

저압상태에서 점화현상 연구

길현용* · 최창선* · 차홍석*

Rocket Ignition at low Pressure

Hyunyong Gil* · Changsun Choi* · Hongsuk Cha*

ABSTRACT

The combustion behavior of initiators and can-type ignitor, acting on vacuum pressure, was investigated. It was found that if the ignited propellants of a can-type ignitor were exposed at certain level of low pressure, it would be burnt improperly or even be extinguished. When we design the can-type igniters for some rocket motor, it is most important that the pressure built-up by the gases which were already burnt inside of the ignitor case keep as high as possible. For this purpose, it is recommended that the ignitor case have some strength to produce as much gases as possible before breaking out and the free volume be kept as small as possible.

초 록

착화기 및 Can 형태의 점화기를 대기압 이하의 압력에서 사용할 때 나타나는 연소현상과 이에 따른 문제점에 대해서 연구를 수행하였다. 착화기 및 점화기가 일정 수준 이상의 진공도에서 작동할 때 최초 연소화염이 정상적으로 연소하지 못할 수 있으며, 경우에 따라서 점화에 완전히 실패할 가능성도 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 점화된 상태로 분출된 점화제가 자유체적(free volume)내의 낮은 압력에 노출되면서 화약의 연소성이 급격히 떨어져서 나타난 것으로 점화기 내에서 연소상태로 분출된 가스가 자유체적 내에서 초기에 가능한 높은 압력을 형성하도록 하여 개선할 수 있음이 확인되었다.

Key Words: Ignitor, Initiator, Can-type, Free Volume(자유체적), Closed Bomb(밀폐용기), Vacuum

1. 서 론

점화기의 여러 형태 중 Can type은 형태가 단순하고 가격이 싼 장점을 가지지만 용기의 소재나 형상에 따라 성능에 영향을 받으며, 동일한 점화기에서도 재연성도 떨어져 높은 신뢰를 필

요로 하는 모타에는 일반적으로 적용하지 않는다.

대표적인 Can 형태의 점화기로는 2.75" Rocket용 점화기가 있으며, 점화성능 및 재현성을 높이기 위해 용기 재질을 주석도금 강판으로 비교적 높은 강도를 갖도록 설계하고 중앙에 노치를 주어 점화제가 일정량 이상 연소한 후 파열되도록 하였다.

* 국방과학연구소 기술-4-7
연락처, E-mail: blkroad@hanmir.com

용기의 파열압력이 높은 관계로 점화초기 성능인 점화지연 시간은 평균 6 ms, 편차 2ms로 비교적 고른 경향을 보이지만, 점화계의 효율과 관계되는 최대압력의 경우 30회 시험에서 100~500 psi, 편차 104 psi의 값으로서 매우 불균일한 성능을 가지는 것으로 나타났다.¹⁾

이러한 불안정한 점화기 성능은 유도탄의 신뢰도에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으므로 불가피하게 이러한 형태의 점화기를 사용해야 할 때에는 요소분석을 통해 성능 및 재현성을 향상시킬 수 있도록 해야 한다.

본 연구에서는 이들 요소 중 초기 자유공간의 체적 및 압력이 점화성능에 미치는 영향에 대해서 살펴보았으며, 특히 Can 형태의 점화기를 대기압 이하의 압력에서 사용할 때 발생하는 문제점과 그에 대한 대책을 제시하였다.

2. 착화기 성능시험

2.1 착화제 점화지연

착화기는 일반적으로 외부와 분리해서 (Hermetic Seal) 설계되고 발열선 주변 화약이 고압으로 충전되기 때문에 동작여부는 연소실의 압력에 영향을 받지 않는다. 그러나 착화기도 주에너지가 화약이므로 작동 후 외부에 노출되면 일반적인 추진제와 같이 압력의 영향을 직접 받게 된다.

착화기가 대기압 이하에서 작동할 때 착화제의 연소과정을 알아보기 위해 10 cc의 밀폐용기에서 약 200~500 psi 압력을 발생시키는 착화기 (K2)를 사용하여 200 cc의 용기에서 진공도를 변화시키면서 연소실 압력을 관찰하였다.

Figure 1에서와 같이 약 200 Torr.까지는 대기압 시험 결과와 마찬가지로 정상적인 착화 및 연소거동을 보이지만 130 Torr. 이하부터 압력상승률이 급격하게 떨어지며 20 Torr.에서는 착화기 작동 후 약 5ms 정도의 연소지연이 발생하며 일부 착화기에서는 정상적인 압력형성이 이루어지지 않는 것으로 나타났다.

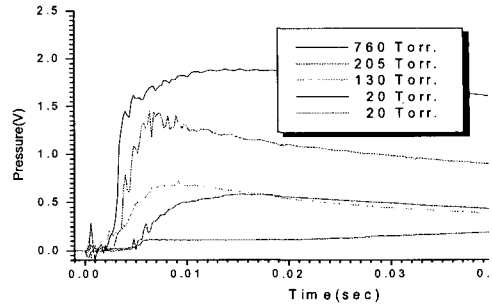


Fig.1 Ignition of K2 Initiators

2.2 연소관내 공기

일반적인 고체 추진제와 마찬가지로 착화제도 산화제를 자체 포함하고 있기 때문에 정상적인 연소 과정에서는 공기(산소)의 영향을 받지 않지만, 연소가 정상화되기 전 천이 과정에서도 같은 결과를 보이는지 확인하였다.

시험용기 내부를 약 20 Torr.로 이하로 감압한 후 질소(N₂)가스를 다시 채워 압력을 Fig. 2와 같이 조절하여 2.1의 시험을 실시하였다.

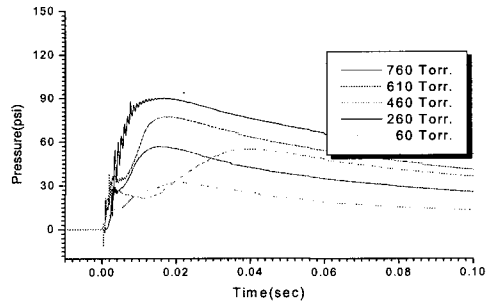


Fig. 2 Burning of K2 Initiators in N₂ Gas Chamber

시험결과 모든 압력에서 착화기 작동 시 산소가 착화기의 발화여부에는 영향을 주지 않았지만 Fig.1과 동일한 저압의 공기 시험결과와 비교해 보면 최대압력에 도달하는 과정에서 착화제 화염의 확산 및 연소에 영향을 미침을 알 수 있다.

2.3 연소효율

Figure 1, Fig. 2에서 착화기는 진공도가 높을수록 최대압력이 낮아 연소되어 가스로 전환되는 전체 착화제량이 적어짐을 알 수 있다. 시험에 사용한 압력센서가 진공용이 아니어서 측정된 최대압력 값에 다소의 오류가 포함되었을 가능성은 있으나, 시험 후 화약잔해물 분석(Fig. 3) 결과에서 보면 연소실 초기 압력이 낮을수록 연소되지 않은 착화제 성분이 더 많이 검출됨으로써 저압에서 착화제가 완전히 연소하지 않는다는 사실을 확인할 수 있었다.

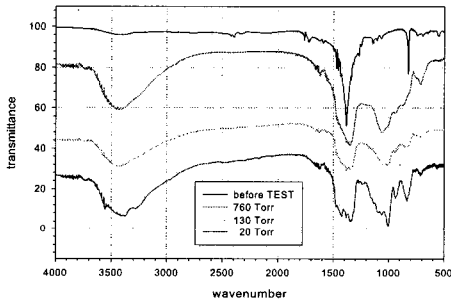


Fig. 3 FT-IR Test result

또한 질소가스를 채워 대기압에서 시험한 결과와 공기를 사용한 시험결과를 비교해 보면 질소가스만 사용한 시험에서의 최대압력이 약 28% 정도 낮게 나타나 착화기 연소과정에서 산소가 연소에 영향을 미침을 알 수 있다.

3. 점화기 성능시험

점화기의 저압 연소특성을 알아보기 위해 착화기 발생압력 및 연소실 진공도에 변화를 주어 점화제의 점화 및 연소거동을 관찰하였다. 점화기는 Fig. 4와 같이 0.5 mm NC(Nitrocellulose) 필름으로 성형한 몸체에 분말형태의 점화제와 착화기를 조립한 can 형상이었다.

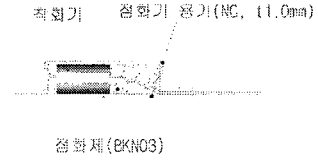


Fig. 4 Igniter(Can Type)

이러한 형태의 점화기에 대한 일반적인 연소 과정을 살펴보면 Fig. 5와 같다. 착화기가 최초 작동하면 일부 점화제는 연소되고, 나머지 대부분은 용기가 깨어지면서 주위로 흩어지게 된다. 연소된 상태로 분출된 화염은 외부의 낮은 압력(일반적으로 대기압)에 노출되면서 정상적으로 확산이 이루어지지 않으며 착화기 시험에서와 같은 연소지연이 발생하게 된다.

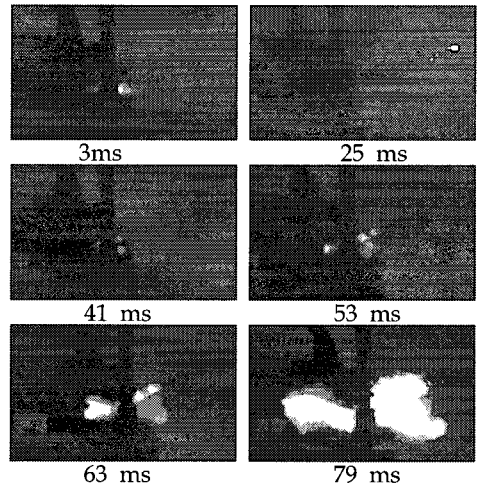


Fig. 5. Typical Ignition of Can Type Igniter.

Figure 6은 착화제로 ZPP 40 mg과 25 mg을 사용한 착화기를 적용한 점화기를 20 Torr.의 밀폐용기(200 cc)에서 시험한 결과이다.

착화제를 40mg 사용한 경우 최초 착화과정에서 발생한 가스에 의해 연소실 내부가 대기압 이상으로 상승하였으며 이후 정상적인 연소거동을 나타낸 반면 25mg을 사용한 경우 3개 중 2개의 시험에서 초기에 대기압 이하의 낮은 압

력이 형성되면서 더 이상 연소가 지속되지 못하여 점화에 실패하는 것이 나타났다.

위의 결과로부터 최초 착화기 또는 점화기 내에서 연소된 상태로 분출되는 가스는 연소실 내부의 초기 압력 형성에 중요한 역할을 하며, 가스량이 많아 압력이 높을수록 점화제 화염의 확산 및 연소가 원활하여 점화에 유리함을 알 수 있다. 따라서 대기압 이하의 낮은 압력에서 점화기를 사용할 때에는 점화제가 용기 내에서 가능한 많이 연소된 상태로 배출될 수 있도록 용기를 설계하는 것이 중요하다.

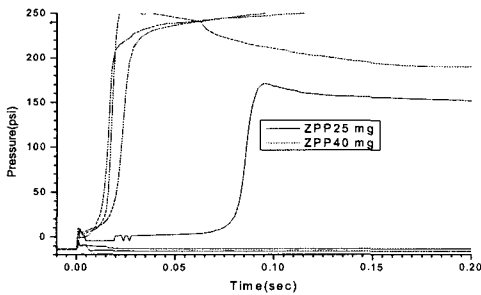


Fig.6 Combustion of Can type Ignitor

초기 자유체적의 영향을 알아보기 위해 200 cc 밀폐용기에서 정상적으로 연소하던 ZPP 40 mg의 착화기 적용한 점화기를 체적이 약 3,000 cc 용기에서 동일한 방법으로 시험하였다.

시험 결과 압력이 60 Torr.에서부터 점화제 연소에 실패하는 것으로 나타나 동일 조건에서 초기 자유체적이 점화 성능에 영향을 주며 체적이 작을수록 점화에 유리하게 작용함을 알 수 있다.

이는 체적이 작을수록 연소실 초기 압력이 높게 형성되어 화염의 확산 및 연소가 용이하고, Fig. 5와 같이 착화기에 의해 점화제가 흩어질 때 흩어짐의 정도가 적어 점화제가 최초 화염의 영향을 받을 확률이 높아지기 때문일 것으로 판단된다.

4. 모타 성능시험

Fig. 7은 Fig 3의 점화기를 모타에 적용해서 시

험한 결과 중 하나이다. 초기 자유체적이 120 cc 이고 압력이 대기압 이하인 모타의 경우 점화제 및 추진제 점화과정에서 약 100 ms 정도의 지연이 발생한 반면, 초기 체적을 반으로 줄여서 시험한 결과 지연시간이 30ms 이하로 크게 감소하여 점화성능이 크게 개선되는 것으로 나타났다.

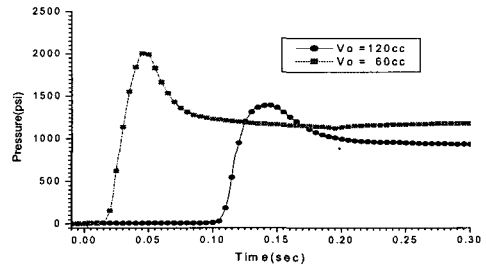


Fig. 7 Ground Test for Rocket Motor

5. 결 론

Can 형태의 점화기는 연소과정에서 초기 자유체적, 점화기 용기, 초기 압력 등과 같은 요인에 의해 화염전달 효율이 크게 낮아질 수 있다. 특히 저압(진공)에서 이러한 현상은 더욱 심화되어 점화실패 가능성도 있는 것으로 나타났다.

최초 점화된 연소화염이 안정적으로 확산될 수 있도록 연소실 압력을 높여야하며, 이를 위해 점화기 용기는 가능한 많은 점화제가 연소된 상태에서 연소관으로 토출될 수 있도록 강도를 가지도록 설계하고, 연소실의 자유체적을 줄여서 설계하여 점화기의 작동 신뢰도를 일부분 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 윤기은, "2.75" 로켓탄용 점화기 기술시험평가", 1993