

# 운동에너지 탄과 적재포탄에 따른 전투시스템 내부에서의 순간화재발생에 대한 전산해석

## A Numerical Study on the Flash Fire in the Combat System by the Kinetic Energy Ammunition and the Loaded Shells

이 승 철\*                      전 우 철\*                      이 해 평\*                      이 현 주\*\*  
Seung-Chul Lee              Woo-Chul Jeon              Hae-Pyeong Lee              Heon-Joo Lee

### ABSTRACT

In this paper, numerical analysis was performed about whether the flash fire of loaded shells breaks out in the virtual combat vehicle according to sorts of the kinetic energy ammunition as the preceding research for vulnerability analysis inside the combat system by an external threaty ammunition. In this simulation, Autodyn program was used and the Lee-Tarver ignition and growth model was used to determine the flash fire outbreak. In this study, the kinetic energy ammunition was set of type A and type B in two kinds and the loaded shells was set of COMPB, TNT, PBX9404 and ANB. As a result, TNT and PBX9404 have much higher flash fire probability than COMPB in high explosive, ANB has very low flash fire probability.

Keywords : Numerical Analysis(전산해석), Flash Fire(순간화재), Kinetic Energy Ammunition(운동에너지탄)

### 1. 서론

전투시스템은 적에게 노출되어 외부의 충격 및 폭발에 의해 손상을 입더라도 작동 가능한 상태를 유지하여 작전을 수행하여야 한다. 그러므로 전투시스템 생존성 향상을 위하여 외부 충격에 의한 전투시스템 구성품의 손상 원인을 분석하고 취약성을 파악하여 예측하는 것이 필요하다.

외부 충격탄, 폭발물과 같은 물체에 충격을 받았을 때 전투시스템 내부에 발생하는 순간 화재를 예측, 분석하여 시스템의 작동 가능성 및 취약성에 대한 해석과 분석 기법 연구는 아직까지 국내·외적으로 잘 알려져 있지 않은 상황이다. 따라서 순간 화재에 의한 전투시스템의 취약성 모델 개발을 위한 기초기술을 사전에 확보할 필요성이 대두되고 있다<sup>[1]</sup>.

외부 위협탄에 의한 전투시스템의 취약성을 분석하는 방법은 공학적 판단 방법, 실험적 방법 그리고 전산모의 방법 등이 있다. 공학적 판단 방법은 축적된 자료를 활용하여 빠른 분석이 가능하지만 자료가 없을 때는 취약성을 판단하기 곤란하다는 단점을 가지고 있다. 실험적 방법은 직접적이고 확실한 방법이나

† 2013년 7월 11일 접수~2013년 10월 18일 게재승인

\* 강원대학교(Kangwon National University)

\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이해평(crelab@kangwon.ac.kr)

비용, 인력 및 시간이 상당히 필요하며 실험의 재현성 확보를 위해 수십 또는 수백회 실험을 해야 하는 단점을 가지고 있다. 이에 반해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 전산모의 방법은 비용, 인력 및 시간은 절약할 수 있으나 공학적 판단이 필요하고 평가자의 주관에 따라 결과가 달라질 수 있는 단점을 지니고 있다.

본 연구는 외부 위협탄에 의한 전투시스템의 취약성을 분석하기 위한 선행연구로써, 외부 운동에너지 탄이 장갑을 관통하여 가상의 전투차량 내부의 적재포탄에 충격을 가했을 때, 순간화재가 발생하는지에 대한 전산해석을 수행하였다. 전산해석은 운동에너지 탄의 종류, 장갑 두께 및 적재포탄 종류에 따라 수행하였으며, 그 결과는 외부 위협탄에 대한 전투시스템의 취약성을 분석하는 피해확률 계산의 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 순간화재발생 전산해석

### 가. 해석 대상

Fig. 1에는 본 전산해석의 해석영역 및 대상을 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 운동에너지 탄이 장갑을 관통한 후, 적재포탄에 충격을 가하여 순간화재 여부를 해석하게 된다. 이때, 운동에너지 탄은 관통 깊이가 600 mm급인 type A와 400 mm급인 type B이고 장갑은 RHA(Rolled Homogeneous Armour)로 가정하였으며, 두께를 100 mm에서 100 mm씩 증가시키며 계산하였다. 또한 적재포탄은 COMPB(Composition B), TNT (Trinitrotoluene), PBX9404(Plastic-bonded explosive), 그리고 ANB(ANB-3066)를 사용하였다. 실제 해석은 3차원으로 하여야 하나 계산의 효율성을 위하여 2차원 축대칭문제로 가정하여 해석하였다.

Table 1에는 계산종류별 운동에너지 탄, 적재포탄 중

류 및 각 재원을 상세히 나타내었다. 각 재원들은 인터넷 매체 등을 통하여 취득하였으며<sup>[2,3]</sup>, 각 재질의 특성값은 사용 프로그램(Autodyn)에 있는 것을 사용하였다. 운동에너지 탄의 속도를 보면, type A의 경우 포구 속도 1,575 m/s이며 본 계산에 입력속도는 1,475 m/s이다. type B의 경우 포구속도 1,720 m/s이며 본 계산에 입력속도는 1,560 m/s이다.

Table 1. Cases of calculation

case	KE Ammunition	High Explosive	L <sub>A</sub> (mm)	L <sub>P</sub> (mm)	r <sub>p</sub> (mm)	u <sub>b</sub> (m/s)	L <sub>G</sub> (mm)
1	type A (1,575 m/s)*	COMPB	100~500	684	11	1,475	95
2		TNT	100~565				
3		PBX9404	100~565				
4		ANB	100~500				
5	type B (1,720 m/s)*	COMPB	100~400	395	18	1,560	150~180
6		TNT	100~405				
7		PBX9404	100~405				
8		ANB	100~400				

### 나. 전산해석 방법

외부 운동에너지탄에 의해 장갑을 관통하여 가상의 전투차량 내부의 적재포탄에 충격을 가했을 때, 순간화재가 발생하는지에 대한 전산해석을 수행하기 위하여 본 연구에서는 Autodyn 프로그램<sup>[4]</sup>과 Lee-Tarver<sup>[5]</sup>의 기폭 및 전파 모델(ignition and growth model)을 이용하였다. 기폭 및 전파 모델에서는 반응속도를 압축과 압력에 의한 세 개의 항의 합으로 표시하고 있다. 화약의 반응 전 및 반응 후 상태방정식, 반응속도 및 이들 혼합물질 내에서 이루어지는 평형관계에 대한 복잡한 화학반응모델링 등으로 이루어진다.

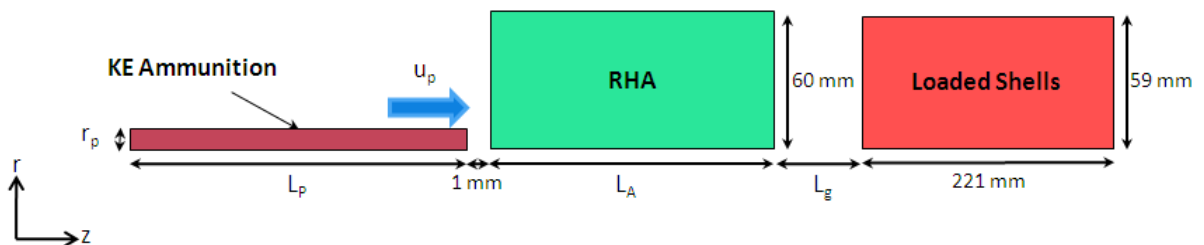


Fig. 1. Computational region

순간화재의 발생여부는 전체 폭발의 질량에 대한 가스폭발물의 질량 비인 반응비(reaction ratio)로 판단하였으며, 반응비는 0과 1 사이의 값을 갖는다. 반응비가 0인 경우는 반응 자체가 없어 순간화재가 발생하지 않는 것을 의미하며, 반응비가 1인 경우는 가스폭발에 의한 순간화재가 발생하는 것으로 간주하였다.

또한 운동에너지 탄의 장갑 관통과 적재포탄의 순간화재발생 여부를 해석하기 위해 고체 연속체 및 구조해석에 주로 사용되는 라그랑지 처리기법(Lagrange processor)를 사용하였다. 계산 격자는 운동탄의 종류와 장갑의 두께에 따라 차이가 있으나 type A 운동에너지 탄과 장갑 두께가 500 mm인 경우, 50,563개가 사용되었으며, 약 10시간의 계산시간이 소요되었다.(CPU : Intel Core2 Quad 2.40GHz, RAM : 3.50GB)

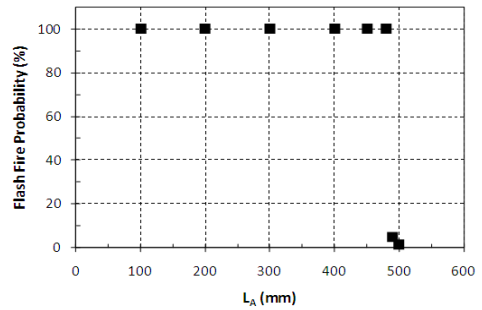
### 3. 결과 및 검토

Fig. 2와 3에는 운동에너지 탄의 종류, 적재포탄 재질 그리고 장갑 두께에 따른 순간화재 발생확률 결과를 도시하였다.

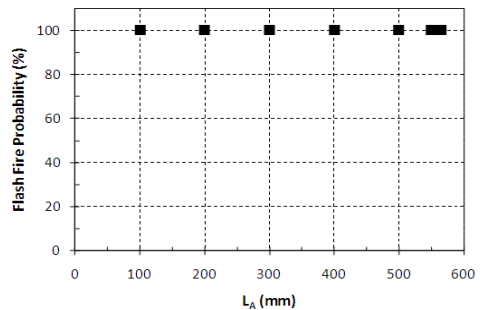
먼저 Fig. 2의 운동에너지 탄이 type A이고 적재포탄 재질이 COMPB인 경우, 장갑두께가 480 mm까지는 순간화재 발생확률이 100%이며 490 mm와 500 mm일 때 순간화재 발생확률은 각각 4.6%와 1.3%로 줄어들게 된다. 또한 적재포탄 재질이 TNT와 PBX9404인 경우, 장갑두께가 565 mm까지는 순간화재 발생확률이 100%로 동일하다. 적재포탄 재질이 ANB인 경우, 장갑두께가 100 mm일 때, 순간화재 발생확률이 4.3% 이고, 200 mm일 때, 4.1%이며, 300 mm와 400 mm일 때, 각각 3.9%로 동일하게 나타나며, 500 mm일 때, 순간화재 발생확률이 3.6%이다.

Fig. 3의 운동에너지 탄이 type B이고 적재포탄 재질이 COMPB인 경우, 장갑두께가 380 mm까지는 순간화재 발생확률이 100%이며 390 mm와 400 mm일 때 순간화재 발생확률은 각각 1.4%와 0.1%로 줄어들게 된다. 또한 적재포탄 재질이 TNT와 PBX9404인 경우, 장갑두께가 405 mm까지 순간화재 발생확률이 100%로 계산되었다. 적재포탄 재질이 ANB인 경우, 장갑두께가 100 mm일 때, 순간화재 발생확률이 4.0%이고, 200 mm일 때, 3.9%이며, 300 mm일 때, 3.7%이며, 400 mm일 때, 순간화재 발생확률이 3.0%이다.

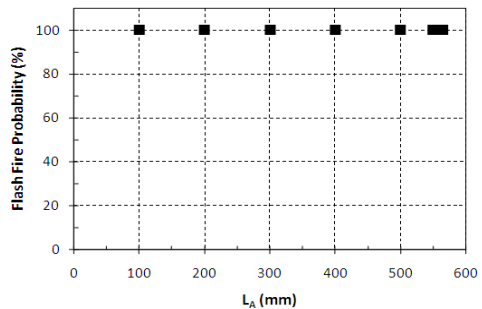
운동에너지 탄 종류와 적재포탄 재질에 따른 순간화



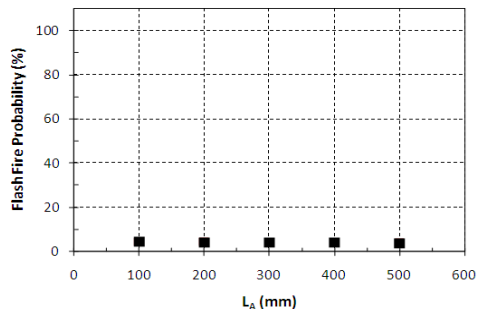
(a) COMPB



(b) TNT

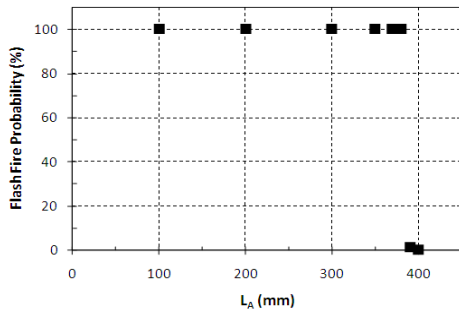


(c) PBX9404

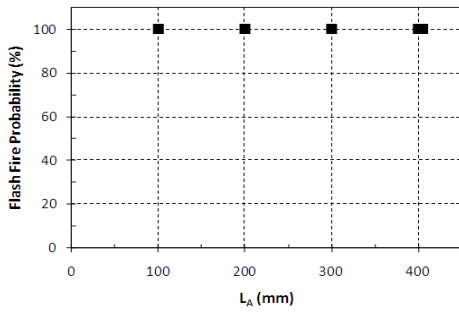


(d) ANB

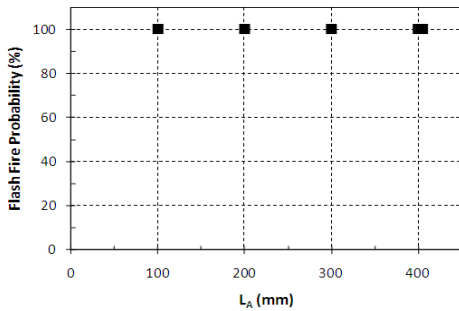
Fig. 2. Flash fire probability of the type A



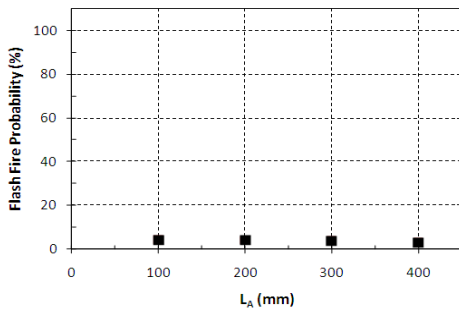
(a) COMPB



(b) TNT



(c) PBX9404



(d) ANB

Fig. 3. Flash fire probability of the type B

재 발생확률을 보다 쉽게 비교하기 위해 다음과 같은 임계 순간화재지수,  $FF_C$ 를 제안한다.

$$FF_C = \frac{L_{A,MAX}}{L_{exp}} \quad (1)$$

여기서  $L_{exp}$ 는 실험적으로 RHA로 가정된 장갑을 관통할 수 있는 최대깊이로써 보통 실험값으로 구해지며, type A 탄의 경우 약 600 mm급이고 type B는 약 400 mm급이다. 또한  $L_{A,MAX}$ 는 외부 탄이 RHA재질의 장갑을 관통하여 순간화재를 발생시킬 수 있는 최대 관통 깊이이다.

Fig. 4에는 Table 1에 나타난 각각의 계산 경우에 대한 임계 순간화재지수를 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 case 1(탄종 : type A, 적재포탄 재질 : COMPB)의 경우 임계 순간화재지수는 0.842이고 case 2(탄종 : type A, 적재포탄 재질: TNT)와 case 3(탄종 : type A, 적재포탄 재질: PBX9404)은 각각 0.991로 거의 1.0에 근접한 값이며 case 4(탄종 : type A, 적재포탄 재질 : ANB)의 경우 0이다.

case 5(탄종 : type B, 적재포탄 재질 : COMPB)의 경우 임계 순간화재지수는 0.927이고 case 6(탄종 : type B, 적재포탄 재질 : TNT) 와 case 7(탄종: type B, 적재포탄 재질 : PBX9404)은 각각 0.988로 동일한 값이며 case 8(탄종 : type A, 적재포탄 재질 : ANB)의 경우 0이다. 따라서 적재포탄의 재질이 TNT와 PBX9404가 COMPB 재질보다 순간화재발생 확률이 상당히 높음을 알 수 있고 ANB의 재질은 운동에너지 탄의 충격에 의해 화재가 발생하지 않음을 알 수 있다.

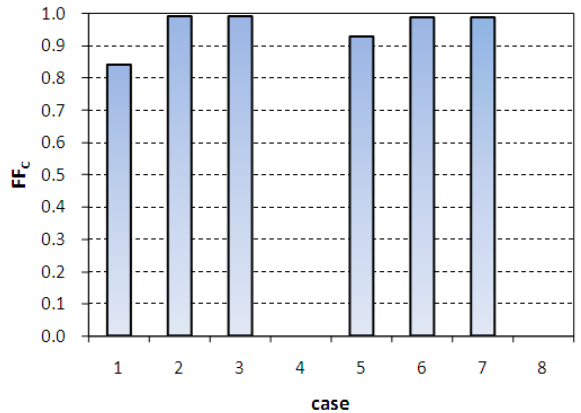


Fig. 4. Critical flash fire index of cases

#### 4. 결 론

본 연구에서는 외부 위협탄에 의한 전투시스템의 취약성을 분석하기 위한 선행연구로써, 외부 운동에너지 탄이 장갑을 관통하여 가상의 전투차량 내부의 적 재포탄에 충격을 가했을 때, 순간화재가 발생하는지에 대한 전산해석을 수행하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

운동에너지 탄 종류와 적재포탄 재질에 따른 순간화재 발생확률을 보다 쉽게 비교하기 위해 임계 순간화재 지수를 제안하였으며 case 1의 경우 임계 순간화재 지수는 0.842이고 case 2와 case 3은 각각 0.991로 거의 1.0에 근접한 값이며 case 4의 경우 0이다. case 5의 경우 임계 순간화재지수는 0.927이고 case 6와 case 7은 각각 0.988로 동일한 값이며 case 8의 경우 0이다. 따라서 적재포탄의 재질이 TNT와 PBX9404가 COMPB 재질보다 순간화재발생 확률이 상당히 높음을 알 수 있고 ANB의 재질은 운동에너지 탄의 충격에 의해 화재가 발생하지 않음을 알 수 있었다. 향후 계속되는 연구를 통해 다양한 외부충격탄에 의한 전투시스템의 순간화재발생에 대해 연구를 진행할 것이다.

#### 후 기

이 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화 연구센터의 사업으로 지원받아 연구되었음  
(계약번호 UD1200190D).

#### References

- [1] Kim, In-Ho and Baek, Min-Seok, "Explosion Phenomenon and High-pressure Physics", Physics & High Technology, Vol. 15, No. 1/2, pp. 31~35, 2006.
- [2] <http://www.defense-update.com>
- [3] <http://weapon.tistory.com>
- [4] ANSYS AUTODYN User's Manual Release 13.0, 2010.
- [5] Lee E. L. and Tarver C. M., "Phenomenological Model of Shock Initiation in Heterogeneous Explosives", Physics of Fluids, Vol. 23, No. 12, p. 2362, 1980.