



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0103359
(43) 공개일자 2024년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
E04F 15/20 (2006.01) F16F 15/04 (2006.01)
G10K 11/162 (2006.01)
(52) CPC특허분류
E04F 15/203 (2013.01)
F16F 15/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0185444
(22) 출원일자 2022년12월27일
심사청구일자 2022년12월27일

(71) 출원인
연세대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)
(72) 발명자
박효선
서울특별시 강남구 영동대로 220, 8동 1108호(대치동, 쌍용아파트)
조동준
서울특별시 강남구 남부순환로363길 30, 104동 904호(도곡쌍용예가아파트)
최제우
서울특별시 은평구 갈현로 140, 가-102호
(74) 대리인
김인철

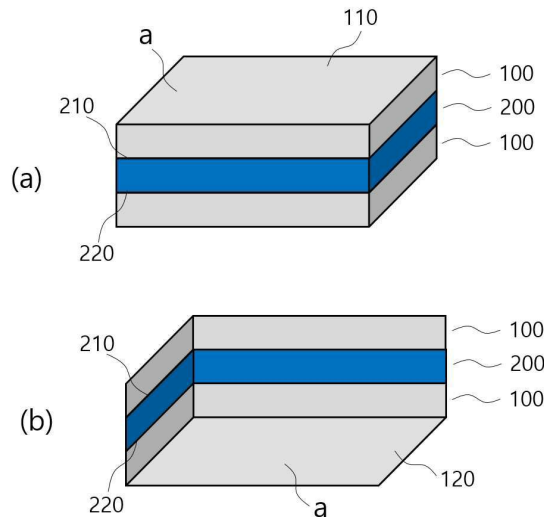
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) 발명의 명칭 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치

(57) 요약

본 발명은 뜬바닥 구조 건축물의 슬래브(30)에 배치되는 저주파 바닥충격음 감쇠장치로서, 질량을 가지는 매스 부재(200); 및 블럭 형상으로 구비되고, 탄성을 가지며, 상기 매스 부재(200)의 적어도 일 면에 배치되는 스프링 부재(100)를 포함하는 메타물질로 구비되며, 상기 메타물질은 상기 스프링 부재(100)가 상기 슬래브(30)의 내부에 형성된 함몰 공간부(31)에 접촉되도록 결합될 수 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G10K 11/162 (2013.01)

E04F 2290/041 (2013.01)

E04F 2290/044 (2013.01)

G10K 2210/12 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711161717

과제번호 2021R1A2C3008989

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(중견연구자지원사업)

연구과제명 선서의 내구성에 무관한 건축구조물의 지속적인 구조 안전성 및 사용성 모니터링을 위한 인공지능모델개발(2/5)

기 여 율 50/100

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345349029

과제번호 2020R1I1A1A01052927

부처명 교육부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 이공학학술연구기반구축(이공학개인기초연구지원사업)

연구과제명 저주파 바닥충격을 저감을 위한 국지적 공진 음향 소자 바닥 결합 시스템 연구

(3/4)

기 여 율 50/100

과제수행기관명 연세대학교

연구기간 2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

튼바닥 구조 건축물의 슬래브에 배치되는 저주파 바닥충격음 감쇠장치로서,

질량을 가지는 매스 부재; 및 블럭 형상으로 구비되고, 탄성을 가지며, 상기 매스 부재의 적어도 일 면에 배치되는 스프링 부재를 포함하는 메타물질로 구비되며,

상기 메타물질은 상기 스프링 부재가 상기 슬래브의 내부에 형성된 함몰 공간부에 접촉되도록 결합되는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 스프링 부재는 상기 매스 부재의 상면 또는 하면에 배치되는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 스프링 부재는 상기 매스 부재의 상면 및 하면에 배치되는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 스프링 부재의 일면에 배치되는 매스 부재는 적어도 하나 인것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 메타물질과 슬래브의 결합 포인트(a)는

상기 스프링 부재와 건축물의 슬래브가 접촉되는 위치인 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 메타물질의 작용 주파수는

상기 스프링 부재의 동탄성계수를 변경시켜 조절가능한 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

상기 메타물질의 작용 주파수는

상기 스프링 부재의 손실계수 변화로부터 댐핑 정도를 변경시켜 조절가능한 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 튼바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 메타물질의 작용 주파수는

상기 매스 부재의 중량을 변경시켜 조절가능한 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 9

청구항 6 내지 8 중 어느 한 항에 있어서,

상기 메타물질의 작용 주파수 범위를 40 ~ 55 Hz 대역으로 조정하는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치.

청구항 10

바닥판, 완충재 및 슬래브가 적층 배치되고, 슬래브 하측에 천장 공간부가 배치되는 뜬바닥구조 건축물의 바닥충격음을 저감시키는 시공방법으로서,

슬래브의 내부에 함몰 공간부를 형성시키는 단계; 및

상기 슬래브의 함몰 공간부에 청구항 1에 따른 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치가 배치되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 시공방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

상기 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 스프링 부재는 상기 슬래브의 함몰 공간부의 상면 또는 하면 중 적어도 한 면에 결합되는 것을 특징으로 하는 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 시공방법.

발명의 설명**기술 분야**

[0001] 본 발명은 저주파 바닥충격음 감쇠장치에 관한 것이다. 구체적으로는 블럭형메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 공동 주택의 바닥충격음을 저감시키기 위해 실용적인 면에서 가장 폭넓게 적용되고 있는 바닥구조는 뜬바닥(floating floor) 구조이다.

[0003] 도 1에 도시된 바와 같이, 뜬바닥 구조는 공동주택의 구조적 바닥을 형성하는 슬래브(30) 상부에 스프링 역할을 하게 되는 완충재(20)를 설치하고 완충재 상부에 매스 역할을 하게 되는 마감바닥판(10)을 설치하는 형태로 이루어진다. 마감바닥판(10)과 완충재(20)는 슬래브(30) 상부에서 매스(mass)-스프링(spring) 구조를 형성하여 진동격리 시스템(vibration isolation system)을 이루어지게 한다.

[0004]

[0005] 뜬바닥구조의 바닥충격음 저감원리는 뜬바닥 진동격리 시스템의 고유 진동수(natural frequency) 보다 큰 주파수대역에서 마감바닥판으로부터 슬래브로 전달되는 힘이 감소하게 되는 진동격리 이론에 기인한다. 진동이 격리된 주파수 영역에서 슬래브의 휨진동은 저감되게 되고 슬래브의 휨진동 에너지에 대부분 지배받는 바닥충격음의 방사는 저감되게 된다.

[0007] 뜬바닥구조의 진동격리 이론에 의한 바닥충격음 저감은 원천적으로는 태핑머신(tapping machine; 표준경량충격

원)에 의한 가진(excitation)으로 대표되는 중고주파수(100 Hz 이상) 바닥충격을 저감을 위하여 도입되었다. 중고주파수 대역의 바닥충격음은 구조적으로 안정성이 보장되는 뜬바닥구조를 통하여 충분하게 저감시킬 수 있다.

[0009] 그러나 최근 바닥충격음으로 가장 문제가 되고 있는 것은 임팩트볼 가진으로 대표되는 100 Hz 이하의 저주파수 대역에서 발생하는 중량바닥충격음이다. 뜬바닥구조의 진동격리 원리를 이용하여 중량충격음을 저감하기 위해서는 뜬바닥 진동격리 시스템의 고유 진동수를 중량충격음 발생 주파수 대역 이하로 매우 낮추어야 한다. 그러나 이와 같이 고유 진동수를 과도하게 낮출 경우 완충재 층의 압밀침하와 함께 뜬바닥의 마감바닥판이 휘청이거나 크랙이 발생하는 등 구조적 안정성에 문제가 발생할 가능성이 크다. 또한 완충재 층의 압밀침하 진행은 고유진동수를 증가시켜 의도했던 진동격리 성능이 저하될 수 있다. 이에 뜬바닥의 고유진동수는 중량충격음 저감을 위해서 무조건 낮추기 어려운 문제점이 있다.

[0011] 또한, 중량바닥충격음을 저감시키기 위해서는 근원적으로는 바닥 슬래브의 휨 모빌리티를 감소시키기 위한 스펙 감소, 단면 확장, 포스트텐션등과 같은 바닥구조의 변경이 유효할 수 있다. 하지만 이와 같은 구조적 변경은 경제적 그리고 실용적으로 실행하기 매우 어려운 문제점이 있으며 기술적용에 따른 충격음 저감효과가 그리 크지 않은 한계점도 지니고 있다.

[0013] 그 일례로서 슬래브의 두께를 증가시켜 단면확장을 도모할 경우, 슬래브 하중증가로 인하여 슬래브를 지탱하는 벽체 또는 기둥의 두께가 증가되어야 하며 층고가 높아지고 그만큼 층수와 가구 수가 줄게 돼 공동주택의 층고 및 평면계획에 불리하게 작용하여 적용에 한계가 있는 것이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0014] (특허문헌 0001) (문헌 1) 한국등록특허공보 제10-2098194호 (2020.04.01)
(특허문헌 0002) (문헌 2) 한국등록특허공보 제10-2179665호 (2020.11.11)
(특허문헌 0003) (문헌 3) 한국공개특허공보 제10-2021-0089348호 (2021.07.16)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명에 따른 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치는 다음과 같은 해결과제를 가진다.

[0016] 첫째, 구조적으로 안정적인 뜬바닥의 비진동격리 주파수 대역에서의 슬래브 휨진동모드주파수 저감 및 모달 커플링에 의한 충격음 증가를 해결하여 저주파수 바닥충격음을 전체 범위에서 효율적으로 저감시킬 수 있는 장치를 제공하고자 한다.

[0017] 둘째, 바닥충격음 저감 장치를 구현하는 데에 있어서 적용할 수 있는 블럭형 메타물질 구조체의 구체적인 구현 방법을 제공하고자 한다.

[0018] 셋째, 블럭형 메타물질 구조체의 시공방법을 제공하고자 한다.

[0019] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급한 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명은 뜬바닥 구조 건축물의 슬래브에 배치되는 저주파 바닥충격음 감쇠장치로서, 질량을 가지는 매스 부재; 및 블럭 형상으로 구비되고, 탄성을 가지며, 상기 매스 부재의 적어도 일 면에 배치되는 스프링 부재를

포함하는 메타물질로 구비되며, 상기 메타물질은 상기 스프링 부재가 상기 슬래브의 내부에 형성된 함몰 공간부에 접촉되도록 결합될 수 있다.

[0021] 본 발명에 있어서, 상기 스프링 부재는 상기 매스 부재의 상면 또는 하면에 배치될 수 있다.

[0022] 본 발명에 있어서, 상기 스프링 부재는 상기 매스 부재의 상면 및 하면에 배치될 수 있다.

[0023] 본 발명에 있어서, 상기 스프링 부재의 일면에 배치되는 매스 부재는 적어도 하나인 것이 가능하다.

[0024] 본 발명에 있어서, 상기 메타물질과 슬래브의 결합 포인트(a)는 상기 스프링 부재와 건축물의 슬래브가 접촉되는 위치인 것이 가능하다.

[0025] 본 발명에 있어서, 상기 메타물질의 작용 주파수는 상기 스프링 부재의 동탄성계수를 변경시켜 조절가능하다.

[0026] 본 발명에 있어서, 상기 메타물질의 작용 주파수는 상기 스프링 부재의 손실계수 변화로부터 댐핑 정도를 변경시켜 조절가능하다.

[0027] 본 발명에 있어서, 상기 메타물질의 작용 주파수는 상기 매스 부재의 중량을 변경시켜 조절가능하다.

[0028] 본 발명에 있어서, 상기 메타물질의 작용 주파수 범위를 40 ~ 55 Hz 대역으로 조정할 수 있다.

[0030] 본 발명은 바닥판, 완충재 및 슬래브가 적층 배치되고, 슬래브 하측에 천장 공간부가 배치되는 뜬바닥구조 건축물의 바닥충격음을 저감시키는 시공방법으로서, 슬래브의 내부에 함몰 공간부를 형성시키는 단계; 및 상기 슬래브의 함몰 공간부에 본 발명에 따른 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치가 배치되는 단계를 포함한다.

[0031] 본 발명에 있어서, 상기 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 스프링 부재는 상기 슬래브의 함몰 공간부의 상면 또는 하면 중 적어도 한 면에 결합될 수 있다.

발명의 효과

[0032] 본 발명에 따른 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치는 다음과 같은 효과를 가진다.

[0033] 첫째, 구조적으로 안정적인 뜬바닥의 비진동격리 주파수 대역에서의 슬래브 휨진동모드주파수 저감 및 모달 커플링에 의한 충격음 증가를 해결하여 저주파수 바닥충격음을 전체 범위에서 효율적으로 저감시킬 수 있는 장치를 제공하는 효과가 있다.

[0034] 둘째, 바닥충격음 저감 장치를 구현하는 데에 있어서 적용할 수 있는 블럭형 메타물질 구조체의 구체적인 구현 방법을 제공하는 효과가 있다.

[0035] 셋째, 블럭형 메타물질 구조체의 시공방법을 제공하는 효과가 있다.

[0036] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 건축물의 뜬바닥 구조의 개요도로서, 바닥판(10), 완충재(20), 슬래브(30) 및 천장 공간부(40)를 나타낸다.

도 2는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 하면(220)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다.

도 3은 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다.

도 4는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210) 및 하면(220)에 각각 스프링 부재(100)가 적층결합된 실시예를 나타낸다.

도 5는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 도 5a는 스프링 부재(100) 상면(110)에 1

개의 매스 부재(200)가 적층 결합된 실시예를 나타내고, 도 5b는 스프링 부재(100) 상면(110)에 2개의 매스 부재(200)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다.

도 6은 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 도 6a는 양 스프링 부재(100) 사이에 1개의 매스 부재(200)가 삽입 결합된 실시예를 나타내고, 도 6b는 양 스프링 부재(100) 사이에 2개의 매스 부재(200)가 삽입 결합된 실시예를 나타낸다.

도 7 및 도 8은 본 발명에 따른 감쇠장치의 여러 실시예가 슬래브(30)의 내부 함몰 공간부(31)에 배치되는 것을 나타낸다.

도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 100 Hz 이하 중량충격음 전체 주파수 대역의 충격음 저감 원리를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 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.
- [0039] 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.
- [0040] 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 아니다.
- [0041] 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.
- [0042] 본 명세서에서 사용되는 방향에 관한 표현, 예를 들어 전/후/좌/우의 표현, 상/하의 표현, 종방향/횡방향의 표현은 도면에 개시된 방향을 참고하여 해석될 수 있다.
- [0044] 본 발명은 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치에 관한 것이다.
- [0045] 메타물질(Metamaterial)은 아직 자연에서 발견되지 않은 특성을 가지도록 설계된 물질이다. 메타물질은 일반적인 물질로부터 형성된 복합 요소의 집합체로 구성된다. 이 물질은 보통 반복적인 패턴으로 배열되어 있다. 메타물질의 특성은 기본 물질의 특성이 아니라 그들의 구조에 의해 생긴다. 메타물질의 정확한 모양, 기하학적 구조, 크기, 방향 그리고 배열이 메타물질의 특성을 결정한다.
- [0047] 도 1은 건축물의 뜬바닥 구조의 개요도로서, 바닥판(10), 완충재(20), 슬래브(30) 및 천장 공간부(40)를 나타낸다.
- [0048] 이하에서는, 도 1을 참고하여 뜬바닥 구조에서 바닥충격력에 의해 발생하는 충격음이 차단되는 진동 격리의 원리를 살펴보고자 한다.
- [0049] 상층부 세대의 마감 바닥판(10)은 난방배관이 매립된 몰탈판을 기본으로 하고 구조적 안정성, 난방배관 설치의 평활도 확보, 열관류율 기여를 목적으로 하는 경량기포 콘크리트판이 몰탈판 하부에 포함될 수 있다.
- [0050] 완충재(20)는 단열재로서, 일반적으로 EPS, EPP 등의 스티로폼 계열 물질이나 글라스울 계열의 물질로 구성될 수 있다. 이 층은 단열재와 동시에 뜬바닥구조의 완충재 역할을 할 수 있다.
- [0051] 슬래브(30)는 상하층 세대를 구조적으로 지탱하는 바닥 슬래브를 나타낸다. 도 1에서 바닥판(10), 완충재(20) 및 슬래브(30)가 적층된 형태는 뜬바닥구조(floating floor system)를 형성한다.

[0052] 뜬바닥구조의 공진주파수 (natural frequency) f_n 는 다음 수학식 1로 나타낼 수 있다.

수학식 1

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s}{m_1} + \frac{s}{m_2}}$$

[0053]

[0054] 여기서, s 는 완충재의 동탄성계수 (dynamic stiffness)이고, m_1 은 바닥판의 면밀도이고, m_2 는 슬래브의 면밀도를 나타낸다.

[0056] 뜬바닥구조의 진동격리 (vibration isolation)의 원리는 바닥판에 가해지는 외력의 주파수가 공진주파수 f_n 보다 높을 때, 슬래브에 전달되는 힘의 양이 감소하게 되는, 다음 수학식 2의 전달율 곡선(Transmissibility(T) curve)의 특성에 기인한다.

수학식 2

$$T = \frac{F_o}{F} = \sqrt{\frac{1 + \eta^2}{(1 - \frac{f_i}{f_n})^2 + \eta^2}}$$

[0057]

[0058] 여기서, F 는 바닥판에 가해지는 힘이고, F_o 는 슬래브에 전달되는 힘이고, f_i 는 바닥판에 가해지는 힘의 주파수이고, η 는 완충재의 손실계수를 나타낸다.

[0060] 상기 전달율 곡선(Transmissibility curve) 특성에 의하여 약 $\sqrt{2}f_n$ 으로 마감바닥판에 가진되는 힘은 그대로 슬래브에 전달되게 되고 $\sqrt{2}f_n$ 이상의 주파수로 마감바닥판에 가진되는 힘은 슬래브로의 전달이 감소하게 된다. 이에 따라 $\sqrt{2}f_n$ 이상의 주파수로 가진되는 바닥충격력에 의하여 발생하는 충격음은 차단되게 된다.

[0062] 공동주택 바닥충격음에서 가장 문제가 되는 것은 아이들의 점핑이나 성인의 보행에 의한 충격력에 의하여 발생하는 저주파수 대역의 바닥충격음('중량충격음'이라고도 함)이며, 이는 100 Hz 이하의 낮은 주파수 성분을 지닌다.

[0063] 뜬바닥구조에서 이와 같은 중량충격음을 감소시키기 위해서는 뜬바닥의 공진주파수 f_n 를 중량충격음의 주요 주파수 성분 이하로 낮추어야 하며, 이는 일반적으로 s 를 저감시키거나 m_1 을 증가시키거나 또는 위 두가지를 동시에 충족시킴으로써 구현할 수 있다.

[0064] 하지만, 과도하게 이와 같은 방법을 취하여 f_n 을 낮출 경우 상기 배경기술에서 기술한 바와 같이, 완충재 층

의 압밀침하가 발생할 가능성이 크고 이는 마감바닥판의 구조적 결함(크랙발생, 바닥취청거름)을 야기할 수 있다. 또한, s의 증가를 발생시킴으로서 최초 설계된 진동격리 대역의 주파수가 증가하여 장기적으로 중량충격음 차단성능 저하가 발생할 수 있는 문제점이 있다.

[0066] 따라서 낮은 f_n 을 가지는 뜬바닥구조는 완충재 층의 압밀침하로 인한 상기 문제점이 발생하지 않는 수준에서 타협되는 s 및 m1 을 적용하여 설계될 가능성이 크다.

[0067] 여기서 '타협이 되는 뜬바닥구조'의 의미는 뜬바닥의 구조적 안정성과 저주파수 진동격리성능간의 상호절충관계 (trade-off) 속에서 구조적 안정성이 보장되는 한도내에서 최대한 낮출 수 있는 f_n 으로 이루어지는 뜬바닥을 의미한다.

[0069] 위와 같이 완충재 층의 압밀침하가 타협되는 수준으로 f_n 을 낮출 수 있는 뜬바닥구조는 50mm 두께의 몰탈 마감바닥판과 5MN/m³ 동탄성계수의 흑연중합EPS를 완충재로 구성한 뜬바닥구조가 일 실시예이다.

[0070] 이러한 바닥구조의 경우, f_n 은 약 39 Hz이며 약 55 Hz이상에서 진동격리가 발생되어 충격음을 차단시키지 않으면 60 Hz 이상의 충격음은 안정적으로 저감이 되어 바닥충격음에 영향을 미치지 않게 된다.

[0071] 하지만 이와 같이 압밀침하가 타협되는 수준으로 최대한 f_n 을 낮추어 실제 적용이 가능한 뜬바닥구조는 저주파 바닥충격음에서 여전히 문제점이 발생된다.

[0072] 첫번째 문제점은 f_n 을 낮출수록 진동격리 하부주파수대역의 비진동격리 주파수 대역에서 슬래브에 생성되는 휨진동모드들의 주파수가 저감되어, 이 휨진동모드에 의한 중량충격음이 증가한다는 점이다.

[0073] 이 문제점의 실례로서, $f_n = 39$ Hz 인 뜬바닥구조에서 이 휨진동모드들은 약 40 ~ 55 Hz 주파수대역에 형성되어서 $f_n = 53$ Hz 인 뜬바닥구조와 비교하였을 때 40 ~ 55 Hz 대역의 충격음은 $f_n = 39$ Hz 의 경우에 오히려 증가됨을 알 수 있다.

[0075] 두 번째 문제점은 비진동격리 주파수대역의 슬래브 휨진동모드와 수음공간 음향모드의 커플링효과로 인하여 세대평면이 변화할 경우 중량충격음 차단성능이 달라진다는 점이다.

[0076] 이 문제점의 실례로서, $f_n = 39$ Hz 인 뜬바닥구조를 서로 다른 세대 평면에 설치했을 경우, 40 ~ 55 Hz 대역에서 발생하는 두가지 타입의 슬래브 휨진동모드와 수음실 음향모드간의 모달 커플링은 특정 세대 평면에서만 형성되어 충격음을 증가시키고 있음을 알 수 있다.

[0078] 본 발명은 전술한 종래기술 및 그 문제점들을 극복하기 위하여 제안된 것으로서, 블럭형 메타물질을 이용한 저주파 바닥충격음 감쇠장치를 제공하고자 한다.

[0080] 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치는 상기와 같은 완충재 층의 압밀침하가 타협되는 수준으로 f_n 이 낮추어진 뜬바닥구조의 바닥충격음 발생상태에 있어서, 진동격리영역 하부의 진동격리가 이루어지지 않는 일정 주파수 대역에서 슬래브 휨진동모드의 형성으로 인해 발생하여 여전히 문제로 남게 되는 충격음을 감소시키는

것을 목적으로 한다.

[0081] 본 발명은 메타물질을 이용한 저주파 바닥충격음 감쇠장치를 슬래브에 결합시켜 비진동격리 주파수 대역의 슬래브 휨진동모드 발생을 억제하여 상기 완충재 층의 압밀침하가 타협되는 수준으로 f_n 이 낮추어진 뜬바닥구조에서 여전히 해결되지 않는 충격음 문제를 해결하여 중량충격음의 전체적 주파수 범위에서 안정적이고 효과적으로 바닥충격음을 저감할 수 있게 된다.

[0083] 메타물질이 슬래브와 결합된 후 휨진동모드의 발생을 억제하는 원리는 메타물질의 작용주파수(working frequency)대역에서 결합체의 유효 동적 질량(effective dynamic mass)에 관한 다음 수학적 식 3과 같이, 유효 동적 질량이 음의 값으로 발산하여 결합체에 형성되는 wave vector가 허수값을 이루어 소멸파 (evanescent wave)를 발생시킴으로서 휨진동파의 공간적 전파를 차단하는 성질에 기인한다.

수학적 식 3

$$m_e = F(a)/\ddot{u}(a) = -F(a)/(\omega^2 u(a))$$

[0084]

[0085] 여기서, a는 슬래브와 메타물질의 결합 포인트이고, F는 a에 가해지는 외력이고, u는 a의 변위이고, $\ddot{u}(a)$ 는 u(a)의 시간에 관한 2차미분 이고, a의 가속도를 의미하고, ω 는 각주파수를 나타낸다.

[0087] 이하에서는 도면을 참고하여 본 발명을 설명하고자 한다. 참고로, 도면은 본 발명의 특징을 설명하기 위하여, 일부 과장되게 표현될 수도 있다. 이 경우, 본 명세서의 전 취지에 비추어 해석되는 것이 바람직하다.

[0089] 도 2는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 하면(220)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다. 도 3은 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다. 도 4는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210) 및 하면(220)에 각각 스프링 부재(100)가 적층결합된 실시예를 나타낸다.

[0091] 본 발명은 뜬바닥 구조 건축물의 슬래브(30)에 배치되는 저주파 바닥충격음 감쇠장치로서, 질량을 가지는 매스 부재(200); 및 블럭 형상으로 구비되고, 탄성을 가지며, 상기 매스 부재(200)의 적어도 일 면에 배치되는 스프링 부재(100)를 포함하는 메타물질로 구비되며, 상기 메타물질은 상기 스프링 부재(100)가 상기 슬래브(30)의 내부에 형성된 함몰 공간부(31)에 접촉되도록 결합될 수 있다.

[0093] 본 발명에 따른 스프링 부재(100)는 매스의 움직임에 복원력을 제공하는 기능을 가진 것으로서, 복원력을 형성할 수 있는 탄성을 지닌 재질이 사용될 수 있다.

[0094] 본 발명에 따른 매스 부재(200)는 스프링에 연결되어 진동하는 기능을 가진 것으로서, 중량을 지닌 재질이 사용될 수 있다.

[0096] 본 발명에 따른 메타물질은 공진기(resonator)로 작동할 수 있어야 하며, 이를 위해 스프링 부재(100) 및 매스 부재(200)를 포함한다.

- [0098] 본 발명에 따른 매스 부재(200)는 스프링 부재(100)의 적어도 일면에 배치되고, 질량을 가진다.
- [0099] 스프링 부재(100)는 블럭 형상으로 구비되므로, 스프링 부재(100)의 적어도 일면은, 상면, 하면, 측면 등을 포함하는 '각 면'을 의미한다. 다만, 설명을 용이하게 하기 위하여, 본 명세서에서는 스프링 부재(100)의 상면(110)과 하면(120) 및 매스 부재(200)의 상면(210)과 하면(220)을 예시로 설명하고자 한다.
- [0101] 본 발명에 있어서, 스프링 부재(100)는 매스 부재(200)의 상면(210) 또는 하면(220)에 배치될 수 있다.
- [0102] 도 2는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 하면(220)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다. 도 3은 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210)에 스프링 부재(100)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다.
- [0104] 본 발명에 있어서, 스프링 부재(100)는 매스 부재(200)의 상면(210) 및 하면(220)에 배치될 수 있다.
- [0105] 도 4는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 매스 부재(200)의 상면(210) 및 하면(220)에 각각 스프링 부재(100)가 적층결합된 실시예를 나타낸다.
- [0107] 본 발명에 있어서, 상기 스프링 부재(100)의 일면에 배치되는 매스 부재(200)는 적어도 하나인 것이 가능하다.
- [0108] 도 5는 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 도 5a는 스프링 부재(100) 상면(110)에 1개의 매스 부재(200)가 적층 결합된 실시예를 나타내고, 도 5b는 스프링 부재(100) 상면(110)에 2개의 매스 부재(200)가 적층 결합된 실시예를 나타낸다.
- [0109] 도 6은 본 발명에 따른 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 일 실시예로서, 도 6a는 양 스프링 부재(100) 사이에 1개의 매스 부재(200)가 삽입 결합된 실시예를 나타내고, 도 6b는 양 스프링 부재(100) 사이에 2개의 매스 부재(200)가 삽입 결합된 실시예를 나타낸다.
- [0111] 본 발명에 있어서, 메타물질과 슬래브(30)의 결합 포인트(a)는 상기 스프링 부재(100)와 건축물의 슬래브(30)가 접촉되는 위치인 것이 가능하다.
- [0112] 본 발명에 따른 결합 포인트(a)는 슬래브(300)와 스프링 부재(100)의 접촉이 일어나는 부분(접촉면)을 의미한다. 예를 들어, 본 발명에 따른 메타물질이 도 2와 같이, 매스 부재(200)의 하면(220)에 스프링 부재(100)가 결합되고, 스프링 부재(100)의 하면(120)이 도 7의 함몰 공간부(31a)에 접촉되는 실시예의 경우, 결합 포인트(a)는 도 2의 녹색 영역이 가능하다.
- [0113] 결합 포인트(a)에서 수학식 3에서 기술된 메타물질과 슬래브 결합체의 모든 물리적 거동이 정의되어 작용된다.
- [0115] 블럭형 메타물질-슬래브 결합체의 유효 동적 질량이 음의 값을 형성하게 되는 메타물질의 작용주파수(working frequency) 대역은 블럭형 메타물질 유닛의 공진 주파수(resonance frequency)의 상부 주파수 영역이 된다.
- [0117] 본 발명에 있어서, 메타물질의 작용 주파수는 스프링 부재(100)의 동탄성계수를 변경시켜 조절가능하다.
- [0119] 본 발명에 있어서, 메타물질의 작용 주파수는 스프링 부재(100)의 손실계수 변화로부터 댐핑 정도를 변경시켜 조절가능하다.
- [0120] 본 발명에 있어서, 댐핑성질은 블럭형 탄성물질인 스프링 부재 자체가 지니고 있는 손실계수로 발현될 수 있다. 즉 블럭형 메타유닛의 작용주파수 조절을 위한 댐핑성질은 스프링 부재(100) 자체가 지니고 있는 손실계수 특성에 의하여 발현될 수 있다.

- [0122] 본 발명에 있어서, 메타물질의 작용 주파수는 매스 부재(200)의 중량을 변경시켜 조절가능하다.
- [0124] 국지적 공진 메타물질의 휨진동과 전파 차단 작용주파수대역은 전술한 메타물질 구성 부재의 변경을 통하여 튜닝될 수 있다.
- [0125] 완충재 층의 압밀침하가 타협된 $f_n = 39$ Hz인 뜬바닥구조를 예로 들면, 바닥충격을 안정화를 위하여 슬래브의 휨진동과 모드 발생을 억제하여야 할 주파수 대역은 40 ~ 55 Hz 이므로 메타물질의 작용주파수 범위를 이 주파수 대역에 해당하도록 튜닝하여 적용하면 바닥충격을 안정적으로 저감시킬 수 있다.
- [0127] 이에, 본 발명에 따른 메타물질의 작용 주파수 범위를 40 ~ 55 Hz 대역으로 조정하는 것이 바람직하다.
- [0129] 메타물질은 슬래브와 결합된 후 건물의 구조역학적 측면에서 슬래브의 하중을 증가시키지 않아야 할 필요성이 요구된다. 결합 후 슬래브의 하중을 증가시키지 않으면서 완충재 층의 압밀침하가 타협된 뜬바닥구조의 비진동격리 영역에서 작용주파수를 구현하는 것이 요구된다.
- [0131] 이에, 본 발명에 따른 메타물질의 작용주파수는 매스 부재(200) 중량의 변화, 블럭형 탄성물질인 스프링 부재(100)의 동탄성계수의 변화 및 블럭형 탄성물질인 스프링 부재(100)의 손실계수 변화로부터 변경되는 댐핑정도를 이용하여 조절될 수 있다.
- [0133] 본 발명은 뜬바닥구조의 슬래브에 메타물질을 결합시킴으로서 완충재 층의 압밀침하가 타협되는 수준에서 구성될 것으로 예상되는 뜬바닥구조의 문제점으로 남게 되는 뜬바닥의 진동격리영역 하부 비진동격리 주파수대역에서의 슬래브 휨진동모드에 의한 충격음 발생을 억제하여 100 Hz 이하 주파수대역 전체의 중량충격음을 안정적이고 효과적으로 저감시킬 수 있다.
- [0135] 도 9 및 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 100 Hz 이하 중량충격음 전체 주파수 대역의 충격음 저감 원리를 설명하는 도면이다.
- [0136] 도 9는 완충재 침하 타협 뜬바닥구조만의 바닥충격음 상태를 나타내며, 비진동격리주파수 대역에서 충격음이 저감되지 않고 있음을 나타낸다.
- [0137] 도 10은 완충재 침하 타협 뜬바닥구조에 메타물질이 결합된 상태에서는, 비진동격리영역의 충격음이 메타물질의 휨진동모드 발생 억제 효과에 의하여 저감되어 100 Hz 이하의 중량충격음 전체가 저감되고 있음을 나타낸다.
- [0139] '완충재 침하 타협 뜬바닥구조'란 전술한 바와 같이, 뜬바닥의 구조적 안정성과 저주파수 진동격리성능간의 상호절충관계(trade-off) 속에서 구조적 안정성이 보장되는 한도내에서 최대한 낮출 수 있는 f_n 으로 이루어지는 뜬바닥구조를 의미한다.
- [0140] 구체적으로 다시 자세히 말하면, f_n 을 극도로 낮추면 초기의 저주파수 진동격리성능은 좋지만 구조적안정성이 보장이 안되고 (즉, 마감판 크랙, 휘청임이 발생하고, 완충재압밀침하로 장기적으로 f_n 이 다시 상승하게 되고), 반대로 f_n 을 높여서 구조 안정성을 확보하면(즉 완충재 압밀침하, 마감판 크랙, 휘청임이 발생하지

않으면) f_n 이 높기 때문에 원하는 만큼의 중량충격진동의 격리효과를 얻을 수 없는 것이다. 이러한 의미에서 구조안정성과 진동격리성능은 서로간에 상호절충관계(trade-off)에 있다. 이는 둘중 어느한쪽을 택하면 다른 한쪽은 포기해야 한다는 의미이다. 즉, 중량충격진동의 격리효과는 어느정도 포기하고 대신 구조적 안정성을 만족시키는 선에서 둘이 타협될 수 밖에 없다는 의미이다.

[0142] 본 발명에 의한 슬래브 휨진동모드 발생 억제 방식은 슬래브의 두께와 무관한 적용성을 가지고 있다. 따라서, 소음방지를 위한 층간 바닥충격음 차단 구조기준(국토교통부고시)에 따른 슬래브의 기준 두께를 충족시키지 못하는 얇은 슬래브로 건설된 기존의 공동주택을 리모델링 할 때에도 바닥충격음 차단구조의 성능등급을 만족시켜 중량충격음을 저감할 수 있는 효과가 있다.

[0143] 또한, 신규 공동주택의 바닥충격음 저감구조 설계시에도 표준바닥구조에서 제시되는 최소기준 슬래브 두께보다 얇은 슬래브에 적용이 가능하다. 따라서, 구조적으로 비효율적이며 상대적으로 충격음 저감효과가 미미한 슬래브 두께 증가를 고려하지 않고 중량충격음을 효율적으로 저감시킬수 있는 시스템을 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0145] 한편, 본 발명은 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치의 시공방법으로 구현될 수 있다.

[0146] 도 7 및 도 8은 본 발명에 따른 감쇠장치의 여러 실시예가 슬래브(30)의 내부 함몰 공간부(31)에 배치되는 것을 나타낸다.

[0147] 본 발명은 바닥판(10), 완충재(20) 및 슬래브(30)가 적층 배치되고, 슬래브(30) 하측에 천장 공간부(40)가 배치되는 뜬바닥구조 건축물의 바닥충격음을 저감시키는 시공방법으로서, 슬래브(30)의 내부에 함몰 공간부(31)를 형성시키는 단계; 및 상기 슬래브(30)의 함몰 공간부(31)에 청구항 1에 따른 블럭형 메타물질을 이용한 뜬바닥구조 건축물의 저주파 바닥충격음 감쇠장치가 배치되는 단계를 포함한다.

[0148] 본 발명에 따른 스프링 부재(100)는 상기 슬래브(30)의 함몰 공간부(31)의 상면 또는 하면 중 적어도 한 면에 결합될 수 있다.

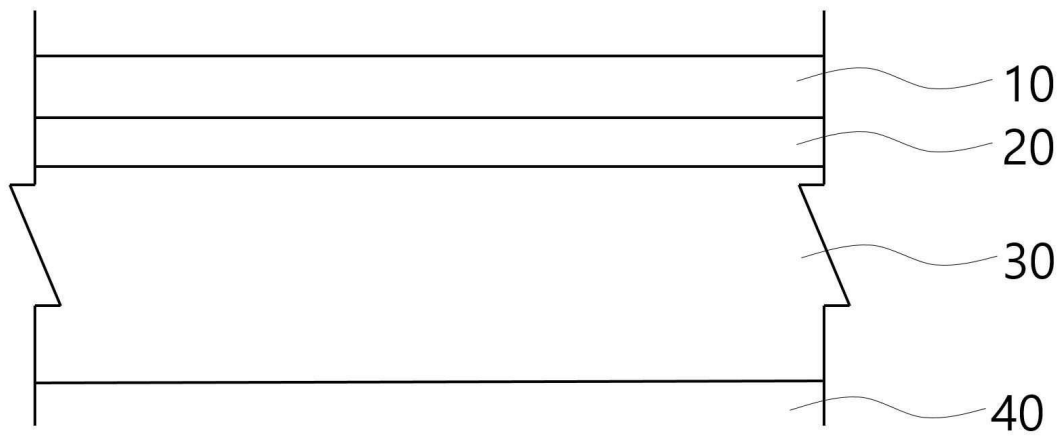
[0150] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서, 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형예와 구체적인 실시 예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

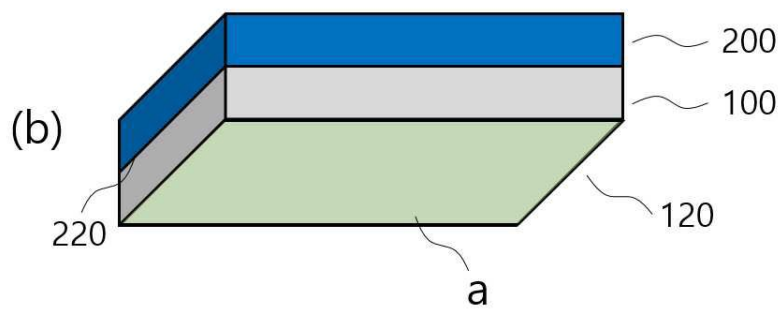
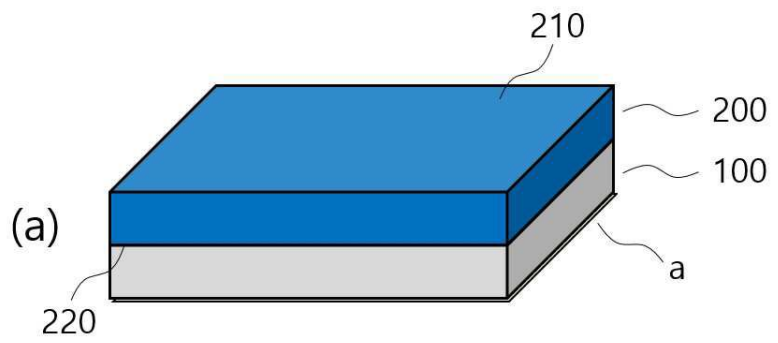
[0151] 10 : 바닥판 20 : 완충재
30 : 슬래브 31 : 함몰 공간부
40 : 천장 공간부 100 : 스프링 부재
110 : 스프링 부재의 상면 120 : 스프링 부재의 하면
200 : 매스 부재 210 : 매스 부재의 상면
220 : 매스 부재의 하면
M : 메타물질 a : 결합 포인트

도면

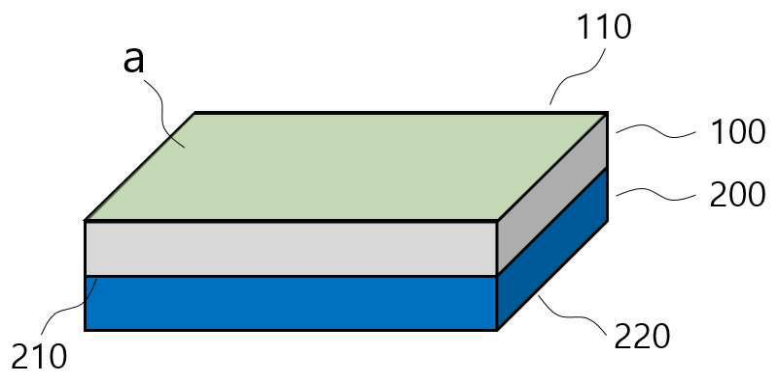
도면1



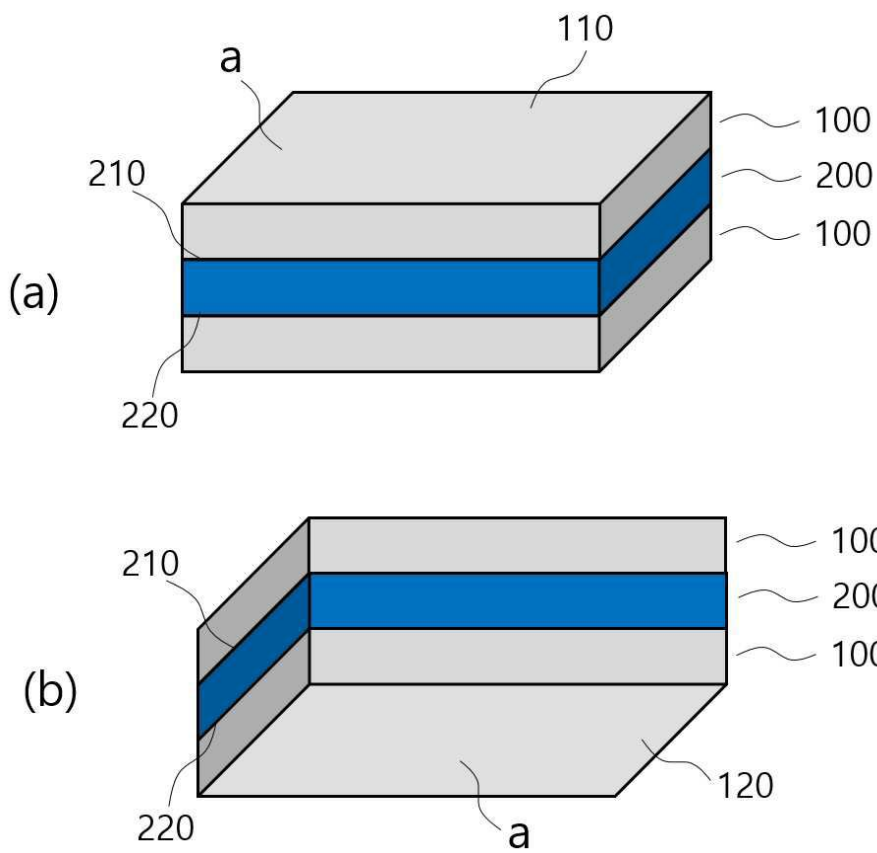
도면2



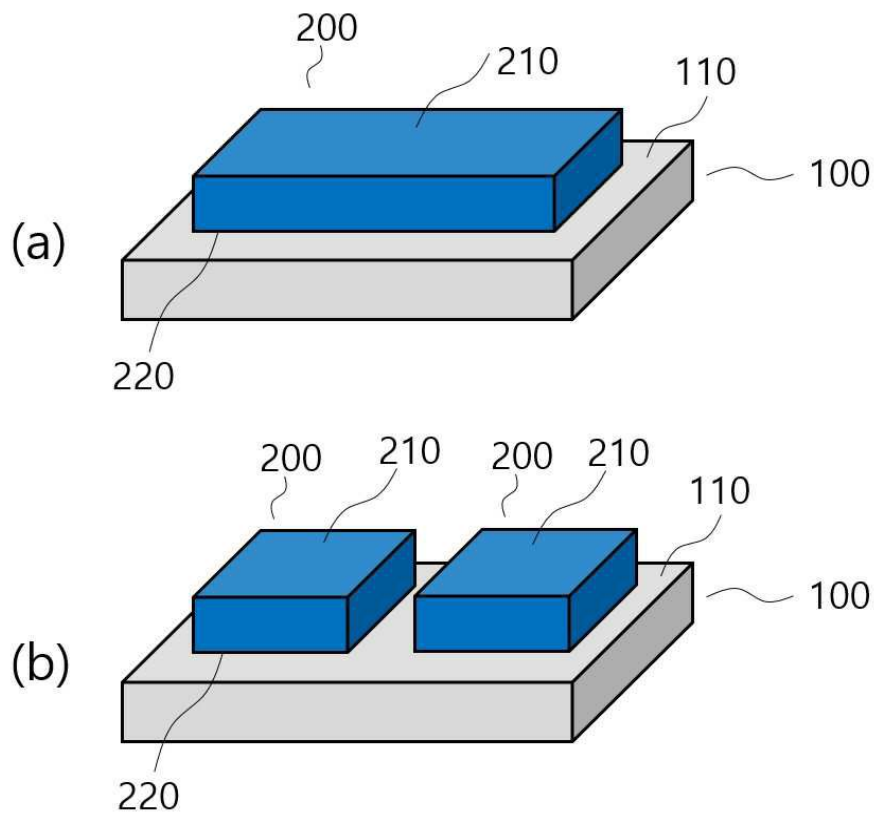
도면3



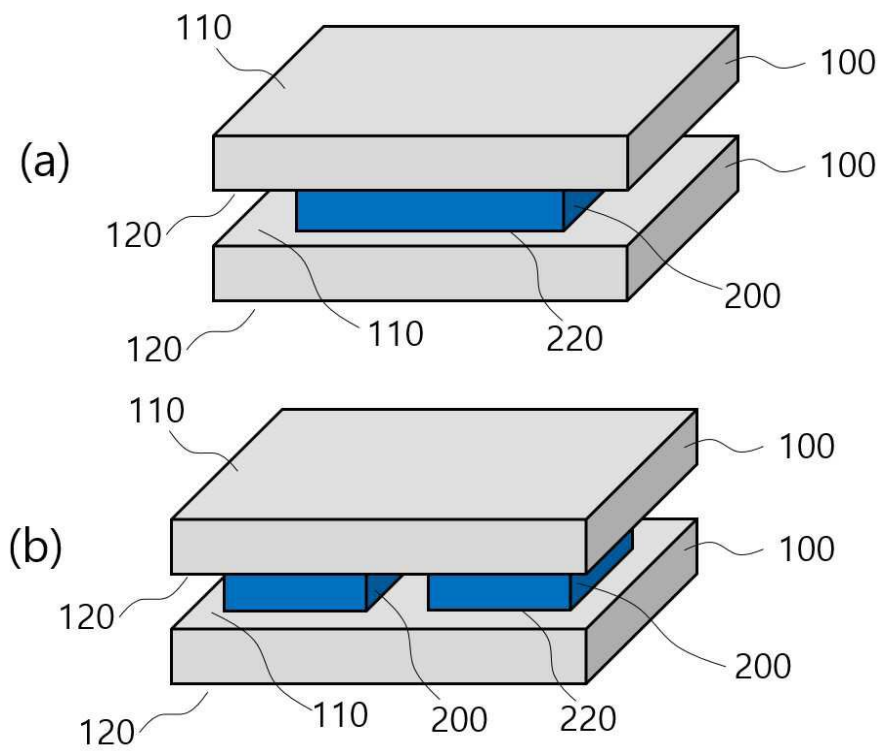
도면4



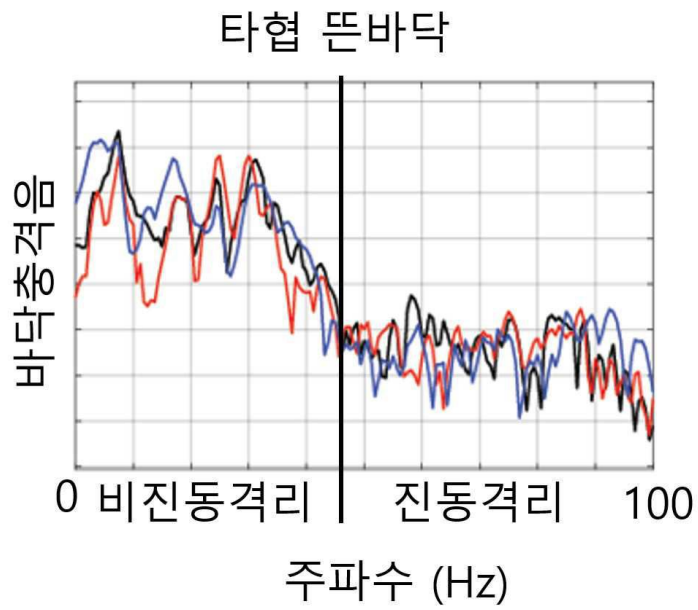
도면5



도면6



도면9



도면10

