



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0122706
(43) 공개일자 2012년11월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F16F 15/027 (2006.01) F16F 15/02 (2006.01)
E04H 9/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0041032
(22) 출원일자 2011년04월29일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
한국기술교육대학교 산학협력단
충청남도 천안시 동남구 병천면 충절로 1600 (한국기술교육대학교)
(72) 발명자
임경화
충청남도 천안시 병천면 탑원리 중앙아파트 101동 1105호
이규섭
충청남도 천안시 서북구 검은들2길 14, 현대아파트 101동1202호 (불당동)
안채현
충청남도 천안시 동남구 북면 충절로 1456, 103동 803호 (중앙아파트)
(74) 대리인
장수현

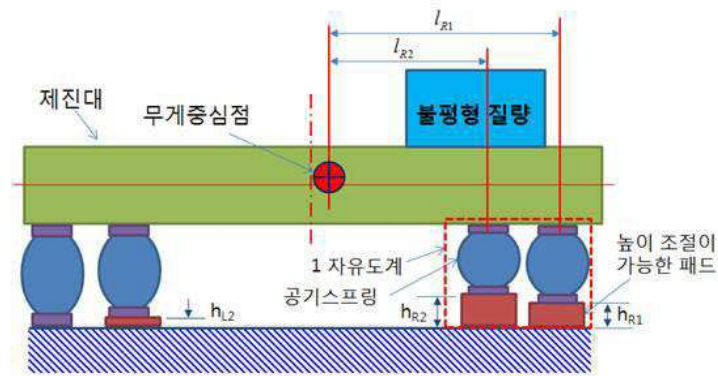
전체 청구항 수 : 총 1 항

(54) 발명의 명칭 제진 테이블의 제진 장치 및 그 방법

(57) 요약

불평형 질량이 배치된 제진대를 지지하는 제진 장치가 개시된다. 제진 장치는 제진하고자 하는 각 자유도에 대응하여 내부 압력을 조절할 수 있는 1개 이상의 공기스프링, 제진대가 평형 상태에 있을 때, 특정 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력이 모두 동일하게 유지되도록 공기스프링의 높이를 조절하는 높이조절부재, 및 제진대 상의 질량이 변동함에 따라 각 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력을 조절하는 공압조절유닛을 포함한다.

대표도 - 도5



특허청구의 범위

청구항 1

불평형 질량이 배치된 제진대를 지지하는 제진 장치로서,

제진하고자 하는 각 자유도에 대응하여 내부 압력을 조절할 수 있는 1개 이상의 공기스프링;

제진대가 평형 상태에 있을 때, 특정 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력이 모두 동일하게 유지되도록 공기스프링의 높이를 조절하는 높이조절부재; 및

제진대 상의 질량이 변동함에 따라 각 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력을 조절하는 공압조절유닛

을 포함하는 제진 테이블의 제진 장치.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 제진 테이블의 제진 장치 및 그 방법에 대한 것으로서, 더 구체적으로는, 반도체 장비, 광학 측정기 등 초정밀 측정 및 제어 시스템의 허용 진동 환경을 만족시키기 위한 제진 테이블의 제진 장치 및 그 방법에 대한 것이다. 본 발명에 따른 제진 장치는 불평형 질량을 가지는 제진대의 안정성을 높이고 정적 평형 상태를 조절하기 위하여 제진재의 높이를 조절하고 지지 위치를 배치한다.

배경 기술

[0002] 제진 테이블은 도 1과 같이 석정반 등으로 구성된 테이블의 적절 위치에 공기스프링 또는 고무와 같은 낮은 강성의 제진재를 부착하여 지지함으로써 지반에서 전달되는 진동을 차단하는 역할을 하게 된다.

[0003] 실제로 제진 테이블을 구성할 때는 보통 3-6개, 특이한 경우 그 이상의 개수의 제진재를 이용하여 테이블을 지지하는 구조로써 이때 제진 테이블의 거동은 의도한 수직 방향(z-dir) 이외에 회전 방향(roll, pitch) 거동 등 6개의 자유도(x, y, z, θ_x , θ_y , θ_z)로 나타나게 된다. 제진대가 거동하여 진동하고 있을 때 제진대의 위치를 일정하게 유지하여 원래의 상태로 복원하는 기능을 레벨링(leveling)이라고 하며 공기 스프링의 경우 수동식 높이 조절 밸브(Height Control Valve) 또는 능동식 공압 비례제어 밸브 또는 서보 밸브를 이용하여 공기스프링의 공급압을 조절함으로써 그 기능이 수행된다. 또한 수직으로 지지되는 제진재의 거동으로 제어 가능한 자유도는 수직방향(z-dir) 및 수평 회전 방향 (θ_x , θ_y) 등 3 자유도로 제한된다.

[0004] 제진 특성을 만족하기 위하여 낮은 강성의 제진재를 주로 이용하게 되므로 이동질량(Moving Mass)의 거동에 따라 큰 응답을 보이게 된다. 이때 제진대의 무게 중심이 안정 영역에 있지 못하면 레벨링이 어려워져서 최악의 경우 제진대가 전복되는 큰 사고로 이어질 수도 있다. 또한 안정도가 낮을수록 안정화 시간(Settling Time)이 길어지게 되어 공정의 수율이 나빠지게 된다. 또한 3개 이상의 여러 개의 공기스프링을 이용하여 제진대의 레벨링을 수행하는 경우 3-자유도 이상의 자유도를 가지게 되면 과도구속이 유발되어 시스템의 안정성 및 응답에 나쁜 영향을 끼치게 된다. 따라서 다수개의 공기스프링이 하나의 제어 신호에 따라 구동되어야 한다. 그러나 평형 상태를 위하여 공기스프링에 요구되는 지지력은 무게중심의 크기와 위치, 지지부의 위치에 따라 다르게 된다. 따라서 평형을 유지하기 위해서는 공기스프링 개개에 다른 압력으로 공기가 공급되어야 한다. 그러나 하나의 제어 신호로 다양한 압력 조건을 만족시키기가 매우 까다로우며 그렇지 못할 경우 제진대 시스템의 안정성에 나쁜 영향을 주게 되어 정착시간을 길어지게 하게 된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 전술한 종래기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 높이 조절이 가능한 제진재를 구비하여 지지부에 선하중을 가함으로써 정상 상태에서 수평 위치 평형을 유지할 수 있는 제진 테이블의 제진 장치 및 제진 방

법을 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 따라, 불평형 질량이 배치된 제진대를 지지하는 제진 장치로서, 제진하고자 하는 각 자유도에 대응하여 내부 압력을 조절할 수 있는 1개 이상의 공기스프링; 제진대가 평형 상태에 있을 때, 특정 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력이 모두 동일하게 유지되도록 공기스프링의 높이를 조절하는 높이조절부재; 및 제진대 상의 질량이 변동함에 따라 각 자유도에 대응하는 상기 1개 이상의 공기스프링의 내부 압력을 조절하는 공압조절유닛을 포함하는 제진 테이블의 제진 장치가 제공된다.

발명의 효과

[0007] 본 발명에 따라, 높이 조절이 가능한 구조를 갖는 제진재는 방진대의 불평형 질량에 대응하여 큰 지지력이 필요한 지지부에 선하중(pre-load)를 가함으로써 정상상태에서 수평 위치 평형을 유지할 수 있는 제진 테이블의 제진 장치가 제공된다.

[0008] 또한, 본 발명에 따라, 여러 개의 제진재를 이용하여 제진대를 구성할 경우 정적 평형 상태에서 회전각이 0이 되도록 제진재의 위치 및 강성 또는 선하중의 크기를 결정할 수 있으며, 여러 개의 공기스프링을 이용하여 하나의 자유도를 구성하는 경우 동일한 압력으로 지지력을 분배함으로써 정상상태 위치 평형 및 동특성을 좋게 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 3-자유도를 갖는 제진대의 일예를 도시한 도면.
 도 2는 부가 질량이 인가된 상태의 제진대를 개략적으로 도시한 도면.
 도 3은 본 발명에 따라, 평형 상태에서 제진재의 높이를 조절한 제진대를 개략적으로 도시한 도면.
 도 4는 다수개의 제진재를 이용한, 부가 질량이 인가된 상태의 제진대를 개략적으로 도시한 도면.
 도 5는 본 발명에 따라, 높이 조절이 가능한 제진재를 구비한 제진 테이블을 개략적으로 도시한 도면.
 도 6은 공기스프링의 내부 압력별 높이와 힘의 관계를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 도 2는 제진대를 간략히 2-자유도로 모델링한 것으로 기하학적으로 동일한 위치에 놓인 동일한 강성의 제진재가 불평형 질량의 영향으로 기울어진 상태로 평형 상태가 유지된 것을 알 수 있다.

[0011] 정적 상태이므로 감쇠요소(c_1, c_2)는 무시하고, 각각의 제진재에서 발생하는 반력은 각각 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$\begin{aligned} f_1 &= k_1 z_1 \\ f_2 &= k_2 z_2 \end{aligned}$$

[0012]

[0013] 한편 제진재에서의 변위는 각각 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 2

$$\begin{aligned} z_1 &= z - l_1 \theta \\ z_2 &= z + l_2 \theta \end{aligned}$$

[0014]

[0015] 따라서 운동방정식은 수학식 3과 같이 표현된다.

수학식 3

$$[0016] \quad m\ddot{z} + (k_1 + k_2)z + (-k_1l_1 + k_2l_2)\theta = 0$$

$$[0017] \quad J\ddot{\theta} + (-k_1l_1 + k_2l_2)z + (k_1l_1^2 + k_2l_2^2)\theta = 0$$

[0018] 수학식 3의 운동 방정식을 행렬식으로 표현하면 수학식 4와 같다.

수학식 4

$$[0019] \quad \begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & (-k_1l_1 + k_2l_2) \\ (-k_1l_1 + k_2l_2) & (k_1l_1^2 + k_2l_2^2) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -mg \\ 0 \end{Bmatrix}$$

[0020] 이를 간단히 질량행렬 [M], 강성행렬 [K]로 표현하면 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$[0021] \quad [M] \begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} z \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_z \\ M_{\theta} \end{Bmatrix}$$

[0022] 평형 상태에 대하여 가속도 항은 0으로 수렴하므로, 수학식 5는 수학식 6으로 놓을 수 있다.

수학식 6

$$[0023] \quad [K] \begin{Bmatrix} z \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_z \\ M_{\theta} \end{Bmatrix}$$

[0024] 외력은 중력만 작용하므로, 평형 상태의 제진대의 정적 처짐량은 수학식 7로 계산될 수 있다.

수학식 7

$$[0025] \quad \begin{Bmatrix} z \\ \theta \end{Bmatrix} = [K]^{-1} \begin{Bmatrix} -mg \\ 0 \end{Bmatrix}$$

[0026] 따라서 강성 행렬 [K]의 역행렬로 정적 처짐 상태의 불평형량이 유도된다.

[0027] 수학식 7에서 구해진 두 자유도 방향의 정적 처짐량은 수학식 2를 통하여 각각의 제진재에 수직 방향 처짐량으로 환산된다. 따라서 제진대에 가해지는 반력은 수학식 1을 통하여 얻을 수 있다.

[0028] 본 발명에서는 도 3과 같이 제진재의 높이를 조절하여 선하중(Pre-Load)을 조절함으로써 평형 상태의 회전 평형량을 조절할 수 있는 제진대를 제안한다.

[0029] 가해진 예압은 시스템의 무게중심점(C.G)에 대하여 우력으로 작동하게 되어 회전 방향 처짐량을 0으로 조절하게 된다. 회전방향 처짐이 0이라면 제진재의 반력은 아래의 수학식 8을 만족하여야 한다.

수학식 8

$$\begin{aligned} f_1 + f_2 &= mg \\ f_1 &= f_2 \end{aligned}$$

[0030]

[0031] 따라서 평형상태를 만족하는 반력은 수학식 9와 같이 정의된다.

수학식 9

$$f_s = mg/2$$

[0032]

[0033] 따라서 평형상태에서의 회전각 0을 유지하려면 수학식 1로 구한 제진재에서의 반력을 아래의 수학식 10과 같이 보정하여야 한다.

수학식 10

$$\begin{aligned} \Delta f_1 &= f_s - f_1 \\ \Delta f_2 &= f_s - f_2 \end{aligned}$$

[0034]

[0035] 따라서 각 제진재에서의 보정 높이는 수학식 11과 같다.

수학식 11

$$\Delta z_1 = \frac{\Delta f_1}{k_1}, \Delta z_2 = \frac{\Delta f_2}{k_2}$$

[0036]

[0037] 회전방향 평형 상태의 회전각을 0으로 조절할 수 있는 높이값 Δh 는 두 보정 높이 중 작은 값을 0으로 놓았을 때 상대 변위로 아래의 수학식 12와 같이 정의할 수 있다.

수학식 12

$$\Delta h = \Delta z_2 - \Delta z_1$$

[0038]

[0039] 위의 수학식 12는 제진대 시스템의 무게 중심을 알고 있는 경우로, 실제에서는 제진대의 각 하단에 높이 조절이 가능한 기구 장치를 부착하고, 이를 이용하여 높이를 조절하여 평형상태에서의 회전각을 0으로 조절하게 된다.

[0040] 본 발명은 여러 개의 제진재를 이용하여 하나의 제진대를 지지하게 될 경우에도 동일하게 적용할 수 있다.

[0041] 도 4에서 보는 바와 같이 제진대의 하중이 매우 커서 여러 개의 제진재를 병렬로 연결하여 이를 지지하는 경우, 이의 운동 방정식은 수학식 13으로 유도된다.

수학식 13

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \left(\sum_{i=1}^n k_{Li} + \sum_{j=1}^m k_{Rj} \right) & \left(-\sum_{i=1}^n k_{Li} l_{Li} + \sum_{j=1}^m k_{Rj} l_{Rj} \right) \\ -\sum_{i=1}^n k_{Li} l_{Li} + \sum_{j=1}^m k_{Rj} l_{Rj} & \left(\sum_{i=1}^n k_{Li} l_{Li}^2 + \sum_{j=1}^m k_{Rj} l_{Rj}^2 \right) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z \\ \theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -mg \\ 0 \end{Bmatrix}$$

[0042]

[0043]

제진재의 강성 행렬은 병렬연결의 특성에 기인하여 무게중심을 기준으로 좌측(L)배치 요소와 우측(R)배치 요소로 구분할 수 있으며 각각의 합으로 구성됨을 알 수 있다. 또한 회전 평행각이 0인 조건은 반력은 수학식 14와 같다.

수학식 14

$$f_s = \frac{mg}{(m+n)}$$

[0044]

[0045]

마찬가지로 각 제진재에서 요구되는 조정 하중은 수학식 15로 나타낼 수 있다.

수학식 15

$$\Delta f_{Li} = f_s - f_{Li}, \Delta f_{Rj} = f_s - f_{Rj}$$

[0046]

[0047]

그러므로 각각의 제진재에서 조정해야 할 높이는 수학식 16과 같이 정의할 수 있다.

수학식 16

$$\Delta z_{Li} = \frac{(f_s - f_{Li})}{k_{Li}}, \Delta z_{Rj} = \frac{(f_s - f_{Rj})}{k_{Rj}}$$

[0048]

[0049]

또한 높이 조절이 여의치 않은 경우, 이에 지지점의 위치를 조절하여 동일한 효과를 낼 수 있으며 우력을 일정하게 만드는 조건으로 수학식 17과 같이 유도될 수 있다.

수학식 17

$$l'_{Li} = \frac{f_s l_{Li}}{f_{Li}}, l'_{Rj} = \frac{f_s l_{Rj}}{f_{Rj}}$$

[0050]

[0051]

수학식 16은 제진재가 선형 스프링의 경우를 예로 든 것으로, 실제로 제진재로 많이 사용되는 공기스프링의 경우, 비선형 특성이 포함되어 있으므로 이를 고려하여 높이를 조절해야 한다.

[0052]

도 5와 같이 여러 개의 공기스프링을 이용하여 제진대를 구성하는 경우, 각각의 평형 조건에서의 회전각을 0으로 만들기 위한 공기스프링의 반력은 역시 수학식 15에서 정의할 수 있다. 그러나 조정을 위한 높이는 도 6과 같은 공기스프링의 특성 그래프를 이용하여 정의할 수 있으며 그 순서는 아래와 같다. 도 6은 공기스프링의 내부 압력별 높이와 힘의 관계를 나타내는 그래프로서, 공기스프링의 제조회사 중의 하나인 파이어스톤(Firestone)사의 카탈로그에 수록된 내용이다.

[0053]

(1) 추천 설계 높이(Recommended Airmount Design Height)를 기준으로 제진대의 하중을 지지할 수 있는 공기스

프링의 개수와 적절한 압력을 선정한다.

(2) 수학적식 13~15를 이용하여 각 공기스프링의 조정 반력을 계산한다.

(3) 도 6과 같이 동일한 압력에 대하여 조정반력 만큼 차감되는 높이를 조절하거나 지지 위치를 선정한다.

위의 과정에 의하여 조절된 공기스프링의 높이 또는 위치는 동일한 압력에 대하여 위치별로 적절한 반력을 유지함으로써 제진대의 평행 상태에서 회전각을 0으로 유지하게 될 뿐만 아니라, 동일한 압력으로 조절되므로 한 개의 압력 제어 요소 (공압 비례제어 밸브 등)으로 동시에 제어가 가능하게 된다. 따라서 여러 개의 공기스프링을 이용하여 1축의 구동기를 구성함으로써 제어 안정성 유지에도 큰 기여를 하게 된다.

도 1과 같은 실용적인 제진대 3-자유도계를 가지게 되므로 운동 방정식은 수학적식 18과 같이 유도된다.

수학적식 18

$$[M] \begin{Bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta}_x \\ \ddot{\theta}_y \end{Bmatrix} + [K] \begin{Bmatrix} z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_z \\ M_x \\ M_y \end{Bmatrix}$$

한편 이 때의 강성항은 수학적식 19와 같이 손쉽게 확장된다.

수학적식 19

$$[K] = \begin{bmatrix} \sum(k_{a11} + k_{a21} + k_{a31} + k_{a41}) & \sum(k_{a11}l_{11} + k_{a21}l_{21} - k_{a31}l_{31} - k_{a41}l_{41}) & \sum(-k_{a11}l_{1y} + k_{a21}l_{2y} + k_{a31}l_{3y} - k_{a41}l_{4y}) \\ \sum(k_{a11}l_{11} + k_{a21}l_{21} - k_{a31}l_{31} - k_{a41}l_{41}) & \sum(k_{a11}l_{11}^2 + k_{a21}l_{21}^2 + k_{a31}l_{31}^2 + k_{a41}l_{41}^2) & \sum(-k_{a11}l_{1y}l_{1x} + k_{a21}l_{2y}l_{2x} - k_{a31}l_{3y}l_{3x} + k_{a41}l_{4y}l_{4x}) \\ \sum(-k_{a11}l_{1y} + k_{a21}l_{2y} + k_{a31}l_{3y} - k_{a41}l_{4y}) & \sum(-k_{a11}l_{1y}l_{1x} + k_{a21}l_{2y}l_{2x} - k_{a31}l_{3y}l_{3x} + k_{a41}l_{4y}l_{4x}) & \sum(k_{a11}l_{1x}^2 + k_{a21}l_{2x}^2 + k_{a31}l_{3x}^2 + k_{a41}l_{4x}^2) \end{bmatrix}$$

수학적식 7과 마찬가지로 정적 평형상태에서의 각 자유도의 값은 수학적식 20으로 유도된다.

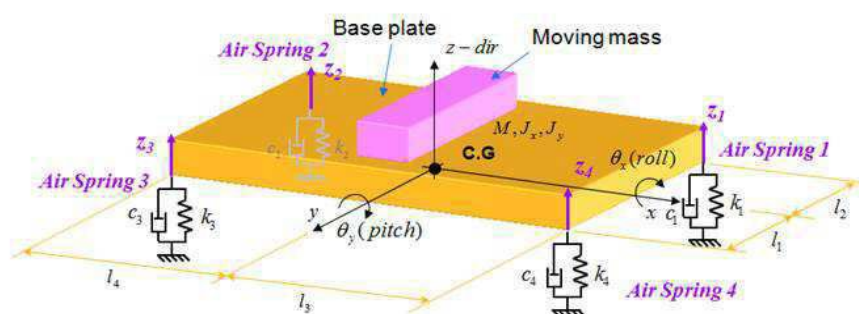
수학적식 20

$$\begin{Bmatrix} z \\ \theta_x \\ \theta_y \end{Bmatrix} = [K]^{-1} \begin{Bmatrix} -mg \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

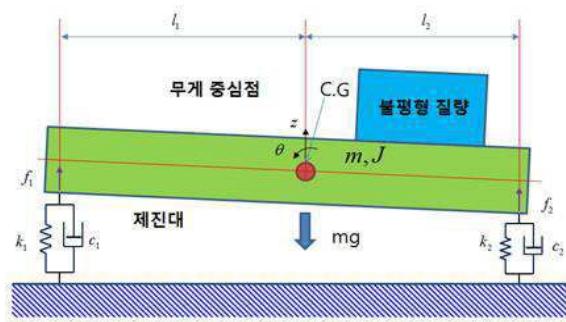
따라서 2 자유도계와 유사한 과정으로 3 자유도계의 변위 조정값 또는 지지 위치를 결정할 수 있다.

도면

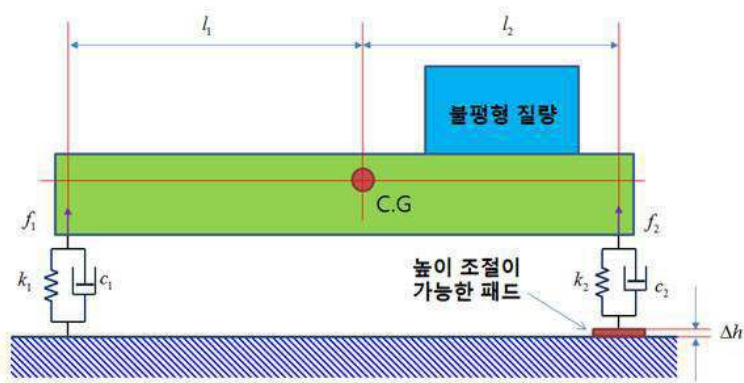
도면1



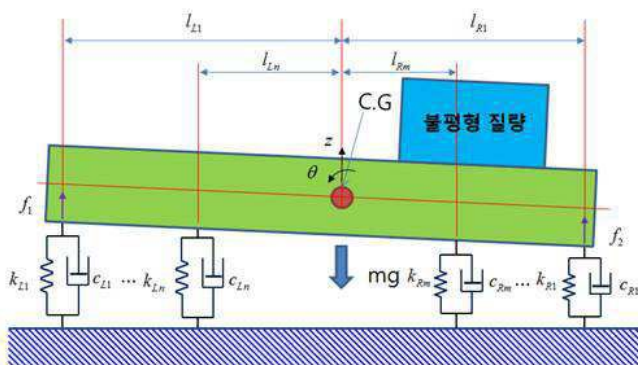
도면2



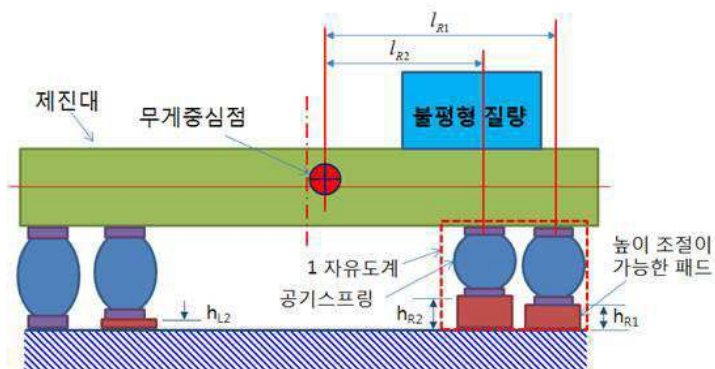
도면3



도면4



도면5



도면6

