

기초 질량부가 포함된 상부 수동형 서브 마운트 기계적 특성 개선

Mechanical Property Refinement of Upper Passive-type Sub-mount Including Mass-block

박진우* · 김찬중†
Jin-woo Park* and Chan-Jung Kim†

(Received May 2, 2023 ; Revised July 6, 2023 ; Accepted July 7, 2023)

Key Words : Mass Block(기초 질량부), Harmonic Excitation(조화 가진), Base Input(바닥 입력), Passive-type Mount(수동형 마운트), Sub-mount(서브 마운트)

ABSTRACT

If there is a mechanical system that produces excessive vibration during operation, an anti-vibration mount must be installed to prevent the transmission of the generated vibration to the floor. Mass-block has been utilized to lower the resonance frequency of the underground structure, and the anti-vibration module is a complex structure considering the mass-block. Therefore, it is a difficult process to effectively determine the mechanical properties of the sub-mount. In a previous study, we proposed two performance indices of the mount module, considering the vibration control capacity for two excitation conditions: self-excitation and basement input. Here, we investigated the refinement of the mechanical characteristics of the upper sub-mount of the mass-block. The plant is modeled with three degrees of freedom systems including mass-block, and the dynamic responses of the target system were obtained via the simple power plant model. The choice of optimal mechanical properties at the upper position of the sub-mount was calculated after analyzing two performance indices.

기 호 설 명

- C_M : M_M 와 M_B 간의 감쇠 계수
- C_P : M_P 와 M_M 간의 감쇠 계수
- F_B : 지면의 가진력
- F_P : 발전기의 가진력
- K_B : 지면의 스프링 계수
- K_M : M_M 와 M_B 간의 스프링 계수
- K_P : M_P 와 M_M 간의 스프링 계수
- M_B : 주변 건물의 질량
- M_M : 기초 질량부의 질량

- M_P : 발전기의 질량
- X_B : 지면의 응답
- X_M : 기초 질량부의 응답
- X_P : 발전기의 응답

1. 서 론

비상용 발전기는 비상 전력을 생산하여 전력 차단으로 인한 전력 공백을 방지하고자 소방기본법, 재난 및 안전관리 기본법 시행령 및 안전규칙 등에 의거 각종의 의료, 산업 등의 기타 시설의 주 발전기와는

† Corresponding Author ; Member, Pukyong National University, Professor

E-mail : cjkim@pknu.ac.kr

* Member, Pukyong National University, Student

‡ Recommended by Editor Yunsang Kwak

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

별도로 장착되는 필수적인 장비이다. 일반적인 비상 발전기는 일정 용량 이상의 전력을 제공하기 위하여 내연 기관을 사용하고 있으며 내연 기관의 회전력으로 부터 나오는 진동으로부터 주변 시설물들의 영향을 방지하고 발전기 외부의 가진으로부터 전달되는 진동을 최소화하기 위하여 각 비상용 발전기는 스프링, 댐퍼 등의 장착 바닥면과 발전기를 이격할 수 있는 마운트 모듈을 사용한다. 마운트 모듈은 기존 연구에서 소개한 바와 같이 작동 방식에 따라 수동(passive type)⁽¹⁻⁶⁾, 반 능동(semi-active type) 및 능동(active type)으로 구분할 수 있으며 특히 수동형 마운트 모듈의 타 방식 대비 저렴하고 유지보수가 쉬운 장점이 있어 많이 사용되고 있다⁽⁷⁻¹⁰⁾. 비상 발전기의 1차 공진점을 최소화하기 위하여 해당 발전기 중량과 같거나 혹은 그 이상의 무게를 가진 기초 질량부(mass-block)를 설치한다. 하지만 기초 질량부는 주변 시설물의 영향을 최소화하기 위해 고무 물성 재료를 사이에 설치하고 콘크리트를 시공해야 하므로 비용뿐만 아니라 시공 비용이 크며, 일정 시간 경과 후 고무 물성 재료 수명으로 인한 교체 작업이 필요하여 유지 비용이 증가하는 단점도 있다. 따라서 기존 연구⁽¹¹⁾에서는 사용자의 요청에 따라 해당 비상용 발전기 마운트 모듈 구조에서 기초 질량부를 제거하고 단순화시켜 스프링과 댐퍼로만 구성된 신규 마운트 모듈을 제안하였고, 실험 결과 발전기의 100% 부하 상태에서도 신규 마운트 모듈이 기존의 마운트 모듈과 동등한 성능을 내는 것을 확인하였다. 최근 연구⁽¹²⁾에서는 기초 질량부를 그대로 둔 상태에서 해당 질량부의 하부 마운트 특성을 최적화하는 연구를 수행하였다. 해당 조건에서는 기초 질량부의 상단 마운트 부분의 기계적 특성을 그대로 둔 상태로 하부 조건만 고려를 하였기 때문에 마운트 최적화 측면에서 다소 한계가 존재하였다.

이 연구에서는 최근 연구의 한계를 보완하기 위해 기초 질량부의 상부에 위치한 마운트에 대한 최적 조건에 집중하여 연구를 수행하였다. 비상용 발전기 마운트 모듈은 기존 연구에서 검증된 3자유도 시스템을 활용하였으며, 기초 마운트 조건은 시험 데이터 값을 초기 값으로 설정을 하였다. 해당 조건을 초기 상태로 둔 다음 시뮬레이션 모델에서 상부의 마운트 조건을 변경하여 2가지 가진 조건 아래에서 발생하는 응답 특성들을 획득한 후 마운트의 성능 인자를 평가할

수 있는 성능 지표들을 각각 비교하였다. 상부 마운트 위치에서의 기계적 특성(스프링 계수, 감쇠 계수)에 따른 마운트 성능 지표들에 대한 변화를 관찰함으로써 최종적으로 최적의 마운트 조건을 도출하였다.

2. 마운트 모듈의 3자유도 시스템 모델링

이 연구에서 활용한 비상 발전기와 이를 지지하는 마운트 모듈은 Figs. 1, 2에 도시한 바와 같이 기존 연구들^(11,12)에서 사용된 모델과 동일하다. 비상 발전기는 두산인프라코어에서 제작하였고 용량은 750 kW이며 자체 무게(M_p)는 6070 kg으로 해당 발전기가 설치될 대상 시설물의 주 전원 차단 시 비상 전력 생산을 위하여 발전기 내부의 디젤 엔진을 통해 전기



Fig. 1 Configuration of emergency electric generator

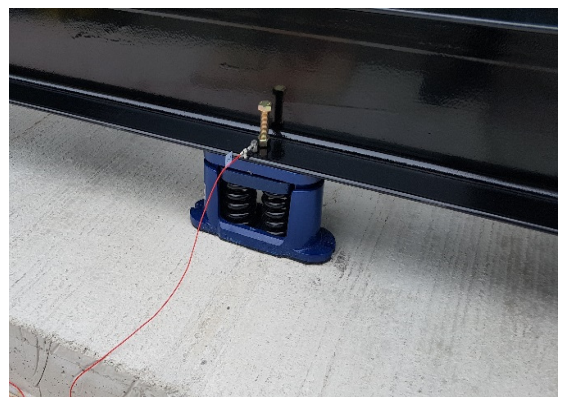


Fig. 2 Passive-type mount module of emergency electric generator including a basement mass-block

에너지를 생산한다. 해당 발전기의 작동 환경은 분당 회전수 1800 r/min으로 관심 주파수는 30 Hz이며, 하모닉 성분까지를 고려하여 최대 120 Hz까지를 관심 주파수로 선정하였다. 해당 발전기의 작동 시 저주파 영역에서의 진동이 발생할 수밖에 없으며, 이를 극복하기 위해 발전기를 지지하는 마운트 모듈의 설치는 필수적이다.

앞선 내용을 바탕으로 마운트 모듈의 응답 특성 도출을 위하여 3 자유도 시스템으로 다음과 같이 모델링하였다. 마운트 모듈은 발전기(M_P)와 기초 질량부(M_M)를 이격시키는 스프링(K_P) 및 댐퍼(C_P)가 장착되어 있다. 발전기로부터 발생 되는 진동이 주변 시설물(M_B)들에 영향을 주지 않도록 기초 질량부 내부에는 고무 물성의 탄성체를 설치하여 강성(K_M)과 감쇠(C_M)를 가지도록 구성되었다. 주변 시설물(M_B)는 지면과 일정 강성(K_B)을 가지는 것으로 설정하였으며, 최종 3자유도 모델은 Fig. 3과 같다.

Table 1은 비상 발전기와 관련하여 실험적 검증을 통해 얻은 주요 인자들에 대한 등가 값들을 정리한 것이다. 특히 이 연구의 주요 관심 대상인 기초 질량부 상부의 마운트 동특성 값은 전용 시험 장비인 고무 물성 시험 장비(MTS systems, 835 model)를 통해 한국자동차연구원에서 시험한 데이터를 활용한 것이다. 해당 장비를 통해 상부 서브 마운트의 스프링(K_P)과 댐퍼(C_P) 값은 실측값을 사용하였으며, 하부 서브 마운트(K_M , C_M), M_B , M_B 파라미터들은 별도의 주파수 응답 함수 측정값을 바탕으로 3 자유도 모델 조정을 통해 도출된 결과물이다. 시스템의 작동 주파수 대역을 고려하여 최대 120 Hz 주파수까지 관심 영역이므로 해당 파라미터 결과물은 해당 주파수 대역에서만 유효하다. 시스템 모델에 적용된 파라미터 조정 과정은 기존 연구들^(11,12)에서 상술되어 있으며, 이 연구에서는 Table 1의 결과물을 그대로 사용하였다.

3. 마운트 모듈 최적 성능 평가 및 도출

3.1 마운트 모듈의 성능 평가 지표 도출

Fig. 3의 이론 모델⁽¹¹⁾을 바탕으로 각 집중질량에 관련한 2차 상미분 방정식을 도출할 수 있다. 다음 식 (1)~ 식 (3)은 각 질량과 관련된 이론 식을 정리한 것이다.

$$M_P \ddot{X}_P + C_P \dot{X}_P + K_P X_P = C_P \dot{X}_M + K_P X_M + F_P \quad (1)$$

$$M_M \ddot{X}_M + (C_P + C_M) \dot{X}_M + (K_P + K_M) X_M = C_P \dot{X}_P + K_P X_P + C_M \dot{X}_B + K_M X_B \quad (2)$$

$$M_B \ddot{X}_B + C_M \dot{X}_B + (K_M + K_B) X_B = C_M \dot{X}_M + K_M X_M + F_B \quad (3)$$

기존 최근 연구⁽¹²⁾와 같이 3가지 식을 주파수 영역에서 계산하기 위한 중간 단계로 초기 변위와 속도가 없다는 가정 아래 라플라스 변환을 수행한 후 반복적으로 나타나는 변수들을 식 (4a)~ 식 (4c)로

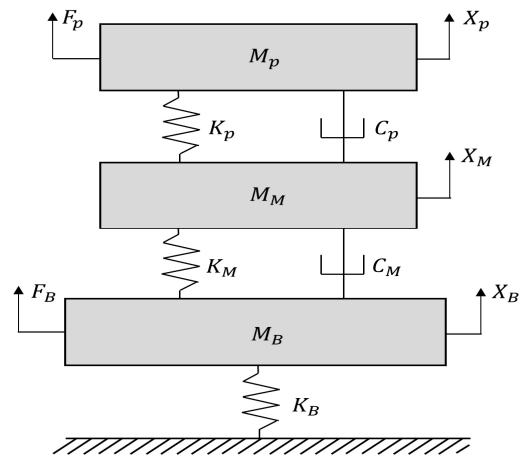


Fig. 3 Simplified theoretical models of mount module with a basement mass-block

Table 1 Mechanical property of passive-type mount module

Variable	Value
M_P [kg]	6070
M_M [kg]	6900
M_B [kg]	$10 \times M_P$
C_P [Ns/m]	603(1 Hz), 376(30 Hz), 216(60 Hz), 184(90 Hz), 158(120 Hz)
K_P [kN/m]	940(1 Hz), 1050(30 Hz), 1245(60 Hz), 1881(90 Hz), 4399(120 Hz)
C_M [Ns/m]	$(1.5 \times 10^6) \times C_P$
K_M [kN/m]	$(5 \times 10^6) \times K_P$
K_B [kN/m]	$10^{-1} \times K_P$

정의하였다.

$$\alpha(s) = s^2 M_P + s C_P + K_P \tag{4a}$$

$$\beta(s) = s^2 M_M + s(C_P + C_M) + (K_P + K_M) \tag{4b}$$

$$\gamma(s) = s^2 M_B + s C_M + (K_M + K_B) \tag{4c}$$

발전기 자체의 가진(F_P) 조건에서의 마운트 모듈의 진동 전달 특성을 평가하기 위해 바닥에서 발생하는 가진이 없다는 가정($F_B = 0$)을 하였으며 식 (4a) ~ 식 (4c)를 활용하여 발전기 자체의 가진(F_P) 변수를 제거한 경우를 식 (5)와 같이 도출하였고 해당 식 (5)를 첫 번째 성능 평가 지표(I_1)로 정의하였다⁽¹²⁾.

$$I_1(s) = \frac{X_B(s) F_P(s)}{F_P(s) X_P(s)} = \frac{(s C_M + K_M)(s C_P + K_P)}{\beta(s)\gamma(s) - (s C_M + K_M)^2} \tag{5}$$

지진 등의 영향으로 아래쪽에서 입력이 변위로 나타나는 경우는 Fig. 3의 3 자유도 모델에서 비상 발전기 및 지면의 가진(F_B, F_P)이 모두 없는 상태에서 발생한다. 해당 조건을 만족하는 변위 관련 진동 전달 특성을 평가하기 위해 바닥 변위(X_B)에 대한 발전기의 응답 변위(X_P)를 다음 식 (6)으로 도출하였다. 식 (6)은 바닥 변위의 변동이 발생할 때 비상 발전기 변위 변동의 비율로서 바닥 입력에 대한 마운트 모듈의 성능을 평가할 수 있는 두 번째 성능 평가 지표(I_2)로 정의하였다⁽¹²⁾.

$$I_2(s) = \frac{X_P(s)}{X_B(s)} = \frac{\gamma(s)(s C_P + K_P)}{\alpha(s) - (s C_M + K_M)} \tag{6}$$

식 (5)와 식 (6)으로 정리된 2가지의 마운트 성능 평가 지표는 각각 입력 대비 출력의 비율이므로 값이 작을수록 해당 가진 조건에서의 방진 성능의 우수함을 나타낸다.

3.2 최적의 마운트 모델 도출

Fig. 3과 같이 기초 질량부 상부 기계적 특성이 스프링 강성(K_P)과 감쇠 계수(C_P)로 이루어져 있으므로 해당 기계적 특성을 최적으로 도출하기 위해 해당 값들의 증감을 나타낼 수 있는 4가지 조건에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. Table 2는 이 연구에서 제안된 4가지의 서로 다른 기초 질량부 상부 기계적 특성

Table 2 Four cases of modified upper mass-block mechanical properties in the mount module

Case	Value
I	$C_P \div 10, K_P \div 10,$
II	$C_P \div 10, K_P \times 10$
III	$C_P \times 10, K_P \div 10$
IV	$C_P \times 10, K_P \times 10$

조건을 정리한 것이다.

기존 마운트 모델 응답 특성 성능과 이 연구에서 제안한 4가지의 마운트 모델의 응답 특성 비교를 위해 식 (5)와 식 (6)과 같은 성능 평가 지표를 활용하여 관심 주파수 대역에서의 인덱스값들을 도출하였다. 이후 각 Case 별 성능 평가 지표 값들을 I_1 과 I_2 로 두고 기존 마운트 모델에서의 성능 평가 지표 값들을 $I_{1,0}$ 와 $I_{2,0}$ 값이라고 두면, 지표 1과 지표 2의 변화율(\bar{I}_1, \bar{I}_2)을 식 (7)과 식 (8)로 각각 정리하였다.

$$\bar{I}_1(s) = \frac{I_1(s)}{I_{1,0}(s)} \tag{7}$$

$$\bar{I}_2(s) = \frac{I_2(s)}{I_{2,0}(s)} \tag{8}$$

관심 주파수 영역에서 계산한 각 지표의 변화율을 Figs. 4, 5에 각각 도시하였다. 각 지표에서의 인덱스 값이 낮을수록 기존 마운트 모델과 신규 제안한 마운트 모델의 응답 특성의 성능이 유사한 것을 나타낸다.

\bar{I}_1 과 \bar{I}_2 를 비교한 결과 Case I의 특성이 기존 마운트 모델의 응답 특성과 유사한 결과를 확인하였다. 하지만, Figs. 4, 5에서 Case I을 제외한 다른 케이스들의 인덱스 값들이 Case I보다 상대적으로 크기 때문에 기존 마운트 모델 대비 향상된 응답 특성을 확인하기 위하여 기존 마운트 모델의 인덱스 값인 $I_{1,0}$ 와 $I_{2,0}$ 을 Case I의 인덱스 값들과 비교하는 것이 필요하다. 다음의 Figs. 6, 7은 Case I과 기존의 인덱스 값들을 비교하였다.

Figs. 6, 7의 결과를 비교한 결과, I_1 지수에서는 초기 시동 시 주파수 영역에 해당하는 1 Hz 대역에서는 기존 마운트 모델보다 높은 응답 특성이 보이지만 비

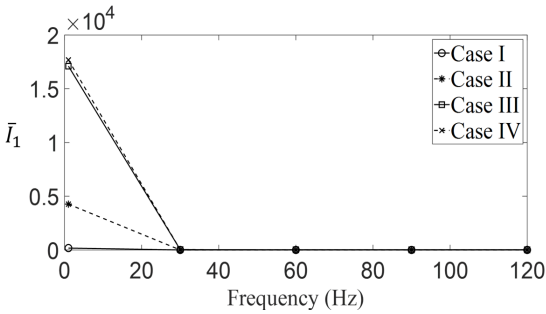


Fig. 4 Comparison of first index variations in the frequency band of interest

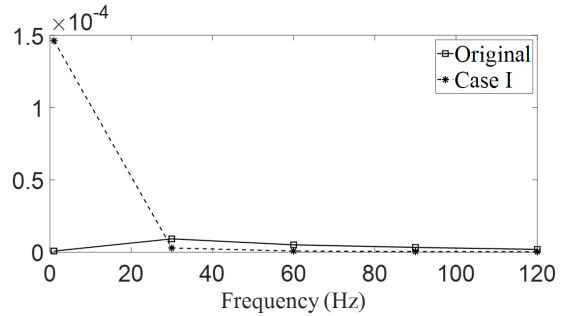


Fig. 6 Comparison of first performance index between the case I and the original one

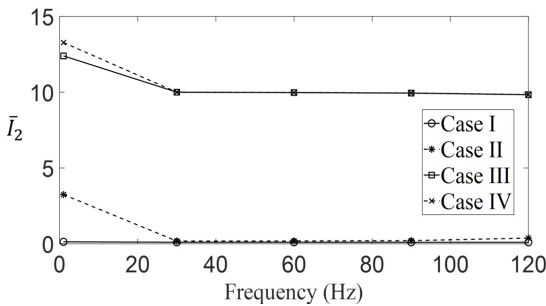


Fig. 5 Comparison of second index variations in the frequency band of interest

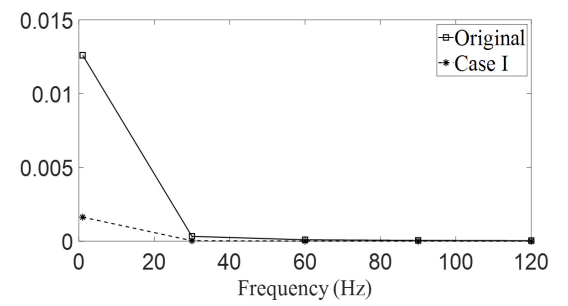


Fig. 7 Comparison of second performance index between the case I and the original one

상 발전기의 정상 상태 회전 주파수 대역은 30 Hz이므로 해당 주파수 미만은 발전기의 가진 조건에서 관심 영역을 벗어나며 관심 주파수 영역(30 Hz~120 Hz)에서 기존 마운트 모델보다 우수한 응답 특성을 보여주었다. I_2 지수에서는 기존 마운트 모델보다 Case I의 마운트 모델 응답 특성이 모든 주파수 대역에서 우수한 결과를 보여주었다. 따라서 위의 결과를 통하여 Case I이 최적의 마운트 모델임을 보여주었다. 2가지 조건의 인덱스 값을 구체적으로 정리한 것은 Table 3과 Table 4와 같다.

Table 3과 Table 4의 결과는 기초 질량부 하부의 기계적 특성 최적화를 수행한 기존 최근 연구⁽¹²⁾ 결과와 같이 기계적 특성 요소가 모두 낮은 마운트 모델의 응답 특성이 가장 우수하였다. 따라서 후속될 연구에서 이 연구 결과와 기존 연구 결과를 바탕으로 기초 질량부 상부 및 하부의 기계적 특성 요소들을 모두 낮추어 동시 조정하면 위의 결과보다 최적화된 마운트 모델이 도출될 것으로 예상된다. 하지만 이를 물리적으로 구현하는 것에 한계가 있으므로, 상용 판

매 및 사용되는 수동형 서브 마운트들의 실제적인 기계적 특성 요소를 측정하고 이 연구 결과와 후속될 연구 결과를 적용하여 해당 기계적 특성 요소들의 값이 낮은 수동형 서브 마운트를 장착하는 것이 바람직하다.

이 시뮬레이션 결과는 상부 서브 마운트에 한정하여 연구를 수행한 결과를 보여주는 것이다. 기존 연구⁽¹¹⁾에서 하부 서브 마운트와 관련된 연구 결과를 고려할 때 2개의 서브 마운트를 모두 고려한 최적화 과정이 추가적으로 필요하다고 판단된다. 2가지 서브 마운트를 모두 고려한 최적화 결과물을 상부나 하부 서브 마운트 각각의 개별 결과물로부터 직접 도출할 수 없기 때문이다.

3.3 마운트 모델 내 기초 질량부의 영향

첫 번째 지수 값(I_1) 중 30 Hz 미만의 주파수 영역에서 응답이 큰 것은 관심 주파수 대역을 벗어난 경우이다. 하지만, 회전이 정상 상태(1800 r/min)을 도달하지 못한 천이 구간에서 발생할 수 있는 큰 응답을 사전에 방지할 수 있으면 신뢰성 측면에서 이득이

Table 3 Comparison of first index value between case I and reference one

Case	First index value ($\times 10^{-6}$)				
	1 Hz	30 Hz	60 Hz	90 Hz	120 Hz
Original case	0.83	9.26	5.15	3.36	1.98
Case I	14.6	2.95	0.85	0.48	0.31

Table 4 Comparison of second index value between case I and reference one

Case	Second index value ($\times 10^{-3}$)				
	1 Hz	30 Hz	60 Hz	90 Hz	120 Hz
Original case	12.6	0.32	0.009	0.005	0.003
Case I	1.63	0.03	0.009	0.005	0.003

4. 결 론

이 논문에서는 기존 연구에서 사용되었던 실험적 데이터를 기반으로 비상 발전기의 마운트 모델을 3 자유도 모델로 모델링한 뒤 기저부 질량 상단의 마운트 기계적 특성을 최적화하였다. 해당 과정에서 해당 발전기 모델의 이론적인 응답 특성을 비상 발전기 자체에서 발생하는 응답 특성과 하부 변위 입력에 따른 응답 특성으로 나누어 도출하였으며 이후 최적의 마운트 모델 도출을 위하여 비상 발전기 하부의 스프링 계수(K_P)와 감쇠 계수(C_P)를 다양한 조건으로 변화시킨 사례들을 제시하였고, 변화시킨 사례들의 응답 특성들을 비교하기 위하여 두 가지 성능 평가 지표들 (I_1, I_2)을 활용한 결과 이들 중 스프링 계수(K_P)와 감쇠 계수(C_P) 모두가 낮은 Case I 경우가 2가지 지표를 통해 가장 우수한 동적 성능을 보임을 확인하였다. 또한 첫 번째 지표의 저주파 주파수 대역에서의 응답 개선을 위해 기저부 질량 값에 대한 추가적인 민감도 분석을 통해 해당 파라미터가 큰 영향이 없음도 확인하였다.

후 기

이 과제는 중소벤처기업부 과제(과제번호: 1425172735) 성과물입니다.

References

- (1) Oh, H.-U., Lee, K.-J. and Jo, M.-S., 2013, A Passive Launch and On-orbit Vibration Isolation System for the Spaceborne Cryocooler, Aerospace Science and Technology, Vol. 28, No. 1, pp. 324~331.
- (2) Wu, Z., Jing, X., Sun, B. and Li, F., 2016, A 6DOF Passive Vibration Isolator Using X-shape Supporting Structures, Journal of Sound and Vibration, Vol. 380, pp. 90~111.
- (3) Lee, J. and Okwudire, C. E., 2016, Reduction of Vibrations of Passively-isolated Ultra-precision Manufacturing Machines Using Mode Coupling, Precision Engineering, Vol. 43, pp. 164~177.
- (4) Ribeiro, E. A., Lopes, E. M. O. and Bavastri C. A., 2017, A Numerical and Experimental Study on Optimal

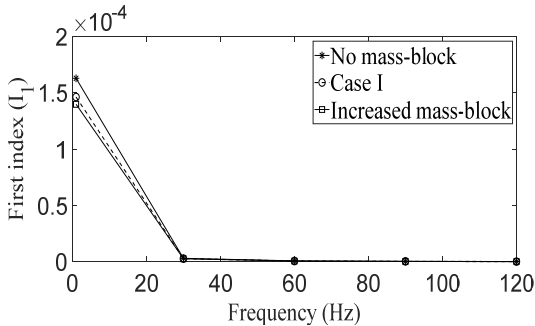


Fig. 8 Variation in first index according to different mass-block condition

있다. 이 연구에서는 해당 응답을 개선하기 위한 추가적인 대안으로 기초 질량부의 크기를 변화시키면서 응답 특성을 변화를 관찰하였다. Fig. 8은 Case I을 기준으로 기초 질량부가 없는 경우, 질량이 증가하는 경우에 대해 첫 번째 지수 값의 변화를 관찰하였다. 하지만, 기초 질량부의 변화는 1 Hz 대역의 개선을 가져오지 못하였다. 따라서 향후 연구를 통해 기초 질량부의 상부뿐만 아니라 하부의 마운트 특성을 동시에 조절하면서 최적의 값을 찾는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Design of Multi-DOF Viscoelastic Supports for Passive Vibration Control in Rotating Machinery, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 411, pp. 346~361.

(5) Alujević, N., Čakmak, D., Wolf, H. and Jokić M., 2018, Passive and Active Vibration Isolation Systems Using Inerter, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 418, pp. 163~183.

(6) Siami, A., Karimi, H. R., Cigada, A., Zappa, E. and Sabbioni, E., 2018, Parameter Optimization of an Inerter-based Isolator for Passive Vibration Control of Michelangelo's Rondanini Pietà, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 98, pp. 667~683.

(7) Oh, H.-U. and Choi, Y.-J., 2011, Enhancement of Pointing Performance by Semi-active Variable Damping Isolator with Strategies for Attenuating Chattering Effects, *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 165, No. 2, pp. 385~391.

(8) Azadi, M., Behzadipour, S. and Faulkner, G., 2011, Performance Analysis of a Semi-active Mount Made by a New Variable Stiffness Spring, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 330, No. 12, pp. 2733~2746.

(9) Santos, M. B., Coelho, H. T., Neto, F. P. L. and Mafhoud, J., 2017, Assessment of Semi-active Friction Dampers, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 94, pp. 33~56.

(10) Gu, X., Yu, Y., Li, J. and Li, Y., 2017, Semi-Active Control of Magnetorheological Elastomer Base Isolation System Utilising Learning-Based Inverse Model, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 406, pp. 346~362.

(11) Kim, C.-J., 2018, Design Criterion of Damper

Component of Passive-type Mount Module without Using Base Mass-Block, *Energies*, Vol. 11, No. 6, 1548. doi:10.3390/en11061548.

(12) Park, Y. W., Kim, T.-W. and Kim, C.-J., 2023, Compromised Vibration Isolator of Electric Power Generator Considering Self-excitation and Basement Input, *Inventions*, Vol. 8, No. 1, 40. doi:10.3390/inventions8010040.



Jin-woo Park is currently M.S. candidate in weapons systems engineering, Pukyong National University. Since 2016, he has been working at Air mobility & Reconnaissance Command, Republic of Korea air force as aircraft mechanic(Sergeant first class).

His job is to repair and maintain aircraft electrical system and analysis of component fault caused by vibration.



Chan-Jung Kim received Ph. D. degree from Seoul National University in 2011. He was senior researcher at Korea Automotive Technology Institute over 12 years(2003-2015). Since 2015, he has been joined as the faculty of Pukyong National

University, where he is professor of School of Mechanical Engineering. His research interests are in the area of the vibration fatigue, noise and vibration issue of mechanical systems.