

## 유한요소해석을 이용한 원뿔형 대응체 방호 효과 분석

김희철<sup>1)</sup> · 김종봉<sup>\*,2)</sup> · 정진환<sup>3)</sup> · 유요한<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> 서울과학기술대학교 자동차공학과

<sup>2)</sup> 서울과학기술대학교 기계자동차공학과

<sup>3)</sup> 국방과학연구소 제3기술연구본부

<sup>4)</sup> 국방과학연구소 제4기술연구본부

### Analysis of Protection Capability of a Conical Shaped Protector

Heecheol Kim<sup>1)</sup> · Jongbong Kim<sup>\*,2)</sup> · JinHwan Jeong<sup>3)</sup> · Yo-Han Yoo<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Automotive Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Science & Tech, Korea

<sup>2)</sup> Department of Mech. and Automotive Engineering, Seoul Nat'l Univ. of Science & Tech, Korea

<sup>3)</sup> The 3rd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

<sup>4)</sup> The 4th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 1 June 2018 / Revised 19 July 2018 / Accepted 24 August 2018)

#### ABSTRACT

In order to effectively protect a penetrator, the conically shaped protector was proposed and the protection capability was investigated. The collision and penetration of the penetrator with the protector were analyzed using dynamic finite element analysis. The post impact behaviors of the penetrator, i.e., flying velocity and the change of attitude angle, were monitored to investigate the protection capability. The flying velocity and the attitude angle are used to investigate the deviation and the penetration power respectively. The effect of rotation speed of the protector and the collision position on the protection capability is investigated in the viewpoint of deviation and attitude angle when penetrator colliding with our tank.

Key Words : Active Protection(능동방호), Conical Shaped Protector(원뿔형 대응체), Penetrator(위협체)

#### 1. 서론

지상전의 주력인 전차는 전투가 벌어지는 전장에서 중요한 무기체계 중 하나로 무반동 화기, 대전차 로켓 등의 각종 위협체로부터 안전하게 보호되어야만

다. 지금까지는 전차의 생존성을 높이기 위해 주로 장갑의 두께를 늘리고 차체 외벽에 착탈식 장갑을 부착하는 방법 등으로 개발이 이루어졌다. 하지만 그에 따라 전차를 위협하는 공격 수단도 발전하여 전차의 생존이 더 어려워지고 있다. 따라서 최근에는 장갑의 두께나 재질에 의존하는 수동적인 방호의 한계를 극복하기 위해 능동적인 방호 시스템을 추구하고 있다. 이를 위해 부가형 수동장갑(Add-on Passive Armor), 부착

\* Corresponding author, E-mail: jbkim@seoultech.ac.kr  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

형 반응장갑(Additive Reactive Armor), 능동장갑(Active Armor) 등의 여러 가지 방법이 연구되었다<sup>[1]</sup>.

최근에는 반응장갑을 무력화하는 탄두의 개발이 진행됨에 따라 위협체를 사전에 무력화시키는 능동 방호(Active Kill)의 개발이 진행되고 있다. 능동 방호는 아군 전차에 접근하는 위협체를 탐지 및 추적하여 대응체를 무력화시키는 능동파괴형(Hard-Kill)과 위협체를 교란시키거나 연막 차장 후 안전한 곳으로 회피하는 유도교란형(Soft-Kill)으로 구분된다<sup>[1]</sup>. 최근에는 판재나 봉재를 이용하여 운동에너지탄을 무력화하는 연구가 진행되고 있다<sup>[2-4]</sup>. Paik 등<sup>[4]</sup>은 양쪽으로 이동하는 2개의 판재를 이용했을 때 판재 속도와 요우(Yaw) 각이 방호 성능에 미치는 영향을 분석하였고 Liden 등<sup>[5-7]</sup>은 판재의 속도 및 요우각에 따른 위협체의 속도 변화와 파손 정도를 실험과 해석을 통해 연구하였다. Kang 등<sup>[8]</sup>은 능동방호 체계의 현황과 발전방향을 정리 및 요약하여 기술하였고, Kim 등<sup>[9]</sup>은 능동방호 체계에서 위협체의 궤적데이터를 보정하여 보다 정확하게 궤적을 추적하는 방법에 대해 연구하였다.

Choi 등<sup>[10]</sup>은 판재를 통해 초고속 위협체의 방호 성능에 대해 해석적 연구를 진행하였다. Choi 등<sup>[10]</sup>은 판재를 위협체에 충돌시켜서 위협체의 속도를 줄이는 것은 어렵다고 분석하였고, 위협체 진행에 수직방향으로 속도를 유발하여 궤도 변경하거나 자세각 변화를 유도하여 침투력을 감소시켜 아군 전차를 보호하는 것이 용이하다고 분석하였다. 그러기 위해서는 대응체가 위협체 진행 방향과 수직의 속도를 가지고 위협체를 충돌해야 한다. 본 연구에서는 보다 용이하게 위협체의 진행 방향과 수직 방향의 속도를 가하기 위해 원뿔형(Conical) 대응체를 제안하였다. 그리고, 원뿔형 대응체가 위협체와 충돌했을 때, 방호 효과를 분석하였다. 위협체와 대응체의 충돌 지점, 대응체의 형상, 그리고, 대응체의 회전속도가 위협체의 경로 이탈 정도와 자세각 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 위협체와 대응체의 충돌 위치, 대응체 회전 속도 등의 충돌 조건에 따른 방호를 위한 최소 충돌 거리를 이론식으로 계산하여 제안하였다. 해석은 ABAQUS<sup>[11]</sup>를 이용하여 진행하였다.

2. 모델링 및 경계조건

Fig. 1은 본 연구에서 제안한 원뿔형 대응체가 위협

체를 방호하는 개념도이다. 위협체는 대응체를 향해 이동하며 대응체도 회전하면서 위협체를 향해 이동한다. Table 1은 사용된 재료와 물성을 보여준다. 위협체와 대응체는 참고문헌<sup>[12]</sup>에 기술된 Johnson-Cook 모델 계수를 이용하였다. Johnson-Cook 모델의 A는 항복응력, B는 가공경화 계수이며 n은 가공경화 지수를 의미하며, 탄소성 모델의  $\sigma_y$ 는 항복응력, H는 가공경화 계수를 의미한다. 그리고 ABAQUS를 이용하여 해석 시 전단 파괴 모델(Shear failure model)에 기초한 요소 소진 방법을 이용하기 위해 변형률 속도 및 온도에 의존적인 항은 무시하고 가공경화만을 고려하여 해석하였다. 전단 파괴 모델에 기초한 요소소진 방법은 Johnson-Cook 모델과 동시에 사용이 되지 않기 때문에 Table 1에 기술된 계수를 이용하여 표 형태의 데이터(Table data)를 생성해서 해석에 적용하였다. 원뿔형 대응체를 발사하기 위해 필요한 기둥(Pillar) 부분은 가벼운 재료를 사용하기 위해 Al 6061을 사용하였고, 선형가공경화 탄소성으로 적용하였다. 요소 소진 기준은 등가소성변형률 2.0<sup>[12]</sup>으로 하였고, 요소가 소진된 후 안쪽에 새로이 생성된 요소 표면과 접촉이 처리되도록 하였다.

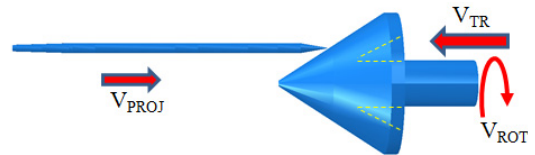


Fig. 1. Schematic illustration of analysis model

Table 1. Mechanical properties of each part

Part	Projectile	Cone	Pillar
Material	Tungsten heavy alloy <sup>[12]</sup>	4340 Steel <sup>[12]</sup>	Al 6061 <sup>[13]</sup>
Young's modulus (GPa)	389.2	200.1	68.9
Poisson's ratio	0.28	0.3	0.33
Density (kg/m <sup>3</sup> )	17,200	7,870	2,700
Plastic (Johnson-Cook)	A	1411 MPa	792
	B	223 MPa	510
	n	0.108	0.260
Plastic (Elastic-Plastic)	$\sigma_y$	-	276
	H	-	283

해석은 Dynamic/Explicit으로 수행하였고, 사용된 요소의 개수는 위협체와 대응체 각각 약 17만개와 10만개이다. 해석은 2.0 ms 동안 수행하였다. 시간 증분(Time increment)은 ABAQUS에서 자동으로 계산하도록 하였으며 확인 결과 약  $1.07e^{-8}$  이었다. 많은 계산 스텝으로 인한 해석 오차의 누적을 줄이기 위해 2배 정밀도(Double precision)로 해석하였다.

해석에 사용된 유한요소 이론은 다음과 같은 과정으로 정리된다. 동적문제의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\sigma_{ij,j} + \rho b_i = \rho \ddot{x}_i \quad (1)$$

식 (1)에서  $\sigma_{ij}$ 는 응력성분,  $\rho$ 는 밀도,  $b_i$ 는 체적력, 그리고  $\ddot{x}_i$ 는 가속도를 의미한다. 지배방정식으로부터 유도된 유한요소 방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{X} = F \quad (2)$$

식 (2)에서  $M$ 은 질량 행렬,  $\ddot{X}$ 는 가속도 벡터, 그리고  $F$ 는 힘 벡터이다. 보통 질량행렬은 해석 시간을 줄이기 위해 집중질량법을 사용하고, 대각선 행렬에서 대각선 성분만 존재하기 때문에 역행렬을 구하지 않고 대각선의 값으로 나누어주는 방법을 이용하여 다음과 같이 가속도, 속도, 변위를 구한다.

$$\ddot{x}_i^t = f_i^t / m_i \quad (3)$$

$$\dot{x}_i^{t+\Delta t/2} = \dot{x}_i^{t-\Delta t/2} + \ddot{x}_i^t (\Delta t^{t+\Delta t} + \Delta t^t) / 2 \quad (4)$$

$$x_i^{t+\Delta t} = x_i^t + \dot{x}_i^{t+\Delta t/2} \Delta t^{t+\Delta t} \quad (5)$$

식 (3)-(5)에서  $\ddot{x}_i$ 는 가속도,  $f_i$ 는 외력과 내력의 합,  $m_i$ 은 질량이고, 아래 첨자  $i$ 는 각 벡터의  $i$ 번째 성분을 의미한다. 그리고,  $t$ 는 현재 시간,  $\Delta t$ 는 시간 증분이다.

### 3. 충돌위치에 따른 충돌 해석

#### 3.1 해석 조건

Fig. 2는 대응체와 위협체의 충돌 위치에 따른 방호

효과를 분석하기 위한 해석 조건을 보여준다. 원뿔의 최대 반경이 150 mm이고,  $L_{OFF}$ 는 중심으로부터의 거리를 의미하며 위협체와 대응체의 충돌위치이다. 원뿔형 대응체의 중심과 빗면의 끝부분(중심으로부터 140 mm)에 충돌하였을 때 위협체의 경로 이탈, 속도 감소와 자세각 변화를 비교하였다. 대응체의 경사각은 30°이며 원뿔의 두께는 25 mm, 회전 속도는 4000 rad/s, 수평방향 속도는 600 m/s이다. 위협체의 속도는 2000 m/s 이다. 원뿔의 두께는 25 mm이다.

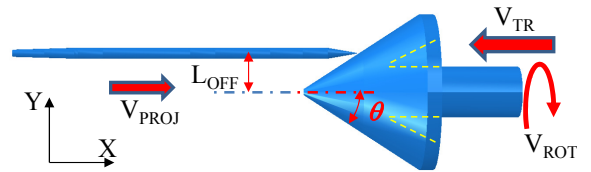


Fig. 2. Analysis model for collision position

#### 3.2 해석 결과

Fig. 3은 위협체가 대응체의 중심부분에 충돌한 경우 해석 결과를 보여준다. 그림에서와 같이 대응체의 중심과 충돌했을 때 위협체는 앞부분에 약간의 변형이 발생하지만 전체적으로 형상에 큰 손상이 발생하지 않았고 위협체의 경로 이탈과 자세각 변화 또한 전혀 발생하지 않은 것을 확인할 수 있었다.

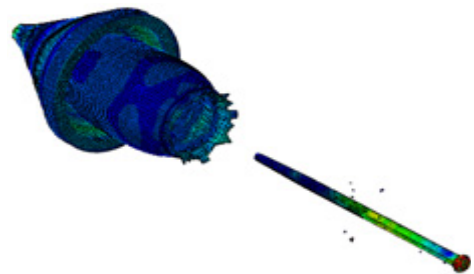


Fig. 3. Deformed shape after collision at the center of the protector

Fig. 4는 빗면의 끝부분을 충돌한 경우 해석 결과를 보여준다. 그림과 같이 대응체 빗면의 끝부분에 충돌했을 때 위협체는 전체 부분에 걸쳐 손상이 발생하고 이동 경로와 자세각 또한 변하는 것을 확인할 수 있었다. 원뿔도 많은 부분이 손상되었음을 알 수 있다. 원뿔이 회전하기 때문에 충돌 영역이 넓기 때문으로 사료된다.

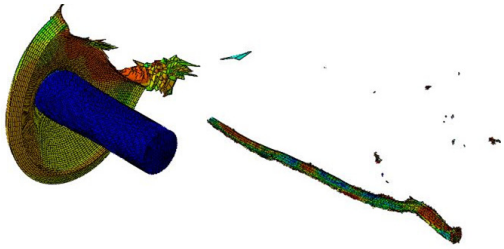


Fig. 4. Deformed shape after collision at the end of the protector side( $L_{OFF} = 140$  mm)

대응체와 충돌 후 위협체의 속도, 자세각, 이동 궤적을 분석하였다. 분석은 Fig. 5에 도시된 앞부분(Monitor\_F)과 뒷부분(Monitor\_R) 절점들의 평균으로 계산하였다. 앞부분은 요소 소진을 고려하여 64 mm 뒤에서부터 절점을 선택하였다.

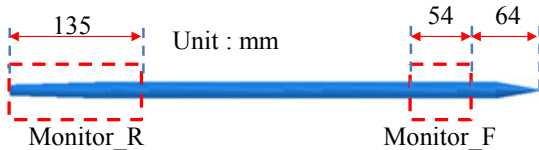


Fig. 5. Description of monitoring nodes

Fig. 6은 대응체가 회전하지 않을 때 충돌 지점에 따른 위협체의 속도 변화를 보여준다. 원뿔의 중앙이나 끝부분에 충돌한 경우 모두 대응체와 충돌 후 위협체의 진행 방향 속도는 거의 감소하지 않는 것을 알 수 있다. 중심부 충돌의 경우 Al 6061의 기둥을 관통함에도 불구하고 속도는 줄지 않는 것으로 보아 위협체의 속도를 감소시켜 방호하는 것은 어렵다고 판단이 된다.

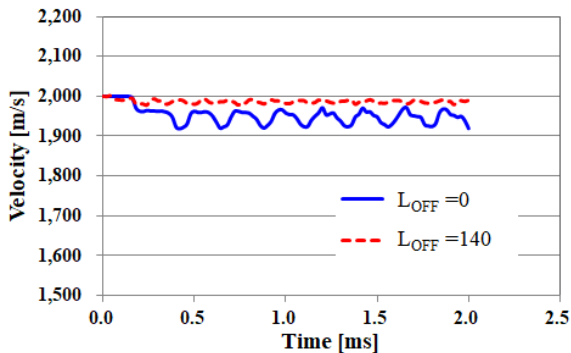


Fig. 6. Projectile velocity along x-direction during collision for collision position

해석 결과에 대한 검증을 위해 운동량 보존 법칙을 이용하여 충돌 후 위협체의 속도를 계산하였다. 두 물체 충돌에서 운동량 보존 법칙은 다음과 같다.

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2 \quad (6)$$

식 (6)에서  $m_1$ 과  $m_2$ 는 각각 두 물체의 질량,  $v_1$ 과  $v_2$ 는 충돌 전 속도,  $v'_1$ 과  $v'_2$ 는 충돌 후 속도이다. Fig. 7(a)는 충돌 및 침투 과정의 개념을 보여준다. 본 연구에서 물체 2는 위협체 전체로 하지 않고, 구멍에 해당하는 위협체만을 가정하였다. 그리고, 해석 결과에서 변형 형상을 관찰한 결과 충돌 후 대응체에 구멍이 형성되고 구멍에서 이탈한 재료는 주위로 분산됨을 알 수 있었다. 그래서 구멍에서 이탈한 재료는 속도가  $v'_2 = 0$ 으로 된다고 가정하면, 물체 1(위협체)의 충돌 후 속도는 다음과 같이 계산된다.

$$v'_1 = (m_1v_1 + m_2v_2) / m_1 \quad (7)$$

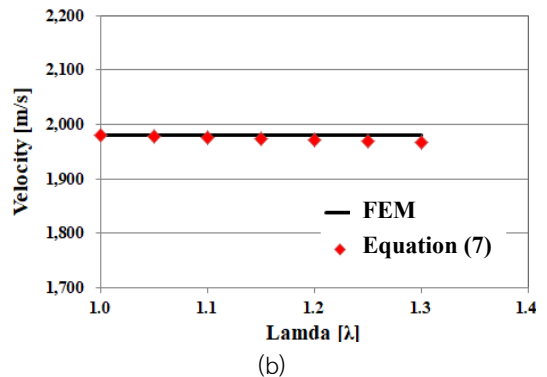
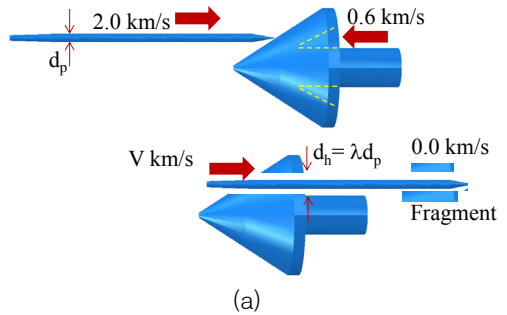


Fig. 7. (a) Schematic illustration of penetration behavior, (b) comparison of projectile velocity after collision

Fig. 7(b)는 Fig. 6의 해석 결과 ( $L_{OFF} = 140$ )와 운동량 보존 법칙으로 계산한 결과를 비교한 것이다. 충돌 시 위협체에 생기는 관통 구멍의 크기는 관통 영역 직경과 위협체 직경의 비( $\lambda$ )를 이용하여 계산하였고 여러 값의  $\lambda$ 에 대해 분석하였다. 분석 결과 ABAQUS를 통해 얻은 값과 식 (7)을 통해 얻은 값이 거의 일치함을 확인할 수 있다.

Fig. 8은 위협체가 원뿔형 대응체의 중심 또는 끝부분과 충돌하면서 위협체의 진행방향에 수직방향 속도를 보여준다. 충돌 후 약 120 m/s의 수직방향 속도가 발생함을 알 수 있다. 이 속도는 5장에서 위협체가 전차를 벗어나게 하기 위한 충돌 거리를 예측하는데 적용된다. Fig. 9는 위협체가 대응체와 충돌하면서 위협체의 회전속도를 보여준다. 충돌 중에 급격히 회전속도가 증가하고, 약 1.0 ms 이후에는 일정한 속도로 회전함을 알 수 있다. 이 회전 속도는 5장에서 탄두의 충돌 시 자세각을 예측하는데 사용된다.

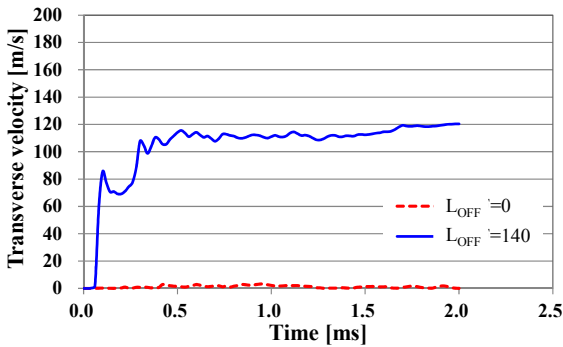


Fig. 8. Projectile velocity along transverse direction during collision for collision position

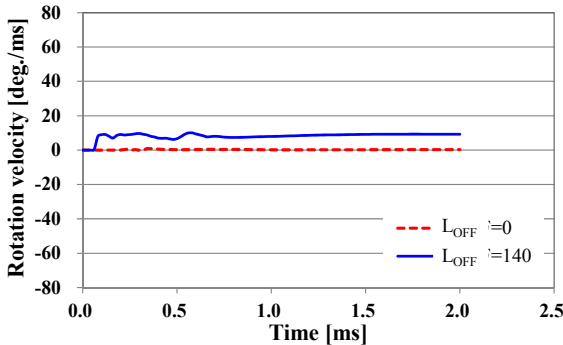


Fig. 9. Rotational velocity of projectile during collision for collision position

#### 4. 충돌 위치와 회전 속도에 따른 방호 효과 분석

##### 4.1 충돌 후 수직방향 속도 및 자세각 변화

3장에서 위협체와 대응체의 충돌 위치는 충돌 후 위협체의 거동에 영향을 줄 수 있다. 충돌 후 위협체의 거동은 위협체로부터 아군 전차를 방호하는 주요 인자이다. 따라서 4장에서 충돌 위치와 대응체의 회전 속도에 따른 아군 전차 방호 효과를 상세하게 분석하였다. 해석은 충돌 위치를 대응체의 중앙에서부터 0, 40, 90, 140 mm의 4가지 경우, 회전속도를 0, 2000, 4000 rad/s의 3가지 경우에 대해 완전 조합으로

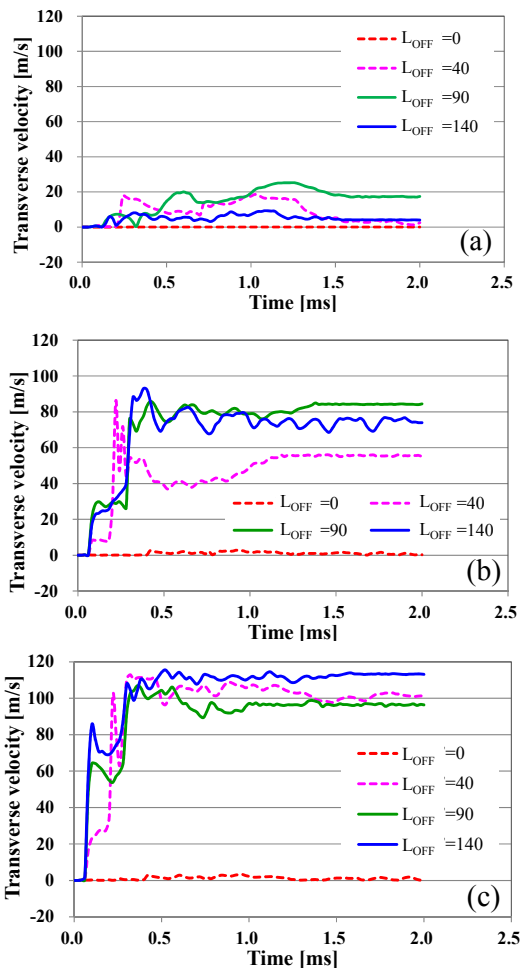


Fig. 10. Projectile velocity along transverse direction for various collision position : rotation velocity of protector are (a) 0, (b) 2000, and (c) 4000 rad/s

12가지에 대해 수행하였다. Fig. 10은 위협체의 회전 속도와 충돌 위치에 따른 충돌 과정 또는 충돌 후 위협체의 수직방향 속도를 보여준다. 위협체가 전차를 벗어나게 하는 가능성을 분석하기 위해 충돌 후 안정화된 속도를 추출하였다. 중심부를 충돌할 경우는 수직방향 속도가 유발되지 않는 것을 알 수 있다. 대응체가 회전하지 않는 경우에는 최대 약 20 m/s의 수직방향 속도가 유발되고, 회전 속도가 클수록 수직방향 속도가 크게 유발된다. 위협체 회전속도가 4000 rad/s 인 경우 위협체 중심에서 140 mm 지점에서 충돌 시 수직방향 속도가 최대 약 115 m/s 유발된다.

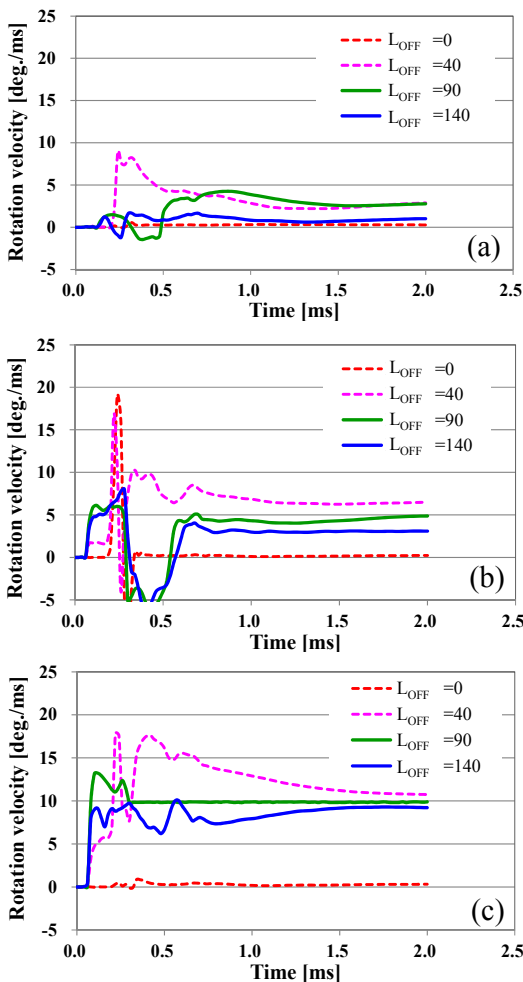


Fig. 11. Projectile rotational velocity for various collision position : rotation velocity of protector are (a) 0, (b) 2000, and (c) 4000 rad/s

Fig. 11은 대응체의 회전 속도와 충돌 위치별 위협체의 자세 회전 속도를 보여준다. 0.5 ms 이전에 회전 속도가 변화가 큰 것은 충돌 중이기 때문으로 사료된다. 위협체가 전차와 충돌하는 자세각 분석에는 1.5 ms 이후에 안정된 회전속도를 이용하였다. 위협체가 대응체 중심부를 충돌한 경우에는 위협체의 자세각 변화는 거의 없는 것으로 분석이 된다. 위협체가 회전하지 않는 경우에는 중심에서 40 또는 90 mm에서 충돌한 경우 회전속도가 3 %/ms로 안정화됨을 알 수 있다. 위협체 회전속도가 4000 rad/s인 경우에는 위협체 중심에서 40, 90, 140 mm 지점에서 충돌 시 회전속도가 약 10 %/ms로 비슷하게 안정화됨을 알 수 있다. 그리고, 대응체의 회전속도가 클수록 위협체의 자세각 회전속도가 큼을 알 수 있다.

4.2 방호를 위한 최소 충돌거리 예측

Choi 등<sup>[10]</sup>은 판재를 이용하여 위협체를 충돌시켰을 때, 위협체의 궤도변경과 자세각 변화를 이용하여 방호효과를 분석하였다. 위협체의 궤도 변경으로 방호하기 위해서는 위협체의 수직방향 속도를 이용하여 전차를 벗어나게 해야 한다. 충돌지점에서 충돌에 의해 위협체의 진행방향과 수직한 방향으로 속도가 유발되었다고 가정하면 위협체가 전차를 벗어나기 위한 충돌 위치는 다음과 같이 계산이 된다<sup>[10]</sup>.

$$\Delta t_{Dev} = \frac{L_{Tank}}{2V_T} \tag{8}$$

$$L_{C,Dev} = V_{PROJ} \cdot \Delta t_{Dev} \tag{9}$$

식 (8)과 식 (9)에서  $\Delta t_{Dev}$ 는 위협체 회피를 위해 필요한 위협체의 도착 시간(대응체와 충돌 후)이고,  $L_{Tank}$ 는 아군 전차의 길이,  $V_T$ 와  $V_{PROJ}$ 은 각각 위협체의 수직방향과 수평방향 속도, 그리고  $L_{C,Dev}$ 는 궤도를 변경하여 방호하기 위한 아군 전차에서 충돌지점까지의 최소 거리이다. Fig. 12에 보인 M1 전차는 길이, 폭, 높이가 각각 7.9 m, 3.7 m, 2.9 m이다<sup>[14]</sup>. 위협체가 대응체와 충돌 후 어느 방향으로 궤도가 변경될 지 알 수 없기 때문에 가장 긴 치수인 전차의 길이를 이용하여 계산하였다. 위협체는 전차의 중심을 향해 진행한다고 가정하였다. M1 전차의 길이가 7.9 m이지만 본 연구에서는 여유를 두어 10 m로 계산하



었다. 위협체의 진행 속도 2.0 km/s와 수직방향 속도 50 m/s를 가정하여 최소 충돌거리를 계산하면 200 m가 된다. 이것은, 200 m 밖에서 충돌해야 회피가 가능함을 의미한다.



Fig. 12. Dimensions of M1 tank<sup>[14]</sup>

Fig. 13은 위협체의 궤도를 바꾸어서 아군 전차를 벗어나게 하기 위해 최소로 필요한 거리를 식 (8)과 (9)을 이용해서 예측한 결과를 보여준다. 원뿔형 대응체가 회전하지 않는 경우에는 600 m 이상의 전방에서 충돌해야 함을 알 수 있다. 대응체가 2000 rad/s로 회전하는 경우에는 약 150 m 전방에서, 그리고 4000 rad/s로 회전하는 경우에는 약 100 m 전방에서 충돌해야 한다. 위협체가 원뿔형 대응체의 중심에 충돌할 경우에는 대응체의 회전속도에 관계없이 궤도를 변경시켜 방호하는 것은 불가능함을 알 수 있다.

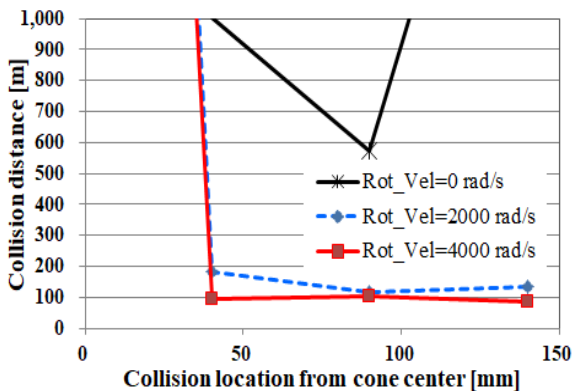


Fig. 13. Required minimum collision distance from tank to deviate our tank for various collision position and rotation velocity of protector

위협체의 궤도를 변경시켜 방호하는 방법 외에 위협체의 자세각을 변화시켜 전차와 충돌했을 때 관통력을 줄이는 방법도 있다. Gee와 Littlefield<sup>[15]</sup>는 붕 형태의 관통자가 표적에 충돌할 때, 60° 이상의 각도로 충돌하면 관통 깊이가 20 % 정도로 감소한다고 기술하였다. 그래서, 본 연구에서는 위협체를 60도 회전시켜 관통력을 20 % 이하로 줄이는 가능성을 분석하였다. Fig. 11에서 1.5 ms 이후 안정된 회전 속도를 추출하여 60도 이상의 회전각을 얻기 위한 충돌 거리를 다음과 같이 계산하였다<sup>[10]</sup>.

$$\Delta t_{Rot} = \frac{60^\circ}{V_{Rot}} \quad (10)$$

$$L_{C, Rot} = V_{PROJ} \cdot \Delta t_{Rot} \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)에서  $\Delta t_{Rot}$ 는 위협체를 60° 회전시키기 위해 필요한 위협체의 도착 시간(대응체와 충돌 후)이고,  $V_{Rot}$ 와  $V_{PROJ}$ 은 각각 위협체의 자세 회전속도와 수평방향 속도, 그리고  $L_{C, Rot}$ 는 위협체의 자세각을 60도 이상이 되기 위한 아군 전차에서 충돌 지점까지의 최소 거리이다. 위협체의 진행 속도 2.0 km/s와 위협체의 자세 회전속도 10 rad/ms를 가정하여 최소 충돌거리를 계산하면 12 m가 된다. 이것은, 12 m 밖에서 충돌하면 60도의 자세각으로 전차와 충돌함을 의미한다.

Fig. 14는 식 (10)과 (11)를 이용하여 위협체가 전차와 충돌 시 60°의 자세각을 갖기 위한 전차로부터 충돌 지점까지의 거리 예측한 결과를 보여준다. 위협체가 대응체의 중앙을 충돌하는 경우에는 최소 400 m 전방에서 충돌해야 함을 알 수 있고, 대응체가 회전하지 않고 충돌 지점이 대응체의 중심에서 140 mm인 경우 Fig. 15와 같이 충돌한다. 이때 위협체가 관통 및 충돌하는 질량이 작기 때문에 Fig. 14에서 충돌거리가 증가하는 것으로 사료된다. 반면에 대응체가 4000 rad/s로 회전하고, 충돌지점이 원뿔형 대응체의 중심에서 40 mm 이상이면 요구 충돌거리가 13m까지 감소함을 알 수 있다. 충돌 지점이 가까울수록 충돌 정확도가 높아진다는 측면을 고려하여 Fig. 13과 Fig. 14를 분석하면, 위협체의 궤도를 변경하여 방호하는 방법 보다는 위협체의 자세각을 변경시켜 방호하는 방법이 유리함을 알 수 있다.

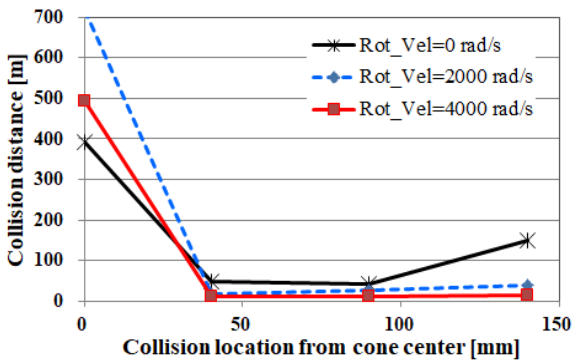


Fig. 14. Required minimum collision distance from tank to make attitude angle more than 60° for various collision position and rotation velocity of protector

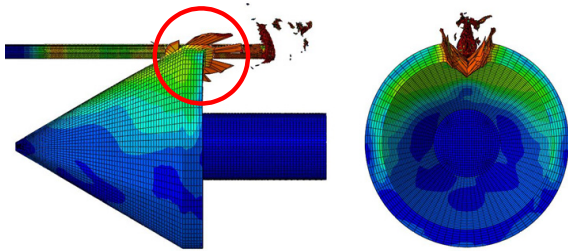


Fig. 15. Deformed shape during collision(L<sub>off</sub> = 140 mm, rotation velocity = 0 rad/s)

## 5. 결론

본 연구에서는 운동에너지탄과 같은 초고속 위협체를 방호하기 위해 원뿔형 대응탄을 제안하였다. 원뿔형 대응체와 위협체의 충돌 해석을 통해 대응체의 회전속도, 그리고 위협체와 대응체의 충돌 위치가 위협체 무력화에 미치는 영향을 분석하였다. 무력화 분석은 위협체의 궤도를 변경하여 방호하는 가능성과 위협체가 아군 전차와 충돌 시 충돌 자세각을 60° 이상으로 하여 관통력을 20% 이하로 감소시켜서 방호하는 가능성에 대해 분석하였다.

위협체가 원뿔형 대응체의 중심부에서 충돌하는 경우에는 위협체의 궤도 변경과 충돌 자세각 변경을 통해서 방호하는 것은 불가능한 것으로 분석이 된다. 그리고, 위협체의 궤도를 변경시켜 아군 전차를 벗어나게 하는 방법 보다는 충돌 자세각을 60°로 하는 방법

이 유리함을 알 수 있었다. 원뿔형 대응체가 4000 rad/s로 회전하는 경우, 위협체의 궤도를 변경시켜 방호하기 위해서는 약 100 m 전방에서 충돌시켜야 하고, 위협체의 자세각을 60° 회전시켜 방호하기 위해서는 약 13 m 전방에서 충돌시키면 가능함을 알 수 있었다.

## 후 기

본 논문은 국방과학연구소 생존성 기술 특화센터 사업과(계약번호 UD090090GD) 국방과학연구소 연구지원(UE161102GD)으로 수행한 연구 결과입니다.

## References

- [1] S. H. Cho, Y. W. Song and G. L. Kim, "A Study on Counter-Munition for Active Protection System According to Fragmentation Type," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 72-75, 2005.
- [2] H. Yadav and P. Kamat, "Effect of Moving Plate on Jet-Penetration," Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 14, No. 1, pp. 12-18, 1989.
- [3] M. Held, "Disturbance of Shaped Charge Jets by Bulging Armour," Propellants Explosives Pyrotechnics, Vol. 26, No. 4, pp. 191-195, 2001.
- [4] S. Paik, S. Kim, Y. Yoo and M. Lee, "Protection Performance of Dual Flying Oblique Plates Against a Yawed Long-Rod Penetrator," International Journal of Impact Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 1413-1422, 2007.
- [5] E. Lidén, S. Mousavi, A. Helte and B. Lundberg, "Deformation and Fracture of a Long-Rod Projectile Induced by an Oblique Moving Plate: Numerical Simulations," International Journal of Impact Engineering, Vol. 40, pp. 35-45, 2012.
- [6] E. Lidén, B. Johansson and B. Lundberg, "Effect of Thin Oblique Moving Plates on Long Rod Projectiles: A Reverse Impact Study," International Journal of Impact Engineering, Vol. 32, No. 10, pp. 1696-1720, 2006.
- [7] E. Lidén, O. Andersson and B. Lundberg, "Deformation and Fracture of a Long-Rod Projectile



- Induced by an Oblique Moving Plate: Experimental Tests,” International Journal of Impact Engineering, Vol. 38, No. 12, pp. 989-1000, 2011.
- [8] Y. S. Kang, K. G. Cho, G. C. Park and C. Choi, “A Study on the Current Status and Developments for Active Protection System,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 180-183, 2010.
- [9] K. T. Kim, Y. D. Song, M. H. Kim, H. D. Kim, E. H. Lee and K. G. Cho, “A Method of Treat Trajectory Data Correction in Active Protection System,” KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 1787-1790, 2011.
- [10] H. S. Choi, H. H. Shin, Y. H. Yoo, J. H. Park and J. B. Kim, “Investigation Into Protection Performance of Projectile Using Flying Plate,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 12, pp. 1039-1045. 2016.
- [11] ABAQUS, ABAQUS Manual, Version 6.12, Dassault Systems, USA, 2012.
- [12] Y. H. Yoo and M. Lee, “Protection Effectiveness of an Oblique Plate against a Long Rod,” Int. Journal of Impact Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 872-879, 2006
- [13] [www.asm.matweb.com](http://www.asm.matweb.com)
- [14] <http://science.howstuffworks.com/m1-tank2.htm>
- [15] D. Gee, and D. Littlefield, “Yaw Impact of Rod Projectile,” International Journal of Impact Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 211-220, 2001.