



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0089348
(43) 공개일자 2021년07월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F16F 15/02 (2006.01) B64G 1/38 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F16F 15/02 (2013.01)
B64G 1/38 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0002401
(22) 출원일자 2020년01월08일
심사청구일자 2020년01월08일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박노철
서울특별시 마포구 마포대로 195, 202동 1403호
윤주영
서울특별시 서대문구 신촌로11길 35, 204호
(74) 대리인
특허법인 플러스

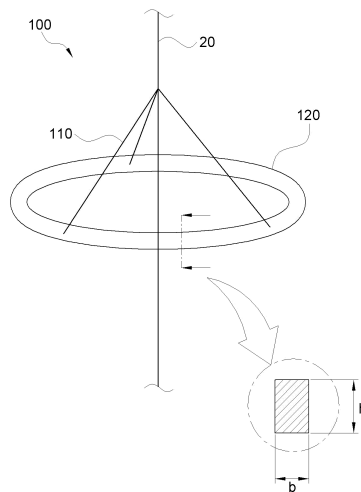
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 탄성메타물질 및 이의 진동 저감성능 개선방법

(57) 요약

본 발명은 행성을 공전하는 인공위성의 궤도를 제어하기 위한 테더시스템의 메인케이블 등과 같은 유연 구조물의 진동 저감을 위한 탄성메타물질 및 이의 진동 저감성능 개선방법에 관한 것으로, 더욱 자세하게는 진자고리에 단면적의 비율을 조절하여, 진자고리의 질량이 같은 상태에서도 탄성메타물질로 인해 발생하는 밴드갭 이외의 주파수 특성을 유지할 수 있으며, 탄성메타물질의 진자고리로 인해 발생하는 밴드갭(R_{ring})과 탄성케이블로 인해 발생하는 밴드갭(R_{beam})을 하나의 밴드갭으로 합성하여 진동 감쇠 구간의 확장 및 정밀도를 향상시킨 탄성메타물질 및 이의 진동 저감성능 개선방법에 관한 것이다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

F16F 2228/04 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

| | |
|-------------|---|
| 과제고유번호 | NRF-2017M1A3A3A02016432 |
| 부처명 | 과학기술정보통신부 |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단 |
| 연구사업명 | 우주핵심기술개발사업 |
| 연구과제명 | 인공위성 궤도제어 및 폐기를 위한 탄성 메타물질 테더 시스템 개발(3/4) |
| 기 여 율 | 1/1 |
| 과제수행기관명 | 연세대학교 |
| 연구기간 | 2019.01.01 ~ 2019.12.31 |

명세서

청구범위

청구항 1

메인케이블에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동과 공진하는 탄성메타물질에 있어서,

일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블; 및

상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리;

를 포함하되,

상기 진자고리는 단면이 소정길이를 갖는 가로변 및 세로변을 이루는 직사각형 형상으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 진자고리는,

소정의 공진주파수대역범위에 따른, 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율이 정의 되는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는,

하기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2(i^2 + 1)^{1/2}} \left[\frac{EI_y}{m} \right]^{1/2}$$

식 1 :

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2} \left[\frac{EI_x}{m(i^2 + \frac{EI_x}{GC})} \right]^{1/2}$$

식 2 :

{여기에서, I_x :수평방향에 따른 단면이차모멘트, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량, b:가로변의 길이, h:세로변의 길이, G:전단탄성계수 및 C:비틀림상수 이다.}

청구항 4

제2항에 있어서,
상기 진자고리는,
가로변의 길이(b)가 세로변의 길이(h) 보다 길게 형성된 단면을 이루는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 5

메인케이블에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동과 공진하는 탄성메타물질에 있어서,
일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블;
상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리; 및
소정의 감쇠비를 갖으며, 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 구비되는 재진부재;
를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 6

제5항에 있어서,
상기 재진부재는 소정의 감쇠비를 갖는 수성재진도료로 이루어지며,
상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 도포되는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 7

메인케이블에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동과 공진하는 탄성메타물질에 있어서,
일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블;
상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리; 및
소정의 고유진동수를 이루며, 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 구비되는 재진부재;
를 포함하되,
상기 진자고리는 단면이 소정길이를 갖는 가로변(b) 및 세로변(h)를 이루는 직사각형 형상으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질.

청구항 8

제1항의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법에 있어서,
상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하여, 상기 진자고리로부터 발생하는 상기 메인케이블의 공진주파수의 밴드갭을 이동시키는 주파수이동단계;
를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 주파수이동단계는,

상기 진자고리의 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록, 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 주파수이동단계에서,

소정의 공진주파수대역범위에 따른, 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 하기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2(i^2 + 1)^{1/2}} \left[\frac{EI_y}{m} \right]^{1/2}$$

식 1 :

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2} \left[\frac{EI_x}{m(i^2 + \frac{EI_x}{GC})} \right]^{1/2}$$

식 2 :

{여기에서, I_x :수평방향에 따른 단면이차모멘트, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량, b:가로변의 길이, h:세로변의 길이, G:전단탄성계수 및 C:비틀림상수 이다.}

청구항 11

제5항의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법에 있어서,

상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 재진도료를 구비하여, 상기 탄성메타물질의 공진에 따른 상기 메인케이블의 공진주파수 밴드갭을 합성하는 주파수합성단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 주파수합성단계는,

상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 수성재진도료를 도포하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

청구항 13

제7항의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법에 있어서,

상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하여, 상기 진자고리로부터 발생하는 상기 메인케이블의 공진주파수의 밴드갭을 이동시키는 주파수이동단계; 및

상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 재진도료를 구비하여, 상기 탄성메타물질의 공진에 따른 상기 메인케이블의 공진주파수 밴드갭을 합성하는 주파수합성단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 행성을 공전하는 인공위성의 궤도를 제어하기 위한 테더시스템의 메인케이블에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동 또는 충격을 흡수하는 탄성메타물질 및 이의 진동 저감성능 개선방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 인공위성은 행성의 둘레를 공전하는 인공적인 비행체로, 주로 지구를 중심으로 공전하는 인공위성이 많이 존재한다. 이때 인공위성은 비행하는 궤도에 따라 정지위성과 이동위성으로 나뉘게 되며, 비행 시에는 자체적으로 탑재된 동력원이나 태양광 등의 외부동력원을 사용하여 제어될 수 있다. 이때 인공위성은 행성 주위를 비행하면서 여러 외부 요인들로 인해 외란(Disturbance Torque)이 발생되고, 이러한 외부 요인은 중력구배(Gravity gradient) 및 태양 복사압(Solar radiation pressure)이 대표적이며, 대기가 존재하는 행성에는 대기에 의한 외란이 존재한다.

[0003] 종래에는 상기와 같은 외부 요인에 의한 외란이 발생할 시에, 인공위성에 구비되는 추력기를 이용하여 인공위성이 외란에 의해 궤도를 이탈하지 않도록 제어하는 방식이 사용되고 있었으나, 인공위성의 수명은 추진체의 소진과 탑재장비의 수명에 크게 좌우됨에 따라 인공위성의 궤도를 제어하기 위해 추진기의 추진체의 양을 감소시키기 위한 기술 개발이 이루어지고 있었다.

[0004] 도 1을 참조하여, 본 출원인은 한국 등록특허공보 제10-2017-0168315호('탄성메타물질을 이용한 인공위성 우주 테더 장치', 2019.07.30. 공고)에서, 인공위성(10)의 궤도제어에 사용되는 우주 테더 시스템(1)의 메인케이블(20)에 구비하여, 우주환경에서 발생하는 우주 잔해물 및 운석 등의 충돌에 의한 외란에 의한 진동 및 충격을 흡수하여 외란에 따른 인공위성의 궤도제어를 더욱 정밀하게 수행할 수 있는 진자 형태의 탄성메타물질(100)을 개시한 바 있다. 여기에서, 상기 탄성메타물질(100)은 3개의 탄성케이블(beam)과 1개의 진자고리(ring)으로 이루어져 있으며, 상기 탄성케이블 및 진자고리의 공진으로 인한 일정 대역을 이루는 주파수 밴드갭(Band Gap)이 발생하게 되고, 이때 상기 공진주파수의 밴드갭 대역에서 인공위성 테더 장치로 전달되는 진동을 흡수하게 된다.

[0005] 이때, 탄성케이블 및 진자고리로 인해 발생하는 밴드갭은 각각의 설계 변수의 변화를 통해 원하는 주파수 대역에 밴드갭을 위치시킬 수 있으나, 상기 진자고리의 단면이 원형일 경우, 상기 진자고리가 이루는 평면의 가로축과 세로축에 대한 단면이차모멘트가 동일하게 작용하여, 진자고리가 이루는 2차원 평면 안에서 변형되는 In-plane mode(이하, '인모드'라 한다.)와 진자고리가 이루는 2차원 평면을 벗어나서 변형되는 Out-of-plane mode(이하, '아웃모드'라 한다.)가 동시에 발생하게 되고, 이에 따라 진자고리의 공진으로 발생하는 밴드갭(Ring)을 변화시키기 위해 진자고리의 단면적을 변경시킬 시에 진자고리의 무게도 불가피하게 변경되어, 탄성메타물질의 성질이 변화함에 따른 밴드갭 이외의 주파수 특성이 가변된다는 한계가 야기되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-2017-0168315호('탄성메타물질을 이용한 인공위성 우주 테더 장치', 2019.07.30. 공고)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하고자 안출된 것으로, 탄성메타물질의 무게를 변화시키지 않음으로써 밴드갭 이외의 주파수 특성을 유지한 채, 직사각형 형상의 단면을 갖는 진자고리의 가로변길이(b)와 세로변길이(h)에 비율을 조절하여, 질량이 같은 상태에서도 링으로 인해 발생하는 밴드갭을 원하는 공진주파수 대역에서 형성되도록 설계할 수 있는 탄성메타물질 및 이의 진동 저감성능 개선방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 과제를 해결하기 위한, 본 발명은 메인케이블에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동과 공진하는 탄성메타물질에 관한 것으로, 본 발명의 일실시예에 따른 탄성메타물질은 일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블 및 상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리를 포함하되, 상기 진자고리는 단면이 소정길이를 갖는 가로변 및 세로변을 이루는 직사각형 형상으로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0009] 이때, 상기 진자고리는 가로변의 길이(b)가 세로변의 길이(h) 보다 길게 형성된 단면을 이룸으로써, 진자고리에 의해 발생하는 밴드갭(R_{ring})과 탄성케이블에 의해 발생하는 밴드갭(R_{beam})을 인접하게 위치시키는 것을 장점으로 한다.

[0010] 또한, 상기 진자고리는 소정의 공진주파수대역범위에 따른 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율이 정의 되는 것을 특징으로 한다.

[0011] 이때, 상기 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 하기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것을 특징으로 한다.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2(i^2 + 1)^{1/2}} \left[\frac{EI_y}{m} \right]^{1/2}$$

[0012] 식 1 :

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2} \left[\frac{EI_x}{m(i^2 + \frac{EI_x}{GC})} \right]^{1/2}$$

[0013] 식 2 :

[0014] {여기에서, I_x :수평방향에 따른 단면이차모멘트, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량, b:가로변의 길이, h:세로변의 길이, G:전단탄성계수 및 C:비틀림상수 이다.}

[0015] 아울러, 상술한 구성에 따른 본 발명의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법은 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하여, 상기 진자고리로부터 발생하는 상기 메인케이블의 공진주파수의 밴드갭을 이동시키는 주파수이동단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0016] 이때, 상기 주파수이동단계는 상기 진자고리의 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록, 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 상기 주파수이동단계에서, 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 하기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것을 특징으로 한다.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2(i^2 + 1)^{1/2}} \left[\frac{EI_y}{m} \right]^{1/2}$$

식 1 :

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2} \left[\frac{EI_x}{m(i^2 + \frac{EI_x}{GC})} \right]^{1/2}$$

식 2 :

{여기에서, I_x :수평방향에 따른 단면이차모멘트, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량, b:가로변의 길이, h:세로변의 길이, G:전단탄성계수 및 C:비틀림상수 이다.}

더하여, 본 발명의 다른 일실시예에 따른 탄성메타물질은 일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블 상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리 및 소정의 감쇠비를 갖으며, 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 구비되는 재진부재를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이때, 상기 재진부재는 소정의 감쇠비를 갖는 수성재진도료로 이루어지되, 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 도포되는 것을 특징으로 한다.

아울러, 상술한 구성에 따른 본 발명의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법은 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 재진도료를 구비하여, 상기 탄성메타물질의 공진에 따른 상기 메인케이블의 공진주파수 밴드갭을 합성하는 주파수합성단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

이때, 상기 주파수합성단계는 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 수성재진도료를 도포하는 것을 특징으로 한다.

또한, 본 발명의 탄성메타물질은 일단이 상기 메인케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 복수의 탄성케이블, 상기 탄성케이블의 타단에 연결되며, 상기 메인케이블이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 메인케이블을 감싸는 진자고리 및 소정의 고유진동수를 이루며, 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 구비되는 재진부재를 포함하되, 상기 진자고리는 단면이 소정길이를 갖는 가로변(b) 및 세로변(h)를 이루는 직사각형 형상으로 이루어질 수 있다.

아울러, 상술한 구성에 따른 본 발명의 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법은 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하여, 상기 진자고리로부터 발생하는 상기 메인케이블의 공진주파수의 밴드갭을 이동시키는 주파수이동단계 및 상기 메인케이블, 탄성케이블 및 진자고리 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 재진도료를 구비하여, 상기 탄성메타물질의 공진에 따른 상기 메인케이블의 공진주파수 밴드갭을 합성하는 주파수합성단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

상기한 구성에 따른 본 발명은, 진자고리에 단면적의 비율을 조절하여, 진자고리의 질량이 같은 상태에서도 진자고리로 인해 발생하는 밴드갭을 원하는 주파수 대역으로 이동시킬 수 있으며, 독립적으로 형성되는 탄성케이블에 의한 밴드갭이 이루는 주파수대역에 근접하게 위치시켜 진동 감쇠 구간을 확장시키고, 탄성메타물질의 진자고리로 인해 발생하는 밴드갭(R_{ring})과 탄성케이블로 인해 발생하는 밴드갭(R_{beam})을 하나의 밴드갭으로 합성할 수 있다.

또한, 급속으로 이루어지는 탄성메타물질의 외면에 수성재진도료를 도포하여, 날카롭게 형성되는 변형피크(peak)값을 억제함으로써, 탄성케이블로 인해 발생하는 밴드갭(R_{beam})과 진자고리로 인해 발생하는 밴드갭

(R_{ring})을 하나의 밴드갭(R_{hamonic})으로 합성할 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 인공위성 우주테더시스템을 도시한 예시도.
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 탄성메타물질을 도시한 사시도.
- 도 3은 특정 주파수에서 변형된 탄성메타물질을 도시한 측면도,
- 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 진자고리의 공진에 따른 변형을 설명하기 위한 예시도.
- 도 5는 본 발명의 제1실험예에 따른 탄성메타물질의 하모닉리스폰스 분석그래프.
- 도 6은 본 발명의 제2실험예에 따른 탄성메타물질의 하모닉리스폰스 분석그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 본 발명은 다양한 변형을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세한 설명을 하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0031] 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 "연결되어" 있다거나 "접속되어" 있다고 언급된 때에는, 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.
- [0032] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다.
- [0033] 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0034] 이하, 본 발명의 기술적 사상을 첨부된 도면을 사용하여 더욱 구체적으로 설명한다.
- [0035] 첨부된 도면은 본 발명의 기술적 사상을 더욱 구체적으로 설명하기 위하여 도시한 일예에 불과하므로 본 발명의 기술적 사상이 첨부된 도면의 형태에 한정되는 것은 아니다.
- [0036] 도 1를 참조하면, 본 발명의 탄성메타물질을 이용한 인공위성 테더 장치(1)는 행성을 공전하는 인공위성(10), 메인케이블(20), 플라즈마 접촉기(30) 및 탄성메타물질(100)을 포함하여 구성될 수 있다.
- [0037] 상기 우주 테더 장치(1)는 인공위성(10)에 연결된 메인케이블(20)과 메인케이블(20)의 하측에 연결된 플라즈마 접촉기(30)를 포함하여 구성되며, 플라즈마 접촉기에서 전자의 방출 및 대전에 의해 발생한 전류가 메인케이블(20)을 통해 흐르게 되며, 이때, 지구 자기장이 우주 테더 장치와의 상호작용에 의한 로렌츠 힘(Lorentz force)이 발생하게 된다. 여기에서, 로렌츠 힘이란, 전자기장내에서 운동하는 전하가 받는 힘을 말하며, 플라즈마 접촉기(30)에서 전자가 방출 또는 대전되어 상기 메인케이블(20)내에 흐르는 전류와 지구 자기장에 의해 인공위성의 진행방향으로의 추력 또는 인공위성(10)의 진행 반대방향으로의 항력이 작용하게 된다.
- [0038] 이때, 메인케이블(20)내에 흐르는 전류의 세기를 조절하여 인공위성에 작용하는 추력 또는 항력의 세기를 조절함으로써, 상기 인공위성(10)이 궤도에서 이탈되지 않도록 제어하는 기술을 우주 테더 장치라고 한다.
- [0039] 그러나 종래의 우주 테더 장치는 상기 메인케이블(20)에 과도한 추력 및 항력이 인가되어, 메인케이블(20)이 켜이게 되거나, 외부로부터의 외란에 의해 메인케이블(20)에 작용하는 로렌츠힘이 여러 방향으로 분산되어 작용하게 되고, 이로 인해 메인케이블(20) 및 플라즈마 접촉기(30)의 움직임에 영향을 주게 되는 불안정성이 발생하게 된다.
- [0040] 상기 탄성메타물질(100)은 상기 메인케이블(20)상에 구비되어, 외부로부터의 외란에 의한 진동 및 충격이 상기 인공위성(10)으로 전달되지 않도록 흡수함으로써, 상기 우주 테더 장치의 외란에 대한 강건성을 확보하며, 메인케이블의 불안정한 움직임을 방지할 수 있다. 상기 외란이란 외부로부터 인가되는 외력을 의미하며, 상기 인공위성(10)의 궤도 비행에 있어 불규칙적으로 인가되어 상기 인공위성(10)의 비행을 방해하는 외부로부터의 간섭에 의한 진동 및 충격 등을 의미한다.

- [0041] 상기 인공위성(10)은 본 발명에서는 행성을 공전하는 비행물질로 설명하고 있으나, 본 발명에 따른 상기 탄성메타물질(100)은 지구 내에서 일정한 궤도를 비행하는 항공기, 무인기 등의 비행체에 적용되는 테더 장치라면 본 발명의 요지에 벗어남 없이 다양한 테더 장치에 적용될 수 있다.
- [0042] 상기 메인케이블(20)은 상기 인공위성(10)의 하측에 연결되어 하방으로 연장되는 케이블로서, 내부에 전류가 흐를 수 있는 도전선이 형성되고 외부에 피복재가 감싸 이루어진다. 상기 탄성메타물질(100)이 구비되지 않는 메인케이블의 경우, 외부로부터의 외란에 의한 진동 또는 충격이 인공위성에 전달되어, 외란을 전달받은 인공위성의 궤도 비행에 오차를 인가할 수 있는 문제가 있다. 이에 본 발명은, 상기 탄성메타물질(100)에 의해서 상기 인공위성(10)에 전달되는 외란을 방지함으로써, 상기 인공위성(10)이 정교한 비행을 수행할 수 있도록 한다.
- [0043] 상기 플라즈마 접촉기(30)는 상기 메인케이블(20)의 하측에 연결되어, 상기 플라즈마 접촉기(30)에 음전자가 대전 또는 방출됨에 따라서, 상기 메인케이블(20) 내부에 전류가 흐르게 되며, 상기 인공위성(10)이 자전하는 행성의 자기장과의 상호관계에 의해서 로렌츠 힘이 발생하게 된다. 이때, 상기 플라즈마 접촉기(30)는 상기 메인케이블(20) 내부에 전류가 흐를 수 있도록 우주 공간 상에 부유하는 음전자가 대전 또는 방출되도록 하는 구성이며, 상기 음전자의 방출 또는 대전을 제어함으로써, 상기 인공위성(10)의 궤도 비행을 제어하기 위한 추력 또는 항력을 발생시킬 수 있다.
- [0044] 여기에서, 상기 탄성메타물질(100)은 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 상술한 진자 형태의 상기 우주 테더 장치(1)뿐만 아니라 일반 산업계에서 사용되는 유연 구조물의 진동 저감을 위한 다양한 변형 실시가 가능할 것이다.
- [0045] < 탄성메타물질 >
- [0046] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 탄성메타물질을 도시한 사시도이고, 도 3은 특정 주파수에서 변형된 탄성메타물질을 도시한 측면도이며, 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 진자고리의 공진에 따른 변형을 설명하기 위한 예시도로서, 도 2 내지 도 4를 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 탄성메타물질(100)은,
- [0047] 상기 장대케이블에 연결되며, 하방으로 분기되어 형성되는 3개의 탄성케이블(110)과 상기 탄성케이블(110)의 타단에 연결되며, 상기 장대케이블(20)이 관통되는 중공부를 갖도록 상기 장대케이블(20)을 감싸는 원형의 링 형상으로 이루어진 진자고리(120)를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0048] 일반적으로 메타물질이란 금속 같은 일반적인 물질로부터 형성된 복합 요소의 집합체로서, 반복적인 패턴으로 배열되어 형성됨으로써 기본 물질의 특성이 아닌 배열되는 패턴의 구조에 의해 그 성질을 갖는 물질을 말하며, 본 발명에서의 상기 탄성메타물질(100)은 상기 3개의 탄성케이블(110)과 상기 진자고리(120)의 구조로 인해 외란에 의한 충격과 또는 진동이 전달되면 상기 장대케이블(20)의 횡방향으로 공진이 발생되어 특정 주파수 영역에서 음의 유효 밀도 및 유효 강성을 가지는 특징이 있다.
- [0049] 더욱 자세하게는, 상기 탄성메타물질(100)은 일측이 상기 장대케이블(20)과 연결되며, 타측이 상기 진자고리(120)와 연결되는 3개의 탄성케이블(110)은 상기 장대케이블(20)로부터 인가되는 외란에 의한 진동 또는 충격과를 상기 진자고리(120)로 전달하며, 상기 진자고리(120)의 공진 및 진자운동에 의한 움직임에 의하여 상기 3개의 탄성케이블(110)에는 각기 다른 장력이 발생하게 되고 이로 인해 상기 3개의 탄성케이블(110)은 상기 진자고리(120) 및 상기 장대케이블(20) 사이에서 스프링의 역할을 하게 된다. 도 4를 참조하면, 상기 장대케이블(20)에 작용하는 외란에 의해 상기 진자고리(120)의 일측이 상방으로 움직이게 되면 상기 진자고리(120)의 일측에 연결된 탄성케이블(110)의 장력이 느슨해짐에 따라, 상기 장대케이블(20)에 작용하는 외란에 대항되는 방향에 연결된 다른 상기 탄성케이블(110)의 장력에 의해 상기 장대케이블(20)에 인가되는 외란을 상쇄하는 효과가 있다. 또한 상기 탄성메타물질(100)은 상기와 같은 작용을 반복하여 상기 장대케이블(20)에 인가되는 외란에 의한 진동 및 충격과를 흡수하게 된다.
- [0050] 또한, 상기 탄성메타물질(100)의 탄성케이블(110)은 상기 진자고리(120)에 연결되는 타단이 서로 동일한 간격으로 방사되어 연결되는 것이 바람직하다. 이때, 상기 탄성케이블(110)은 복수개가 연결되어 형성될 수 있으나, 상기 진자고리(120)의 움직임에 따른 상기 탄성케이블(110)에 균일한 장력이 발생할 수 있도록 3개의 상기 탄성케이블(110)로 상기 진자고리(120)에 방사형으로 연결되는 것이 가장 바람직하다. 또한, 상기 탄성케이블(110)은 상기 진자고리(120)의 질량분포에 대응되어 각도 및 개수가 변형될 수 있으므로 본 발명의 요지에 벗어남 없이 다양한 변형 실시가 가능할 것이다.
- [0051] 이때, 종래의 탄성메타물질은 진자고리의 단면이 원형을 이루도록 형성되어, 상기 진자고리가 이루는 평면의 가로축과 세로축에 대한 단면이차모멘트가 동일하게 작용하여, 진자고리가 이루는 2차원 평면 안에서 변형되는

In-plane mode(이하, '인모드'라 한다.)와 진자고리가 이루는 2차원 평면을 벗어나서 변형되는 Out-of-plane mode(이하, '아웃모드'라 한다.)가 동시에 발생함에 따라, 탄성케이블의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_beam)과, 진자고리의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_ring) 간의 공진 주파수 대역 영역이 상이하고, 이에 따라 밴드갭 영역의 확장이 제한된다는 한계가 발생한다.

[0052] 반면에, 본 발명의 탄성메타물질(100)은 상기 진자고리(120)의 단면이 소정길이를 갖는 가로변(121) 및 세로변(122)을 이루는 직사각형 형상으로 이루어짐으로써, 도 3에 도시된 바와 같이, 탄성케이블의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_beam)과, 진자고리의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_ring)에 따른 탄성메타물질(100)의 변형이 서로 독립되어 발생하게 되고, 이에 따라 상기 진자고리(120)의 무게를 변화시키지 않고 단면 형상을 변화시킴으로써 밴드갭 이외의 주파수 특성은 유지한 채 상기 진자고리(120)의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_ring) 영역을 이동시킴으로써, 상기 탄성케이블(110)의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_beam, 이하 '빔밴드갭'이라 한다.)에 영향을 주지 않도록 진자고리(120)의 공진으로 인해 발생하는 밴드갭(R_ring, 이하 '링밴드갭'이라 한다.)의 영역을 상기 빔밴드갭과 인접하도록 설계할 수 있다. 여기에서 도 3은 특정 주파수에서의 단면이 직사각형 형상을 이루는 진자고리(120)를 갖는 탄성메타물질(100)의 공진에 따른 변형된 형상을 도시한 측면도로써, 도 3의 (a)는 1560Hz에서 상기 탄성케이블(110)의 공진에 따른 탄성메타물질(100)의 변형된 형상을 도시하고 있고, 도 3의 (b)는 1689Hz에서 상기 진자고리(120)의 공진에 따른 탄성메타물질(100) 변형된 형상을 도시하고 있다. 이때 상기 도 3의 (a)에 도시된 바와 같이, 진자고리(120)의 단면이 직사각형 형상을 갖는 탄성메타물질(100)은 탄성케이블(110)의 공진에 따른 변형이 상기 진자고리(120)와 독립되어 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

[0053] 즉, 이에 따라 상기 진자고리(120)의 단면에 형상을 변화 시켜 상기 빔밴드갭과 링밴드갭 영역의 차이를 좁히도록 설계하여, 상기 탄성메타물질(100)의 특정 공진주파수 밴드 대역의 영역에 정밀도(Precision)를 더욱 향상시킬 수 있다.

[0054] 이때, 상기 진자고리(120)는 소정의 공진주파수대역범위에 따른 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율이 정의 되는 것이 바람직하며, 여기에서 상기 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 소정의 공진주파수대역범위에서 공진하는 상기 진자고리(120)가 변형된 인모드 형상 및 아웃모드 형상에 기인하게 된다.

[0055] 더욱 자세하게는 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 복수의 탄성케이블(110)의 타측단이 상기 진자고리(120)에 동일 평면상에 소정의 방사각도(α)를 이루도록 고정되고, 이때 반경(R)을 이루는 상기 진자고리(120)의 고유주파수는 도 4의 (b)에서 도시된 바와 같이, 상기 진자고리(120)의 단면을 바라보는 방향으로의 xy평면에서의 상기 진자고리(120)의 단위단면에 x축 및 y축 방향으로의 단면이차모멘트(area moment of inertia;

$$I_x = \frac{bh^3}{12}, \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad)에 기인한다.$$

[0056] 이때 상기 y축 방향으로의 단면이차모멘트(I_y)는, 도 4의 (b)에 도시된 바와 같이 상기 진자고리(120)가 y축 방향으로 변형되는 단면의 변형길이에 기인하고, 상기 x축 방향으로의 단면이차모멘트(I_x)는, 도 4의 (c)에 도시된 바와 같이 xy축 방향으로의 비틀림 및 x축 방향으로의 변형길이에 기인하게 된다.

[0057] 즉, 상기 y축 방향으로의 단면이차모멘트(I_y)에 따른 진자고리(120)의 고유진동수(f)는 하기의 식1에 의해 정의되어 질 수 있다.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2(i^2 + 1)^{1/2}} \left[\frac{EI_y}{m} \right]^{1/2}$$

[0058] 식 1 :

[0059] {여기에서, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량이다.}

[0060] 이때, 상기 수직방향에 따른 단면이차모멘트(I_y)는 진자고리(120)의 단면의 형상에 의해 결정되며, 직사각형 형상을 갖는 본 발명의 진자고리(120)의 수직방향에 따른 단면이차모멘트(I_x)는 하기의 식1-1에 의해 정의된다.

$$I_y = \frac{b^3 h}{12}$$

[0061] 식 1-1 :

[0062] {여기에서, b:가로변의 길이이고, h:세로변의 길이이다.}

[0063] 또한, 상기 x축 방향으로의 단면이차모멘트(I_x)에 따른 진자고리(120)의 고유진동수(f)는 하기의 식2에 의해 정의되어 질 수 있다.

$$f_i = \frac{i(i^2 - 1)}{2\pi R^2} \left[\frac{EI_x}{m(i^2 + \frac{EI_x}{GC})} \right]^{1/2}$$

[0064] 식 2 :

[0065] {여기에서, I_y :수직방향에 따른 단면이차모멘트, f_i :고유진동수, i:모드의 순서, R:진자고리의 반지름, E:영률, m:단위길이당 질량, b:가로변의 길이, h:세로변의 길이, G:전단탄성계수 및 C:비틀림상수 이다.}

[0066] 이때, 상기 수평방향에 따른 단면이차모멘트(I_x)는 진자고리(120)의 단면의 형상에 의해 결정되며, 직사각형 형상을 갖는 본 발명의 진자고리(120)의 수직방향에 따른 단면이차모멘트(I_x)는 하기의 식2-1에 의해 정의된다.

$$I_x = \frac{bh^3}{12}$$

[0067] 식 2-1 :

[0068] {여기에서, b:가로변의 길이이고, h:세로변의 길이이다.}

[0069] 이에 따라, 상기 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 상기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 특정하고자 하는 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 식 1 및 식 2에 의해 정의될 수 있다.

[0070] < 제1실험예 : 밴드갭 이동 >

[0071] 도 5는 본 발명의 제1실험예에 따른 탄성메타물질의 공진에 따른 메인케이블의 고조파응답(하모닉리스폰스, hartmonic response)을 분석한 그래프로서, 도 5를 참조하면, 상기 진자고리(120)의 가로변(121)의 길이(b)와 세로변(122)의 길이(h)에 비율(h/b)을 가변하며 상기 메인케이블(20)에서 발생하는 주파수에 따른 변형량(deformation)을 측정하였다. 이때 Case 1에 따른 상기 진자고리(120)의 가로변(121)의 길이(b)와 세로변(12

2)의 길이(h)에 비율(h/b)은 1/5이며, Case 2에 따른 상기 진자고리(120)의 가로변(121)의 길이(b)와 세로변(122)의 길이(h)에 비율(h/b)은 1/5.5이고, Case 3에 따른 상기 진자고리(120)의 가로변(121)의 길이(b)와 세로변(122)의 길이(h)에 비율(h/b)은 1/6으로 설정되었다.

[0072] 즉, Case 1 - 2 - 3 순을 따라, 상기 진자고리(120)은 동일한 단면적을 유지하며, 가로변의 길이(b)에 비율을 점차 증가시킴에 따른 메인케이블(20)에서의 하모닉 리스폰스의 경향성을 확인 할 수 있었다. 즉 도 5에 따르면, 탄성케이블(110)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_beam)은 진자고리(120)의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율(h/b)이 달라져도 밴드갭(R_beam)이 이루는 영역의 변화가 약소한 반면, 진자고리(120)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_ring)은 진자고리(120)의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율(h/b)이 감소(가로변의 길이(b)가 증가)함에 따라 진동수가 낮은 저주파영역으로 크게 이동하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있다. 즉, 상기 진자고리(120)는 가로변의 길이(b)가 세로변의 길이(h) 보다 길게 형성된 단면을 이루도록 형성되는 것이 바람직하며, 이에 따라 상기 링밴드갭(R_ring)과 빔밴드갭(R_beam)간의 영역을 인접하게 설계하여 하나의 넓은 공진 주파수 밴드 대역을 설계함으로써, 더욱 높은 정밀도를 갖는 탄성메타물질(100)을 제작할 수 있다.

[0073] < 제2실�험예 : 제진부재 >

[0074] 도 6은 상술한 제1실�험예에 서의 3 가지 Case에 따른 탄성메타물질의 표면에 소정의 감쇠비를 갖는 제진부재(미도시)를 구비하여, 탄성메타물질(100)의 공진에 따른 메인케이블의 고조파응답(하모닉리스폰스, harmonic response)을 분석한 그래프로서, 도 6을 참조하면, 일반적으로 급속으로 이루어지는 탄성메타물질(100)은 진동을 댐핑(Damping)하기 위한 저항요소가 없어, 하모닉리스폰스 분석그래프의 변형 피크(Peak)값이 날카롭게 솟은 형상으로 측정되게 된다.(도 5 참고), 이에 따라 본 발명의 탄성메타물질(100)은 소정의 감쇠비를 갖으며, 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120) 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 구비되는 제진부재(미도시)를 더 포함하여, 도 6에 도시된 바와 같이, 상기 제진부재는 탄성메타물질(100)의 공진에 따른 변형 시에 이를 저항하는 요인으로 작용함으로써, 하모닉리스폰스 분석그래프의 변형 피크(Peak)값을 완만하게 억제함으로써, 상기 링밴드갭(R_ring)과 빔밴드갭(R_beam)이 합성(combine)된 하나의 밴드갭(R_hamonic)이 발생한다.

[0075] 이때, 상기 제진부재는 소정의 감쇠비를 갖는 수성제진도료로 이루어지는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120) 모두의 외면에 동일한 감쇠비를 갖는 수성제진도료를 도포함으로써, 가장 높은 정밀도를 형성할 수 있다. 여기에서 상기 수성제진도료는 제진성과 내후성이 우수한 아크릴계 에멀전에 다양한 기능성 충전제와 첨가제를 첨가한 수성도료로서, 스프레이, 브러쉬 또는 롤러 등을 이용하여 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120)의 외면상에 도포 할 수 있으며, 이때 상기 수성제진도료의 종류, 조성비 및 도포방법은 본 발명의 요지에 벗어남이 없이 다양하게 변형 실시 할 수 있다.

[0076] < 탄성메타물질의 진동 저감성능 개선방법 >

[0077] 이하, 상술한 바와 같은 구성을 갖는 본 발명의 탄성메타물질(100)의 진동 저감성능 개선방법에 관하여 서술하기로 한다.

[0078] 상술한 바와 같이, 상기 탄성메타물질(100)의 진동 저감성능 개선방법은 상기 진자고리(120)의 가로변(121)의 길이(b) 및 세로변(122)의 길이(h)의 비율을 조절하여, 상기 진자고리(120)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_ring)을 저주파 영역으로 이동시켜, 상기 탄성케이블(110)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_beam)과 인접하게 위치시키는 주파수이동단계(S100) 및 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120) 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 제진도료를 구비하여, 상기 탄성케이블(110)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_beam)과 상기 진자고리(120)의 공진에 의해 발생하는 밴드갭(R_ring)을 합성하는 주파수합성단계(S200)를 포함하여 이루어질 수 있다.

[0079] 이때, 상기 주파수이동단계(S100)는 상기 진자고리의 단면적이 일정한 넓이를 유지하도록, 상기 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)의 비율을 조절하는 것이 바람직하며, 상기 주파수이동단계(S100)에서 상기 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 진자고리의 가로변의 길이(b) 및 세로변의 길이(h)는 상기의 식 1 또는 식 2 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 식에 의해 정의되는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게는 특정하고자 하는 소정의 공진주파수대역범위에 따른 상기 식 1 및 식 2에 의해 정의될 수 있다.

[0080] 또한, 상기 주파수합성단계(S200)는 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120) 중 선택되는 적어도 어느 하나 이상의 외면에 소정의 감쇠비를 갖는 수성제진도료를 도포하는 것이 바람직하며, 더욱 바람직하게

는 상기 메인케이블(20), 탄성케이블(110) 및 진자고리(120) 모두의 외면에 동일한 감쇠비를 갖는 수성제진도료를 도포함으로써, 가장 높은 정밀도를 형성할 수 있다.

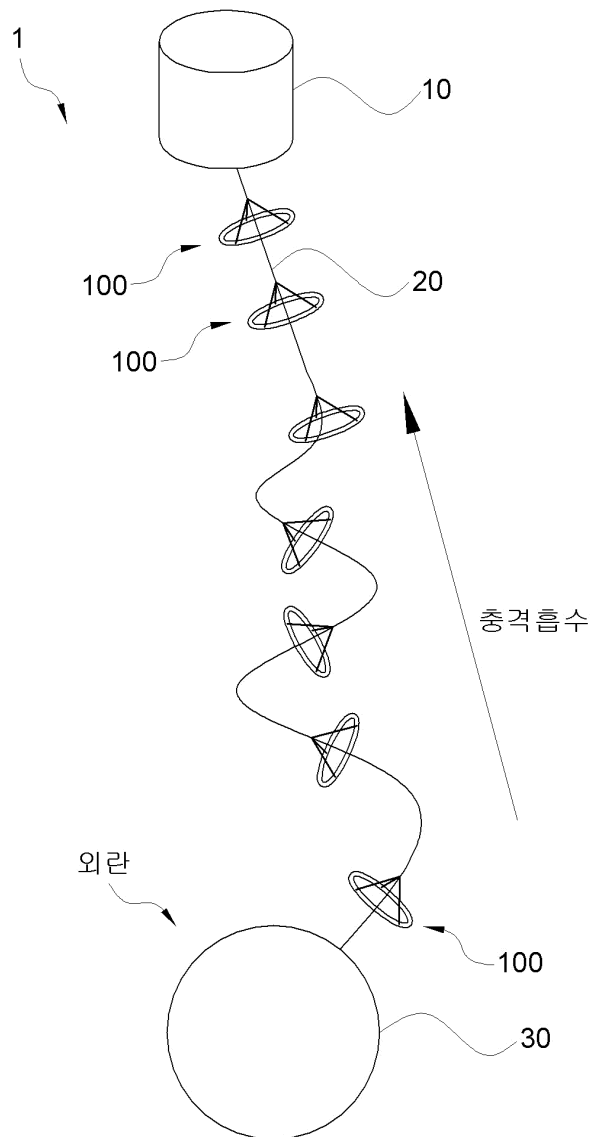
[0081] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

부호의 설명

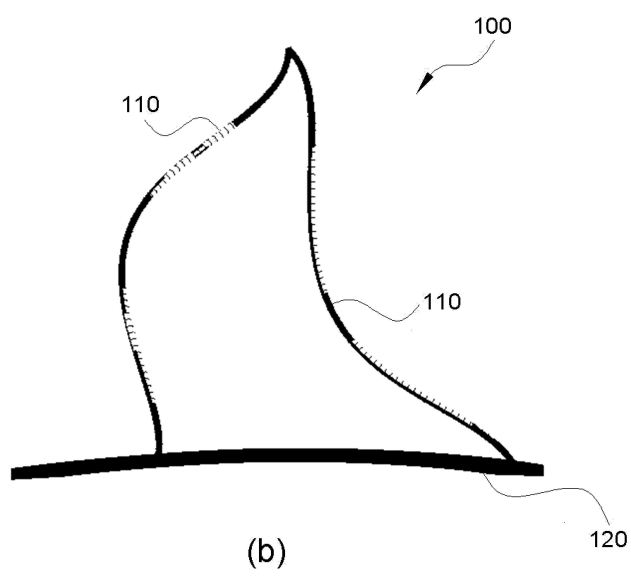
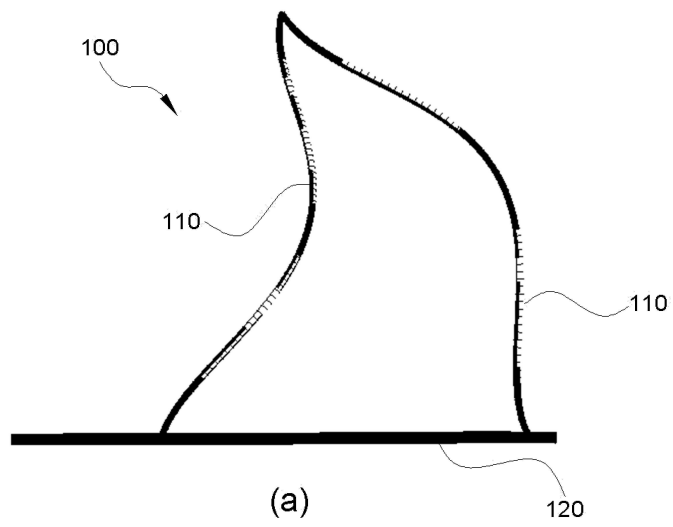
[0082] 1 : 테더시스템
 10 : 인공위성 20 : 메인케이블
 30 : 플라즈마 접촉기
 100 : 탄성메타물질
 110 : 탄성케이블 120 : 진자고리
 121 : 가로변 122 : 세로변
 b : 가로변의 길이 h : 세로변의 길이

도면

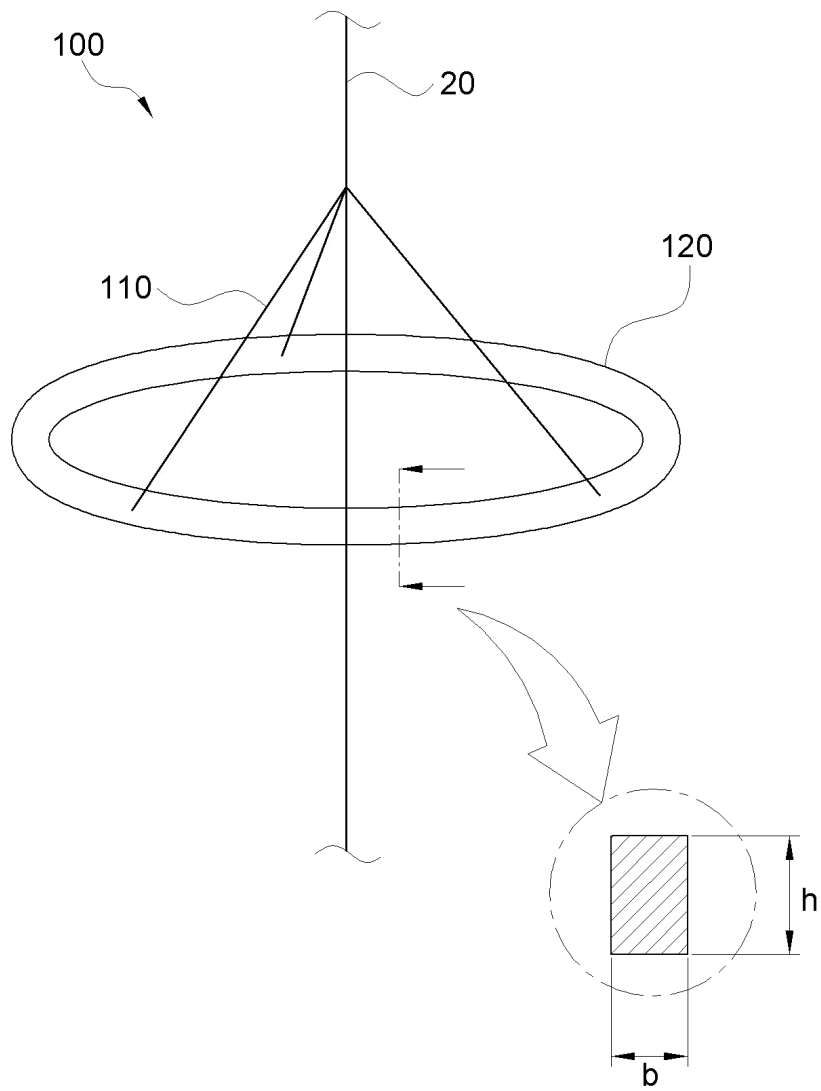
도면1



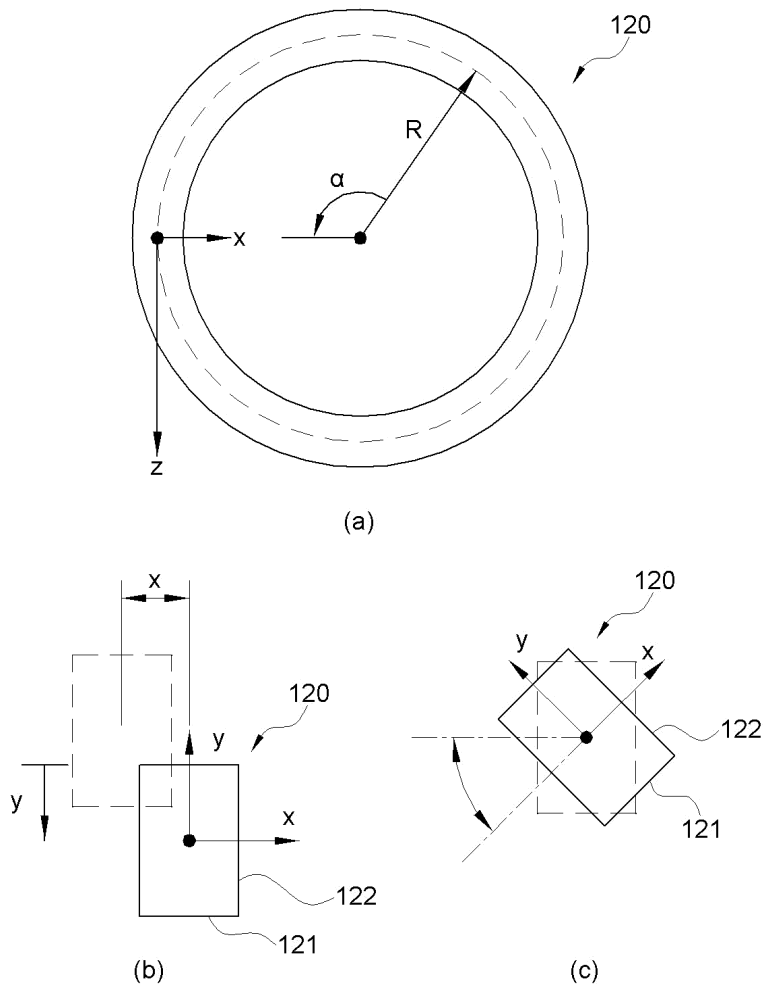
도면2



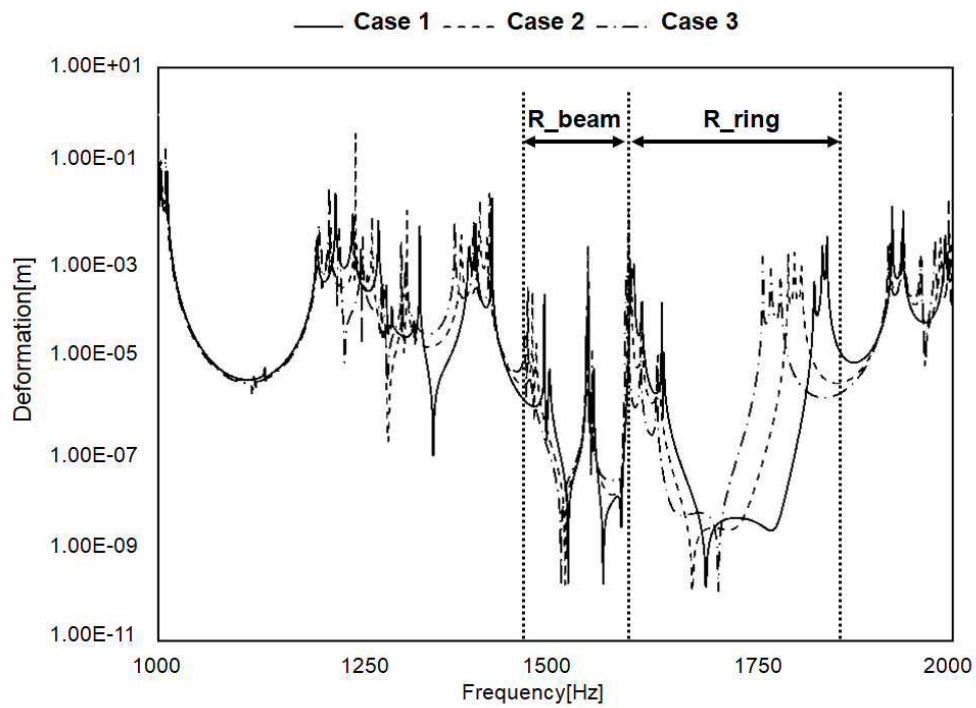
도면3



도면4



도면5



도면6

