

## 탄성접촉을 고려한 포신의 동적 해석에 관한 연구

### Dynamic Modeling of A Gun Barrel

### Considering Elastic Contact

유형선\*

이승엽\*\*

박인규\*\*\*

Yoo, Hyeong Seon

Lee, Seung Youp

Park, In Kyu

#### ABSTRACT

This paper deals with a dynamic modeling of artillery system loaded by gun charge explosion during firing condition. Geometric and elastic gun data are used to modify a projectile interaction model. The maximum impact force on gun barrel was 15,000 N and the gun barrel moved about 1.3 m. A cannon ball was presented to travel in the flexible gun, the traveling distance was about 23,000 m, and the angular velocity was about 10rad/sec. The artillery dynamic system using the multi-body dynamics enables us to obtain the data for the fatigue analysis.

#### 1. 서론

사격 후 발생하는 반발 충격력에 의해 포신에는 매우 큰 응력과 진동이 발생하여 포-마운트-트러니언-포탑-차체-현수장치의 경로를 거치게 된다[1]. 발사 성능인 연속사격과 사격 정확도와 체계의 수명연장을 위해 지금까지 많은 포신의 동적 운동 및 피로해석에 대한 연구가 있었다[2]. 시스템에 필요 이상의 가정을 도입하여 포탄과 포신의 거동을 제대로 표현 할 수 없었다. 이러한 상대 운동을 실제에 가까운 모델을 통하여 포신의 특성을 분석하고 체계의 수명연장을 위해서 발사 충격력에 의한 포신 각 부위의 응답과 전달되는 힘을 예측하기 위해서는 보다 실제에 가까운 모델이 필요하다. 이를 위해서 다물체 동역학 모델을 통해 동적 해석을 수행하고자 한다.

#### 2. 포신의 모형화

포신의 동적 특성을 알기 위해서 탄성을 고려한 유연 다물체 동역학 해석과 사격 후 충격력에 의한 주퇴장치의 운동을 알기 위해서는 포신과 주퇴장치에 대한 엄밀한 동역학적 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 개념을 바탕으로 다물체 동역학 해석 프로그램인 DADS를 사용하였다. 그 모형화의 단계는 다음과 같다.

---

\* 정회원 · 인하대학교 자동화공학과 교수

\*\* 인하대학교 자동화 공학과 석사과정

\*\*\* 포항 공과대학교 Post Doctor

포신,포탄,주퇴 장치 세 부분으로 한 포신의 다물체 동역학적 모델은 Table 1 과 같이 7개의 자유도를 갖게 된다. 사격 후 반발력에 의한 포신이 축방향 움직임을 나타내는 자유도 1과 구로 모델링한 포탄은 6개의 자유도를 갖게 된다[2]. 또한 포탄은 포신에 의하여 구속을 받으므로 전체적으로는 포신과 포탄 발사시의 충격 가진력, 주퇴 장치에 의해 포신에 가해지는 반발력으로 모형화 하여 전체적으로는 1 자유도를 갖도록 모델링 하였다.

Table 1. 포신, 포탄, 주퇴 장치의 자유도

Three bodies constraints	21
Translational joints	5
Ground constraints	6
Euler parameter constraints	3
DOF = $nc - nh$	7

$nc$  : No. of Generalized Coordinate ,  $nh$  : No. of Holonomic Constraint

## 2.1 포신과 포탄의 다물체 동역학 모델링

기구 시스템 내의 기구학적 조인트와 시간에 종속된 구속들은  $n$  개의 독립된 홀로노믹(holonomic)구속을 가진 것으로 보고, 대수적인 표현으로 다음과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\Phi(\mathbf{q}, t) = 0 \quad (1)$$

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_i \\ \mathbf{p}_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $\mathbf{r}_i$  는 x, y, z축 방향의 위치 값을 나타내는 좌표벡터이며, 벡터  $\mathbf{p}_i$ 는 오일러 매개변수 벡터로 공간운동에서 회전을 나타내는 좌표이다[3].

$$\begin{aligned} \mathbf{p} &= [\mathbf{e}_0, \mathbf{e}^T]^T \\ &= [e_0, e_1, e_2, e_3]^T \end{aligned} \quad (3)$$

다음과 같은 오일러 매개변수 정규화 구속조건을 만족해야 한다.

$$\mathbf{p}^T \mathbf{p} = e_0^2 + e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 = 1 \quad (4)$$

이 구속 식의 시간 변화율을 구하여 속도와 가속도 방정식으로 나타내면 식 5)과 식 6)과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\Phi_{\mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} = -\Phi_t = \mathbf{v} \quad (5)$$

$$\Phi_{\mathbf{q}} \ddot{\mathbf{q}} = -(\Phi_{\mathbf{q}\dot{\mathbf{q}}})_{\mathbf{q}} \dot{\mathbf{q}} - 2\Phi_{\mathbf{q}t} \dot{\mathbf{q}} - \Phi_{tt} = \mathbf{r} \quad (6)$$

포신의 움직임을 실제와 같이 한 축 방향의 운동을 하도록 식 7)과 같이 병진 조인트에 의한 운동을 할 수 있도록 모델링 하였다. 포신에 발생하는 반발 충격력을 설명하기 위해서 포신에 충격면을 모델링 하여 포탄이 포신을 통과하면서 발생하는 충격력을 알 수 있도록 하고, 포탄의 모양은 실제 포탄의 길이와 포신에서의 운동을 고려하여 여러 개의 구로 모델링 하였다. 또한 포탄이 포신을 통과하는 거리에 대한 시간의 데이터 값을 이용하여 포탄이 포신을 시간에 따라 이동 할 수 있도록 DADS에 입력 값으로 하였다. 엄밀한 운동을 해석하기 위해 다음 Fig.1 와 같은 포신 모델을 고려하였다 [2].

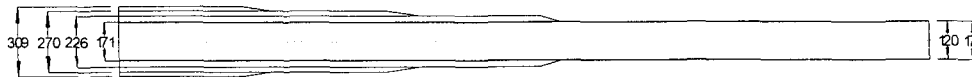


Fig.1 포신의 형상 모델

## 2.2 주퇴 장치

주퇴 장치는 사격 후 충격력을 줄이고 차체에 전달되는 큰 힘을 흡수 해주는 유압에 의한 시스템으로 가스의 압축 및 팽창을 이용한 복원력, 오리피스에 유체를 흘려 보내 충격력을 제어하는 원리를 이용한 장치이다[4][5][6]. 포신의 움직임은 1자유도를 갖고 주퇴 장치의 유압에 의한 시스템을 스프링과 댐핑 상수를 이용하여 유압장치와 유사하게 모델링 하였다.

$$M_r \ddot{x} = B(t) + W_r \sin \theta - K(t) \quad 8)$$

$M_r$  은 포신의 질량,  $W_r$ 는 포신의 중량  $B(t)$ 는 충격력을 나타내며,  $K(t)$  는 구조물에 전달되는 총 힘으로 오리피스에서 유체 저항력, 가스 압축에 의한 복원력, 마찰력, 버퍼 저항력의 4가지로 Fig.2 와 같이 모형화 하였다 [4],[6][7].

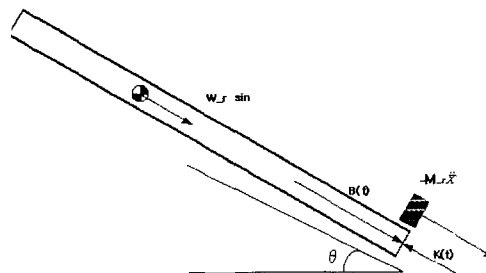


Fig.2 주퇴장치의 1자유도 모형

### 3. 구조물의 동적 거동 해석 및 검토

#### 3.1 포신과 포탄의 동적 거동 해석

고저 각을  $30^\circ$  로 하여 축 방향의 1자유도를 갖는 포신 에서 포탄이 포신을 완전히 나가는 약 0.0065 sec 동안 포신의 움직임을 Fig.3 과 같이 나타내었다.

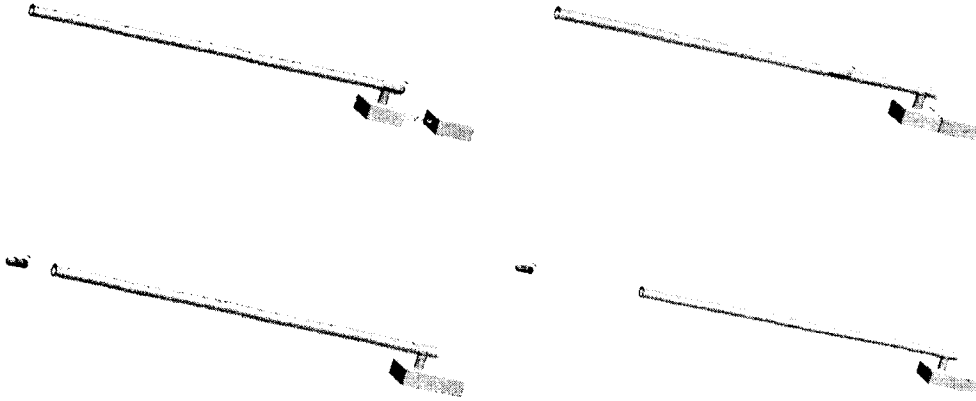


Fig.3 포신의 3차원 동적 거동

포탄이 발사 될 때 거리와 시간에 따른 데이터를 이용하여 포탄이 포신을 완전히 동안 빠져 나가는 동안 포신의 충격면에 포탄과 포신이 상대 운동을 하면서 나타내는 충격력을 Fig.4 에 나타내었다. 포탄이 포신에서 운동을 할 수 있도록 입력한 데이터 값에는 도면을 참고로 약실 거리를 고려하였다[3]. 포탄이 충격면에 가장 큰 충격력을 나타내는 거리는 그림에서와 같이 15,000N 값을 나타내고 있다.

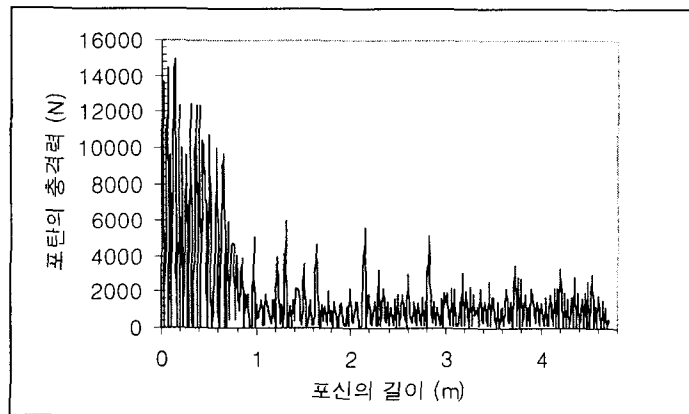


Fig.4. 포탄의 충격력

실제 포탄이 사격 후 포신을 지나 포물선 운동을 모형을 할 수 있도록 모델링 하여 Fig.5 에 나타내었다. 포탄의 유효 사격 거리와 비슷한 값을 나타내었다. 포신을  $30^\circ$  기울인 모델과 실제  $30^\circ$  이상의 고저 각으로 사격하는 값과 차이를 감안해야 할 것이다.

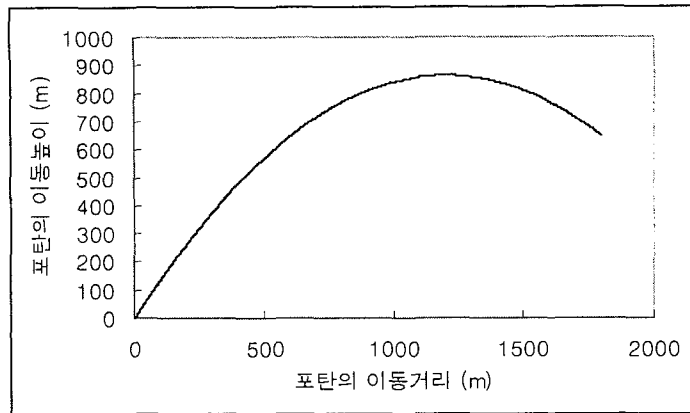


Fig.5 포탄의 이동거리

포탄이 포신을 빠져나가는 0.0065 sec 동안 포탄이 포신의 충돌 면과 충돌을 하면서 나타낸 각속도는 약실 거리를 고려한 모델링 에서 Fig.6 와 같이 0초 이후부터 각속도가 증가함을 나타내고 있다.

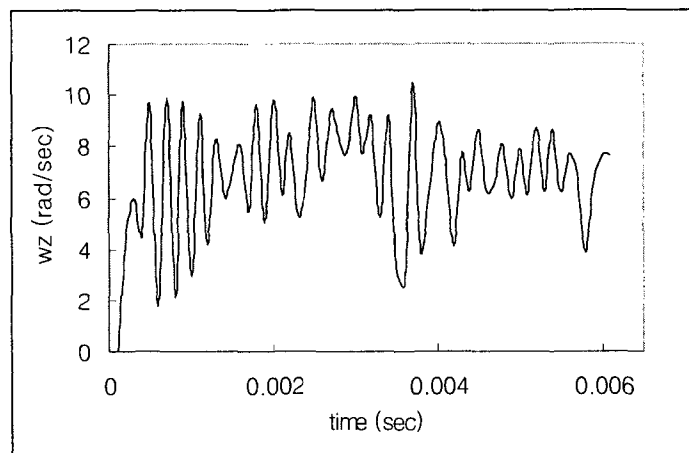


Fig.6 포탄의 z 축 방향 각속도

Fig.7 는 포탄의 y방향 각속도를 나타낸 그림으로 포탄이 포신의 충돌 면과 충돌을 하면서 진행을 하므로 불규칙한 속도의 변화 값을 보이면서 포신을 통과함을 나타내고 있다. 또한 포신에서 포탄은 조여있는 외력힘을 나타내기 위해 포신의 내경 보다 포탄의 지름을 크게 하였다. 포탄이 포신을 출발 할 때의 큰 속도를 고려하면 외력 힘을 고려한 포탄에 각속도가 있음을 나타내고 있다. 사격 후 포신은 주퇴장치와 연결되어 축 방향 운동을 할 수 있도록 병진 조인트로 모델링 하여 3차원 모델에서는 y축 방향으로 진행 할 수 있도록 모델링 하였다. 포탄의 진행 방향과 상대운동을 할 수 있도록 하여 주퇴장치와 연결된 포신의 사격 충격력에 의해 움직이는 최대 거리는 1.3m정도 되지만 모델링에 의한 값과 약간의 차이를 보이고 있다.

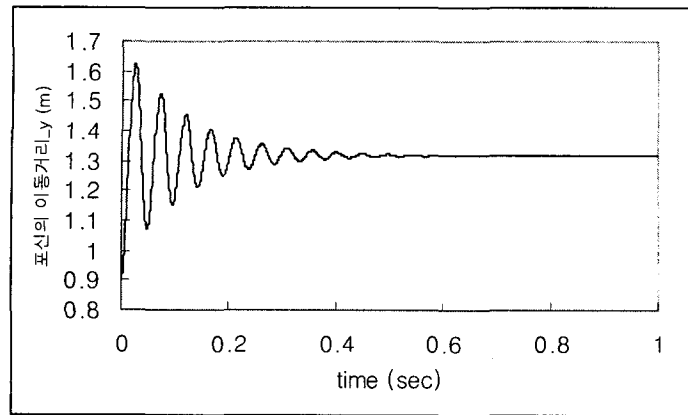


Fig7. 포신의 y 축 방향의 움직임

#### 4. 결론

포신의 정확한 동적 특성을 해석하기 위하여 실제 포신과 포탄에 대한 데이터를 이용하여 실제와 가까운 모델을 통하여 포신 내에서 포탄의 움직임과 충격력, 사격 후 포신의 거동에 대하여 해석을 하였다. DADS 모델링 을 통해 나온 데이터 값은 약 1.64m이고 실험에 의한 값은 1.3m과 약간의 차이를 보이고 있다. 또한 실제 알고 있는 포탄의 유효 거리 2,500m 와 해석을 통해 얻은 2,300m 는 약간의 차이를 나타내었다[3]. 실제 포신 에서 포탄의 마찰 저항과 주퇴 장치의 유압 시스템을 스프링과 댐퍼로 단순화한 모델을 고려한다면 약간의 차이는 생각 할 수 있을 것이다. 다물체 동역학을 이용한 포신의 동적 특성은 사격 후 포신에 발생하는 진동의 특성과 포탄의 충격력에 의한 포신의 피로 수명 예측, 주퇴장치의 피로 수명 예측을 하는데 필요한 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

1. 조문신, 송창규, 김광준, "사격 고충격력을 받는 대형 복합구조물의 운동학 및 동역학적 해석", ADD 자주포 개발 심포지움, pp.148~152, 1996
2. 이선웅, "유연한 포신 내에서 3차원 탄체운동 해석", 1997, pp.54~76
3. Edward J. Huag, "Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical systems", 1989, pp.49~68, pp.97~104, pp.213~230, pp.348~388, pp.393~408, Vol 1.
4. 이재영, 조병규, "전차 포신의 팽창에 관한 연구", 육군 사관학교 졸업논문, pp.12~14
5. 이영현, 강국정, "주퇴장치의 운동에 의한 제퇴기의 효과에 관한 연구", ADD 자주포 개발 심포지움, 1996, pp.52~66
6. 김광준, 송창규, "Dynamics modeling of Multi-Body Structures and Analysis of Characteristics", pp.4~14 , pp.26~49
7. 배대성, 김일량, 한종민, "자주포의 동적거동 해석에 관한 연구", ADD 자주포 개발 심포지움, 1996, pp.8~7