(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0125260
(43) 공개일자 2018년11월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) *G01K 1/02* (2006.01)
G06F 17/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
G01K 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0059921
(22) 출원일자 2017년05월15일
심사청구일자 2017년05월15일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
강제원
서울특별시 마포구 독막로 145, 110동 502호(창전동,서강쌍용예가아파트)
류은미
경상북도 포항시 남구 상공로46번길 28, 503호(대도동, 신흥 올림프스)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한)아이시스

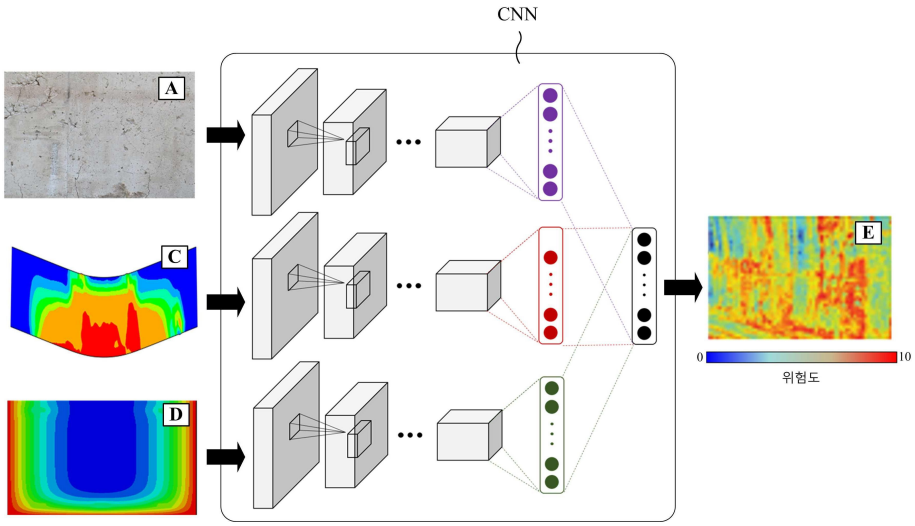
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법**

(57) 요 약

화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법은 컴퓨터 장치가 화재 피해를 입은 구조물에 대한 소스 영상을 획득하는 단계, 상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물에 대한 내구도 맵 및 상기 구조물에 대한 온도 분포 맵을 획득하는 단계 및 상기 컴퓨터 장치가 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵을 사전에 마련된 CNN(Convolutional Neural Network)에 입력하여 상기 구조물에 대한 잔존 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성하는 단계를 포함한다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
G06F 17/18 (2013.01)
(72) 발명자
이지은
경기도 부천시 원미구 소향로 18, 2405동 2102호 (상동, 행복한마을 금호어울림)
김희선
서울특별시 강남구 선릉로 221, 204동 703호(도곡동, 도곡렉슬아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1615008666
부처명 국토교통부
연구관리전문기관 국토교통과학기술진흥원
연구사업명 국토교통기술연구개발사업-국토교통기술촉진연구사업
연구과제명 머신러닝 기반의 영상정보 분석을 통한 철근 콘크리트 구조물의 지능형 손상 평가 원천기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 이화여자대학교 산학협력단
연구기간 2016.06.01 ~ 2018.05.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

컴퓨터 장치가 화재 피해를 입은 구조물에 대한 소스 영상을 획득하는 단계;

상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물에 대한 내구도 맵 및 상기 구조물에 대한 온도 분포 맵을 획득하는 단계; 및

상기 컴퓨터 장치가 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵을 사전에 마련된 CNN(Convolutional Neural Network)에 입력하여 상기 구조물에 대한 잔존 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성하는 단계를 포함하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 위험도 맵은 상기 구조물에 대하여 일정한 영역 단위로 잔존 강도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 컴퓨터 장치는 상기 소스 영상에 대한 에지 검출을 수행한 전처리 영상을 상기 CNN에 더 입력하여 상기 위험도 맵을 생성하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 내구도 맵은 상기 구조물에 대해 일정한 영역 단위로 현재 시점의 내구도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되고, 상기 수치 또는 상기 색상은 설계 정보에 기반한 제1 내구도 값 및 온도 변화에 따른 제2 내구도 값으로 결정되는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 온도 분포 맵은 상기 구조물에 대해 일정한 영역 단위로 현재 시점의 온도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되고, 상기 온도는 상기 구조물에 설치한 온도 센서를 통해 측정하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 CNN은 화재로 인하여 손상을 받은 구조물의 특정 영역에 대한 샘플 영상, 상기 특정 영역에 대한 내구도 맵 및 상기 특정 영역에 대한 온도 분포 맵을 이용하여 사전에 마련되고, 상기 CNN은 상기 소스 영상의 구조물 중 일정한 영역에 대해 잔존 강도를 나타내는 값을 출력하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 컴퓨터 장치는 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵을 각각 서로 다른 CNN에 입력하고, 상기 서로 다른 CNN에서 출력되는 값을 이용하여 상기 위험도 맵을 생성하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 8

컴퓨터 장치가 화재 피해를 입은 구조물에 대한 소스 영상을 획득하는 단계;

상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물에 대한 내구도 맵 및 상기 구조물에 대한 온도 분포 맵을 획득하는 단계; 및

상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물의 일정한 영역 단위로 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵 각각에 일정한 가중치를 부여한 값을 이용하여 상기 구조물에 대한 잔존 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성하는 단계를 포함하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 위험도 맵은 상기 구조물에 대하여 일정한 영역 단위로 잔존 강도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 컴퓨터 장치는 상기 일정한 영역 단위로 전처리 영상에 대해 일정한 가중치를 부여한 값을 더 이용하여 상기 상기 위험도 맵을 생성하되, 상기 전처리 영상은 상기 소스 영상에 대한 에지 검출을 수행한 영상인 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 내구도 맵은 상기 구조물에 대해 일정한 영역 단위로 현재 시점의 내구도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되고, 상기 수치 또는 상기 색상은 설계 정보에 기반한 제1 내구도 값 및 온도 변화에 따른 제2 내구도 값으로 결정되는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

청구항 12

제8항에 있어서,

상기 온도 분포 맵은 상기 구조물에 대해 일정한 영역 단위로 현재 시점의 온도를 나타내는 수치 및 색상 중 적어도 하나로 구성되고, 상기 온도는 상기 구조물에 설치한 온도 센서를 통해 측정하는 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 이하 설명하는 기술은 구조물의 잔존 강도를 평가하는 기법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 구조물은 건축 후에 발생할 수 있는 손상 여부에 대한 모니터링이 중요하다. 구조물에 GPS, 가속도계 등과 같은 장비를 부착하여 실시간으로 구조물을 모니터링하는 기법 등이 연구되고 있다.

[0003] 한편 화재 피해를 입은 구조물 재사용 및 보수보강을 위해서는 구조물의 손상정도를 빠르고 정확하게 판단하는 것이 중요하다. 화재 피해를 입은 구조물의 손상정도를 파악하기 위해서는 화재규모로부터 구조물이 노출된 온도를 유추해 내는 방법, X-ray 또는 초음파와 같은 비파괴 검사 장비를 이용하여 구조물의 손상 정도를 유추해 내는 검사 방법 등이 연구되어 왔다.

선행기술문헌

특허문헌

[0004] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제10-2010-0026004호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 이하 설명하는 기술은 카메라로 획득한 구조물 영상, 구조물의 내구도에 대한 영상 정보 및 구조물에 대한 온도에 대한 영상 정보를 기준으로 화재로 인한 구조물의 잔존 강도를 평가하는 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법은 컴퓨터 장치가 화재 피해를 입은 구조물에 대한 소스 영상을 획득하는 단계, 상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물에 대한 내구도 맵 및 상기 구조물에 대한 온도 분포 맵을 획득하는 단계 및 상기 컴퓨터 장치가 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵을 사전에 마련된 CNN(Convolutional Neural Network)에 입력하여 상기 구조물에 대한 잔존 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성하는 단계를 포함한다.

[0007] 화재 피해를 입은 구조물의 잔존 강도 평가 방법은 컴퓨터 장치가 화재 피해를 입은 구조물에 대한 소스 영상을 획득하는 단계, 상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물에 대한 내구도 맵 및 상기 구조물에 대한 온도 분포 맵을 획득하는 단계 및 상기 컴퓨터 장치가 상기 구조물의 일정한 영역 단위로 상기 소스 영상, 상기 내구도 맵 및 상기 온도 분포 맵 각각에 일정한 가중치를 부여한 값을 이용하여 상기 구조물에 대한 잔존 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0008] 이하 설명하는 기술은 특정 시점에서 구조물의 영상에 포함된 손상 정보(균열 내지 폭렬), 구조물에 대한 내구도 정보 및 구조물에 대한 온도 정보를 이용하여 상기 구조물의 잔존 강도를 빠르고 정확하게 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0009] 도 1은 구조물의 잔존 강도를 평가하는 시스템에 대한 블록도의 예이다.

도 2는 구조물에 대한 소스 영상 및 전처리 영상에 대한 예이다.

도 3은 구조물에 대한 내구도 맵에 대한 예이다.

도 4는 구조물에 설치된 온도 센서의 배치 및 온도 분포 맵에 대한 예이다.

도 5는 입력 정보에 대한 연산으로 생성되는 위험도 맵에 대한 예이다.

도 6은 입력 정보에 대한 연산으로 생성되는 위험도 맵에 대한 다른 예이다.

도 7은 CNN을 이용하여 생성되는 위험도 맵에 대한 예이다.

도 8은 CNN을 이용하여 생성되는 위험도 맵에 대한 다른 예이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0010] 이하 설명하는 기술은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시례를 가질 수 있는 바, 특정 실시례들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 이하 설명하는 기술을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이하 설명하는 기술의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0011] 제1, 제2, A, B 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 해당 구성요소들은 상기 용어들에 의해 한정되지는 않으며, 단지 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다. 예를 들어, 이하 설명하는 기술의 권리 범위를 벗어나지 않으면서 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소도 제1 구성요소로 명명될 수 있다. 및/또는 이라는 용어는 복수의 관련된 기재된 항목들의 조합 또는 복수의 관련된 기재된 항목들 중의 어느 항목을 포함한다.

[0012] 본 명세서에서 사용되는 용어에서 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 해석되지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함한다" 등의 용어는 설시된 특징, 개수, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 의미하는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 개수, 단계 동작 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 도면에 대한 상세한 설명을 하기에 앞서, 본 명세서에서의 구성부들에 대한 구분은 각 구성부가 담당하는 주기능 별로 구분한 것에 불과함을 명확히 하고자 한다. 즉, 이하에서 설명할 2개 이상의 구성부가 하나의 구성부로 합쳐지거나 또는 하나의 구성부가 보다 세분화된 기능별로 2개 이상으로 분화되어 구비될 수도 있다. 그리고 이하에서 설명할 구성부 각각은 자신이 담당하는 주기능 이외에도 다른 구성부가 담당하는 기능 중 일부 또는 전부의 기능을 추가적으로 수행할 수도 있으며, 구성부 각각이 담당하는 주기능 중 일부 기능이 다른 구성부에 의해 전담되어 수행될 수도 있음은 물론이다.

[0014] 또, 방법 또는 동작 방법을 수행함에 있어서, 상기 방법을 이루는 각 과정들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 과정들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.

[0016] 이하 설명하는 기술은 화재로 인한 피해를 받은 구조물에 대한 잔존 강도를 평가하는 기법이다. 잔존 강도는 다른 측면에서 해당 구조물의 위험도를 의미하기도 한다. 구조물은 건물, 교량, 터널 등과 같은 건축 구조물 및 토목 구조물을 포함한다. 이하 설명하는 기술은 구조물 외부 영역에 발생하는 손상 정도를 기준으로 해당 구조물의 잔존 강도를 평가하는 기법이다. 구조물의 외부영역은 구조물 중 밖으로 드러난 부분을 의미한다. 예컨대, 구조물의 외부 영역은 외벽, 내벽 등과 같이 육안으로 확인 가능한 부분을 의미한다. 구조물 외부 영역에 발생하는 손상은 균열(crack) 내지 폭렬(spalling)과 같이 육안으로 확인 가능한 손상을 의미한다. 화재로 인하여 구조물에 발생한 균열 내지 폭렬을 이하 화재 손상이라고 명명한다.

[0017] 이하 설명하는 기술은 카메라로 획득한 영상을 분석하여 구조물의 외부 영역에 대한 잔존 강도를 정량적으로 평가한다. 카메라로 획득한 영상에 포함된 화재 손상(균열 내지 폭렬)에 대한 영상 정보를 이하 화재 손상 정보라고 명명한다. 또한 이하 설명하는 기술은 구조물의 내구도 및 구조물의 온도 정보를 더 고려하여 해당 구조물에 대한 잔존 강도를 평가한다. 이하 도면을 참조하면서 화재 손상을 입은 구조물에 대한 잔존 강도 평가 기법에 대해 설명한다.

[0019] 도 1은 구조물의 잔존 강도를 평가하는 시스템에 대한 블록도의 예이다. 구조물의 잔존 강도 평가 시스템(100)은 구조물(50)에 설치된 온도 센서(110), 카메라(120), 컴퓨터 장치(130) 및 설계 DB(140)를 포함한다.

[0020] 구조물(50)은 화재로 인한 손상을 받은 상태라고 가정한다. 온도 센서(110)는 구조물(50)에 설치되어 설치된 위치의 온도를 측정한다. 구조물(50)의 크기 및 모양에 따라 온도 센서(110)는 적절한 위치에 복수 개가 설치되는 것이 바람직하다.

[0021] 카메라(120)는 구조물(50)의 영상을 획득한다. 카메라(120)는 구조물(50)의 외부 영역에 대한 영상을 획득한다. 카메라(110)는 구조물(50)의 외부에 발생한 화재 손상을 촬영할 수 있는 장비이다. 카메라(110)는 화재 손상 정보가 분석 가능한 영상을 생성해야 한다. 예컨대, 카메라(110)는 HD 급 이상의 영상을 생성하는 장치일 수 있다. 카메라(110)는 구조물(50)과의 거리 등을 고려하여 알맞는 하드웨어 성능을 갖추어야 한다. 카메라(110)는 CCTV, 캠 코더, 디지털 카메라, 스마트폰 카메라 등일 수 있다. 카메라(110)는 일반 카메라 외에도 적외선 카메라 등을 이용할 수 있다. 카메라(120)가 획득하는 영상을 소스 영상이라고 명명한다. 소스 영상은 구조물(50)의 화재 손상 정보를 포함한다.

[0022] 설계 DB(140)는 구조물(50)에 대한 설계 정보를 보유한다. 설계 정보는 구조물(50)의 재질, 부재, 구조, 설계 공법 등에 대한 정보를 포함한다. 나아가 설계 DB(140)는 구조물(50)의 설계 정보에 기반한 내구도 정보를 보유할 수도 있다. 구조물(50)의 설계 정보에 기반한 내구도를 기본 내구도라고 명명한다. 기본 내구도는 설계 정보에 기반하여 구조물(50)이 받는 하중 내지 가력으로 알 수 있다. 기본 내구도는 구조물(50)에서 일정한 영역 단위로 결정될 수 있다. 기본 내구도는 구조물(50)의 일정한 영역이 견딜 수 있는 하중 내지 가력에 대한 정보를 의미한다.

[0023] 한편 도 1은 설계 DB(140)를 별도의 객체로 도시하였으나, 설계 DB(140)는 컴퓨터 장치(130)에 포함된 구성일

수도 있다. 예컨대, 컴퓨터 장치(130)가 구조물(50)의 설계 정도 내지 내구도에 대한 정보를 저장 장치에 보유할 수도 있다.

[0024] 컴퓨터 장치(130)는 수집한 정보를 기반으로 구조물(50)에 대한 잔존 강도를 평가한다. 컴퓨터 장치(130)는 수집한 정보를 처리하여 구조물(50)의 잔존 강도에 대한 정보를 산출하는 장치이다. 컴퓨터 장치(130)는 연산을 위한 프로세서 및 메모리 등을 포함한다. 예컨대, 컴퓨터 장치(130)는 PC, 노트북, 스마트폰, 서버 등일 수 있다. 컴퓨터 장치(130)는 온도 센서(110)가 측정한 온도, 카메라(120)가 획득한 소스 영상 및 설계 DB(140)가 보유한 설계 정보(또는 기본 내구도)를 수집하여 구조물(50)에 대한 잔존 강도를 평가한다.

[0025] 컴퓨터 장치(130)는 유선 또는 무선으로 온도 센서(50), 카메라(120) 및 설계 DB(140)로부터 데이터를 전달받을 수 있다. 또는 컴퓨터 장치(130)는 온도 센서(50), 카메라(120) 및 설계 DB(140)가 측정하거나 보유한 정보를 별도의 저장 매체(하드디스크, 플래시 메모리 등)를 통해 입력받을 수도 있다.

[0027] 이하 컴퓨터 장치(130)가 구조물(50)의 잔존 강도를 평가하기 위하여 필요한 정보 및 해당 정보를 이용하여 잔존 강도를 평가하는 과정에 대해 설명한다.

[0028] 먼저 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)의 화재 손상 정보를 포함하는 소스 영상을 입력받아야 한다. 도 2는 구조물(50)에 대한 소스 영상 및 전처리 영상에 대한 예이다. 도 2(a)는 소스 영상에 대한 예이다. 소스 영상은 구조물의 외부 영역에 대한 영상으로 균열 등 화재 손상 정보를 갖고 있다.

[0029] 한편 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상을 일정하게 전처리한 영상을 추가로 이용할 수도 있다. 전처리 영상은 소스 영상에서 화재 손상 정보를 강조한 영상이다. 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상에서 에지 탐색을 수행하여 전처리 영상을 생성할 수 있다. 물론 에지 탐색은 현재 공개된 다양한 알고리즘을 사용할 수 있다. 도 2(b)는 도 2(a)의 소스 영상을 이용하여 생성한 전처리 영상에 대한 예이다. 한편 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상으로부터 전처리 영상을 생성하지 않고, 별도의 객체로부터 사전에 마련된 전처리 영상을 수신할 수도 있다.

[0031] 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)에 대한 내구도 정보를 추가로 이용하여 구조물(50)의 잔존 강도를 평가한다. 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)의 내구도를 나타내는 내구도 맵을 생성할 수 있다. 도 3은 구조물에 대한 내구도 맵에 대한 예이다. 내구도 맵은 구조물의 각 영역에 대한 내구도 정보를 나타낸다. 도 3은 색상으로 구조물(50)의 내구도 정보를 나타낸 예이다. 도 3에서 각 색상은 일정한 내구도의 값을 의미한다. 전술한 바와 같이 내구도는 구조물(50)의 각 영역이 안전하게 받을 수 있는 하중을 의미한다. 따라서 내구도 맵은 하중을 의미하는 특정 색상 또는 수치(압력 단위)와 같은 정보로 구성될 수 있다. 한편 컴퓨터 장치(130)는 내구도 맵을 생성하지 않고, 별도의 객체로부터 사전에 마련된 내구도 맵을 수신할 수도 있다.

[0032] 내구도는 기본적으로 구조물의 설계 정보에 따라 구조물의 각 영역이 받을 수 있는 하중으로 결정된다. 전술한 바와 같이 이를 기본 내구도라고 한다. 나아가 구조물(50)은 화재로 인하여 비정상적인 온도를 갖고 있다. 따라서 구조물(50)는 각 영역의 온도에 따라 내구도가 변경될 수 있다. 온도에 따른 내구도를 가변 내구도라고 명명한다. 가변 내구도는 온도 변화에 따라 변경되므로, 시간에 따라 변경된다. 구조물(50)의 전체 내구도(ε_{total})는 아래 수학식 1과 같이 표현할 수 있으며, 내구도는 수학식 4의 야코비안 매트릭스(Jacobian matrix)를 통해 증분된다.

수학식 1

[0034] $$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{mechanical} + \varepsilon_{non-mechanical}$$

[0035] $\varepsilon_{mechanical}$는 전술한 기본 내구도를 의미하고, $\varepsilon_{non-mechanical}$는 가변 내구도를 의미한다. 가변 내구도는 온도에 따라 변경되는 값으로 일반적으로 온도의 상승에 따른 내구도 저하를 가져오는 값이다. 기본 내구도 및 가변 내구도는 각각 아래 수학식 2 및 수학식 3과 같이 표현할 수 있다.

수학식 2

[0037] $$\varepsilon_{mechanical} = -\frac{M_y}{EI}$$

[0038] 수학식 2에서 M은 휨 모멘트, y는 중립축으로부터 떨어진 거리, E는 탄성계수이고, I는 2차 단면 모멘트이다.

수학식 3

[0040] $$\varepsilon_{non-mechanical} = \alpha \cdot \Delta T$$

[0041] 수학식 3에서 α는 열팽창계수를 의미하고, △T는 온도차를 의미한다.

수학식 4

[0043] $$\begin{bmatrix} K_{uu} & K_{u\theta} \\ K_{\theta u} & K_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_u \\ \Delta_\theta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_u \\ R_\theta \end{Bmatrix}$$

[0044] 수학식 4에서 $\triangle_u$ 및 $\triangle_\theta$는 각각 변위 증분(incremental displacement) 및 온도에 대한 보정값이다. K_{ij}는 야코비안 매트릭스의 서브 매트릭스이다. R_u 및 R_θ는 구조 역학적 잔여 벡터(residual vectors) 및 온도 잔여 벡터이다.

[0046] 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)의 온도에 대한 정보를 추가로 이용하여 구조물(50)의 잔존 강도를 평가한다. 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)의 각 영역별 온도 분포를 나타내는 온도 분포 맵을 이용할 수 있다. 도 4는 구조물에 설치된 온도 센서의 배치 및 온도 분포 맵에 대한 예이다. 도 4(a)는 구조물에 설치된 온도 센서(110)의 예를 도시한다. 온도 센서(110)는 구조물의 적절한 위치에 배치되어야 한다. 온도 센서(110)는 구조물(50)의 모든 영역의 온도 분포를 적절하게 추정할 수 있는 위치에 배치되어야 한다. 온도 센서(110)의 적절한 배치는 구조물의 재질, 크기 및 형태에 따라 달라 질 수 있다. 도 4(b)는 도 4(a)의 온도 센서(100)가 측정한 온도값을 기반으로 생성한 온도 분포 맵에 대한 예이다. 도 4(b)의 온도 분포 맵은 색상이 특정 온도를 나타내는 예이다. 온도 분포 맵은 온도 센서(110)가 측정한 온도 값을 기반으로 생성된다. 온도 센서(110)가 배치되지 않은 위치의 온도는 주변의 온도 센서들이 측정한 값을 기준으로 결정될 수 있다. 온도 센서(110)가 배치되지 않은 위치의 온도는 일반적으로 주변 온도 센서들이 측정값 값을 선형적으로 연산하여 결정될 수 있다. 온도 분포 맵은 아래 수학식 5와 같은 열에너지율을 이용하여 생성될 수 있다. 한편 컴퓨터 장치(130)는 연속적으로 또는 주기적으로 구조물(50)의 온도 분포 맵을 업데이트할 수 있다.

수학식 5

[0048]
$$\rho C_p \frac{d\theta(x,t)}{dt} = \frac{d}{dx_i} \cdot \left(k \frac{d\theta(x,t)}{dx_i} \right)$$

[0049] 수학식 5에서 p는 밀도이고, C_p는 비열이다. k는 열전도율이고, Θ는 온도이고, t는 시간이다. x_i는 구조물에서의 특정 위치를 의미한다.

[0050]

[0051] 이하 컴퓨터 장치(130)가 구조물(50)의 잔존 강도를 평가하기 위한 정보를 산출하는 과정을 설명한다. 구조물(50)의 잔존 강도는 다양한 방법으로 표현할 수 있다. 컴퓨터 장치(130)는 구조물(50)의 잔조 강도를 나타내는 위험도 맵을 생성할 수 있다. 위험도 맵은 구조물(50)의 각 영역에 대한 잔존 강도 또는 위험도를 일정한 값으로 표시한 맵이다. 위험도 맵은 구조물(50)의 각 영역에 대한 색상값 내지 특정 수치 중 적어도 하나로 구현될 수 있다. 이하 위험도 맵은 구조물(50)의 위험도 내지 잔존 강도를 특정 색상으로 표현한다고 가정한다. 또한 설명의 편의를 위해 내구도 맵 및 온도 분포 맵도 특정 색상으로 표현된다고 가정한다.

[0053] 도 5는 입력 정보에 대한 연산으로 생성되는 위험도 맵에 대한 예이다. 도 5는 컴퓨터 장치(130)가 소스 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 이용하여 위험도 맵을 생성하는 예이다. 소스 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵은 동일한 구조물 영역에 대한 정보를 포함한다. 도 5에서 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 선형적으로 합산하여 위험도 맵을 생성할 수 있다.

[0054] 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A가 일정한 색상을 갖도록 처리하여 영상 A'를 생성할 수 있다. 영상 A'는 균열이 많이 발생할 수록 특정한 색상(예컨대, 붉은색)에 가깝게 처리될 수 있다. 컴퓨터 장치는 경우에 따라 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D도 일정하게 처리하여 각각 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'를 생성할 수도 있다. 한편 컴퓨터 장치(130)는 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D를 별도의 처리 없이 사용할 수도 있다. 나아가 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A도 별도의 처리 없이 사용할 수도 있다. 설명의 편의를 위해 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'를 사용한다고 가정한다.

[0055] 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'의 각 픽셀에 일정한 가중치를 부여하고, 가중치가 부여된 결과를 합산하여 위험도 맵 E를 생성할 수 있다. 예컨대, 컴퓨터 장치(130)는 영상 A'에 가중치 w1을 부여하고, 내구도 맵 C'에 가중치 w2를 부여하고, 온도 분포 맵 D'에 가중치 w3을 부여할 수 있다. 컴퓨터 장치(130)는 가중치가 부여된 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'을 합산한 값으로 위험도 맵 E를 생성할 수 있다. 이 경우 위험도 맵 E는 각 픽셀이 가중치가 부여된 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'의 대응하는 픽셀값을 합산한 값을 갖는다.

[0056] 또는 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'에서 복수의 픽셀로 구성되는 특정 영역 단위(예컨대, 블록)로 가중치를 부여하고, 특정 영역 단위로 합산하여 위험도 맵 E를 생성할 수도 있다. 이 경우 위험도 맵 E는 블록 단위로 특정한 색상을 갖게된다.

[0057] 영상 A', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'에 부여되는 가중치는 각 영상의 색상을 고려하여 특정한 값이 사용될 수 있다. 나아가 가중치는 가열시간, 하중의 영향, 가열 온도에 따라 달라질 수 있다.

[0059] 컴퓨터 장치(130)는 최종적으로 위험도 맵 E를 생성한다. 위험도 맵 E는 특정 색상이 구조물(50)의 위험도 내지 잔존 강도를 표현할 수 있다.

[0061] 도 6은 입력 정보에 대한 연산으로 생성되는 위험도 맵에 대한 다른 예이다. 도 6은 컴퓨터 장치(130)가 소스 영상, 전처리 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 이용하여 위험도 맵을 생성하는 예이다. 소스 영상, 전처리 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵은 동일한 구조물 영역에 대한 정보를 포함한다. 도 6에서 컴퓨터 장치(130)는

소스 영상, 전처리 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 선형적으로 합산하여 위험도 맵을 생성할 수 있다.

[0062] 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A가 일정한 색상을 갖도록 처리하여 영상 A'를 생성할 수 있다. 영상 A'는 균열이 많이 발생할 수록 특정한 색상(예컨대, 붉은색)에 가깝게 처리될 수 있다. 컴퓨터 장치(130)는 전술한 전처리 영상 B가 일정한 색상값을 갖도록 처리하여 영상 B'를 생성할 수 있다. 나아가 컴퓨터 장치는 경우에 따라 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D도 일정하게 처리하여 각각 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'를 생성할 수도 있다. 한편 컴퓨터 장치(130)는 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D를 별도의 처리 없이 사용할 수도 있다. 나아가 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A 및 영상 B도 별도의 처리 없이 사용할 수도 있다. 설명의 편의를 위해 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'를 사용한다고 가정한다.

[0063] 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'의 각 픽셀에 일정한 가중치를 부여하고, 가중치가 부여된 결과를 합산하여 위험도 맵 E를 생성할 수 있다. 예컨대, 컴퓨터 장치(130)는 영상 A'에 가중치 w1을 부여하고, 영상 B'에 가중치 w2를 부여하고, 내구도 맵 C'에 가중치 w3를 부여하고, 온도 분포 맵 D'에 가중치 w4을 부여할 수 있다. 컴퓨터 장치(130)는 가중치가 부여된 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'을 합산한 값으로 위험도 맵 E를 생성할 수 있다. 이 경우 위험도 맵 E는 각 픽셀이 가중치가 부여된 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'의 대응하는 픽셀값을 합산한 값을 갖는다.

[0064] 또는 컴퓨터 장치(130)는 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'에서 복수의 픽셀로 구성되는 특정 영역 단위(예컨대, 블록)로 가중치를 부여하고, 특정 영역 단위로 합산하여 위험도 맵 E를 생성할 수도 있다. 이 경우 위험도 맵 E는 블록 단위로 특정한 색상을 갖게된다.

[0065] 영상 A', 영상 B', 내구도 맵 C' 및 온도 분포 맵 D'에 부여되는 가중치는 각 영상의 색상을 고려하여 특정한 값이 사용될 수 있다.

[0066] 컴퓨터 장치(130)는 최종적으로 위험도 맵 E를 생성한다. 위험도 맵 E는 특정 색상이 구조물(50)의 위험도 내지 잔존 강도를 표현할 수 있다.

[0068] 나아가 컴퓨터 장치는 딥 러닝 기법 중 하나인 CNN(Convolutional Neural Network)을 이용하여 위험도 맵을 생성할 수도 있다. CNN은 하나 또는 여러개의 합성곱 계층(convolution layer)과 그 위에 올려진 일반적인 인공신경망 계층들로 이루어져 있으며, 가중치와 통합 계층(pooling layer)들을 추가로 활용한다. CNN에 대한 자세한 설명은 생략한다.

[0070] 도 7은 CNN을 이용하여 생성되는 위험도 맵에 대한 예이다. 도 7은 컴퓨터 장치(130)가 소스 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 이용하여 위험도 맵을 생성하는 예이다. 소스 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵은 동일한 구조물 영역에 대한 정보를 포함한다.

[0071] 도 7에서 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D 각각을 서로 다른 CNN에 입력한다. 물론 경우에 따라서 소스 영상 A, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D를 일정하게 처리한 후 CNN에 입력할 수도 있다. 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D을 각각 일정한 영역 단위로 분할하여 CNN에 입력할 수도 있다. 이 경우 각 CNN은 일정한 영역 단위를 특정한 결과를 출력하고, 컴퓨터 장치(130)는 최종적으로 해당 영역 단위로 특정 결과값을 합산하거나 일정하게 연산한 값으로 해당 영역에 대한 위험도 맵을 생성할 수 있다.

[0072] 도 7에서 각 CNN은 사전에 학습되어 마련되어야 한다. 예컨대, 소스 영상 A에 대한 CNN은 화재 손상을 입은 구조물의 영상과 이에 대한 위험도 영상(색상 또는 수치로 표현됨)을 결과로 하는 학습 과정을 거친다. CNN은 학습 단계를 거쳐 최적의 파라미터들이 설정된 모델을 사용한다. 물론 내구도 맵 C와 온도 분포 맵 D가 입력되는 각 CNN도 사전에 별도로 학습되어야한다.

[0073] 각 영상 맵이 입력으로 받아들여지면 콘볼루션 연산과 풀링 과정을 거쳐 레이어 별로 특징 정보 맵을 형성하게 된다. 형성된 특징 정보 맵을 통해 입력된 영상의 지역적 특징을 분석할 수 있다. 결과적으로 각 맵은 독립적으로 CNN을 통과하여 특징을 분석하게 되고 첫 번째 완전 연결 층(fully connected layer) 통과 후 하나로 통합되고, 두 번째 완전 연결 층(fully connected layer) 층을 통해 하나의 지역적 위험도 맵을 형성하게 된다. 최종적으로 형성된 하나의 위험도 맵을 통해 화재 피해를 입은 구조물의 잔존강도를 추론할 수 있다. 도 7은 두 개의 완전 연결 층을 이용하는 예를 도시한다. 완전 연결 층을 이용하는 방식 이외에도 컴퓨터 장치(130)는 CNN의

학습 과정에서 하나 이상의 레이어에서 취득한 파라메터를 이용하여 영상에 필터링 연산을 수행하여 함으로써 위험도 맵을 생성하고 잔존강도를 추론할 수 있다.

[0074] 나아가 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A를 입력받는 제1 CNN, 내구도 맵 C를 입력받는 제2 CNN, 온도 분포 맵 D를 입력받는 제3 CNN에서 출력하는 값을 또 다른 제4 CNN에 입력하여 최종적인 위험도 맵 E를 생성할 수도 있다. 즉 이 경우 계층적인 CNN을 이용하는 것이다.

[0076] 도 8은 CNN을 이용하여 생성되는 위험도 맵에 대한 다른 예이다. 도 8은 컴퓨터 장치(130)가 소스 영상, 전처리 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵을 이용하여 위험도 맵을 생성하는 예이다. 소스 영상, 전처리 영상, 내구도 맵 및 온도 분포 맵은 동일한 구조물 영역에 대한 정보를 포함한다.

[0077] 도 8에서 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A, 전처리 영상 B, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D 각각을 서로 다른 CNN에 입력한다. 물론 경우에 따라소 소스 영상 A, 전처리 영상 B, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D를 일정하게 처리한 후 CNN에 입력할 수도 있다. 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A, 전처리 영상 B, 내구도 맵 C 및 온도 분포 맵 D을 각각 일정한 영역 단위로 분할하여 CNN에 입력할 수도 있다. 이 경우 각 CNN은 일정한 영역 단위를 특정한 결과를 출력하고, 컴퓨터 장치(130)는 최종적으로 해당 영역 단위로 특정 결과값을 합산하거나 일정하게 연산한 값으로 해당 영역에 대한 위험도 맵을 생성할 수 있다.

[0078] 도 8에서 각 CNN은 사전에 학습되어 마련되어야 한다. 예컨대, 전처리 영상 B에 대한 CNN은 화재 손상을 입은 구조물의 영상과 이에 대한 위험도 영상(색상 또는 수치로 표현됨)을 결과로 하는 학습 과정을 거친다. CNN은 학습 단계를 거쳐 최적의 파라미터들이 설정된 모델을 사용한다. 물론 소스 영상 A, 내구도 맵 C와 온도 분포 맵 D가 입력되는 각 CNN도 사전에 별도로 학습되어야한다.

[0079] 각 영상 맵이 입력으로 받아들여지면 콘볼루션 연산과 풀링 과정을 거쳐 레이어 별로 특징 정보 맵을 형성하게 된다. 형성된 특징 정보 맵을 통해 입력된 영상의 지역적 특징을 분석할 수 있다. 결과적으로 각 맵은 독립적으로 CNN을 통과하여 특징을 분석하게 되고 첫 번째 완전 연결 층(fully connected layer) 통과 후 하나로 통합되고, 두 번째 완전 연결 층(fully connected layer) 층을 통해 하나의 지역적 위험도 맵을 형성하게 된다. 최종적으로 형성된 하나의 위험도 맵을 통해 화재 피해를 입은 구조물의 잔존강도를 추론할 수 있다. 도 8은 두 개의 완전 연결 층을 이용하는 예를 도시한다.

[0080] 나아가 컴퓨터 장치(130)는 소스 영상 A를 입력받는 제1 CNN, 전처리 영상 B를 입력받은 제2 CNN, 내구도 맵 C를 입력받는 제3 CNN, 온도 분포 맵 D를 입력받는 제4 CNN에서 출력하는 값을 또 다른 제5 CNN에 입력하여 최종적인 위험도 맵 E를 생성할 수도 있다. 즉 이 경우 계층적인 CNN을 이용하는 것이다.

[0082] 본 실시례 및 본 명세서에 첨부된 도면은 전술한 기술에 포함되는 기술적 사상의 일부를 명확하게 나타내고 있는 것에 불과하며, 전술한 기술의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당업자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시례는 모두 전술한 기술의 권리범위에 포함되는 것이 자명하다고 할 것이다.

부호의 설명

[0083] 50 : 구조물

100 : 잔존 강도 평가 시스템

110 : 온도 센서

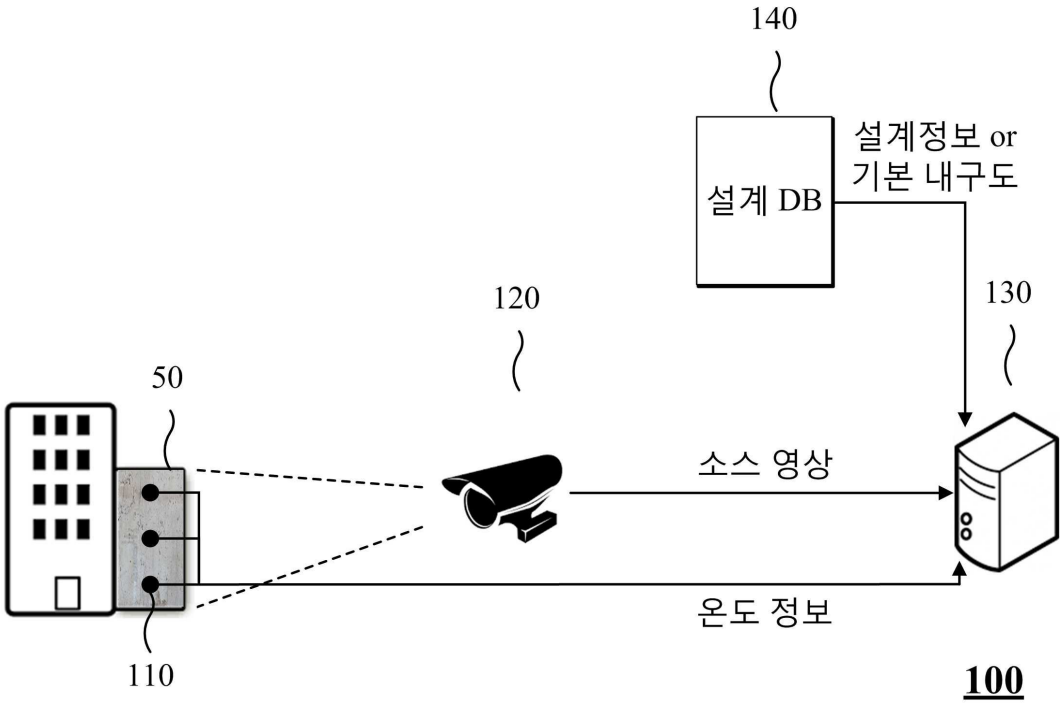
120 : 카메라

130 : 컴퓨터 장치

140 : 설계 DB

도면

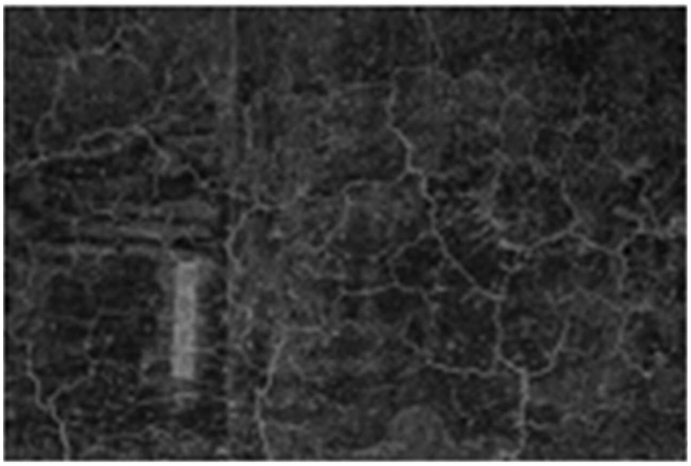
도면1



도면2

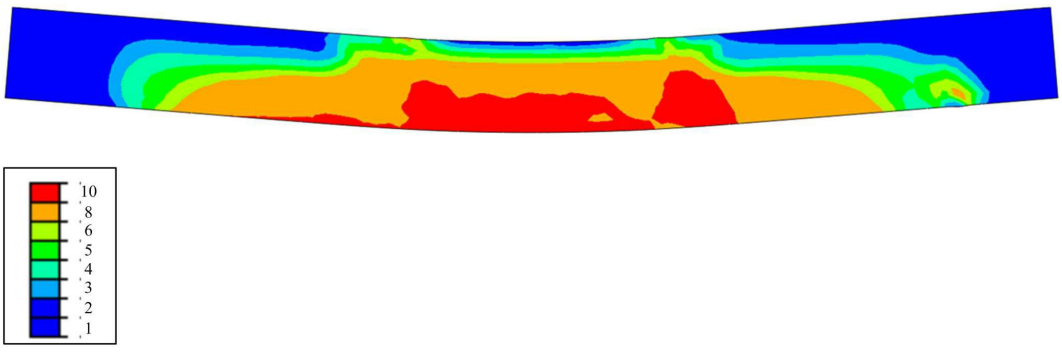


(a)

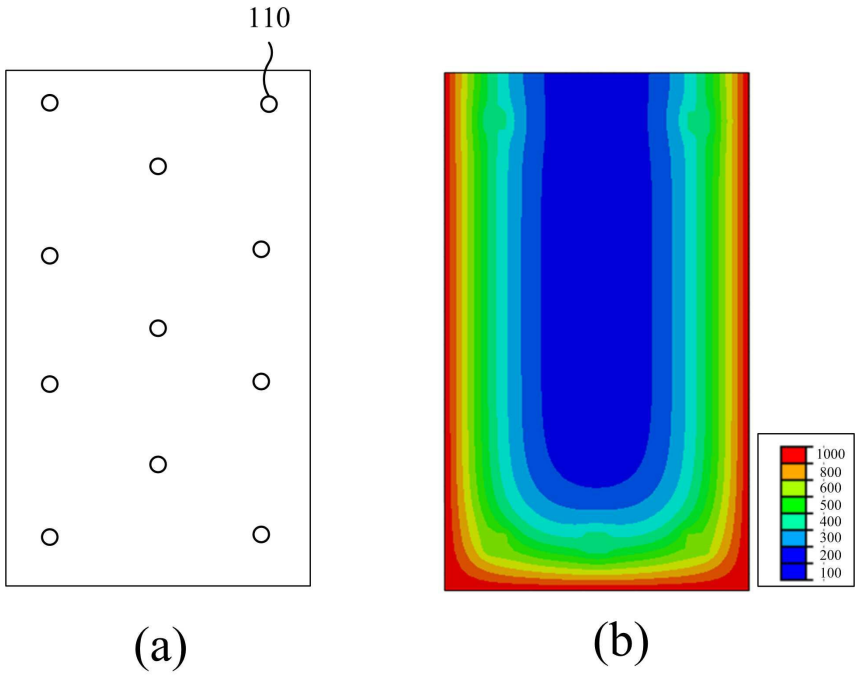


(b)

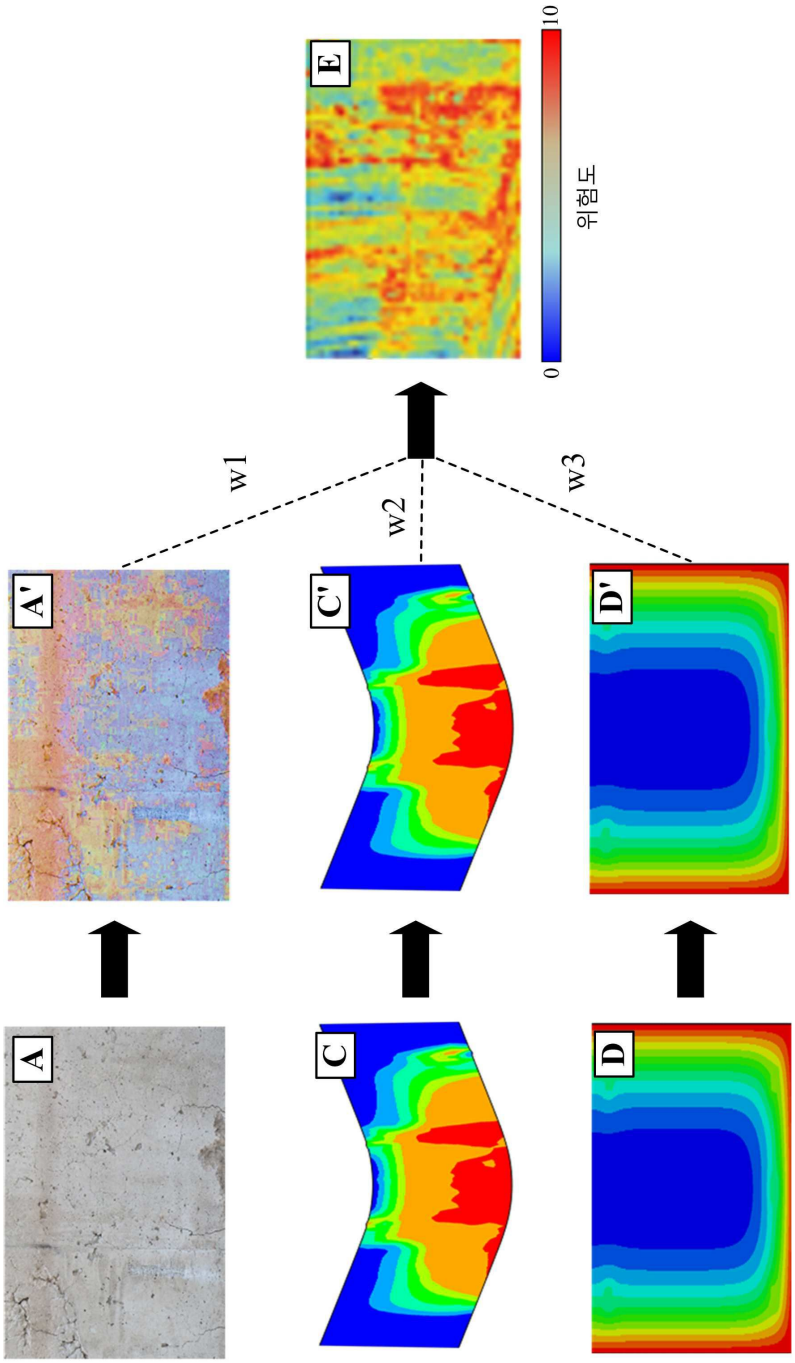
도면3



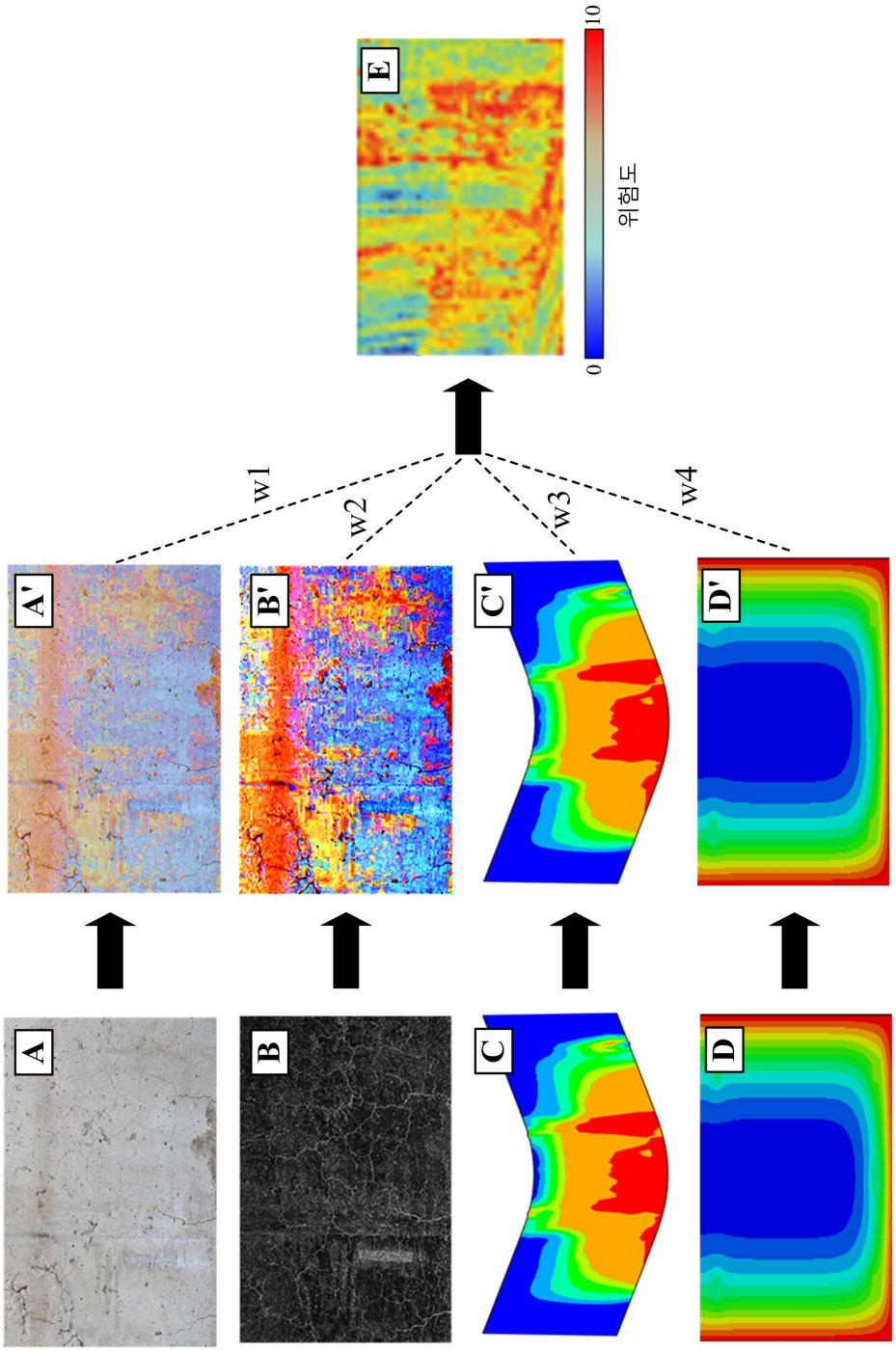
도면4



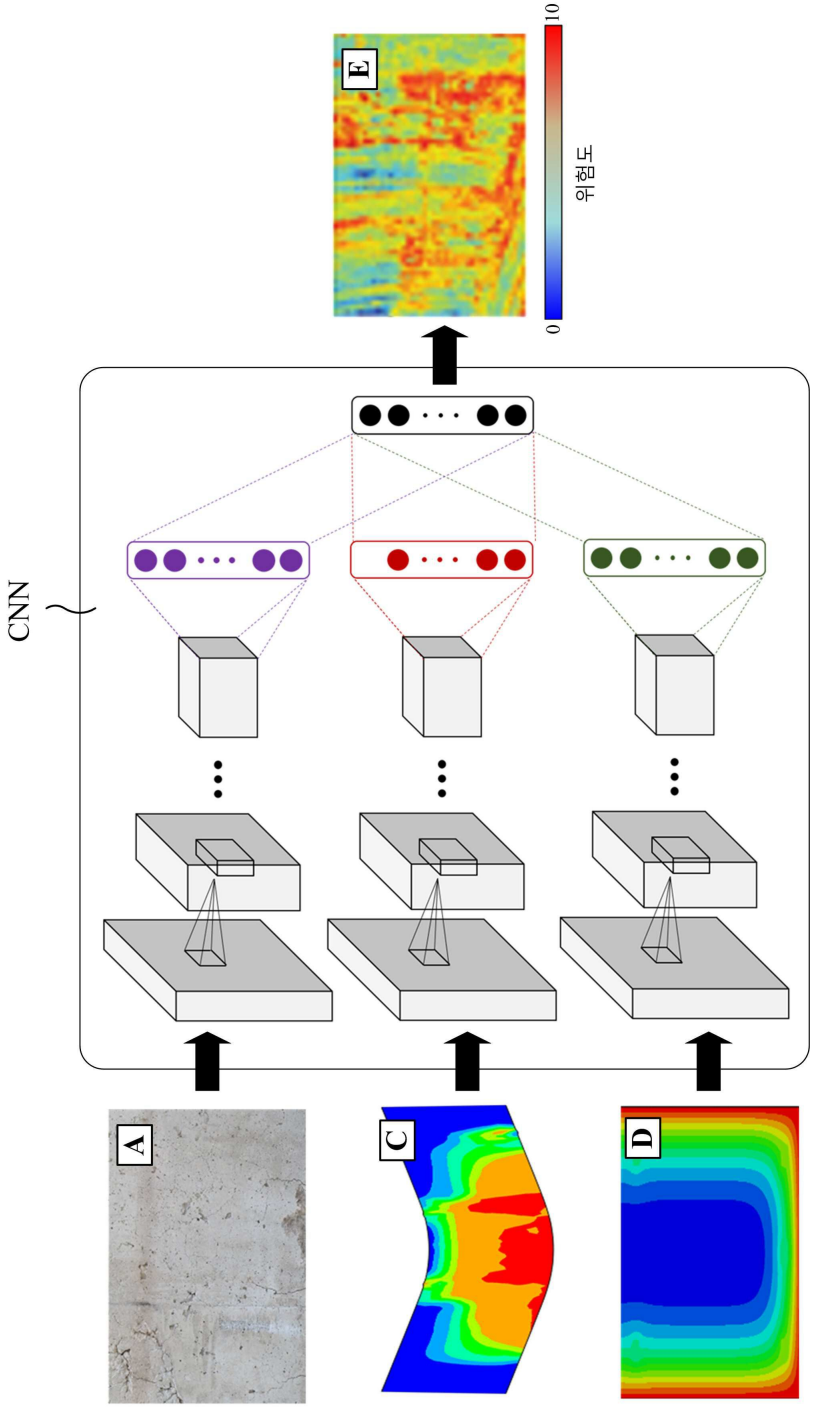
도면5



도면6



도면7



도면8

