



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0055845
(43) 공개일자 2020년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01L 5/10 (2020.01) G01L 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01L 5/10 (2013.01)
G01L 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0138681
(22) 출원일자 2018년11월13일
심사청구일자 2018년11월13일

(71) 출원인
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동,
부경대학교)
(72) 발명자
김정태
부산광역시 남구 오륙도로 85, 112동 2604호(용호
동, 오륙도 에스케이뷰 아파트)
류주영
부산광역시 부산진구 전포대로171번길 12, B동
1304호(전포동, 서면세종그랑시아)
후인탄칸
베트남, 다낭 550000, 하이쩌우, 쿠앙트링 03, 두
이탄 대학교 연구개발연구소 건설, 기계, 재료센
터
(74) 대리인
김정수

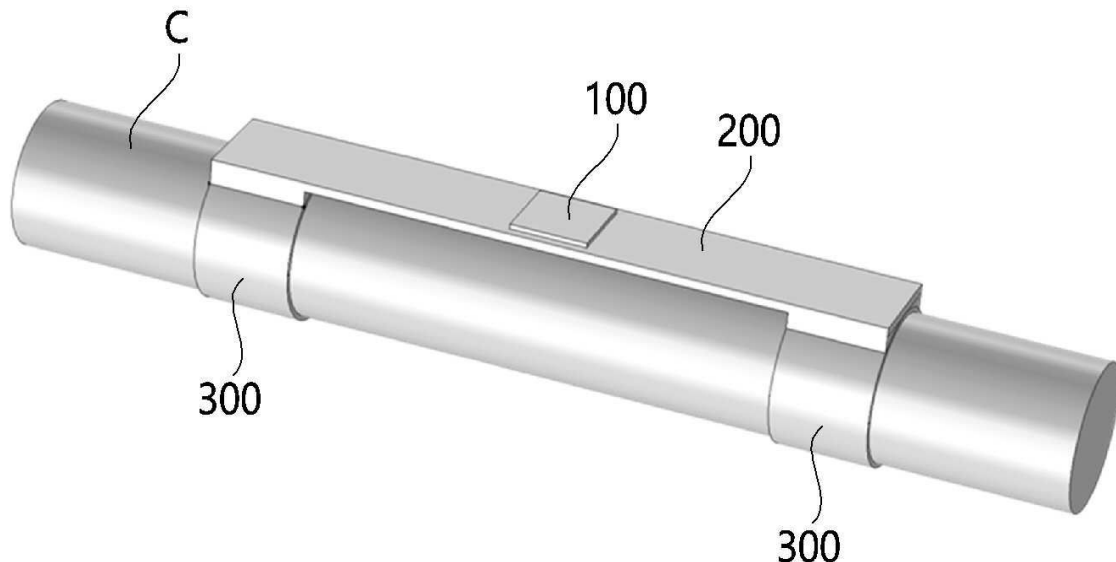
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치 및 케이블 장력의 현장계측 방법

(57) 요약

본 발명은 교량 등에 설치되는 케이블의 장력 변화를 모니터링하기 케이블 장력 변화 추정 장치 및 케이블 장력의 현장계측 방법에 관한 것으로, 미리 설정된 고유진동수를 갖는 진동판을 통해 케이블의 장력 변화를 추정하는 기술적 특징을 갖는다. 구체적으로, 본 발명의 케이블 장력 변화 추정 장치는 압전소자, 상기 압전소자에 연결되
(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



며 설정된 고유진동수를 갖는 진동판 및 상기 진동판의 양 단에 구비되며 케이블에 고정 가능한 한 쌍의 고정구를 포함하고, 상기 압전소자는, 상기 케이블의 장력 변화 시 발생하는 상기 진동판의 고유진동수 변화를 측정한다. 또한, 본 발명에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법은 압전소자를 이용하여 케이블의 장력을 추정하는 케이블 장력의 현장계측 방법에 있어서, 상기 압전소자와 연결된 진동판을 케이블에 고정시키는 고정단계 및 상기 케이블의 장력 변화에 따른 상기 진동판의 변화된 고유진동수(f')에 대응하는 임피던스 응답(Z')을 측정하여 상기 케이블의 장력 변화를 산출하는 산출단계를 포함한다.

위와 같은 구성을 갖는 본 발명은 제원이나 장력에 따라 달라지는 케이블의 진동특성 측정을 요하지 아니하므로 별도의 가진기 등의 장비가 필요치 않고 설치가 용이하며 신뢰성 있는 장력 변화의 모니터링이 가능한 장점이 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 18CTAP-C142999-01

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토도로교통촉진연구사업

연구과제명 PSC 구조물의 다중 PS 강연선과 정착부의 파손감지에 적합한 웨어러블 압전센서 장치 기술의 개발 및 활용 성능 검증

기 여 율 1/1

주관기관 부경대학교

연구기간 2018.04.17 ~ 2018.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

압전소자;

상기 압전소자에 연결되며 설정된 고유진동수를 갖는 진동판; 및

상기 진동판의 양 단에 구비되며 케이블에 고정 가능한 한 쌍의 고정구;를 포함하고,

상기 압전소자는,

상기 케이블의 장력 변화 시 발생하는 상기 진동판의 고유진동수 변화를 측정하는 것을 특징으로 하는 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 압전소자는 PZT(lead zirconate titanate)인 것을 특징으로 하는 케이블 장력 변화 추정 장치.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 압전소자에 연결되며 상기 압전소자로부터 상기 진동판의 고유진동수 변화에 대한 정보를 입력받아 상기 케이블의 장력 변화를 산출하는 제어부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력 변화 추정 장치.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 한 쌍의 고정구는 상기 진동판에 고정되고 케이블에 부착되어 상기 케이블의 장력 변화를 상기 진동판으로 전달 가능한 것을 특징으로 하는 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치.

청구항 5

압전소자를 이용하여 케이블의 장력을 추정하는 케이블 장력의 현장계측 방법에 있어서,

상기 압전소자와 연결된 진동판을 케이블에 고정시키는 고정단계; 및

상기 케이블의 장력 변화에 따른 상기 진동판의 변화된 고유진동수(f')에 대응하는 임피던스 응답(Z')을 측정하여 상기 케이블의 장력 변화를 산출하는 산출단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력의 현장계측 방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 산출단계는,

상기 케이블의 장력 변화에 대응하는 진동판의 임피던스 응답(Z')을 상기 압전소자를 이용하여 측정하는 측정공

정; 및

상기 측정공정에서 측정된 임피던스 응답(Z')을 기반으로 설정된 수학적식을 이용하여 상기 케이블의 장력 변화를 산출하는 장력계산공정;을 포함하는 것을 특징으로 하는 케이블 장력의 현장계측 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치 및 케이블 장력의 현장계측 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 교량에 설치된 케이블에 고정되어 케이블의 장력 변화에 따라 발생하는 고유진동수의 변화를 압전소자를 통해 측정하여 케이블의 장력 변화를 추정하는 케이블 장력 변화 추정 장치 및 현장계측 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 사장교 등 교량에 이용되는 케이블은 차량하중, 풍하중, 온도변화 등의 다양한 하중조건을 받게 된다. 케이블은 교량의 상판에 작용하는 하중을 주탑에 전달하는데, 교량 등 구조물의 사용 중 케이블의 설계 장력을 유지하는 것은 안전성 측면에서 매우 중요한 사항이다. 이러한 케이블 구조의 안전성 유지를 위하여 케이블의 장력은 필수적으로 모니터링이 수행되어야 한다.

[0003] 종래에는 케이블 장력의 모니터링을 위하여 로드셀이나 스트레인 게이지를 이용한 정적인 측정방법을 사용하였으나 유지관리 측면에서 유용하게 사용할 수 없다는 단점이 지적되어 왔고, 최근에는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고유진동수를 이용한 동적인 측정방법을 사용하고 있다.

[0004] 종래기술로 대한민국 등록특허 제10-0343279호에서는 케이블의 동적 특성을 이용한 교량 케이블의 장력 측정방법이 개시된다. 상기 등록특허에서는 케이블에 가속도계를 장착하여 케이블의 진동가속도를 측정하고, 가속도계에서 측정된 케이블의 진동가속도 신호를 증폭기와 저역통과필터, 변환기 등으로 전송하여 케이블의 진동가속도를 진폭 스펙트럼으로 전개한 후 케이블의 중량, 직경, 길이 등의 특성치를 적용하여 케이블의 고유진동수를 결정한다.

[0005] 그러나, 위와 같은 구조에서는 케이블의 진동응답을 측정하기 위하여 별도의 가진 장비를 이용할 필요가 있으며, 대상 케이블의 제원이나 장력 상태에 따라 고유진동수가 달라지므로 별도의 현장 계측이나 측정주파수 대역을 조절해야 하는 불편함이 있다.

[0006] 케이블의 장력 모니터링에 있어서 케이블의 고유진동수나 진동특성을 현장에서 측정함에 따른 불편함을 해결하기 위한 새로운 접근 방법이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0007] (특허문헌 0001) (문헌 0001) 한국등록특허 제10-0343279호(등록일:02.06.24.)
(특허문헌 0002) (문헌 0002) 한국등록특허 제10-0577349호(등록일:06.04.28.)
(특허문헌 0003) (문헌 0002) 한국등록특허 제10-1359416호(등록일:14.01.29.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 위와 같은 점을 감안하여 발명된 본 발명의 목적은 케이블의 장력 변화를 추정하는데 있어서 다양한 제원과 장력을 갖는 케이블 자체의 고유진동수를 측정함에 따른 불편함을 해결한 케이블 장력 변화 추정 장치 및 케이블 장력의 현장계측 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 또한, 본 발명의 다른 하나의 목적은 사용이 편리하고 신뢰성 있는 케이블의 장력 변화 추정이 가능한 장치 및 현장계측 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0010] 상기 목적 달성을 위한 본 발명에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치는 압전소자, 압전소자에 연결되며 설정된 고유진동수를 갖는 진동판 및 진동판의 양 단에 구비되며 케이블에 고정 가능한 한 쌍의 고정구를 포함하고, 압전소자는, 케이블의 장력 변화 시 발생하는 진동판의 고유진동수 변화를 측정한다.
- [0011] 또한, 압전소자는 PZT(lead zirconate titanate)일 수 있다.
- [0012] 또한, 압전소자에 연결되며 압전소자로부터 진동판의 고유진동수 변화에 대한 정보를 입력받아 케이블의 장력 변화를 산출하는 제어부를 더 포함할 수 있다.
- [0013] 또한, 한 쌍의 고정구는 진동판에 고정되고 케이블에 부착되어 케이블의 장력 변화를 진동판으로 전달할 수 있다.
- [0014] 본 발명에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법은 압전소자를 이용하여 케이블의 장력을 추정하는 케이블 장력의 현장계측 방법에 있어서, 압전소자와 연결된 진동판을 케이블에 고정시키는 고정단계 및 케이블의 장력 변화에 따른 진동판의 변화된 고유진동수(f')에 대응하는 임피던스 응답(Z')을 측정하여 케이블의 장력 변화를 산출하는 산출단계를 포함한다.
- [0015] 또한, 산출단계는, 케이블의 장력 변화에 대응하는 진동판의 임피던스 응답(Z')을 압전소자를 이용하여 측정하는 측정과정 및 측정과정에서 측정된 임피던스 응답(Z')을 기반으로 설정된 수학적식을 이용하여 케이블의 장력 변화를 산출하는 장력계산공정을 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면 케이블의 장력 변화를 추정하기 위하여 케이블 자체의 진동특성 측정을 요하지 아니하므로 별도의 가진기 등의 장비가 필요치 않고 설치가 용이하며 경제적인 장점이 있다.
- [0017] 또한, 진동판의 고유진동수와 측정주파수의 대역을 미리 설정할 수 있어 작업이 단순화되고, 신뢰성 있는 케이블 장력 변화를 모니터링할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치를 나타낸 사시도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치와 케이블의 결합 상태를 나타낸 결합사시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 진동판과 압전소자를 나타내는 개념도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블의 장력 변화에 대응되는 진동판의 고유진동수 변화를 나타낸 개념도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치를 모델화하여 수행된 유한요소해석 시험결과를 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법을 나타낸 순서도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 산출단계를 나타낸 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다.
- [0020] 본 발명의 개념에 따른 실시예는 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 특정 실시예들을 도면에 예시하고 본 명세서 또는 출원에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나 이는 본 발명의 개념에 따른 실시예를 특정한 개시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0021] 본 명세서에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도

가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

- [0022] 이하, 본 발명을 상세히 설명하도록 한다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치를 나타낸 사시도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치와 케이블(C)의 결합 상태를 나타낸 결합사시도이다.
- [0024] 도 1 및 도 2를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치는 압전소자(100), 상기 압전소자(100)에 연결되며 설정된 고유진동수를 갖는 진동판(200) 및 상기 진동판(200)의 양단에 구비되며 케이블(C)에 고정 가능한 한 쌍의 고정구(300)를 포함한다.
- [0025] 본 발명의 전체 구조를 설명하면, 한 쌍의 고정구(300)와 연결된 케이블(C)의 장력 변화에 따라 진동판(200)의 고유진동수가 변화하게 되고, 변화된 고유진동수에 대응하는 임피던스 응답을 압전소자(100)가 측정하여 상기 케이블(C)의 장력 변화를 추정한다. 본 발명에서는 미리 설정된 고유진동수를 갖는 진동판(200)을 이용하므로 케이블(C) 자체의 고유진동수를 측정할 필요가 없어 별도의 가진기 등이 요구되지 않으며, 현장에서 설치가 용이하고 케이블(C)의 장력 변화의 추정 과정을 단순화시킬 수 있는 장점이 있다.
- [0026] 본 발명의 압전소자(100)는 전압이 인가되면 변형이 발생하며, 반대로 변형이 작용되면 전압이 발생된다. 본 발명에서 상기 압전소자(100)는 PZT(lead zirconate titanate)일 수 있다.
- [0027] 본 발명의 진동판(200)은 상기 압전소자(100)에 연결되며 설정된 고유진동수를 갖는다. 상기 케이블(C)에 연결된 진동판(200)은 케이블(C)의 장력 변화 시 고유진동수가 변화된다. 본 발명의 일 실시예에서 상기 진동판(200)은 얇은 직사각형의 판 형상을 가지며 상기 케이블(C)과 일체화될 수 있다. 이 경우 상기 진동판(200)의 일측 면은 케이블(C)을 마주보도록 배치되고 타측 면에는 상기 압전소자(100)가 결합될 수 있다. 상기 압전소자(100)는 상기 진동판(200)의 중앙부에 위치되는 것이 바람직하고, 상기 진동판(200)의 외측으로 돌출되도록 부착되어 진동판(200)의 물성에 영향을 주지 않는 것이 더욱 바람직하다.
- [0028] 상기 한 쌍의 고정구(300)는 상기 진동판(200)의 양단에 각각 구비되며, 상기 진동판(200)과 압전소자(100)를 케이블(C)에 고정시킨다. 상기 한 쌍의 고정구(300)는 상기 진동판(200)에 고정되고 케이블(C)에 부착되어 상기 케이블(C)의 장력 변화를 상기 진동판(200)으로 전달 가능한 것이 바람직하다. 예를 들어, 상기 고정구(300)는 상기 진동판(200)과 일체로 형성된 링 형상으로, 링 형상의 내부에 케이블(C)이 삽입되고 케이블(C)의 둘레에 부착되거나 케이블(C)의 둘레를 가압하면서 진동판(200)과 케이블(C)을 고정시킬 수 있다. 링 형상을 갖는 고정구(300)는 상기 케이블(C)의 장력에 직접적인 영향을 최소화하므로 정밀한 장력 측정에 유리하다.
- [0029] 상기 고정구(300)는 일측이 개폐되면서 케이블(C)을 착탈할 수 있는 클램프 형상을 가질 수 있으며, 상기 고정구(300)의 내측에는 내측 둘레를 따라 구비되어 상기 케이블(C)과의 밀착력이 증대되도록 고무 등의 소재로 형성된 밀착부재가 부착될 수 있다. 다만, 이 경우에도 상기 고정구(300)를 통해 진동판(200)에 전달되는 케이블(C)의 장력변화에 영향을 최소화하는 것이 바람직하다.
- [0030] 본 발명의 일 실시예에서 상기 압전소자(100)에 연결되며 상기 압전소자(100)로부터 상기 진동판(200)의 고유진동수 변화에 대한 정보를 입력받아 상기 케이블(C)의 장력 변화를 산출하는 제어부(400)(미도시)를 더 포함할 수 있다.
- [0031] 상기 제어부(400)는 상기 압전소자(100)와 무선 또는 유선으로 연결되며 상기 압전소자(100)로부터 신호를 전달받아 설정된 계산식에 의해 상기 케이블(C)의 장력 변화를 산출한다. 예를 들어, 상기 제어부(400)는 설정된 알고리즘을 수행하는 컴퓨터프로그램일 수 있다. 상기 제어부(400)에서 수행되는 알고리즘은 후술하는 수학적 1 내지 수학적 6 중에서 선택되어지는 하나 이상의 수학적식이 적용될 수 있다.
- [0032] 이하, 본 발명에 따른 케이블(C)의 장력 측정에 대한 원리를 설명한다.
- [0033] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 진동판(200)과 압전소자(100)를 나타내는 개념도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블(C)의 장력 변화에 대응되는 진동판(200)의 고유진동수 변화를 나타낸 개념도이다.
- [0034] 도 3의 (a)는 케이블(C)과 진동판(200)에 작용하는 하중을 나타내며, 도 3의 (b)는 고정구(300)를 통해 케이블

(C)과 고정된 진동판(200)을 단순화시킨 개념을 나타낸다. 본 발명에서 케이블(C)과 연결된 진동판(200)은 도 3의 (a) 및 도 3의 (b)에 도시된 바와 같이 고정구(300)에 의해 케이블(C)에 고정된 상태이므로 양단이 고정된 보로 단순화될 수 있다.

상기 진동판(200)은 설정된 물성을 가질 수 있는데, 상기 진동판(200)의 탄성계수(E_i), 단면적(A_i), 중량(M_i)을 이용하여 고유진동수(f_n)를 산출할 수 있다.

<수학식 1>

$$\frac{\partial^4 v(x, t)}{\partial x^4} - \frac{T}{E_i I_i} \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial x^2} + \frac{m_i}{E_i I_i} \frac{\partial^2 v(x, t)}{\partial t^2} = 0$$

수학식 1은 축하중(T)을 받는 진동판(200)의 지배미분방정식을 나타내며, 여기서 E_i 는 진동판(200)의 탄성계수, A_i 는 진동판(200)의 단면적, M_i 는 진동판(200)의 단위면적당 질량, I_i 는 진동판(200)의 관성모멘트이다.

<수학식 2>

$$f_n = \frac{C_n}{2\pi L_i^2} \sqrt{1 + \frac{T L_i^2}{4 E_i I_i \pi^2 C_n}} \sqrt{\frac{E_i I_i}{m_i}}$$

수학식 2는 진동판(200)의 고유진동수(f_n)를 구하는 계산식으로, L_i 는 한 쌍의 고정구(300) 사이의 진동판(200) 길이를 나타내고, C_n 은 n차 모드의 무차원 주파수이며, 그 값은 표 1과 같다.

표 1

<n차 모드의 주파수 값>

n	C_n
1	22.3733
2	61.6728
3	120.9034
4	199.8594
5	298.5555

수학식 2를 통해 구해진 진동판(200)의 고유진동수(f_n)는 상기 케이블(C)의 장력 변화에 따라 변화되는데, 구체적으로 도 4에 도시된 바와 같이 케이블(C)에 작용하는 장력(F)이 F'로 변하는 경우 진동판(200)에 작용하는 축하중(T)은 T'로 변화된다. 진동판(200)에 작용하는 축하중 변화는 고유진동수(f_n)를 f_n' 으로 변화시킨다.

<수학식 3>

$$\Delta T = \frac{16 m_i \pi^4 L_i^2}{C_1 C_n} \Delta(f_n^2)$$

진동판(200)에 작용하는 축하중의 변화량(T-T')을 ΔT 라 하면, ΔT 에 대한 고유진동수의 변화량 $\Delta(f_n^2)$ 은 수학식 3으로부터 구해진다.

<수학식 4>

$$\Delta F = \frac{E_c A_c}{E_i A_i} \Delta T$$

케이블(C)과 진동판(200)이 완전히 고정되어 그 변형률이 같다고 가정하면 케이블(C)의 장력 변화량 ΔF 는 수학

식 4를 통하여 구할 수 있다. 여기서, E_c 는 케이블(C)의 탄성계수, A_c 는 케이블(C)의 단면적을 의미한다.

<수학식 5>

$$\Delta F = \frac{E_c A_c}{E_i A_i} \frac{16 m_i \pi^4 L_i^2}{C_1 C_n} \Delta(f_n^2)$$

수학식 3에 수학식 4를 대입하면 케이블(C)에 작용하는 장력 변화량은 수학식 5로부터 구해진다.

<수학식 6>

$$\Delta F = \frac{E_c A_c}{E_i A_i} \frac{16 m_i \pi^4 L^2}{C_1 C_n} \frac{1}{NM} \sum_{n=1}^{NM} \Delta(f_n^2)$$

여기서 L은 케이블(C)의 길이, NM은 진동판(200)의 진동 모드를 의미한다. 진동판(200)의 진동모드를 고려하면 수학식 5는 수학식 6으로 나타낼 수 있다. 위와 같이 유도된 수학식 6을 이용하여 진동판(200)의 고유진동수로부터 케이블(C)에 작용하는 장력의 변화를 추정할 수 있다. 또한, 진동판(200)의 고유진동수는 압전소자(100)로부터 측정된 임피던스 응답으로부터 구해진다.

이하, 본 발명에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치의 신뢰성을 검토하기 위하여 수행된 유한 요소해석을 설명한다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치를 모델화하여 수행된 유한 요소해석 시험결과를 나타내는 그래프이다.

도 5를 참고하면, 사전에 지정된 주파수 대역에 대한 진동판(200)의 진동특성을 분석하기 위하여 진동판(200)과 압전소자(100) 및 한 쌍의 고정구(300)를 모델화하고, 한 쌍의 고정구(300)의 안쪽 면에 자유도를 구속하여 변위가 발생되지 않도록 하였다.

모델화된 진동판(200)의 물성은 표 2, 모델화된 압전소자(100)의 물성은 표 3과 같다.

표 2

<모델화된 진동판의 물성>

Elastic Modulus (GPa)	Mass Density (kg/m ³)	Poisson's ratio, ν	Damping loss factor, η
200	7,850	0.3	0.02

표 3

<모델화된 압전소자의 물성>

Young Modulus Y_{11}^E (N/m ²)	Mass Density ρ (kg/m ³)	Coupling Constant d_{31} (m/V)	Dielectric Constant ϵ_{33}^T (Farads/m)
6.1×10^{10}	7,650	-1.71×10^{-10}	1.53×10^{-8}

위와 같은 물성을 갖는 모델화된 진동판(200)과 압전소자(100)는 자유진동해석을 통해 초기 9개 모드에 대한 진동특성을 추출하였으며, 각 모드에 대한 고유진동수와 모드 형상은 도 5에 도시된 바와 같다.

실제 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치의 진동판(200)의 진동특성은 압전소자(100)로부터 측정되는 임피던스의 응답으로부터 추출되는 점을 고려하여 유한요소모델에 대하여 임피던스 해석을 수행하였고, 케이블(C)의 장력 변화 조건을 재현하기 위하여 모델화된 진동판(200)에 축하중(F)을 적용하고, 축하중의 크기 변화(ΔF)를 5단계로 변화시키면서 해석을 수행하였다. 하중의 크기 변화 단계는 표 4에 기재된 바와 같다.

표 4

<진동판에 가해진 축하중 크기 변화>

Case	Inflicted cable force	
	F(kN)	ΔF (kN)
F1	9.81	0
F2	19.62	9.81
F3	29.43	19.62
F4	39.24	29.43
F5	49.05	39.24

- [0064] Case F1인 경우 진동판(200)의 진동모드별로 피크 주파수가 각각 2.25 kHz, 11.78 kHz, 28.61 kHz로 관찰되었다. 상기 관찰된 피크 주파수를 이용하여 상기 수학식 6으로부터 케이블(C)의 장력을 추정하였다. 이를 실제 케이블(C)의 장력 변화량과 비교한 결과 오차율 5 내지 8%의 범위 내에서 정확하게 장력 변화가 추정되는 것을 알 수 있다.
- [0065] 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치는 진동판(200)의 미리 설정된 고유진동수 변화로부터 케이블(C)의 장력 변화를 산출하므로 구조가 단순하고 설치와 유지관리 측면에서 비용이 절감되는 효과가 있다. 또한, 유한요소해석을 통해 검토한 바와 같이 체계적이고 신뢰성 있는 케이블(C)의 장력 변화 추정이 가능한 장점이 있다.
- [0066] 이하, 본 발명에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법을 설명한다.
- [0067] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법을 나타낸 순서도이고, 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 산출단계를 나타낸 순서도이다.
- [0068] 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법은 압전소자(100)를 이용하여 케이블(C)의 장력을 추정하는 케이블 장력의 현장계측 방법에 있어서, 상기 압전소자(100)와 연결된 진동판(200)을 케이블(C)에 고정시키는 고정단계 및 상기 케이블(C)의 장력 변화에 따른 상기 진동판(200)의 변화된 고유진동수(f')에 대응하는 임피던스 응답(Z')을 측정하여 상기 케이블(C)의 장력 변화를 산출하는 산출단계를 포함한다.
- [0069] 본 발명에 따른 케이블 장력의 현장계측 방법에서 이용되는 압전소자(100) 및/또는 진동판(200)은 상술한 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치에서 설명한 압전소자(100)와 진동판(200)과 동일한 객체일 수 있다.
- [0070] 상기 고정단계는 미리 설정된 고유주파수(f)를 갖는 진동판(200)과, 진동판(200)의 임피던스 응답을 측정 가능한 압전소자(100)를 케이블(C)에 고정시키는 단계로, 상기 고정단계에서 케이블(C)과 진동판(200)의 고정은 상술한 압전소자를 이용한 케이블 장력 변화 추정 장치의 고정구(300)를 이용할 수 있다. 상기 고정단계에서 케이블(C) 자체의 물성에 영향을 끼치는 것을 최소화하도록 케이블(C)의 외측 둘레를 고정구(300)로 감싸도록 고정시키는 것이 바람직하다. 또한, 상기 고정단계에서 고정되는 진동판(200)은 미리 설정된 고유진동수(f)와 상기 고유진동수에 대응하는 임피던스 응답(Z)의 피크(peak) 등이 식별되어진 상태인 것이 바람직하다.
- [0071] 상기 산출단계는 상기 고정단계에서 케이블(C)에 고정된 진동판(200)의 고유진동수 변화에 따른 임피던스 응답(Z')을 압전소자(100)를 통해 측정하여 케이블(C)의 장력을 추정하는 단계로, 케이블(C)의 장력 변화 시 변화되는 진동판(200)의 고유진동수로부터 설정된 계산식에 의해 케이블(C)의 장력 변화를 추정한다.
- [0072] 구체적으로 본 발명의 일 실시예에서 상기 산출단계는, 상기 케이블(C)의 장력 변화에 대응하는 진동판(200)의 임피던스 응답(Z')을 상기 압전소자(100)를 이용하여 측정하는 측정공정 및 상기 측정공정에서 측정된 임피던스 응답(Z')을 기반으로 설정된 수학식을 이용하여 상기 케이블(C)의 장력 변화를 산출하는 장력계산공정을 포함할 수 있다.
- [0073] 상기 산출단계는 상기 장력계산공정에서 상술한 수학식 1 내지 수학식 6 중에서 선택되어지는 어느 하나 이상의 수학식이 이용될 수 있으며, 상기 수학식을 통한 케이블(C) 장력 변화의 산출은 상술한 제어부(400)를 통해 수행될 수 있다. 예를 들어, 상기 장력계산공정은 상기 제어부(400)에서 상기 수학식 6을 통해 진동판(200)의 고유진동수 변화량($\Delta(f_n^2)$)으로부터 케이블(C)의 장력 변화를 산출할 수 있다.

[0075] 위와 같은 순서로 이루어지는 본 발명에 따르면 케이블(C)의 장력 변화를 모니터링하는데 있어서 설치가 간편하고 오차범위 5 내지 8%의 신뢰성 있는 케이블(C)의 장력 변화의 추정이 가능한 장점이 있다.

부호의 설명

[0076] 100 : 압전소자

200 : 진동판

300 : 고정구

400 : 제어부

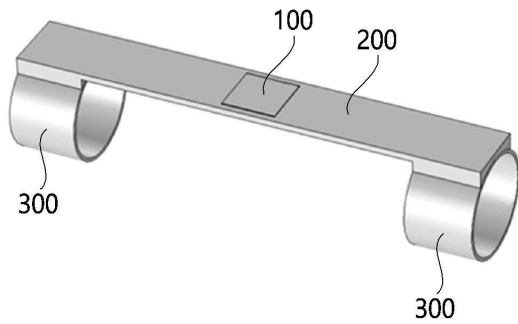
C : 케이블

S100 : 고정단계 S200 : 산출단계

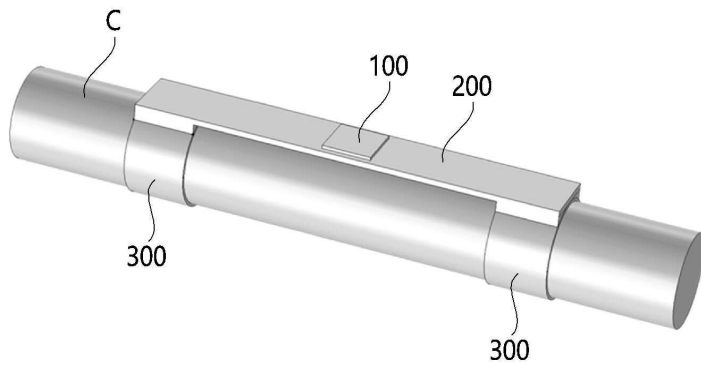
S210 : 측정공정 S220 : 장력계산공정

도면

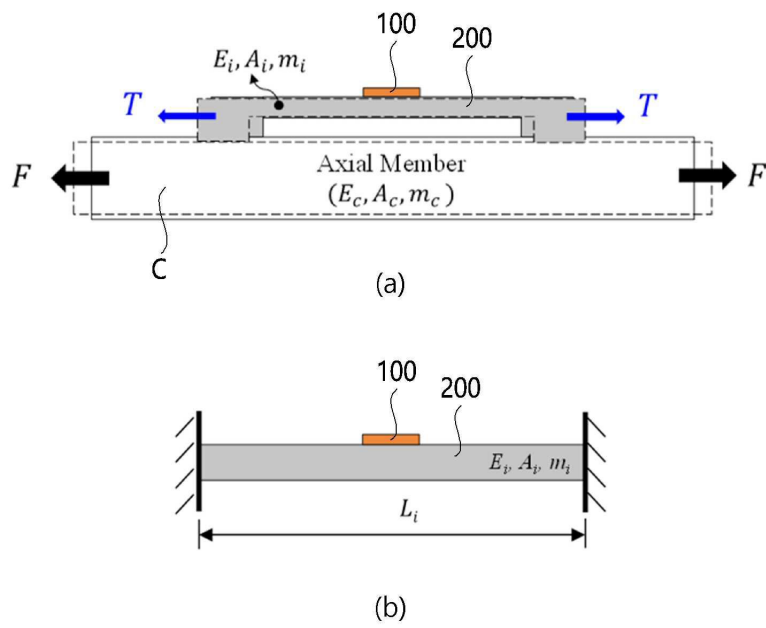
도면1



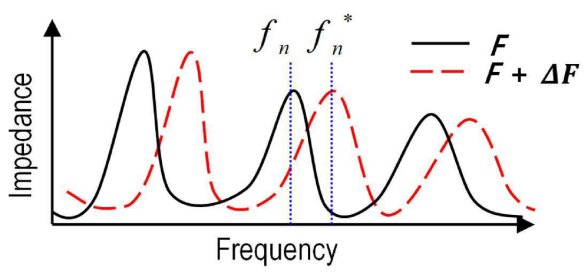
도면2



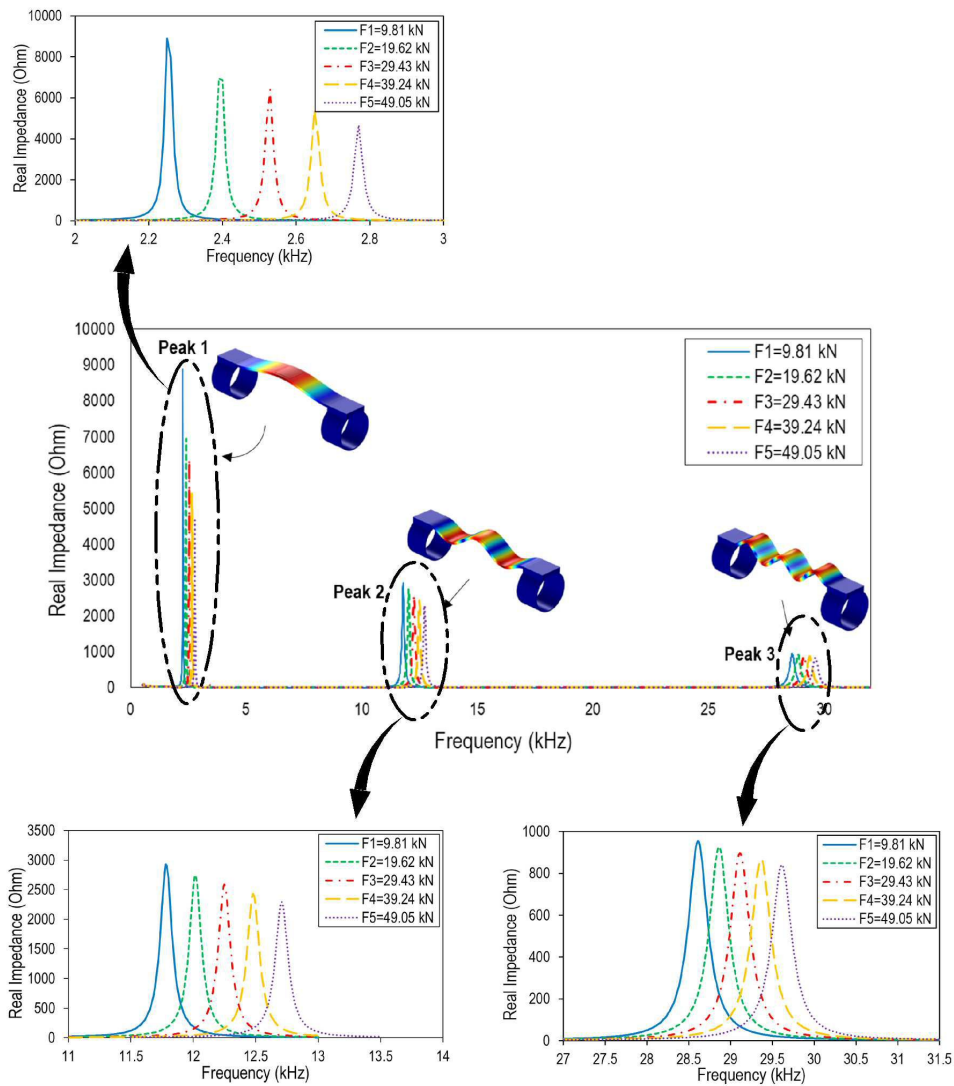
도면3



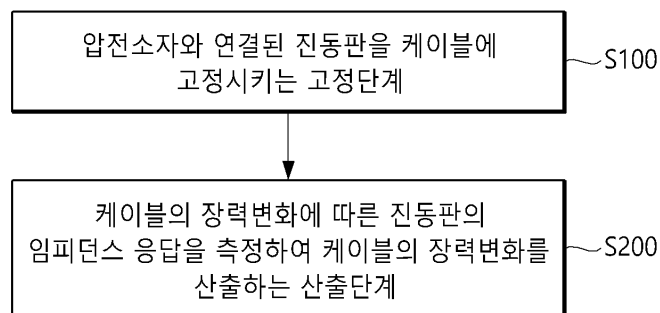
도면4



도면5



도면6



도면7

