

|                                                                                   |                                    |                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------|
|  | (19) 대한민국특허청(KR)<br>(12) 공개특허공보(A) | (11) 공개번호 10-2019-0086141<br>(43) 공개일자 2019년07월22일 |
| (51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br>G06F 17/50 (2006.01) G06N 3/08 (2006.01)                 |                                    | (71) 출원인<br>인하대학교 산학협력단                            |
| (52) CPC특허분류<br>G06F 17/5009 (2013.01)<br>G06N 3/084 (2013.01)                    |                                    | 인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)                     |
| (21) 출원번호                                                                         | 10-2018-0004309                    | (72) 발명자                                           |
| (22) 출원일자                                                                         | 2018년01월12일                        | 신도형                                                |
| 심사청구일자                                                                            | 2018년01월12일                        | 서울특별시 강남구 삼성로 150 (대치동, 한보미도맨션) 210동 205호          |
|                                                                                   |                                    | 이강혁                                                |
|                                                                                   |                                    | 인천광역시 부평구 장제로156번길 20 (부평동, 부림맨션) 202호             |
|                                                                                   |                                    | (74) 대리인                                           |
|                                                                                   |                                    | 김국진                                                |

전체 청구항 수 : 총 6 항

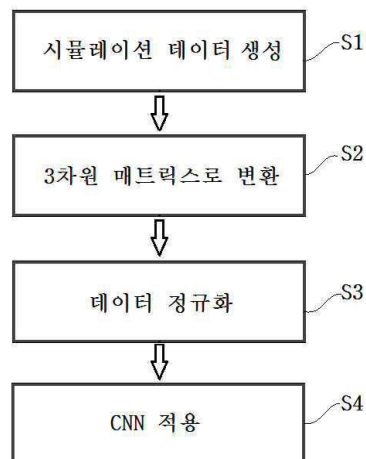
(54) 발명의 명칭 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법

### (57) 요약

본 발명은 교량 구조물에 관한 다양한 하중의 재하 상황에도 사용할 수 있도록 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법에 관한 것으로; 교량 구조물에 관한 시뮬레이션을 수행하여 교량 구조물 하중에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 생성하는 제1단계; 상기 구조해석 시뮬레이션 데이터를 3차원 매트릭스 형태의 데이터로 변환하는 제2단계; 및 상기 3차원 매트릭스로 변환된 구조해석 시뮬레이션 데이터를 CNN 학습에 사용할 수 있도록 정규화하는 제3단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

본 발명에 따르면, 교량 구조물에 관한 실제 계측데이터의 취득이 필요하지 않으므로 계측데이터 취득을 위한 시스템 설치 및 테스트에 들어가는 비용 및 시간을 대폭 절감할 수 있다.

**대표도** - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1615009512

부처명 국토교통부

연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원

연구사업명 국토교통기술촉진연구사업

연구과제명 BIM을 이용한 교량 구조물의 안전진단 및 유지관리 시스템 구축

기 여 율 1/1

주관기관 고려대학교산학협력단

연구기간 2017.06.28 ~ 2018.04.27

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

교량 구조물에 관한 시뮬레이션을 수행하여 교량 구조물 하중에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 생성하는 제1단계;

상기 구조해석 시뮬레이션 데이터를 3차원 매트릭스 형태의 데이터로 변환하는 제2단계; 및

상기 3차원 매트릭스로 변환된 구조해석 시뮬레이션 데이터를 CNN 학습에 사용할 수 있도록 정규화하는 제3단계;

를 포함하는 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

#### 청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 제1단계는 실제와 컴퓨터 모델간의 정합을 이끌어낼 수 있는 CPS(Cyber Physical System)의 개념을 이용하여 교량 구조물의 모델링을 진행하여 구조해석 시뮬레이션을 진행하는 단계인 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 교량 구조물의 시뮬레이션은 변화하는 하중 케이스를 반영하는 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

#### 청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 제2단계에서 상기 구조해석 시뮬레이션 데이터는 교량 구조물의 위치좌표를 복수의 노드로 표현하여 각 노드에 따라 존재하는 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터를 포함하며,

상기 제2단계는 상기 구조물 특성 데이터를 3차원 매트릭스 데이터의 형식의 이미지 데이터로 전환하는 단계인 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

#### 청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 제3단계는 3차원 매트릭스 데이터의 형식의 이미지 데이터로 전환된 구조해석 시뮬레이션 데이터의 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터를 표준점수의 형태로 정규화하는 단계인 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

#### 청구항 6

제 5항에 있어서,

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

상기 구조물 특성 데이터는 ' '에 따라 정규화하는 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법.

(이때, Z: 각 데이터의 정규화된 데이터, X: 원 데이터,  $\mu$ : 각 데이터 셋(set)의 평균,  $\sigma$ : 각 데이터 셋의 표준편차)

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 교량 구조물에 관한 다양한 하중의 재하 상황에도 사용할 수 있도록 CNN을 이용한 교량 구조물 손상 추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0002] 최근 노후화된 구조물의 숫자가 증가함에 따라 구조물의 안전 진단 및 유지관리의 중요성이 증가하고 있다. 특히 구조물의 유지관리에서 선제적 유지관리는 유지관리 비용에 있어 큰 영향을 미친다. 국내의 경우 '시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(이하, '시특법' 이라 한다)'에 따르는 SOC 시설물들은 2014년 1월을 기준으로, 2024년도에 이르면 준공된 지 30년 이상이 되는 시설물들이 약 22%를 차지하게 된다(Lee, 2015). 이는 국내에도 유지관리에 대한 중요성이 대두되고 있음을 보여준다.

[0003] 이러한 추세에 발맞추어 국토교통부(2017)에서는 2017년 1월, 시특법을 개정하였으며 2018년부터 법령이 시행될 예정이다. 개정된 사항들 중 가장 중요한 사항은 기존 1, 2종 시설물 외에 소형 시설물로 지정된 3종 시설물을 추가적으로 신설하여 관리한다는 점이다. 즉, 유지관리 해야 할 구조물들이 더욱 많아질 예정이다.

[0004] 또한, 국토교통부(2016)의 '시설물 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침'에 따르면 구조물의 유지관리를 위한 모든 안전점검의 수행을 위해선 경험과 기술을 갖춘 숙련된 인력이 필요하다. 하지만, 2018년부터 시행될 시특법에 따라 관리해야하는 시설물의 종류 및 개수의 증가를 고려할 때 안전점검에 필요한 인력 수급에 문제가 생길 것이라 예상된다.

[0005] 이러한 문제를 해결하기 위해 구조물 건전도 모니터링(SHM; Structural Health Monitoring) 시스템이 대안으로 사용될 수 있다.

[0006] 상기 SHM 시스템은 파악하고자 하는 목적이 되는 구조물에 변형물계, 가속도계, 변위계 등 여러 계측기를 설치하여 계측 데이터를 실시간으로 수집하고, 수집된 데이터의 분석을 통하여 구조물의 건전도를 모니터링 하는 시스템을 말한다. SHM 시스템을 통해, 안전점검자는 구조물의 거동을 국부적, 전역적으로 파악하는데 사용할 수 있으며, SHM 시스템을 이용할 경우, 한명의 숙련된 안전점검자가 실시간으로 여러 구조물에 대한 정보를 모니터링 할 수 있으므로 더욱 효율적인 구조물의 유지관리가 가능하다.

[0007] 이러한 SHM 시스템은 한 명의 숙련된 인력이 여러 구조물을 유지관리 할 수 있도록 도움을 주므로 시특법의 개정으로 생길 수 있는 인력부족의 문제를 해결할 수 있는 방안이 될 수 있는 것으로, 구조물 계측데이터를 실시간으로 수집, 분석하는 시스템으로서, 구조물의 손상 및 이상징후를 파악하여 안전 및 유지관리에 도움을 줄 수 있는 시스템이며 손상을 추정하는 기법을 손상추정기법(Damage Detection)이라 한다.

[0008] 상기 손상추정기법은 SHM 시스템을 이용하므로 실시간으로 변화하는 교통 하중에 의한 구조물의 거동을 반영한 계측 데이터를 실시간으로 제공받아 구조물의 손상을 추정함에 따라 구조물의 손상을 상시적으로 비교적 수월하게 파악할 수 있다는 장점이 있으며 주로 인천대교, 광안대교 등 장대교량의 유지관리를 위해 사용된다. 이러한 손상추정기법이 적용되는 일 예로 등록특허 제10-0669070호 등이 제안된 바 있다.

[0009] 하지만, 이러한 종래의 손상추정기법의 경우 개발 당시 설계된 재하 하중 외에 다른 하중이 적용될 경우 손상추정이 불가능하고, 계측 신호만 이용하는 신호기반 손상추정기법이 주를 이루고 있으며 신호기반 손상추정기법의 경우 구조물의 손상위치를 파악하지 못하는 한계가 있다.

[0010] 아울러, 이를 해결하기 위한 손상추정기법으로 모델기반 손상추정기법이 존재하고 있으나 여전히 적용된 재하 하중 하에서만 손상추정이 가능하다는 한계가 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 참고문헌 1: 등록특허 제10-0669070호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0012] 따라서, 본 발명은 이러한 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명은 교량 구조물에 관한 다양한 하중의 재하 상황에도 사용할 수 있는 CNN(Convolutional Neural Network)을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 특히, 본 발명은 SHM 시스템에 CNN을 적용하여 다양한 하중을 반영하지 못하는 기존 손상추정기법의 한계를 개선할 수 있도록 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법을 제공하는 데 그 목적이 있다.

### 과제의 해결 수단

[0014] 이와 같은 기술적 과제를 해결하기 위해 본 발명은;

[0015] 교량 구조물에 관한 시뮬레이션을 수행하여 교량 구조물 하중에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 생성하는 제1단계; 상기 구조해석 시뮬레이션 데이터를 3차원 매트릭스 형태의 데이터로 변환하는 제2단계; 및 상기 3차원 매트릭스로 변환된 구조해석 시뮬레이션 데이터를 CNN 학습에 사용할 수 있도록 정규화하는 제3단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법을 제공한다.

[0016] 이때, 상기 제1단계는 실제와 컴퓨터 모델간의 정합을 이끌어낼 수 있는 CPS(Cyber Physical System)의 개념을 이용하여 교량 구조물의 모델링을 진행하여 구조해석 시뮬레이션을 진행하는 단계인 것을 특징으로 한다.

[0017] 그리고, 상기 교량 구조물의 시뮬레이션은 변화하는 하중 케이스를 반영하는 것을 특징으로 한다.

[0018] 아울러, 상기 제2단계에서 상기 구조해석 시뮬레이션 데이터는 교량 구조물의 위치좌표를 복수의 노드로 표현하여 각 노드에 따라 존재하는 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터를 포함하며; 상기 제3단계는 상기 구조물 특성 데이터를 3차원 매트릭스 데이터의 형식의 이미지 데이터로 전환하는 단계인 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한, 상기 제3단계는 3차원 매트릭스 데이터의 형식의 이미지 데이터로 전환된 구조해석 시뮬레이션 데이터의 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터를 표준점수의 형태로 정규화하는 단계인 것을 특징으로 한다.

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

[0020] 이때, 상기 구조물 특성 데이터는 '  $\sigma$  '에 따라 정규화하는 것을 특징으로 한다.(이때, Z: 각 데이터의 정규화된 데이터, X: 원 데이터,  $\mu$ : 각 데이터 셋(set)의 평균,  $\sigma$ : 각 데이터 셋의 표준편차)

### 발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 교량 구조물에 관한 실제 계측데이터의 취득이 필요하지 않으므로 계측데이터 취득을 위한 시스템 설치 및 테스트에 들어가는 비용 및 시간을 대폭 절감할 수 있다.

[0022] 아울러, 본 발명에 따른 시뮬레이션 데이터 처리 방법을 이용하면 변화하는 교통 하중의 적용이 가능한 손상추정기법의 개발이 가능하므로 기존 손상추정기법의 한계를 극복할 수 있으며, 상시적으로 비교적 수월하게 교량 구조물의 손상 추정이 가능하다.

[0023] 또한, 본 발명에 따르면 종래 손상추정기법에는 사용되지 않았던 하중데이터를 CNN 학습에 사용하는 손상추정기

법을 제안함으로써 교량구조물의 손상추정기법에 대한 신뢰성도 향상되는 효과가 있다.

## 도면의 간단한 설명

- [0024] 도 1은 본 발명에 따른 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리 과정 흐름도이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 시뮬레이션 데이터 처리시 변화하는 하중 케이스(CASE)의 반영 예를 도시한 도면이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 시뮬레이션 데이터 처리시 3차원 매트릭스화의 일 예를 도시한 도면이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0025] 이하, 본 발명에 따른 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법을 첨부한 도면을 참고로 하여 상세히 기술되는 실시 예에 의하여 그 특징들을 이해할 수 있을 것이다.
- [0026] 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.
- [0027] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시 예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들은 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0028] 도 1 내지 도 3을 참고하면, 본 발명에 따른 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리 방법은 교량 구조물에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 CNN 학습에 이용하기 위해 전처리하는 방법이다.
- [0029] 상기 CNN(Convolutional Neural Network)은 딥러닝 기법 중 하나로서 convolution layer를 포함하는 인공신경망을 말한다. CNN은 현재 이미지 프로세싱(image processing)에서 가장 많이 사용되고 있으며 뇌의 사물 분류문제(object classification), 사물 인지문제(object recognition) 등과 같이 규칙기반 프로그래밍으로 풀기 어려운 컴퓨터 비전(computer vision) 문제를 해결하는데 주로 사용되고 있다.
- [0030] 이러한 CNN은 인공신경망을 기본으로 하는 것으로, 인공신경망은 뇌 신경회로의 활동을 토대로 고안된 알고리즘이며, Rosenblatt et al.(1957)이 개발한 퍼셉트론(Perceptron)의 기본을 두고 있다.
- [0031] 이때, 퍼셉트론은 단 2개의 노드를 가진 인공신경망으로 볼 수 있으며, 인공신경망의 종류 중 가장 간단하게 기계를 학습시킬 수 있는 방법이다. 당시 퍼셉트론은 기본적인 논리 연산인 XOR 문제를 해결하지 못한다는 문제를 지니고 있었다(Minsky et al., 1969). 이를 해결하기 위해 McClelland et al.(1987)은 퍼셉트론을 여러 층으로 이용하는 방법인 Multi Layer Perceptron (MLP)기법을 제안하였다. MLP 기법은 현재 ANN으로 불리는 인공신경망 모델의 토대가 되었다. 인공신경망의 학습은 가중치를 목적에 맞게 학습시키는 것을 말한다. D.E. Rumelhart et al.(1985)은 인공신경망의 학습을 위한 방법으로 역전파(backpropagation) 알고리즘을 제안했고 역전파 알고리즘은 인공신경망 학습의 효율성을 크게 증가시켰고 이로 인해 학습의 정확도가 크게 향상되었다.
- [0032] 하지만, 인공신경망은 데이터의 양에 비해 모델의 복잡성이 크다는 특징을 가지기 때문에 인공신경망 모델과 데이터의 과적합(overfitting)의 문제가 항상 존재한다는 단점이 있다.
- [0033] 이를 해결하기 위해 Hinton et al.(2010)은 데이터의 과적합 문제를 해결할 수 있는 비지도학습법인 RBM(Restricted Boltzmann Machine) 방식의 학습방법을 제안하였다.
- [0034] 인공신경망의 개발과 함께 인공신경망에 기반한 CNN의 개념은 LeCun et al.(1989)에 의해 처음으로 제안되었다. LeCun et al.은 필기체로 적혀진 zip code의 인식을 위한 특별한 인공신경망 모델을 개발하였고 합성곱을 이용한 인공신경망의 연산을 이용함으로써 큰 성과를 이루었다. 이후 2010년대 그래픽카드의 많은 코어를 이용한 연산을 가능하게 한 GPGPU(General Purpose computation on GPU)의 개발에 따른 데이터 처리속도 증가와 인터넷의 대중화로 인한 사용가능한 데이터 숫자의 증가로 인해 CNN에 대한 관심이 크게 높아졌고 특히 이러한 관심은 컴퓨터 비전 및 이미지 프로세싱 분야에서 두드러졌다.
- [0035] 이러한 CNN은 이미지 프로세싱 및 컴퓨터 비전에 관한 인공지능의 개발에 자주 사용되는 신경망의 하나로써 분류 문제에 두각을 나타내고 있고, 이미지 데이터는 구조물 데이터와 구조적으로 유사하므로 CNN 모델에 이용 가능하다. 이에 본 발명에 따라 개발할 손상추정기법의 목적은 구조물 손상 위치의 분류이므로 별다른 데이터의

변화 없이 CNN을 이용하는 것이 가능하다.

- [0036] 아울러, CNN 모델의 학습에 다양한 케이스의 하중 데이터를 이용한다면 실시간으로 변화하는 교통 하중에 따른 손상추정이 가능하고, 따라서 본 발명은 실시간으로 변화하는 교통하중을 적용하여도 손상위치의 분류가 가능하다.
- [0037] 기존 손상추정기법은 하중데이터를 손상추정에 이용하지 못하므로 본 발명은 하중데이터를 손상추정기법에 적용시키기 위해 CNN을 이용하며, 시뮬레이션 데이터를 CNN을 이용하기 위해 데이터의 생성, 데이터의 전처리(Preprocessing) 과정을 수행한 후 CNN을 적용한다.
- [0038] 이와 같은 본 발명에 따른 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리방법은, 도 1을 참고하면 교량 구조물에 관한 하중 케이스를 적용하여 시뮬레이션을 수행하여 교량 구조물 하중에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 생성하는 단계(S1), 상기 구조해석 시뮬레이션 데이터를 3차원 매트릭스 형태의 데이터로 변환하는 단계(S2), 상기 3차원 매트릭스로 변환된 구조해석 시뮬레이션 데이터를 정규화하는 단계(S3)를 수행한다.
- [0039] 그리고, 상기 단계(S3)를 통해 정규화된 교량 구조물에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터는 CNN 학습에 사용하는 단계(S4)에서 사용한다.
- [0040] 즉, CNN 모델 학습(S4)을 위해서는 구조물 하중 데이터의 생성이 필요한데 이를 위해 구조해석 시뮬레이션 데이터를 이용하고, 구조해석 시뮬레이션을 통해 생성된 데이터는 이미지 데이터와 같은 3차원 매트릭스의 변환이 필수적이며, 이후 CNN 모델 학습을 위해 정규화 과정을 수행한다.
- [0041] 물론, 이러한 CNN을 이용한 교량 구조물 손상추정기법의 개발을 위한 시뮬레이션 데이터 처리는 다양한 형태의 컴퓨터를 사용하여 진행함은 당연하다.
- [0042] 이하, 본 발명의 각 단계를 구체적으로 설명한다.
- [0043] 상기 단계(S1)는 교량 구조물에 관한 다양한 하중 케이스를 적용하여 시뮬레이션하고 이를 통해 구조해석 시뮬레이션 데이터를 생성하는 단계이다.
- [0044] 상기 단계(S1)는 실제 교량 구조물에 손상을 입히고 다양한 하중을 적용하는 것은 현실적으로 불가능함에 따라 수행하는 단계로서, 이 경우 실제와 컴퓨터 모델간의 정합을 이끌어낼 수 있는 시스템이라 평가되는 CPS(Cyber Physical System)의 개념을 이용한다. 실제 교량 구조물의 모델링을 진행하여 구조해석 시뮬레이션을 통해 교량 구조물의 다양한 응답 데이터를 얻어낸다.
- [0045] 특히, 교량 구조물의 시뮬레이션을 진행시 도 2에 도시된 바와 같이 변화하는 하중 케이스를 반영하도록 한다.
- [0046] 즉, 다양한 손상을 교량 구조물에 반영해야 하는데, 실제 구조물에 손상을 입히는 것은 불가능함에 따라 본 발명에서는 실제 데이터와 시뮬레이션 데이터가 같다는 가정하에 구조해석 프로그램의 시뮬레이션을 통하여 교량 구조물의 특성 데이터를 생성한다.
- [0047] 다음으로 상기 단계(S2)는 상기 단계(S1)를 통해 생성된 교량 구조물에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 3차원 매트릭스 형태의 데이터로 변환하는 단계이다.
- [0048] 먼저, 단계(S1)에서 생성된 교량 구조물에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터는 이미지로 변화시키는 작업이 필요하다. 이때 이미지 데이터의 경우 한 픽셀에 복수의 색상정보를 가지고 있는 3차원의 매트릭스 형태의 데이터이다.
- [0049] 따라서, CNN 학습에 이용하기 위해서는 교량 구조물에 관한 구조해석 시뮬레이션 데이터를 하나의 위치에 복수의 데이터를 소유하는 3차원 매트릭스 데이터의 형식으로 만들어야 한다.
- [0050] 실제 교량 구조물에 관하여 예측될 수 있는 데이터의 종류로는 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터가 있으며, 교량 구조물(1)의 위치정보를 본 발명에서는 노드(N)라고 표현한다. 교량 구조물(1)의 위치좌표를 복수의 노드(N)로 표현하게 되면 도 3에 도시된 바와 같이 각 노드(N)에 따라 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터가 존재하게 된다. 이때, 각 노드별 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터를 이미지 데이터의 형식으로 전환시킨다.
- [0051] 그리고, 상기 단계(S3)는 상기 단계(S2)를 통해 생성된 교량 구조물에 관한 3차원 매트릭스 형태의 구조해석 시뮬레이션 데이터를 CNN 모델의 학습에 이용하기 위해 데이터를 정규화하는 단계이다.

[0052] 각 노드(N)에 따라 존재하는 하중, 변형률, 변위 등의 구조물 특성 데이터는 각각 절대적인 값의 차이를 가지게 되는데, 이러한 하중, 변형률, 변위 등의 각 데이터간의 절대적인 값의 크기는 CNN 모델의 학습에 악영향을 줄 수 있다.

[0053] 이에 각 구조물 특성 데이터는 아래의 수학적 식 1에서와 같이 표준점수의 형태로 정규화한다.

### 수학적 식 1

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

[0054]

[0055] 이때 'Z'는 각 데이터의 정규화된 데이터를 뜻하며 X는 원 데이터, ' $\mu$ '는 각 데이터 셋(set)의 평균, ' $\sigma$ '는 각 데이터 셋의 표준편차이다.

[0056] 예를 들어 본 발명에서 이용하고자 하는 변형률데이터의 평균은 약  $10^{-5}$ 이며 하중은 모두 동일하게 -2,750이므로 변형률 데이터와 하중 데이터 간에는 스케일에 큰 차이가 있다. 따라서, 변형률 데이터를 데이터 정규화 과정 없이 그대로 이용한다면 상대적으로 크기가 더욱 큰 하중 데이터에 의존하는 CNN 모델의 생성을 가져올 수 있으며 이에 따라 변형률 데이터가 무의미해질 우려가 있다.

[0057] 따라서, 각 데이터의 스케일(scale)을 맞춰주는 정규화 과정이 필수적으로 필요하다. 즉, CNN 학습에 데이터를 이용하기 전 변형률 데이터의 경우 위 수학적 식 1을 이용하면 변형률 데이터에서 전체 평균을 차감시킨 뒤 각 데이터를 표준편차로 나누어 정규화를 진행하고, 하중의 경우 하중 데이터를 -2,750로 나누어 1로 변환될 수 있도록 치환한다.

[0058] 물론, 실제 변형률계를 통해 얻게 되는 변형률데이터는 오차를 지니고 있을 가능성이 있으므로 CNN 모델의 실제 활용성을 높이기 위해 추가로 검증을 위한 데이터에 실제와 비슷한 오차를 적용시켜 모델의 정확도를 검증하는 것이 필요하다.

[0059] 이상의 단계(S3)를 통해 정규화된 구조해석 시뮬레이션 데이터는 단계(S4)의 CNN 모델의 학습에 사용하여 교량 구조물의 손상을 추정한다.

[0060] 본 발명에서와 같이 CNN을 적용시킨 손상추정기법은 다양한 하중의 적용이 가능하므로 다양한 하중의 적용이 불가능한 기존 손상추정기법의 한계를 극복할 수 있다.

[0061] 즉, 본 발명에 의하면 개발한 손상추정기법을 이용하여 실시간으로 변화하는 교통하중에 대해서도 별도의 하중의 분석 및 하중통제를 통한 재하실험 없이 교량의 손상을 파악할 수 있다.

[0062] 아울러, 본 발명은 실제 정밀안전진단주기에 의존하지 않고 구조물의 손상을 파악할 수 있고, 교량에 SHM 시스템만 구축되어 있다면 어디서든 사용이 가능하며 한명의 기술자가 다수의 교량을 관리할 수 있다는 장점을 가지고 있어 교량 유지관리의 효율성을 가져올 수 있다.

[0063] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 수정 및 변형 가능한 것으로, 본 발명의 보호범위는 아래의 청구범위에 의하여 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

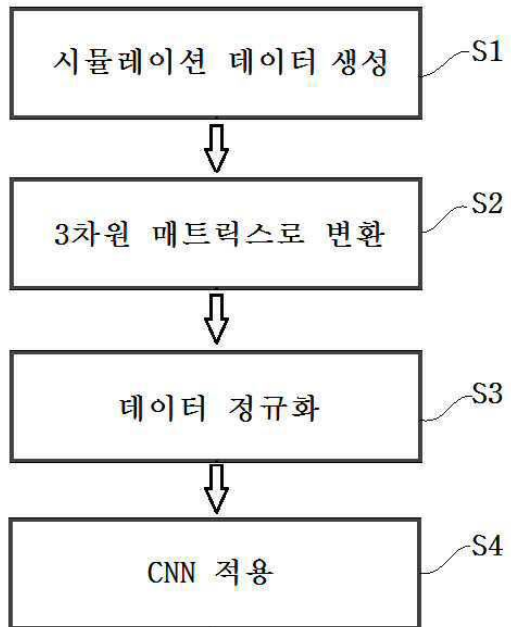
### 부호의 설명

[0064] 1: 교량 구조물

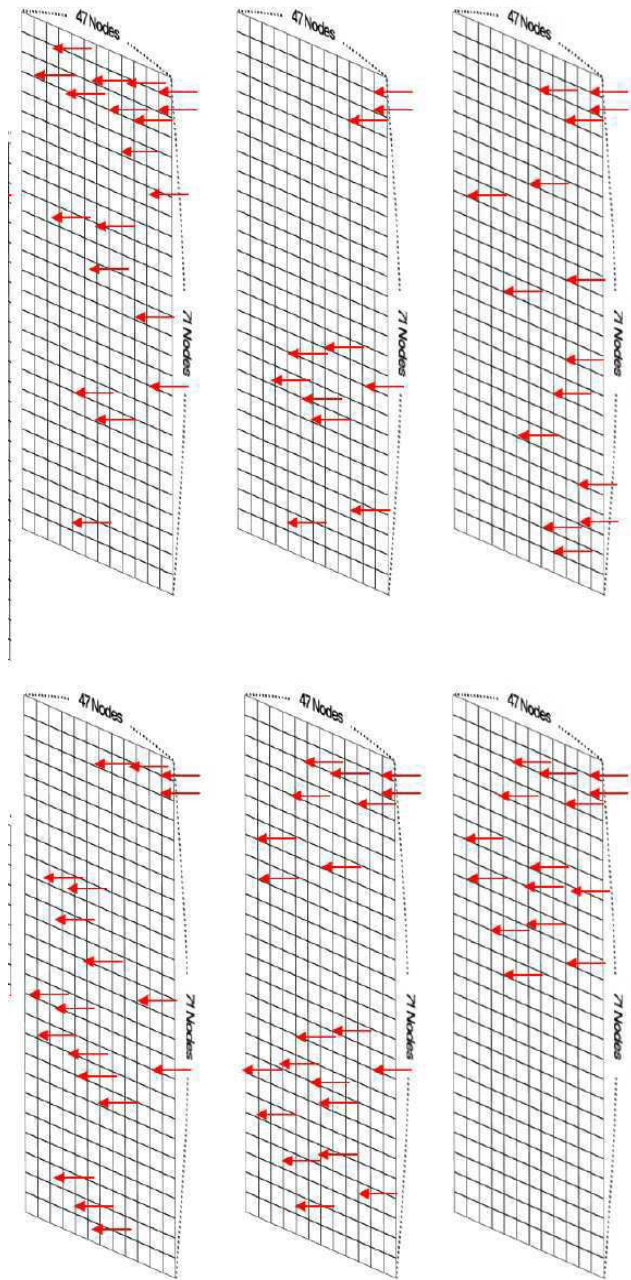
N: 노드

도면

도면1



도면2



도면3

