵다는 단점을 가진다<sup>6)</sup>. 특히, 실제 실험에 비하여 비용이나 시간적 측면에서의 긍정적인 측면과 더불어 데이터 축적을 통해 체계적으로 관리·유지된다면 전투시스템에서의 취약성 분석에 활용성이 높을 것으로 사료되며, 전투시스템이 가지는 취약성 가운데 순간화재에 대한 연구는 극히 미미한 실정으로 순간화재에 취약한 여러 부품 중 연료계통은 상당히 취약한 것으로 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 전투시스템의 보다 높은 생존율을 확보할 수 있도록 순간화재에 의한 취약성을 분석하는 방법을 제시하는데 주안점을 두고 Autodyn 프로그램을 사용하여 전산모사 해석을 통해서 전투시스템의 순간화재 발생 가능성을 예측하였다. Autodyn은 비선형 동역학 문제를 해석하기 위해 개발된 동역학 프로그램(Hydro Code/Explicit Code)으로 대변위/대변형

문제, 고체-유체 간의 연성문제, 접촉, 관통, 폭발, 충돌 처럼 일반 유한요소해석 프로그램으로는 처리하기 어려운 문제들을 쉽고 빠르게 해결할 수 있는 프로그램으로 알려져 있다. Autodyn은 수행된 시험에 대한 검증, 평가 및 분석도구로 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 현실적으로 실험이 거의 불가능한 현상들(음속을 초과하는 초고속충돌/관통 현상 등)에 대한 해석적 방법을 제공함으로써, 비싼 실험 경비를 절감하거나 혹은 완전히 대체할 수 있는 가상실험효과를 제공한다. 현재 방위산업 분야에서 충격 및 관통, 운동/화학에너지 탄두 해석, 폭발과 압력파에 대한 영향 평가, Shape charge 및 EFP 설계, 탄약고의 안전도 및 민감도 평가, 장갑 및 대장갑 효과 분석(관통자 해석) 등에 사용되고 있으며, 이 분야는 Autodyn이 가장 활발히 사용되고 있는 분야이다<sup>7)</sup>.

가상의 전투시스템으로는 외부 위협탄이 전차를 관통하고 연료탱크가 피탄되었을 때 착화위험성이 높은 연료탱크 내 연료가 갖는 에너지를 분석하여 물질 고유의 특성을 바탕으로 운동에너지탄에 의한 전투시스템의 순간화재 발생 가능성을 예측하였다.

## 2. 연구 내용 및 방법

### 2.1. 연구대상

전투시스템의 순간화재 발생 가능성 여부를 판단하기 위하여 전투시스템 해석 영역을 Fig. 1과 같이 설정하였다. 해석영역은 외부 위협탄, 전차(장갑), 연료탱크 3가지를 대상으로 하였다.

외부 위협탄은 운동에너지탄(Kinetic Energy Ammunition)을 관통력과 탄속에 따라 Type A와 Type B 두 가지로 선정하였다. Type A는 관통력 570 mm, Type B는 관통력 410 mm로서 RHA(Rolled Homogeneous Armor)재질의 장갑을 대상으로 계산된 관통력이다<sup>8-11)</sup>.

장갑(RHA)의 두께는 500 mm까지 100 mm 간격을 기준으로 설정하였다. 또한, 외부위협에 의한 연료탱크 내 연료의 온도변화를 보다 구체적으로 살펴보기 위하여 장갑이 없을 경우를 비롯해서 장갑의 두께를 20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm두께를 변수로 선정하여

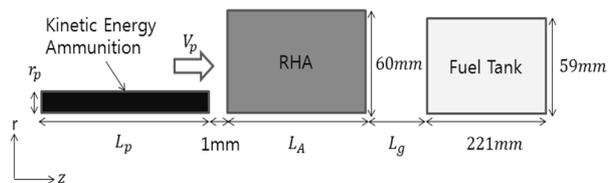


Fig. 1. The analysis area of the virtual combat system

Table 1. The variables used in the analysis of autodyn program

Case	Kinetic Energy Ammunition	Fuel	$L_p$ (mm)	$r_p$ (mm)	$V_p$ (m/s)	$L_A$ (mm)	$L_g$ (mm)
1	Type A (1,575 m/s)	Gasoline	684	11	1,475	0~500	45~295
2		Diesel					
3		Kerosene					
4	Type B (1,720 m/s)	Gasoline	395	18	1,560	0~400	
5		Diesel					
6		Kerosene					

해석하였으며, 사용된 변수는 Table 1에 제시하였다. 여기서,  $r_p$ 는 운동에너지탄의 반지름,  $L_p$ 는 운동에너지탄의 길이,  $L_A$ 는 장갑의 두께,  $L_g$ 는 장갑과 연료탱크의 간격,  $V_p$ 는 탄의 진행속도를 나타낸다. 외부 위협탄의 실제 포구속도는 Type A는 1,575 m/s, Type B는 1,720 m/s로 알려져 있으나<sup>8-11)</sup> 실제 포구속도는 피격체와 탄의 거리에 따라 진행속도가 감소할 것으로 예측되므로 Type A는 1,475 m/s, Type B는 1,560 m/s의 속도로 가정하여 적용하였다.

또한, 연료의 선정은 연료탱크 내 연료를 채웠을 때 외부 충격으로부터 발생 가능한 온도분포 차이를 해석하기 위하여 일반적으로 전투시스템에서 사용되고 있는 Gasoline, Diesel, Kerosene 3가지를 선정하였다. Table 2에는 각 연료들의 Autodyn 프로그램 수행을 위해 변수로 주어진 물성값을 제시하였다.

## 2.2 연구방법

### 2.2.1. 전산모사 해석

전차의 외부위협으로 부터 순간화재의 발생 가능성을 예측하기 위해서 Autodyn 프로그램을 사용하였으며, 해석대상의 상태방정식은 Polynomial 방정식을 통해 처리하였고, 해석은 2차원 Lagrange Solver를 사용하였다. 계산 격자는 KE탄의 종류와 장갑의 두께에 따라 차이가 있으나 KE(A)탄과 장갑두께가 500 mm인 경우, 50,563개가 사용되었으며, 약 5시간의 계산시간이 소요된다(CPU : Intel Core i5-2410M 2.30GHz, RAM : 3.41GB).

Table 2. The physical properties of the fuels<sup>12-13)</sup>

Classification	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Specific Heat (Terg/cm · k)	Thermal Conductivity (Terg/cm · k)	Bulk Modulus (Mbar)
Gasoline	0.803	2.22 * 10 <sup>-5</sup>	0.15 * 10 <sup>-7</sup>	1.3
Diesel	0.8	1.75 * 10 <sup>-5</sup>	0.15 * 10 <sup>-7</sup>	1.3
Kerosene	0.81	2.01 * 10 <sup>-5</sup>	0.15 * 10 <sup>-7</sup>	1.43

### 2.2.2. 변수 선정

순간화재 발생가능성은 다음 3가지를 고려하였다. 첫째, 연료의 종류에 따른 순간화재 발생가능성을 예측하기 위해서는 외부 위협탄의 종류를 Type A(관통력 570 mm)와 Type B(관통력 410 mm)탄을 사용하고, 장갑 두께가 얇을수록 외부 위협탄(운동에너지탄)에 의한 운동에너지가 많이 남을 것으로 예측하여 장갑의 두께는 20 mm로 고정하였다. 또한 연료탱크 내 연료는 Gasoline, Diesel, Kerosene 3가지를 대상으로 분석하였다.

둘째, 장갑의 두께에 따른 순간화재 발생가능성을 예측하기 위해서 장갑으로부터 보호 되지 않는 연료탱크가 외부 위협탄에 직접 피탄되었을 경우(장갑이 없을 경우)와 외부 위협탄이 최대로 관통할 수 있는 장갑의 두께까지(Type A:500 mm, Type B:400 mm)로 가정하여 순간화재 발생가능성의 차이를 분석하였다. 이는 장갑의 두께에 따라 외부 위협탄이 가지는 에너지의 차이로부터 연료탱크 내 연료의 온도분포를 알아보기 위함이다.

셋째, 장갑과 연료탱크의 간격에 따른 순간화재 발생가능성을 예측하기 위해서 외부 위협탄(Type A:관통력 570 mm, Type B:관통력 410 mm)에 의한 장갑(두께:20 mm)과 연료탱크와의 간격(45, 95, 145, 195, 245, 295 mm)에 따른 Gasoline의 온도분포 차이를 분석하였다. 간격은 가상의 전투시스템 내 장갑이 연료탱크의 온도분포해석에 영향을 주지 않는 최소 거리부터 약 50 mm 간격씩 간격을 넓혀 전투시스템 내 연료탱크의 위치의 다양함을 가정함으로써 순간화재 발생가능성의 차이를 알아보기 위함이다. 둘째와 셋째의 경우 연료의 선정은 휘발성이 높아 착화의 위험이 높은 Gasoline으로 선정한 후 수행하였다.

### 2.2.3. 순간화재 발생 가능성 해석

순간화재 발생 가능성 해석 방법으로는 외부 위협탄이 가상의 전투시스템 내에서 장갑을 관통한 후, 내부의 연료탱크에 충격을 가했을 때 발생하는 연료의 온도 변화를 기준을 측정하여 분석하였다. 또한, 연료의 온도변화를 측정하여 각 연료가 가지고 있는 고유의 착화점을 통해 순간화재 발생가능성의 여부를 판단하였다. 즉, 외부 위협탄으로 선정한 운동에너지탄은 내부에 폭약이 없는 대신 예리한 장갑관통용 탄심, 즉 관통자를 내장하는 날개안정분리 철갑탄(APFSDS : Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot)의 형태가 일반적이다. 이는 포탄이 빠른 속도로 명중하여 적의 전차와 충돌 과정에서 일어나는 관통자의 운동에너지

지로 적의 전차의 장갑을 관통하는 원리로 연료에 직접적인 점화원으로 작용하기 힘들다<sup>14)</sup>. 따라서 점화원이 없는 경우, 액체의 착화는 그 액체가 가열소자와 별도로 자체연소를 시작하는데 가열해야 할 최소온도가 필요하므로 액체가 온도 상승을 통해 착화점에 도달하는 것을 순간화재 발생가능성의 중요한 기준으로 판단하여 해석하였다<sup>15)</sup>.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 연료 종류별 순간화재 발생가능성

연료의 종류에 따른 순간화재 발생가능성을 알아보기 위하여 운동에너지탄 Type A와 B를 대상으로 연료의 온도 변화를 살펴보았다. Fig. 2에는 Type A탄을 대상으로 하였을 때의 3가지 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene)에 대한 순간 온도변화를 나타내었다. 장갑이 얇을수록 운동에너지탄의 운동에너지가 많이 남을 것으로 예측하여, 장갑은 20 mm 두께로 동일하게 선정한 후 각 연료별 온도분포를 분석하였다. Gasoline의 경우 371.86 K로 나타났으며, Diesel은 441.80 K, Kerosene은 383.49 K로 372~442 K 범위에서 각 연료별 온도 특성 차이를 보이는 것으로 나타났다. 온도가 높은 연료 순으로는 Diesel > Kerosene > Gasoline의 순서로 나타나 Diesel의 경우 가장 온도가 높은 것을 확인할 수 있었다.

Gasoline의 경우 착화점은 560.15 K로 3가지 연료 가운데 상대적으로 높은 반면 연료의 온도는 371.86 K로 가장 낮은 특성을 보였으며, Diesel의 경우는 착화점은 560.15 K로 연료의 온도는 441.80 K로 가장 높은 특성을 보이는 것으로 나타났다. Diesel의 경우, Gasoline이나 Kerosene보다 높은 온도분포를 보였다. 따라서 3가지 연료 모두 Fig. 2에 나타난 착화점(Gasoline : 560.15

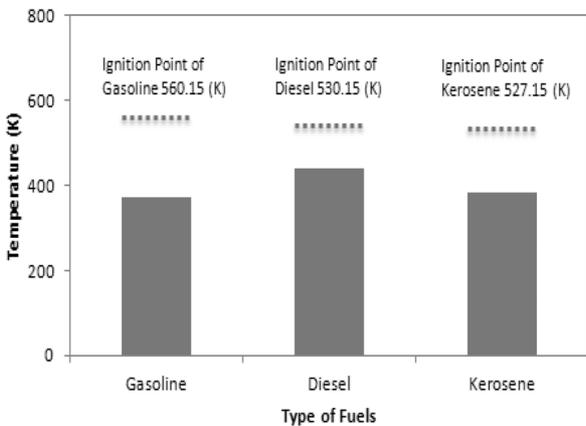


Fig. 2. Fuels temperature distribution by Type A ammunition

K, Diesel : 527.15 K, Kerosene : 520.15 K)<sup>11)</sup>보다 낮은 것을 알 수 있다. 이에 대하여 Table 3에 나타내었다.

Fig. 3에는 Type B탄을 대상으로 하였을 때의 3가지 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene)에 대한 순간 온도변화를 나타내었다. Gasoline의 경우 상승 온도는 386.82 K로 나타났으며, Diesel은 407.48 K, Kerosene은 394.76 K로 387~401 K 범위에서 각 연료별 온도 특성 차이를 보이는 것으로 나타났다. 온도가 높은 연료 순으로는 Type A와 마찬가지로 Diesel > Kerosene > Gasoline의 순서로 나타나 Diesel의 경우 407.48 K로 온도가 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있었다.

Gasoline의 경우 착화점은 560.15 K로 3가지 연료 가운데 상대적으로 높은 반면 Type A와 마찬가지로 연료의 온도는 386.82 K로 가장 낮은 특성을 보였다. Diesel의 경우는 착화점은 441.80 K로 가장 높은 특성을 보이는 것으로 나타났다. Type B 역시 Diesel의 경우, Gasoline이나 Kerosene보다 높은 온도분포를 보였지만 연료별 착화점보다 낮은 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 3에 제시하였다.

또한, Type B탄의 경우 Diesel을 제외한 Gasoline과 Kerosene은 Type A탄보다 약간 높은 온도 분포를 보이는 것으로 나타났으나, Type A와 B탄 모두 연료탱크를 관통하였을 때 3가지 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene) 모두 착화점까지 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 연료의 종류에 따른 순간화재 발생가능성을 살

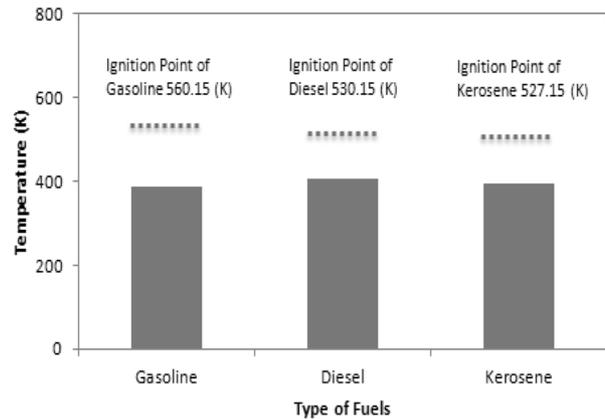


Fig. 3. Fuels temperature distribution by Type A ammunition

Table 3. Results of the fuel temperature distribution

	Gasoline (K)	Diesel (K)	Kerosene (K)
Type A	371.86	441.80	383.49
Type B	386.82	407.48	394.76
Ignition point	560.15	527.15	520.15

펴보면 각 연료가 가지는 착화점에 도달하지 못하므로<sup>16)</sup> 연료의 종류에 따른 순간화재 발생가능성은 낮을 것으로 판단된다.

### 3.2. 장갑의 두께에 따른 순간화재 발생가능성

장갑의 두께에 따른 순간화재 발생가능성을 예측하기 위해서는 Type A탄과 B탄을 대상으로 장갑 두께 100~500 mm 범위에서 연료별 온도분포를 나타내었다. 장갑으로부터 보호 되지 않는 연료탱크가 외부 위협탄에 직접 피탄되었을 경우부터 외부 위협탄이 최대 관통할 수 있는 장갑의 두께까지 가정하여 순간화재 발생가능성의 차이를 분석하였다. 장갑의 두께에 따라 외부 위협탄이 가지는 에너지의 차이를 연료탱크의 온도분포를 통해 알아보기 위함이다. Fig. 4에서는 Type A탄(관통력 570 mm)에 의한 장갑(두께:100~500 mm)을 관통하였을 경우 3가지 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene)들의 온도 분포를 나타내었다.

Type A의 경우, 장갑두께 100 mm에서는 362~390 K 온도 범위에서 Gasoline 369.75 K, Diesel 389.63 K, Kerosene 362.26 K 정도인 것으로 나타났다. 장갑의 두께가 200 mm에서는 Gasoline 406.93 K, Diesel 440.40 K, Kerosene 422.81 K로 연료의 온도가 최고온도에 도달하는 것으로 나타났다. 이 후 장갑두께 500 mm에 가까울수록 온도는 서서히 낮아지는 경향을 보였다. 하지만, 최고 온도를 보인 200 mm에서도 각 연료별 연료가 가지는 고유의 착화점에 도달하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 장갑의 두께가 두껍고 관통력이 상대적으로 우수한 Type A에서는 연료의 온도 변화가 비교적 안정적인 범위에서 서서히 낮아지는 것을 확인

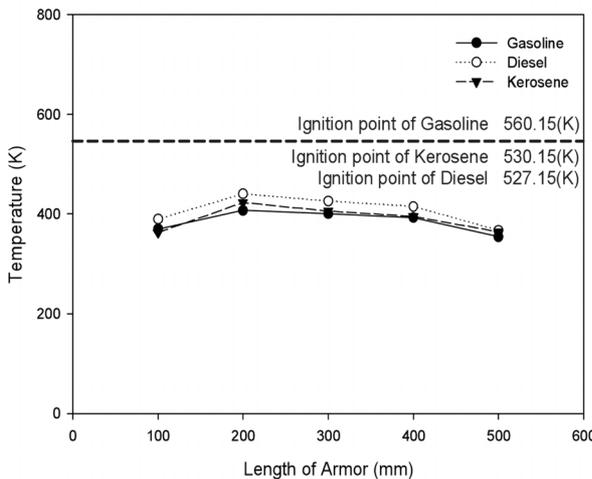


Fig. 4. Thickness of armor(100~500 mm) by type A ammunition of the fuels temperature distribution

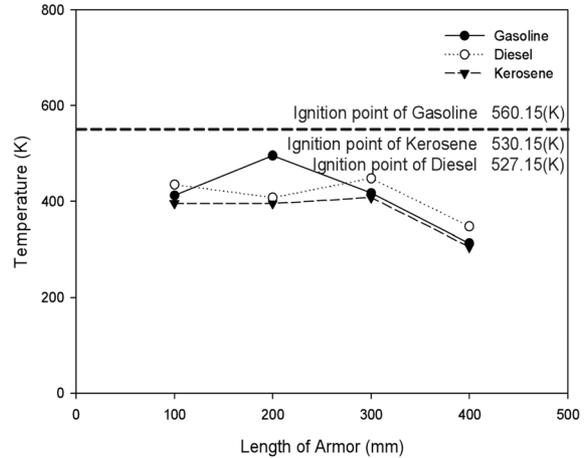


Fig. 5. Thickness of armor(100~500 mm) by type B ammunition of the fuels temperature distribution

할 수 있었으며, Table 3에 제시한 각 연료의 착화점에 이르지 못하였으므로 외부충격에 의한 순간화재 발생가능성은 낮을 것으로 사료된다.

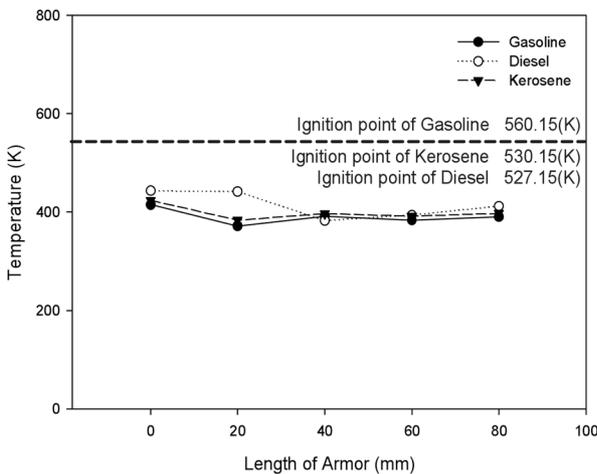
Fig. 5에서는 Type B탄(관통력 410 mm)에 의한 장갑(두께 : 100~400 mm)이 관통되었을 경우의 3가지 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene)의 온도 분포를 나타내었다. Type B탄의 경우 장갑두께 100 mm에서는 395~435 K 온도 범위에서 Gasoline 412.11 K, Diesel 435.11 K, Kerosene 395.40 K 정도인 것으로 나타나 Type A탄보다 33~46 K 정도 온도가 높은 것으로 나타났다. 또한, 장갑의 두께가 200 mm에서는 Gasoline을 제외한 Diesel과 Kerosene의 연료가 최고온도에 도달하는 것으로 나타났다. Gasoline의 경우는 300 mm에서 최고온도에 도달하는 것으로 나타났다. 이 후 Type A탄과 마찬가지로 장갑두께 400 mm에 가까울수록 온도는 서서히 낮아지는 경향을 보였으며, 최고 온도를 보인 200 mm, 300 mm에서도 각 연료별 연료가 가지는 고유의 착화점에 도달하지 못하는 것으로 나타났다.

Type A탄보다 관통력이 낮은 Type B탄의 경우는 100 mm에서 온도가 33~46 K 정도 높은 반면 400 mm에서는 68~90 K 온도 범위에서 Gasoline 79.61 K, Diesel 67.54 K, Kerosene 89.79 K 정도 높은 것으로 나타났다. 또한, 최장거리에 관통하였을 경우 Type A탄과 Type B탄의 연료 온도를 살펴보면 Type B는 Type A보다 19~59 K 정도 오히려 높은 것으로 나타났다.

또한, Type B탄은 Type A탄에 비해 300 mm까지는 불안정한 온도분포를 보이는 것으로 나타나 장갑의 두께에 따른 연료의 온도 분포는 유사한 경향을 보였지만 관통력의 성능에 따라 Type A탄과 Type B탄의 온도분포 차이를 보인 것으로 사료된다.

**Table 4.** Results of the fuels temperature distribution of Thickness of armor(100~500 mm)

classification		Gasoline (K)	Diesel (K)	Kerosene (K)
Type A	100	369.75	389.63	362.25
	200	406.93	440.40	422.81
	300	400.34	425.91	405.54
	400	392.27	415.22	394.82
	500	354.25	367.08	364.02
Type B	100	412.11	435.11	395.40
	200	495.37	407.66	395.25
	300	417.22	448.15	407.93
	400	312.66	347.68	305.03



**Fig. 6.** Thickness of armor(0~80 mm) by type A ammunition of the fuels temperature distribution

Fig. 6에는 외부위협에 의한 연료탱크 두께에 따라 연료들의 온도변화를 보다 구체적으로 분석하기 위하여 Type A탄의 경우 장갑이 없을 경우를 비롯해 장갑의 두께 100 mm 이하의 범위(20 mm, 40 mm, 60 mm, 80 mm)에서 연료의 온도변화를 나타내었다.

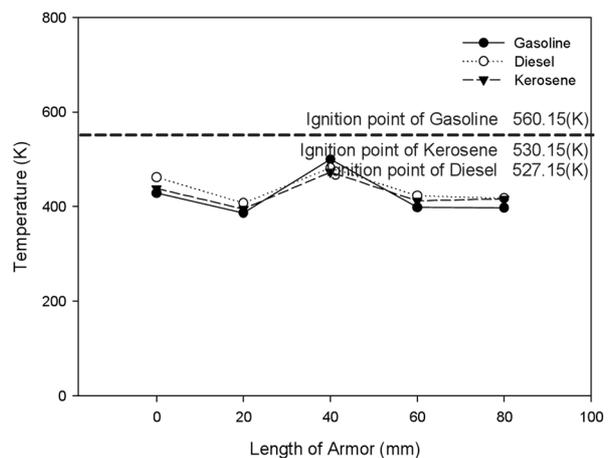
장갑이 없는 경우, 415~443 K 온도 범위에서 Gasoline 415.14 K, Diesel 443.34 K, Kerosene 423.861 K로 나타났으며, 장갑 20 mm를 관통하였을 경우 372~442 K 온도 범위에서 각 연료의 온도는 Gasoline 371.86 K, Diesel 441.80 K, Kerosene 383.49 K로 나타나 장갑이 없는 경우 각 연료의 온도가 1.54~42 K 정도 높은 것으로 나타났다. 장갑이 없는 경우와 온도 차이는 운동에너지에 대한 저항을 받지 않아 연료통에 전해지는 운동에너지의 차이가 발생하였기 때문인 것으로 사료된다. 이는 당연한 결과로 사료되며, 이로 인해 장갑에 부딪히는 운동에너지의 저항에 따라 장갑이 없는 경우보다 순간에너지가 감소하기 때문에 나타난

결과라고 사료된다.

연료별 장갑두께에 따른 각 연료들의 온도 범위를 살펴보면, 장갑 두께 20~80 mm 사이에서 Gasoline의 경우 371.86~391.89 K 온도 범위에서 최대값은 40 mm에서 391.89 K로 나타났으며, Diesel의 경우는 382.88~441.80 K 온도 범위에서 최대값은 20 mm에서 441.8 K인 것으로 나타났다. 또한, Kerosene의 경우는 384~397 K 온도 범위에서 온도변화는 크지 않은 것으로 나타났으나 최대 온도는 80 mm에서 397.39 K인 것으로 나타났다. 따라서 Diesel은 Gasoline과 Kerosene 보다 다소 온도가 높은 것으로 나타났다. 하지만, 장갑의 두께가 100 mm 이하에서는 각 연료들의 온도 특성은 특별한 경향을 보이지 않는 것으로 나타났다. 이에 대하여 Table 4에 제시하였다.

Fig. 7에는 Type B 대상으로 한 각 연료의 온도변화를 나타내었다. 장갑이 없는 경우, 423~462 K 온도 범위에서 Gasoline 428.45 K, Diesel 462.19 K, Kerosene 438.39 K로 나타나 Type A보다 13~19 K 정도 온도가 높은 것으로 나타났으며, 장갑 20 mm를 관통하였을 경우 387~408 K 온도 범위에서 각 연료의 온도는 Gasoline 386.82 K, Diesel 407.48 K, Kerosene 394.76 K로 나타나 장갑이 없는 경우 각 연료의 온도가 42~55 K 정도 높은 것으로 나타났다.

연료별 장갑두께에 따른 각 연료들의 온도 범위를 살펴보면, 장갑의 두께가 20~80 mm 사이에서의 연료 온도는 Gasoline의 경우 387~500 K 온도 범위에서 최대값은 40 mm에서 499.57 K로 나타났으며, Diesel 408~482 K 온도 범위에서 최대값은 40 mm에서 482.01 K로 나타났으며, Kerosene 395~473 K 온도 범위에서 최대값은 40 mm에서 472.83 K로 나타나 연료별 최대 온도는 40 mm에서 나타났다. 이에 대하여 Table 5에



**Fig. 7.** Thickness of armor(0~80 mm) by type B ammunition of the fuels temperature distribution

**Table 5.** Results of the fuels temperature distribution of Thickness of armor(0~80 mm)

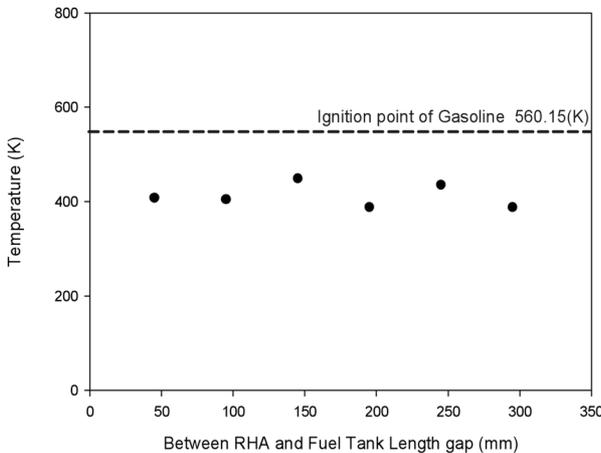
classification	Gasoline (K)	Diesel (K)	Kerosene (K)
Type A	0	415.14	443.34
	20	371.86	441.80
	40	391.89	382.88
	60	383.41	394.06
	80	390.25	412.26
Type B	0	428.45	462.19
	20	386.82	407.48
	40	499.57	482.01
	60	398.10	422.95
	80	397.59	417.86

제시하였다. 최대값에 도달한 온도 역시 장갑의 두께가 100 mm 이하에서도 각 연료별 고유의 착화점에 도달하지 못하는 것을 알 수 있었으며, 이러한 결과로 외부 위협에 의한 순간화재 발생가능성은 낮을 것으로 사료된다.

**3.3. 장갑과 연료탱크와의 간격에 따른 순간화재 발생 가능성**

장갑과 연료 탱크와의 간격에 따른 순간화재 발생 가능성을 분석하기 위해서는 가상의 전투시스템 내 장갑이 연료탱크의 온도분포 해석에 영향을 주지 않는 최소 거리부터 약 50 mm 간격씩 간격을 넓혀 전투시스템 내 연료탱크의 위치의 다양함을 가정함으로써 순간화재 발생가능성의 차이를 분석하였다.

Fig. 8에는 Type A탄 피격 시 장갑(두께 20 mm)과 연료탱크와의 간격(45, 95, 145, 195, 245, 295 mm)에 따른 Gasoline의 온도분포 결과를 나타내었다. 장갑의



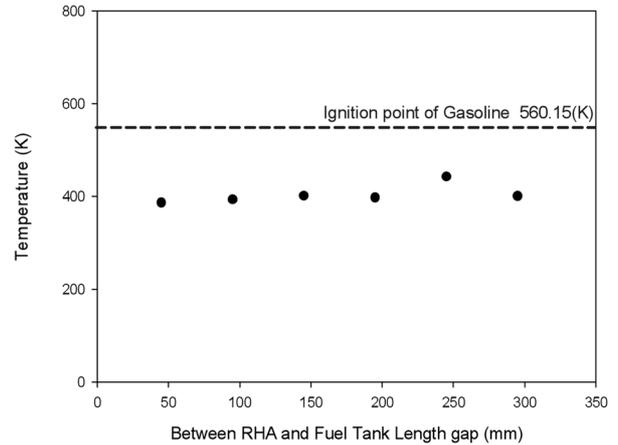
**Fig. 8.** Temperature distribution of gasoline on between armor and fuel tank gap by type A ammunition

두께는 20 mm로 고정하고 연료로는 Gasoline을 사용하였을 경우, 389~450 K 온도 범위에서 45 mm 간격의 경우 408.80 K, 95 mm는 405.47 K, 145 mm는 449.63 K, 195 mm는 388.92 K, 245 mm는 436.46 K, 295 mm는 388.59 K 정도인 것으로 나타났다.

Type A탄 피격 시 Gasoline의 최고온도는 145 mm에서 나타났으며, 최저온도는 295 mm에서 나타나 장갑과 연료탱크와의 거리 295 mm 내 거리 간격에서는 특별한 경향성은 없는 것으로 나타났다.

Fig. 9에는 Type B탄 피탄 시 장갑(두께 20 mm)과 연료탱크와의 간격(45, 95, 145, 195, 245, 295 mm)에 따른 Gasoline의 온도분포 결과를 나타내었다. Gasoline의 온도분포 범위는 386~401 K 온도 범위에서 45 mm 간격의 경우 386.22 K, 95 mm는 393.31 K, 145 mm는 401.36 K, 195 mm는 397.33 K, 245 mm는 442.45 K, 295 mm는 400.73 K 정도인 것으로 나타났다. Type B탄 피탄 시 Gasoline의 최고온도는 245 mm에서 나타났으며, 최저온도는 45 mm에서 나타나 이 또한, 장갑과 연료탱크와의 거리 295 mm 내 거리 간격에서는 특별한 경향성은 없는 것으로 나타났다.

또한, 45, 95, 145 mm에서는 Type A탄이 Type B탄 보다 Gasoline의 온도 분포가 약간 높은 경향을 보였으며, 195, 245, 295 mm에서는 Type B탄이 Type A탄 보다 Gasoline의 온도 분포가 약간 높은 경향을 보이는 것



**Fig. 9.** Temperature distribution of gasoline on between armor and fuel tank gap by type B ammunition

**Table 6.** Results of the between armor and fuel tank gap

Classification	45 (mm)	95 (mm)	145 (mm)	195 (mm)	245 (mm)	295 (mm)
Type A	408.80 K	405.47K	449.63K	388.92 K	436.46K	388.59K
Type B	386.22K	393.31K	401.36K	397.33 K	442.45K	400.73K

으로 나타났다. 이러한 차이는 기계적 에너지 중 어느 정도의 양이 열로 변하느냐 하는 것과 열이 발생하는 속도차이에 따른 것으로<sup>17)</sup> 운동에너지에 대한 저항 차이가 Type A탄과 Type B탄이 각각 다르게 발생하였기 때문인 것으로 사료된다.

따라서 최고온도가 장갑과 연료탱크와의 간격에 따른 순간화재 발생 가능성은 두 경우 모두 Gasoline의 착화점에 도달하지 못하였으므로 순간화재 발생 가능성은 낮다고 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 전투시스템 중 전차가 외부 위협탄에 의해 피탄 시 장갑이 관통된 후, 연료시스템의 순간화재 발생 가능성을 예측하고자 연료의 종류, 장갑의 두께, 장갑과 연료탱크와의 간격과 같은 요인들을 고려하여 연료탱크 내의 연료(Gasoline, Diesel, Kerosene) 3가지에 대한 온도분포의 분석을 통하여 순간화재 발생 가능성에 대하여 다음과 같은 결론들을 얻을 수 있었다

1) 연료의 종류별 순간화재 발생가능성 분석 결과로는 3종류 연료에 대해 나타난 온도분포를 살펴본 결과, 외부 위협탄 Type A탄과 B탄의 종류에 따라서 약간의 온도 차이를 보였으며, 온도가 높은 순으로는 Diesel > Kerosene > Gasoline 순으로 나타났으나 각 연료의 착화점에 도달하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 순간화재 발생가능성을 판단하였을 때 3가지 연료 모두 순간화재 발생가능성은 낮을 것으로 사료된다.

2) 장갑의 두께에 따른 순간화재 발생가능성 결과로는 장갑의 두께를 달리하였을 때 연료의 온도 분포는 특별한 경향성은 없었으나 장갑두께 500 mm에 가까울 수록 연료의 온도는 서서히 낮아지는 경향을 보였다. 또한, Type B탄의 경우 Type A탄보다 연료의 온도가 19~59 K 정도 높은 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 이 또한 연료는 착화점에 도달하지 못하여 순간화재 발생가능성은 낮을 것으로 사료된다.

3) 장갑과 연료탱크와의 간격에 따른 순간화재 발생 가능성 결과로는 연료탱크의 위치와 장갑(두께:20 mm) 간 간격에 따른 Gasoline의 온도 분포는 Type A탄과 B탄 모두 최고온도와 최저온도가 나타나는 구간은 다른 것으로 나타나 특별한 경향성은 없는 것으로 나타났다. 이 또한 해당 연료들은 착화점에 도달하지 못하여 전투시스템 전차에 외부 위협탄 피격 시 연료에 의한 순간화재 발생 가능성은 낮을 것으로 판단된다.

4) 전투시스템의 순간화재에 대한 취약성을 예측하기 위한 전산모사 해석은 전투시스템 설계에 있어 취

약성을 분석하는 동시에 생존성을 높일 수 있는 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 앞으로 전투시스템, 외부 위협탄, 순간화재에 취약한 부품의 확대 등을 통해 취약성분석 프로그램에 다양한 데이터가 확보된다면 생존성을 높일 수 있는 전투시스템의 설계에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

**감사의 글:** 이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음(과제번호 UD1200190D)

#### References

- 1) S. B. Kim, "Changing Trend of Patterns of Warfare and Subject of Development of Korea Military", Quarterly journal of defense policy studies, Vol. 65, p. 33, 2004.
- 2) M. Y. Lee, "The Principles of War in Accordance with the Employment of Future Wars", Korea military Academy, Vol. 52, pp. 11-13, 2007.
- 3) H. G. Hwang, S. J. Lee, S. C. Lee, Y. J. Park and H. P. Lee, "A Development of Flash Fire Prediction Program", The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 255-261, 2013.
- 4) S. Y. Youn, "Diagnosis and Development Plan of Army Modeling/Simulation Actuality", Quarterly journal of Defense Policy Studies, Vol. 63, pp. 138-139, 2004.
- 5) S. Y. Youn, "Development Plan of Analytic System Model", 2003 National Defense M&S Development Seminar (Development Plan of Simulation System for Future Warfare), 2003.
- 6) S. C. Lee, W. C. Jeon, H. P. Lee, H. J. Lee and C. H. Lee, "A Numerical Study on the Flash Fire in the Combat System by the Kinetic Energy Ammunition", Conference on National Defense Technology, pp. 1117-1121, 2012.
- 7) BB Media, "Tools for Nonlinear Dynamics Analysis", ANSYS AUTODYN, CAD & Graphics, Vol. 12, pp. 82-84, 2007.
- 8) <http://www.globalsecurity.org/military/index.html>
- 9) [http://en.wikipedia.org/wiki/Rheinmetall\\_L44#L44](http://en.wikipedia.org/wiki/Rheinmetall_L44#L44).
- 10) <http://www.fas.org/man/dod-101/index.html>.
- 11) [http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic\\_energy\\_penetrator](http://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_energy_penetrator).
- 12) <http://physics.info/density/>.
- 13) <http://www.engineeringtoolbox.com/>.
- 14) Y. K. Cho, J. Y. Kim and J. O. Lee, "Modern Weapons System Theory", Sunhaksa, p. 125, 2009.
- 15) S. H. Hyun, M. C. Kim, Y. S. Kim, I. B. Kim, C. W. Lee

- and S. K. Jeon, "Fire Protection and Advanced Explosion Proof Engineering", Donghwapub, p. 54, 2011.
- 16) M. J. O'Neil, "The Merck Index: An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals. 14th Edition", Merck & Co., Inc, pp. 526-916, 2006.
- 17) S. H. Hyun, M. C. Kim, Y. S. Kim, I. B. Kim, C. W. Lee and S. K. Jeon, "Fire Protection and Advanced Explosion Proof Engineering", Donghwapub, pp. 10-16, 2011.