



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0065672
(43) 공개일자 2021년06월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 1/28 (2006.01) G01N 25/72 (2006.01)
G01N 33/38 (2020.01)
(52) CPC특허분류
G01N 1/28 (2013.01)
G01N 25/72 (2020.05)
(21) 출원번호 10-2019-0154700
(22) 출원일자 2019년11월27일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
주영규
서울특별시 송파구 송이로21길 23 가락3차쌍용스
윗닷홈아파트, 103동 905호
이종훈
서울특별시 강남구 학동로87길 9 진흥아파트(7동
502호)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
강귀용, 김수진

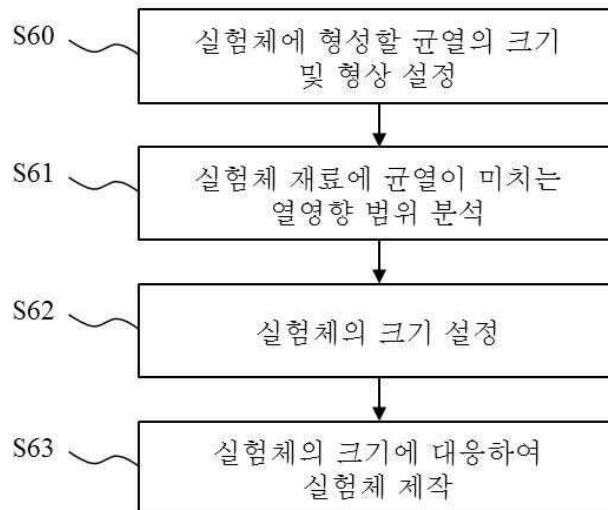
전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 발명의 명칭 콘크리트 균열 모사 실험체 제작 방법

(57) 요약

열화상 촬영에 의한 균열 검사를 위한 전단계로서 균열 모사 실험체를 제작하는 과정에서 높은 정확도 및 높은 경제성으로 실험체를 제작하기 위한 방법이 개시된다. 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법은, 실험체에 형성할 균열의 크기 및 형상을 설정하는 단계; 상기 경화성 재료에 상기 균열이 미치는 열영향 범위를 분석하는 단계; 상기 열영향 범위가 상기 실험체의 경계 내에 존재하도록 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계; 및 상기 실험체의 크기에 대응하여 상기 실험체를 제작하는 단계를 포함할 수 있다.

대 표 도 - 도7



(52) CPC특허분류

G01N 33/383 (2013.01)

(72) 발명자

장아름

서울특별시 성북구 고려대로22길 16, 602호

장문기

서울특별시 성북구 성북로4길 52 한신한진아파트

임준호

경기도 고양시 일산동구 중양로 1123 흰돌마을2단지아파트(201동 2102호)

명세서

청구범위

청구항 1

경화성 재료의 균열 모사 실험체를 제작하는 방법에 있어서,
실험체에 형성할 균열의 크기 및 형상을 설정하는 단계;
상기 경화성 재료에 상기 균열이 미치는 열영향 범위를 분석하는 단계;
상기 열영향 범위가 상기 실험체의 경계 내에 존재하도록 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계; 및
상기 실험체의 크기에 대응하여 상기 실험체를 제작하는 단계를 포함하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 열영향 범위를 분석하는 단계는 유한요소해석에 기반한 열해석을 통해 이루어지는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 실험체에 대한 상기 균열의 상대적 위치를 설정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 열영향 범위에 안전율을 적용하여 상기 실험체의 크기를 설정하는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 열영향 범위를 분석하는 단계 및 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 실험체의 폭, 높이 및 깊이 방향 중 하나 이상의 방향에 대하여 수행되는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,
상기 실험체를 제작하는 단계는 3D 프린터를 사용하여 상기 실험체를 제작하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 실험체를 제작하는 단계는,

상기 실험체의 크기에 대응하여 거푸집을 제작하고 상기 균열의 크기 및 형상에 대응하여 균열 모사체를 제작하는 단계; 및

상기 균열 모사체가 설치된 상태의 상기 거푸집에 상기 경화성 재료를 타설 및 경화시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 거푸집 및 상기 균열 모사체 중 적어도 하나는 3D 프린터를 사용하여 프린팅되는 것을 특징으로 하는 균열 모사 실험체 제작 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 콘크리트 균열 모사 실험체를 제작하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 콘크리트 구조물의 균열의 영향을 평가하기 위한 콘크리트 균열 모사 실험체를 제작하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 구조물의 안전검사에 적용되는 균열 검사는 육안 검사와 비파괴 검사 2가지로 나눌 수 있다. 육안검사의 경우 버니어 캘리퍼스 등의 휴대용 측정장비를 사용하여 구조물 외부의 균열을 측정하는 방식이다. 비파괴 검사의 경우 초음파, 방사선, 자분 탐상, 침투탐상법, 반발 경도법 등을 사용하여 구조물 내부의 균열을 측정하는 방식이다.

[0003] 열화상 검사방법은 크게 두 가지 종류로 구분할 수 있는데, 하나는 수동적 검사 방법으로 모든 물체가 방사하고 있는 고유의 적외선 에너지를 검출하는 방법이고, 또 다른 하나는 능동적 검사 방법으로 대상체에 외부의 에너지를 입사하여 대상체의 내부 조건에 따라 달라지는 방사에너지의 검출을 이용하는 방법으로 나뉘게 된다.

[0004] 수동적 검사 방법 중 열화상 측정 장비를 통한 수동적 검사 방법은 구조물의 외부 균열 측정방법으로서 사물의 표면으로부터 방출되는 복사열을 감지 및 측정하고 이를 통하여 사물의 표면 온도를 수치화 할 수 있다. 이 때 건물의 균열부는 균열을 통하여 내부에서 열이 방출되어 주변온도보다 상대적으로 높게 측정된다. 이러한 원리를 통하여 균열 여부를 판단하는 측정방법이다.

[0005] 이와 같은 열화상 측정 장비는 단지 구조물에 균열이 발생하였는지 여부 만을 판단할 뿐 균열의 정도, 즉 균열의 깊이를 측정할 수 없어 향후 구조물의 변화를 예측하기 어려운 단점이 있다.

[0006] 이에 따라, 특허문헌 1에서는 열화상 카메라를 이용하여 간편한 방법으로 구조물에 발생한 균열 검사를 수행하는 방법이 개시되어 있다. 이는 다수의 샘플의 열화상 영상, 균열 깊이, 샘플 환경 정보 등을 등록한 후 이를 기계학습 알고리즘에 입력하여 추후에 실제 구조물의 열화상 영상을 획득하는 경우 균열 여부뿐만이 아니라 균열의 깊이까지 측정하려는 것이다.

[0007] 위와 같이 기계학습 알고리즘을 이용하는 경우, 높은 정확성을 보장하기 위해서는 매우 많은 수의 샘플이 필요하다. 각 샘플을 제작한 후 이에 대한 실험을 진행하여 얻어지는 결과가 기계학습을 위한 입력 데이터로 사용되는 것이다. 하나의 샘플에 대해 여러 번의 실험이 진행될 수도 있지만, 일반적인 건축 구조물 상에 발생하는 균열을 분석하기 위해서는 샘플이 다양한 깊이, 다양한 길이 및 다양한 형상을 가질 필요가 있다. 따라서 이러한 다수의 샘플을 준비하기 위해 매우 많은 수의 실험체를 제작할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 한국특허출원 제10-2018-0108408호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 일측면은 열화상 촬영에 의한 균열 검사를 위한 전단계로서 균열 모사 실험체를 제작하는 과정에서 높은 정확도 및 높은 경제성으로 실험체를 제작하기 위한 방법을 제공하려는 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일실시예에 따르면 경화성 재료의 균열 모사 실험체를 제작하는 방법이 제공된다. 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법은, 실험체에 형성할 균열의 크기 및 형상을 설정하는 단계; 상기 경화성 재료에 상기 균열이 미치는 열영향 범위를 분석하는 단계; 상기 열영향 범위가 상기 실험체의 경계 내에 존재하도록 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계; 및 상기 실험체의 크기에 대응하여 상기 실험체를 제작하는 단계를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 열영향 범위를 분석하는 단계는 유한요소해석에 기반한 열해석을 통해 이루어질 수 있다.

[0012] 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 실험체에 대한 상기 균열의 상대적 위치를 설정하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 열영향 범위에 안전율을 적용하여 상기 실험체의 크기를 설정할 수 있다.

[0014] 상기 열영향 범위를 분석하는 단계 및 상기 실험체의 크기를 설정하는 단계는 상기 실험체의 폭, 높이 및 깊이 방향 중 하나 이상의 방향에 대하여 수행될 수 있다.

[0015] 상기 실험체를 제작하는 단계는 3D 프린터를 사용하여 상기 실험체를 제작하는 단계를 포함할 수 있다.

[0016] 여기서, 상기 실험체를 제작하는 단계는, 상기 실험체의 크기에 대응하여 거푸집을 제작하고 상기 균열의 크기 및 형상에 대응하여 균열 모사체를 제작하는 단계; 및 상기 균열 모사체가 설치된 상태의 상기 거푸집에 상기 경화성 재료를 타설 및 경화시키는 단계를 포함할 수 있다.

[0017] 이 경우, 상기 거푸집 및 상기 균열 모사체 중 적어도 하나는 3D 프린터를 사용하여 프린팅될 수 있다.

[0018] 일실시예에 따르면, 상기 거푸집은 일면이 개방된 수용부를 포함하고, 상기 균열 모사체는 상기 개방된 일면의 반대측 면에 일체형으로 형성될 수 있다.

[0019] 상기 균열 모사체는 상기 거푸집과 분리되어 제작될 수 있고, 상기 균열 모사 실험체 제작 방법은 상기 거푸집 상에 상기 균열 모사체를 상기 균열의 위치에 대응하는 위치에 설치하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0020] 상기 균열 모사체는, 상기 균열의 크기 및 형상으로 형성된 삽입부; 및 상기 삽입부로부터 연장되는 다리부를 포함할 수 있으며, 상기 다리부는 그 총 길이가 상기 실험체의 일변의 길이 이상으로 연장될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 거푸집은 상기 다리부를 고정하기 위한 고정부를 포함할 수 있다.

[0022] 필요에 따라, 상기 거푸집은, 일면이 개방된 수용부; 및 상기 개방된 일면의 일측에서 타측으로 연장되는 다리부를 포함할 수 있으며, 이 경우 상기 균열 모사체는 상기 다리부의 지정된 위치에 고정될 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 일부 실시예에 따르면, 실험체를 사용한 실험 결과의 정확성을 희생하지 않으면서도 가장 경제적인 방법으로 실험체를 제작할 수 있다. 이는 동일한 비용으로 보다 많은 수의 실험체를 제작할 수 있음을 의미하며 따라서 상기 실험체에 의존하여 수행되는 구조물 균열 검사 자체의 정확도를 향상시킬 수 있다.

[0024] 또한, 본 발명의 일부 실시예에 따르면, 실험체를 사용한 실험 결과의 정확성을 희생하지 않으면서도 가장 효율적인 크기의 실험체를 제작할 수 있는데, 이로써 실험체가 필요 이상으로 과도한 중량 및 부피를 갖지 않도록

하여 실험 과정을 보다 용이하게 하며, 이 또한 상기 실험체에 의존하여 수행되는 구조물 균열 검사 자체의 정확도를 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025]

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 장치의 구성을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 장치의 열화상 카메라가 설치된 드론의 예를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 장치의 균열 샘플의 예를 나타낸 도면이다.

도 4는 도 3은 본 발명의 일실시예에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 장치에서 실제 구조물의 균열을 촬영한 가시광 영상과 열화상 영상의 예를 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 6은 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법을 개념적으로 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법을 나타낸 도면이다.

도 8은 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법에서 실험체의 재료에 균열이 미치는 열영향 범위를 분석하는 과정을 나타낸 도면이다.

도 9는 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법에 적용될 수 있는 3D 프린터의 예를 나타낸 도면이다.

도 10은 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법에서 제작되는 균열 모사체를 나타낸 도면이다.

도 11은 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법에 의해 제작된 실험체를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026]

전술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다.

[0027]

이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0028]

도 1은 본 발명에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)의 구성을 설명하기 위한 도면이다. 도 1을 참조하여 설명하면, 본 발명에 따른 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)는 영상 처리부(230), 기계 학습부(240), 및 제어부(210)를 포함한다. 또한, 본 발명에 따른 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)는 열화상 카메라(220)와 가시광 카메라(250)를 포함할 수 있다.

[0029]

열화상 카메라(220)는 실제 구조물이나 균열 샘플(S)에 대한 열화상 영상을 촬영한다. 본 발명에서는 균열 샘플(S)의 열화상 영상을 촬영할 때는 촬영자가 손에 파지한 상태에서 촬영할 수 있으며, 실제 구조물의 균열을 측정할 경우, 도 2에 도시된 바와 같이, 드론(100)과 같은 무인 항공기에 열화상 카메라(220)를 설치하여 촬영하도록 마련될 수 있는 바, 이에 대한 상세한 설명은 후술한다.

[0030]

영상 처리부(230)는 균열 샘플(S)의 균열 부분(SC)의 온도 정보(이하, '샘플 온도 정보'라 함)를 추출한다. 균열 샘플(S)은 도 3에 도시된 바와 같이, 구조물에 일정 깊이의 균열(SC)을 형성하여 제작되는데, 다수의 균열 샘플(S)에 서로 다른 균열 깊이를 갖도록 제작하게 된다. 그리고, 열화상 카메라(220)로 각각의 균열 샘플(S)을 촬영하여 각각의 균열 샘플(S)에 대한 열화상 영상(이하, '샘플 열화상 영상'이라 함)을 촬영하게 된다.

[0031]

그리고, 영상 처리부(230)는 각각의 샘플 열화상 영상으로부터 각각의 균열 샘플(S)의 균열 부분(SC)의 온도를 측정하여 샘플 온도 정보를 추출하게 된다.

[0032]

기계 학습부(240)는 영상 처리부(230)에 의해 추출된 샘플 온도 정보, 각각의 균열 샘플(S)의 균열 깊이, 그리

고 각각의 균열 샘플(S)의 열화상 영상 촬영시 샘플 환경 정보를 균열 깊이를 출력으로 하는 기 등록된 기계 학습 알고리즘의 훈련 데이터로 적용하여 학습한다. 본 발명에서는 기계 학습 알고리즘으로 랜덤 포레스트 알고리즘(Random forest algorithm)이 적용되는 것을 예로 하는데, 다른 기계 학습 알고리즘이 적용될 수 있음은 물론이다.

- [0033] 여기서, 샘플 환경 정보로는 열화상 카메라(220)로 촬영할 당시의 주변 온도, 즉 대기 온도, 습도, 풍속, 조도가 적용될 수 있다. 즉, 열화상 카메라(220)에 의해 촬영되는 균열 부분의 온도 변화에 영향을 주는 환경을 샘플 환경 정보를 훈련 데이터로 적용할 수 있다.
- [0034] 상기와 같이 기계 학습부(240)에 의해 다수의 균열 샘플(S)로부터 얻어진 훈련 데이터들이 학습된 상태에서, 실제 구조물에 대한 균열 깊이 측정이 진행될 수 있다.
- [0035] 제어부(210)는 실제 구조물에 대해 촬영된 열화상 영상(이하, '구조물 열화상 영상'이라 함)과, 실제 구조물의 열화상 영상 촬영시의 환경 정보(이하, '구조물 환경 정보'라 함)가 입력되면, 구조물 열화상 영상으로부터 균열 부분의 온도가 추출되도록 영상 처리부(230)를 제어한다. 도 4의 (a)는 실제 구조물에 발생한 균열 부분의 예를 나타낸 도면이고, 도 4의 (b)는 이를 열화상 카메라(220)로 촬영하여 획득한 구조물 열화상 영상을 나타낸 도면이다.
- [0036] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따른 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)에서는 열화상 카메라(220)가 드론(100) 등의 무인 항공기에 설치되어 구조물을 촬영하는 것을 예로 하고 있다.
- [0037] 이와 같이, 드론(100)과 같은 무인 항공기를 통해 촬영하게 되면, 고층 건물과 같이 사람이 촬영하기 어려운 구조물에 대해서도 보다 쉽게 촬영이 가능하게 되며, 측정에 소요되는 인력, 장비, 시간을 현저히 줄일 수 있게 된다.
- [0038] 여기서, 본 발명에서는 실제 구조물의 가시광 영상을 가시광 카메라(250)가 촬영하도록 마련될 수 있다. 그리고, 영상 처리부(230)는 가시광 영상으로부터 실제 구조물의 균열 부분을 추출하고, 구조물 열화상 영상 중 가시광 영상을 통해 추출된 균열 부분에 대응하는 위치에서의 온도를 균열 부분의 온도로 추출할 수 있다.
- [0039] 이를 통해, 본 발명에 따른 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)가 실제 장비에 적용될 때, 가시광 카메라(250)가 구조물의 외관을 촬영하는 과정에서 영상 처리부(230)가 촬영된 가시광 영상으로부터 균열 부분을 추출한 후, 해당 균열 부분만 열화상 카메라(220)가 촬영하는 방식으로 진행하여, 열화상 카메라(220)가 구조물 전체의 열화상 영상을 촬영하고 전체 열화상 영상에서 균열 부분의 온도를 추출하는 번거러움을 해소할 수 있게 된다.
- [0040] 상기와 같이 구조물 열화상 영상으로부터 구조물 온도 정보가 추출되면, 제어부(210)는 기계 학습부(240)가 구조물 열화상 영상으로부터 추출된 균열 부분의 온도와, 구조물 환경 정보를 입력으로 하여, 실제 구조물의 균열 깊이가 산출되도록 기계 학습부(240)를 제어하게 됨으로써, 열화상 영상으로부터 구조물에 발생한 균열의 균열 깊이의 측정이 가능하게 된다.
- [0041] 한편, 본 발명에 따른 구조물의 균열 깊이 측정 장치(200)의 영상 처리부(230)는 샘플 열화상 영상으로부터 균열 샘플(S)의 균열 부분(SC)의 형상 정보를 함께 추출하도록 마련될 수 있다. 그리고, 기계 학습부(240)는 균열 샘플(S)의 균열 부분(SC)의 형상 정보를 기계 학습 알고리즘의 훈련 데이터로 함께 학습할 수 있다.
- [0042] 그리고, 실제 구조물의 균열 깊이를 측정하는 과정에서도, 영상 처리부(230)가 구조물 열화상 영상으로부터 실제 구조물의 균열 부분의 형상 정보를 함께 추출하고, 기계 학습부(240)에 형상 정보를 함께 입력하도록 마련될 수 있다.
- [0043] 이를 통해, 균열 부분의 형상에 따른 균열 부분의 온도 변화도 함께 반영됨으로써, 보다 정확한 균열 깊이의 측정이 가능하게 된다.
- [0044] 이하에서는, 도 5를 참조하여 본 발명에 따른 열화상 영상을 이용한 구조물의 균열 깊이 측정 방법에 대해 상세히 설명한다.
- [0045] 먼저, 기계 학습을 위해, 복수의 균열 샘플(S)에 대한 샘플 열화상 영상, 균열 깊이, 및 샘플 환경 정보가 등록된다(S50), 그런 다음, 각각의 샘플 열화상 영상으로부터 균열 샘플(S)의 균열 부분(SC)의 온도인 샘플 온도 정보가 추출된다(S51).
- [0046] 각각의 샘플 열화상 영상으로부터 샘플 온도 정보가 추출되면, 추출된 샘플 온도 정보, S50 단계에서 등록된 균열 깊이 및 샘플 환경 정보가 기계 학습 알고리즘의 훈련 데이터로 입력되어 기계 학습이 진행된다(S52).

- [0047] 그리고, 상기와 같이 학습된 기계 학습 알고리즘을 이용하여 실제 구조물에 대한 균열 깊이 측정 과정이 진행된다.
- [0048] 먼저, 구조물에 대해 촬영된 구조물 열화상 영상, 가시광 영상 및 구조물 환경 정보가 입력된다(S53). 그런 다음, 입력된 가시광 영상으로부터 구조물의 균열 부분이 추출된다(S54). 그런 다음, 가시광 영상으로부터 추출된 균열 부분에 해당가능 위치에서 구조물 열화상 영상으로부터 구조물 온도 정도가 추출된다(S55).
- [0049] 여기서, 도 5에서는 구조물 열화상 영상과 가시광 영상이 함께 입력되는 것을 예로 설명하고 있으나, 상술한 바와 같이, 드론(100) 등을 이용하여 촬영할 때 가시광 영상이 촬영된 후 균열 부분이 추출되고, 균열 부분이 추출된 위치에서만 열화상 영상이 촬영되어 입력되도록 마련될 수 있음은 물론이다.
- [0050] 그리고, 구조물 열화상 영상으로부터 구조물 온도 정보가 추출되면, 구조물 온도 정보 및 구조물 환경 정보가 학습된 기계 학습 알고리즘에 입력되어, 구조물의 균열 깊이가 산출되어, 구조물 균열 깊이의 측정이 가능하게 된다(S56).
- [0051] 이하, 도 6 내지 도 11을 참조하여 본 발명의 일실시예에 따른 실험체 제작 방법을 설명하기로 한다. 여기서 실험체란 전술한 균열 샘플(S)을 지칭하는 것이다.
- [0052] 기존의 방법에 따라 실험체를 제작하는 경우, 실험자는 원하는 균열 형상에 대응하여 소정의 강판을 제작한 후 타설된 콘크리트 내에 이를 삽입하여 양생함으로써 인위적으로 균열을 형성한 콘크리트 실험체를 제작한다. 여기에는 임의의 크기의 거푸집을 제작하고 콘크리트를 타설한 후 양생 중인 콘크리트 상면에 소정 크기의 강판을 삽입하는 과정이 포함된다.
- [0053] 이러한 기존 방법은 거푸집이 충분한 크기로 제작되어 실험체가 적정 크기 이상으로 제작되는 것을 가정하나, 실제 실험을 수행하기 전이므로 실험체가 충분한 크기를 갖는지 여부를 실질적으로 알 수가 없다. 이를 대비하여 거푸집을 과도하게 큰 크기로 제작하면 이는 실험체를 제작함에 있어 재료의 낭비를 수반하는데, 매우 많은 수의 실험체가 필요한 경우 이는 큰 비용 증가를 초래할 수 있다.
- [0054] 기존 방법은 또한 실험의 정확도가 희생되는 단점을 지닌다. 전술한 기존의 제작 방법은 작은 규모의 균열 혹은 직사각형의 형상을 가진 가장 단순한 형상의 균열을 제작하는데 제한돼 있다. 예를 들어, 삼각형 형상의 균열을 제작할 경우에는 인력에 의존하여 강판을 제작하게 되므로 실험체 규격의 정확성을 확보하기 어려울 수 있다.
- [0055] 또한, 균열의 규모를 크게 하여 실험체를 제작할 경우, 균열 모사체의 무게가 증가하여 콘크리트의 양생 과정에서 모사체의 자체 중량에 의해 모사체가 콘크리트 내에서 침강할 수 있으며, 이는 모사체를 제거할 때 실험체에 형성한 균열(SC)의 깊이가 목표 깊이에 비해 증가함을 의미한다. 이는 실험체를 이용한 샘플 실험의 정확도 저감되는 결과를 초래할 수 있고, 또는 실험자가 제작된 실험체 내의 균열의 치수 및 형상을 다시 측정하는 별도의 과정을 필요로 할 수 있다.
- [0056] 이러한 문제를 해결하기 위해 본 발명의 일실시예는 높은 정확도를 유지하면서도 높은 효율 및 낮은 비용으로 실험체를 제작하는 방법을 제공한다. 도 7을 참조하면, 본 발명의 일실시예에 따른 실험체 제작 방법은 실험체에 형성할 균열의 크기 및 형상을 설정하는 단계(S60), 실험체의 재료에 균열이 미치는 열영향 범위를 분석하는 단계(S61), 열영향 범위가 실험체의 경계 내에 존재하도록 실험체의 크기를 설정하는 단계(S62) 및 실험체의 크기에 대응하여 실험체를 제작하는 단계(S63)를 포함할 수 있다.
- [0057] 본 실시예에서는 실험체가 경화성 재료로 제작되는 경우를 일례로 설명한다. 경화성 재료로는 다양한 배합의 콘크리트가 적용될 수 있지만 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0058] 먼저, 실험체(S)에 형성할 균열(SC)의 크기와 형상을 설정할 수 있다(S60). 본 실시예에 따른 실험은 콘크리트 등의 재료로 건축된 실제 구조물에서 열화상 촬영에 의해 균열을 검출하는 검사를 위한 것으로서 기계학습에 입력되는 피드 자료를 준비하려는 것일 수 있다. 따라서 이 단계에서 균열의 크기와 형상은 실제 실측시 발견되는 균열을 모사하기 위한 크기 및 형상으로 설정될 수 있다. 균열의 형상은 육면체, 삼각기둥, 사각뿔, 늘린 사각뿔, 늘린 삼각뿔 등의 형상이 다양한 방향으로 배치된 형태에 대응할 수 있다. 예를 들어, 도 8에 도시된 예에서는 균열이 삼각기둥의 형상을 가지고, 도 11에 도시된 예에서는 균열이 직육면체의 형상을 가진다.
- [0059] 균열(SC)의 크기와 형상을 형성하는 단계(S60) 또한 열영향 분석을 포함할 수 있다. 예를 들어, 특정 균열 형상에 대하여, 실험체 내에 균열을 형성할 때 의미 있는 결과를 도출할 수 있는 최적의 길이 등을 열해석을 통해 산출할 수 있다.

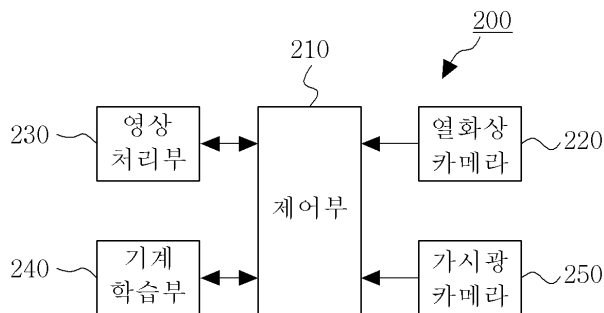
- [0060] 균열의 크기와 형상이 설정된 후, 실험체 재료에 균열이 미치는 열영향 범위를 분석(S61)할 수 있다. 도 4에서 볼 수 있듯이, 콘크리트 등의 재료에 균열이 생긴 경우, 해당 균열부에서는 균열이 없는 부위에 비해 높은 표면 온도가 측정될 수 있다. 따라서 균열을 모사한 실험체를 제작할 때에는 균열에 의한 온도 변화가 충분히 고려되도록 실험체의 크기를 설정해야 할 것이다. 본 명세서에서 열영향 범위란 소정의 열원에 의해 사전 정의된 임계값 이상으로 온도차가 발생하는 범위를 의미하며, 본 실시예의 맥락에서는 실험체에 형성된 균열에 의해 발생하는 표면온도의 증가가 사전 정의된 임계값 이상으로 나타나는 범위를 의미할 수 있다. 이러한 임계값은 예를 들어 1 °C, 0.1 °C 등의 값으로 설정될 수 있으나 다양한 값이 선정될 수 있음은 자명하다.
- [0061] 도 6은 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법을 개념적으로 나타낸 도면이다. 균열이 형성된 실험체를 제작하는 경우, 실험체의 크기를 최적의 값으로 설정하는 것이 중요한데, 실험체의 크기가 지나치게 큰 경우 다수의 실험체 제작에 과도하게 높은 비용이 소요될 수 있고 실험체가 필요 이상으로 큰 부피 및 중량을 갖게 되어 실험 과정의 난이도가 증가할 수 있다. 한편, 실험체의 크기가 지나치게 작은 경우, 실험체에 형성된 균열의 열적 영향을 균열이 없는 부분과 대비하여 평가할 수 없으므로 열화상 촬영에 의한 균열 검사를 위한 예비 자료의 정확도가 저감될 수 있다. 따라서, 도 6에 개념적으로 묘사된 바와 같이, 실험체 내에 형성될 균열의 열영향 범위를 분석한 후, 그 결과를 바탕으로 실험체의 크기를 설정하면 실험체의 크기와 균열의 위치가 최적화된 상태로 다수의 실험체를 제작할 수 있는 것이다.
- [0062] 열영향 범위를 분석하는 단계(S61)는 유한요소해석에 기반한 열해석을 통해 이루어질 수 있다. 유한요소해석은 예를 들어 공학 분석 시 활용되는 컴퓨터 시뮬레이션 기술을 통해 이루어질 수 있다. 유한요소해석의 일반적인 용도는 기계장치나 시스템에서 응력과 변위를 결정하는 데 있으나 열전달, 유체역학, 전자기학 등에도 이용이 가능하며 실제 공학에서의 응용은 컴퓨터를 이용해 모델링하고, 이에 필요한 물성과 하중과 같은 외부적인 요인들을 설정하고 시각화 된 결과를 얻는 것을 목표로 한다. 컴퓨터 모델링에 의한 유한요소해석의 일례가 도 8에 도시되어 있다.
- [0063] 열영향 범위를 분석하는 단계는 실험체의 폭, 높이 및 깊이 방향 중 하나 이상의 방향에 대하여 수행될 수 있다. 유한요소해석 등의 컴퓨터 연산 능력을 이용하는 경우, 실험체 내 균열의 열영향 범위를 x축과 y축 뿐만 아니라 z축에 대해서도 분석하는 것이 가능해진다. 실험체의 폭, 높이 및 깊이 방향이라 함은 실험체가 도 6에 서와 같이 배치된 경우를 가정하여 지칭하는 것으로서 도 6의 실험체의 좌우 방향이 폭 방향, 실험체의 상하 방향이 높이 방향, 그리고 실험체의 전후 방향이 깊이 방향을 지칭한다. 이는 단지 설명의 편의를 위해 명명된 것이며 실험체의 배치에 따라 달라질 수 있다. 예를 들어, 후술되는 바와 같이 실험체가 거푸집에 경화성 재료를 타설함으로써 제작되는 경우 실험체의 균열은 상측을 향하여 깊이 방향이 실험체의 상하 방향에 해당하게 될 수 있다.
- [0064] 이어서, 열영향 범위의 분석에 기초하여 실험체의 크기를 설정(S62)할 수 있다. 실험체의 크기는 전술한 열영향 범위가 실험체의 경계 내에 존재하도록 설정될 수 있다. 한편, 실험을 수행할 때의 모든 외부 인수들이 열영향 범위 분석에서 온전히 반영되지 않는 경우를 대비하여 실험체의 크기를 설정할 때 연산된 열영향 범위에 안전율을 적용할 수 있다. 안전율을 적용함에 있어서는 예컨대 소정의 비율을 곱하는 방법, 소정의 값을 더하는 방법 등 다양한 방법이 사용될 수 있다.
- [0065] 실험체의 크기를 설정(S62)하는 단계는 열영향 범위를 분석하는 단계와 마찬가지로 실험체의 폭, 높이 및 깊이 방향 중 하나 이상의 방향에 대하여 수행될 수 있다. 비록 열화상 촬영은 실험체의 표면 온도만을 측정하게 되나, 실험체의 깊이 방향의 크기는 실험체 내의 온도 그래디언트에 영향을 미칠 수 있으므로 전술한 열영향 범위의 해석에 근거하여 설정될 수 있다.
- [0066] 실험체(S)에 대한 균열(SC)의 상대적 위치를 설정하는 단계를 포함할 수 있다. 균열의 형상이 균열의 길이 및 높이 방향으로 대칭인 경우 실험체에 대한 균열의 위치는 실험체의 정중앙일 것이나, 실제 건축물에서 발견되는 균열의 형상이 반드시 대칭인 것은 아니므로 이를 고려하기 위한 실험체를 제작하는 경우 균열의 형상이 비대칭적으로 설정될 수 있으며 이 경우 균열의 위치가 반드시 중앙이어야 하는 것은 아니다. 물론, 실험 진행의 편의를 위해 균열이 비대칭적인 형상을 갖는 경우에도 균열을 실험체의 중앙에 배치할 수도 있다.
- [0067] 도면에는 실험체의 형상이 직육면체인 것으로 도시되어 있으나, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 예를 들어 다양한 다각형의 기둥 형태 또는 기타 다른 입체 형상으로 제작될 수 있다.
- [0068] 실험체의 크기가 설정되고 균열의 위치가 확정되면, 실험체의 크기와 균열의 위치에 대응하여 실험체를 제작(S63)할 수 있다.

- [0069] 실험체를 제작하는 단계(S63)는 예를 들어 3D 프린터를 사용하여 수행될 수 있다. 3D 프린터를 사용하여 실험체 자체를 3D 프린팅하는 경우도 포함할 수 있지만, 3D 프린터를 사용하여 균열 모사체와 거푸집을 프린팅한 후, 이들을 사용하여 경화성 재료를 타설함으로써 실험체를 제작하는 경우를 포함할 수 있다.
- [0070] 3D 프린터는 x, y, z축 운동을 통해 입체 물품을 만들어내는 장비이다. 입체 형태를 만들 때, 그 방식에 따라 한 층씩 쌓아 올리는 적층형과 큰 덩어리를 깎아가는 절삭형으로 구분한다. 도 9에는 3D 프린터의 일례가 도시되어 있다.
- [0071] 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법은 실험체의 재료로 다양한 배합의 콘크리트를 가정하여 설명하였으나, 실험체의 재료가 콘크리트에 한정되는 것은 아니다. 예를 들어, 열적 특성이 특정 콘크리트와 유사하도록 배합된 다른 재료를 사용하여 실험체를 제작하는 경우도 가능할 것이며, 이러한 경우 실험체가 반드시 거푸집에서의 양생 과정을 통해 제작되어야 하는 것은 아니다. 경우에 따라 3D 프린터를 사용하여 예컨대 축소된 비율로 실험체를 직접 프린팅하는 방법도 가능할 것이다.
- [0072] 본 발명의 일실시예에 따르면, 실험체를 제작하는 단계(S63)는 실험체의 크기에 대응하여 거푸집을 제작하고 균열의 크기 및 형상에 대응하여 균열 모사체를 제작하는 단계, 및 균열 모사체가 설치된 상태의 거푸집에 경화성 재료를 타설 및 경화시키는 단계를 포함할 수 있다.
- [0073] 여기서, 거푸집과 균열 모사체 중 적어도 하나는 3D 프린터를 사용하여 프린팅될 수 있다. 실험체는 실험 용도로 제작되는 것이므로, 실험체 제작을 위한 거푸집과 균열 모사체는 실험체 및 균열의 설계된 치수가 정확히 구현되도록 높은 정밀도로 제작될 필요가 있다. 이를 위해 거푸집 및/또는 균열 모사체는 3D 프린터를 사용하여 프린팅될 수 있다.
- [0074] 거푸집과 균열 모사체를 일체형으로 3D 프린터를 사용하여 프린팅하는 것이 가능하다. 이 경우 거푸집은 경화성 재료의, 예컨대 콘크리트의, 타설을 위해 일면이 개방될 수 있고, 균열 모사체는 개방된 일면의 반대측에 형성될 수 있다. 즉, 거푸집의 상면이 개방되어 거푸집의 수용부에 경화성 재료를 수용할 수 있고, 이 때 균열 모사체는 수용부 내측의 하면에 형성될 수 있다. 기존의 방법에 따라 실험체를 제작하는 경우 거푸집에 별도의 강판을 삽입하여 강판이 서서히 침강하는 등 위치가 변하는 문제가 있었으나, 균열 모사체가 거푸집의 일부로 형성되고 또한 거푸집의 하측에 형성되므로 균열 모사체의 위치가 변경될 염려가 없다.
- [0075] 도 10은 거푸집과 균열 모사체가 분리되어 제작되는 경우에 사용가능한 균열 모사체가 도시되어 있다. 거푸집과 균열 모사체가 분리되어 제작되는 경우, 거푸집과 균열 모사체 중 적어도 하나 이상이 3D 프린터로 프린팅될 수 있다.
- [0076] 거푸집과 균열 모사체가 분리되어 제작되는 경우, 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법은 거푸집 상에 균열 모사체를 균열의 위치에 대응하는 위치에 설치하는 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0077] 본 발명의 일실시예에 따른 균열 모사 실험체 제작 방법은 균열 모사 실험체에서 균열의 위치가 정확한 상태에서 실험체를 최적의 크기로 제작하려는 것이므로 균열 모사체의 위치가 열영향 범위 분석에서 기준으로 잡은 위치에 올바르게 설치되는 것은 필수적이다.
- [0078] 따라서 거푸집에 대한 균열 모사체의 상대적인 위치가 변경되지 않도록 해야 하며, 이를 위해 균열 모사체는, 도 10에 도시된 예에서와 같이, 균열의 크기 및 형상으로 형성된 삽입부 및 삽입부로부터 연장되는 다리부를 포함할 수 있다. 여기서, 다리부는 그 총 길이가 실험체의 일변의 길이 이상으로 연장될 수 있다.
- [0079] 거푸집의 개방된 일면이 경화성 재료의 타설을 위해 상측을 향해 있다고 할 때, 균열 모사체의 다리부는 거푸집의 개방된 일면에 설치될 수 있으며, 다리부의 길이가 실험체의 일??의 길이 이상으로 연장되므로 다리부가 거푸집에 걸치도록 균열 모사체를 제작할 수 있다. 예를 들어, 도 10과 도 11에 도시된 예에서는 실험체의 폭 방향의 길이가 300mm이고 균열 모사체의 다리부의 총 길이가 실험체의 일변의 길이 이상인 310mm이다. 균열 모사체는 예를 들어 거푸집 상에 표시된 위치에 다리부가 위치하도록 삽입부를 타설된 경화성 재료 안으로 삽입할 수 있으며, 경화성 재료 자체가 균열 모사체를 고정시키는 역할을 하도록 할 수 있다.
- [0080] 본 발명의 일부 실시예에서는 균열 모사체가 이동하는 것을 방지하기 위해 거푸집에 고정부를 형성할 수 있다. 본 발명의 일실시예에서는 고정부가 거푸집에 형성된 홈일 수 있고, 균열 모사체의 다리부는 그 두께가 상기 홈의 두께에 상응하도록 형성될 수 있다. 균열 모사체는 다리부가 홈에 삽입되도록 배치되어 고정될 수 있다. 물론, 본 발명의 다른 일부 실시예에서는 균열 모사체의 이동을 방지하기 위한 다른 수단의 고정부가 구비될 수 있다.

- [0081] 위와 같이 균열 모사체와 거푸집을 분리형으로 제조하는 경우, 필요에 따라 다수의 균열 모사체와 다수의 거푸집을 제작하여 상이한 조합으로 실험체를 제작할 수 있다는 장점이 있다. 이는 실험체의 재료에 사용되는 비용이 거푸집과 균열 모사체를 제작하는 데 사용되는 비용보다 낮은 경우 고려해 볼 수 있다.
- [0082] 본 발명의 다른 일실시예에서는, 전술한 실시예에서 균열 모사체의 다리부와 유사한 구성을 거푸집에 형성할 수 있다. 즉, 거푸집은 일면이 개방된 수용부와 개방된 일면의 일측에서 타측으로 연장되는 다리부를 포함할 수 있고, 균열 모사체가 다리부의 지정된 위치에 고정되도록 할 수 있다. 균열 모사체를 거푸집의 다리부에 고정하는 데에는 다양한 수단이 사용될 수 있을 것이다. 필요에 따라 거푸집 상에서 다리부가 이동가능하도록 설치될 수도 있다.
- [0083] 전술한 본 발명의 일부 실시예에 따르면, 열화상 촬영에 의한 구조물의 균열 검사를 가능하도록 높은 정밀도로 실험체를 제작하는 것이 가능해진다. 실험 결과의 정확성을 희생하지 않으면서도 가장 경제적인 방법으로 실험체를 제작할 수 있으므로 동일한 비용으로 및 동일한 인력으로 보다 많은 수의 실험체를 제작할 수 있으며, 이는 상기 실험체에 의존하여 수행되는 구조물 균열 검사 자체의 정확도를 향상시킬 수 있다.
- [0084] 비록 본 발명의 일부 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

도면

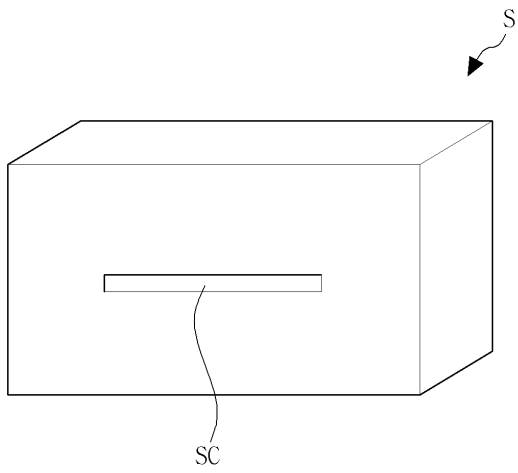
도면1



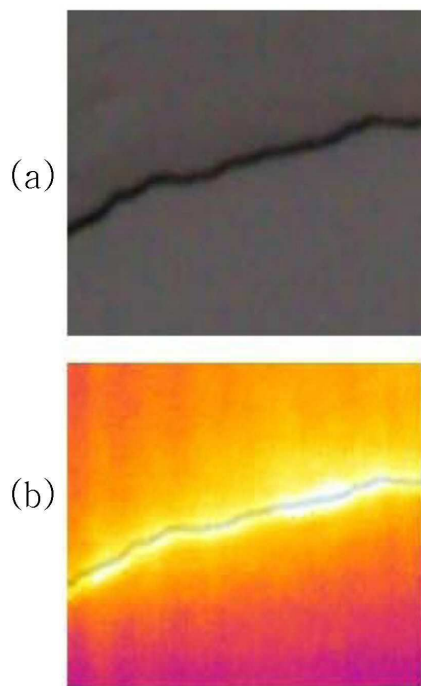
도면2



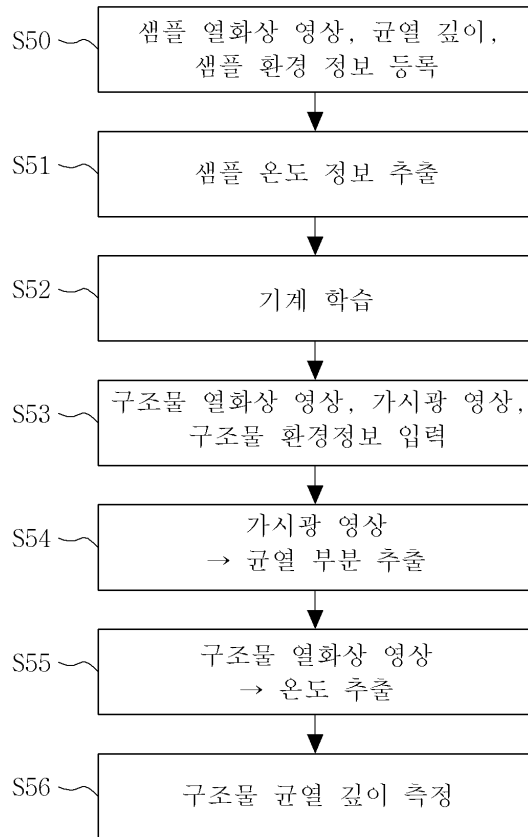
도면3



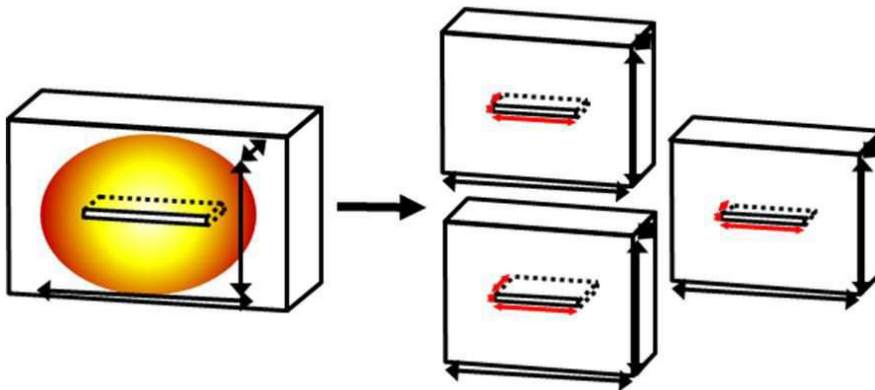
도면4



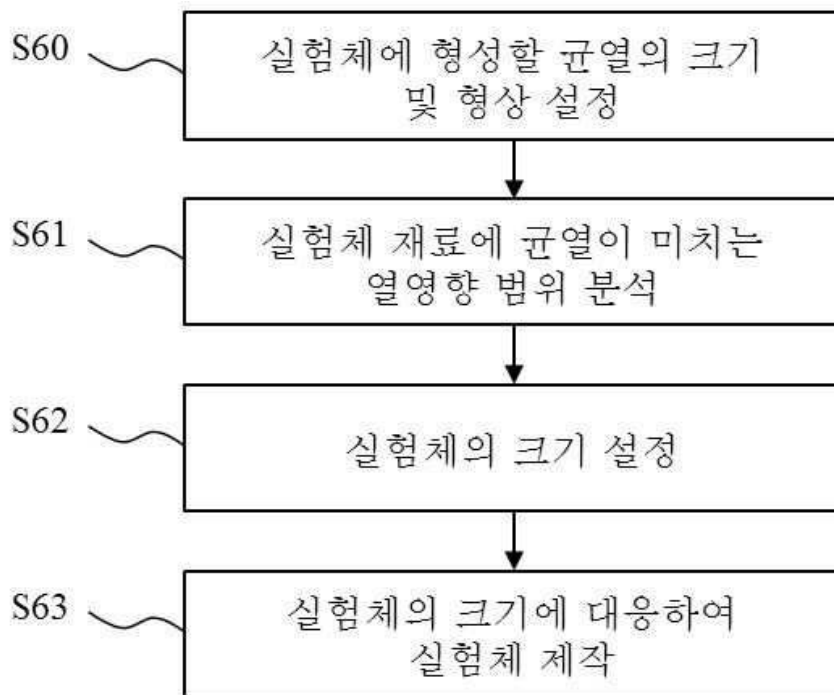
도면5



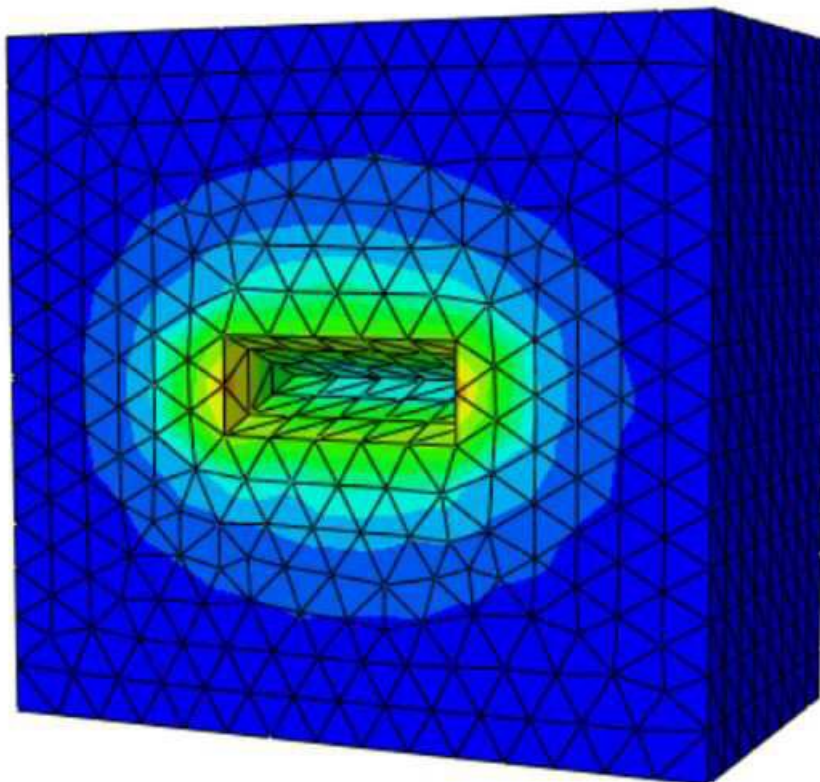
도면6



도면7



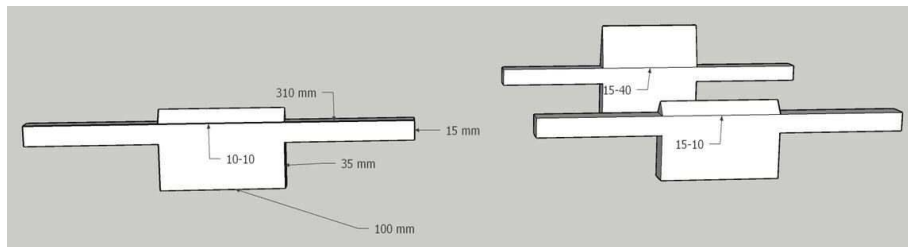
도면8



도면9



도면10



도면11

