

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.6.927>

JCCT 2023-11-111

## 무인기용 진동 저감 마운트의 고무 감쇠 특성에 대한 연구

### Study on Rubber Damping Characteristics of Vibration Reduction Mounts for UAVs

강찬휘\*, 박헌서\*\*, 곽동기\*\*\*

Chan-Whi Kang\*, Hun-Suh Park\*\*, Dong-Gi Kwag\*\*\*

**요약** 현대에 들어서 전자 기기와 같은 반도체 기술 발전으로 자동차, 드론, 비행기, 발사체 및 다양한 분야에서 고도화된 전자 부품이 들어간 탑재 장비 품질의 향상과 함께 탑재된 장비에 대한 다양한 외란의 영향을 줄이는 필요성이 더욱 중요해지고 있다. 자동차, 드론, 비행기, 발사체 등과 같이 다양한 환경에서 작동하는 장비의 파손을 방지하고 품질을 향상시키기 위해서는 하드웨어를 통한 진동제어가 선결되어야 한다.

본 연구는 탑재된 장비를 다양한 외란으로부터 보호하고 안정성 향상을 위한 진동 감쇠 시스템 연구에 중점을 두고 있다. 연구 대상인 고무 댐퍼의 특성을 파악하기 위해 압축강성, 감쇠율, 주파수 응답 등을 포함한 동특성 분석 및 고무 댐퍼의 주파수 영역에서의 진동 특성을 FEM 해석을 통해 다양한 주파수 대역에서의 진동 감쇠를 확인 하였다. 이러한 연구 결과를 통해 다양한 외란 조건에서 적합한 고무 댐퍼를 선택하는 기준을 제시하고자 한다.

**주요어** : 진동감쇠, 고무댐퍼, 고무 감쇠율, 주파수 응답특성, 조화응답해석

**Abstract** In modern times, with advances in semiconductor technology such as electronic devices, the need to improve the quality of onboard equipment with advanced electronic parts in automobiles, drones, airplanes, projectiles, and various fields, and reduce the impact of various disturbances on onboard equipment is becoming more important. Vibration control through hardware must be determined to prevent damage and improve quality to equipment operating in various environments such as automobiles, drones, airplanes, and projectiles.

This study focuses on the study of vibration damping systems to protect mounted equipment from various disturbances and improve stability. Dynamic characteristics analysis, including compressive stiffness, damping rate, and frequency response, and vibration characteristics in the frequency domain of rubber dampers were identified through FEM analysis to identify the characteristics of rubber dampers. Through these findings, we would like to present the criteria for selecting a suitable rubber damper under various disturbance conditions.

**Key words** : Vibration damping, Rubber damper, Rubber damping ration, Frequency response characteristics, Harmonic response characteristics

\*준회원, 한서대학교 항공시스템공학과 석사과정 (제1저자)

\*\*준회원, 한서대학교 항공시스템공학과 석사과정 (참여저자)

\*\*\*정회원, 한서대학교 항공기계공학과 부교수 (교신저자)

접수일: 2023년 10월 4일, 수정완료일: 2023년 10월 27일

게재확정일: 2023년 11월 10일

Received: October 4, 2023 / Revised: October 27, 2023

Accepted: November 10, 2023

\*\*\*Corresponding Author: dgkwag@hanseo.ac.kr

Dept. of Aeronautical Engineering, Hanseo Univ. Korea

## I. 서 론

반도체 분야 기술의 혁신적인 발전은 현대 사회에 미치는 영향을 기하급수적으로 확대하고 있다. 이러한 기술의 진진은 다양한 산업 분야에서 혁신적인 응용 가능성을 제시하고 있다. 특히 고도화된 장비의 발달은 항공, 우주, 자동차 등 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 특히 통신, 감시정찰 같은 분야에서 발생하는 진동의 제어는 장비의 성능과 안정성에 크게 의존하고 있어 1차적인 진동의 감쇠를 통해 데이터의 품질 향상을 이뤄 내야 한다[1].

장비가 소형화되고 경량화 되는 추세로 진동 제어가 더욱 중요해지고 있다. 따라서 현대의 기술 발전에서 진동을 효과적으로 제어하는 것은 현대 기술 발전의 중추적인 과제로 자리매김하고 있다[2-3]. 진동 제어를 위해 다양한 기술 및 장비가 개발되어 왔으며, 그 중에서도 고무 댐퍼를 이용한 마운트는 많은 연구와 응용에서 사용되어 왔다. 고무 댐퍼는 진동감쇠, 내구성, 비효율성, 무음 및 무진동 등 다양한 장점을 가지고 있고, 특히 미세한 변형에 대해 전체 체적의 변화가 없다는 장점이 있다[4]. 위와 같은 고무의 장점을 통해 고무를 탄성체로 가정할 수 있으며 이를 기반으로 수학적 모델링을 설계할 수 있다. 본 연구는 고무 댐퍼의 수학적 해석과 Ansys 시뮬레이션을 통해 고무의 특성을 파악하고 진동 저감 효과를 확인하였다[5]. 연구에서 특정 감쇠 성능의 확인을 위해 드론에 적용된 마운트와 광학계 임무장비의 더미의 무게를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 고무의 경도에 따른 진동 저감 효과를 비교 분석하여 고무 댐퍼 선정에 대한 연구를 진행하였다.

## II. 본 론

### 1. MCK 모델

MCK 모델은 역학 및 구조 엔지니어링 분야에서 사용되는 중요한 모델 중 하나로, 다중체 동역학(Multi body Dynamics) 분야에서 주로 적용된다. MCK 는 각각 질량(Mass), 감쇠(Damping), 탄성(Stiffness)을 나타낸다. 여기서 M(Mass-질량)은 MCK 모델의 첫 번째 요소로 시스템 내의 질량 분포를 나타낸다. 두 번째 요소인 C(Damping-감쇠)는 감쇠를 나타낸다. MCK 모델

의 세 번째 요소는 K(Stiffness-탄성)로 표현되며, 시스템의 탄성을 나타낸다. MCK 모델은 시스템의 동역학을 분석하고 설계하는 데 유용하며, 시스템의 운동, 진동, 안정성, 응답 특성 등을 예측하는 데 활용된다. 본 연구에서는 드론에 사용되는 마운트를 진동해석에 사용한다. 마운트의 경우 고무의 압축 강성을 이용한 감쇠 시스템을 가지고 있기 때문에 MCK모델을 기반으로 Base Excitation(바닥 가진) 이론을 이용하여 댐퍼 설계를 위한 수학적 모델링을 진행했다.

### 2. 드론 마운트 수학적 모델링

본 연구에서는 Base Excitation 이론을 사용하여 댐퍼의 진동감쇠를 수학적 모델링을 진행하였다. Base Excitation은 기반 부가 외부 힘으로 주기적으로 움직일 때 해당 시스템이 받는 진동을 의미하며 이를 수학적으로 표현해 주는 변위 전달률 식은 아래의 식(1)에서 확인할 수 있다.

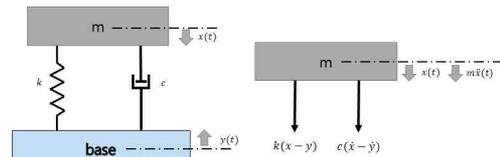


그림 1. 바닥가진 수학적 모델링  
Figure 1. Base excitation mathematical modeling

$$\sum F = -k(x-y) - c(\dot{x}-\dot{y}) = m\ddot{x}$$

$$m\ddot{x} + c(\dot{x}-\dot{y}) + k(x-y) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{(2\zeta r)^2 + 1}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}$$

$m$  : 질량,  $c$  : 감쇠계수,  $k$  : 스프링 상수,  $Y$  : 지반의 진폭

$X$  : 변위,  $w$  : 지반이 진동하는 진동수,  $r$  : 주파수비

감쇠비는 아래의 식(2) 와 같이 표현되며, 이는 시스템의 고유 진동수  $w_n (= \sqrt{\frac{k}{m}})$ 으로 표현된다. 고유진동수는 초기 조건 등과는 관계없이 진동계 체원(질량, 탄성)으로만 정해진다는 특징을 가지며 댐퍼의 감쇠 성능을 확인하고 다양한 조건에서 댐퍼 설계에 가장 중요한 상수의 역할을 한다[6].

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} = \frac{c}{2mw_n} \quad (2)$$

### 3. Q-Factor

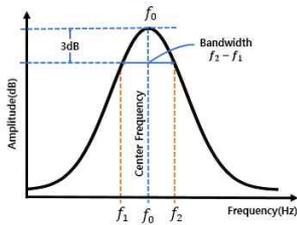


그림 2. Q-factor 그래프  
 Figure 2. Q-factor Graph

고유진동수를 중심으로 1/2 파워 점(Peak\*0.707)인 두 점  $f_1$ 과  $f_2$ 의 차이를 이용하여 Q 값을 구할 수 있고 Q 값을 토대로 공진의 반응을 확인할 수 있다.

$$\frac{1}{2\zeta} = Q = \frac{1}{\eta} = \frac{f_n}{f_2 - f_1} \quad (3)$$

$\zeta$  : 감쇠비,  $\eta$  : 손실률,  $f_n$  : 고유주파수

### III. 시뮬레이션 구성 조건

바닥 가진 이론에 기초하여 조화 가진 진동을 정교하게 재현하기 위해 보 구조에 마운트를 설치하였다. 이러한 설계는 드론이 공중에서 모터의 작동으로 인한 자유진동의 상태를 정확히 시뮬레이션하기 위함이다. 드론의 구조적 특성과 그 복잡성 때문에 공중에서 발생하는 진동은 Noise 형태의 외란으로 감지될 수 있다. 이러한 외란의 영향을 최소화하고, 구조적 안정성을 보장하기 위해 빔 형상에 특별히 디자인된 마운트를 설치하고 진동 특성을 분석하였다.

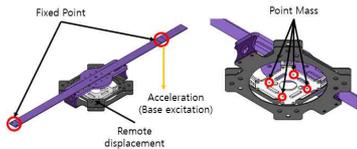


그림 3. 고무 댐퍼 감쇠 시뮬레이션 경계조건  
 Figure 3. Rubber damper damping simulation boundary condition

마운트의 Harmonic 해석은 진동이 해석에 필수적으로 동반 되어야한다. 따라서 초기 경계조건의 설정이 시뮬레이션 결과에 큰 영향을 미친다. 보의 양 끝단에 Fixed Point를 주었으며 장비의 체결 부위에 터미의 무게 Point Mass 1.7kg을 적용하였다. 본 연구에서는 장비의 C.G.점은 중앙으로 설정하였다. Acceleration의 경우 Base excitation의 조건을 주었으며 마운트의 상판에 Remote displacement로 Z축 자유

도만 허용하였다.

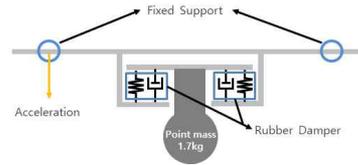


그림 4. 시뮬레이션 개략도  
 Figure 4. Simulation Schematic diagram

그림 4. 에서 고무 댐퍼의 하단 부분은 보에서 발생한 진동에 의해 진동이 발생하고 상단 부분은 하단에서 발생한 진동에 의해 장비의 무게 m의 변위가 발생한다. 진동의 직접적인 영향을 받는 마운트의 하판과 고무 댐퍼로 진동이 감쇠된 상판과의 FRF 비교를 통해 고무 댐퍼의 진동 감쇠 효과를 확인하고 각 강성별 진동 감쇠 특성을 확인한다.



그림 5. 보와 마운트 메쉬 설정  
 Figure 5. Beam and Mount Mesh Settings

Ansys auto mesh 기능을 사용하여 Triangle mesh를 사용하여 구성하였으며 484973개의 절점과 268997개의 요소로 구성하였다. 신뢰성 향상을 위해 Mesh 분석을 통해 평균 요소 품질이 0.81(1에 가까울수록 높은 품질)이 되도록 형성하였고, 표준 편차는 0.1을 갖도록 최적화를 수행하였다.

표 1. 보와 마운트의 Mesh 설정  
 Table 1. Mesh Setting for Beam and Mount

Mesh Setting	
Mesh Type	Triangle Method
Number of Point	484,973
Number of Element	268,997
Element Quality	0.81
Element Standard Deviation	0.1

본 연구의 핵심 요소인 고무 댐퍼의 설정은 하나의 탄성체로 가정되며, 강성 특성과 손실계수와 관련하여 Spring Contact 조건을 적용했다. Ansys에서 spring contact 조건의 Longitudinal Stiffness에 각각 1796N/mm, 2902N/mm, 4652N/mm의 실험값들을 적용해 조화 응답 해석을 하였다. 이때 z축 방향의 가진 가속도 범위는 0~500Hz로 0.1Hz 간격을 주었으며

Mode Superposition Method를 이용하여 Peak 지점의 거동을 중심으로 해석을 수행하였다.

#### IV. 마운트 FEM 결과

##### 1. 고무의 강성계수 측정 및

###### 1) 고무의 강성계수

후크의 법칙을 토대로, 고무의 강성에 연관된 수직 수축량을 정밀하게 측정함으로써 그 특성을 분석한다. 변위 센서를 활용하여 부여된 하중에 따른 변위 응답을 측정하였고 이를 Ansys 해석 결과와 대조하여 고무의 강성 특성에 대한 정보를 얻으며 모델의 타당성을 확인하였다[7]. 수학적 모델링 과정에서는 고무의 전단응력을 미소 값으로 규정하여 해석상에서 전단응력을 0으로 지정하였다. 수직 응력과 수직 변형률의 상호작용을 중심으로 강성 계수를 도출하였다.

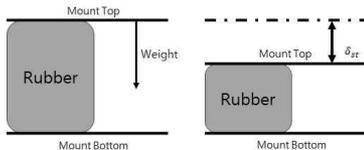


그림 6. 고무의 강성에 따른 수축량 측정

Figure 6. Measurement of shrinkage according to the stiffness of rubber

실험 시스템은 안정된 조건에서 시작되었다. 이 과정에서 고무 샘플은 초기 위치에서 외부 부하의 영향으로 압축 상태로 전환하였다. 변위의 정밀한 측정을 위해 레이저 변위 센서를 사용하였으며, 각기 다른 조건들에 대한 변위량을 측정하였다. 해당 레이저 변위 센서의 상세한 파라미터는 그림 7.과 표 2.로 나타내었다.



그림 7. 레이저 변위 센서

Figure 7. Laser displacement sensor

표 2. 레이저 변위센서 파라미터

Table 2. Laser displacement sensor Parameters

기준거리	측정거리	직진성	반복정도	샘플링 주기
100mm	75~130m m	±0.15% of 20mm	4μm	0.33ms

###### 2) 강성 실험결과와 시뮬레이션 비교

고무의 특성을 고려하여 하나의 탄성체로 간주하였다.

이를 기반으로 Ansys 해석을 진행할 때, 해당 탄성체의 강성 k를 고려하여 스프링 모델로 해석하였다.

본 실험에서는 분동의 무게를 변수로 설정하여 다양한 사례를 고려하였으며, 구체적으로는 0.5kg부터 시작하여 2kg까지 0.5kg 간격으로 총 4가지 무게 케이스를 설정하였다. 각각의 무게에 따른 고무의 변위를 측정하였고 이를 Ansys를 통한 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

이러한 접근은 강성 데이터의 신뢰성을 높이는 데 중요한 역할을 하였다. 실제 실험 결과와 시뮬레이션 결과의 비교 분석을 통해 실제 모델링 방법이 실제 상황을 어느 정도 반영하는지에 대한 기준을 제시하였다.

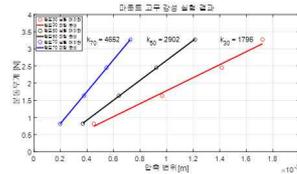


그림 8. 고무 경도별 강성

Figure 8. Stiffness by rubber hardness

표 3. 무게에 따른 고무의 변위량

Table 3. Displacement amount of rubber according to weight

분동무게(kg)	시험변위(mm)	해석변위(mm)	오차(%)
0.5	0.260	0.271	1.5
1	0.476	0.510	3.6
1.5	0.704	0.740	3.8
2	0.942	0.95	4.0

고무는 초기 위치에서 외부 무게에 의해 압축되었다. 이후 서로 다른 무게 값들에 대해 고무의 변위량을 정밀하게 측정하였고 이를 Ansys 해석과 비교하여 5% 이내의 오차를 확인하며 모델 검증과 동시에 품질 향상을 이뤘다. FEM 해석에서 필요한 값인 강성 상수 k를 기반으로 하여, 감쇠비 ζ(제타)의 값이 강성 k에 의해 변하는 값을 확인하고 진동 저감 효과를 가진 마운트 설계를 위해 필요한 고무의 특성을 결정한다.

##### 2. 고무 댐퍼 별 시뮬레이션 결과

###### 1) 보의 FEM 해석

보에 설치된 진동감쇠 마운트의 형상을 기반으로 FRF 그래프를 작성하기 위해 보의 형상에 따른 고유진동수를 파악하고, 실제 마운트의 공진 주파수에 미치는 영향을 검증하였다. 추후에 FRF 그래프를 분석할 때는 보의 1차 고유진동수를 고려하여 더 정밀한

해석을 수행하도록 하였다.

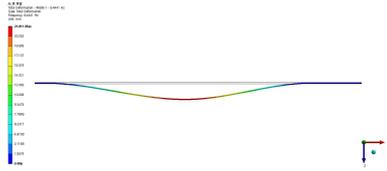


그림 9. 보의 모달 해석  
 Figure 9. Modal Interpretation of Beam

보의 고유진동수를 알기 위해 모달 해석을 진행하였으며, 보의 경계조건은 마운트와 결합되는 위치인 중앙 홀에 Point Mass(장비 무게 : 1.7kg, 마운트 무게 : 0.47kg) 경계조건을 적용하였다. 해석 결과 6.4Hz에서의 보의 1차 공진주파수가 확인되었다.

## 2) 시스템의 하모닉 해석

그림 3에서 제시된 바와 같이, 특정 경계조건들이 적용되었다. 이 조건들 하에 마운트의 상판과 하판에 해당하는 부분에서 감쇠와 비감쇠 두 가지 모델에 대해 그래프를 작성하였고, 그래프들은 고무 댐퍼의 감쇠 성능을 분석하고 평가하기 위한 목적으로 도출되었다. 각각의 그래프는 다양한 경도 조건에 따라 세분화하여 그래프화 하였고, 이를 통해 경도 변화에 따른 감쇠 특성의 변동성을 상세하게 관찰하고, 그 영향을 파악할 수 있다.

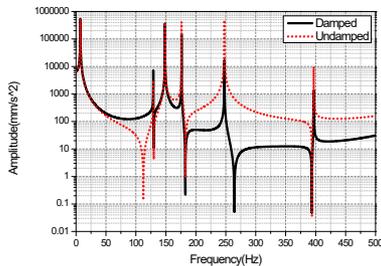


그림 10. 고무 댐퍼 경도 30 FRF 그래프  
 Figure 10. Rubber damper hardness 30 FRF graph

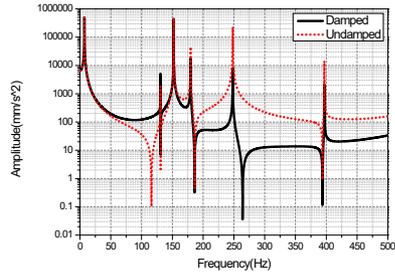


그림 11. 고무 댐퍼 경도 50 FRF 그래프  
 Figure 11. Rubber damper hardness 50 FRF graph

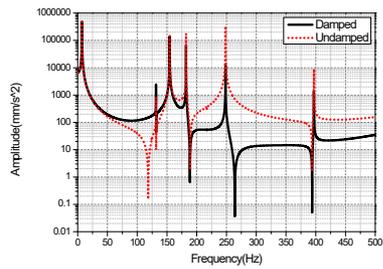


그림 12. 고무 댐퍼 경도 70 FRF 그래프  
 Figure 12. Rubber damper hardness 70 FRF graph

전체 시스템의 모달 해석 결과 보에서 측정된 6.4Hz 부근에서의 1차 공진 주파수가 확인되었으며 보의 2차 고유 진동수는 해석 결과 97.4Hz로 확인이 되었으나 2차 고유진동수부터는 오차가 커 시스템의 신뢰성 확보를 위해 모달 해석의 결과를 사용하지 않았다. FRF 그래프를 분석하여 150Hz에서의 공진점이 댐퍼에 의한 감쇠 효과가 작은 것을 확인하였으며 이를 시스템 상보의 2차 고유진동수로 규정을 하였고 다음 공진 주파수인 180Hz 부근, 248Hz 부근, 397Hz 부근에서의 진폭의 감쇠를 확인했다. 고무 경도에 따라 강성이 변화되어 경도별 1차 공진 주파수의 값의 차이가 존재하며 이를 정리하면 아래의 표 4. 와 같다. 표에서 사용된 감쇠량은 기준치 A에 대한 B의 데시벨 값으로 도출 식은 아래의 식 (4)와 같다.

$$\text{감쇠량}(dB) = 20\log\left(\frac{B}{A}\right) \quad (4)$$

A : 기준치(dB), B : 타겟(dB)

표 4. 경도별 주파수 및 감쇠량

Table 4. Frequency and damping amount by hardness

구분	감쇠량 단위 : (dB)					
	1차 공진점	감쇠량	2차 공진점	감쇠량	3차 공진점	감쇠량
경도 30	176.2 Hz	-8.4	247.6 Hz	-29.3	396.8 Hz	-17.2
경도 50	179.7 Hz	-8.4	248.1 Hz	-28.9	396.8 Hz	-16.6
경도 70	182.1 Hz	-8.3	248.4 Hz	-28.7	396.9 Hz	-16.2

그림 10. 그림 11. FRF 그래프를 비교 분석하였을 때, 경도 30은 경도 50에 비해 저주파수 대역은 낮은 진폭, 고주파수 대역은 높은 진폭의 그래프 결과가 나타났다. 그림 11.과 그림 12.의 그래프를 비교분석 하였을 때 경도 50은 경도 70에 비해 저주파수 대역은 낮은 진폭, 고주파수 대역에서는 높은 진폭의 그래프 결과가 나타났다. 이는 고무의 특성상 비선형적인 요소가 존재하기 때문에 각 상황에 맞는 고무의 경도를 선정해야 하는 것을 의미한다. 때문에 FRF 그래프와 감쇠량을 상황에 맞게 분석해야 하며 그에 따른 해석은 필수적인 요소이다. 또한 시스템의 강성이 증가할수록 1차 공진 주파수가 상승하는 현상을 관찰하였다. 이러한 현상은 기기나 장비를 설계할 때 댐퍼의 경도를 조절함으로써 공진 주파수를 원하는 범위로 조절할 수 있는 가능성을 제시한다. 이를 활용하면 드론, 비행기, 자동차 등에 탑재되는 장비를 진동원에서 파생되는 특정 상용 주파수에서 장비가 공진 주파수를 회피할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 실험적, 해석적 방법을 통해 고무의 강성을 구하여 유한요소해석을 통해 다양한 외란 조건에서 적합한 고무 댐퍼 선정 기준을 제시하기 위한 연구를 진행하였다. 고무 댐퍼 선정 기준을 정하기 위한 과정을 요약하면 다음과 같다.

(1) 각각 경도 30, 50, 70을 가지는 고무 댐퍼의 강성을 구하기 위해 분동과 레이저 변위 센서를 이용하여 압축시험을 진행하였다. 시험에는 0.5kg부터 2kg까지 0.5kg 간격으로 총 4가지 무게 케이스를 설정하여 진행하였고 Ansys 해석 결과와의 비교를 통해 5% 이내의 오차를 확인하여 신뢰성을 확보하였다.

(2) 압축시험으로 획득한 강성을 이용하여 유한 요소 해석을 진행하였다. 이를 위해 구조물에 부착된 보의

형상에 따른 고유진동수를 유한요소해석으로 판별하였고 마운트의 공진주파수에 영향을 미치는 성분을 제외하고 고무 댐퍼의 성능을 확인하였다.

(3) FRF 그래프와 감쇠량을 비교 분석하여 장비 운용 환경에 따른 고무 댐퍼 선정의 기준을 제시하였다. 또한 시뮬레이션 결과 마운트의 1차 공진점이 강성 k에 의해 이동이 된다는 것을 확인하였으며 시스템 설계 시 공진 주파수의 회피에 사용이 가능함을 확인하였다.

추후 연구로서 Impact hammer와 가진기를 이용한 진동 실험을 실시하여 Ansys 시뮬레이션 결과값과의 비교분석을 통해 Ansys 해석에 대한 신뢰성을 향상할 것이다. 또한, 고무라는 재료의 특성상 시간이 지남에 따라 성능이 현저히 감소하게 되므로 고무 댐퍼의 교체 주기를 파악할 수 있는 반복하중, 온도변화, 충격량 등에 따른 실험과 시뮬레이션을 진행하고자 한다.

### References

- [1] Harris, "Harris' Shock and Vibration Handbook", McGraw-Hill, vol. 5, chapter 33, pp. 5-18, Nov 2001.
- [2] C. H. Lee, J. H. Park and K. H. Lee, "A Study of Vibration Characteristic for Semiconductor Chip Test Equipment", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers (KSMPE), vol.11, no.3, pp. 182-186, 2012.
- [3] Prince-David Malendele, S. Y. Lee, S. I. Park and C. W. Han, "Prediction of Reliability-Critical Components on an Electronic Board under Random Vibration", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers-A(KSME-A), vol.46, no.7, pp. 637-644, 2022. <https://doi.org/10.3795/ksme-a.2022.46.7.637>
- [4] C.Collette, "Active Vibration Isolation System for Drone Cameras," Proceedings of the 14 International Conference on vibration Problems, vol 2, pp. 1067-1084, July 2019. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8049-9\\_67](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8049-9_67)
- [5] J. Y. Choi, T. J. Yoon and J. S. Chung, "Evaluation of Sleeper Supporting Condition for Railway Ballasted Track using Modal Test Technique", Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), vol.9, no.4, pp. 537-542, 2023. <https://doi.org/10.17703/JCCT.2023.9.4.537>

- [6] D. O. Lee, J. H. Han, “A Comparison of Vibration Isolation Characteristics of Various Forms of Passive Vibration Isolator”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering(KSNVE), vol.22, no.9, pp. 817-824, 2012. <https://doi.org/10.5050/ksnve.2012.22.9.817>
- [7] G. Y. Chung, D. H. Ha, K. N. Park and H. O. Kwon, “Experimental Study on Characteristics of Low Hardness Rubber Bearing”, Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea(EESK), vol.6, no.4, pp. 39-49, 2002. <https://doi.org/10.5000/EESK.2002.6.4.039>

※ 본 연구는 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 민군기술협력사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.(협약번호 UD100044TU)