

# 펄스분리장치를 적용한 소형 추진기관의 설계, 제작 및 시험평가

류정현\* · 이원복\* · 서혁\* · 김원훈\*\* · 오중윤\*\*

## Design, Manufacture and Test of Subscale Solid Rocket Motor with Pulse Separation Device

Junghun Ryu\* · Wonbok Lee\* · hyuk Suh\* · Wonhoon Kim\*\* · Jongyun Oh\*

### ABSTRACT

A dual pulse solid rocket motor has several advantages compared to the single one. The range and the terminal velocity of the guided missile can be remarkably increased by the application of the pulse separation device(PSD) to the solid rocket motor which resulted in appropriate thrust distribution. In this study, the subscale dual pulse solid rocket motor with the bulkhead type PSD was designed, manufactured, and fire-tested. The bursting pressure, thermal characteristics, and the structural safety of the PSD were obtained by the tests and the results will be applied to the design of full-scale dual pulse rocket motor.

### 초 록

하나의 고체 추진기관에서 이중펄스 추력을 발생시키는 기술은 기존의 일회성 추력발생 방식에 비하여 여러 가지 장점이 있다. 추진기관에 펄스분리장치를 적용하면 적절한 추력배분을 통하여 유도탄의 사거리 연장 및 종말속도를 향상시킨다. 본 연구에서는 격벽형 펄스분리장치의 성능을 검증하기 위하여 소형 추진기관을 설계, 제작하여 지상연소시험을 수행하였다. 이를 통하여 펄스분리장치의 파열특성, 구조적 안전성 및 내열특성 등을 확인하였으며 향후 실물형 이중펄스 추진기관 설계 시 필요한 데이터 등을 확보하였다.

Key Words: Multiple Pulse Rocket Motor(다중펄스로켓모터), Pulse Separation Device(펄스분리장치), Solid Rocket Motor(고체추진기관)

### 1. 서 론

다중펄스 로켓모터는 통상적인 일회성 추력발생방식이 아닌 연소중단과 재점화가 가능한 고체 추진기관 분야의 첨단기술이다[1]. 가장 큰 장점으로는 유도무기의 임무에 부합하는 추력을 제공할 수 있다는 것이다. 즉, 효율적인 추력배

\* (주)한화 개발부

\*\* 국방과학연구소 1본부 6부

연락처, E-mail: ryujh78@hanwha.co.kr

분을 통하여 사거리를 연장시키고 유도탄의 종말속도를 향상시킨다. Fig. 1은 이와 같은 다중 펄스 로켓모타의 개념을 잘 나타내고 있다[2].

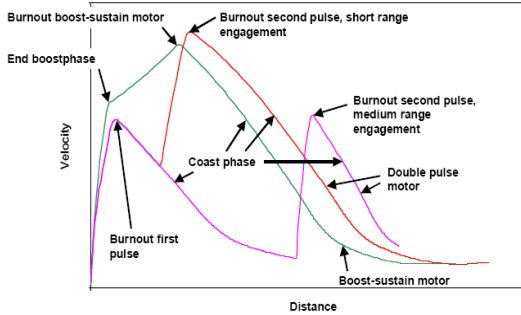


Fig. 1 Comparison of two hypervelocity missiles with boost-sustain motor and double-pulse motor

이중펄스로켓에서 1단 펄스모타가 연소될 경우 펄스분리장치에 의해 2단은 연소하지 않으며, 임의의 지연시간 후, 2단 펄스모타가 점화되면 펄스분리장치는 연소압력에 의해 개방되고 연소가스는 펄스분리장치와 1단 연소관을 통과하여 노즐로 배출된다. 본 연구에서는 격벽형 펄스분리장치의 성능을 검증하기 위하여 약 4초의 연소시간을 갖는 소형 추진기관을 설계, 제작하여 연소시험을 실시하였다. 시험결과 펄스분리장치의 목표성능을 확인하였으며, 향후 비행시험용 추진기관 설계 및 제작에 필요한 데이터를 확보하였다.

## 2. 추진기관 설계

### 2.1 설계 개요

소형 추진기관은 펄스분리장치의 성능을 충분히 검증할 수 있는 시험회수를 고려하여 비교적 단순하게 설계하였다. 1단 펄스모타와 2단 펄스모타의 크기는 거의 동일하며 중간에 펄스분리장치를 장착할 수 있는 인터페이스를 갖는다. 연소관 및 노즐 구조체는 여러 차례 반복하여 연소시험을 수행할 수 있도록 크롬 몰리브덴 합금강을 사용하여 제작하였고, 1단과 2단이 동시에 점화되어도 구조적으로 충분한 안전계수를 갖는

다. 노즐 잠입부 내열재 및 노즐목은 추진제의 특성과 내탄도 설계결과를 고려하여 각각 Carbon phenolic과 Graphite를 적용하였다. Fig. 2는 추진기관의 주요 부품과 전체 형상을 나타내며, 설계 제원 및 특성은 Table 1과 같다.

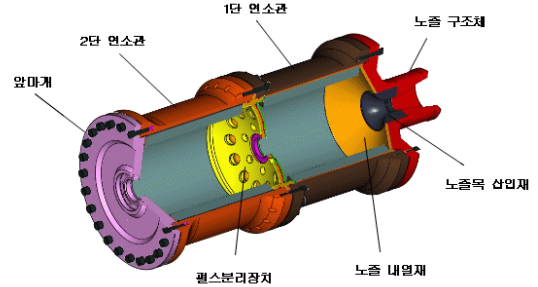


Fig. 2 Scheme of dual pulse solid rocket motor

Table 1. Design characteristics of solid rocket motor

구 분		1단	2단
총길이/최대직경(mm)		783 / 344	
총무게(kg)		130	
연소관	내경(mm)	274	274
	무게(kg)	31.3	33.2
	재질	SCM440	SCM440
노즐	목직경(mm)	34.7	
추진제	충전량(kg)	8.71	8.16
	내탄도	MEOP(PSIA)	1,554
연소시간(s)		1.46	2.60

점화기는 1단과 2단을 각각 독립적으로 점화시킬 수 있어야 한다. 이러한 다중점화기술은 다중펄스 로켓모타의 중요 핵심기술 중 하나이나, 본 연구에서는 다중점화시스템을 적용하지 않았다. 1단 펄스모타를 점화시키기 위한 점화기는 간이식 점화기를 사용하였고, 2단 펄스모타는 기존 개발된 점화기중 추진제의 특성과 연소관의 자유체적(Free Volume)을 고려하여 가장 적합한 것을 선택하여 적용하였다.

### 2.2 그레인 및 내탄도 설계

추진제 그레인은 적용 추진제의 특성과 요구되는 내탄도 성능, 그리고 제작공정 등을 고려하여 실린더 형상으로 설계하였다. 단별 연소에 따

른 펄스분리장치의 성능을 검증하기 위하여 1단 펄스모타와 2단 펄스모타의 추진제 조성은 서로 상이하다. 그레인의 웹 두께는 약 25mm이며 내탄도 성능은 전체적으로 일정한 압력을 유지하도록 그레인 형상을 설계하였다.

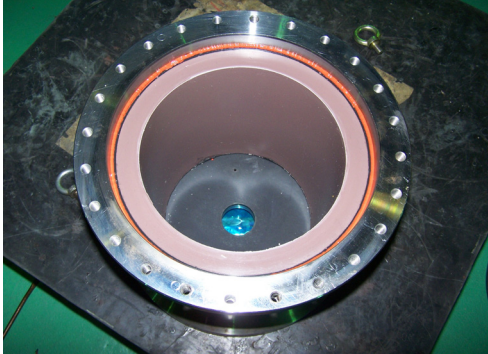


Fig. 3 Grain shape of 2nd pulse motor

Fig. 4는 추진기관의 예상 압력-시간 선도를 나타낸다. 1단 펄스모타는 펄스분리장치의 내압 성능을 검증하기 위하여 최대예상작동압력 (Maximum Expected Operating Pressure; MEOP) 수준으로 압력을 높이고, 2단 펄스모타는 펄스분리장치의 내열특성 및 삭마특성을 확인하기 위하여 상대적으로 압력을 낮추어 연소 시간을 길게 하였다.

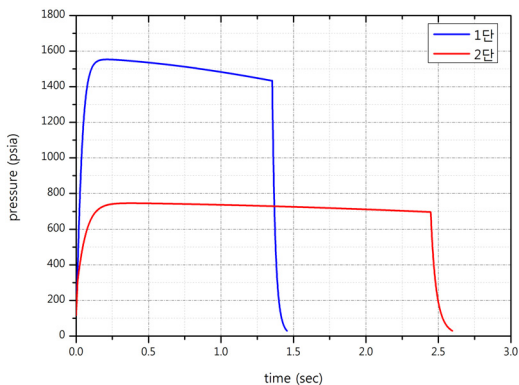


Fig. 4 Pressure-time curve of solid rocket motor

내탄도 설계에 따른 추진기관의 예상성능을 Table 2에 정리하여 나타내었다.

Table 2. Results of internal ballistics and performance

구 분	1단 모타	2단 모타
Total Burn Time(sec)	1.46	2.60
Specific Impulse(sec)	242.3	220.8
Avg. Thrust(lbf)	3,198	1,530
Max. Thrust(lbf)	3,535	1,651
Avg. Pressure(psia)	1,412	698
Max. Pressure(psia)	1,554	747

### 3. 시험 구성 및 제어 계측

#### 3.1 시험 구성

최초 실시한 지상연소시험은 펄스분리장치의 성능 검증과 더불어 추진기관의 설계 및 구조적 안전성을 확인하기 위하여 단별로 연소시험을 실시하였다. 1-1호기 시험은 1단 모타에는 추진제 충전체, 2단에는 빈 연소관을 결합하여 시험하였고 1-2호기 시험은 그와 반대로 구성하여 연소시험 하였다. 상세 시험 구성은 아래 Table 3.과 같다. 1-1호기와 1-2호기의 연소시험에 사용한 펄스분리장치는 동일하다.

Table 3. Motor test plan

모 타 번 호		1단	2단
1-1	XDPMS-1001-A	충전체	비충전체
1-2	XDPMS-1001-B	비충전체	충전체
2	XDPMS-1002	충전체	충전체

#### 3.2 제어 계측

펄스분리장치의 내압성능과 파열거동을 확인하기 위해서는 1단/2단 연소관의 내부 압력 계측이 매우 중요하다. 이를 위하여 펄스분리장치와 최대한 가까운 부분에서 압력을 측정하는 것이 이상적이나, 펄스분리장치의 구조와 추진제 그레인의 형상을 고려하여 1단 펄스모타의 연소관 후방부와 2단 펄스모타의 전방부에서 계측하였다. 데이터에 대한 신뢰성과 안전성을 확보하기 위하여 압력과 추력은 하나의 측정 포인트에 대하여 이중으로 계측하였고 모든 센서의 샘플링 레이트는 1kHz로 통일하였다. 측정 센서의 종류와 상세 측정 위치는 Table 4와 Fig. 5에 나타내었다.

Table 4. Definition of measurement channels and location

시험 No.	추력	압력		온도		
	TH1	P1_1	P2_1	T1_1	T2_1	
	TH2	P1_2	P2_2	T1_2	T2_2	
				T1_3	T2_3	
1-1	✓	✓	✓	✓		
1-2	✓	✓	✓	✓	✓	
2	✓	✓	✓	✓	✓	

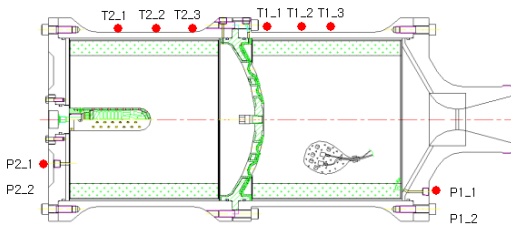


Fig. 5 Location of sensors

#### 4. 시험결과

##### 4.1 추진기관 성능

지상연소시험은 2개의 추진기관을 이용하여, Table 3의 계획에 의해 총 세 차례 실시하였다. Fig. 6은 시험대에 추진기관을 장착한 형상과 연소시험 장면을 나타낸다.

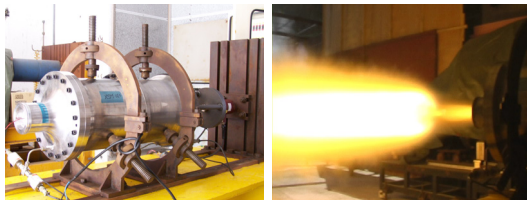


Fig. 6 Test stand and ground firing test

Fig. 7은 지상연소시험에 따른 1단 펄스모타의 내부압력을 나타내고 Fig. 8은 2단 펄스모타의 압력이다. 1호기 시험 후 노즐목에 대한 삭마량을 실측하여 내탄도 값을 재해석한 결과를 적용 하였다. 두 개의 그림을 비교해 보면 2단 펄스모타는 비교적 해석값과 실제 압력이 유사하게 나타나나 1단 펄스모타는

연소 종말에 차이가 발생한다. 이는 1단 펄스모타에 적용한 간이식 점화기가 그레이의 연소면적을 동시에 점화시키지 못하여 나타난 현상으로 추정된다.

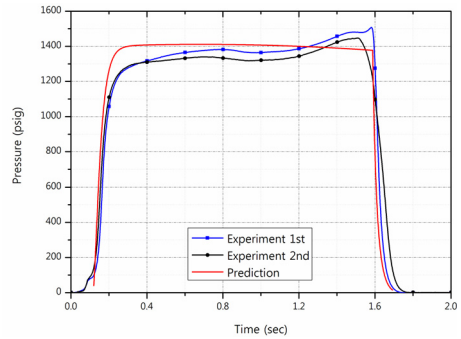


Fig. 7 Pressure curve of 1st pulse motor

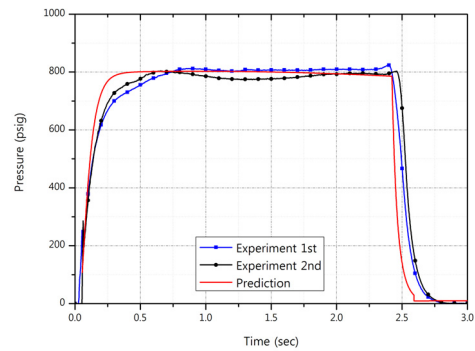


Fig. 8 Pressure curve of 2nd pulse motor

##### 4.2 펄스분리장치 파열거동

펄스분리장치의 정확한 파열거동 분석을 위해서는 파열 시점 부근에서의 1단 연소관의 압력과 추력 형상이 매우 중요하다. Fig. 9는 1-2호기 (XDPMS-1001-B)의 연소관 내부 초기압력을 상세하게 나타낸 것이다. 2단 펄스모타가 점화되어 펄스분리장치의 파열 시작 압력에 도달하면 펄스분리장치는 개방되기 시작한다. 이 때 연소가스는 펄스분리장치를 통과하여 1단 연소관으로 빠져나가며 2단 연소관 압력이 순간적으로 감소하였다가 다시 증가하고, 이러한 연소가스 유동에 따라 1단 연소관의 압력은 2단 연소관 압력과 평형을 이루는 시점까지 급격히 상승한다. 이 부근에서 연소가스는 노즐을 빠져나가게 되며 추력을 발생시킨다.

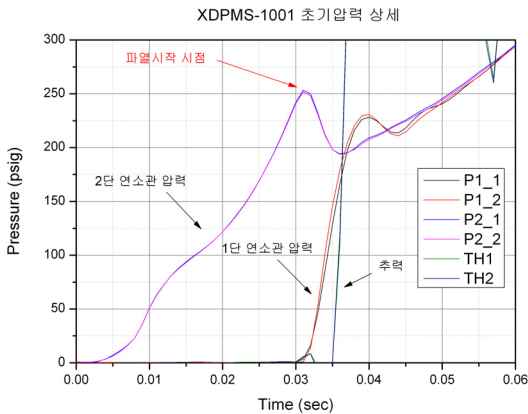


Fig. 9 Pressure and thrust curve of XDPMS-1001

1단 연소관 압력과 2단 연소관 압력이 같아지고 그 이후 일시적으로 1단 연소관 압력이 2단 연소관 압력보다 높아지는 것은 1단 연소관 후방에 있는 압력센서의 위치적 특성 및 펄스분리장치 파열에 따른 충격에 의한 영향으로 추정된다. Fig. 10은 1호기와 2호기의 2단 펄스모타 점화 시 2단 연소관의 초기 압력을 비교한 것이다.

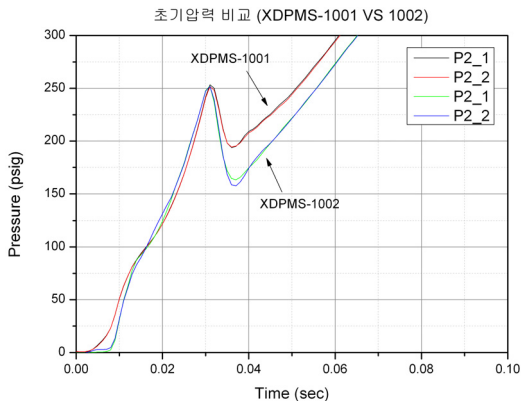


Fig. 10 Pressure comparison of 2nd pulse motors

시험결과를 비교해 보면 파열판 개방시작 시점과 그 때의 압력은 매우 유사하나 2호기의 압력강하가 더 크다. 이는 6조각으로 이루어진 펄스분리장치 파열판의 동시 파열성 및 일부 파열판의 파열 유무에 차이에 따른 것으로 판단된다. 동일한 형태의 펄스분리장치에 대한 공압 파열시험에서의 시험결과와 지상연소시험에서의 결

과값을 Table 5에서 비교하였다. 펄스분리장치의 개방압력은 공압시험과 연소시험 결과가 크게 다르지 않음을 확인할 수 있다. 개방시간이 차이나는 것은 단위 시간당 압력 상승율이 공압시험과 연소시험이 다르기 때문에 발생한다.

Table 5. Burst time and pressure of rupture disc

S/N	파열판		비고
	개방시간 (msec)	개방압력 (psig)	
PSDA-0915	19.20	236.40	공압 시험
PSDA-0916	18.96	230.69	
XDPMS-1001	31.00	253.42	연소 시험
XDPMS-1002	32.00	251.92	

## 5. 결 론

펄스분리장치의 성능을 검증하기 위하여 소형 추진기관을 설계, 제작하여 지상연소시험을 수행하였다. 시험결과는 Table 6과 같으며 펄스분리장치가 설계목표를 충족함을 확인하였다.

Table 6. Test results vs design requirement

구 분	파열판	
	개방시간	개방압력
설계목표	~ 40 msec	~ 330 psig
XDPMS-1001	31.00 msec	253.42 psig
XDPMS-1002	32.00 msec	251.92 psig

## 참 고 문 헌

1. 조원만, 김원훈, 장홍빈, 오종윤, 이방업, 이종원, "고체 추진기관의 격벽형 펄스분리장치 연구," 한국추진공학회 2009년도 춘계 학술대회 논문집, 2009, pp.187-190
2. K. W. Naumann, L. Stadler, P. Trouillot, A. Weigand, D. Zanelli, S. Schilling, "Double-pulse Solid Rocket Technology at BAYERN-CHEMIE/PROTAC", AIAA 2006-4761, 2006