

다물체 동역학 해석을 통한 포의 사격정확도 분석

진재훈* · 정사무엘* · 김태윤* · 김영구** · 안창기*** · 유완석*†

* 부산대학교 기계공학부, ** 두산 DST, *** 스페이스솔루션

Accuracy of Fire of a Mortar via Multibody Dynamics Analysis

Jae Hoon Jin*, Samuel Jung*, Tae Yoon Kim*,
Young Ku Kim**, Chang Gi Ahn*** and Wan Suk Yoo*†

* School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.,
** Doosan DST., *** Space Solution.

(Received August 10, 2015 ; Revised November 30, 2015 ; Accepted December 7, 2015)

Key Words: Self-Propelled Mortar(자주박격포), Multibody Dynamic Analysis(다물체동역학 해석), Interior Ballistic(강내탄도학), External Ballistic(강외탄도학), Accuracy of Fire(사격정확도)

초록: 본 연구에서는 자주박격포의 다물체동역학 모델을 만든 뒤, 포탄의 탄도학을 고려하여 시뮬레이션 하였다. 자주박격포 모델은 박격포 모델 및 차량 모델로 구성하였으며, 상용 다물체 해석 프로그램인 RecurDyn 을 사용하였다. 차량 모델은 6 자유도 강체플랫폼으로 모델링 하였으며, 박격포 발사 직후의 움직임에는 강내탄도학을 적용하였다. 강내탄도학 해석의 결과를 바탕으로, 포신을 떠난 후의 강외탄도 해석을 수행하였다. 몬테카를로 기법을 활용한 반복 해석으로 발사각과 차량 동특성에 의한 변동이 고려된 탄착점의 분산도를 구하여 사격정확도를 제시하였다.

Abstract: For this research, the trajectory of a projectile was simulated via the multibody dynamics analysis of a self-propelled mortar. The dynamic model was composed of a mortar model and a vehicle model, and was simulated using the RecurDyn program. Interior ballistic was applied to the mortar model, and exterior ballistic was conducted by Matlab using the simulation results of the interior trajectory. Through repetitive Monte-Carlo simulations, the accuracy of the mortar was analyzed by considering variations in the aiming angle and vehicle dynamic response.

- 기호설명 -

α	: 포탄의 회전방향 각가속도	f_d	: 감쇠 고유진동수
F_t	: 강선에 의한 접선력	k_t	: 비틀림스프링상수
T_t	: 강선에 의한 접선폭크	J_0	: 질량관성모멘트
n	: 캘리버 수	ω_n, ω_d	: 비감쇠고유진동수, 감쇠고유진동수
d	: 포열의 직경	ζ	: 감쇠비
I_{xx}	: 포탄의 회전방향 관성모멘트	$c_t, c_{t,c}$: 감쇠상수, 임계 감쇠계수
a	: 포탄의 진행방향 가속도	f_{roll}, f_{pitch}	: 엔진 가진진동수
m, c, k	: 질량, 감쇠계수, 스프링상수		
\ddot{x}, \dot{x}, x	: 가속도, 속도, 변위		

1. 서론

자주박격포는 보병에 의해 운용되는 도수운반 박격포와 달리 박격포를 전투차량에 탑재한 무기 체계이다. 자주박격포는 도수운반 박격포에 비해

† Corresponding Author, wsyoo@pusan.ac.kr
© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

높은 기동성을 가지고 있으며, 높은 기동성은 전장의 화력 요구에 대하여 즉각적인 지원사격을 가능하게 한다. 또한 적으로부터 신속한 퇴각이 가능하여 방어력도 우수하다. 최근에는 사격통제장치 및 항법장치 등을 장착하여 발사속도와 정확도가 향상되어 화력 또한 우수한 것으로 평가된다.⁽¹⁾ 이와 같은 장점으로 해외에서는 자주박격포를 운용 중이며 국내에서도 개발이 진행 중이다.

국내 화포 연구의 경우 강내탄도의 수학적모델과 전산해석으로 탄도를 예측하는데 연구를 집중하였다.^(2,3) 본 연구에서는 자주박격포의 동역학 모델을 제안하고 시뮬레이션을 통해 포탄의 사격정확도를 분석한 뒤, 사격오차와 차량의 동특성이 사격정확도에 미치는 영향을 알아보았다. 이는 박격포의 차량 탑재에 따른 성능변화의 예측을 가능하게 하여 실모델 개발에 필요한 시간과 비용을 감소시킬 것으로 예상된다.

동역학 모델은 상용 다물체 동역학해석 프로그램인 Recru-Dyn⁽⁴⁾으로 개발되었다. 동역학 모델을 바탕으로 강내탄도학 및 강의탄도학 해석이 수행되었으며, 몬테카를로 기법(Monte-Carlo method)을 이용하여 탄착점의 분산도를 예측하였다. Fig. 1은 전체적인 연구 프로세스를 보여준다.

2. 박격포 모델링

2.1 박격포 모델의 구성

Fig. 2에는 차량을 배제한 박격포 체계를 나타내

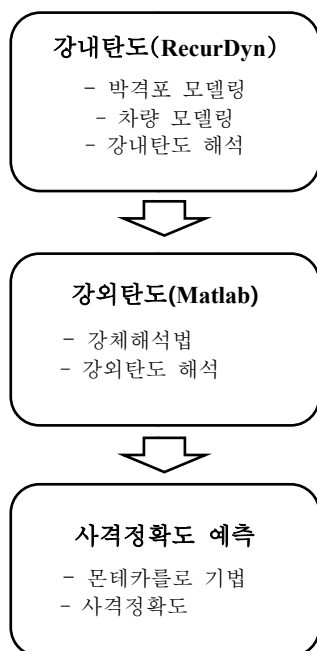


Fig. 1 Flow chart of the research

고 있다. 이 시스템은 크게 포신(mortar body), 포열(barrel), 고각장치(elevation aiming device), 선회장치(azimuth aiming device)로 구성되어 있다. 포신은 포열을 포함하여 박격포의 몸체를 구성하며 포탄을 격발시켜 사격이 가능하게 해주는 장치이다. 고각장치는 포의 고각을 조절하여 주며, 선회장치는 포의 방위각을 조절하여 준다. 고각장치 및 선회장치의 각도 조절을 통하여 목표하는 타격에 대한 조준이 가능하다.

2.2 구속관계

박격포 모델의 구속관계는 Fig. 2와 같이 이루어졌다. 포신은 고각장치에 구면조인트(Spherical joint), 선회장치의 z 축에 회전조인트(Revolute joint)로 연결되어 지지된다. 또한 내부의 포열과 병진조인트(Translational joint)로 연결되어 포신과 포열 사이에는 병진 이동이 존재한다. 고각장치는 상부와 하부로 나뉘며 상부는 포신과 구면조인트로 연결되어 있고 하부는 선회장치와 z 축 방향의 원통조인트(Cylindrical joint)로 연결되어 있다.

고각장치의 상부와 하부는 병진조인트로 구속되어 있어 병진 이동을 통하여 포의 고각을 조절한다. 선회장치는 고각장치와 z 축 방향 원통조인트, 포신과 z 축 방향 회전조인트로 연결되어 포신을 지지한다. 또한 차량과 y 축 방향 회전조인트로 구속되어 회전운동을 통하여 포의 방위각을 조절한다.⁽⁵⁾ 이에 따라 박격포 모델은 포신의 z 축 회전, 포열과 포신 사이의 병진, 지면과 선회장치 사이의 y 축 회전의 3 자유도를 가진다.

2.3 포탄추진력

포탄이 강내에서 움직이기 시작하여 포구를 벗어나는 순간까지 일련의 해석과정을 강내탄도학

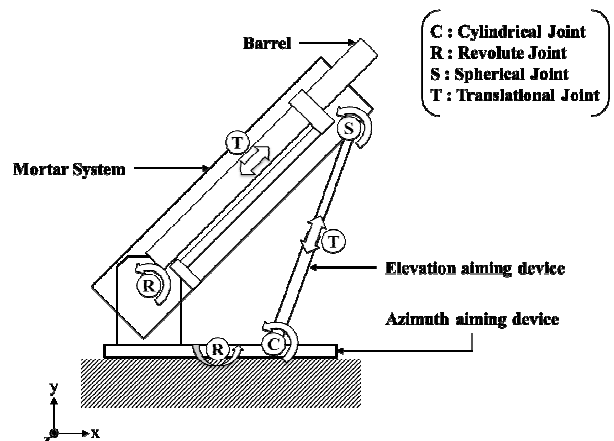


Fig. 2 Joint constraints of the mortar model

이라고 한다. 강내탄도 해석에서는 강내압력이 포탄의 운동에 지배적인 영향을 미친다. 강내압력은 포탄이 격발되었을 때 추진장약이 연소되면서 생성된 가스가 강내에 작용하는 압력이다. 강내압력은 Fig. 3과 같이 포탄을 가속시키는 포탄추진력으로 작용하며, 포탄추진력은 강내압력의 수치 데이터로부터 얻어진다. 강내압력은 압력센서가 설치된 포의 발사 실험을 통해 측정되었다. 측정된 강내압력과 강내 단면적의 곱으로 시간에 따른 포탄 추진력을 구하였다. 이는 Fig. 4에 그래프로 나타내었다. 포탄추진력은 실험값이므로 Akima Spline⁽⁶⁾ 함수를 이용하여 모델에 적용하였다.

2.4 강선력

강내탄도에서 강선은 포탄과 포열 사이에서 포탄 진행방향에 수직하게 강선력을 발생시켜 포탄을 고속 회전시킨다. 강선은 포탄의 이동속도와 회전속도에 영향을 미치므로 동역학 모델에도 강선력이 모델링 되어야 한다. 강선에 의하여 포탄의 진행방향과 수직한 방향으로 작용하는 힘을 접선력 F_t , 이 힘에 의한 토크를 접선평크 T_t 라고 두고 포탄의 회전에는 F_t 와 T_t 만 작용한다고 가정하였다. Fig. 5는 포탄에 작용하는 F_t 와 T_t 를 나타낸 것이다. 접선력은 캘리버 수(Caliber number) n 으로 계산 가능하다.⁽⁷⁾ 캘리버 수란 강선을 따라 포탄이 1회전할 때 이동한 길이를 구경의 배수로 나타낸 단위[caliber/revolution]이다. n 에 구경 d 를 곱하면 식 (1)과 같이 포탄이 1회전할 때 이동한 길이를 구할 수 있다.

$$n \left[\frac{\text{caliber}}{\text{revolution}} \right] \times d \left[\frac{\text{length}}{\text{caliber}} \right] = nd \left[\frac{\text{length}}{\text{revolution}} \right] \quad (1)$$

강선에는 나선각 ϕ 가 존재하는데 ϕ 와 nd 의 관계를 나타내면 다음과 같다.

$$\tan \phi = \frac{\pi d}{nd} = \frac{\pi}{n} \quad (2)$$

포탄의 진행방향 가속도를 a , 회전각가속도를 α 라고 하면 접선방향 회전가속도는 $a \cdot \tan \phi$ 이며 이는 $\alpha d/2$ 와 같다. 이를 정리하면 다음과 같다.

$$a \cdot \tan \phi = \frac{\alpha d}{2} \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{2a \cdot \tan \phi}{d} = \frac{2\pi a}{nd} = \frac{2\pi F_d}{ndm} \quad (4)$$

여기서 F_d 는 포탄추진력이며 m 은 포탄의 질량이

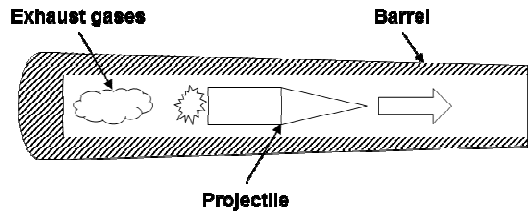


Fig. 3 Exhaust gases acting on the projectile

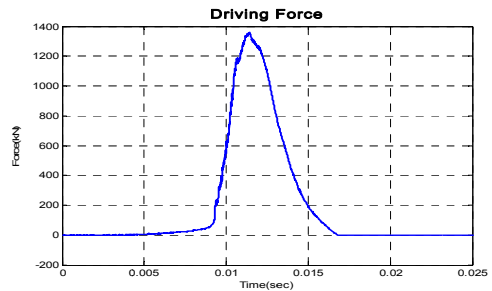


Fig. 4 Variation of driving force with time

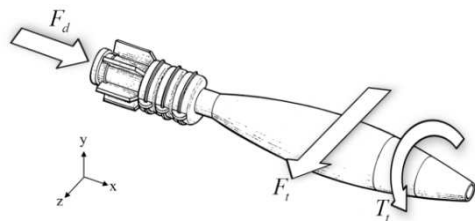


Fig. 5 Tangential force and tangential moment acting on the projectile

다. 회전 축은 x 방향이므로 T_t 는 다음과 같다.

$$T_t = I_{xx} \alpha = F_t \frac{d}{2} \quad (5)$$

따라서 F_t 와 T_t 는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$F_t = \frac{2I_{xx}}{d} \alpha = \frac{2I_{xx}}{d} \frac{2\pi F}{ndm} = \frac{4\pi I_{xx} F}{nd^2 m} \quad (6)$$

$$T_t = F_t \frac{d}{2} = \frac{2\pi I_{xx} F}{ndm} \quad (7)$$

F_t 에 의한 T_t 는 동역학 모델에 적용되어 강선력을 반영하였다.

2.5 주퇴복좌력

포탄 발사 시 포열은 포탄추진력에 의하여 뒤로 밀려나는 주퇴운동과 다시 제자리로 돌아오는 복좌운동이 발생한다. 박격포 모델에는 주퇴운동 시 충격을 저감시키고 포열을 발사 위치로 복좌시키기 위하여 포열과 포신 사이에 주퇴복좌기가 설치되었다. 주퇴복좌기에 작용하는 주퇴복좌력은 식 (8)로 가정할 수 있다.

$$F_{recoil} = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad (8)$$

식 (8)에서 주퇴복좌력은 관성력, 감쇠력, 탄성력이 복합적으로 작용한다고 가정하였다. m 은 주퇴운동 시 주퇴복좌기에 연결되어 움직이는 부위의 질량이며 이는 제원에 의해 결정되어 있다. 주퇴복좌력 F_{recoil} 과 주퇴거리 x 또한 목표하는 범위가 존재한다. 주퇴속도 \dot{x} 와 주퇴가속도 \ddot{x} 는 시뮬레이션을 통해 계산이 가능하다. 따라서 감쇠계수 c 와 스프링상수 k 를 미지수로 두고 목표하는 F_{recoil} 과 x 를 충족시키기는 알맞은 c, k 값을 찾는 과정이 필요하다. 이를 위하여 c, k 값을 입력 변수로, F_{recoil} 과 x 를 출력변수로 두고 설계분석(Design study)을 통해 Fig. 6과 같이 목표하는 출력 변수를 동시에 만족시키는 적절한 값이 선정되었다. 이 값은 실제 주퇴복좌기의 특성 값 선정 시 참고할 수 있다.

3. 차량 모델링

차량은 Fig. 7과 같이 강체(rigid body)로 가정하여 지면과 부싱(6자유도 힘요소)⁽⁸⁾로 연결하였고 이를 강체플랫폼이라고 가정하였다. 강체플랫폼은 세 방향의 병진과 세 방향의 회전으로 6자유도를 가지며 박격포는 강체플랫폼 상에 거치되어 전체 모델은 9자유도를 가진다. 부싱에는 각각의 병진 방향과 회전방향으로 감쇠와 탄성이 작용한다고 가정하여 차량 모델의 특성이 반영되도록 하였다. 특히 x 축 방향의 롤(roll) 및 z 축 방향의 피칭(pitching), 및 지면과 수직인 y 축 병진방향(vertical)에 대한 감쇠와 탄성이 중요한 요소로 고려되었다.

3.1 차량의 공회전 진동 측정

강체플랫폼의 롤과 피칭 및 y 축 병진방향에 대한 감쇠 계수와 스프링 상수를 결정하기 위해 차량의 고유진동수 측정이 필요하다. 이를 추정하기

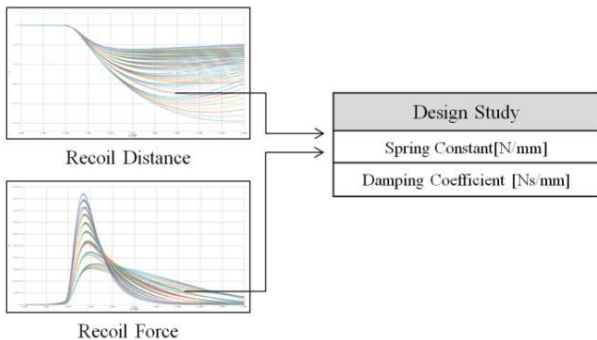


Fig. 6 Design study for spring constant & recoil force

위하여 차량 엔진에 의한 공회전 진동(Idle vibration) 상태의 가속도를 측정하였다. Fig. 8은 차량에 장착된 가속도 센서의 위치를 나타내는데, 각 센서의 가속도 방향은 지면과 수직인 y 축 방향이다. 롤에 의한 차량의 각변위는 센서 1과 센서 3 사이에서 측정된 가속도의 차를 계산하여 구하였다. 마찬가지로 센서 2와 센서 4를 이용하여 피칭에 의한 각변위를 구하였다. y 축 방향의 병진변위는 센서 2의 가속도 데이터를 이용하여 구하였다.

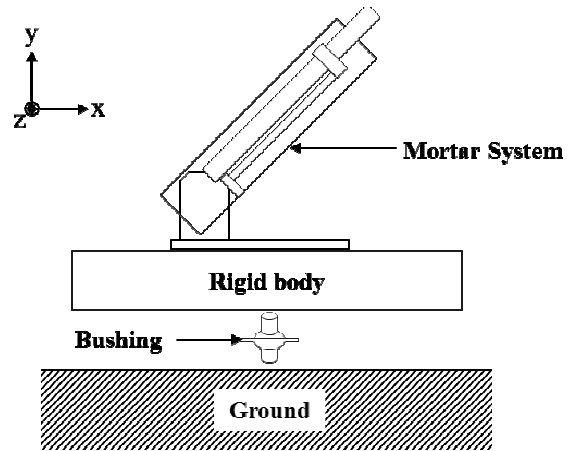


Fig. 7 Schematics of the rigid platform

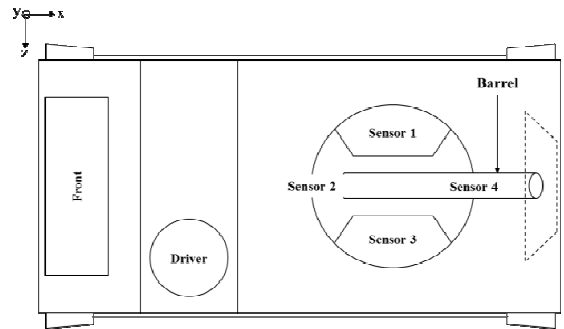


Fig. 8 Vibration experimental setting at idle condition

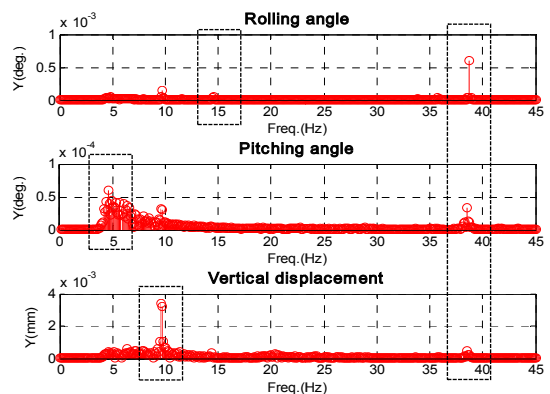


Fig. 9 FFT analysis of the idle vibrations

Fig. 9 에는 각변위와 병진변위를 FFT 하여 롤, 피칭, 및 y 축 방향에 대한 차량의 각변위와 병진 변위를 주파수 영역에서 보여주고 있다. 각각의 고유주파수는 약 15Hz, 5Hz, 10Hz로 나타났다. 엔진의 공회전 진동 주파수는 약 40Hz로 나타났다.

3.2 강체플랫폼의 감쇠 및 탄성

롤과 피칭에 작용하는 비틀림 스프링상수 k_t 는 3.1 절에서 구한 고유주파수 f_d 를 식 (9)에 대입하여 역으로 추정 가능하다.

$$k_t = \frac{(2\pi \times f_d)^2 \times J_0}{1 - \zeta^2} \quad (9)$$

여기서,

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_t}{J_0}}, \quad \omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n$$

$$f_d = \frac{1}{2\pi} \times \sqrt{1 - \zeta^2} \times \sqrt{\frac{k_t}{J_0}}$$

강체플랫폼은 부족감쇠 비틀림진동계라고 가정하였으며, 일반적인 차량의 감쇠비인 0.7을 감쇠비 ζ 로 설정하였다. 비틀림 감쇠상수 c_t 는 식 (10)과 같이 구하였다.⁽⁹⁾

$$c_t = \zeta \times 2\sqrt{k_t J_0} \quad (10)$$

여기서,

$$\zeta = \frac{c_t}{c_{t,c}} = \frac{c_t}{2J_0\omega_n} = \frac{c_t}{2\sqrt{k_t J_0}}$$

$c_{t,c}$ 는 임계 비틀림 감쇠상수이다.

y 축 병진방향에 작용하는 스프링상수 k_{vert} , 감쇠상수 c_{vert} 는 다음과 같다.

$$k_{vert} = \frac{(2\pi \times f_d)^2 \times m}{1 - \zeta^2}$$

$$c_{vert} = \zeta \times 2\sqrt{k_{vert} m}$$

계산된 스프링상수와 감쇠상수는 강체플랫폼 모델의 부싱에 적용되었다.

3.3 엔진 공회전 진동

공회전 진동은 시스템의 자세를 변화시켜 포탄의 거동에 영향을 미칠 수 있으므로, 이를 가진모멘트로 동역학 모델에 적용하였다. 가진모멘트는 Fig. 10 과 같이 롤과 피칭에 주요하게 작용한다고 가정하였다. 식 (11)은 공회전 진동을 가진모멘트로 표현한 식이다.

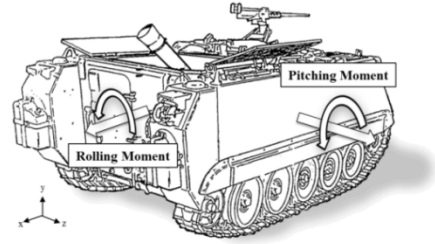


Fig. 10 Moment according to idle vibrations

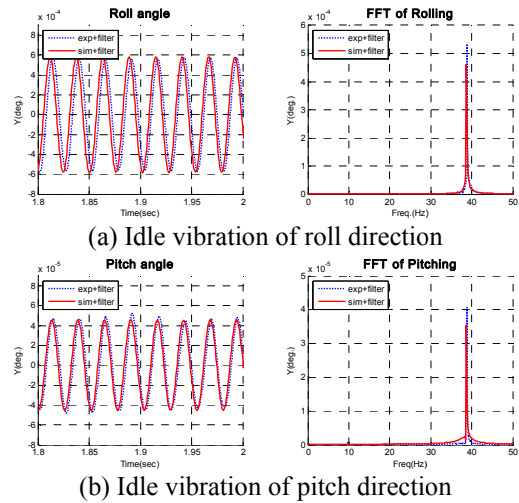


Fig. 11 Comparison of experimental and simulation vibrations

$$\begin{aligned} \text{Rolling moment} &: a_1 \times \sin(2\pi \times f_{roll} \times \text{time}) \\ \text{Pitching moment} &: a_2 \times \sin(2\pi \times f_{pitch} \times \text{time}) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서 a_1 과 a_2 는 미지수이며 실험과 동역학 모델의 가진모멘트가 같은 크기가 되도록 하여야 한다. 이를 위해 a_1 과 a_2 값을 변화시키면서, 동해석을 반복 수행하여 가진모멘트에 의해 차량에 발생하는 롤 및 피칭 방향에 대한 각변위를 구하였다. 실험과 동역학 모델의 각변위를 비교함으로써 미지수를 추정할 수 있다.

Fig. 11은 실험과 모델의 가진모멘트에 의한 각변위를 시간영역과 주파수 영역에서 비교한 그래프이다. 각변위는 고차모드의 노이즈(noise)가 존재하므로 가진주파수 영역대인 39~41Hz 영역만 나타나도록 대역 통과 필터(Band Pass Filter)⁽¹⁰⁾를 통과시켰다. 시간영역에서 실험과 모델의 주기와 진폭의 크기는 일치한다. 또한 주파수영역에서 같은 주파수에서 가진진동이 발생함을 알 수 있다. 이로써 공회전 진동이 동역학 모델에 실험값과 동일하게 적용됨을 확인하였다.

4. 강외탄도학

포탄이 포구를 떠나 대기 중을 비행하여 목표지점에 도달하기까지의 과정을 강외탄도학 이라고 한다. 강외탄도학에서 포탄의 사거리 계산은 포탄이 받는 공기역학적 힘이 고려되어야 하며 탄도방정식을 통해 구할 수 있다. 탄도방정식에는 크게 질점해석법(point mass analysis method)과 강체해석법(rigid body analysis method)이 있다.⁽¹¹⁾ 포탄을 하나의 질점으로 보는 질점해석법은 계산이 간단하지만 계산이 단순화 되어 실제 탄도와는 오차가 존재한다.

본 연구에서는 포탄을 강체로 가정한 강체해석법을 사용하였고 포탄에는 항력(drag force), 전복모멘트(over-turning moment), 코리올리력(Coriolis force)만 작용한다고 가정하고 방정식을 작성하였다.⁽¹²⁾ 탄도방정식을 세우고 결과값을 분석하기에는 코드를 작성하는 것이 용이하다. 이에 따라 Matlab 으로 강외탄도 궤적을 시뮬레이션 하였다.

5. 사격 정확도

5.1 사격오차와 사격정확도

포탄의 탄착점은 사격 시 존재하는 오차에 의해 분산된다. 따라서 사격정확도는 박격포의 성능을 평가하는데 중요한 요소이며 시뮬레이션을 통한 사격정확도 예측은 실제 모델 개발에 도움이 된다. 야전에서 사격정확도는 주로 분산도 오차인 PE 와 CEP 로 평가한다. PE 는 공산오차(probability error)를 말하며, 단일 측정값을 목표값으로부터 산포를 그렸을 때 50% 범위내인 오차를 말한다. CEP 란 원형공산오차(circular error probability)를 말하며, 미사일이나 포탄의 명중 정도를 나타내는 용어로서 사용된다. 무기체계에서는 목표점을 향해 발사했을 때 탄착점이 목표점 중심으로 50%가 포함되는 오차반경을 의미한다. 격발 시 일정 오차 PE 에 대하여 중방향과 횡방향의 PE, 탄착점의 CEP 를 사격정확도의 판단 기준으로 설정하였다.⁽¹³⁾

5.2 지향오차의 영향

포구 순간에는 지향오차가 존재하며 고각과 방위각의 오차를 지향오차로 고려하였다. 오차가 존재하는 고각과 방위각은 식 (12)와 같이 입력 값 x_m 으로 나타낼 수 있다.

$$x_m = \mu + \xi\sigma \quad (12)$$

이 때 μ 은 평균값, σ 는 공산오차를 나타낸다.

따라서 입력 값은 제한된 σ 만큼의 확률분포를 가지고 있으며 ξ 에 정규분포를 따르는 난수(random number)를 반복적으로 발생시켜야 한다. 식 (12)는 박격포 모델의 조인트에 모션으로 입력되어 고각과 방위각에 오차를 적용하였다.

5.3 공회전 진동의 영향

공회전 진동의 영향을 알아보기 위해서는 포구 순간에 차량 모델에 적용된 가진모멘트에 오차를 발생시켜야 하는데, 이를 위해 식 (11)을 식 (13)과 같이 수정하여 사용하였다.

$$\begin{aligned} \text{Rolling} : & a_1 \times \sin(2\pi \times f_{roll} \times \text{time} + 2\pi \times \xi) \\ \text{Pitching} : & a_2 \times \sin(2\pi \times f_{pitch} \times \text{time} + 2\pi \times \xi) \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에 임의의 위상 값이 더해짐으로써 공회전 진동에 의한 오차를 발생시킬 수 있다. 이 때 난수 ξ 는 0 과 1 사이에서 등분포(uniform distribution)를 이루게 하였다.

6. 시뮬레이션 및 결과

6.1 시뮬레이션 프로세스

강내탄도는 3장과 4장의 자주박격포 모델로 시뮬레이션 할 수 있다. 이로써 포탄의 포구순간의 자세와 위치, 속도, 가속도의 결과 값을 획득 할 수 있다. 이 값을 강외탄도의 탄도방정식에 초기치로 입력하면 탄도방정식에 의해 포탄의 탄착점을 구할 수 있다. 사격정확도를 구하기 위해선 오차가 고려되어야 한다. 이는 몬테카를로 기법⁽¹⁴⁾에 의해 수행되었다. 몬테카를로 기법은 난수를 발생시켜 시뮬레이션을 반복하는 것으로써 식 (12)과 식 (13)의 난수 ξ 의 생성에 적용되었다.

6.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 지향오차, 차량의 동특성, 공회전 진동이 사격정확도에 미치는 영향을 분석할 수 있다. 시뮬레이션 조건은 Table 1 과 같다. 시뮬

Table 1 Simulation conditions

Items	Values
Repetition number	100
Mean of travel [m]	8,000
Mean of elevation [deg.]	45
Mean of azimuth [deg.]	0
PE of elevation [deg.]	0.40
PE of azimuth [deg.]	0.10

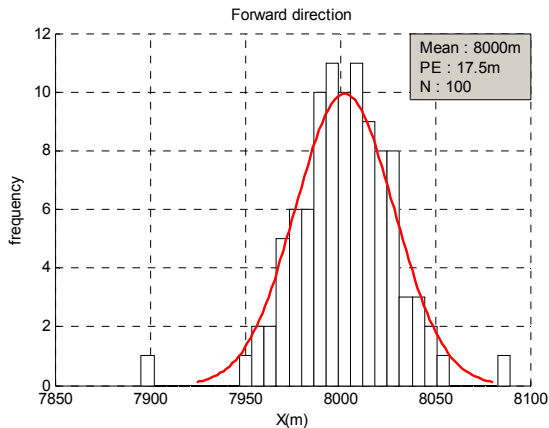


Fig. 12 Distribution of forward direction

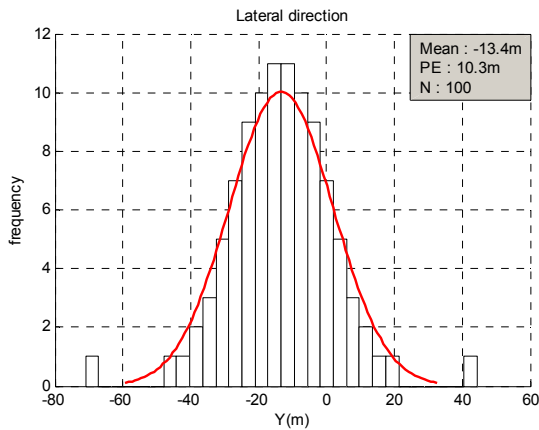


Fig. 13 Distribution of lateral direction

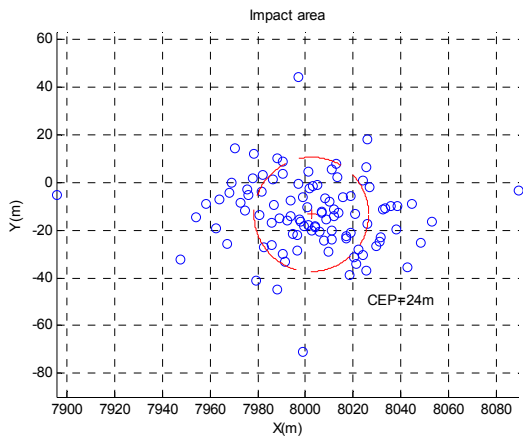


Fig. 14 Impact area and CEP of simulations

레이션은 지면거치, 강체플랫폼 거치, 강체플랫폼 거치 후 공회전 진동 가진에 대해 각각 수행되었다. 지향오차가 사격정확도에 끼치는 영향을 알기 위하여 지면거치 시뮬레이션의 사격정확도를 Fig. 12~14에 나타내었다. Fig. 12~13은 포탄의 진행방향과 횡방향에 대한 탄착점의 분산도를 나타낸다. 진행방향의 PE는 17.52m, 횡방향의 PE는 10.32m

Table 2 Simulation results

Case	Forward PE	Lateral PE	CEP
Ground fixed	17.52 m	10.32 m	23.99 m
Rigid platform	17.54 m	10.32 m	24.00 m
Rigid platform with Idle vibration	17.54 m	10.30 m	23.99 m

로 나타났다. Fig. 14는 진행방향을 x 축, 횡방향을 y 축으로 하였을 때 탄착점의 분산을 나타낸다. 탄착점의 CEP는 24m로 나타났다. Table 2에 세 가지 시뮬레이션에 대한 진행방향과 횡방향의 PE와 탄착점의 CEP를 정리하였다.

차량의 동특성이 사격정확도에 미치는 영향을 알기 위해 지면거치와 강체플랫폼 거치 결과를 비교하였다. 차량의 동특성에 의해 진행방향으로 0.11%, 횡방향으로 0%, CEP는 0.04%의 차이가 발생하였다. 공회전 진동은 진행방향으로 0%, 횡방향으로 0.19%, CEP는 0.04%의 차이를 발생시켰다. 시뮬레이션 비교 결과 차량의 동특성과 공회전 진동은 사격정확도에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 이는 포탄이 발사되어 포열을 벗어나는 순간까지의 시간이 매우 짧아 포구 순간까지의 차량의 자세 변화가 미소하기 때문이다. 또한 공회전 진동에 의해 박격포에 전달되는 힘이 작아 포의 자세에 미치는 영향이 작기 때문이다.

7. 결론

본 연구에서는 자주박격포 시스템의 동역학 모델을 제안하고 시뮬레이션을 통해 자주박격포의 사격정확도를 제시하였다. 자주박격포 모델에는 시스템의 동특성이 반영되었고 해석 결과를 분석하여 실제 모델 개발 중 필요한 제원을 제시하였다. 또한 강내탄도에서 강외탄도까지 일원화된 해석으로 포탄의 탄착점을 계산할 수 있도록 하였다. 반복적인 시뮬레이션 과정에서 난수를 발생시키기 위하여 몬테카를로 기법을 활용하였고, 이를 통해 사격오차에 의한 탄착점의 분산도를 구하여 사격정확도를 예측하였다. 시뮬레이션을 통해 얻어진 결과는 다음과 같다.

(1) 주어진 차량 제원을 바탕으로 지향오차, 차량의 동특성, 공회전 진동이 사격정확도에 미치는 영향을 분석한 바, 포탄의 진행방향의 공산오차(PE, probability error)는 17.52m, 횡방향의 PE는 10.32m, 탄착점의 원형공산오차(CEP, circular error probability)는 24m로 나타났다. 이 결과를 바탕으로 초기 설계치를 검증하면 될 것으로 보인다.

(2) 차량의 제원을 바탕으로 차량의 동특성이 사격정확도에 미치는 영향을 분석한 결과, 차량의 동특성에 의해 진행방향으로 0.11%, 횡방향으로 0%, CEP는 0.04%의 차이가 발생함이 확인되었다.

(3) 엔진의 공회전 진동은 진행방향으로 0%, 횡방향으로 0.19%, CEP는 0.04%의 차이를 발생시키므로, 공회전 진동은 사격정확도에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 이는 차량의 동특성과 공회전 진동이 박격포의 자세에 변화를 주기 전 이미 포탄이 포열을 탈출하였기 때문이다. 또한 이들이 발생시키는 오차가 다른 요인들에 비해 훨씬 작기 때문이다.

(4) 이들 결과를 볼 때, 본 차량에 박격포가 차량에 탑재되더라도 차량의 동특성과 엔진의 진동은 사격정확도에 별다른 영향을 미치지 않을 것으로 예상된다.

참고문헌

(References)

- (1) Kim, S., Kim, K. H. and Kim, S. Y., 2009, "A Concept Study on Efficient Domestic Development of 120mm Self-propelled Mortar System," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 12, No. 2, pp. 133~138.
- (2) Sung, H. G., Jang, J. S., Yoo, S. Y. and Roh, T. S., 2011, "Development of Numerical Code for Interior Ballistics and Analysis of Two-phase Flow according to Drag Models," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 15, No. 6, pp. 38~46.
- (3) Lee, S. K. and Lee, G. Y., 2007, "A Study on the Pressure-travel Curve of 5.56mm Rifle Obtained from the Empirical Base Pressure Factor," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 10, No. 3, pp. 208~216.
- (4) FunctionBay, 2013, "RecurDyn v8.2 Help"
- (5) Lee, B. H. and Yoo, W. S., 1993, "Dynamic Analysis of a Launcher under Impulsive Forces," *Transactions of KSAE*, Vol. 15, No. 2, pp. 84~91.
- (6) Carl De Boor., 1978, *A Practical Guide to Splines*, Springer
- (7) Donald E. Carlucci. and Sidney S. Jacobson., 2007, *Ballistics, Theory and Design of Guns and Ammunition*, Taylor & Francis Group.
- (8) Choi, Y. C., Kim, K. S., Kim, O. J. and Yoo, W. S., 1998, "Development of CAE Tools for Vehicle Suspension Design (I) - Development of a Bushing Module," *Transactions of KSAE*, Vol.6, No.6, pp.31-39.
- (9) Singiresu S. Rao., 2011, *Mechanical Vibrations*, Pearson Education, Inc.
- (10) Math Works, Inc., 2015, "Signal Processing Toolbox User's Guide"
- (11) Lee, H. J., 1996, *Rifle and Ballistics*, Chung Moon Gak.
- (12) Robert L. McCoy., 2012, *Modern Exterior Ballistics, The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles*, Schiffer Publishing Ltd.
- (13) Trohanowsky, Raymond., 2005, "120 mm Mortar System Accuracy Analysis," *International Infantry & Joint Services Small Arms System Annual Symposium, Exhibition & Firing Demonstration*.
- (14) Chae, A. K., Bae, D. S. and Jeon, H. S., 2008, "A Development of Numerical Analysis Software on Dynamic Analysis for Lurching System," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 32, No. 12, pp. 1146~1152.