

압력카트리지를 이용한 파이로 분리장치 개발

김동진*[†] · 이용조** · 고영균***

The Development of Pyrotechnically Releasable Mechanical Linking Device Using Pressure Cartridge

Dongjin Kim*[†] · Yeungjo Lee** · Youngkyun Ko***

ABSTRACT

Explosive bolts are reliable and efficient mechanical fastening devices having the special feature of a built-in release. The disadvantage of explosive bolt lies in that it is based on the high explosive effect of a pyrotechnic charge. The aim of the present work is to propose a pyrotechnically releasable mechanical linking device for two mechanical elements that does not suffer from such drawbacks. The pyro-lock using the pressure cartridge has the release characteristic without fragmentation and minimum pyro-shock. The present work is focused on the design, the interpretation of structure, the separation mechanism, separation force, and the results of various tests.

초 록

지금까지 많은 파이로 분리장치들이 우주 발사체 및 유도무기에 사용되고 있다. 이중 가장 많이 사용되고 있는 분리장치가 폭발볼트이다. 폭발볼트는 볼트내에 화약이 내장되고 작동시 내장된 화약이 폭발하면서 볼트 몸체가 절단되기 때문에 작동시 파이로충격과 미세한 파편이 발생할 수 있다. 이와같은 단점으르 보완하기 위해 화약 연소시 발생하는 압력을 이용하여 구조물을 작동시켜 분리가 될 수 있는 Pyro-lock을 설계하게 되었다. 본 논문에서는 Pyro-lock의 작동개념, 부품 설계, 압력카트리지 위력 결정, 분리성능 및 내환경성 평가를 통하여 Pyro-lock의 작동 및 결합 신뢰도를 확인하였으며 이와 유사한 작동메커니즘을 갖는 분리장치를 설계하고 평가할 수 있는 개발절차를 제시하였다.

Key Words: Pyro-lock, Explosive bolt(폭발볼트), Pressure Cartridge(압력카트리지), Separation Device(분리장치), Pyro-shock(파이로충격)

* 한화 종합연구소 기술2실

** 국방과학연구소 1기술연구본부 6부

*** (주)대아테크

† 교신저자, E-mail: gudcjfdl@hanwha.co.kr

1. 서 론

우주 발사체 및 유도무기에 많은 종류의 파이

로 분리장치들이 사용되고 있다. 이중 지금까지 가장 많이 사용되고 있는 분리장치가 폭발볼트이다. 폭발볼트는 볼트내에 화약이 내장되고 작동시 내장된 화약이 폭발하면서 볼트 몸체가 절단되는 원리이다. 폭발볼트는 사이즈가 동일 결합강도를 갖는 분리장치에 비해 작고 작동원리가 단순하여 분리 신뢰도가 매우 높기 때문에 많은 분야에서 적용되고 있다. 하지만 분리시 발생하는 Pyro-shock이 볼트 주위의 전자 장치에 충격을 줄 수 있어 시스템 오작동의 원인이 될 수도 있다는 연구결과가 보고되고 있다. 이와 같은 이유로 분리장치 주위에 파이로 충격에 민감한 전자 장비들이 탑재될 경우 분리시 Pyro-shock이 발생되지 않는 분리장치를 사용하여야 한다. Pyro-lock은 폭발볼트 분리시 발생하는 파편 및 Pyro-shock이 발생되지 않으며 폭발볼트와 같은 구조결합강도와 내환경성, 작동신뢰도를 갖는다. Pyro-lock은 화약 연소시 발생하는 압력을 이용하여 내부의 구조물을 작동시켜 분리가 일어날 수 있도록 하는 것으로 작동 메커니즘을 이해하고 설계할 수 있어야 하며 구조적 결합강도를 갖기 위하여 구성품들의 상호 응력 분포를 해석할 수 있어야 한다. 제작된 Pyro-lock의 구조적 결합강도는 실제 인장시험기를 이용하여 측정하였고 응력 해석 프로그램을 이용하여 검증하였다. 또한 Pyro-lock이 사용중 받게될 진동, 충격, 온습도에 대한 내환경성을 시험을 통하여 검증하였으며 이를 통하여 제품의 높은 신뢰성을 확인하였다.

2. Pyro-lock 설계 및 제작

2.1 Pyro-lock 형상

Pyro-lock 형상과 구성품은 Fig 1과 같다.

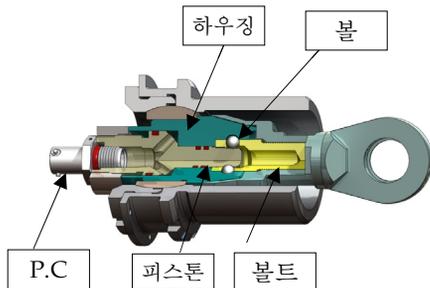


Fig. 1 Shape of Pyro-lock

2.2 Pyro-lock 작동개념

압력카트리지에 Fig. 2와 같이 전원이 인가되면 압력카트리지가 작동되고 이때 발생한 압력이 피스톤을 후출시키고 피스톤의 지지를 받던 볼이 빠지게 되어 볼트부가 분리된다.

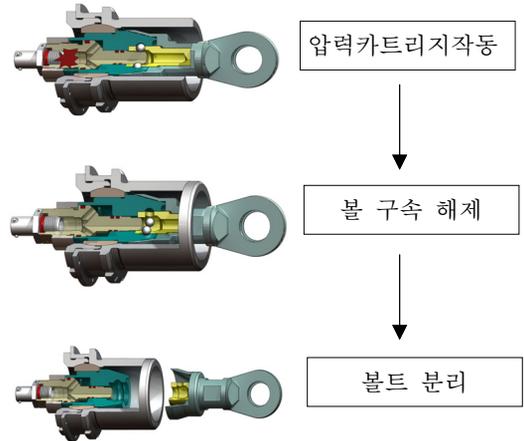


Fig. 2 Separation Mechanism of Pyro-lock

2.3 전단핀 설계 및 제작

전단핀의 재질은 Al 6061와 STS303 두 종류로 질화처리 및 경도를 각기 달리하여 시험하였다. 시험방법은 하우징에 볼트를 삽입하고 전단핀을 결합한 후 50 kN/mim의 속도로 인장시켰다. 시험결과 질화처리하지 않은 Al 6061이 가장 양호한 전단력을 나타내어 선택하였다. Fig. 3은 각각의 시료들에 대한 인장시험 결과이다.

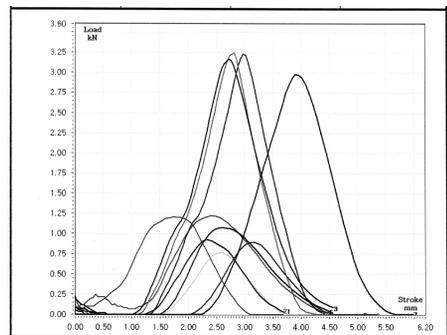


Fig. 3 Results of tension tests of shear pins

24 압력카트리지 위력 결정

압력카트리지는 Pyro-lock을 작동시키는 에너지를 발생시키는 장치이다. 설계인자는 표1과 같다.

Table 1. Design factors

작동전 부피	단면적	전단핀 (Al)	Ball 마찰력	안전계수
3cc	3.768cm ²	1.5kN	2.54kN	1.5

설계인자에서 분리에 저항하는 힘은 안전여유를 고려하여 6.6kN(618kgf)이다. 이와 같은 힘을 극복하기 위하여 Pyro-lock 단면적에 가해져야할 압력은 2328psi가 되어야 한다. 3cc 초기 부피에서 압력카트리지의 위력이 부피에 선형비례한다고 가정하고 환산하면 표2와 같다.

Table 2. Pressure Cartridge converted force

PC종류	최소압력 (10cc)	부피변환시 (3cc)	여유률
PC-1400	1,100	3,667	1.54
PC-800	600	2,000	0.84
PC-300	200	1,333	0.56

표2와 같이 환산한 결과 10cc에서 1400psi의 위력을 갖는 압력카트리지를 선택하였다.

25 인장 성능 시험

기계적 결합강도 측정을 위하여 조립 완료된 제품을 시험치구에 결합한 후 50kN/mim의 속도로 인장시켰다. 시험결과는 표3과 같다. 체계 요구 인장값의 최소 1.6배 이상의 인장력을 갖는 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Withstanding force on tension

시험번호	인장력(kN)	체계요구값(kN)
1	108.87	52
2	88.92	
3	88.03	
4	87.71	

26 응력해석

구성품들의 응력해석을 통하여 응력집중부위의 응력 완화와 기존 설계형상의 안정성을 확인하기 위하여 수행하였다.

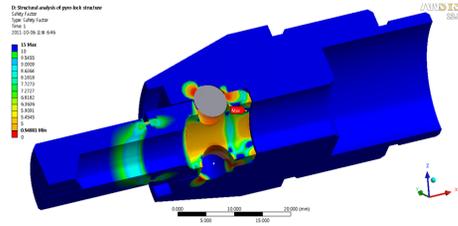


Fig. 4 Result of stress analysis

항복강도를 기준으로 최대 등가 응력 이론을 적용하여 계산한 결과 Fig. 4처럼 5이상의 안전여유를 보였다.

3. 분리성능 및 환경영향성 평가

3.1 분리성능

시험치구에 Pyro-lock을 결합하고 규정된 결합토크값을 인가한다. 분리성능에 사용한 압력카트리지는 3가지 종류를 사용하였으며 결과는 표4와 같이 설계시 제시된 내용과 일치하였다.

Table 4. Results of separation function tests

시험번호	압력카트리지	몸체번호	결과
1	PC-1400	1	분리
2	PC-300	2	미분리
3	PC-800	2	분리
4	PC-800	3	분리

3.2 내환경성 평가

Pyro-lock이 사용중 받게될 진동, 충격 및 온도 습도에 대한 내환경성 시험을 수행하고 제품의 작동 유무를 확인하였다. 평가결과 모든 시료가 작동하였으며 우수한 내환경성 특성을 갖는 것을 확인하였다. 표5는 환경시험을 수행한 시료 및 시험항목이다.

Table 5. Table of Environment series tests

NO	시 험 명	시 료 번 호					합 계
		1	2	3	4	5	
1	진동 시험	X	X	X	X	X	5
2	충격 시험	X	X	X	X	X	5
3	고온 동작	X	X				2
4	저온 동작			X	X	X	3

3.3 분리추력측정시험

Pyro-lock 작동시 분리가 되는 볼트에서 발생 되는 추력 및 추력의 재연성을 확인하였다. 시험 방법은 Fig.5와 같이 PS와 로드셀을 장착할 수 있는 벽을 바이스에 렌치볼트를 이용하여 결합 시킨 후 PS에 Pyro-lock을 삽입 후 NS를 볼트 나사부에 결합한다. 이때 Pyro-lock 착화기 결합부의 육각부분을 토오크 렌치를 이용하여 500kgf-cm로 결합한다. NS와 Pyro-lock 결합 후 Pyro-lock을 nut를 이용해 PS에 500kgf-cm의 토오크로 결합한다. 추력측정을 위하여 PS 반대편 벽에 로드셀을 장착하고 NS에 결합 된 볼트와 밀착시킨다. 이때 과도한 힘으로 밀착시키지 않는다. Pyro-lock에 압력카트리지(PC-1400L)을 100kgf-cm의 토오크값으로 결합한 후 전원선을 연결한다. 3.5Amp의 전류를 40msec 공급하여 Pyro-lock을 작동시키며 이때 load cell에 가해진 추력을 오실로스코프를 통하여 표시한다.

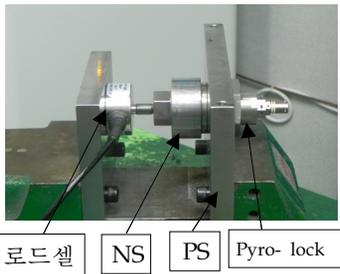


Fig. 5 Configuration of test equipment

시험결과 재연성 있는 추력결과를 얻었으며 형상은 Fig. 6와 같았고 3차에 걸친 Peak값을 보였다.

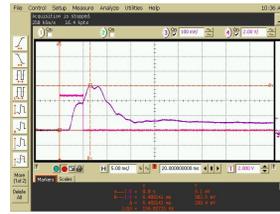


Fig. 6 Graph of thrust force

4. 결 론

압력카트리지를 이용한 분리장치 개발을 위하여 불을 이용한 작동 메커니즘을 적용하였으며 제품 체결시 받게될 구성품들의 응력분포를 해석하고 응력집중부위의 설계를 보완하여 안전율을 높이는 방법을 제시하였다. 이를 바탕으로 실제 제품의 인장하중시험을 통하여 검증함으로써 제품의 내구성 및 결합강도에 대한 신뢰성을 확인하였다. 압력카트리지 위력결정을 위한 고려사항 및 절차를 제시하였으며 제품 검증을 위한 시험방법 및 결과를 제시함으로써 향후 유사한 제품들의 검증을 위한 기준을 마련하였다. 본 논문은 화약의 폭발력이 아닌 연소시 발생하는 압력을 이용한 분리장치를 개발하는 과정을 제시하였으며 이를 시험을 통하여 입증하였다.

참 고 문 헌

1. 김동진, 이용조, "우주발사체 및 미사일 시스템에 이용되는 파이로테크닉 분리장치의 특성에 관한 연구" 한국추진공학회 제28회 춘계 학술대회지
2. 김동진, "Ball Type 분리볼트 개발" 한국추진공학회 제27회 추계 학술대회지
3. 김동진, "고압을 이용한 분리볼트 설계에 관한 연구" 우주발사체 심포지움 2005.1.