



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0103337  
(43) 공개일자 2023년07월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01M 5/00 (2006.01) G01B 21/32 (2006.01)  
G01M 99/00 (2011.01) G01P 15/00 (2006.01)  
G06N 20/00 (2019.01) G06N 3/04 (2023.01)

(52) CPC특허분류

G01M 5/0033 (2013.01)  
G01B 21/32 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-0194153

(22) 출원일자 2021년12월31일

심사청구일자 2021년12월31일

(71) 출원인

경북대학교 산학협력단

대구광역시 북구 대학로 80 (산격동, 경북대학교)

연세대학교 산학협력단

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

(72) 발명자

이동은

대구광역시 중구 달구벌대로 2051, B동 1004호 (계산동2가, 신성미소시티아파트)

홍대훈

서울특별시 서초구 신반포로19길 10, 36동 401호 (반포동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 10 항

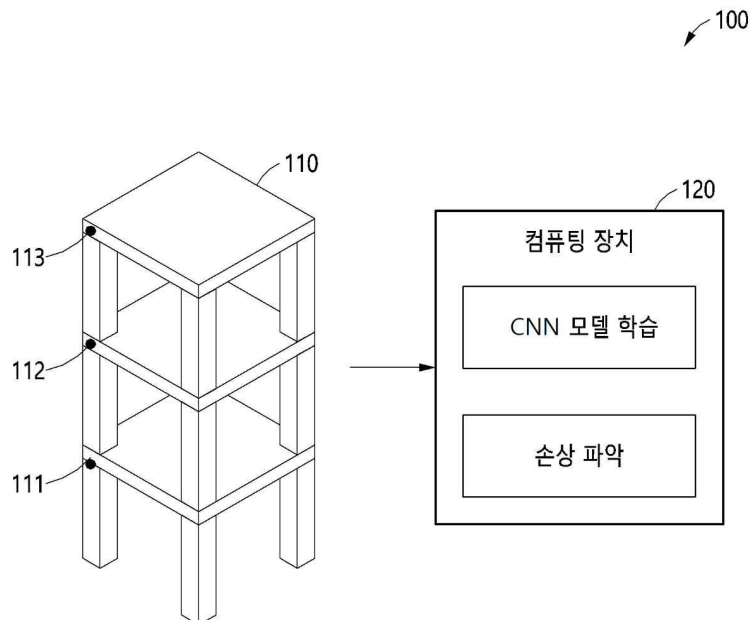
(54) 발명의 명칭 건축 구조물의 손상 탐지 방법 및 장치

(57) 요약

건축 구조물의 손상 탐지 방법 및 장치가 개시된다. 손상 탐지 방법은 실제 구조물과 유사한 특징을 가지는 가상 구조물에 대해 손상이 없는 상태에서의 (i)하중과 (ii)가속도 데이터 및 변위 데이터 사이의 관계를 손상 탐지 모델을 이용하여 학습하는 단계; 상기 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 상기 실제 구조물에 가해진 하중을 상

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



기 학습된 손상 탐지 모델에 적용함으로써 상기 실제 구조물을 구성하는 각 층의 보-기둥 접합부에 대한 변위 데이터 및 가속도 데이터를 결정하는 단계; 상기 실제 구조물에 대해 결정된 변위 데이터 및 가속도 데이터와 상기 손상이 없는 상태에서의 가속도 데이터 및 변위 데이터를 비교하여 상기 실제 구조물에 손상이 발생하였는 지 여부를 판단하는 단계; 및 상기 실제 구조물에 손상이 발생하였다고 판단된 경우, 상기 실제 구조물에 대해 결정된 변위 데이터 및 가속도 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 손상 위치 및 손상 정도를 평가하는 단계를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

**G01M 99/007** (2013.01)

**G01P 15/00** (2013.01)

**G06N 20/00** (2021.08)

**G06N 3/04** (2023.01)

(72) 발명자

**박효선**

서울특별시 서대문구 연세로 50 (신촌동, 연세대학교)

**오병관**

서울특별시 서초구 신반포로 32, 12동 403호 (반포동, 반포아파트)

**강경승**

서울특별시 서초구 잠원로 166-17, 4동 607호 (잠원동, 강변아파트)

**최제우**

서울특별시 은평구 갈현로 140, A동 102호 (구산동, 백합빌라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711133888
과제번호	2018R1A5A1025137
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	집단연구지원(R&D)
연구과제명	지능형 건설자동화 연구센터
기 여 율	1/1
과제수행기관명	경북대학교
연구기간	2021.03.01 ~ 2022.02.28

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물에 대응하는 가상 구조물을 생성하는 단계;

상기 생성된 가상 구조물에 대해 기계학습 모델을 이용하여 상기 가상 구조물에 가해진 하중과 상기 가상 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터 간의 관계를 학습하는 단계;

상기 학습된 변위 데이터를 이용하여 상기 가상 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 상기 가상 구조물에 가해진 하중을 통해 상기 가상 구조물에 대한 기둥의 전단력을 도출하는 단계;

상기 계산된 층간 변위비와 도출된 기둥의 전단력을 이용하여 상기 가상 구조물의 손상 정보를 결정하는 단계;

상기 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별하는 단계;

상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 변위 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 계산된 층간 변위비를 상기 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 상기 실제 구조물의 손상 정도를 판단하는 단계

를 포함하는 손상 탐지 방법.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

N 층의 층간 변위비는,

N 층 및 N-1 층 사이의 변위 차와 N 층 및 N-1 층 사이의 높이 차를 이용하여 결정되는 손상 탐지 방법.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 가속도 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 손상 위치를 결정하는 단계

를 더 포함하는 손상 탐지 방법.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 실제 구조물의 손상 위치는,

손상이 나타난 보-기둥 접합부의 가속도와 손상이 나타나지 않은 보-기둥 접합부의 가속도 간의 차이를 이용함으로써 결정되는 손상 탐지 방법.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 기계학습 모델은,

합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델인 손상 탐지 방법.

#### 청구항 6

손상 탐지 장치에 있어서,  
프로세서를 포함하고,  
상기 프로세서는,

손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물에 대응하는 가상 구조물을 생성하고, 상기 생성된 가상 구조물에 대해 기계학습 모델을 이용하여 상기 가상 구조물에 가해진 하중과 상기 가상 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터 간의 관계를 학습하며, 상기 학습된 변위 데이터를 이용하여 상기 가상 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 상기 가상 구조물에 가해진 하중을 통해 상기 가상 구조물에 대한 기둥의 전단력을 도출하며, 상기 계산된 층간 변위비와 도출된 기둥의 전단력을 이용하여 상기 가상 구조물의 손상 정보를 결정하고, 상기 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별하며, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 변위 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 계산된 층간 변위비를 상기 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 상기 실제 구조물의 손상 정도를 판단하는 손상 탐지 장치.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,  
N 층의 층간 변위비는,  
N 층 및 N-1 층 사이의 변위 차와 N 층 및 N-1 층 사이의 높이 차를 이용하여 결정되는 손상 탐지 장치.

#### 청구항 8

제6항에 있어서,  
상기 프로세서는,  
상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 가속도 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 손상 위치를 결정하는 손상 탐지 장치.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,  
상기 실제 구조물의 손상 위치는,  
손상이 나타난 보-기둥 접합부의 가속도와 손상이 나타나지 않은 보-기둥 접합부의 가속도 간의 차이를 이용함으로써 결정되는 손상 탐지 장치.

#### 청구항 10

제6항에 있어서,  
상기 기계학습 모델은,  
합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델인 손상 탐지 장치.

### 발명의 설명

#### 기술 분야

본 발명은 건축 구조물의 손상 탐지 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 구조물에 가해진 하중에 따른 변위 데이터 및 가속도 데이터를 이용하여 구조물의 손상 위치 및 손상 정도를 평가하는 방법 및 장치에 관한 것이다.

#### 배경 기술

건축 구조물은 최소 수십년이라는 긴 생애주기를 목표로 지어지게 된다. 하지만 건축 구조물의 사용 연한이 증

[0001]

[0002]

가함에 따라 구조적 성능이 저하되거나, 지진이나 바람과 같은 자연재해를 통해 구조적 성능이 저하될 수 있다. 또한, 최근 현대 건설기술의 발달로 인해 건축 구조물의 고층화 및 세장화가 이루어지고 있다. 이러한 고층의 건축 구조물에 손상이 발생할 경우, 경제적 손실 뿐만 아니라 인명 피해까지 유발시킬 수 있다.

[0003] 이러한 건축 구조물에 대해 지진이 발생 중인 상황 뿐만 아니라 지진이 발생한 후에도 인간의 눈으로는 구조물의 안전과 관련된 정확한 판단을 내리기 어려운 문제가 있다.

[0004] 따라서, 이러한 구조물의 안전과 관련된 정확한 판단을 위하여 센서를 통해 획득된 데이터를 이용하여 구조물의 손상을 빠르고 정확하게 분석하는 것이 중요하며, 더 나아가서는 구조물의 안전을 실시간으로 분석할 수 있는 시스템의 개발 및 도입이 요구되고 있다.

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 건축 구조물의 손상 탐지 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로는 구조물에 가해진 하중에 따른 변위 데이터 및 가속도 데이터를 이용함으로써 구조물의 손상 위치 및 손상 정도를 평가하는 방법 및 장치를 제공한다.

### 과제의 해결 수단

[0006] 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 방법은 손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물에 대응하는 가상 구조물을 생성하는 단계; 상기 생성된 가상 구조물에 대해 기계학습 모델을 이용하여 상기 가상 구조물에 가해진 하중과 상기 가상 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터 간의 관계를 학습하는 단계; 상기 학습된 변위 데이터를 이용하여 상기 가상 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 상기 가상 구조물에 가해진 하중을 통해 상기 가상 구조물에 대한 기둥의 전단력을 도출하는 단계; 상기 계산된 층간 변위비와 도출된 기둥의 전단력을 이용하여 상기 가상 구조물의 손상 정보를 결정하는 단계; 상기 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별하는 단계; 및 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 변위 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 계산된 층간 변위비를 상기 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 상기 실제 구조물의 손상 정도를 판단하는 단계를 포함할 수 있다.

[0007] N 층의 층간 변위비는 N 층 및 N-1 층 사이의 변위 차와 N 층 및 N-1 층 사이의 높이 차를 이용하여 결정될 수 있다.

[0008] 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 가속도 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 손상 위치를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0009] 상기 실제 구조물의 손상 위치는 손상이 나타난 보-기둥 접합부의 가속도와 손상이 나타나지 않은 보-기둥 접합부의 가속도 간의 차이를 이용함으로써 결정될 수 있다.

[0010] 상기 기계학습 모델은 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델일 수 있다.

[0011] 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 장치는 프로세서를 포함하고, 상기 프로세서는 손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물에 대응하는 가상 구조물을 생성하고, 상기 생성된 가상 구조물에 대해 기계학습 모델을 이용하여 상기 가상 구조물에 가해진 하중과 상기 가상 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터 간의 관계를 학습하며, 상기 학습된 변위 데이터를 이용하여 상기 가상 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 상기 가상 구조물에 가해진 하중을 통해 상기 가상 구조물에 대한 기둥의 전단력을 도출하며, 상기 계산된 층간 변위비와 도출된 기둥의 전단력을 이용하여 상기 가상 구조물의 손상 정보를 결정하고, 상기 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별하며, 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 변위 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 계산된 층간 변위비를 상기 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 상기 실제 구조물의 손상 정도를 판단할 수 있다.

[0012] N 층의 층간 변위비는 N 층 및 N-1 층 사이의 변위 차와 N 층 및 N-1 층 사이의 높이 차를 이용하여 결정될 수 있다.

[0013] 상기 프로세서는 상기 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 식별된 가속도 데이터를 이용하여 상기 실제 구조물의

손상 위치를 결정할 수 있다.

[0014] 상기 실제 구조물의 손상 위치는 손상이 나타난 보-기둥 접합부의 가속도와 손상이 나타나지 않은 보-기둥 접합부의 가속도 간의 차이를 이용함으로써 결정될 수 있다.

[0015] 상기 기계학습 모델은 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델일 수 있다.

### 발명의 효과

[0016] 본 발명의 일실시예에 의하면, 사전에 학습된 손상 탐지 모델을 이용하여 구조물에 가해진 하중에 따른 변위 데이터 및 가속도 데이터를 결정할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명의 일실시예에 의하면, 구조물에 가해진 하중에 따라 결정된 변위 데이터 및 가속도 데이터를 이용하여 구조물의 손상 위치 및 손상 정도를 평가할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 시스템을 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 모델을 이용한 손상 탐지 방법을 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 층간 변위비 및 기둥의 전단력 사이의 관계를 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 건강한 상태의 구조물에 대한 센서 데이터를 획득하기 위한 모델 업데이트 시스템을 나타낸 도면이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0020] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 시스템을 나타낸 도면이다.

[0021] 본 발명의 손상 탐지 시스템(100)은 구조물의 안전과 성능을 평가하기 위한 구조물 건전도 모니터링(Structural Health Monitoring, SHM)에 적용될 수 있다. 도 1을 참고하면, 손상 탐지 시스템(100)은 안전과 성능을 평가하고자 하는 대상인 구조물(110)과 해당 구조물(110)에 설치된 복수의 센서들(111~113)에 의해 수집된 데이터를 이용하여 해당 구조물(110)의 안전과 성능을 평가하는 컴퓨팅 장치(120)로 구성될 수 있다.

[0022] 안전과 성능을 평가하고자 하는 대상인 구조물(110)은 각각의 층에 대응하여 복수의 센서들이 설치될 수 있다. 보다 구체적으로 구조물(110)의 각 층에 대응하는 보-기둥 접합부에는 구조물의 손상을 파악하기 위한 가속도 데이터 및 층간 변위비 데이터를 획득하기 위해 가속도 센서 및 변위 센서가 동일한 위치에 설치될 수 있다.

[0023] 먼저, 컴퓨팅 장치(120)는 손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 통해 해당 실제 구조물과 유사한 특징을 가지는 가상 구조물을 생성하여 일정한 하중을 가할 수 있다. 이후 컴퓨팅 장치(120)는 가상 구조물에 가해진 하중과 가해진 하중에 대응하여 해당 가상 구조물에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터 사이의 관계를 합성곱 신경망(Convolutional Neural Network, CNN) 모델을 이용하여 학습할 수 있다. 이때, 학습에 사용되는 모델의 종류는 CNN 모델에 한정되지 않고 다양한 기계학습 기반의 모델들이 사용될 수 있다. 그리고, 컴퓨팅 장치(120)는 가상 구조물에 가해진 하중에 대응하여 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 통해 가상 구조물의 손상 정보를 식별할 수 있다.

[0024] 이후 컴퓨팅 장치(120)는 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 실제 구조물에 설치된 복수의 센서들(111~113)들을 통해 실제 구조물을 구성하는 각 층의 보-기둥 접합부에 대한 변위 데이터 및 가속도 데이터를 수집할 수 있다.

[0025] 마지막으로 컴퓨팅 장치(120)는 이와 같이 수집된 각 층의 보-기둥 접합부에 대한 변위 데이터 및 가속도 데이터를 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 실제 구조물에 대한 층별 손상 여부를 빠르게 판단할 수 있다. 보다 자세한 손상 탐지 모델을 이용한 구조물(110)의 층별 손상 여부 판단 방법은 이후의 도면을 통해 자세하게 설명하도록 한다.

[0026] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 손상 탐지 방법을 나타낸 도면이다.

[0027] 단계(210)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 손상이 없는 상태에서의 실제 구조물에 대한 데이터를 통해 해당 실제 구조

물과 유사한 특징을 가지는 가상 구조물을 생성하여 가상 구조물에 대한 손상 정보를 식별할 수 있다. 보다 구체적으로 컴퓨팅 장치(120)는 별도의 프로그램을 통해 구속 조건과 제약 조건 등을 설정함으로써 질량, 강성 등이 실제 구조물과 같거나 일정 비율로 축소된 가상 구조물을 생성할 수 있다.

[0028] 컴퓨팅 장치(120)는 이와 같이 생성된 실제 구조물과 유사한 특징을 가지는 가상 구조물에 일정한 하중을 가한 뒤 해당 가상 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별할 수 있다. 컴퓨팅 장치(120)는 이중 식별된 변위 데이터를 이용하여 가상 구조물의 층간 변위비를 계산하고, 계산된 층간 변위비와 해당 가상 구조물에 가해진 하중을 통해 도출된 기둥의 전단력을 이용함으로써 가상 구조물의 층별 손상 정도를 판단할 수 있다.

[0029] 일례로, 가상 구조물의 N 층에 대한 층간 변위비를 계산하고자 하는 경우, 컴퓨팅 장치(120)는 아래의 식 1과 같이 N 층 및 N-1 층 사이의 변위 차와 N 층 및 N-1 층 사이의 높이 차를 이용하여 N 층의 층간 변위비를 계산할 수 있다.

[0030] <식 1>

$$N \text{ 층의 층간 변위비} = \frac{N \text{ 층의 변위} - (N-1) \text{ 층의 변위}}{N \text{ 층의 높이} - (N-1) \text{ 층의 높이}}$$

[0031]

[0032] 일례로, 도 3은 층간 변위비와 기둥의 전단력에 따른 가상 구조물의 손상 정도를 나타낸다. 즉, 층간 변위비가 1.2%인 경우 가상 구조물의 장축 방향 보의 보강의 항목이 나타나고, 층간 변위비가 2.4%인 경우 가상 구조물의 접합 표면 콘크리트의 파괴가 나타남을 알 수 있다.

[0033] 단계(220)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 실제 구조물에 하중이 가해진 경우, 실제 구조물에 설치된 센서들을 통해 해당 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정되는 가속도 데이터 및 변위 데이터를 식별할 수 있다.

[0034] 단계(230)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 이중 식별된 변위 데이터를 이용하여 실제 구조물의 층간 변위비를 계산함으로써 실제 구조물의 손상 정도를 판단할 수 있다. 보다 컴퓨팅 장치(120)는 실제 구조물의 계산된 층간 변위비를 단계(210)에서 식별된 가상 구조물의 손상 정보와 비교함으로써 실제 구조물의 층별 손상 정도를 판단할 수 있다.

[0035] 일례로, 실제 구조물의 계산된 층간 변위비가 1.2%인 경우, 컴퓨팅 장치(120)는 실제 구조물의 장축 방향 보의 보강의 항목이 일어난 상황으로 판단하고, 계산된 층간 변위비가 2.4%인 경우, 실제 구조물의 접합 표면 콘크리트의 파괴가 일어난 상황으로 판단할 수 있다.

[0036] 단계(240)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 실제 구조물의 보-기둥 접합부에서 측정된 가속도 데이터를 이용하여 실제 구조물의 손상 위치를 판단할 수 있다. 보다 구체적으로 컴퓨팅 장치(120)는 층간 변위비를 통해 실제 구조물에 손상이 일어났다고 판단되면, 손상이 나타난 보-기둥 접합부와 손상이 나지 않은 다른 보-기둥 접합부에서 측정된 가속도의 차이를 이용함으로써 손상 위치를 결정할 수 있다.

[0037] 도 4는 본 발명의 일실시예에 따른 실제 구조물에 대한 데이터를 이용하여 실제 구조물과 유사한 가상 구조물을 생성하기 위한 모델 업데이트 시스템을 나타낸 도면이다.

[0038] 위에서 언급한 바와 같이 실제 구조물의 손상 여부를 판단하기 위해서는 비교 대상이 필요할 수 있는데, 이때 비교 대상은 실제 구조물과 유사한 특징을 가지는 가상 구조물일 수 있다. 이러한 가상 구조물을 획득하기 위해서 본 발명의 컴퓨팅 장치(120)는 모델 업데이트 시스템을 사용할 수 있다.

[0039] 보다 구체적으로 컴퓨팅 장치(120)는 단계(410)에서 프로그램을 통해 설계 변수 및 성능 목표를 설정할 수

있다. 이때, 설계변수는 휨 강성( $EI_{stiff}/EI_y$ ), 유효 항복 강도( $M_y$ ), 항복 이후 열화 강성( $M_c/M_y$ ), 잔류강도

비( $M_r/M_y$ ), 소성 회전 능력( $\theta_p$ ), 최대 강도 이후 회전 능력( $\theta_{pc}$ ), 최대 회전 능력( $\theta_c$ ), 정규화된 에너지 소산

능력( $\lambda$ )이고, 성능 목표는 가속도와 변위이다.

[0040] 이후 단계(420)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 설정된 설계 변수 및 성능 목표에 기초하여 질량, 강성 등이 실제 구조물과 같거나 일정 비율로 축소된 가상 구조물을 모델링할 수 있다.



- [0041] 단계(430)에서, 컴퓨팅 장치(120)는 모델링된 가상 구조물이 제약 조건을 만족하는지 여부를 판단할 수 있다.
- 이때, 제약조건은  $\theta_p$ ,  $\theta_c$ , 및 고유주기를 포함할 수 있으며, 여기서  $\theta_c$ 는  $\theta_p$  보다 큰 값을 가질 수 있다.
- [0042] 만약 제약 조건을 만족한다고 판단되면, 컴퓨팅 장치(120)는 단계(440)에서 설계 변수에 의한 계산을 수행하고, 단계(450)에서 제약 조건에 의한 계산을 수행한 후 단계(460)에서 시간 이력 해석을 수행할 수 있다.
- [0043] 이후 컴퓨팅 장치(120)는 단계(470)에서 가상 구조물의 모델링에 대한 종료 여부를 판단하고, 만약 종료하기로 판단되면, 단계(480)에서 모델링된 가상 구조물(Updated model)의 가속도 데이터 및 변위 데이터를 실제 구조물(Baseline model)의 가속도 데이터 및 변위 데이터와 비교함으로써 단계(490)과 같이 실제 구조물의 손상 위치 및 손상 정도를 평가할 수 있다.
- [0044] 한편, 본 발명에 따른 방법은 컴퓨터에서 실행될 수 있는 프로그램으로 작성되어 마그네틱 저장매체, 광학적 판독매체, 디지털 저장매체 등 다양한 기록 매체로도 구현될 수 있다.
- [0045] 본 명세서에 설명된 각종 기술들의 구현들은 디지털 전자 회로조직으로, 또는 컴퓨터 하드웨어, 펌웨어, 소프트웨어로, 또는 그들의 조합들로 구현될 수 있다. 구현들은 데이터 처리 장치, 예를 들어 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 컴퓨터들의 동작에 의한 처리를 위해, 또는 이 동작을 제어하기 위해, 컴퓨터 프로그램 제품, 즉 정보 캐리어, 예를 들어 기계 판독가능 저장 장치(컴퓨터 판독가능 매체) 또는 전파 신호에서 유형적으로 구체화된 컴퓨터 프로그램으로서 구현될 수 있다. 상술한 컴퓨터 프로그램(들)과 같은 컴퓨터 프로그램은 컴파일된 또는 인터프리트된 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 기록될 수 있고, 독립형 프로그램으로서 또는 모듈, 구성요소, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서의 사용에 적절한 다른 유닛으로서 포함하는 임의의 형태로 전개될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 사이트에서 하나의 컴퓨터 또는 다수의 컴퓨터들 상에서 처리되도록 또는 다수의 사이트들에 걸쳐 분배되고 통신 네트워크에 의해 상호 연결되도록 전개될 수 있다.
- [0046] 컴퓨터 프로그램의 처리에 적절한 프로세서들은 예로서, 범용 및 특수 목적 마이크로프로세서들 둘 다, 및 임의의 종류의 디지털 컴퓨터의 임의의 하나 이상의 프로세서들을 포함한다. 일반적으로, 프로세서는 판독 전용 메모리 또는 랜덤 액세스 메모리 또는 둘 다로부터 명령어들 및 데이터를 수신할 것이다. 컴퓨터의 요소들은 명령어들을 실행하는 적어도 하나의 프로세서 및 명령어들 및 데이터를 저장하는 하나 이상의 메모리 장치들을 포함할 수 있다. 일반적으로, 컴퓨터는 데이터를 저장하는 하나 이상의 대량 저장 장치들, 예를 들어 자기, 자기-광 디스크들, 또는 광 디스크들을 포함할 수 있거나, 이것들로부터 데이터를 수신하거나 이것들에 데이터를 송신하거나 또는 양쪽으로 되도록 결합될 수도 있다. 컴퓨터 프로그램 명령어들 및 데이터를 구체화하는데 적절한 정보 캐리어들은 예로서 반도체 메모리 장치들, 예를 들어, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(Magnetic Media), CD-ROM(Compact Disk Read Only Memory), DVD(Digital Video Disk)와 같은 광 기록 매체(Optical Media), 플롭티컬 디스크(Floptical Disk)와 같은 자기-광 매체(Magneto-Optical Media), 롬(ROM, Read Only Memory), 램(RAM, Random Access Memory), 플래시 메모리, EPROM(Erasable Programmable ROM), EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM) 등을 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로조직에 의해 보충되거나, 이에 포함될 수 있다.
- [0047] 또한, 컴퓨터 판독가능 매체는 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 가용매체일 수 있고, 컴퓨터 저장매체 및 전송매체를 모두 포함할 수 있다.
- [0048] 본 명세서는 다수의 특정한 구현물의 세부사항들을 포함하지만, 이들은 어떠한 발명이나 청구 가능한 것의 범위에 대해서도 제한적인 것으로서 이해되어서는 안되며, 오히려 특정한 발명의 특정한 실시형태에 특유할 수 있는 특징들에 대한 설명으로서 이해되어야 한다. 개별적인 실시형태의 문맥에서 본 명세서에 기술된 특정한 특징들은 단일 실시형태에서 조합하여 구현될 수도 있다. 반대로, 단일 실시형태의 문맥에서 기술한 다양한 특징들 역시 개별적으로 혹은 어떠한 적절한 하위 조합으로도 복수의 실시형태에서 구현 가능하다. 나아가, 특징들이 특정한 조합으로 동작하고 초기에 그와 같이 청구된 바와 같이 묘사될 수 있지만, 청구된 조합으로부터의 하나 이상의 특징들은 일부 경우에 그 조합으로부터 배제될 수 있으며, 그 청구된 조합은 하위 조합이나 하위 조합의 변형물로 변경될 수 있다.
- [0049] 마찬가지로, 특정한 순서로 도면에서 동작들을 묘사하고 있지만, 이는 바람직한 결과를 얻기 위하여 도시된 그 특정한 순서나 순차적인 순서대로 그러한 동작들을 수행하여야 한다거나 모든 도시된 동작들이 수행되어야 하는 것으로 이해되어서는 안 된다. 특정한 경우, 멀티태스킹과 병렬 프로세싱이 유리할 수 있다. 또한, 상술한 실시형태의 다양한 장치 컴포넌트의 분리는 그러한 분리를 모든 실시형태에서 요구하는 것으로 이해되어서는



안되며, 설명한 프로그램 컴포넌트와 장치들은 일반적으로 단일의 소프트웨어 제품으로 함께 통합되거나 다중 소프트웨어 제품에 패키징 될 수 있다는 점을 이해하여야 한다.

[0050] 한편, 본 명세서와 도면에 개시된 본 발명의 실시 예들은 이해를 돕기 위해 특정 예를 제시한 것에 지나지 않으며, 본 발명의 범위를 한정하고자 하는 것은 아니다. 여기에 개시된 실시 예들 이외에도 본 발명의 기술적 사상에 바탕을 둔 다른 변형 예들이 실시 가능하다는 것은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 자명한 것이다.

## 부호의 설명

[0051] 100 : 손상 탐지 시스템

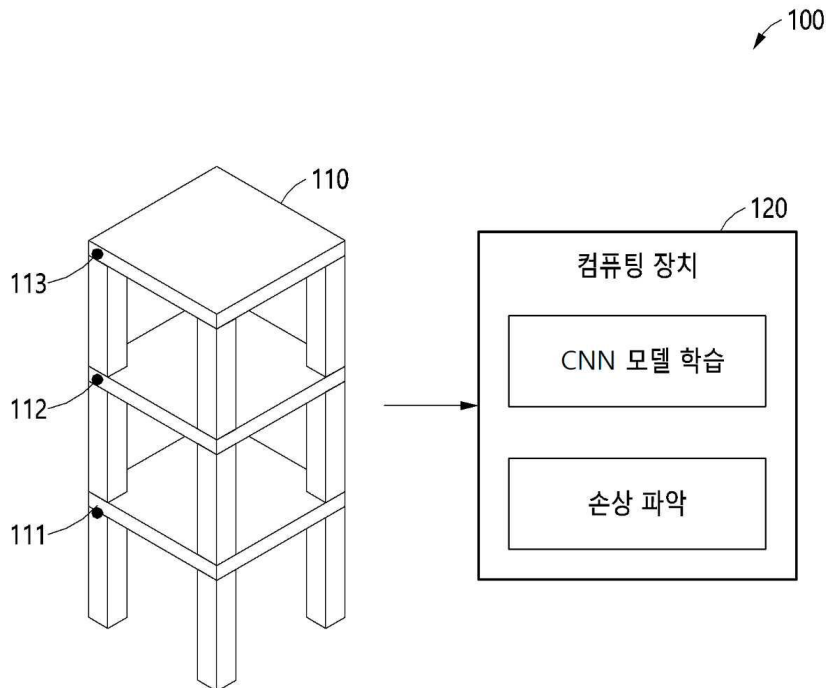
110 : 구조물

111~113 : 가속도 센서 및 변위 센서

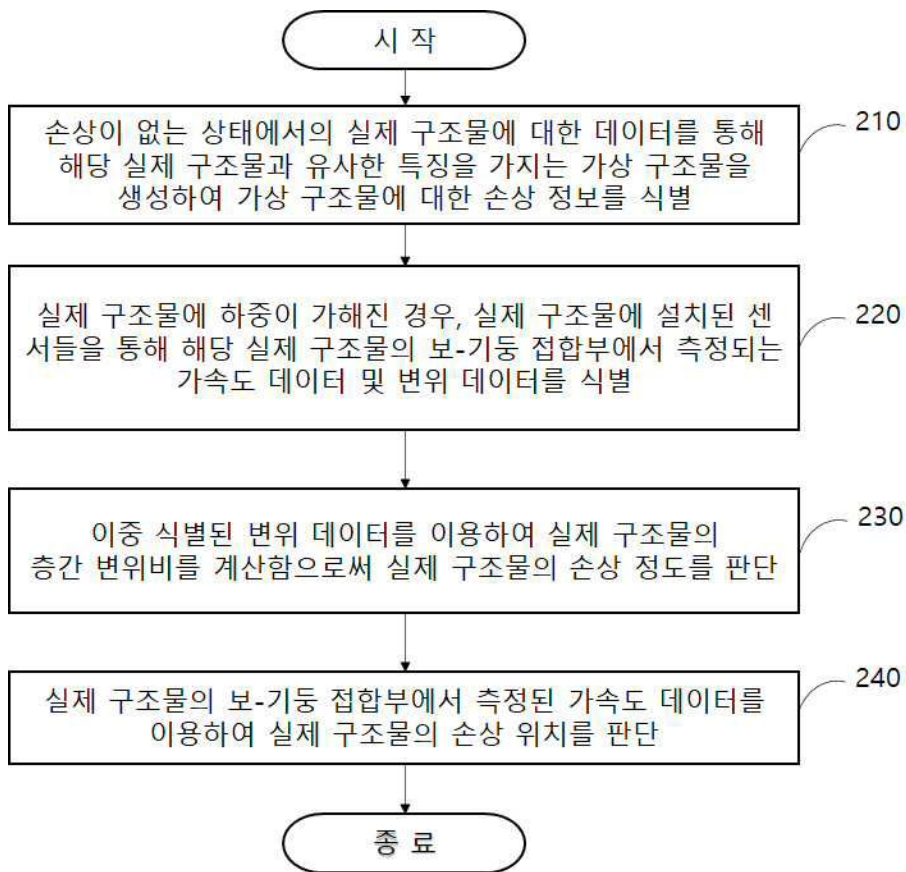
120 : 컴퓨팅 장치

## 도면

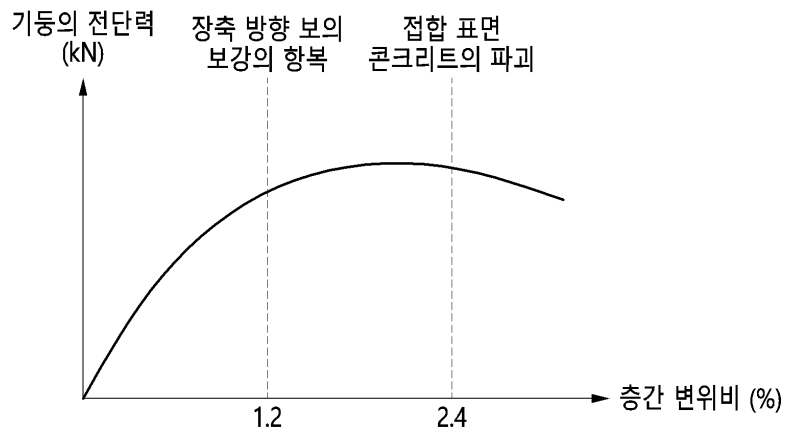
### 도면1



도면2



도면3



도면4

