



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0168863
(43) 공개일자 2022년12월26일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/16 (2006.01) G01D 5/353 (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01) G01L 1/24 (2006.01)

(52) CPC특허분류
G01B 11/18 (2013.01)
G01D 5/353 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0078875
(22) 출원일자 2021년06월17일
심사청구일자 2021년06월17일

(71) 출원인
한국건설기술연구원
경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)

(72) 발명자
진승섭
인천광역시 남동구 담방로21번길 24, 101동 208호(만수동, 광명아파트)

박영수
서울특별시 광진구 능동로23길 22(군자동)

박영환
서울특별시 중구 동호로10길 30, 112동 1404호(신당동, 약수하이츠)

(74) 대리인
김정수

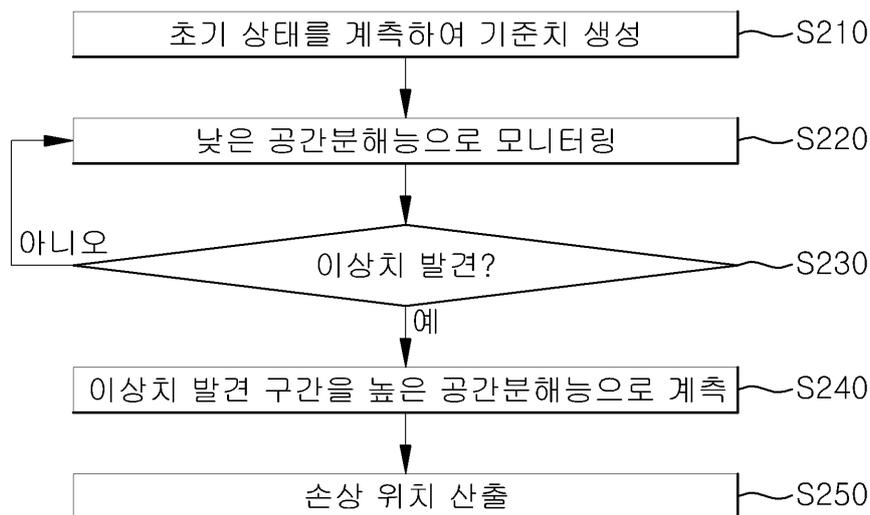
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 임의 위치 계측 및 다중 공간분해능 계측이 가능한 분포형 센싱 기법을 활용한 구조물 건전성 모니터링 장치 및 방법

(57) 요약

임의 위치 계측 및 다중 공간분해능 계측이 가능한 분포형 센싱 기법을 활용한 구조물 건전성 모니터링 장치 및 방법이 개시된다. 구조물 건전성 모니터링 방법은, 미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 모니터링 대상 구조물의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성하는 단계, 낮은 공간분해능으로 계측된 제1 계측 지점별 계측값을 획득하고, 획득된 제1 계측 지점별 계측값 및 기준치를 이용하여 낮은 공간분해능으로 모니터링 대상 구조물에 대한 모니터링을 수행하는 단계, 모니터링 결과, 획득되는 제1 계측 지점별 계측값 중에서 이상치가 발견된 경우, 이상치가 발견된 구간에서 높은 공간분해능으로 계측된 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계 및 획득된 제2 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G01H 9/004 (2013.01)

G01L 1/242 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711124538
과제번호	KICT2020-10
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국건설기술연구원
연구사업명	한국건설기술연구원연구운영비지원(R&D)(주요사업비)
연구과제명	신경망 센서 개발 및 이를 활용한 콘크리트 시설물의 스마트 모니터링 기술 개발
기여율	1/1
과제수행기관명	한국건설기술연구원
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

모니터링 대상 구조물의 모니터링 구간을 따라 설치된 계측용 광섬유 케이블을 통해 계측값을 산출하는 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 계측값을 획득하는 구조물 건전성 모니터링 장치가 수행하는 구조물 건전성 모니터링 방법에 있어서,

미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 상기 모니터링 대상 구조물의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성하는 단계;

상기 낮은 공간분해능으로 계측된 제1 계측 지점별 계측값을 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값 및 상기 기준치를 이용하여 상기 낮은 공간분해능으로 상기 모니터링 대상 구조물에 대한 모니터링을 수행하는 단계;

상기 모니터링 결과, 상기 획득되는 제1 계측 지점별 계측값 중에서 이상치가 발견된 경우, 상기 이상치가 발견된 구간에서 상기 높은 공간분해능으로 계측된 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계; 및

상기 획득된 제2 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출하는 단계를 포함하는 구조물 건전성 모니터링 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 기준치를 생성하는 단계는,

상기 낮은 공간분해능 및 상기 높은 공간분해능 별로 계측된 낮은 공간분해능 기준치 및 높은 공간분해능 기준치를 생성하는 것을 특징으로 하는 구조물 건전성 모니터링 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 모니터링을 수행하는 단계는,

상기 분포형 광섬유 센서 장치가 상기 낮은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 상기 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 제1 계측 지점별 계측값을 주기적으로 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값과 상기 낮은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출하고, 상기 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지하는 것을 특징으로 하는 구조물 건전성 모니터링 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계는,

상기 분포형 광섬유 센서 장치가 상기 이상치가 발견된 구간을 상기 높은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 상기 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 것을 특징으로 하는 구조물 건전성 모니터링 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 손상 위치를 산출하는 단계는,

상기 제2 계측 지점별 계측값과 상기 높은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출하고, 상기 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지하고, 상기 이상치로 판정된 계측 지점을 상기 손상 위치로 산출하는 것을 특징으로 하는 구조물 건전성 모니터링 방법.

청구항 6

모니터링 대상 구조물의 모니터링 구간을 따라 설치된 계측용 광섬유 케이블을 통해 계측값을 산출하는 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 계측값을 획득하는 구조물 건전성 모니터링 장치에 있어서,

명령어를 저장하는 메모리; 및

상기 명령어를 실행하는 프로세서를 포함하되,

상기 명령어는,

미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 상기 모니터링 대상 구조물의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성하는 단계;

상기 낮은 공간분해능으로 계측된 제1 계측 지점별 계측값을 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값 및 상기 기준치를 이용하여 상기 낮은 공간분해능으로 상기 모니터링 대상 구조물에 대한 모니터링을 수행하는 단계;

상기 모니터링 결과, 상기 획득되는 제1 계측 지점별 계측값 중에서 이상치가 발견된 경우, 상기 이상치가 발견된 구간에서 상기 높은 공간분해능으로 계측된 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계; 및

상기 획득된 제2 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출하는 단계를 포함하는 구조물 건전성 모니터링 방법을 수행하는 것을 특징으로 하는 구조물 건전성 모니터링 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 임의 위치 계측 및 다중 공간분해능 계측이 가능한 분포형 센싱 기법을 활용한 구조물 건전성 모니터링 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 공용 중인 사회기반시설물의 노후화는 점차 세계적으로 중요한 이슈로서, 많은 연구가 진행 중이다. 우리나라도 미국과 일본의 사례와 같이, 향후 급속하게 SOC 시설물의 노후화가 문제가 될 것으로 인지하고 있으며, 이를 위한 효율적이고 신뢰성 높은 유지관리 기술에 대한 연구개발을 진행하고 있다. 구조물 건전성 모니터링은 사회기반시설물에 설치된 센서를 이용하여 시설물을 계측하고, 이를 토대로 손상을 조기에 감지하여 신속하게 관리주체에게 알람을 주어 추후 유지보수 등의 의사결정을 지원하는 시스템이다.

[0003] 일반적으로, 손상에 민감한 변형률을 활용한 계측 시스템이 많이 활용되고 있으며, 내구성이 높고 전자기 간섭에 영향을 받지 않아 영구적으로 활용이 가능한 광섬유 센서를 활용한 연구가 많이 진행되었다. 대표적인 광섬유 센서에는, 광섬유 격자 센서(Fiber Bragg grating sensor)가 있다.

[0004] 도 1은 포인트 센서 및 분포형 센서의 센싱 개념을 나타낸 도면이다.

[0005] 도 1을 참조하면, 광섬유 격자 센서는 도 1에 도시된 포인트 센서의 센싱 개념과 같이, 광섬유의 특정 위치에 새겨진 격자에서 반사되어 돌아오는 빛을 이용하여 변형률과 온도를 계측하는 시스템이다. 즉, 광섬유 격자 센

서는 광섬유의 특정 위치의 응답을 계측하는 포인트 센서(Point sensor)이다.

- [0006] 대형 사회기반시설물에서, 포인트 센서를 활용한 구조물 건전성 모니터링의 한계점은 다음과 같다.
- [0007] 첫째로, 결함(손상) 탐지를 누락할 가능성이 존재한다. 포인트 센서가 위치한 곳의 응답만을 계측하기 때문에, 포인트 센서 인근에서 발생한 손상만 탐지가 가능하다. 따라서, 포인트 센서 근방이 아닌 다른 위치에서 손상이 발생한 경우, 이를 탐지하기 어렵다. 나아가, 탐지되지 않은 손상은 구조물의 성능 및 내구성에 크게 영향을 줄 수 있으며, 최악의 경우 사고를 유발할 수 있다.
- [0008] 두번째로, 유지관리 시스템의 구축 및 운영 시, 경제성 및 기술적 난제가 존재한다. 댐과 같은 대형 사회기반시설물에 적용하는 경우, 방대한 영역에 수많은 포인트 센서를 설치하는 것은 초기 시스템 구축 비용을 과다하게 상승시킨다. 그리고, 결함(손상) 정보는 사전에 알 수 없으므로, 가용한 예산 범위 내에서 센서 시스템을 설계 및 구축할 수밖에 없다. 이는 결국, 손상 탐지를 누락할 가능성이 여전히 존재함을 의미한다.
- [0009] 다시, 도 1을 참조하면, 포인트 센서의 한계점을 극복하는 방법으로서, 도 1에 도시된 분포형 센서와 같이, 광섬유 내 산란현상에 기인하여 광섬유 케이블의 길이방향으로 연속적인 계측이 가능한 분포형 센서를 활용하는 연구가 진행되고 있다. 이와 같은 분포형 센서의 장점 및 단점은 다음과 같다.
- [0010] 첫째 장점은, 일반적인 광섬유 케이블을 센싱 유닛으로 활용할 수 있다는 점이다. 분포형 광섬유 센싱 기법은 일반적인 통신용 광섬유 케이블을 사용하여 수행될 수 있다. 그래서, 일반 통신용 광섬유 케이블을 대형 사회기반시설물에 부착하여 변형률 및 온도를 측정하는데 사용할 수 있다. 일반적으로, 광섬유 격자 센서는 격자 생성을 위한 비용이 발생하나, 일반적인 통신용 광섬유 케이블은 생산 및 구입 비용이 별도로 발생되지 않는다.
- [0011] 두번째 장점은, 광섬유 길이방향으로 연속적인 센싱이 가능하다는 점이다. 구조물 전반에 광섬유 케이블을 부착할 경우, 구조물 전반에 걸쳐 변형률 계측이 가능하고, 이를 통해 손상의 발생 유무를 파악하기 용이하다.
- [0012] 다음으로, 첫째 단점은, 산란과 내 낮은 신호대잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)로 인하여 반복 측정이 필요하다는 점이다. 광섬유 내 산란현상을 통해 계측을 수행하기 때문에, 낮은 신호대잡음비를 가진다. 그래서, 동일 위치에 대하여 다수의 센싱을 수행하여, 이를 평균화하여 잡음을 줄여야 한다. 그래서, 대형 사회기반시설물에 대하여 다수의 측정점(수천~수만 포인트)에 대한 계측이 필요할 경우(1km 길이의 센싱 구간), 계측에 많은 시간이 소요되어 신속한 손상 감지가 어렵다.
- [0013] 두번째 단점은, 공간분해능에 따른 정밀한 손상 위치 탐지의 유무가 존재한다는 점이다. 분포형 센싱 기법은 공간분해능이라는 개념을 가진다. 공간분해능은 길이 단위로 표현되며, 공간분해능에 따른 계측값은 단위길이마다 계측되는 변형률 또는 온도의 평균값을 의미할 수 있다. 수 센티미터(cm)의 높은 공간분해능은 광섬유 길이방향으로 수 센티미터 단위로 계측 지점을 촘촘하게 생성할 수 있다. 반면에, 수 미터(m)의 낮은 공간분해능은 광섬유 길이방향으로 수 미터 단위로 계측 지점을 생성할 수 있다.
- [0014] 예를 들어, 정밀하게 손상을 탐지하고자, 높은 공간분해능인 2cm단위로 1km의 광섬유를 길이방향으로 계측하면, 50,000포인트가 생성된다. 실제 현장에서 SNR 향상을 위하여 N번 반복 측정을 할 경우, 반복 횟수만큼 계측시간이 선형적으로 증가할 수 있다(50,000포인트*N번). 반면에, 10m의 낮은 공간분해능으로 1km의 광섬유를 계측하면, 100포인트가 생성된다. SNR 향상을 위하여 N번 반복 측정을 할 경우, 반복 횟수만큼 계측시간이 선형적으로 증가할 수 있다(100포인트*N번).
- [0015] 광섬유의 길이방향을 따라 단위 길이마다 측정되는 산란과는 신호처리를 통해 변형률 또는 온도와 연관된 물리량(예를 들어, 브릴루앙 주파수)으로 변환될 수 있다. 예를 들어, 1초에 처리 가능한 포인트 수가 10포인트라면, 높은 공간분해능에서 생성된 50,000포인트의 처리에 소요되는 시간은 5,000초(50,000/10)이다. 반면에, 낮은 공간분해능에서 생성된 100포인트의 처리에 소요되는 시간은 10초(100/10)로서, 소요시간이 크게 감소된다.
- [0016] 따라서, 분포형 센서가 댐, 초장대교량 등과 같은 대형 구조물의 건전성 모니터링에 활용될 경우, 다음과 같은 트레이드 오프(trade-off)가 발생한다. 즉, 높은 공간분해능을 사용할 경우, 계측 지점이 조밀해져서 손상 위치를 정확하게 탐지할 수 있으나, 계측 시간이 과다하게 증가하여 실효성이 떨어질 수 있다. 반면에, 낮은 공간분해능을 사용할 경우, 계측 지점이 드물어져서 계측 시간이 가용한 수준으로 소요되지만, 손상 위치를 정확하게 탐지하기가 어려워질 수 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0017] (특허문헌 0001) 대한민국등록특허공보 제10-0879601호(2009.01.13)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0018] 본 발명은 임의 위치 계측 및 다중 공간분해능 계측이 가능한 분포형 광섬유 센서 시스템을 이용하여 구조물을 모니터링하되, 공간분해능을 적응적으로 조정하여 구조물의 손상을 정확히 탐지하는 구조물 건전성 모니터링 장치 및 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0019] 본 발명의 일 측면에 따르면, 모니터링 대상 구조물의 모니터링 구간을 따라 설치된 계측용 광섬유 케이블을 통해 계측값을 산출하는 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 계측값을 획득하는 구조물 건전성 모니터링 장치가 수행하는 구조물 건전성 모니터링 방법이 개시된다.

[0020] 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 방법은, 미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 상기 모니터링 대상 구조물의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성하는 단계, 상기 낮은 공간분해능으로 계측된 제1 계측 지점별 계측값을 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값 및 상기 기준치를 이용하여 상기 낮은 공간분해능으로 상기 모니터링 대상 구조물에 대한 모니터링을 수행하는 단계, 상기 모니터링 결과, 상기 획득되는 제1 계측 지점별 계측값 중에서 이상치가 발견된 경우, 상기 이상치가 발견된 구간에서 상기 높은 공간분해능으로 계측된 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계 및 상기 획득된 제2 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출하는 단계를 포함한다.

[0021] 상기 기준치를 생성하는 단계는, 상기 낮은 공간분해능 및 상기 높은 공간분해능 별로 계측된 낮은 공간분해능 기준치 및 높은 공간분해능 기준치를 생성한다.

[0022] 상기 모니터링을 수행하는 단계는, 상기 분포형 광섬유 센서 장치가 상기 낮은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 상기 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 제1 계측 지점별 계측값을 주기적으로 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값과 상기 낮은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출하고, 상기 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지한다.

[0023] 상기 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계는, 상기 분포형 광섬유 센서 장치가 상기 이상치가 발견된 구간을 상기 높은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 상기 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 제2 계측 지점별 계측값을 획득한다.

[0024] 상기 손상 위치를 산출하는 단계는, 상기 제2 계측 지점별 계측값과 상기 높은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출하고, 상기 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지하고, 상기 이상치로 판정된 계측 지점을 상기 손상 위치로 산출한다.

[0025] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 모니터링 대상 구조물의 모니터링 구간을 따라 설치된 계측용 광섬유 케이블을 통해 계측값을 산출하는 분포형 광섬유 센서 장치로부터 상기 계측값을 획득하는 구조물 건전성 모니터링 장치가 개시된다.

[0026] 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치는, 명령어를 저장하는 메모리 및 상기 명령어를 실행하는 프로세서를 포함하되, 상기 명령어는, 미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 상기 모니터링 대상 구조물의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성하는 단계, 상기 낮은 공간분해능으로 계측된 제1 계측 지점별 계측값을 획득하고, 상기 획득된 제1 계측 지점별 계측값 및 상기 기준치를 이용하여 상기 낮은 공간분해능으로 상기 모니터링 대상 구조물에 대한 모니터링을 수행하는 단계, 상기 모니터링 결과, 상기 획득되는 제1 계측 지점별 계측값 중에서 이상치가 발견된 경우, 상기 이상치가 발견된 구간에서 상기 높은 공간분해능으로 계측된 제2 계측 지점별 계측값을 획득하는 단계 및 상기 획득된 제2 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출하는 단계를

포함하는 구조물 건전성 모니터링 방법을 수행한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치 및 방법은, 임의 위치 계측 및 다중 공간분해능 계측이 가능한 분포형 광섬유 센서 시스템을 이용하여 구조물을 모니터링하되, 공간분해능을 적응적으로 조정하여 구조물의 손상을 정확히 탐지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 포인트 센서 및 분포형 센서의 센싱 개념을 나타낸 도면.
 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치가 수행하는 구조물 건전성 모니터링 방법을 나타낸 흐름도.
 도 3 내지 도 8은 도 2의 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면.
 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치의 구성을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.

[0030] 이하, 본 발명의 다양한 실시예들을 첨부된 도면을 참조하여 상술하겠다.

[0031] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치가 수행하는 구조물 건전성 모니터링 방법을 나타낸 흐름도이고, 도 3 내지 도 8은 도 2의 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 방법을 설명하기 위한 도면이다. 이하, 도 2를 중심으로, 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 방법을 설명하되, 도 3 내지 도 8을 참조하기로 한다.

[0032] S210 단계에서, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는, 미리 설정된 낮은 공간분해능(Low-fidelity reference) 및 미리 설정된 높은 공간분해능(High-fidelity reference)으로 계측된 모니터링 대상 구조물(10)의 초기 상태의 계측값을 획득하여 기준치를 생성한다.

[0033] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 시스템을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면이다.

[0034] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 시스템은 구조물 건전성 모니터링 장치(100), 분포형 광섬유 센서 장치(200) 및 계측용 광섬유 케이블(210)을 포함하여 구성될 수 있다.

[0035] 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 분포형 광섬유 센서 장치(200)로부터 모니터링 대상 구조물(10)의 모니터링 구간의 연속적인 계측값을 획득할 수 있다. 여기서, 분포형 광섬유 센서 장치(200)는 모니터링 대상 구조물(10)의 모니터링 구간을 따라 설치된 계측용 광섬유 케이블(210)을 통해 계측값을 산출할 수 있다.

[0036] 예를 들어, 분포형 광섬유 센서 장치(200)는 BOCDA(Brillouin Optical Correlation Domain Analysis) 장치일 수 있으며, 미리 설정된 공간분해능에 따른 계측용 광섬유 케이블(210)의 계측 지점마다 산란파를 수신하고 수신된 산란파의 신호처리를 통해 산란파를 변형률 또는 온도와 연관된 물리량으로 변환하여 계측값을 산출할 수 있다. 그리고, 계측용 광섬유 케이블(210)은 단일모드 광섬유 코어가 적용된 일반적인 통신용 광섬유 케이블일 수 있다.

[0037] 분포형 광섬유 센서 장치(200)는 계측 변수 설정에 따라 가변되는 다중 공간분해능(Spatial Resolution)으로 동작하도록 구현될 수 있다. 여기서, 다중 공간분해능은 낮은 공간분해능 및 높은 공간분해능을 포함할 수 있다.

[0038] 예를 들어, 낮은 공간분해능은 수 센티미터(cm)의 단위길이로 설정될 수 있고, 높은 공간분해능은 수 미터(m)의 단위길이로 설정될 수 있다. 이때, 계측 지점 간격(Readout)이 수 센티미터(cm)~수 미터(m)로 설정될 수 있다.

분포형 광섬유 센서 장치(200)는 수 킬로미터(km)까지 분포형 센싱을 통한 계측을 수행할 수 있다.

- [0039] 또한, 분포형 광섬유 센서 장치(200)는 계측용 광섬유 케이블(210)의 길이 방향으로 순차적으로 계측하지 않고, 임의의 계측 지점에서 계측을 수행할 수 있다.
- [0040] 예를 들어, 대형 사회기반시설물에서 요구되는 분포형 광섬유 센서 장치(200)의 계측 성능은 도 4에 도시된 바와 같이 정의될 수 있다.
- [0041] 즉, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 도 5에 도시된 바와 같이, 분포형 광섬유 센서 장치(200)를 이용하여 미리 설정된 높은 공간분해능 및 미리 설정된 낮은 공간분해능 별로 모니터링 대상 구조물(10)의 초기 상태를 계측하여 낮은 공간분해능 기준치 및 높은 공간분해능 기준치를 생성할 수 있다.
- [0042] 예를 들어, 계측용 광섬유 케이블(210) 인근의 모니터링 대상 구조물(10)에서 손상이 발생하면, 손상이 발생한 지점의 계측값은 손상 전의 계측값(즉, 기준치)과 큰 차이를 보일 수 있다.
- [0043] S220 단계에서, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는, 낮은 공간분해능으로 계측된 계측 지점별 계측값을 획득하여 낮은 공간분해능으로 모니터링 대상 구조물(10)에 대한 모니터링을 수행한다.
- [0044] 즉, 도 6을 참조하면, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 분포형 광섬유 센서 장치(200)가 낮은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 분포형 광섬유 센서 장치(200)로부터 낮은 공간분해능으로 계측된 계측 지점별 계측값을 주기적으로 획득하고, 획득된 계측 지점별 계측값과 낮은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출할 수 있다. 그리고, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지할 수 있다.
- [0045] 예를 들어, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 산출된 계측 지점별 차이값에 대하여 MAD(Median Absolute Deviation) 알고리즘을 이용하여 이상치 탐지(Anomaly Detection)를 수행할 수 있다. 여기서, MAD 알고리즘은 중앙값 절대편차로 이상치(outlier)를 탐지하는 방법이다.
- [0046] S230 단계에서, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는, 낮은 공간분해능으로 계측된 계측 지점별 계측값에서 이상치가 발견되는지 여부를 판단한다.
- [0047] 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는 계측 지점이 포함된 이상치 발견 구간을 개략적인 손상 구간으로 판단할 수 있다.
- [0048] S240 단계에서, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는, 이상치가 발견된 경우, 모니터링 구간 중 이상치가 발견된 구간에서 높은 공간분해능으로 계측된 계측 지점별 계측값을 획득한다.
- [0049] 즉, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 분포형 광섬유 센서 장치(200)가 이상치 발견 구간을 높은 공간분해능으로 계측하도록 제어한 후, 분포형 광섬유 센서 장치(200)로부터 높은 공간분해능으로 계측된 이상치 발견 구간의 계측 지점별 계측값을 획득할 수 있다.
- [0050] 예를 들어, 분포형 광섬유 센서 장치(200)는 도 7에 도시된 바와 같이, 임의의 계측 지점에서 계측하는 임의 위치 계측(Random-accessibility) 기능을 이용하여 높은 공간분해능으로 계측을 수행할 수 있다.
- [0051] S250 단계에서, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는, 높은 공간분해능으로 계측된 계측 지점별 계측값 중에서 이상치를 탐지하여 손상 위치를 산출한다.
- [0052] 즉, 도 8을 참조하면, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 획득된 이상치 발견 구간의 계측 지점별 계측값과 높은 공간분해능 기준치의 차이값을 산출하고, 산출된 차이값이 미리 설정된 임계값을 초과하는지 여부를 확인하여 이상치를 탐지할 수 있고, 차이값이 이상치로 판정된 계측 지점을 최종적인 손상 위치로 산출할 수 있다.
- [0053] 예를 들어, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 산출된 계측 지점별 차이값에 대하여 MAD(Median Absolute Deviation) 알고리즘을 이용하여 이상치 탐지(Anomaly Detection)를 수행할 수 있다.
- [0054] 그리고, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 산출된 손상 위치를 모니터링 대상 구조물(10)의 관리자에게 통보할 수 있다.
- [0055] 예를 들어, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 유무선의 통신수단을 구비할 수 있으며, 구비된 통신수단을 통해 산출된 손상 위치를 포함하는 모니터링 메시지를 관리자의 단말로 전송할 수 있다.
- [0056] 이와 같이, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 모니터링 대상 구조물(10)의 전체 모니터링 구간을 낮은 공간

분해능으로 계측하여 계측 소요 시간 및 연산 소요 자원을 최소화할 수 있고, 낮은 공간분해능의 계측을 통해 발견된 손상 예상 구간을 높은 공간분해능으로 임의 위치 계측하여 정확한 손상 위치를 산출할 수 있다. 이를 통해, 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 한정적 자원 내에서 효율적이고 정확도 높은 모니터링을 수행하여 객관적이고 다양한 미지의 손상 유형에도 효과적으로 적용될 수 있고, 구조물의 손상 탐지 외에도 파이프라인 또는 댐의 누수(Leakage)로 인한 온도 변화 등을 포착하는 데에도 확장 가능하며, 사회기반시설물의 생애주기 동안 효율적인 유지관리 계획, 보수 및 보강의 시진 및 방법 등에 대한 의사결정이 가능할 수 있다.

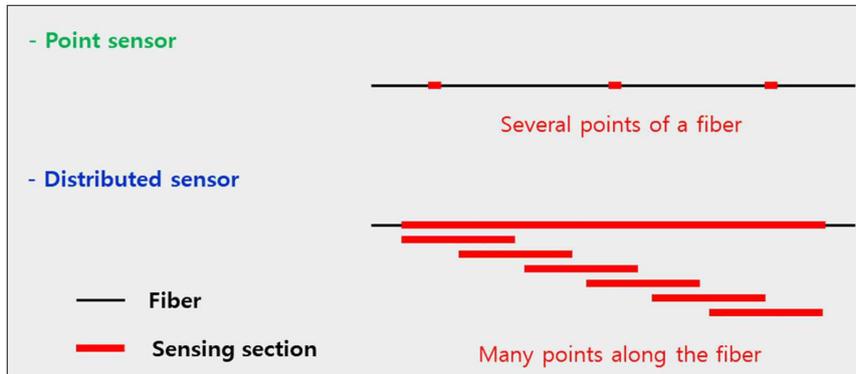
- [0057] 도 9는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치의 구성을 개략적으로 예시하여 나타낸 도면이다.
- [0058] 도 9를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 장치(100)는 프로세서(110), 메모리(120), 통신부(130) 및 인터페이스부(140)를 포함한다.
- [0059] 프로세서(110)는 메모리(120)에 저장된 처리 명령어를 실행시키는 CPU 또는 반도체 소자일 수 있다.
- [0060] 메모리(120)는 다양한 유형의 휘발성 또는 비휘발성 기억 매체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 메모리(120)는 ROM, RAM 등을 포함할 수 있다.
- [0061] 예를 들어, 메모리(120)는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 건전성 모니터링 방법을 수행하는 명령어들을 저장할 수 있다.
- [0062] 통신부(130)는 통신망을 통해 다른 장치들과 데이터를 송수신하기 위한 수단이다.
- [0063] 인터페이스부(140)는 네트워크에 접속하기 위한 네트워크 인터페이스 및 사용자 인터페이스를 포함할 수 있다.
- [0064] 한편, 전술된 실시예의 구성 요소는 프로세스적인 관점에서 용이하게 파악될 수 있다. 즉, 각각의 구성 요소는 각각의 프로세스로 파악될 수 있다. 또한 전술된 실시예의 프로세스는 장치의 구성 요소 관점에서 용이하게 파악될 수 있다.
- [0065] 또한 앞서 설명한 기술적 내용들은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예들을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 하드웨어 장치는 실시예들의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.
- [0066] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

부호의 설명

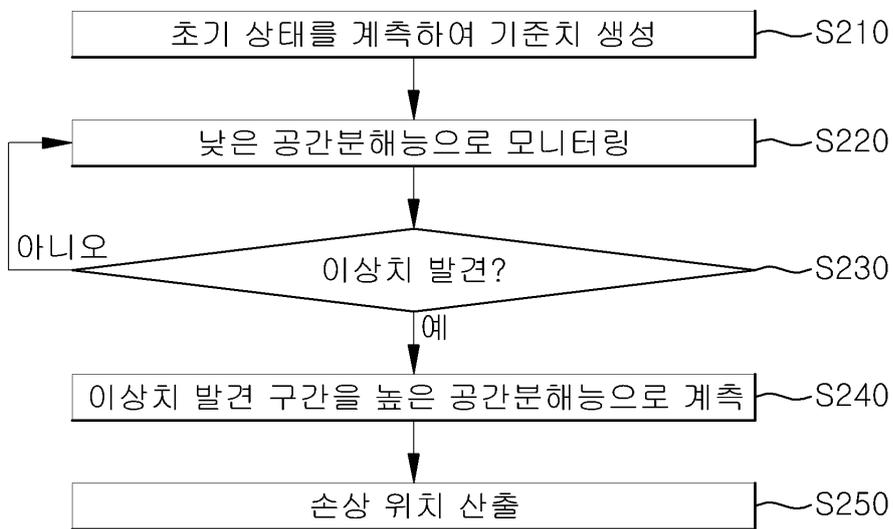
- [0067] 10: 모니터링 대상 구조물
- 100: 구조물 건전성 모니터링 장치
- 110: 프로세서
- 120: 메모리
- 130: 통신부
- 140: 인터페이스부
- 200: 분포형 광섬유 센서 장치
- 210: 계측용 광섬유 케이블

도면

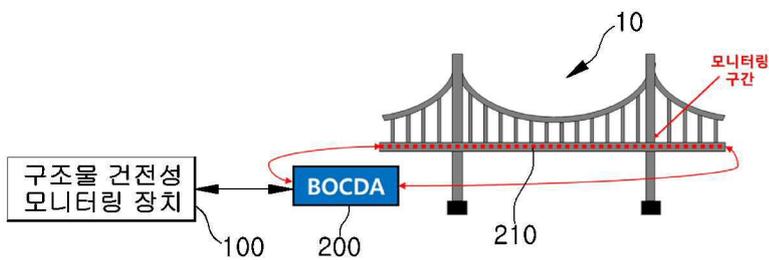
도면1



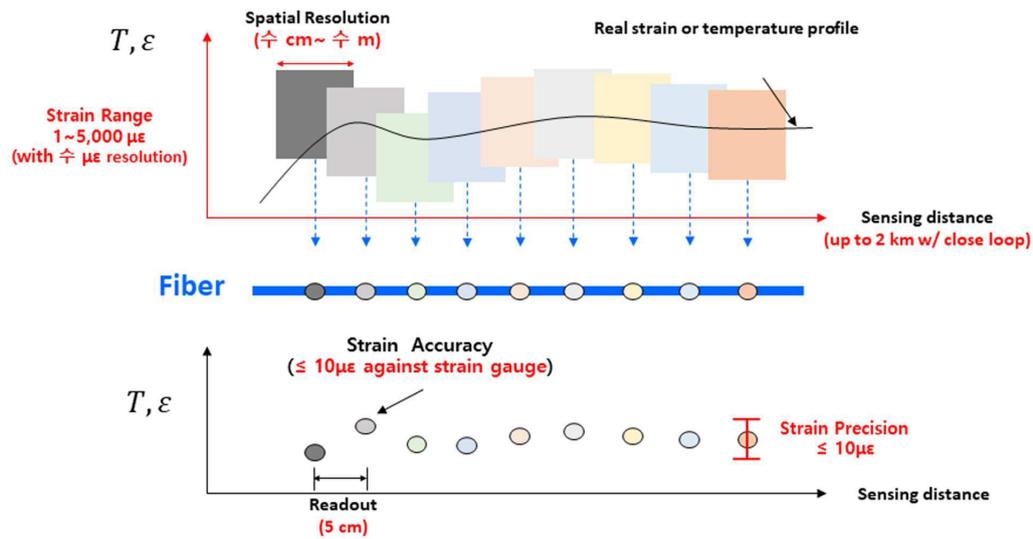
도면2



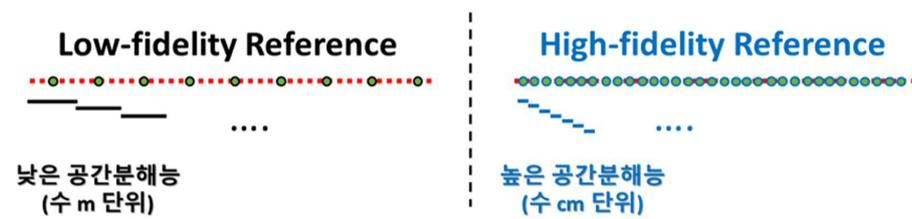
도면3



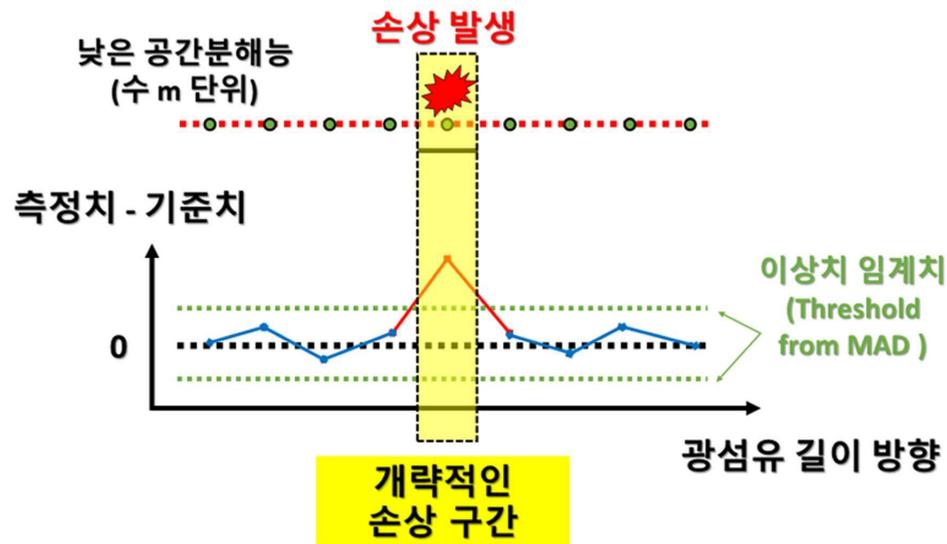
도면4



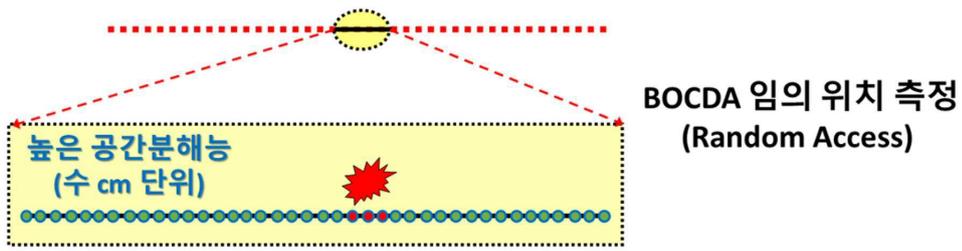
도면5



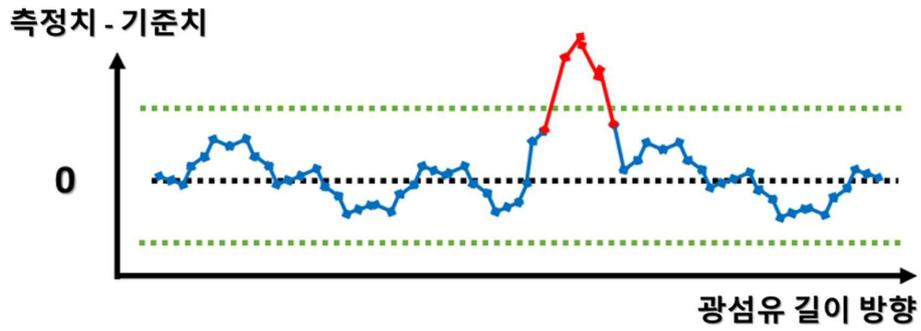
도면6



도면7



도면8



도면9

100

