

HTPE 둔감 추진기관의 충격 시험 및 평가

김창기* · 이도형* · 연정모* · 유지창*

Impact Test and Evaluation for HTPE IM Rocket Motor

Changkee Kim* · Dohyung Lee** · Jeongmo Yeon* · Jichang Yoo*

ABSTRACT

Bullet and fragment impact test with rocket motors was performed and characteristics of the results were analyzed. The material of the motor case was carbon epoxy composite. The motor was loaded with HTPE propellants to improve the insensitive munitions characteristics. In the tests, sound pressure and heat flux sensors were used to determine the category of response according to the standard. The reaction response of all of the HTPE motors impacted by bullet and fragment was judged as Type V burning.

초 록

본 연구에서는 추진기관 탄자 및 파편 충격시험을 실시하여 그 특성을 분석 평가 하였다. 연소관은 카본 에폭시 복합재를 사용하였고 추진제는 둔감 특성을 향상 시켜주기 위해 HTPE 추진제를 사용하였다. 반응 형태를 정량적으로 판단하기 위해 음압 및 열유속 센서를 사용하였다. 탄자 및 파편 시험한 HTPE 모타들의 반응형태는 Type V 인 연소반응을 나타내었다.

Key Words: Hydroxy-terminated polyether(HTPE), Composite Case(복합재 연소관), Bullet Impact (탄자충격), Fragment Impact(파편충격), IM Motor(둔감추진기관)

1. 서 론

고체 추진기관의 둔감화는 크게 열 및 충격 둔감화로 대변될 수 있으며 외부 자극에 의해 발생하는 추진기관의 반응이 약할수록 둔감화가 잘되었다고 평가할 수 있다. 추진기관의 구성요소 중 반응에 가장 민감한 부품은 고체 추진제

이다. 둔감 고체 추진기관 기술의 개발목표는 첫째, 추진제의 둔감화, 둘째, 반응이 일어날 때 압력 구속효과(confinement effect)를 줄여주는 완화장치(mitigation device) 개발이다. 선진국에서 제안된 여러 가지 둔감 모터 중 성공적인 모타 시스템중 하나는 HTPE 추진제와 복합재 케이스를 적용하는 것이다[1]. HTPE 추진제는 HTPB/AP 추진제가 충격 또는 속(shock)에 대해 둔감한 장점(1.3급수)과 에너지 가소제를 사용하는 NEPE계 추진제가 열적으로 둔감한 장점(특히

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

slow-cook off)을 결합해 놓은 추진제이다.

충격 시험과 관련하여 현재까지 알려져 있거나 국과연에서 경험한 내용을 종합해 보면, 복합재 연소관을 사용하고 추진제가 LSGT 시험에서 1.3급수이고 UN Test Series 7의 파쇄성(friability) 측정값이 15 MPa/ms 이하인 경우가 탄자 및 파편 충격시험을 통과할 수 있는 필요조건이다.

본 논문에서는 국과연에서 개발 중인 둔감 HTPC 추진제를 시험용 복합재 연소관을 이용해 제작된 고체 추진기관을 총탄 및 파편 충격 시험에 대한 시험규격(STANAG 4241과 Mil-STD-2105B)에 따라 시험한 결과를 분석 평가하였다.

2. 충격 시험의 규격 및 기준

2.1 탄자 충격 시험 규격

시험방법은 MIL-STD-2105B와 STANAG4241을 따라 진행한다. 3발의 0.50 Caliber M2 Armor-Piercing(AP)탄에 시험물이 맞았을 때의 반응정도를 확인하는데 시험목적이 있으며, 시험물에 부딪힐 때의 속도는 850 ± 60 m/s를 만족하여야 한다(STANAG에서는 충격속도를 850 ± 20 m/s로 규정함). 또한 STANAG 에 따르면 세발을 발사하는 것이 아니라 한발만을 발사하도록 규정하고 있으나, 본시험에서는 MIL-STD-2105B의 규격에 따라 80 ± 40 ms 간격으로 세발을 발사하도록 하였다.

2.2 파편 충격 시험 규격

시험방법은 MIL-STD-2105B에 따른다. 고속의 파편이 시험물에 맞았을 때의 반응정도를 확인하는데 시험목적이 있으며, 파편을 모사하기 위해서 conical 형상의 mild steel 파편을 사용한다. 파편의 충격 속도는 $1,830 \pm 60$ m/s($6,000 \pm 200$ ft/s)를 만족해야 하며, 한 개의 파편을 사용하여 시험 대상에 충격을 준다.

2.3 탄자/파편 충격 반응 평가 기준

충격 시험시 반응 형태를 판정하기 위해 비디오 관독, 파편의 비산도, 음압 및 열유속을 측정

하여 종합적인 판단을 진행한다. MIL-STD-2105B에는 전체 적인 반응 형태가 묘사되어 있는 반면 STANAG에는 음압과 열유속의 측정값에 따라 반응유형을 결정할 수 있게 되어 있다.

음압에 의해 구분되는 반응유형은 시험물로부터 5m 거리에서 측정하였을 경우 그 값이 5 kPa을 넘지 않으면 Type V (burning)이 되고 15m에서 5 kPa을 넘지 않으면 Type IV (deflagration), 그 이상일 경우 Type III (explosion)이 된다. 여기서 5 m 라는 거리는 민간용 탄약의 화재시 소방관이 작업할 수 있는 거리이며 15 m 는 군용 탄약 화재시 소방관이 작업할 수 있는 거리이다.

열유속 값에 의해 구분되는 반응 유형은 시험물로부터 15m 거리에서 그 값이 4 kW/m^2 보다 작을 경우 Type V가 되고 그보다 클 경우는 Type I-IV중의 하나가 된다. 4 kW/m^2 의 열유속 값은 30초간 노출될 경우 인체 피부에 2도 화상의 피해를 초래하는 큰 열량이며 UN 6C 시험에 의해 위험한 열유속의 기준 값으로 정의 되어 있다.

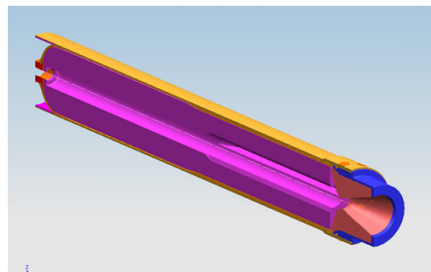


Fig. 1. Configuration of IM Rocket Motor

3. 시험 및 계측

3.1 시험 추진기관 제원 및 특징

추진기관의 연소관 케이스는 복합재인 카본섬유/에폭시를 사용하였으며 인슐레이션과 라이너는 EPDM과 HTPB 라이너를 사용하고 추진제는 HTPC 추진제를 적용하였다. 시험 모타의 형상은 Fig. 1과 같고 추진기관의 총 무게는 31 kg이며 노즐 구조체의 무게는 6 kg, 연소관 무게는 5 kg, 추진제의 무게는 20 kg 이었다. 점화기는 비

활성으로 장착하여 충격 시험을 실시하였다.

Table. 1. Characteristics of HTPe Propellants in IM Rocket Motors

Motor No.	Ballistic Properties		Mechanical Properties					
	R _b mm/s	n	σ _m bar	ε _m %	ε _b %	E _o bar	H _s	d
XIM-0801, 0803	11.5	0.52	6.6	70	74	11.1	40	1.73
XIM-0905, 0908	9.8	0.51	7.2	82	86	13.8	40	1.71

Table 1에 시험에 사용한 추진제의 특성을 나타내었다. 추진제의 기계적 특성은 통상적인 HTPB 추진제 보다 인장 강도 대비하여 인장 변형율이 아주 우수한 경향을 보였다. 그러나 접착력의 경우 추진제의 탄성율이 낮아 박리 접착력이 XIM-0801, 3은 0.76, XIM-0905, 8은 0.85 daN/cm로 전반적으로 낮은 값이 측정되었으나 비파괴시험 결과 접착 결합은 관찰되지 않았다.

3.2 시험 장비 및 계측

탄자 발사기는 3개의 Cal. 50 기관총 총열을 사용하였고 파편 발사기는 속도를 증가시키기 위해 20 mm 총열에 30 mm 용 약실을 적용하여 추진제 양을 조절하여 요구되는 탄속을 얻을 수 있었다.

계측은 음압 8채널과 열유속 5채널 탄속 3채널을 측정하고 이외에 디지털 캠코더로 시험 장면을 녹화하고 고속 카메라로 탄속 측정 및 시험물이 반응하는 장면을 녹화하여 반응 형태를 판정하는데 참고하였다.

추진기관 설치는 Fig 2와 같이 안전을 위해 무게가 1톤 이상인 강철 밀판에 A형 프레임으로 고정하고 반응시 파편의 비산을 방지하기 위해 추진기관 전후방과 실린더 부위를 치구에 단단히 고정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 탄속 측정 결과



Fig. 2. Test motor fixed by device

탄자의 총돌 속도는 MVRs를 이용하여 측정하였으며 Fig. 3 에 그 측정 결과를 나타내었다. 총구에서 20 m 거리에서 920 m/s 이 나타났다. 이 측정 결과가 정확하다면 규격을 만족시키기 위해서는 약 100 m 이상에 목표물을 놓아두어야 한다는 것을 의미한다. 추후 보강 시험이 필요한 부분이라고 생각된다.

파편 발사기는 Cal. 50 총열의 구조가 다르기 때문에(강선이 없음) 파편의 비행 형태가 속도에 영향을 많이 미치게 된다. 영점사격을 실시하면서 탄착군의 형태를 보면 그 비행 형태를 짐작 가능한데 탄의 yaw현상이 자주 일어날 뿐만 아니라 탄착군이 넓은 경우가 자주 발생하였다. 또한 MVRs 측정 결과 파편의 발사 후 초기속도는 빠르게 나오지만 탄착지점 부근(15~20m)에서는 요구되는 속도에 미달되는 경우가 많았다. 수회의 추진제 양 변화시험과 파편 비행거리에 따른 탄속 측정을 통해 총구와 거리가 15 m에서 탄속

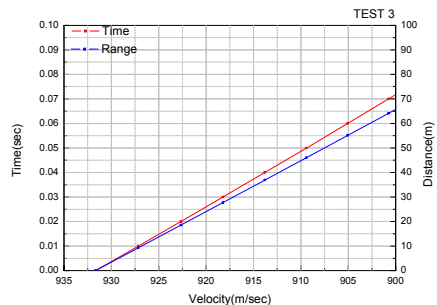


Fig. 3. Bullet velocity as a function of its flight distance.

이 1,812 m/s 의 충돌 속도를 얻을 수 있었다. 한편 파편의 충돌 속도는 목표물 1 m 앞에 1 m 간격으로 electronic break screen(EBS)을 이용하여 파편이 이동한 시간을 측정하여 속도를 계산하였다.

4.2 음압 측정 결과

XIM-0803 파편 충격 시험에서 측정한 음압 측정 결과 5 m에서 최대 169.83 Pa 이었고 15 m에서는 55.99 Pa 이었다. 이는 음압 판정 기준의 의하면 Type V이다. XIM-0908 파편 충격시험에서는 파편이 추진기관의 중심부에서 약간 위쪽에 파편이 관통 되었는데 연소관과 추진제 그레이인이 손상이 되었으나 어떠한 반응도 일어나지 않았다. 비디오 및 고속카메라 사진 분석 결과 파편이 명중됨과 동시에 추진제에 점화된 후 바로 소화되었다는 것을 확인 할 수 있었다.

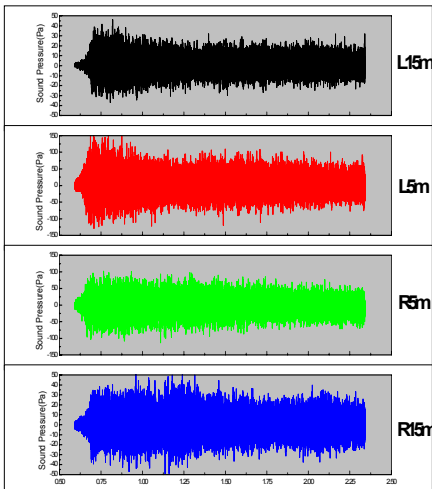


Fig. 4. Sound pressure of XIM-0803 fragment impact test

4.3 열유속 측정 결과

XIM-0801 및 0905 탄자 충격 시험에서 열유속 측정 결과 15 m에서 최대 144.55 W/m², 122.65 W/m² 으로서 기준치(4 kW/m²)의 약 4% 이하이다. 또한 XIM-0803 파편 충격 시험에서도 15 m에서 47.72 kW/m² 로서 탄자 충격시험보다 더 낮은 값을 나타내었다. 열유속 결과로 볼 때

탄자 및 파편 충격시험에서 반응형태는 Type V 이하라고 판정할 수 있다.

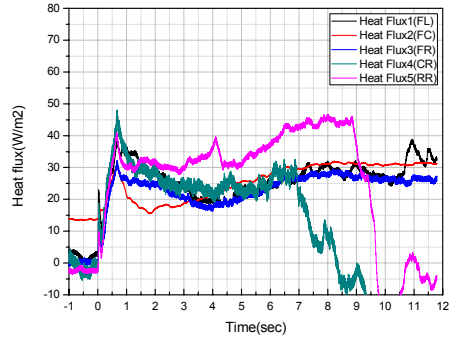


Fig. 5. Heat flux of XIM-0803 fragment impact test

5. 결 론

국내 최초로 HTPC 추진제와 복합재 연소관을 적용한 추진기관 충격시험을 규격에 따라 수행하였다.

시험한 4개의 추진기관이 반응 후 파편의 비산은 적었다. 그러나 안전상 추진기관이 치구에 단단히 고정되어 있는 상태라 큰 의미를 부여하기는 힘들었다. 또한 추진기관이 쪼개지면서 낮은 수준이지만 추력발생 현상이 나타나거나 파편충격 시험시 점화 후 소화되는 현상(파편충격)도 나타났다. 음압과 열유속 결과는 기준치의 1~4% 수준 밖에는 되지 않았으므로 Type V 인 연소반응으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Comfort, T. F.(2000) and Hartman, K. O., "High density HTPC Propellants," Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium, NDIA. San Antonio, Texas, US. 27th-30th November.