

화포 약실 내 차압 감소를 위한 점화제 주입 연구

장진성* · 성형건* · 유승영* · 노태성** · 최동환**

Study on Ignition-gas Injection for Decrease of Differential Pressure in Chamber of Cannon

Jin-Sung Jang*[†] · Hyung-Gun Sung* · Seong-Young Yoo* ·
Tae-Seong Roh** · Dong-Whan Choi**

ABSTRACT

Study on differential pressure in the chamber of cannon by adjusting the mass flow of ignition-gas has been conducted using the 1-D interior ballistics numerical code called IBcode. In case of large-caliber cannon, high temperature ignition-gas is injected to the chamber through the side hole of the primer to ignite the propellant. Therefore, mass flow of injected ignition-gas affects the propellant combustion in the chamber. Mass flow of each side hole of the current primer was uniformly distributed. In this study, differences of propellant combustion with different mass flow of each side hole have been imposed. Results in case of the mass flow increase in the direction to the base show that the differential pressure decreases compared to the uniformed mass flow.

초 록

1-D 강내탄도 전산해석 코드인 IBcode를 이용하여 점화제 주입유량 조절을 통한 화포 약실 내 차압 감소방안 연구를 수행하였다. 대구경 화포의 경우 추진제의 점화를 위해 고온의 점화제를 뇌관의 주입구를 통해 약실에 주입시킨다. 따라서 각 주입구를 통해 주입되는 점화제의 유량이 약실 내 추진제의 연소에 영향을 미치게 된다. 기존의 뇌관의 경우 각 주입구의 점화제 유량이 일정하게 설계되어 있다. 이에 본 연구에서는 각 주입구에서의 점화제 유량을 다르게 하여 추진제의 연소에 차이를 주었다. 해석 결과 점화제 주입유량을 탄저 쪽 방향으로 증가시킬 경우 점화제 주입유량이 일정할 경우에 비해 강내 차압이 감소함을 확인하였다.

Key Words: Interior Ballistics(강내탄도), Propellant(추진제), Ignition-gas Injection(점화제 주입), Primer(뇌관), Negative Differential Pressure(마이너스 차압)

* 인하대학교 항공우주공학과

** 인하대학교 기계공학부

† 교신저자, E-mail: jjjjaanng@hanmail.net

탄약의 설계, 새로운 화포 추진제의 개발, 또는 화포의 설계를 위해서는 강내탄도(Interior Ballistics)의 해석 연구가 필요하며 짧은 시간에 높은 추력을 발생시키는 추진제의 특성상 실험에 의한 연구에 한계가 있으므로 전산해석을 통한 강내탄도 해석 연구가 병행되고 있다[1].

이에 성형건 등은 Eulerian-Lagrangian 좌표계와 SIMPLE 알고리즘을 이용하여 1-D 이상유동 강내탄도 해석코드인 IBcode를 개발하였다[2].

약실 내 추진제의 연소는 화포의 성능 및 안정성에 직접적으로 영향을 미치므로 점화제 주입특성은 강내탄도 성능해석의 주요 변수 중 하나이다. 이에 장진성 등이 뇌관의 길이 및 점화제 주입유량에 따른 강내탄도 성능해석을 수행하였으며 뇌관의 길이가 길어질수록 약실 내 압력이 균일하게 상승하여 화포의 성능 및 안정성이 증가함을 확인하였다[3]. 하지만 뇌관의 길이가 일정할 경우, 기존의 연구에서는 화포의 성능 및 안정성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하지 못했다. 따라서 본 연구에서는 뇌관의 각 주입구의 점화제 주입유량을 각기 다르게 조절하여 약실 내 균일한 압력상승을 유도하고 강내 차압을 감소시켜 화포의 성능 및 안전성을 향상시킬 수 있는 점화제 주입조건에 대해 고찰하였다.

2. 강 내 탄 도

강내탄도의 추진제 연소현상은 추진제 연소가스는 기상, 추진제는 고상으로 구분된다[1]. 이상유동을 해석하기 위해 기상은 Eulerian 좌표계를 이용하고 고상은 Lagrangian 좌표계를 이용하는 Eulerian - Lagrangian 접근법을 사용하였다[2].

기상의 지배방정식은 전체 부피에서 기상이 차지하는 비율인 기공률 α 를 도입한 1차원 Euler 방정식을 사용하였다[1].

고상의 지배방정식은 기상과 고상에서 발생하는 항력에 의해 계산되며 이를 위해 관내 고체 입자에 의한 압력 손실을 측정하여 얻은 실험식인 Ergun의 압력 손실 식을 사용한다[4].

3. 전 산 해 석

강내탄도 내의 유동장 해석을 위해 압축성 SIMPLE 알고리즘을 사용하였으며 탄자의 이동에 의해 생성되는 이동경계면은 Ghost Cell Extrapolation 기법을 사용하였다.

해석 코드의 검증을 위해 기존의 연구에서 주로 사용되는 무차원 강내탄도 해석 코드인 IBHVG2를 이용하였다[5]. 동일한 초기조건에 대한 결과를 비교하였으며 2%이내의 오차를 보이는 것을 확인하였다. 추가적인 검증 자료는 본 논문에 표시하지 않았으며 대신 참고문헌을 표시하였다[2].

4. 해 석 결 과

4.1 해석 초기조건

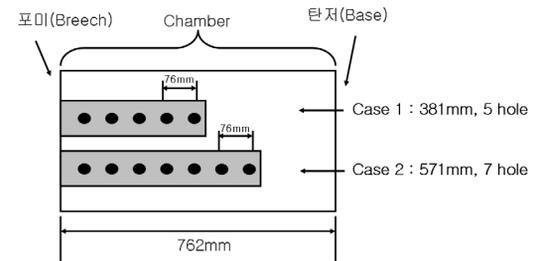


Fig. 1 Configuration of Chamber & Primer

점화제 주입 유량 조절을 통한 강내 차압 감소를 위해 Fig. 1과 같은 뇌관의 형상을 가정하였다. 기존 뇌관의 경우, 각 주입구 별 점화제 주입 유량이 일정하게 설계되어 있으나 본 연구에서는 포미에서 탄저 쪽으로 갈수록 점화제 주입유량이 증가한다고 가정하였다. 이를 통해 포미 압력상승은 감소시키고 탄저 압력상승은 증가시켜 약실 내 균일한 압력상승을 유도하여 강내 차압감소를 도모하였다.

4.2 해석 결과

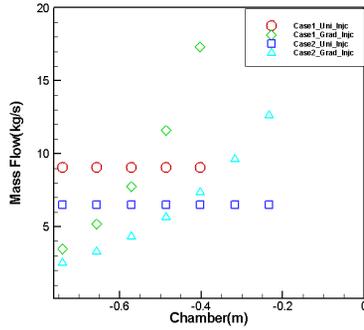


Fig. 2 Mass Flow of Ignition-gas

Table 1. Initial condition of analysis

Projectile Mass	45 (kg)
Propellant Mass	9.5255 (kg)
Propellant Density	1578 (kg/m ³)
Propellant Impetus	1009000 (J/kg)
Ignition-gas Mass	0.2268 (kg)
Ignition-gas Impetus	392600 (J/kg)
Chamber Volume	0.010427 (m ³)
Burning Rate Exponent (β)	0.9
Burning Rate Coefficient (α_p)	3.120563e-9(Ru) ⁻ⁿ (m/s)
Combustion Gas Molecular Weight	21.3 (kg/kmol)
Specific Heat Ratio	1.27
Flame Temperature	2585 (K)
Barrel Length	4.13 (m)
Projectile Drag	13.8 MPa

Figure 2는 각 Case 및 점화제 주입 방식에 따른 점화제 주입 유량이다. 전체 점화제는 5 msec동안 0.2268 kg의 점화제가 주입된다고 가정하였으므로 Case 1의 뇌관의 경우 각 주입구의 유량은 일정할 경우 9.072 kg/s가 된다. 이를 Fig. 2의 다이아 심벌과 같이 주입 유량을 포미 쪽으로 갈수록 감소시키며 탄저 쪽으로 갈수록 증가시켰고 점화제 주입 유량이 일정할 경우와의 강내 차압비교를 수행하였다. 마찬가지로 Case 2의 뇌관의 경우 각 주입구의 유량은 일정할 경우 6.48 kg/s가 되며 Fig. 2의 삼각 심벌과 같이 주입 유량을 조절하여 비교연구를 수행하였다. 그 외의 초기조건은 Table 1과 같다.

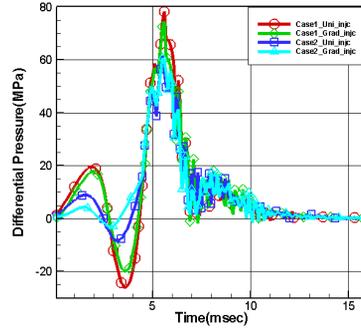


Fig. 3 Differential Pressure of Each Case

Table 2. NDP & Maximum Pressure Fluctuation of Each Case

	Case1 Unif. Inj.	Case 1 Grad. Inj.	Case 2 Unif. Inj.	Case 2 Grad. Inj.
NDP (MPa)	-26.39	-19.91	-8.31	-3.22
Maximum Pressure Fluctuation (MPa)	104.71	94.23	69.85	63.97

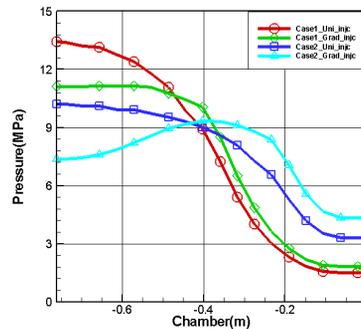


Fig. 4 Chamber Pressure at t = 1 ms

Figure 3은 뇌관 및 점화제 주입 방법에 따른 강내 차압이다. 차압은 약실의 포미(Breech) 압력과 탄저(Base) 압력의 차를 의미한다. 일반적으로 탄저 압력이 포미 압력을 역전하면서 발생하는 마이너스 차압(NDP: Negative Differential Pressure)은 화포의 성능에 부정적인 영향을 미칠 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 마이너스

차압의 발생원인은 약실 내 국부적인 압력상승에 의한 압력파의 생성 및 전파에 의한 압력진동이다. 따라서 차압 감소를 위해서는 약실 내 압력상승을 최대한 균일하게 유지하여 압력파의 생성을 최소화해야 한다.

Table 2는 뇌관 및 점화제 주입 방법에 따른 마이너스 차압 및 최대 차압변동이며 Fig. 4는 점화제 주입 후 1 ms가 경과한 후의 약실 압력이다. Case1 뇌관에 비해 Case2 뇌관의 경우가 낮은 마이너스 차압 및 차압변동이 나타났다. 이는 점화제가 주입되는 위치에서부터 추진제가 연소되기 시작하며 압력을 상승시키므로 뇌관의 길이가 길수록 약실 내 압력이 균일하게 상승하여 포미와 탄저의 압력차를 감소시키기 때문이다. 또한 동일한 길이의 뇌관을 사용하더라도 점화제 주입 유량을 탄저 쪽으로 증가시킨 경우의 마이너스 차압이 주입 유량이 균일한 경우의 마이너스 차압에 비해 Case 1 뇌관의 경우 약 24.5%, Case 2 뇌관의 경우 약 61.2% 정도 감소한 것을 확인할 수 있다. 이는 Fig. 4에서 확인할 수 있듯이 포미 쪽의 주입 유량은 감소시켜 압력상승을 감소시키고 탄저 쪽의 주입 유량은 증가시켜 압력상승을 증가시켜 약실 내 포미-탄저 간의 압력차를 감소시켰기 때문이다. 따라서 점화제 주입 유량의 조절을 통한 강내 차압감소를 확인하였으며 포미 쪽에서 탄저 쪽으로 갈수록 점화제의 주입 유량을 증가시키는 것이 화포의 안전성 및 성능향상에 유리하다는 결론을 내릴 수 있었다.

5. 결 론

강내탄도 내 차압 감소를 위한 점화제 주입 방법에 대한 전산해석을 수행하였다. 기존 뇌관의 경우 각 주입구에서 주입되는 점화제 주입 유량이 일정하였으나 본 연구에서는 점화제 주입 유량을 기존에 비해 포미 쪽은 감소시키고, 탄저 쪽은 증가시켜 약실 내 균일한 압력상승을

유도하였다. 해석 결과 동일한 길이의 뇌관을 사용했을 시, 점화제 주입 유량을 포미에서 탄저 쪽으로 증가시킬 경우에 약실 내 압력차가 발생하여 마이너스 차압이 발생하였지만 점화제 주입 유량이 일정할 경우에 비해서는 마이너스 차압 및 차압의 변동이 감소함을 확인했다.

본 연구를 통해 점화제 주입 유량의 조절을 통해 강내 차압 감소가 가능함을 확인하였으나 화포의 성능향상 및 안정성 향상을 위해서는 다양한 뇌관 형상 및 주입 유량 등의 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

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. 성형건, 장진성, 이상복, 최동환, 노태성, 장영재, "Eulerian-Lagrangian 접근법과 SMART scheme을 이용한 강내탄도 전산해석 코드 개발," 한국국사과학기술학회지, 제13권, 제3호, 2010, pp.349-357
3. 장진성, 성형건, 이상복, 노태성, 최동환, "점화제 주입에 따른 강내탄도 성능해석," 한국군사과학기술학회지, 제14권, 제1호, 2011, pp.22-29
4. Ergun, S., "Fluid Flow Through Packed Columns," Chem Eng Prog, Vol. 48, No. 2, 1952, pp.89-94
5. Ronald, D. A. and Kurt D. F., "IBHVG2-A User's Guide," Technical Report, BRL-TR-2829, 1987