

강내탄도 내 차압 감소를 위한 추진제 위치 연구

장진성* · 성형건* · 노태성** · 최동환**

Study on the Propellant Position for the Decrease of the Differential Pressure of the Interior Ballistics

Jin-Sung Jang* · Hyung-Gun Sung* · Tae-Seong Roh** · Dong-Whan Choi**

ABSTRACT

The position effect of the solid propellant in the combustion chamber on the decrease of the differential pressure has been investigated using the IBcode. Generally the metallic cartridge or CCC (combustible cartridge case) as the propellant for the cannon has been loaded. The position of the propellant(cartridge) is, therefore, a major factor for the interior ballistics in case the combustion chamber is larger than the cartridge. In this study, three cases of the existence of empty space in the chamber has been considered. As results, the case of the propellant located in the region near the base and breech has shown that the negative differential pressure and the difference between the breech pressure and the base pressure are much higher than those of the case of the propellant located in the center of the chamber. The case of the propellant in the center of the chamber is, therefore, more profitable to improve the performance of the interior ballistics.

초 록

IBcode를 강내 차압감소를 위한 추진제 위치 연구를 수행하였다. 보통 화포의 추진제는 금속재질이나 소진탄피에 장전된다. 따라서 약실이 탄피보다 크다면 추진제(탄피)의 위치가 강내탄도 성능의 주요 인자가 된다. 본 연구에서는 약실 내 빈 공간이 발생하였을 경우를 고려하여 연구를 수행하였다. 3가지 경우에 대해 연구를 수행하였고, 추진제가 약실 가운데에 위치하였을 경우 Breech나 Base에 위치하였을 때의 강내 차압이 감소함을 확인할 수 있었다. 따라서 약실 가운데에 추진제를 위치시키는 것이 강내탄도 성능 향상에 유리하다는 결론을 내릴 수 있었다.

Key Words: Interior Ballistics(강내탄도), Propellant Position(추진제 위치), Differential Pressure(차압)

* 인하대학원 항공우주공학과

** 인하대학교 기계공학부

† 교신저자, E-mail: jjjjaanng@hanmail.net

1. 서 론

탄약의 설계, 새로운 화포 추진제의 개발, 또

는 화포나 포신의 설계를 위해서는 실험적 연구가 필요하다. 그러나 추진제나 화포의 특성상 실험에 의한 연구에 한계가 있으므로 다차원 다상 유동의 강내탄도(Interior Ballistics) 전산해석이 필요하다[1].

대구경 화포의 경우 과립형 추진제 입자를 금속재질의 탄피나 연소가 되는 소진탄피에 채워 화포의 약실에 장전시킨다[2]. 하지만 때때로 탄피의 크기보다 약실의 크기가 큰 경우가 발생하며, 이 경우에는 약실 내 추진제(탄피)의 위치가 강내탄도의 성능에 영향을 미치는 주요인자가 된다. 기존의 무차원 코드는 약실 내 추진제의 위치에 대한 묘사가 불가능 하며, 장진성 등이 1차원 코드를 이용하여 추진제 위치에 따른 강내탄도 성능해석을 수행한 바가 있으나 강내 차압 감소 방안을 제시하지는 못하였다[3]. 이에 본 연구에서는 약실 내 추진제의 위치를 변경해 가며 강내탄도 성능해석을 수행하였으며, 강내탄도 내 차압을 감소시켜 강내탄도 성능향상에 적합한 약실 내 추진제 위치를 제시하였다.

2. 강 내 탄 도

강내탄도는 화포의 약실 내에서 추진제가 점화제에 의해 연소되고 생성된 연소가스의 압력에 의해 탄자가 가속되어 포구를 이탈하는 일련의 과정으로, Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다[4].

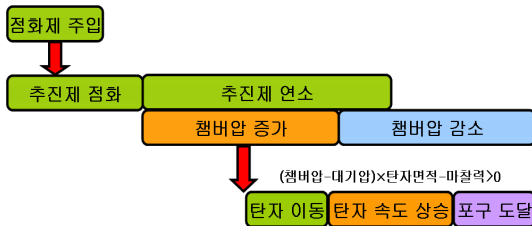


Fig. 1 Diagram of Interior Ballistics

2.1 강내탄도 지배방정식

강내탄도의 추진제 점화 및 연소현상은 기상과 고상으로 이루어진 다상유동이다. 기상은 추진제 연소로 발생한 가스이며, 고상은 대부분의

강내탄도 해석코드의 경우 추진제만을 고려하므로 본 연구에서도 고상으로 추진제만을 고려하였다. 기상은 Eulerian 좌표계를 사용하고 고상은 Lagrangian 좌표계를 사용하였다[4]. 기상의 지배방정식은 전체부피에서 고상이 차지하는 부피를 나타내는 기공률을 도입한 1차원 Euler 방정식을 사용하며, 고상의 지배방정식은 Ergun이 제안한 관내 압력 강하식을 사용하며 이는 Eq. 1과 같다[5].

$$\frac{Du_p}{Dt_p} = \frac{1}{\rho_p} \left\{ 150 \frac{\mu_f(1-\alpha)}{\alpha d_p^2} + 1.75 \frac{\rho_f |u_f - u_p|}{d_p} \right\} \times (u_f - u_p) \quad (1)$$

3. 전 산 해 석

3.1 유동장 전산해석 기법

강내탄도 내의 유동장을 해석하기 위해 압축성 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 IBcode를 작성하였고 무차원 강내탄도 해석코드인 IBHVG2[6]와의 결과 비교를 통해 검증을 완료하였다[4]. 공간 이산화는 SMART scheme을 사용하였다[7].

3.2 약실 내 추진제 위치 모델링

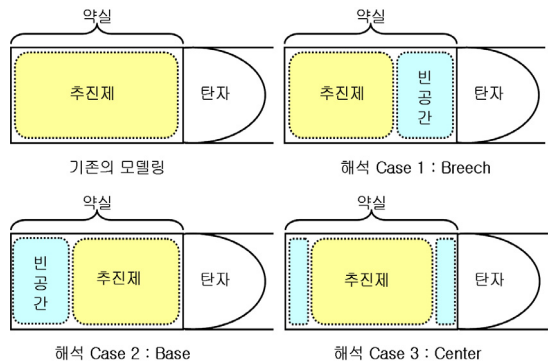


Fig. 2 Analysis Case

Figure 2에서 나타나듯이 기존 연구에서는 약실 내에 추진제가 균일하게 분포되어있다고 가정하였으나 실제로 화포를 운용할 시에는 약실의 크기와 추진제(탄피)의 크기가 동일하지 않는

경우가 발생한다. 이 경우 약실에 추진제(탄피)를 위치시키는 경우는 다음과 같이 3가지로 나눌 수 있다. Fig. 2의 해석 Case 1과 같이 추진제를 포미(Breech) 쪽에 위치시켜 탄저(Base) 쪽에 빈 공간을 생성시키는 경우와 반대로 해석 Case 2와 같이 추진제를 탄저 쪽에 위치시켜 포미 쪽에 빈 공간을 생성시키는 경우, 마지막으로 해석 Case 3과 같이 추진제를 약실 가운데 위치시켜 포미와 탄저 쪽 양쪽에 빈 공간을 생성시키는 방법이다. 이에 본 연구에서는 언급한 3가지의 경우에 대한 강내탄도 성능해석 및 차압비교 연구를 수행하였다.

3.3 해석 초기조건

해석에 사용된 초기조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Initial Condition of Analysis

탄자 질량	30 (kg)
추진제 질량	8.85 (kg)
추진제 밀도	1569.45 (kg/m ³)
추진제 Impetus	911665.4 (J/kg)
점화제 질량	0.099 (kg)
점화제 Impetus	912121.8 (J/kg)
약실 체적	0.0188 (m ³)
연소속도 지수상수(β)	0.71
연소속도 상수(α_p)	$1.33858e-7$ (Pa) ⁻ⁿ (m/s)
연소가스 분자량	22.0 (kg/kmol)
비열비	1.259
화염온도	2417 (K)
포신길이	5 (m)

4. 해석 결과

Figure 3은 해석 Case 별 시간에 따른 강내 평균압력이다. Breech Case의 압력의 상승이 다른 Case에 비해 약간 빠른 것을 제외하곤 최대 압력 및 압력 상승률이 거의 유사함을 확인할

수 있는데 이는 약실 내 같은 양의 추진제가 사용됐었고 강내 전체의 압력에 대해 평균을 구했기 때문이다.

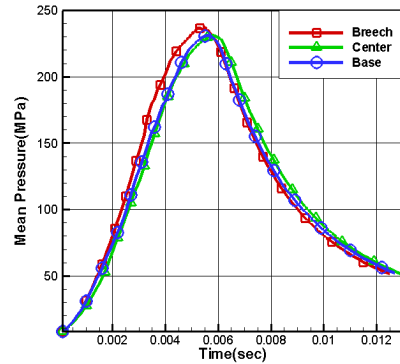


Fig. 3 Mean Pressure of Each Case

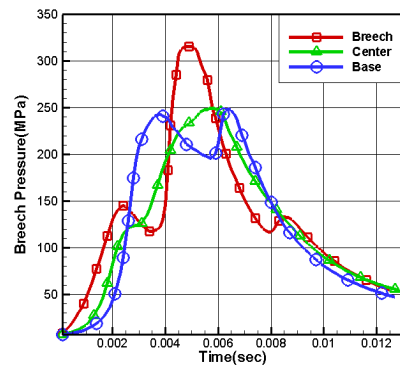


Fig. 4 Breech Pressure of Each Case

하지만 강내 평균압력이 아닌 Breech 쪽의 압력의 경우에는 해석 Case에 따라 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이는 약실 내 빈 공간에 의해서 생성되는 압력파의 이동 때문이다. Breech Case의 경우 추진제가 Breech 쪽에 국부적으로 몰려있기 때문에 압력상승 또한 Breech 쪽부터 국부적으로 발생하게 된다. 따라서 상승된 압력에 의해 압력파가 발생하고 이 압력파가 약실 내 빈공간인 Base 쪽으로 이동을 하게 된다. 이로 인해 강내 압력이 선형적으로 상승되지 못하고 Fig. 4와 같은 압력 진동이 나타나게 된다.

Base Case경우도 마찬가지로의 이유로 압력진동이 발생하였으며 압력진동의 위상차가 Breach Case와 반대인 것을 확인할 수 있는데 이는 초기에 추진제의 위치가 서로 반대여서 압력파가 서로 반대의 방향으로 진행되기 때문이다. Center Case의 경우에는 추진제의 위치가 약실 가운데이기 때문에 압력상승 또한 약실 중심에서부터 발생한다. 마찬가지로 국부적인 압력상승에 의해 압력파가 발생되고 전파되지만 Breach, Base Case와는 달리 압력파가 Breach, Base 양쪽으로 동일하게 전파된다. 이로 인해 Center Case에서는 압력진동이 다른 Case에 비해 약한 것을 확인할 수 있다.

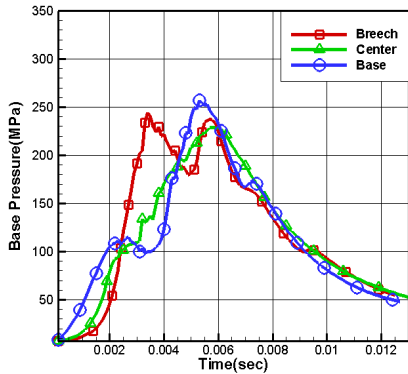


Fig. 5 Base Pressure of Each Case

Figure 5는 Case 별 시간에 따른 Base 압력으로, Breach 압력의 경우와 마찬가지로 Breach, Base Case의 경우 압력 진동이 발생함을 확인할 수 있다.

Figure 6-8은 해석 Case 별 거리-시간 평면의 강내 압력 Contour이다. Breach 및 Base Case의 경우, 강내 압력의 국부적인 상승과 이로 인해 압력파가 Breach Case의 경우에는 Base 쪽으로, Base Case의 경우에는 Breach 쪽으로 각각 전파되는 것과 강내 압력진동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 Center Case의 경우에는 압력상승이 약실 중심에서 발생하여 압력파가 Breach, Base 양쪽으로 균일하게 전파되어 강내 압력진동이 발생하지 않고 선형적인 압력분포를

나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 Fig. 4-5를 통해서도 확인할 수 있는 결과이다.

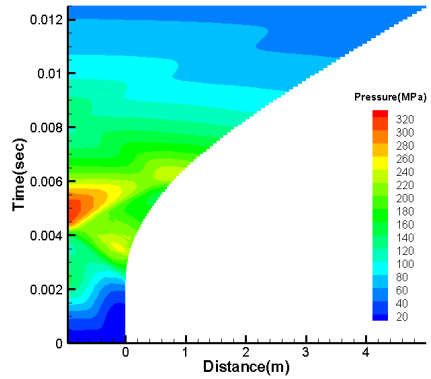


Fig. 6 Pressure Contour of Breach Case

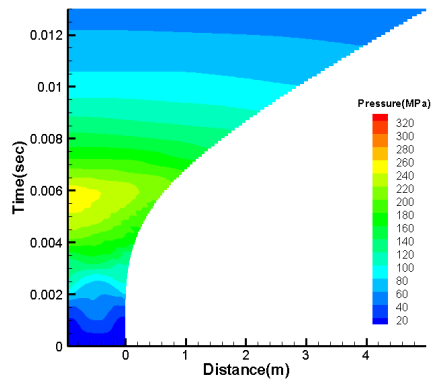


Fig. 7 Pressure Contour of Center Case

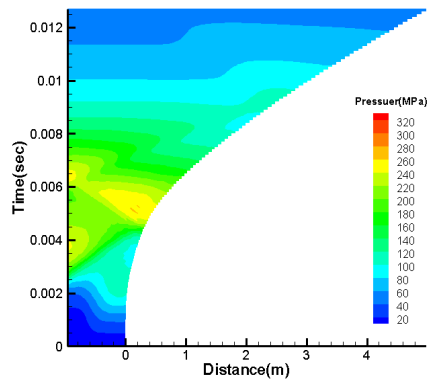


Fig. 8 Pressure Contour of Base Case

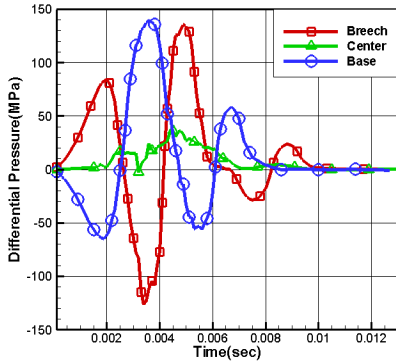


Fig. 9 Differential Pressure of Each Case

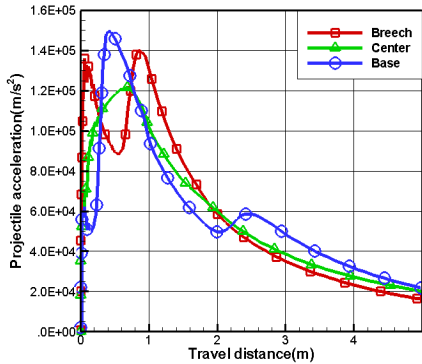


Fig. 10 Projectile Acceleration of Each Case

Figure 9는 Case 별 시간에 따른 강내 차압 (Differential Pressure)으로 이는 Breech 압력과 Base 압력의 차를 의미한다. 일반적으로 강내 차압 변동의 폭이 크거나 마이너스(-) 값을 가질 경우 화포의 내구성 및 성능에 부정적인 영향을 끼칠 가능성이 높아진다고 알려져 있다. 따라서 화포의 안전성 향상 및 성능 향상을 위해서는 차압의 변동을 줄이는 연구가 필요하다.

Figure 9에 나타나듯이 Breech, Base Case의 경우, 강내 압력 진동에 의해 마이너스 차압이 발생하는 것뿐만 아니라 차압 변동의 폭이 Center Case에 비해 상당히 증가함을 확인할 수 있다. 강내 차압에 영향을 미치는 요소에는 약실 내 점화제 주입 위치[8]나 추진제의 연소율[9] 등

의 여러 가지 요인이 있으나 본 연구에서는 약실 내 추진제의 위치만을 고려하였다. 따라서 본 연구에서 가정된 조건하에서는 약실에 추진제(탄피)를 장전할 시 Breech 쪽이나 Base 쪽에 위치시키는 것이 아니라 양쪽에 균일하게 빈 공간을 두고 위치시키는 것이 화포의 안전성 및 성능 향상에 유리하다는 결론을 내릴 수 있다.

활공탄과 같은 최신의 포탄들은 기존의 포탄과는 달리 비거리 증가나 정밀 타격을 위해 핀과 같은 제어장치가 달린다. 따라서 화포에서 탄자가 발사될 시 탄자에 작용하는 가속도, 즉 탄자에 작용하는 힘이 탄자에 장착된 제어장치의 허용 능력보다 크게 작용하거나 혹은, 작용하는 힘의 변동이 증가하면 탄자의 안정성에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높다.

Figure 10은 탄자 이동거리에 따른 탄자의 가속도이다. 탄자의 가속도는 탄자의 후단 압력 즉, Base 압력에 직접적인 영향을 받으므로 Breech, Base Case와 같이 Base 압력에 진동이 발생하게 되면 Fig. 10에 나타나듯이 탄자에 작용하는 가속도에도 진동이 발생한다. 하지만 Center Case의 경우 Base 압력이 안정적이므로 다른 Case에 비해 낮은 탄자 가속도와 선형적인 가속도 변화를 나타내고 있다. 따라서 탄자의 안정성 측면에서도 강내 차압의 경우와 같이 약실 내 추진제를 장전할 시 Breech, Base 양쪽에 균일하게 빈 공간을 두고 위치시키는 것이 화포의 성능 향상에 유리하다는 결론을 다시 한 번 내릴 수 있다.

5. 결 론

강내탄도 내 차압 감소를 위한 약실 내 추진제 위치에 대한 전산해석을 수행하였다. 약실 내 빈 공간이 발생할 경우, 강내 압력의 국부적인 상승으로 인한 압력파가 생성되며 약실 내 빈 공간 쪽으로 전파가 됨을 확인했다. 압력파의 전파에 의해 강내 압력진동이 발생하나 추진제의 위치를 약실 가운데에 위치시켜 압력파의 전파를 Breech와 Base 쪽 양쪽으로 분산시켜 서로

상쇄시키는 경우에는 압력 진동이 감소함을 확인했다. 강내 차압의 경우, 추진제를 약실 가운데 위치시켜 압력진동을 감소시킨 결과 마이너스 차압이 거의 나타나지 않은 뿐만 아니라 추진제를 Breech나 Base 쪽에 위치시킨 경우에 비해 낮은 차압 변화를 확인했다. 따라서 약실에 추진제를 장전할 시 Breech, Base 양쪽에 균일하게 빈 공간을 두고 위치시키는 것이 화포의 안전성 및 성능 향상에 유리하다는 결론을 내릴 수 있었다. 또한 탄자의 안정성 측면에서도 추진제를 약실 가운데 위치시키는 것이 유리하다는 결론을 다시 한 번 내릴 수 있었다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 지원에 의한 연구결과입니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Paul S. Gough, "Initial Development of Core Module of Next Generation Interior Ballistic Model NGEN," ARL-CR-234, 1995
2. Ludwig Stiefel, Gun Propulsion Technology, AIAA, 1988
3. 장진성, 성형건, 이상복, 노태성, "약실 내 추진제 위치에 따른 강내탄도 성능해석," 한국전산유체공학회지, 제15권, 제4호, 2010, pp.17-24
4. 성형건, 장진성, 이상복, 최동환, 노태성, 장영재, "Eulerian-Lagrangian 접근법과 SMART scheme을 이용한 강내탄도 전산해석 코드 개발," 한국국사과학기술학회지, 제13권, 제3호, 2010, pp.349-357
5. Ergun, S., "Fluid Flow Through Packed Columns," Chem Eng Prog, Vol. 48, No. 2, 1952, pp.89-94
6. Ronald, D. A. and Kurt D. F., "IBHVG2-A User's Guide," Technical Report, BRL-TR-2829, 1987
7. Gaskell, P. H. and Lua, A. K. C., "Curvature-Compensated Convective Transport : SMART, A New Boundedness Preserving Transport Algorithm," Interational Journal for Numirical Methods in Fluids, Vol. 8, 1988, pp.617-641
8. 장진성, 성형건, 이상복, 노태성, 최동환, "점화제 주입에 따른 강내탄도 성능해석," 한국군사과학기술학회지, 제14권, 제1호, 2011, pp.22-29
9. 장진성, 성형건, 노태성, 최동환, "추진제 형상 및 배열에 따른 강내탄도 성능해석," 국방과학연구소 창설40주년 기념 종합학술대회, 2010, pp.351-354