

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 41(5), 383-390(2013)

DOI:<http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2013.41.5.383>

사출성능 개선을 위한 사출용 가스발생기 연구

오석진*, 장승교, 차홍석

Research on the Ejection Gas Generator to Improve Ejecting Performance

Seok-jin Oh*, Seung-gyo Jang and Hong-seok Cha

Advanced Propulsion Technology Center, Agency for Defense Development

ABSTRACT

The reduction of the maximum acceleration which causes shock for a missile is very important to prevent abnormal operation of a missile and decrease size and cost of missile components. Because the maximum acceleration created by operation of an ejection gas generator occurs in the initial ejection stage, the design parameters which affect initial ejection stage were examined. The igniter and the nozzle closure were selected as design parameters of a gas generator. The maximum acceleration created by the gas generator was examined experimentally by changing of the design parameters. Finally the reduction effect of the maximum acceleration was compared quantitatively by static fire test of a gas generator. The maximum acceleration of the best model which was applied to each optimal design parameter was about 68% reduced than that of the reference model.

초 록

유도탄의 사출성능 중 탄에 충격으로 작용하는 최대가속도의 감소는 유도탄의 비정상작동 방지와 내부 부품들의 크기 및 비용 감소 측면에서 매우 중요하다. 본 연구에서는 사출용 가스발생기의 작동에 의해 탄에 가해지는 최대가속도가 사출초기에 발생됨을 착안하여 사출초기에 영향을 미치는 설계인자를 조사하였다. 가스발생기 설계인자로 점화기 및 노즐마개를 선정하고, 설계인자 변경을 통해 가스발생기에 의해 발생하는 최대가속도를 실험적으로 조사하였다. 최종적으로 최대가속도 감소효과를 정량적으로 비교하기 위해 가스발생기 지상연소시험을 실시하였다. 그 결과 설계인자의 최적값들이 적용된 개선모델의 경우 기준 모델에 비해 최대가속도를 약 68% 줄일 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Gas Generator(가스발생기), Igniter(점화기), Nozzle Closure(노즐마개), Ignition Charge(점화제), MTV(마그네슘-테프론-바이톤), Burst Pressure(파열압력)

1. 서 론

최근 개발되고 있는 유도탄들에서 발사방법은 몇 가지가 있으나 그 중 여러 장점을 갖는 사출

발사방식(cold launch)이 많이 적용되고 있다. 부스터 발사방식(hot launch)과 비교하여 사출 발사방식이 갖는 대표적인 장점은 수직발사를 통해 탄을 어떠한 방향으로도 자유롭게 방향을 전환할

† Received: January 30, 2013 Accepted: April 26, 2013

* Corresponding author, E-mail : seokjin5@add.re.kr

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

수 있도록 하여 신속한 작전전개가 가능하게 해 준다는 것과 발사시 부스터의 화염이 없으므로 발사 플랫폼 및 유도탄의 생존성을 증대시킬 수 있다는 것이다. 부수적인 장점으로는 발사관 재사용 가능 및 발사대 설치 공간의 감소 등이 있다. 이러한 사출 발사방식의 경우 발사 초기에 부스터의 에너지를 사용하지 않기 때문에 별도의 사출을 위한 에너지원이 필요하게 되는데, 바로 이 에너지원으로 주로 사용되는 것이 고체추진제 그레인인 적용된 사출용 가스발생기이다.

사출용 가스발생기에 대한 최근 연구들은 유도탄의 우발적 사출을 방지하기 위해 점화안전장치를 소형화하여 가스발생기에 적용하는 연구⁽¹⁾, 가스발생기 내에 연소불안정 현상의 해소에 대한 연구⁽²⁾ 및 추진제 그레인의 형상을 최적화하여 사출성능 향상을 도모하는 가스발생기 개발에 관한 연구⁽³⁾와 특허⁽⁴⁾ 등이 발표되고 있다.

사출용 가스발생기의 목적은 안전하고 신속하게 탄을 발사시키는 것이다. 이를 위해서는 가스발생기 설계시 요구된 탄의 사출종말속도를 만족시켜주어야 하고, 이와 동시에 발사시 탄에 미치는 충격을 최소화하기 위하여 탄에 가해지는 최대가속도를 감소시켜야만 한다. 유도탄에 미치는 충격이 크면 그에 따라 유도탄의 비정상 작동 가능성이 커지며, 이를 예방하기 위해 많은 부품의 내구성 설계한도가 커져야 하고 이는 곧 탄의 크기 증가뿐만 아니라 탄제작시 소요되는 비용의 증가로 귀결된다.

본 연구에서는 기본적인 사출성능, 즉 유도탄 사출종말 속도를 충족시키는 가스발생기에 대하여 유도탄에 걸리는 충격(가속도)의 크기를 최소화시킬 수 있는 방법을 고안하여 실험적으로 설계인자의 영향 연구를 수행하였으며, 최대가속도의 저감 효과를 가스발생기 지상연소시험을 통해 간접적으로 확인하였다.

II. 시험장치 및 시험조건

2.1 가스발생기 개요

본 연구에 사용된 사출용 가스발생기의 형상은 Fig. 1에 나타낸바와 같이 점화장치(Igniter), 연소관(Case) 및 내부 지지구조물, 추진제 그레인(Propellant Grain), 노즐조립체(Nozzle Assembly) 및 노즐마개(Nozzle Closure)로 구성되어 있다. 점화기로부터 생성된 화염이 추진제 그레인의 연소를 유발시키고, 연소관 내부에서 생성된 고온고압의 추진제 연소가스는 노즐조립체의 노즐을 통

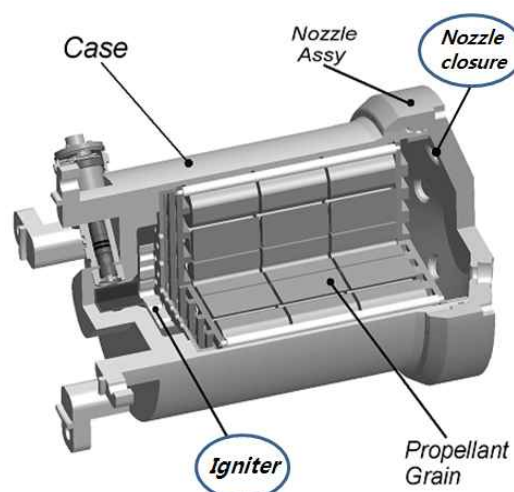


Fig. 1. Modeling of gas generator

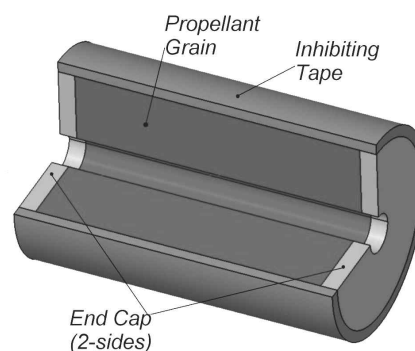


Fig. 2. Configuration of propellant grain

해 배출되어 발사관 하부의 공간을 채워, 탄을 사출시키기 위한 에너지원으로 사용된다. 가스발생기에 충전된 복기형 추진제는 Fig. 2와 같은 형상이며 이와 같은 그레인이 가스발생기 안에 총 57개 사용되었으며, 노즐의 수는 총 6개로 각각 서로 등간격으로 배치되어 있다.

탄은 가스발생기가 동작하면 발사관 내부에서 밀어올려지게 되고, 이에 따라 발사관 내부의 자유공간은 점차 커지게 되어 연소가스에 의해 발생하는 가속도의 양은 상대적으로 감소되게 된다. 결국 탄에 미치는 최대가속도는 발사관 내부에 자유공간이 적을 때 발생되어, 가스발생기의 작동 초기에 탄에 최대 충격(가속도)이 발생하게 된다. 이러한 사실에 근거하여 가스발생기 작동 중 연소초기에 영향을 미치는 설계인자들을 선정하였다. 가스발생기 작동초기에 영향을 미치는 설계인자들은 점화기, 추진제 그레인 연소면적, 노즐마개 등이 있다.

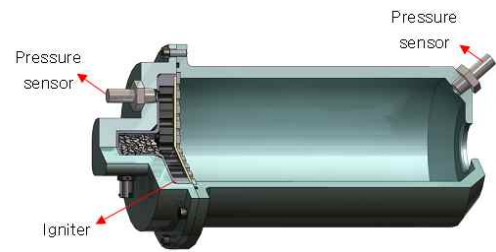
이 중 비교적 쉽게 변경 및 적용이 가능한 점화기와 노즐마개를 선정(Fig. 1 참조)하여 이 두

설계인들이 가스발생기 최대가속도 저감에 기여를 할 수 있는지를 조사하였다. 점화기의 경우 유연 점화(soft ignition)에 초점을 맞추어 점화제 종류 및 형상을 변경해 가스발생기에 적용해 보았고, 노즐마개의 경우 초기 연소가스의 유연 유출(soft discharge)을 위해 파열압을 낮출 수 있는 방법을 고안하여 적용하였다. 구속조건(constraint condition)으로 점화기의 경우 과하게 유연 점화에 초점을 맞추면 복수의 추진제 그레이인 동시점화 측면 즉 노즐마개가 너무 일찍 파열 후 개방되어 초기 압력형성에서 문제가 발생하게 되고, 노즐마개의 경우 과하게 유연 유출에 치중하면 가스발생기 조립 및 운반과 같은 취급시 노즐마개가 파손되어 추진제 그레이인이 대기중의 수분과 반응하는 문제가 발생된다. 따라서 이와 같은 부작용은 최대한 지양하면서 원하는 목적을 얻어낼 수 있도록 시험조건을 설정하였다.

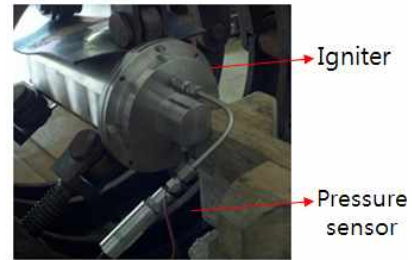
2.2 점화기 및 노즐마개 시험장치

가스발생기의 점화기 및 노즐마개에 대해 설계인자 변경 후 단품 성능시험을 실시하기 위해 각각의 경우에 대해 시험장치를 제작하였다. 이와 같은 단품 성능시험은 그 변화 정도를 사전에 검토하지 않고 모든 경우에 대해 가스발생기에 직접 적용할 경우, 가스발생기 제작수량 증가에 따른 제작일정 문제 및 비용적인 측면에 낭비가 많아질 수 밖에 없게 되기 때문에 필수적인 과정이다.

점화기의 경우 점화제의 재료와 형상에 따른 연소특성을 알아보기 위해 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 작은 시험용 압력챔버를 만들어서 점화기에서 발생하는 점화제 연소가스에 의해 챔버내에 형성되는 압력을 측정하였다. 압력형성 패턴은 점화제의 종류 및 형상에 따라 다르게 나타나게 되는데 압력이 가능한 천천히 증가하고 또 오래 유지되도록 하는 것이 유연 점화에 유리하다. 노즐마개의 경우 금속(SUS) 박판에 만들어진 노치(notch)의 형태에 따른 파열압을 조사하기 위해 공압파열시험 장치를 준비하였다. 노즐마개의 형상은 Fig. 4 (a)와 같고, 공압파열시험을 위하여 시험용 압력 챔버를 준비하였고, 노즐마개는 Fig. 4 (c)에서 보듯이 잠금볼트(locking bolt) 및 가스켓(gasket)을 이용하여 Fig. 4 (b)에서와 같이 압력챔버에 체결하였다. 노즐마개가 최종 조립된 사진은 Fig. 4 (c)에 도시되어 있다. 공압을 이용하여 미리 설정된 압력을 압력챔버에 걸어주게 되고 압력을 서서히 증가시키면서 노즐마개의 파열 유무를 관찰하여 파열압을 측정하였다.

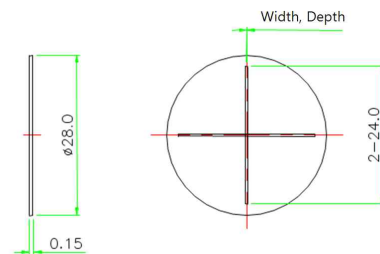


(a) Igniter performance test chamber



(b) Picture of igniter burning test

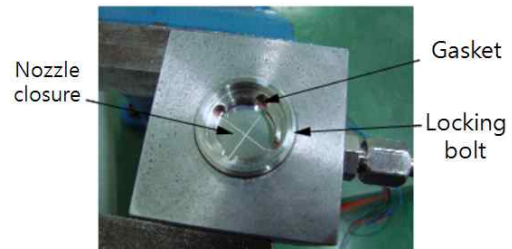
Fig. 3. Schematic of a igniter performance test set up



(a) Nozzle closure shape



(b) Nozzle closure assembling



(c) Nozzle closure before experiment

Fig. 4. Picture of a nozzle closure performance test set up

2.3 시험조건

점화기 단품시험시 점화제의 종류와 형상을 변경하는 것을 설계인자로 설정하였다. 점화제로는 로켓추진기관이나 가스발생기에 주로 사용되는 BKNO₃(Boron/Potassium Nitrate)와 주로 조명탄에 사용되는 MTV(Magnesium, Teflon, Viton)를 선정하였다. 두 점화제의 특성은 Table 1에 요약하였다. 사출성능 중 최대가속도 관점에서 보면 초기 가스발생기 압력형성에 가장 큰 영향을 미치는 점화제의 연소물성은 연소속도이다. MTV 점화제는 동일한 압력조건에서 BKNO₃ 점화제에 비해 현저히 느린 연소속도를 갖는데(약 18% 수준), 이는 유연 점화에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대되었다. 각각의 점화제는 그 연소특성을 극대화할 수 있는 점화제 형상을 고려하여, BKNO₃ 점화제의 경우 pellet 형태로 MTV 점화제의 경우 cylinder 형태로 설계하여 준비하였다.

노즐마개의 단품시험시에서는 Fig. 4 (a)와 같이 외경 28.0 mm, 두께 0.15 mm의 금속 박판에 노치의 폭과 깊이를 변화시키면서 파열압력을 측정하였다. 이 때 노치의 길이는 24.0 mm로 두 노치는 서로 직교하도록 제작되었다. 우선 노치의 폭이 파열압력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 노치깊이는 0.10 mm로 설정한 후 노치의 폭을 0.15~0.60 mm까지 변화시키면서 시험을 진행하였다. 또한 노치의 깊이가 파열압력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 노치의 폭은 0.60 mm로 설정한 후 노치의 깊이를 0.08~0.14 mm로 변경시키면서 파열압력을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰


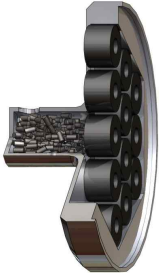
3.1 점화기 성능시험

점화제의 연소특성을 알아보기 위하여 점화기 단품에 대한 성능시험을 실시하였다. 각 점화기에 적용된 첩장약 및 주장약의 구성과 점화제 형상을 Table 2에 정리하였다. 시험에 사용된 압력 챔버의 자유체적은 약 3 L이고, 점화기 연소시험에 의해 얻어진 압력선도를 Fig. 5에 나타내었다. 각각의 점화기 시험결과 점화제별로 재현성이 좋은 것으로 나타났다. BKNO₃ 점화제를 적용하여 점화기 성능시험을 수행한 결과 최대압력은 370 psi 수준이었고, MTV 점화제를 적용한 점화기의 경우 최대압력은 80 psi 수준으로 나타났다. MTV 점화제 적용시 최대 압력이 이렇게 낮아지

Table 1. Characteristics of ignition materials

Contents	Boron/Potassium Nitrate(BKNO ₃)	Magnesium-Teflon-Viton (MTV)
Used form	- in pellet form. - replacement for black powder in high-altitude ignition	- igniter material, with uses as an IR source - powdered, consolidated and extended forms.
Characteristics	- ease of ignition at low pressure (high altitudes) - high gas content - low sensitivity of burning to pressure.	- high density heat source - pressable, extrudable composition - low permanent gas content
Heat of Reaction	1,550 calories/gram	2,200 calories/gram
Burning rate @ 1atms	0.39 inch/second	0.070 inch/second

Table 2. Compositions and shapes of igniters using each ignition material

	BKNO ₃ type	MTV type
Composition	<ul style="list-style-type: none"> II-B pellet : 15 g II-D pellet : 109 g 	<ul style="list-style-type: none"> MTV pellet : 15 g MTV cylinder shape : 115 g (19EA)
Shape		

는 현상은 유연 점화에 매우 긍정적인 역할을 하게 된다. 다만 점화제양이 유사했음에도 압력적이 크게 차이가 나는 이유는 MTV 점화제 적용시 연소속도가 상대적으로 느리기 때문에 최대압력 발생시에는 노즐이 질식되었다가 40 ms 이후 노즐을 충분히 질식시킬 만큼의 점화제 연소가스 질량유량이 발생이 되지 않았기 때문이라고 추정되었다.

추정된 원인을 확인하고 점화제양에 따른 연소 압력을 예측하기 위하여 이론적 모델을 사용하였다. 노즐마개가 설치되어 있는 경우 점화제는 노즐마개가 내부 압력에 의해 파열되기 전까지 밀폐용기내에서의 연소특성을 따르게 된다. 그리고 점화제에 의해 압력챔버 내부 압력이 증가하면 노즐마개는 파열되고 내부에 갇혀있던 가스는 일순간에 노즐로 분출된다. 또한 노즐마개가 파열된 후에 아직 연소되지 않고 남아있는 점화제는 연소되면서 일정한 압력을 형성하며 노즐로 분출된다.

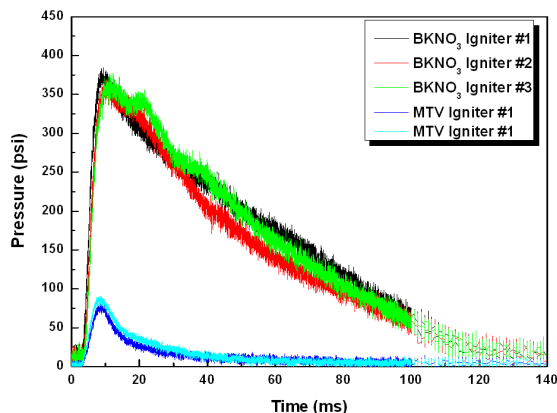


Fig. 5. Test chamber pressure-time curve for a BKNO₃ and MTV igniter

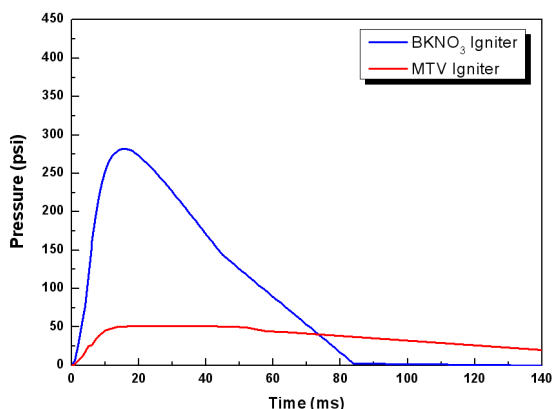


Fig. 6. Combustion pressure build-up by igniter in case of open nozzle

BKNO₃를 이용한 점화기와 MTV를 이용한 점화기의 점화제 연소에 의해 상승된 압력은 노즐이 파열되는 순간 아래 식에 따라 급격하게 감소하게 된다.

$$P = P_i \left[1 + \frac{2RA_t(\gamma-1)\sqrt{T_i}}{V} \sqrt{\frac{\gamma}{R} \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \right]^{\frac{2\gamma}{1-\gamma}} \quad (1)$$

여기에서 P_i 는 노즐마개가 파열되는 순간의 압력이고 A 는 노즐목 면적이며 γ 는 비열비이며, R , T_i , V , t 는 각각 기체상수, 점화제 연소가스 온도, 가스발생기 내부 초기 체적, 연소시간이다.

노즐마개가 파열된 후 나머지 점화제는 다음의 식에 따라 연소 압력을 예측할 수 있다⁽⁵⁾.

$$P = \frac{\dot{m}}{K_2} \left[(1 - e^{-K_1 K_2 t}) - \frac{1}{t_b} \left(t - \frac{1}{K_1 K_2} \right) - \frac{e^{-K_1 K_2 t}}{K_1 K_2 t_b} \right] \quad (2)$$

여기에서 $K_1 = RT_i/\mathcal{N}$, $K_2 = C_g A$ 이고 C_g 는 가스방전 계수(gas diffusion coefficient)이다. 또한 \dot{m} 은 점화제 연소가스 생성률이고, t_b 는 총연소시간이다.

이 식을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 후 두 점화기에 의해 발생하는 연소압력 곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 시험결과와 비교시 최대값에서 약간의 차이가 있지만 전반적으로 점화기 연소시험 결과와 큰 차이가 없었고, 이러한 압력적의 차이는 질식이 유지되지 못했기 때문인 것으로 확인되었다. 실제로 점화기 성능시험시 고속카메라 촬영으로 연소시간을 분석해 보면 BKNO₃ 점화제 적용시 연소시간은 약 200 ms였고, MTV 점화제 적용시 약 1150 ms로서 MTV 점화제가 이론적인 연소속도 차이와 유사하게 5~6배 정도 오래 연소됨을 확인할 수 있었다.

MTV 점화제를 적용했을 때 오랜 시간동안 낮은 레벨상태로 지속적인 점화에너지를 공급하므로 동시점화 측면에서도 큰 손해없이 가스발생기 초기 발생압력을 감소시켜 최대가속도의 수준을 효과적으로 낮출 수 있을 것으로 기대하였다⁽⁶⁻⁸⁾. 동시점화성은 설계된 점화기를 가스발생기에 직접 적용하여 가스발생기 지상연소시험으로 최종 확인하였다.

3.2 노즐마개 파열시험

준비된 공압파열시험 장치들을 사용하여 노즐마개의 노치형상 변화에 따른 파열압 변화를 조사하였다. Fig. 7에는 공압시험을 통해 파열된 노즐마개의 형상이 나타나있다. 대부분의 경우 그림에서 보듯이 4조각의 꽃잎형상으로 깨끗이 벌어지면서 파열되고, 일부는 2조각으로만 벌어지는 형상으로 파열되기도 했다.

Figure 8에 노치의 깊이를 0.10 mm로 설정한 후 노치의 폭을 0.15~0.60 mm까지 변화시키면서 파열압을 조사한 결과를 나타내었다. 결과에서 보듯이 노치폭에 따른 파열압의 변화는 크지 않았고, 또한 특별한 경향성도 나타나지 않았다. 노치폭의 치수가 파열압 변화에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타나, 다음으로 노치깊이를 변화시키면서 파열압 변화를 관찰하였다. Fig. 9에는 노치폭을 0.60 mm로 설정한 후 노치깊이를



Fig. 7. Nozzle closure shape after bursting

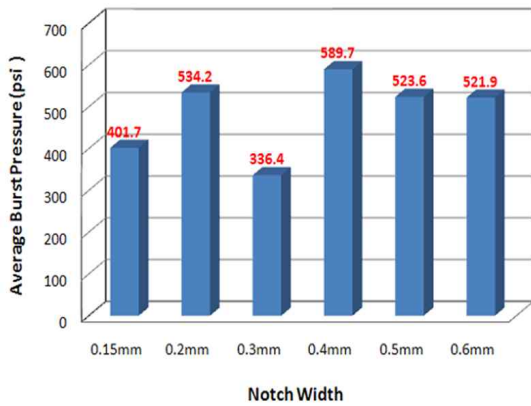


Fig. 8. Burst pressure for notch width of a nozzle closure

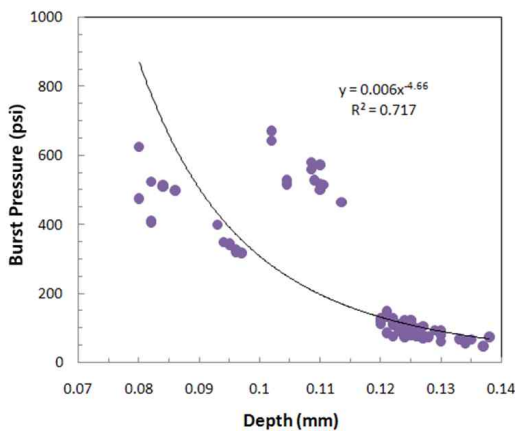


Fig. 9. Burst pressure for notch depth of a nozzle closure

0.08~0.14 mm로 변경시키면서 파열압의 변화를 도시하였다. 노치깊이와 파열압과는 상당히 관련성이 있는 상관관계를 보이고 있다. 따라서 노치가 있는 노즐마개를 제작하는 경우, 노치깊이에 대한 정밀 제어가 요구될 것으로 생각된다. 노즐마개 노치깊이는 가스발생기 제작 후 기밀확인을 위한 기밀시험과 조립, 운송 등의 취급과정에서 문제가 없는 0.14 mm를 최적값(노치폭은 0.60 mm)으로 선정하였다.

3.3 사출성능개선 효과

연소속도 및 형상을 조절한 점화제 적용 및 노즐마개 파열압 저감을 통한 최대가속도 감소효과를 최종적으로 확인하기 위하여 Fig. 10과 같이 가스발생기 지상연소시험을 실시하였다. 성능개선 정도를 정량적으로 판단하기 위하여 기준모델로 점화제의 경우 $BKNO_3$ 점화제 적용 점화기, 노즐마개의 경우 노치부 형상은 노치폭 0.15 mm, 노치깊이 0.10 mm이 적용된 경우를 설정하



Fig. 10. Static fire test to evaluate a gas gen-erator

였다. 이 기준모델을 사출성능의 향상정도 확인을 위해 설계인자 변경 모델과 성능 비교시 기준으로 사용하였다. 유도탄의 최대가속도는 탄이 발사관안에서 사출을 위하여 막 이동하는 시점에 발생한다. 그 이유는 사출순간에 발사관 하부 밀폐공간의 크기가 가장 작기 때문에 적은 연소가스의 양으로도 상대적으로 큰 사출압력이 생성되기 때문이다. 본 시험에 적용된 가스발생기의 경우 점화 후 0.1 s 근방에서 최대가속도가 발생하는 것으로 여러번의 유도탄 모의체 육상사출시험을 통해 분석되었다. 또한 사출시험결과 분석을 통해 가스발생기 0.1 s까지의 가스발생기 내부압력의 시간에 대한 적분값이 커지면 그에 따라 최대가속도가 증가하고, 이 압력적분값이 작아지면 최대가속도 역시 그에 비례하여 작아지게 됨을 확인하였다. 발생 가속도의 크기와 가스발생기 내부압력과의 관계를 간단한 관계식으로 정리하였다.

$$a \propto P_{lower\ part} \propto \int \dot{m}_d dt = \int C_D P_{gg} A_t dt \quad (3)$$

$$a_{max} \propto \int_{0.0}^{0.1} P_{gg} dt \quad (4)$$

여기서 a는 탄에 작용하는 가속도, $P_{lower\ part}$ 는 발사관 하부의 압력, \dot{m}_d 는 가스발생기에 노즐을 통해 분출되는 추진제 연소가스 질량유량, C_D 는 유출계수, P_{gg} 는 가스발생기 내부압력 그리고 A_t 는 가스발생기 노즐목 직경의 합을 의미한다. 식 (4)에서와 같이 가스발생기에 의해 탄에 발생하는 최대가속도값은 0.0 s에서 0.1 s까지의 가스발생기 압력적분값을 통해 추정되었다.

점화제를 변경하면서 가스발생기 지상연소시험을 실시하여 얻어진 압력-시간 선도를, 점화기 압력 해석결과와 함께 Fig. 11에 도시하였다. 참

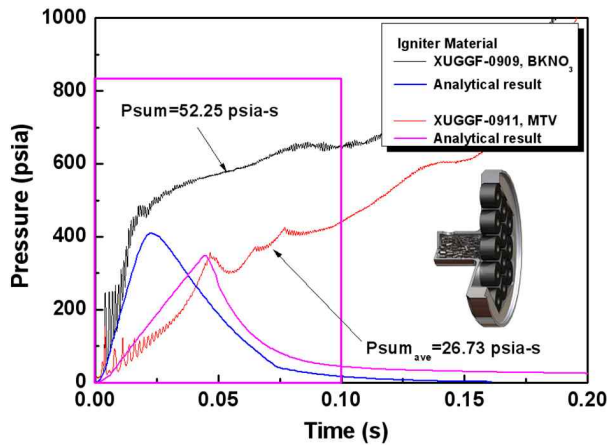


Fig. 11. Gas generator pressure-time curve for a BKNO₃ and a MTV igniter

고로 가스발생기의 총연소시간은 20°C에서 0.7 s 내외이지만 그림에는 최대가속에 직접적인 영향을 미치는 일부 구간의 내부 압력만을 나타내었다. BKNO₃ 점화제 적용시 가스발생기 압력은 추진제 점화를 통한 추진제 연소가스와 함께 점화제에서 나오는 질량유량이 더해져서 연소초기에 상대적으로 높은 수준의 압력이 발생하는 것으로 나타났다. 반대로 MTV 점화제 적용시 BKNO₃ 점화제를 사용한 경우에 비해 상대적으로 낮은 수준의 압력을 보여주고 있다. 우려했던 동시점화 문제는 없는 것으로 확인되었다. MTV 점화제 적용시 얻어진 가스발생기 압력적분값은 26.73 psia-s으로 BKNO₃ 점화제 적용시 얻어진 압력적분값인 52.25 psia-s에 비해 약 49%였다. 이를 통해 점화제 종류 및 형상 변경이 최대가속도 저감에 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 동일하게 제작된 사출용 가스발생기에서 점화제의 종류와 형상만을 최적화해도 사출성능 향상, 즉 최대가속도 저감효과를 얻을 수 있었다.

Figure 12에는 노즐마개의 노치폭 0.15 mm, 노치깊이 0.10 mm인 기준모델 형상(공압파열압 약 350 psia)과 개선된 노치폭 0.60 mm, 노치깊이 0.14 mm를 갖는 개선형상(공압파열압 약 100 psia)인 노즐마개를 각각 가스발생기에 적용하여 지상연소시험을 실시하여 얻어진 결과를 도시하였다. 모든 경우 점화제는 MTV를 사용하였다. 기준 노즐마개 적용시 노즐마개의 파열압은 압력-시간선도에서 관측되는 첫번째 변곡점인 약 390 psia 수준에서 파열되는 것으로 분석되었다. 개선 노즐마개 적용시 파열압력은 130 psia 수준으로 나타났다. 이는 공압파열시험을 통해 얻어진 파열압력과 유사한 수준이었다. 지상연소시험시 추진제의 연소로 노즐을 통해 나오는 연소가스는

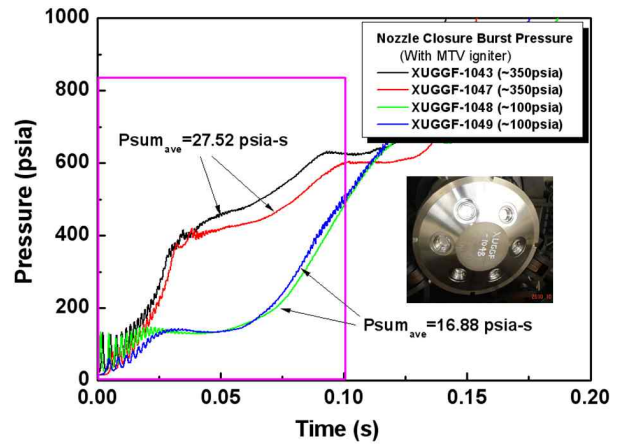


Fig. 12. Gas generator pressure-time curve for a reference and an improved closure

2400K 수준으로 굉장히 고온임에도 불구하고, 공압파열시험시 상온인 상태와 파열압력이 유사함은 노즐마개 파열이 비교적 짧은 시간인 50 ms 이내에 완료되기 때문에 열에 의한 금속 박판의 구조적 물성변화가 크지 않기 때문인 것으로 판단된다. 결과적으로 개선 노즐마개 적용시 0.1 s까지의 압력적분은 16.88 psia-s(2기 평균)이고, 기준 노즐마개 적용시 0.1 s까지의 압력적분은 27.52 psia-s(2기 평균)으로 약 39%의 최대가속도 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 노즐마개 파열압이 낮으면 발사관 하부 공간에 추진제 연소가스가 적은 질량유량으로 분출되어 모여지고, 노즐마개 파열압이 높으면 반대로 큰 질량유량으로 발사관 하부의 공간을 채우기 때문에, 파열압력이 낮으면 최대가속도 저감에도 긍정적인 역할을 하게 되는 것으로 생각된다.

두 설계인자의 설계값들이 최적값 상태인 MTV 점화기 및 노치폭 0.60 mm, 노치깊이 0.14

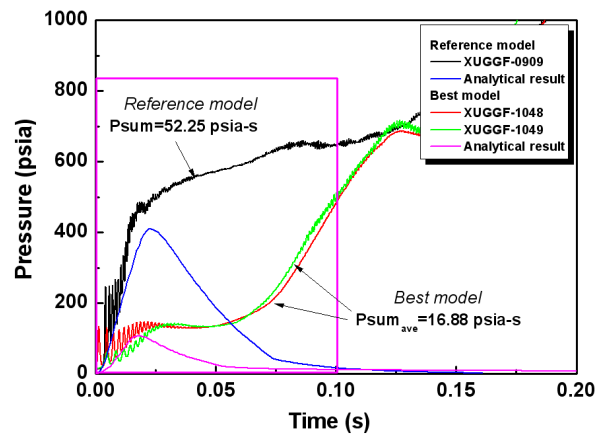


Fig. 13. Comparison of the reference model and the best model

mm 노즐마개가 적용된 개선모델과 기준모델의 연소시험결과를 노즐마개 파열압을 고려한 점화기 압력 해석결과와 함께 Fig. 13에 도시하였다. 노즐마개 파열압 및 점화기에 적용된 점화제의 종류와 형상에 따라 점화기에서 생성되는 질량유량에 의한 압력이 0.1 s까지의 압력생성에 큰 역할을 하고 있음을 해석적으로 확인할 수 있었다. 이후 추진제 그레인 연소시 발생하는 추진제 연소가스와 함께 가스발생기의 압력을 상승시키게 된다. 개선모델의 경우 기준모델에 비해 가스발생기 압력적이 52.25 psia-s에서 16.88 psia-s로 최대가속도를 약 68% 감소시킬 수 있는 것으로 나타나 점화기 및 노즐마개의 종합적인 개선효과를 최종 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 사출용 가스발생기의 사출성능 중 가스발생기에 의해 발생하는 충격 곧 최대가속도를 감소시키기 위해 설계인자 변경에 따른 연구결과를 정리하였다. 최대가속도를 저감하기 위해 설계변수로 점화제의 종류 및 형상 그리고 노즐마개 노치부 형상을 설정하였다. 가스발생기를 사용한 육상사출시험의 분석결과 가스발생기 작동 후 0.1 s까지의 가스발생기 내부 압력적분값이 발생가속도에 비례하는 것을 확인하고, 각각의 설계인자 변경시 지상연소시험을 통한 연소압력값 분석으로 최대가속도 저감효과를 평가하였다. 그 결과 점화제 종류 및 형상 변경을 통해 약 49%, 노즐마개 노치부 설계변경을 통해 약 39%의 최대가속도 감소효과를 확인하였다. 두 설계인자의 최적값들을 모두 적용한 개선모델의 경우 기준모델에 비해 약 68%의 최대가속도 감소효과를 나타내었다. 이를 통해 사출용 가스발생기에서 점화기와 노즐마개에 대한 비교적 간단한 설계변경만으로 사출성능이 크게 개선될 수 있음을 확인하였고, 향후 개발되는 고성능 사출용 가스발생기 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- 1) Jang, S.-G., Lee, H.-N., Oh, J.-Y., and Oh, S.-J., "Design and Output Characteristic Analysis of Electro-Mechanical Ignition Safety Device," J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 39, No. 12, 2011, pp.1166~1173.
- 2) Sung, H.-G., and Byun, J.-R., "Experimental Study on the Suppression of Low Frequency Unstable Burning Occurred in a Gas Generator Using Bundle Cylindrical Grain," J. of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 8, No. 3, 2004, pp.10~16.
- 3) Oh, S.-J., Cha, H.-S., and Jang, S.-G., "Development of a Ejection Gas Generator for Precluding Erosive Burning by Using Bundle Cylindrical Grains," J. of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 16, No. 3, 2012, pp.69~76.
- 4) Oh, S.-J., "Gas Generator of Precluding Erosive Burning," Patent Registration No. 10-1243151-00-00, Registration Date 2013. 3. 7.
- 5) Jang, S.-G., and Ryu, B.-T., "Evaluation of the Aging Effects on the Performance of the Pyrotechnic Igniter," J. of the Korean Society of Propulsion Engineers, Vol. 1, No. 2, 1997, pp.91~102.
- 6) Cha, H.-S., Oh, S.-J., and Lee, Y.-J., "A Study for Reduction of Ignition Peak Pressure of Gas Generator," 2010 KSPE Spring Conference, pp.138~141.
- 7) Robertson, W. E., "Ignition Material Consideration and Applications," AIAA-72-1195, 1972
- 8) Peretz, A., "Investigation of Pyrotechnic MTV Compositions for Rocket Motor Igniters," AIAA-82-1189, 1982