

# 비행체 탑재 회로카드 조립체의 내충격 향상을 위한 설계

## Design for improving the impact resistance of a vehicle equipped with the circuit card assembly

이창민†‡ · 강동석\* · 신영훈\* · 이기선\*

Lee Chang-Min, Kang Dong-Suk, Shin Young-Hoon, Lee Ki-Sun

**Key Words** : Circuit Card Assembly(회로카드 조립체), Modal Test(모드시험), Modal Anaysis(모드해석), Resonance Frequency(공진주파수), Shock Response Spectrum(충격 응답 스펙트럼)

### ABSTRACT

Rocket, held using the CCA for the mission, a plurality of recording devices, and navigation equipment. In case of a projectile which is entered the water after fired into the air, after performing stages and fairing separated in flight to enter the underwater. It is caused by the explosion of gun-powder mainly, vibration phenomenon of a large transition is induced structurally very, also on entering the water, have a significant shock structurally separated. If shock is transmitted directly to the CCA through the body, it can be caused malfunction of payloads, resulting in failure of the mission of the projectile. In order to ensure the stability against shock, in this paper, Calculating a target resonacne frequency of the CCA, and verified through modal test and analysis. Maximum acceleration position of CCA is checked by SRS analysis. In addition, effectiveness of shock isolation system through shock analysis.

### 1. 서 론

#### 기 호 설 명

- $A$  : 충격가진 증폭비
- $B$  : 부품길이에 평행한 PCB길이(in)
- $C$  : 부품상수
- $f_d$  : 목표 공진주파수(Hz)
- $f_n$  : 충격가진 주파수(Hz)
- $G$  : 충격가진 가속도(g)
- $h$  : PCB 두께(in)
- $L$  : 부품길이(in)
- $r$  : 부품의 상대위치 계수

일반적인 발사체는 단 분리, 페어링 분리 등의 과정을 거치는 동안 화약의 폭발에 의해 구조적으로 매우 큰 천이 진동현상이 유발된다. 특히 발사 후, 수중으로 입수하는 비행체의 경우 매우 큰 입수충격을 받게 된다. 발사체의 경우 임무 수행을 위해 회로카드 조립체(Circuit Card Assembly, 이하 CCA)를 이용한 여러 기록장치, 탐색장치 등을 보유하게 되는데 이러한 충격이 몸체를 타고 CCA에 그대로 전달되어 내부 소자의 오작동을 유발시킨다. 충격에 의해 발사체 내부에 장착되어 있는 전자 탑재물의 기능이 비정상적으로 나타나거나 순간적으로 오작동이 유발되어 발사체의 임무 실패를 초래할 수 있어 충격에 대한 대비는 상당히 중요하다. 따라서 발사체의 운용환경이 전자장비에 미치는 영향에 대한 안정성 평가가 이루어져야 한다. 윤세현<sup>1)</sup>은 PEEK 와서를 적용하여 단 분리 시 발생하는 파이로 충격 및

† 교신저자; 정회원, LIG넥스원  
 E-mail : changmin.lee@lignex1.com  
 Tel : 031-8026-4868 , Fax : 031-8026-7084  
 ‡ 발표자; LIG넥스원  
 \* LIG넥스원

진동 특성을 분석하였다. 본 논문에서는 파이프 충격 외에 발사체가 수중으로 입수할 때의 충격 특성을 분석하였다. 우선적으로 충격 규격에 대한 CCA의 공진주파수를 최적화 하였으며<sup>(2)</sup>, 충격량의 크기와 특성을 비교하기 위해 SRS(Shock Response Spectrum) 비교 방법을 적용하였다. SRS란 시간 영역에서 측정된 가속도를 1자유도 진동 시스템에 적용하여 주파수 영역으로 표시하는 방법이다. CCA의 충격 안정성을 확보하기 위해 충격 절연계가 적용되었고, 실제 충격시험 시 획득한 시간영역의 가속도 응답 파형을 이용하여 SRS를 분석하였으며, 이를 입력 조건으로 충격해석을 수행하여 적용된 충격 절연계의 효과도를 분석하였다.

## 2. 본론

### 2.1 공진주파수 최적화

CCA는 PCB(Printed Circuit Board)에 여러 가지 전자부품들이 부착된 조립체를 말하며, 그림 2는 발사체에 사용되는 CCA의 한 종류이다. CCA의 경우 충격가진에 대한 허용 상대변위를 최소화 시켜야 한다. CCA의 허용 상대변위는 식 1에 의해 계산할 수 있다.

$$Z = \frac{0.00132B}{Chr\sqrt{L}} \quad (1)$$

여기서  $B$ ,  $C$ ,  $h$ ,  $r$ ,  $L$ 은 각각 부품 길이에 평행한 PCB길이, 부품상수, PCB두께, 부품 상대위치 계수, 부품길이이며, 그림 1에서 시각적으로 확인할 수 있다. 250G(5ms)의 충격이 가해질 때, 충격가진에 대한 CCA의 상대변위는 식 2에 의해 구할 수 있다.

$$Z = \frac{9.8GA}{f_n^2} \quad (2)$$

여기서  $G$ ,  $A$ ,  $f_n$ 는 각각 충격가진 가속도, 충격가진 증폭비, 충격가진 주파수이다. 식 1과 식2를 이용하여 CCA의 목표 공진주파수를 식 3에서 계산 할 수 있다.

$$f_d = \left( \frac{9.8GAChr\sqrt{L}}{0.00132B} \right)^{0.5} \quad (3)$$

여기서  $f_d$ 는 CCA의 목표 공진주파수이다. 표 1은 계산을 위한 각 파라미터들이 나타나 있으며, 실제 값들은 취약한 부위의 전자부품을 기준으로 적용된 것이다. 계산결과 규정된 충격하중에 최적화된 CCA의 공진주파수는 160Hz이다.

**Table 1** Parameters for calculation of desired CCA resonance frequency

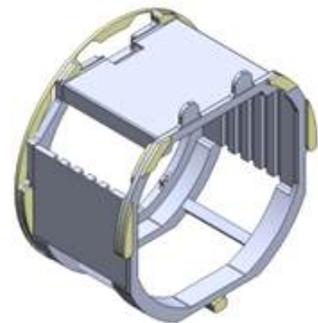
$L$	$C$	$h$	$B$	$R$	$f_n$	$G$	$A$	$f_d$
0.7	1	0.06	10	0.98	97	250	2.93	163

**Table 2** Specification of material

Material	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Young's Modulus [GPa]	Damping Ratio
Teflon	2,200	0.50	0.05
EAR	960	0.02	0.50



**Figure 1** Schematic of CCA



**Figure 2** Shock isolator - Whole application

## 2.2 충격 절연계

CCA의 구조적 안정성을 확보하기 위해 충격 절연계를 적용하였다. 충격 절연계에 적용된 재질은 테프론 및 EAR이며, 표 2는 각 재질의 제원이다. 절연계는 CCA를 보호하는 하우징의 체결부에 적용을 하였으며, 그림 3과 그림 4와 같이 전체 적용 모델과 부분 적용 모델을 구분하여 각 경우에 따른 효과도를 분석하였다.

## 2.3 모드시험 및 해석

공진주파수 최적설계를 통해 250g의 충격 하중이 작용할 때, CCA의 목표 공진주파수가 160Hz임을 확인하였다. CCA의 강건 설계를 위한 공진주파수를 확인하기 위해 모드시험과 모드해석을 수행하였다. 모드시험은 그림 4의 가진기를 이용하여 1000Hz까지 Random신호를 이용하였다. 모드시험 결과 그림 5와 같이 CCA는 목표 공진주파수에 비해 약 44%가량 낮은 90Hz의 공진주파수를 보였다. 모드해석을 위해 그림 6과 같이 PCB는 셸 요소로, 주요 전자부품은 점 질량으로 모델링하였다. 해석은 상용소프트웨어인 ANSYS V13을 사용하였다. 모드 해석 결과 CCA의 공진주파수는 모드시험에서와 같이 90Hz로 나타났다. 목표 공진주파수를 갖기 위해서는 보다 강건한 설계가 이루어져야 함을 알 수 있다. CCA를 보호하기 위해 설계된 하우징의 진동특성을 확인하기 위해 하우징의 모드해석을 수행하였다. 하우징의 1차 벤딩모드가 CCA의 목표 공진주파수에 근접하면 이로 인해 PCB에 탑재된 전자부품의 피로파괴를 유발할 수 있기 때문에 하우징의 진동특성 해석 역시 중요한 요소이다. 해석은 충격 절연계를 적용하기 전과 두 가지 재질의 충격 절연계를 적용한 후의 경우에 대하여 수행하였다. 충격 절연계를 적용한 경우는 또 다시 체결부에 부분적으로 적용한 경우와 전체적으로 적용한 경우로 해석을 수행하였다. 충격 절연계를 적용하지 않은 형상은 그림 7과 같고, 충격 절연계를 적용한 형상은 그림 2, 3과 같다. 그림 8 ~ 그림 10은 각각 충격 절연계를 적용하지 않은 경우와 적용한 후 모드해석 결과이며, 수치 결과는 표 3에 나타나 있다. 영률이 낮은 EAR재질의 공진주파수가 절연계를 부분 적용 시 457Hz로 가장 낮게 나타났으나, CCA의 목표 공진주파수 이상이므로 안전영역에 있다.

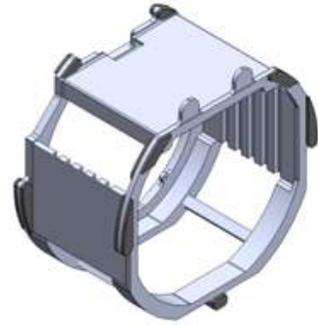


Figure 3 Shock isolator - Partial application



Figure 4 Schematic of Excitor

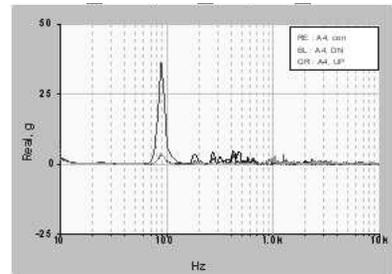


Figure 5 Modal test result of CCA

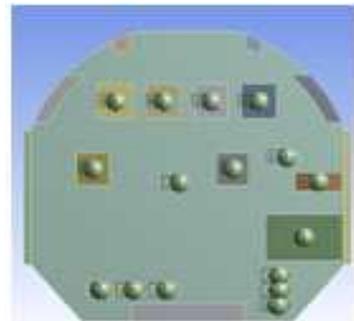
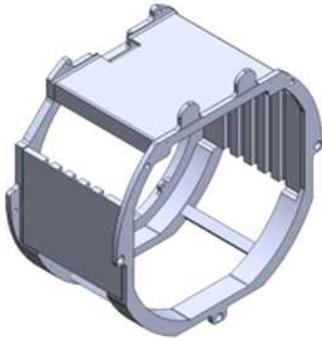


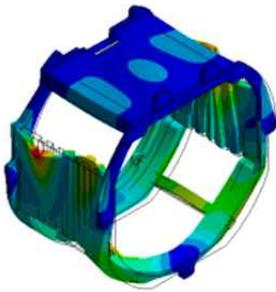
Figure 6 FE modeling of CCA



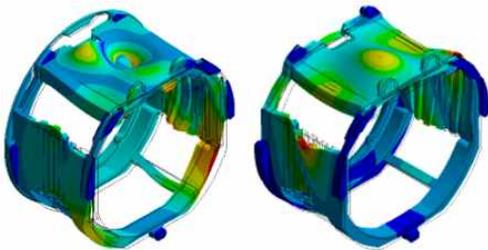
**Figure 7** Unapplied Shock isolator

**Table 3** Results of modal analysis

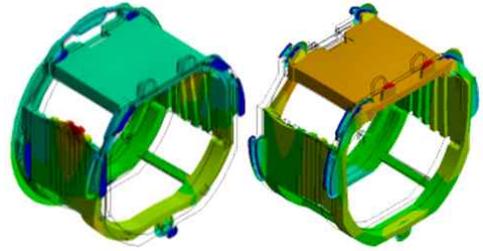
Material		Resonance Freq. [Hz]
None		2,074
Teflon	Partial	1,600
	Whole	1,027
EAR	Partial	644
	Whole	457



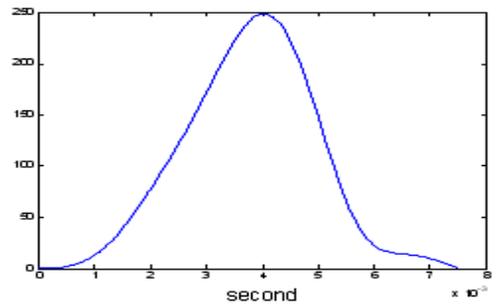
**Figure 8** Result of modal analysis - Unapplied shock isolator



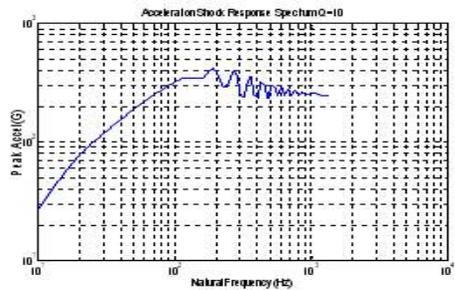
**Figure 9** Result of modal analysis - Teflon shock isolator



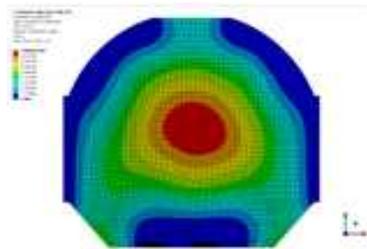
**Figure 10** Result of modal analysis - EAR shock isolator



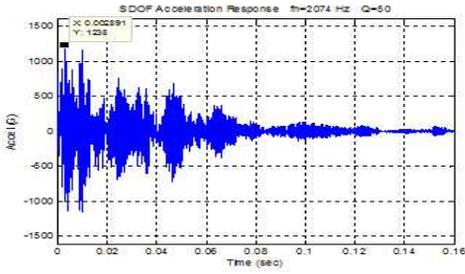
**Figure 11** Input profile of shock acceleration



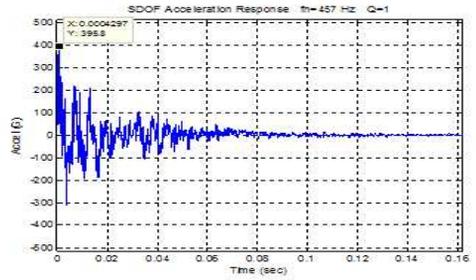
**Figure 12** Input profile of SRS



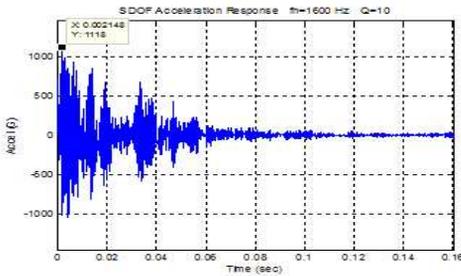
**Figure 13** Acceleration Response



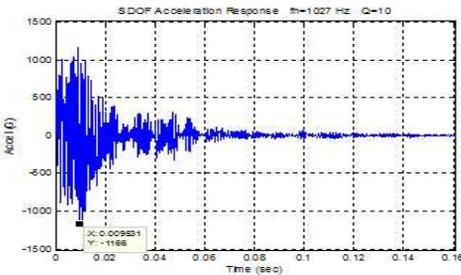
**Figure 14** Arbitrary acceleration base excitation  
- Unapplied shock isolator



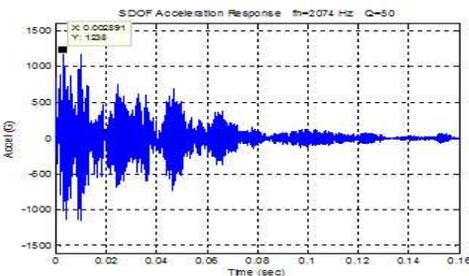
**Figure 18** Arbitrary acceleration base excitation  
- EAR shock isolator (Partial)



**Figure 15** Arbitrary acceleration base excitation  
- Teflon shock isolator (Whole)



**Figure 16** Arbitrary acceleration base excitation  
- Teflon shock isolator (Partial)



**Figure 17** Arbitrary acceleration base excitation  
- EAR shock isolator (Partial)

## 2.4 SRS 분석 및 충격해석

적용된 충격 절연계에 따른 효과도 분석을 위해 실제 충격시험 시 획득한 가진 파형을 이용하여 SRS변환을 하였다. 그림 7은 실제 충격시험에서 측정된 입력 가속도 그래프이며, 그림 8은 SRS를 통해 변환된 주파수역 가속도 그래프이다. 변환된 SRS파형을 CCA의 충격해석의 입력신호로 사용하였다. 그림 13은 CCA에 작용하는 가속도 응답을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 충격 가속도는 CCA의 중앙부에서 현저하게 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

## 2.5 충격 절연계 효과도 분석

실제 충격시험의 시간역 데이터를 입력조건으로 하여 충격 절연계를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우의 효과도를 분석하였다. 그림 13 ~ 그림 18은 효과도 분석 결과이다. 충격 절연계를 적용하지 않은 경우 1,238g의 값을 보였다. 테프론 재질의 절연계를 전체적으로 적용한 경우 1,118g, 부분적으로 적용한 경우는 1,166g의 최대 가속도를 보였으며, EAR재질의 절연계를 전체적으로 적용한 경우 467g, 부분적으로 적용한 경우는 395g의 최대가속도를 보였다. 이는 패드에 대한 충격 절연 효과가 있으며, 테프론 재질에 비해 EAR재질의 효과도가 50% 이상 높은 것을 알 수 있다.

## 3. 결 론

수중으로 입수하는 발사체의 경우 입수 시 큰 충격을 받는다. 이러한 충격은 CCA에 탑재된 전자부품의 손상 및 오작동을 야기한다. 본 논문에서는 내

충격에 설계를 위해 우선적으로 목표 공진주파수를 계산하였다. SRS분석을 통해 이를 충격 해석의 입력값으로 이용하여 설계된 CCA의 충격 해석을 통해 응답 가속도의 크기 및 최대 위치를 확인하였다. 또한 하우징의 벤딩모드에 의해 CCA의 피로파괴의 영향을 분석하기 위해 충격 절연계를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우 하우징의 모드해석을 통해 CCA의 공진주파수와는 다른 주파수에서 모드를 가지는 것을 확인하였다. 끝으로 실제 시험 시 가한 시간역 가속도 값을 이용하여 충격 절연계를 적용한 경우와 적용된 다른 두 재질에 대해 절연 효과도를 분석하였다. 그 결과 EAR 절연계를 적용한 경우 효과도가 큰 것을 알 수 있었다. 끝으로 목표 공진주파수 설정과 충격해석을 통한 가속도 결과에서 CCA의 중앙부의 강건한 설계가 필요한 것을 확인하였으며, 이를 적용한 해석 및 시험은 향후 과제로 남긴다.

## 참 고 문 헌

(1) Youn, S. H., Jang, Y. S. and Han, J. H.. 2007, Pyroshock and Vibration Characteristics of PEEK Washer Shock Absorbers, The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences. Vol. 36, No. 3, pp. 285~290.

(2) Lee, J. H., Yang, S. C., Park, Y. P., Park N. C., Park, K. S., and Kim, K. D., 2010, Robust Design of the CCA in a Helicopter against Shock Load, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 584~585.