

# 파이로밸브 debris 개선에 관한 연구

강원규\* · 현형수\*\* · 김진환\*\*\*

## The Study on reducing Pyrovalve-debris

Wonkyu Kang\* · Hyungsoo Hyun\*\* · Jinhwan Kim\*\*\*

### ABSTRACT

In this study, we described the Pyrovalve used in the propulsion system. It is very important to reduce Pyrovalve-debris as far as possible because Pyrovalve is a pyrotechnic device for controlling fuel and air line of propulsion system. So we focused on redesigning to reduce debris through several analyses and tests.

### 초 록

본 논문에서는 화약작동식 밸브 개발에 관해 전반적으로 설명하였다. 화약작동식 밸브는 추진기관의 연료와 공기를 조절하는 파이로장치이므로 파편을 줄이는게 무엇보다도 중요하다. 그러므로, 해석과 성능시험을 통해 파편을 줄이기 위한 재설계에 역점을 두었다.

Key Words: Pyrovalve(파이로밸브), Pyrotechnic Device(파이로장치), Propulsion System(추진기관), debris(파편), Reliability(신뢰성)

### 1. 서 론

군수분야 및 우주항공 분야는 극한 환경조건에서의 운용이 필수적이므로 적용 구성품의 성능 달성을 위한 설계 고려사항은 상상을 초월한다고 볼 수 있다. 특히 외계로 발사된 무인 우주선의 경우 자세제어를 위한 하이드라진 등의 폭발성이 강한 연료를 사용하는 소형 추력기를 우주선의 외부에 각 방향으로 설치하여 각 방향으

로의 미세한 제어를 수행하게 된다. 이러한 추력기는 위험한 작동유체를 연료로 사용하여 추력을 얻는 일종의 가스발생기로서 지상에서 발사하여 자세가 필요한 시점까지는 전혀 누설이 없어야하는 정상시에는 단혀있는 정상 단협형 밸브가 필요하게 된다. 우주선이 예정된 위치에 도달하여 자세제어에 필요한 추력기의 작동이 필요한 경우 주 연료 탱크에 보관된 연료/산화제의 유로를 열기 위해서는 작동명령에 따라 신속하게 구동되는 밸브가 필요하게 된다. 또한 이러한 우주선에는 장착공간의 협소 등으로 작동에 필요한 에너지원으로 사용할 장치로 선택 가능한 것은 화약을 이용한 소형의 압력카트리지가

\* 한화 종합연구소

\*\* 국방과학연구소

\*\*\* (주)대아테크

† 교신저자, E-mail: wkkang@hanwha.co.kr

최적이라고 판단된다. 이와같이 화약장치를 이용한 밸브를 화약작동식 밸브라 하며 우주 항공분야 및 군사용 미사일의 연료 및 공기라인의 개폐에 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 설계 및 작동 성능시험을 통해 화약작동식 밸브의 debris 저감을 통한 신뢰도를 증가시키는 사항을 중점 검토하였다.

## 2. 설 계

화약작동식 밸브는 Fig. 1에서 보는바와 같이 압력카트리지에 전기적 신호가 인가되어 기폭되고 고압의 가스가 발생하여 피스톤이 하강하면서 그 기능을 수행하게 된다. 밸브의 고유기능인 유로의 개폐는 화약장치인 압력카트리지를 사용하기 때문에 몸체내의 높은 압력에 견딜 수 있는 기밀성과 구조적 설계 여유율 확보 등에 대한 검토가 요구된다.

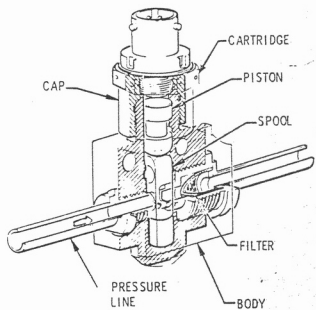


Fig. 1 Operational mechanism of Pyrovalve

### 2.1 몸체 설계

화약작동식 밸브의 몸체는 작동유체 및 고압의 압력카트리지 가스에 대한 기밀을 유지해야 한다. 그러므로, 피스톤의 하강으로 인해 니플이 파단되고 피스톤이 몸체내부에 고정되도록 테이퍼를 두었다. 재질은 부식방지를 위해 Stainless Steel을 사용하였으며, 인장강도는 55kgf/mm<sup>2</sup>이상으로 설계하였다.

### 2.2 피스톤 설계

피스톤은 화약작동식 밸브 핵심부품중의 하나

로 연소실에 형성된 고온 고압의 연소가스에 의한 니플의 파단하중을 전달하기 위한 강도를 갖고 있어야 하며 압력카트리지의 작동에 의한 압력에 대하여 실린더 벽면과의 완벽한 기밀유지가 필수적이다. 이를 위하여 피스톤의 움직임고려하여 오링의 파손을 최대한 예방하고 기밀을 유지하도록 설계하였다. 또한, 피스톤은 구조적 강성을 유지하여야 하므로 고강도의 니플과 유사한 강도 및 경도를 갖도록 설계하였다. 또한 피스톤에 세레이션을 설계하여 유로확보후 몸체의 테이퍼 부위에 박혀 기밀을 유지하고, 작동유체 압력에 의해 후출되지 않도록 하였다.

### 2.3 니플 설계

니플 재질의 선정은 파단시 파편발생 여부 및 충격하중에 의한 적정의 파단하중의 결정, 반응성을 고려하여야 하며 압력카트리지의 순간적인 압력상승에 의하여 발생한 하중에 의하여 신속하게 절단되도록 피스톤에 의한 파단 부위에 응력집중을 고려한 적절한 노치를 설계하였다.

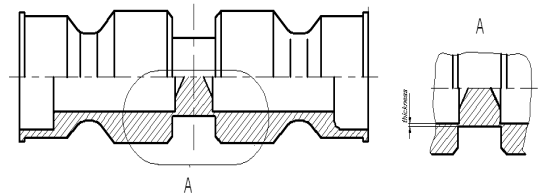


Fig. 2 Scheme of Nipple

니플의 파단부위는 노치에 의한 응력집중 효과가 크고 화약의 폭발에 의한 압력카트리지의 압력형성은 수 msec 범위 내에서 이루어지므로 일반적으로 수행되는 재료의 인장시험으로는 파손강도를 측정하기 어렵다. 그래서 낙하 추의 속도를 변화시켜 화약거동에 근접하도록 충격시험기를 이용하여 니플에 대한 파단현상을 예측하였다.

## 3. Debris 개선시험

화약작동식 밸브는 니플의 유로확보가 가장 중요한 요인이고, 밸브 작동시 작동유체에 이물

질이 포함되어서는 않된다. 본 연구에서는 유로 확보에 따른 파편(debris)을 최대한 줄이는 것을 목적으로 진행하였다. 피스톤은 압력카트리지의 고압에 의한 거동, 니플과단과 유로확보의 역할을 수행하기 때문에 몸체와 니플에 비해 보다 강성이 높은 재질을 선정하였다.

### 3.1 Debris 저감 설계

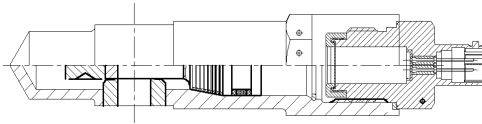


Fig. 3 1st Scheme of Pyrovalve

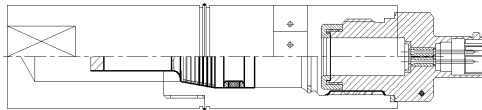


Fig. 4 2nd Scheme of Pyrovalve

파이로밸브의 debris는 피스톤에 있는 세레이션이 몸체의 테이퍼 부위와 맞닿으면서 발생하는 것으로 판단하고, 우선 피스톤을 개선하는 쪽으로 설계를 진행하였다. Fig. 3은 피스톤의 세레이션 부위중 몸체와 처음으로 맞닿는 부위를 직선화하여 설계하였다 Fig. 4은 몸체를 2부분으로 나누고 그 사이에 필터 기능을 할수 있는 링을 설치하였다. 또한, 피스톤의 초기위치를 확보하기 위한 스냅링과 압력카트리지의 고온, 고압의 가스를 기밀시키기 위해 오링과 백업링을 끼울 수 있도록 설계하였다.

### 3.2 성능시험

성능시험시에는 debris를 확인하기 위해 작동유체를 적용하지 않았으며, 압력카트리지의 위력이 크면 클수록 debris의 양이 증가하기 때문에 일정한 위력의 압력카트리지를 사용하였으며, 시험후 시료 종류별로 구분하여 투명한 비닐용기에 debris를 모아 크기와 수량을 정량적으로 확인하였다.



Fig. 5 Test

### 3.3 시험결과

파이로밸브 성능시험은 우선적으로 유로가 확보되었는지 확인해야 하며, 또한 작동유체에 기타 물질이 포함되지 않았는지 debris 발생을 확인해야 한다.



Fig. 6 Test Result

성능시험 결과 Fig. 6에서 보는바와 같이 유로가 확보되는 것을 확인하였으며, 피스톤이 몸체의 테이퍼 부위에 제대로 박혀 기밀을 유지하고 작동유체의 압력에 의해 후출되는지를 확인해야 한다. 후출압력은 최대 30,000psi까지 가하여 후출 및 기밀여부를 확인하였다.



Fig. 7 debris

debris는 초기 설계에 비해 크기 및 수량이 상당히 감소하였으며, 작동성도 양호한 것으로 확인되었다. debris의 발생위치별 수량을 확인하였기 때문에 재질 및 설계 변경에 대한 성능시험을 수행할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 작동유체에 대한 완벽한 밀폐와 니플 파단이 확실하게 일어나도록 설계를 수행하였고, 피스톤 작동시 발생할수 있는 debris의 크기와 수량을 저감시킬수 있도록 제작, 시험을 수행하였다. 또한, 압력카트리지 위력 대비 작동성을 확인하였고, 작동유체 압력대비 여유 압력을 적용하여 신뢰성을 확보하였다. 성능시험 결과 debris는 피스톤의 세레이션이 몸체 안쪽 경사부와 맞닿으면서 주로 발생하였고, 니플 파단부에서도 발생하였다. 니플 파단부의 면 상태에 따라 debris의 발생정도를 제어할수 있을 것으로 판단된다.

추후에는 니플 재질 및 파단부위 보완설계를 진행하여 debris를 원칙적으로 없애기 위한 과제를 수행할 것이며, 각종 시험 및 해석을 통해 벨브의 신뢰성을 증가시킬 계획이다.

#### 참 고 문 헌

1. Karl O. Brauer, "Handbook of Pyrotechnics" Chemical Publishing Co.Inc.,1974
2. Joseph D. Kutschka," Pyrotechnically Actuated Mechanism Performance Prediction and Test Correlation", AIAA-2000-3513, 2000
3. 차홍석,장석태,최창선, "통계적 기법에 의한 파이프벨브 신뢰도 분석", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2006, pp.913-915
4. 김동진,강원규,"고압을 이용한 분리볼트 설계에 관한 연구", 우주발사체 심포지움, 2005