



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년04월07일

(11) 등록번호 10-2098194

(24) 등록일자 2020년04월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*E04F 15/20* (2006.01) *G10K 11/162* (2006.01)

(52) CPC특허분류

*E04F 15/20* (2013.01)

*G10K 11/162* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0008621

(22) 출원일자 2018년01월24일

심사청구일자 2018년01월24일

(65) 공개번호 10-2019-0090146

(43) 공개일자 2019년08월01일

(56) 선행기술조사문헌

JP5301803 B2\*

JP2013545119 A

KR101795864 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

박효선

서울특별시 강남구 선릉로 120, 2동 302호 (대치동, 개포1,2차 우성아파트)

조동준

경기도 고양시 일산동구 노루목로 79, 408동 601호 (장항동, 호수마을4단지아파트)

(74) 대리인

김인철

전체 청구항 수 : 총 15 항

심사관 : 김원배

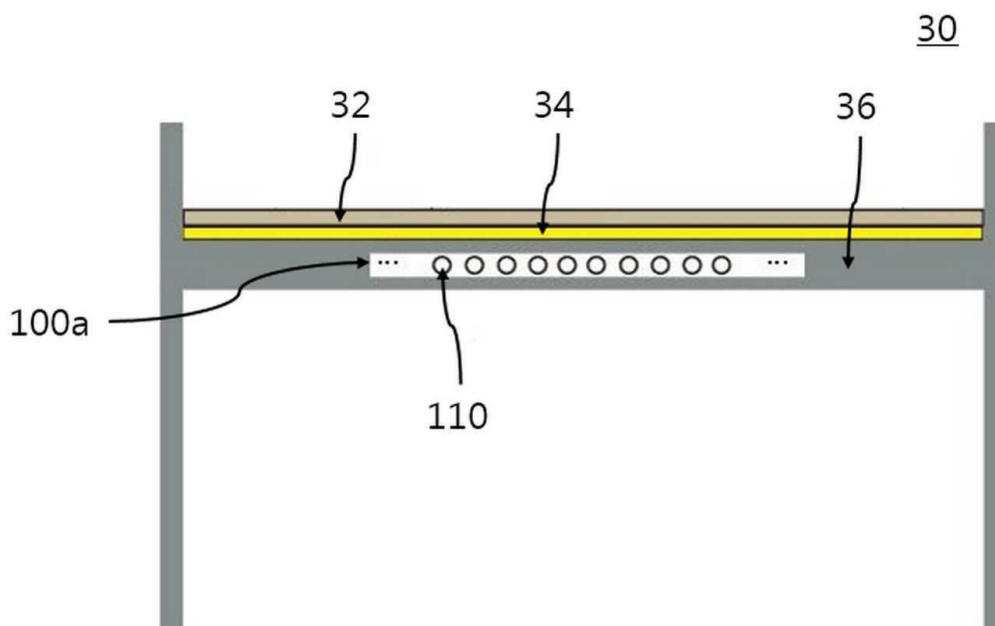
(54) 발명의 명칭 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치 및 그 방법

### (57) 요약

본 발명은 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는 건축물 상부층의 바닥을 이루는 바닥판, 상부층과 하부층을 구획하는 하부판 및 바닥판과 하부판 사이에 구비되는 완충층이 상호 적층되는 뜬바닥 구조에서 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감쇠시

(뒷면에 계속)

대표도 - 도3



킨다. 이를 위해 바닥 충격음 감쇠 장치는 복수 개의 음향 메타 물질들을 구비하고, 바닥 충격에 의해 바닥판과 하부판이 동시에 휨진동되는 병합 모드와, 하부판이 휨진동하는 비병합 모드의 휨과 진동 패턴에 대응하여 저주파수 대역의 바닥 충격음이 감쇠되도록 뜯바닥 구조의 평면 영역을 따라 음향 메타 물질 합성체들이 그룹 단위로 배열된다. 본 발명에 의하면, 뜯바닥 구조의 병합 및 비병합 모드 발생 특성에 의하여 바닥 충격음에 가장 큰 영향을 미치는 주파수 대역을 선별하고, 그에 따라 음향 메타 물질을 해당 모드를 감소시킬수 있도록 뜯바닥 구조에 최적화하여 적용함으로써, 저주파수 대역 바닥 충격음을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

(52) CPC특허분류

*E04F 2290/041* (2013.01)

*G10K 2210/12* (2013.01)

*G10K 2210/3223* (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711048544

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 리더연구자지원사업

연구과제명 유전학적 건축구조 자가진단 및 노화방지 기술

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교

연구기간 2017.03.01 ~ 2018.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

건축물 상부층의 바닥을 이루는 바닥판, 상부층과 하부층을 구획하는 하부판 및 상기 바닥판과 상기 하부판 사이에 구비되는 완충층이 상호 적층되는 뜬바닥 구조에서의 바닥 충격음을 감쇠하는 바닥 충격음 감쇠 장치에 있어서:

바닥 충격에 의한 파동 에너지를 감쇠시키기 위해 해당 주파수 대역에서 유효 질량 밀도가 마이너스 값을 갖는 복수 개의 음향 메타 물질들을 포함하는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체를 구비하여 상기 하부판의 표면 또는 내부에 설치되고;

상기 바닥판의 바닥 충격에 의해 상기 뜬바닥 구조의 상기 바닥판과 상기 하부판이 동시에 휨진동되는 병합 모드와, 상기 하부판이 휨진동하는 비병합 모드의 휨과 진동 패턴에 대응하여 저주파수 대역의 바닥 충격음이 감쇠되도록 상기 뜬바닥 구조의 평면 영역을 따라 상기 음향 메타 물질 합성체들이 그룹 단위로 배열되며,

상기 병합 모드와 상기 비병합 모드의 응답 특성에 따른 바닥 충격음에 설정된 기준치 이상의 영향을 미치는 주파수 대역이 선별되고, 상기 병합 모드에 대응하여 복수 개의 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조가 결정되며, 상기 비병합 모드에 대응하여 복수 개의 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조가 결정되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체들은;

1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에서의 발생되는 휨과 진동 패턴에 따라 배치되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 음향 메타 물질들 합성체들은;

상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 대응하여 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 그룹 단위가 배열되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체들은;

상기 뜬바닥 구조의 가로 및 세로 방향 각각에 복수 개의 상기 음향 메타 물질 합성체들이 포함되는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹들로 구성되고;

상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은 1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 의하여 상기 하부판에 진폭이 최대인 안티 노드(anti-node)가 형성되는 영역에 배치되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은;

상기 뜬바닥 구조의 가로 및 세로 방향 각각에 1 차, 2 차 및 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드 각각의 주파수에 대응하여 서로 다른 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 음향 메타 물질 합성체들이 다른 영역에 배치되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 6

청구항 2에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체들은;

상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 대응하여 가로 및 세로 방향 중 장축 방향으로 상기 그룹 단위가 배열되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체들은;

상기 뜬바닥 구조의 장축 방향으로 복수 개의 상기 음향 메타 물질 합성체들이 포함되는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹들로 구성되고;

상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은 1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 의하여 상기 하부판에 진폭이 최대인 안티 노드(anti-node)가 형성되는 영역에 배치되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은;

상기 뜬바닥 구조의 장축 방향으로 1 차, 2 차 및 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드 각각의 주파수에 대응하여 서로 다른 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 음향 메타 물질 합성체들이 다른 영역에 배치되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치.

#### 청구항 9

건축물 상부층의 바닥을 이루는 바닥판, 상부층과 하부층을 구획하는 하부판 및 상기 바닥판과 상기 하부판 사이에 구비되는 완충층이 상호 적층되는 뜬바닥 구조에서의 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감쇠하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법에 있어서:

상기 뜬바닥 구조에서 상기 바닥판과 상기 하부판이 함께 휨진동하는 병합 모드와, 상기 하부판이 휨진동하는 비병합 모드의 응답 특성에 따른 바닥 충격음에 설정된 기준치 이상의 영향을 미치는 주파수 대역을 선별하는 단계;

상기 병합 모드에 대응하여 복수 개의 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계; 및

상기 비병합 모드에 대응하여 복수 개의 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

#### 청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 선별하는 단계는;

상기 바닥 충격음 감쇠 장치가 적용될 뜬바닥 구조와 동일하게 제작된 샘플을 이용하여 사전에 실험에 의해 선별되는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

#### 청구항 11

청구항 9에 있어서,

상기 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는;

상기 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 상기 병합 모드의 커플링 정도가 낮아지는 영역에 대응하여 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

## 청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는;

상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하고, 상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 장축 방향으로 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

## 청구항 13

청구항 9에 있어서,

상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는;

상기 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 상기 비병합 모드에 대한 진동 격리 효율이 증가하는 정도 및 저주파 충격원의 가력 주파수 특성에 의하여 충격음이 증가하는 정도를 고려하여 상기 비병합 모드에 의한 슬래브 진동이 저감되도록 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

## 청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는;

상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하고, 상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 장축 방향으로 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

## 청구항 15

청구항 9 내지 청구항 14 중 어느 한 항에 있어서,

상기 제1 및 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들 각각은;

바닥 충격에 의한 파동 에너지를 감쇠시키기 위해 해당 주파수 대역에서 유효 질량 밀도가 마이너스 값을 갖는 복수 개의 음향 메타 물질들을 포함하는 것을 특징으로 하는 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001]

본 발명은 바닥 충격음 감쇠 장치에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로는 뜬바닥 구조체의 병합 및 비병합 휨진동 모드 특성을 고려한 음향 메타 물질을 적용하여 저주파수 대역의 바닥 충격음을 저감시킬 수 있는 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002]

공동 주택에서 상부층 세대의 바닥에 가해지는 충격으로부터 발생하여 하부층에 전달되는 바닥 충격음은 고체 전달음(structure-borne sound)의 전형적인 형태로서, 이는 층간 소음의 종류 중에서 공동 주택 세대 간의 갈등

을 불러일으키는 가장 중요한 요인이다.

[0003] 진동하는 구조체로부터 방사되는 고체 전달음은 대부분 구조체에 형성되는 휨파(bending wave)에 의하여 발생된다. 따라서 바닥 충격음을 줄일 수 있는 근원적인 방법은 바닥 구조의 휨 모빌리티를 줄이는 것이다. 무한한 판이나 빔의 휨 모빌리티는 부재의 영률, 밀도, 두께에 반비례한다. 유한 시스템의 경우 공진에서의 휨 모빌리티는 부재의 댐핑(loss factor)이 커질 경우 감소하며, 경계 조건에 영향을 받기도 한다.

[0004] 일반적인 바닥 부재로 널리 쓰이는 물질(예를 들어, 콘크리트, 목재 등)의 탄성과 댐핑 특성은 변화시키기 어려우므로, 휨 모빌리티를 감소시키기 위해서는 스펙 감소, 단면 확장, 포스트텐션(post-tension)과 같은 구조적 변경이 요구된다. 하지만 그와 같은 구조적 변경은 경제적 그리고 실용적으로 실행하기 매우 어려운 문제점이 있다.

[0005] 뜬바닥 구조(floating floor system)의 사용은 구조적 변경없이 바닥 충격음을 줄일 수 있는 유용한 방법으로 적용되고 있다. 기존의 바닥 충격음 저감을 위한 바닥 구조의 대부분은 뜬바닥 구조의 형태에 기인하고 있다.

[0006] 일반적으로 뜬바닥 구조(10)는 도 1에 도시된 바와 같이, 상부층 세대의 마감 바닥판(12)과 상하층을 구획하는 슬래브(16) 사이에 완충층(14)을 삽입한 샌드위치 판구조로서, 상하부판(12, 16)의 재질(mass)과 완충층(14)의 동탄성계수(dynamic stiffness)에 의하여 공진 주파수를 형성하게 되고, 상부판 즉, 마감 바닥판(12)에 가해진 진동 에너지의 하부판 즉, 슬래브(16)로의 전달이 공진 주파수 상부 영역에서 감소되는 원리에 의하여 바닥 충격음이 제어된다.

[0007] 마감 바닥판(12), 완충층(14) 및 슬래브(16)가 적층된 형태의 뜬바닥 구조(10)의 공진 주파수(natural frequency)  $\omega_{fo}$  는 아래 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

### 수학적 식 1

$$\omega_{fo} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{ds}{M_1} + \frac{ds}{M_2}}$$

[0009] 여기서  $ds$  는 완충층(14)의 동탄성 계수(dynamic stiffness)이고,  $M_1$ 은 마감 바닥판(12)의 면밀도를 나타내며, 그리고  $M_2$ 는 슬래브(16)의 면밀도를 나타낸다.

[0010] 이러한 뜬바닥 구조(10)는 마감 바닥판(12)에 가해지는 외력의 주파수가 공진 주파수  $\omega_{fo}$  보다 높을 때, 슬래브(16)에 전달되는 힘의 양이 감소하게 되는 진동 격리(vibration isolation) 원리에 의하여 바닥 충격음을 저감시킨다.

[0011] 뜬바닥 구조(10)는 일반적으로 약 100 Hz 이상의 중고 주파수 대역의 바닥 충격음 저감에 효과가 있다. 이는 일반적인 공동 주택 바닥 구조체의 휨 진동장(bending wave field, transverse wave field)이 약 100 Hz 이상에서는 확산장(diffusive wave field)이 되어 마감 바닥판(12)에 가해진 진동 에너지의 슬래브(16)로의 전달이 뜬바닥 구조(10)에 기인하여 형성되는 진동 격리(vibration isolation) 시스템에 거의 지배받기 때문이다.

[0012] 상기와 같이 뜬바닥 구조(10)는 중고 주파수 대역의 바닥 충격음 저감에는 효과적이거나 일반적인 공동 주택에서 가장 문제가 되는 바닥 충격음은 예를 들어, 사람의 걸음이나 어린이의 점핑(jumping) 등에 의해서 발생하는 약 100 Hz 이하의 저주파수 대역의 중량 충격음이다.

[0013] 이러한 뜬바닥 구조(10)에서 중량 충격음을 감소시키기 위해서는 공진 주파수  $\omega_{fo}$ 를 중량 충격음의 주요 주파수 성분 이하로 낮추는 방법이 고려될 수 있다. 그러나 이 경우, 마감 바닥판(12)에 가해지는 충격력에 의해 마감 바닥판(12)과 슬래브(16)가 함께 휨진동하는 병합(coupled) 모드와, 슬래브(16) 만이 휨진동하는 비병합(decoupled) 모드의 주파수가 감소하게 된다. 그러한 공진 주파수의 변화에 따른 뜬바닥 구조(10)의 휨진동 모드의 변화 특성이 주파수가 낮아질수록 충격력이 증가하는 저주파수 가진원(source)의 주파수 특성과 결부되게 되면, 오히려 뜬바닥 구조(10)의 공진 주파수 저감이 저주파수 대역의 바닥 충격음을 증가시키는 문제가 발생할

수 있다.

- [0014] 이와 같이 뜬바닥 구조(10)의 공진 주파수 저감에 의한 중량 충격음 감쇠 방법은 뜬바닥 구조(10)의 공진 주파수의 변화에 따른 뜬바닥 구조(10)의 휨진동 모드의 변화 특성에 기인하는 중량 충격음을 제어할 수 없다는 점에서 충분한 충격음 저감 효과를 기대하기 어렵다는 문제점이 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

- [0015] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허공보 제10-2016-0011575호(공개일 2016.02.01.)  
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허공보 제10-09288027호(공고일 2009.11.24.)  
(특허문헌 0003) 대한민국 공개특허공보 제10-2017-0112449호(공개일 2017.10.12.)  
(특허문헌 0004) 대한민국 공개특허공보 제10-2014-0125993호(공개일 2014.10.30.)

### 비특허문헌

- [0016] (비특허문헌 0001) Acoustic metamaterials: From local resonances to broad horizons, Guancong Ma, and Ping Sheng, Ma and Sheng Sci. Adv. 2016; 2 : e1501595, 26 February 2016

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0017] 본 발명에 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치 및 그 방법은 다음과 같은 해결과제를 가진다.
- [0018] 첫째, 본 발명은 저주파수 대역의 바닥 충격음을 줄이기 위하여 고려될 수 있는 스펜 감소, 단면 확장, 포스트 텐션과 같은 구조적 변경을 실시하지 않은 채 저주파수 대역의 바닥 충격음을 저감시킬 수 있는 장치를 제공하고자 한다.
- [0019] 둘째, 본 발명은 음향 메타 물질을 이용하여 뜬바닥 구조체에서의 바닥 충격음을 감쇠시키고자 한다.
- [0020] 셋째, 본 발명은 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감소시키기 위하여 공진 주파수가 낮은 뜬바닥 구조를 적용할 경우 발생할 수 있는 뜬바닥 구조의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드 특성과 중량 충격원의 가력 주파수 특성에 기인하여 증가되는 바닥 충격음 성분을 저감시켜 효과적으로 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감소시키고자 한다.
- [0021] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

- [0022] 상기 목적들을 달성하기 위한, 본 발명의 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치는 음향 메타 물질 합성체를 이용하여 뜬바닥 구조의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드 특성과 중량 충격원의 가력 주파수 특성에 기인하는 바닥 충격음 성분을 저감시키는데 그 한 특징이 있다. 이와 같은 바닥 충격음 감쇠 장치는 효과적으로 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감소시킬 수 있다.
- [0023] 이 특징에 따른 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는, 건축물 상부층의 바닥을 이루는 바닥판, 상부층과 하부층을 구획하는 하부판 및 상기 바닥판과 상기 하부판 사이에 구비되는 완충층이 상호 적층되는 뜬바닥 구조에서의 바닥 충격음을 감쇠시킨다.
- [0024] 이 특징의 바닥 충격음 감쇠 장치는: 바닥 충격에 의한 파동 에너지를 감쇠시키기 위해 해당 주파수 대역에서 유효 질량 밀도가 마이너스 값을 갖는 복수 개의 음향 메타 물질들을 포함하는 복수 개의 음향 메타 물질 합성



체를 구비하여 상기 하부판의 표면 또는 내부에 설치되고; 상기 바닥판의 바닥 충격에 의해 상기 뜬바닥 구조의 상기 바닥판과 상기 하부판이 동시에 휨진동되는 병합 모드와, 상기 하부판이 휨진동하는 비병합 모드의 휨과 진동 패턴에 대응하여 저주파수 대역의 바닥 충격음이 감소되도록 상기 뜬바닥 구조의 평면 영역을 따라 상기 음향 메타 물질 합성체들이 그룹 단위로 배열된다.

- [0025] 이 특징의 한 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체들은; 1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에서의 발생하는 휨과 진동 패턴에 따라 배치된다.
- [0026] 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질들 합성체들은; 상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 대응하여 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 그룹 단위가 배열된다.
- [0027] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체들은; 상기 뜬바닥 구조의 가로 및 세로 방향 각각에 복수 개의 상기 음향 메타 물질 합성체들이 포함되는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹들로 구성되고; 상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은 1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 의하여 상기 하부판에 진폭이 최대인 안티 노드가 형성되는 영역에 배치된다.
- [0028] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은; 상기 뜬바닥 구조의 가로 및 세로 방향 각각에 1 차, 2 차 및 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드 각각의 주파수에 대응하여 서로 다른 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 음향 메타 물질 합성체들이 다른 영역에 배치된다.
- [0029] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체들은; 상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 대응하여 가로 및 세로 방향 중 장축 방향으로 상기 그룹 단위가 배열된다.
- [0030] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체들은; 상기 뜬바닥 구조의 장축 방향으로 복수 개의 상기 음향 메타 물질 합성체들이 포함되는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹들로 구성되고; 상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은 1 차 내지 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드에 의하여 상기 하부판에 진폭이 최대인 안티 노드가 형성되는 영역에 배치된다.
- [0031] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 음향 메타 물질 합성체 그룹들 각각은; 상기 뜬바닥 구조의 장축 방향으로 1 차, 2 차 및 3 차의 상기 병합 모드 및 상기 비병합 모드 각각의 주파수에 대응하여 서로 다른 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 음향 메타 물질 합성체들이 다른 영역에 배치된다.
- [0032] 본 발명의 다른 특징에 따르면, 건축물 상부층의 바닥을 이루는 바닥판, 상부층과 하부층을 구획하는 하부판 및 상기 바닥판과 상기 하부판 사이에 구비되는 완충층이 상호 적층되는 뜬바닥 구조에서의 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감소하는 바닥 충격음 감소 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법이 제공된다.
- [0033] 이 특징에 따른 바닥 충격음 감소 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조 결정 방법은: 상기 뜬바닥 구조에서 상기 바닥판과 상기 하부판이 함께 휨진동하는 병합 모드와, 상기 하부판이 휨진동하는 비병합 모드의 응답 특성에 따른 바닥 충격음에 설정된 기준치 이상의 영향을 미치는 주파수 대역을 선별하는 단계; 상기 병합 모드에 대응하여 복수 개의 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계; 및 상기 비병합 모드에 대응하여 복수 개의 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계;를 포함한다.
- [0034] 이 특징의 한 실시예에 있어서, 상기 선별하는 단계는, 상기 바닥 충격음 감소 장치가 적용될 뜬바닥 구조와 동일하게 제작된 샘플을 이용하여 사전에 실험에 의해 선별된다.
- [0035] 다른 실시예에 있어서, 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는, 상기 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 상기 병합 모드의 커플링 정도가 낮아지는 영역에 대응하여 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정한다.
- [0036] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는, 상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하고, 상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 장축 방향으로 상기 제1의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정한다.
- [0037] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는, 상기 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 상기 비병합 모드에 대한 진동 격리 효율이 증가하는 정도 및 저주파 충격원의 가력 주파수 특성에 의하여 충격음이 증가하는 정도를 고려하여 상기 비병합 모드에 의한 슬래브 진동이 저감되



도록 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정한다.

[0038] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 단계는, 상기 뜬바닥 구조가 사각 형태 평면을 갖는 경우, 가로 및 세로 방향 각각으로 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정하고, 상기 뜬바닥 구조가 비사각 형태 평면을 갖는 경우, 장축 방향으로 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들의 배열 구조를 결정한다.

[0039] 또 다른 실시예에 있어서, 상기 제1 및 상기 제2의 음향 메타 물질 합성체들 각각은, 바닥 충격음에 의한 파동 에너지를 감소시키기 위해 해당 주파수 대역에서 유효 질량 밀도가 마이너스 값을 갖는 복수 개의 음향 메타 물질들을 포함한다.

### 발명의 효과

[0040] 본 발명에 따른 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치 및 그의 바닥 충격음 감쇠 방법은 다음과 같은 효과를 가진다.

[0041] 첫째, 본 발명은 뜬바닥 구조의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드 발생 특성에 의하여 바닥 충격음에 가장 큰 영향을 미치는 주파수 대역을 선별하고, 그에 따라 음향 메타 물질을 해당 모드를 감소시킬수 있도록 뜬바닥 구조에 최적화하여 적용함으로써, 저주파수 대역 바닥 충격음을 효과적으로 감소시킬 수 있다.

[0042] 둘째, 본 발명은 뜬바닥 구조의 설계 시, 시공 시 또는 완공 후에도 음향 메타 물질을 구비하는 바닥 충격음 감쇠 장치를 적용 가능하므로, 보다 저렴한 비용으로 설치 가능하다.

[0043] 셋째, 본 발명은 뜬바닥 구조의 다양한 형상에 대응하여 음향 메타 물질의 배열 구조를 다양하게 하여 적용 가능하다.

[0044] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

### 도면의 간단한 설명

[0045] 도 1은 일반적인 공동 주택용 뜬바닥 구조의 구성을 나타내는 도면,  
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치가 설치된 뜬바닥 구조를 도시한 도면,  
 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치가 설치된 뜬바닥 구조를 도시한 도면,  
 도 4는 도 2 및 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치에 적용되는 음향 메타 물질 합성체의 개념도,  
 도 5는 도 2 및 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치의 사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조에서의 병합 및 비병합 모달 패턴을 고려하여 설치된 음향 메타 물질 합성체의 배열을 나타내는 도면,  
 도 6은 도 2 및 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치의 비사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조에서의 병합 및 비병합 모달 패턴을 고려하여 설치된 음향 메타 물질 합성체의 배열을 나타내는 도면, 그리고  
 도 7은 본 발명에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 수순을 도시한 흐름도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0046] 이하, 첨부한 도면을 참조하여, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 이해할 수 있는 바와 같이, 후술하는 실시예는 본 발명의 개념과 범위를 벗어나지 않는 한도 내에서 다양한 형태로 변형될 수 있다. 가능한 한 동일하거나 유사한 부분은 도면에서 동일한 도면부호를 사용하여 나타낸다.

[0047] 본 명세서에서 사용되는 전문용어는 단지 특정 실시예를 언급하기 위한 것이며, 본 발명을 한정하는 것을 의도하지는 않는다. 여기서 사용되는 단수 형태들은 문구들이 이와 명백히 반대의 의미를 나타내지 않는 한 복수 형태들도 포함한다.

[0048] 본 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니

다.

- [0049] 본 명세서에서 사용되는 기술용어 및 과학용어를 포함하는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 일반적으로 이해하는 의미와 동일한 의미를 가진다. 사전에 정의된 용어들은 관련기술문헌과 현재 개시된 내용에 부합하는 의미를 가지는 것으로 추가 해석되고, 정의되지 않는 한 이상적이거나 매우 공식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0050] 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는 음향 메타 물질 합성체를 파동 에너지 감쇠 원리를 이용하여 뜬바닥 구조의 공진 주파수 저감에 따른 휨진동 모드의 변화를 고려하여 적용한다. 또 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는 음향 메타 물질 합성체를 건축물의 평면 형상에 대응하여 배열 구조를 다양하게 변경 가능하다. 또 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는 음향 메타 물질 합성체를 병합 모드 및 비병합 모드의 주파수 대역에 대응하여 다른 배열 구조의 음향 메타 물질 합성체들로 배열한다.
- [0051] 이러한 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치는 저주파수 대역의 바닥 충격음을 효과적으로 감소시킬 수 있다. 여기서 음향 메타 물질을 이용한 파동 에너지 감쇠는 음향 메타 물질의 밴드갭(band gap) 주파수 대역에서 유효 질량 밀도(effective mass density)가 마이너스 값을 가질 때, 유효 질량 밀도와 유효 부피 탄성 계수의 비로 나타내어지는 유효 굴절률(effective refractive index)이 허수가 되어 소멸파(evanescent wave)가 발생하는 원리에 기반한다.
- [0052] 이하에서는 도면을 중심으로 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0053] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치가 설치된 뜬바닥 구조를 도시한 도면이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치가 설치된 뜬바닥 구조를 도시한 도면이다.
- [0054] 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치(100)는 건축물 예를 들어, 아파트 등 공동 주택의 상부층과 하부층 사이의 뜬바닥 구조(20)에 적용되어, 상부층 세대로부터 발생하는 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감쇠시키도록 설치된다. 이 실시예의 바닥 충격음 감쇠 장치(100)는 건축물 시공 후, 뜬바닥 구조의 슬래브(26)의 하부 표면에 설치된다.
- [0055] 구체적으로, 이 실시예의 뜬바닥 구조(floating floor system)(20)는 온돌층(22)과, 상부층과 하부층을 구획하는 슬래브(26) 사이에 완충층(24)이 삽입된 샌드위치 판 구조 즉, 상부층의 온돌층(22)과, 상부층과 하부층을 구획하는 슬래브(26) 및, 온돌층(22)과 슬래브(26) 사이에 구비되는 완충층(24)이 상호 적층된 형태로 구성된다.
- [0056] 온돌층(22)은 충격이 가해지는 상부층으로서, 예컨대, 상부층의 마감 바닥판으로 구비되어, 내부에 예를 들어, 온수관이 매립된 몰탈 온돌판이 포함되거나, 보일러 배관 등의 온돌 장치 등이 설치될 수 있다. 완충층(24)은 온돌층(22)의 열을 보존하기 위한 단열재로서, 보온 단열재 예를 들어, EPS(Expanded Poly Styrene), EPP(Expanded Poly propylene) 등의 스티로폼 계열 물질이나 기타 압면 계열의 물질로 이루어진다. 그리고 슬래브(26)는 상부층과 하부층 세대를 구조적으로 지탱하는 하부층으로서, 예컨대, 콘크리트 재질 등으로 구비된다.
- [0057] 이 실시예의 바닥 충격음 감쇠 장치(100)는 슬래브(26)의 하부 표면에 설치되어, 복수 개의 음향 메타 물질 합성체(110)들이 상부층의 온돌층(22) 또는 슬래브(26)의 평면 형상에 대응하여 가로 및/또는 세로 방향으로 다양한 배열 구조를 갖도록 배치된다.
- [0058] 도 3을 참조하면, 다른 실시예에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치(100a)는 뜬바닥 구조(30)에 적용되어, 상부층 세대로부터 발생하는 저주파수 대역의 바닥 충격음을 감쇠시키도록 슬래브(26)의 내부에 설치된다. 이 실시예의 뜬바닥 구조(30)는 도 2의 것과 동일하거나 대체로 유사하므로, 여기서 구체적인 설명은 생략한다.
- [0059] 이 실시예의 바닥 충격음 감쇠 장치(100a)는 슬래브(36)의 내부에 설치된다. 이 경우, 바닥 충격음 감쇠 장치(100a)는 건축물의 시공 시에 설치될 수 있다. 이 실시예의 바닥 충격음 감쇠 장치(100a) 또한 복수 개의 음향 메타 물질 합성체(110)들이 상부층의 온돌층(32) 또는 슬래브(36)의 평면 형상에 대응하여 가로 및/또는 세로 방향으로 다양한 배열 구조를 갖도록 배치된다.
- [0060] 본 발명에서 뜬바닥 구조(20, 30)의 병합 및 비병합 모달 응답은 휨파장(bending wave field)에 의하여 지배받게 되고, 외력에 의한 음향 메타 물질 합성체(110)의 진동 반응은 휨파의 전파 방향에 수직으로 작용하게 되므로, 음향 메타 물질 합성체(110)의 외곽 셀과 내부 코어는 뜬바닥 구조(20, 30)의 수직 방향으로 강성  $k_z$  물질에 의하여 결합되어야 한다. 이와 같은 형태의 설치는 뜬바닥 구조(20, 30)의 상부판 즉, 온돌층(22, 32)에 가

해지는 중량 충격원의 충격에 의한 뜬바닥 구조 고유의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모달 응답 특성에 기인하여 슬래브(26, 36)에 형성되는 휨과 에너지를 감소시키고, 그로 인하여 방사되는 바닥 충격음을 저감시킨다.

[0061] 여기서 병합(coupled) 모드는 뜬바닥 구조(20, 30)의 충격력에 의해 온돌층(22, 32)과 슬래브(26, 36)가 함께 휨진동하는 경우로 정의되고, 비병합(decoupled) 모드는 슬래브(26, 36)만이 휨진동하는 경우로 정의된다.

[0062] 따라서 본 발명에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 뜬바닥 구조(20 또는 30)의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모달 응답 특성에 의존하여 발생하는 바닥 충격음 성분의 감쇠를 목적으로 하여 음향 메타 물질의 배열 구조를 설계하고 배치함으로써, 바닥 충격음 즉, 중량 충격음을 효과적으로 저감시킬 수 있다.

[0063] 구체적으로, 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)에 적용되는 음향 메타 물질 합성체(110)에 대한 내용은 도 4 내지 도 6에서 상세히 설명한다.

[0064] 먼저 도 4는 도 2 및 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치에 적용되는 음향 메타 물질 합성체의 개념도로서, 음향 메타 물질 합성체(110)의 스프링 질량계(spring-mass system)를 도시한 것이다.

[0065] 도 4를 참조하면, 음향 메타 물질 합성체(110)는 외부로부터 외력  $F$ 가 가해질 때, 외곽 단위 셀은  $m_1$ 의 질량과  $u_1$ 의 변위를 가지며, 내부 코어는  $m_2$ 의 질량과  $u_2$ 의 변위를 가진다. 내부 코어는 외곽 단위 셀과 강성  $k_2$ 의 물질로 결합된다. 이 때, 음향 메타 물질 합성체(110)는 다음의 수학식 2 및 수학식 3과 같은 운동 방정식을 가진다.

수학식 2

$$m_1 \ddot{u}_1 = F + k_2(u_2 - u_1)$$

[0066]

수학식 3

$$m_2 \ddot{u}_2 = k_2(u_1 - u_2)$$

[0067]

[0068] 여기서, 음향 메타 물질 합성체(110)의 고조파 거동(harmonic behavior)을 고려하면, 수학식 2 및 수학식 3은 다음의 수학식 4로 전개된다.

수학식 4

$$F_0 + \left( m_1 + \frac{\omega_2^2 m_2}{\omega_2^2 - \omega^2} \right) \omega^2 u_1 = 0$$

[0069]

[0070] 여기서,  $\omega_2 = \sqrt{k_2/m_2}$ 는 내부 코어  $m_2$ 의 국지적 공진 주파수이다.

[0071] 이 때, 음향 메타 물질 합성체(110)의 유효 질량 밀도  $m_{eff}$ 는 다음의 수학식 5와 같이 계산된다.

수학식 5

$$m_{eff} = m_1 + \frac{w_2^2 m_2}{w_2^2 - w^2}$$

[0072]

[0073] 수학식 5를 전개하면, 정규화 유효 질량 밀도  $m_{eff}/m_{sta}$ 는 다음의 수학식 6과 같이 얻어진다.

수학식 6

$$\frac{m_{eff}}{m_{sta}} = 1 + \frac{\theta}{1 + \theta} \left( \frac{(w/w_2)^2}{1 - (w/w_2)^2} \right)$$

[0074]

[0075] 여기서,  $m_{sta} = m_1 + m_2$ 이며,  $\theta = m_2/m_1$ 이다.

[0076] 수학식 6는  $\theta$  및  $w$ 의 함수로서, 유효 질량 밀도  $m_{eff}/m_{sta}$ 는  $w$ 가  $w_2$ 의 상부에서  $w_2$ 로 접근할 때  $w_2$  근방에서 음의 값을 가지게 된다. 이 때 음향 메타 물질 합성체(110)의 유효 부피 탄성 계수  $\beta_{eff}$ 는 양의 값이

유지되고, 유효 굴절률  $\eta_{eff} = \sqrt{\frac{m_{eff}/m_{sta}}{\beta_{eff}}}$ 은 허수가 된다. 유효 굴절률과 파수(wave number)  $k$ 는

$$k = \frac{2\pi\eta_e}{\lambda}$$

의 관계가 성립하므로, 허수값의 파수는 소멸파(evanescent wave)를 생성하게 된다. 소멸파의 생성은 파동이 음향 메타 물질 합성체(110)를 지나 전파될 때 그 에너지가 거리에 비례하여 지수적으로 감소하게 됨을 의미하며, 이는 파동의 감쇠를 일으키는 원리가 된다.

[0077] 또 음향 메타 물질 합성체(110)의 외곽 단위 셀  $m_1$ 과 내부 코어  $m_2$ 은 다중의 강성  $k_1$  물질에 의해 결합될 수 있고 그 경우에도 수학식 6에 의한 음의 유효 질량 밀도 및 허수 유효 굴절률을 통한 파동의 감쇠 원리는 동일하게 적용된다.

[0078] 따라서 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)에 적용되는 음향 메타 물질은 복수 개가 하나의 단위 셀로 구성되고, 복수 개의 단위 셀들이 합성체를 이루며, 복수 개의 음향 메타 물질 합성체(110)들이 뜬바닥 구조(20, 30)의 슬래브(26, 36)의 표면 또는 내부에 설치된다.

[0079] 이러한 음향 메타 물질을 이용한 저주파수 대역의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 음향 메타 물질 합성체(110) 단위 개체의 유효 질량 밀도가 음의 값이 되는 성질로부터 허수 굴절률을 구현하여 파동이 합성체 영역을 전파할 때 소멸파가 생성되는 원리에 기반으로 하여 파동의 감쇠를 일으킨다.

[0080] 도 5는 도 2 또는 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치의 사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조에서의 병합 및 비병합 모달 패턴을 고려하여 설치된 음향 메타 물질 합성체의 배열을 나타내는 도면이다.

[0081] 도 5를 참조하면, 이 실시예에서 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹(110 : 110a ~ 110c)이 사각 형태의 평면 구조 예를 들어, 방(room), 침실, 거실 등의 형상에 대응하여 배치된다. 이 실시예에서는 서로 다른 구조의 음향 메타 물질 합성체 그룹(110 : 110a ~ 110c)들이 가로 및 세로 방향으로 배치된다. 이러한 음향 메타 물질 합성체 그룹(110 : 110a ~ 110c)들은 사각 형태의 평면 구조에서 가로 및 세로 방향으로 3 차의 병합 모드 및 비병합 모드에서의 휨과 진동 패턴에 따라 배치된다. 이는 저주파수 가

진원(source)의 가력 주파수 성분이 3 차 모드 이상에서는 거의 존재하지 않기 때문이다.

- [0082] 구체적으로, 음향 메타 물질 합성체 그룹(110 : 110a ~ 110c)들은 사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조(40)의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모달 패턴에 대응시켜 설치한다. 사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(40)는 공동 주택의 침실과 같은 방 형태의 바닥 구조에 적용될 수 있다.
- [0083] 이 실시예에서 음향 메타 물질 합성체 그룹(110 : 110a ~ 110c)들은 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들로 구성된다. 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들 각각은 1 차 내지 3 차 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드에 의하여 슬래브에 진폭이 최대인 안티 노드(anti-node)가 형성되는 영역을 나타내며, 각 모달 응답에 의한 슬래브 진동의 크기는 안티 노드 영역에서 최대가 된다.
- [0084] 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)은 6 개 즉, 가로 방향으로 3 개, 세로 방향으로 3 개 각각이 1 차 내지 3 차 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드의 안티 노드 영역에 배치되어 슬래브의 진동을 저감시킨다.
- [0085] 제1 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a)은 각각 1 차 병합 및 비병합 모드의 주파수에서 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 제1 및 제2 음향 메타 물질 합성체(112a, 114a)들을 포함한다. 제2 음향 메타 물질 합성체 그룹(110b)은 각각 2 차 병합 및 비병합 모드의 주파수에서 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 제3 및 제4 음향 메타 물질 합성체(112b, 114b)들을 포함한다. 그리고 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110c)은 각각 3 차 병합 및 비병합 모드의 주파수에서 유효 질량 밀도가 음의 값을 가지도록 설계된 복수 개의 제5 및 제6 음향 메타 물질 합성체(112c, 114c)들을 포함한다.
- [0086] 이러한 제1 내지 제6 음향 메타 물질 합성체(112a ~ 112c, 114a ~ 114c)들 각각은 뜬바닥 구조(40)의 고유주파수 변화에 의존하는 병합 및 비병합 모달 응답의 변화 특성(50, 52, 60, 62)을 고려하여 최적화 될 수 있다.
- [0087] 이를 위해 고려하여야 할 뜬바닥 구조(40)의 특성으로서 첫 번째는 뜬바닥 구조(40)의 공진 주파수가 저감할수록 병합 모드의 커플링 정도가 낮아지는 특성이다. 병합 모드의 커플링 정도 저감은 병합 모드에 의한 슬래브 진동의 저감을 일으키게 되므로, 이 경우 병합 모드에 의한 슬래브 진동을 저감하기 위한 제1, 제3 및 제5 음향 메타 물질 합성체(112a, 112b, 112c)의 배치는 축소될 수 있다.
- [0088] 두 번째는 뜬바닥 구조(40)의 공진 주파수가 저감할수록 비병합 모드에 대한 진동 격리(vibration isolation) 효율이 증가하여 비병합 모드에 의한 슬래브 진동이 저감하는 특성이다. 이 경우 비병합 모드에 의한 슬래브 진동을 저감하기 위한 제2, 제4 및 제6 음향 메타 물질 합성체(114a, 114b, 114c)의 배치는 축소될 수 있다.
- [0089] 그리고 세 번째는 뜬바닥 구조(40)의 공진 주파수가 저감함에 따라 병합 및 비병합 모드의 주파수가 감소하게 되는 특성이다. 이 특성이 주파수가 낮아짐에 따라 충격력이 증가하는 저주파 충격원의 특성과 연계될 경우, 뜬바닥 구조(40)의 공진 주파수의 저감은 병합 및 비병합 모드에 의한 슬래브 진동을 증가시킬 수 있다. 이 특성에 기인하여 슬래브 진동을 상당히 증가시키게 되는 병합 및 비병합 모드를 타겟으로 하는 제1 내지 제6 음향 메타 물질 합성체(112a ~ 112c, 114a ~ 114c)의 배치는 강화될 수 있다.
- [0090] 또한 최적화를 고려함에 있어서 소음 레벨(A-weighted sound level)과 같은 주파수 대역별 가청 민감도를 고려하여 상대적으로 낮은 주파수에서 형성되는 병합 모드에 적용되는 제1 내지 제6 음향 메타 물질 합성체(112a ~ 112c, 114a ~ 114c)의 배치는 축소될 수 있다.
- [0091] 도 6은 도 2 또는 도 3에 도시된 바닥 충격음 감쇠 장치의 비사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조에서의 병합 및 비병합 모달 패턴을 고려하여 설치된 음향 메타 물질 합성체의 배열을 나타내는 도면이다.
- [0092] 도 6을 참조하면, 이 실시예에서 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 복수 개의 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들이 비사각 형태의 평면 구조 예를 들어, 거실 등의 형상에 대응하여 배치된다. 이 실시예에서는 서로 다른 구조의 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들이 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)의 장축 방향으로 배치된다.
- [0093] 구체적으로, 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들은 비사각 형태의 평면을 갖는 뜬바닥 구조(70)의 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모달 패턴에 대응시켜 설치한다. 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)는 공동 주택의 거실과 같은 바닥 구조에 적용될 수 있다.
- [0094] 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)에서는 도 5의 실시예와는 달리, 평면의 장축을 따라 1 차 내지 3 차 병합(coupled) 및 비병합(decoupled) 모드가 형성된다.



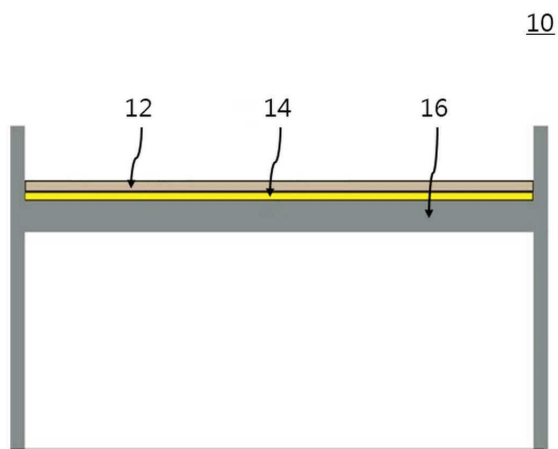
- [0095] 이 또한 1 차 내지 3 차 병합 및 비병합 모드의 안티 노드 영역에 대응하여 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들의 배치 및 최적화는 도 5의 실시예와 동일하거나 대체로 유사하게 이루어진다. 즉, 제1 내지 제3 음향 메타 물질 합성체 그룹(110a ~ 110c)들은 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)의 고유 주파수 변화에 의존하는 병합 및 비병합 모달 응답의 변화 특성(80 ~ 84) 그리고 주파수 대역별 가청 민감도를 동일하게 고려하여 이루어질 수 있다. 이러한 병합 및 비병합 모달 응답의 변화 특성 그리고 주파수 대역별 가청 민감도는 뜬바닥 구조(40, 70)의 샘플을 이용하여 사전에 실험에 의해 선별된다.
- [0096] 상술한 바와 같이, 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 음향 메타 물질 합성체(112a ~ 112c, 114a ~ 114c)들을 뜬바닥 구조(40, 70)의 평면 형태 및 고유 주파수에 의존하여 변화하는 병합 및 비병합 모달 응답 패턴을 고려하여 차별적으로 설계, 배치 및 최적화함으로써, 다양한 형태 및 구조의 뜬바닥 구조에 대한 저주파 대역의 바닥 충격음을 효과적으로 감쇠시킬 수 있다.
- [0097] 그리고 도 7은 본 발명에 따른 바닥 충격음 감쇠 장치의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정하는 수순을 도시한 흐름도이다.
- [0098] 도 7을 참조하면, 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)는 단계 S150에서 뜬바닥 구조에서 병합 모드 및 비병합 모드의 응답 특성에 따른 바닥 충격음에 설정된 기준치 이상의 영향을 미치는 주파수 대역을 선별한다. 이는 본 발명의 바닥 충격음 감쇠 장치(100, 100a)가 적용될 뜬바닥 구조(40, 70)와 동일한 구조, 형상, 평면 크기 및 재질 등을 이용하여 제작된 샘플 예를 들어, 건축물의 설계에 의해 제작된 샘플이나 모델 하우스 등을 이용하여 사전에 실험에 의해 선별된다.
- [0099] 단계 S160에서 병합 모드에 대응하여 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정한다. 즉, 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 병합 모드의 커플링 정도가 낮아지는 영역에 대응하여 제1의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정한다. 여기서 제1의 음향 메타 물질 합성체는 도 5와 같은 사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(40)의 경우에는 가로 및 세로 방향 각각의 배열 구조를 결정하고, 도 6과 같은 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)의 경우에는 장축 방향의 배열 구조를 결정한다.
- [0100] 이어서 단계 S170에서 비병합 모드에 대응하여 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정한다. 즉, 뜬바닥 구조의 공진 주파수가 저감할수록 비병합 모드에 대한 진동 격리 효율이 증가하는 정도 및 저주파 충격원의 가력 주파수 특성에 의하여 충격음이 증가하는 정도를 고려하여 비병합 모드에 의한 슬래브 진동이 저감되도록 제2의 음향 메타 물질 합성체의 배열 구조를 결정한다. 이 또한 제2의 음향 메타 물질 합성체는 도 5와 같은 사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(40)의 경우에는 가로 및 세로 방향 각각의 배열 구조를 결정하고, 도 6과 같은 비사각 형태 평면의 뜬바닥 구조(70)의 경우에는 장축 방향의 배열 구조를 결정한다.
- [0101] 본 발명에서는 제1의 음향 메타 물질 합성체는 제1, 제3 및 제5 음향 메타 물질 합성체(112a, 112b, 112c)가 1 차, 2 차 및 3 차 병합 모드에 의한 슬래브 진동을 저감하고, 제2의 음향 메타 물질 합성체는 제2, 제4 및 제6 음향 메타 물질 합성체(114a, 114b, 114c)가 1 차, 2 차 및 3 차 비병합 모드에 의한 슬래브 진동을 저감한다.
- [0102] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 부호의 설명

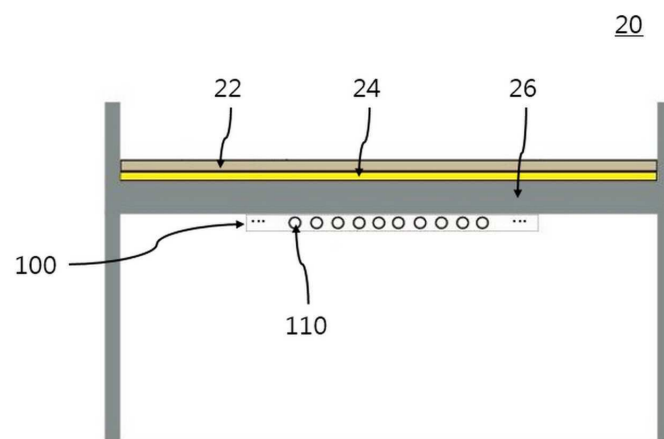
- [0103] 20, 30 : 뜬바닥 구조  
 40 : 직사각형 평면 구조  
 70 : 비사각형 평면 구조  
 100, 100a : 바닥 충격음 감쇠 장치  
 110, 112a ~ 112c, 114a ~ 114c : 음향 메타 물질 합성체  
 110a ~ 110c : 음향 메타 물질 합성체 그룹

도면

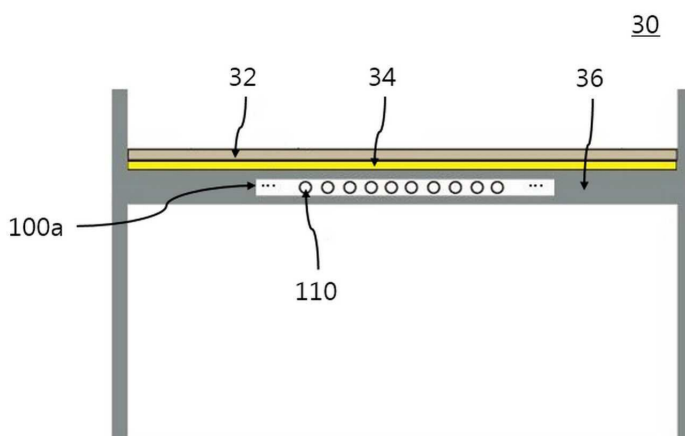
도면1



도면2

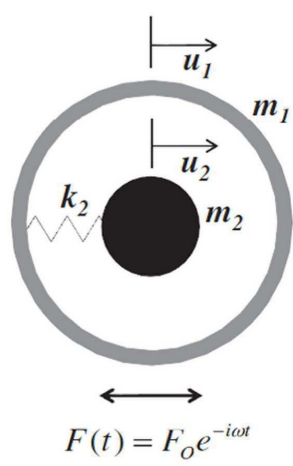


도면3

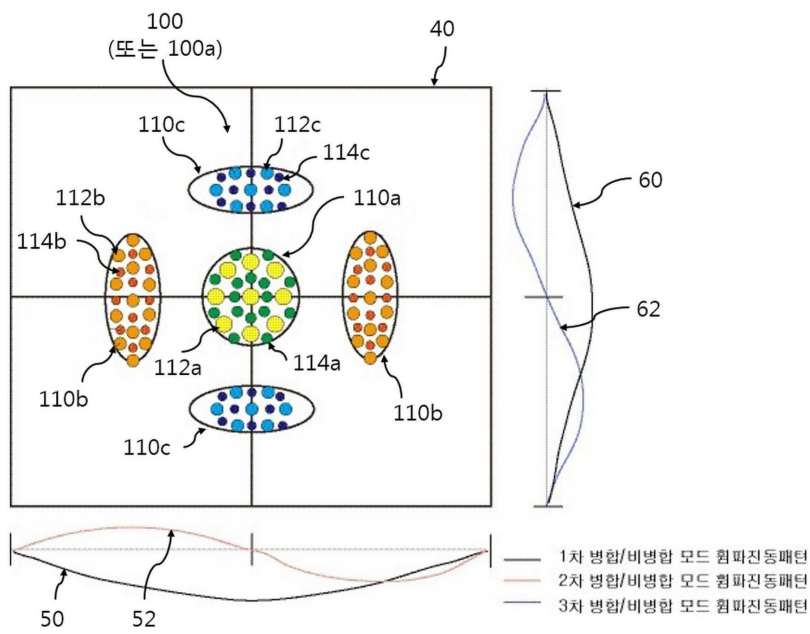




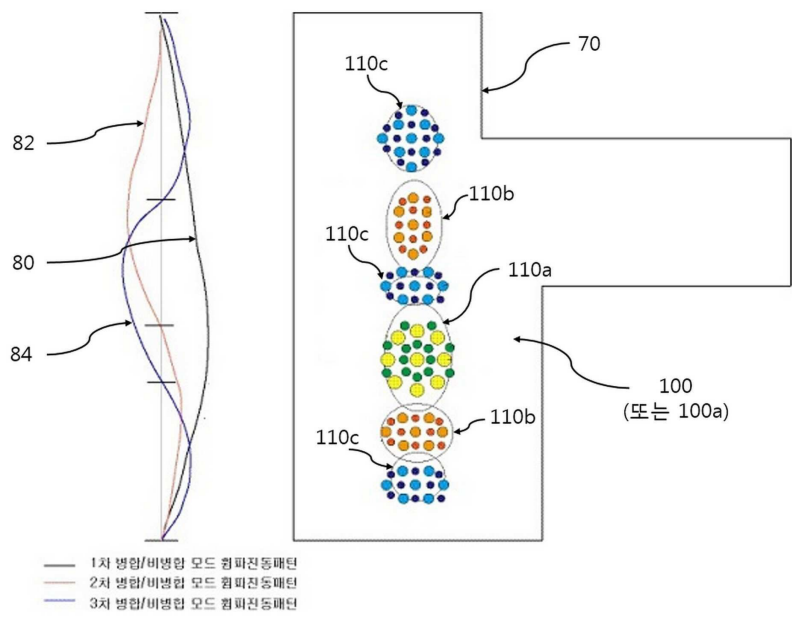
도면4



도면5



도면6



도면7

