

이중추력형 고체 추진기관 설계를 위한 이중추진제 적용 내탄도 해석

김한준*[†] · 문경제*

Internal Ballistic Analysis using Two Kinds of Propellant for Design of Dual-thrust Solid Rocket Motor

Hanjun Kim*[†] · Kyungje Moon*

ABSTRACT

In this study, internal ballistic analysis theories of dual-thrust solid rocket motor using two kinds of propellant are found, and the theories are applied to develop internal ballistic analysis model. Internal ballistic analysis which is dual-thrust solid rocket motor using two kinds of propellant is carried out an applying of the random figures of two kinds of propellant and an analyze of the test results. Through this analytical model was able to an applying internal ballistic analysis for dual-thrust solid rocket motor using two kinds of propellant.

초 록

본 연구에서는 이중추진제를 적용한 이중추력형 고체 추진기관의 내탄도 해석 이론을 정립하였고 이 이론을 바탕으로 내탄도 해석 모델을 개발하였다. 이중추진제를 적용한 이중추력형 고체 추진기관의 내탄도 해석은 임의의 값의 이중추진제를 적용하여 수행하였고 그 결과를 분석하였다. 이를 통해 본 해석 모델이 이중추진제를 적용한 이중추력형 고체 추진기관의 내탄도 해석에 적용 가능성을 확인하였다.

Key Words: Internal Ballistic Analysis(내탄도 해석), Solid Rocket Motor (고체로켓모터), Dual-thrust solid rocket motor(이중추력형 고체 추진기관)

1. 서 론

유도미사일용 고체 추진기관은 유도방식에 따라 크게 단순 추력형과 다중 추력형으로 나눌

수 있다. 단순 추력형은 초기에 많은 추력을 내어 초기속도가 큰 반면 종말속도가 급격히 감소하는 특징을 가지고 있고 다중 추력형은 발사 초기에 높은 추력이 필요하고 그 후 지속적이며 상대적으로 낮은 추력만을 요하는 무기체계에 최근 많이 적용되고 있으며 상대적으로 단순 추력형보다 비행성능이 우수하다고 평가되고 있다.

* ㈜한화 대전사업장 추진기술1팀

[†] 교신저자, E-mail: hanjunai@hanwha.com

다중 추력형은 크게 분리형과 비분리형으로 나눌 수 있다. 비분리형은 하나의 추진기관으로 두 단계의 추력을 동시에 실현하는 방식으로 1단, 2단을 따로 제작할 필요가 없고 분리를 위한 부수적인 장치가 필요없어 일반적으로 분리형보다 길이가 짧아지고 구조적으로 간단하여 경제적으로 평가되고 있다. 또한, 단 분리시 발생하는 무게중심과 공력중심의 이동이나 부수적인 분리장치가 필요없어 추진기관의 신뢰도가 높다는 장점을 가지고 있다. 반면, 부스팅 단계 후에도 부수적인 무게를 계속 운반해야 하는 단점이 있다.

이러한 특징을 가지고 있는 비분리형 이중추력형 추진기관을 제작하는 방법에는 크게 연소역적의 변화를 통해 이중추력을 만드는 방식과 연소속도가 서로 다른 두 가지 추진제를 이용하여 이중추력을 만드는 방식으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 이중추진제를 이용한 방식을 채택하였으며 특히 이중추진제를 동시에 연소시켜 이중추력을 발생시키는 추진기관에 대한 연구를 진행하였다.

이중추진제를 이용한 이중추력형 추진기관을 적용한 사례로는 미국의 공대공 유도탄인 스파로(Sparrow) 미사일이 대표적이며 러시아에서도 스메르치(Smerch) 다련장로켓에 적용한바 있다.

국내에서는 1989년에 국방과학연구소에서 단일 연소관 이중추력 고체 로켓 추진기관에 대해 총 10기의 시험용 추진기관 제작하여 연구를 수행한바 있다.

본 논문에서는 이중추진제를 적용한 이중추력형 고체 추진기관에 대한 내탄도 해석 이론을 정립하였다. 또한, 정립한 이론을 바탕으로 내탄도 해석 모델을 개발하고 임의의 두 가지 추진제를 적용하여 개발한 내탄도 해석 모델의 적용 가능성을 고찰하였다.

2. 내탄도 해석 이론 정립

2.1 연소가스 등가물성 산출

이중추진제를 적용한 이중추력형 추진기관의

내탄도 해석을 위해서는 먼저 연소가스의 등가물성을 산출해야 한다. 연소가스의 등가물성 산출을 위해 각 추진제의 연소가스는 균일하게 혼합된다고 가정하였다. 또한, 혼합가스의 분자량(Mw_{mix})과 정압비열(Cp_{mix})은 식 (1), 식 (2)와 같이 각 연소가스의 질량에 따른 가중치 평균으로 계산하였다.

$$Mw_{mix} = \frac{Mw_1 \cdot \dot{m}_1 + Mw_2 \cdot \dot{m}_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad (1)$$

$$Cp_{mix} = \frac{Cp_1 \cdot \dot{m}_1 + Cp_2 \cdot \dot{m}_2}{\dot{m}_1 + \dot{m}_2} \quad (2)$$

연소실내 연소가스 온도(T_{mix})는 식 (3)과 같이 에너지평형에 의한 연소가스 온도로 산출하였고 비열비(γ_{mix})는 이상기체로 가정하여 식 (4), 식 (5)와 같이 산출하였습니다.

$$T_{mix} = \frac{Cp_1 \cdot m_1 \cdot T_1 + Cp_2 \cdot m_2 \cdot T_2}{Cp_{mix} (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)} \quad (3)$$

$$\gamma_{mix} = \frac{Cp_{mix}}{Cv_{mix}} = \frac{1}{1 - R_{mix} / Cp_{mix}} \quad (4)$$

$$R_{mix} = \frac{R_a}{Mw_{mix}} \quad (5)$$

2.2 지배방정식

이중추진제를 적용한 이중추력형 추진기관 내탄도 해석에 적용할 압력 미분방정식은 식 (6)과 같이 이상기체 방정식을 미분하여 산출하였다. 본 연구에서는 Runge-Kutta 방법을 이용하여 압력을 산출하였고, 각 Time Step에서 연소가스의 등가물성을 계산하였다. 이 외에 추력 및 기타 상태량은 기존의 내탄도식을 반영하였다.

$$\dot{P} = \frac{(\rho_1 r_1 A_{b1} + \rho_2 r_2 A_{b2} - \frac{PA_t}{C_{mix}^*}) \cdot R_{mix} \cdot T_{mix}}{V_c} \quad (6)$$

3. 내탄도 해석 및 연소시험

3.1 코드 생성 및 해석 조건

이중추진제를 적용한 이중추력형 추진기관에 대한 내탄도 해석을 정립하고 이를 이용하여 내탄도 해석 코드를 생성하였다. Fig. 1과 같이 추진제 2종의 물성을 각각 입력하였고 연소면적은 행렬형태로 각각 입력하였다.

해석조건으로는 Fig. 2와 같이 6인치 표준모타 그레인 추진제 2종을 같이 연소시키는 모델로 설정하였다. Booster 추진제와 Sustainer 추진제를 동일한 연소면적으로 설계하였고 추진제 물성은 Table. 1과 같이 합리적인 범위에서 임의의 값을 적용하였다.

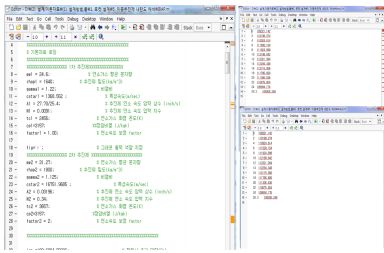


Fig. 1 Internal Ballistic Analysis Code

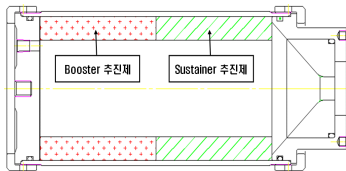


Fig. 2 Schematic Diagram of Standard Motor

Table 1. Property of Propellant

항목	단위	Booster 추진제	Sustainer 추진제
연소속도	inch/s	0.02562	0.03196
압력상수	inch/s	0.4625	0.35
추진제 밀도	kg/m ³	1,718	1,800
비열비	-	1.1475	1.1250
연소가스 온도	K	3,118	3,657
정압비열	J/kg·K	2,328	2,393

3.2 지상연소시험 및 내탄도 해석 비교

Fig.2와 같이 6인치 표준모터를 제작하여 시험을 수행하였다. 지상연소시험 결과와 내탄도 해석결과는 Fig. 3과 Fig. 4와 같으면 상당히 잘 일치함을 알 수 있다.

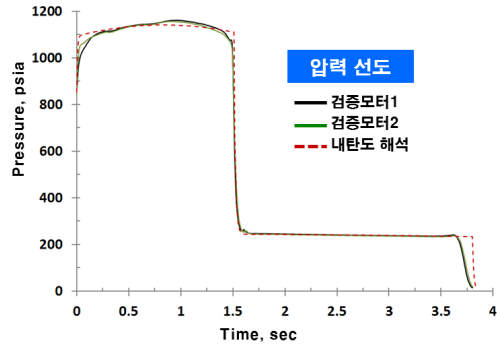


Fig. 3 The Pressure Results of Test and Analysis

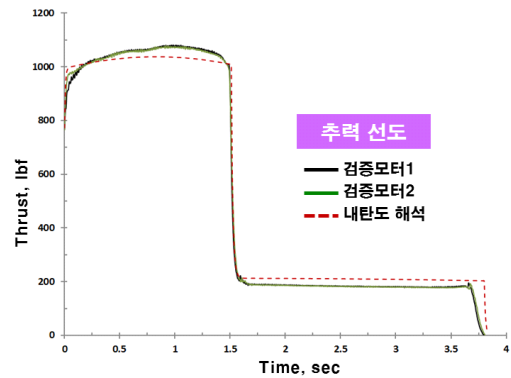


Fig. 4 The Thrust Results of Test and Analysis

4. 결론

본 논문에서는 이중추진제를 적용한 이중추력형 고체 추진기관에 대한 내탄도 해석 이론을 정립하였다. 또한, 정립한 이론을 바탕으로 내탄도 해석 모델을 개발하고 표준모타에 임의의 두 가지 추진제를 적용하여 내탄도 해석을 수행하였다. 또한 6인치 표준모터의 시험을 수행하고 내탄도 해석과 비교하여 해석을 위한 프로그램을 검증하였다.

참 고 문 헌

1. 성홍계, 김종률, 최용규, 황갑성, “단일 연소 관 이중추력 고체 로켓트 추진기관 연구,” 한국항공우주학회지, 1989.4, Page 163-166
1. 이도형, “이중 추력형 로켓모타의 성능예측 기법 연구,” 한국항공우주학회지, 2001.6, Page 38-43
3. "Solid Rocket Motor Performance Analysis and Prediction" NASA SP-8039