(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년10월06일
(11) 등록번호 10-1557270
(24) 등록일자 2015년09월25일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/00 (2006.01) *G06Q 50/08* (2012.01)
G06Q 50/10 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/00 (2013.01)
G06Q 50/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2015-0017194
(22) 출원일자 2015년02월04일
심사청구일자 2015년02월04일
(56) 선행기술조사문헌
KR101406005 B1*
KR1020150010847 A
KR1020020021548 A
허광희 외 2인. 상시진동을 이용한 강 구조물의 건전도 모니터링 시스템. 대한건축학회 2004년도 추계학술발표대회 논문집 - 구조계. 2004년 10월, 제24권, 제2호, pp.289-292 (2004.10.)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
건양대학교산학협력단
충청남도 논산시 대학로 121 (내동)
(72) 발명자
허광희
대전광역시 서구 관저북로 52 대자연마을아파트 108- 103
전준용
대전광역시 중구 목동로 70 올리브힐아파트 105-1301
(74) 대리인
특허법인 플러스

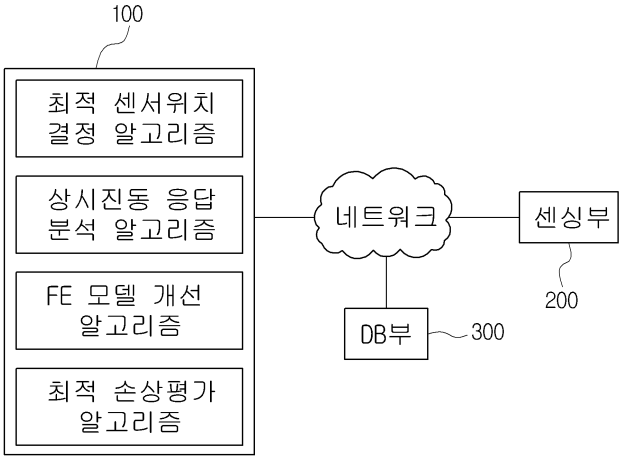
전체 청구항 수 : 총 3 항 심사관 : 이준우

(54) 발명의 명칭 **스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템**

(57) 요 약

본 발명은 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것으로, 상세하게는 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하며 최적 손상평가 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 스마트 구조물을 효과적으로 유지 관리를 위한 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G06Q 50/10 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013R1A2A1A01016192
부처명 교육과학기술부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기초연구사업->중견연구자지원사업->도약연구->도전
연구과제명 대형재난 예방을 위한 생체센싱 및 생체구조시스템에 관한 연구
기 여 율 1/1
주관기관 건양대학교 산학협력단
연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

실시간으로 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 유지 관리하는 EST 기반 단일 계측 시스템에 있어서,

상기 단일 계측 시스템은 최적 센서위치 결정 알고리즘, 상시진동 응답 분석 알고리즘, FE모델 개선 알고리즘 및 최적 손상평가 알고리즘이 컴퓨터를 포함하는 연산처리수단에 의하여 실행되는 프로그램 형태로 이루어진 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 실시간으로 스마트 구조물의 상태를 평가하되,

기설정되어 있는 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통해, 스마트 구조물로부터 건전도(health) 평가를 위한 신호를 검출하기 위한 다수 개의 센서의 최적 계측 위치를 결정하고,

기설정되어 있는 상시진동 응답 분석 알고리즘인 NExT&ERA(자연가진기법&고유계 구현기법)에 의해,

NExT 알고리즘을 통해, 스마트 구조물에 상시 발생되는 진동만을 이용하여 상기 다수 개의 센서로부터 측정된 응답 신호들 간의 교차파워스펙트럼(CPS)를 획득하고, 획득한 교차파워스펙트럼을 역퓨리에 변환하여 상호상관함수(CCF)를 획득하며,

ERA 알고리즘을 통해, 획득한 상호상관함수를 이용하여 Hankel 행렬로 나타낸 후, Hankel 행렬에 대한 특이치 분해(Singular value decomposition)을 수행하여 특이치 중 상대적으로 작은 수치모드 또는 잡음에 의한 모드를 제거하여 스마트 구조물의 고유 주파수를 획득하여 스마트 구조물의 거동특성을 분석하고,

기설정되어 있는 FE(유한요소, Finite Element)모델 개선 알고리즘을 통해, 스마트 구조물의 모달정보를 반영한 수치모델을 도출하고,

기설정되어 있는 최적 손상평가 알고리즘인 2차원 변형에너지 손상 검출법을 적용하여,

상기 스마트 구조물을 양방향으로 세분화하여 미소영역으로 분할하고, 계측된 모드벡터를 커브 피팅(curve fitting)하여 세부영역에 상관된 변형에너지를 산출하고, 상기 스마트 구조물의 전체 변형에너지에 대한 상기 미소영역의 에너지를 비교하여 세부영역 에너지(F_{ijk})를 하기의 수식과 같이 산출하고, 손상 전과 후의 세부영역 에너지의 변화량을 이용하여 손상지표를 산출하고, 손상의 위치를 중심으로 정규분포 곡선의 형상을 이루는 손상지표를 통해서 상기 스마트 구조물의 손상위치를 판단하여, 스마트 구조물의 상태평가를 수행하는 계측부(100); 및

상기 계측부(100)와 네트워크를 통해 연결되고, 상기 계측부(100)에서 결정한 최적 계측 위치에 위치하여 상기 스마트 구조물의 상태 평가를 위한 신호를 검출하여 전송하는 다수 개의 센서(210)로 구성되는 센싱부(200);

를 포함하여 구성되며,

상기 계측부(100)는

상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)에 의한 계측값들을 실시간으로 전달받아, 상기 스마트 구조물의 상태 평가를 수행하고, 평가한 스마트 구조물의 상태 정보에 따른 유지 관리를 수행하는 것을 특징으로 하는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템.

$$F_{ijk} = \frac{W_{ijk}}{W_i}$$

$$F^{*}{}_{ijk} = \frac{W^{*}{}_{ijk}}{W^{*}{}_{i}}$$

(여기서, *는 각각 손상 후 계산값을 의미하며,

W_i는 전체 에너지를 나타낸다.)

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 센싱부(200)는

상기 다수 개의 센서(210)로부터 검출한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기(220); 및

상기 디지털 신호를 송출하고, 상기 계측부(100)로부터의 건전도 평가 신호를 수신하는 무선송수신장치(230);

를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은

계측된 신호 정보, 센서의 최적 계측 위치 정보, 스마트 구조물의 거동특성 정보, 스마트 구조물의 수치모델 정보, 스마트 구조물의 손상위치 정보 및 스마트 구조물의 상태 평가 정보를 데이터베이스화하여 저장 및 관리하는 저장하는 데이터베이스부(300);

를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것으로서, EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하며 최적 손상평가 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 스마트 구조물을 효과적으로 유지 관리할 수 있는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적으로 건설 구조물은 시공 후 다양한 유해환경(조건)의 노출로 인해 점진적인 노후화 뿐 아니라, 특정 이벤트에 의한 구조적 결함이 발생될 수 있으며, 이는 당초 설계된 기대수명을 단축시키거나 예견치 못한 손상(파괴) 등의 심각한 구조적 문제를 야기시킬 수 있다. 더불어 노후화나 예견치 못한 손상 등은 구조물의 특성을 반영하는 질량, 강성 등의 요소에 변화를 나타나게 하고, 이러한 변화는 원형 구조물(Integrity Structure)의 동적 특성치의 변화를 야기시킨다.

[0003] 따라서, 구조물의 동적 특성을 중장기적인 관점에서 지속적인 건전도 모니터링(Health Monitoring)과 진단, 유지, 관리(maintenance)의 노력은 매우 중요하며, 이를 위해 기준된 시점에서 구조적 상태의 온전한 규명(SI, Structural Identification)이 선행되어야 한다. 최근 들어, 구조물 스스로가 구조적 상태를 인지/판단하고, 적절한 대응능력을 갖추도록 한 스마트 구조물(Smart Structure)의 기술이 요구되었다.

[0004] 이를 위해서, 상시 구조물 모니터링 시스템(SHM, Structural Health Monitoring)의 역할이 중요하게 이용되고 있다. 이러한 점에서 모니터링 시스템을 구현하고자 하는 많은 연구가 시도되고 있으며, 이와 같은 모니터링 기술은 건물, 교량 등과 같은 구조물의 동적 거동 상황을 측정, 분석 및 진단함으로써 구조물의 안전성을 극대화하고, 구조물의 안전성을 향상시킬 수 있는 기술이다.

[0005] 이러한 모니터링 기술은 주로 구조물에 부착된 센서에서 데이터를 획득하고, 이들 데이터를 변환하여 구조물의 손상도 평가를 위한 데이터를 분석하는 과정을 통하여 이루어지게 된다.

[0006] 그러나, 효과적인 상시 구조물 모니터링 시스템을 설계하는데 있어서는, 매우 많은 기술들을 필요로 함에도 불구하고, 현행 진단 및 모니터링 기술은 획일적이고 한정된 기술만을 활용하는 것이 일반적이다.

[0007] 이에 따라, 현행 진단 및 모니터링 기술은 구조적 상태를 인지/판단 능력과 구조적 상태의 온전한 규명 능력이 미흡하다.

[0008] 특히, 현행 진단 및 모니터링 기술은 대부분 구조물을 가진시키기 위한 인위적인 입력 가진을 구조물에 발생시켜야 하고, 이로 인한 많은 문제점 등으로 인해 조건부에 근거한 건전도(Health) 모니터링에 그치고 있는 실정이다.

[0009] 따라서, 불특정 외력에 대한 상시진동 기반의 구조물 건전도 모니터링 기술과 이 때, 다수의 계측점을 효율적으로 활용하여 최소한의 센서를 이용하여 최대한의 구조물 정보를 획득하고, 실제의 구조응답 정보를 반영하여 기본 구조물을 계측할 수 있는 최적 SI 기술이 절실히 요구되고 있다.

[0010] 이 때, 구조물에 구비되는 다수의 센서 위치(계측점)를 목적 모드에 적합하도록 선택적으로 줄일 수 있다면, 경제성과 효율성을 동시에 높일 수 있는 효과가 있다. 특히, 실시간/장기적 계측을 요구하는 건전도 모니터링은 계측 데이터의 처리가 매우 수치 집약적이며, 수많은 반복 연산을 요구하기 때문에, 결국 감시정보의 질을 최대화하면서 계측기의 수량을 최소화하는 것이 상당히 중요한 일이다.

[0011] 더불어 현행 진단 및 모니터링 기술은 대부분 구조물을 가진시키기 위한 인위적인 입력 가진을 구조물에 발생시킴으로써 야기되는 많은 문제점을 해결하기 위하여, 윤하중, 활하중, 기타 인위적/자연적 외력하중에 의한 상시진동을 이용하여 구조물 거동 특성을 분석/도출 할 수 있다면, 실무적인 관점에서 동특성 분석기술로 용이하게 활용될 수 있다.

[0012] 또한, 이들 실제 구조물의 계측 데이터 기반의 모달 정보를 활용하여 기본 구조물을 구축할 수 있다면, 구조물의 상태평가는 물론 SI를 위한 기준된 수치 모델을 제시할 수도 있다. 더불어, 이러한 기술들을 실무에서 활용하기 위해서는 시스템으로의 구성이 요구된다.

[0013] 최근 S/W Design 기술의 발달로, 계측분야에서는 임베디드 컴퓨팅 기술이 각광을 받고 있다.

[0014] 따라서, 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 최적 SI 시스템은 상술한 다양한 기술을 접목해 하나의 단일 계측 시스템으로 구성하고, 이 때 기존 하드웨어 기반이 아닌 소프트웨어적으로 알고리즘을 개발하고 이를 임베디딩함으로써 효율적이고 정확하게 계측/모니터링 시스템을 구축할 수 있다.

[0015] 다시 말하자면, 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 EST(Embedded

Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, **최적 센서위치 결정 알고리즘**을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 **상시진동 응답 분석 알고리즘**을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 **FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘**을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하며 **최적 손상평가 알고리즘**을 통한 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 스마트 구조물을 효과적으로 유지 관리할 수 있는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것이다.

[0016] 국내 등록 특허 제10-0587821호("시설물의 안전성 확보를 위한 자동 측정 및 제어 시스템")에서는 안전성이 요구되며 지속적인 모니터링이 필요한 교량이나 터널에 대하여, 그 안전 상태를 계속하여 측정하며, 감리회사, 안전 진단 회사와 같은 민간관리주체 및 국가, 지방자치단체 등과 같은 공공관리주체에서 필요시 모니터링이 가능할 뿐만 아니라, 안전 진단 회사에서 원거리에 있는 시설물에 설치된 측정장비를 제어할 수 있는 기능을 구비한 시설물의 안전성 확보를 위해 사용되는 자동 측정 및 제어 시스템을 개시하고 있다.

[0017] 유럽 특허 제2012-168249호("A method for monitoring a structure based on measurements of a plurality of sensors")에서는 건물, 교량 등의 구조체에 설치된 복수 개의 센서로부터 측정된 수집값을 이용하여, 구조의 현상 결함을 식별하기 위한 모니터링 방법을 개시하고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0018] (특허문헌 0001) 국내등록특허 제10-0587821호(등록일자 2006.06.01.)

(특허문헌 0002) 유럽특허 제2012-168249호(공개일자 2013.10.16.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 본 발명은 상술한 바와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하며 최적 손상평가 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 스마트 구조물을 효과적으로 유지 관리할 수 있는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은, 실시간으로 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 유지 관리하는 EST 기반 단일 계측 시스템에 있어서, 기설정되어 있는 **최적 센서위치 결정 알고리즘**을 통해, 스마트 구조물로부터 건전도(health) 평가를 위한 신호를 검출하기 위한 다수 개의 센서의 최적 계측 위치를 결정하고, 기설정되어 있는 **상시진동 응답 분석 알고리즘**을 통해, 스마트 구조물에 상시 발생되는 진동만을 이용하여 스마트 구조물의 거동특성을 분석하고, 기설정되어 있는 **FE(유한요소, Finite Element)모델 개선 알고리즘**을 통해, 스마트 구조물의 모달정보를 반영한 수치모델을 도출하고, 기설정되어 있는 **최적 손상평가 알고리즘**을 통해, 스마트 구조물의 손상위치를 판단하여, 스마트 구조물의 상태평가를 수행하는 계측부(100) 및 상기 계측부(100)와 네트워크를 통해 연결되고, 상기 계측부(100)에서 결정한 최적 계측 위치에 위치하여 상기 스마트 구조물의 상태 평가를 위한 신호를 검출하여 전송하는 다수 개의 센서(210)로 구성되는 센싱부(200)를 포함하여 구성되며, 상기 계측부(100)는 상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)에 의한 계측값들을 실시간으로 전달받아, 상기 스마트 구조물의 상태 평가를 수행하고, 평가한 스마트 구

조물의 상태 정보에 따른 유지 관리를 수행하도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0021] 이 때, 상기 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 최적 센서위치 결정 알고리즘, 상시진동 응답 분석 알고리즘, FE모델 개선 알고리즘 및 최적 손상평가 알고리즘이 컴퓨터를 포함하는 연산처리수단에 의하여 실행되는 프로그램 형태로 이루어지는 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 실시간으로 스마트 구조물의 상태를 평가하고 평가한 상태 정보에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 수행하도록 하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 더불어, 상기 센싱부(200)는 상기 다수 개의 센서(210)로부터 검출한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 A/D 변환기(220) 및 상기 디지털 신호를 송출하고, 상기 계측부(100)로부터의 건전도 평가 신호를 수신하는 무선송수신장치(230)를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한, 상기 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 계측된 신호 정보, 센서의 최적 계측 위치 정보, 스마트 구조물의 거동특성 정보, 스마트 구조물의 수치모델 정보, 스마트 구조물의 손상위치 정보 및 스마트 구조물의 상태 평가 정보를 데이터베이스화하여 저장 및 관리하는 저장하는 데이터베이스부(300)를 더 포함하여 구성되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하며 최적 손상평가 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 손상검출 및 상태평가를 통해 스마트 구조물을 효과적으로 유지 관리할 수 있다.

[0025] 여기서, **최적 센서위치 결정 알고리즘**으로는 최적운동에너지법(EOT, Kinetic Energy Optimization Techniques)을 통해서 관심모드를 기준으로 전체 변형운동에너지의 기여도를 자유도별로 상호 비교하고, 상대적으로 작은 기여도를 포함하는 자유도를 순차적으로 제거하여 다수의 계측점(자유도) 중 목적된 기준응답을 최적으로 측정할 수 있는 이종의 다수 개의 센서의 개수 및 위치를 결정하는데 효율적으로 활용될 수 있다.

[0026] 이를 통해서, 전체 자유도 기준으로 약 20% 내외의 센서만으로도 충분히 유효한 구조적 응답을 획득할 수 있는 효과가 있다.

[0027] 그리고 **상시진동 응답 분석 알고리즘**으로는 NExT&ERA(자연가진기법&고유계 구현기법)을 통해서 윤하중, 활하중, 기타 인위적/자연적 외력하중에 의해 스마트 구조물에 상시적으로 발생되는 진동만을 이용하여, 스마트 구조물의 거동특성을 분석함으로써 동특성을 명확히 분석할 수 있는 효과가 있다.

[0028] 또한 **FE모델 개선 알고리즘**으로는 직접행렬개선법(DMUM, Direct Matrix Updating Method)을 통해서 스마트 구조물에서 측정한 구조응답을 반영하여 이에 상응하는 FE모델을 구성함으로써, 초기 FE모델링 오차를 극복하고 현(기준) 시점의 스마트 구조물의 동특성을 반영한 기본 구조물을 정의하는데 효과적으로 적응될 수 있는 장점이 있다.

[0029] 이를 통해서, FE모델 개선은 스마트 구조물의 동특성(고유진동수 오차율 및 모드 상관도) 대비 약 1% 미만의 정확도를 가지는 효과가 있다.

[0030] 더불어, **최적 손상평가 알고리즘**으로는 2차원 변형에너지 손상 검출법을 통해서 실시간으로 스마트 구조물의 손상검출 및 이에 따른 상태평가를 수행할 수 있는 효과가 있다.

[0031] 더 나아가, 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 EST 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어 소프트웨어적으로 개발함으로써, 목적된 연산/처리/분석 능력을 빠르고 정확하게 구현할 수 있으며, 다양한 알고리즘을 통해 산출된 분석값들을 실시간으로 상호 유기적으로 운영하여 최적 SI(구조적 상태의 온전한 규명)를 통해 목적된 스마트 구조물의 건전도 모니터링을 온전히 수행할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템을 간략하게 나타낸 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템을 상세하게 나타낸 구성도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템의 계측부에서 최적 손상평가 알고리즘에 대한 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0033] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템을 상세히 설명한다. 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 또한, 명세서 전반에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.

[0034] 이 때, 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.

[0035] 더불어, 시스템은 필요한 기능을 수행하기 위하여 조직화되고 규칙적으로 상호 작용하는 장치, 기구 및 수단 등을 포함하는 구성 요소들의 집합을 의미한다.

[0036] 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 **최적 센서위치 결정 알고리즘**을 통해서 관심모드를 기준으로 전체 변형운동에너지의 기여도를 자유도별로 상호 비교하고, 상대적으로 작은 기여도를 포함하는 자유도를 순차적으로 제거하여 다수의 계측점(자유도) 중 목적된 기준응답을 최적으로 측정할 수 있는 이종의 다수 개의 센서의 개수 및 위치를 결정하고,

[0037] **상시진동 응답 분석 알고리즘**을 통해서 윤하중, 활하중, 기타 인위적/자연적 외력하중에 의해 스마트 구조물에 상시적으로 발생되는 진동만을 이용하여, 스마트 구조물의 거동특성을 분석함으로써 동특성을 명확히 분석하고,

[0038] **FE모델 개선 알고리즘**을 통해서 스마트 구조물에서 측정한 구조응답을 반영하여 이에 상응하는 FE모델을 구성함으로써, 초기 FE모델링 오차를 극복하고 현(기준) 시점의 스마트 구조물의 동특성을 반영한 기본 구조물을 정의하고,

[0039] **최적 손상평가 알고리즘**을 통해서 스마트 구조물의 손상위치를 판단함으로써,

[0040] 실시간으로 스마트 구조물의 상태평가가 이루어져 효과적으로 유지 관리할 수 있는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템이다.

[0041] 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은, EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어 소프트웨어적으로 개발함으로써, 목적된 연산/처리/분석 능력을 빠르고 정확하게 구현할 수 있으며, 다양한 알고리즘을 통해 산출된 분석값들을 실시간으로 상호 유기적으로 운영하여 최적 SI를 통해 목적된 스마트 구조물의 건전도 모니터링 뿐 아니라, 손상위치 판단 및 이에 다른 상태평가를 온전히 수행할 수 있는 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템에 관한 것이다.

[0042] 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 계측부(100), 상기 계측부(100)와 네트워크를 이용하여 연결되어 있는 센싱부(200) 및 데이터베이스부(300)를 포함하여 구성될 수 있으며, 상술한 바와 같이, 상기 계측부(100)는 컴퓨터를 포함하는 연산처리수단에 의하여 실행되는 프로그램 형태로 이루어지는 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어 구현될 수 있다.

[0043] 상세하게는, 상기 계측부(100)는 최적 센서위치 결정 알고리즘, 상시진동 응답 분석 알고리즘 및 FE모델 개선 알고리즘을 임베디딩하여, 실시간으로 스마트 구조물의 건전도를 평가하고, 평가한 건전도에 따른 스마트 구조

물의 유지 관리를 수행하도록 할 수 있다.

[0044] 각 구성에 대해서 자세히 알아보자면,

[0045] 상기 계측부(100)는 상기 센싱부(200)에 구비되어 스마트 구조물의 건전도 및 상태 평가를 위한 신호를 검출하는 다수 개의 센서(210)의 최적 계측 위치를 결정할 수 있으며, 스마트 구조물의 모달정보를 반영한 수치모델을 최소의 연산횟수로 도출할 수 있다.

[0046] 여기서, 상기 다수 개의 센서(210)를 통해서 검출되는 신호로는, 온습도, 변위, 하중(응력), 변형률, 기울기, 속도, 가속도, 중성화, 균열계 등이며, 상기 다수 개의 센서(210)는 이종의 다수 개의 센서로 구성되어, 관리자가 탄력적으로 변경, 확장 및 적용하여 구비할 수 있다.

[0047] 즉, 상기 계측부(100)는 미리 설정(저장)되어 있는 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통해, 상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)의 최적 계측 위치를 결정할 수 있다. 다수 개의 센서(210)는 스마트 구조물에 위치하여 스마트 구조물의 건전도 및 상태 평가를 위한 신호를 검출하게 된다.

[0048] 이 때, 상기 **최적 센서위치 결정 알고리즘으로는, 최적운동에너지법(EOT, Kinetic Energy Optimization Techniques)을 적용**하는 것이 바람직하며, 최적운동에너지법은 구조물의 변형 운동 에너지를 활용하여 최적 계측 위치를 결정한다.

[0049] 상기 스마트 구조물로부터 측정된 변형운동에너지가 최대가 되는 동역학적 모달정보를 획득하고, 이 때, 구해진 모드형의 선형 독립성이 존재하는 고유 시스템에서 최소의 에너지를 나타내는 지점을 순차적으로 제거함으로써, 최적계측 시스템을 구성할 수 있다.

[0050] 일반적인 건설 구조물의 운동에너지 분포는 하기의 수학식 1과 같이 정의할 수 있다.

수학식 1

[0051] $$KE = \Phi^T M \Phi$$

[0052] 여기서, KE는 운동에너지(Kinetic Energy)이며,

[0053] Φ 는 측정된 모드형 벡터이며,

[0054] M은 질량 매트릭스이다.

[0055] 이 때, 질량 매트릭스 M을 상삼각 행렬(L)과 하삼각 행렬(U)로 분해하여, 각각 $\Psi = U\Phi$, M=LU를 표현할 수 있으며, 감소된 측정인자에 따른 모드형의 projection은 하기의 수학식 2와 같이 정의할 수 있다.

수학식 2

[0056]
$$\overline{\Phi} = Projection(\Phi)$$
$$\overline{\Psi} = Projection(\Psi)$$

[0057] 이를 통해서, 상기 스마트 구조물의 운동 에너지의 측정을 최대화할 수 있는 최소화된 계측기, 즉, 센서의 개수 및 위치를 결정하게 된다.

[0058] 허나, 에너지 매트릭스가 랭크 빈약도를 일으킬 경우, 더 이상 센서의 개수를 제거해서는 안 되며, 질량 행렬이 정칙(Nonsingular Matrix)일 때, $\overline{KE}$ 요소의 행 랭크, N은 $\overline{\Phi}$ 매트릭스에서 선형 독립된 사영 벡터(Linearly Independent Projected Vector)의 수와 같다.

[0059] 이에 따라, 에너지 매트릭스 자신의 고유치 Λ와 고유벡터 Ψ를 고려하면, $\overline{KE}$가 N의 크기를 가진 사각대칭 양치행렬(Positive-definite Matrix)이기 때문에, 최적운동에너지법의 각각의 연산 절차에서 구하는 고유쌍의 연산에는 영향이 없다.

[0060] 각각의 잔여 센서의 기여도는 하기의 수학식 3과 같이, EOT 벡터로 나타낼 수 있다.

수학식 3

[0061]
$$EOT = \sum_{i=1 \cdots m} [\overline{\Psi} \psi \Lambda^{-\frac{1}{2}}]^2$$

[0062] EOT 벡터는 측정된 모드형이 선형 독립이므로, 하기의 수학식 4와 같이, 직교 벡터를 이루어야 한다.

수학식 4

[0063]
$$[\overline{\Psi} \psi \Lambda^{-\frac{1}{2}}]^T [\overline{\Psi} \psi \Lambda^{-\frac{1}{2}}] = I$$

[0064] 또한 상기 계측부(100)는 스마트 구조물에 상시 발생되는 진동만을 이용하여 스마트 구조물의 거동특성을 분석할 수 있다.

[0065] 즉, 상기 계측부(100)는 미리 설정(저장)되어 있는 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통해, 윤하중, 활하중, 기타 인위적/자연적 외력하중에 의해 스마트 구조물에 상시적으로 발생되는 진동만을 이용하여, 스마트 구조물의 거

동특성을 분석함으로써 동특성을 명확히 분석할 수 있다.

[0066] 이 때, **상시진동 응답 분석 알고리즘으로는, NExT&ERA(자연가진기법&고유계 구현기법)을 적용**하는 것이 바람직하다.

[0067] 자연가진기법이란, 강제 가진법이 가지는 문제점을 해결하기 위하여, 외부 가진력을 불규칙 정상(random stationary) 상태의 외부 가진으로 가정하여 강제 진동을 갖는 운동방정식의 형태가 CCF(상호상관함수)에 의해 2계 재차미분방정식의 형태로 표현되는 특성을 이용한 기법이다. 이러한 자연가진기법은 구조물의 가속도에 의한 응답만이 측정 가능할 때 유용한 방법이다.

[0068] 여기서, 외부 가진과 응답이 불규칙 정상 상태로 가정할 경우, 하기의 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

[0069] $$M\ddot{x}(t)+C\dot{x}(t)+Kx(t)=F(t)$$

[0070] 여기서, M, C, K 는 각각 질량, 감쇠, 강성행렬이며,

[0071] $\ddot{x}(t),\ \dot{x}(t),\ x(t)$ 는 시간(t)에 대한 가속도, 속도, 변위이며,

[0072] $F(t)$ 는 시간(t)에 대한 외력이다.

[0073] 동적 특성치 행렬은 결정론적인 것으로 가정하고, 양변에 기준응답신호를 곱하여 확률의 기대치를 취할 경우, 하기의 수학식 6으로 나타낼 수 있다.

수학식 6

[0074] $$MR_{\ddot{X}X_i}(t,s)+CR_{\dot{X}X_i}(t,s)+KR_{XX_i}(t,s)=R_{FX_i}(t,s)$$

[0075] 여기서, $R(\bullet)$ 는 상관함수의 벡터를 의미한다.

[0076] $X,\ \dot{X},\ \ddot{X}$ 가 불규칙 정상 상태일 경우, 상기의 수학식 6은 하기의 수학식 7과 같이 나타낼 수 있

다.

수학식 7

[0077]

$$M\ddot{R}_{XX_i}(\tau)+C\dot{R}_{XX_i}(\tau)+KR_{XX_i}(\tau)=0$$

[0078] 여기서, $R_{XX_i}=E[X(t)\bullet X_i(t+\tau)]$ 는 상호상관함수(CCF)를 의미하며, 변위 벡터의 항이 상관함수로 표현되고 자유진동을 갖는 운동방정식으로 표현된다.

[0079] 자연가진기법은 상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)로부터 측정된 응답 신호들 간의 CPS를 획득하여 하기의 수학식 8과 같이 CCF와 CPS가 퓨리에 쌍(pair)으로 존재한다는 점을 이용하여 CPS를 역퓨리에 변환하여 CCF를 얻을 수 있다.

수학식 8

[0080]

$$R_{AB}(n)=\frac{1}{N}\sum_{k=0}^{N-1}\Omega_{AB}(k)e^{j(2\pi kn/N)},\ n=0,1,2,\ldots,N-1$$

[0081] 여기서, R_{AB} 는 상호상관함수(CCF)이며,

[0082] Ω_{AB} 는 이산된 교차파워스펙트럼(CPS)이며,

[0083] n 과 k 는 이산시간과 주파수를 의미한다.

[0084] 이렇게 변환된 상호상관함수는 자연가진기법에 의해 스마트 구조물의 거동특성을 분석할 수 있다.

[0085] 더불어, 고유계 구현기법은 경감쇠를 갖는 구조물의 특성 분석에 적합하고 다중 입출력 모델에 효과적인 기법이다.

[0086] 고유계 구현기법은 획득된 상호상관함수(CCF)를 이용하여 구성된 하기의 수학식 9와 같은 Hankel 행렬로 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0087]

$$H(k-1)=\begin{bmatrix} y(k) & y(k+1) & \cdots & y(k+s) \\ y(k+1) & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & & \\ y(k+r) & \cdots & & y(k+s+r) \end{bmatrix}$$

[0088] 여기서, $y(k)$ 는 임펄스 응답행렬이며,

[0089] 각각 Hankel 행렬의 행과 열의 수이다.

[0090] 상기의 수학식 9에서 적절한 크기의 행과 열을 선택하여 $H(0)$ 을 산출하고, 하기의 수학식 10과 같이, Hankel 행렬에 대한 특이치 분해(Singular value decomposition)를 수행할 수 있다.

수학식 10

[0091]

$$H(0)=PDQ^T$$

[0092] 여기서, P, Q 는 비-특이 행렬(non-singular)이고,

[0093] D 는 양의 대각행렬이고,

[0094] $H(0)$ 는 특이치를 의미한다.

[0095] 특이치 중 상대적으로 작은 것은 수치모드, 혹은 잡음에 의한 모드로 제거하게 되며, 남겨진 P_n, Q_n, D_n 을 이용한 시스템 행렬과 출력 행렬은 하기의 수학식 11 및 12와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 11

[0096] $$\hat{A} = D_V^{-\frac{1}{2}} P_V^T H(1) Q_V D_V^{-\frac{1}{2}}$$

수학식 12

[0097] $$\hat{C} = E^T P_V D_V^{-\frac{1}{2}}$$

[0098] $$E^T = [I \;\; 0 \cdots \;\; 0]$$

여기서, 이다.

[0099] 이를 통해서, 고유 주파수는 스마트 구조물의 질량, 감쇠, 강성 등의 항으로 구성된 시스템 행렬 의 $\hat{A}$ 의 고유 값으로 획득할 수 있으며, $\hat{A}$ 의 고유 벡터를 Ψ 라고 하면, 구조물의 모드 벡터(Φ)는 하기의 수학식 13 과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 13

[0100] $$\Phi = \hat{C}\Psi$$

[0101] 더불어 상기 계측부(100)는 스마트 구조물의 모달정보를 반영한 수치모델을 도출하여 스마트 구조물의 건전도(health)를 평가할 수 있다.

[0102] 즉, 상기 계측부(100)는 미리 설정(저장)되어 있는 FE(유한요소, Finite Element)모델 개선 알고리즘을 통해, 스마트 구조물의 수치모델을 최소한의 연산횟수로 도출하게 된다.

[0103] 이 때, **FE모델 개선 알고리즘으로는, 직접행렬개선법(DMUM, Direct Matrix Updating Method)을 적용**하는 것이 바람직하다.

[0104] 기존 구성된 초기 구조물(Initial Structure)에 변경 구조물(Modified Structure)이 추가 혹은 제거되면, 변경

후 전체 구조물의 동특성이 변화하게 된다. 이 때, 구조적 변경 전, 후의 동특성은 하기의 수학식 14와 같은 고유치 문제로 나타낼 수 있다.

수학식 14

[0105]

$$([K]-\Lambda[M])\{\Phi\}=0$$
$$(([K]+[\triangle K])-\overline{\Lambda}([M]+[\triangle M]))\{\overline{\Phi}\}=0$$

[0106] 여기서, [K]는 강성행렬,

[0107] [M]은 질량행렬,

[0108] [△K]와, [△M]은 변경으로 인한 구조물의 강성과 질량의 변화행렬,

[0109] $\Lambda, \{\Phi\}$ 는 각각 구조 손상 전의 고유치와 고유벡터,

[0110] $\overline{\Lambda}, \{\overline{\Phi}\}$ 는 각각 변경 후의 고유치와 고유벡터이다.

[0111] 구조물의 변경에 의한 강성 [△K] 및 질량 [△M]의 변화를 구하는 방법 중 본 발명의 계측부(100)에서는 FE모델 개선의 효과와 모달 변화량 계산 시, 반복 연산의 요구 등을 고려하여, 보다 사용이 용이하면서도 우수한 모델 개선의 효과를 볼 수 있도록 직접행렬개선법을 적용하였다.

[0112] 여기서, 라그랑지 승수를 이용하여 강성 및 질량행렬의 변경량의 크기를 제한하면서 측정된 고유치를 만족하도록 구성된 목적함수는 하기의 수학식 15와 같다.

[0113] 이 때, 직접행렬개선법을 적용함으로써, 단 한 번의 행렬연산(Direct)으로 강성 및 질량 각 항에 대한 변화량을 계산할 수 있다.

수학식 15

[0114]

$$\epsilon_K = \| [K_A]^{-\frac{1}{2}}([K_U]-[K_A])[K_A]^{-\frac{1}{2}} \|$$
$$\epsilon_M = \| [M_A]^{-\frac{1}{2}}([M_U]-[M_A])[M_A]^{-\frac{1}{2}} \|$$

[0115] 여기서, $[K_A]$ 및 $[M_A]$는 변경 전의 구조물의 강성 및 질량행렬,

[0116] $[K_U]$ 및 $[M_U]$는 변경 후의 구조물의 강성 및 질량행렬이다.

[0117] 이를 이용하여, $[K_A]$와 $[K_U]$의 관계는 하기의 수학식 16과 같으며,

[0118] $[M_A]$와 $[M_U]$의 관계는 하기의 수학식 17과 같다.

수학식 16

[0119]
$$[K_U] = [K_A] + [\Delta K]$$

수학식 17

[0120]
$$[M_U] = [M_A] + [\Delta M]$$

[0121] 이 때, 상기의 수학식 16에서의 $[\triangle K]$는 하기의 수학식 18의 관계식을 이용하여, 하기의 수학식 19와 같이 정의된다.

수학식 18

[0122]
$$[K_U] - [K_U]^T = 0$$
$$[\Phi_X]^T [K_U][\Phi_X] - [\Lambda_X] = 0$$

수학식 19

$$[\Delta K] = -[K_A][\Phi_X][\Phi_X]^T[M_A] - [M_A][\Phi_X][\Phi_X]^T[K_A]$$
$$+[M_A][\Phi_X][\Phi_X]^T[K_A][\Phi_X][\Phi_X]^T[M_A] + [M_A][\Phi_X][\Lambda_X][\Phi_X]^T[M_A]$$

[0123]

[0124] 또한, 상기의 수학식 17에서의 [△M]은 하기의 수학식 20의 관계식을 이용하여, 하기의 수학식 21과 같이 정의된다.

수학식 20

$$[M_U] - [M_U]^T = 0$$
$$[\Phi_X]^T[M_U][\Phi_X] - [I] = 0$$

[0125]

수학식 21

$$[\Delta M] = [M_A][\Phi_X]([\Phi_X]^T[M_A][\Phi_X])$$
$$+([I] - [\Phi_X]^T[M_A][\Phi_X])([\Phi_X]^T[M_A][\Phi_X]) + [\Phi_X]^T[M_A]$$

[0126]

[0127] 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 최적 SI 시스템은 계측부(100)에서의 FE모델 개선의 대상이 FE 해석 및 모달 실험의 결과이므로, 밑첨자 A는 해석(Analysis)에 의한 결과치를 의미하며, 밑첨자 X는 실험(Experiment)치를 의미한다.

[0128] 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 스마트 구조물의 건전도 평가 뿐 아니라, 손상위치를 판단하여 상태평가를 수행할 수 있다.

[0129] 이를 위해서, 상기 계측부(100)는 미리 설정(저장)되어 있는 최적 손상평가 알고리즘을 통해, 스마트 구조물의 손상위치를 판단하고 이를 xdh해서 스마트 구조물의 상태 평가가 이루어지도록 할 수 있다.

[0130] 이 때, **최적 손상평가 알고리즘으로는, 2차원 변형에너지 손상 검출법을 적용**하는 것이 바람직하다.

[0131] 2차원 변형에너지 손상 검출법은 손상 전과 후의 각각의 모드벡터를 이용하여, 스마트 구조물의 동적 변형에너

지를 계산할 수 있다.

[0132] 일 실시예를 들자면, 도 3에 도시된 바와 같이, 판형 구조물을 양방향으로 세분하여 미소영역으로 분할하고, 계

$$\Psi_i$$

측된 모드벡터( )를 커브 피팅(Curve Fitting)하여 세부영역 (j,k)에 상관된 변형에너지를 구할 수 있다.

[0133] 이 때, 변형에너지는 하기의 수학식 22를 통해서 산출할 수 있다.

수학식 22

[0134]
$$W_{ijk} = \frac{D_{jk}}{2}\int_{b_k}^{b_{k+1}}\int_{a_j}^{a_{j+1}}\left(\left[\frac{\partial^2\Psi_i}{\partial x^2}\right]^2 + \left[\frac{\partial^2\Psi_i}{\partial y^2}\right]^2 + 2\nu\left[\frac{\partial^2\Psi_i}{\partial x^2}\right]\left[\frac{\partial^2\Psi_i}{\partial y^2}\right] + 2(1-\nu)\left[\frac{\partial^2\Psi_i}{\partial x\partial y}\right]^2\right)dx\,dy$$

[0135] 여기서, W_{ijk} 는 (j,k)의 세부영역 에너지이고,

[0136] Ψ_i 는 i번째 모드의 모드벡터이며,

[0137] $D = Eh^3/\{12(1-\nu^2)\}$ 는 휨 강성이며,

[0138] ν 는 재료의 포아슨 비이다.

[0139] 스마트 구조물의 전체 변형에너지에 대한 미소영역의 에너지를 비교하여 세부영역 에너지를 하기의 수학식 23과 같이 산출할 수 있으며, 각각의 손상 전과 후에 계산된 세부영역 에너지(F_{ijk})의 변화량을 서료 비교하여 손상지표를 산출하게 된다.

수학식 23

[0140]

$$F_{ijk} = \frac{W_{ijk}}{W_i}$$

$$F^{*}{}_{ijk} = \frac{W^{*}{}_{ijk}}{W^{*}{}_{i}}$$

.

[0141] 여기서, *는 각각 손상 후 계산값을 의미하며,

[0142] W_i는 전체 에너지를 나타낸다.

[0143] 상기 계측부(100)는 미리 설정(저장)되어 있는 최적 손상평가 알고리즘을 통해 최종적으로 각각 세부영역에서의 손상도 계수를 얻을 수 있으며, 이는 하기의 수학식 24를 통해서 나타낼 수 있다.

수학식 24

[0144]

$$S_{jk} = \left(\sum_{i=1}^{m} F^{*}_{ijk}\right) / \left(\sum_{i=1}^{m} F_{ijk}\right)$$

.

[0145] 이를 통해서, 산출된 스마트 구조물의 손상지표는 손상의 위치를 중심으로 정규분포 곡선과 같은 형상을 이루게 되므로, 이를 통해서 스마트 구조물의 손상위치를 판단할 수 있다.

[0146] 상기 계측부(100)는 스마트 구조물의 손상위치를 판단하여 이에 따른 스마트 구조물의 상태 평가를 수행할 수 있으며, 더 나아가 상태 평가 정보를 토대로 스마트 구조물의 유지 관리를 수행할 수 있다.

[0147] 즉, 본 발명의 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)에 의한 계측값들을 실시간으로 전달받아, 스마트 구조물의 건전도를 평가하고, 평가한 건전도에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 수행하도록 할 수 있을 뿐 아니라,

[0148] 스마트 구조물의 손상위치를 판단하여 이에 따른 상태를 평가하고 이를 토대로 스마트 구조물의 유지 관리를 수행하도록 할 수 있다.

[0149] 상기 센싱부(200)는 상기 계측부(100)와 네트워크를 이용하여 연결되며, 상기 계측부(100)에서 결정한 최적 계측 위치에 위치한 상기 다수 개의 센서(210)를 포함하여 구성될 수 있다.

[0150] 상기 다수 개의 센서(210)는 상기 스마트 구조물로부터 건전도 평가 및 상태 평가를 위한 신호를 검출하여 상기 계측부(100)로 전달하게 된다.

[0151] 상기 센싱부(200)는 도 2에 도시된 바와 같이, A/D 변환기(220), 무선송수신장치(230)를 더 포함하여 구성되고,

[0152] 상기 A/D 변환기(220)는 상기 다수 개의 센서(210)에서 검출한 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환할 수 있으며,

[0153] 상기 무선송수신장치(230)는 상기 A/D 변환기(220)에서 변환한 상기 디지털 신호를 상기 계측부(100)로 송출하고, 상기 계측부(100)로부터 건전도 평가 및 상태 평가 신호를 수신할 수 있다.

[0154] 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 데이터베이스부(300)를 더 포함하여 구성될 수 있으며, 상기 데이터베이스부(300)는 상기 센싱부(200)와 마찬가지로, 상기 계측부(100)와 네트워크를 이용하여 연결된다.

[0155] 상기 데이터베이스부(300)는 별도의 저장수단을 의미하며, 상기 계측부(100)에 의해서 결정된 상기 센싱부(200)의 다수 개의 센서(210)의 최적 계측 위치 정보와, 상기 다수 개의 센서(210)로부터 계측된 신호 정보, 상기 계측부(100)에 의해서 도출된 스마트 구조물의 수치모델 정보와, 상기 계측부(100)에 의해 도출된 스마트 구조물의 거동특성 정보, 상기 계측부(100)에 의한 스마트 구조물의 건전도 평가 정보 및 이에 따른 유지 관리 정보, 상기 계측부(100)에 의한 스마트 구조물의 손상위치 정보 및 이에 따른 상태평가 정보를 데이터베이스화하여 저장 및 관리할 수 있다.

[0156] 즉, 본 발명의 일 실시예에 따른 스마트 구조물의 유지 관리를 위한 EST 기반 단일 계측 시스템은 EST(Embedded Software Technology) 기반의 계측 시스템에 임베디딩되어, 최적 센서위치 결정 알고리즘을 통한 스마트 구조물에 구비되어 있는 센서들의 위치를 합리적이고 효율적으로 결정하고 상시진동 응답 분석 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 실시간 상시진동을 이용한 거동특성을 파악하며 FE(유한요소, Finite Element) 모델개선 알고리즘을 통한 스마트 구조물 기본 구성에 활용하여, 실시간으로 스마트 구조물의 건전도(health)를 평가할 뿐 아니라, 최적 손상평가 알고리즘을 통한 스마트 구조물의 손상 검출을 통한 손상위치를 판단하고 이를 토대로 상태평가를 수행함으로써, 스마트 구조물을 좀 더 효과적으로 유지 관리할 수 있다.

[0157] 이상과 같이 본 발명에서는 구체적인 구성 소자 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 도면에 의해 설명되었으나, 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 일 실시예에 한정되는 것이 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다.

[0158] 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술되는 특허 청구 범위뿐 아니라 이 특허 청구 범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명의 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

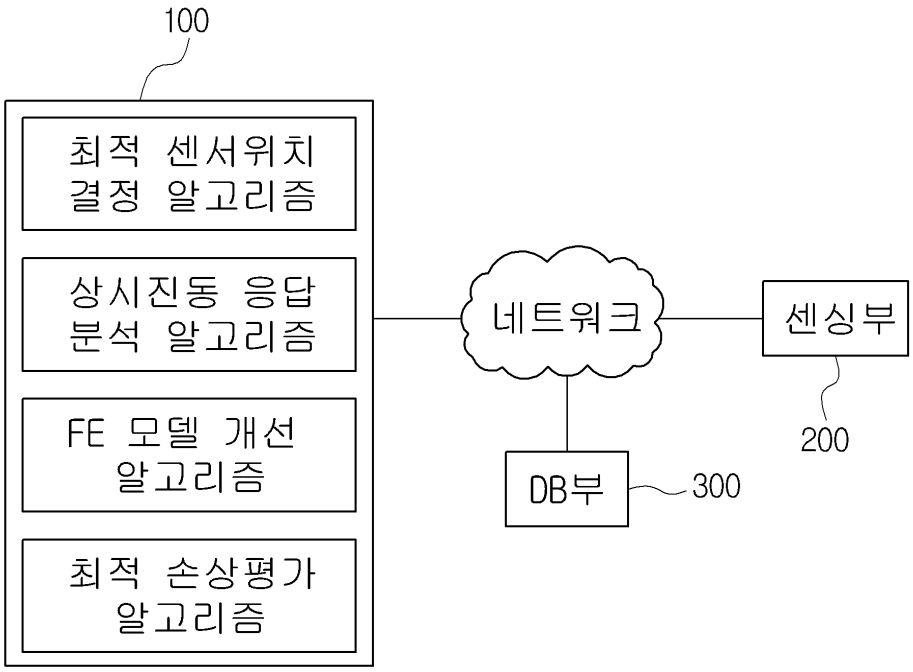
[0159] 100 : 계측부

200 : 센싱부

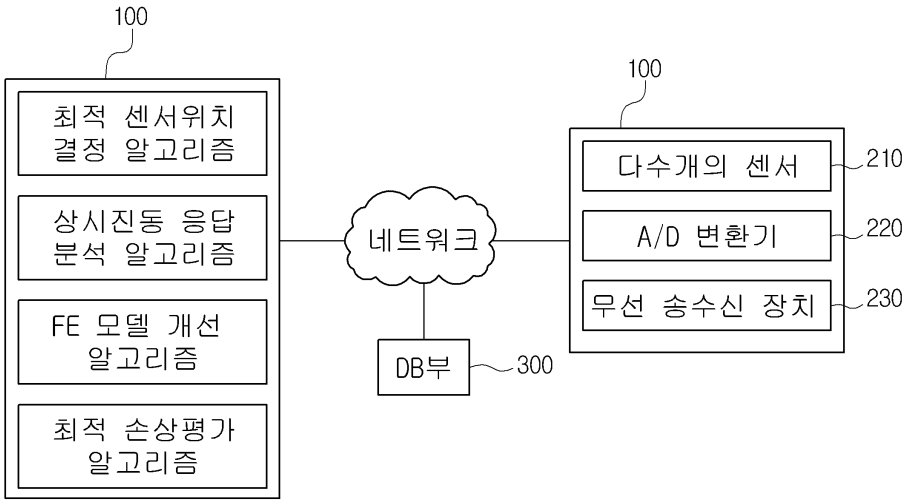
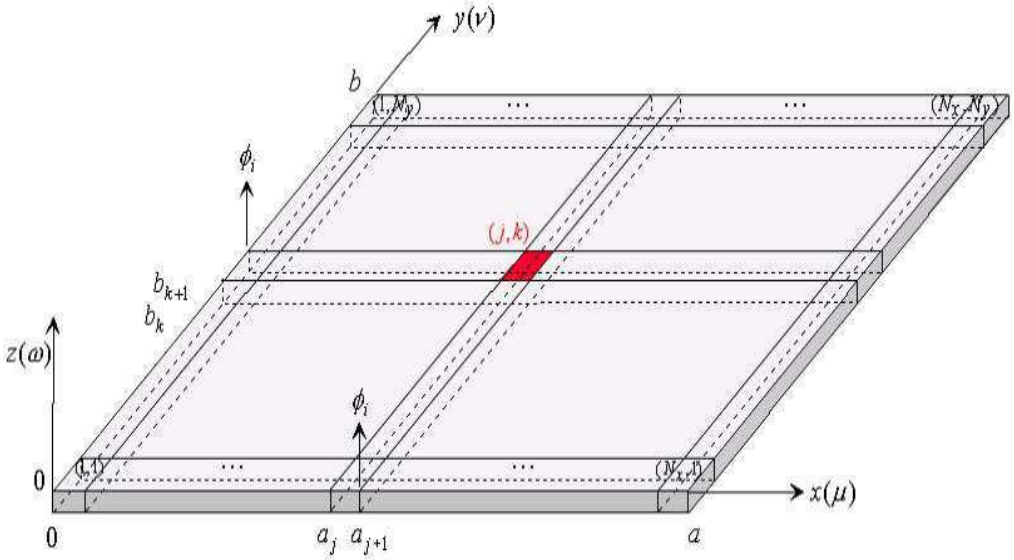
300 : 데이터베이스부

도면

도면1


100
최적 센서위치 결정 알고리즘
상시진동 응답 분석 알고리즘
FE 모델 개선 알고리즘
최적 손상평가 알고리즘
네트워크
센싱부
200
DB부
300

도면2


100
최적 센서위치 결정 알고리즘
상시진동 응답 분석 알고리즘
FE 모델 개선 알고리즘
최적 손상평가 알고리즘
네트워크
DB부
300
100
다수개의 센서
210
A/D 변환기
220
무선 송수신 장치
230

도면3