

# Friability 시험을 이용한 HTPE 및 HTPB 추진제의 충격 민감도

김창기\* · 유지창\* · 정정용\*

## Impact Sensitivity of HTPE & HTPB Propellants using Friability Test

Changkee Kim\* · Jichang Yoo\* · Jungjung Yong\*

### ABSTRACT

As analyzing friability of HTPE and HTPB propellants, the following results could be derived. The friability of the tested propellants depended on its binder contents, mechanical property, and burning rate. It was decreased as burning rate was lowered and toughness was increased.

### 초 록

HTPE 와 HTPB 추진제에 대한 friability 시험을 수행하고 그 결과를 분석하였다. 추진제의 friability는 바인더함량, 기계적 특성 및 연소속도에 의해 영향을 받았으며 연소속도가 증가할수록 toughness가 낮아질수록 friability는 증가하는 경향을 보였다.

Key Words: Hydroxy-terminated polyether(HTPE), Hydroxy-terminated polybutadiene(HTPB), Friability(파쇄성)

### 1. 서 론

탄자 충격에 의한 추진제의 반응 과정은 추진 기관에 고속의 탄자가 충돌하면 응력이 발생하고 이로 인하여 추진기관 내부에 있는 추진제는 잘게 부서짐과 동시에 마찰이 생기며 이로 인하여 열에너지가 발생하여 부서진 추진제의 연소가 개시된다. 추진기관 내부에서 추진제의 부서진 정도가 크면 연소면적의 증가로 내부압력이

증가될 것이며, 이와 더불어 추진제가 추진기관 내에서 밀폐되어 있을 경우 내부압력의 상승 속도는 더욱 증가하여 결국에는 폭연에서 폭발으로 반응이 확산되는 DDT(deflagration to detonation transition) 현상을 보이게 된다.

HTPE 추진제는 Hercules and Alliant Techsystems IRAD 자금으로 최초로 개발되었고 미 해군과의 계약으로 Evolved Sea Sparrow에 적용된 모타가 개발되었다.

HTPE 추진제는 5인치 혹은 10인치 직경의 모타 모두 MIL-STD-2105B에서 제시하는 둔감 시험을 모두 통과하였다고 보고되고 있다. 향후 추

\* 국방과학연구소 1-6-4  
연락처, E-mail: propelkim@add.re.kr

진기관의 둔감 요구조건이 강화되면 점차 그 수요가 증가할 것으로 예상된다.

HTPB 추진제는 많은 유도무기 체계에서 채택되었고 우주발사체 분야에서도 거의 독점적 지위를 보이며 성장해 왔다. 그러나 다양한 전시상황을 겪은 선진국의 경우 적의 피탄 및 화재 시 HTPB 추진제는 사용상의 상당한 신뢰도에도 불구하고 둔감화 측면에서 좋지 않은 평가를 받고 있다.

본 연구에서는 둔감 HTPE 고체 추진제 조성 개발 중에 획득한 둔감 시험자료중 추진제의 종류에 따른 friability 시험결과로부터 추진제의 기본 특성과 상관관계를 고찰하여 충격에 둔감한 추진제 조성 개발 방향을 살펴보고자 한다.

## 2. 본 문

### 2.1 추진제

시험에 사용한 추진제의 연소속도는 7.1~ 24.7 mm/s 까지 다양하게 선택하였다. Friability에 영향을 미칠 것으로 예상되는 추진제의 연소속도와 인장특성 값들을 Table 1에 나타내었다. 시료 번호 1, 2번은 HTPE 추진제이고 나머지는 HTPB 추진제이다.

Table 1. Characteristics of Test Propellants

No.	Rb (mm/s)	Sm (bar)	Em (%)	Propellant System
1	12.3	10.6	48	HTPE/AP
2	9.8	9.3	63	HTPE/AP/AN
3	12.1	9.0	46	HTPB/AP/AI
4	7.1	9.4	46	HTPB/AP/AI
5	13.3	18.0	20	HTPB/AP/AI
6	12.7	8.8	40	HTPB/AP
7	22.0	8.7	32	HTPB/AP
8	24.7	8.6	38	HTPB/AP
9	22.0	9.5	44	HTPB/AP

### 2.2 Friability

추진제에 대한 friability 시험은 UN Test Series 7의 “Test 7(c) ii” 와 “7(d) (ii)”로 규정되어 있다. 이 시험의 목적은 EIDS 후보가 충돌 상태에서 변형 특성 및 변형 후의 민감도를 평가하는 시험이다. 추진기관이 보관·수송 중 또는 운용 중에 고속의 파편, 탄자 충격을 받는 경우 추진기관 내에 충전된 추진제 역시 고 변형률로 변형되고 이로 인하여 기계적 변형이 발생한 추진제는 변형·파괴된 후 수반되는 열, 습 등의 충격에 의해 반응성이 커져 폭발 및 폭굉으로 이어지게 된다. Friability 시험은 이러한 동적 기계적 충격에 대하여 화약 및 추진제의 반응 정도를 알아보기 위한 시험이며, 충격을 받아 기계적 변형이 생긴 추진제(또는 화약)에 대한 연소시험 결과로부터 얻은 시간당 압력 변화율(dP/dt)을 통하여 그 추진제의 반응형태가 외부의 동적 충격에 대하여 폭굉(detonation)으로 전이될지 혹은 폭연(deflagration)이나 연소(burning)로 반응할지 여부를 평가한다.

본 시험은 직경이 18 mm, 무게 9 g 인 원통형 시편을 두께 20 mm의 강철판에 탄속 140, 150, 160 m/s에서 각 3회 충돌시킨 후 변형된 추진제를 포집하고, 이를 평균직경이 0.75 mm인 흑색화약 0.5 g과 hot wire(M 100)로 구성된 점화 백을 사용하여 체적이 108 cc이고 시간당 압력변화를 측정할 수 있는 closed bomb에서 연소시킨다. 이때 계측된 압력변화 결과로부터 dP/dt를 계산하고 최대값을 구한다. UN Test Series 7에서 friability 시험의 통과기준(Pass/Fail criteria)은 충돌속도 150 m/s에서 연소시험 결과인 dP/dt의 최대값들의 평균값이 15 MPa/ms 이하이면 시험물질은 EIDS에 통과한 물질로 규정하고 있다.

추진제의 비추력 측면에서 비교해 보면 최대한 비추력을 보이는 산화제 함량은 HTPE의 경우 80%, HTPB는 89% 이다. 대부분의 추력 발생용 추진제 조성은 이론 비추력이 최대인 영역 근방에서 최적 조성을 개발하기 때문에 HTPE 추진제와 HTPE 추진제는 근본적으로 바인더 함량의 차이가 발생하고 이로 인해 적어도

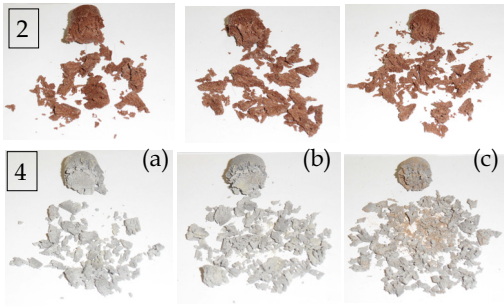


Figure 1. Broken shape of 2 & 4 propellant according to impact velocities(upper: No.2, lower: No.4): (a)140, (b)150, (c)160 m/s

friability 시험 시 연소속도가 같을 경우 HTPE 추진제가 HTPB 추진제 보다 태생적으로 우수할 가능성이 높다. Figure 1은 충돌 속도에 따라 추진제가 손상을 입은 전형적인 형태이다.

2번 추진제는 HTPE/AP 추진제로서 고체 함량이 81%, 4번 추진제는 HTPB/AP/Al 추진제 이고 고체 함량이 88% 이다. 충돌 속도가 증가할수록 추진제의 부서짐 정도는 증가함을 육안으로도 관찰이 가능하였다. Figure 2는 충돌속도에 따라 시험한 추진제를 CBT 시험한 결과인  $(dP/dt)_{max}$ 를 나타낸 그림이다. 충돌속도가 증가함에 따라 추진제가 많이 부서짐으로 연소표면적이 증가하여  $(dP/dt)_{max}$ 는 증가함을 알 수 있다. 4번 추진제의 경우 2번 추진제에 비해 연소속도가 낮음에도 불구하고  $(dP/dt)_{max}$ 가 크고 시험 편차가 컸다. 이 원인은 바인더의 함량이 적어 추진제의 성질이 2번에 비해 취성(brittle)이 더 증가하였기 때문에 부서질 때 추진제 파편이 좀 더 불규칙했기 때문인 것으로 판단된다. 결론적으로 추진제 2가 4보다 friability가 낮았는데 이는 바인더의 함량 높고 기계적 특성이 우수하기 때문으로 판단된다.

Figure 3은 추진제의 인장응력-변형 곡선으로부터 추진제가 인장 변형할 때 흡수한 에너지인 toughness를 계산하여 이 값과 friability의 상관관계를 표시한 그림이다. 추진제의 종류와 상관없이 toughness가 증가할수록 friability는 감소함을 알 수 있고 비교대상의 추진제의 toughness가 같을 경우(추진제 4, 9) 연소속도가 낮을수록

friability는 낮아지는 경향을 보인다.

Figure 4는 추진제 연소속도 함수로 friability를 표시하였다. 이 경우는 추진제의 연소속도가 증가할수록 friability는 증가하였고 기계적 특성의 경우와 같이 비교 대상이 같은 연소속도를 가지는 추진제일 경우(추진제 7, 9)는 기계적 특성이 좋을수록 낮은 friability를 나타내었다.

### 3. 결 론

HTPE 및 HTPB 추진제 9종에 대하여 friability 시험을 실시하였다. 고체 추진제의 기본

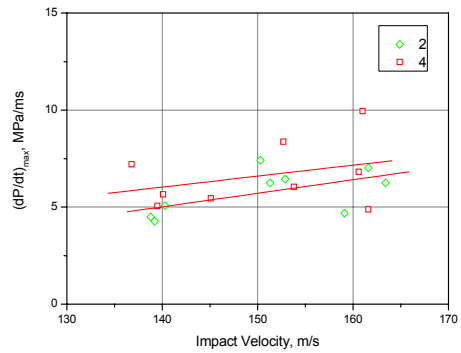


Figure 2. The  $(dP/dt)_{max}$  according to impact velocities of propellants

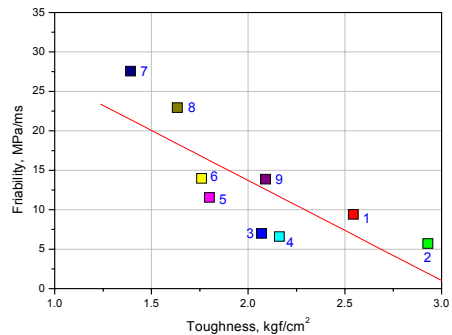


Figure 3. Friability as a function of mechanical toughness

특성인 기계적 성질과 연소속도와의 상관관계를

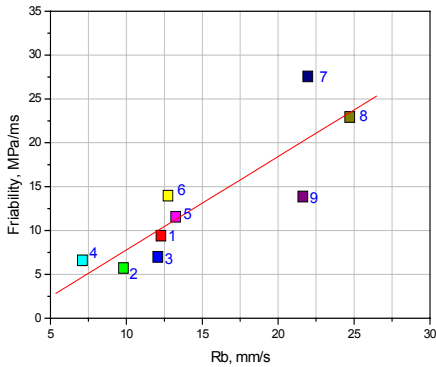


Figure 4. Friability as a function of burning rate

고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, HTPE 및 HTPB 추진제의 friability 값을 비교해 볼 때 HTPE 추진제가 충격 민감도가 낮았으며 그 원인은 연소속도효과를 배제할 경우 상대적으로 많은 바인더 함량에 있다고 판단된다.

둘째, 연소속도가 증가할수록 friability는 증가하였으나 같은 연소속도라 할지라도 기계적 특성이 우수하면 충격 민감도는 감소하였다.

셋째, HTPB 추진제의 경우 비록 바인더 함량이 낮아 HTPE 추진제에 비해 다소 brittle 할 것으로 예상되지만 기계적 특성이 우수하고 낮은 연소속도를 가지는 추진제의 경우는 상대적으로 충격 민감도가 낮았다.

#### 참고 문헌

1. Comfort, T. F.(2000) and Hartman, K. O., "High density HTPE Propellants," Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium, NDIA. San Antonio, Texas, US. 27th-30th November.
2. Michael, M., Swisdak, Jr., "Hazard Class/Division 1.6: Extremely Insensitive Detonating Substances(EIDS)", NSWC TR 89-356
3. Isler, J., "Classification Tests For Assignment To Hazard Class/Division 1.6 : SNPE Two Years Experience", Minutes of the 25th explosives safety seminar, Vol 4, 18-20 August 1992
4. Gorden, E.J, David, W.N, Tactical Missile Propulsion, Vol. 170.
5. Gould, R.A., "Progress Report of JANNAF Panel on Shotgun/Relative quickness Testing", JANNAF Propulsion systems Hazard Sub Committee Meeting Vol 1, 29-31 October 1980
6. Gibson, P.W., "Friability and Critical Diameter Tests on the Maneuver Propulsion Assembly Propellants", AFRPL, TR-85-089, January, 1986
7. 박정수, 김성호, 이정관, "Friability 시험기법 개발(I)", GWSD-419-981558, 국방과학연구소 보고서, 1998. 12
8. Simopoulos, "High efficiency power amplifier," U.S Patent 5777519 Jul., 1998