



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0087269
(43) 공개일자 2025년06월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01B 11/16 (2006.01) G01B 11/02 (2006.01)
G01N 3/06 (2006.01) G06T 17/20 (2006.01)
G06V 10/40 (2022.01)
(52) CPC특허분류
G01B 11/165 (2013.01)
G01B 11/022 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0176896
(22) 출원일자 2023년12월07일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
현대자동차주식회사
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)
기아 주식회사
서울특별시 서초구 현릉로 12 (양재동)
서강대학교산학협력단
서울특별시 마포구 백범로 35 (신수동, 서강대학교)
(72) 발명자
이효재
울산광역시 남구 대학로5번길 1, 401호 (무거동, 우성빌라)
강해중
부산광역시 해운대구 세실로 80, 102동 101호 (좌동, 해운대케이씨씨스위첸)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 14 항

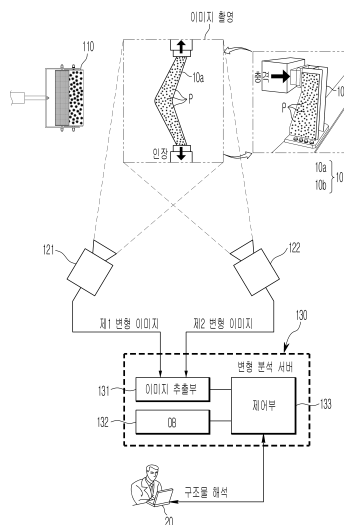
(54) 발명의 명칭 구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법

(57) 요약

구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법이 개시된다.

본 발명의 실시예에 따른, 구조물 변형 분석 시스템은, 분석 대상 구조물의 표면에 DIC(Digital Image Correlation) 측정에 필요한 기하학적 패턴(Pattern)을 찍어 마킹 하는 물리형 패턴 도장기, 서로 다른 각도에서 상기 구조물의 측정 영역에 마킹된 다량의 패턴을 촬영하는 복수의 카메라, 및 상기 구조물의 변형 시 상기 복수의 카메라를 통해 동일 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하여 DIC를 활용한 2D 변위 데이터 분석을 통해 상기 구조물 3D 변위 데이터를 획득하고 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 상기 구조물의 3D 변형 분포를 도출하는 변형 분석 장치를 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 3/068 (2013.01)

G06T 17/20 (2013.01)

G06V 10/40 (2023.08)

G01N 2203/0062 (2013.01)

G01N 2203/0647 (2013.01)

G01N 2203/0676 (2013.01)

(72) 발명자

김동철

서울특별시 마포구 백범로 35

이시용

서울특별시 마포구 백범로 35

서동협

서울특별시 마포구 백범로 35

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711192159

과제번호 2020R1A2C2010986

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)

연구과제명 나노복합체의 복합 다중 자극에 의한 피로 및 부식 내구성 예측 및 설계 시스템 개

발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 서강대학교

연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711192182

과제번호 2022M3H4A1A04073271

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 나노소재기술개발

연구과제명 혈관질환 치료용 체내 삽입형 생체분해성 금속/하이브리드 소재 개발

기 여 율 1/2

과제수행기관명 한국과학기술연구원

연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

분석 대상 구조물의 표면에 DIC(Digital Image Correlation) 측정에 필요한 기하학적 패턴(Pattern)을 찍어 마킹 하는 물리형 패턴 도장기;

서로 다른 각도에서 상기 구조물의 측정 영역에 마킹된 다량의 패턴을 촬영하는 복수의 카메라; 및

상기 구조물의 변형 시 상기 복수의 카메라를 통해 동일 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하여 DIC를 활용한 2D 변위 데이터 분석을 통해 상기 구조물 3D 변위 데이터를 획득하고 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 상기 구조물의 3D 변형 분포를 도출하는 변형 분석 장치;

를 포함하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 물리형 패턴 도장기는,

나란한 제1 회전축과 제2 회전축을 형성하는 물리 프레임; 및

상기 제1 회전축과 제2 회전축에 각각 회전 가능하게 장착되는 잉크 물러와 패턴 도장 물러;

를 포함하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 패턴 도장 물러는,

원통형 외주면에 원형을 중심으로 8개의 방사형 라인을 포함하는 별(Star) 형상의 양각 패턴을 다량으로 불규칙하게 형성하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 복수의 카메라는,

상기 구조물을 기준으로 좌측과 우측에 배치된 제1 카메라와 제2 카메라를 포함하며, 상기 제1 카메라와 제2 카메라는 상기 구조물의 탄성 영역에 마킹된 패턴(P)의 미세한 변형을 측정 가능한 고해상도 이미지를 촬영하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 변형 분석 장치는,

상기 복수의 카메라의 동작을 원격으로 조작하고 상기 동일 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하는 이미지 추출부;

상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 기초한 2D 변위 데이터와 3D 변위 데이터를 DB화하여 저장하는 데이터베이스(DB); 및

상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 수신하면 상기 DIC를 활용하여 구조물의 탄성 영역을 포함하는 측정 영역 내 변형을 계산하여 상기 3D 변형 데이터와 분포를 도출하는 제어부;

를 포함하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 기초하여 각 픽셀의 명암값을 수학적 계산을 통해 변형 전후의 이미지 간 상관관계를 분석 및 비교하여 상기 구조물의 측정 영역 내 변형을 계산하고 컨투어화 하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 구조물에 마킹된 패턴(P)이 측정 영역 내 차지하는 비율, 패턴 형상, 크기를 정의하여 DIC를 활용한 구조물의 변형 측정가능 범위를 탄성 영역까지 확대시키는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 복수의 카메라로 촬영된 두 변형 이미지 내 동일한 패턴(P)을 인식하기 위해 부분집합 반경(Subset Radius)을 설정하고, 상기 부분집합 반경으로 설정된 원형 내 패턴(P) 간 대조를 통해 동일 패턴(P)을 인식하여 동일 측정 영역 2D 변위 데이터 및 변형 분포를 도출하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 3D 변위 데이터를 토대로 각 좌표 별 변형 데이터 후처리를 통해 분포에 대한 변형 수치와 이에 대응하는 3축 좌표를 매칭하여 3D 변형 분포를 도출하는 것을 특징으로 하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 구조물의 3D 변형 분포를 토대로 상위 특정 비율의 변형 분포를 파악하여 응력이 집중되는 취약부를 도출하는 것을 특징으로 하는 구조물 변형 분석 시스템.

청구항 11

DIC(Digital Image Correlation)를 활용하는 변형 분석 장치가 다량의 패턴이 마킹된 구조물의 변형을 분석하는 방법에 있어서,

- 복수의 카메라를 이용하여 서로 다른 각도에서 구조물의 측정 영역에 마킹된 다량의 패턴을 촬영하여 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하는 단계;
- 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 DIC 영역을 설정하여 각 카메라에서의 구조물 2D 변위 데이터를 도출하는 단계;
- 사전에 도출된 카메라 왜곡 보정 데이터, 3D 변환 파라미터와 상기 구조물 2D 변위 데이터를 DIC 분석에 적용하여 상기 구조물의 3D 변위 데이터를 도출하는 단계; 및
- 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 구조물의 3D 변형 분포를 도출하는 단계;

를 포함하는 구조물 변형 분석 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 a) 단계 이전에,

체크 보드(Check Board)를 이용하여 상기 카메라 왜곡 보정 데이터를 도출하는 단계;

상기 구조물을 기준으로 서로 다른 각도에 제1 카메라와 제2 카메라를 세팅하고 3D 기준 좌표계를 설정하는 단계; 및

캘리브레이션 오브젝트(Calibration Object)를 이용하여 상기 3D 변환 파라미터(Parameter)를 도출하는 단계;

를 더 포함하는 구조물 변형 분석 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 d) 단계는,

상기 3D 변위 데이터를 토대로 각 좌표 별 변형 데이터 후처리를 통해 분포에 대한 변형 수치와 이에 대응하는 3축 좌표를 매칭하여 3D 변형 분포를 도출하는 단계를 포함하는 구조물 변형 분석 방법.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 d) 단계는,

상기 3D 변형 분포를 바탕으로 상기 구조물의 상위 특정 비율의 변형 분포를 파악하여 응력이 집중되는 취약부를 도출하는 단계를 포함하는 구조물 변형 분석 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 디지털 이미지 상관법(DIC)을 활용하여 대규모(Large Scale) 구조물의 탄성 변형 분포 도출 기술을 구현하는 구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 공장의 생산 라인에서 운영되는 기계 설비나 구조물은 그 운영과정에서 과도한 변형을 예방하고 미세한 균열로부터 완전 파단에 이르지 않도록 관리하여야 한다.

[0003] 이에 종래에는 설비 구조의 변형을 측정하기 위하여 측정 부위에 신율계나 스트레인 게이지(Strain Gauge)를 부착하고 변형율을 측정하고 있다. 이러한 종래의 구조 변형 측정 방법은 해당 센서가 온도 및 습도에 민감하고 센서의 부착 형태에 따라 오차가 발생하는 단점이 있다.

[0004] 특히, 종래의 구조 변형 측정 방법은 센서를 부착한 특정한 부위의 포인트에 대해서만 변형데이터를 얻을 수 있어 대형 구조물(Large Scale) 전체의 변형 분포를 도출하기 어려운 문제점이 있다.

[0005] 한편, 최근 디지털 이미지 상관법(Digital Image Correlation, DIC)을 활용한 변형 측정 기법이 개발되어 있으나 구조물의 탄성 구간(영역)에서의 변형을 측정하기 어렵고, 설령 측정을 하더라도 그 값의 신뢰성이 매우 낮은 문제점이 있다. 상기 탄성 구간은 외부의 힘으로 형상이 변형되고 힘을 빼면 원래 형상으로 복원되는 영역을 의미하며, 구조물의 소재, 크기, 형상, 구조 등에 따라 변경될 수 있다.

[0006] 따라서, 상기한 문제들을 해결하고 구조물 전체의 탄성 구간 변형을 계측할 수 있는 기술이 요구된다.

[0007] 이 배경기술 부분에 기재된 사항은 발명의 배경에 대한 이해를 증진하기 위하여 작성된 것으로서, 이 기술이 속

하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 이미 알려진 종래기술이 아닌 사항을 포함할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0008] 본 발명의 실시예는 서로 다른 각도로 세팅된 복수의 카메라를 이용하여 동일시간대 획득한 구조물 변형 전후의 이미지간 상관관계를 분석하는 디지털 이미지 상관법(DIC)을 활용하여 최적화된 설정으로 구조물의 3D 탄성 변형 분포를 도출하는 구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0009] 본 발명의 일 측면에 따르면, 구조물 변형 분석 시스템은, 분석 대상 구조물의 표면에 DIC(Digital Image Correlation) 측정에 필요한 기하학적 패턴(Pattern)을 찍어 마킹 하는 물리형 패턴 도장기; 서로 다른 각도에서 상기 구조물의 측정 영역에 마킹된 다수의 패턴을 촬영하는 복수의 카메라; 및 상기 구조물의 변형 시 상기 복수의 카메라를 통해 동일 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하여 DIC를 활용한 2D 변위 데이터 분석을 통해 상기 구조물 3D 변위 데이터를 획득하고 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 상기 구조물의 3D 변형 분포를 도출하는 변형 분석 장치;를 포함한다.
- [0010] 또한, 상기 물리형 패턴 도장기는, 나란한 제1 회전축과 제2 회전축을 형성하는 롤러 프레임; 및 상기 제1 회전축과 제2 회전축에 각각 회전 가능하게 장착되는 잉크 롤러와 패턴 도장 롤러;를 포함할 수 있다.
- [0011] 또한, 상기 패턴 도장 롤러는, 원통형 외주면에 원형을 중심으로 8개의 방사형 라인을 포함하는 별(Star) 형상의 양각 패턴을 다량으로 불규칙하게 형성할 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 복수의 카메라는, 상기 구조물을 기준으로 좌측과 우측에 배치된 제1 카메라와 제2 카메라를 포함하며, 상기 제1 카메라와 제2 카메라는 상기 구조물의 탄성 영역에 마킹된 패턴(P)의 미세한 변형을 측정 가능한 고해상도 이미지를 촬영할 수 있다.
- [0013] 또한, 상기 변형 분석 장치는, 상기 복수의 카메라의 동작을 원격으로 조작하고 상기 동일 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하는 이미지 추출부; 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 기초한 2D 변위 데이터와 3D 변위 데이터를 DB화하여 저장하는 데이터베이스(DB); 및 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 수신하면 상기 DIC를 활용하여 구조물의 탄성 영역을 포함하는 측정 영역 내 변형을 계산하여 상기 3D 변형 데이터와 분포를 도출하는 제어부;를 포함한다.
- [0014] 또한, 상기 제어부는, 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 기초하여 각 픽셀의 명암값을 수학적 계산을 통해 변형 전후의 이미지 간 상관관계를 분석 및 비교하여 상기 구조물의 측정 영역 내 변형을 계산하고 컨투어화 할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 제어부는, 상기 구조물에 마킹된 패턴(P)이 측정 영역 내 차지하는 비율, 패턴 형상, 크기를 정의하여 DIC를 활용한 구조물의 변형 측정가능 범위를 탄성 영역까지 확대시킬 수 있다.
- [0016] 또한, 상기 제어부는, 상기 복수의 카메라로 촬영된 두 변형 이미지 내 동일한 패턴(P)을 인식하기 위해 부분집합 반경(Subset Radius)을 설정하고, 상기 부분집합 반경으로 설정된 원형 내 패턴(P) 간 대조를 통해 동일 패턴(P)을 인식하여 동일 측정 영역 2D 변위 데이터 및 변형 분포를 도출할 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 제어부는, 상기 3D 변위 데이터를 토대로 각 좌표 별 변형 데이터 후처리를 통해 분포에 대한 변형 수치와 이에 대응하는 3축 좌표를 매칭하여 3D 변형 분포를 도출하는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 또한, 상기 제어부는, 상기 구조물의 3D 변형 분포를 토대로 상위 특정 비율의 변형 분포를 파악하여 응력이 집중되는 취약부를 도출하는 것을 특징으로 한다.
- [0019] 한편, 본 발명이 일 측면에 따른, DIC(Digital Image Correlation)를 활용하는 변형 분석 장치가 다량의 패턴이 마킹된 구조물의 변형을 분석하는 방법은, a) 복수의 카메라를 이용하여 서로 다른 각도에서 구조물의 측정 영역에 마킹된 다량의 패턴을 촬영하여 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하는 단계; b) 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 DIC 영역을 설정하여 각 카메라에서의 구조물 2D 변위 데이터를 도출하는 단계; c) 사전에 도출된 카메라 왜곡 보정 데이터, 3D 변환 파라미터와 상기 구조물 2D 변위 데이터를 DIC 분석에 적용하여 상기 구조물의 3D 변위 데이터를 도출하는 단계; 및 d)상기 3D 변위 데이터를 사용하여 구조물의 3D 변형 분

포를 도출하는 단계;를 포함한다.

[0020] 또한, 상기 a) 단계 이전에, 체크 보드(Check Board)를 이용하여 상기 카메라 왜곡 보정 데이터를 도출하는 단계; 상기 구조물을 기준으로 서로 다른 각도에 제1 카메라와 제2 카메라를 세팅하고 3D 기준 좌표계를 설정하는 단계; 및 캘리브레이션 오브젝트(Calibration Object)를 이용하여 상기 3D 변환 파라미터(Parameter)를 도출하는 단계;를 더 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 d) 단계는, 상기 3D 변위 데이터를 토대로 각 좌표 별 변형 데이터 후처리를 통해 분포에 대한 변형 수치와 이에 대응하는 3축 좌표를 매칭하여 3D 변형 분포를 도출하는 단계를 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 d) 단계는, 상기 3D 변형 분포를 바탕으로 상기 구조물의 상위 특정 비율의 변형 분포를 파악하여 응력이 집중되는 취약부를 도출하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명의 실시예에 따르면, 복수의 카메라를 이용하여 구조물의 변형 전과 후 이미지 간 상관관계를 각 픽셀의 명암값 간 수학적 계산을 통해 분석 및 비교하여 구조물 전체 영역 내 3D 변형 분포를 도출할 수 있는 효과가 있다.

[0024] 또한, DIC 측정 및 분석에 영향을 미치는 영향인자들을 사전에 파악하고 최적화하는 전처리 과정을 통해 탄생 영역 내 존재하는 작은(미세) 변형을 정밀하게 측정할 수 있으며, 이를 통해 신뢰성이 높은 구조물 분석 결과를 제공할 수 있는 효과가 있다.

[0025] 그리고, 신뢰성 높은 구조물 분석을 통해 제품 개발 단계나 품질 평가 단계에서 구조물의 소재의 변형 및 물성 등을 비파괴적으로 도출할 수 있으며, 종래에 변형 실측이 어려운 대규모(Large Scale) 및 다양한 구조의 구조물 전체의 변형을 계측할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 시스템을 개략적으로 나타낸다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 DIC 정확도 향상을 위한 물리형 패턴 도장기의 구성을 타낸다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 DIC 정확도 향상을 위한 최적 조건을 정의하여 나타낸다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법의 단계별 참조 도면을 나타낸다.

도 6은 본 발명의 제1 실시예에 따른 인장 시험을 통한 변위 분포 도출 결과를 나타낸다.

도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 충격 시험을 통한 변위 분포 도출 결과를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 아래에서는 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0028] 여기에서 사용되는 용어는 오직 특정 실시예들을 설명하기 위한 목적이고, 본 발명을 제한하는 것으로 의도되지 않는다. 여기에서 사용되는 바와 같이, 단수 형태들은, 문맥상 명시적으로 달리 표시되지 않는 한, 복수 형태들을 또한 포함하는 것으로 의도된다. "포함하다" 및/또는 "포함하는"이라는 용어는, 본 명세서에서 사용되는 경우, 언급된 특징들, 정수들, 단계들, 작동들, 구성 요소들 및/또는 컴포넌트들의 존재를 특정하지만, 다른 특징들, 정수들, 단계들, 작동들, 구성 요소들, 컴포넌트들 및/또는 이들의 그룹들 중 하나 이상의 존재 또는 추가를 배제하지는 않음을 또한 이해될 것이다. 여기에서 사용되는 바와 같이, 용어 "및/또는"은, 연관되어 나열된 항목들 중 임의의 하나 또는 모든 조합들을 포함한다.

[0029] 명세서 전체에서, 제1, 제2, A, B, (a), (b) 등의 용어는 다양한 구성 요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성 요소들은 상기 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 이러한 용어는 그 구성 요소를 다른 구성 요소와 구별하기 위한 것일 뿐, 그 용어에 의해 해당 구성 요소의 본질이나 차례 또는 순서 등이 한정되지 않는다.

[0030] 명세서 전체에서, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 '연결된다'거나 '접속된다'고 언급되는 때에는, 그 다른

구성 요소에 직접적으로 연결되어 있거나 또는 접속되어 있을 수도 있지만, 중간에 다른 구성 요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다. 반면에, 어떤 구성 요소가 다른 구성 요소에 '직접 연결된다'거나 '직접 접속된다'고 언급되는 때에는, 중간에 다른 구성 요소가 존재하지 아니하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

- [0031] 명세서 전체에서, 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 본 발명을 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0032] 추가적으로, 아래의 방법들 또는 이들의 양상들 중 하나 이상은 적어도 하나 이상의 제어부에 의해 실행될 수 있음이 이해된다. "제어부"라는 용어는 메모리 및 프로세서를 포함하는 하드웨어 장치를 지칭할 수 있다. 메모리는 프로그램 명령들을 저장하도록 구성되고, 프로세서는 아래에서 더욱 자세히 설명되는 하나 이상의 프로세스들을 수행하기 위해 프로그램 명령들을 실행하도록 특별히 프로그래밍 된다. 제어부는, 여기에서 기재된 바와 같이, 유닛들, 모듈들, 부품들, 장치들, 또는 이와 유사한 것의 작동을 제어할 수 있다. 또한, 아래의 방법들은, 당업자에 의해 인식되는 바와 같이, 하나 이상의 다른 컴포넌트들과 함께 제어부를 포함하는 장치에 의해 실행될 수 있음이 이해된다.
- [0033] 이제 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 시스템 및 그 방법에 대하여 도면을 참조로 하여 상세하게 설명한다.
- [0034] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 시스템을 개략적으로 나타낸다.
- [0035] 도 1을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 시스템(100)은 분석 대상 구조물(10)의 표면에 DIC(Digital Image Correlation) 측정에 필요한 기하학적 패턴(Pattern, P)을 찍어 마킹(표시) 하는 롤러형 패턴 도장기(110), 서로 다른 각도에서 구조물(10)의 측정 영역에 마킹된 다량(다수)의 패턴을 촬영하는 복수의 카메라(121, 122), 및 상기 구조물(10)의 변형 시 복수의 카메라(121, 122)를 통해 동시간에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출하여 DIC를 활용한 2D 변위 데이터 분석을 통해 구조물(10)의 3D 변위 데이터를 획득하고 최종적으로 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 구조물(10)의 3D 변형(Strain) 분포를 도출하는 변형 분석 장치(130)를 포함한다.
- [0036] 구조물(10)은 특정 재질과 사이즈 규격(길이, 두께, 면적 등)의 테스트 시편, 공장내 사용 부품류, 기계 설비 및 시설물 등의 크고 작은 모든 사물을 포함한다.
- [0037] 이하, 구조물(10)은 인장 시험을 위해 V자형으로 제작된 제1 구조물(10a)과 측면부 충격시험을 위해 바닥에 수직으로 고정된 제2 구조물(10b)을 포함하는 것으로 설명하도록 한다.
- [0038] 변형 분석 장치(130)에 적용된 DIC는 구조물(10)의 변형 시 변형 전후의 이미지(이하, 변형 이미지라 명명함)를 촬영하여 전체 또는 일부의 변위 및 변형(Strain)을 측정할 수 있다. 이 때, 롤러형 패턴 도장기(110)를 통해 마킹되는 상기 패턴(P)은 구조물(10)의 탄성 영역(탄성 구간)을 포함한 미세한 변형 상태를 측정하기 위한 별 모양의 마커(Marker) 형상을 갖는다.
- [0039] 예컨대, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 DIC 정확도 향상을 위한 롤러형 패턴 도장기의 구성을 타낸다.
- [0040] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 롤러형 패턴 도장기(110)는,
- [0041] 나란하게 제1 회전축(111a)과 제2 회전축(112a)을 형성하는 롤러 프레임(113), 및 상기 제1 회전축(111a)과 제2 회전축(112b)에 각각 회전 가능하게 장착되는 잉크 롤러(111b)와 패턴 도장 롤러(112b)를 포함한다.
- [0042] 패턴 도장 롤러(112b)는 원통형 외주면에 원형을 중심으로 8개의 방사형 라인을 포함하는 별(Star) 형상의 양각 패턴(114)을 다량으로 불규칙하게 형성하고 있다. 따라서, 롤러형 패턴 도장기(110)가 구조물(10)의 표면을 마킹 시 회전하는 패턴 도장 롤러(112b)는 잉크 롤러(111b)로부터 묻혀진 잉크를 다량의 양각 패턴(P)을 통해 구조물(P)에 찍어 DIC 분석용 패턴을 마킹(Marking)할 수 있다.
- [0043] 이러한, 롤러형 패턴 도장기(110)는 최적의 패턴(P) 형태를 구조물(10)의 표면에 불규칙적으로 마킹 함으로써 DIC 분석 결과의 정확도를 향상시킬 수 있다. 또한, 롤러형 패턴 도장기(110)는 실제 구조물 크기의 1/200 비율로 패턴(P)을 설계하여 크기가 상이하거나 다양한 형상 구조를 가진 대규모(Large Scale) 구조물(10)에 대한 DIC를 적용할 수 있다.
- [0044] 또한, 롤러형 패턴 도장기(110)는 각 양각 패턴(114)을 임의 간격으로 배치하고 각도를 미세하게 조정 설계하여 구조물(10)의 측정 영역 내에서 서로 상이한 패턴(P)을 인식 가능하게 (Patterning)할 수 있다.

- [0045] 또한, 롤러형 패턴 도장기(110)는 롤러형 도장을 통해 구조물 측정 영역의 패턴닝 시간을 최소화할 수 있으며, 패턴(P) 사이즈(길이와 두께)의 정의를 통해 DIC 분석 시 구조물(10)의 응력집중부 분포를 도출 가능하게 한다.
- [0046] 복수의 카메라(121, 122)는 구조물(10)을 기준으로 좌측과 우측에 배치된 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)를 포함하며, 동일한 시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 제어부(133)로 전달한다. 여기서, 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)는 서로 다른 각도에서 동기된 동작으로 시계열 영상을 촬영할 수 있으며 이는 구조물에 대한 3D 변형 이미지측정 및 분석이 가능한 것으로 이해할 수 있다.
- [0047] 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)는 구조물(10)의 탄성 영역에 마킹된 패턴(P)의 미세한 변형을 측정 가능한 고해상도(ex: $8688 \times 5792 = 5032$ 만 Pixel) 변형 이미지 촬영이 가능하여 3D DIC 측정을 지원할 수 있다.
- [0048] 변형 분석 장치(130)는 본 발명의 실시예에 따른 구조물(10)의 3차원 변형(3D Strain) 분포 도출 방법을 제공하는 컴퓨팅 시스템이다.
- [0049] 변형 분석 장치(130)는 이미지 추출부(131), 데이터베이스(DB)(132), 및 제어부(133)를 포함한다.
- [0050] 이미지 추출부(131)는 외부 기기와 연결되는 인터페이스이며, 상기 복수의 카메라(121, 122)와 연결되어 시간의 흐름에 따른 구조물을 촬영하고 그에 따른 이미지를 추출한다. 이미지 추출부(131)는 복수의 카메라(121, 122)의 동기된 동작으로 원격 조작하는 리모콘 스위치를 포함할 수 있다.
- [0051] 이미지 추출부(131)는 구조물(10)의 변형 시 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)에서 동시간대에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 수집하여 제어부(133)로 전달할 수 있다.
- [0052] DB(132)는 본 발명의 실시예에 따른 변형 분석 장치(130)의 운용을 위한 적어도 하나의 프로그램, 데이터 및 설정 정보를 저장하고, 그 시스템 운용에 따라 생성되는 데이터를 저장할 수 있다.
- [0053] 예컨대, DB(132)는 구조물 분석에 필요한 DIC 소프트웨어(Software)를 저장하고, 이를 기반으로 하는 구조물의 3D 스트레인(Strain) 분포 도출 알고리즘을 저장한다. 또한, DB(132)는 상기 구조물의 3D 스트레인 분포 도출 알고리즘에 따라 도출된 구조물(10)의 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 대한 2D 변위 데이터와 3D 변위 데이터를 DB화하여 저장할 수 있다.
- [0054] 제어부(133)는 본 발명의 실시예에 따른 변형 분석 장치(130)의 전반적인 동작을 제어하는 중앙 처리 장치이다.
- [0055] 제어부(133)는 이미지 추출부(131)로부터 복수의 카메라(121, 122)에서 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 수신하면 DIC를 활용하여 구조물(10)의 탄성 영역을 포함하는 측정 영역 내 변형(Strain)을 계산하고, 3D 변형 데이터와 분포를 도출한다. 또한, 제어부(133)는 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 토대로 각 픽셀의 명암값을 수학적 계산을 통해 변형 전후의 이미지 간 상관관계를 분석 및 비교하여 구조물의 측정 영역 내 변형을 계산하고 컨투어(Contour)화 할 수 있다.
- [0056] 이를 위해, 제어부(133)는 사전에 DIC 기술에 영향을 미치는 영향인자들을 파악하여 최적화하는 전처리과정을 통해 탄성 영역 내 존재하는 작은/미세 변형까지도 측정가능한 환경을 설정할 수 있다.
- [0057] 예컨대, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 DIC 정확도 향상을 위한 최적 조건을 정의하여 나타낸다.
- [0058] 도 3을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 구조물(10)의 탄성 영역을 포함하여 Strain 측정 범위 향상을 위한 DIC 조건(Pattern Density, Shape, Size/DIC Parameter/카메라 Setting)을 실험을 통해 정의하여 보여준다.
- [0059] 구조물(10)의 탄성 영역 내 변형까지 계측하기 위해서는 사전에 DIC 측정에 영향을 미치는 요소들을 파악하고 이를 최적화하는 전처리과정이 필요하다.
- [0060] 따라서, 제어부(133)는 아래에 언급된 전처리과정을 통해 최적 조건을 정의하여 DIC의 분석 신뢰성을 확보한다.
- [0061] 제어부(133)는 구조물(10)에 마킹된 패턴(P)이 측정 영역 내 차지하는 비율(Density, ex: 40% ~ 60%), 패턴 형상, 크기(Size, 1/200)를 정의한다. 이를 통해 DIC 소프트웨어를 활용한 패턴(P) 인식을 원활하게 하고 구조물의 변형 측정가능 범위를 탄성 영역까지 확대시켜 높은 정확도의 변형 분포를 도출할 수 있다.
- [0062] 제어부(133)는 복수의 카메라(121, 122)로 촬영된 두 이미지 내 동일한 패턴(P)을 인식하기 위해 부분집합 반경(Subset Radius)을 설정한다. 그리고, 부분집합 반경으로 설정된 원형 내 패턴(P) 간 대조를 통해 동일 패턴(P)을 인식하고, 이를 통해 동일 2D 측정영역 내 변위(이하, "2D 변위 데이터"라 명명함) 및 변형 분포를 도출할 수 있다.

- [0063] 한편, DIC의 경우 이미지내 각 픽셀(Pixel)의 명암값을 통해 변형을 계산하기 때문에 정확도가 높은 DIC 기법을 위해서는 정밀하게 촬영된 이미지가 필요하다. 그러므로, 이미지 내 최대한 많은 픽셀을 확보하기 위해 측정 대상의 비율을 최대한 높게 설정하고 고해상도의 카메라(121, 122)를 활용하여 촬영한다. 여기서, 카메라(121, 122)의 촬영 환경에 따른 조명(명암)이 DIC 분석 성능에 영향을 주기 때문에, 각 환경 별 카메라(121, 122)의 조리개 값(F)/ISO(International Standard Organization)의 민감도(ex: 250)를 낮게 최적화하여 선명한 이미지를 획득한다. 또한, 이미지를 통해서 계측하고자 하는 변형 이외의 다른 흔들림이나 노이즈를 제거하기 위하여 리모콘 스위치를 활용한 원격 촬영을 수행할 수 있다.
- [0064] 이상의 설명에 따른 제어부(133)는 설정된 프로그램에 의하여 동작하는 하나 이상의 프로세서로 구현될 수 있으며, 상기 설정된 프로그램은 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법의 각 단계를 수행하도록 프로그램된 것일 수 있다.
- [0065] 이러한 구조물 변형 분석 방법은 아래의 도면을 참조하여 더욱 구체적으로 설명하기로 한다.
- [0066] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법을 개략적으로 나타낸 흐름도이다.
- [0067] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법의 단계별 참조 도면을 나타낸다.
- [0068] 도 4 및 도 5를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 구조물 변형 분석 방법은 구조물 변형 분석을 위한 사전 전처리 작업으로 체크 보드(Check Board)를 이용한 카메라 왜곡 보정 데이터를 도출하는 단계(S1), DIC 측정을 위한 구조물(10)을 기준으로 복수의 카메라(121, 122)를 세팅하고 3D 기준 좌표계를 설정하는 단계(S2), 및 캘리브레이션 오브젝트(Calibration Object)를 이용한 3D 변환 파라미터(Parameter)를 도출하는 단계(S3)를 수행한다.
- [0069] 상기 카메라 왜곡 보정 데이터를 도출하는 단계(S1)에 있어서, 제어부(133)는 사전에 복수의 카메라(121, 122) 별로 체스판 모양의 패턴 정보를 갖는 체크 보드(Check Board)를 촬영하여 카메라 왜곡 정도에 상응하는 카메라 보정 데이터를 도출할 수 있다. 일반적으로 카메라는 렌즈에 의한 이미지 왜곡 현상이 발생할 수 있으며 이는 구조물 변형 측정에 영향을 줄 수 있다. 이에, 사전에 카메라 왜곡 현상을 보정하기 위하여, 제어부(133)는 구조물 변형 측정에 사용하는 복수의 카메라(121, 122)를 이용하여 다양한 각도로 상기 체크 보드를 촬영하고, 왜곡 보정 코드에 체크 보드의 패턴 정보를 입력하여 왜곡 정도를 나타내는 파라미터(Parameter)를 계산함으로써 상기 카메라 보정 데이터를 도출할 수 있다.
- [0070] 상기 복수의 카메라(121, 122)를 세팅하고 3D 기준 좌표계를 설정하는 단계(S2)는, DIC 측정에 필요한 다량의 패턴(P)이 마킹된 구조물(10)을 기준으로 서로 다른 각도에 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)를 배치할 수 있다.
- [0071] 상기 3D 변환 파라미터(Parameter)를 도출하는 단계(S3)에 있어서, 제어부(133)는 복수의 카메라(121, 122)를 이용하여 3D 좌표 측정에 필요한 기준 좌표계 입력을 위해 원통 모양의 점 패턴을 가진 상기 캘리브레이션 오브젝트를 촬영한다. 그리고, 상기 캘리브레이션 오브젝트의 점 패턴 좌표를 인식한 후, 각 카메라(121, 122)에서 촬영한 캘리브레이션 오브젝트의 좌표 열을 입력하여 복수의 카메라(121, 122) 간의 3D 변환 파라미터를 도출한다.
- [0072] 여기까지, 사전 전처리 작업을 완료한 이후에, 이하 본격적인 구조물 변형 분석을 실시한다.
- [0073] 제어부(133)는 상기 구조물(10)의 변형 시 복수의 카메라(121, 122)를 통해 동일 시간에 촬영된 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지를 추출한다(S4).
- [0074] 제어부(133)는 상기 제1 변형 이미지와 제2 변형 이미지에 DIC 영역을 설정하여 각 카메라(121, 122)에서의 구조물 2D 변위 데이터를 도출한다(S5).
- [0075] 제어부(133)는 사전에 도출된 카메라 왜곡 보정 데이터, 3D 변환 파라미터와 상기 구조물 2D 변위 데이터를 DIC 분석에 적용하여 구조물(10)의 3D 변위 데이터를 도출한다(S6). 이 때, 제어부(133)는 앞서 서로 다른 각도의 제1 카메라(121)와 제2 카메라(122)를 통해 구조물(10)을 촬영하여 3D로 변환하는 과정을 통해 각 카메라에서의 2D 변위 데이터를 3D 변위 데이터로 변환한다.
- [0076] 그리고, 제어부(133)는 최종적으로 상기 3D 변위 데이터를 사용하여 구조물(10)의 3D 변형(Strain) 분포를 도출한다(S7).
- [0077] 이 때, 제어부(133)는 상기 3D 변위 데이터를 토대로 각 좌표 별 변형 데이터 후처리를 통해 분포에 대한 변형

수치와 이에 대응하는 3축 좌표를 매칭하여 3D 변형(Strain) 분포를 도출하는 것을 특징으로 한다.

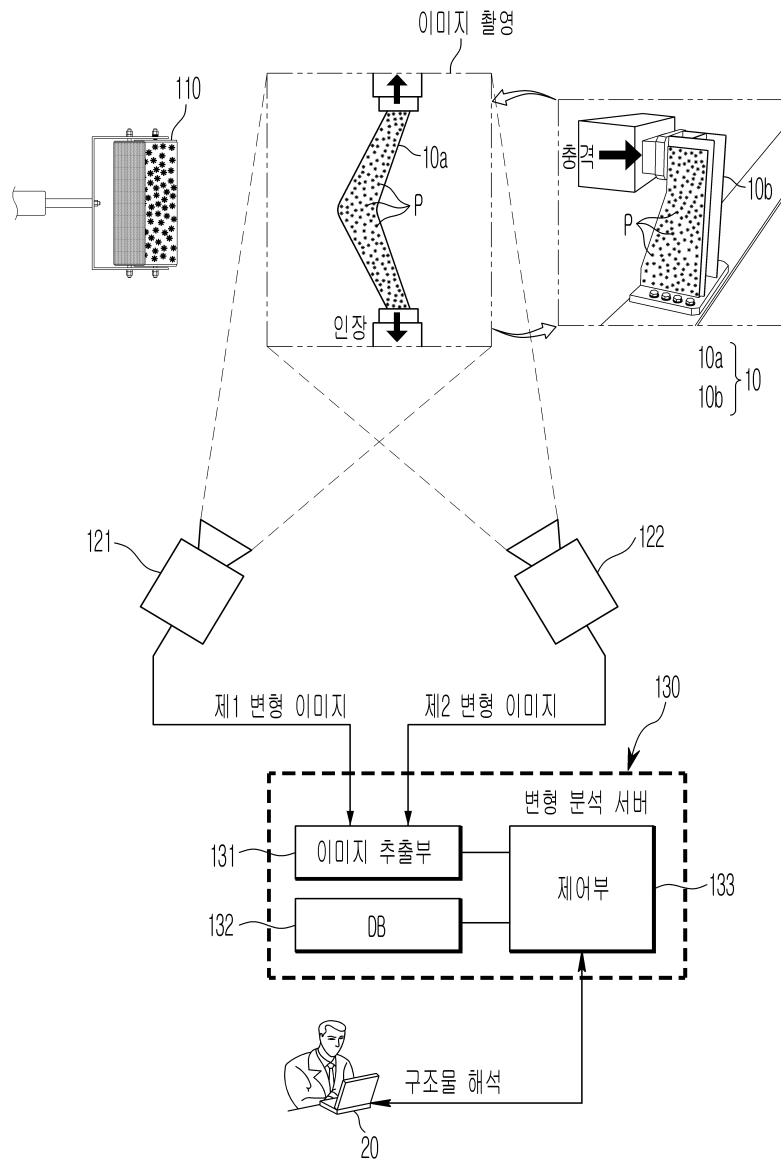
- [0078] 도 6는 본 발명의 제1 실시예에 따른 인장 시험을 통한 변위 분포 도출 결과를 나타낸다.
- [0079] 도 7은 본 발명의 제2 실시예에 따른 충격 시험을 통한 변위 분포 도출 결과를 나타낸다.
- [0080] 도 6 및 도 7을 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른, 제어부(133)는 상기 3D 변형 분포를 바탕으로 상기 구조물(10)의 상위 특정 비율(ex: 3%)의 변형 분포를 파악하여 응력이 집중되는 취약부를 도출하는 특징을 갖는다.
- [0081] 이 때, 제어부(133)는 최종 DIC를 통해 설비의 Strain 분포 형태, 전처리 후 3D 변형 데이터 형태(분포에 대한 Strain 수치 및 대응하는 3축 좌표 포함), 구조물 취약부 도출을 위한 상위 변위 분포 형태를 포함하는 구조물 분석(해석) 정보를 DB(132)에 저장한다. 그리고, 저장된 구조물 분석 정보를 유/무선 통신망으로 연결된 사용자 단말기(20)를 통해 제공할 수 있다.
- [0082] 이와 같은, 본 발명의 실시예에 따르면, 복수의 카메라를 이용하여 구조물의 변형 전과 후 이미지 간 상관관계를 각 픽셀의 명암값 간 수학적 계산을 통해 분석 및 비교하여 구조물 전체 영역 내 3D 변형 분포를 도출할 수 있는 효과가 있다.
- [0083] 또한, DIC 측정 및 분석에 영향을 미치는 영향인자들을 사전에 파악하고 최적화하는 전처리 과정을 통해 단성 영역 내 존재하는 작은(미세) 변형을 정밀하게 측정할 수 있으며, 이를 통해 신뢰성이 높은 구조물 분석 결과를 제공할 수 있는 효과가 있다.
- [0084] 그리고, 신뢰성 높은 구조물 분석을 통해 제품 개발 단계나 품질 평가 단계에서 구조물의 소재의 변형 및 물성 등을 비파괴적으로 도출할 수 있으며, 종래에 변형 실측이 어려운 대규모(Large Scale) 및 다양한 형상 구조물 전체의 변형을 해석할 수 있는 효과가 있다.
- [0085] 본 발명의 실시예는 이상에서 설명한 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한 구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는 것이다.
- [0086] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

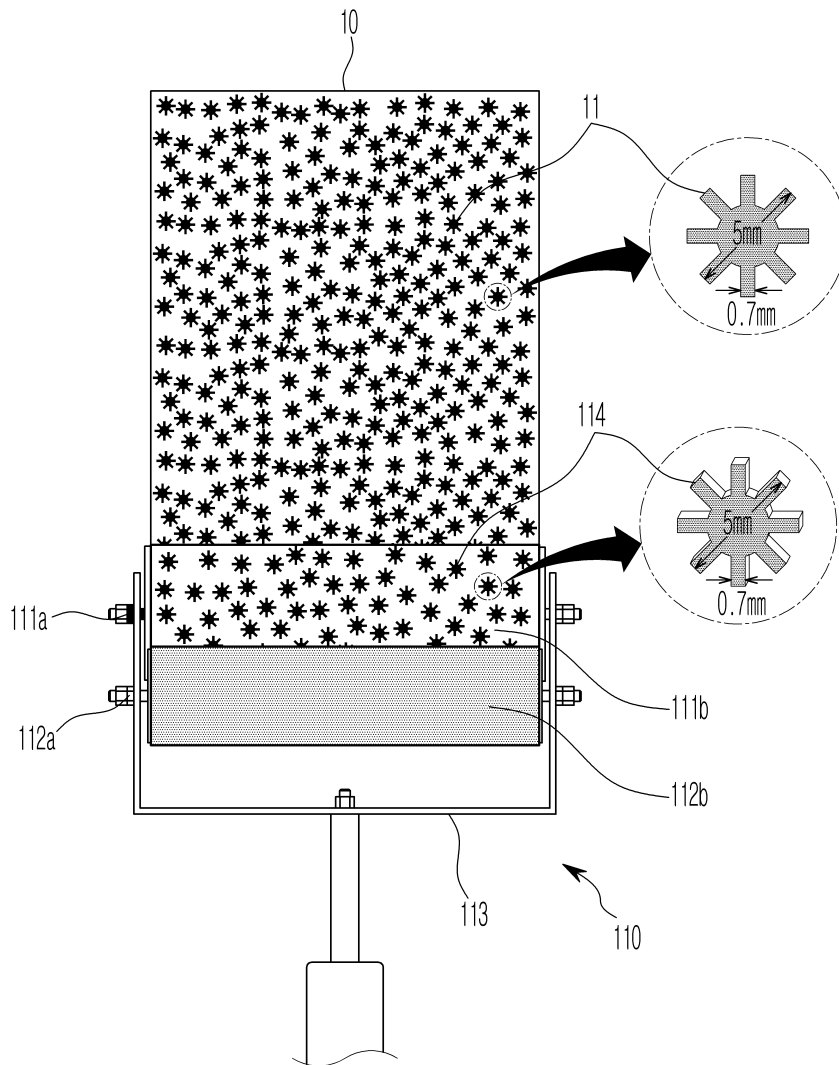
- [0087] 10: 구조물
- 20: 사용자 단말기
- 100: 구조물 변형 분석 시스템
- 110: 롤러형 패턴 도장기
- 111a, 112a: 제1 회전축, 제2 회전축
- 111b, 112b: 잉크 롤러, 패턴 도장 롤러
- 113: 롤러 프레임
- 114: 양각 패턴
- 121, 122: 제1 카메라, 제2 카메라
- 130: 변형 분석 장치
- 131: 이미지 추출부
- 132: 데이터베이스(DB)
- 133: 제어부

도면

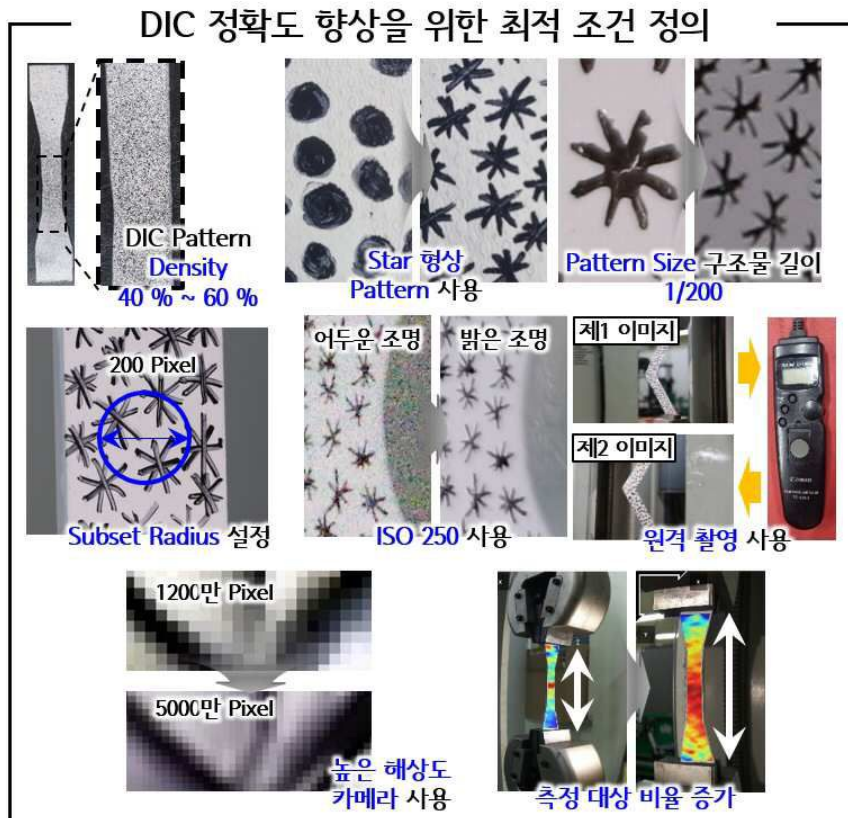
도면1



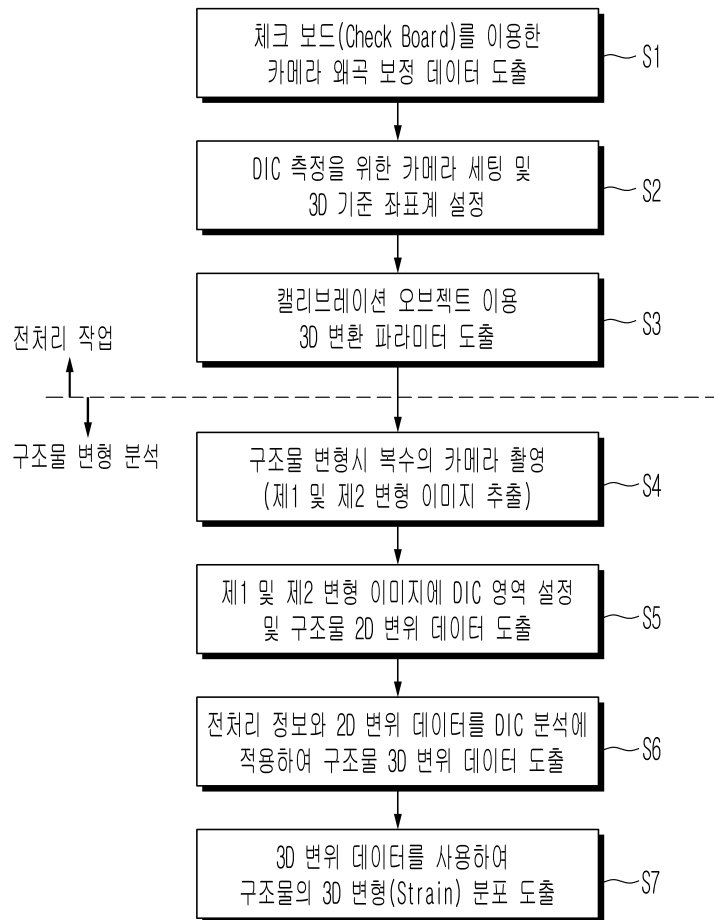
도면2



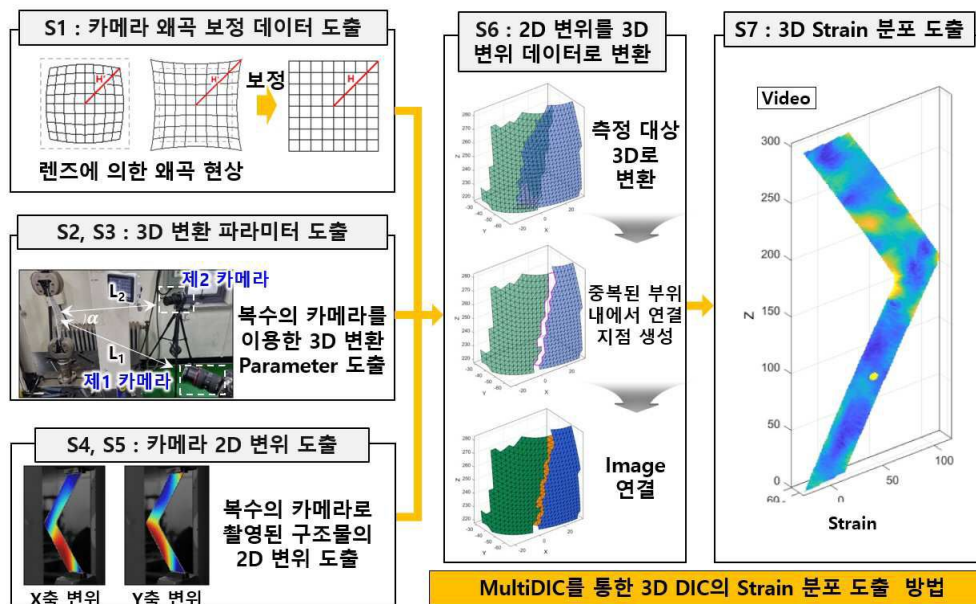
도면3



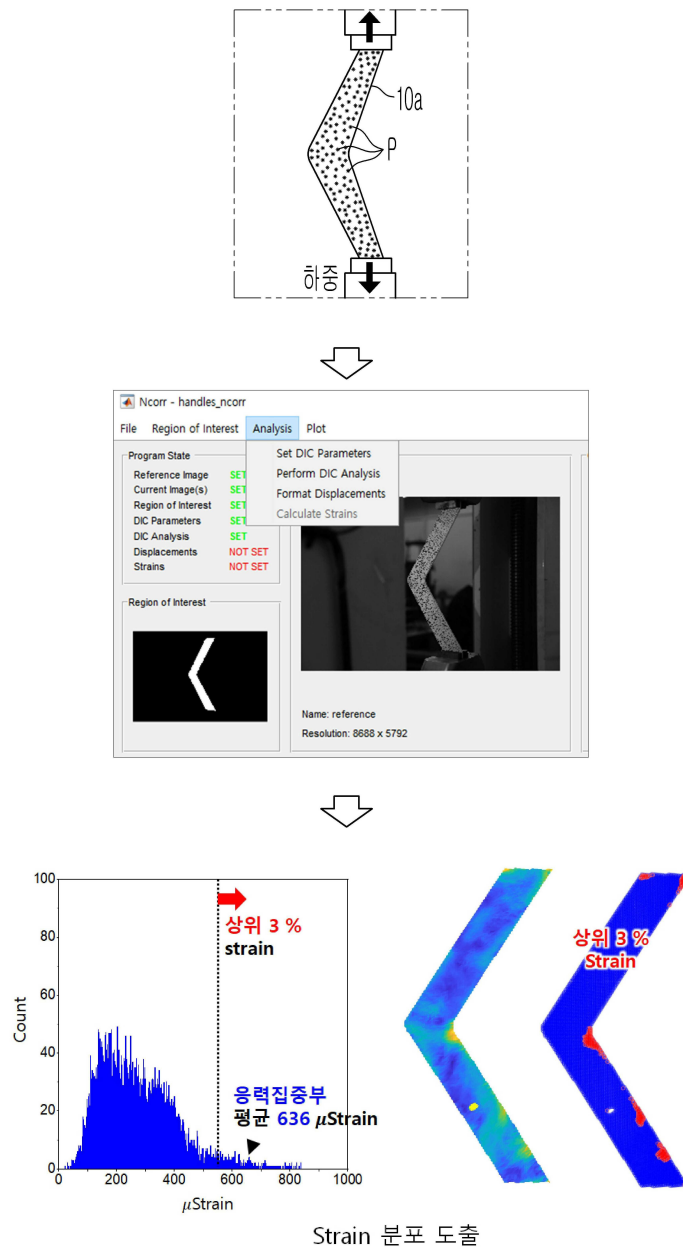
도면4



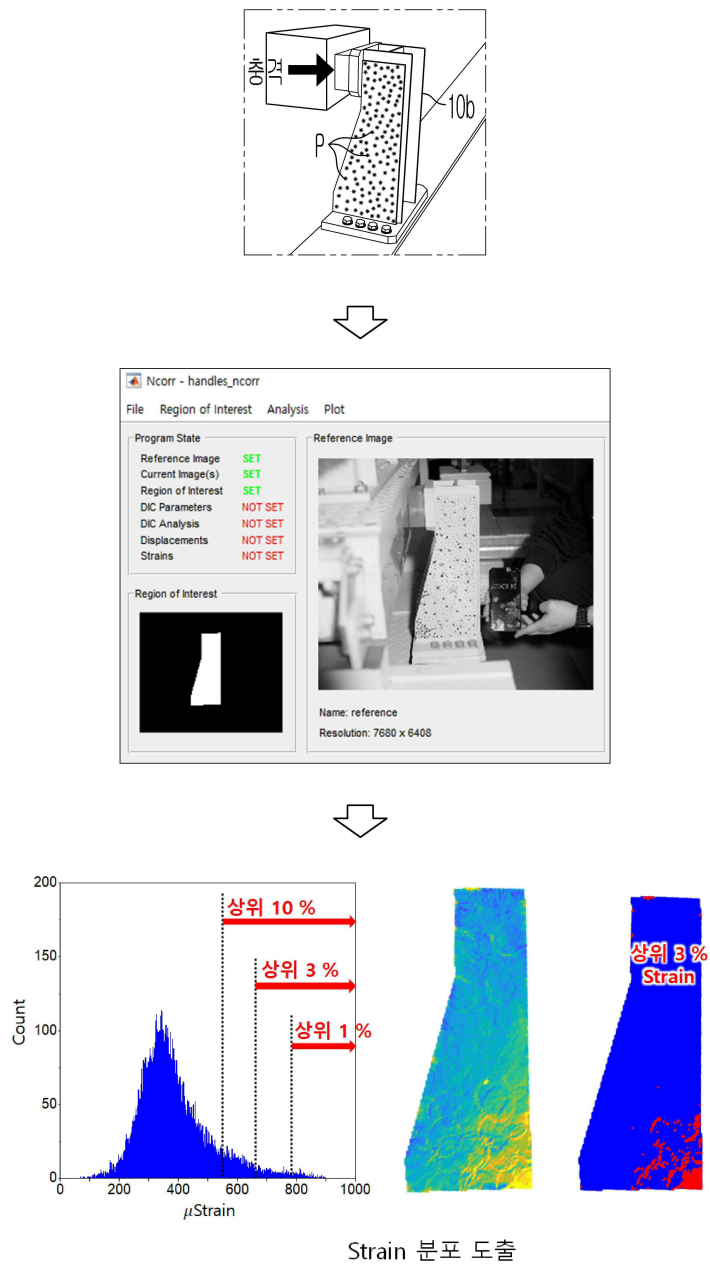
도면5



도면6



도면7



Strain 분포 도출