



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0001617
(43) 공개일자 2018년01월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 21/32 (2006.01) G01B 21/22 (2006.01)
G01C 9/00 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01B 21/32 (2013.01)
G01B 21/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0079153
(22) 출원일자 2016년06월24일
심사청구일자 2016년06월24일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
최준호
서울시 용산구 서빙고로 35, 101동 3803호(한강로3가, 용산시티파크1단지)
강영중
서울특별시 강동구 상일로 152, 104-1401 (강일동, 고덕리엔파크1단지아파트)
(74) 대리인
특허법인남춘

전체 청구항 수 : 총 3 항

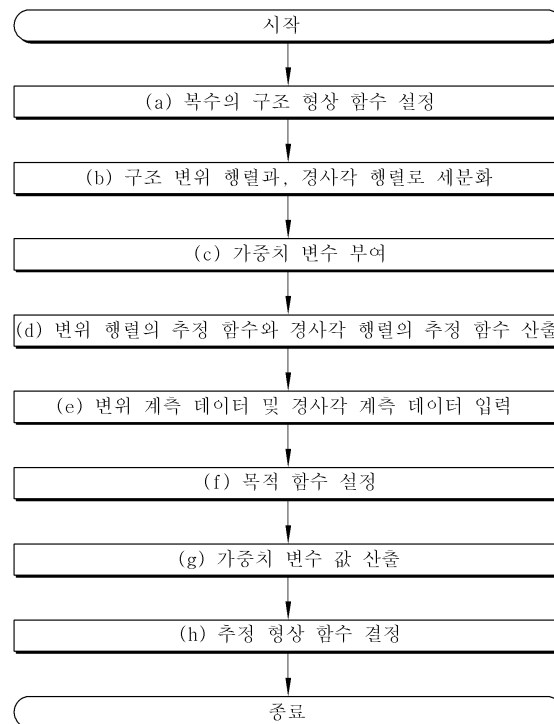
(54) 발명의 명칭 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법

(57) 요약

본 발명은 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 풍력타워, 장대교량, 초고층 빌딩, 송전철탑 등과 같이 거동 변위가 발생하고 발생 변위를 측정할 수 있는 모든 구조물에 대해서 적용 할 수 있는 형상 추정 기법으로서, 계측 지점을 최소화하고 최소한의 변위 계측 데이터 및

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



경사각 계측 데이터를 이용해 구조물의 수직, 수평 움직임의 2차원 형상 뿐 아니라 비틀림 등과 같은 3차원 형상을 보다 정밀하게 추정 할 수 있는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은, 구조물의 변형 형상 추정 방법에 있어서, (a) 상기 구조물의 형상을 모사하기 위한 기 설정된 모델링 기법을 통해 상기 구조물에 대한 복수개의 구조 형상 함수가 설정되는 단계와; (b) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각이 각 노드의 변화로 구성된 구조 변위 행렬과, 경사각으로 구성된 경사각 행렬로 세분화되는 단계와; (c) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각에 가중치 변수가 부여되는 단계와; (d) 상기 가중치 변수가 부여된 복수개의 구조 형상 함수가 중첩되며 변위 행렬의 추정 함수와, 경사각 행렬의 추정 함수가 산출되는 단계와; (e) 상기 구조물 상의 계측 지점에 설치된 변위 센서 및 경사 센서에 의해 계측된 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터가 입력되는 단계와; (f) 상기 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터와 각각 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 따른 추정 변형 형상 간의 편차가 반영된 목적 함수가 설정되는 단계와; (g) 상기 목적 함수를 최적화시키는 상기 가중치 변수의 값이 산출되는 단계와; (h) 상기 산출된 가중치 변수의 값이 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 부여되는 가중치 변수에 적용되어 상기 구조물의 변형 형상을 추정하기 위한 추정 형상 함수가 결정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

(52) CPC특허분류

G01C 9/00 (2013.01)

G06F 17/10 (2013.01)

강성용

경기도 성남시 분당구 정자로76번길 10, 201동 309호 (정자동, 상록마을라이프2단지아파트)

(72) 발명자

이윤우

서울특별시 성북구 안암동5가 고려대학교안암캠퍼스(자연계)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 15CTAP-C078861-02

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구사업

연구과제명 해양플랜트 라이저의 모션 모니터링 기술과 이를 이용한 내력 및 피로수명 평가 원천기술

개발

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2015.08.27 ~ 2016.08.26

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 16CCTI-B063905-05

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구사업

연구과제명 풍력발전타워 국내 설계/시공 자립기반 구축

기 여 율 1/2

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2016.04.01 ~ 2017.07.27

명세서

청구범위

청구항 1

구조물의 변형 형상 추정 방법에 있어서,

- (a) 상기 구조물의 형상을 모사하기 위한 기 설정된 모델링 기법을 통해 상기 구조물에 대한 복수개의 구조 형상 함수가 설정되는 단계와;
- (b) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각이 각 노드의 변화로 구성된 구조 변위 행렬과, 경사각으로 구성된 경사각 행렬로 세분화되는 단계와;
- (c) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각에 가중치 변수가 부여되는 단계와;
- (d) 상기 가중치 변수가 부여된 복수개의 구조 형상 함수가 중첩되며 변위 행렬의 추정 함수와, 경사각 행렬의 추정 함수가 산출되는 단계와;
- (e) 상기 구조물 상의 계측 지점에 설치된 변위 센서 및 경사 센서에 의해 계측된 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터가 입력되는 단계와;
- (f) 상기 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터와 각각 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 따른 추정 변형 형상 간의 편차가 반영된 목적 함수가 설정되는 단계와;
- (g) 상기 목적 함수를 최적화시키는 상기 가중치 변수의 값이 산출되는 단계와;
- (h) 상기 산출된 가중치 변수의 값이 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 부여되는 가중치 변수에 적용되어 상기 구조물의 변형 형상을 추정하기 위한 추정 형상 함수가 결정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 (f)단계에서 목적 함수는 변위 오차 및 경사 오차를 각각 제공한 총합으로 구성된 것을 특징으로 하는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 (f)단계에서 변위 오차 및 경사 오차에는 상기 변위 센서 및 상기 경사 센서의 정밀도의 차에 의한 특성을 반영하도록 각각 변위 측정 오차 가중치 및 경사 측정 오차 가중치가 적용되는 것을 특징으로 하는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 발명은 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 풍력타워, 장대교량, 초고층 빌딩, 송전철탑 등과 같이 거동 변위가 발생하고 발생 변위를 측정할 수 있는 모든 구조물에 대해서 적용 할 수 있는 형상 추정 기법으로서, 계측 지점을 최소화하고 최소한의 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터를 이용해 구조물의 수직, 수평 움직임의 2차원 형상 뿐 아니라 비틀림 등과 같은 3차원 형상을 보다 정밀하게 추정 할 수 있는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 구조물이 점차 대형화 되고 노후화된 구조물이 증가함에 따라 효율적 유지관리를 위해서 구조물 유지관리 시스템이 구축·운영 되고 있다.
- [0003] 이러한 구조물 유지관리 시스템은 구조물의 거동 모니터링을 위한 다양한 센서가 설치되어 있다.
- [0004] 대표적인 센서로는 구조물의 가속도를 측정하기 위한 가속도계, 구조물의 거동 변위를 측정 하기 위한 레이저 변위계와, GNSS(Global Navigation Satellite System) 그리고 부재의 변형률을 측정하기 위한 변형률계 등이다.
- [0005] 이들 센서를 통해 측정되는 구조물 거동 물리량 중에 변위 정보는 매우 활용 가치가 높다.
- [0006] 구조물의 변위 정보는 정적, 준정적, 동적 거동의 모든 물리량을 계측 할 수 있으며 구조물의 전체계 거동을 가장 잘 반영하는 데이터라고 할 수 있다.
- [0007] 하지만 변위를 계측 하는 것은 다른 물리량을 측정하는 것보다 매우 까다롭다고 할 수 있다.
- [0008] 변위를 측정하는 방법은 크게 2가지로 분류 할 수 있다.
- [0009] 변위를 직접적으로 측정하는 직접법과, 가속도, 변형률 정보를 이용하여 구조물의 변위를 계산하여 변위를 추정하는 간접법이다.
- [0010] 직접법의 경우 주로 LVDT 센서나 레이저 변위계가 이용되는데 매우 정밀도가 높지만 변위 계측을 위한 기준점 설치가 필요하기 때문에 대형 구조물의 거동 변위를 계측하기 위해서는 한계가 있다는 단점이 있다.
- [0011] 기존 변위 측정 센서의 한계를 극복하고자 GNSS를 이용한 변위 측정 시스템이 대형 구조물을 중심으로 구축·운영 되고 있다.
- [0012] GNSS센서의 경우 위성신호를 수신하여 구조물의 움직임을 측정하는 방법이기 때문에 구조물에 위성신호 수신을 위한 안테나를 부착하기만 하면 3축 변위를 매우 간편하게 측정 할 수 있다.
- [0013] 하지만 현재 GNSS 시스템 같은 경우 매우 고가이기 때문에 변위 계측 지점에 한계가 있고 현재 정밀도가 최대 10mm이므로 적용 대상 구조물에 따라 충분한 정밀도가 확보되지 않는 경우도 있다.
- [0014] 또한 위성 신호를 수신하기 때문에 멀티패스, 위성 수신 신호의 단절과 같은 경우 측정 정밀도가 확보되지 않는 단점이 있다.
- [0015] 이에, 구조물의 건전도 평가를 위해서 전체 구조계의 거동 변위 계산을 위한 방법이 제안되고 있는데, 전체 구조계의 거동 변위 계산을 위해서는 구조물의 다수의 지점에서 측정된 변위 정보가 필요한데, 기존 변위 계측 시스템에서는 측정 장비의 정밀도와 경제적인 이유로 인해서 계측 지점이 한정적이라는 한계가 있었다.
- [0016] 이러한 한계를 극복하기 위해서 종래기술로 등록특허 제10-1312851호(1013.09.30. 공고)에 게재된 '계측 변위를 이용한 구조물의 변형 형상 추정 방법 및 이를 수행하기 위한 프로그램이 기록된 기록매체'에서는 구조물의 형상 함수를 이용하여 구조물의 형상을 추정하여 한정된 계측 변위를 이용한 전체계 구조물 형상 추정 알고리즘이 제안되고 있다.
- [0017] 하지만, 상기 종래기술은 구조물의 변형 형상 추정에 계측된 변위 정보만을 이용한 것으로, 상기 종래기술이 실제 구조물에서 수행될 경우 GNSS 센서나 레이저 센서를 주로 사용하게 되는데 GNSS 센서는 위성 신호 수신에 간섭을 받을 경우 예상치 못한 측정 오차가 발생하기 때문에 GNSS 측정 데이터를 직접적으로 구조물 형상 추정에 사용할 경우 계산된 결과 또한 오차가 그대로 존재 하게 되고, GNSS 센서 및 레이저 센서는 고가의 가격으로 인해서 변위 계측 수가 한정적이라는 단점이 존재한다.
- [0018] 한편, 구조물 변위 정보와 마찬가지로 구조물의 모든 응답을 계측 할 수 있는 또 하나의 물리량으로서 구조물의 경사 정보 또한 생각할 수 있다.
- [0019] 하지만, 상기 경사 정보를 이용한 변위 계측에는 한계가 존재한다.
- [0020] 즉, 기존의 경사 센서를 이용한 구조물의 거동 측정 기술은 미소변위 이론에 근거한 아래의 식을 통해 변위(u)를 계산한다.

[0021]
$$u = r \cdot \theta$$

- [0022] 여기서, r 은 변위를 측정하고자 하는 지점과 경사 센서의 이격 거리이고, θ 는 측정된 경사각이다.
- [0023] 위의 식은 r 이 증가하면 오차가 증가하는 한계가 있고, 미소 거동 변위만 측정 가능하며, 경사 센서는 고정된 지점에 설치되어야 한다는 한계가 있다.
- [0024] 또한, 구조물 경사 응답은 가속도 응답과는 달리 시간에 따른 함수가 아니라 매 시간의 구조물 거동 형상에 따른 함수이기 때문에 단순히 경사 응답을 시간에 따른 함수로 처리하는 것이 불가능한 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0025] 본 발명은 상기와 같은 종래기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 최소한의 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터로 구조물의 2차원 형상 뿐 아니라 3차원 형상을 보다 정밀하게 추정 할 수 있는 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법을 제공하는 데에 있다.

과제의 해결 수단

- [0026] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은, 구조물의 변형 형상 추정 방법에 있어서, (a) 상기 구조물의 형상을 모사하기 위한 기 설정된 모델링 기법을 통해 상기 구조물에 대한 복수개의 구조 형상 함수가 설정되는 단계와; (b) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각이 각 노드의 변화로 구성된 구조 변위 행렬과, 경사각으로 구성된 경사각 행렬로 세분화되는 단계와; (c) 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각에 가중치 변수가 부여되는 단계와; (d) 상기 가중치 변수가 부여된 복수개의 구조 형상 함수가 중첩되며 변위 행렬의 추정 함수와, 경사각 행렬의 추정 함수가 산출되는 단계와; (e) 상기 구조물 상의 계측 지점에 설치된 변위 센서 및 경사 센서에 의해 계측된 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터가 입력되는 단계와; (f) 상기 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터와 각각 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 따른 추정 변형 형상 간의 편차가 반영된 목적 함수가 설정되는 단계와; (g) 상기 목적 함수를 최적화시키는 상기 가중치 변수의 값이 산출되는 단계와; (h) 상기 산출된 가중치 변수의 값이 상기 변위 행렬의 추정 함수 및 경사각 행렬의 추정 함수에 부여되는 가중치 변수에 적용되어 상기 구조물의 변형 형상을 추정하기 위한 추정 형상 함수가 결정되는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0027] 또한, 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은, 상기 (f)단계에서 목적 함수는 변위 오차 및 경사 오차를 각각 제공한 총합으로 구성된 것을 특징으로 한다.
- [0028] 또한, 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은, 상기 (f)단계에서 변위 오차 및 경사 오차에는 상기 변위 센서 및 상기 경사 센서의 정밀도의 차에 의한 특성을 반영하도록 각각 변위 측정 오차 가중치 및 경사 측정 오차 가중치가 적용되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0029] 상기와 같은 구성에 의하여 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은 최소한의 비용으로 구조물의 거동 형상 모니터링이 가능하고, 구조물의 기하형상이 복잡하더라도 기존 방법에 비해 용이하게 형상을 추정할 수 있어 다차원 구조물의 형상 추정을 용이하게 할 수 있는 장점이 있다.
- [0030] 또한, 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은 중력을 기준으로 측정하기 때문에 구조물의 정적·동적의 모든 응답을 계측할 수 있는 경사 센서를 이용함으로써 구조물의 장기 거동 변화 모니터링에 최적화하여 사용될 수 있는 장점이 있고, 기존 변위 센서는 측정 지점에 한계가 있었지만 경사 센서는 접촉식 센서로 측정 지점에 한계가 없어 설치 및 계측이 자유로운 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0031] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법의 흐름도
- 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 구조물 상의 각 계측 지점에 설치된 변위 센서 및 각도 센서를 나타내는 도면

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0032] 이하에서는 도면에 도시된 실시예를 참조하여 본 발명에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법을 보다 상세하게 설명하기로 한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법의 흐름도이다.
- [0034] 구조물의 거동 형상은 구조 형상 함수의 중첩으로 정의될 수 있는데, 도 1을 살펴보면 본 발명의 일실시예에 따른 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은 (a)단계 내지 (h)단계를 포함한다.
- [0035] (a)단계는 교량 등과 같은 구조물의 형상을 모사하기 위한 기 설정된 모델링 기법을 통해 상기 구조물에 대한 복수개의 구조 형상 함수가 설정되는 단계이다.
- [0036] 본 발명의 일실시예에서는 상기 (a)단계에서의 모델링 기법으로 유한 요소 해석 기법이 적용되는 것을 예로 하고, 교량과 같은 구조물은 유한 요소 해석 기법을 이용해 무한수의 자유도를 갖는 시스템이 유한수의 요소와 각 요소의 절점이 자유도를 갖는 시스템으로 묘사될 수 있다.
- [0037] 이러한, 유한 요소 해석 기법의 경우 2차원 구조물이나 3차원 구조물의 형상 변형에도 적용이 가능한 장점이 있다.
- [0038] 한편, 구조물은 다양한 외부 조건에 의해 그 형상의 변형이 야기된다. 예컨대, 교량의 경우, 운영 중에 차량 하중, 풍향, 지진 하중, 온도 하중과 같이 다양한 하중을 경험하며 이들 하중에 의해서 구조물은 다양한 형상 변형이 야기된다.
- [0039] 이에, 상기 (a)단계에서의 구조 형상 함수는 구조물의 거동에 따라 다양하게 설정될 수 있는데, 본 발명의 일실시예에서는 구조물의 진동에 따른 형상 변형 또는 장기 거동 또는 오랜 시간에 걸쳐 나타나는 형상 변형이 반영되어 설정된다.
- [0040] 예를 들면, 상기 (a)단계에서의 구조 형상 함수는 구조물의 진동 형상이 지배적으로 나타날 경우 모드 형상이 사용될 수 있으며, 장기 거동 또는 오랜 시간에 걸쳐 나타나는 형상의 경우 준정적 거동 형상이 사용될 수 있다.
- [0041] 이에 따라, 구조물에 실제 작용하는 하중으로 인해 나타날 수 있는 다양한 형상 변형이 구조 형상 함수에 반영될 수 있게 된다.
- [0042] 상기 복수개의 구조 형상 함수는 각각 행렬(매트릭스)로 나타낼 수 있다.
- [0043] (b)단계는 상기 복수개의 구조 형상 함수 각각이 아래의 [수학식 1]과 같은 각 노드의 변화로 구성된 구조 변위 행렬(Φ_i)과, 아래의 [수학식 2]와 같은 경사각으로 구성된 경사각 행렬(R_i)로 세분화되는 단계이다.
- [0044] [수학식 1]

$$\Phi_i = [\omega_{kl}] = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} \\ \vdots & & \\ \omega_{k1} & \omega_{k2} & \omega_{k3} \end{bmatrix}$$

[0045]

[0046] [수학식 2]

$$R_i = [\theta_{kl}] = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} \\ \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} \\ \vdots & & \\ \theta_{k1} & \theta_{k2} & \theta_{k3} \end{bmatrix}$$

[0047]

[0048] 여기서, k는 유한요소모델의 절점수(1, 2, 3 ...)이고, l은 구조물의 차원이다.

[0049] (c)단계는 설정된 구조 형상 함수를 이용해 전체 구조물의 형상 추정을 위해 상기 복수개(n개)의 구조 형상 함수

수 각각에 가중치 변수가 부여되는 단계이다.

이때, 각 구조 형상 함수의 구조 변위 행렬(Φ_i)과, 경사각 행렬(R_i)은 동일한 구조 형상 함수에서 산출된 행렬
이므로 각각 아래의 [수학식 3] 및 [수학식 4]에서와 같이 동일한 가중치 변수(α_i)가 부여된다.

[수학식 3]

$$\alpha_1 \Phi_1, \alpha_2 \Phi_2, \alpha_3 \Phi_3, \dots, \alpha_n \Phi_n$$

[수학식 4]

$$\alpha_1 R_1, \alpha_2 R_2, \alpha_3 R_3, \dots, \alpha_n R_n$$

(d) 단계는 상기 가중치 변수(α_i)가 부여된 복수개(n개)의 구조 형상 함수가 중첩되며, 아래의 [수학식 5]와
같은 변위 행렬의 추정 함수($u^{(es)}$)와, 아래의 [수학식 6]과 같은 경사각 행렬의 추정 함수($r^{(es)}$)가 산출되는 단
계이다.

[수학식 5]

$$u^{(es)} = \alpha_1 \Phi_1 + \alpha_2 \Phi_2 + \alpha_3 \Phi_3 + \dots + \alpha_n \Phi_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i \Phi_i$$

$$u^{(es)} = [u_{kl}^{(es)}] = \begin{bmatrix} u_{11}^{(es)} & u_{12}^{(es)} & u_{13}^{(es)} \\ u_{21}^{(es)} & u_{22}^{(es)} & u_{23}^{(es)} \\ u_{31}^{(es)} & u_{32}^{(es)} & u_{33}^{(es)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{k1}^{(es)} & u_{k2}^{(es)} & u_{k3}^{(es)} \end{bmatrix}$$

[수학식 6]

$$r^{(es)} = \alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2 + \alpha_3 R_3 + \dots + \alpha_n R_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i R_i$$

$$r^{(es)} = [r_{kl}^{(es)}] = \begin{bmatrix} r_{11}^{(es)} & r_{12}^{(es)} & r_{13}^{(es)} \\ r_{21}^{(es)} & r_{22}^{(es)} & r_{23}^{(es)} \\ r_{31}^{(es)} & r_{32}^{(es)} & r_{33}^{(es)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{k1}^{(es)} & r_{k2}^{(es)} & r_{k3}^{(es)} \end{bmatrix}$$

(e)단계는 도 2에 도시된 바와 같이 상기 구조물 상의 계측 지점에 설치된 변위 센서(Displacement Sensor) 및
경사 센서(Inclination Sensor)에 의해 계측된 계측 지점(j)에서의 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터가
입력되는 단계이다.

상기 경사 센서(Inclination Sensor)의 경우 중력을 기준으로 측정하기 때문에 구조물의 정적·동적의 모든 응
답을 계측 할 수 있고, 구조물의 장기 거동 변화 모니터링에 최적화하여 사용될 수 있는 장점이 있다.

또한, 상기 변위 센서(Displacement Sensor)는 측정 지점에 한계가 있지만, 상기 경사 센서(Inclination
Sensor)는 접촉식 센서로 측정 지점에 한계가 없어 설치 및 계측이 자유로운 장점이 있다.

즉, 상기 (e)단계에서는 상기 [수학식 5] 및 [수학식 6]의 변위 행렬의 추정 함수($u^{(es)}$)와, 경사각 행렬의 추정
함수($r^{(es)}$)에 각각 계측 지점(j)에서 실제 계측된 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터가 적용되어 아래의
[수학식 7]과 같은 계측 변위 벡터($u^{(re)}$)와, [수학식 8]과 같은 계측 경사 벡터($r^{(re)}$)가 재구성된다.

[0066] [수학식 7]

$$\mathbf{u}^{(re)} = [u_{ji}^{(re)}] = \begin{bmatrix} u_{11}^{(re)} & u_{12}^{(re)} & u_{13}^{(re)} \\ u_{21}^{(re)} & u_{22}^{(re)} & u_{23}^{(re)} \\ u_{31}^{(re)} & u_{32}^{(re)} & u_{33}^{(re)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{j1}^{(re)} & u_{j2}^{(re)} & u_{j3}^{(re)} \end{bmatrix}$$

[0067]

[0068] [수학식 8]

$$\mathbf{r}^{(re)} = [r_{ji}^{(re)}] = \begin{bmatrix} r_{11}^{(re)} & r_{12}^{(re)} & r_{13}^{(re)} \\ r_{21}^{(re)} & r_{22}^{(re)} & r_{23}^{(re)} \\ r_{31}^{(re)} & r_{32}^{(re)} & r_{33}^{(re)} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{j1}^{(re)} & r_{j2}^{(re)} & r_{j3}^{(re)} \end{bmatrix}$$

[0069]

[0070] (f)단계는 상기 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터와 각각 상기 변위 행렬의 추정 함수($u^{(es)}$) 및 경사각 행렬의 추정 함수($r^{(es)}$)에 따른 추정 변형 형상 간의 편차가 반영된 목적 함수가 설정되는 단계이다.

[0071] 이를 위해 아래의 [수학식 9]와 같은 계측 변위 벡터($u^{(re)}$) 및 계측 경사 벡터($r^{(re)}$)와, 변위 행렬의 추정 함수($u^{(es)}$) 및 경사각 행렬의 추정 함수($r^{(es)}$)의 오차행렬(e)을 구성한다.

[0072] 이때, 변위 센서와 경사 센서의 정밀도는 각각 다른 특성을 나타내므로, 아래의 [수학식 9]의 오차행렬(e)에서는 이러한 센서의 오차를 고려하기 위하여 변위 측정 오차 가중치(κ) 및 경사 측정 오차 가중치(λ)가 적용된다.

[0073] [수학식 9]

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} \kappa \cdot \mathbf{u}^{(re)} \\ \lambda \cdot \mathbf{r}^{(re)} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \kappa \cdot \mathbf{u}^{(es)} \\ \lambda \cdot \mathbf{r}^{(es)} \end{bmatrix}$$

[0074]

[0075] 한편, 오차를 누적할 때 서로의 오차가 상쇄되어 목적 함수의 구성 정밀도가 하락될 경우를 방지하기 위하여 본 발명의 일실시예에서는 변위 오차와 경사 오차를 제공하고 총합을 목적 함수로 구성하여 변위 정보와 경사 정보를 융합하게 된다.

[0076] 즉, 본 발명의 일실시예에서의 목적 함수는 아래의 [수학식 10]과 같이 오차행렬(e)의 각 열의 제곱의 총합(E_i)을 산정하여 각 차원의 방향에 대한 오차율을 산정한다.

[0077] [수학식 10]

$$E_i = \sum_{j=1}^m (e_{ji}^2)$$

[0078]

[0079] 여기서, m은 변위 계측 지점의 개수이다.

[0080] (g)단계는 상기 목적 함수를 최적화시키는 상기 가중치 변수(α_i)의 값이 산출되는 단계이다.

[0081] 즉, 상기 (g)단계는 상기 [수학식 10]과 같은 목적 함수를 통해 구조 형상 함수 가중치가 포함된 식을 구성하고, 최소제곱법, 유전자알고리즘, 하모닉씨치 중 어느 하나의 최적화 알고리즘을 통해 상기 가중치 변수(α_i)의 값을 산정하는 단계이다.

[0082] (h)단계는 상기 산출된 가중치 변수(α_i)의 값이 상기 변위 행렬의 추정 함수($u^{(es)}$) 및 경사각 행렬의 추정 함수($r^{(es)}$)에 부여되는 가중치 변수(α_i)에 적용되어 최종적으로 상기 구조물의 변형 형상을 추정하기 위한 추정 형

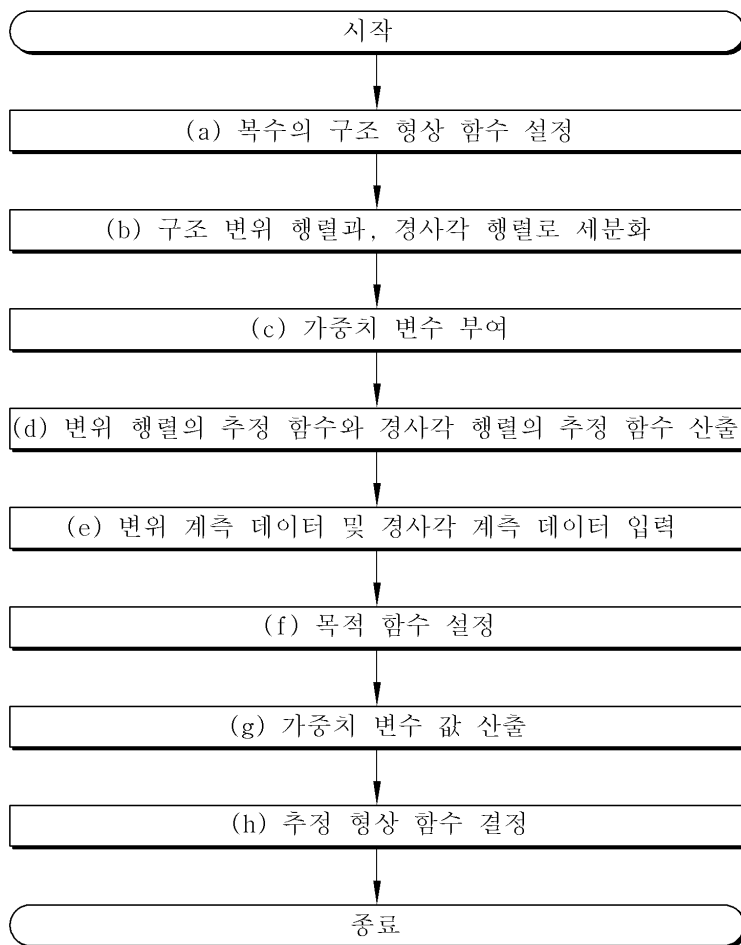
상 함수가 결정되는 단계이다.

[0083] 상기와 같은 일련의 방법에 의해 본 발명은 최소한의 변위 계측 데이터 및 경사각 계측 데이터로부터 구조물의 2차원 형상 뿐 아니라 3차원 형상을 보다 정밀하게 추정 할 수 있게 되는 것이다.

[0084] 앞에서 설명되고 도면에서 도시된 변위 및 경사각 계측 데이터를 융합한 구조물의 변형 형상 추정 방법은 본 발명을 실시하기 위한 하나의 실시예에 불과하며, 본 발명의 기술적 사상을 한정하는 것으로 해석되어서는 안된다. 본 발명의 보호범위는 이하의 특허청구범위에 기재된 사항에 의해서만 정하여지며, 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 개량 및 변경된 실시예는 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것인 한 본 발명의 보호범위에 속한다고 할 것이다.

도면

도면1



도면2

