

강내탄도의 약실 내 추진제 모델링 비교연구

장진성* · 성형건* · 노태성** · 최동환**

Comparative Study of Propellant Modeling in Chamber of Interior Ballistic

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

ABSTRACT

Comparative study on propellant modeling has been investigated using a non-dimensional method and an one-dimensional method. The propellant location in the chamber can not be described by the non-dimensional method. It is, however, possible for the one-dimensional method to describe. Therefore, the analysis of the interior ballistics according to the propellant arrangements has been performed by the one-dimensional method. The negative differential pressure in the chamber could be predicted and the necessity of the one-dimensional modeling for the analysis of the interior ballistics has been confirmed.

초 록

무차원 추진제 모델링 기법과 1차원 추진제 모델링 기법을 사용하여 약실 내 추진제 모델링 기법에 대한 비교 연구를 수행하였다. 무차원 추진제 모델링의 경우 약실 내 추진제 위치 및 배열에 대한 묘사가 불가능 하지만 1차원 추진제 모델링의 경우에는 가능하다. 따라서 약실 내 추진제 배열에 따른 강내탄도 성능해석 시 무차원 추진제 모델링의 경우 강내 마이너스 차압의 예측이 불가능하지만 1차원 추진제 모델링의 경우 예측이 가능함을 확인했으며, 이를 통해 강내탄도 성능해석 시 1차원 추진제 모델링의 필요성을 확인했다.

Key Words: Interior Ballistics(강내탄도), Propellant(추진제), Modeling(모델링), Non-dimension(무차원), One-dimension(1차원)

1. 서 론

강내탄도(Interior Ballistics)란 추진제 연소에

* 인하대학원 항공우주공학과
** 인하대학교 기계공학부 항공우주공학과
연락처, E-mail: jjjaanng@hanmail.net

의한 약실의 압력상승으로 탄자를 가속시키는 일련의 과정으로 화포의 내구성 및 성능 개량, 탄약의 설계, 새로운 추진제의 개발 등을 위해 필요하다. 하지만 화포에 사용되는 추진제의 경우 높은 연소율로 인해 짧은 시간에 높은 추력을 발생시키며 이로 인해 실험에 의한 연구에

한계가 있으므로 전산해석을 통한 강내탄도 성능해석 연구가 필요하다[1].

이에 성형진 등은 Eulerian-Lagrangian 좌표계와 SMART scheme을 이용하여 1차원 강내탄도 전산해석 코드(IBcode)를 개발하여 무차원 강내탄도 해석코드인 IBHVG2의 해석결과와의 비교를 통해 해석 코드의 신뢰성을 검증하였다[2].

본 연구에서는 7공형 추진제 형상 및 19공형 추진제 형상을 사용하여 신뢰성이 확보된 1차원 강내탄도 해석코드인 IBcode를 이용하여 무차원 및 1차원 추진제 모델링 기법에 대한 해석결과를 비교하였으며, 약실 내 추진제 배열에 따른 해석결과 비교를 통해 1차원 추진제 모델링 기법의 필요성을 확인하였다.

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[2].

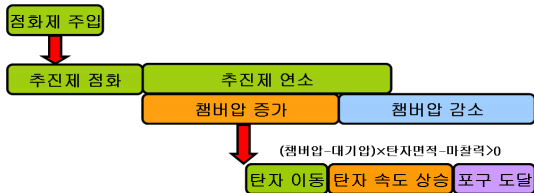


Fig. 1 Diagram of Interior Ballistics

2.1 강내탄도 지배방정식

강내탄도의 추진제 점화 및 연소현상은 다상 유동이다. 대부분의 강내탄도 해석코드의 경우 고상으로는 추진제만을 고려하므로 본 연구에서도 고상으로는 추진제만을 고려하였다. 기상은 Eulerian 좌표계를 사용하고 고상은 Lagrangian 좌표계를 사용하였다[2]. 기상의 지배방정식은 기공률을 도입한 1차원 Euler 방정식을 사용하며, 고상의 지배방정식은 Ergun 식을 사용하며 이는 Eq. 1과 같다[3].

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

3. 전 산 해 석

3.1 유동장 전산해석 기법

강내탄도 내의 유동장을 해석하기 위해 압축성 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 IBcode를 작성하였고 공간 이산화는 SMART scheme을 사용하였다[4].

3.2 약실 내 추진제 모델링

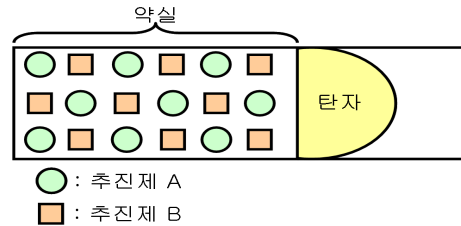


Fig. 2 Propellant Modeling of Non-dimensional Method

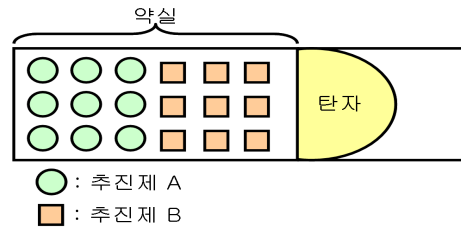


Fig. 3 Propellant Modeling of One-dimensional Method

약실 내 2 종류 이상의 추진제를 사용할 경우 무차원 추진제 모델링의 경우 위치에 대한 묘사가 불가능하므로 Fig. 2와 같이 약실 내 추진제들이 고르게 혼합되어 분포한다고 가정한다. 하지만 실제로 2 종류 이상의 추진제를 사용할 경우 Fig. 3과 같이 추진제 종류 별로 약실 내에 위치하게 된다. 이에 본 연구에서는 무차원 및 1차원 추진제 모델링 기법의 차이를 비교하기 위해 Table 1과 같이 3 Case에 대하여 비교연구를 수행하였다.

Table 1. Analysis Cases

Case	A	B
Uniform	7-perforated 19-perforated	
7p-19p	7-perforated	19-perforated
19p-7p	19-perforated	7-perforated

Uniform Case는 무차원 추진제 모델링으로 Fig.2와 같이 7공형 추진제와 19공형 추진제가 약실 내 균일하게 혼합되어 있다고 가정하였다. 7p-19p Case와 19p-7p Case는 1차원 추진제 모델링으로 7p-19p Case는 추진제 A의 위치에 7공형 추진제를, 추진제 B의 위치에 19공형 추진제를 위치시켰으며 19p-7p Case는 반대로 추진제 A의 위치에 19공형 추진제를, 추진제 B의 위치에 7공형 추진제를 위치시켰다.

3.3 해석 초기조건

해석에 사용된 초기조건은 Table 2와 같다.

Table 2. 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

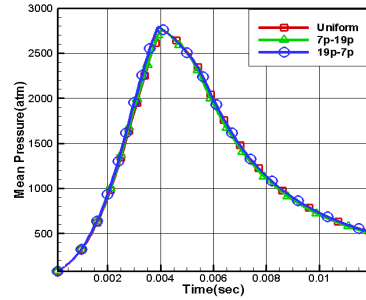


Fig. 4 Mean Pressure as A Function of Time According to Cases

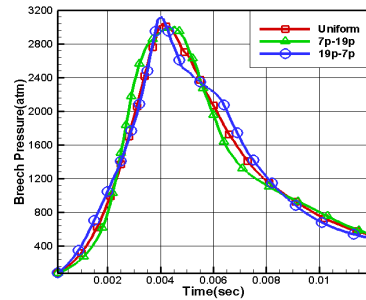


Fig. 5 Breech Pressure as A Function of Time According to Cases

Figure 4는 해석 Case 별 강내 평균압력이다. 무차원 모델링 및 1차원 모델링 기법에 따른 결과 차이가 나타나지 않는데 이는 동일한 종류 및 질량의 추진제를 사용하여 약실 전체의 평균압력을 구했기 때문에 모델링 기법 및 추진제 배열에 따른 차이가 발생하지 않는 것이다. 하지만 강내 위치에 따른 압력의 경우 차이가 발생했다. Fig. 5는 Case 별 Breech 압력으로 Fig. 4의 강내 평균압력과 달리 추진제 모델링 기법 및 추진제 배열에 따른 해석결과의 차이가 발생했다. 이는 추진제 형상에 따라 연소율의 차이가 발생하기 때문이다. 연소율 차이에 의해 강내 압력이 국부적으로 상승하게 되며 이로 인해 강내 압력파가 생성되고 압력진동이 발생하게 된다. 무차원 모델링 기법으로는 이러한 현상에 대한 묘사가 불가능하므로 1차원 모델링 기법을 사용한 Case에서 나타나는 압력진동이 발생하지 않

음을 확인할 수 있다.

5. 결 론

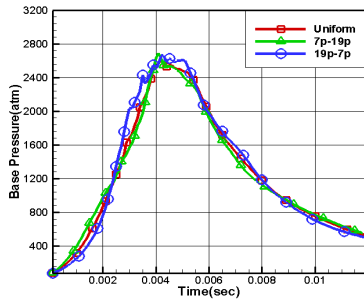


Fig. 6 Base Pressure as A Function of Time According to Cases

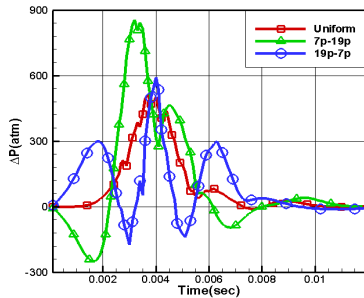


Fig. 7 Differential Pressure as A Function of Time According to Cases

Figure 6은 Case 별 Base 압력이다. Fig. 5의 결과와 마찬가지로 추진제 모델링 기법 및 추진제 배열에 따른 해석결과의 차이가 발생했는데 이는 앞서 언급한 이유에서이다.

Figure 7은 Case 별 차압이다. 무차원 모델링 기법을 사용한 경우 Fig. 6-7에서 확인할 수 있듯이 강내 압력진동의 묘사가 불가능하므로 마이너스 차압의 발생을 예측하지 못했으나 1차원 모델링 기법을 사용한 경우 추진제 배열에 따른 마이너스 차압의 예측 및 계산이 가능했다. 약실 내 마이너스 차압은 화포의 내구성 및 성능에 부정적인 영향을 미친다고 알려져 있으므로 강내탄도 성능해석 시 마이너스 차압의 예측 여부는 반드시 수행되어야 한다. 따라서 본 연구를 통해 1차원 추진제 모델링에 대한 필요성을 확인하였다.

약실 내 무차원 및 1차원 추진제 모델링 기법에 대한 비교연구를 수행하였다. 강내평균 압력의 경우 무차원 및 1차원 추진제 모델링 기법에 따른 차이가 나타나지 않았으나, Breech & Base 압력 및 차압의 경우 기법에 따른 차이가 나타남을 확인했으며 특히 차압의 경우 무차원 모델링 기법은 강내 마이너스 차압의 예측을 하지 못함을 확인했다. 강내 마이너스 차압의 예측은 강내탄도 성능해석에 필수적인 요소이므로 1차원 강내탄도 모델링 기법의 필요성을 본 연구를 통해 확인할 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. 성형건, 장진성, 이상복, 최동환, 노태성, 장영재, "Eulerian-Lagrangian 접근법과 SMART scheme을 이용한 강내탄도 전산해석 코드 개발," 한국군사과학기술학회지, 제 13권 3호, 2010, pp.349-357
3. Ergun, S., "Fluid Flow Through Packed Columns," Chem Eng Prog, Vol48 No.2, 1952, pp.89-94
4. Gaskell, P. H., Lau, A. K. C., "Curvature-compensated Convective Transport : SMART, A New Boundedness Preserving Transport Algorithm," International Journal for Numerical Methods in Fluids, VOL.8, 1988, pp.617-641