

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2011-0129074 (43) 공개일자 2011년12월01일
(51) Int. Cl. <i>F16F 13/22</i> (2006.01) <i>F16F 15/02</i> (2006.01) (21) 출원번호 10-2010-0048499 (22) 출원일자 2010년05월25일 심사청구일자 2010년05월25일	(71) 출원인 한국기술교육대학교 산학협력단 충남 천안시 동남구 병천면 가전리 307 한국기술 교육대학교 내 (72) 발명자 임경화 충청남도 천안시 병천면 탑원리 중앙아파트 101동 1105호 안채현 충청남도 천안시 북면 상동리 중앙아파트 103동 803호 (74) 대리인 장수현	

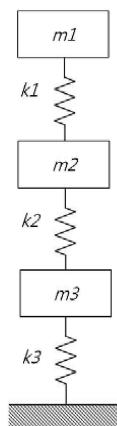
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 공기 스프링과 압전 구동기를 이용한 능동 방진 장치

(57) 요약

정밀 가공 장치 등에 이용되는 능동 방진 장치가 제공된다. 능동 방진 장치는 강성이 낮은 방진재, 방진재보다 높은 강성을 갖는 액추에이터 및 수동형 탄성부재를 포함한다. 수동형 탄성부재의 강성은 액추에이터의 강성 10 배보다 작은 것이 좋다. 수동형 탄성부재의 강성이 작을수록 액추에이터의 동작이 하중판에 영향을 더 많이 미치게 된다. 방진재로서는 수동형, 반능동형 또는 능동형이 모두 사용될 수 있다. 대표적으로 방진재로서 능동형 공기 스프링이 사용될 수 있으며, 액추에이터로 압전 구동기가 이용될 수 있다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

능동 방진 장치로서,

낮은 1차 고유 진동수를 갖는 방진재; 상기 방진재보다 높은 강성을 갖고 변위 제어가 가능한 액추에이터; 및 수동형 탄성부재를 포함하며,

상기 방진재, 액추에이터 및 수동형 탄성부재는 서로 직렬로 연결되는

능동 방진 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 방진재는 수동형, 반능동형 및 능동형 중의 어느 하나의 방식인 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 수동형 탄성부재의 강성은 상기 액추에이터의 강성의 10배보다 작은 값을 갖는 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 수동형 탄성부재의 강성은 상기 방진재의 강성과 동일한 값을 갖는 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 방진재는 방진 대상물을 지지하고, 상기 방진재와 직렬로 상기 액추에이터가 연결되며, 상기 액추에이터와 직렬로 상기 수동형 탄성부재가 연결되는 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 수동형 탄성부재는 금속 재질의 판 스프링인 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 방진재는 능동 공기 스프링인 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 액추에이터는 압전 구동기인 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 9

능동 방진 장치로서,

낮은 1차 고유 진동수를 갖는 공기 스프링;

상기 공기 스프링과 직렬로 연결되는 압전 구동기;

상기 공기 스프링 또는 압전 구동기와 직렬로 연결되며, 강성이 상기 압전 구동기의 강성보다 작은 값을 갖는 수동형 탄성부재

를 포함하는 능동 방진 장치.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 공기 스프링은 능동형, 반능동형 또는 수동형 중의 어느 한 방식인 것을 특징으로 하는 능동 방진 장치.

청구항 11

청구항 1에 기재된 능동 방진 장치를 포함하는 정밀 가공 장치.

청구항 12

청구항 1에 기재된 능동 방진 장치를 포함하는 정밀 측정 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 능동 방진 장치에 관한 것으로서, 더 상세하게는 공기 스프링과 압전 구동기를 이용하는 직렬형 능동 방진 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 최근 반도체 및 디스플레이 산업 등 초정밀 가공 또는 측정이 필요한 산업 분야에서 진동 차단을 목적으로 초정밀용 방진 시스템에 대한 연구가 활성화되고 있다. 방진 시스템에 주로 사용되는 방진재로서 고무 재질의 스프링 또는 공기 스프링은 낮은 강성을 갖지만 큰 하중을 지지할 수 있다. 그러나, 공기의 압축성과 고무의 비선형 특성으로 인하여 제어가 까다롭다는 단점이 있다. 압전 구동기는 높은 주파수 대역폭까지 정밀한 제어가 가능하지만 변위량이 매우 작고 강성이 크기 때문에 방진재로서 불리하다. 이에 따라, 고무 재질의 스프링 또는 공기 스프링과 압전 구동기를 함께 사용함으로써 양자의 장점을 모두 가진 방진 장치를 개발하려는 시도가 있어 왔다.

[0003] 특허 제802547호에는 고무 재질의 진동 흡수 부재 및 이와 직렬로 연결된 압전 소자를 이용하는 능동 하이브리드 마운트가 개시되어 있다. 이러한 능동 하이브리드 마운트는 수동형 요소인 고무 재질의 진동 흡수 부재와 능동형 요소인 압전 소자에 의해 모든 주파수 영역에서 진동을 차단할 것으로 기대되었다. 그러나 위에서 설명하는 바와 같이, 고무 재질의 진동 흡수 부재와 압전 소자를 직렬로 연결하는 경우 두 부재의 큰 강성차이로 인해 서로 거의 비연성(decoupled)이 된다. 따라서 마운트 위에 설치된 방진 대상에 가해지는 압전 소자의 영향

이 매우 작아져서 이에 의한 방진 효과를 얻을 수 없다는 문제점이 있다.

[0004] 종래의 다른 방식으로는 강성이 낮은 방진재로서 고무 스프링 또는 공기 스프링이 아닌 자기 유변 유체(magnetorheological fluid)를 이용한 스프링을 적용하려는 시도가 있다. 그러나 이 경우도 마찬가지로 자기 유변 유체를 이용한 스프링과 압전 소자가 서로 비연성이 되기 때문에 의도하는 방진 효과를 얻을 수 없다는 문제가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 전술한 기술적 과제를 해결하기 위한 것으로서, 강성이 낮아서 방진 특성이 우수한 방진재와 강성이 높지만 제어가 용이한 액추에이터를 함께 사용하면서도 뛰어난 방진 효과 및 위치 제어 능력을 제공할 수 있는 방진 장치를 제공하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 본 발명에 따른 능동 방진 장치는, 능동형 또는 수동형 방진재; 상기 방진재와 직렬로 연결되며, 상기 방진재보다 높은 강성을 갖는 액추에이터; 상기 방진재 또는 액추에이터와 직렬로 연결되는 수동형 탄성부재를 포함한다.

[0007] 상기 수동형 탄성부재의 강성은 상기 액추에이터의 강성보다 작은 값을 갖는 것이 좋으며, 더 바람직하게는, 상기 수동형 탄성부재의 강성은 상기 방진재의 강성과 동일한 값을 갖는다.

[0008] 상기 수동형 탄성부재는 판 스프링일 수 있다. 또한, 상기 방진재로 능동 공기 스프링이 이용될 수 있으며, 상기 액추에이터로는 압전 구동기가 이용될 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명에 따른 능동 방진 장치는 강성이 낮은 방진재와 강성이 높은 액추에이터에 추가로 수동형 탄성부재를 직렬로 연결함으로써, 액추에이터의 동작이 방진 대상물에 영향을 미칠 수 있도록 하였다.

[0010] 또한, 수동형 탄성부재의 강성을 조절함으로써 액추에이터가 방진 대상물에 미치는 영향의 정도를 조절할 수 있다.

[0011] 이로써, 종래에 비해 방진 효과가 우수한 능동 방진 장치가 제공된다. 또한, 수동형 탄성부재를 판형 스프링으로 형성하는 경우 장치 전체의 크기가 크게 증가하지 않으면서도 우수한 방진 효과를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 종래의 능동 방진 장치를 도식적으로 나타낸 도면.

도 2는 본 발명에 따른 능동 방진 장치를 도식적으로 나타낸 도면.

도 3은 수동형 탄성부재의 강성이 액추에이터의 강성과 같을 때, 방진재 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 4는 수동형 탄성부재의 강성이 액추에이터의 강성과 같을 때, 액추에이터 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 5는 수동형 탄성부재의 강성이 액추에이터 강성의 1/10배 일 때, 방진재 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 6은 수동형 탄성부재의 강성이 액추에이터 강성의 1/10배 일 때, 액추에이터 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 7은 수동형 탄성부재의 강성이 방진재의 강성과 같을 때, 방진재 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 8은 수동형 탄성부재의 강성이 방진재의 강성과 같을 때, 액추에이터 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수를 나타내는 도면.

도 9는 방진재의 강성에 대한 수동형 탄성부재의 강성의 비가 0.5~1.5 사이 일 때, 방진재와 하중판 간의 정적 이득, 구동기와 하중판 간의 정적 이득 및 전체 시스템의 1차 고유진동수의 변화를 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0013] 이하에서는, 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다.

[0014] 도 1에는 질량이 큰 하중판(m1)을 지지하는 종래의 방진 장치가 도시되어 있다. 방진 장치에서는 강성이 낮은 방진재와 강성이 높은 액추에이터가 직렬로 연결되어 있다. 도시된 시스템은 2 자유도로서 간략화하기 위하여 감쇠를 무시하였다. 강성이 낮은 방진재로는 공기 스프링이 이용되고 강성이 높은 액추에이터로는 압전 구동기가 이용될 수 있다. 공기 스프링의 강성과 압전 구동기의 강성은 각각 k1, k2로 표시되어 있다. m2는 압전 구동기 자체의 질량 및 압전 구동기와 공기 스프링을 연결하는 요소들의 질량이다. 다만, 이들의 질량은 하중판(m1)의 질량에 비해 매우 작다.

[0015] 도 1에 도시된 시스템의 정적 전달함수행렬(static transfer function matrix)을 구하면 아래 식을 얻을 수 있다.

[0016] [수학식 1]

$$G(s)_{2DOF}|_{s=0} = \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \right) & \frac{1}{k_2} \\ \frac{1}{k_2} & \frac{1}{k_2} \end{bmatrix}$$

[0018] 수학적 1로부터 알 수 있는 바와 같이, 정적 상태에서 하중판의 위치는 공기 스프링과 압전 구동기의 강성의 조합으로 나타나며, 두 요소의 연성(coupling) 항은 압전 구동기의 강성(k2)이 지배함을 알 수 있다. 일반적으로 압전 구동기의 강성(k2)이 공기 스프링의 강성(k1)에 비하여 매우 크므로 연성 효과가 작을 것으로 예상할 수 있다. 따라서, 실제 방진 장치를 도 1에 도시된 바와 같이 구현하는 경우 압전 구동기의 동작이 공기 스프링을 통해 하중판에 전달되기는 매우 어렵다.

[0019] 이 점을 확인하기 위한 다른 방법으로서, MIMO 시스템의 연성 관계를 파악하는데 사용되는 브리스톨(Bristol)이 제안한 RGA(relative gain array)를 도 1에 도시된 시스템에 적용하면 다음과 같다. RGA는 한 자유도를 기준으로 다른 자유도의 입력이 일정할 때와 자유도가 완전 제어(perfect control)이 되었을 때(일정한 출력을 가질 때)의 안정된 상태(steady state)에서 출력의 비를 나타낸 것으로 수학적 2와 같이 표현된다.

[0020] [수학식 2]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_{11} & \dots & \lambda_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{N1} & \dots & \lambda_{NN} \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{ij} = \frac{K_{ij}|_{f_m}}{K_{ij}|_{x_n}} = \left(\frac{\partial x_i}{\partial f_j} \right) \bigg/ \left(\frac{\partial x_i}{\partial f_j} \right)_{x_m}, m \neq j; n \neq i$$

[0023] RGA의 대각 요소 λ_{ii} 가 1 또는 0인 경우는 그 자유도가 완전 비연성(decoupled)임을 의미한다. 1인 경우는 해당 자유도가 다른 자유도에 대해 완전 비연성임을 의미하며, 0인 경우는 한 자유도가 다른 자유도와 서로 교차하여 영향을 미치지만 상호간에는 완전 비연성임을 의미한다. 1 또는 0 이외의 값을 갖는 경우는 연성(coupled)임을 의미하며, 특히, 0.5인 경우는 완전 연성(coupled)되었음을 의미한다. 1보다 큰 값을 가지는 경우는 한 자유도가 일정한 출력을 가질 때 다른 자유도에 미치는 영향이 그 자유도의 입력이 일정할 때 다른 자유도에 미치는 영향보다 작음을 의미하며 이 경우 다른 자유도의 입력에 대한 그 자유도의 출력은 음의 값을 가지게 되어 음의 방향으로 연성효과를 나타내게 되고, 1과 0 사이의 값을 가지는 경우는 그와 반대되는 관련성을

의미한다.

[0024] 공기 스프링과 압전 구동기의 강성, 대표적인 하중판의 질량 등의 값을 위 관계에 적용하면 도 1에 도시된 시스템의 RGA는 일례로서 아래와 같이 주어진다.

[0025] [수학식 3]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.0011 & -0.0011 \\ -0.0011 & 1.0011 \end{bmatrix}$$

[0027] 수학적 식 3으로부터 알 수 있듯이, λ_{11} 과 λ_{22} 가 거의 1의 값을 갖는다. 따라서, 도 1에 도시된 시스템은 비연성 시스템에 가까우며, 압전 구동기의 동작이 하중판에 거의 전달되지 않음을 알 수 있다. 따라서, 도 1에 도시된 종래의 방진 장치에서는 압전 구동기를 제어하여 하중판(m1)의 진동을 줄이기가 거의 불가능하다.

[0028] 본 발명에 따른 능동 방진 장치는, 도 2에 도시된 바와 같이, 강성이 낮은 방진재, 이 방진재와 직렬로 연결되며 높은 강성을 갖는 액추에이터, 및 이들과 직렬로 연결되는 수동형 탄성부재를 포함한다. 즉, 본 발명에 따른 능동 방진 장치의 도 1에 도시된 종래의 방진 장치에 추가로 수동형 탄성부재를 포함한다. 수동형 탄성부재를 추가하고 이 탄성부재의 강성을 적절히 선택함으로써, 액추에이터의 동작이 하중판의 진동을 줄이는 데 큰 영향을 주도록 할 수 있다. 도 2에서, m1은 하중판의 질량, m2는 액추에이터 자체의 질량 및 방진재와 액추에이터를 연결하는 부재(볼트 등)의 질량을 포함한 것이며, m3는 수동형 탄성부재의 질량 및 연결 부재의 질량을 포함한 것이다. 그러나 이들의 질량(m2, m3)은 일반적으로 하중판의 질량(m1)에 비하여 매우 작은 값을 갖는다. 따라서, 이하에서는 방진재 및 이의 강성을 모두 k1, 액추에이터 및 이의 강성을 모두 k2, 수동형 탄성부재 및 이의 강성을 모두 k3로 표시한다. 마찬가지로 설명의 단순화를 위하여 이하에서 감쇠의 효과를 무시한다.

[0029] 강성이 낮은 방진재로서는 수동형, 반능동형 또는 능동형 중 어느 방식을 사용하더라도 무방하다. 예를 들어, 고무 재질의 수동형 방진재, 반능동형 또는 능동형 공기 스프링, 자기 유변 유체를 이용하는 스프링 등 넓은 방진 대역폭을 갖고 강성이 낮은 방진재라면 모두 이용될 수 있다. 본 발명에서는 설명의 편의상 능동형 공기 스프링을 적용한 것으로 가정하였다. 공기 스프링의 경우 예를 들어 5.74×10^4 N/m 정도의 강성을 갖는다.

[0030] 강성이 높은 액추에이터로는 대표적으로 압전 구동기가 적용될 수 있다. 그러나, 강성이 높으면서 제어가 용이한 액추에이터라면 압전 구동기가 아닌 다른 액추에이터를 사용하더라도 무방하다. 압전 구동기의 경우 예를 들어 5.40×10^7 N/m 정도의 강성을 갖는다. 일반적으로 제어가 용이한 액추에이터의 경우 그 강성이 방진재의 강성에 비해 매우 큰 값을 갖는다. 그러나, 액추에이터의 강성과 방진재의 강성의 차이는 작을수록 유리하다. 따라서, 본 발명에서 액추에이터의 강성과 방진재의 강성의 차이는 반드시 커야하는 것은 아니다.

[0031] 수동형 탄성부재로서는 고무 재질의 스프링, 금속 재질의 판 스프링 등 다양한 형태의 스프링이 이용될 수 있다. 다만, 후술하는 바와 같이, 수동형 탄성부재의 강성은 방진재와 액추에이터의 강성 사이의 값을 갖는 것이 좋으며, 더 바람직하게는, 방진재의 강성에 가까운 낮은 값을 갖는 것이 좋다. 한편, 수동형 탄성부재로서 금속 재질의 판 스프링을 적용하는 경우, 방진 장치 전체의 크기는 크게 증가하지 않으면서도 본 발명에 따른 방진 효과를 제공하는 이점이 있다.

[0032] 강성이 낮은 방진재, 강성이 높은 액추에이터 및 수동형 탄성부재는 서로 직렬로 연결된다. 도 2에 도시된 실시 예에서는 하중판(m1)에 강성이 낮은 방진재(k1)가 연결되고 이 방진재에 액추에이터(k2)가 직렬로 연결되며, 액추에이터에 수동형 탄성부재(k3)가 직렬로 연결되는 것으로 도시되어 있다. 그러나, 이들 세 요소가 직렬로 연결될 때, 방진재, 수동형 탄성부재, 액추에이터 순서로 연결되거나 그 밖에 다른 순서로 연결될 수 있다.

[0033] 도 2에 도시된 시스템의 전달함수행렬은 아래와 같다.

[0034] [수학식 4]

$$G(s)_{3DOF}|_{s=0} = \begin{bmatrix} \frac{k_1 k_2 + k_2 k_3 + k_1 k_3}{k_1 k_2 k_3} & \frac{k_2 + k_3}{k_2 k_3} & \frac{1}{k_3} \\ \frac{k_2 + k_3}{k_2 k_3} & \frac{k_2 + k_3}{k_2 k_3} & \frac{1}{k_3} \\ \frac{1}{k_3} & \frac{1}{k_3} & \frac{1}{k_3} \end{bmatrix}$$

[0035]

[0036]

수학식 4에서 알 수 있는 바와 같이, 정적 상태에서 하중판(m1)의 위치는 모든 요소의 강성에 영향을 받는다. 즉, 수동형 탄성부재(k3)를 추가함으로써, 강성이 낮은 방진재(k1)와 액추에이터(k2)가 서로 연성되게 된다. 또한, 추가된 수동형 탄성부재의 강성(k3)을 조정함으로써 액추에이터(k2)의 동작이 하중판(m1)에 전달되는 정도를 조절할 수 있다.

[0037]

수동형 탄성부재의 강성(k3)이 다양한 값을 가질 경우의 RGA를 계산해 보면 다음과 같다.

[0038]

k3 = 10 x k2 인 경우, 즉, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 압전 구동기의 강성(k2)의 10배의 값을 갖는 경우:

[0039]

[수학식 5]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.0012 & -0.0012 & 0 \\ -0.0012 & 1.1012 & -0.1 \\ 0 & -0.1 & 1.1 \end{bmatrix}$$

[0040]

[0041]

k3 = k2 인 경우, 즉, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 압전 구동기의 강성(k2)과 같은 값을 갖는 경우:

[0042]

[수학식 6]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.0021 & -0.0021 & 0 \\ -0.0021 & 2.0021 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix}$$

[0043]

[0044]

k3 = 10 x k2 인 경우, 즉, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 압전 구동기의 강성(k2)의 1/10배의 값을 갖는 경우:

[0045]

[수학식 7]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1.0117 & -0.0117 & 0 \\ -0.0117 & 11.0117 & -10 \\ 0 & -10 & 11 \end{bmatrix}$$

[0046]

[0047]

k3 = k1 인 경우, 즉, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 공기 스프링의 강성(k1)의 강성과 같은 값을 갖는 경우:

[0048]

[수학식 8]

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 2.0011 & -1.0011 & 0 \\ -1.0011 & 942.7676 & -940.7666 \\ 0 & -940.7666 & 941.7666 \end{bmatrix}$$

[0049]

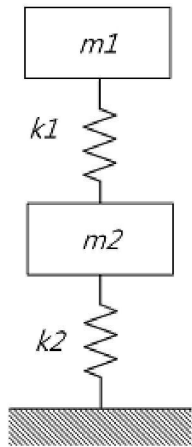
[0050]

수학식 5 내지 8로부터 알 수 있듯이, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 압전 구동기의 강성(k2)과 같거나 작은 경우 하중판(m1)은 압전 구동기의 동작의 영향을 받게 된다. 또한, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 작을수록 압전 구동기의 동작이 하중판(m1)에 더 큰 영향을 미치게 된다. 이 경우, λ11의 값이 1 보다 점차적으로 커지게 되고, λ21과 λ12가 0보다 작아지게 되므로, 압전 구동기의 동작은 하중판의 운동(진동)을 억제하는 방향으로 작용한다. 반면, 수동형 탄성부재의 강성(k3)이 압전 구동기의 강성(k2)의 10배인 경우에는 종래의 시스템에서와 같이 압전 구동기의 동작이 하중판(m1)의 움직임에 거의 영향을 미치지 못한다.

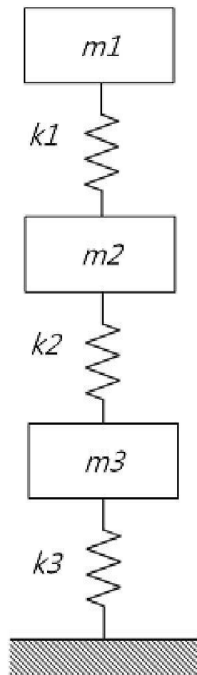
- [0051] 따라서, 본 발명에 따른 능동 방진 장치에서 수동형 방진부재의 강성(k_3)은 압전 구동기의 강성(k_2)의 10배 보다 작은 값을 갖는 것이 좋다. 더 바람직하게는, 수동형 방진부재의 강성(k_3)이 압전 구동기의 강성(k_2)에 비해 작아질수록 압전 구동기의 동작이 하중판(m_1)의 진동에 미치는 영향이 커지므로, 즉, λ_{11} 은 1보다 더 커지고 λ_{12} 와 λ_{21} 의 값이 음의 값으로 커지므로, 수동형 방진 부재의 강성(k_3)은 압전 구동기의 강성(k_2)보다 작은 값을 갖는 것이 좋다.
- [0052] 수동형 방진부재의 강성(k_3)의 하한값은 제한이 없으나, 현재 구현가능한 방진재의 강성보다 작아질 수 없다. 현재 구현가능한 방진재 중에서 가장 강성이 작은 것이 공기 스프링이므로, 실제로는 수동형 방진부재의 강성이 공기 스프링보다 작은 값을 갖기는 어렵다.
- [0053] 한편, 수동형 방진부재의 강성이 어떤 값을 갖더라도, λ_{13} , λ_{31} 은 실질적으로 0인 값을 갖는다. 이로부터, 정적 상태에서의 하중판(m_1)의 높이는 수동형 탄성부재의 강성(k_3)의 크기에 큰 상관없이 압전 구동기를 통하여 제어될 수 있음을 알 수 있다.
- [0054] 도 3 및 4에는 각각 수동형 탄성부재의 강성이 액추에이터의 강성과 같을 때, 방진재 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수와 액추에이터 입력에 대한 하중판의 출력 주파수 응답 함수가 도시되어 있다. 또한, 붉은 색 실선은 본 발명에 따른 능동 방진 장치의 경우를 나타내고, 푸른색 점선은 도 1에 도시된 시스템의 경우를 나타낸다.
- [0055] 도 3으로부터 알 수 있듯이, 수동형 탄성부재의 강성이 압전 구동기의 강성과 같을 경우에, 방진재의 입력에 대한 하중판의 출력은 도 1에 도시된 종래의 시스템과 비교하여 큰 차이가 없다. 그러나, 도 4에 도시된 바와 같이, 압전 구동기의 입력에 대한 하중판의 출력은 넓은 주파수 영역에 걸쳐 증가된다. 이로부터, 수동형 탄성부재가 추가됨으로써 하중판의 출력에 대한 압전 구동기의 영향이 종래의 시스템에 비해 증가됨을 알 수 있다.
- [0056] 도 5 및 6은 수동형 탄성부재의 강성이 압전 구동기의 강성의 1/10인 경우이며, 도 7 및 8은 수동형 탄성부재의 강성이 공기 스프링의 강성과 같은 경우이다.
- [0057] 이들 도면으로부터 알 수 있듯이, 수동형 탄성부재의 강성이 감소할수록 하중판에 대한 압전 구동기의 영향이 증가하고, 압전 구동기에 의한 방진 효과가 증가한다. 또한, 도 7로부터 알 수 있듯이, 수동형 탄성부재의 강성이 매우 작아져서 공기 스프링의 강성과 같아지면 고유 진동수가 작아지게 된다. 이에 따라, 방진 효과를 낼 수 있는 주파수 영역이 저주파수 대역에서 더 넓어지는 이점이 있다.
- [0058] 도 9에는 이러한 경향을 정리하여 나타내었다. 도 9는 방진재의 강성에 대한 수동형 탄성부재의 강성의 비가 0.5~1.5 사이 일 때, 방진재와 하중판 간의 정적 이득, 구동기와 하중판 간의 정적 이득 및 전체 시스템의 1차 고유진동수의 변화를 나타낸다. 도 9로부터 알 수 있듯이, 수동형 탄성부재의 강성이 감소할수록 압전 구동기가 하중판에 미치는 영향이 커지며 고유 진동수가 감소한다.
- [0059] 현재 구현 가능한 방진재 중에서 가장 강성이 낮은 것이 공기 스프링이므로 실제로는 수동형 탄성부재의 강성이 공기 스프링의 강성보다 작아지기 어렵지만, 도 9로부터 알 수 있는 바와 같이, 수동형 탄성부재의 강성이 공기 스프링의 강성보다 작아지는 경우에도 본 발명에 따른 효과가 그대로 유지되는 것을 알 수 있다. 더욱이 시스템 전체의 1차 고유 진동수가 작아짐으로써 저주파수 대역에서 방진 영역이 넓어지는 이점이 있다.
- [0060] 본 발명은 첨부된 도면에 도시된 실시예들을 기초로 상세히 설명되었지만, 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 변형이 가능하다는 점은 명백하다. 본 명세서에 기재된 어떤 사항도 본 발명의 범위를 첨부된 특허청구의 범위보다 좁히려는 것은 아니다. 전술한 실시예들은 예시를 위한 것이며 이와 다른 실시 형태를 갖는 것을 배제하고자 하는 것은 아니다.

도면

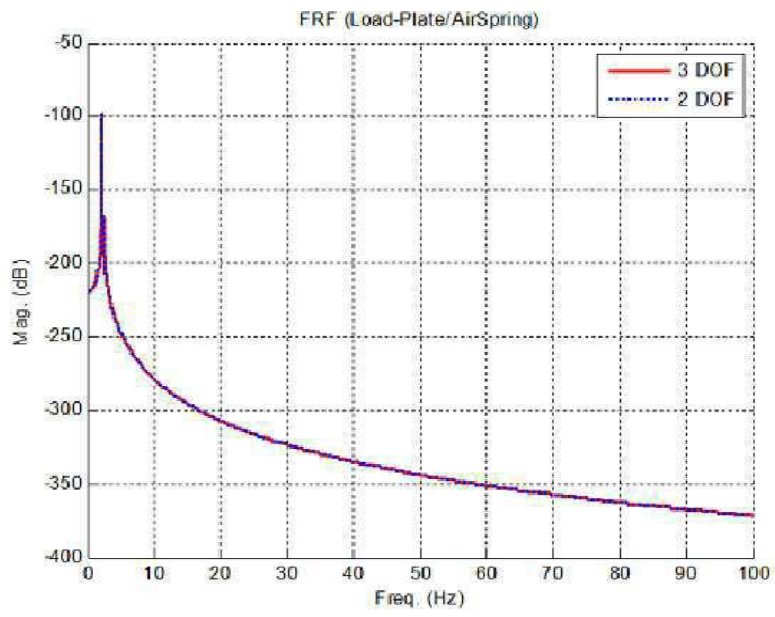
도면1



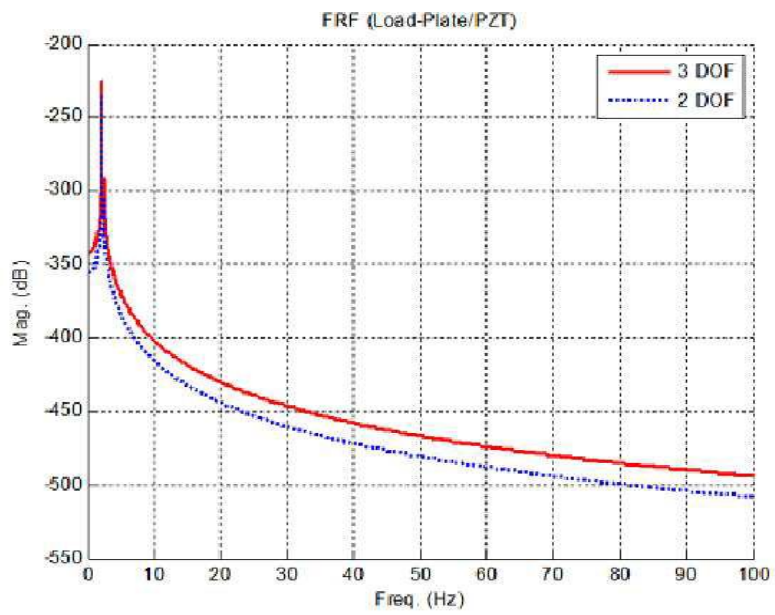
도면2



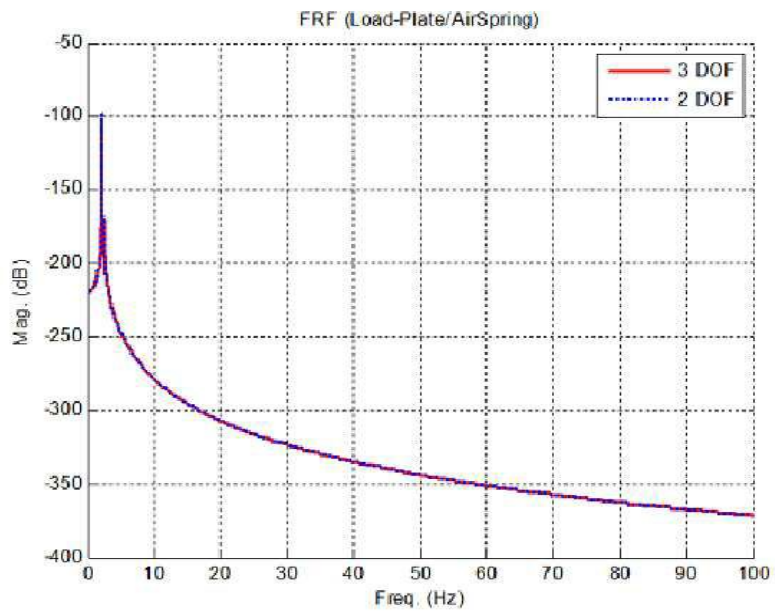
도면3



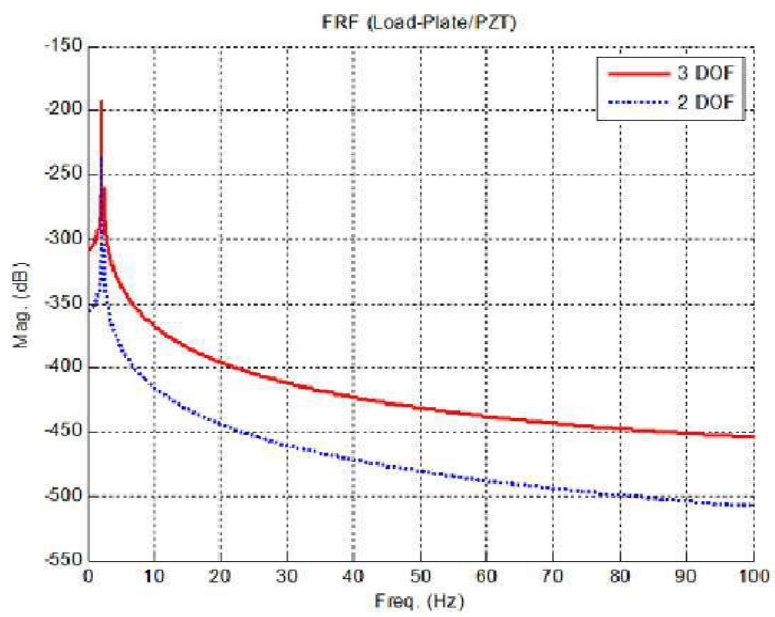
도면4



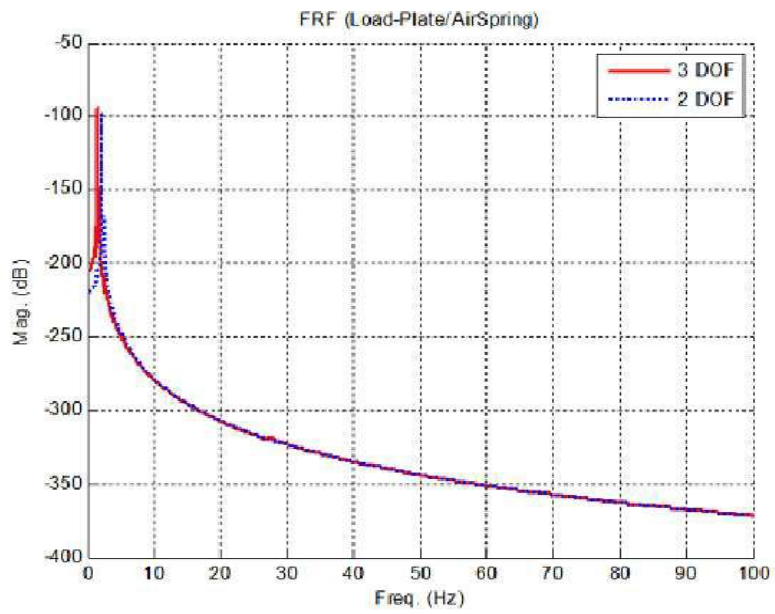
도면5



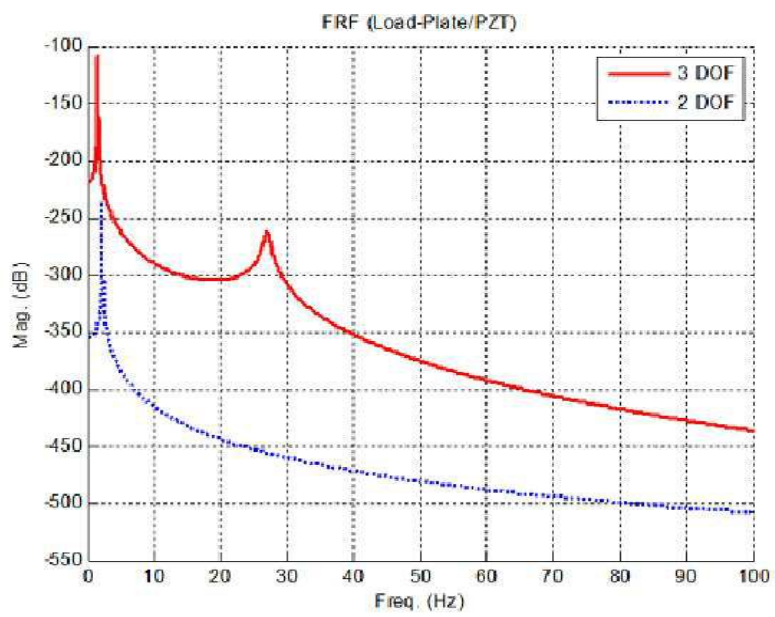
도면6



도면7



도면8



도면9

