

고체추진제 형상에 따른 강내탄도의 특성 연구

장진성* · 성형건* · 김인주* · 노태성** · 최동환**

Study on Properties of Interior Ballistics According to Solid Propellant Grain Configuration

Jinsung Jang* · Hyunggun Sung* · Injoo Kim* · Taeseong Roh** · Dongwhan Choi**

ABSTRACT

Using the numerical code for the interior ballistics, the performance of the interior ballistics with the characteristic of the configuration of the solid propellant has been investigated. In existing research, only ball type solid propellant is considered but at this research, cylinder and single slot type solid propellants are considered. Definite the change of performance of the interior ballistics according to specific surface area.

초 록

강내탄도 전산해석 코드를 이용하여 고체 추진제 형상에 따른 강내탄도 성능을 예측해 보았다. 기존의 연구에서는 불형의 추진제만을 다룬데 반해 이번 연구에서는 추가적으로 실린더형과 단공형의 추진제를 다루었다. 각 추진제의 형상에 따라 비표면적이 달라지고 이로 인해 강내탄도의 성능변화가 나타남을 확인했다.

Key Words: Interior Ballistics(강내탄도), Solid Propellant(고체추진제), Specific Surface Area(비표면적)

1. 서 론

탄약의 설계, 새로운 화포 추진제의 개발, 또는 화포나 포신의 설계 등을 위해서 강내탄도(Interior Ballistics) 해석 기술이 필수적으로 요구된다[1-3]. 장진성 등은 Eulerian-Lagrangian 좌표계와 SMART scheme을 이용하여 1차원 강

내탄도 해석 코드를 개발하였으나, 불형의 고체 추진제만을 적용하였다[4]. 하지만 실제 강내탄도에 사용되는 고체추진제 형상은 단공형, 7공형, 장미형 등이다. 이에 본 연구에서는 우선 불형, 실린더형, 단공형의 고체추진제를 적용하여 다양한 형상을 해석할 수 있는 강내탄도 전산해석 코드를 확보하였고, 각기 다른 형상의 비표면적에 따른 강내탄도의 성능 변화 특성을 연구하였다.

* 인하대학교 인하대학원 항공우주공학과

** 인하대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: jjjaanng@hanmail.net

2. 강 내 탄 도

2.1 강내탄도

강내탄도는 화포의 약실 내에서 고체 추진제가 점화가스에 의해 연소되고 생성된 연소가스의 압력에 의해 탄자가 가속되어 포구를 이탈하는 일련의 과정이다.

2.2 강내탄도 지배방정식

강내탄도의 고체추진제 점화 및 연소현상은 다상유동이다. 다상유동의 강내탄도는 고체추진제 연소가스의 연속상과 고체추진제의 분산상으로 구분된다[1]. 다상 유동을 해석하기 위해 Eulerian-Lagrangian 접근법을 사용하였고, 연속상은 Eulerian 좌표계를 이용하고 분산상은 Lagrangian 좌표계를 이용한다[5]. 다상 유동을 해석하기 위해 연속상인 지배방정식은 고상이 차지하는 부피를 고려하기 위해 기공률을 도입한 Euler 방정식을 사용하였다.

2.3 강내탄도 구성방정식

고상과 기상에서 발생하는 항력은 Ergun의 압력 손실식을 사용하였다. 본 연구에서는 연소율이 주요 연구 변수가 아니므로 간단한 정상상태 연소율을 사용하였다[6]. 상태방정식은 이상상태 방정식을 사용하였다. 또한 고체추진제의 연소에너지의 전달은 탄자의 운동에너지, 탄자의 마찰 손실에너지에만 사용되도록 하였다.

불형, 실린더형, 단공형 등 각각의 추진제 형상에 관한 기공률과 고체추진제 비표면적은 다음과 같이 계산된다.

$$\alpha = 1 - \frac{n \left(\frac{4}{3} \pi r_p^3 \right)}{A \Delta x} \quad (1)$$

$$A_s = \frac{n 4 \pi r_p^2}{A \Delta x} \quad (2)$$

$$\alpha = 1 - \frac{n (\pi L (r_p^3 - N r_p^3))}{A \Delta x} \quad (3)$$

$$A_s = 2 \pi L (r_p + N r_p) + \pi (r_p^2 - N r_p^2) \quad (4)$$

Equation (1),(2)는 불형에 대한 식이다. 또한 Eq. (3),(4)는 실린더형에 대한 식이며, 여기서 N은 실린더 내에 뚫린 구멍의 개수를 의미한다. 즉, 단순 실린더형이면 N=0 이고, 단공형일 경우 N=1 이다. 또한 n은 미소제어체적 내에 동일한 반지름을 가진 고체추진제 입자 개수이다.

3. 강내탄도 전산해석

3.1 유동장 수치해석 기법

강내탄도 내의 유동장을 해석하기 위해 모든 속도 영역을 해석할 수 있는 압축성 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 1차원 CFD 코드를 작성하였고 공간 이산화는 SMART scheme을 사용하였다. 이동경계면의 위치는 Ghost cell extrapolation method를 CFD 코드에 적용하였다.

3.2 추진제 형상에 따른 강내탄도 성능 변화

추진제 형상에 따라 추진제의 비표면적이 변하게 되며, 이로 인한 강내탄도 성능의 변화를 계산해 보았다.

Table 1. Initial Condition

탄자 질량	30 kg
초기 밀도	7.509 kg/m ³
초기 압력	6.859e+6 Pa
기공률	0.6
약실 면적	0.019478 m ²
약실 길이	0.9675 m

Table 2. Propellants Configuration Data

	반지름(m)		높이(m)
불형	0.0025		.
실린더형	0.0025		0.009
단공형	외경	0.0025	0.009
	내경	0.0015	

강내에 같은 양의 추진제를 넣기 위해 동일한 기공률을 초기조건으로 주고 추진제 형상을 불형, 실린더형, 단공형의 경우로 나눠 성능을 비교해 보았다. 기타 초기조건들은 Table 1과 같고, 추진제 형상 Data는 Table 2와 같다.

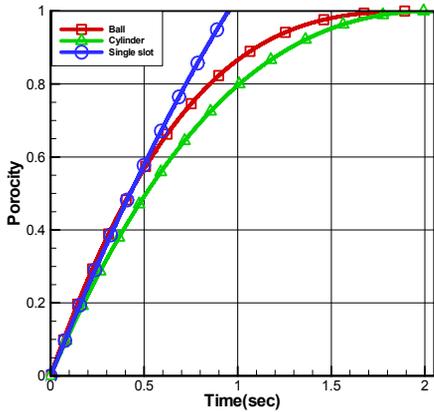


Fig. 1. Change of Porosity

Figure 1은 추진제 형상에 따른 기공률 변화를 나타낸 그래프이다. 비교를 위해 같은 압력 조건에서 즉, 같은 연소율로 고체추진제가 연소한다고 가정하였다. 기공률이 0에서 1로 갈수록 고체 추진제가 타들어가는 것이고, 기공률이 1이 되면 완전히 연소된 상태이다. Fig. 1에서 초기에는 불형의 추진제가 가장 큰 비표면적을 가지고 연소되었으나 시간이 지남에 따라 비표면적이 줄어들어 연소가스의 생성량이 감소하였다. 단공형의 경우 초기에는 불형의 연소와 가장 근접한 경향성을 가지면서도 시간 변화에 따라 비표면적의 변화가 없어 가장 빠르게 연소가 됨을 알 수 있다.

Figure 2, 3은 시간에 따른 포미(Breech) 압력, 탄저(Base) 압력이다. 최대 압력은 불형, 단공형, 실린더형 순이다. 하지만 연소가 진행되면서 불형의 경우 강내 압력이 빠르게 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 실린더형의 경우는 가장 낮은 강내 압력과 불형보다 약간 늦은 압력 감소율을 보이고 있다. 단공형의 경우 최대 압력은 불형에 비해 약간 낮으나 연소가 진행되면서 강내 압력

이 천천히 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 강내 압력의 차이는 Fig. 4, 5에서도 확인할 수 있듯이 시간에 따른 탄자 속도와 탄자 이동 거리의 차이로 나타났다. 이 해석결과는 Table 3에 나타내었다.

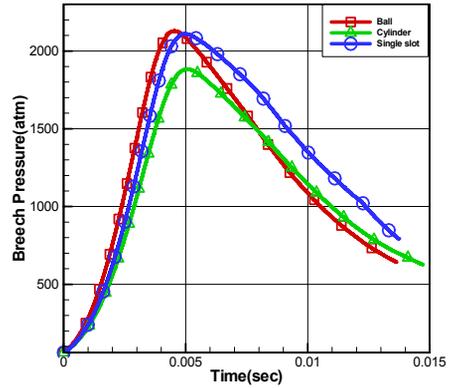


Fig. 2. Breech Pressure as A Function of Time

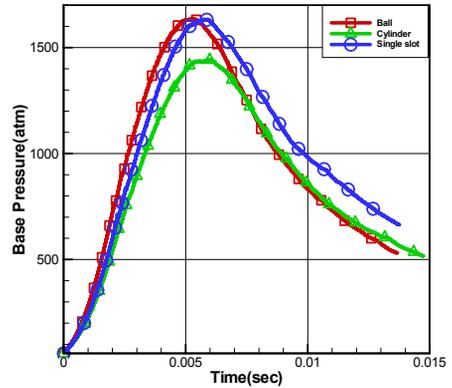


Fig. 3. Base Pressure as A Function of Time

결과에 의하면 단공형의 경우 불형에 비해 강내 최고 압력이 낮음에도 불구하고 탄자 탈출속도가 가장 빨랐다. 이는 추진제 형상이 강내탄도에 미치는 영향이 지대함을 의미하며, 불형의 추진제 보다는 단공형의 추진제를 사용하는 것이 더욱 우수한 강내탄도 성능을 얻을 수 있음을 의미한다. 하지만 포신의 최대 허용 압력이 높지 않은 경우 단공형 추진제 보다는 실린더형 추진

제를 사용하는 것이 안정적이다.

4. 결 론

강내탄도 전산해석 프로그램을 이용하여 추진제 형상에 따른 강내탄도 성능변화를 예측해 보았다. 단공형 추진제를 사용하였을 경우 불형에 비해 낮은 강내 최대 압력에도 불구하고 가장 빠른 탄자 탈출 속도를 나타내었다. 따라서 강내탄도의 성능 향상을 위해서는 불형 추진제 보다는 단공형 추진제가 유리하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 지원에 의한 연구결과입니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Paul, S. G., "Initial Development of Core Module of Next Generation Interior Ballistic Model NGEN," ARL-CR-234, 1995
2. Michael, J. N., and Albert, W. H., "Progress in Modeling Ignition in a Solid Propellant Charge for Telescoped Ammunition," ARL-TR-3673, 2006
3. 조한창외 3인, "이동경계면을 갖는 연소실내에서의 입자상의 고체연료 연소장 예측," 대한 기계학회 논문집, 제16권 제12호, 1992, pp.2385-2394
4. 장진성의 6인, "수치해석 기법에 따른 강내탄도 전산해석 코드의 안정성 향상 연구," 제17회 지상무기 학술대회, 2009
5. 성형건의 4인, "강내탄도의 전산해석 기초 기법의 연구", 한국추진공학회 논문집, 제12권 제6호, 2008, pp.12-20
6. 성형건의 3인, "고체추진제 이동을 고려한 강내탄도의 수치 해석", 한국전산유체공학회 2009년도 춘계학술대회 논문집, 한국전산유체공학회, 2009, pp.310-314

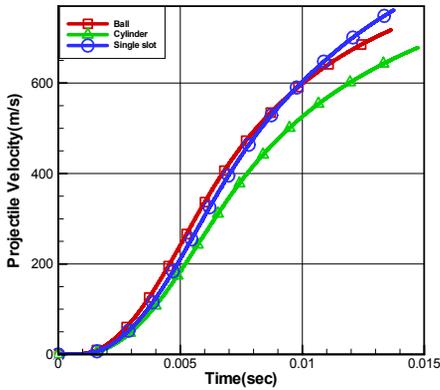


Fig. 4. Projectile Velocity as A Function of Time

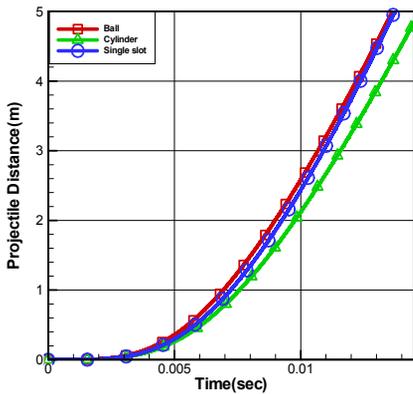


Fig. 5. Projectile Distance as A Function of Time

Table 3. Analysis Results

		불형	실린더형	단공형
최대압력 (atm)	포미 (Breech)	2128	1882	2110
	탄저 (Base)	1580	1408	1573
탄자 탈출 속도 (m/s)		717	677	760
탄자 탈출 시간 (sec)		1.36e-2	1.47e-2	1.37e-2