

# 고체 추진기관의 격벽형 펄스분리장치 연구

조원만\* · 김원훈\* · 장홍빈\* · 오중윤\* · 이방업\* · 이종원\*\*

## Study on Pulse Separation Device of Bulkhead Type for Solid Rocket Motors

Won-Man Cho\* · Won-Hoon Kim\* · Hong-Been Chang\* · Jong-Yun Oh\* · Bang-Eop Lee\*  
Jong-Won Lee\*\*

### ABSTRACT

A multiple pulse rocket motor distributes the thrust energy more effectively compared to typical rocket motor as providing subsequent thrusts by the pulse motors of the missile. The pulse rocket motor is the advanced technology to improve an end game capability of the missile by increasing the range and final velocity. A pulse separation device is the core part of the pulse motor. The pulse separation device of bulkhead type was designed and developed. The elastic-plastic structural analysis of the bulkhead and rupture disc was conducted. Several air tests were also conducted to confirm the structural safety and acceptability about the design concept. Test results were compared with the analysis results, which showed reasonable agreements.

### 초 록

다중펄스 로켓모터 기술은 일회성 추력발생 방식을 다회성으로 펄스화하여 로켓모터의 보유 에너지를 효율적으로 배분함으로써 유도탄의 사거리 증가와 종말속도를 향상시키므로 기동성과 명중률을 크게 향상시킬 수 있는 첨단기술이다. 본 연구에서는 다중펄스 로켓모터에 적용되는 격벽형 펄스분리장치를 설계하고, 그 시제품을 개발하였다. 펄스 분리장치의 핵심 부품인 격벽과 파열판에 대한 탄·소성 구조 해석을 수행하였다. 제작된 시제품에 대한 구조적 안정성을 확인하기 위한 공압 시험을 실시하였다. 시험 결과를 해석과 비교 분석하였으며, 비교적 일치함을 확인 할 수 있었다.

Key Words: Bulkhead(격벽), Multiple Pulse Rocket Motor(다중펄스 로켓모터), Pulse Separation Device(펄스 분리장치), Rupture Disc(파열판), Solid Rocket Motor(고체 추진기관)

### 1. 서 론

다중펄스 로켓모터(또는 추진기관)는 통상적으로 적용되어온 일회성 추력 발생방식의 단순 추력 고체 로켓모터와는 달리 연소 중단과 재 점화가 가능한 추진기관 분야의 첨단 기술이다[1]. 다중펄스 로켓모터는 각 펄스 모터 단위로 추

\* 국방과학연구소, 1본부 6부  
연락처, E-mail: kimwonhoon@hanmail.net  
\*\* 화인 디스크(주)

진제를 충전하며, 펄스모타 사이에는 격벽(bulkhead)형 또는 격막(barrier)형의 펄스 분리장치(pulse separation device, 이하 PSD)가 설치되며, 각각의 펄스 모타에는 별도의 점화장치가 장착된다. 따라서 다중펄스 로켓모타는 주어진 공간에서 에너지 배분을 효율적으로 분배 할 수 있다. 즉, 각각의 펄스 모타는 사용되는 추진제 종류, 연소 속도, 그레이н 설계 및 노즐 목 직경 등에 따라 서로 상이한 추력 수준과 연소시간, 비추력 등의 성능을 발휘 할 수 있다[1,2].

본 연구에서는 이중펄스 로켓모타에 대한 개념설계를 수행하였으며, 격벽형 펄스 분리장치를 형상 설계한 후에 탄·소성 구조 해석을 수행하였다. 또한 그 시제품을 제작하여 공압 시험을 통해 구조적 안전성을 검증하였으며, 구조 해석 결과와 비교 검토 하였다.

## 2. 펄스 분리장치 설계 및 해석

### 2.1 이중펄스 고체 추진기관

Fig. 1은 본 연구에서 설계된 이중펄스 고체 추진기관의 개략도를 보여주고 있다. 설계된 주요 구성품은 추진기관의 전방에서부터 2단 펄스모타 점화기, 2단 펄스모타 충전체, 단일 격벽형의 펄스 분리장치, 1단 펄스모타 점화기, 1단 펄스모타 충전체, 토출관 및 노즐 조립체 등이다.

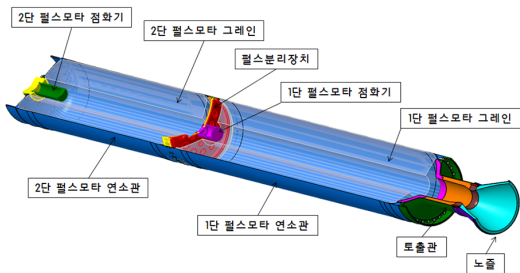


Fig. 1 Schematic Drawing of Dual Pulse Rocket Motor

### 2.2 펄스 분리장치 설계

펄스 분리장치는 격벽을 기준으로 전·후방 내열재와 파열판, 파열판 단열재 등으로 구성된다.

이 장치는 1단 펄스모타가 작동시에 매우 높은 압력(본 연구에서 설계압력: 13.7 MPa)에서 열·구조적으로 안전해야 하며, 구조 하중은 격벽(재료: Maraging 250 grade, 두께: 4mm)에서 지지된다. 2단 펄스 모타의 점화 및 작동시에는 비교적 저압 상태(본 연구에서 설계압력: 3.4 MPa 이하)에서 격벽에 설치된 구멍을 통해 연소 가스가 통과하여 파열판(재료: STS 316L, 두께: 0.635mm)은 쉽게 개방되도록 여러 형태의 홈(score 또는 slit 형태)을 십자형으로 설계하며, 홈의 끝 부위에는 키홀을 설치한다. 특히 격벽에 설치되는 구멍의 총 면적은 노즐면적의 약 2.1배 이상으로 크게 하여 노즐 목에서 확실한 초킹(choking) 조건이 되도록 설계해야 한다[1].

이상에서 설명한 펄스 분리장치의 각 부품도를 Fig. 2에 제시하였다.

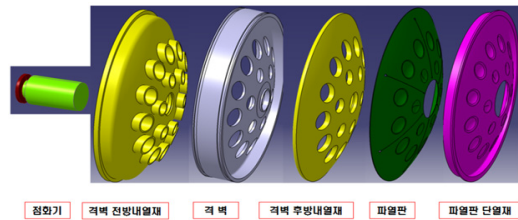


Fig. 2 CAD Drawings of Pulse Separation Device

### 2.3 펄스 분리장치 구조 해석

격벽과 파열판에 대한 구조해석을 수행하였다. Patran 2006코드를 사용하여 CATIA에서 설계한 부품을 모델링 하였으며, 구조해석 프로그램은 Marc 2006코드를 사용하여 3차원 비선형 탄·소성 해석을 수행하였다.

격벽에는 2단 펄스모타 작동시에 연소가스가 통과하는 큰 유동 구멍, 작은 유동구멍 및 파열판의 슬릿(slit)을 대칭적으로 대변하여 모사할 수 있도록 60° 단편(segment) 형태를 취하였고, 교대 대칭(cyclic symmetry)조건을 부여하여 구조 해석을 수행하였다.

변위 경계조건으로는 격벽 하부와 점화기 접촉면 및 파열판 상부는 반경방향으로 고정 하였다. 하중 경계조건으로는 압력을 작용부위에 13.7 MPa를 가하였다.

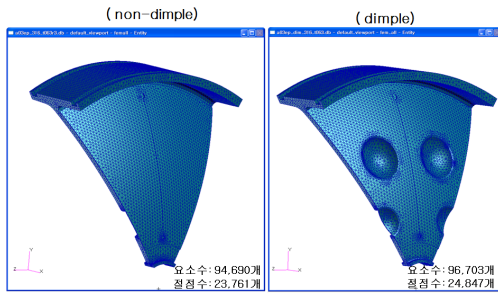


Fig. 3 Analysis Model with Non-dimple and Dimple

파열판은 딴플이 있는 경우와 없는 경우에 대한 해석을 수행하였다. 딴플이 있는 경우 그 깊이는 큰 구멍의 경우 6.5 mm, 작은 구멍의 경우 3.5 mm에 대하여 수행하였다. Fig. 3은 해석 모델의 형상을 제시하였다. 두 모델에 대한 해석 결과 중 소성 변형율에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Table 1은 두 모델의 격벽과 파열판에 대한 해석 결과이다.

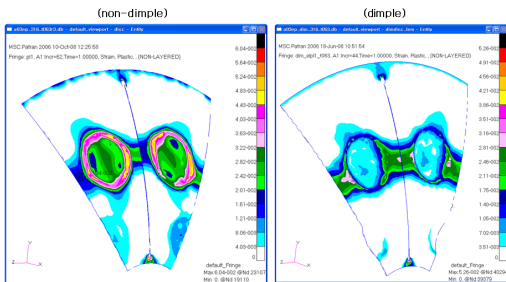


Fig. 4 Plastic Strain with Non-dimple and Dimple

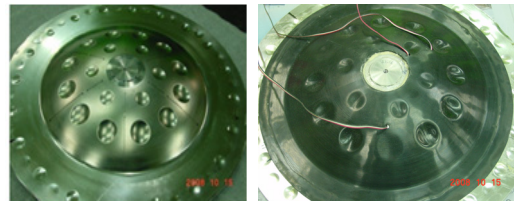
Table 1. Analysis Results for the Each Model

Parts & Result		Non-dimple	Dimple
Bulkhead	Max. Equiv. stress	Center hole (1,736 MPa)	Center hole (1,618 MPa)
	Max. displacement & strain	Center hole (1.82 mm, 0.15%)	Center hole (1.67mm, 0.148%)
Rupture disc	Max. Equiv. stress	Center hole (310 MPa)	Center hole (307 MPa)
	Max. plastic strain	Lower key-hole (5.24%)	Lower key-hole (3.51%)
	Max. displacement	Center hole (4.65 mm)	Center hole (2.02 mm)

### 3. 펄스분리장치 공압 시험

#### 3.1 1단 펄스 분리장치 공압 시험

펄스 분리장치의 시제품에 대한 사진은 Fig. 5 과 같다. 1단 펄스모타의 작동 압력에 대한 구조 안전성과 기밀 확인을 위해 펄스 분리장치는 우선 1단 펄스모타 작동 압력의 1.1배(15.1 MPa)에서 3분 동안 압력시험을 실시하였으며, 시험 결과 안전성과 기밀 성능을 확인 할 수 있었다.



(a) Before EPDM Rubber (b) After EPDM Rubber

Fig. 5 Pulse Separation Device

#### 3.2 2단 펄스 분리장치 공압 시험

2단 펄스모타 작동압력에서 파열판이 원활하게 작동되는지를 확인하기 위해 Fig. 6에 제시된 공압시험 장치를 사용하여 펄스분리장치의 파열 시험을 수행하였다. 시험 중에 시간에 따른 압력과 변형율을 측정하였으며, 시험 결과를 Fig. 7에 제시하였다. 파열판 개방시작 시간은 0.3~0.5 ms, 압력은 0.8~1.2 MPa, 완전 개방시간은 1.2~1.4 ms, 압력은 2~2.5 MPa로 측정되었으며, 작동 조건을 대체적으로 만족하였다. Fig. 8은 시험 후 파열판이 개방된 펄스분리장치를 보여주고 있다.

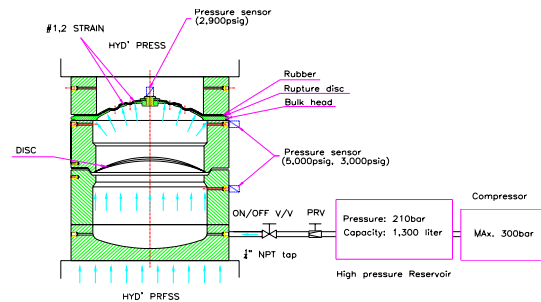


Fig. 6 Air Pressure Equipment for Test of PSD

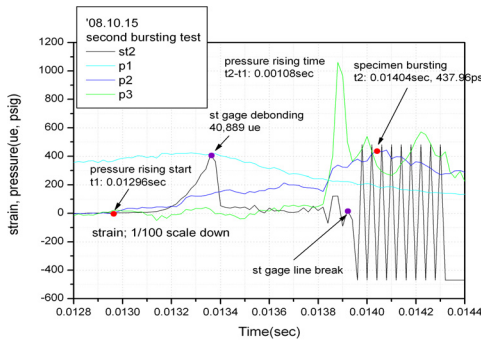


Fig. 7 Test Results of 2nd PSD



Fig. 8 Rupture Test Result

#### 4. 시험결과 분석

##### 4.1 구조해석과 시험결과 분석

파열판 덤플부의 대변형 성형과정에서 변형율을 측정하였으며, 탄소성 해석결과와 Table 2에 비교하였다. 측정 결과치가 해석 결과에 비해 다소 작은 값을 보이고 있는데 그 이유는 실제 물성과의 차이와 심한 접촉 비선형 특성 때문으로 판단된다.

Table 2. Comparison for Test and Static Analysis

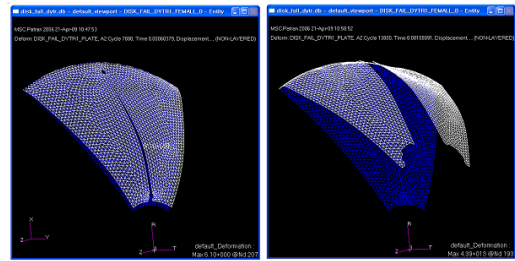
Pressure(Mpa)	Experiment(%)	Analysis(%)	Error(%)
15.9	3.0±0.2	3.2	6.2
22.6	5.4±0.2	5.9	8.4

2단 펄스모타 압력 시험시에 파열판의 하부 자유단의 파열거동 분석을 위해 Dytran explicit code에 의한 동적 해석치와 실험치의 비교를 Table 3에 제시하였다.

Table 3. Comparison for Test and Dynamic Analysis

Experiment				Analysis	
Opening start(ms)	Pressure (Mpa)	Full opening(ms)	Pressure (Mpa)	Opening start(ms)	Pressure (Mpa)
0.3~0.5	0.8~1.2	1.2~1.4	2~2.5	0.6	0.9

Fig. 9는 파열판의 파열기준을 최대 소성변형율을 적용하여 해석한 파열거동을 보여주고 있으며, 실험치와는 다소 차이를 보이고 있다.



(a) 0.6ms

(b) 1.1ms

Fig. 9 Rupture Behavior Result

#### 5. 결 론

다중펄스 로켓모타에 적용되는 격벽형 펄스분리장치를 설계하고, 그 시제품을 개발하였다. 펄스 분리장치의 핵심 부품인 격벽과 파열판에 대한 탄·소성 구조 해석을 수행하였다. 제작된 시제품에 대한 구조적 안정성을 확인하기 위한 공압 시험을 실시하였다. 시험 결과를 해석과 비교 분석하였으며, 비교적 일치함을 확인 할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. J.A. Kong and etc., "Multimission Propulsion Technology-Advanced Technology Demonstration (MMPT-ATD) Final Program Summary of Test Results and Conclusions", CPIA Pub. 630 (Vol. III), Oct., 1995.
2. 이방업, 조원만 "미사일의 성능향상을 위한 다중펄스 로켓모타 소요기술 분석", 국방기술연구지, 국방과학연구소, 5월, 2005.