



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0052040
(43) 공개일자 2025년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01M 5/00 (2006.01) G01C 9/02 (2006.01)

G06N 3/04 (2023.01) G06N 3/08 (2023.01)

(52) CPC특허분류

G01M 5/0033 (2013.01)

G01C 9/02 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0135098

(22) 출원일자 2023년10월11일

심사청구일자 2023년10월11일

(71) 출원인

인하대학교 산학협력단

인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)

(72) 발명자

이중한

인천광역시 연수구 송도국제대로 261 송도더샵센트럴시티 214동 902호

정현진

인천광역시 미추홀구 소성로 16 인하아리스타 1418호

금수경

서울특별시 동대문구 사가정로 190 전농우성아파트 13동 1203호

(74) 대리인

특허법인정진

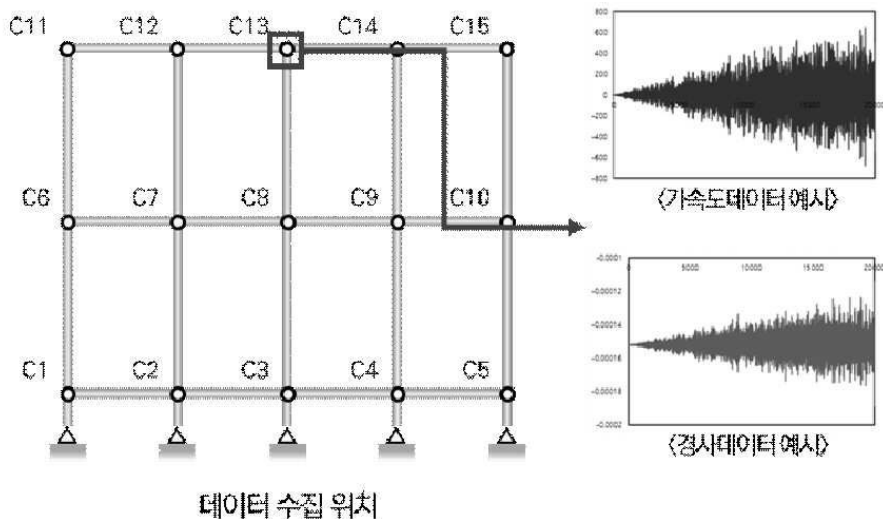
전체 청구항 수 : 총 5 항

(54) 발명의 명칭 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법

(57) 요약

본 발명은 본 발명은 가설구조물 및 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법에 관한 것으로, 가설구조물 또는 시공구조물에 가속도, 경사 계측 센서를 부착하여 센서 데이터를 수집하고, 수집된 센서 데이터를 SAE(Stacked Auto-Encoder) 학습 모델에 비지도 학습시키고, 학습된 SAE 학습 모델을 이용하여 가설구조물 또는 시공구조물의 손상 여부를 탐지한다.

대 표 도 - 도4



(52) CPC특허분류

G01M 5/0066 (2013.01)

G06N 3/04 (2023.01)

G06N 3/088 (2023.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1615013109
과제번호	KA156488
부처명	국토교통부
과제관리(전문)기관명	국토교통과학기술진흥원
연구사업명	스마트건설기술개발사업
연구과제명	임시 구조물 스마트 안전확보 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	연세대학교 산학협력단
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직 부재를 구성하여 배치하는 방법으로서,

가설구조물 또는 시공구조물의 복수의 수직부재 최하층에 센서를 부착하거나 또는 센서와 일체화된 수직부재를 구성하는 단계;

상기 부착된 센서 또는 센서와 일체화된 상기 수직부재로부터 데이터를 수신하는 단계;

상기 수신된 데이터를 신경망의 입력층으로 입력하는 단계;

상기 신경망의 출력층에서 출력된 데이터를 이용하여 데이터를 복원하는 단계;

상기 입력된 데이터와 상기 복원된 데이터를 비교하는 단계;

상기 비교 결과에 따라 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성을 평가하는 단계를 포함하는,

가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 센서는 가속도 센서 또는 경사 계측 센서인,

가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신경망은, 계층형 신경망, 순환 신경망, 또는 컨볼루션 신경망 중 어느 하나이고, 비지도학습을 통하여 학습되며, 은닉층(hidden layer)을 구비한 인코더 및 은닉층을 구비한 디코더를 포함하는,

가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 가설구조물 또는 시공구조물에는 가새재가 모두 설치되어 있거나, 모두 설치되어 있지 않거나, 또는 다양하게 설치되는,

가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 수직부재의 최하층은 가설구조물 또는 시공구조물의 외측, 내측, 중앙, 또는 이들의 조합에 위치하는,

가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구

조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 최근들어 건물의 붕괴 사고가 빈번하게 발생하면서 건물 안전성을 측정할 수 있는 측정 기술에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 또한, 조립형 비계 또는 동바리 붕괴로 인한 인명사고가 다수 발생하고 있다. 이로 인하여, 조립형 비계 또는 동바리의 안정도를 측정하기 위한 측정 기술에 대한 수요가 증가하고 있다.
- [0003] 예를 들어, 공개특허공보 제10-2006-0040571호는 복수의 패치를 구비하는 진단 네트워크 패치(DNP) 시스템을 이용하여 주 구조물의 결함을 조사하는 방법에 관한 것으로, 조사 모듈은 복수의 패치를 서브그룹으로 분할하고 액추에이터 및 센서패치에 의해 각각 발생 및 수신된 센서신호를 계측하고, 이후에 처리 모듈은 램과 모드의 확인, 그 모드의 도달시간의 산정, 및 단층화상의 생성을 위해 센서신호 데이터를 로드하고, 분류 모듈은 K평균법/리밍 벡터 쿼티제이션(Leaming Vector Quantization) 알고리즘에 기초한 코드북을 생성하고, 뉴럴-퍼지-추론 시스템을 이용하여 주 구조물의 결함을 결정하는 특징을 개시한다.
- [0004] 또한, 공개특허공보 제10-2023-0078327호는 구조물의 거동 관련 정보를 검출하는 센서와, 인공지능망을 이용하여 구조물의 손상을 보다 정확하게 예측할 수 있는 방법에 관한 것으로, 구조물의 거동과 관련된 입력신호를 검출하는 센서, 및 인공지능망을 이용하여 상기 구조물의 손상을 예측하고, 상기 인공지능망은 심층신경망(DNN)이고, 상기 심층신경망에 상기 입력신호를 주입시 상기 입력신호를 전처리하는 전처리 단계를 포함하며, 상기 전처리 단계는 상기 입력 신호를 제1 시계열 순서에 따라 신호처리하는 단계를 포함하는 특징을 개시한다.
- [0005] 또한, 등록특허공보 제10-1311324호는 무선 센서 네트워크를 이용한 철탑구조물의 안전관리시스템 및 안전관리 방법에 관한 것으로, 철탑시설물의 구조에 관한 해석 및 설계를 수행하여 상기 철탑시설물의 풍속별 기울기 및 상기 기울기에 대한 안전율을 계산하는 안전기준데이터산출부; 상기 철탑시설물의 상기 풍속별 기울기 및 상기 안전율에 기초하여 상기 철탑시설물의 안전여부를 판별하기 위한 풍속별 안전기준데이터를 설정하는 안전기준데이터설정부; 상기 철탑시설물에 설치되어 풍속을 센싱하는 풍속센서부; 상기 철탑시설물에 설치되어 풍속을 센싱하는 풍향센서부; 상기 철탑시설물에 설치되어 가속도를 센싱하는 가속도센서부; 상기 측정된 풍속, 풍향 및 가속도에 관한 측정데이터를 수신하고 이동통신망을 통해 전송하는 통신인터페이스부를 갖는 적어도 하나의 센서노드; 및 상기 풍속, 풍향 및 가속도에 관한 측정데이터를 수신 및 분석하여 측정된 상기 풍속에 대응하는 안전기준데이터와 상기 산출된 기울기를 비교하여 상기 산출된 기울기가 상기 안전기준데이터보다 큰 경우 위험경고메시지를 송출하는 안전판단부를 포함하는 특징을 개시한다.
- [0006] 또한, 등록특허공보 제10-1543368호는 건축 및 토목구조물용 하이브리드 센서 및 이를 이용한 상태 진단시스템에 관한 것으로서, 건축 및 토목구조물의 각 지점에 작은 크기로 간단히 설치하여 구조물의 각 지점에서 변형률 정보, 위치정보, 높이정보, 가속도정보, 기울기정보, 시간정보를 종합적으로 실시간 수집하여 구조물의 상태를 신속하게 진단하는 것을 특징으로 한다.
- [0007] 또한, 등록특허공보 제10-1227776호는 ANN을 이용한 구조물 변위 예측 방법은 모델 수립용 변형률 데이터 및 변위 데이터를 이용하여 ANN 변위 예측 모델이 수립되는 단계(S10), 변위 예측용 변형률 데이터가 수집되는 단계(S20), 구조물 특성을 반영한 구조해석 모델을 이용하여 단계에서 수집된 변위 예측용 변형률 데이터가 유효한지 검증되는 단계(S30) 및 S30 단계에서 유효하다고 검증된 변위 예측용 변형률 데이터가 ANN 변위 예측 모델에 입력되어 구조물 변위가 예측되는 단계(S40)를 포함하는 것을 특징으로 한다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0008] (특허문헌 0001) 공개특허공보 제10-2006-0040571호(2006.05.10.)
- (특허문헌 0002) 공개특허공보 제10-2023-0078327호(2023.06.02.)
- (특허문헌 0003) 등록특허공보 제10-1311324호(2013.09.16.)
- (특허문헌 0004) 등록특허공보 제10-1543368호(2015.08.04.)
- (특허문헌 0005) 등록특허공보 제10-1227776호(2013.01.23.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 실시예에 따르면, 본 발명은 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 연결부 또는 지지부에 가속도 또는 경사 계측 센서를 부착하여 각각의 센서 값을 획득하고, 상기 가설구조물의 무손상 데이터만을 수집하여 신경망을 훈련하고, 훈련된 신경망을 이용하여 상기 가설구조물 또는 시공구조물의 손상 여부를 판단한다.

발명의 효과

[0011] 본 발명의 실시예에 따르면, 가설구조물 또는 시공구조물의 안정성을 효과적으로 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0012] 도 1은 가설구조물 또는 시공구조물에 가새재가 설치되어 있는 사례를 도시한다. 예를 들어, 가새재는 0%, 50%, 100% 일 수 있다.

도 2는 가속도 또는 경사 계측 센서가 부착되는 지점을 도시한다. 상기 가속도 또는 경사 계측 센서는 가설구조물의 연결부 또는 지지부에 부착될 수 있다.

도 3은 콘크리트 타설 전후에 가설구조물 또는 시공구조물에 가해지는 타설하중을 도시한다.

도 4는 본 발명에 따른 데이터 수집 위치 및 수집된 데이터를 예시적으로 도시한다. 예시적으로, 수집된 데이터는 가속도 데이터, 및 경사 데이터이다.

도 5는 본 발명에 따른 신경망 모델을 도시한다. 상기 신경망 모델은 입력측에서는 3개의 히든 층을 구비하고, 출력측에도 3개의 히든 층을 구비한다.

도 6은 상기 가설구조물 또는 시공구조물이 무손상일 때 수집된 가속도 데이터를 기반으로 상기 신경망 모델을 학습하고, 이를 이용하여 이상치를 탐지한 결과를 도시한다. 층별 구축된 데이터를 기반으로 학습한 결과 1F(최하층)의 정확도는 평균 93%, F1-스코어는 95%로 나타났으며, 2F와 3F의 정확도는 모두 평균 73%로 가설구조물의 수직부재에서 상부보다 최하층 위치에서 상대적으로 높은 정확도를 나타낸다.

도 7은 상기 가설구조물에 가새재가 설치되어 있지 않은 경우, 상대적으로 높은 정확도를 보이는 수직부재 최하층 위치의 가속도 데이터 기반 손상 탐지 결과를 도시한다. 가설구조물의 외측보다 내측에서 상대적으로 높은 정확도를 나타낸다.

도 8은 가새재가 50% 설치되어 있는 경우(사례 2) 및 가새재가 100% 설치되어 있는 경우(사례 3)에 대한 정확도를 도시한다.

도 9는 가새재가 50% 설치되어 있는 경우(사례 2) 및 가새재가 100% 설치되어 있는 경우(사례 3)에 대하여 하중의 방향을 정방향 또는 역방향으로 인가했을 때의 정확도를 도시한다.

도 10은 상기 가설구조물 또는 시공구조물이 무손상일 때 모든 연결부에서 수집된 경사 데이터를 기반으로 상기 신경망 모델을 학습하고, 이를 이용하여 이상치를 탐지한 결과를 도시한다.

도 11은 사례 1(가새재가 0%인 경우)에 대한 경사 데이터를 기반으로 손상 여부를 측정한 결과를 도시한다.

도 12는 사례 2(가새재가 50%인 경우) 및 사례 3(가새재가 100%인 경우)에 대한 경사 데이터를 기반으로 손상 여부를 측정한 결과를 도시한다.

도 13은 사례 2 및 사례 3에 대하여 하중이 정방향 또는 역방향으로 인가되었을 때 정확도를 도시한다.

도 14는 적정 센서 위치 선정 결과를 도시한다.

도 15는 가설구조물 또는 시공구조물을 확장하였을 때 적용성 검토를 위해 폭 방향으로 2배 확장하여, 가속도

데이터 기반으로, 손상 및 정확도를 측정된 결과를 도시한다.

도 16는 가설구조물 또는 시공구조물을 확장하였을 때 적용성 검토를 위해 폭 방향으로 2배 확장하여, 경사 데이터 기반으로, 손상 및 정확도를 측정된 결과를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0013] 이하, 도면을 참조한 본 발명의 설명은 특정한 실시 형태에 대해 한정되지 않으며, 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있다. 또한, 이하에서 설명하는 내용은 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0014] 이하의 설명에서 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용 되는 용어로서, 그 자체에 의미가 한정되지 아니하며, 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.
- [0015] 본 명세서 전체 걸쳐 사용되는 동일한 참조 번호는 동일한 구성요소를 나타낸다.
- [0016] 본 발명에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 또한, 이하에서 기재되는 “포함하다”, “구비하다” 또는 “가지다” 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0017] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 갖는 의미와 일치하는 의미를 갖는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0018] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0019] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 한다.
- [0020] 본 발명은 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 위한 가속도 및/또는 경사 계측 센서가 설치된 가설구조물의 수직부재를 구성하여 배치하는 방법으로서, 가설구조물의 복수의 수직부재 최하층에 센서를 부착하거나 또는 센서와 일체화된 수직부재를 구성하는 단계; 상기 부착된 센서 또는 센서와 일체화된 상기 수직부재로부터 데이터를 수신하는 단계; 상기 수신된 데이터를 신경망의 입력층으로 입력하는 단계; 상기 신경망의 출력층에서 출력된 데이터를 이용하여 데이터를 복원하는 단계; 상기 입력된 데이터와 상기 복원된 데이터를 비교하는 단계; 상기 비교 결과에 따라 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성을 평가하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0021] 도 1은 가설구조물 또는 시공구조물(즉, 조립형 비계 또는 동바리)에 가새가 설치되어 있는 사례를 도시한다. 본 발명의 일 실시 양태에서는 가설구조물 또는 시공구조물이 가새재를 포함하지 않을 수도 있고, 다른 실시 양태에서는 50%의 가새재를 포함할 수도 있고, 또 다른 실시 양태에서는 100%의 가새재를 포함할 수도 있으며, 또 다른 실시 양태에서는 가새재가 다양하게 설치될 수도 있다. 여기서, 가새재란 조립형 비계 또는 동바리의 수직재 또는 수평재에 경사지게 결합되어 수평하중을 수직재에 전달하는 부재이다.
- [0022] 도 2는 본 발명에 따른 가속도 또는 경사 계측 센서가 부착되는 지점을 도시한다. 도 2에 도시된 바와 같이 본 발명에 따른 가속도 또는 경사 계측 센서는 조립형 비계 또는 동바리의 지지부, 수직부재, 또는 연결부에 부착될 수 있다. 여기서, 지지부는 조립형 비계 또는 동바리가 시공구조물에 의해 지지되는 지점을 나타내며, 연결부는 조립형 비계 또는 동바리 내의 구조물들이 서로 연결되는 지점을 나타낸다.
- [0023] 본 발명에 따른 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가는 6가지 경우의 손상에 대하여 수행되었으며, 손상 사례 1-1은 상기 연결부에 10%의 손상이 있고 상기 지지부에서는 손상이 없는 경우, 손상사례 1-2는 상기 연결부에 30%의 손상이 있고 상기 지지부에서는 손상이 없는 경우, 손상사례 1-3은 상기 연결부에 50%의 손상이 있고 상기 지지부에서는 손상이 없는 경우를 나타낸다. 또한, 손상사례 2-1은 상기 연결부에는 손상이 없고 상기 지지부에 10%의 손상이 있는 경우, 손상사례 2-2는 상기 연결부에는 손상이 없고 상기 지지부에 30%의 손상이 있는 경우, 손상사례 2-3은 상기 연결부에는 손상이 없고 상기 지지부에 50%의 손상이 있는 경우를 나타낸다.

- [0024] 도 3은 콘크리트 타설 중 또는 콘크리트 타설 종료 후 조립형 비계 또는 동바리에 가해지는 하중을 도시한다. 본 발명은 시공구조물의 설계 하중 및 실제 하중의 불활실성, 및 콘크리트 타설 중 또는 콘크리트 타설 종료 후 발생할 수 있는 운영 하중의 불활실성을 고려하여, 콘크리트 타설 중 또는 콘크리트 타설 종료 후로 나누어서 시계열적으로 조립형 비계 또는 동바리의 안전성 및 시공구조물의 안전성을 측정하였다.
- [0025] 도 4는 본 발명에 따른 데이터 수집 위치 및 수집된 데이터를 예시적으로 도시한다. 예시적으로, 수집된 데이터는 가속도 데이터, 및 경사 데이터이다. 도 4에는 연결부에 센서가 부착된 실시 양태를 도시하고 있지만, 상기 센서는 적정위치의 가설구조물 지지부 또는 수직부재에 부착 또는 일체화된 부재를 생성할 수 있다.
- [0026] 도 5는 본 발명에 따른 신경망 모델을 도시한다. 상기 신경망 모델은 계층형 신경망, 순환 신경망, 컨볼루션 신경망일 수 있다. 도 5에서는 예시적으로 상기 신경망 모델을 계층형 신경망으로 도시한다. 상기 신경망은 무손상 데이터만을 수집하여 비지도학습(unsupervised learning)을 통하여 훈련된다. 또한, 상기 신경망의 인코더는 3개의 은닉층(hidden layer)을 구비하며, 상기 인코더를 통해 병목에서 2개의 노드로 그 노드가 축소되며, 3개의 은닉층을 가진 디코더를 통해 데이터가 재구성되도록 SAE(Stacked Auto-Encoder)를 구성된다. 본 발명과 관련하여 수집된 무손상 데이터 중 70%를 훈련 데이터로 사용하고, 30%는 테스트 데이터로 사용한다. 도 5에 도시된 바와 같이, 본 발명에서 조립형 비계 또는 동바리로 손상 여부를 판단하는 방법은, i) 무손상 데이터를 이용하여 신경망을 훈련하고, ii) 손상 여부를 알 수 없는 조립형 비계 또는 동바리에서 수집된 데이터를 입력 데이터로 상기 신경망에 입력하고, iii) 상기 신경망의 출력 값으로 상기 수집된 데이터를 복원한 후, 상기 입력 데이터와 상기 복원된 데이터 간의 차이를 계산하고, iv) 상기 차이가 임의의 임계값을 넘는 경우 조립형 비계 또는 동바리가 손상된 것으로 판단하고, 상기 차이가 임의의 임계값을 넘지 않는 경우 조립형 비계 또는 동바리가 손상되지 않은 것으로 판단한다.
- [0027] 도 6은 무손상 상태의 조립형 비계 또는 동바리로부터 수집된 가속도 데이터를 기반으로 학습된 신경망을 이용하여 조립형 비계 또는 동바리의 손상 여부를 판단한 결과를 도시한다. 6가지 종류의 손상에 대하여 수직부재 최하층인 1F에서 손상 여부를 평균 93%의 정확도로 인식하고, F1-스코어는 95% 이상을 나타낸다. 2F와 3F에서는 모두 약 73%의 정확도를 보이며, 수직부재의 최하층에 센서를 부착하였을 때 가장 좋은 성능을 보인다. 여기서, 정확도는, (인식이 맞은 데이터 수) / (전체 데이터 수)를 나타내며, F1-스코어는, $2 * (\text{정밀도(precision)} * \text{재현율(recall)}) / (\text{정밀도} + \text{재현율})$ 을 나타낸다.
- [0028] 도 7은 조립형 비계 또는 동바리에 가새재가 설치되어 있지 않은 경우, 가속도 데이터 기반의 손상 탐지 결과를 도시한다. 가설구조물 또는 시공구조물의 외측(1, 5)보다 내측(2, 3, 4)에서 상대적으로 높은 정확도를 나타낸다.
- [0029] 도 8은 가새재가 50% 설치되어 있는 경우(사례 2) 및 가새재가 100% 설치되어 있는 경우(사례 3)에 대한 정확도를 도시한다. 사례 2의 경우, 3F(31, 32, 33, 34, 35)에서 최소 57%의 정확도를 나타내며, 2F(21, 22, 23, 24, 25)에서 최소 68%의 정확도를 나타낸다. 수직부재의 최하층인 1F(11, 12, 13, 14, 15)의 경우 최소 93%의 정확도를 나타낸다. 사례 3의 경우, 3F(31, 32, 33, 34, 35)에서 최소 81%, 2F(21, 22, 23, 24, 25)에서 최소 84%의 정확도를 나타낸다. 1F(11, 12, 13, 14, 15)의 경우 최소 90%의 가장 높은 정확도를 나타내며, 모든 가새재 설치 유형에서 수직부재 최하층에 센서를 설치하였을 때 가장 좋은 성능을 보인다.
- [0030] 도 9는 가새재가 50% 설치되어 있는 경우(사례 2) 및 가새재가 100% 설치되어 있는 경우(사례 3)에 대하여 하중의 방향을 정방향 또는 역방향으로 인가했을 때의 정확도를 도시한다. 사례 2의 경우 2F 및 3F에서 모두 정확도가 떨어지며, 1F에서만 평균 95% 이상의 정확도를 보인다. 또한, 사례 3의 경우 1F, 2F, 및 3F에서 모두 92% 이상의 정확도를 보이고, 1F에서 평균 95% 이상의 가장 높은 정확도를 보인다.
- [0031] 도 10은 상기 가설구조물 또는 시공구조물이 무손상일 때 모든 연결부에서 수집된 경사 데이터를 기반으로 상기 신경망 모델을 학습하고, 이를 이용하여 이상치를 탐지한 결과를 도시한다. 모든 손상 손상사례(손상사례 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 및 2-3)에 대해 가속도 데이터에서와 마찬가지로 수직부재 최하층에서 수집된 경사 데이터로 학습 결과 정확도 평균 96%, F1-스코어는 95% 이상을 나타낸다.
- [0032] 도 11은 사례 1(가새재가 0%인 경우)에 대한 경사 데이터를 기반으로 손상 여부를 측정한 결과를 도시한다. 외측(1, 5)보다 내측(2, 3, 4)에서 비교적 높은 정확도를 나타냈으며, 경사 데이터를 이용할 경우 외측(1, 5)에서도 평균 92%의 정확도를 나타낸다.
- [0033] 도 12는 사례 2(가새재가 50%인 경우) 및 사례 3(가새재가 100%인 경우)에 대한 경사 데이터를 기반으로 손상 여부를 측정한 결과를 도시한다. 사례 2의 경우 3F(31, 32, 33, 34, 35)에서 정확도가 53% 및 2F(21, 22, 23,

24, 25)에서 64%까지 떨어지고, 1F(11, 12, 13, 14, 15)에서 최소 91%로 가장 높은 정확도를 보였다. 사례 3의 경우 1F(11, 12, 13, 14, 15), 2F(21, 22, 23, 24, 25), 및 3F(31, 32, 33, 34, 35)에 따라 정확도에 큰 차이를 보이지 않는다.

[0034] 도 13은 사례 2 및 사례 3에 대하여 하중이 정방향 또는 역방향으로 인가되었을 때 정확도를 도시한다. 사례 2의 경우 2F 및 3F에서 모두 정확도가 떨어지고, 1F에서는 평균 95% 이상의 정확도를 나타낸다. 또한, 사례 3의 경우 1F 내지 3F에서 모두 평균 92% 이상의 정확도를 나타내고, 1F에서 평균 95%의 가장 높은 정확도를 나타낸다.

[0035] 도 14는 적정 센서 위치 선정 결과를 도시한다. 본 발명에 따른 가설구조물 또는 시공구조물의 안전성 평가를 수행한 결과, 센서 데이터(가속도, 경사 센서)를 이용할 경우 임시 구조물 및 시공구조물의 안전성을 동시에 평가할 수 있으며, 센서는 수직부재의 최하층 연결부인 1F(11, 12, 13, 14, 15)에 설치하는 것이 적정하고, 외측보다는 내측에서 상대적으로 높은 정확도를 나타낸다. 실제 시공 중 발생하는 외부 하중 또는 충격 등의 영향으로 1개의 센서만 설치할 경우 센서 고장, 유실 등의 문제가 발생할 가능성이 있으므로, 최소 2개 이상의 센서 부착이 필요하다. 따라서 수직부재의 최하층 연결부의 외측(왼쪽 또는 오른쪽)과 중앙에 센서 2개를 설치하여 학습한 결과 모두 높은 정확도를 나타낸다.

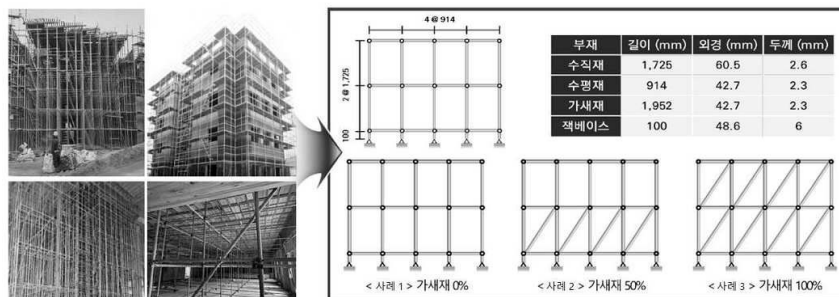
[0036] 도 15는 가설구조물 또는 시공구조물을 확장하였을 때 적용성 검토를 위해 폭 방향으로 2배 확장하여 손상 및 정확도를 측정한 결과를 도시한다. 가속도 데이터 기반으로, 수직부재의 최하층 외측(11 또는 15)과 내측(13)에 2개의 센서만이 부착되며, 가새재 설치에 따른 사례 1, 사례 2, 사례 3에 대하여 모든 손상사례 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3에서 95%의 정확도를 나타낸다.

[0037] 도 16는 가설구조물 또는 시공구조물을 확장하였을 때 적용성 검토를 위해 폭 방향으로 2배 확장하여 손상 및 정확도를 측정한 결과를 도시한다. 경사 데이터 기반으로, 수직부재의 최하층 외측(11 또는 15)과 내측(13)에 2개의 센서만이 부착되며, 가새재 설치에 따른 사례 1, 사례 2, 사례 3에 대하여 모든 손상사례 1-1, 1-2, 1-3, 2-1, 2-2, 2-3에서 95%의 정확도를 나타낸다.

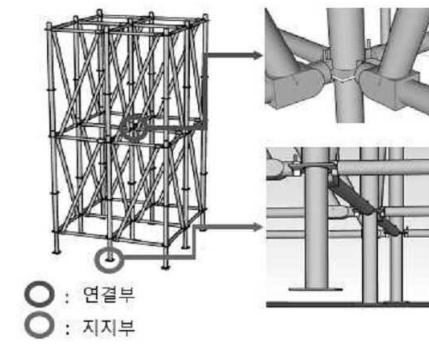
[0038] 이상으로 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명하였으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고 다른 구체적인 형태로 실시할 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 따라서 이상에서 기술한 실시예는 단지 본 발명을 설명하기 위한 예시적인 것일 뿐, 한정적인 것은 아닌 것으로 이해된다.

도면

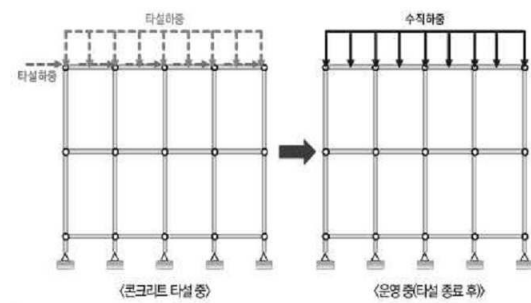
도면1



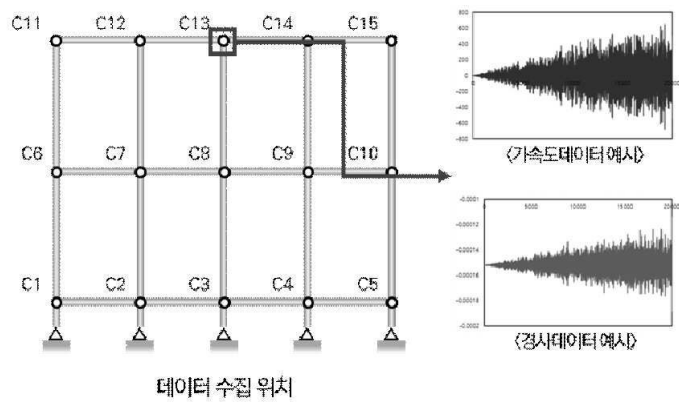
도면2



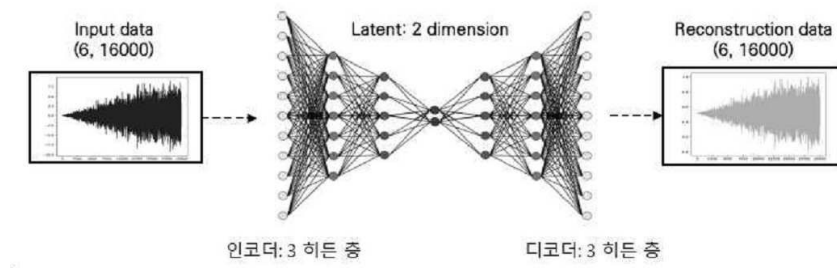
도면3



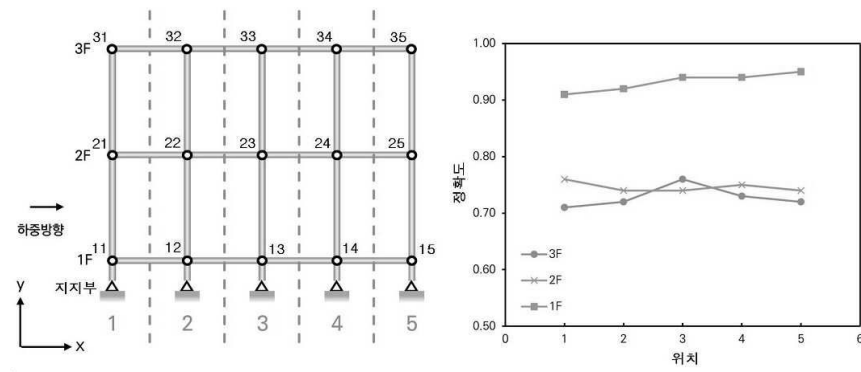
도면4



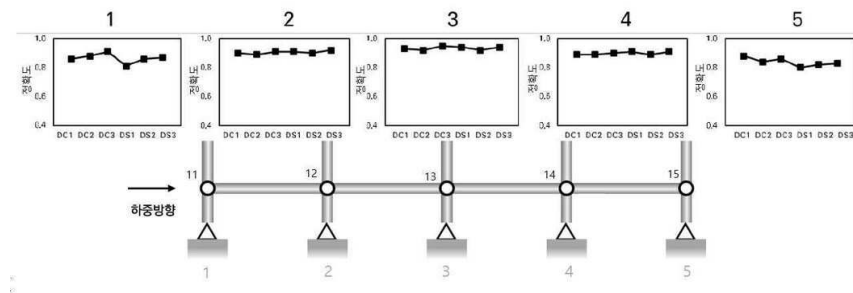
도면5



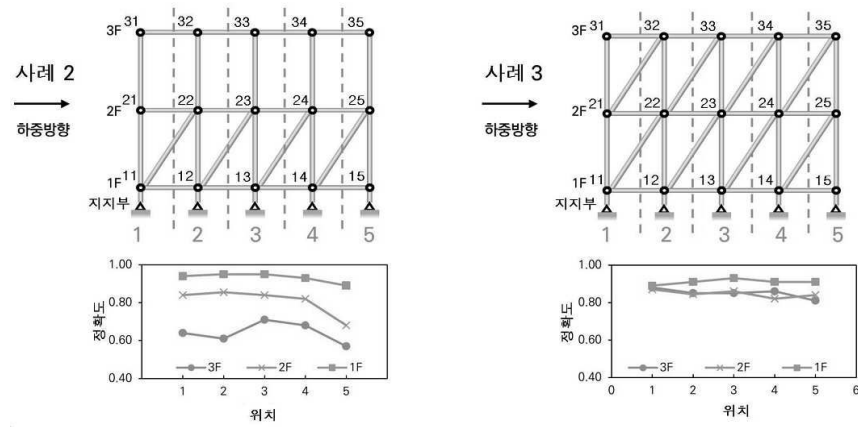
도면6



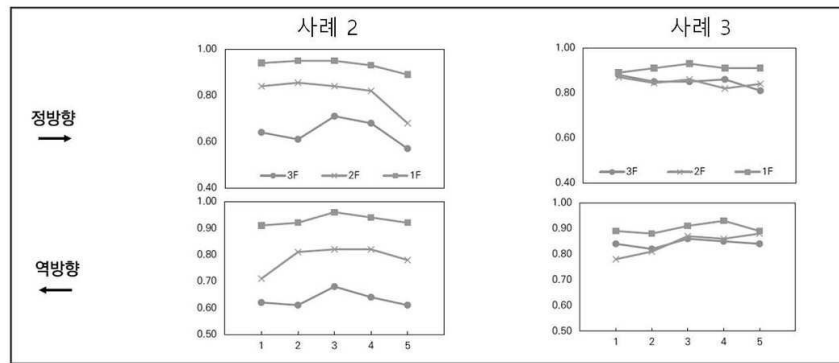
도면7



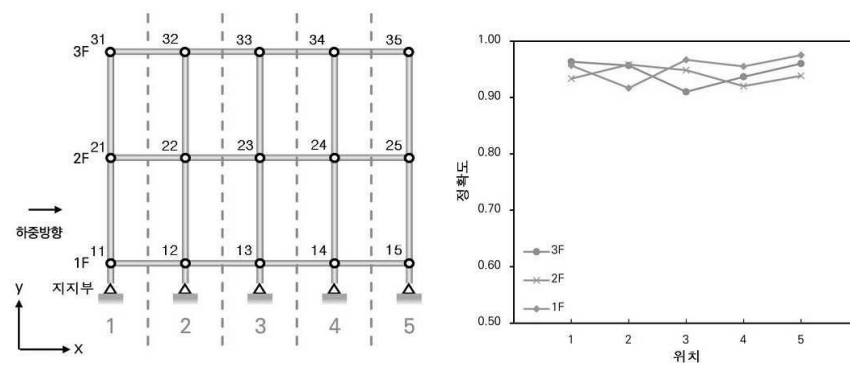
도면8



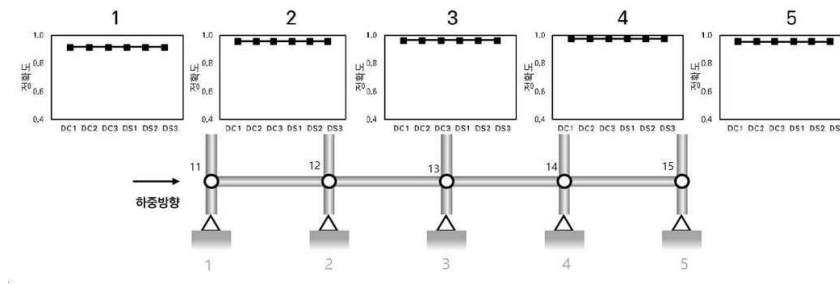
도면9



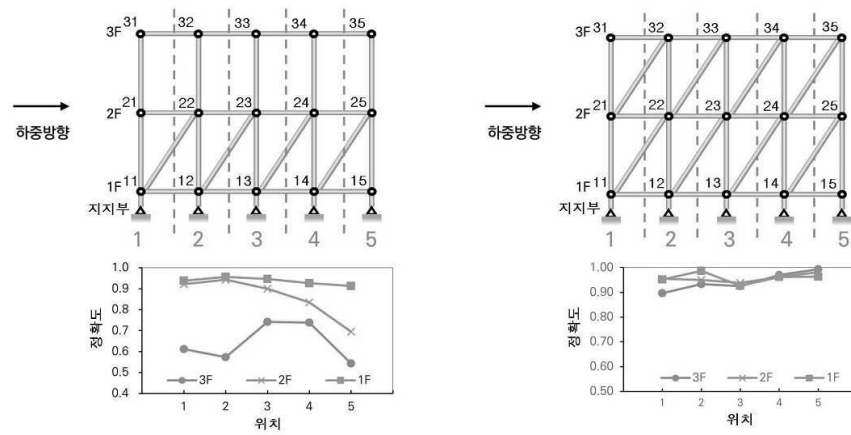
도면10



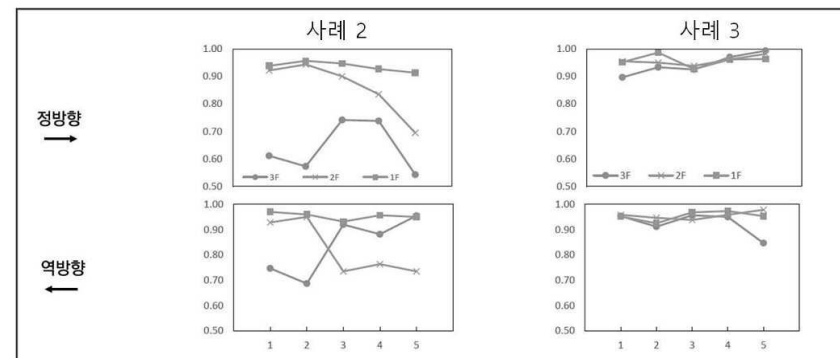
도면11



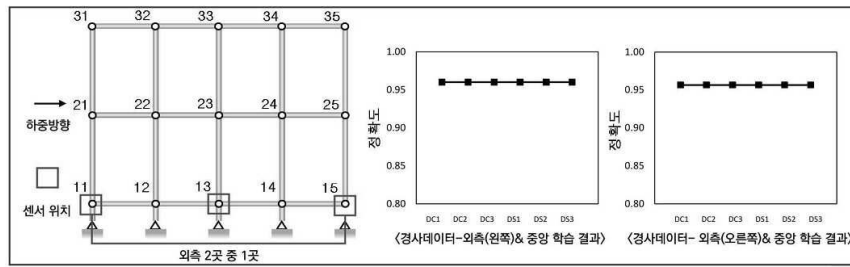
도면12



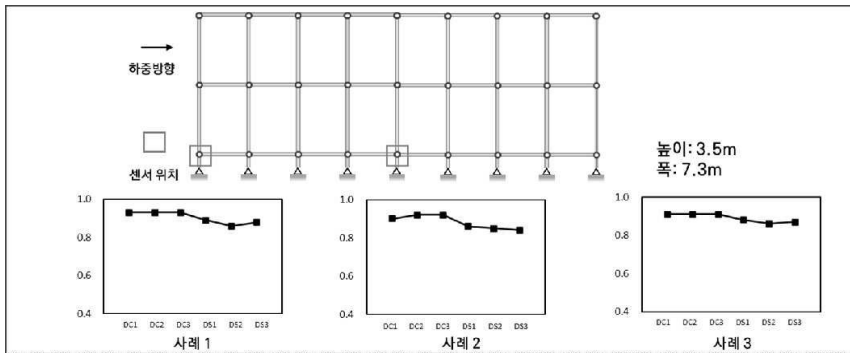
도면13



도면14



도면15



도면16

