

Highly progressive 성능을 위한 다발 원통형 그레인 가스발생기 개발

오석진* · 차홍석* · 이용조*

Development of a gas generator to obtain highly progressive performance using bundle cylindrical grains

Seok-Jin Oh* · Hong-Seok Cha* · Yeung-Jo Lee*

ABSTRACT

This paper presents an achieving method of highly progressive pressure gradient to enhance the missile ejection system's performance by using a gas generator. To obtain a stable burning, the decrease of a grain's L/D is proposed except making radial holes through the grain. New approach by applying adjustment of a grain's L/D reduces the maximum acceleration level by about 33% than that of reference model.

초 록

본 논문에는 사출시스템의 성능향상을 위해 불안정 연소 현상이 발생하지 않는 상태에서 가스발생기 압력의 기울기를 증가시키는 방법에 대해 기술되어있다. 안정연소를 얻기 위해 그레인에 반경방향홀을 뚫는 방법 이외에 그레인의 세장비를 줄이는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 적용하여 가스발생기를 제작, 시험한 결과 기준모델과 비교시 유사한 수준의 사출종말속도에서 최대가속도를 최대 33% 줄일 수 있음을 확인하였다.

Key Words: Gas generator(가스발생기), Unstable burning(불안정 연소), Radial hole(반경방향홀)

1. 서 론

유도탄 발사 방식은 자체 추진기관인 로켓모타의 추진력을 이용하는 부스터 발사(hot launch)와 별도의 사출장치를 이용한 가스 사출 발사(cold launch) 방식이 있다. 종전 수직발사

유도탄 체계에서는 hot launch 방식이 대부분이었으나 최근 들어 cold launch 방식이 많이 채택되는 추세를 보이고 있다. 이러한 cold launch는 발사시 별도의 화염처리 장치가 불필요하고, 유도탄, 인접 발사관 및 발사대의 손상감소를 통한 재사용 가능, 발사시 화염으로 인한 발사위치 노출 가능성 감소로 생존성 증가 등의 장점을 갖는다.

이러한 발사 방식을 적용한 미사일의 발사체

* 국방과학연구소 1본부-6부
연락처, E-mail: seokjin5@empal.com

계에서는 발사시 유도탄의 발사 안정성 및 속도와 고도확보를 위하여 추진제의 연소에 의한 연소가스의 고온 고압의 압력/열을 사출에너지로 이용하기 위해 주로 가스발생기를 적용하고 있다. 체계의 사출조건으로 일정수준의 사출종말속도 이상과 허용가속도 이하라는 두 조건을 동시에 만족시켜야 한다. 이 두 가지 요구조건은 서로 상반되는 특성으로서 가스발생기 개발에 어려운 점으로 귀결된다. 결국 이 두 조건을 동시에 만족시키기 위해서는 안정적 연소상황에서 급격한 압력(질량유량발생) 구배특성을 갖는 가스발생기의 개발이 필수적이다.

2. 본 론

2.1 가스발생기 개요

가스발생기의 개략적인 형상은 Fig. 1에서 나타난 것과 같이 에너지원이 되는 추진제 그레인, 점화를 위한 점화기, 추진제 연소로 생성되는 연소가스가 빠져나가는 노즐 그리고 이와 같은 일련의 작동시 고온고압의 연소가스를 담고 있는 연소실 등으로 구성된다. 노즐은 6개로 구성되고 있으며, 연소실 내의 격자판은 추진제 그레인을 지지하는 역할을 한다.

에너지원이 되는 추진제 그레인의 개념을 Fig. 2에 도시하였다. 급격한 기울기 연소패턴을 위해서는 내면연소형 실린더 형상의 그레인이 일반적으로 사용된다. 그레인은 양단면과 외경면이 불활성 테이프와 엔드캡으로 단열처리되어 추진제가 점화기에서 오는 화염을 막을 수 있도록 설계, 제작하였다. 작동중에 이 단열처리부분이 소실되지 않도록 제작시 많은 주의가 필요하다. 이와 같은 형상의 그레인이 가스발생기 내부에 총 19개가 들어가게 된다.

급격한 기울기의 압력생성을 위한 그레인 설계시 그레인의 세장비(L/D)가 커지게 되고 이에 따라서 불안정 연소현상이 발생된다. 이와 같이 발생하는 불안정 연소현상은 안정된 사출에 악영향을 미치기 때문에 반드시 제거되어야 한다.

본 연구에서는 압력선도의 급격한 기울기와 불안정 연소현상 감소를 위한 새로운 방법을 고

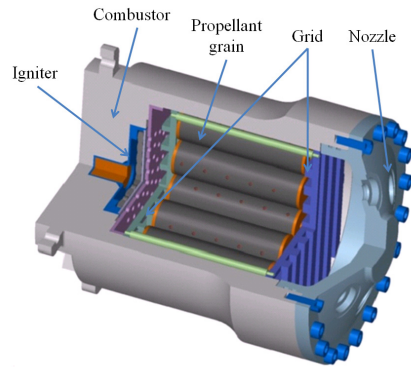


Fig. 1. Schematic of a gas generator

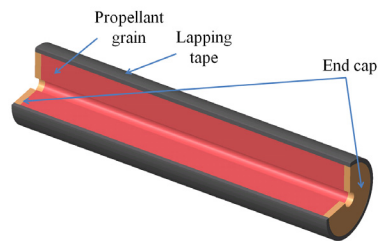


Fig. 2. Schematic of a propellant grain

안하여 적용시험이 수행되었다.

2.2 시험장치

설계 제작된 가스발생기의 압력 및 추력을 측정하기 위해서 연소시험이 Fig. 3과 같이 수행되었다. 가스발생기는 치구에 장착되어 있고, 연소관 반경방향에 압력측정을 위한 홀이 뚫어져 있고, 이 부분에 압력센서를 장착하여 연소시 압력을 측정하였다. 가스발생기 노즐구조체 부분 가운데에 장착된 것은 시험시 안전을 위해 장착된 립쳐디스크이다.

2.3 시험조건

복기형 추진제 그레인을 가진 가스발생기에서 불안정 연소현상[1]은 연소시 그레인 내경부와 연소실 내부의 압력 불평형에 기인된다고 알려져 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 Fig. 4에서 보듯이 그레인 외경 부분부터 그레인 내부를 관통하는 반경방향홀을 뚫어서 압력 불평형 현상을 완화하는 방법이 있다.[2] 이러한 반경방향홀을 통한

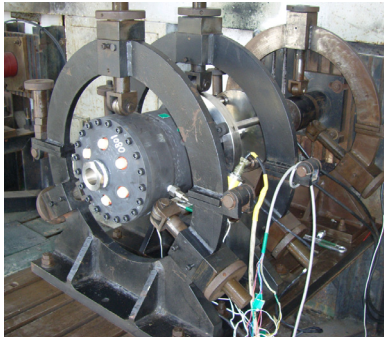


Fig. 3. Picture of a ground burning test for the gas generator

압력 불평형 현상의 완화방법의 단점은 이 홀들이 모두 연소면이 되기 때문에 연소패턴이 홀을 많이 뚫으면 뚫을수록 급격한 기울기에서 점차 일정압력 연소패턴으로 그 양상이 바뀔 수 밖에 없는 한계를 갖는다. 따라서 본 연구에서는 홀을 뚫어 불안정 연소를 해결하는 방법에서 그레인의 세장비를 감소시켜 그레인 내외부의 압력 불평형을 해소하는 방법을 고안하여 두 경우를 비교 시험하였다.

본 연구의 설계인자의 영향 검토시 사용된 시험조건을 Table 1에 정리하였다. 모든 연소시험은 그레인 온도조건을 20℃로 조절한 후에 진행되었다. 그레인 홀 수는 0~16개로 변화시켜 보았고, 세장비를 감소시키기 위해 그레인 1개를 2열과 3열로 짧게 만들어 적용하였다. 세장비 감소를 위해 그레인 1개를 3열로 나눌 경우 한 가스발생기에 들어가는 총 그레인 수는 $19 \times 3 = 57$ 개가 된다. 시험조건 1, 2는 추진제의 무게 및 연소속도가 나머지 시험들과 차이가 있어서 예비시험 개념으로 연소경향 파악을 목적으로 하였다. 본 연구에서 얻어지는 사출성능 향상정도 비교를 위해 반경방향홀의 수가 최적화된 모델인 시험조건 3을 기준모델로 선정하여 비교시 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그레인 1열형 가스발생기에서 홀이 16개씩 있는 경우와 전혀 없는 경우에 대해 연소시험을 실시하였다. Fig. 5에 시험결과가 나타나있다. 홀이 전혀 없는 경우에는 그림에서 보듯이 불안정

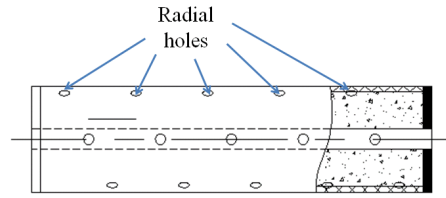


Fig. 4. Grain configurations with radial holes

Table 1. Test conditions by the number of radial holes and grain rows

Test cond.	Number of Radial holes	Number of rows	GT No.
1	0	1	XUGG-0801 XUGG-0802
2	16	1	XUGG-0803 XUGG-0804
3 (Ref. M.)	8	2	XUGG-0905
4	4	2	XUGG-0906
5	0	2	XUGG-0907
6	0	3	XUGG-0910

연소현상이 심하게 나타나서 연소중반기에 급격한 압력증가 부분이 발생함을 볼 수 있고, 이로 인해 체계에 적용할 수 없었다. 반면에 홀이 있는 경우에는 이와 같은 이상연소 현상이 관찰되지 않았다. 그러나 급격한 기울기 성능을 얻기 위해 설계된 그레인에 이 홀 때문에 연소면적이 증가하고 일정압력 경향으로 변화되어 나타나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6에는 그레인의 세장비를 반으로 줄인 경우 반경방향홀 수의 변경에 따른 압력의 변화정도를 도시하였다. 홀의 개수가 줄어들수록 압력선도의 기울기는 증가하는 것을 확인할 수 있다. 만일 그레인 1열형으로 홀이 전혀 없는 경우라면 Fig. 5에서 보듯이 심한 불안정 연소현상이 발생했을 것이다. Fig. 7에는 기준모델과 함께 그레인 세장비를 감소시킨 그레인 3열형의 시험결과가 도시되어 있다. 그레인 세장비 조절효과로 홀이 전혀 없는 상황에서도 그레인 1열형에 비해 상대적으로 안정된 연소가 가능함과 기준모델에 비해 기울기가 많이 증가하였음을 볼 수 있다.

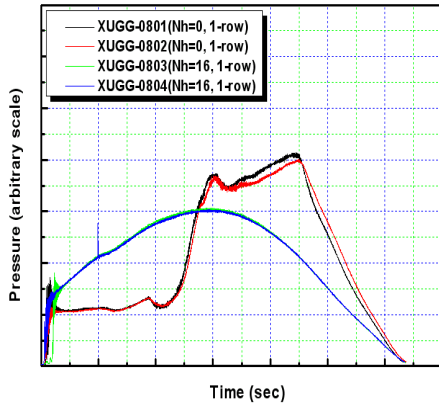


Fig. 5. Pressure vs. time history for the test condition 1 and 2

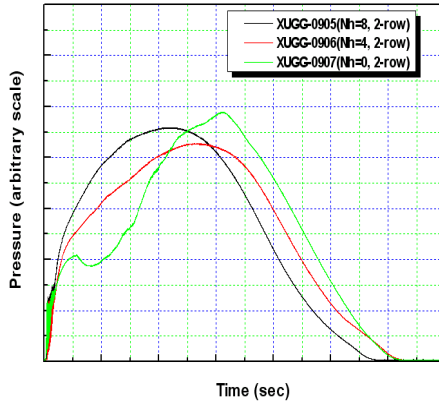


Fig. 6. Pressure vs. time history for the test condition from 4 to 5 with ref. model

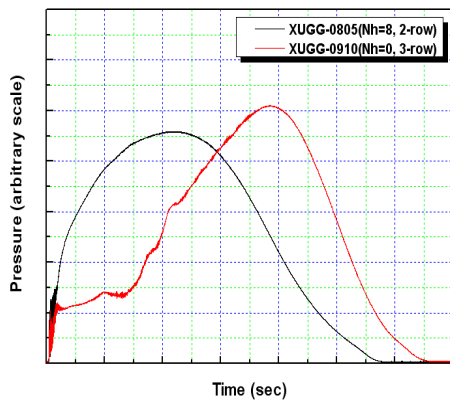


Fig. 7. Pressure vs. time history for the test condition 6 with ref. model

모든 경우에 대해 사출성능을 예측하여 Table 2에 정리하였다. 기준모델인 시험조건 3인 경우와 가장 개선된 모델인 시험조건 6을 비교해 볼 때 유사한 사출종말속도 수준에서 최대가속도가 약 33% 감소되었음을 확인할 수 있다. 그레인 세장비를 감소하여 그레인에 반경방향홀을 적용하지 않고도 안정연소 상태에서 사출속도와 최대가속도 조건을 동시에 만족시킬 수 있는 능력 곧 사출성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

Table 2. Results of a gas dynamics calculation

Test cond.	Max. acceleration (G)	Ejecting velocity (m/s)	GT No.
3 (Ref. M.)	16.5	29.2	XUGG-0905
4	16.1	29.7	XUGG-0906
5	15.4	30.0	XUGG-0907
6	11.0	28.3	XUGG-0910

4. 결 론

본 연구에서는 사출성능을 개선하기 위해 안정된 연소상태에서 가스발생기에 요구되는 압력선도의 기울기를 증가시키는 방법에 대한 새로운 방법을 제시하고 효과확인을 위한 시험을 진행하였다. 그 결과 그레인에 홀을 뚫는 방법을 적용하지 않고도 그레인의 세장비만을 조절하여 상대적으로 안정된 연소를 얻을 수 있음을 확인하였다. 기준모델과 비교시 유사한 사출종말속도 수준에서 최대가속도를 약 33% 감소시키는 개선 효과를 얻을 수 있었다. 향후 추가적인 사출성능 향상을 위해서는 점화충격을 감소시킬 수 있는 점화기에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. N. Kubota and J. Kimura, "Oscillatory Burning of High Pressure Exponent Double-Base Propellants", AIAA 76-668
2. 성홍계 "다발 원통형 그레인을 사용한 가스 발생기의 저주파 연소불안정 소멸에 대한 실험적 연구" 한국추진공학회지, 8권 3호, 2004, pp.10-16