

대기압 이하에서 고체 추진제의 점화 특성 향상 연구

김인철* · 류백능* · 정정용*

Ignition of Solid Propellants at Subatmospheric Pressures

In-Chul Kim* · Baek-Neung Ryoo* · Jung-Yong Jung*

ABSTRACT

Several HTPB/AP and HTPB/AP/HMX propellants were investigated experimentally for ignition characteristics in subatmospheric pressure. The threshold ignition pressure was 4psia for HTPB/AP composite propellant. The partial replacement of AP in HTPB/AP composite propellant by 5~15% of HMX, HNIW showed improvements in the threshold pressure was below 0.4psia. This appears to be due to the exothermic dissociation characteristics of HMX and HNIW at lower temperature (~220°C) than that of AP. The ignition substance B/KNO₃ was coated thinly on the propellant surface for better ignition effect. As a result, ignition delay time of 15% was improved. NC is applied to B/KNO₃ ignition substance as a secondary binder and NC-B/KNO₃ suspension solution is coated to the propellant surface.

초 록

HTPB/AP 혼합형 추진제(A형)와 니트라민계 산화제가 소량 함유된 추진제의 진공 점화 특성을 고찰하였다. A형 추진제의 임계 점화 압력은 4psia로 판단되었고, AP의 일부를 HMX와 HNIW로 5~15% 치환한 니트라민계 혼합형 추진제(B형)에서는 임계 압력은 0.4psia, 점화지연시간은 50% 이상 향상되었다. 이러한 이유는 HMX나 HNIW 성분이 AP에 비해 낮은 온도(~220°C)에서 발열 분해되는 특성에 기인되는 것으로 보인다. 점화도움물질인 B/KNO₃를 추진제 표면에 코팅한 결과, 15% 정도 점화성이 개선되는 효과를 보였다. B/KNO₃ 점화체에 2차 결합제로 NC를 소량 사용하고, 이를 추진제 그레인의 점화도움물질로 적용하였다.

Key Words: Ignition Delay Time(점화지연시간), Composite Solid Propellants(혼합형 고체 추진제), Ignition at Subatmospheric Pressure(대기압 이하에서의 점화), Arc-Image Furnace(아크 이미지로), B/KNO₃ ignition substance(B/KNO₃ 점화도움물질)

1. 서 론

대기압 이하(subatmospheric pressure)에서 혼합형 추진제의 점화 특성에 대해서는 아직까지도 임계 압력(lower deflagration limit) 값에 대한 논란이 있다. H.F.R. Schoyer 등은 혼합형

* 국방과학연구소 기술-4-6

추진제를 6kPa(~1psia) 이하에서 점화시킬 수 없었는데, 점화 시험법의 문제인지 또는 추진제 자체 특성인지 확인할 수 없었다[4].

본문에서는 아크이미지로(Arc-Image Furnace)를 사용하여 진공 조건에서 추진제의 점화 특성 향상을 위한 방법으로 NC(nitrocellulose) 바인더(5~10%)와 B/KNO₃를 결합한 점화도움물질을 추진제 표면에 코팅하여 점화지연시간의 영향을 시험·연구하였다[1].

또한 AP 산화제의 일부(5~20%)를 니트라민계 산화제(HMX, HNIW)로 치환하여 대기압 이하에서 추진제의 점화 특성도 함께 고찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 고체 추진제의 점화 현상 및 거동

고체 추진제의 점화는 외부에서 열원이 공급 되면 그 표면 온도가 상승되고, 이로 인해 시료 표면의 분해(가스화)와 가스 생성물들의 발열 반응이 시작되며, 열 방출, 가스 온도와 반응비가 상승된다. 이러한 점화과정은 Fig. 1과 같다.

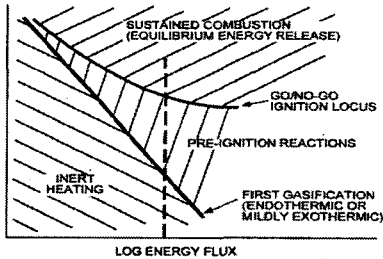


Fig. 1 Ignition process of propellant[1].

혼합형 고체 추진제는 압력이 낮아지면 추진제 표면에서 기상 반응과 열분해 속도(pyrolysis rate) 사이의 균형이 깨어지며, 외적 에너지를 공급해도 불안정 연소 반응을 일으킬 수 있다. 특히 대기압 이하에서 추진제의 점화 거동은 자동 점화(self-sustaining ignition)와 비자동 점화 영역으로 구분된다.

추진제의 점화 특성 향상을 위해 Fig. 2와 같이 AP 산화제의 일부(5~20%)를 HMX, HNIW

로 치환하는 연구가 진행되었는데, 이는 AP계 추진제에 비해 낮은 온도에서 발열 분해가 진행되는 것에 착안된 것으로 사료된다[5].

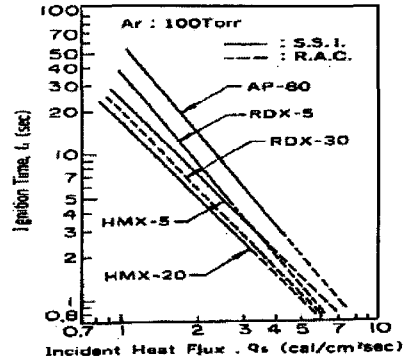


Fig. 2 Ignition energy and time on content of oxidizer under pressure of 100 torr.

2.2 대기압 이하에서 점화도움물질의 영향

추진제가 낮은 압력과 저온에서 점화될 경우, 추진제는 점화되기 쉽게 제작해야 하며, 나아가 추진제 표면의 점화도움물질 코팅 영향도 검토해야 한다. Fig. 3은 가스발생기용 추진제 그래인 표면에 점화도움물질을 코팅한 예이다[3].

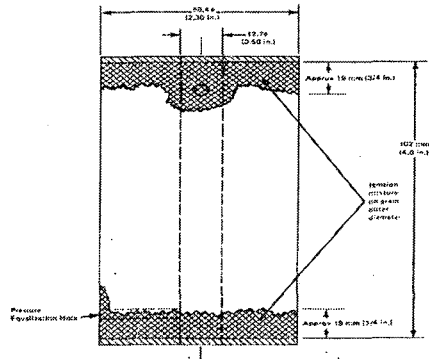


Fig. 3 Coating of ignition substance on surface of gas generator propellant grain.

3. 실험

3.1 추진제 조성, 시료 제작 및 점화도움물질 선정
표준 시료인 A형 추진제와 AP의 일부를 니

트라민계 산화제로 치환한 B형 추진제 조성을 Table 1에 나타내었다. AP(5~15%) 일부를 니트라민계 산화제인 HMX(5~15%)로 치환하고, AP 10%를 HNIW 10%로 부분 치환하여 시료를 1pint 혼합기로 4벱취 제조하였다. 혼합한 추진제는 60℃ 오븐에서 7일간 경화하였다.

추진제의 시편은 직경 6mm, 두께 4mm인 디스크 형태로 제작하였다.

Table 1 Propellant formulation

Raw material	A-type sample	B-type sample			
	STD	01	02	03	04
AP	86	81	76	71	76
HMX(HNIW)	-	5.0	10.0	15.0	(10.0)
HTPB	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Combustion Additive	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

3.2 점화도움물질 선정 및 코팅 방법

B/KNO₃ 점화제를 아세톤에 분산해 추진제 표면에 코팅한 결과, B/KNO₃ 입자와 추진제 간의 접착력이 낮아 NC(10~15%)를 결합제로 사용하였다. B/KNO₃-아세톤 현탁액을 시료 표면에 붓으로 1~2회 바르고, 아세톤이 증발되도록 10분 정도 기다린 후 시험에 사용하였다.

3.3 아크이미지로에 의한 점화 시험

아크이미지로(복사 에너지 열속: ~100cal/cm²s) 장치를 0.1~15psia 진공 조건에서 시험할 수 있도록 Fig. 4와 같이 구성하였다.

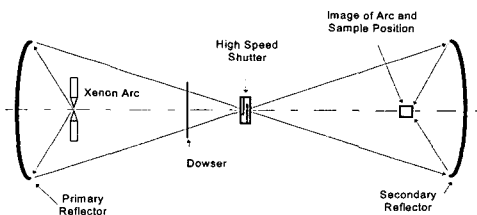


Fig. 4 아크이미지로의 광학 배열

시험은 압력 0.1~15psia, 복사 에너지 열속 10~80cal/cm²sec의 조건에서 열속 방출 시간에 따라 에너지를 시료에 쪼여 go/no-go 방법으로 각각 21회씩 시험하였고, 50%의 확률값을 점화 지연시간으로 계산하였다[1].

4. 결과 및 고찰

4.1 HTPB/AP형 추진제의 압력에 따른 점화지연 시간

아크이미지로에 의해 A형 추진제의 점화 특성을 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

추진제의 점화 특성은 그 조성과 에너지 열량과 압력에 크게 영향을 받는데, 특히 10psia 이하의 낮은 압력에서는 급격한 점화지연시간의 증가와 4psia 이하에서는 점화가 일어나지 않는 임계 압력이 존재하는 현상을 보이고 있다.

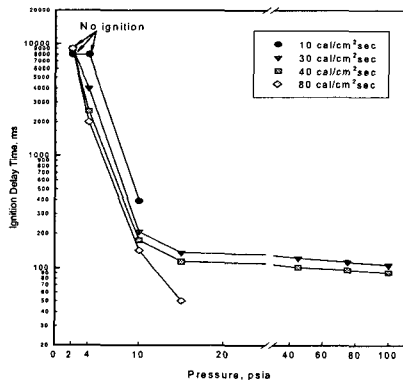


Fig. 5 Ignition characteristics of A-type propellant.

4.2 HMX/HNIW가 첨가된 B형 추진제 점화 특성

AP 산화제 일부를 HMX 및 HNIW로 치환한 B형 추진제의 점화 특성은 임계 압력은 4psia에서 04psia로, 점화지연시간은 Fig. 6과 같이 약 30% 정도 향상되었다.

이러한 원인은 HMX, HNIW가 AP와 함께 추진제에 함유되면, 추진제의 발열점이 HMX는 290℃에서 235℃로, HNIW는 250℃에서 211℃로 낮아지기 때문인 것으로 생각된다.

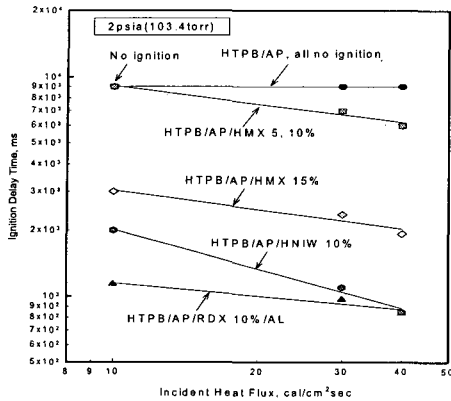


Fig. 6 Ignition delay time on content of HMX/HNIW in B-type propellant (@2psia).

4.3 점화도움물질의 코팅 영향

대기압 이하에서 B/KNO₃의 점화 특성은 추진제와는 다른 양상을 보이는데, 압력 의존성보다는 복사 에너지 열속에 의한 영향이 큰 것으로 보이며, 또한 낮은 압력에서는 오히려 불완전 연소 생성물이 많이 생성되었다[2].

진행된 실험에서 B/KNO₃의 점화 용이성 때문에 점화 임계 압력을 얻을 수 없었다.

점화도움물질로 B/KNO₃/NC/아세톤 현탁액을 A형 추진제 시료 표면에 코팅하여 대기압 이하에서 점화 특성을 측정·비교한 결과를 Fig.

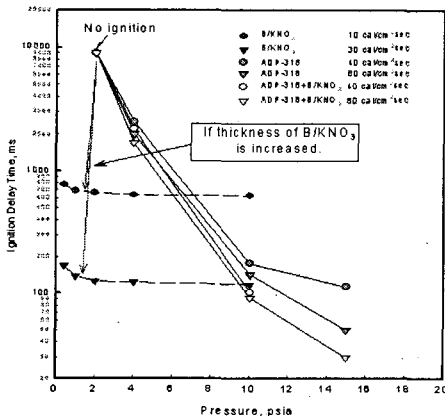


Fig. 7 Effect of B/KNO₃ coating of ignitibility of A-type propellant.

7에 나타내었다. 코팅한 시료가 점화지연시간이 15~40%, 임계 압력이 4→1psia로 향상되었다.

5. 결 론

NC를 B/KNO₃에 대한 결합제 겸 점화도움물질로 선정하고, HTPB/AP계 표준형(A형) 추진제 연소면에 코팅해 점화성을 시험한 결과 코팅하지 않은 경우에 비해 15~40% 정도 향상되었다.

A형 추진제 조성 중의 AP 일부를 HMX, HNIW로 5~15% 치환한 결과, 임계 압력은 0.4psia 이하와 점화지연시간은 50% 정도 향상되었다. 이는 HMX나 HNIW 성분이 AP에 비해 낮은 온도(~220℃)에서 발열 분해되는 특성에 기인되는 것으로 보인다. 대기압 이하에서 B/KNO₃ 자체의 점화성은 복사 에너지 열속의 영향이 큰 것으로 사료되며, 본 실험에서는 점화 임계 압력을 얻을 수 없었다.

참 고 문 헌

1. ICRPG Arc-Image Committee, "Arc-Image Ignition Brochure", CPIA Pub. 238, 1973.
2. Louis LoFiego, "Igniter Materials Handbook", TR 774, Naval Weapons Center, 1975.
3. P. P. Ostrowski, "A Low Burn Rate CTBN Propellant". JANNAF Propulsion Meeting, Vol. 1, p.447-461, 1981.
4. H.F.R. Schoyer, "Low Pressure Combustion of Composite Propellant". Propellants, Explosives, Pyrotechnics. Vol. 9. 149-156, 1984.
5. Takeo Saito et al., "Ignition of AP-Based Composite Solid Propellants Containing Nitramines Exposed to CO₂ Laser Radiation at Sub-atmospheric Pressures", Combustion and Flame, Vol. 85, 68-76, 1991.