

# F형 다중펄스 로켓모타 적용 펄스분리장치 특성 분석

이동원\* · 이원복\* · 김인식\*\* · 이방엽\*\*

## Performance Analysis of a Pulse Separation Device for a F-type Multi-Pulse Rocket Motor

Dongwon Lee\* · Wonbok Lee\* · Insik Kim\*\* · Bangeop Lee\*\*

### ABSTRACT

In this study, the full scale flight type Dual-Pulse Rocket Motor(DPRM) with the bulkhead type Pulse Separation Device(PSD) was designed, manufactured, and fire-tested. The bursting time and pressure of PSD were analyzed by the pressure, thrust and vibration results of static fire tests and ablation of PSD was measured with 3-D coordinate measuring machine. As a result, PSD requirements, bursting conditions and thermal safety, were satisfied.

### 초 록

본 연구에서는 격벽형 펄스분리장치의 성능을 검증하기 위하여 실물형 Flight-type의 이중펄스 로켓모타 추진기관을 설계, 제작하여 지상연소시험을 수행하였다. 지상연소시험 시 계측한 추진기관의 압력, 추력, 진동 결과를 바탕으로 펄스분리장치의 파열특성인 파열시간과 파열압력 분석을 실시하였고 연소시험 후 3차원 측정기를 이용한 삭마량 측정을 실시하였다. 그 결과, 펄스분리장치가 파열조건 및 열적 안전성을 만족하는 것을 확인할 수 있었다.

Key Words: Dual-Pulse Rocket Motor(이중펄스 로켓모타), Pulse Separation Device(펄스분리장치), Solid Rocket Motor(고체추진기관), Flight Type(비행시험용)

### 1. 서 론

다중펄스 로켓모타는 일회성 추력발생방식이 아닌 연소중단/재점화를 통해 수회의 추력발생이 가능한 고체 추진기관이며[1], 국내에서는 격벽형 펄스분리장치를 실물형 이중펄스 로켓모타

에 적용하여 그 특성을 확인하는 단계가 이루어지고 있다[2].

본 논문에서는 지난 논문 발표 이후에 진행되어진 다양한 시험 중 실물형 Flight type의 이중펄스 로켓모타에 대한 지상연소시험에서 나타난 펄스분리장치의 파열특성과 열적 특성에 대하여 Heavy type 시험결과와 비교하였으며 이에 대한 안전성에 대해 기술하였다.

\* (주)한화, 개발부

\*\* 국방과학연구소, 1본부 6부

† 교신저자, E-mail: kaemac@hanwha.co.kr

## 2. 추진기관 설계 및 제작

시험에 사용되어진 Flight Type 추진기관의 설계는 Heavy Type 추진기관을 통해 검증되어진 결과를 바탕으로 이루어졌다. 아울러 Heavy Type 추진기관의 시험사례들을 통하여 다중펄스 로켓모타의 핵심기술인 펄스분리장치에 대한 설계 기술을 확보하였으며, 한걸음 더 나아가 실질적인 추진기관의 임무수행을 염두해 두고 해외의 격벽형 펄스분리장치가 적용된 이중펄스 로켓모타에 대한 사례분석을 실시하였으며 이를 통해 1, 2단의 에너지 배분을 기존 4:6에서 7:3으로 변경하였다. 변경되어진 에너지 배분으로 설계된 추진기관의 추력선도는 Fig. 1이며 전체 추진기관 형상은 Fig. 2와 같다.

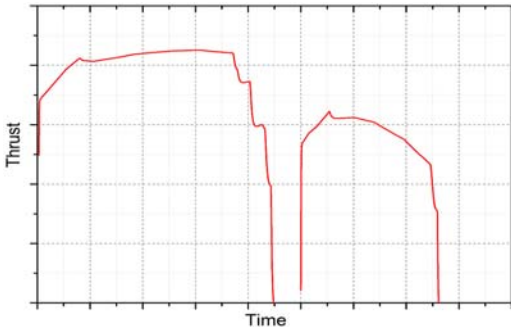


Fig. 1 Thrust-time curve of solid rocket motor

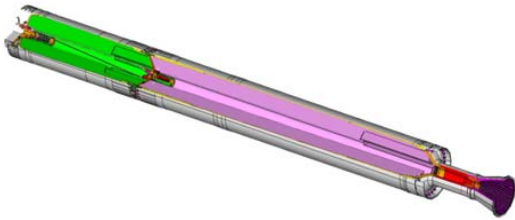


Fig. 2 Flight type dual pulse rocket motor

## 3. 시험결과 분석

### 3.1 파열특성 분석

이중펄스 로켓모타에 적용된 펄스분리장치의

파열판 파열압력 및 파열시간을 확인하기 위해 기존의 시험에서와 동일하게 1단 펄스모타 후방 노즐부, 2단 펄스모타 전방 점화기부에 압력센서를 부착하였으며, 추진기관 추력성능평가를 위해 전방에 로드셀을 설치하였다. 또한 파열판의 파열시점을 명확히 하기 위하여 펄스분리장치 조립부에 진동센서를 부착하였다. 이러한 센서들을 통해 계측된 결과를 종합하여 펄스분리장치 파열판의 파열특성을 확인하였다.

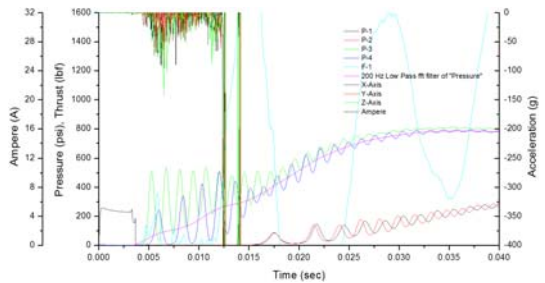


Fig. 3 Result at bursting time (Heavy type)

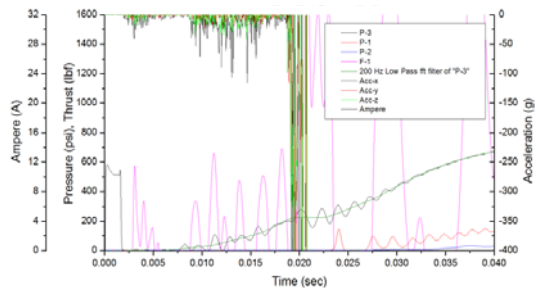


Fig. 4 Result at bursting time (Flight type)

Table 1. Results of bursting time & pressure

구분	파열시간(msec)	파열압력(psig)	
H type	#1	11.8	305
	#2	8.5	250
	#3	7.8	218
	#4	9.0	248
	#5	8.2	221
F type	#1	8.6	245
	#2	12.8	215
	#3	10.2	219
	#4	17.4	240
	#5	8.0	211

지상연소시험을 통해 나타난 연소 초기의 압력은 Fig. 3, 4와 같다. 서로 다른 두 종류의 시험에서 가장 크게 나타난 특징은 압력 Build-up 지연시간의 발생이다. 이는 Flight type에 점화안전장치를 적용하였기 때문이며, 적용된 전기-기계식 점화안전장치의 연결관이 압력에 의해 밀릴 때 발생하는 물리적 메카니즘에 기인한 것이다.

이를 감안하여 2단 펄스모타 전방 점화기부에서 계측된 압력 RAW data에 대한 200Hz Low Pass FFT filter를 적용하고, data 값이 1psi를 넘는 시점을 파열시간 측정 기준점으로 설정하였다. 또한 파열 완료 시점은 계측된 진동 결과값이 센서의 한계까지 크게 변화하는 시점을 기준으로 설정하였고, 그 때의 압력을 파열압력으로 설정하였으며 이에 대한 결과종합은 Table 1에서 확인할 수 있다.

### 3.2 열적 특성 분석

펄스분리장치의 열적 특성은 펄스분리장치의 하위 부품인 전방격벽내열재의 삭마 정도를 가지고 분석을 하였다. 분석은 3차원 측정기를 이용하여 실시하였으며, Fig. 5와 같이 구조적으로 대칭부위인 펄스분리장치의 90도, 270도 부위를 측정한 후 다시 이에 대한 평균을 구하였다. 측정은 중심을 0으로 하였을 때 40mm 지점부터 5mm씩 증가하며 100mm까지 실시하였다.

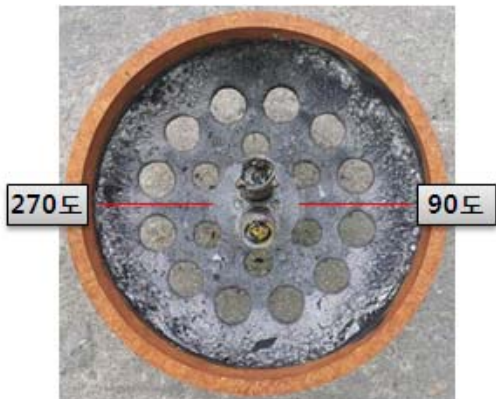


Fig. 5 Forward Heat Resistance Part of a PSD

지상연소시험 후 계측되어진 펄스분리장치의 삭마 대비 잔류량 결과를 정리하여 다음의 표에 나타내었으며, Heavy Type 적용 펄스분리장치에 대한 결과 종합은 Table 2, Flight Type 적용 펄스분리장치에 대한 결과 종합은 Table 3에 정리되어 있다.

결과 종합표에서 나타난 Data를 구간별로 단순 호기별 비교를 실시하면 일부구간에서 최대 0.7mm(H형 55구간), 0.8mm(F형 85구간)의 차이가 발생하는 것으로 나타났으나 대부분의 구간에서 큰 차이는 발생하지 않았다.

Table 2. Ablation of H-Type PSD

구분	#1	#2	#3	#4	#5
40	6.4	6.8	6.2	6.6	6.8
45	5.7	5.6	5.6	5.6	5.7
50	6.0	6.1	6.0	6.4	6.2
55	6.9	6.4	6.2	6.6	6.6
60	6.4	6.4	6.2	6.4	6.3
65	6.0	6.0	5.9	6.4	6.2
70	5.5	5.7	5.6	5.7	5.7
75	5.2	5.1	5.1	5.1	5.3
80	5.0	4.8	4.7	5.0	4.9
85	5.5	5.9	5.4	5.5	5.5
90	7.1	7.1	7.1	6.7	7.1
95	7.8	8.1	7.9	7.6	7.4
100	8.4	8.4	8.2	8.2	8.5
비고	상온	상온	고온	저온	고온

Table 3. Ablation of F-Type PSD

구분	#1	#2	#3	#4	#5
40	6.5	6.3	6.7	6.9	7.0
45	5.8	5.7	5.7	5.9	5.7
50	6.4	6.3	6.6	6.4	6.3
55	6.4	6.4	6.6	6.7	6.6
60	6.4	6.3	6.5	6.6	6.7
65	6.0	6.1	6.3	6.3	6.3
70	5.9	5.7	5.9	6.0	6.1
75	5.4	5.3	5.4	5.5	5.5
80	5.1	4.9	5.3	5.2	5.0
85	5.5	5.6	6.0	5.8	6.3
90	7.1	6.9	7.5	7.1	7.1
95	7.5	7.5	8.0	8.2	7.9
100	8.4	8.5	8.4	8.4	8.9
비고	상온	상온	고온	저온	고온

일부구간에서 나타나는 이러한 특성은 연소시험 후 전방격벽내열재에 부착되어 고착되어진 Slag와, Chop molding 이라는 내열재 제작 공법에 기인한 것으로 판단되어지며 이러한 불균일성을 보완하기 위해 동일 조건을 묶어 평균을 내어 그 특성의 변화 추이를 분석하였다. Heavy type과 Flight type의 전방격벽내열재 잔류량 비교는 Fig. 6, 시험 온도별 잔류량 비교는 Fig. 7이다. 이 때, 상온 20℃, 저온 -40℃, 고온 60℃를 기준으로 하며, X축은 펄스분리장치의 위치, Y축은 잔류량을 의미한다.

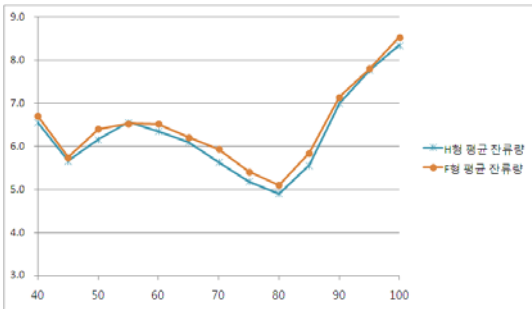


Fig. 6 Comparison of results (type change)

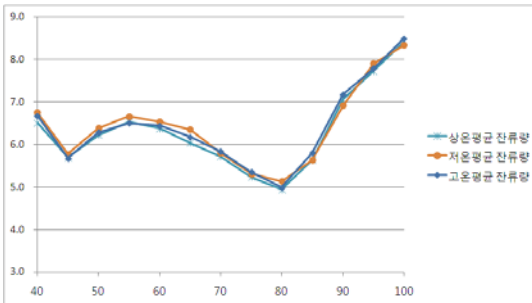


Fig. 7 comparison of results (temp. change)

#### 4. 결 론

본 연구는 이중펄스 로켓모타에 적용된 펄스 분리장치의 파열판과 전방격벽내열재가 연소시험에 의해 나타난 특성을 분석한 것이다. 파열판의 파열 특성은 Flight type 시험 전에 실시되어진 Heavy type 시험결과와 비교하였을 때 동등한 특성이 나타났음을 확인할 수 있었다.

또한 Type별, 온도별 전방격벽내열재의 삭마 특성이 유사하게 나타나 일정한 경향을 나타냄을 확인함에 따라 성공적으로 시험이 이루어졌음을 확인할 수 있었고, 향후 실제 체계 적용품 설계시 활용할 수 있는 기초자료를 확보하였다.

#### 후 기

본 논문은 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 조원만, 김원훈, 장홍빈, 오종운, 이방업, 이종원, "고제 추진기관의 격벽형 펄스분리장치 연구," 한국추진공학회 2009년도 춘계학술대회 논문집, 2009, pp.187-190
2. 이동원, 이원복, 김인식, 김원훈, "추진기관 적용 펄스분리장치의 파열특성 분석," 한국추진공학회 2011년도 춘계학술대회 논문집, 2011, pp.245-248