

우주발사체 및 미사일 시스템에 이용되는 파이로테크닉 분리장치의 특성에 관한 연구

이용조* · 김동진**

The Study of the Characteristic of Pyrotechnic Separation Devices Using Missile System and Space Craft

YeungJo Lee* · Dongjin Kim**

ABSTRACT

Separation Devices have two functions. These two functions are to bond and to separate two bodies. This paper is about separation devices which use explosives to separate their bodies. Explosive bolt is separated with two bodies when the explosives in the body detonated. The good things of explosive bolt are that it has simple operational system and it is made of few parts. But it has side effects; fragment and pyro-shock. To avoid these side effects gas expansion separation(GES) bolt and pressure cartridge actuation separation(PAS) devices are invented. These use pressure to separate their bodies. The pressure is generated when explosives are burned. But the sizes of PAS devices are bigger than explosive bolts. And GES bolt has a mechanically lower bonding ability than that of explosive bolt. When you design separation devices, it is recommended to know operational system and characteristics of separation devices, to design best one.

초 록

분리장치란 두개의 구조물을 결합하고 필요에 의해 분리할 수 있는 기능을 가진 장치이다. 본 논문은 이와 같은 기능을 화약의 폭발 및 연소시 발생하는 에너지를 이용하여 수행하는 파이로테크닉 수에 관한 것이다. 화약의 폭발력에 의해 분리가 이루어지는 분리장치로는 폭발볼트가 있다. 폭발볼트의 경우 작동 개념이 단순하고 또한 구성 부품의 수가 적기 때문에 신뢰성 면에서 뛰어나지만 분리시 파편 및 파이로 충격을 동반하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위하여 개발된 것이 가스팽창분리 볼트와 압력카트리지 작동분리장치이다. 이들 장치는 화약의 연소시 발생하는 압력을 이용하기 때문에 분리시 폭발볼트와 같은 악작용은 없지만 폭발볼트에 비해 사이즈가 대형이거나 기계적 결합강도가 작다는 단점이 있다. 따라서 위에 언급된 분리장치들의 작동 원리 및 특성을 이해함으로써 분리장치 설계시 최적의 사양을 선택하는 것이 가능하다.

Key Words: Separation Devices(분리장치), Pyro-shock(파이로 충격), Gas Expansion Separation Bolt(가스팽창분리 볼트), Pressure-cartridge Actuation Separation Devices(압력카트리 지 작동분리장치)

1. 서 론

분리장치는 추진기관을 이용하거나 발사관에서 발사되는 각종 유도무기에 사용되고 있다. 용도는 추진기관을 이용하는 유도무기 경우 추력이 소모된 추진기관의 단을 분리하거나 액체 추진기관을 사용하는 유도무기의 경우 액체 추진기관이 작동하기 위한 일정 속도를 얻기 위하여 사용하는 부스터를 분리하기 위하여 사용된다. 발사관에서 발사되는 유도무기의 경우 발사관과 유도무기의 결합시키고 발사시 분리기능을 수행한다[1]. 이처럼 분리장치는 두개의 물체를 서로 결합시킨 후 특정상황에서 다시 분리시킬 수 있는 능력을 갖는 장치를 말한다. 따라서 두 물체를 결합시키기 위한 구조 및 기계적 강도를 갖추어야 하며 또한 분리가 요구되는 상황에서 분리가 일어날 수 있도록 상당히 높은 신뢰성도 가져야 한다. 보통 두 물체를 결합시키기 위한 구조로써 볼트타입이 많이 적용되고 있으며 결합을 유지할 수 있는 기계적 강도와 분리되는 구조물의 특성에 따라서 분리장치를 선택한다. 본 논문에서 소개할 분리장치는 화약의 폭발력을 이용하는 폭발볼트[2]와 화약의 연소시 발생하는 압력을 이용하는 GES볼트[1]와 PAS Devices[3]이다. PAS Devices에는 Pyro-bolt[3], Pyro-pusher[3], Ball type Bolt[1]등이 있다.

2. 형상 및 특성

2.1 폭발볼트

Figure 1는 단분리, 부스터분리 및 탄고정용으로 현재 각종 유도무기에 사용되는 폭발볼트의 형상이다. 폭발볼트의 7/16~15/16 inch의 다양한 직경을 가지며 최대 15 ton의 인장하중에도 견디게 설계되었다. 작동방법은 전기식과 비전기식으로 나누며 전기식일 경우 작동 전류는 3.5~5

Amps이며 고전압 일 경우 2000 volt 이다. 분리시간은 300 μ s~5 seconds로 다양하다. 설계인자로써는 볼트몸체형상, 볼트몸체 재질, 화약량, 기폭장치 및 구속환경이다. 하지만 폭발볼트는 위에서 언급되었듯이 화약의 폭발력에 의해 분리가 일어나기 때문에 분리시 볼트에서 발생하는 파편 및 폭발충격(Pyro-shock)이라는 악작용을 동반한다. 파편의 경우 분리시 주위 구조물에 대한 손상 및 파괴를 유발하며 폭발충격은 첨단 장비들의 고장 및 오작동의 원인이 되기도 한다. 따라서 폭발볼트를 분리장치로 사용하기 위해선 위와 같은 악작용이 발생하여도 주위 구조물에 영향을 주지 않게 설계하여야 한다. 모서리 분리형 폭발볼트의 경우는 폭발볼트의 이와 같은 단점을 보완하여 개발되었으며 파편 및 폭발충격에 대한 악작용이 기존의 볼트에 비해 현저히 낮다.

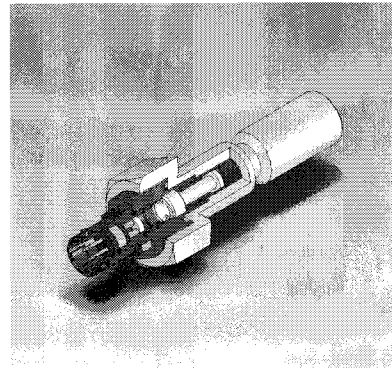


Fig. 1 The shape of explosive bolt

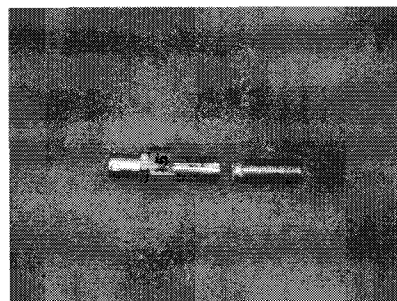


Fig. 2 The shape of explosive bolt after separation test

* 국방과학연구소 기술-47

** (주)한화 종합연구소 화약실

연락처 E-mail: yeungjolee@nate.com

22 GES 볼트

Figure 2는 GES 볼트의 형상이다. GES볼트는 기존 폭발볼트와 외형은 유사하지만 작동원리는 새로운 개념을 도입하였다. 즉 압력카트리지에서 발생한 압력을 볼트 분리의 원동력으로 사용하기 때문에 분리 후 폭발볼트와 같은 파편 및 폭발충격의 악작용이 발생하지 않는다. 하지만 폭발볼트에 비해 기계적 결합강도가 상대적으로 낮다. 현재 개발 완료되어 체계에 적용되고 있는 GES 볼트의 최대 인장하중 값은 1 ton이다. GES 볼트의 경우 볼트내부에 비활성 유체를 충전하는데 이는 볼트내부의 면적을 줄이므로써 압력카트리지에서 발생한 압력을 최대화하기 위함이다. GES 볼트에 사용되는 비활성 유체는 $-40^{\circ}\text{C}\sim+60^{\circ}\text{C}$ 의 작동 온도를 갖는다. GES 볼트의 설계인자로는 볼트 재질, 예정절단면의 단면적, 내부 충전물의 양 및 압력카트리지의 압력이다. 현재 국내에서 개발된 압력카트리지의 최대 내압은 15000 psi 이다.

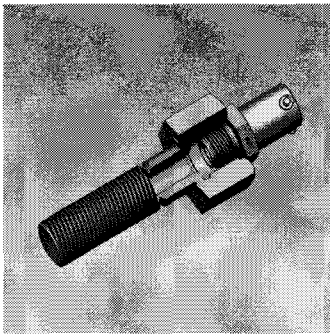


Fig. 3 The shape of GES bolt

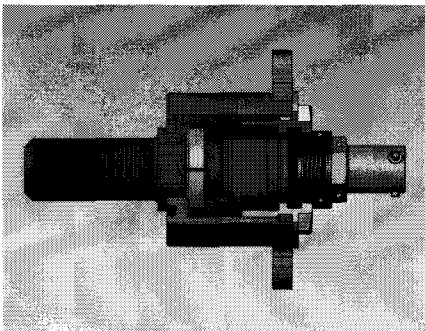


Fig. 4 The shape of Pyro-bolt

23 PAS Devices

2.3.1 Pyro-bolt

Figure 4는 Pyro-bolt의 형상이다. Pyro-bolt는 폭발볼트와 GES 볼트가 단점을 보완하여 새롭게 개발된 품목이다. Pyro-bolt는 GES 볼트와 동일하게 압력카트리지에서 발생하는 압력을 분리의 원동력으로 사용하기 때문에 폭발볼트와 같이 분리시 파편 및 폭발충격의 악작용이 발생하지 않는다. 또한 GES 볼트보다 기계적 결합강도도 월등히 높아 폭발볼트와 대등하다. 하지만 그림에서 볼 수 있듯이 폭발볼트와 GES 볼트에 비해 사이즈가 대형이며 또한 구성 부속품이 많고 작동 메카니즘 또한 복잡하다.

작동원리는 압력카트리지에서 발생된 압력이 Pyro-bolt의 내부 하우징을 뒤로 후출 시키면 이때 발생된 공간에 볼트를 구속하고 있던 부품(split)이 빠지면서 분리가 일어난다. 설계시 split과 내부, 외부 하우징 그리고 볼트의 응력분포를 해석하여야 한다. 현재 체계에 적용되는 Pyro-bolt가 견디는 인장하중은 8 ton이다.

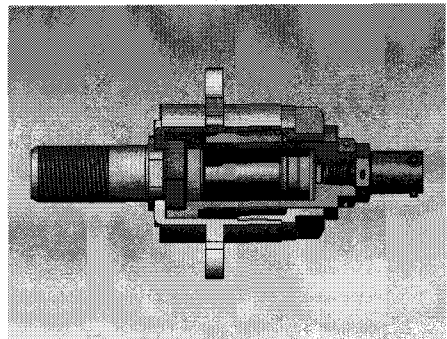


Fig. 5 The shape of Pyro-pusher

2.3.2 Pyro-pusher

Figure 5는 Pyro-pusher의 형상이다. Pyro-pusher는 Pyro-bolt와 동일한 기능을 수행하면서 pusher의 기능이 추가된 제품이다. pusher의 기능은 분리되는 두개의 구조물이 동일 속도로 비행중일 경우 선행하는 구조물이 공기의 저항을 더 받는 구조로 되어있을 경우 분리된 후행하는 구조물이 선행구조물을 충격할 위험이 있을 경우 사용한다. 즉 분리시 푸셔 기

능에 의해 분리되는 후행 구조물을 밀어주는 기능을 갖고 있다.

2.3.3 Ball type bolt

Figure 6은 Ball type bolt의 형상이다. Ball type bolt는 그림에서 보듯이 강구에 의해 몸체와 분리되는 볼트부분이 결합되어 있다. Ball type bolt를 분리시키는 원동력은 압력카트리지에서 발생하는 압력이다. 따라서 분리시 파편 및 Pyro-shock의 악작용은 발생하지 않는다. Ball type bolt의 개발배경은 폭발볼트와 동일한 기계적 결합강도를 갖추면서 작동이 간단하고 분리시 폭발볼트와 같은 악작용이 발생하지 않도록 하는 것이었다. Ball type bolt의 경우 Pyro-bolt에 비해 작동 메카니즘이 단순하며 size 또한 작다. 현재 최대인장하중 8ton을 견디는 Ball type bolt를 개발 중이며 향후 폭발볼트와 Pyro-bolt, GES 볼트와의 상호 보완을 위하여 다양한 size 및 형상으로 개발을 추진할 예정이다.

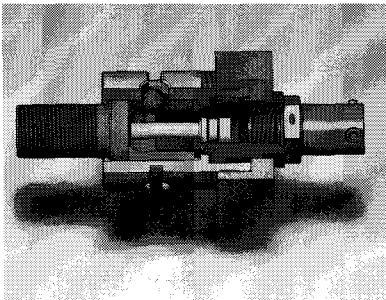


Fig. 6 The shape of Ball type bolt

3. 결 론

국내에서 화약을 이용한 Separation Devices는 다양하게 개발되어 왔다. 1990년대부터 개념설계 수준으로 시작된 폭발볼트에서 현재는 다양한

작동 메카니즘을 갖는 분리장치로의 개발이 가능하게 되었다. 다년간의 연구개발에서 축적된 기술 및 노하우를 바탕으로 분리장치가 요구되는 시스템에 가장 적합한 분리장치의 추천 및 제작이 가능하다. 폭발볼트의 경우 초기 제품은 화약의 폭발력에 의해 발생된 힘에 의해 볼트몸체가 찢어지는 메카니즘으로 분리가 이루어졌지만 최근에 개발된 폭발볼트는 충격파이론에 의거 볼트몸체를 설계하였고 재질을 선택하였다. 또한 software simulation을 통하여 파단형상을 예측하는 기법을 구현하였다. 이처럼 분리장치를 설계하기 위해선 압력카트리지 설계기술과 함께 금속에 대한 특징 및 열처리 기술, 압력카트리지를 이용하여 내부 구조물을 작동시키기 위한 기계 구동원리, 응력 분포 및 집중에 대한 해석, 제품 분리 후 해석 능력을 함께 갖추어야 한다. 이와 같은 설계 기술로 만들어진 분리장치에는 폭발볼트, GES 볼트, Pyro-bolt, Pyro-pusher, Ball type bolt가 있다. 각각의 분리장치는 독특한 특성을 갖고 있으며 본 논문은 이들 분리장치의 특성을 알리고 설명함으로써 분리장치 설계시 선택의 폭을 넓혀 실무 엔지니어들의 업무에 도움이 되도록 하는 것이다.

참 고 문 헌

1. 이용조, 김동진, 강원규, "볼타입볼트 개발", 제27회 한국추진공학회 추계학술대회논문집, 2006, pp. 243-246
2. 이용조, 김동진, "해석 프로시저를 이용한 리치컷형 폭발볼트 분리기구 해석", 한국추진공학회지, 제8권 2호, 2004, pp. 102-104
3. 이용조, 파이로볼트 연구 개발보고서, TRDC-519-060008, 2006. 1