



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0066949  
(43) 공개일자 2019년06월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

**E01D 19/04** (2006.01)

(52) CPC특허분류

**E01D 19/042** (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0166870

(22) 출원일자 2017년12월06일

심사청구일자 2017년12월06일

(71) 출원인

**연세대학교 산학협력단**

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

**동아이엔지(주)**

서울특별시 광진구 천호대로 592,8층(능동, 광명빌딩)

**한양대학교 산학협력단**

서울특별시 성동구 왕십리로 222(행당동, 한양대학교내)

(72) 발명자

**임윤목**

서울특별시 서초구 방배중앙로 207-10

**박지운**

서울특별시 성동구 행당로 82

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

**특허법인주원**

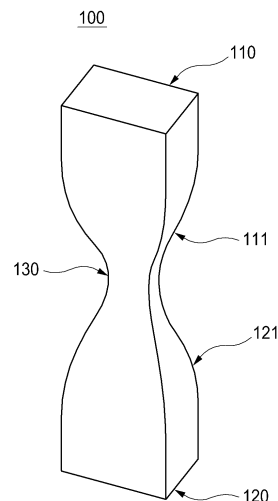
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **제진부재 및 이를 이용한 제진 교량**

### (57) 요약

본 발명은 금속 재질에 의해 형성되고, 지진 시 상부(110)로부터 하부(120)를 향하여 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들어가도록, 상부(110) 및 하부(120)에 비해, 중앙부(130)의 횡단면의 단면적이 좁은 것을 특징으로 하는 제진부재(100)를 제시함으로써, 교량과 같은 대규모의 구조물에 대하여 효과적으로 적용될 수 있도록 한다.

**대표도** - 도1



(72) 발명자

**윤길호**

인천광역시 연수구 신송로82번길 6

**윤지훈**

경기도 고양시 덕양구 소만로 19

**강덕만**

인천광역시 연수구 해돋이로 107

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 20174030201480

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국에너지기술평가원

연구사업명 에너지인력양성사업

연구과제명 [RCMS]원자력발전소 내진안전성 향상 핵심기술 고급트랙(1단계, 1/2)

기 여 율 1/1

주관기관 연세대학교 산학협력단

연구기간 2017.04.01 ~ 2017.12.31

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

금속 재질에 의해 형성되고,

지진 시 상부(110)로부터 하부(120)를 향하여 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들어가도록, 상부(110) 및 하부(120)에 비해, 중앙부(130)의 횡단면의 단면적이 좁은 것을 특징으로 하는 제진부재(100).

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상부(110)로부터 중앙부(130)를 향하여 횡단면이 점진적으로 좁아지도록 형성되고, 중앙부(130)로부터 하부(120)를 향하여 횡단면이 점진적으로 넓어지도록 형성된 것을 특징으로 하는 제진부재(100).

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상부(110)와 중상부(111) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성되고, 중상부(111)와 중하부(121) 사이의 외곽선이 오목한 구조로 형성되고, 중하부(121)와 하부(120) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성된 것을 특징으로 하는 제진부재(100).

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

횡단면이 사각형 또는 타원형 구조인 것을 특징으로 하는 제진부재(100).

#### 청구항 5

제3항에 있어서,

횡단면이 원형 구조인 것을 특징으로 하는 제진부재(100).

#### 청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항의 제진부재(100)를 이용한 제진 교량(200)으로서,

상기 제진부재(100)의 상부(110)는 거더(210) 또는 상판에 결합하고,

상기 제진부재(100)의 하부(120)는 교각(220)에 결합한 것을 특징으로 하는 제진 교량(200).

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 건설 분야에 관한 것으로서, 상세하게는 제진부재 및 이를 이용한 제진 교량에 관한 것이다.

#### 배경 기술

[0002] 다리(Bridge), 원자력 발전소, LNG 저장탱크 및 고층 빌딩 등의 구조물은 풍하중이나 지진과 같은 동하중에 의해 구조적인 결함 발생 확률이 높다.

[0003] 이런 동하중에 대해 안전성을 확보를 위해 내진설계 관련 기준이 1988년에 제정되었고 내진설계 의무화 대상 구조물들의 수는 증가되어 왔다.

[0004] 하지만 소규모 구조물(특히 2층 이하 건물, 500제곱미터 미만)에 대해서는 자율에 맡기고 있고 노후화된 구조물

들의 제진 보강이 원활히 이루어지고 있지 않고 있기 때문에 기존 제진 이전에 지어진 구조물들과 소규모 구조물의 경우 여전히 지진에 취약하다.

- [0005] 동하중에 의한 구조 결함 발생 문제를 해결을 위해 더 구체적이고 다양한 내진 설계 및 제진 보강 관련 기술들이 개발 및 사용된다.
- [0006] 내진성능향상기술들은 크게 구조물의 강도를 증가시키는 내진, 지진 하중의 전달을 분리하는 면진, 그리고 지진 하중을 분산하여 제어하는 제진 기술 등으로 나누어진다.
- [0007] 이 세 가지 종류의 기술들 중 구조물을 이루는 부재들의 강도를 향상시켜 지진 하중에도 무너지지 않게 하는 내진 기술이 가장 일반적으로 사용되고 있다.
- [0008] 최근에는 큰 지진에 의한 과도한 변형이나 파괴의 피해를 방지하기 위한 면진이나 제진 기술 역시 여러 구조물에서 적극적으로 활용되고 있다.
- [0009] 이러한 제진/면진 장치는 지진 다발 지역에 건설되는 교량을 비롯한 대형 구조물들에 주로 설치되며, 고무 베어링이나 마찰 진자, 혹은 유압 완충 등의 방법 등으로 지진 하중을 감쇄한다.
- [0010] 면진 장치의 경우 구조물의 전달 과정 중 하부 구조의 진동으로부터 분리시킴으로써 상부의 구조물을 파괴로부터 보호하지만, 약한 수평 강성으로 인하여 큰 변위가 발생할 우려가 있다.
- [0011] 이와 같은 측면에서 지진으로부터 전달되는 진동 에너지를 소산하는 역할과 대규모 변형의 제어라는 두 가지 목적을 모두 달성하기 위해서는 내진이나 면진 장치가 아닌, 제진장치를 사용하는 것이 더 적합하다.
- [0012] 제진장치는 일반적으로 점성 제진장치(Viscous damper)와 자기 유동식 제진장치(Magnetorheological damper, i.e. MR damper)방식의 장치들이 가장 널리 쓰이고 있으나, 두 종류의 제진장치는 높은 가격, 낮은 내구성 그리고, 내부 점성 유체의 유실 가능성 등의 한계점들을 갖는다.
- [0013] 이에 반해 금속제진장치는 상대적으로 더 저렴한 비용, 우수한 내구성 및 설치의 편리성 등의 특징을 강점으로 가지고 있다.
- [0014] 금속제진장치는 본 구조물에 비해 낮은 항복 강도를 갖는 금속막대를 본 구조물의 특정 부위에 설치하고, 지진이 발생하면 구조물을 지지하는 주요 부재들에 앞서 금속제진장치가 지진 하중을 받아 먼저 항복에 이르도록 하면서, 지진 하중을 흡수하도록 하는 개념이다.
- [0015] 이는 지진에 의한 반복하중에 의해 반복적인 변형을 반복하면서 진동 초기단계에서 에너지를 흡수하여 구조물의 파괴를 효과적으로 경감시킨다.
- [0016] 현재 금속제진장치로는 강철 전단제진장치(Steel shear damper)나 불구속 버팀대(Unbounded braces)가 가장 대표적으로 사용되고 있다.
- [0017] 그러나 두 제진장치 모두 회복력이나 변형의 크기가 비교적 작은 건물들을 대상으로 설계되고 있다.
- [0018] 따라서 교량과 같은 대규모의 구조물을 위한 더 효과적인 구조의 금속제진장치가 필요하다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0019] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 도출된 것으로서, 교량과 같은 대규모의 구조물에 대하여 효과적으로 적용될 수 있는 제진부재를 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

### 과제의 해결 수단

- [0020] 상기 과제의 해결을 위하여, 본 발명은 금속 재질에 의해 형성되고, 지진 시 상부(110)로부터 하부(120)를 향하여 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들어가도록, 상부(110) 및 하부(120)에 비해, 중앙부(130)의 횡단면의 단면적이 좁은 것을 특징으로 하는 제진부재(100)를 제시한다.
- [0021] 상부(110)로부터 중앙부(130)를 향하여 횡단면이 점진적으로 좁아지도록 형성되고, 중앙부(130)로부터 하부(120)를 향하여 횡단면이 점진적으로 넓어지도록 형성된 것이 바람직하다.
- [0022] 상부(110)와 중앙부(111) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성되고, 중앙부(111)와 중하부(121) 사이의 외곽선

이 오목한 구조로 형성되고, 중하부(121)와 하부(120) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성된 것이 바람직하다.

[0023] 횡단면이 사각형 또는 타원형 구조인 것이 바람직하다.

[0024] 횡단면이 원형 구조인 것이 바람직하다.

[0025] 본 발명은 상기 제진부재(100)를 이용한 제진 교량(200)으로서, 상기 제진부재(100)의 상부(110)는 거더(210) 또는 상판에 결합하고, 상기 제진부재(100)의 하부(120)는 교각(220)에 결합한 것을 특징으로 하는 제진 교량(200)을 제시한다.

### 발명의 효과

[0026] 본 발명은 교량과 같은 대규모의 구조물에 대하여 효과적으로 적용될 수 있는 제진부재를 제시한다.

### 도면의 간단한 설명

[0027] 도 1 이하는 본 발명의 실시예를 도시한 것으로서,

도 1은 제진부재의 제1 실시예의 사시도.

도 2는 제진부재의 제2 실시예의 사시도.

도 3은 제진부재의 제1 실시예의 사용상태도.

도 4는 하중-변형 그래프.

도 5는 실험모델의 구성도.

도 6은 초기 모델의 응력분포도.

도 7은 반복하중 그래프.

도 8은 응력-변위 그래프.

도 9는 변수의 증가에 따른 형상의 변화 및 설계 변수의 영향에 관한 그래프.

도 10은 반복계산에 따른 목적함수의 변화에 관한 그래프.

도 11은 Case 별 형상 최적화 및 FEM 해석결과에 관한 그래프.

도 12는 3축 방향의 하중-변형 그래프.

도 13은 최적화 이후의 최종 형상과 응력분포도.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 이하, 첨부도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 관하여 상세히 설명한다.

[0029] 도 1 이하에 도시된 바와 같이, 본 발명에 의한 제진부재(100)는 기본적으로, 금속 재질에 의해 형성되고, 지진 시 상부(110)로부터 하부(120)를 향하여 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들어가도록, 상부(110) 및 하부(120)에 비해, 중앙부(130)의 횡단면의 단면적이 좁은 구조를 취한다.

[0030] 여기서, 소성 영역(a)이란 제진부재(100)가 소성 변형을 일으킬 수 있는 범위를 의미하는 것으로서, 하중-변형 곡선에서 탄성 영역의 종점과 항복점(yielding point) 사이의 영역을 뜻한다(도 4).

[0031] 구조물을 구성하는 모든 부재는 낮은 하중에서는 탄성 변형을 일으키지만(탄성 거동), 그 한계를 벗어나는 높은 하중이 가해지면 소성 변형을 일으키며(소성 거동), 그 부재의 항복강도를 넘는 하중이 가해지면 항복한다.

[0032] 종래의 막대형 제진부재의 경우, 모든 횡단면이 상하방향을 따라 일정한 구조를 취하였는데, 이러한 구조는 지진하중의 재하 시 상부 또는 하부만 소성 영역 내에 들게 되고, 중앙부는 소성 영역 내에 들지 않으므로, 제진 부재의 전단면이 지진 에너지의 흡수에 기여하지 못한다는 문제가 있었다.

[0033] 본 발명에 의한 제진부재(100)는, 지진 시 상부(110)로부터 하부(120)를 향하여 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들어가도록, 상부(110) 및 하부(120)에 비해, 중앙부(130)의 횡단면의 단면적이 좁은 구조를 취함으로써, 제진 부재의 전단면이 지진 에너지의 흡수에 기여하도록 하여 제진 성능을 높을 수 있다는 장점이 있다.

- [0034] 구체적으로, 상부(110)로부터 중앙부(130)를 향하여 횡단면이 점진적으로 좁아지도록 형성되고, 중앙부(130)로부터 하부(120)를 향하여 횡단면이 점진적으로 넓어지도록 형성된 구조를 취하는 경우, 지진 시 모든 횡단면이 소성 영역 내에 들게 되는 확률이 더욱 높아진다는 장점이 있다.
- [0035] 나아가, 상부(110)와 중상부(111) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성되고, 중상부(111)와 중하부(121) 사이의 외곽선이 오목한 구조로 형성되고, 중하부(121)와 하부(120) 사이의 외곽선이 볼록한 구조로 형성된 구조를 취하는 경우(2개의 변곡점을 갖는 곡선 구조, 모래시계 형상의 구조), 위 효과를 더욱 크게 얻을 수 있다.
- [0036] 제진부재(100)의 횡단면은 다양한 구조를 취할 수 있다.
- [0037] 횡단면이 사각형 또는 타원형 구조인 경우에는, 교량과 같이 특별한 방향성이 있는 구조물에 대하여 적합하고, 횡단면이 원형 구조인 경우에는 특별한 방향성이 없는 구조물에 대하여 적합하다.
- [0038] 본 발명에 의한 제진부재(100)를 교량(200)에 설치하는 경우, 제진부재(100)의 상부(110)는 거더(210) 또는 상판에 결합하고, 제진부재(100)의 하부(120)는 별도의 캔틸레버 부재에 의해 교각(220)에 결합하는 구조를 취함으로써, 교량에 가해지는 지진 에너지를 효율적으로 흡수할 수 있다.
- [0039] 이하, 본 발명에 의한 제진부재(100)의 효과를 입증하기 위한 해석방법 및 결과에 관하여 설명한다.
- [0040] 본 발명은 최적 설계를 통하여 가장 경제적이며 제진 목적에 가장 적합한 형상을 갖는 금속제진장치의 형상설계와 이를 이용한 제진 장치 개념을 제시한다.
- [0041] 공학에서 최적설계란 엔지니어가 목적함수와 여러 제약조건들을 제시하면 이를 만족하면서 최상의 성능을 발현하는 설계를 찾아내는 수학적 기법을 의미한다.
- [0042] 이 연구에서는 최적설계를 이용하여 초기설계의 성능보다 성능이 좋은 설계를 찾아내었다.
- [0043] 본 발명이 대상으로 삼고 있는 금속제진장치의 경우 수동적 제진(Passive damping)방식으로 진동을 감소시키는데, 이 경우 제진장치는 해당 부재의 강성을 통하여 감쇠 능력을 발휘하지만 너무 높은 강성을 가질 경우 진동 감쇠 대상인 상부 구조물에 오히려 더 큰 진동 에너지가 전달될 가능성이 존재한다.
- [0044] 그러므로 지진에 의한 상부 구조물의 큰 변위 발생을 저지하는 효율적인 수동제진장치(Passive damping device)의 설계를 위해서는 적정 수준의 감쇠력을 유지하고 지진 하중에 의한 에너지를 최대한 소산하는 것이 무엇보다 중요하다.
- [0045] 본 발명에서 제시하는 금속제진장치의 기본적인 구조는 도 1 내지 3에 도시된 바와 같으며, 교량의 교각과 상부 구조물(거더 또는 상판) 사이에 설치되는 것을 목적으로 설계되었다.
- [0046] 구조물의 크기 및 최적화 이전의 기본 직사각형 형태는 일본 오다와라 시 고가교에 실제로 설치된 초고성능섬유강화콘크리트(PVA-ECC)를 사용하는 교량용 제진장치를 참고하여 제시하였다.
- [0047] 참고한 제진장치와 연구의 대상제진장치는 구조적으로 단순하여 설계 및 설치가 쉽다는 점과 다축 방향의 진동 에너지를 모두 소산하는 것이 가능하다는 점에서 유사하다.
- [0048] 다만 에너지 소산을 위한 연성 재료로 금속을 사용함으로써 본 장치가 더 저렴하다.
- [0049] 또한 구하기 쉽고 물성치가 충분히 보장되는 금속재료의 사용을 통해 안정적인 운용 및 쉬운 유지보수가 이루어질 수 있다.
- [0050] 이하, 1축 방향의 진동에 대응하는 형상의 최적화에 관하여 설명한다.
- [0051] 도 5와 같이 제진장치의 양단은 수직 방향으로 모두 고정되어있으며 장치의 상단에 수평 방향으로 한 주기의 반복하중이 가해진다고 가정한다.
- [0052] 반복하중 조건은 부재 한쪽 끝단에 고정된 기준 지점에서 일정한 속도로 변위가 가해지는 과도상태응답해석으로 주어졌으며, 도 7의 변위 하중을 이용하여 한주기의 반복하중 해석을 수행하였다.
- [0053] 재료는 완전 소성이 전제되었고 연강인 ASTM-a36 Steel을 참고하여 일반적인 물성치를 선정하였으며, 항복강도는 250 MPa, 포아송비 0.26, 탄성 계수 값은 200 GPa를 사용하였다.
- [0054] 재료에 관한 응력-변위 곡선은 도 8에서 확인할 수 있다.
- [0055] 상용 프로그램인 ABAQUS를 통하여 모델링 및 유한요소해석을 수행하였으며 Python script를 통하여 히스테리시

스 루프를 결과 값으로 추출하였다.

[0056] 진동감쇄장치, 제진장치의 구조 최적화에 관해서는 이미 몇몇 선행연구가 이루어진 바 있는데, 이들 모두 J-형 금속 제진장치나 강철 전단 제진장치, 혹은 버팀대 부재 등 대다수 기존 제진장치의 개선을 목적으로 하고 있다.

[0057] 이 중 강철전단패널 제진장치(Steel shear panel damper)의 형상 최적화에 관한 연구의 경우 ABAQUS를 통한 유한요소해석이나 Python을 통한 데이터 분석 및 자체 최적화 알고리즘을 이용하는 단면 최적화 등 본 발명과 방법론적으로 상당히 유사하지만, 최적화 목표를 부재의 잔류 변형을 최소화하는 데에 두는 해당 연구와 달리 본 발명은 제진 장치로 인한 총 감쇄 에너지량의 최대화를 우선적인 목표로 삼는다는 점에서 차이점을 갖는다.

[0058] 먼저 단축 진동 조건에서 진동 에너지 소산의 최대화를 위한 제진장치의 형상 최적화를 수행하였다.

### 수학식 1

$$\text{Max}_{x,y} E(x,y)$$

$$\text{Subject to } V(x,y) \leq V^0$$

$$[0059] \quad -30 \leq x \leq 30, 300 \leq y \leq 900$$

[0060] 여기서, 히스테리시스로 인한 에너지 소산은 E로 나타냈으며 형상을 결정하는 스플라인 노드의 x 및 y 좌표 벡터는 각각 x, y이다. 부피와 허용 부피는 각각 V와  $V^0$ 이다.

[0061] 제진장치의 형상을 그리는 데에는 ABAQUS의 스플라인 기능을 사용하였고 스플라인 노드(knot)의 위치를 조정 변수로 삼아 이를 변경하면서 최적설계를 진행하였다.

[0062] 이와 같은 최적 설계를 수행함에 있어 가장 큰 걸림돌은 최적 설계의 값을 찾을 수 있는지 여부에 관한 문제로, 이 연구에서는 점차적으로 변수를 증가시켜가며 그 가능성을 판단하고 다음 단계로 발전시키고자 하였다.

[0063] 따라서 본 발명에서는 변수의 점차적 증가에 따른 형상의 변화 및 설계 변수의 영향을 살펴보기 위해서 아래 5개의 경우를 고려하였다(도 9).

[0064] Case 1에서는  $x_1, x_2$ 가 각각 스플라인의 x좌표를 의미하며 수학식 1에서처럼 -30~30의 범위에서 움직인다(도 9(a)).

[0065] Case 2는  $x_1, x_2, x_3$ 가 각각 스플라인의 x좌표를 뜻하며 수학식 1에서처럼 -30~30의 범위에서 움직인다(도 9(b)).

[0066] Case 3는  $x_1, x_2$ 는 각각 스플라인의 x 지점을 뜻하며,  $y_1$ 은  $x_1$ 과  $x_2$  사이의 거리이다. 수학식 1과 같이  $x_1, x_2$ 는 -30~30,  $y_1$ 은 300~450의 범위에서 움직인다(도 9(c)).

[0067] Case 4에서  $x_1, x_2, x_3$ 는 각각 스플라인의 x 지점을 뜻하며,  $y_1$ 은  $x_1$ 과  $x_2$  사이의 거리이다. 수학식 1과 같이  $x_1, x_2, x_3$ 는 -30~30,  $y_1$ 은 300~450의 범위에서 움직인다(도 9(d)).

[0068] Case 5에서  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 는 각각 스플라인의 x 지점을 뜻한다.  $y_1$ 은  $x_1$ 과  $x_2$  사이의 거리이고,  $y_2$ 는  $x_4$ 와  $x_5$  사이의 거리이다. 수학식 1과 같이  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 는 -30~30의 범위에서 움직인다.  $y_1$ 은 300~500의 범위에서 움직이며,  $y_2$ 는 700~900의 범위에서 움직인다(도 9(e)).

[0069] 최적화에는 SQP 알고리즘을 이용하며 각 변수를 Python script에서 지정하고 해석한 뒤, 결과 그래프를 얻어낸다.

[0070] 변수를 변경 후 재해석하고 결과그래프를 얻어낸 뒤 기준에 얻은 그래프와 비교하여 목적함수로 지정한 최대그래프 면적을 얻을 때까지 제약조건에 맞게 변수를 변경하면서 최적 값을 찾게 된다.

[0071] Case 별 형상 최적화 및 FEM 해석을 수행한 결과는 도 11과 표 1에 정리되어 있다. Case 별 반복계산 횟수는 20회 가량이며, 반복계산에 따른 목적함수의 변화는 도 10에 명시되어 있다.



표 1

**Table 1** optimization results (Initial hysteresis loop area: 1.412 kNm)

	Case 1		Case 2		Case 3		Case 4		Case 5	
	$x_1$	29.85	$x_1$	19.72	$x_1$	29.73	$x_1$	17.10	$x_1$	19.48
	$x_2$	-10.85	$x_2$	2.24	$x_2$	-13.59	$x_2$	1.34	$x_2$	-13.97
			$x_3$	-22.20	$y_1$	449.76	$x_3$	-23.22	$x_3$	-26.08
Optimal values (mm)							$y_1$	323.79	$x_4$	-8.08
									$x_5$	18.54
									$y_1$	473.62
									$y_2$	788.48
Hysteresis loop area (kNm)		2.105		2.426		2.239		2.434		2.450
Improvement		49.08 (%)		71.81 (%)		58.57 (%)		72.38 (%)		73.51 (%)

[0072]

[0073]

[0074]

[0075]

[0076]

[0077]

[0078]

[0079]

[0080]

[0081]

[0082]

[0083]

[0084]

[0085]

[0086]

[0087]

[0088]

횡진동에너지 소산량 측면에서 각 Case 모두 Initial model 대비 50-70% 정도의 성능향상을 보이고 있는 것을 확인할 수 있다.

이는 상당한 량의 증가라고 볼 수 있으며, 이에 따라 시공 및 가공비용의 증가에도 본 결과와 같이 형상 최적화를 거친 금속 제진장치를 사용하는 것이 결론적으로 경제적인 측면에서 더 유리하다.

최적화 형상 면에서 도 11의 (a),(c)와 (b),(d)를 비교해보면, Case 1과 Case 3의 경우와 같이 수평방향 변수가 2개일 경우 단순히 중앙부로 갈수록 단면이 좁아지는 모양으로 수렴되지만 Case 2와 Case 4의 경우 상하부와 중앙부의 단면 감소 정도가 다르며 결과적으로 모래시계 형태의 형상을 갖게 되는 것을 확인할 수 있다.

수평방향 변수가 증가할수록, 즉 형상이 모래시계 형태로 나타날수록 스트레스는 더 부재 전체로 퍼지는 경향이 드러났으며 그에 따라 진동소산에너지, Hysteresis loop의 면적 또한 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

반면 수직방향 변수의 유무는 상대적으로 수평방향 변수의 개수 조건에 비하여 Hysteresis loop의 면적 증가에 더 적은 영향을 미친다.

한편, 도 11의 (e)를 보면 Case 5의 경우는 대칭 조건 없이 수평방향으로의 변수와 수직방향으로의 변수의 위치를 상하방향으로 위치시켜 최적화를 진행하였다.

이 경우 상하대칭조건을 가진 Case 4의 경우와 동일한 시간이력곡선을 얻을 수 있었으며, 최적형상 역시 대칭적으로 형성되는 것을 확인할 수 있었다.

도 12는 위 하중조건 하에서, x축 방향 뿐만 아니라, y축 방향 및 z축 방향의 하중-변형 곡선을 나타낸 것이다.

Hysteresis loop의 면적이 다소 다르기는 하지만, 본 발명에 의한 제진부재는 3축 방향에 대하여 모두 진동에너지 소산의 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

즉, 위 해석을 통하여, 본 발명에 의한 제진부재는 동일한 구속조건과 동일 양의 재료 사용조건 하에 3축 방향 진동 하중에 대한 제진장치의 진동에너지 흡수량이 형상의 변화에 따라 초기 모델 대비 최대 73% 가량 증가하는 것을 파악되었다.

정리하면, 상용 프로그램인 ABAQUS를 통하여 모델링 및 유한요소해석을 수행하였으며 시간이력곡선을 결과 값으로 추출하였다.

추출된 이력곡선의 면적을 계산함으로써 제진장치로 인한 총 감쇄 에너지량을 측정할 수 있다.

본 발명은 진동 조건에서 위의 결과로서 도출된 진동 에너지 소산량의 최대화를 위한 제진장치의 형상 최적화를 수행한다(도 13).

최적화를 위한 형상 변수의 위치나 개수, 혹은 목적함수의 경우 구조물 특성과 설계상의 필요에 따라 변경될 수 있다.

반복계산에 따른 일반적 목적함수의 변화는 도 10에 명시되어 있다.

위와 같은 최적화 과정을 통하여, 본 발명에 의한 제진부재는 동일한 구속조건과 동일 양의 재료 사용조건 하에



기존 축 방향 진동 하중에 대한 제진장치의 진동에너지 흡수량이 형상의 변화에 따라 초기 모델 대비 최대 70% 가량 증가하는 것이 파악되었다.

[0089] 본 발명의 제진장치의 경우 단방향에 관하여 최적화된 장치 역시 3축 방향으로 에너지를 소산시킬 수 있으며, 필요에 따라 다축 방향 진동에 대응하여 최적화 할 수도 있다(도 12).

[0090] 위에서는 본 발명에 의한 제진부재가 교량에 적용되는 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명에 의한 제진부재는 이외에도 선형 모체(가스관 등)를 다수의 지지부재에 의해 지지하는 구조 등에 대하여 효과적으로 적용될 수 있다.

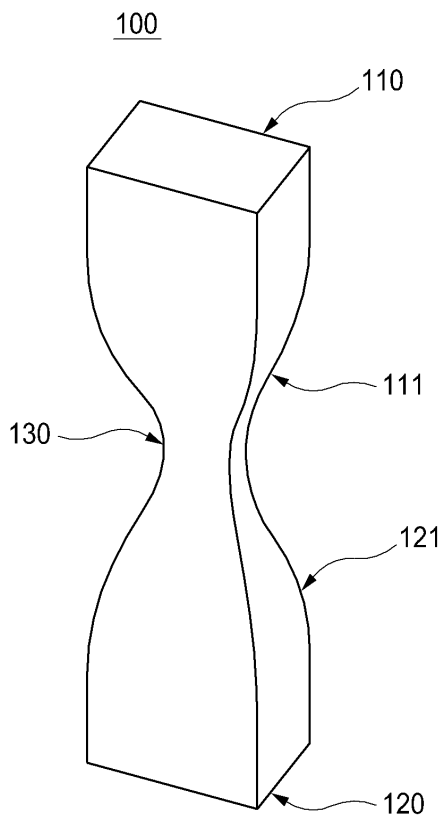
[0091] 이상은 본 발명에 의해 구현될 수 있는 바람직한 실시예의 일부에 관하여 설명한 것에 불과하므로, 주지된 바와 같이 본 발명의 범위는 위의 실시예에 한정되어 해석되어서는 안 될 것이며, 위에서 설명된 본 발명의 기술적 사상과 그 근본을 함께 하는 기술적 사상은 모두 본 발명의 범위에 포함된다고 할 것이다.

## 부호의 설명

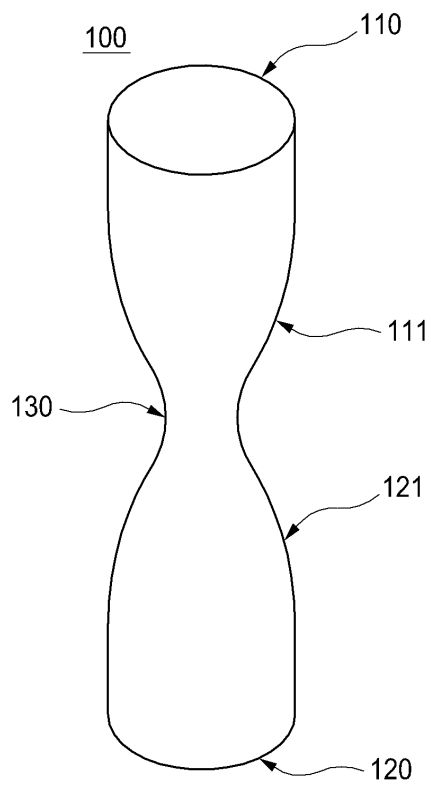
[0092] 100 : 제진부재 110 : 상부  
111 : 중상부 120 : 하부  
121 : 중하부 130 : 중앙부  
200 : 제진 교량 210 : 거더  
220 : 교각

## 도면

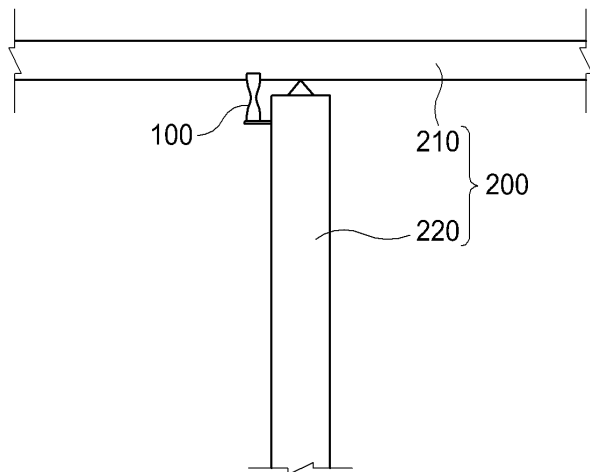
### 도면1



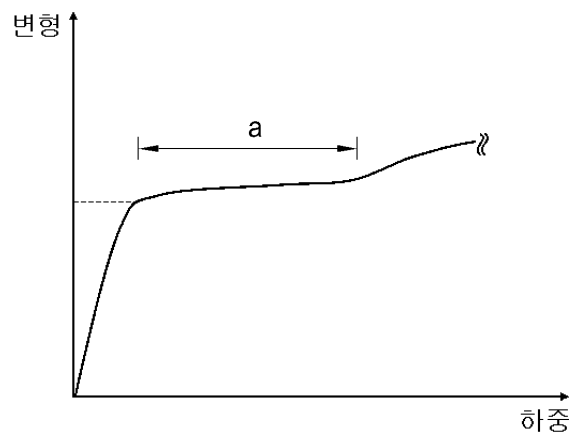
도면2



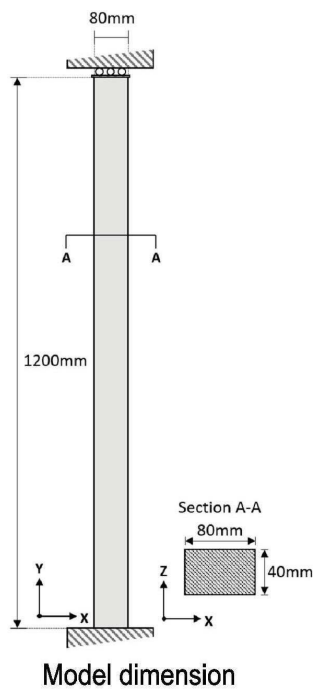
도면3



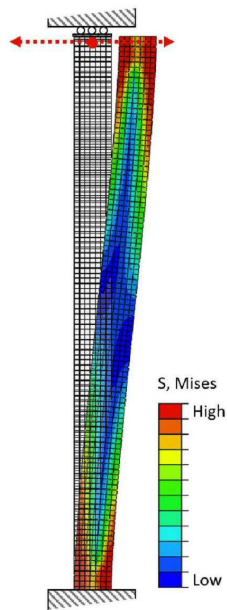
도면4



도면5

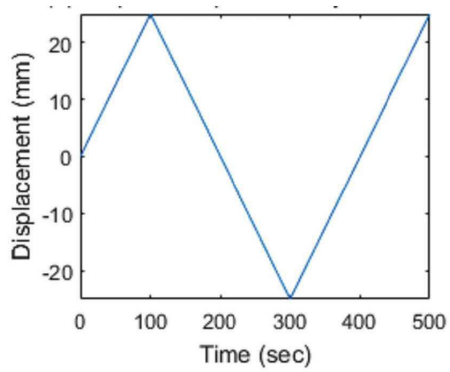


도면6



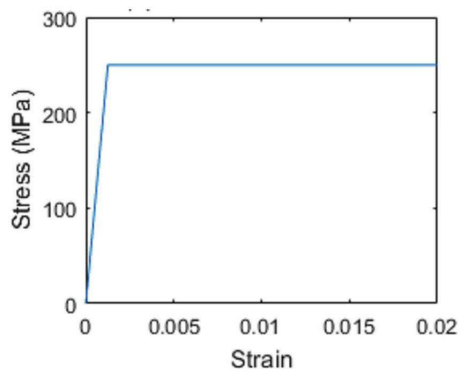
Stress distribution

도면7



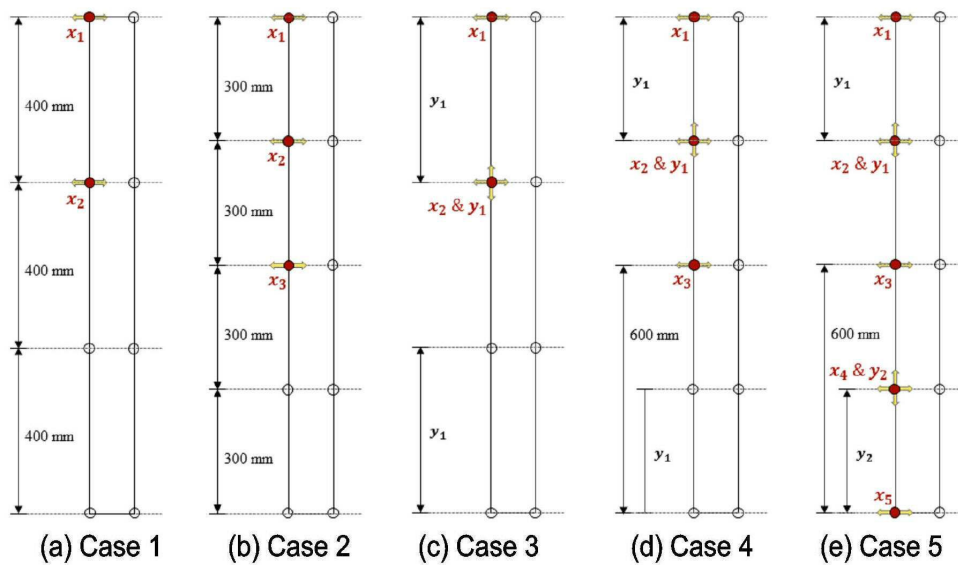
Amplitude input

도면8

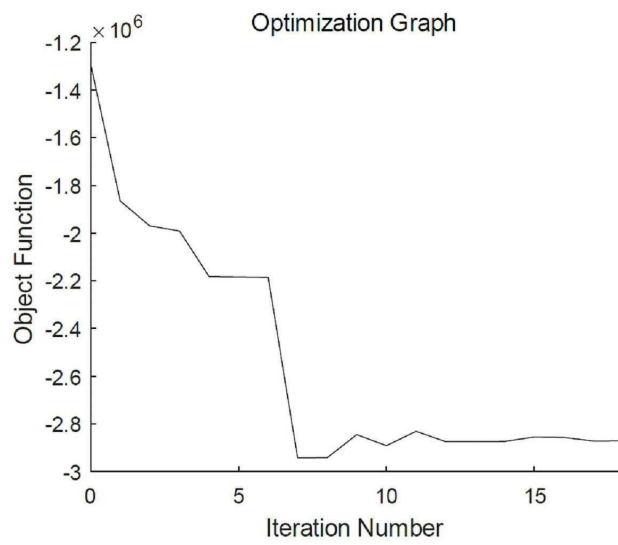


Stress-Strain curve

도면9

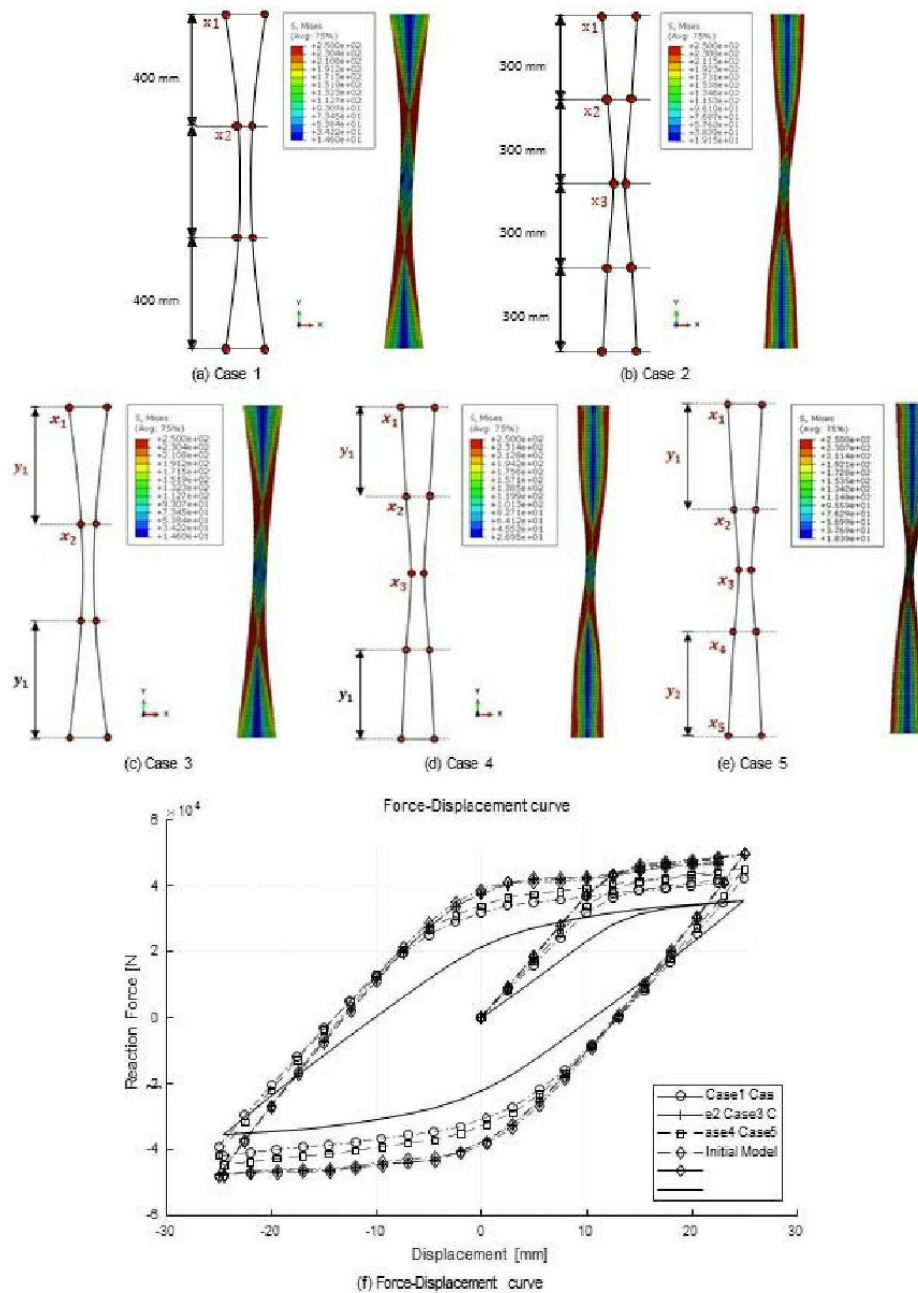


도면10



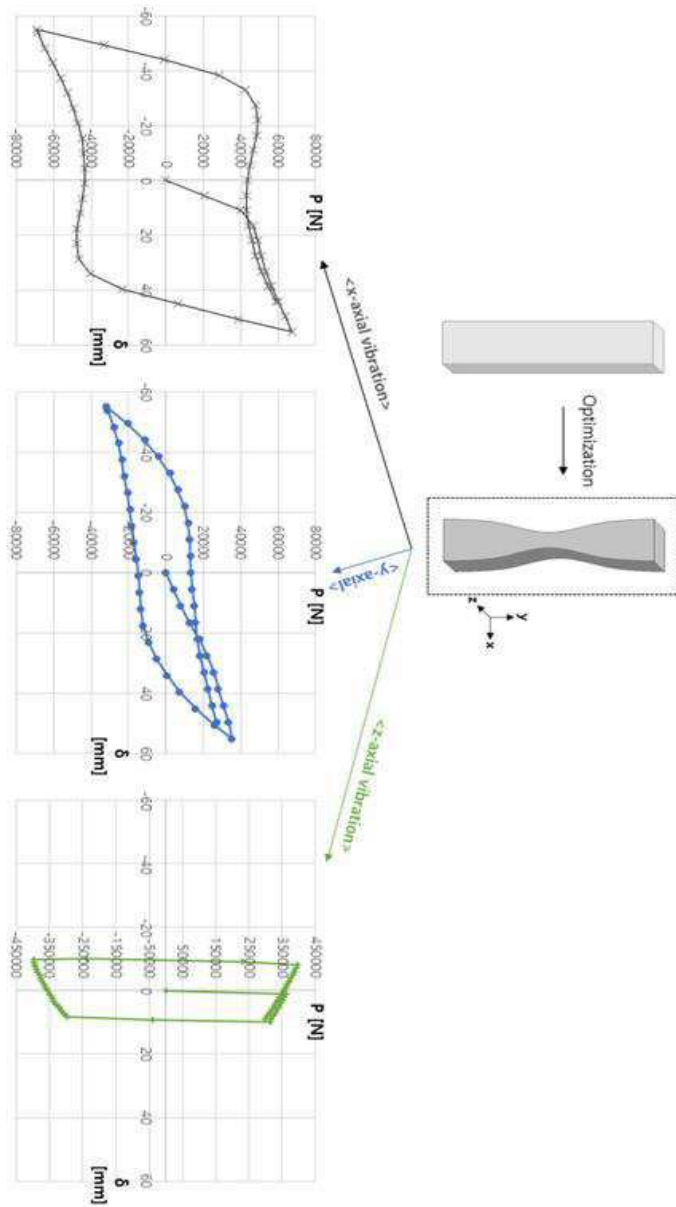
Optimization history curve of Case 5.

도면11



Location of horizontal variables, shape and stress distribution of optimized models and force-displacement curve

도면12





도면13

