ETC 효과를 고려한 강내탄도의 성능해석 연구

성형건* · 장진성* · 이상복* · 노태성** · 최동환**

Study on Performance Analysis of Interior Ballistics According to ETC(Electrothermal chemical) Effect

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

ABSTRACT

A study on ETC(Electrothermal chemical) Guns has been conducted. The existing code of the numerical analysis for the interior ballistics has been extended for ETC Guns. Using this code, the performance analysis of interior ballistics according to the injection patterns of the plasma energy has been fulfilled.

초 록

ETC(Electrothermal chemical) Gun에 대한 연구를 수행하였다. 기존의 강내탄도 전산해석 코드를 ETC 화포에 적용하도록 확장시켰다. 이를 통해 플라즈마 에너지 주입 패턴에 따른 강내탄도 성능해석 연구를 수행하였다.

Key Words: Interior Ballistics(강내탄도), Electrothermal Chemical(전열화학에너지), Plasma(플라즈마)

1. 서 론

최근 들어 ETC(Electrothermal chemical) 화포에 대한 설계 및 개발에 많은 연구가 진행되고 있다. ETC 화포는 기존의 점화 방법 대신에 전열화학에너지를 점화하는 것이다. 전열화학에너지를 사용하는 ETC 화포는 점화 지연시간 감소시키고 고체추진제의 점화 및 연소 특성을 제어할 수 있는 장점이 있다[1-4].

해외의 경우 ETC 화포에 관한 수치적 연구가 많이 수행되었다. Earnhart 등은 강내탄도 전산해석 코드인 IBHVG2를 확장하여 ETC 화포에도 적용할 수 있도록 하였다[1]. Katulka 등은 1차원 플라즈마 부가모듈을 탑재한 무차원의 강내탄도 코드인 PPIB(Plused power plasma interior ballistics) 코드를 개발하였다[2]. 최근에는 Nusca 등이 ETC 모델을 적용한 NGEN 코드의 검증 연구를 수행하였다[3].

국내의 경우 정재원 등이 ETC Gun에 대한 실험적인 연구를 수행하였으나, 해석적 연구는 수행되지 않았다. 이에 본 연구에서는 ETC Gun에 대한 수치적 방법의 적용성에 대한 연구를 수행하였다[5].

* 인하대학교 인하대학원 항공우주공학과
** 인하대학교 항공우주공학과
연락저자, E-mail: tsroh@inha.ac.kr

2. ETC(Electrothermal Chemical) Gun

2.1 ETC Gun

ETC 화포는 Fig. 1과 같이 기존의 화약을 통한 점화가 아닌 플라즈마를 생성하여 강내탄도의 고체추진제를 점화 연소시킨다. 그러나 ETC 화포는 막대한 전기 에너지를 사용하는 것이 큰 단점이다. 이 때문에 ETC 화포는 점화기만을 변경하는 방법과 점화기와 고체추진제를 변경하는 방법으로 구분된다. 기존에 점화기 대신에 전열 점화기를 사용하여 플라즈마로 고체추진제를 점화시키는 ETC 화포는 100 KJ 이하의 전기에너지를 사용한다. 이 방법은 기존의 점화제의 점화 지연시간을 단축시켜 기동중인 화포의 정밀도를 향상시키는 장점이 있다. 또 다른 방법은 전열 점화기와 전열화학에너지에 의해 연소율이 변화되는 고체추진제를 사용하는 것이다. 이 방법은 전열화학에너지로 강내탄도 약실 내의 연소 현상을 제어하여 높은 탄자 탈출 속도를 갖도록 만드는 장점이 있다.

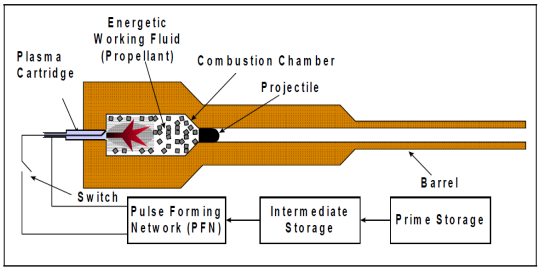

Fig. 1. ETC(Electrothermal-chemical) Gun Concept[3]

전열 점화기의 경우는 전열 점화기 내부 현상을 수치적으로 해석하기보다는 실험을 통한 경험식을 강내탄도 해석 코드에 적용시키는 것이 더 효율적인 방법이다.

전열 점화기와 전열화학에너지에 의해 연소율이 변화하는 고체추진제를 사용하는 ETC 화포의 경우는 추가적으로 전열화학에너지에 의해 고체추진제의 연소율 변화에 대한 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 전열화학에너지에 의해 연소율의 변화가 강내탄도의 성능에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다.

2.2 ETC 효과 모델링

플라즈마를 이용하여 고체추진제를 연소하는 경우 고체추진제의 연소율이 비약적으로 증가되게 된다. 이러한 현상을 수식적으로 나타내기 위해 다음과 같이 일반적인 연소율 식에 추가적인 계수를 곱해주는 방식을 사용하였다[4].

$$r = \beta P^{\alpha}(1 + EP^{*}\Psi) \qquad (1)$$

계수 Ψ는 경험식으로 실험과 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있다. 본 연구에서는 Ψ = 0.003 을 사용하였다.

Table 1. Index of Eq. (1)

β	Burn Rate Coefficient
P	Gas Pressure
α	Burn Rate Pressure Index
EP	Electrical Power(MW)
Ψ	Coefficient(MW^{-1})

3. 전산 해석

3.1 ETC 효과를 고려한 강내탄도 전산해석

Equation (1)을 성형건 등이 개발한 강내탄도 전산해석 코드를 적용하여 ETC 효과를 고려한 강내탄도 전산해석 연구를 수행하였다[6]. ETC 효과가 고려되지 않은 해석 결과와의 비교를 통해 ETC 효과가 묘사됨을 검증하였다. 비교를 위해 두 경우 같은 양의 추진제를 사용하였다. 또한 ETC 효과가 고려되지 않은 경우 ETC 점화를 위해 들어간 Energy 만큼의 점화 Gas가 주입되었다고 가정하였다. 기타 초기 조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Initial Condition

탄자 질량	30 kg
초기 밀도	7.509 kg/㎥
초기 압력	6.859e+6 Pa
기공률	0.6
약실 면적	0.019478 ㎡
약실 길이	0.9675 m

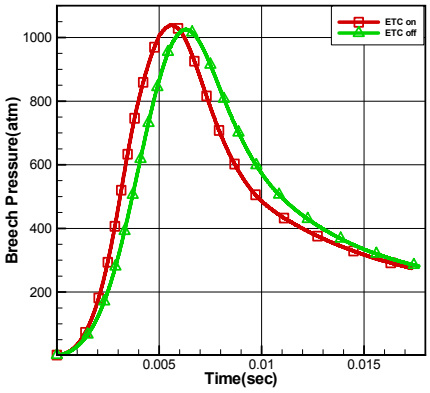

Fig. 2. Breech Pressure as A Function of Time

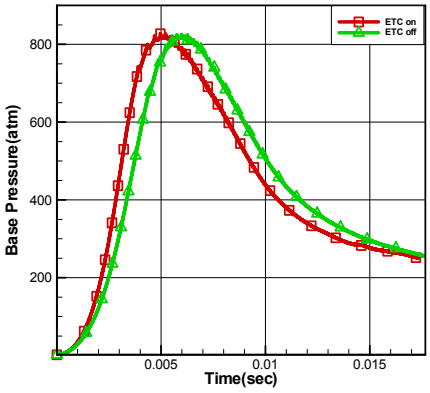

Fig. 3. Base Pressure as A Function of Time

Table 3. Analysis Results 1

		ETC on	ETC off
최고압 (atm)	Breech	1039	1026
	Base	809	814
최고압 도달시간(sec)		5.56e-3	6.3e-3

Figure 2는 시간에 따른 포미(Breech) 압력, Fig.3은 탄저(Base) 압력이다. 두 경우 모두 ETC 효과를 고려했을 때의 압력이 고려하지 않았을 때의 압력에 비해 빠르게 상승하는 것을 알 수 있다. 해석결과는 Table 3과 같다. 이는 앞서 언급한바와 같이 ETC 효과를 고려하면 연소율이 급격하게 증가하기 때문이다. 따라서 ETC 효과에 대한 모델링을 확인했고 강내탄도 전산해석 코드가 ETC 효과를 고려할 수 할 수 있음을 확인하였다.

3.2 플라즈마 에너지 주입 패턴 변화

플라즈마 에너지 주입 패턴에 의한 강내탄도의 성능 특성에 대한 수치적 연구를 수행하였다. 주입 패턴1은 0.5msec 까지 0에서부터 120MW의 전류가 선형적으로 들어가고 1msec 동안 120MW의 전류를 유지하다가 0.5msec 동안 선형적으로 줄어들어든다고 가정하였다. 주입 패턴2는 1msec 까지 0에서부터 60MW의 전류가 선형적으로 들어가고 2msec 동안 60MW의 전류를 유지하다가 1msec 동안 선형적으로 줄어든다고 가정하였고 이는 Fig. 4와 같다.

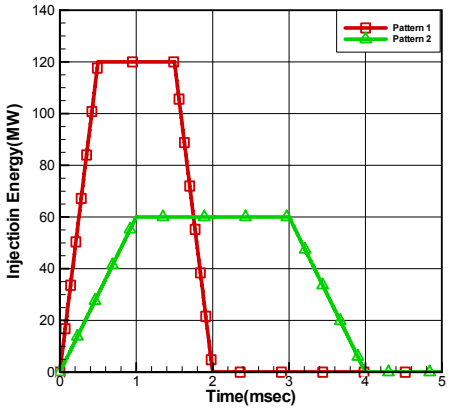

Fig. 4. Injection Pattern

Figure 5와 6은 각각시간에 따른 포미(Breech), 탄저(Base) 압력이다. 결과에 의하면 주입 에너지 패턴에 의해 강내 압력 패턴이 변화하는 것을 확인했다. 주입되는 에너지의 양이 적지만 주입시간이 긴 경우에 강내 최고압력이 높은 것을 확인했다. 이를 통해 플라즈마 주입 시간을 최고압력 도달시간 보다 더 지속한다면 탄자후단 압력을 높은 상태로 유지시켜 탄자의 속도를 향상시킬 수 있을 것이다. 강내탄도의 주요 성능에 대한 해석결과는 Table 4와 같다.

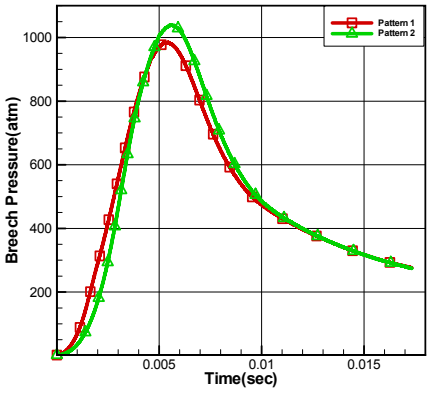

Fig. 5. Breech Pressure as A Function of Time

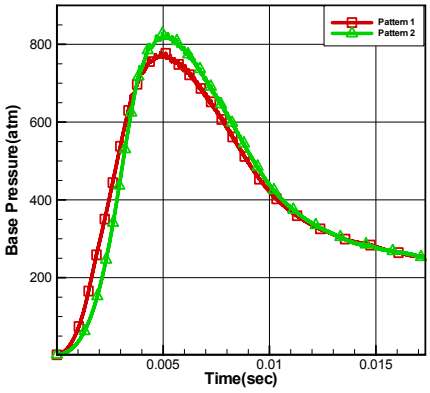

Fig. 6. Base Pressure as A Function of Time

Table 4. Analysis Results 2

		Pattern 1	Pattern 2
최고압 (atm)	Breech	984	1039
	Base	771	809
최고압 도달시간(sec)		5.33e-3	5.56e-3

4. 결 론

기존의 강내탄도 전산해석 코드를 이용하여 ETC 화포에 대한 수치적 연구가 가능하도록 확장시켰다. 또한 플라즈마 에너지 주입 패턴에 의한 강내탄도의 성능 특성에 대한 수치적 연구를 수행하였다. 플라즈마 주입 특성에 따라 강내탄도 내의 압력이 변화함을 확인 할 수 있었고, 이를 통해 플라즈마 주입 패턴을 제어하여 강내탄도의 성능을 향상시키는 연구를 수행할 수 있는 기반을 마련하였다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 지원에 의한 연구결과입니다. 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Jon Earnhart, Niels Winsor, and Gloria P. Wern, "Electrothermal-Chemical (ETC) Extenstions to IBHVG2 with a New User's Tutorial," ARL-TR-348, 1994
2. Katulka G. L., Oberle W. F., Wern G. P., Okamitu J., and Messina N. A., "Pulse Power, Plasma, and Interior Ballistic Simulation for Application to Electrothermal -Chemical Guns," ARL-TR-1070, 1996
3. Michael J. Nusca and Stephen L. Howard, "Experimental and Modeling Studies of Plasma Injection by an Electrothermal Igniter Into a Solid Propellant Gun Charge," ARL-TR-3806, 2006
4. Cliver R. Woodley, Steve J. Billett, "Modeling Enhanced Gas Generation Rates in a 155-mm ETC Gun," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL.37, NO.1, 2001, pp.207-210
5. J. W. Jung, etc, "Overview of ETC Research in Korea," IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 39, No. 1, 2003, pp22-23
6. 장진성외 6인, "수치해석 기법에 따른 강내탄도 전산해석 코드의 안정성 향상 연구," 제17회 지상무기 학술대회, 2009