



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0095759  
(43) 공개일자 2011년08월25일

(51) Int. Cl.

G01H 15/00 (2006.01) G01H 17/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2010-0015404

(22) 출원일자 2010년02월19일

심사청구일자 2010년02월19일

(71) 출원인

부경대학교 산학협력단

부산 남구 용당동 산 100번지 부경대학교내

(72) 발명자

김정태

부산광역시 남구 용호1동 LG메트로시티1차아파트  
118동 104호

박재형

부산광역시 동래구 수안동 새동래아파트 다동 21  
0호

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 임피던스 측정 주파수 조절을 위한 인터페이스와서

### (57) 요약

(가) 기술분야 (30자 내외)

본 기술은 구조물의 임피던스 측정 시 간접적으로 구조물의 임피던스 응답을 측정하기 위한 매개체에 대한 기술이다.

(나) 해결하고자 하는 과제 (80자 내외)

무선 임피던스 센서노드의 적용시 주로 발생하는 문제로써 구조물의 임피던스 응답 계측시 보유 중인 임피던스 신호 분석 장비의 측정 가능한 주파수 범위가 제한적일 경우 임피던스 응답을 이용한 구조물의 손상 모니터링이 어렵다.

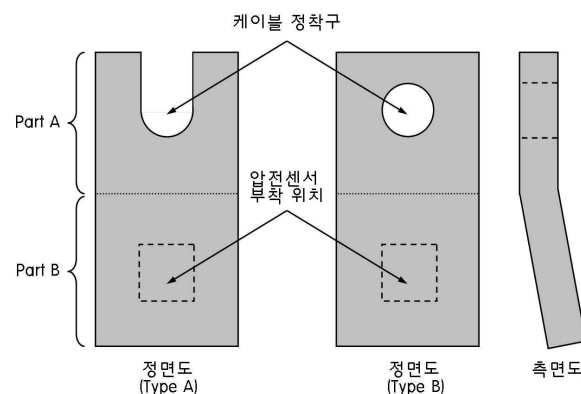
(다) 과제의 해결수단 (250자 내외)

구조물의 임피던스 응답을 간접적으로 측정하기 위하여 볼트체결에 사용되는 와서의 형태를 변화시킨 것으로써 케이블 정착구가 있는 직사각형 형태의 금속판(인터페이스 와서)을 제작한다. 이때 인터페이스 와서를 금속판을 구부려서 센서 부착 영역이 케이블 정착판에 닿지 않도록 한다. 구조 케이블의 장력 모니터링을 위해 인터페이스 와서를 정착부의 정착판과 첩기 사이에 설치한다. 설치된 인터페이스 와서에 압전센서를 부착하여 임피던스 응답을 측정한다.

(라) 효과 등 (50자 내외))

인터페이스 와서를 사용함에 따라 제한적인 주파수 측정범위 조건하에서도 구조용 케이블의 장력 모니터링을 가능하도록 한다

대 표 도 - 도2



(72) 발명자

**홍동수**

울산광역시 동구 방어동 1051-11번지 궁전빌라2차  
302호

**이소영**

부산광역시 해운대구 반여4동 일동아파트 103동  
1003호

---

## 특허청구의 범위

### 청구항 1

인터페이스 와서의 설치 위치 : 인터페이스 와서를 앵커 플레이트와 썬기 사이에 설치하여 인터페이스 와서의 임피던스 응답에 케이블의 장력 감소에 의한 영향을 간접적으로 측정할 수 있도록 한 것

### 청구항 2

인터페이스 와서의 형상 1 : 볼트 체결에 사용되는 와서를 변형시킨 형태로서 와서의 형상을 변형시켜 압전센서의 부착이 가능하도록 와서의 외경 형상을 변형 시킨 것

### 청구항 3

인터페이스 와서의 형상 2 : 도 2의 측면도와 같이 인터페이스 와서의 센서 부착위치가 정착판에 닿지 않도록 각을 주어 인터페이스 와서를 구부린 형상

### 청구항 4

인터페이스 와서의 정착구 형상 : 도 12와 같이 U자형의 홈을 파서 인터페이스 와서의 설치 및 제거가 쉽도록 한 것

## 명세서

### 기술분야

[0001] 본 기술은 구조물의 임피던스 측정시 구조물의 임피던스 응답을 간접적으로 측정하기 위한 매개체에 관한 것으로서, 임피던스 계측 장비의 임피던스 계측 주파수 범위와 구조물의 임피던스 응답의 특징 주파수 범위가 불일치할 때, 그 특징 주파수를 조절해주는 기술이다.

### 배경기술

[0002] \* 구조물의 건전성 모니터링

[0003] 1970년대 이후 세계적으로 구조물의 건전성 모니터링(structural health monitoring) 기술과 관련하여 다양한 연구와 기술 개발 및 적용이 이루어져 왔다. 정적 변위 및 정적 변형률 등 구조물의 정적 응답을 계측하여 구조물의 특성을 탐색하는 기법의 경우, 구조물에 큰 하중을 가하여 변위나 변형률을 측정하는데 이때의 하중의 크기를 알고 있는 경우 적용이 가능하다는 문제점이 있다. 또한, 구조물의 동적 응답으로부터 구조물의 특성을 탐색하는 기법은 주로 바람, 차량 등에 의해 구조물에 발생하는 상시진동으로부터 추출한 저차 모드를 이용하는데 초기 균열과 같은 국부적인 손상을 감지하는 것은 어렵다. 또한, 구조물 전체의 정적 또는 동적 응답을 통해 손상을 탐지하는 기법은 우선 구조물과 유사한 거동을 하는 해석 모델이 필요하며, 비교적 많은 계측 점의 데이터가 필요하고 일반적으로 계측 데이터가 손상에 민감하지 못한 문제점이 있다. 이에 따라 많은 연구자에 의해 인공 신경망 기법 등을 패턴 인식 기법과 결합하여 손상을 예측하고자하는 연구가 수행되었다.

[0004] 기존의 SHM 기법은 정적 응력이나 변형률, 변위, 저차 진동모드 등을 이용하였으나, 최근 광섬유센서와 압전 센서(Piezoelectric Sensor), 미세전자제어(micro electro mechanical systems; MEMS) 센서, 무선 센서 등의 기술이 많은 관심을 받고 있으며 이들을 이용한 많은 연구가 수행되고 있다. 압전센서는 전력소모가 작고, 소형화시키기 용이하여 데이터 처리를 온 보드(On-Board) 상태에서 할 수 있으며, 무선주파수(radio frequency; RF) 모듈을 사용하여 무선 송·수신이 가능하다는 장점을 가지고 있어 차세대 최첨단 스마트 센서기술의 핵심으로 부각되고 있다. 이러한 압전센서는 기계적 신호에 의하여 전기적 신호를 발생시키고(압전효과), 전기적 신호에 의하여 기계적 신호를 발생시키는(역압전효과) 원리를 이용하여 센싱과 가진의 기능을 동시에 수행할 수 있다.

[0005] \* 압전센서(Piezoelectric Sensor)와 임피던스 기반 SHM 기법

- [0006] 압전센서에는 대표적으로 PZT(Lead-Zirconate-Titanate) 센서, MFC(Macro Fiber Composite) 센서가 있다. PZT 센서는 구조물의 임피던스를 측정시 매우 유용하며 가격이 저렴하고 가벼워 적은 양의 전원 공급만으로도 가진 이 가능하다. 또한 실제 구조물에도 부착하기 쉽기 때문에 압전 재료 중 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 쉽게 부서진다는 단점이 있다. 한편, MFC 센서는 유연성을 지니고 있어 곡면에 부착이 용이하다. 그러나 실제 토목 구조물에 적용할 경우 구조물과 센서 사이의 강성 차이로 인하여 매우 국부적인 손상 탐색만이 가능하다는 단점이 있다.
- [0007] 임피던스 모니터링 기법은 Liang 등[문헌 1]에 의해 제안된 이후로 우주, 항공, 기계, 건설 분야에서 많이 적용되고 있다[문헌 2, 문헌 3, 문헌 4]. 진동기반 기법과 비교하였을 때, 임피던스 모니터링 기법은 고주파수 대역을 이용하기 때문에 구조물의 작은 변화에도 민감하고, 센서가 부착된 위치에서 제한적인 범위의 상태만 모니터링 하는 것이 가능하다. Park 등[문헌 2]은 교량의 국부 부재를 모니터링 하기 위하여 임피던스 모니터링 기법을 적용하였고, Bhalla 등[문헌 3], Park 등[문헌 5]과 Yang 등[문헌 6]은 콘크리트 구조물의 손상을 모니터링 하는데 있어 임피던스 모니터링 기법의 적용성을 검증하였으며, Kim 등[문헌 7]은 강판형교의 지점상태를 모니터링하기 위하여 임피던스기반 모니터링 기법을 사용하였다.
- [0008] 일반적으로 임피던스 기반 모니터링을 위한 시스템은 압전 센서, 임피던스 분석기, 압전센서와 임피던스 분석기를 연결하는 전기 케이블, 그리고 측정 데이터를 저장하기 위한 서버로 구성된다. 그러나 임피던스 분석기의 가격은 수천만원 이상의 고가이며, 대형 구조물에 설치하는데 있어 전기 케이블의 설치비용이 많이 들며, 설치 작업이 비효율적인 단점이 있다.
- [0009] \* 압전 센서를 이용한 임피던스 측정의 무선 시스템화
- [0010] 압전센서를 이용한 임피던스 기반 건전성 모니터링 기법은 앞서 기술한 비용적 측면과 적용성 문제를 해결하기 위한 방법으로서 많은 연구자에 의해 무선 임피던스 센서노드 개발에 관한 연구가 수행되었다[문헌 8, 문헌 9]. 최근 개발된 무선 임피던스 센서노드는 일반적으로 가격이 저렴하고, 설치가 간편하다는 장점이 있으나, 상용 임피던스 분석기에 비해 임피던스의 측정 분해능이 떨어지고, 측정 주파수 대역이 협소하다는 단점이 있다. 따라서 제한된 측정 주파수 대역 내에서의 임피던스 모니터링이 어려울 경우 즉, 구조물의 임피던스 응답 중 구조물의 상태를 반영하는 피크(peak)의 주파수가 무선 임피던스 센서노드의 측정 가능 주파수 범위를 벗어나는 경우에는 다른 대안이 필요하다.
- [0011] \* 구조 케이블과 임피던스 기반 구조 건전성 모니터링(SHM)
- [0012] 최근 사장교, 현수교, 프리스트레스트 콘크리트(prestressed concrete; PSC) 교량과 같이 교량의 장대화 및 경제적인 설계를 목적으로 구조용 케이블의 많이 사용되고 있다. 사장교 및 현수교의 경우, 구조케이블(행거 또는 stay cable)이교량에 재하되는 하중을 지지함에 따라 지간이 수km에 이르는 교량의 건설이 가능하게 되었고, PSC 교량의 경우, 구조 케이블(tendon)에 도입되는 긴장력에 의해 경제적인 콘크리트 단면의 설계가 가능하게 되었다. 이와 같은 구조물에 있어 구조 케이블의 인장력 변화는 구조물의 안전성과 직접적인 관련이 있기 때문에 인장력 모니터링은 매우 중요하다.
- [0013] 구조 케이블의 장력을 모니터링하고 평가하는 방법 중에서 케이블 또는 전체 구조계의 진동특성으로부터 장력을 간접적으로 추정하는 방법이 최근 많이 활용되고 있다[문헌 10, 문헌 11, 문헌 12, 문헌 13, 문헌 14, 문헌 15]. 그러나 진동특성을 이용하는 방법은 다음과 같은 문제점이 있다. 첫째, 구조물의 작은 상태변화에 민감하지 않기 때문에 초기 손상에 대한 모니터링이 힘들다. 둘째, 구조물의 진동특성은 구조케이블뿐만 아니라 다른 구조 부재의 상태 변화에 따라서도 변화한다. 예를 들어 PSC 교량의 경우, 구조 케이블 즉, 텐던의 긴장력 변화뿐만 아니라 콘크리트에 발생한 손상에 의해서도 진동특성이 변화하게 된다. 이러한 경우 구조 케이블의 인장력을 평가하기 어렵게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 Kim 등[문헌 16]은 PSC 거더 교량의 긴장력 변화를 모니터링하기 위하여 압전 센서를 이용한 임피던스 모니터링 기법을 적용한 바 있다.
- [0014] [문헌 1] Liang, C., Sun, F.P., and Rogers, C.A., Coupled Eletromechanical Analysis of Adaptive Material Systems-Determination of the Actuator Power Consumption and System Energy Transfer, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1994, Vol. 5, No. 1, ISSN 1045-389X

- [0015] [문헌 2] Park, G., Gudney, H., and Inman, D.J., Impedance-based Health Monitoring of Civil Structural Components, Journal of Infrastructure Systems, 2000, Vol. 6, ISSN 1076-0342, 153-160쪽
- [0016] [문헌 3] Bhalla, S. and Soh, C.K., Structural Impedance based Damage Diagnosis by Piezo-transducers, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2003, Vol. 32, No. 12, ISSN 0098-8847, 1897-1916쪽
- [0017] [문헌 4] Giurgiutiu, V. and Zagrai, A.N., Damage Detection in Thin Plates and Aerospace Structures with Electro-mechanical Impedance Method, Structural Health Monitoring, 2005, Vol. 4, No. 2, ISSN 1475-9217, 99-118쪽
- [0018] [문헌 5] Park, S., Ahmad, S., Yun, C.B., and Roh, Y., Multiple Crack Detection of Concrete Structures using Impedance-based Structural Health Monitoring Techniques, Experimental Mechanics, 2006, Vol. 46, No. 5, ISSN 0014-4851, 609-618쪽
- [0019] [문헌 6] Yang, Y.W., Hu, Y.H., and Lu, Y., Sensitivity of PZT Impedance Sensors for Damage Detection of Concrete Structures, Sensors, 2008, Vol. 8, No. 1, ISSN 1424-8220, 327-346쪽
- [0020] [문헌 7] Kim, J.T., Na, W.B., Hong, D.S., and Park, J.H., Global and Local Health Monitoring of Plate-girder Bridges under Uncertain Temperature Conditions, International Journal of steel Structures, 2006, Vol. 6, No. 5, ISSN 1598-2351, 369-376쪽
- [0021] [문헌 8] Inman, D.J. and Grisso, B., Towards Autonomous Sensing, Proc. of SPIE's 13th Annual Symposium on Smart Structures and Materials/NDE Conference, 2006, San Diego, CA
- [0022] [문헌 9] Mascarenas, D.L., Todd, M.D., Park, G., and Farrar, C.R., Development of an Impedance-based Wireless Sensor Node for Structural Health Monitoring, Smart Materials and Structures, 2007, vol. 16, No. 6., ISSN 0964-1726, 2137-2145쪽
- [0023] [문헌 10] 김남식, 박동욱, 박용명, 정진환., 역해석기법을 이용한 행어케이블의 장력 추정, 한국지진공학회 논문집, 2007, 제 11권, 제 3호, ISSN 1226-525X, 1-10쪽
- [0024] [문헌 11] Irvine, H.M., Cable Structures, The MIT Press, 1981, MA, ISBN 0-2620-9023-6
- [0025] [문헌 12] Kim, B.H. and Park, T. Estimation of Cable Tension Force using the Frequency-based System Identification Method, Journal of Sound and Vibration, 2007, Vol. 304, No.3-5, ISSN 0022-460X, 660-676쪽
- [0026] [문헌 13] Kim, J.T., Yun, C.B., Ryu, Y.S. and Cho, H.M., Identification of Prestress-loss in PSC Beams using Modal Information, Structural Engineering and Mechanics, 2004, Vol. 17, No. 3-4, ISSN 1598-6217, 467-482쪽
- [0027] [문헌 14] Triantafyllou, M.S. and Grinfogel, L., Natural Frequencies and Modes of Inclined Cables, Journal of Structural Engineering, 1986, Vol. 112, No. 1, ISSN 139-148쪽
- [0028] [문헌 15] Zui, H., Shinke, T. and Namita, Y., Practical Formulas for Estimation of Cable Tension by Vibration Method, Journal of Structural Engineering, 1996, Vol. 122, No. 6, ISSN 1598-6217, 651-656
- [0029] [문헌 16] Kim, J.T., Park, J.H., Hong, D.S., Cho, H.M., and Na, W.B., Vibration and Impedance Monitoring for Prestress-loss Prediction in PSC Girder bridges, Smart Structures and Systems, 2009, Vol. 5, No. 1, ISSN 1758-7328/1738-1584, 81-94쪽

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

- [0030] 현재 구조물의 임피던스 응답 예측시 보유 중인 임피던스 신호 분석 장비의 측정 가능한 주파수 대역이 제한적 일 경우 구조물의 임피던스 응답 모니터링을 통한 손상 모니터링이 어렵다. 이러한 문제는 고가의 임피던스 신호 분석 장비와 임피던스 기반의 손상 모니터링 시스템의 현장 적용시 발생하는 큰 비용을 극복하기 위한 대안

으로써 개발되고 있는 무선 임피던스 노드의 현장 적용시 주로 발생한다.

### 과제의 해결 수단

- [0031] 구조물의 임피던스 응답을 계측을 위해 압전 센서를 구조케이블의 정착판 또는 켜기에 부착하지 않고 도 1과 같이 구조케이블의 설치시 정착판과 켜기 사이에 일정 두께의 금속판을 끼운 후 금속판에 압전 센서를 부착한다. 이때의 금속판을 인터페이스 와셔로 정의한다. 인터페이스 와셔의 형상은 도 2와 같이 사각형 모양의 금속판에 케이블이 통과되는 부분에 U자형 홈을 파거나(Type A) 원형의 홈(Type B)을 내어 제작할 수 있다. 이때 인터페이스 와셔에 부착된 압전센서로부터 취득되는 임피던스 신호는 구조물의 직접적인 응답이 아니지만 정착판과 켜기 사이에 인터페이스 와셔를 맞물려 놓음에 따라 케이블의 장력 변화에 대한 임피던스 응답의 변화를 간접적으로 측정하여 케이블의 장력 모니터링이 가능하다.

### 발명의 효과

- [0032] 인터페이스 와셔의 효과를 증명하기 위하여 다음과 같이 무선 임피던스 센서노드를 이용한 구조용 케이블의 장력 모니터링을 수행하였다. 대상구조물로서 도 3과 같이 T형 단면의 프리스트레스트 거더를 선정하였다. 프리스트레스트 거더에 케이블을 설치할 수 있도록 도 4와 같은 정착판을 제작하였다. 프리스트레스트 거더에 설치된 케이블 긴장력의 변화를 모니터링하기 위하여 케이블이 고정된 정착판에 MFC 패치를 부착하였다. 긴장력의 변화에 대한 임피던스 응답을 모니터링 하기 위하여 유압장치 및 로드셀을 이용하여 아래의 표와 같이 긴장력을 변화시켰다.

표 1

| Prestress Level | Prestress Force (kN) |
|-----------------|----------------------|
| PS 1            | 117.6                |
| PS 2            | 98.0                 |
| PS 3            | 78.4                 |
| PS 4            | 58.8                 |
| PS 5            | 39.2                 |

- [0034] 상용 임피던스 분석기를 통해 긴장력의 변화에 대한 임피던스 응답을 측정하였다. 그 결과, 도 5와 같이 800kHz 이상 주파수 범위의 케이블의 긴장력이 감소함에 따라 피크(peak)의 값이 오른쪽으로 이동하는 현상을 나타내었다. 800kHz 이하의 주파수 범위에서 나타나는 피크들은 도 6과 같이 피크가 명확하지 않고, 긴장력 변화에 대한 임피던스의 변화가 명확하게 나타나지 않았다.

- [0035] 위의 실험결과를 바탕으로 무선 임피던스 센서노드를 이용하여 케이블의 긴장력을 모니터링하였다. 이때 사용된 무선 임피던스 센서노드는 도 7과 같으며 상용 임피던스 신호 분석 장비에 비하여 저가로 제작될 수 있지만 아래의 표와 같이 임피던스 및 주파수 측정 범위는 상대적으로 작다.

표 2

| 사양        | 무선 임피던스 센서노드               | 상용 임피던스 신호 분석기               |
|-----------|----------------------------|------------------------------|
| 임피던스 측정범위 | 1k $\Omega$ - 10M $\Omega$ | 10m $\Omega$ - 200M $\Omega$ |
| 주파수 측정범위  | 1kHz - 100kHz              | 42Hz - 5Mhz                  |

- [0037] 이와 같은 무선 임피던스 센서노드를 대상구조물의 케이블 장력 모니터링에 적용하고자 할 때 제한적인 주파수 측정범위 때문에 장력 변화에 대한 임피던스 응답의 변화를 측정할 수 없다. 즉, 대상구조물의 케이블 긴장력 모니터링은 800kHz 이상의 주파수 범위가 적합하지만 무선 임피던스 센서노드는 최대 100kHz 까지의 주파수 범위까지만 측정가능하다.

- [0038] 이러한 현상을 극복하기 위하여 도 2의 Type A와 같은 U자형 정착구 형상을 갖는 알루미늄 재질의 인터페이스 와셔를 제작하였다. 도 8과 같이 정착판과 켜기 사이에 제작된 인터페이스 와셔를 설치하고 인터페이스 와셔에

압전센서를 부착하였다. 그리고 케이블 정착부의 직접적인 임피던스 응답과 인터페이스 와서를 통한 임피던스 응답을 비교하기 위하여 정착판에 부착된 압전센서와 인터페이스 와서에 부착된 압전센서의 임피던스 응답을 모두 측정하였다.

[0039] 무선 임피던스 센서노드를 이용하여 측정한 임피던스응답은 도 9와 도 10과 같다. 도 9는 정착판에 부착된 압전 센서로부터 취득한 임피던스 응답이며, 도 10은 인터페이스 와서에 부착된 압전센서로부터 취득한 임피던스 응답이다. 도 9에서 약 78kHz의 주파수 영역에서 뚜렷한 피크가 나타나지만 구조물의 상태변화에도 변화하지 않는 피크로 나타났다. 반면, 인터페이스 와서에 부착된 압전센서로부터 임피던스 응답을 취득하였을 때는 도 10과 같은 임피던스 응답을 얻을 수 있었으며 약 17kHz에서 피크를 관찰할 수 있다.

[0040] 인터페이스 와서로부터 취득한 임피던스 응답에서 나타난 피크를 통해 케이블의 긴장력 모니터링이 가능성 여부를 검증하기 위하여 아래의 표와 같이 케이블의 긴장력을 변화시켜가며 임피던스 응답을 측정하였다.

표 3

| Prestress Level | Prestress Force (kN) |
|-----------------|----------------------|
| PS 1            | 98.0                 |
| PS 2            | 88.2                 |
| PS 3            | 78.4                 |
| PS 4            | 68.6                 |
| PS 5            | 58.8                 |
| PS 6            | 49.0                 |

[0042] 케이블의 긴장력 변화에 대한 임피던스 응답을 인터페이스 와서에 부착된 압전센서로부터 측정한 결과는 도 11과 같다. 케이블의 긴장력이 감소함에 따라 피크는 점차 왼쪽으로 이동함을 관찰할 수 있다.

[0043] 이와 같이 프리스트레스트 콘크리트 거더의 케이블 긴장력 모니터링 실험을 통해 인터페이스 와서의 성능을 검증하였다. 실험 결과로부터 구조용 케이블의 장력 모니터링 시 인터페이스 와서를 사용함에 따라 제한적인 주파수 측정범위 조건 하에서도 임피던스 모니터링 기법의 적용을 가능케 할 수 있음을 알 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0044] 도 1은 인터페이스 와서의 설치 위치 및 압전센서의 부착 위치를 나타낸 인터페이스 와서의 개략도  
 도 2는 인터페이스 와서의 정면도 및 측면도  
 도 3은 인터페이스 와서의 성능검증 실험에 사용된 PSC 거더  
 도 4는 케이블 설치를 위해 제작된 정착판  
 도 5는 상용 임피던스 계측 장비를 사용하여 계측한 긴장력 변화에 대한 임피던스 응답 변화 (880kHz~980kHz: 긴장력 변화에 대한 임피던스 응답 변화가 뚜렷하게 나타나는 주파수 범위)  
 도 6은 상용 임피던스 계측 장비를 사용하여 계측한 긴장력 변화에 대한 임피던스 응답 (400kHz~1000kHz)  
 도 7은 케이블의 긴장력 모니터링 시 사용된 무선 임피던스 센서노드  
 도 8은 인터페이스 와서가 설치된 케이블 정착부  
 도 9는 정착판에 부착된 압전센서로부터 취득한 임피던스 응답  
 도 10은 인터페이스 와서에 부착된 압전센서로부터 취득한 임피던스 응답  
 도 11은 인터페이스 와서에 부착된 압전센서로부터 취득한 긴장력 변화에 대한 임피던스 응답 변화

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

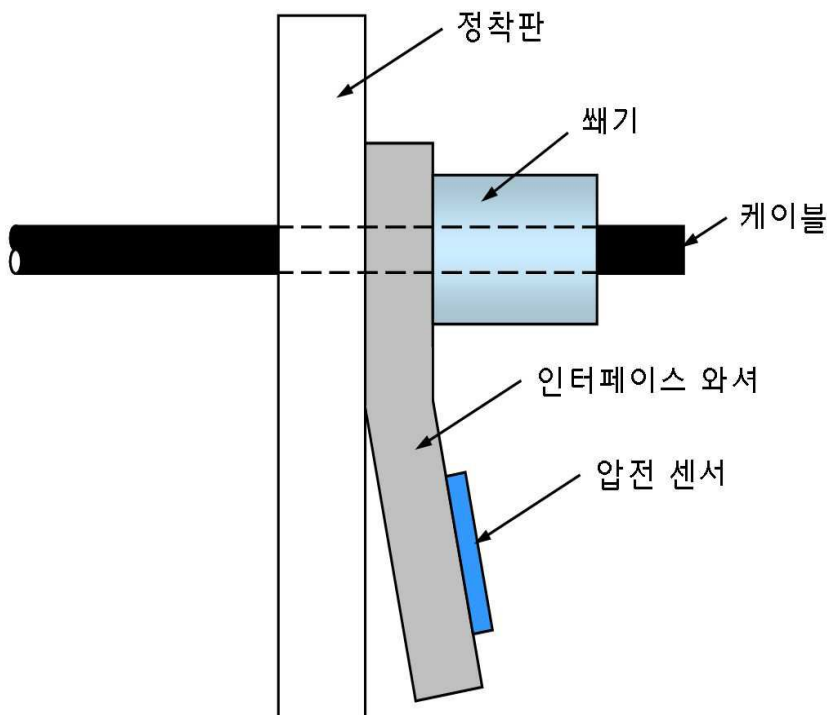
[0045] 1. 인터페이스 와서를 케이블 정착부에 설치하기 위하여 도 2와 같이 일정 두께의 직사각형의 금속판에 케이블이 인터페이스 와서를 통과할 수 있도록 U자형 홈을 파거나(도 2의 Type A) 원형의 홈(도 2의 Type B)을 낸다.

이때 홈의 크기는 케이블의 직경보다는 크며 썰기의 외경보다는 작아야 한다.

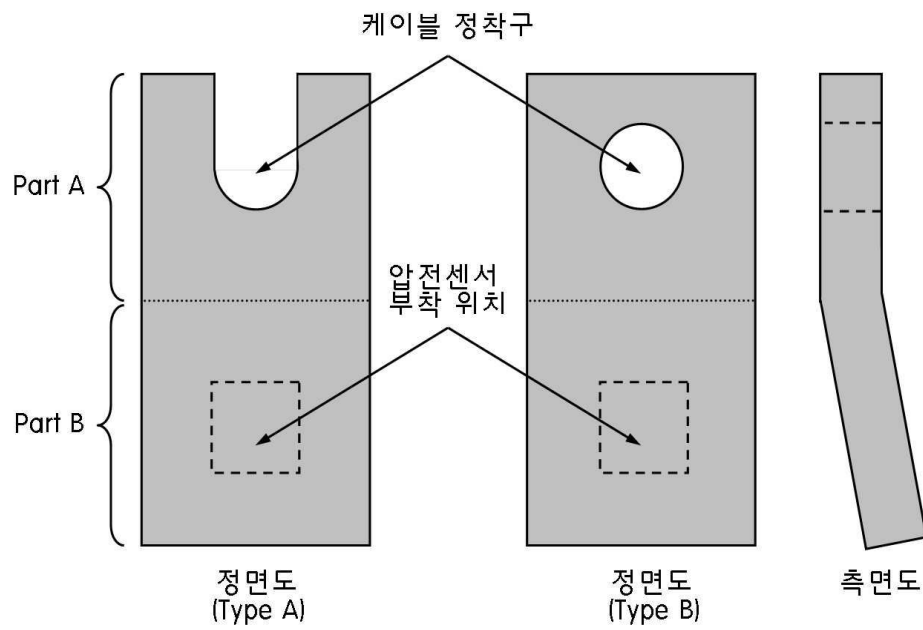
- [0046] 2. 도 2에서 압전센서가 부착되는 Part B 영역이 케이블 정착판에 닿지 않도록 도 2의 측면도와 같이 각을 주어 금속판을 구부린다. 이때, Part B 영역에 곡면이 생기지 않도록 유의한다.
- [0047] 3. 제작된 인터페이스 와서를 도 1과 같이 정착판과 썰기 사이에 설치한다.
- [0048] 4. 설치된 인터페이스 와서의 Part B에 압전센서를 부착한다.
- [0049] 여기서, 3번과 4번의 순서는 바뀌어도 무방하나 압전센서를 부착 후에 인터페이스 와서를 설치할 경우, 부주의에 의한 센서 파손이 우려되므로 위의 순서를 권장한다.
- [0050] 도 2에 인터페이스 와서의 형상으로 두 가지를 제시하였다.
- [0051] U자형 케이블 정착구의 경우 인터페이스 와서의 설치 및 제거가 쉬운 특징 있다. 만약 압전센서를 인터페이스 와서에 부착 한 후 케이블 정착부에 설치하는 경우에는 인터페이스 와서를 떨어뜨려 센서가 파손되지 않도록 유의해야 한다. 또한 U장형 케이블 정착구는 도 12와 같이 홈의 위치를 바꾸어서 설치 조건에 따라 응용할 수 있다. 원형 케이블 정착구의 경우 인터페이스 와서를 안전하게 설치할 수 있으며 한 번 설치 할 경우 제거가 어려운 단점이 있으므로 실제 적용시 적합한 정착구 형상을 선택하여 적용한다.
- [0052] 인터페이스 와서는 볼트 체결시 사용되는 와서의 형태를 변형시킨 형상으로서 케이블의 장력 모니터링 뿐만 아니라 볼트 체결로 이루어진 구조 연결부에 와서 대용으로 사용하여 구조 연결부의 건전성 모니터링에도 응용이 가능하다.

## 도면

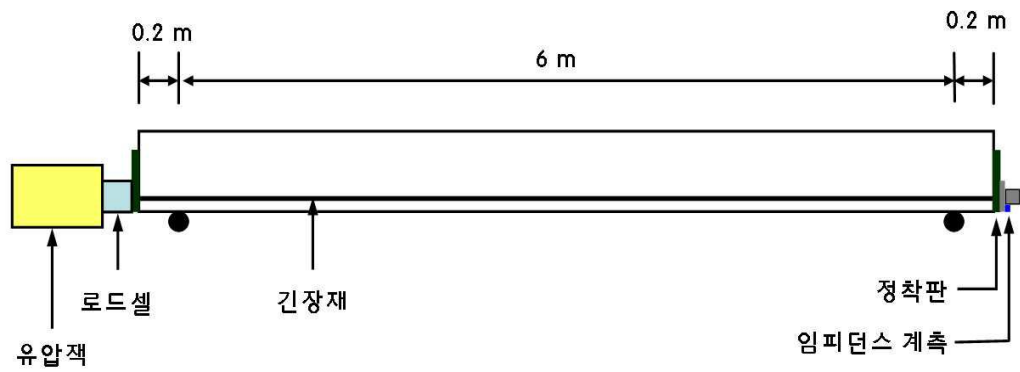
### 도면1



도면2



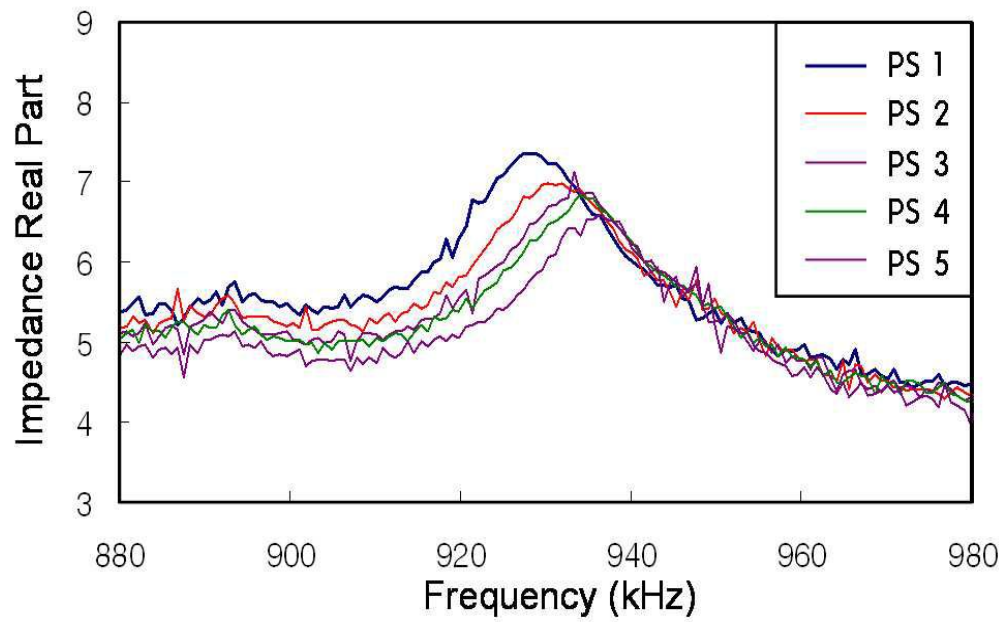
도면3



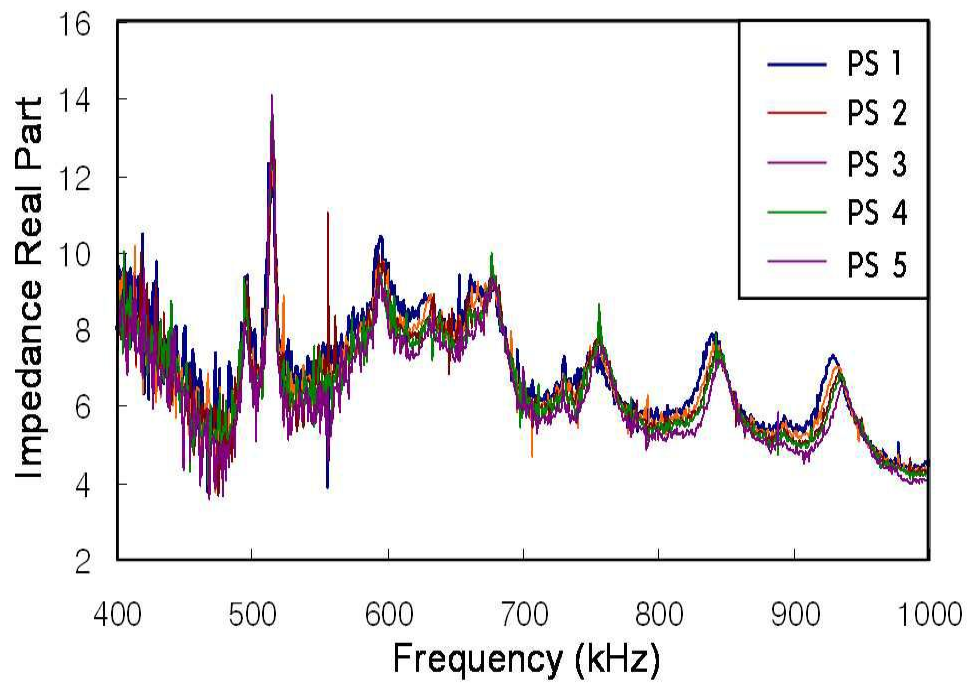
도면4



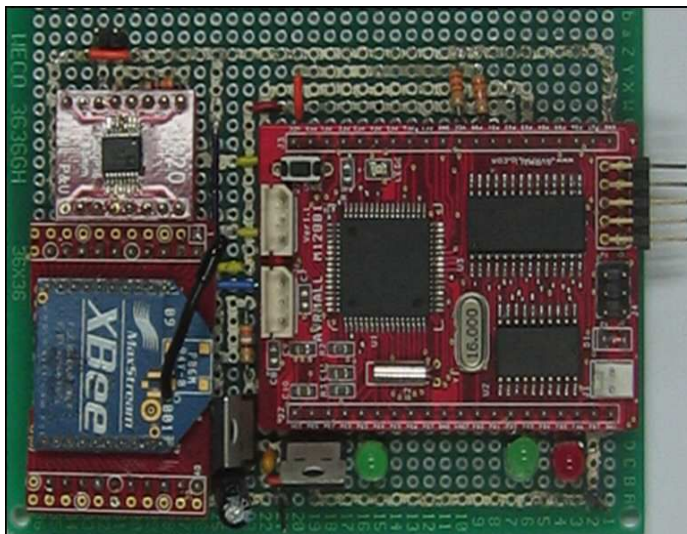
도면5



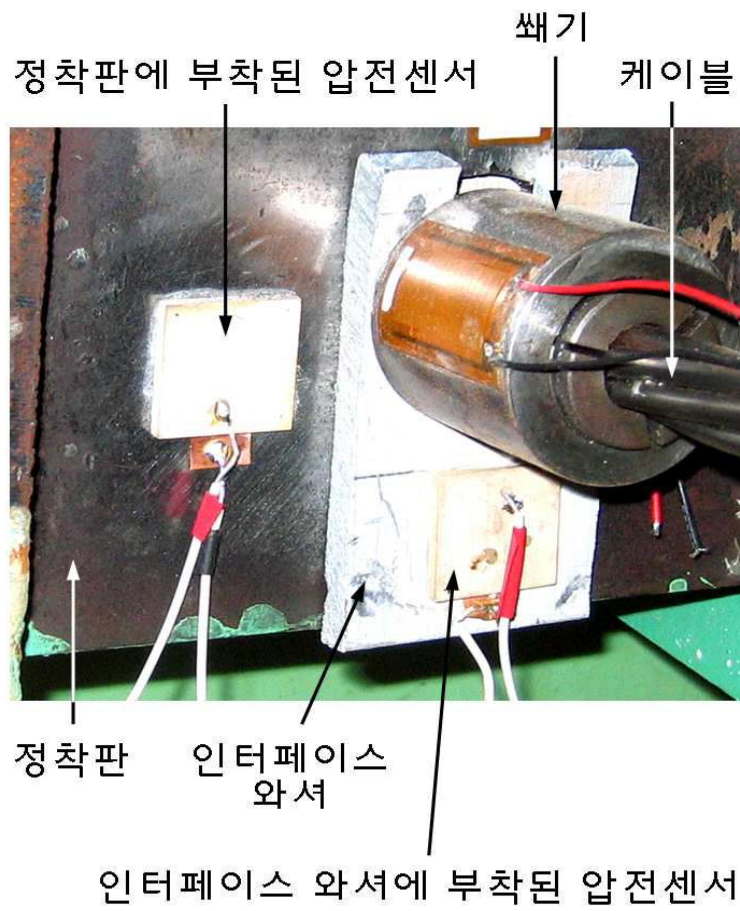
도면6



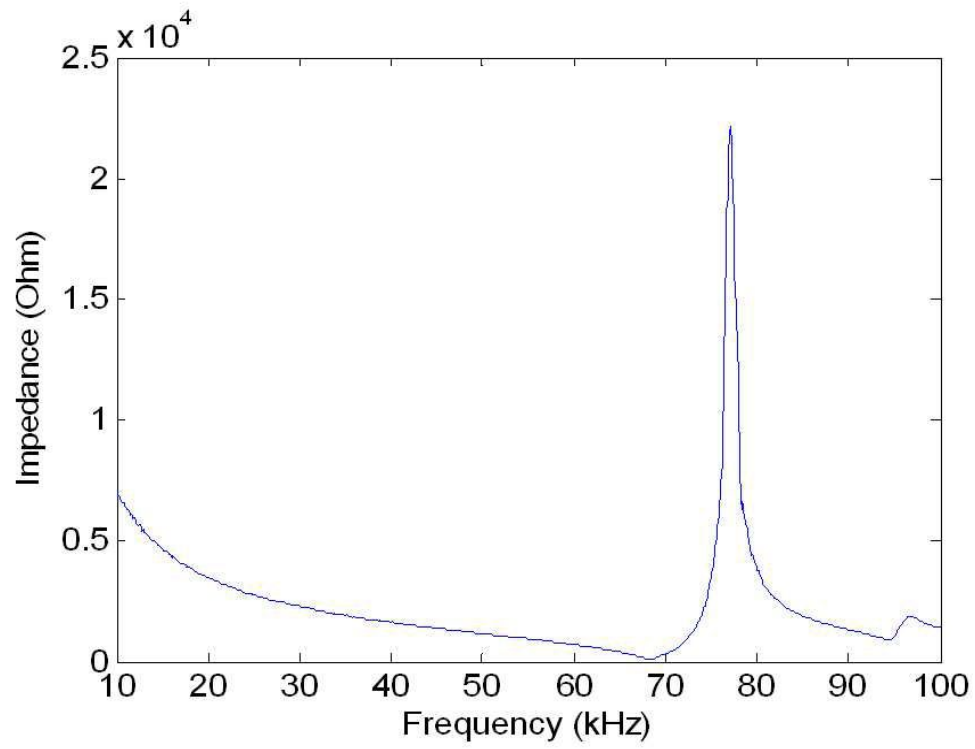
도면7



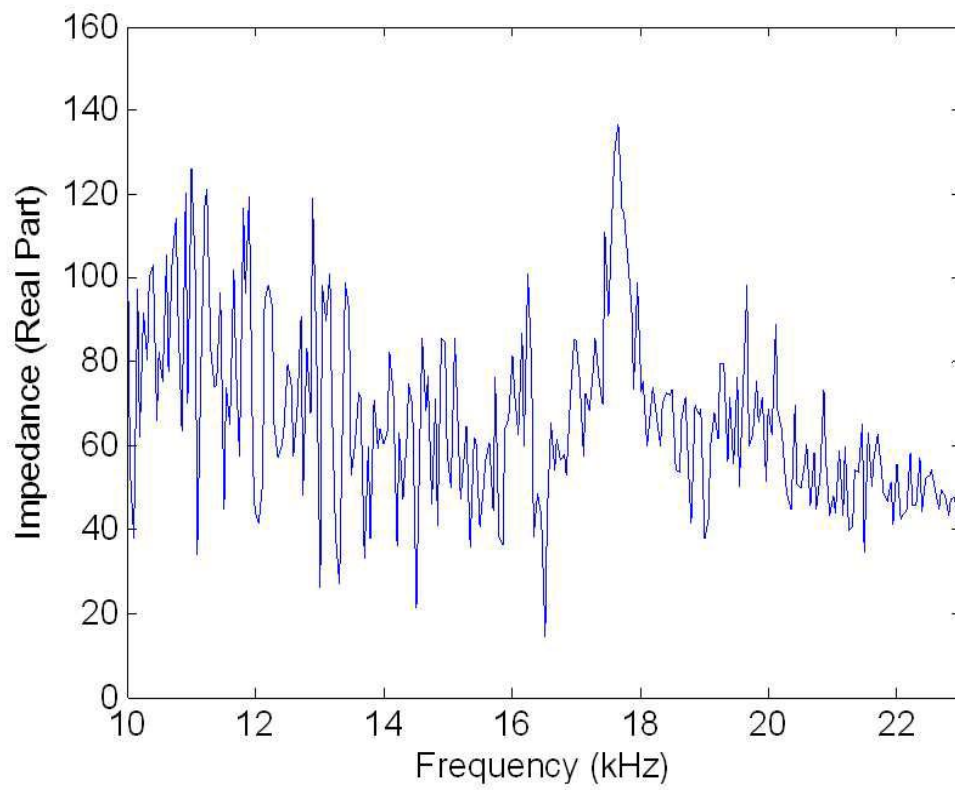
도면8



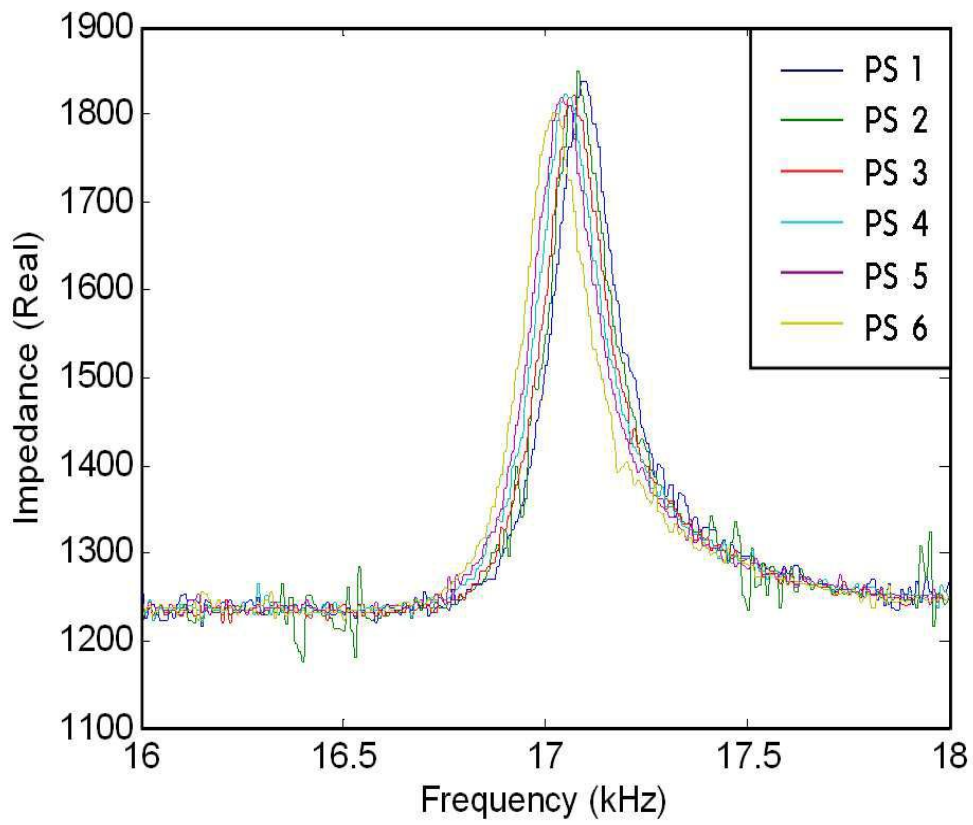
도면9



도면10



도면11



도면12

