

# HTPE 둔감추진제 연소/점화/안전도 특성 연구

유지창\* · 정정용\* · 김창기\* · 민병선\* · 류백능\*

## The Study of Combustion, Ignition and Safety Characteristics of HTPE Insensitive Propellant

Jichang Yoo\* · Jungyong Jung\* · Changkee Kim\* · Byungsun Min\* · Baekneung Ryu\*

### ABSTRACT

In this study, 2 kinds of HTPE insensitive propellants composed of HTPE/BuNENA binder, AP, AN and Al were investigated for combustion characteristics, ignition delay time, sensitivity and insensitive properties compared with HTPB propellant. HTPE propellant showed almost same sensitivity results as HTPB propellant, showed 2~3 times higher value than the value of HTPB propellant, ignition delay time respectively, and met the standard criteria, while HTPB propellant failed.

### 초 록

본 연구에서는 바인더로 HTPE)/BuNENA를 적용하고 산화제로는 AP와 AN, 금속 연료로 Al을 사용한 HTPE 둔감 추진제 2종에 대한 연소속도, 점화지연시간, 민감도 및 둔감특성을 HTPB 추진제와 비교 고찰하였다. 민감도는 HTPB 추진제와 HTPE 추진제가 유사하게 나타났으며, 점화지연시간은 HTPE 추진제가 2~3배 크게 나타났고, 둔감성에서는 HTPB 추진제가 EIDS 완속가열시험 기준을 만족시키지 못한 반면 HTPE 추진제는 기준에 부합하였다.

Key Words: Insensitive Munitions(둔감), Solid Rocket Motor(고체 추진기관), Propellant(추진제),

### 1. 서 론

1990년 이후로 전술형 로켓 모터의 둔감화가 요구됨에 따라 연소관의 둔감화와 더불어 가장 일반적으로 사용되는 Hydroxyl Terminated Polybutadiene(HTPB) 추진제의 둔감화가 요구되고 있다. 유연 및 무연계의 HTPB 추진제는 많

은 둔감 시험을 통하여 둔감 요구조건에 부합하지 않는 격렬한 반응을 나타내는 것으로 알려져 있다. 특히 HTPB/AP 추진제는 정상적인 저장 상태나 정상 온도에서는 폭굉 반응을 나타낼 수는 없으나 완속 가열시험에서는 폭굉 반응으로의 전이가 일어날 수도 있다는 것이 많은 둔감 시험을 통하여 증명되고 있다[1].

Hydroxyl Terminated Polyether(HTPE) 바인더를 사용하는 추진제가 기준에 가장 널리 사용되는 HTPB 추진제의 대안으로 알려지면서 선진

\* 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

† 교신저자, E-mail: yoojicj@hanmail.net

국에서는 HTPE 추진제 조성연구를 약 15년 전부터 활발히 진행해오고 있으며 미국에서는 Evolved Sea Sparrow Missile(ESSM) 추진기관에 HTPE 둔감 추진제를 개발하여 적용하고 있고 Ram Block-2 및 PAC-3 등에 적용키 위해 개발 중에 있다[1].

본 연구에서는 HTPE 폴리머와 둔감가소제인 N-n-butyl-N-(2-nitratoethyl)nitramine(BuNENA)를 바인더로 사용하고, 산화제로 Ammonium Perchlorate(AP)와 Ammonium Nitrate(AN)을 혼용하여 사용하며, 금속연료로 Al을 사용한 둔감 추진제 2종을 대상으로 연소특성, 점화지연시간, 민감도 및 둔감특성을 HTPE 추진제와 비교하여 고찰하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 둔감추진제

IM 요구조건에 부합하기 위해 둔감추진제에 대한 연구가 1980년대 말부터 미국을 중심으로 많은 연구가 되어왔으며, 현재 파악된 연구 방향은 크게 두 가지로 분류된다. 첫째, 기존의 HTPB바인더를 HTPE로 대체하고 가소제로 HTPE와 상용성이 좋은 둔감가소제인 BuNENA를 사용하며, 산화제인 AP의 일부를 AN 또는  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 로 대체하는 방법이다. 둘째, 기존의 1.1급수의 추진제의 성능을 유지시키면서 1.3급수의 희연 추진제를 만드는 방법으로서, 주된 조성은 고 에너지 바인더, Nitrate Ester 가소제를 사용하고 AN, Partially Stabilized Ammonium Nitrate(PSAN), Ammonium Dinitramide(ADN) 등을 주산화제, 초미립자의 Cyclo-trimethylene Trinitramine(RDX), Cyclotetramethylene Tetranitramine(HMX) 및 Hexanitro Hexaza Isowurtzitane(HNIW)을 부산화제로 한다[1].

### 2.2 안전도

#### 2.2.1 추진제 민감도

추진제의 민감도는 그 수치가 작을수록 외부 에너지에 대하여 민감하므로 추진제는 측정치가

클수록 안전도가 높다. 본 시험에서 추진제의 안전성은 충격 감도, 마찰 감도, 정전기 감도와 자연 발화 온도 등을 측정하여 평가하였다.

#### 2.2.2 추진제 둔감특성

추진기관 둔감화 요구조건에 부합하는 추진제를 개발하기 위해서는 이에 따른 추진제 특성을 평가하는 시험 방법이 필요하며, 둔감 추진제 특성분야는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 크게 폭굉성(detonability), 폭연성(deflagrability)와 가열성(Cook-Off)의 세 가지로 분류할 수 있다.

본 연구에서는 폭굉 시험으로는 NOLLSGT, 폭연성 시험은 shotgun & RQ bomb 시험, 가열성 시험으로는 UN Test Series 7의 EIDS 완속가열 시험을 수행하였다.

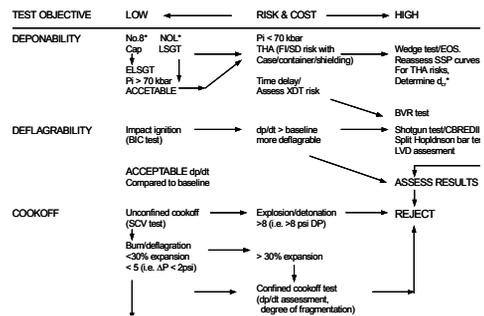


Fig. 1 Schematic Diagram of a proposed Insensitive Propellant Screening Test Protocol.

## 3. 시험 방법

### 3.1 추진제 민감도 측정

추진제의 충격 감도는 충격 시험기(Picatinny Arsenal Co.)에 의하여 2 kg의 추를 원하는 높이에 고정시키고 나서 전기 스위치를 눌러 자유 낙하시켜 시료의 기폭 여부에 따라 추의 낙하 높이를 조절하며 시험한다. 추진제의 마찰 감도는 Julius Peters사의 마찰 시험기에 의하여 측정하였다. 추진제의 정전기 민감도는 전기 에너지의 방출에 의하여 추진제가 점화되는 임계 에너지 값을 측정하였다.

### 3.2 추진제 점화지연시간 측정

고체 추진제의 점화 특성을 이해하고 적은 비용으로 실제 로켓 모터의 점화 특성을 예측하는 방법으로는 아크 이미지 고온 오븐(arc image furnace)과 CO<sub>2</sub> 레이저가 많이 사용되고 있다. 이 두 방법은 같은 복사 에너지원을 이용하나, 전자에 의해서는 추진제의 성분 변화에 따른 점화 특성 데이터를 비교적 손쉽게 정확하게 얻을 수가 있다. CO<sub>2</sub> 레이저는 파장 범위가 10.6 μm로 일정하며 열 속을 높게 제어할 수 있고 복사 에너지를 추진제 표면에 연속적인 띠로 공급하므로 부분 점화를 일으키지 않는 장점이 있으나, 운용이 복잡하고 안정성이 떨어지는 단점이 있다. 이러한 두 방법상의 차이 때문에 추진제 점화 특성 결과가 약간 다르게 나타날 수 있으며, 근래에는 CO<sub>2</sub> 레이저에 의한 점화 에너지 측정 방법이 더욱 보편화 되고 있는 추세다[3].

### 3.3 추진제 둔감시험

NOLLSGT 시험은 속 압력원(doner explosive)과 시험대상물질 사이에 gap를 삽입한 후 속 압력원을 기폭시켜 50% 확률로 폭발되는 gap의 두께를 측정하는 시험이다. 시험 시 detonator의 기폭과 동시에 속 압력원이 폭발하여 일정한 강도의 속이 발생하며 이 속은 gap을 통과하면서 강도가 감쇄되어 시험대상물질에 전달된다. 이때 전달된 속에 의해 시험화약이 반응하며 시험화약은 증거 판에 나타난 현상으로 판단한다.

Friability 시험은 UN Test Series 7(f)에 규정된 시험방법으로 직경이 18 mm, 무게 9 g 인 원통형 시편을 두께 20 mm의 강철판에 탄속 150 m/s 전후로 탄 속을 조절하여 충돌시킨 후 변형된 추진제를 포집한 후 체적이 108 cc인 closed bomb에서 연소시켜 최대 dP/dt를 측정하는 시험이다[2].

Figure 2는 EIDS 완속가열 시험장치를 나타낸 것으로 오븐은 45 cm x 45 cm x50 cm의 크기 10 mm 두께의 합판으로 제작하였고 내부에는 12 mm의 석고 보드를 부착하였다. 오븐 모서리에는 250 W의 밴드히터를 전력조정기와 연결된 온도 조절기(EC 5600S)를 사용하여 온도를 조절하였

다. K형 온도 센서를 사용하여 오븐 내부의 온도와 추진제가 충전된 파이프 표면과 추진제 내부의 온도를 계측시스템에서 10초당 1개씩 측정하였다[4].

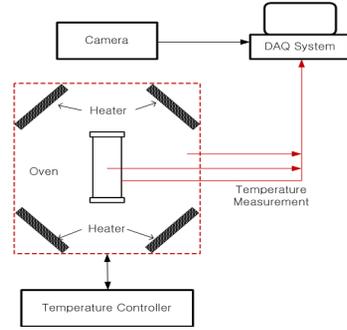


Fig. 2 Schematic diagram of slow cook-off test

## 4. 결과 및 고찰

HTPE 저연 추진제(HTPE-001)는 산화제로 AP 와 AN을 80%사용하였다. HTPE 유연 추진제(HTPE-002)는 Al을 19%, AP와 AN을 62%사용하였다. HTPB 저연 추진제(HTPB-001)는 AP를 85.5%사용하였다.

HTPE-001, HTPE-002 및 비교대상 추진제인 HTPB-001의 연소속도 및 압력지수는 Table 1과 같으며, 연소속도는 7.7~9 mm로 조절하였으며 그 때의 압력지수는 0.36~0.51로 각각 측정되었다.

Figure 3은 HTPE-001의 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 연소 촉매 함량에 따른 압력별 연소속도를 나타낸 것으로, 촉매 함량이 늘어날수록 연소속도 증가효과가 크게 나타났고 압력지수는 점차 작아짐을 알 수 있었다.

Table 1 Combustion Characteristics of Propellants

연소특성	HTPB-001	HTPE-001	HTPE-002
연소속도 @1,000psia (mm/s)	9.89	9.00	7.72
압력지수(n)	0.51	0.44	0.36

Table 2는 HTPE-001, HTPE-002 및 비교대상 추진제인 HTPB-001의 마찰감도, 충격감도 및 정전기 감도를 나타낸 것으로 마찰 감도와 충격감도는 감도와 정전기감도는 HTPB-001이 상대적으로 더 둔감하게 나타났다. 하지만 세 추진제 모두 민감도에서는 큰 문제가 없는 것으로 판단된다.

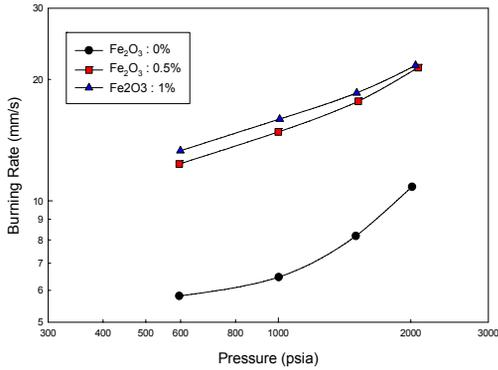


Fig. 3 Burning Rate of Propellants according to  $Fe_2O_3$  Content

Table 2 Sensitivities of Propellants

민감도시험	HTPB-001	HTPE-001	HTPE-002
마찰감도 (kgf)	11.8	10.4	13.3
충격감도, 2 kg추 (kgf)	42.0	31.2	38.8
정전기감도(J)	2.10	0.52	0.39

Figure 4는 HTPB-001, HTPE-001 및 HTPE-002의 점화지연시간을 나타낸 것으로  $50.5 \text{ cal/cm}^2\text{s}$ 의 열 속에서 압력별 점화지연시간을 측정하였다. 압력은 15, 45, 75, 100 psia로 변화시켰으며 이 때 추진제가 반응하는 50% 확률값으로 점화지연시간을 결정하였다. HTPE-001과 HTPE-002의 점화지연시간은 HTPB-001보다 측정 압력 구간에서 2~3배의 점화지연시간이 크게 나타났으며 HTPE-002가 HTPE-001보다 점화지연시간이 더 크게 나타났다. 이러한 이유는 HTPE 추진제 HTPB 추진제보다 AP 함유량이 상대적으로 작고, Al이 함유될 경우 Al을 산화

시키기 위한 에너지가 많이 소모됨으로 점화성이 떨어지는 이유 때문인 것으로 판단된다.

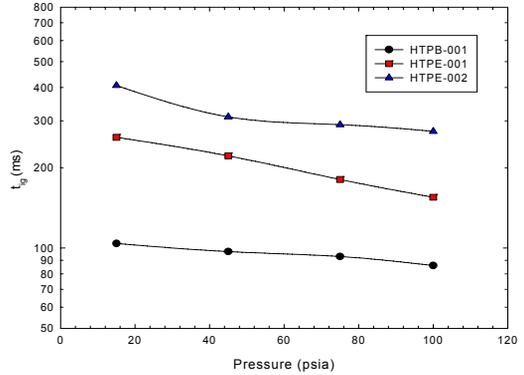


Fig. 4 Ignition Delay Time of Propellants

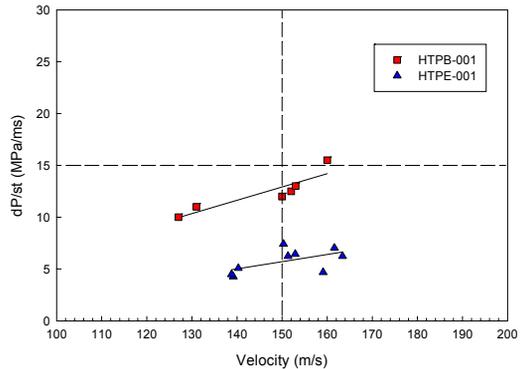


Fig. 5 The  $(dP/dt)_{max}$  according to Impact Velocities of Propellants

Figure 5는 HTPB-001과 HTPE-001 2종의 탄속별  $(dP/dt)_{max}$  값을 나타낸 것으로 UN Test Series 7의 EIDS의 기준치(15MPa/ms at 150 m/s)를 모두 부합하였으나 연소속도 차이가 유사한 점에 비추어 HTPB-001이 상대적으로 큰  $dP/dt$  값을 나타내었다. 이는 두 추진제가 연소속도가 유사하다더라도 HTPE-001 추진제가 HTPB-001에 비해 상대적으로 큰 toughness를 갖기 때문으로 판단된다.

Figure 4~5에서 알 수 있듯이 HTPE 추진제가 외부에서 충격을 받을 시에 파괴가 상대적으로 덜 되며 점화성이 떨어지므로 충분한 마찰에너지

지가 발생하지 않으면 반응을 하지 않을 가능성도 있음을 알 수 있다.

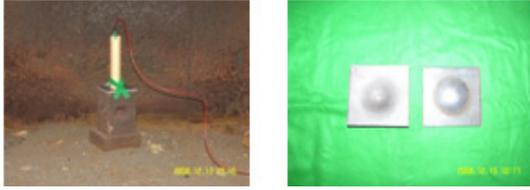


Fig. 6 NOLLSGT Test Result of HPTe-001 Propellant

Figure 6은 PMMA gap을 사용하지 않은 경우의 HPTe-001의 NOLLSGT 시험결과이며 증거판에 약간의 변형이 일어났으나 구멍이 형성안 되었으므로 카드 수는 0이고, 속 감도는 1.3 급수로 판정할 수 있다.

Figure 7은 HTPB-001, HPTe-001 및 HPTe-002의 EIDS 완속가열 시험 결과이며 스틸 파이프의 파편(마개 제외) 수가 10개 이상으로 나타났고, HPTe-001과 HPTe-002의 경우에는 파편 수가 2개 이하로 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 HTPB 추진제로는 달성할 수 없었던 EIDS 완속가열 시험 기준을 HPTe 추진제 조성을 개발함으로써 추진제의 가장 어려운 문제를 해결할 수 있었다.

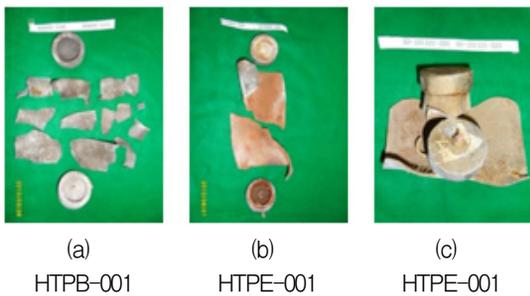


Fig. 7 EIDS SCO Test Results of HTPB-001, HPTe-001 and HPTe-002 Propellant

#### 4. 결 론

본 연구에서는 세계적으로 추진제의 둔감화가 요구됨에 따라 HTPe/BuNENA를 바인더로 사용하고, 산화제로 AP와 AN을 혼용하여 사용하는 HTPe 둔감추진제 조성을 개발하여 연소특성, 점화지연시간, 민감도 및 둔감특성을 HTPB 추진제와 비교하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. HTPe추진제와 HTPB 추진제의 민감도는 전반적으로 유사하였으나 HTPe 추진제의 정전기감도가 상대적으로 다소 크게 나타났다.
2. HTPe추진제의 점화지연시간이 HTPe 추진제보다 2~3배 크게 나타났으며 이는 AP 함유량의 차이로 기인한 것으로 판단된다.
3. HTPe 추진제는 1.3급수로 판정되어 속에는 둔감한 것으로 나타났으며, 폭연성에서는 모두 기준에는 부합하였으나 HTPe 추진제가 훨씬 작은  $(dP/dt)_{max}$  값을 나타내었다. 또한 HTPB 추진제는 가열성 시험인 EIDS 완속가열시험 기준을 통과할 수 없었던 반면 HTPe 추진제는 기준에 부합하는 결과를 보였다.

#### 참 고 문 헌

1. "Hazard Studies for Solid Propellant Rocket Motors", Advisory Group for Aerospace Research & Development, AGARD-AG-316, NATO, September
2. 유지창 외, "Shotgun & RQ Bomb 시험에 의한 추진제 폭연 특성," 한국추진공학회지, 제 6권, 제 3호, 2002, pp 9~17
3. 유지창 외, "광학특성을 이용한 고체추진제 점화특성 연구," 한국추진공학회지, 제 11권, 제 6호, 2007, pp 1~8
4. 유지창 외, "HTPe 둔감추진제 완속가열 시험 평가," 한국추진공학회지, 제 14권, 제 6호, 2010, pp 31~37