(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년05월14일
(11) 등록번호 10-1264375
(24) 등록일자 2013년05월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 21/32 (2006.01) *G01B 7/16* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0013741
(22) 출원일자 2012년02월10일
심사청구일자 2012년02월10일
(56) 선행기술조사문헌
논문.2011
논문.2006
KR1020110119025 A
논문.2009

(73) 특허권자
부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 신선로 365 (용당동, 부경대학교)
(72) 발명자
김정태
부산광역시 남구 용호1동 LG메트로시티 118동 104호
윙콱유이
부산광역시 남구 대연3동 599-1 부경대학교 환경연구동 305호
홍동수
부산광역시 수영구 광안동 148-13 지성미르피아 402호
(74) 대리인
김일성

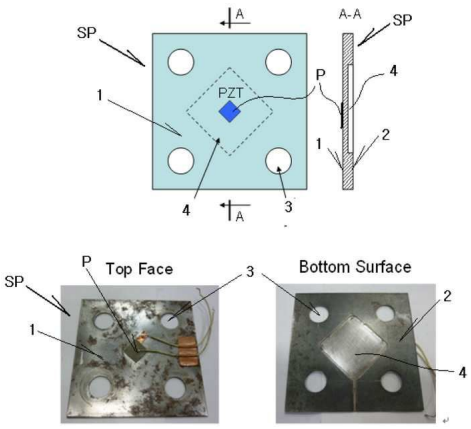
전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 김홍래

(54) 발명의 명칭 **기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판 및 그의 사용방법**

(57) 요 약

본 발명은 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판에 관한 것으로, 이를 더욱 상세하게 설명하면, 스마트 계면 판의 사용을 통해 임피던스 무선 계측시스템의 계측 가능한 저주파수 대역(100kHz 이내)의 기전 임피던스 계측이 용이하고, 단일 PZT로부터 계측된 기전 임피던스를 활용하여 볼트연결 판의 다중 볼트풀림 식별을 용이하게 확인하기 위해 구성된 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판에 관한 것이다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

일정한 형상 및 두께를 가진 스마트 계면 판(SP)은 판의 모서리에 볼트 체결을 위한 홀(3)과;

스마트 계면 판(SP)의 상면(1) 중앙에 볼트 풀림을 식별하기 위해 부착된 PZT(P)와;

상기 PZT의 부착으로 볼트 풀림의 감지능력을 극대화하기 위해 스마트 계면 판의 하면(2) 중앙에 판의 두께를 얇게 절단한 요홈부(4)를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 스마트 계면 판(SP)의 볼트 연결부 홀(3) 뚫기를 할 때, 홀의 지름은 사용되는 볼트의 지름보다 약간 크게 제작하여 사용하며,

스마트 계면 판(SP)의 PZT(P) 부착 면의 두께 조절을 위한 스마트 계면 판의 하면(2) 중앙에 판의 두께를 얇게 절단이 수행되는 요홈부(4)의 면은 PZT의 크기보다 커야 하며, 볼트 연결부인 홀(3)을 초과하지 않도록 조절하고 절단이 수행되는 요홈부(4)의 두께는 1㎜로 조절되어져 구성되는 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판

청구항 3

스마트 계면 판(SP)의 모서리에 볼트 체결을 위한 홀(3)과 스마트 계면 판의 상면(1) 중앙에 부착된 PZT(P)와 스마트 계면 판의 하면(2) 중앙에 판의 두께를 얇게 절단한 요홈부(4)를 포함하여 구성된 스마트 계면판(SP)을 이용하여, 볼트 연결부의 볼트 풀림을 식별하기 위한 방법으로,

먼저, 다수의 볼트 연결부를 가진 철구조물의 볼트 연결부에 스마트 계면판(SP)의 홀(3)에 볼트로 체결하여 스마트 계면판(SP)을 설치한 후,

스마트 계면 판(SP)은 볼트 체결력에 의해 형성된 접촉력의 변화를 PZT(P)와 스마트 계면 판(SP)의 경계면에 작용하는 스프링 강성(k_i)과 감쇠(c_i)의 구조 파라메터의 변화로 표현하며, 초기 체결상태에서 PZT(P)로부터 기전 임피던스 계측 후,

볼트 풀림을 식별하기 위해 스마트 계면 판(SP)에 부착된 PZT(P)로 부터 계측된 전기-역학적 임피던스의 변화를 스마트 계면 판(SP)의 구조 파라메터(δk_i, δc_i)의 변화가 볼트 연결부의 체결력 변화를 나타내는 것을 지속적으로 임피던스 무선계측 시스템(IS)으로 계측하여,

초기체결상태의 초기정보(baseline)와 비교 분석을 통해 스마트 계면 판(SP)내의 볼트 연결부의 볼트 풀림을 식별하기 위한 것을 특징으로 하는 **기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판(SP)의 사용방법**

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판에 관한 것으로, 이를

더욱 상세하게 설명하면, 스마트 계면 판의 사용을 통해 임피던스 무선 계측시스템의 계측 가능한 저주파수 대역(100kHz 이내)의 기전 임피던스 계측이 용이하고, 단일 PZT로부터 계측된 기전 임피던스를 활용하여 볼트연결 판의 다중 볼트풀림 식별을 용이하게 확인하기 위해 구성된 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근의 교량 및 건축 구조물들은 콘크리트에 비해 자중이 작고 강성이 큰 강재를 사용하여 거대화하고 장대화되는 추세이다. 이러한 강구조물은 기본적으로 조립식 구조이기 때문에 부재간의 접합방법이 매우 중요하며, 강교에서 품질관리의 용이성으로 인해 널리 적용되는 강구조물의 접합으로 고장력 볼트에 의한 방법이 있으며, 고장력 볼트 연결의 가장 큰 특징은 축력을 도입하여 생긴 접합체 간의 압축력에 의해 작용외력을 전달하는 것이다.

[0003] 따라서 고장력 볼트 체결부에서는 접합부에 생기는 전단력의 국부적인 집중현상이 없으며, 응력전달이 원활하고 강성 및 내력이 크며, 반복하중에 대해서도 높은 피로강도를 발휘할 수 있다.

[0004] 따라서, 강구조물의 안전성과 사용성을 확보하기 위한 방안으로 볼트 연결부의 상태를 정확히 진단할 수 있는 구조건전성모니터링 기술이 필요하다.

[0005] 구조물 연결부의 구조건전성모니터링 기술의 유형으로, 첫 번째는 정적 변위와 변형률을 계측하여 외력에 대한 볼트 연결부의 정적응답 특성을 분석하는 기법이다. 이 기법은 신호의 계측과 분석이 간편하나, 구조 연결부가 복잡화되고, 외력의 생성 및 통제가 어려워 극히 일부조건에서만 사용되고 있다. 두 번째는 저주파수 대역에서 계측된 동적응답 특성을 이용하여 구조물 연결부의 상태를 식별하는 기법이다. 이 기법은 저주파수 대역에서의 동적응답 계측 및 모드 해석을 통해 구조 연결부의 상태를 진단한다. 이는 가진 조건의 제약이 적어 계측하기 쉽고, 신속한 상태 진단에 용이하여, 구조물 전체의 이상상태 발생 식별에 용이하다. 하지만, 볼트 연결부와 같은 국부위치의 이상상태 식별에는 용이하지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 하지만, 공용중인 강교를 조사해 보면 이음부에 볼트 체결이 불량하거나 혹은 여러 가지 결함이 발생되어 있는 상태를 많이 발견하게 되는 문제점을 가지고 있으며, 공용중인 강교는 초기 체결 시공시의 조건에 비해 이음부재 및 볼트에 각종 하중이 작용하는 상태이고, 시간에 따른 볼트 축력의 감소, 이물질 혹은 부식에 의한 표면마찰 상태의 변화, 초기 마찰이음에서 지압이음으로의 변질 등 여러 가지 원인에 의해서 문제가 발생한다.

[0007] 최근 교량의 유지관리 분야에서 비용과 시간을 절약하기 위한 방법으로 무선계측 시스템을 도입한 구조건전성모니터링 기술에 관한 연구가 활발히 수행되고 있으나, 현재까지의 임피던스 무선계측 시스템은 계측가능한 주파수 범위가 10kHz에서 100kHz로 제한적이라는 단점이 존재한다.

[0008] 이에, 강교의 안전성과 사용성을 확보하기 위한 방안으로 볼트연결 판의 상태를 적절히 감시할 수 있는 구조건전성모니터링에 관한 것으로 임피던스 무선 계측 시스템의 적용 가능한 범위 내에서 볼트 연결부의 이상상태 식별을 위한 방법 제시가 필요하다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명에서는 볼트연결 판의 상태 감시를 위한 방법으로 고주파수 대

역에서 계측된 동적응답특성을 이용하여 대상구조물의 상태를 식별하는 임피던스기반 구조건전성모니터링을 기초로 하였으며, 임피던스기반 구조건전성모니터링 기법은 최근 이슈화되고 있는 스마트재료로 압전재료의 하나인 PZT(Lead Zirconate Titanate)를 활용하였으며, PZT는 압전효과와 역압전효과를 통해 발생한 고주파수 대역의 응답특성을 이용하여 PZT 인접부에서 발생한 미세한 이상상태 식별에 매우 유용하다.

[0010] 이에, 항공기, 토목, 건축구조물 등 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 강교의 볼트연결 판과 같은 국부적 위치에서 발생한 이상상태를 식별하고, 손상의 정도를 평가하는데 우수한 적용성을 보였다.

[0011] 그러나, 실제 강교에서 볼트 체결부는 수십개 이상의 볼트 체결로 구성되어 개별적인 볼트 체결력을 식별하는 것은 비효율적인 측면으로 이와 같은 한계점을 극복하기 위한 방법으로 스마트 계면 판의 도입으로 다중 볼트 체결부에 대한 상세 진단을 수행하는 방법을 제시하고자 하였다.

[0012] 기존의 방법을 통해 단일 볼트 체결에 대한 이상상태 식별을 수행 시, 다수의 PZT 부착이 요구되어 시스템의 운용에 어려움이 따른다. 이에, 단일 PZT를 이용하여 다수의 볼트 체결에 관한 이상상태 식별을 위한 방법 제시가 필요하다.

[0013] 상기와 같은 스마트 계면 판의 개발은 계면 판 내에 연결된 단일 PZT로 부터 계측된 기전 임피던스를 활용하여 다수의 볼트 체결부에 대한 볼트 풀림의 식별이 가능하며, 스마트 계면 판의 적절한 설계를 통해 무선 임피던스 계측시스템의 활용성을 높일 수 있는 것으로, 본 발명에서는 단일 PZT를 활용하여 볼트 연결부 판의 다중 볼트 체결에 대한 볼트 풀림을 효과적으로 식별하고자 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판을 제공하고자함에 그 목적이 있다.

발명의 효과

[0014] 이상의 설명에서와 같이, 본 발명은 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판은 기존 강구조물의 볼트 연결부는 수십에서 수백개의 볼트 연결부가 존재하여 단일 볼트 체결에 대한 이상상태 식별을 수행 시, 다수의 PZT 부착이 요구되어 시스템의 운용에 어려움이 따르는 문제점을 본 발명에서는 단일 PZT를 이용하여 다수의 볼트 체결에 관한 이상상태 식별을 위한 방법으로 스마트 계면 판에 부착된 PZT로부터 계측된 기전 임피던스가 볼트 풀림에 민감하게 반응함으로서 스마트 계면 판의 도입을 통해 단일 PZT를 활용하여 계면 판 내에 다수의 볼트 체결에 대한 볼트 풀림 식별이 가능한 효과를 가진다.

[0015] 두 번째로, 현재 활발하게 개발이 진행되고 있는 임피던스 무선 계측시스템과 함께 적용이 용이하다. 스마트 계면 판은 설치 전에 계획된 설계와 제작을 통해 임피던스 무선 계측시스템이 요구하는 주파수범위(10kHz-100kHz)내의 기전 임피던스의 계측이 용이하다. 세 번째로, 스마트 계면 판의 제작과정에서 볼트 연결 판의 형태를 고려하고, 임피던스 무선 계측시스템의 적용이 용이한 주파수범위 내에 존재하도록 제작이 가능한 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 실 강구조물의 볼트 연결부 체결형식의 예시도

도 2는 본 발명의 강구조물의 볼트 연결 판의 다중 볼트 풀림 식별을 위한 스마트 계면 판의 구성도

도 3은 스마트 계면 판의 도입을 통해 볼트 연결부의 손상 식별을 수행하기 위한 이론적 모델

도 4는 선형연구를 통해 수행된 계면 판의 이론적 모델에 관한 검증 결과도

도 5는 스마트 계면 판을 도입하여 볼트 연결부의 손상 식별을 수행하기 위한 방법을 예시도

도 6은 스마트 계면 판의 적용성 검증을 위해 제작된 모형 구조물의 형상도

도 7은 스마트 계면 판의 적용성 검증으로 계면 판의 손상 도입 전후에 계측된 기전 임피던스의 비교 결과도

도 8은 스마트 계면 판의 적용성 검증으로 계면 판의 손상 도입 전후에 계측된 기전 임피던스의 RMSD를 이용한 정량적 분석 결과도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 본 발명은 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판에 관한 것으로, 이를 더욱 상세하게 설명하면, 스마트 계면 판의 사용을 통해 임피던스 무선 계측시스템의 계측 가능한 저주파수 대역(100kHz 이내)의 기전 임피던스 계측이 용이하고, 단일 PZT로부터 계측된 기전 임피던스를 활용하여 볼트연결 판의 다중 볼트풀림 식별을 용이하게 확인하기 위해 구성된 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판에 관한 것이다.

[0018] 도 1은 실 강구조물의 볼트 연결부 체결형식의 예시도를 나타낸 것으로, 교각과 같은 곳에 설치되는 실 강구조물의 볼트 연결부는 수십에서 수백개의 볼트 연결부가 존재한다.

[0019] 하기 실시예 및 실험예는 본 발명을 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범주가 이들 실시 예 및 실험예에 국한되는 것은 아니다.

[0020] [실시예 1] 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판(SP)

[0021] 도 2는 본 발명의 강구조물의 볼트 연결 판의 다중 볼트 풀림 식별을 위한 스마트 계면 판의 구성도를 나타낸 것으로, 도 2와 같이 볼트 연결 판 내의 4개의 볼트 풀림을 식별할 수 있는 일정한 형상 및 두께를 가진 스마트 계면 판(SP)은 판의 모서리에 볼트 체결을 위한 홀(3)을 뚫었으며, 스마트 계면 판(SP)의 상면(1) 중앙에 볼트 풀림을 식별하기 위해 PZT(P)를 부착하였고, 상기 PZT의 부착으로 볼트 풀림의 감지능력을 극대화하기 위해 스마트 계면 판(SP)의 하면(2) 중앙에 판의 두께를 얇게 절단한 요홈부(4)를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면판을 제공한다.

[0022] 상기 스마트 계면 판의 볼트 연결부 홀(3) 뚫기를 할 때, 홀의 지름은 사용되는 볼트의 지름보다 약간 크게 제작하여 사용하며, 스마트 계면 판(SP)의 PZT 부착 면의 두께 조절을 위한 절단을 수행하고. 절단이 수행되는 요홈부(4)의 면은 PZT의 크기보다 커야 하며, 볼트 연결부인 홀(3)을 초과하지 않도록 조절하고 절단이 수행되는 요홈부(4) 면의 최소 두께는 1㎜로 조절한다,

[0023] 상기 스마트 계면 판에 PZT 부착면 두께의 절단은 PZT가 부착된 구조물의 형상과 두께에서 클수록 기전 임피던스의 감지 범위가 축소되는 단점을 보완하기 위함이다. 즉, 스마트 계면 판 내의 볼트 연결부는 도입된 축력에 대응하기 위해 원 두께로 제작되고, PZT가 부착되어 볼트 풀림을 식별하기 위한 단면은 얇게 제작되어 반응에 민감할 수 있도록 하였다.

[0024] 도 3은 스마트 계면 판의 도입을 통해 볼트 연결부의 손상 식별을 수행하기 위한 이론적 모델을 나타낸 것으로, 볼트 연결부의 볼트 풀림을 식별하기 위해 제작된 스마트 계면 판(SP)은 볼트 체결력을 이상화하는 파라메터(스프링 강성 k_1-k_4, 감쇠 c_1-c_4)로 도 3와 같은 모델로 도시된다.

[0025] 도 4는 선형연구를 통해 수행된 계면 판의 이론적 모델에 관한 검증 결과도를 나타낸 것으로, 도 4과 같이 볼트 체결력에 의해 형성된 접촉력의 변화를 1)스프링 강성과 2)감쇠의 변화를 표현하는 방법을 제시하였으며, 연구 결과로 접촉력 3×10^{5} N/m^{2}은 스프링 강성 k_w 1.0×10^{7} N/m과 감쇠 c_w 1.0×10^{-3} N.sec/m와 동일하다는 것을 나타내었다.

[0026] 도 5는 스마트 계면 판을 도입하여 볼트 연결부의 손상 식별을 수행하기 위한 방법을 예시도를 나타낸 것으로, 스마트 계면 판을 적용하여 볼프 풀림을 식별하기 위한 모식도를 보여주며, 핵심 개념은 스마트 계면 판에 부착된 PZT로부터 계측된 전기-역학적 임피던스의 변화는 스마트 계면 판(SP)의 구조 파라메터(δk_i, δc_i)의 변화를 나타내며, 이들 구조 파라메터의 변화가 볼트 연결부의 체결력 변화를 나타낸다는 것이다.

[0027] 도 6은 스마트 계면 판의 적용성 검증을 위해 제작된 모형 구조물의 형상도를 나타낸 것으로, 개발된 스마트 계면 판(SP)의 적용성을 검증하고자 도 6와 같은 모형 실험체를 제작하여 실험을 수행하였으며, 두 개의 H-형강 부재의 복부(web)에 볼트 연결 판과 4개의 볼트를 적용하여 체결하였다. 스마트 계면 판(SP)은 볼트 연결 판과 볼트 사이에 설치하였고, 스마트 계면 판의 적용성을 검증하기 위해 동일한 크기와 재질의 PZT(P)를 1)스마트 계면 판에 도입한 경우와 2)볼트 연결 판에 도입한 경우를 비교하였다.

[0028] 또한, PZT의 임피던스 신호의 계측은 무선 임피던스 계측시스템(Imote2/SSeL-I)을 적용하였으며, 무선 계측시스템의 도입을 위해 임피던스 신호의 계측 주파수 범위는 10kHz - 40kHz로 결정하였다. 볼트 체결력은 토크렌치(torque wrench)를 이용하여 도입이 이루어졌으며, 초기 볼트 체결력은 총 4개의 볼트(Bolt 1 ~ Bolt 4)에 대해 각각 160N이 도입되었다.

[0029] 볼트 풀림 식별을 위한 손상 시나리오로, 손상이 없는 비손상 상태는 4개의 볼트가 각각 160Nm로 체결된 상태를 고려하였다. 손상은 표 1과 같이 각 볼트(Bolt 1 ~ Bolt 4) 연결부가 각각 40Nm로 볼트 풀림이 발생(160Nm에서 40Nm로 볼트 체결력 감소)한 상태(Bolt-1 ~ Bolt-4)를 고려하였다.

[0030] 도 7은 스마트 계면 판의 적용성 검증으로 계면 판의 손상 도입 전후에 계측된 기전 임피던스의 비교 결과도를 나타낸 것으로, PZT를 각각 1) 볼트 연결 판과 2) 스마트 계면 판에 부착한 경우에 손상 도입 전후의 임피던스 신호의 변화를 보여준다.

[0031] 두 결과의 비교에서 볼 수 있듯이, 1) 볼트 연결 판에 PZT를 부착한 경우는 의미 할만한 기전 임피던스의 공진 주파수 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

[0032] 그러나 2)스마트 계면 판에 부착한 경우에 손상 도입 전후 및 임피던스 신호의 공진주파수 변화가 명확하게 발생하는 것을 볼 수 있었다.

[0033] 이는 1)볼트 연결 판에 부착된 PZT는 연결부의 구조 파라메터의 변화를 식별하는데 민감하지 않다는 사실을 보여준다.

[0034] 도 8은 스마트 계면 판의 적용성 검증으로 계면 판의 손상 도입 전후에 계측된 기전 임피던스의 RMSD를 이용한 정량적 분석 결과도를 나타낸 것으로, PZT를 각각 스마트 계면 판과 볼트 연결 판에 부착한 경우에 손상 도입 전후의 기전 임피던스의 RMSD 변화를 보여준다. 임피던스 RMSD의 비교 결과는 기전 임피던스의 비교에서 언급했던 것과 동일하게 볼트 연결 판에 부착할 경우는 매우 적은 민감도를 보인다는 것을 볼 수 있었다. 반면, 스마트 계면 판에 부착할 경우는 각각의 손상(볼트 체결력 감소, Bolt-1 ~ Bolt-4)을 매우 명확하게 식별하였다. 이로부터, 스마트 계면 판의 도입을 통해 강구조물 볼트 연결 판의 볼트 풀림의 식별과 임피던스 무선 계측시스템의 도입에 매우 유용하다는 것을 검증하였다.

표 1 스마트 계면 판의 적용성 검증을 위한 손상 시나리오

Case	Description
Intact	All bolts fastened to 160N · m
Bolt-1	Bolt 1 loosened to 40N · m, other bolts fastened to 160N · m
Bolt-2	Bolt 2 loosened to 40N · m, other bolts fastened to 160N · m
Bolt-3	Bolt 3 loosened to 40N · m, other bolts fastened to 160N · m
Bolt-4	Bolt 4 loosened to 40N · m, other bolts fastened to 160N · m

[0035]

[0036] 손상에 의한 기전 임피던스 변화를 정량화하기 위한 방법으로 다음과 같은 평균제곱근편차(root mean square deviation, RMSD)를 적용하였다.

[0037]
$$RMSD=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}[\mathrm{Re}(Z^{*}(\omega_i))-\mathrm{Re}(Z(\omega_i))]^2}{\sum_{i=1}^{n}[\mathrm{Re}(Z(\omega_i))]^2}} \quad (1)$$

[0038] 여기서, $Re(Z(\omega_i))$와 $Re(Z^{*}(\omega_i))$는 각각 비손상 상태와 손상 상태의 i번째 주파수에서 계측된 기전 임피던스의 실수부를 나타낸다. 또한, 은 계측된 기전 임피던스의 주파수 수를 나타낸다.

[0039] 끝으로, 기존의 방법을 통해 단일 볼트 체결에 대한 이상상태 식별을 수행 시, 다수의 PZT 부착이 요구되어 시스템의 운용에 어려움이 따른다. 이에, 단일 PZT를 이용하여 다수의 볼트 체결에 관한 이상상태 식별을 위한 방법 제시가 필요하다.

[0040] [실시예 2] 스마트 계면판의 사용방법

[0041] 상기 본 발명인 스마트 계면 판(SP)의 모서리에 볼트 체결을 위한 홀(3)과 스마트 계면 판의 상면(1) 중앙에 부착된 PZT(P)와 스마트 계면 판의 하면(2) 중앙에 판의 두께를 얇게 절단한 요홈부(4)를 포함하여 구성된 스마트 계면판(SP)을 이용하여, 볼트 연결부의 볼트 풀림을 식별하기 위한 방법으로,

[0042] 먼저, 다수의 볼트 연결부를 가진 철구조물의 볼트 연결부에 스마트 계면판(SP)의 홀(3)에 볼트로 체결하여 스마트 계면판(SP)을 설치한 후,

[0043] 스마트 계면 판(SP)은 볼트 체결력에 의해 형성된 접촉력의 변화를 PZT(P)와 스마트 계면 판(SP)의 경계면에 작용하는 스프링 강성(k_i)과 감쇠(c_i)의 구조 파라메터의 변화로 표현하며, 초기 체결상태에서 PZT(P)로부터 기전 임피던스 계측 후,

[0044] 볼트 풀림을 식별하기 위해 스마트 계면 판(SP)에 부착된 PZT(P)로 부터 계측된 전기-역학적 임피던스의 변화를

스마트 계면 판(SP)의 구조 파라메터(δk_i, δc_i)의 변화가 볼트 연결부의 체결력 변화를 나타내는 것을 지속적으로 임피던스 무선계측 시스템(IS)으로 계측하여,

[0045] 초기체결상태의 초기정보(baseline)와 비교 분석을 통해 스마트 계면 판(SP)내의 볼트 연결부의 볼트 풀림을 식별하기 위한 것을 특징으로 하는 기전 임피던스를 이용한 볼트연결 판의 볼트풀림 모니터링을 위한 스마트 계면 판(SP)의 사용방법

부호의 설명

[0046] SP : 스마트 계면 판 P : PZT(Lead Zirconate Titanate)

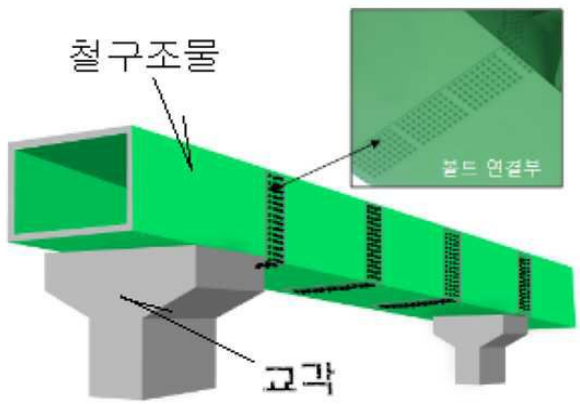
IS : 임피던스 무선계측 시스템

1 : 스마트 계면 판의 상면 2 : 스마트 계면 판의 하면

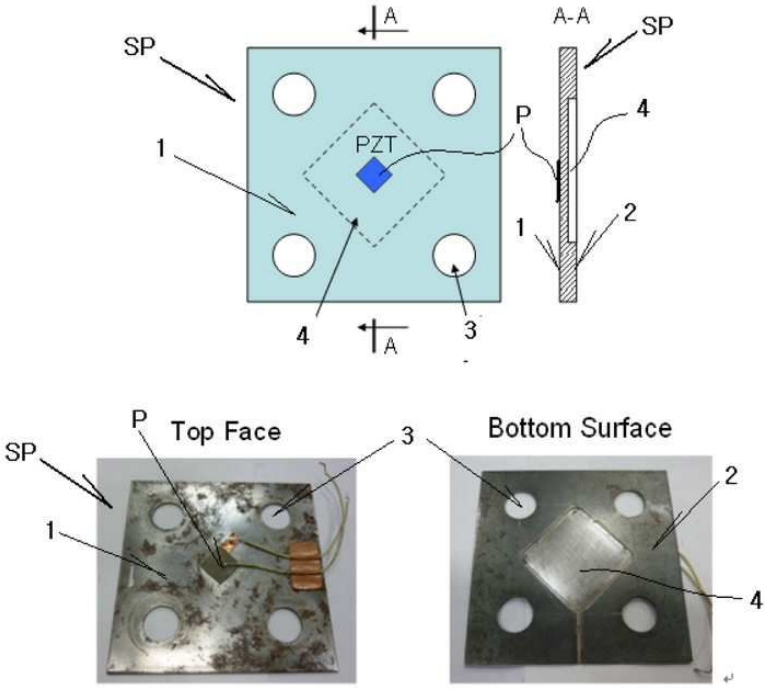
3 : 볼트 홀 4 : 스마트 계면 판의 하면 요홈부

도면

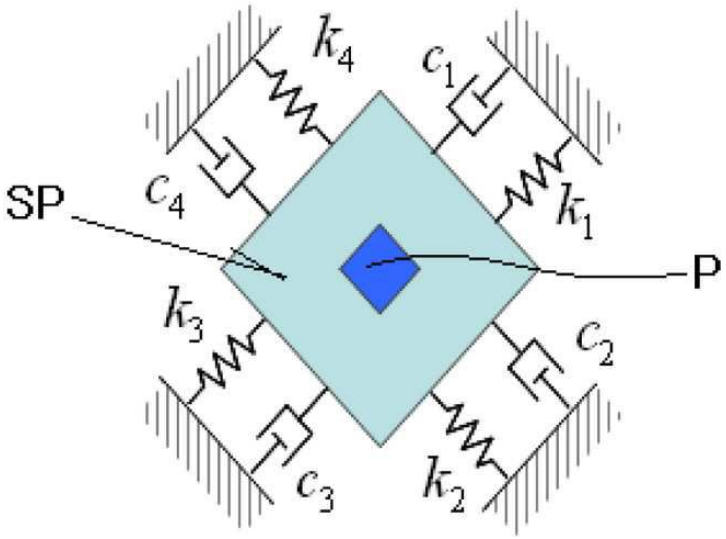
도면1



도면2

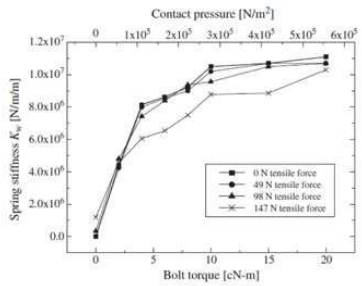

A
A-A
SP
SP
P
PZT
1
4
1
2
4
3
A
P
Top Face
3
Bottom Surface
SP
1
2
4

도면3

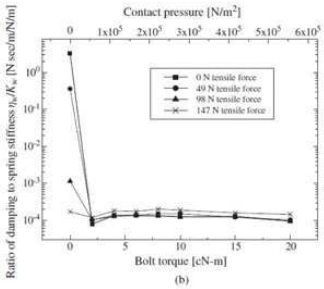

k_4
c_1
SP
c_4
k_1
P
k_3
c_2
c_3
k_2

도면4

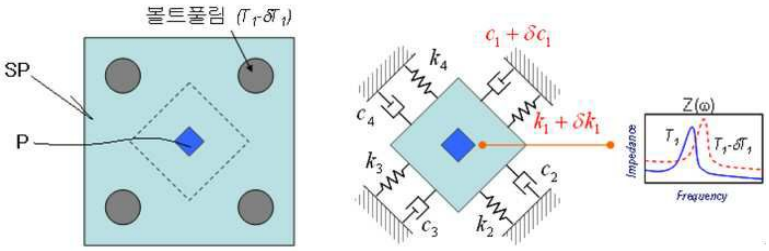
1) 스프링 강성 k_w



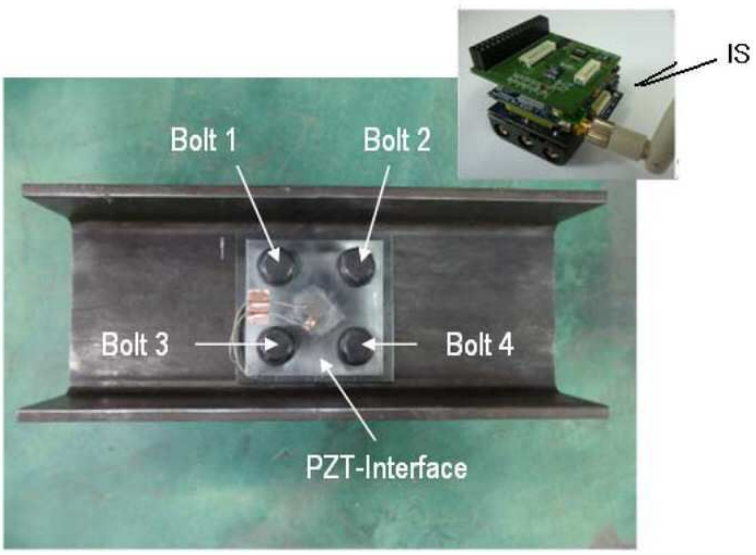
2) 감쇠 c_w



도면5

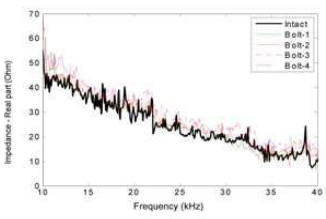


도면6

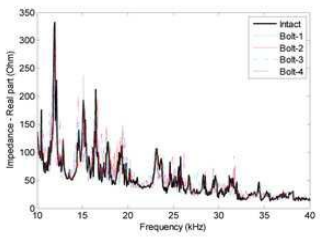


도면7

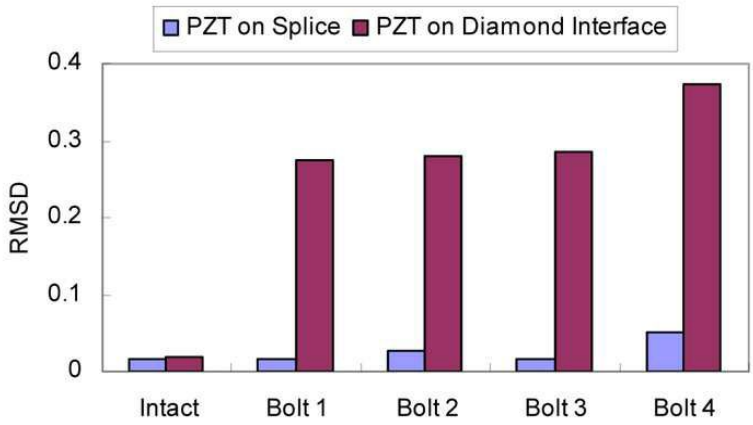
1)볼트 연결 판의 임피던스 신호



2)스마트 계면 판의 임피던스 신호



도면8


PZT on Splice
PZT on Diamond Interface
RMSD
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Intact
Bolt 1
Bolt 2
Bolt 3
Bolt 4