(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0052950
(43) 공개일자 2012년05월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04R 31/00 (2006.01) *H04R 1/24* (2006.01)
H04R 17/00 (2006.01) *B06B 1/06* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-7002606
(22) 출원일자(국제) 2010년06월14일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2012년01월30일
(86) 국제출원번호 PCT/GB2010/050987
(87) 국제공개번호 WO 2011/001158
국제공개일자 2011년01월06일
(30) 우선권주장
0911295.4 2009년06월30일 영국(GB)

(71) 출원인
하이웨이브 테크놀러지스 (유케이) 리미티드
영국, 케임브리지셔 씨비23 6디피, 캠번, 1010 캠번 비즈니스 파크, 레거스 하우스
(72) 발명자
해리스 네일 존
영국 케임브리지셔 씨비23 6디피 캠번 1010 캠번 비즈니스 파크 레거스 하우스 뉴 트랜스듀서스 리미티드
(74) 대리인
특허법인태평양

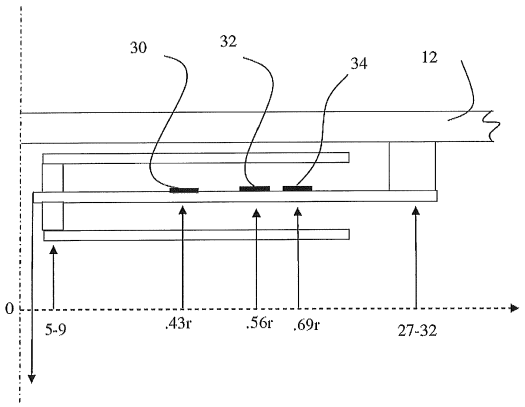
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 **액츄에이터**

(57) 요 약

본 발명은 복수의 힘 요소를 포함하는 액츄에이터 제조 방법 및 그 방법에 따라 제조된 액츄에이터에 관한 것이다. 이 액츄에이터 제조 방법은, 힘 요소로부터 로드(load)로 힘을 결합시키기 위한 커플러(coupler)를 제공하는 단계; 로드에 제공되는 힘이 예측되도록, 각각의 힘 요소에 대한 전달 함수를 계산하는 단계; 예측된 힘에서 어떠한 바람직하지 않은 감소(dip)를 나타내는 오차 함수를 결정하는 단계; 오차 함수를 최소화하는 힘 요소의 파라미터를 계산하는 단계; 및 액츄에이터를 제조하기 위하여 계산된 파라미터를 가지는 힘 요소를 커플러에 결합시키는 단계를 포함한다.

대 표 도 - 도3a



특허청구의 범위

청구항 1

복수의 힘 요소를 포함하는 액츄에이터 제조 방법에서,

상기 액츄에이터 제조 방법은,

상기 힘 요소로부터 로드(load)로 힘을 결합시키기 위한 커플러(coupler)를 제공하는 단계;

상기 로드에 제공되는 힘이 예측되도록 하는, 각각의 힘 요소에 대한 전달 함수를 계산하는 단계;

예측된 힘에서 어떠한 바람직하지 않은 감소(dip)를 나타내는 오차 함수를 결정하는 단계;

상기 오차 함수를 최소화하는 상기 힘 요소의 파라미터를 계산하는 단계; 및

상기 액츄에이터를 제조하기 위하여 계산된 파라미터를 가지는 힘 요소를 상기 커플러에 결합시키는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 힘 요소의 상기 파라미터는 상기 커플러 상의 힘 요소의 위치 및 각각의 힘 요소에 의해 인가된 힘을 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

적어도 하나의 반공진(anti-resonance)을 포함하는, 동작 주파수에서 복수의 공진 굽힘 웨이브 모드를 가지는 공진 요소 형태의 커플러를 제공하는 단계를 포함하고 상기 오차 함수는 상기 적어도 하나의 반공진의 존재를 나타내는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 공진 요소의 상기 적어도 하나의 반공진의 노드 라인(nodal line) 또는 그 근처에서 상기 힘 요소를 상기 공진 요소에 결합시키는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 5

청구항 3 또는 청구항 4에 있어서,

상기 공진 요소의 제2 및 제3 모드 중 적어도 하나를 억제하는 위치에서 상기 힘 요소를 상기 공진 요소에 결합시키는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

제1 및 제2 힘 요소를 제3 모드의 노드 라인 상의 상기 공진 요소에 결합시키는 단계 및 제3 힘 요소를 제2 모드의 노드 라인 상의 상기 공진 요소에 결합시키는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 7

청구항 1 내지 청구항 6중 어느 한 항에 있어서,

측정에 의해 상기 전달 함수를 얻는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 8

청구항 1 내지 청구항 6중 어느 한 항에 있어서,

수치 해석에 의해 상기 전달 함수를 얻는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 9

청구항 1 내지 청구항 6중 어느 한 항에 있어서,

시스템 작동에 대한 수학적 표현 지식에 의해 상기 전달 함수를 얻는 단계를 포함하는 액츄에이터 제조 방법.

청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9중 어느 한 항에 따른 액츄에이터 제조 방법에 의해 제조된 압전 액츄에이터(piezoelectric acutator)에서,

상기 압전 액츄에이터는 상기 힘 요소를 형성하는 복수의 전극을 포함하고, 상기 힘 요소의 상기 파라미터는 전극 사이의 분할 지점 및 전극 갯수를 포함하는 압전 액츄에이터.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 압전 액츄에이터는 단일 층의 압전 재료를 가지는 유니몰프(unimorph)인 압전 액츄에이터.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상대적인 힘 0.8, 0 및 -0.6을 각각 상기 커플러에 인가하는 세 개의 전극을 포함하는 압전 액츄에이터.

청구항 13

청구항 10 내지 청구항 12중 어느 한 항에 있어서,

상기 커플러는 빔, 디스크 또는 환형 플레이트 형상인 압전 액츄에이터.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 커플러는 빔 형상이고, 일측 가장자리에서 고정되고, 반대측 가장자리에서 로드에 고정되는 압전 액츄에이터.

청구항 15

청구항 12 내지 청구항 14중 어느 한 항에 있어서,

두 개의 압전 층 사이에 샌드위치된 중앙 베인(vane) 형태의 커플러를 포함하고, 각각의 압전 층은 상기 힘 요소를 형성하는 적어도 두 개의 전극을 포함하는 압전 액츄에이터.

청구항 16

청구항 15에 따른 바이몰프 액츄에이터(bimorph actuator)에 있어서,

적어도 두 개의 전극의 파라미터는 상기 전극 사이의 분할 위치 및 각각의 전극에 인가된 전압을 포함하는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 17

청구항 16에 있어서,

각각의 압전 층에 두 개의 전극이 있고, 상기 두 개의 전극 사이의 분할은 상기 압전 층의 정규화된 길이의 0.471에 위치되는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 18

청구항 16에 있어서,

각각의 압전 층에 두 개의 전극이 있고, 상기 두 개의 전극 사이의 분할은 상기 압전 층의 정규화된 길이의 0.625에 위치되는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 19

청구항 16에 있어서,

각각의 압전 층에 두 개의 전극이 있고, 상기 두 개의 전극 사이의 분할은 상기 압전 층의 정규화된 길이의 0.355에 위치되고, 1:0.244 비율의 전압이 각각의 전극에 인가되는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 20

청구항 17 또는 청구항 18에 있어서,

전압이 각각의 층에서 단지 하나의 전극에만 인가되는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 21

청구항 17 또는 청구항 18에 있어서,

동일 크기의 반대 전압이 인접한 전극에 대해 인가되는 바이몰프 액츄에이터.

청구항 22

청구항 1 내지 청구항 9중 어느 한 항에 따른 액츄에이터 제조 방법에 의해 제조된 전자석 액츄에이터에서,

상기 전자석 액츄에이터는, 복수의 마그넷을 가지는 마그넷 조립체, 및

커플러 상에 지지되어, 상기 힘 요소를 형성하기 위해 마그넷과 협력하는 복수의 보이스 코일을 가지는 보이스 코일 조립체를 포함하는 전자석 액츄에이터.

청구항 23

청구항 22에 있어서,

상기 커플러는 환형이고, 상기 보이스 코일은 상기 커플러의 반경을 따라 상대적인 위치 0.43, 0.56 및 0.69에 장착되는 전자석 액츄에이터.

청구항 24

청구항 22에 있어서,

각각의 보이스 코일에 인가된 힘은 외부 보이스 코일에 대해 0.05N, 중앙 보이스 코일에 대해 0.17N, 및 내부 보이스 코일에 대해 0.15N인 전자석 액츄에이터.

청구항 25

청구항 10 내지 청구항 24중 어느 한 항에 있어서,

주파수 응답에 어떠한 피크도 감소시키기 위한 댐핑 수단을 포함하는 액츄에이터.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 평면 이동 코일 액츄에이터 또는 압전 액츄에이터를 포함하는 액츄에이터, 더욱 상세하게는 동작 주파수 범위에서 하나 이상의 모달 공진을 가지는 액츄에이터에 관한 것이나 이에 한정되는 것은 아니다.

배 경 기 술

[0002] 굽힘에서 공진하는 플레이트형 압전 부재를 가지는 모달 액츄에이터(modal actuator)는 WO01/54450에 개시되어 있다. 도 1a는 중심 축에 관하여 대칭이고 커플러(14)에 의해 원형 판넬 다이어프램(circular panel

diaphragm)(12)에 장착되어 있는 공지된 모달 이동 코일 액츄에이터(10)를 도시한다. 액츄에이터는 마그넷 조립체 및 보이스 코일 조립체를 포함하고, 계류중인 영국 출원 0617551.7에 기재된 액츄에이터와 유사하다.

[0003] 마그넷 조립체는 네 쌍의 동축으로 장착된 링 마그넷(16, 18, 20, 22) 및 한 쌍의 저탄소강 컵 플레이트(24, 26)를 포함한다. 각각의 마그넷 쌍은 상부 컵 플레이트(24)에 장착된 상부 링 마그넷 및 하부 컵 플레이트(26)에 장착된 하부 링 마그넷을 포함한다. 각 쌍에서 상부 및 하부 링 마그넷은 코일 조립체가 장착되는 환형 평면 공기 갭에 의해서 분리된다.

[0004] 코일 조립체는 자기 지지 환형 평면 기질(28) 상에 인쇄된 세 개의 보이스 코일(30, 32, 34)을 포함한다. 각각의 보이스 코일은 힘(각각의 A, B 또는 C)을 기질에 인가한다. 내부 가장자리를 따라, 기질(28)은 상부 및 하부 컵 플레이트(24, 26) 사이에 고정된다. 액츄에이터는 관성이 있기 때문에, 세 개의 힘(A, B, C) 합의 크기에 동일한 반대 힘이 내부 가장자리에서 마그넷 조립체에 인가되어야 한다. 외부 가장자리에서, 기질은 커플러(14)에 부착되고, 액츄에이터를 다이어프램에 결합시켜, 따라서 액츄에이터에서의 동력이 다이어프램에 전달된다.

[0005] 기질은 완전히 고정되지 않기 때문에, 이러한 모달 액츄에이터는 어떠한 힘도 로드(load)에 거의 전달되지 않는 제2 공진 또는 반공진(anti-resonance)이 나타난다. 따라서 이러한 액츄에이터에 의해 제공되는 힘은 힘의 널(null)을 가지도록 주파수에 따라 변화한다. 예를 들면, 도 1b는 도 1a에서 이용가능한 주파수에 따라 힘의 변화를 도시한다. 응답은 기질의 반공진에 의해 야기되는 6.5kHz에서 특징적인 감소(dip)의 존재로 인하여 만족스럽지 못하다. 또한, 응답에서 피크가 있지만, 이러한 피크는 댐핑(damping)을 추가함으로써 감소될 수 있다는 것이 공지되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은 어떠한 액츄에이터, 특히 모달 트랜스듀서(modal transducer)에 대한 힘 전달을 향상시키는 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따르면, 복수의 힘 요소를 포함하는 액츄에이터 제조 방법이 제공되고, 이 액츄에이터 제조 방법은, 힘 요소로부터 로드(load)로 힘을 결합시키기 위한 커플러(coupler)를 제공하는 단계; 로드에 제공되는 힘이 예측되도록, 각각의 힘 요소에 대한 전달 함수를 계산하는 단계; 예측된 힘에서 어떠한 바람직하지 않은 감소(dip)를 나타내는 오차 함수를 결정하는 단계; 오차 함수를 최소화하는 힘 요소의 파라미터를 계산하는 단계; 및 액츄에이터를 제조하기 위하여 계산된 파라미터를 가지는 힘 요소를 커플러에 결합시키는 단계를 포함한다.

[0008] 앞서 정리된 바와 같이, 반공진은 어떠한 힘도 로드에 거의 전달하지 않는 공진 요소의 제2 공진이고, 따라서 이러한 모드의 주파수에서 액츄에이터에 의해 제공되는 힘의 감소 또는 널(null)이 있다. 이러한 모드의 활성을 감소시키기 위하여, 주파수에 따른 힘 변화가 감소되고, 실질적으로 더욱 일정한 힘이 로드에 전달될 수 있다. 이러한 로드가 스피커 다이어프램(loudspeaker diaphragm)이라면, 최종 스피커는 구동 액츄에이터의 널이 해결되지 않은 스피커와 비교하여 향상된 효율 및 응답 균일성을 가진다. 본 발명의 목적은, 이러한 문제를 해결하기 위해 이전에 제안되어왔던 복잡하고 고비용의 피드백 시스템을 필요로 하지 않으면서 구조적으로 달성된다.

[0009] 전달 함수는 인가된 힘 대 액츄에이터에 의해 구동되는 로드에 결합되는 힘의 경향의 표시이다. 전달 함수는 측정에 의해, 수치 해석에 의해, 또는 시스템 작동에 대한 수학적 표현 지식에 의해 직접 얻을 수 있다. 액츄에이터에 의해 구동되는 로드에서 합력은 전달 함수로부터 계산될 수 있다. 오차 함수는 힘 분포의 파라미터로부터 유도되는 제곱 오차 응답의 합을 제공할 수 있다.

[0010] 힘 요소의 파라미터는 커플러 상의 힘 요소의 위치 및 각각의 힘 요소에 의해 인가된 힘을 포함할 수 있다.

[0011] 커플러는 적어도 하나의 반공진을 포함하는, 동작 주파수에서 복수의 공진 굽힘 웨이브 모드를 가지는 공진 요소 형태가 될 수 있고, 오차 함수는 적어도 하나의 반공진의 존재를 나타낸다. 힘 요소는 공진 요소의 적어도 하나의 반공진의 노드 라인(nodal line)에 또는 그 근처에 위치될 수 있다. 이러한 방식으로, 적어도 하나의 반공진의 활성은 적어도 최소화되거나 또는 훨씬 방지될 수 있다. 공진 요소 및 그에 따른 액츄에이터 자

체는 바람직하게는 방사되지 않는다.

[0012] 힘 요소는 공진 요소의 제2 및 제3 모드 중 적어도 하나를 억제하는 위치에서 공진 요소에 결합될 수 있다. 예를 들면, 제1 및 제2 힘 요소는 제3 모드의 노드 라인 상의 공진 요소에 결합될 수 있고, 제3 힘 요소는 제2 모드의 노드 라인 상의 공진 요소에 결합될 수 있다.

[0013] 공진 요소는 빔, 디스크 또는 환형 플레이트 형상이 될 수 있다. 환형 플레이트에서, 힘 요소는 공진 요소의 반경을 따라 상대적인 위치 0.43, 0.56 및 0.69가 될 수 있다. 공진 요소는 일단/가장자리에서 고정되거나 지지될 수 있고, 타단/가장자리에서 로드에 고정되거나 지지될 수 있다. 공진 요소의 경계 조건은 전달 함수를 결정할 때 중요하다. 예를 들면, 적어도 단부 고정 조건에서, 이러한 액츄에이터는 직류(dc)로 내려질 수 있다. 이러한 액츄에이터는, 구동 단부에서 전달되는 힘을 최대로 하고 공진 요소 자체의 굽힘을 최소화하기 위하여, 공진 요소의 범위에 걸쳐서 힘 분포에 관한 최적 솔루션을 제공할 수 있다.

[0014] 각 힘 요소에 인가되는 힘은 다르게 될 수 있고, 따라서 로드에 대한 총합 출력은 주파수에 대하여 단조(monotonic)가 되는 경향이 있고, 즉, 힘은 주파수 응답에서 어떠한 널도 가지지 않는 크기와 동일하다. 액츄에이터는 공진 요소 상에 작용하는 힘을 합하여 총합 힘을 구동되는 로드에 전달하는 커플러를 더 포함할 수 있다. 환형 또는 원형 공진 요소에 대하여, 각 힘 요소에 의해 인가되는 힘은 그들의 관련 노드의 반경에 비례할 수 있다. 예를 들면, 세 개의 힘 요소를 가지는 액츄에이터에 관하여 각각의 요소에 인가되는 힘의 상대적인 수치는 0.646, 0.732 및 0.215가 될 수 있다. 공진 요소 상에 작용하는 힘의 위치 및/또는 강도에서의 이러한 분포의 조정은 액츄에이터의 이용가능한 대역폭을 증가시킬 수 있다.

[0015] 본 발명의 다른 양상에 따르면, 앞에서 설명된 방법에 따른 전자석 액츄에이터가 제공된다. 전자석 액츄에이터, 복수의 마그넷을 가지는 마그넷 조립체, 및 커플러 상에 지지되어, 힘 요소를 형성하기 위해 마그넷과 협력하는 복수의 보이스 코일을 가지는 보이스 코일 조립체를 포함할 수 있다. 커플러는 환형 또는 원형일 수 있고, 보이스 코일은 커플러 상에 동심으로 장착될 수 있다. 공진 요소 형태의 커플러에서, 기질 상의 보이스 코일의 위치는 공진 요소의 제2 및 제3 노드 중 적어도 하나가 구동되지 않도록 될 수 있다. 액츄에이터는 세 개의 보이스 코일을 포함할 수 있고, 내부 및 외부 보이스 코일은 제3 모드의 노드 라인 상에 위치되고, 중간 보이스 코일은 제2 모드의 노드 라인 상에 위치될 수 있다. 보이스 코일은 진공 요소의 반경을 따라 상대적인 위치 0.43, 0.56 및 0.69에 장착될 수 있다.

[0016] 앞서 정리된 바와 같이, 각각의 힘의 크기는 정확한 알짜 힘을 제공하도록 총합되는 것이 바람직하다. 세 개의 보이스 코일을 가지는 액츄에이터에 관하여, 내부 보이스 코일에 의해 인가되는 힘은 적합하게 이용가능한 값으로 설정될 수 있고, 내부 및 외부 힘은 출력 합력이 균형되도록 설정될 수 있다. 예를 들면, 힘은 외부 보이스 코일에 대해 0.05N, 중앙 보이스 코일에 대해 0.17N, 및 내부 보이스 코일에 대해 0.15N이 될 수 있다.

[0017] 마그넷 조립체는 한 쌍의 극 피스(pole piece)를 더 포함할 수 있다. 마그넷은 액츄에이터의 중심 축에 대하여 동축으로 장착될 수 있는 링 마그넷이 될 수 있다. 마그넷은 사다리꼴 형상의 단면을 가질 수 있고, 사다리꼴의 긴 평행 측면은 하나의 극 피스에 장착될 수 있다. 커플러는 보이스 코일이 인쇄되는 인쇄 회로 기판과 같은 기질이 될 수 있다. 인쇄 회로 기판은 또한 추가적인 전극을 가질 수 있다.

[0018] 본 발명의 또 다른 양상에 따르면, 앞서 설명된 방법을 사용하여 제조되는 압전 액츄에이터가 제공된다. 압전 액츄에이터는 힘 요소를 형성하는 복수의 전극을 포함할 수 있다. 각각의 전극은 다른 힘 또는 무게를 공진 요소에 인가할 수 있다.

[0019] 압전 액츄에이터에 관하여, 힘 요소의 파라미터는 전극 사이의 분할 지점 및 전극 갯수를 추가로 포함할 수 있다.

[0020] 액츄에이터는 단일 층의 압전 재료를 가지는 유니몰프(unimorph)일 수 있다. 복수의 전극은 패터닝(patterning)을 사용하여 압전 재료를 제거함으로써 단일 층의 압전 재료로 형성될 수 있다. 또는, 복수의 전극은 압전 측의 다양한 영역에 다른 전압을 인가함으로써 형성될 수 있다.

[0021] 압전 액츄에이터는 무게 0.8, 0 및 -0.6을 각각 자기는 세 개의 전극을 포함할 수 있다. 커플러는 빔 형상이 될 수 있고, 일측 가장자리에서 고정되고, 반대측 가장자리에서 로드에 고정될 수 있다.

[0022] 커플러는 두 개의 압전 층 사이에 샌드위치된 중앙 베인(vane) 형태가 될 수 있고, 각각의 압전 층은 힘 요소를 형성하는 적어도 두 개의 전극을 포함한다. 따라서, 본 발명의 또 다른 양상에 따르면, 두 개의 압전 층 사이에 샌드위치된 중앙 베인을 포함하는 바이몰프 액츄에이터(bimorph actuator)가 제공되고, 각각의 압전

층은 앞서 설명된 액츄에이터의 힘 요소를 형성하는 적어도 두 개의 전극을 포함한다.

[0023] 적어도 두 개의 전극의 파라미터는 전극 사이의 분할 위치 및 각각의 전극에 인가된 전압을 포함할 수 있다. 전압이 각각의 층에서 단지 하나의 전극에만 인가될 수 있거나 또는 동일 크기의 반대 전압이 인접한 전극에 대해 인가될 수 있다.

[0024] 제2 모드에서의 피크가, 두 개의 전극 사이의 분할을 압전 층의 정규화된 길이의 0.471에 설정하고, 전압을 각각의 층에서 단지 하나의 전극에만 인가함으로써 억제될 수 있다. 빠진 전극으로 인한 레벨 손실이 허용될 수 없다면, 다른 전극이 우측 주파수에 조율된 노치 필터(notch filter)의 출력에 제공될 수 있다. 또한, 제2 모드에서의 피크가 두 개의 전극 사이의 분할을 압전 층의 정규화된 길이의 0.625에 설정하고, 동일 크기의 반대 전압이 각 층의 각 전극에 인가함으로써 억제될 수 있다.

[0025] 분할 및 각 전극에 인가된 전압 비 모두를 상호 협력적으로 선택함으로써, 두 개의 모드는 억제될 수 있다. 예를 들면, 제2 및 제3 모드에서의 피크는 두 개의 전극 사이의 분할을 압전 층의 정규화된 길이의 0.355에 설정하고, 전압 비가 1:0.244가 되도록 설정함으로써 억제될 수 있다.

[0026] 일부 실시예(특히, 압전)에서, 액츄에이터는 저 프로파일을 가질 수 있고, 3.5㎜ 만큼의 낮은 깊이를 가질 수 있다. 이러한 설계는 인사 카드, 패키징 및 신규 적용으로 통합하는데 적합하다. 액츄에이터는 관성을 가질 수 있고, 즉 프레임 또는 다른 지지부에 접지되지 않을 수 있다. 다시 말해서, 액츄에이터는 진동 또는 굽힘에 자유로울 수 있고, 따라서 진동 동안에 자체 질량을 가속 및 감속하는 것과 관련된 관성을 통한 힘을 발생시킨다.

[0027] 일부 실시예에서, 액츄에이터는 주파수 응답에 어떠한 피크를 감소시키는 댐핑 수단을 더 포함할 수 있다. 또한, 주파수 응답에서 어떠한 피크도 감소시키기 위하여 액츄에이터로의 입력은 감쇠될 수 있다. 예를 들면, 중앙 베인을 샌드위치하는 두 개의 압전 층을 포함하는 바이몰프 액츄에이터에 대하여, 적어도 하나의 모드를 억제하는 다양한 방법이 있다. 모드를 억제하는 이러한 기술은 앞에서 기술된 어떠한 반공진을 억제하는 기술과 결합하여 또는 단독으로 사용될 수 있다.

[0028] 본 발명의 또 다른 양상에 따르면, 라디에이터(radiator) 및 음향 출력을 생성하는 라디에이터를 활성화하기 위하여 라디에이터에 장착되는 앞서 기술된 액츄에이터를 포함하는 스피커가 제공된다. 라디에이터는 공진 굽힘 웨이브 진동을 지지할 수 있는 판넬일 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 본 발명은 첨부된 도면에서 예로써 도식화하여 설명된다.

도 1a는 공지된 평판형 액츄에이터의 개략적인 부분 단면도이다.

도 1b는 도 1a의 액츄에이터의 주파수에 대한 차단 힘 그래프이다.

도 2a 내지 2c는 도 1a에 따른 액츄에이터의 제1 세 가지 모드의 개략도이다.

도 2d는 본 발명에 따른 액츄에이터에서 보이스 코일의 배치를 도시하는 개략도이다.

도 3a는 본 발명에 따른 평판형 액츄에이터의 개략적인 부분 단면도이다.

도 3b는 도 3a의 액츄에이터의 주파수에 대한 차단 힘 그래프이다.

도 3c는 도 3a의 액츄에이터를 포함하는 스피커의 주파수에 대한 음압 그래프이다.

도 4a는 제2의 공지된 액츄에이터의 개략적인 부분 단면도이다.

도 4b 및 4c는 도 4a의 액츄에이터의 제1 두 가지 모드를 도시한다.

도 5a는 본 발명에 따른 제2 액츄에이터의 개략적인 부분 단면도이다.

도 5b 내지 5d는 도 5a의 액츄에이터의 내부 중간 및 외부 전극 링에 대한 20kHz에서 변위된 형상을 도시한다.

도 5e는 도 5b 내지 5d의 각각의 전극에 대한 개별적인 전달 함수 진폭을 도시한다.

도 5f는 동일(e123) 및 S0 최적화된 무게(esum)로 도 5a의 액츄에이터의 주파수에 대한 총합 힘 변화를 도시한다.

도 5g는 동일(e123) 및 S1 최적화된 무게(esum)로 도 5a의 액츄에이터의 주파수에 대한 총합 힘 변화를 도시한다.

도 6a는 레버 모달 힘 생성기의 측면도이다.

도 6b는 도 6a의 힘 생성기의 두 가지 변형에 대한 샘플 출력이다.

도 7a는 본 발명에 따른 모달 힘 생성기의 부분 단면도이다.

도 7b 및 7c는 도 7a의 힘 생성기의 제1 네 가지 모드를 도시한다.

도 7d는 도 7a의 힘 생성기에 대한 표본 전달 함수의 주파수에 대한 출력 합력 그래프이다.

도 7e는 도 7a의 힘 생성기에 대한 최적화된 무게로 표본 전달 함수의 주파수에 대한 출력 합력 그래프이다.

도 7f는 대안적으로 최적화된 무게로 표본 전달 함수의 주파수에 대한 출력 합력 그래프이다.

도 7g는 도 7a의 최적화된 힘 생성기에 대한 주파수로 토크 출력 변화를 도시한다.

도 8a 및 8b는 모드 형상 배치 및 바이몰프 압전 액츄에이터에 대한 대응하는 굽힘 모멘트를 도시한다.

도 8c는 표준 바이몰프의 성능과 단극 단일 전압 바이몰프의 두 가지 실시예를 비교한다.

도 8d는 표준 바이몰프의 성능과 양극 단일 전압 바이몰프를 비교한다.

도 8e는 표준 바이몰프의 성능과 양극 듀얼 전압 바이몰프를 비교한다.

도 8f는 바이몰프 액츄에이터에 인가되는 가변 포텐셜에 대한 차단 힘 및 차단 토크의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 도 2a 내지 2c는 축 대칭 FEA 모델을 사용하여 측정된 도 1a의 기질의 제1 세 가지 모드에 관한 형상을 나타낸다. 이러한 세 가지 모드는 27.8kHz까지 범위의 동작 주파수를 커버하여 더 이상의 모드 요구가 고려되지 않는다. 이러한 모드의 형상을 결정할 때, 기질에 대한 경계 조건의 본질이 대단히 중요하다. 기질의 내부 최외각에서, 기질은 마그넷 조립체에 고정되어 실질적으로 회전이 방지된다. 기질의 외부 가장자리에서, 기질은 견고한 커넥터에 의해 판넬에 고정되고, 이 커넥터는 저주파에서 회전하지 않는 것이 또한 고려될 수 있다(고주파에서 어떤 것도 견고하지는 않고, 판넬 및 커넥터 모두 변위하고 회전한다). 따라서 경계 조건은 기질의 내부 및 외부 가장자리에서 동일하다.

[0031] 도 1a에서, 보이스 코일(voice coil)이 반경으로 균일하게 분배되어 있다. 따라서 제1 세 가지 모드 각각은 힘에서 허용 불가능한 감소를 야기하는 일정 정도로 구동된다. 액츄에이터가 관성을 가지기 때문에(즉, 외부 접지 기준을 가지지 않는다), 제1 모드는 항상 구동될 것이다. 제1 모드는 그 작용의 필수 부품이다. 따라서 제2 및 제3 모드에 대한 보이스 코일의 배치는 신중하게 선택될 필요가 있다. 생성된 힘이 제3 모드의 노드 라인과 일치하도록 내부 및 외부 보이스 코일의 배치시키는 것은 이 모드가 활성화되지 않도록 한다. 게다가 제3 모드의 노드 라인은 제2 모드의 노드 라인의 양측과 동일하게 이격된다. 따라서 내부 및 외부 보이스 코일은 제2 모드를 구동하지 않을 것이다. 중간 코일은 이 모드를 활성화하는 것을 방지하기 위하여 제2 모드의 노드 라인으로 설정된다. 도 2d는 야기되는 세 가지 힘의 위치를 도시한다.

[0032] 도 3a는 본 발명에 따라 보이스 코일의 위치가 선택되는 점을 제외하고는 도 1a의 액츄에이터와 유사한 액츄에이터를 도시한다. 커플러 기질(coupler substrate)(28) 상의 각 보이스 코일(30, 32, 34)의 내부 및 외부 반경 위치의 배치는 커넥터(14) 및 상부 및 하부 극판(24, 26)에 의해 제공되는 클램프의 내부 및 외부 반경 위치와 함께 아래의 표에서 정리되어 있다.

표 1

[0033]

구성	반경 위치(mm)		
	내부	외부	중점%
클램프	5	9	
내부 코일(30)	2.05	15.53	0.43
중앙 코일(32)	6.27	19.75	0.56
외부 코일(34)	0.46	23.94	0.69
커플러(14)	7	32	

[0034] 도 3b는 도 3a의 액츄에이터에 대한 주파수에 대한 힘 변동을 도시한다. 이제 반응에서 어떠한 감소도 없는 점을 유의한다. 그러나 각 힘의 크기를 고려함으로써 대등하게 될 수 있는, 5kHz 및 13kHz에서 두 개의 상당히 가시적인 피크(peak)가 있다.

[0035] 힘이 배치되면, 요구되는 알짜 힘을 제공하기 위하여 각 힘 합계의 크기를 보장하는 것이 또한 필요하다. 중심 힘은 각각의 안티-노드(anti-node)에서 제1 및 제3 모드 모두를 구동시키고, 따라서 임의의 값으로 설정될 수 있다. 그러나 내부 및 외부 힘은 기질 상의 경계 조건의 영향 때문에 조정될 필요가 있다. 경계 조건은 기질의 외부 가장자리로부터의 힘 추출의 필요성에 의해 그리고 또한 전체 마그넷 매스(magnet mass)로의 내부 가장자리의 결합에 의해 정의된다. 실제로, 내부 힘은 적합하게 이용가능한 수치로 설정되어, 외부 힘은 총 힘이 유지되도록 조정된다. 외부 힘은 일반적으로 내부 힘보다 더 작지만, 이것은 현재 경계 조건에 의존할 것이다. 예를 들면, 힘은 다음과 같이 설정될 수 있다.

[0036] *표 2*

배치	힘(N)
외부 힘(C)	0.05
중앙 힘(B)	0.17
내부 힘(A)	0.15

[0037] 도 3c는, 위에 정리된 힘의 균형을 가지는 도 3a의 액츄에이터에 결합된 대형 원형 판넬 다이어프램을 포함하는 스피커(loudspeaker)에 관한 계산된 음향 출력을 도시한다. 결과는 축상 1m에서 음압(sound pressure)으로 도출되고, 균형된 구동의 유용한 효과를 도시한다.

[0038] 도 4a는 커플러를 형성하여 이 경우에 공진 요소(resonance element)를 야기하는 원형 기질(42)에 장착된 압전 재료의 단일 환형 층(40)을 포함하는 유니몰프 압전 액츄에이터(unimorph piezoelectric actuator)를 도시한다. 압전 층의 가장자리는 판넬 다이어프램(44) 형상의 로드(load)에 장착된다. 원형 매스(46)가 원형 기질(42)의 중앙에 적재된다. 액츄에이터의 가장자리 또는 둘레로부터 힘을 얻음으로써, 본 발명 교시에 의해 해결되는 주파수 응답에서의 널(null)이 있다. 대안적으로, 액츄에이터는 가장자리에서 적재되고 중앙에서 로드에 결합되는 매스가될 수 있다.

[0039] 도 4b 및 4c는 도 4a의 액츄에이터의 제1 두 가지 모드를 도시한다. 이러한 모드는 다음 모델을 기반으로 얻어졌다.

[0040] 액츄에이터 외부 직경 - 25㎜

[0041] 니켈-철 기질(42) 두께 - 200um

[0042] 압전 층 두께 - 100um

[0043] 압전 층 두께는 이러한 장치에서 통상적인 것보다 보통 더 두껍고, 따라서 모드 주파수가 매우 높다.

[0044] 모드의 완전 주파수는 압전 층 상의 전극 패턴에 의존한다. 압전 재료는 전극 부재 영역에서 실질적으로 더욱 부합되고, 이는 작동시 전극이 표면 전하를 발생시키도록 하기 때문이다. 도 4a에서 압전 층은 하나의 힘을 기질에 인가하는 단일 고유 층이다.

[0045] 도 5a에서 압전 층은, 공진 기질인 커플러 상에 작용하는 복수의 힘 요소를 형성하는 3개의 별개 링 전극(100, 101, 102)을 가지는 압전 재료의 단일 층을 포함한다. 이러한 힘 요소의 배치는 원하는 출력 힘을 달성하도록 선택될 수 있다. 3개의 전극 모두가 동일한 전압 1V로 구동될 때, 주파수에 대한 차단 힘 및 차단 토크의 그래프가 1V에서 또한 구동되는 단일 전극 압전 층에 대한 동일 그래프와 유사하다. 그래프 세트 둘 다 약 3kHz에서 힘 응답에서 깊은 널을 나타낸다.

[0046] 본 발명의 적용에서, 제1 단계는 입력으로부터 출력으로의 개별적인 전달 함수를 결정하는 것이다. 도 5b 내지 5d는 내부 전극 링(100), 중간 전극 링(101), 및 외부 전극 링(102)에 대한 20kHz에서의 변위된 형상을 도시한다. 도 5e는 각 전극에 대한 개별 전달 함수 진폭을 도시한다. 각각의 전극은 자기 널-포인트를 가지고, 약 10kHz에서 모드에 대응하는 피크가 있다. 응답의 실수부가 검사될 때, 모든 응답은 모드에서 부호 변경을 가진다고 알려져 있다. 그러나 각각의 응답은 어떤 다른 주파수에서도 또한 추가적인 부호 변경을 가진다.

2.8kHz에서 총합 응답에서의 감소를 야기하는 2.7kHz에서 중간 전극의 응답에서 부호 변경이다.

[0047] 세 가지 전달 함수가 3kHz 감소의 영향을 최소화하도록 설계된 오차 함수(S0) 내로 공급된다. 이 함수(S0)는 세 가지 극값(stationary value)을 가지고, 그 중 하나는 국부 최대이고 감소되는 것이다. 실수만의 오차 행렬, 고유값 및 고유벡터가 아래에 정리되어 있다. 실수만의 오차 행렬은 극값을 더욱 잘 분리시킨다.

[0048]

실수 오차 행렬 S0			S0의 고유값	S0의 고유벡터		
1.7640	-8.1138	0.9659	39.6142	0.2110	0.9164	-0.3402
-8.1138	37.3214	-4.443	0.0000	-0.9706	0.1553	-0.1837
0.9659	-4.4426	0.5291	3.2904e-4	0.1155	-0.3690	-0.9222

[0049] 표는 최대 고유값을 가진 벡터가 3kHz 감소의 주된 원인이 되는 중간 링 전극(e2)에 의해 지배되는 것을 나타낸다. 다른 두 개의 고유벡터는 내부 전극(e1) 또는 외부 전극(e3)에 의해 지배되고, 전자가 더 나은 결과를 제공한다.

[0050] 전자석 액츄에이터에 대하여, 각각의 힘 요소에 의해 인가된 힘을 변화시키는 것이 결과를 더욱 향상시켰다. 따라서 동일한 원리가 압전 액츄에이터에 적용된다. 도 5f에 도시된 바와 같이, 전극의 최적화된 무게(또는 전극에 의해 인가된 힘)(약 0.8, 0, -0.6)의 사용은 3kHz에서 널을 감소시키고, 약 9 또는 10kHz에서 작은 변동만 남긴다.

[0051] 이러한 결과를 시도하여 향상시키기 위하여 새로운 오차 S1 추정치가 10kHz에서 토크 응답을 기반으로 생성된다. 이 행렬, 고유값 및 고유벡터가 아래에 나타나 있다.

[0052]

실수 오차 행렬 S1			S1의 고유값	S1의 고유벡터		
0.4396	-2.4143	0.6508	14.6629	0.1731	0.7991	-0.5757
-2.4143	13.2600	-3.5740	0.0000	-0.9510	-0.0165	-0.3089
0.6508	-3.5740	0.9634	5.1433e-5	0.2563	-0.6010	-0.7570

[0053] 앞에서와 같이, 행렬은 중간 전극(e2)과 다른 전극 사이에서 유사하게 구별된다. 도 5g는 S1으로부터 유도된 최적화된 무게의 사용이 총합 힘에서 매우 양호한 결과를 제공하는 것을 나타낸다. 유사하게 차단 토크의 결과도 양호하다.

[0054] 널을 제거하기보다는 두 개의 샘플링 포인트 사이의 중간에 널을 단순히 이동시키는 것이 가능하기 때문에, 표로 된 결과의 사용은 오해될 수 있다는 점에 유의한다. 그러나 앞선 예에서, 샘플링은 널이 하나 이상의 샘플 상에서 발현되기에 충분히 양호하다고 믿어진다.

[0055] 앞에서 기술한 바와 같이, 모달 힘 생성기(modal force generator)의 출력은 일반적으로 극(반응에서 피크) 및 제로(zero)(반응에서 널) 모두를 가진다. 극은 댐핑을 통하여 또는 입력을 감쇠함으로써 처리될 수 있다. 도 6a는 앞에서 설명된 실제 예에 적용되는 널을 해결하기 위한 일반적인 이론을 계속 도시한다.

[0056] 도 6a는 두 개의 힘(F1 및 F2)이 인가되는 단순한 레버(50) 형상의 커플러를 도시한다. 저주파에서, 출력 힘(F)은 입력(F1, F2) 및 받침대(52)으로부터의 거리로부터 용이하게 측정된다. 그러나 고주파에서, 입력과 출력 사이의 위상 지연(phase lag)이 있고, 따라서 특정 조건하에서 입력의 기여가 출력에서 취소되는 것이 가능하다.

[0057] 도 6b는 도 6a의 장치의 두 개의 예시적 샘플 응답을 도시한다. x축은 주파수형 파라미터(예를 들면, 측정 주파수(f)/임계 주파수 또는 파수 = 2pi/파장)이고, y축은 총합 출력 힘이다. 케이스 1의 응답은 케이스 2 보다 더 깊은 널을 나타낸다. 케이스 1과 같은 응답을 가진 레버는 10단위를 넘어서는 주파수에서 사용 불가능하다고 여겨질 수 있었다. 그러나 케이스 2와 같은 응답을 가진 레버는 적당한 균일화로 약 30단위까지도 사용가능할 수 있었다.

[0058] 본 발명은 도 6a에서 도시된 바와 같은 모달 레버 시스템을 향상시키기 위한 체계적 접근을 제공한다. 시스템은 스트링(string), 빔, 디스크 또는 환형 형태의 액츄에이터를 포함할 수 있고, 고정되거나 또는 지지된 받침대 및/또는 고정되거나 또는 지지된 로드-점(load-point)을 가질 수 있다. 각각의 시스템은 미분 방정식 및 경계 조건의 정의 세트를 가진다. 게다가, 각 입력으로부터 각 출력으로의 전달 함수 세트가 존재한다. 이러한 전달 함수 세트는 측정에 의해, 또는 유한 요소법(finite element analysis)과 같은 수치 해석에 의해, 또

는 시스템 작동에 대한 수학적 표현 지식에 의해 직접적으로 얻을 수 있다.

[0059] 수학적 표현은 다음과 같이 유도될 수 있다.

[0060] 시스템의 배치 모드 형태를 Y(n, r)로 주어지도록 하고, 여기서 r은 시스템의 위치를 정의하는 좌표 벡터이고, n은 모드의 갯수이다. 대응하는 모달 주파수 및 댐핑 인자는 각각 fn 및 ζn가 되도록 한다.

[0061] r0에서 작용하는 힘에 의한 시스템의 응답은 r0에서 자극으로 인해 r에서 시스템의 응답을 명시하는 소위 그린 함수(Green's function) G(r, r0)에 의해 기술될 수 있다는 것은 일반적인 문헌으로부터 알려져 있다. 이러한 그린 함수는 시스템 모드의 항들로 정의될 수 있다.

$$G(\underline{r},\underline{r0}) = \sum_{n} \alpha(n,\underline{r0}) Y(n,\underline{r})$$

$$\alpha(n,\underline{r0}) \propto \frac{Y(n,\underline{r0})}{fn^2 - f^2 - j\zeta n\, fn\, f} \qquad (1)$$

[0062]

[0063] 여기서 알파 항은 각 모드에 대한 r0에서 자극에 대한 시스템의 주파수 의존 수용을 나타낸다.

[0064] 합력(resultant force), 개별 또는 연속 소스 분포에 대한 유사한 전달 함수를 고려하는 것이 여기서부터 비교적 복잡하지 않은 단계이다.

$$F(\underline{load},\underline{r0}) = \sum_{sources} F_{source} \sum_{n} \alpha(n,\underline{source}) Q(n,\underline{load}), \qquad (2)$$

[0065]

[0066] 또는,

$$F(\underline{load},\underline{r0}) = \oint\!\!\int_{S} F(S) \sum_{n} \alpha(n,\underline{r(S)}) Q(n,\underline{load})\, dS \qquad (3)$$

[0067]

[0068] 방정식 (2) 또는 (3)을 구비하여, 최소 행렬의 계수의 계산은 일반적인 문제이다.

[0069] 전달 함수를 구비하여, 로드에서 합력을 예상하는 것이 가능하다. 이것이 힘의 균일한 분포로 계산된다면, 응답은 널을 가질 것으로 예상된다. 이러한 널의 존재를 표시하도록 함수가 개발되고 설계된다. 입력 파라미터로써 힘 분포를 가지고, 제곱 오차 응답의 합(sum-squared error response)을 제공한다.

[0070] SSE = W(F1, F2, ..., Fn)

[0071] 값을 최소로 하는 파라미터 값을 찾기 위하여 최소화 절차가 가변 방법을 사용하는 이러한 함수에 적용된다.

[0072] δ(W) = 0, 즉, dW/dF1 = dW/dF2 ... = dW/dFn = 0

[0073] 이러한 n 방정식은 연립 방정식 세트를 형성하지만, 이들 방정식 모두가 영(0)이기 때문에 시스템은 여분으로써 분류된다.

[0074] S x F = 0, 따라서 |S| = 0

[0075] 여기서 S는 dW/dF 계수의 행렬이고, F는 벡터(F1, F2, ... Fn)이다.

[0076] 이 문제는 방정식 A.x - λ.x = 0의 솔루션을 찾으려는 고유값 문제와 매우 유사하고, 여기서 A는 행렬이고, λ는 고유값이고, x는 관련 고유벡터이다. 중복 고유값이 있을 때, 시스템은 퇴보된 것으로 여겨진다. 이것이 그 경우일 때, 가능한 고유벡터의 무한수가 존재한다. 예를 들면, x1 및 x2가 공통된 고유값 λ에 대한 고유벡터가 가능하다면, x1 및 x2의 어떠한 선형 결합(linear combination)도 방정식을 또한 만족할 것이다.

[0077] 최소화 문제로 돌아가서, 최소화 문제에 대한 m개의 완전한 솔루션이 있다면, S는 m개의 제로 고유값을 가질 것이다. 어떠한 완전한 솔루션이 없다면, 최적의 해결책은 최소 고유값을 가지는 것이 될 것이다. 완전한 솔루션이 없는 경우에 이러한 융통성은 본 발명을 더욱 강력하게 만들 것이다.

[0078] 도 7a는 내부 가장자리에서 받침대(62)에 고정되고 외부 가장자리에서 로드(도시되지 않음)에 고정되는 링 형상의 플레이트(60) 형태의 커플러를 포함하는 예시적 시스템을 도시한다. 복수의 힘(F1, F2, F3)이 인가되어 원형 라인을 따라 전달되고, 따라서 시스템은 축 대칭을 나타낸다. 이러한 힘은 플레이트(60)의 외부 가장자리에서 Fsum으로 총합된다. 플레이트의 내부 반경은 외부 반경의 1/3이다.

[0079] 이 경우에, 시스템은 해석적 방법을 직접 사용하여 해결할 수 있을 만큼 충분히 단순하다. 모드 형상은 베셀 함수(bessel function)의 선형 결합을 포함한다. 도 7b 및 7c는 각 모드의 노드 라인 갯수로 지칭되는 곡선 이름 "y2", "y3" 등을 구비한 제1 네 가지 모드를 함께 도시한다. 이러한 네 가지 모드의 고유값은 7.07, 11.76, 16.48, 21.19이다. 선택된 플레이트 재료의 대응하는 주파수는 4.34kHz, 11.98kHz, 23.53kHz 및 38.92kHz이다.

[0080] 모드 형상을 관찰하면, y3 및 y5는 외부 반경의 2/3에서 거의 일치하는 노드 라인을 가지는 것을 확인할 수 있다. 가능한 추가 구동 포인트가 모드 y5의 다른 노드에서 또는 근처에서 있을 것이다. 이러한 구동 포인트를 반경 증가에 따라 1로부터 3으로 번호 매기도록 한다.

[0081] 노드 2에서 단일 구동에 대한 전달 함수는 도 7d의 실선 곡선으로 도시된다. 모드 y2 및 y4에 대응하는 피크가 있지만, y3 또는 y5에서는 없음을 확인할 수 있다. 저주파에서 전달 이득(transfer gain)은 약 0.7이다. 구동 포인트 2를 과부하지 않고 힘을 증가시키려는 시도에서, 유닛 길이당 동일한 힘이 구동 포인트 1 및 3에 추가되었다. 최종 힘 전달 함수는 도 7d에서 점선 곡선으로 도시된다.

[0082] 원하는 바와 같이, 저주파에서 전달되는 총 힘은 증가되었지만, 개별 전달 함수에서 위상 차이 때문에 약 9kHz 및 약 15 kHz에서 바람직하지 않은 깊은 노치(notch)가 있다. 이제 우리는 더 양호한 응답을 제공하는 입력 힘 수치 세트를 선택할 것이다. 이러한 응답 곡선으로부터 우리의 리드를 차지함으로써, 두 가지 상에서 우리의 비용 함수를 정의하고자 한다.

[0083] SE1 = (|F(1kHz)| - |F(9kHz)|)^2

[0084] SE2 = (|F(9kHz)| - |F(15kHz)|)^2

[0085] 여기서, F = a.F1 + b.F2 + c.F3 이다.

[0086] F1, F2 및 F3는 개별 힘 전달 함수이고, 파라미터 a, b 및 c는 입력 힘 값이다.

[0087] 이러한 오차 함수는 파라미터에서 비선형이어서 솔루션을 찾는 것을 어렵게 만든다. 게다가, 힘 전달 함수는 모드에서 부호를 변경할 수 있다는 점에 유의한다. 특히, 합은 각 모드에서 플립(flip)이 예상될 수 있어, F(9kHz)는 F(1kHz) 및 F(15kHz)에 반대 부호인 것을 의미한다. 따라서 오차 함수는 다음과 같이 재작성될 수 있다.

[0088] SE1 = (|F(1kHz)| + |F(9kHz)|)^2

[0089] SE2 = (|F(9kHz)| + |F(15kHz)|)^2

[0090] a, b 및 c가 복소수 값을 가진다면, 환형 링 시스템에서 가능한 구동 무게를 나타내는 다음의 표에서 도시된 바와 같이, SE1 및 SE2 모두 두 개의 완전 극점(stationary point)을 가진다는 것을 알 수 있다.

표 3

[0091]

구동 포인트	SE1-1	SE1-2
1 = a	0.8982	-0.1380+1.6371e-4i
2 = b	0.0683-1.3285e-3i	0.9656
3 = c	0.4343-7.2786e-3i	-0.2203+8.1869e-4i

[0092] (도 7e 참조)

[0093] 두 가지의 어떠한 선형 결합도 하나의 완전 극점을 가진다.

[0094] 만약 a, b 및 c가 단지 실수 값만을 가진다면, 환형 링 시스템에서 가능한 구동 무게를 나타내는 다음의 표에서 도시된 바와 같이, SE1 및 SE2는 모두 하나의 완전 극점을 가진다는 것을 알 수 있다.

표 4

[0095]

구동 포인트	SE1 편향	SE2 편향	복소수
1 = a	0.8683	0.8655	0.8680
2 = b	0.3186	0.3213	0.3169+0.3761i
3 = c	0.3803	0.3843	0.3802-0.0133i

[0096] 두 가지의 어떠한 선형 결합도 하나의 대략 극점을 가지고, 이는 SE1 및 SE2의 상대적인 무게에 약간 의존한다. 결과값이 고유값 형태이기 때문에, 무게의 제곱 계수의 합이 1이 되도록 수치가 정규화된다. 세 가지 결과값이 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 도 7f는 노치가 완전히 제거된 것을 확인할 수 있는 이러한 최적화된 무게를 가지는 응답을 도시한다.

[0097] a, b 및 c가 복소수일 수 있는 경우의 구동 무게의 두 가지 세트로 돌아가서, 하나의 세트는 구동 2의 존재에 의해 지배되고, 다른 것은 구동 2의 부재에 의해 지배된다는 점에 유의한다. 이것은 포인트 2가 구동에 민감한 위치가 될 것이라는 것을 확인해 준다. 또한, 이는 시스템을 더욱 최적화하는 한 방법은 b를 고정시키고, 이에 따라 하부 중간 민감도를 균형 잡기 위하여 a 및 c를 변경시키는 것이라는 것을 시사한다. 이러한 실험적 처리가 유한 요소 모델과 같은 도구를 사용하여 수행되었다. b를 1로 설정하면, a = 0.882 및 c = 0.294가 유용한 응답을 제공한다는 것을 알게 되었다. 정규화될 때, 이러한 수치는 각각 0.646, 0.732, 0.215이다. 최종 힘 전달 함수는 도 7e에 도시된다.

[0098] 이러한 추가적인 최적화의 체계적인 접근이 아래에서 발전된다. 공통되는 공학적 감각은, 균일압이 되는 자연적인 경향에 따르는 힘 분포가 가장 효율적이 될 것이라는 것을 시사할 것이다. 이것은 관련 노드의 반경에 비례하여 무게 a, b 및 c를 설정하도록 이해된다. 이러한 자연적인 균형으로부터의 편차를 측정하는 하나의 가능한 오차 함수는 다음과 같다.

[0099]
$$SE3 = \frac{(a\rho_2 - b\rho_1)^2 + (b\rho_3 - c\rho_2)^2 + (c\rho_1 - a\rho_3)^2}{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \rho_3^2}$$

[0100] 관련 행렬은,

[0101]
$$S3 = \frac{1}{\rho_1^2 + \rho_2^2 + \rho_3^2}\begin{pmatrix} \rho_2^2 + \rho_3^2 & -\rho_1\rho_2 & -\rho_1\rho_3 \\ -\rho_1\rho_2 & \rho_1^2 + \rho_3^2 & -\rho_2\rho_3 \\ -\rho_1\rho_3 & -\rho_2\rho_3 & \rho_1^2 + \rho_2^2 \end{pmatrix}$$ 이다.

[0102] 여기서 변수 ρ 값은 각각 구동 포인트의 반경이다. 새로운 고유값 문제는 솔루션 군을 제공하기 위하여 S = α.S3 + S1를 사용하여 표현된다.

표 5

[0103]

구동 포인트	α = 1	α = 0.5	α = 0.1	실험적 세트
1 = a	0.7281	0.7459	0.7602	0.6460
2 = b	0.5877	0.5819	0.5787	0.7324
3 = c	0.3561	0.3241	0.2953	0.2153

[0104] 이러한 솔루션 군의 일부에 대한 시스템 응답이 도 7f에 도시되어 있다. 파라미터 α는 저주파 및 고주파 민감도를 균형 잡는 역할을 하는 것을 알 수 있다. 공식적으로 최적화된 값은 더욱 실험적 경향으로 얻어지는 값보다 더 낫다. 유용한 3db 대역폭은 단순한 힘 분포에 대한 약 6.5kHz로부터 다양한 최적 해결로 인한 약 28kHz로 확장되었다.

[0105] 환형 플레이트 시스템은 복수의 출력을 가지는 하나의 양호한 예이다. 출력에서 간단한 힘을 제공할 뿐만 아니라 또한 토크도 발생시킨다. 도 7g는 이러한 보조 출력 상에 유용한 영향을 동시에 가지는 방법을 도시한다.

[0106] 본 발명에 따른 액츄에이터 성능을 향상시키는 방법은 매우 탄력적이어서, 예를 들면, 추가적인 성과의 설정

을 가능하게 한다. 또한, 앞에서 설명된 바와 같이, 방법은 강력하여, 유사한 응답을 가지는 수치 범위를 제공한다. 본 발명의 도움이 되는 부작용은 힘 분포가 시스템에 근본으로 여겨질 수 있는 시각을 제공한다는 것이다. 이러한 힘 분포에 대한 무게는 다른 시스템, 예를 들면, 도 7a의 예의 구동 포인트 2에서 거의 독립적일 것이다.

[0107] 전술한 실시예로, 특정 모드로 구동하지 않기 위하여 힘 배치 위치, 즉 노드인 것이 분명하다. 이하 실시예에서, 두 개의 압전 층 사이에서 샌드위치된 중앙 베인(vane) 형태의 커플러를 가지는 바이몰프 압전 액츄에이터(bimorph piezoelectric actuator)가 고려된다. 이러한 액츄에이터에서, 굽힘 모멘트가 직접적으로 인가되어 힘이 내포되고, 따라서 특정 모드로 구동하지 않도록 전극을 배치하는 위치가 처음에 명백하지 않다.

[0108] 도 8a 및 8b는 바이몰프 액츄에이터의 모드 형태 및 대응하는 곡률 또는 굽힘 모멘트를 도시한다. 이전 실시예와 유사한 방식으로, 각각의 압전 층은 입력 전압 a 및 b를 수용하는 두 개의 전극으로 분리된다. 인가되는 힘은 다음과 같이 주어질 수 있다.

[0109] $$F_n \propto a\int_0^{\xi 0} Y''(n,\xi)d\xi + b\int_{\xi 0}^{1} Y''(n,\xi)d\xi \propto \left(Y'(n,\xi 0)\right)a + \left(Y'(n,1) - Y'(n,\xi 0)\right)b$$

[0110] 여기서 Y(n,ξ)은 모드 형태이다.

[0111] ξ는 각 압전 층을 따르는 정규화된 거리이다.

[0112] ξ0은 압전 층이 두 개의 전극으로 분리되는 지점이다.

[0113] 단극(uni-polar), 단일 전압 바이몰프 액츄에이터에서는, 단지 하나의 전극만 구동된다. 따라서 b는 0으로 설정되고, Fn은 ξ0에 대하여 풀어진다. 이것은 하나의 모드를 억제하는 단순한 방법이다. ξ0은 모드 형상 자체의 안티-노드(anti-node)에 대응하는 모드 형상의 경사에 0으로 주어진다. 예를 들면, 제2 모드를 억제하기 위하여, ξ0에 대한 적합한 값은 0.471이다. 도 8c는 단극, 단일 전압 솔루션 F2(ω)의 성능을 표준 완전 전극 F0(ω)의 성능과 비교한다. 명확하게 나타나는 바와 같이, 제2 모드가 억제된다.

[0114] 빠진 전극 영역으로 인한 레벨 손실이 허용될 수 없다면, 다른 전극이 우측 주파수에 조율된 노치 필터(notch filter)의 출력에 제공될 수 있다. 1/√2의 Q로 조율하는 버터워스(Butterworth)가 정확하게 나타난다. 이러한 시스템의 성능은 또한 도 8c에서 F4(ω, √0.5)로 도시되어 있다.

[0115] 양극, 단일 전압 바이몰프 액츄에이터에서는, 전극 양쪽이 동일하고 반대 전압으로 구동된다. 이것은 하나의 모드를 억제하는 다른 간단한 방법이다. b는 -a로 설정되고, ξ0 값은 솔루션에 의해 다음과 같이 주어진다.

[0116] $$F_n \propto 2\cdot Y'(n,\xi 0) + Y'(n,1) = 0$$

[0117] 예를 들면, 제2 모드를 억제하기 위하여, ξ0에 대한 적합한 값은 0.625이다. 도 8d는 이러한 양극, 단일 전압 솔루션 F1(ω)의 성능을 표준 완전 전극 F0(ω)의 성능과 비교한다. 명확하게 나타나는 바와 같이, 제2 모드가 억제된다.

[0118] ξ0 와 a:b의 비 모두를 협력적으로 선택하는 것에 의해, 두 가지 모드를 억제하는 것이 가능하다. 이제 풀어야 할 다음의 방정식이 있다.

[0119] $$\left(Y'(2,\xi 0)\right)a + \left(Y'(2,1) - Y'(2,\xi 0)\right)b = 0 \quad \left(Y'(3,\xi 0)\right)a + \left(Y'(3,1) - Y'(3,\xi 0)\right)b = 0$$

[0120] $$Y'(2,\xi 0)\cdot Y'(3,1) - Y'(3,\xi 0)\cdot Y'(2,1) = 0$$

[0121] 솔루션은 ξ0 = 0.3555, a = 1, b = 0.244(세 가지 주요 도면에서)로 주어진다. 도 8e는 이러한 양극, 듀얼 전압 솔루션 F6(ω)의 성능을 표준 완전 전극 F0(ω)의 성능과 비교한다. 명확하게 나타나는 바와 같이, 제2

및 제3 모드가 억제된다.

[0122] 압전 층을 복수의 전극으로 분포하는 것에 대한 대안으로써, 바이몰프 액츄에이터에 가변 포텐셜(variable potential)을 적용하는 것이 또한 가능하다. 분산 또는 가변 포텐셜에 대하여, 총 출력은 모달 곡률에 의해 가중되는 포텐셜의 적분으로 주어진다. 제1 모드를 제외한 모든 모멘트로 직교되는 가변 포텐셜이 다른 모드를 억제할 것이다.

[0123] 모드 형태에 더하여 굽힘 모멘트가 상호 직교하는 것은 굽힘 미분 방정식의 특성이다.

[0124] $$\int_0^d Y(n,\xi)\cdot Y(m,\xi)\,d\xi = \int_0^d Y''(n,\xi)\cdot Y''(m,\xi)\,d\xi = \delta_{nm}$$

[0125] 즉, n=m이면 1 그렇지 않으면 0이다.

[0126] 결과적으로, Y"(1, ξ)을 따르는 포텐셜 프로파일은 어떠한 더 높은 모드도 가동하지 않을 것이다. 이것은 f0에서 단일 피크를 제공하고, 이후에 1차 롤-오프(roll-off)를 제공한다. 도 8f는 이러한 포텐셜 변화에 대한 차단 힘 및 차단 토크를 도시한다. 연속적인 가변 포텐셜을 제공하는 것은 어려울 것이라는 점에 유의한다. 따라서 두 개의 전극 솔루션이 바람직할 수 있다.

부호의 설명

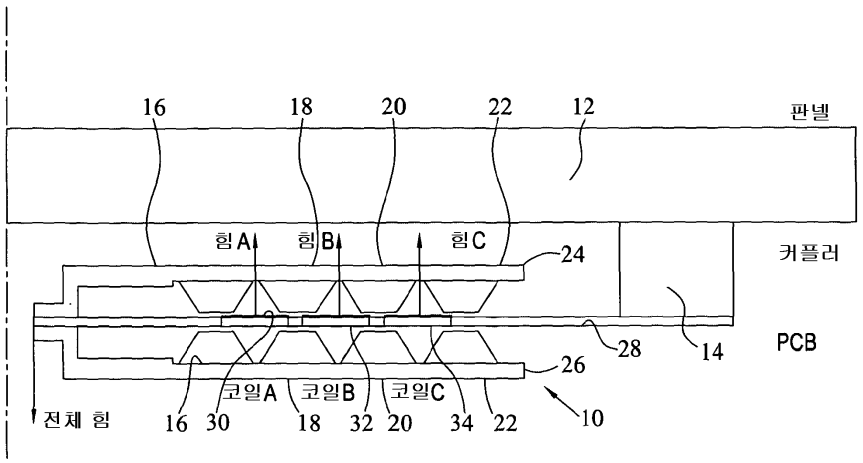
[0127] 28, 42 기질

30, 32, 34 보이스 코일

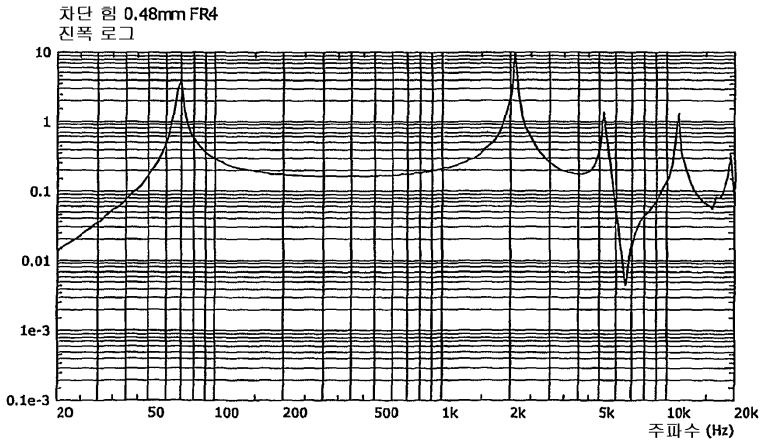
100, 101, 102 전극

도면

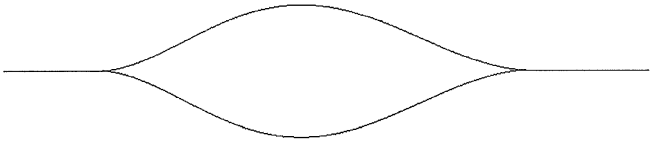
도면1a



도면1b

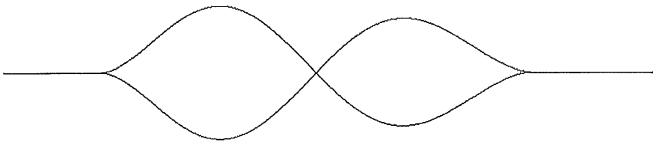


도면2a



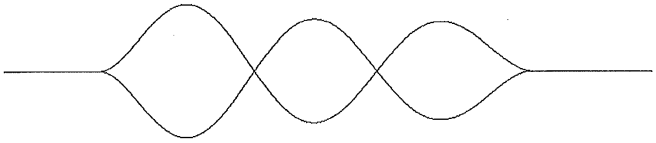
주파수= 5182.3 (사이클/시간)

도면2b



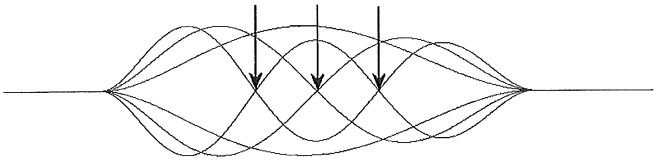
주파수= 14256. (사이클/시간)

도면2c

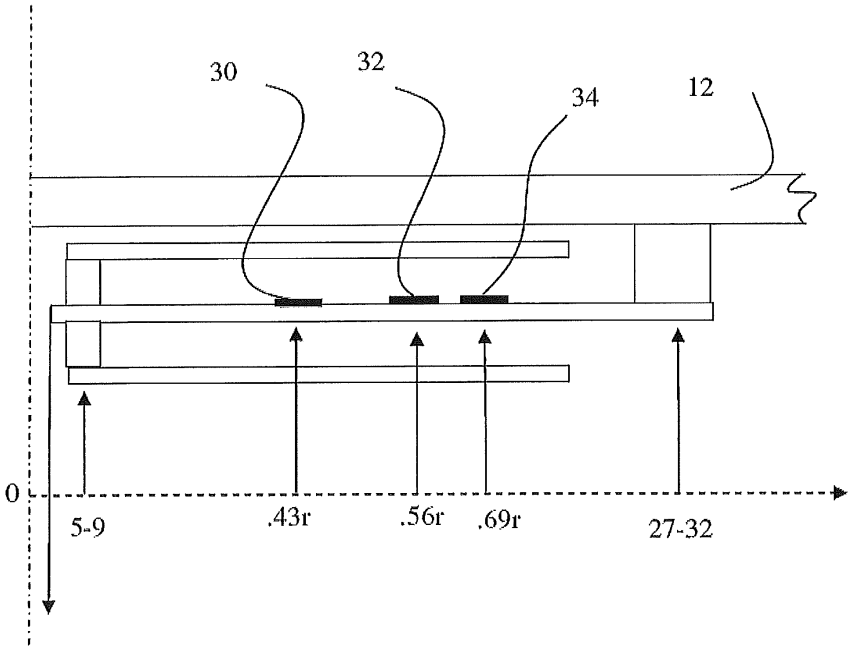


주파수= 27818. (사이클/시간)

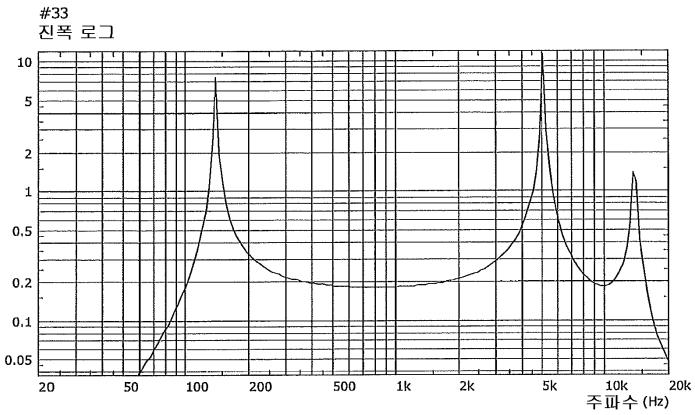
도면2d



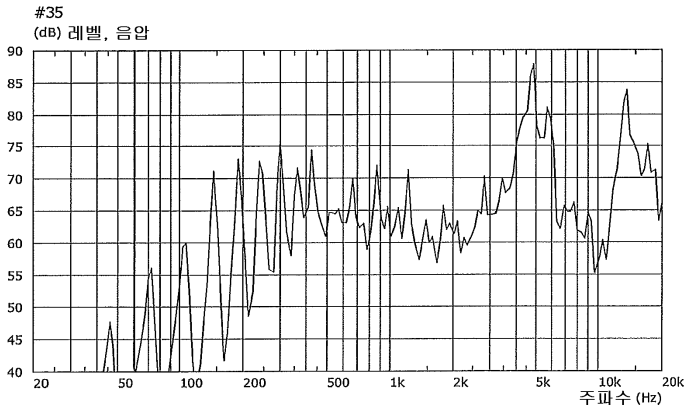
도면3a



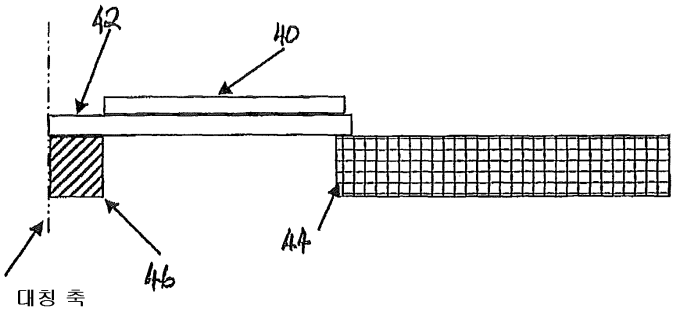
도면3b



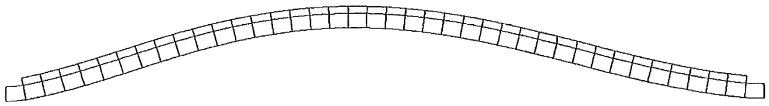
도면3c



도면4a

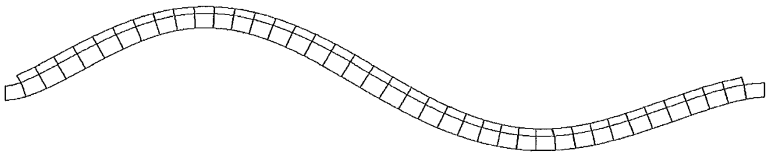


도면4b



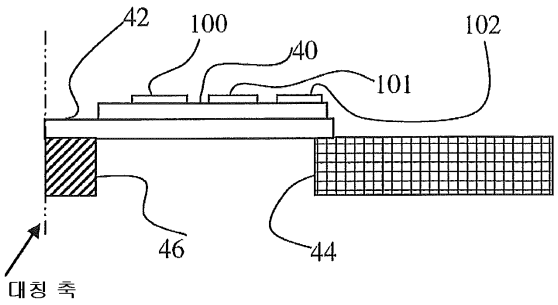
단계:모드 체크, 유니몰프모드
모드1:수치 = 4.09893E+09 주파수 = 10190. (사이클/시간)

도면4c

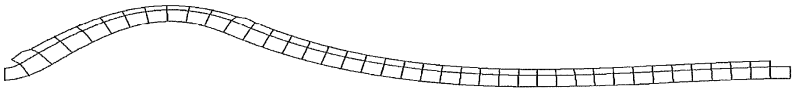


단계:모드 체크, 유니몰프모드
모드 2:수치 = 3.19777E+10 주파수 = 28461. (사이클/시간)

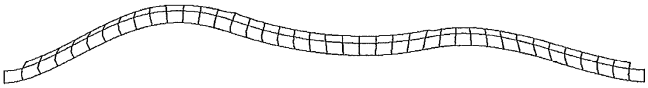
도면5a



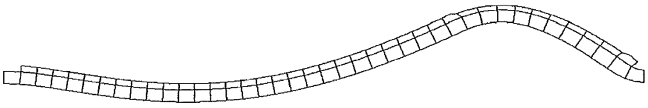
도면5b



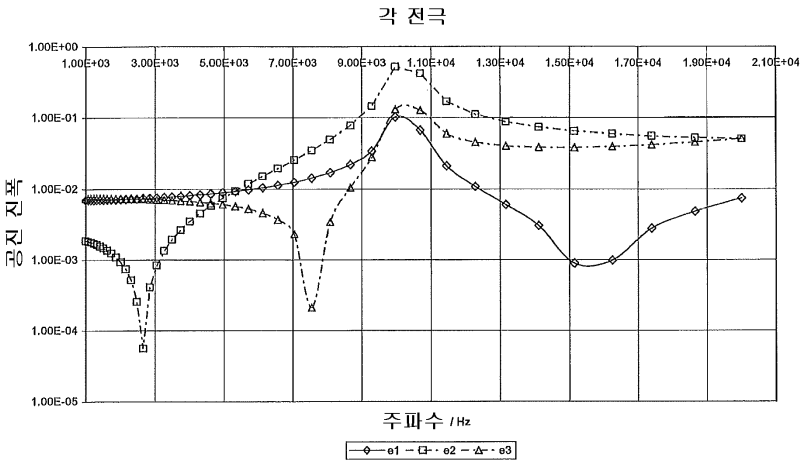
도면5c



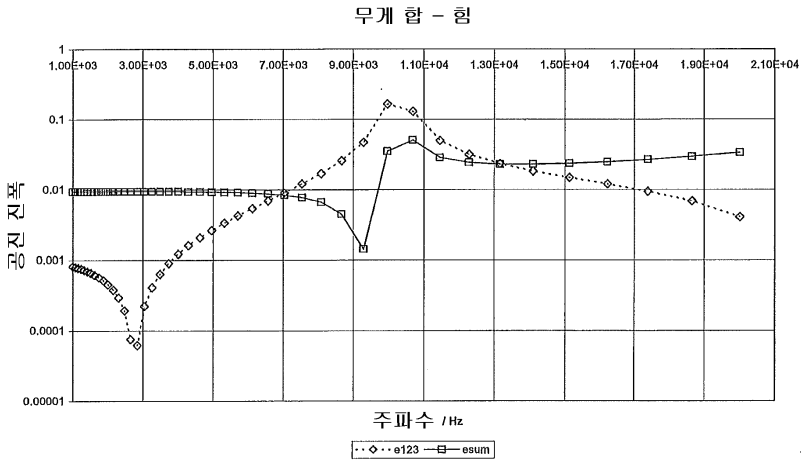
도면5d



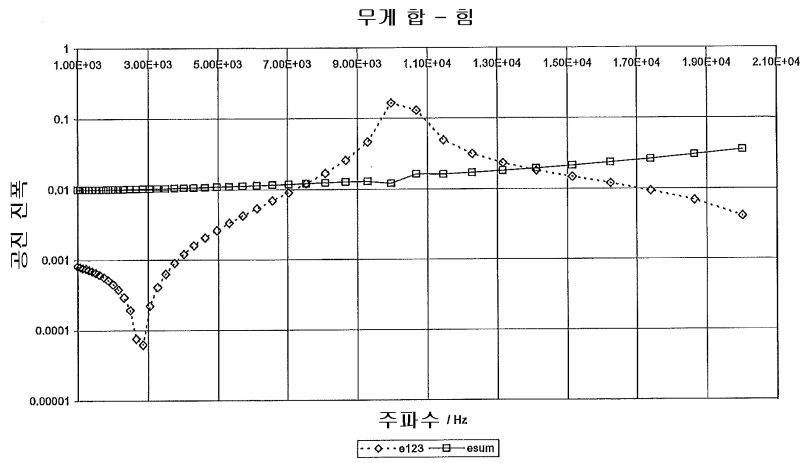
도면5e



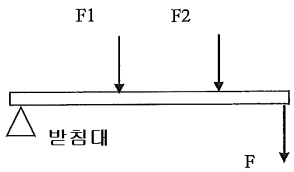
도면5f



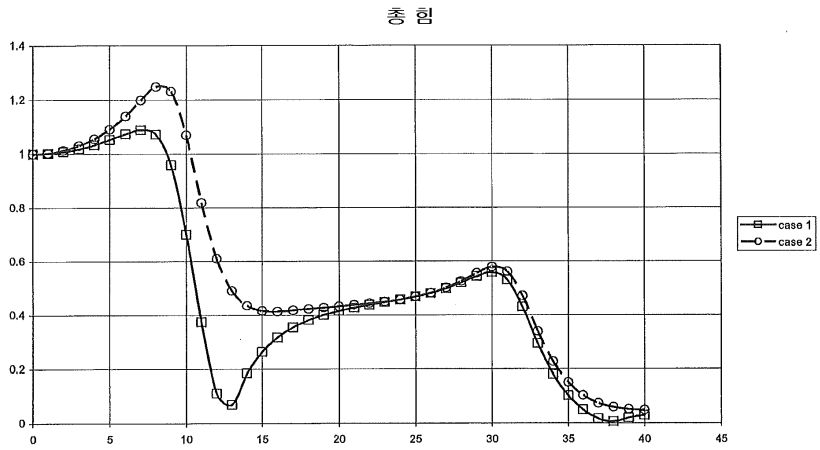
도면5g



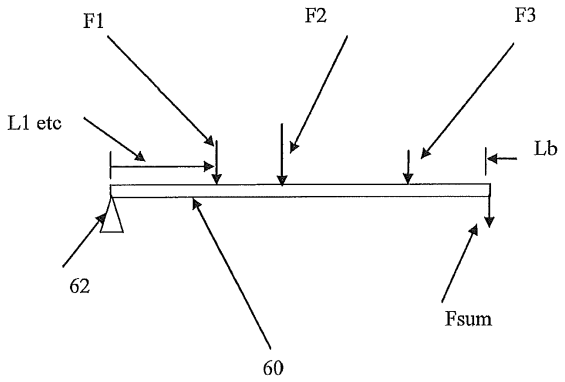
도면6a



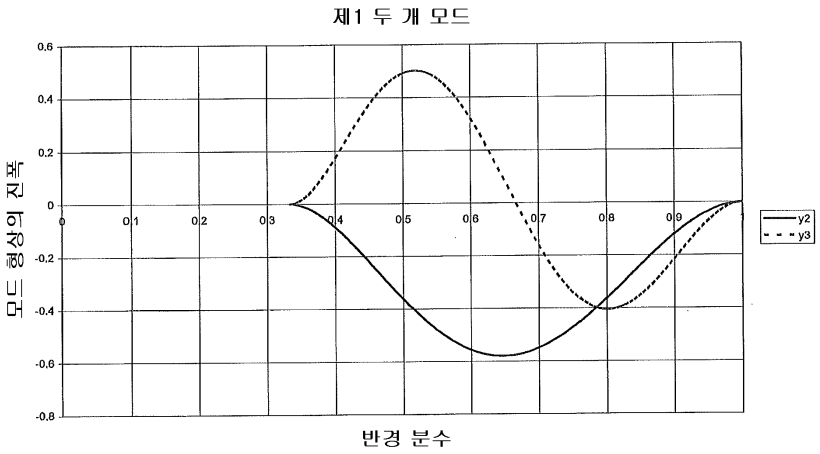
도면6b



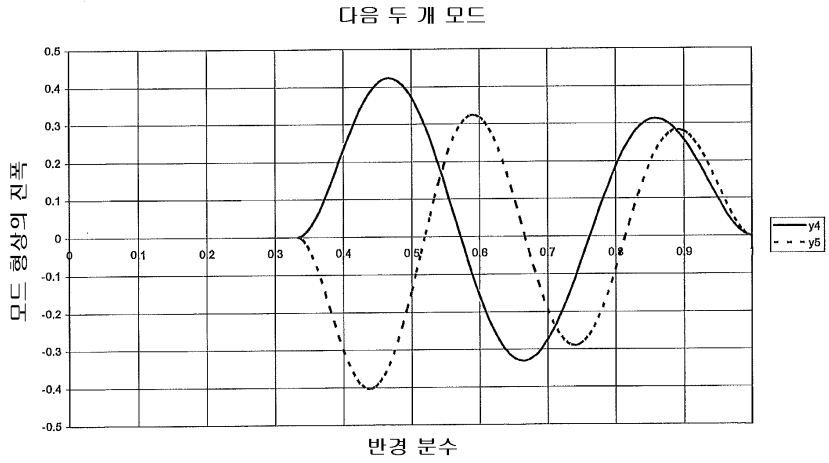
도면7a



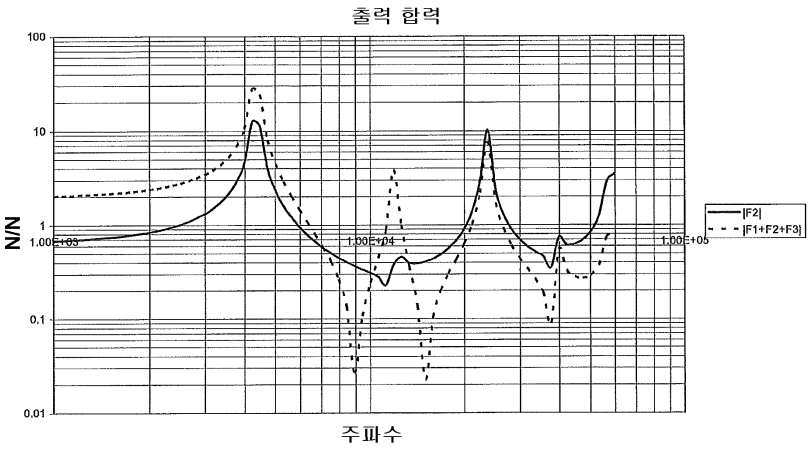
도면7b



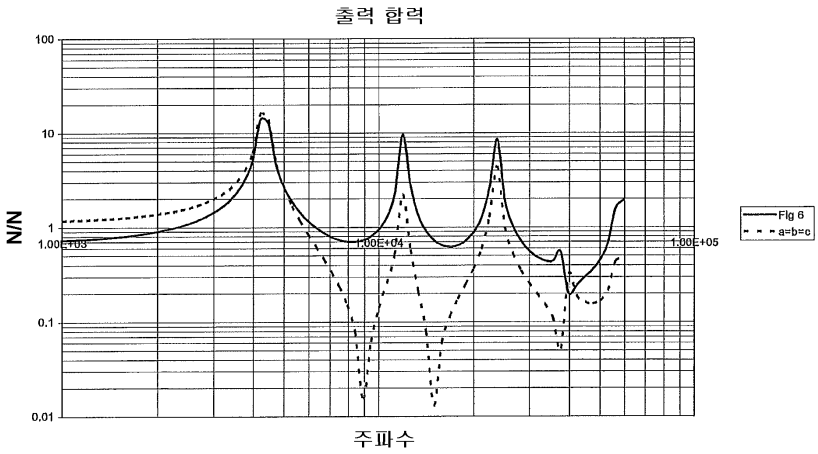
도면7c



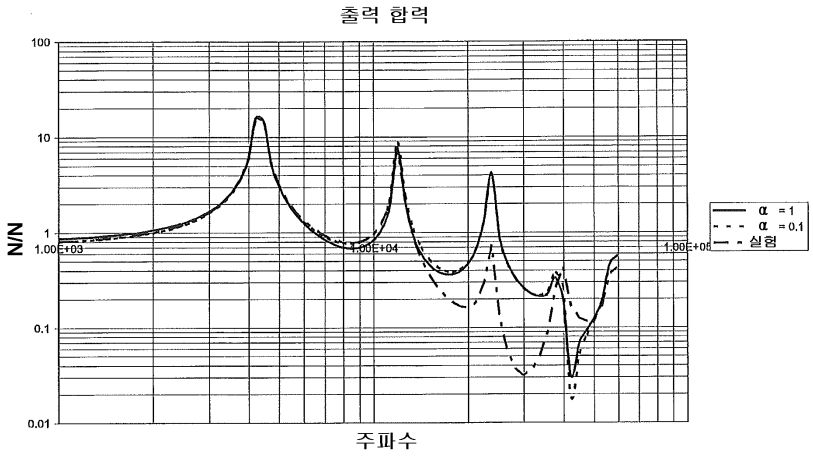
도면7d



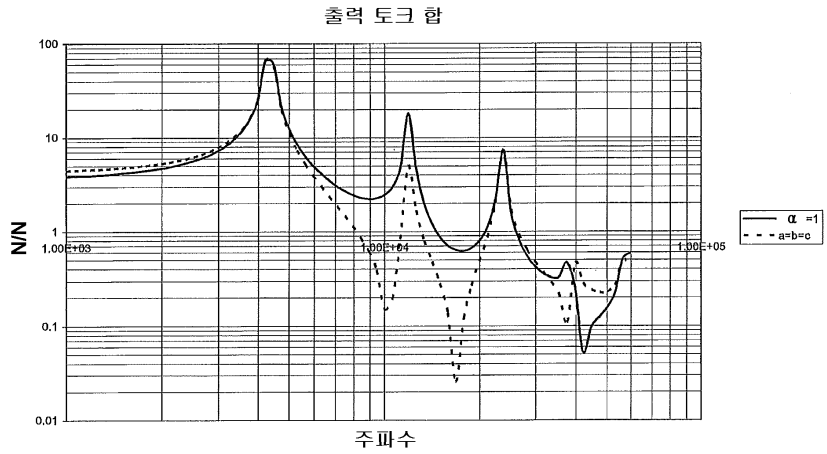
도면7e



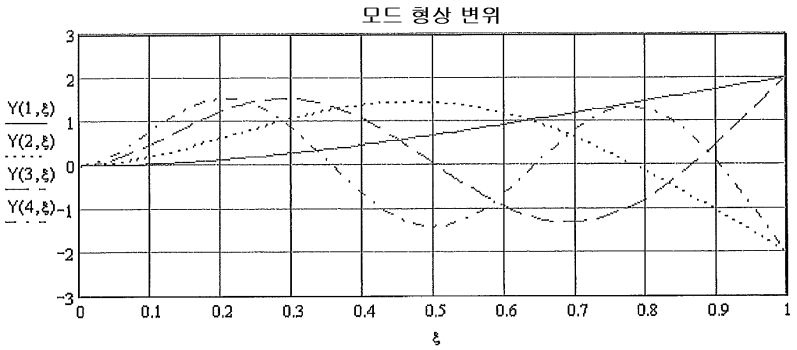
도면7f



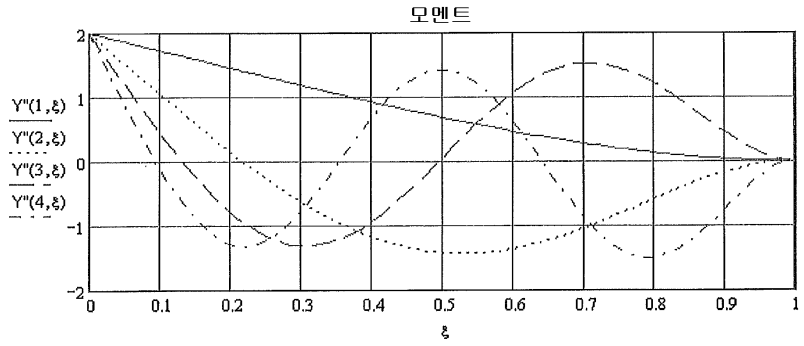
도면7g



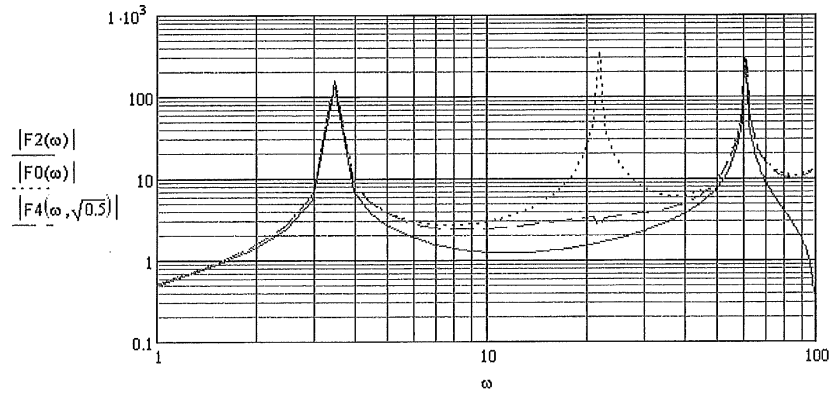
도면8a



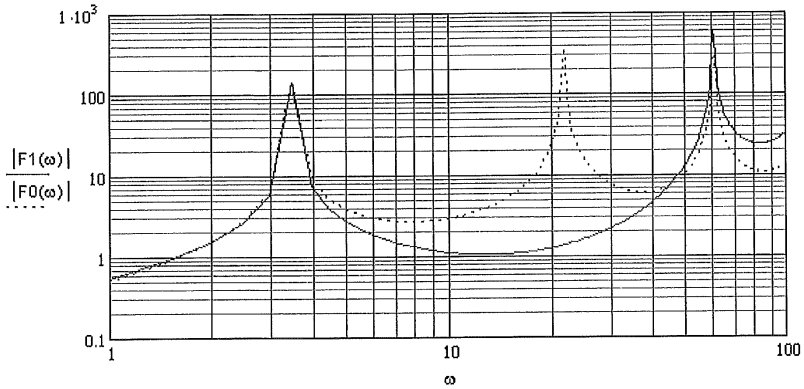
도면8b



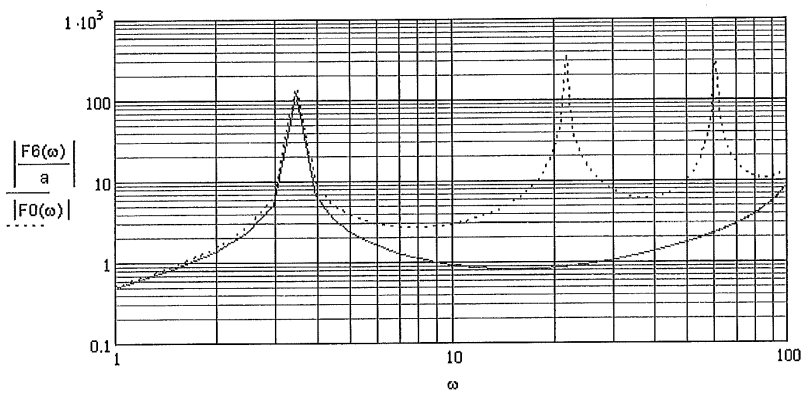
도면8c



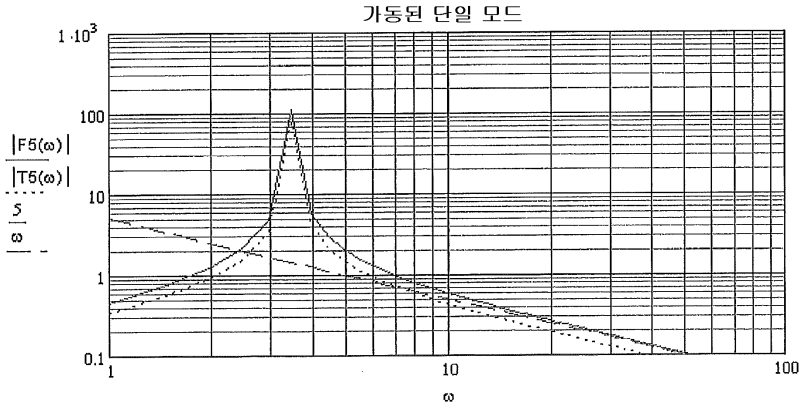
도면8d



도면8e


1·10^3
100
10
1
0.1
|F6(ω)| / a / |F0(ω)|
1
10
100
ω

도면8f


가동된 단일 모드
1·10^3
100
10
1
0.1
|F5(ω)| / |T5(ω)| / 5 / ω
1
10
100
ω