

# 파이로테크닉을 이용한 분리장치 개발

강원규\* · 김동진\* · 이정복\* · 김선환\*

## Development for Release Device using Pyrotechnics

Wonkyu Kang\* · Dongjin Kim\* · Jungbok Lee\* · Sunhwan Kim\*

### ABSTRACT

In this study, 3D Design and the Structural Analysis using FEM are conducted for developing the Release Devices. On these bases the prototype devices are made and the reliability has been improved through many enviromental tests.

### 초 록

본 논문에서는 분리장치 개발을 위해 3D 형상설계 및 유소요소법을 이용한 구조해석을 수행하였다. 이를 기반으로 시제품을 제작하였으며, 여러 환경시험을 수행하여 신뢰도를 향상시켰다.

Key Words: Release Device(분리장치), FEM(유한요소법), Pyrotechnics(파이로테크닉), environmental test (환경시험)

### 1. 서 론

화약의 폭발력을 이용한 파이로테크닉 장치들은 군사분야 뿐만아니라, 우주항공 분야에서 여러 용도로 사용되어 지고 있다. 그중 분리장치는 방출 또는 분리기능이 요구되는 미사일, 항공기, 우주 발사체, 수중 수송 시스템에서 발사작동, 단분리, 외부탱부 방출, 추력이 소멸된 로켓분리 등 여러분야에 적용되고 있다. 이와같은 기능을 수행하기 위하여 분리장치에 요구되는 조건은 두 구조물을 결합하는데 필요한 강도와 사용환경에서 받게되는 충격이나 진동 등에 대한 내구

성을 갖추면서 분리기능이 요구되는 상황에서는 반드시 분리되는 높은 신뢰성을 가져야 한다. 하지만 분리시 발생하는 파편 및 Pyro-shock의 제어가 이루어지지 않을 경우 적용분야는 극히 제한될 수 밖에 없다. 분리장치 설계시 이와 같은 문제점을 해결하기 위해선 설계인자의 최적화가 무엇보다도 중요하다. 분리장치 설계인자는 기폭장치, 분리장치 모양 및 구속환경 등이다. 이들 설계인자는 상호 유기적으로 영향을 미치기 때문에 각각의 인자별 최적화보다는 총체적인 최적화가 바람직하다.

본 논문에서는 적용 분야에 따른 분리장치들의 설계, 해석, 제작, 시험, 평가 등에 대해 정리하였고, 각종 조건에 대해 정상적으로 작동함을 검증하였다.

\* (주)한화 종합연구소  
연락처, E-mail: wkkang@hanwha.co.kr

## 2. 분리장치 소개

분리장치는 그 용도에 따라 수십종에 이르는 데 주로 폭발볼트, 가스팽창형 분리 볼트, 파이로볼트, 파이로푸셔, 파이로커터 등으로 구분된다. 그동안 상대적으로 신뢰성이 우수한 폭발볼트 사용이 주를 이뤘으나, 최근들어 탑재 전자장비의 손상을 우려하여 상대적으로 Pyro-Shock 발생이 적은 분리장치 개발에 심혈을 쏟고 있다. 대표적으로 파이로볼트, 파이로푸셔, 가스팽창형 분리볼트 등을 그 예로 들 수 있다. 또한, 파이로 테크닉을 이용하지 않고 단지 형상기억합금을 이용한 분리장치 개발도 진행되고 있다.

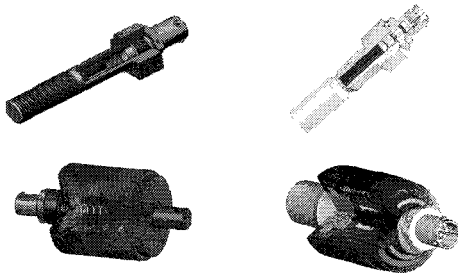


Fig 1. Scheme of Bolts

우주항공 분야에서는 인공위성을 발사체로부터 분리시켜주는 파이로커터가 대표적이라 할 수 있다. 클램프 밴드 양 끝단을 인장볼트로 구속하여 하중을 지지하고 위성 분리시에 파이로커터를 이용하여 인장볼트를 절단하는 방식이다.

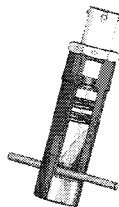
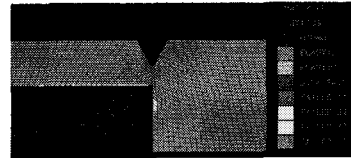


Fig 2. Scheme of PyroCutter

## 3. 설계 및 해석

분리장치 설계시 고려해야 할 인자는 사용목

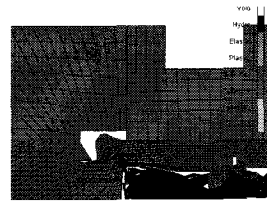
적, 위치, 절단에 필요한 힘의 크기, 재질, 절단 부위 형상 등에 따라 결정된다. 우선 볼트류는 파단강도, 노치형상, 노치와 볼트내부 홈 깊이의 관계를 고려하였다. 분리후의 파편형성과 절단면 형상을 고려하여 스테인레스 소재를 적용하여 설계를 수행하였다. 노치형상은 라운드형과 썸기형으로 설계를 하고 각각에 대해 구조해석을 수행함으로써 응력집중도를 판단하였다.



(a) ridgecut type



(b) round type



(c) general type

Fig 3. Analysis results

그림3은 라운드형과 썸기형에 대해 파괴거동 S/W인 AUTODYN을 이용하여 해석을 수행한 결과이다. 라운드형은 단면이 상대적으로 넓어 응력의 집중도가 다소 떨어지는 반면 썸기형은 응력이 예정 분리면을 따라 집중되고, 절단면 또한 양호하다.

위성분리 장치인 파이로커터의 경우 압력카드리지에서 생성되는 고압의 가스가 블레이드(blade)를 구동시키고, 앤빌(anvil)까지 하강하여 인장볼트를 절단하게 된다. 인장볼트의 직경결정이 압력카드리지 종류와 인장볼트 강도를 좌우하므로, 장착부위의 하중을 고려한 응력계산에 의해  $\varnothing 3.5\text{mm} \sim \varnothing 4.0\text{mm}$ 의 Cu-Be 소재를 적용하기로 하였다.

### 3. 환경시험 및 구조강도 시험

해석을 통해 얻은 결과를 바탕으로 초기모델을 제작하여 구조강도 시험을 우선 수행하였다. 이는 적용위치에 작용하는 하중을 견뎌낼수 있는지를 판단하는 중요한 척도가 된다. 인장하중 시험결과 분리장치 종류에 따라 1~30톤의 하중을 견뎌내는 것으로 나타났다.

분리장치는 대체적으로 제작, 보관, 수송, 고온, 저온, 습도, 충격, 진동 등 열악한 환경에 노출되게 되는데 이러한 환경조건을 만족하고 성능이 보장되어야 한다. 이를 위해 해당 환경시험을 수행하였다. 적용 체계에 따라 각각의 조건이 적용되며, 흔히 국방규격을 따른다. 환경시험의 내역을 살펴보면 고온, 저온, 습도, 진동, 낙하, 충격, 가속도 등이 있다.

온습도 시험은 각종 상황하에서의 온도 및 습도 변화에 성능보장 여부를 판단하는 시험이다.

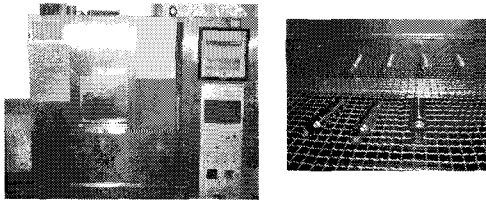


Fig 4. Temp. and Humidity test

진동 및 충격시험은 수송, 비행시에 경험하는 외부 환경조건을 확인하는 시험으로 3축 방향으로 각각 수행된다.



Fig 5. Vibration and Shock test

가속도 시험은 각축에 대해 비행중 가해지는 가속도 조건을 부여하고, 시험 후 동작성능 확인시험을 통해 분리 성능을 확인해야 한다.

낙하 시험은 운반, 조립 시 작업자의 부주의 등으로 인한 영향을 파악하기 두께 2inch 이상의

강판 위에 일정높이 이상에서 낙하시키고, 분리 성능을 확인한다.

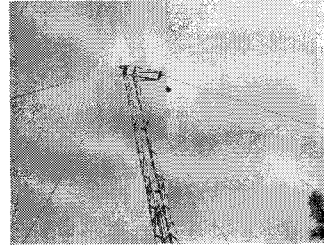


Fig 6. Drop test

분리장치가 화약의 폭발력에 의해 구조물을 분리시킬때 발생하는 Pyro-shock은 구조물에는 거의 피해를 주지 않지만, 고주파에 민감한 전자장비에는 자주 피해를 준다. 그러므로 Pyro-shock을 측정함으로써 지속시간 및 충격값을 판단해야 한다.

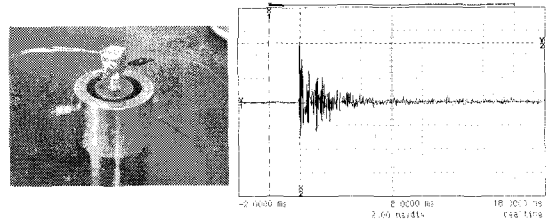
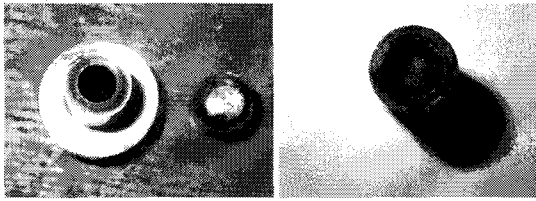


Fig 7. PyroShock test

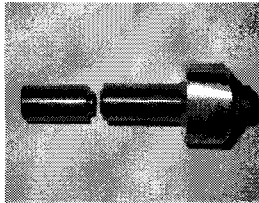
체계적응에 따라 온도를 단계적으로 증가시켜 자연발화 여부를 판단하는 thermal Cook-off 시험, 열충격시험, 염수분무시험 등을 통해 환경조건에 따른 분리성능을 확인한다.

### 4. 시험결과 및 토의

전용 해석 프로그램(AutoDyn)으로 시뮬레이션하여 최적모델을 선정하고 선정된 모델을 바탕으로 실제제작하는 분리장치의 외형을 결정하였다. 볼트의 경우 분리면의 면적은 요구하중을 견딜 수 있도록 볼트재질의 인장강도와 분리면의 내경, 외경을 최적화하여 결정하였다. 그림 8은 설계인자들의 최적화에 의해 만들어진 볼트의 분리현상 결과이다. 그림. 8(a)에서 보는 바와 같이 썬기형의 경우 해석결과와 같이 분리면이 깨끗하게 나타나며, 라운드형은 분리면이 상당히 거칠게 나타났다.



(a) ridgecut type (b) round type



(c) general type

Fig 8. Results of release(Bolts)

위성분리장치인 파이로커터의 경우 여러 조건을 바꿔가면서 분리성능 시험을 수행한 결과 설계 값은 어느 정도의 마진을 갖고 있는 것으로 나타났다. 개발시 가장 중요한 설계인자인 인장볼트의 직경과 형상은  $\varnothing 4.0\text{mm}$ 를 적용하고 절단면 부근만  $\varnothing 3.5\text{mm}$ 로 가공하였다. 또한, 앤빌은 단을 지게 설계변경하여 인장볼트의 절단면  $\varnothing 3.5\text{mm}$ 을 지지하도록 최적화 하였다. 이는 블레이드 절단을 지지하여 인장볼트 절단면의 변형을 최소화 하기 위한 것이다. 분리성능 시험은 그림 9에서 보는바와 같이 인장볼트의 절단이 양호하고 몸체 밖으로 잘 빠져나가는 것을 확인하였다.

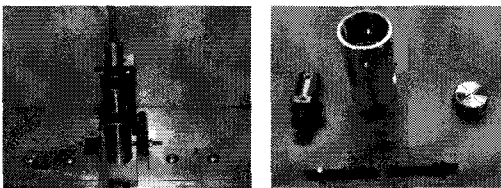


Fig 9. Results of release(PyroCutter)

## 5. 결 론

분리장치의 동작현상을 수치적으로 해석, 검증함으로써 분리장치 개발에 대한 핵심기술을 확보

하였다. 분리장치 설계인자의 최적화, 시험평가의 분석, 설계 타당성 검토가 체계적으로 관리되고, 분리장치에 대한 이론적 해석 및 실제 시험을 통한 상호 보완적 검증을 통해 신뢰도를 확보하였다. 표1에서 알수 있듯이 분리장치는 사용 목적에 따라 종류도 다양하다. 탑재 전자장비의 손상 우려가 최근에 대두되면서 그동안 주로 사용되어 오던 폭발형 분리장치는 퇴보하고, Pyroshock이 거의 발생되지 않으면서 작동시간을 충족하는 PAS (Pressure-cartridge Actuated Separation) 분리장치 사용이 증가하는 추세이다.

Table 1. Characteristic of Release Devices

	폭발형	PAS형		
	폭발볼트	PAS볼트	GES볼트	파이로커터
파편	있음	없음	없음	없음
shock (g)	7000~15000	없음	없음	없음
하중	5~15	5~30	1~5	
크기	소형	소형~중형	소형	소형

폭발형	비전기식, 전기식
PAS형	PAS볼트 : 파이로볼트, 파이로푸셔
	GES볼트(가스팽창분리형 볼트)
	파이로커터

## 참 고 문 헌

1. M.A. Meyers and L.E.Murr, *Shock Wave and High-Strain-Rate Phenomena in Metals*, Plenum Press, NY, 1981, pp. 51-632. K.O.Brauer, *Handbook of Pyro-technics*, Chap.5, (1974).
2. 강원규, 김동진, 고압을 이용한 분리볼트 설계에 관한 연구, 제6회우주발사체 심포지움, 2005
3. 김동진, 이용조, 해석프로시저를 이용한 리치 컷형 폭발볼트 분리기구 해석, 한국추진공학 회지, 제8권 2호, 2004, pp. 102-104
4. E.F. Poncelet, "Theory of Ridge-Cut", Stanford Research Institute Report 006-54(1984)