

## 파이로충격 모사장비 특성분석

### On the Characteristics of Pyroshock Simulator

전영두† · 임종민\* · 서상현\* · 정의승\* · 조광래\*\*

Young-Doo Chun, Jong-Min Im, Sang-Hyun Seo, Eui Seung Chung and Gwang-Rae Cho

Key Words : Pyroshock(파이로충격), Simulator(모사장비), Fixture(치구), Launch Vehicle(발사체)

#### ABSTRACT

Since, similar to other commercial launch vehicles, various kinds of pyrotechnique devices are used in the KSLV-I(Korea Space Launch Vehicle), the electronic equipment on the vehicle equipment bay is exposed to the sever pyroshock environment during pyrotechnique device detonation. In order to confirm the survivability of electrical instruments from these pyroshock conditions, shock tests are performed by using a pyroshock simulator during development and qualification phase. In this paper, the pyroshock simulator installed in KARI(Korea Aerospace Research Institute) are briefly introduced, and its performance of pyroshock generating is compared with the measured shock response spectrums from small scaled fairing jettisoning tests. The results show that the pyroshock simulator is still proper to generate severe pyroshocks similar to real pyrotechique detonating conditions, but the redesign on the test jigs is necessary to improve its test performance.

#### 1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 2007년 첫 발사를 목표로, 한국형 소형위성발사체인 KSLV-I를 현재 개발 중에 있으며, 다른 로켓이나 선진국의 상용우주발사체 경우와 마찬가지로, 이륙단계에서부터 비행도중 단분리나 페어링분리, 위성분리 등의 동작을 위해 여러가지 종류의 파이로장치가 적용되어 설계되어 있다.

일반적으로 파이로장치의 폭발로 발생되는 파이로충격(Pyroshock or Pyrotechnic shock)의 특징은 0.1 ~ 1,000kHz으로의 광대역 주파수범위를 갖고, 0.05 ~ 20msec의 매우 짧은 순간에 충격반응스펙트럼(Shock Response Spectrum) 값이 300 ~ 300,000g에 달한다[1, 2]. 특히 파이로충격하중은 그 특성상 파장이 매우 짧기 때문에 일반적으로 구조물 내에서 지협적인 거동(local motion)을 나타내며 반응변위가 매우 작기 때문에, 일반적으로 500Hz이하의 공진주파수를 갖는 구조물의 경우는 파이로충격하중에 큰

영향을 받지 않는다. 그런 반면에 파이로충격파의 파장과 비슷한 크기의 마이크로칩과 같은 전자소자류에 대해서는 집중적인 손상을 유발시킬 수 있다. 그러므로 파이로장치에 인접한 전장품의 경우 파이로충격 하중에 직접 노출됨으로 인해 심각한 손상이 발생할 우려가 높기 때문에 충격흡수를 고려한 구조설계가 이뤄지거나 충격하중에 강건하도록 초기부터 설계되어야 한다.

보통 파이로장치의 특성에 따라 파이로충격소스로는 크게, 포인트소스, 라인소스, 포인트-라인복합소스로 구분될 수 있는데, 포인트 소스의 경우는 폭발볼트, 분리너트, 전단핀, 전단케이블, 파이로구동밸브 등이 해당되고, 라인 소스의 경우는 FLSC(Flexible Linear Shape Charges)와 MDF(Mild Detonating Fuses)이 해당되며, 포인트-라인복합소스는 V-클램프 밴드(Marmon)가 해당될 수 있으며, 이들에 대한 대표적인 충격반응스펙트럼의 대표적 특성은 Figure 1에 나타나 있다. 일반적으로 라인충격소스인 FLSC의 경우가 가장 심한 충격하중조건을 유발시키며, 위성분리장치에 많이 사용되는 V-클램프 밴드의 경우는 그 충격량이 상대적으로 낮음을 알 수 있다[3].

선진국의 상용 발사체와 마찬가지로 KSLV-I 역시 앞서 언급한 다양한 종류의 파이로충격장치를 적용하고 있기 때문에, 이러한 파이로충격하중조건에 대한 대응책이 고려되어야 한다.

† 한국항공우주연구원

E-mail : ydchun@kari.re.kr

Tel : (042) 860-2906, Fax : (042) 860-2233

\* 한국항공우주연구원

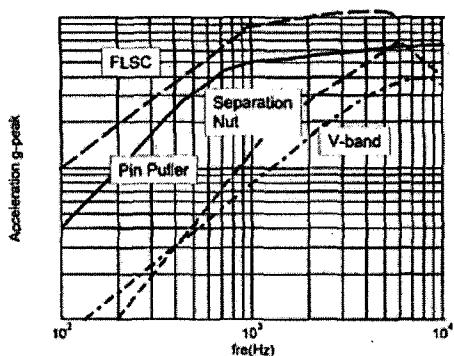


Fig. 1. Shock Response Spectrums of Various Pyroshock Sources

KSLV-I을 구성하는 대부분의 하드웨어 단품들은 개발단계에서부터 파이로충격시험을 통해 전장품의 설계성능을 반드시 확인하도록 하고 있으며, 최종적으로는 비행용과 동일한 제품에 대해서 파이로충격 인증시험을 수행하여 검증하도록 하고 있다. 이때 실제 파이로장치를 동작시켜 파이로충격을 발생시킬 경우, 실제 파이로 충격환경을 만들 수 있는 장점이 있는 반면에, 매 시험마다 동일한 환경이 반복되도록 유지하기가 어렵고, 화약류를 다루어야 하기 때문에 시험수행에 있어 위험성이 따르며, 일회성 소모품인 파이로장치를 사용해야하기 때문에 시험비용이 비싸고 재시험을 위한 추가적인 분해조립 절차가 요구되는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하여 시험의 효율성을 높이기 위해 실제의 파이로장치 대신에 파이로충격 모사장비를 이용하게 되는데, 이때 시험장치는 실제 파이로충격하중을 충분히 모사할 수 있어야 하는 기본적인 전제를 만족시켜야 한다.

본 논문에서는 현재 한국항공우주연구원이 보유하고 있는 파이로충격 모사장비 및 치구의 성능을 검증하기 위해 수행된 시험결과를 간단히 요약정리하고자 한다.

## 2. 파이로충격 모사장비 소개

한국항공우주연구원이 보유하고 있는 파이로충격 모사장비는 Figure 2(a)와 같이 충격해머와 공진장치를 이용하는 방식을 채택하고 있다[4, 5]. 본 시험장비의 작동원리를 간략히 살펴보면, 공진장치(Resonator)의 1차모드 공진주파수가 충격스펙트럼의 둔치주파수와 일치하도록 설계되어 있고, 이를 압축된 스프링으로부터 가속되는 해머(Hammer)로 가격하게 되면, 공진장치의 1차 모드운동이 고정장치를 통과하여 시험대상을 가진하게 되었으며, Figure 2(b)와 같이 이 과정에서 해머의 충격이 공진장치에 의해 충격스펙트럼으로 변조되어 시험대상을 전달되게 된다. 이때 고정장치에 전달되는 최대 가속도(g)는 충격해머의 속도가

증가할수록 커지고, 고정치구와 시험대상물의 질량이 작을수록 증가하게 된다. 따라서 원하는 파형의 충격반응스펙트럼을 시험대상물에 인가하기 위해서는, 시험장치의 압축스프링의 압축변위와 고정치구의 질량을 조절함으로써 얻을 수 있는데, KSLV-I의 페어링분리시에 발생되는 매우 극심한 파이로충격조건을 만들기 위해서는 기존에 설정되어 있던 스프링의 압축변위를 더욱 증가시키고 고정치구의 무게를 줄여야함을 쉽게 예측할 수 있다.

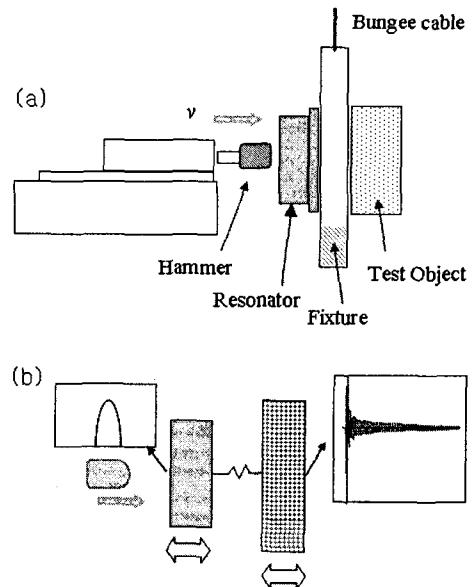


Fig. 2. Schematic Diagram of Pyroshock simulator and its basic principle

Figure 3은 이러한 원리로 제작된 파이로충격 모사장비의 운용장면을 보여주고 있다.

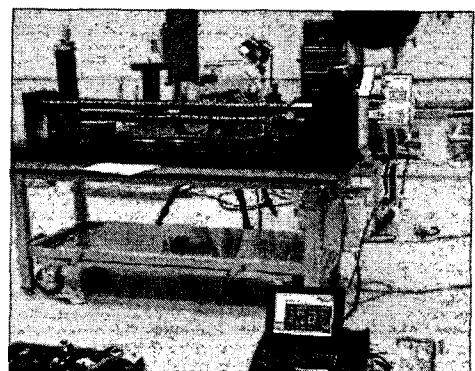


Fig. 3. Test Setup with using Pyroshock Simulator

### 3. 파이로충격 모사장비의 성능시험 결과

KSLV-I의 페어링분리에는 MDF계열의 파이로장치를 이용하기 때문에, 분리면에 인접한 전장품 탑재대에는 Figure 4와 같이 매우 큰 파이로충격하중조건이 발생하게 되며, 전장품들은 이러한 극심한 충경환경을 견디어내도록 설계되어야 한다.

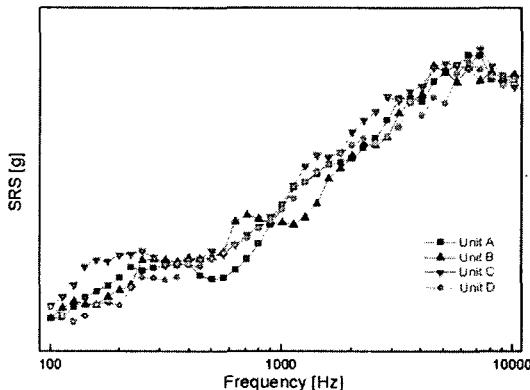


Fig. 4. Measured SRS during Small Scaled Fairing Separation Tests[6]

전장품의 위치별로 약간씩 차이는 있으나 파이로충격하중 조건의 경향은 Figure 4와 같이 탑재대 상에서는 거의 동일하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 파이로충격 모사장비와 시험치구는 이러한 파이로충격하중조건을 충분히 발생시킬 수 있어야 한다.

항우연 우주시험동에 위치한 파이로충격 모사장치의 성능이 Figure 4의 조건을 만족하는지 여부를 확인하기 위해 기존의 치구를 활용하여 충격량 전달성을 확인해 보았다.

#### 3.1 Case I: 원판형 치구만 설치했을 경우

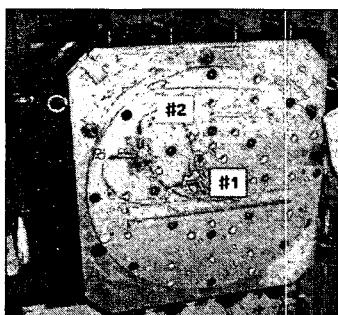


Fig. 5. Tests on Circular Jig only

Figure 5와 같이 원판형 치구만 설치했을 경우에는 파이로충격가진이 효과적으로 전달될 수 있는 체결구조를 갖는다. 이때 중심부와 가장자리부에서 각각 3축 방향으로 측정해본 결과, Figure 6과 같이 충격가진 방향으로의 충격량이 월등히 크게 나타남을 알 수 있으며, 이로서 각 축방향으로 각각 가진시험을 수행해야 한다는 타당성을 확인할 수 있었다.

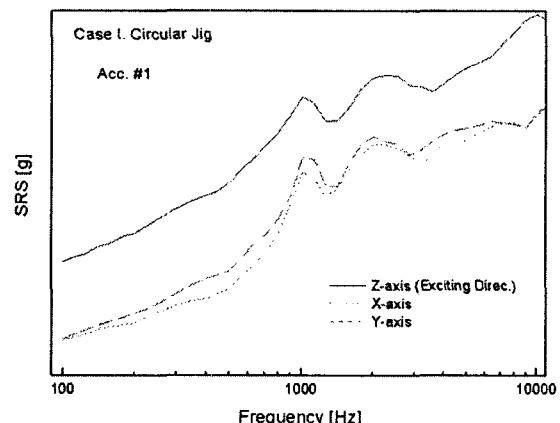


Fig. 6. Measured SRS of Acc. #1 on Circular Jig

또한 기존치구는 필요이상으로 두껍게 설계되어 있어 질량이 큰 단점이 있으며, 이로 인해 시험대상물의 무게조건에 제약이 존재함이 확인되었기에, 시험대상물의 무게제한범위를 늘리기 위해서는 기존치구의 두께를 줄여 치구무게를 감소시킬 필요가 있음을 확인하였다. 이뿐만 아니라 발생되는 충격하중은 파이로충격 모사장치의 압축스프링 변위를 조정하여 증가시킬 수 있기 때문에 Figure 4의 파이로충격하중조건을 만족하도록 파이로충격 모사장비의 성능을 조정할 수 있음을 확인하였다.

#### 3.2 Case II: T형 치구를 설치했을 경우

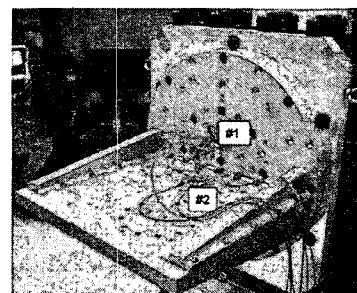


Fig. 7. Tests on T-shaped Jig

앞서 언급된 'Case 1 원판형 치구'의 경우는 가진면과의 체결상태가 양호하여 충격저감량이 거의 없는 반면에, Figure 7과 같이 T형 치구를 원판 치구에 부착할 경우 현 치구의 설계상 체결상태가 불량하여 고주파영역에서 충격 저감이 상당량 발생할 수 있는 구조로 판단되었다.

본 시험에서는 원판형 치구의 중심부와 T형 치구의 접합면 부근에서 각각 3축 방향으로 측정해 보았다. 'Case 1'과 마찬가지로 충격가진 방향으로의 충격량이 크게 나타남이 확인되었고, 각 축방향으로 각각 충격가진시험을 수행해야 한다는 타당성을 확인할 수 있었다.

Figure 8에서와 같이, 가속도계 #1과 가속도계 #2에서 충격가진방향으로의 충격하중조건을 비교해보면, 1,500Hz 이하의 주파수대역에서는 충격하중조건이 거의 일치하지만, 그 이상의 고주파수대역에서는 시험치구 접합불량으로 인해 수직원형판에서 수평평면판으로의 충격전달량이 상당히 저감됨을 알 수 있어, T형 치구의 개선의 필요함을 확인하였다.

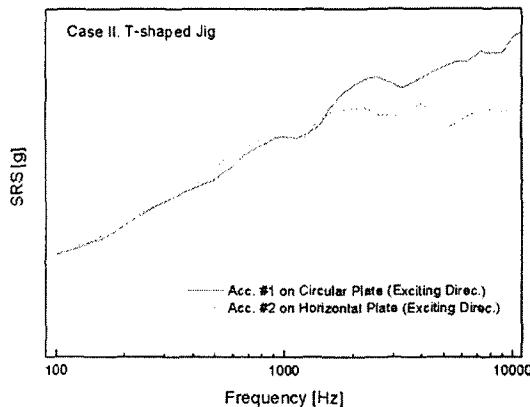


Fig. 8. Measured SRS of Acc. #1, 2 on T-shaped Jig

Figure 9에서는 축소형페어링분리시험에서 측정된 탑재대의 충격반응스펙트럼과 파이로충격 모사장비의 시험치구에서 측정된 값을 비교하여 나타낸다. 먼저 'Case 1'의 가속도계 #1'과 'Case 2의 가속도계 #1'의 결과를 비교해보면, T형 치구를 장착함으로써 무게증가의 요인으로 전체적으로 충격량이 감소하였지만 변화량은 크지 않음을 확인할 수 있다. 따라서 현재의 치구무게를 가볍게 할 경우, 시험대상체의 무게를 포함하더라도 그 결과에는 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 또한 파이로충격 모사장비에서 생성되는 충격하중조건이 실제 파이로장치의 폭발로 유발된 탑재대의 충격하중조건을 거의 커버하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 현 파이로충격 모사장비의 성능으로도 KSLV-I개발에 있어 전장품들에 대한 파이로충격시험을 충분히 수행할 수 있을 것으로 판단되나, 보다 효과적인 파이로충격시험을 위해서는 추가적으로 시험치구의 설계변경이 필요함을 확

인하였다.

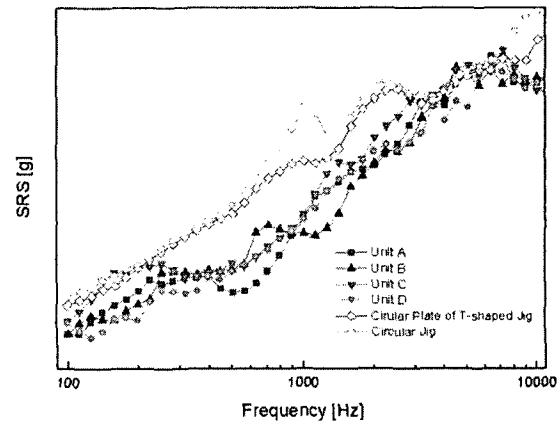


Fig. 9. Comparison of Test Results: SRS on VEB during Small Scaled Fairing Jettison vs. SRS on Test Jig of Pyroshock Simulator

#### 4. 결론

KSLV-I 발사체에 적용되는 파이로장치의 폭발로 인해 발생되는 파이로충격하중의 특성에 대해 간략히 정리하였고, 한국항공우주연구원에 설치되어 있는 파이로충격 모사장치의 작동원리 및 특징에 대해서 소개하였다. 현 시험장비의 성능은 파이로충격하중조건을 충분히 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있었고, 시험치구의 부적합성으로 인해 그 성능이 저하되고 있음을 확인하였다. 향후 시험치구의 설계개선을 통해 파이로충격하중조건을 만족하도록 파이로충격 모사장비의 성능을 조정할 수 있을 것으로 판단되었다.

#### 참고 문헌

- (1) MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, 2000
- (2) NASA-STD-7003, Pyroshock Test Criteria, 1999
- (3) PYROTECHNIC SHOCK TESTING, NASA Preferred Reliability Practices PT-TE-1408A
- (4) 김홍배, 오진호, 문상무, 우성현, 이상설, '우주비행체 분리장치 작동에 의한 충격현상 모의시험기 개발', 한국소음진동공학회 2000년 추계학술대회
- (5) 김홍배, 이상설, 문상무, 우성현, '한국항공우주연구원의 충격시험설비 및 운용현황', 한국소음진동공학회 2001년 추계학술대회
- (6) 축소형 노즈페어링 분리시 탑재물 충격량 측정, 한국항공우주연구원, 2005