



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0049078
(43) 공개일자 2017년05월10일

- | | |
|---|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 <i>G01B 21/32</i> (2006.01) <i>G01C 9/00</i> (2006.01)
 <i>G01H 17/00</i> (2006.01) <i>G01P 15/00</i> (2006.01)
 <i>G06F 17/11</i> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류
 <i>G01B 21/32</i> (2013.01)
 <i>G01C 9/00</i> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2015-0150004
 (22) 출원일자 2015년10월28일
 심사청구일자 2015년10월28일</p> | <p>(71) 출원인
 고려대학교 산학협력단
 서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)</p> <p>(72) 발명자
 최준호
 서울시 용산구 서빙고로 35, 101동 3803호(한강로3가, 용산시티파크1단지)</p> <p>(74) 대리인
 특허법인남춘</p> |
|---|---|

전체 청구항 수 : 총 6 항

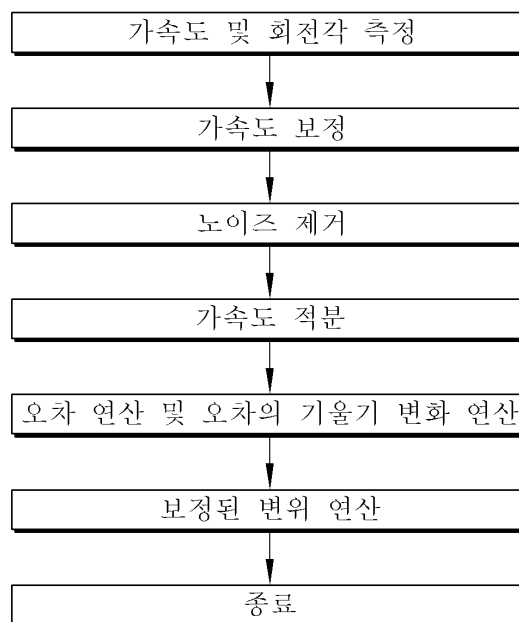
(54) 발명의 명칭 **가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물 변위이력 측정방법**

(57) 요약

본 발명은 구조물의 동적 변위 이력을 측정하는 장치 및 그 장치를 이용한 측정방법에 관한 것으로서, 구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서에 의해 회전각 데이터를 측정하고, 상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서에 의해 가속도 데이터를 측정하는 단계와, 상기 경사센서의

(뒷면에 계속)

대표도 - 도2



회전각 데이터를 이용하여 상기 가속도센서의 가속도 데이터에서 가속도센서의 회전에 의한 중력영향을 보정하여 수직방향의 가속도 값만을 계산하는 가속도보정단계와, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정잡음을 주파수대역 필터링에 의해 제거하는 노이즈제거단계와, 상기 가속도보정단계와 상기 노이즈제거단계를 거친 가속도값을 이중적분하여 구조물의 변위를 연산하는 단계와, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정오차로 인한 오차의 총합을 연산하고 상기 오차의 총합을 시간에 따른 기울기로 연산한 후 보정하는 오차보정단계와, 상기 오차보정에 의해 보정된 상기 한 쌍의 기울기센서의 변위값에 의해 구조물의 최종변위를 연산하는 단계를 포함하며, 가속도계를 이용하여 구조물의 진동 가속도를 측정하고 경사계를 통해 얻은 회전각정보를 이용하여 해결하여, 계산된 변위가 오차의 누적으로 인한 발산을 방지하고 초기 조건의 불확실성에 영향을 받지 않고 구조물의 변위이력을 측정할 수 있다.

(52) CPC특허분류

G01H 17/00 (2013.01)

G01P 15/00 (2013.01)

G06F 17/11 (2013.01)

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 1/1

주관기관 고려대학교 산학협력단

연구기간 2015.08.27 ~ 2016.08.26

명세서

청구범위

청구항 1

구조물의 변위이력측정장치에 있어서,

구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서와,

상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서와,

상기 경사센서에서 측정된 회전각 데이터와 상기 한 쌍의 가속도센서에서 측정된 가속도 데이터에 의해 구조물의 변위를 연산하는 연산처리부를 포함하는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위 이력 측정장치.

청구항 2

구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서에 의해 회전각 데이터를 측정하고, 상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서에 의해 가속도 데이터를 측정하는 단계와,

상기 경사센서의 회전각 데이터를 이용하여 상기 가속도센서의 가속도 데이터에서 가속도센서의 회전에 의한 중력영향을 보정하여 수직방향의 가속도 값을 계산하는 가속도보정단계와,

상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정잡음을 주파수대역 필터링에 의해 제거하는 노이즈제거단계와,

상기 가속도보정단계와 상기 노이즈제거단계를 거친 가속도값을 이중적분하여 구조물의 변위를 연산하는 단계와,

상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정오차로 인한 오차의 총합을 연산하고 상기 오차의 총합을 시간에 따른 기울기로 연산한 후 보정하는 오차보정단계와,

상기 오차보정에 의해 보정된 상기 한 쌍의 기울기센서의 변위값에 의해 구조물의 최종변위를 연산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위이력 측정방법.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 가속도보정단계는 다음 식에 의해 가속도센서의 회전에 의한 위치변위를 연산하는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위이력 측정방법.

$$u_s(t) = s(t) \times L$$

(여기서, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $s(t)$ 는 측정위치에서의 회전각, L 은 경사센서와 가속도센서 사이의 거리를 의미한다)

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 오차보정단계에서 상기 오차의 총합은 다음 식에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위이력 측정방법.

$$\frac{1}{2} (u_R(t) - u_L(t)) - u_s(t) = E(t)$$

(여기서, $u_R(t)$ 와 $u_L(t)$ 는 한 쌍의 가속도센서 각각의 변위, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $E(t)$ 는 가속도센서와 경사센서의 측정오차로 인하여 발생하는 오차의 총합을 의미한다)

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 오차보정단계는,

상기 오차의 총합의 시간에 따른 기울기를 계산하고, 계산된 기울기의 변화가 미리 설정된 일정 이상의 값이 되면 임의의 시간 간격으로 나누고,

각 시간간격에서의 한 쌍의 가속도센서의 각각의 변위의 기울기를 보정하는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위이력 측정방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 구조물의 최종변위는 다음 식에 의해 연산되는 것을 특징으로 하는 가속도정보와 회전정보를 이용한 구조물의 변위이력 측정방법.

$$u(t) = \frac{1}{2} (\overline{u_R(t)} + \overline{u_L(t)})$$

(여기서, $\overline{u_R(t)}$ 와 $\overline{u_L(t)}$ 는 각각 오차보정단계에 의해 보정된 한 쌍의 기울기센서의 보정된 변위를 의미한다)

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 구조물의 동적 변위 이력을 측정하는 장치 및 그 장치를 이용한 측정방법에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 가속도센서와 경사센서를 이용하여 구조물의 특정 부위에서의 측정된 가속도와 회전각 정보를 통해 구조물의 동적 변위이력을 측정하는 장치 및 방법으로서, 교량에서 하중에 의한 동적 변위, 케이블에서 진동에 따른 케이블의 움직임 변화, 해저 자원 시추용 파이프 라이저의 모션 측정, 선박 및 해상플랜트의 무어링(mooring) 모션 측정과 같이 육상, 수중상의 다양한 구조물 또는 부재의 동적 변위를 측정하는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현재 구조물의 효율적 유지관리를 위해서 구조물 건전도 모니터링(Structural Health Monitoring) 시스템이 다양한 구조물에 적용되고 있다. 상기 구조물 건전도 시스템에서는 다양한 센서를 이용하여 구조물의 응답을 측정하고 있는데, 이중에 변위 응답은 구조물의 응답을 직관적으로 분석할 수 있으며 다양한 방법으로 활용이 가능하기 때문에 매우 중요한 측정항목이다.

[0003] 그러나 변위 응답은 가속도, 변형률과 같은 다른 측정항목에 비해 실제 구조물에서는 측정이 매우 어렵다는 단

점이 있다.

- [0004] 이러한 변위 측정을 위해서는 주로 LVDT(Linear Variable Differential Transducer), GNSS(Global Navigation Satellite System), LDV(Laser Doppler Vibrometer)등의 장비가 사용되며 현재에는 카메라를 이용한 영상기반 계측 시스템 등이 개발되고 있다.
- [0005] 그러나, LVDT는 접촉식 센서로 센서 설치를 위한 가시설물이 필요하기 때문에 실제 대형 구조물의 움직임을 상시로 모니터링 하기위해서는 한계가 있으며 LDV의 경우 비접촉 센서로 접촉식 센서에 비해 설치 지점에 대해서는 자유롭지만 구조물이 시준되는 지점에 설치 해야 한다는 제약이 있으며 고가라는 점에서 한계가 있다.
- [0006] 이와 같은 센서의 단점을 극복하고자 하는 대안으로 현재 설치가 간편하고 운영이 매우 편리한 GNSS가 많이 사용되고 있다. 하지만 GNSS의 경우 구조물의 변위 응답에 비해 측정 정밀도가 매우 낮은 실정이며, 위성 신호를 수신 할 수 있는 곳에서만 측정 가능하다는 한계가 있다. 특히, 수중 구조물의 경우 이와 같은 변위 계측 센서들을 이용한 변위 응답 계측은 거의 불가능하다는 단점이 있다.
- [0007] 상술한 바와 같이 실제 구조물에서 직접적으로 변위를 계측하는 방법 이외에 구조물의 가속도 이력, 즉, 구조물의 진동 가속도를 측정하고 이를 시간영역에서 적분하여 구조물의 변위를 동일하게 측정하는 방법이 제안되고 있다.
- [0008] 이는 기본적인 수치 적분 과정을 통해 가속도를 적분하여 속도를 계산하고 다시 속도를 시간영역으로 적분하여 변위를 얻는 과정을 의미한다. 하지만 실제 구조물에서는 초기 속도의 불확실성, 측정된 신호의 잡음(noise)이 시간 적분과정에서 누적되어 저주파증폭(Low-frequency Drift)이 발생하여 계산된 변위가 발산한다는 한계가 있다. 이러한 저주파 증폭 효과를 막기 위해서 주파수대역 필터링 기법등이 활용되지만 증폭으로 인한 변위의 왜곡 현상을 완전히 제어할 수가 없다.
- [0009] 또한, 종래기술로서 한국공개특허 10-2015-0004127에서는 가속도 측정값과 구조물 변형률 정보를 동시에 활용하여 특정 지점에서의 구조물의 변위를 추정하는 기법이 제안되고 있으나, 이러한 기법을 이용하기 위해서는 구조물의 구조적 정보를 모두 필요로 한다는 점에서 한계가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 한국공개특허 10-2015-0004127(가속도 및 변형률 측정값에 기반한 구조물의 다지점 변위추정방법)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 본 발명은 상술한 종래기술의 문제점을 해결하고자 하는 것으로서, 가속도를 이용한 동적 변위 이력을 측정함에 있어서 초기 조건의 불확실성에 의한 오차와 시간에 따라 오차가 누적됨으로 인해서 계산된 변위가 발산하는 문제점을 경사센서를 이용하여 회전각정보를 통해 동적 변위이력을 보정하고, 이를 통해 계산된 변위가 오차의 누적으로 인한 발산을 방지하고 초기 조건의 불확실성에 영향을 받지 않는 구조물 변위이력 측정장치 및 측정방법을 제공하는 것을 그 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 상술한 목적을 달성하기 위하여, 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정장치는, 구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서와, 상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서와, 상기 경사센서에서 측정한 회전각 데이터와 상기 한 쌍의 가속도센서에서 측정한 가속도 데이터에 의해 구조물의 변위를 연산하는 연산처리부를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 또한, 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정방법은, 구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서에 의해 회전각 데이터를 측정하고, 상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서에 의해 가속도 데이터를 측정하는 단계와, 상기 경사센서의 회전각 데이터를 이용하여 상기 가속도센서

의 가속도 데이터에서 가속도센서의 회전에 의한 중력영향을 보정하여 수직방향의 가속도 값만을 계산하는 가속도보정단계와, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정잡음을 주파수대역 필터링에 의해 제거하는 노이즈제거단계와, 상기 가속도보정단계와 상기 노이즈제거단계를 거친 가속도값을 이중적분하여 구조물의 변위를 연산하는 단계와, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정오차로 인한 오차의 총합을 연산하고 상기 오차의 총합을 시간에 따른 기울기로 연산한 후 보정하는 오차보정단계와, 상기 오차보정에 의해 보정된 상기 한 쌍의 기울기 센서의 변위값에 의해 구조물의 최종변위를 연산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

상기 가속도보정단계는 다음 식에 의해 가속도센서의 회전에 의한 위치변위를 연산하는 것을 특징으로 한다.

$$u_s(t)=s(t) \times L$$

(여기서, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $s(t)$ 는 측정위치에서의 회전각, L 은 경사센서와 가속도센서 사이의 거리를 의미한다)

또한, 상기 오차보정단계에서 상기 오차의 총합은 다음 식에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

$$\frac{1}{2}(u_R(t)-u_L(t))-u_s(t)=E(t)$$

(여기서, $u_R(t)$ 와 $u_L(t)$ 는 한 쌍의 가속도센서 각각의 변위, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $E(t)$ 는 가속도센서와 경사센서의 측정오차로 인하여 발생하는 오차의 총합을 의미한다)

여기서, 상기 오차보정단계는 상기 오차의 총합의 시간에 따른 기울기를 계산하고, 계산된 기울기의 변화가 미리 설정된 일정 이상의 값이 되면 임의의 시간 간격으로 나누고, 각 시간간격에서의 한 쌍의 가속도센서의 각각의 변위의 기울기를 보정하는 것을 특징으로 한다.

여기서, 상기 구조물의 최종변위는 다음 식에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

$$u(t)=\frac{1}{2}(\overline{u_R(t)}+\overline{u_L(t)})$$

(여기서, $\overline{u_R(t)}$ 와 $\overline{u_L(t)}$ 는 각각 오차보정단계에 의해 보정된 한 쌍의 기울기센서의 보정된 변위를 의미한다)

발명의 효과

상술한 구성을 가지는 본 발명에 의하면, 가속도계를 이용하여 구조물의 진동 가속도를 측정하고 경사계를 통해 얻은 회전각정보를 이용하여 해결하여, 계산된 변위가 오차의 누적으로 인한 발산을 방지하고 초기 조건의 불확실성에 영향을 받지 않고 구조물의 변위이력을 측정할 수 있다.

측정 가속도를 이용하여 변위를 측정하는 기술은 간단한 이중적분 과정을 거쳐 구현 될 수 있지만 종래에는 초기 조건의 불확실성에 의한 오차와 시간에 따라 오차가 누적됨으로 인해서 계산된 변위가 발산하는 한계가 있어 실제 적용이 불가능하였고 이러한 한계를 극복하기 위해서 기존의 다양한 기술들이 개발되었지만 구조물의 동적 거동 특성에 대한 정확한 수치를 필요로 하거나, 변수 선택에 있어 매우 복잡한 과정을 거치므로 이론적 연구나 간단한 실험적 연구에 그치고 있었다.

그러나, 본 발명에서는 매우 간단히 설치하고 누구나 손쉽게 측정할 수 있는 가속도와 회전각정보를 이용하여 계산된 변위가 오차의 누적으로 인한 발산을 방지하고 초기 조건의 불확실성에 영향을 받지 않으면서 종래의 복잡한 방법을 대체하여 간단하게 구조물의 변위를 측정할 수 있다.

또한, 구조물 가속도와 회전각을 이용하므로 구조물의 형식에 제한 없이 다양한 구조물에 적용이 가능하고, 특히, 수중 구조물과 같이 기존의 센서 기술로는 측정이 거의 불가능한 경우에도 적용이 가능하다.

가속도 데이터는 짧은 시간동안의 변위 추정 성능은 매우 뛰어나나 시간이 누적될수록 오차가 증가하지만, 경사

센서 데이터는 시간에 따른 오차 누적 현상이 없기 때문에 가속도 데이터를 경사 센서 데이터로 보정함으로써 오차 누적 현상을 제거 할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명에 의한 구조물 변위이력 측정장치를 나타내는 개념도이다.
- 도 2는 본 발명에 의한 구조물 변위이력 측정방법을 나타내는 흐름도이다.
- 도 3은 본 발명에 의한 구조물 변위이력 측정장치의 적용예를 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명에 의한 구조물 변위이력 측정장치의 센서좌표계를 나타내는 도면이다.
- 도 5는 초기조건과 노이즈로 인한 계산변위의 발산을 나타내는 그래프이다.
- 도 6은 시간에 따른 오차의 총합을 나타내는 그래프이다.
- 도 7은 본 발명에 의한 구조물 변위이력측정방법에 의해 연산된 최종변위를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 의한 구조물 변위이력 측정장치 및 측정방법에 대하여 실시예로써 상세하게 설명한다.
- [0031] 도 1 내지 도 4에 나타난 바와 같이, 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정장치(1)는, 한 쌍의 가속도센서(21, 22)와, 경사센서(30)을 포함하여 구성된다.
- [0032] 상기 가속도센서(21, 22)와 상기 경사센서(30)는 케이스(10) 내에 수용되어 설치되며, 상기 케이스(10)는 측정 대상 구조물의 측정하고자 하는 위치에 설치될 수 있다.
- [0033] 상기 경사센서(30)는 구조물의 변위측정 위치에서 구조물의 표면(2)에 수직방향으로 세워 설치된다.
- [0034] 상기 한 쌍의 가속도센서(21, 22)는 상기 경사센서(30)에 프레임 또는 브라켓 등의 연결부재(40)를 통해 연결되어 상기 경사센서(30)와 일체로 거동하도록 구성된다. 본 실시예에 있어서, 상기 한 쌍의 가속도센서(21, 22)는 상기 경사센서(30)를 중심으로 좌우에 대칭으로 설치된 것을 예로 하였으나, 반드시 이에 한정되지 않고, 상기 경사센서로 및 다른 가속도센서와 일정 거리 이격되어 설치될 수 있으면 족하다.
- [0035] 또한, 본 발명에 의한 변위이력 측정장치는 상기 경사센서에서 측정된 회전각 데이터와 상기 한 쌍의 가속도센서에서 측정된 가속도 데이터에 의해 구조물의 변위를 연산하는 연산처리부를 포함한다.
- [0036] 가속도를 수치적분법을 이용하여 이중적분하게 되면 시간이 증가 할수록 측정 노이즈에 의한 변위 왜곡 현상이 증가한다. 하지만 임의의 짧은 시간동안의 변위 이력은 계산이 가능하다. 즉 시간이 지날수록 정교한 노이즈 제거 과정을 거치더라도 오차가 누적되므로 누적된 오차를 보정하기 위한 방법이 필요한데, 본 발명에서는 상기 경사센서를 상기 가속도 센서와 동시에 활용하여, 상기 경사센서는 센서의 종류에 따라 측정 순간에서의 오차는 크게 발생할 지라도 상기 가속도 센서와 같이 적분 과정을 거치지 않으므로 오차가 누적되지 않기 때문에 가속도 데이터의 오차 누적 경향을 경사 센서 데이터로 보정이 가능하다.
- [0037] 상술한 구성을 가지는 본 발명에 의한 변위이력 측정장치(1)는, 도 3에 나타난 바와 같이, 케이블의 변위측정에 이용될 수 있을 뿐만 아니라, 구조물의 변위측정, 특히 수중 구조물의 변위측정에 이용될 수 있다.
- [0038] 이하, 상술한 구성을 가지는 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정장치를 이용한 변위이력 측정방법에 대하여 설명한다. 본 발명에 의한 변위이력 측정방법은 구조물 또는 부재에서 센서 부착지점의 수직 변위 이력을 산정하는 방법으로서, 센서 설치 방향과 센서의 측정 방향에 따라 3축 방향의 변위 이력 산정이 가능하나 본 실시예에서는 1축 변위 이력 산정을 기준으로 설명한다.
- [0039] 도 2에 나타난 바와 같이, 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정방법은, 우선 회전각 데이터 및 가속도 데이터를 측정한다. 상기 변위이력 측정장치는 구조물 또는 부재를 따라 움직이면서 구조물의 가속도와 경사변화량을 측정한다. 즉, 구조물의 변위측정 위치에 수직방향에 설치되는 경사센서에 의해 회전각 데이터를 측정하고, 상기 경사센서에 연결되어 상기 경사센서와 일체로 거동하는 한 쌍의 가속도센서에 의해 가속도 데이터를 측정한다.
- [0040] 그런 다음, 상기 경사센서(30)의 측정값을 이용하여 상기 가속도센서(21, 22)에 의해 측정된 가속도값을 보정한

다.

[0041] 상기 가속도센서(21, 22)는 중력을 기준으로 측정하므로 센서가 중력방향의 움직임이 전혀 없더라도 제자리에서 회전을 하게 되면 가속도값이 달라진다. 이로 인해서 측정하고자 하는 지점의 수직방향 가속도만을 계산하기 위해서는 상기 가속도센서의 회전에 따른 중력 가속도 값을 보정한다.

[0042] 즉, 상기 경사센서의 회전각 데이터를 이용하여 상기 가속도센서의 가속도 데이터에서 가속도센서의 회전에 의한 중력영향을 보정하여 수직방향의 가속도 값을 계산한다.

[0043] 상기 가속도보정단계는 다음 식에 의해 가속도센서의 회전에 의한 위치변위를 연산한다.

$$u_s(t) = s(t) \times L$$

[0044] 여기서, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $s(t)$ 는 측정위치에서의 회전각, L 은 경사센서와 가속도센서 사이의 거리를 의미한다.

[0046] 또한, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정잡음을 제거한다. 이 때, 측정잡음의 제거는 공지된 주파수대역 필터링 기법을 이용하여 제거할 수 있다.

[0047] 그런 다음, 상기 가속도보정단계와 상기 노이즈제거단계를 거친 가속도값을 이중적분하여 구조물의 변위를 연산한다.

[0048] 이 경우, 가속도값을 단순히 이중적분 할 경우 노이즈와 초기조건 불확실성으로 인하여 시간에 따라 특정한 패턴으로 랜덤하게 오차가 발생하게 되고, 이 오차로 인해 가속도를 이용한 변위 결과의 왜곡을 발생시키게 된다.

[0049] 즉, 각각의 가속도센서(21, 22)에서 측정되는 가속도 신호는 센서의 수직방향 가속도(도 4의 $u(T)$ 방향)와 회전 방향의 가속도(도 4의 $w(S)$ 방향)를 포함하게 된다. 상기 가속도센서(21, 22)에 의해 측정되는 가속도는 다음의 식(1)과 식(2)와 같으며 경사센서(30)에 의해서 측정되는 경사 신호는 식(3)과 같다.

$$a_R(t) = a_T(t) + a_s(t) + \varepsilon_R(t) \quad \text{----- 식 (1)}$$

$$a_L(t) = a_T(t) - a_s(t) + \varepsilon_L(t) \quad \text{----- 식 (2)}$$

$$s(t) \quad \text{----- 식 (3)}$$

[0053] 여기서, a_T : 측정하고자 하는 수직방향 가속도

[0054] a_s : 측정하고자 하는 지점의 회전으로 인해서 발생하는 가속도

[0055] $\varepsilon_R, \varepsilon_L$: 각각의 가속도센서에서 노이즈

[0056] $s(t)$: 측정지점의 회전각(dergee)

[0057] 식(1)과 식(2)를 시간(t)에 대해서 적분하게 되면 매순간 t 에서의 각각의 가속도센서의 속도를 산정할 수 있으며, 그 속도는 다음의 식(4), 식(5)와 같다.

$$v_R(t) = \int_{t_1}^{t_2} a_R(t) dt = [(a_T + a_s)t]_{t_1}^{t_2} + [\varepsilon_R \cdot t]_{t_1}^{t_2} + v_{IR} \quad \text{---식 (4)}$$

$$v_L(t) = \int_{t_1}^{t_2} a_L(t) dt = [(a_T + a_s)t]_{t_1}^{t_2} - [\varepsilon_L \cdot t]_{t_1}^{t_2} + v_{IL} \quad \text{-----식 (5)}$$

[0060] 여기서, v_{IR}, v_{IL} 은 각각의 가속도센서(21, 22)의 각각의 초기 속도이며 센서의 기하학적 배치로 인해서 v_{IR} 과 v_{IL} 은 다음의 식(6)과 같다.

$$\frac{1}{2}(v_{IR} + v_{IL}) = v$$

[0061] ----- 식 (6)

[0062] 위의 식(4), (5)를 시간 t에 대해서 한번 더 적분하게 되면 매순간 t에서의 각각의 가속도센서(21, 22)의 변위 u_R , u_L 을 산정 할 수 있으며, 다음의 식 (7), 식(8)과 같다.

$$u_R(t) = \int_{t_1}^{t_2} v_R(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} [(a_T + a_S)t]_{t_1}^{t_2} dt + \int_{t_1}^{t_2} [\epsilon_R \cdot t]_{t_1}^{t_2} + v_{IR} dt$$

u_{R1} u_{R2}

[0063] ----- 식 (7)

[0064]

$$u_L(t) = \int_{t_1}^{t_2} v_L(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} [(a_T + a_S)t]_{t_1}^{t_2} dt + \int_{t_1}^{t_2} -[\epsilon_L \cdot t]_{t_1}^{t_2} + v_{IL} dt$$

u_{L1} u_{L2}

[0065] ----- 식 (8)

[0066]

[0067] 식(7)과 식(8)에서 u_{R1} 과 u_{L1} 은 실제 측정하고자 하는 변위이지만 u_{R2} 와 u_{L2} 는 노이즈와 초기조건 불확실성으로 인해서 시간에 따라 특정한 패턴으로 랜덤하게 발생하는 오차로 이 오차가 가속도를 이용한 변위 계산 오차와 왜곡을 발생시킨다. 이러한 왜곡 현상을 도 5에 나타낸다.

[0068] 상술한 바와 같이, 단순히 가속도 데이터를 이중적분하게 되면 왜곡된 계산 결과가 도출이 된다. 따라서, 본 발명에 의한 구조물의 변위이력 측정방법은 상기 가속도보정단계와 상기 노이즈제거단계를 거친 가속도값을 이중적분하여 구조물의 변위를 연산한 후, 상기 가속도센서와 상기 경사센서의 측정오차로 인한 오차의 총합을 연산하고 상기 오차의 총합을 시간에 따른 기율기로 연산한 후 보정하는 오차보정단계를 갖는다.

[0069] 상기 오차보정단계에서 상기 오차의 총합은 다음 식에 의해 연산될 수 있다.

$$\frac{1}{2}(u_R(t) - u_L(t)) - u_s(t) = E(t)$$

[0070]

[0071] 여기서, $u_R(t)$ 와 $u_L(t)$ 는 한 쌍의 가속도센서 각각의 변위, $u_s(t)$ 는 가속도센서의 회전에 의한 위치변위, $E(t)$ 는 가속도센서와 경사센서의 측정오차로 인하여 발생하는 오차의 총합을 의미한다. 만약 두 센서에서 측정된 데이터에 오차가 없을 경우 $E(t)$ 값은 0이다. 하지만 측정오차가 존재할 경우 $E(t)$ 값은 도 6에 나타난 바와 같다.

[0072] 상기 오차보정단계는 상기 오차의 총합의 시간에 따른 기율기를 계산하고, 계산된 기율기의 변화가 미리 설정된 일정 이상의 값이 되면 임의의 시간 간격으로 나누고, 각 시간간격에서의 한 쌍의 가속도센서의 각각의 변위의 기율기를 보정한다. 상기 $E(t)$ 의 값의 기율기가 임의의 시간 간격으로 변화하는 양상이 나타나는데 여기서의 기율기는 가속도를 이용해 계산된 변위가 발산하면서 발생하는 오차가 지배적이라고 할 수 있다. 경사 센서의 경우는 오차가 누적되지 않기 때문이다. 본 발명이 측정 대상으로 하는 구조물은 위치가 이동하는 것이 아니라 평균 변위가 0을 기준으로 진동하기 때문에 이러한 발산하는 오차를 기율기로 보정해 주게 되면 변위를 계산할 수 있다.

[0073] 시간(t)에 따른 $E(t)$ 의 기율기를 계산하고 $E(t)$ 의 기율기 변화가 일정 수준 이상 되었을 때 임의의 시간 간격으로 나누고 이때의 각각의 가속도센서의 변위(u_R 과 u_L)의 기율기를 보정한다.

[0074] 그런 다음, 상기 오차보정에 의해 보정된 상기 한 쌍의 기울기센서의 변위값에 의해 구조물의 최종변위를 연산한다.

[0075] 여기서, 상기 구조물의 최종변위는 다음 식에 의해 연산되는 것을 특징으로 한다.

$$u(t) = \frac{1}{2} (\overline{u_R(t)} + \overline{u_L(t)})$$

[0076]

[0077] 여기서, $\overline{u_R(t)}$ 와 $\overline{u_L(t)}$ 는 각각 오차보정단계에 의해 보정된 한 쌍의 기울기센서의 보정된 변위를 의미한다.

[0078] 상술한 바와 같이, 본 발명에 의하면, 가속도계를 이용하여 구조물의 진동 가속도를 측정하고 경사계를 통해 얻은 회전각정보를 이용하여 해결하여, 계산된 변위가 오차의 누적으로 인한 발산을 방지하고 초기 조건의 불확실성에 영향을 받지 않고 구조물의 변위이력을 측정할 수 있다.

[0079] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시 예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명백할 것이다.

부호의 설명

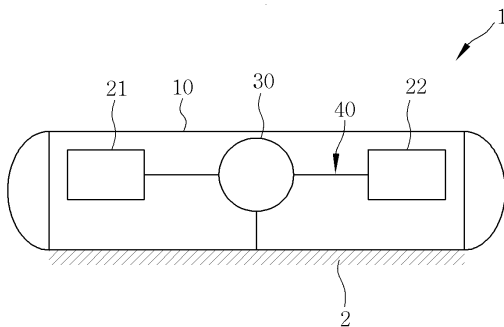
[0080] 1 : 구조물 변위이력 측정장치

21, 22 : 가속도센서

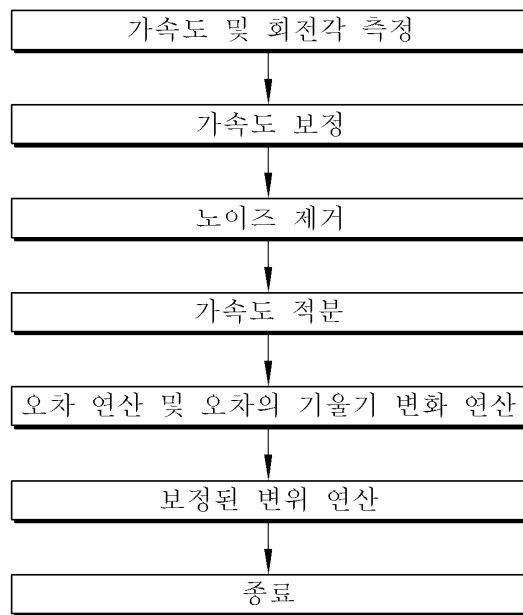
30 : 경사센서

도면

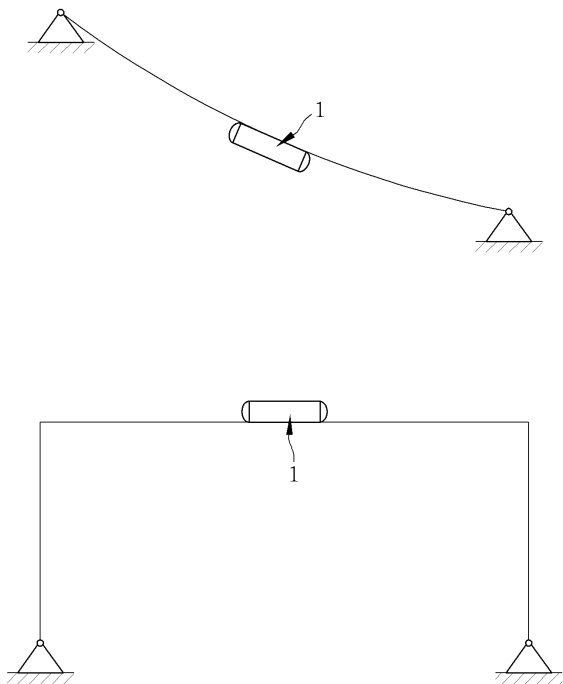
도면1



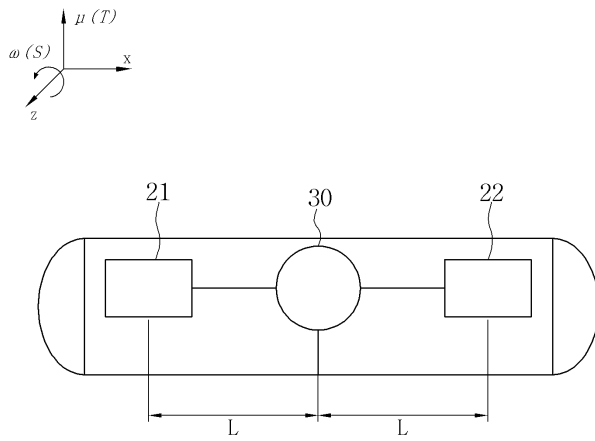
도면2



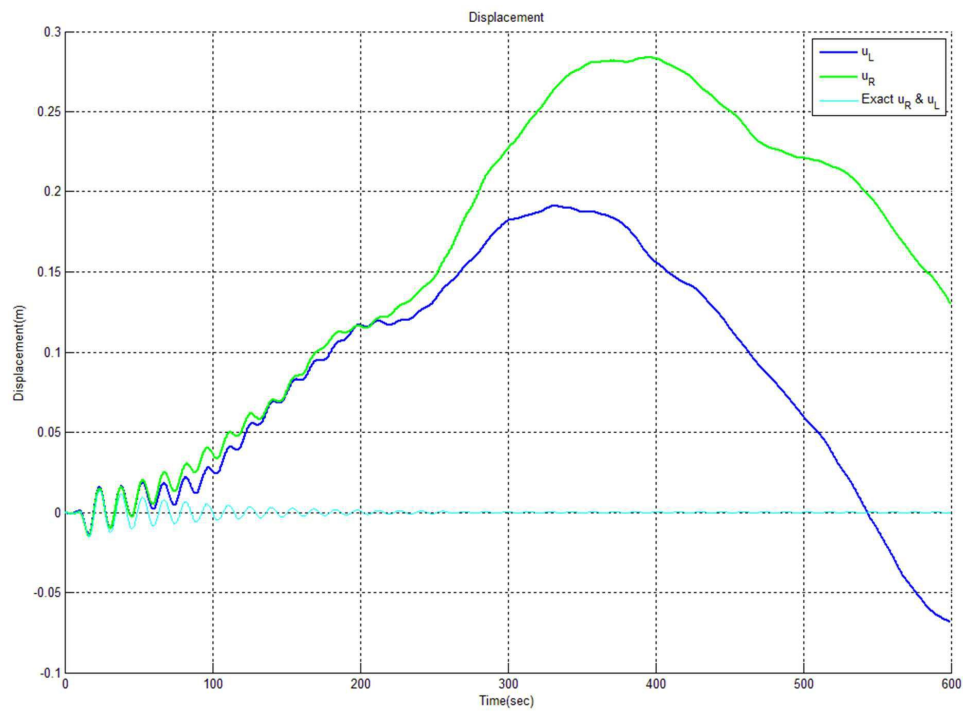
도면3



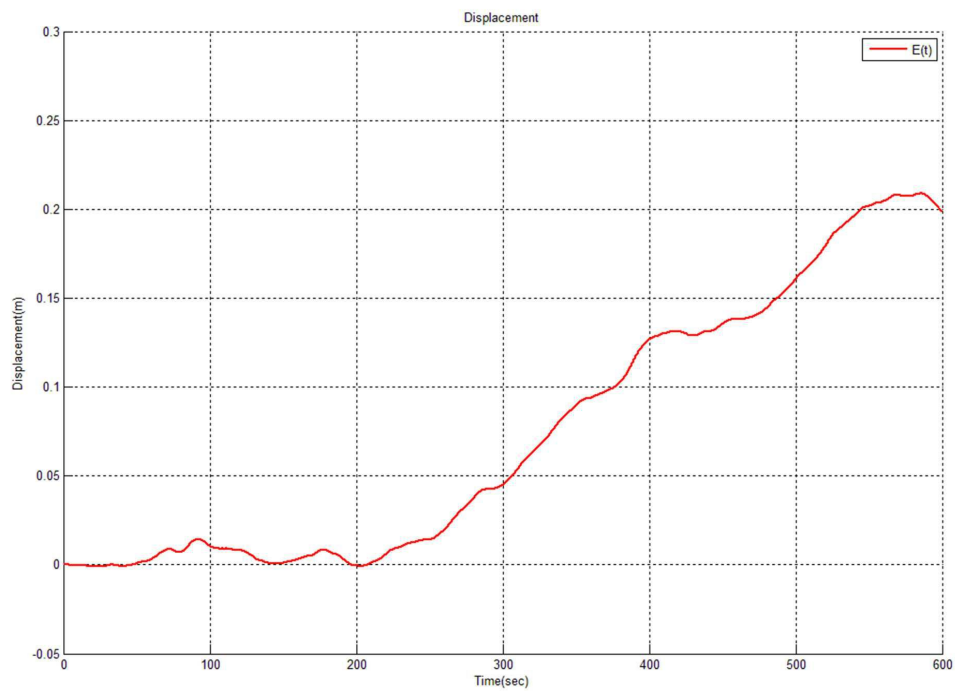
도면4



도면5



도면6



도면7

