

HTPE 둔감 추진기관의 급속가열 시험 및 평가

이도형* · 김창기* · 연정모* · 정정용* · 유지창*

Fast Cook-Off Test and Evaluation for HTPE IM Rocket Motor

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

ABSTRACT

Fast cook-off 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 tested by fast cook-off was judged as Type V burning.

초 록

본 연구에서는 추진기관 급속가열시험을 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. 급속가열 시험한 HTPE 모터들의 반응형태는 Type V 인 연소반응을 나타내었다.

Key Words: Hydroxy-terminated polyether(HTPE), Composite Case(복합재 연소관), Fast Cook-off (급속가열), 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 구성요

소 중 반응에 가장 민감한 부품은 고체 추진제이다. 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 모터 시스템중 하나는 HTPE 추진제와 복합재 케이스를 적용하는 것이다[1]. HTPE 추진제는 HTPB/AP 추진제가 충격 또는 속(shock)에 대해 둔감

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

한 장점(1.3급수)과 에너지 가소제를 사용하는 NEPE계 추진제가 열적으로 둔감한 장점(특히 slow-cook off)을 결합해 놓은 추진제이다.

본 논문에서는 국과연에서 개발 중인 둔감 HTPE 추진제와 시험용 복합재 연소관을 이용해 제작된 고체 추진기관을 급속가열시험에 대한 시험규격(STANAG 4240 "Liquid Fuel/External Fire, Munition Test Procedure"와 Mil-STD-2105B)에 따라 시험한 결과를 분석 평가하였다.

2. 급속가열시험 규격 및 기준

2.1 급속가열 규격

시험방법은 MIL-STD-2105B와 STANAG 4240에 따라 진행한다. 액체 연료에 의한 화재가 발생하여 추진기관이 급속히 가열되는 상태에서 추진기관의 안정성을 확인하는데 시험목적이 있으며, JP-4, 5, 8, Jet A-1 등의 액체 연료가 사용된다. 반응이 일어날 것으로 예상되는 시간보다 약 1.5배 연소가 가능한 연료량을 사용하며, 연료통의 크기는 시험물이 화염에 완전히 둘러싸일 정도로 커야한다. 연료 면으로 부터 시험물 바닥까지의 높이는 300 mm 이상이 되도록 물을 이용하여 정확하게 조절한다(MIL-STD-2105B의 경우 시험물 중심선까지의 거리가 914mm). 점화의 용이성을 위해 휘발유가 추가될 수 있으며, 점화 후 30초 이내에 시험물 중심선에서 측정된 화염온도가 550℃에 도달하여야 한다. 또한 그 이후로 시험이 종료될 때까지 화염온도는 최소 800℃(MIL-STD-2105B의 경우 870℃)를 만족하여야 한다.

2.2 급속가열시험 반응 평가 기준

시험 시 반응 정도를 판정하기 위해 비디오 판독, 파편의 비산도, 음압 및 열속(heat flux)을 측정하여 종합적인 판단을 진행한다. MIL-STD-2105B에는 전체적인 반응 형태를 통하여 반응 정도를 평가하는 반면 STANAG에는 좀 더 정량적인 음압과 열유속의 측정값에 따라 반응정도를 결정할 수 있게 하였다.

음압에 의해 구분되는 반응유형은 시험물로

부터 5 m 거리에서 그 측정값이 5 kPa을 넘지 않으면 Type V (burning)가 되고 15 m에서 5 kPa을 넘지 않으면 Type IV (deflagration), 그 이상일 경우 Type III (explosion)가 된다. 여기서 5 m 라는 거리는 민간용 탄약의 화재 시 소방관이 작업할 수 있는 거리이며 15 m는 군용 탄약 화재시 소방관이 작업할 수 있는 거리이다.

열유속 값에 의해 구분되는 반응 유형은 시험물로 부터 15m 거리에서 그 값이 4 kW/m²보다 작을 경우 Type V가 되고 그보다 클 경우는 Type I-IV중의 하나가 된다. 4 kW/m²의 열속 값은 30 초간 노출될 경우 인체 피부에 2 도 화상의 피해를 초래하는 큰 열량이며 UN 6C 시험에 의해 위험한 열유속의 기준 값으로 정의되어 있다.

3. 시험 및 계측

3.1 추진기관 제원 및 특징

추진기관의 연소관 케이스는 복합재인 카본섬유/에폭시를 사용하였으며 인슐레이션과 라이너는 EPDM과 HTPB 라이너를 사용하고 추진제는 HTPE 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 비활성으로 장착하여 급속가열 시험을 실시하였다.

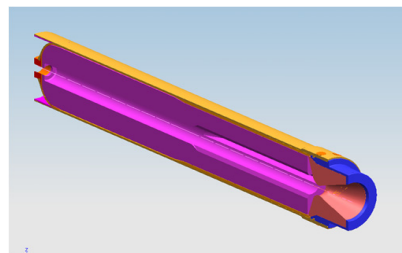


Fig. 1. 둔감추진기관의 형상

Table 1에 시험에 사용한 추진제의 특성을 나타내었다. 추진제의 기계적 특성은 통상적인 HTPB 추진제 보다 인장 강도 대비하여 인장 변형율이 아주 우수한 경향을 보였다. 그러나 접착

력의 경우 추진제의 탄성율이 낮아 박리 접착력이 XIM-0802는 0.76, XIM-0906은 0.85 daN/cm로 전반적으로 낮은 값이 측정되었으나 비파괴 시험 결과 접착 결함은 관찰되지 않았다.

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-0802,	11.5	0.52	6.6	70	74	11.1	40	1.73
XIM-0906,	9.8	0.51	7.2	82	86	13.8	40	1.71

3.2 시험 장비 및 계측

Fig. 2와 같이 시험물을 고정시킬 시험대를 설치하고 그 아래 연료를 담아둘 연료통을 위치시킨다. 연료통은 30 초 이내에 화염온도가 550℃까지 상승해야 하므로 4개로 나누어 각각을 동시에 점화시켰다. 추진기관은 시험대의 윗부분을 이용하여 매단 후 치구를 이용하여 고정시켰다. 추진기관의 전후방에는 화염의 침투로 인한 점화를 배제시키기 위해 진흙을 이용하여 밀폐시켰다. 또한 계측라인이 화염에 노출되기 때문에 세라믹 패드와 진흙을 이용하여 보호하였다.

계측은 음압 1채널과 열유속 4채널을 측정하였으며 디지털 캠코더로 시험 장면을 녹화하여 반응 형태를 판정하는데 참고하였다.

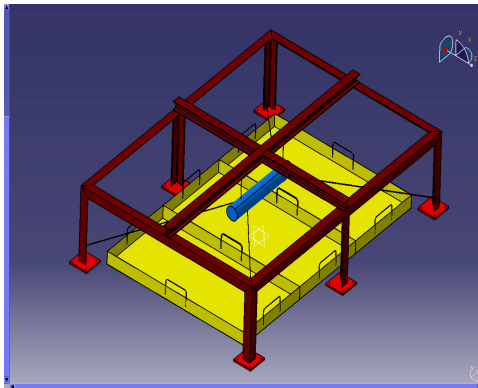


Fig. 2. 급속가열 시험장치

4. 결과 및 고찰

4.1 화염온도 측정 결과

화염온도는 추진기관의 중심면에서 좌우로 두 개씩 측정하였다. 설치된 온도센서는 K-type이 사용되었으며 Fig. 3은 온도센서가 설치된 모습이다.



Fig. 3. 온도센서가 장착된 시험물

측정된 화염온도는 Fig. 4와 같다. 30초 이내에 550℃에 도달하였으며 시험 종료 시까지 평균온도는 약 900 ~ 950 ℃수준으로 시험규격을 만족하였다. 바람의 영향으로 측정된 화염온도가 약간씩의 굴곡을 가지고 있으며 Temp2의 경우 약 2분 30초경에 센서의 연결부가 화염에 노출되어 비정상적인 값을 보이고 있다. 또한 점화 후 3분 15초경에 시험물이 반응하였음을 알 수 있다.

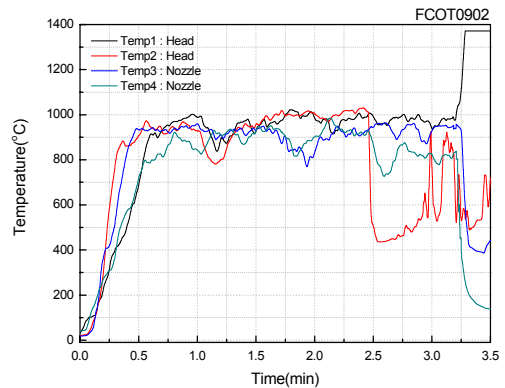


Fig. 4. 화염온도 측정결과

4.2 음압 측정 결과

음압은 microphone을 이용하여 시험물로 부터 15 m 떨어진 곳에서 측정하였다. Type V의 판정을 위해서는 5 m 위치에서 음압을 측정해야 하지만 연료가 연소하면서 발생하는 열에 의해 센서가 손상될 수 있기 때문에 15 m 위치에서만 측정하였으며 측정된 결과는 95.7 dB (0.01219 mbar)이었다. 판정 기준의 의하면 15m에서 50 mbar 이하이므로 Type IV를 무난히 만족시켜주고 있으며, 그 값이 기준에 비해 너무 작기 때문에 5 m위치에서도 50 mbar 이하 일 것으로 예상된다.

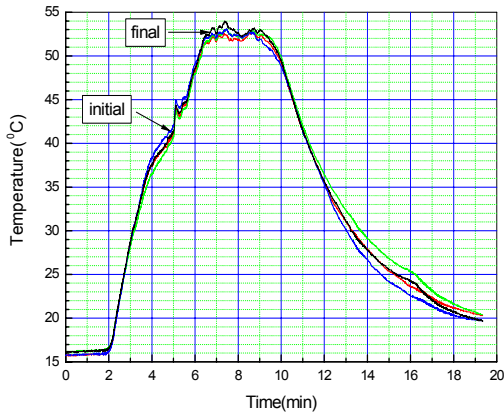


Fig. 5. 열유속 측정결과

4.3 열유속 측정 결과

열유속은 15 m 위치에 0.3 mm의 SUS판을 흑색페인트로 완전히 도색한 후 뒷면에 온도센서를 부착하여 온도변화를 감지하도록 하였다. 공기에 의한 영향을 최소화 하기 위해 온도센서와 공기가 만나는 부분은 완전히 단열시켜주었다.

측정된 온도변화를 이용하여 열유속으로 환산하였다.

열유속 환산 결과 15 m에서 270.6 W/m^2 으로 기준치(4 kW/m^2)의 약 7 % 이하이다. 열유속 결과로 볼 때 급속가열에서 반응형태는 Type V라고 판정할 수 있다.

5. 결 론

국내 최초로 HTPE 추진제와 복합재 연소관을 적용한 추진기관 급속가열시험을 규격에 따라 수행하였다.

시험한 2개의 추진기관은 점화 후 약 3분이 경과한 후에 반응하였으며, 그 반응정도는 MIL-STD-2105B에서 제시한 반응형태 중 Type V 이었다. 또한 측정된 음압과 열유속 분석결과 Type V 의 연소반응 기준을 만족하였다.

참 고 문 헌

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. MIL-STD-2105B (1994.1) "Hazard Assessment Tests for Non-Nuclear Munitions",
3. Standardization agreement 4240 "Liquid fuel fire tests for munition"