



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0013083
(43) 공개일자 2022년02월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 3/303 (2006.01) B29C 70/06 (2006.01)
G06N 20/00 (2019.01)
(52) CPC특허분류
G01N 3/303 (2013.01)
B29C 70/06 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0092112
(22) 출원일자 2020년07월24일
심사청구일자 2020년07월24일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
박영빈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
노형도
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이인용
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
전용준

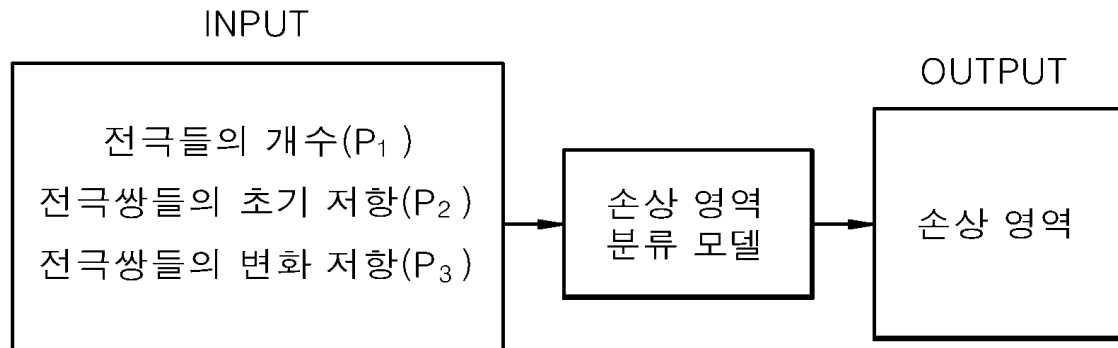
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 머신 러닝을 이용하여 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법

(57) 요약

본 발명은, 머신 러닝을 이용하여 전극들의 개수, 전극 쌍들의 초기 저항과 변화 저항에 따라 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 도출할 수 있기 때문에, 손상 위치를 보다 신속하고 정확하게 도출할 수 있는 이점이 있다. 또한, 낙하 충격시 얻어지는 다량의 빅 데이터 중에서 전극들의 개수, 전극 쌍들의 초기 저항과 변화 저항을 입력 변수로 하고, 손상 영역을 출력 변수로 하여, 손상 유형 분류 모델을 생성함으로써, 최소한의 데이터만으로 손상 영역을 도출할 수 있으므로, 손상 위치를 파악하는 데 드는 시간과 비용이 절감될 수 있을 뿐만 아니라, 손상에 따른 후속 조치도 보다 신속하게 이루어질 수 있는 이점이 있다.

대표도 - 도4



(52) CPC특허분류

G06N 20/00 (2021.08)

B29K 2105/0872 (2013.01)

B29K 2307/04 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

전도성 물질을 포함하는 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와;

상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 복합재는, 탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱으로 미리 설정된 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 손상 영역 분류 모델은,

결정 트리(Decision Tree)에 의해 상기 복수의 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 영역을 분류하는 알고리즘인 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 영역들은,

상기 복합재를 그리드 구조로 나누어 구획된 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 영역들은,

상기 복합재를 상기 복수의 전극들 중 인접하는 전극들을 연결하는 저항 경로에 따라 나누어 구획된 채널 영역들과,

상기 각 채널 영역을 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들을 포함하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 손상 영역 분류 모델은,

상기 복수의 채널 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 채널 영역을 분류하고,
상기 분류된 채널 영역에 포함된 상기 복수의 섹션 영역들은, 상기 섹션 영역과 상기 전극 쌍들과의 거리, 상기 전극 쌍들의 변화 저항의 크기에 따라 분류하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 7

청구항 5에 있어서,

상기 복수의 전극들은, 상기 복합재의 테두리로부터 내측으로 소정 간격 이격된 위치에 배치되고,

상기 영역들은,

상기 복합재의 테두리와 상기 전극들의 외측 사이를 나누어 구획된 복수의 외측 영역들을 더 포함하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 모델 생성단계에서 상기 입력 변수 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항은,

손상 발생 이전에 측정된 값과 손상이 발생한 이후에 측정된 값을 포함하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 모델 생성단계에서는,

상기 입력 변수로 상기 손상 발생 이전에 측정된 값을 입력시,

상기 손상 영역은 미리 설정된 가상 영역으로 입력하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 10

청구항 9에 있어서,

상기 복합재의 실제 사용시, 상기 전극 쌍들의 변화 저항은 미리 설정된 설정 시간 간격으로 측정된 값을 포함하고,

상기 손상 영역 도출 단계에서 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들에 포함되지 않는 가상 영역이 출력되면, 손상이 발생하지 않았음을 나타내는 메시지를 출력하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 11

청구항 1에 있어서,

상기 복수의 전극들의 개수는, 상기 전극들의 간격에 따라 설정되며,

상기 복수의 전극들은, 상기 간격만큼 서로 이격되게 배치되어 그리드 구조의 저항 경로를 형성하도록 배치된 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 12

청구항 1에 있어서,

상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘인 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 13

탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱이고, 복수의 전극들이 미리 설정된 설정 간격으로 이격되게 배치되어 저항 경로를 형성하는 복합재의 손상 영역을 분류하는 방법에 있어서,

상기 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와;

상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함하고,

상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘으로 설정된 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

청구항 14

탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱이고, 복수의 전극들이 미리 설정된 설정 간격으로 이격되게 배치되어 저항 경로를 형성하는 복합재의 손상 영역을 분류하는 방법에 있어서,

상기 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와;

상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함하고,

상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘으로 설정되고,

상기 영역들은,

상기 복합재를 상기 복수의 전극들 중 인접하는 전극들을 연결하는 저항 경로에 따라 나누어 구획된 채널 영역들과, 상기 각 채널 영역을 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들을 포함하고,

상기 손상 영역 분류 모델은,

상기 복수의 채널 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 채널 영역을 분류하고,

상기 분류된 채널 영역에 포함된 상기 복수의 섹션 영역들은, 상기 섹션 영역과 상기 전극 쌍들과의 거리, 상기 전극 쌍들의 변화 저항의 크기에 따라 분류하는 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 머신 러닝을 이용하여 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 머신 러닝을 통해 손상 영역 분류 모델을 구축하여, 전도성 섬유를 포함하는 복합재에서 손상이 발생한 영역을 분류하여 도출하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 탄소섬유강화플라스틱(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic)은 탄소섬유를 강화재로 사용하는 복합재료이다. 탄소섬유강화플라스틱은 고강도, 고강성의 경량 구조재로서 비행기, 자동차, 로봇 등 다양한 분야에 활발하게 이용되고 있다. 하지만, 탄소섬유강화플라스틱에서 미세한 파손이 발생하는 경우 물성이 급격히 저

하되는 문제점이 있다. 따라서, 탄소섬유강화플라스틱에 발생한 미세한 손상의 위치를 감지할 수 있는 기술이 요구된다.

[0003] 종래에는 구조물과 별도로 변형이나 손상을 측정할 수 있는 센서 등을 추가적으로 설치하여 검사하고자 하는 특정 부분의 검사를 실시하거나, 음향 센서 등 검사 장비를 통해 스캔 하거나, 육안 등으로 손상 여부를 판단하였다.

[0004] 본 발명과 관련된 선행특허로서 등록특허 제10-1781687호에는 전도성 복합재료 구조물의 손상 감지 장치로서, 전도성 복합재료 상면 및 배면에 각각 형성되며 서로 평행하게 배열된 복수 개의 전극 띠를 포함하는 전기저항 측정충과, 전기저항 측정충을 덮는 절연충과, 전도성 복합재료의 변형에 따라 전기용량이 변하는 전기용량 측정충으로 구성된 손상 감지충을 이용하여 전도성 복합재료 구조물의 손상 위치를 감지하는 구성이 기재되어 있다. 하지만, 이러한 선행특허의 구성은 그 복잡한 구조로 인해 실제 적용에 있어서 어려움이 따른다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제10-1781687호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명의 목적은, 머신러닝을 이용하여 복합재의 손상 위치를 보다 신속하고 정확하게 검출할 수 있는 방법을 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명에 따른 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법은, 전도성 물질을 포함하는 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와; 상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함한다.

[0008] 상기 복합재는, 탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱으로 미리 설정된다.

[0009] 상기 손상 영역 분류 모델은, 결정 트리(Decision Tree)에 의해 상기 복수의 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 영역을 분류한다.

[0010] 상기 영역들은, 상기 복합재를 그리드 구조로 나누어 구획된다.

[0011] 상기 영역들은, 상기 복합재를 상기 복수의 전극들 중 인접하는 전극들을 연결하는 저항 경로에 따라 나누어 구획된 채널 영역들과, 상기 각 채널 영역을 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들을 포함한다.

[0012] 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 복수의 채널 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 채널 영역을 분류하고, 상기 분류된 채널 영역에 포함된 상기 복수의 섹션 영역들은, 상기 섹션 영역과 상기 전극 쌍들과의 거리, 상기 전극 쌍들의 변화 저항의 크기에 따라 분류한다.

[0013] 상기 복수의 전극들은, 상기 복합재의 테두리로부터 내측으로 소정 간격 이격된 위치에 배치되고, 상기 영역들은, 상기 복합재의 테두리와 상기 전극들의 외측 사이를 나누어 구획된 복수의 외측 영역들을 더 포함한다.

[0014] 상기 모델 생성단계에서 상기 입력 변수 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항은, 손상 발생 이전에 측정된 값과 손상이 발생된 이후에 측정된 값을 포함한다.

- [0015] 상기 모델 생성단계에서는, 상기 입력 변수로 상기 손상 발생 이전에 측정된 값을 입력시, 상기 손상 영역은 미리 설정된 가상 영역으로 입력한다.
- [0016] 상기 복합재의 실제 사용시, 상기 전극 쌍들의 변화 저항은 미리 설정된 설정 시간 간격으로 측정된 값을 포함하고, 상기 손상 영역 도출 단계에서 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들에 포함되지 않는 가상 영역이 출력되면, 손상이 발생하지 않았음을 나타내는 메시지를 출력한다.
- [0017] 상기 복수의 전극들의 개수는, 상기 전극들의 간격에 따라 설정되며, 상기 복수의 전극들은, 상기 간격만큼 서로 이격되게 배치되어 그리드 구조의 저항 경로를 형성하도록 배치된다.
- [0018] 상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘이다.
- [0019] 본 발명의 다른 측면에 따른 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법은, 탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱이고, 복수의 전극들이 미리 설정된 설정 간격으로 이격되게 배치되어 저항 경로를 형성하는 복합재의 손상 영역을 분류하는 방법에 있어서, 상기 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와; 상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함하고, 상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘으로 설정된다.
- [0020] 본 발명의 또 다른 측면에 따른 머신 러닝을 이용한 복합재의 손상 영역을 검출하는 방법은, 탄소섬유를 포함하는 탄소섬유강화플라스틱이고, 복수의 전극들이 미리 설정된 설정 간격으로 이격되게 배치되어 저항 경로를 형성하는 복합재의 손상 영역을 분류하는 방법에 있어서, 상기 복합재에 대한 외력 인가 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중에서 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항, 상기 외력 인가 후 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 입력 변수로 하고, 상기 복합재를 미리 구획하여 설정한 복수의 영역들 중에서 상기 외력 인가시 손상이 발생된 손상 영역을 출력 변수로 하여 머신 러닝을 수행하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 따라 상기 복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성하는 모델 생성단계와; 상기 복합재의 실제 사용시, 상기 복합재에 설치된 전극들의 개수, 상기 전극들이 이루는 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항을 포함한 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력하여, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 복수의 영역들 중에서 손상이 발생된 손상 영역을 도출하는 손상 영역 도출 단계를 포함하고, 상기 외력은, 상기 복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘으로 설정되고, 상기 영역들은, 상기 복합재를 상기 복수의 전극들 중 인접하는 전극들을 연결하는 저항 경로에 따라 나누어 구획된 채널 영역들과, 상기 각 채널 영역을 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들을 포함하고, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 복수의 채널 영역들 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 채널 영역을 분류하고, 상기 분류된 채널 영역에 포함된 상기 복수의 섹션 영역들은, 상기 섹션 영역과 상기 전극 쌍들과의 거리, 상기 전극 쌍들의 변화 저항의 크기에 따라 분류한다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명은, 머신 러닝을 이용하여 전극들의 개수, 전극 쌍들의 초기 저항과 변화 저항에 따라 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 도출할 수 있기 때문에, 손상 위치를 보다 신속하고 정확하게 도출할 수 있는 이점이 있다.
- [0022] 또한, 낙하 충격시 얻어지는 다량의 빅 데이터 중에서 전극들의 개수, 전극 쌍들의 초기 저항과 변화 저항을 입력 변수로 하고, 손상 영역을 출력 변수로 하여, 손상 유형 분류 모델을 생성함으로써, 최소한의 데이터만으로 손상 영역을 도출할 수 있으므로, 손상 위치를 파악하는 데 드는 시간과 비용이 절감될 수 있을 뿐만 아니라, 손상에 따른 후속 조치도 보다 신속하게 이루어질 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도

면이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 머신러닝을 이용하여 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하는 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 머신 러닝하여 손상 영역 분류 모델을 생성하는 방법을 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 4는 도 3에서 생성된 손상 영역 분류 모델을 이용하여, 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하고 도출하는 방법을 개략적으로 나타낸 블록도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에서 제91외측 영역에 손상이 발생한 경우 손상 영역을 도출하는 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0024] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0025] 본 발명의 실시예에서 머신 러닝을 수행하고, 머신 러닝을 통해 구축된 손상 유형 분류 모델로부터 복합재의 손상 유형을 분류하고 도출하는 주체는 컴퓨터(미도시)인 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0026] 상기 복합재는 전도성 물질을 포함하는 전도성 복합재이다. 상기 전도성 물질은, 탄소섬유, 탄소나노튜브, 그래핀을 포함한다.
- [0027] 본 실시예에서는 상기 전도성 물질은 탄소섬유이고, 상기 복합재는 복수의 탄소섬유 플라이들이 적층되어 형성된 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)으로 설정된 것으로 예를 들어 설명한다. 이하, 상기 복합재는 탄소섬유강화복합재로 칭하기로 한다.
- [0028] 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 복합재는 상기 탄소섬유 외에 아라미드 섬유 등 다른 섬유를 더 포함하는 것도 물론 가능하다.
- [0029] 머신 러닝을 위한 학습 데이터에서 상기 탄소섬유 플라이들의 개수, 상기 탄소섬유의 배열 방향, 상기 탄소섬유의 길이, 상기 탄소섬유의 직경 및 수지의 종류를 포함한 섬유 조건은 미리 동일하게 설정된 것으로 예를 들어 설명한다.
- [0030] 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 탄소섬유 플라이들의 개수, 상기 탄소섬유의 배열 방향, 상기 탄소섬유의 길이, 상기 탄소섬유의 직경 및 수지의 종류 중 적어도 하나를 머신 러닝을 위한 학습 데이터의 입력 변수로 사용하는 것도 물론 가능하다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0032] 도 1을 참조하면, 상기 탄소섬유강화복합재(10)는 복수의 전극들(11)이 적어도 하나 이상의 쌍을 이루도록 구비되어, 상기 복수의 전극 쌍들로부터 저항 변화를 측정하여 상기 복합재의 변형을 감지할 수 있는 셀프 센싱이 가능한 복합재 센서이다.
- [0033] 상기 전극들(11)의 개수는 상기 전극들(11)이 서로 이격되는 간격에 따라 달라진다. 상기 전극들(11)은 미리 설정된 간격만큼 이격되게 배치되어 그리드 구조의 저항 경로를 형성하도록 배치된다. 머신 러닝을 위한 학습 데이터에서 상기 전극들(11)의 개수는 동일하게 설정된다. 상기 전극들(11)의 개수에 따라 후술하는 손상 영역 분류 모델의 민감도가 조절될 수 있다.
- [0034] 본 실시예에서는, 상기 전극들(11)은, 총 9개(E1~E9)인 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 9개의 전극들(E1~E9)의 크기나 형상은 다양하게 적용가능하다.
- [0035] 상기 탄소섬유강화복합재(10)는, 복수의 영역들(C)로 미리 구획되어 설정된다.

- [0036] 상기 복수의 영역들(C)은, 그리드 구조로 나누어 설정되고, 각 영역의 크기는 동일하게 설정된다. 상기 영역들(C)에는 각각 번호가 부여된다. 상기 복수의 영역들(C)의 크기나 개수에 따라 후술하는 손상 영역 분류 모델의 민감도가 조절될 수 있다.
- [0037] 상기 복수의 영역들(C)은, 상기 복수의 전극들(11) 중 인접하는 전극들을 연결하는 저항 경로들로 나누어 구획된 채널 영역들(C12~C89)과, 상기 채널 영역들(C12~C89)마다 각각 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들(S1~S9)을 포함한다.
- [0038] 상기 채널 영역들(C12~C89)은, 인접하는 두개의 전극들, 즉 전극 쌍 사이의 영역이다. 즉, 상기 채널 영역들(C12~C89) 중에서 제12채널 영역(C12)은, 제1전극(E1)과 제2전극(E2)이 이루는 전극 쌍(E1-E2)사이의 영역이며, 제14채널 영역(C14)은, 제1전극(E1)과 제4전극(E4)이 이루는 전극 쌍(E1-E4)사이의 영역이며, 제23채널 영역(C23)은, 제2전극(E2)과 제3전극(E3)이 이루는 전극 쌍(E2-E3)사이의 영역이고, 제25채널 영역(C25)은, 제2전극(E2)과 제5전극(E5)이 이루는 전극 쌍(E2-E5)사이의 영역이고, 제36채널 영역(C36)은, 제3전극(E3)과 제6전극(E6)이 이루는 전극 쌍(E3-E6)사이의 영역이다. 나머지 채널 영역들도 동일한 방법으로 번호가 부여된다. 여기서, 상기 제1전극(E1)과 상기 제5전극(E5)사이의 영역은, 상기 제2전극(E2)과 상기 제4전극(E4)사이의 영역과 동일한 영역이므로, 중복 영역의 경우 하나의 영역으로만 인식된다.
- [0039] 본 실시예에서는, 상기 전극들(11)이 상기 탄소섬유강화복합재(10)의 테두리로부터 내측으로 소정간격 이격된 위치에 배치되고, 상기 채널 영역들(C12~C89)은 두 개의 전극들 사이의 영역인 것으로 예를 들어 설명하였으나, 이에 한정되지 않고, 상기 탄소섬유강화복합재(10)의 테두리와 상기 전극사이의 영역도 구획하여 상기 채널 영역에 포함시키는 것도 물론 가능하다.
- [0040] 상기 섹션 영역들(S1~S9)은, 상기 각 채널 영역을 등분하여 구획된 세부 영역이다. 상기 채널 영역마다 총 9개의 섹션 영역들(S1~S9)을 포함하는 것으로 예를 들어 설명한다. 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 섹션 영역들(S1~S9)의 개수나 크기는 다양하게 적용가능하다.
- [0041] 상기와 같이 구성된 본 발명의 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하는 방법에 대해 설명하면 다음과 같다.
- [0042] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 머신러닝을 이용하여 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하는 방법을 나타낸 순서도이다. 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 머신 러닝하여 손상 영역 분류 모델을 생성하는 방법을 개략적으로 나타낸 블록도이다.
- [0043] 도 2를 참조하면, 본 발명의 실시예에 따른 머신 러닝을 이용하여 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하여 도출하는 방법은, 모델 생성단계(S1), 손상 영역 도출단계(S2,S3)를 포함한다.
- [0044] 도 3을 참조하면, 상기 모델 생성단계(S1)에서는, 상기 탄소섬유강화복합재에 외력을 인가하는 실험 또는 시뮬레이션을 통해 얻어진 학습 데이터 중 적어도 일부를 이용하여 머신 러닝하여, 상기 외력 인가시 상기 탄소섬유강화복합재에 발생된 손상 영역을 도출하기 위한 손상 영역 분류 모델을 생성한다.
- [0045] 상기 외력은, 기설정된 탄소섬유강화복합재에 낙하 물체가 낙하 충격시 가해지는 힘인 것으로 예를 들어 설명한다. 상기 학습 데이터는 상기 탄소섬유강화복합재에 대해 낙하 충격 실험을 통해 얻어진 빅데이터 중 일부인 것으로 예를 들어 설명한다. 다만, 이에 한정되지 않고, 상기 실험 또는 시뮬레이션은 외력을 인가하는 시험 이외에도 탄소섬유강화복합재의 성능을 평가할 수 있는 것이라면 어느 것이나 적용 가능하다.
- [0046] 상기 모델 생성단계(S1)에서 상기 머신 러닝을 위한 입력변수는, 상기 탄소섬유강화복합재에 설치된 전극들의 개수(P1), 상기 전극들이 이루는 전극쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)을 포함한다.
- [0047] 상기 초기 저항(P2)과 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)은, 상기 복수의 전극 쌍들에서 각각 측정된 저항값을 모두 포함한다.
- [0048] 상기 초기 저항(P2)은, 상기 외력 인가 이전에 상기 전극 쌍들에서 각각 측정된 전기 저항값이다.
- [0049] 상기 변화 저항(P3)은, 상기 외력 인가 후 손상이 발생되기 이전에 측정된 전기 저항값과, 손상이 발생한 이후에 측정된 전기 저항값을 포함한다.
- [0050] 상기 모델 생성단계(S1)에서 상기 머신 러닝을 위한 출력변수는, 미리 설정된 상기 복수의 영역들(C1~C9) 중에서 상기 낙하 충격시 손상이 발생된 손상 영역을 입력한다. 상기 머신 러닝을 위한 출력변수는 상기 채널 영역

과 상기 섹션 영역을 모두 포함한다.

- [0051] 상기 입력 변수로 상기 손상 발생 이후에 측정된 값을 입력하는 경우, 상기 손상 영역으로는 손상이 발생한 영역의 번호를 입력하여 학습시킨다.
- [0052] 한편, 상기 입력 변수로 상기 손상 발생 이전에 측정된 값을 입력하는 경우, 상기 손상 영역으로는 관리자가 미리 설정한 가상 영역을 입력하여 학습시킨다. 상기 가상 영역은, 상기 탄소섬유강화복합재에는 존재하지 않는 영역으로 설정된다.
- [0053] 상기 모델 생성단계(S1)에서는, 상기 입력 변수와 상기 출력 변수를 대응시켜 머신 러닝하여, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들의 초기 저항 및 변화 저항에 대응하는 손상 영역을 분류하여 도출할 수 있는 손상 영역 분류 모델을 생성한다.
- [0054] 상기 모델 생성단계(S1)에서는, 분류(Classification) 기법을 이용하여 손상 영역을 도출하는 모델을 생성한다.
- [0055] 상기 손상 영역 분류 모델은, 결정 트리(Decision Tree)에 의해 특정 조건에 대한 손상 영역을 출력한다.
- [0056] 상기 결정 트리는, 상기 학습 데이터들로부터 손상 영역을 도출하기 위해 데이터를 분류하는 바, 상기 전극들의 개수, 상기 전극 쌍들이 이루는 초기 저항, 상기 전극 쌍들의 변화 저항에 따라 분류한다.
- [0057] 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 결정 트리에 의해 상기 복수의 채널 영역들(C12~C89) 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항이 최대값인 채널 영역을 1차로 분류하고, 상기에서 분류된 채널 영역에 포함된 복수의 섹션 영역들은 인접하는 전극 쌍들과의 거리, 상기 전극 쌍들의 변화 저항의 크기에 따라 다시 분류하여, 상기 손상 영역을 추론하도록 설정된다.
- [0058] 상기 손상 영역 분류 모델에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항을 비교하기 위한 기준값(Threshold)을 조절하여, 상기 손상 영역 분류 모델의 민감도를 조절할 수 있다. 즉, 상기 채널 영역 중에서도 상기 채널 영역의 중심에서 어느 방향으로 얼마큼 이격된 위치에 손상이 발생하였는 지를 검출할 수 있다.
- [0059] 한편, 상기 섬유의 종류, 상기 탄소섬유의 배열 방향, 상기 탄소섬유의 길이, 상기 탄소섬유의 직경 및 수지의 종류를 포함한 전도성 섬유의 조건, 상기 전극의 크기에 대한 학습 조건은 동일하게 설정되어 머신 러닝을 수행한다.
- [0060] 다만, 이에 한정되지 않고 상기 학습 조건 중 일부를 변경할 경우 변경된 조건 중 적어도 일부를 상기 입력 변수로 사용하는 것도 물론 가능하다.
- [0061] 도 4는 도 3에서 생성된 손상 영역 분류 모델을 이용하여, 탄소섬유강화복합재의 손상 영역을 분류하고 도출하는 방법을 개략적으로 나타낸 블록도이다.
- [0062] 도 4를 참조하면, 상기 손상 영역 도출 단계(S2,S3)에서는, 먼저 상기 탄소섬유강화복합재를 실제 사용시 측정되거나 입력된 실전 데이터를 상기 손상 영역 분류 모델에 입력한다.(S2)
- [0063] 상기 손상 영역 분류 모델에 입력된 입력 데이터는, 상기 전극들의 개수(P1), 상기 전극 쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)을 포함한다.
- [0064] 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 전극들의 개수(P1)에 따라 상기 복수의 영역들의 개수나 위치를 분류할 수 있다.
- [0065] 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)은, 미리 설정된 설정 시간 간격 또는 실시간으로 측정하여 입력받는다.
- [0066] 도 1을 참조하면, 상기 손상 영역 분류 모델로부터 손상 영역을 분류하여 도출하는 방법에 대해 설명한다.
- [0067] 상기 손상 영역 분류 모델에 상기 전극들의 개수(P1), 상기 전극 쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)이 입력되면, 상기 복수의 채널 영역들(C12~C89) 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)이 최대값인 채널 영역을 분류한다.
- [0068] 즉, 제4전극(E4)과 제5전극(E5)사이에 낙하 충격에 의한 손상이 발생하였다고 가정하면, 상기 제4전극(E4)과 상기 제5전극(E5)이 이루는 전극쌍의 변화 저항이 나머지 전극쌍의 변화 저항보다 가장 크게 나타난다.
- [0069] 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 복수의 채널 영역(C12~C89) 중에서 제45채널 영역(C45)을 분류해낼 수 있다.

- [0070] 또한, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제45채널 영역(C45)에 인접한 전극 쌍들의 변화 저항을 서로 비교하여, 상기 제45채널 영역(C45) 중에서 어느 섹션 영역에서 손상이 발생하였는지 분류한다.
- [0071] 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제45채널 영역(C45)과 보다 인접한 거리에 있는 전극 쌍들의 변화 저항을 우선적으로 이용하여 비교한다.
- [0072] 즉, 제1전극(E1)과 제2전극(E2)이 이루는 전극 쌍의 변화 저항이 제7전극(E7)과 제8전극(E8)이 이루는 전극쌍의 변화 저항보다 크게 나타나면, 상기 제45채널 영역(C45)내의 상기 9개의 섹션 영역들 중에서 제1~3섹션 영역(S1~S3)으로 분류할 수 있다.
- [0073] 또한, 제1전극(E1)과 제4전극(E4)이 이루는 전극 쌍의 변화 저항이 제2전극(E2)과 상기 제5전극(E5)이 이루는 전극 쌍의 변화 저항보다 크게 나타나면, 상기 제1~3섹션 영역(S1~S3) 중에서 제1섹션 영역(S1)으로 분류하여 도출할 수 있다.
- [0074] 따라서, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제45채널 영역(C45)중에서 상기 제1섹션 영역(S1)을 상기 손상 영역으로 도출할 수 있다.
- [0075] 즉, 상기 섹션 영역까지 도출함으로써, 상기 제45채널 영역(C45)에서 손상이 발생시, 상기 제45채널 영역(C45)의 중심으로부터 어느 방향으로 이격된 위치에 손상이 발생하였는지를 도출함으로써, 보다 정확한 손상 영역의 검출이 가능하다.
- [0076] 상기 손상 영역 분류 모델로부터 출력되는 손상 영역이 상기 탄소섬유강화복합재에 존재하지 않는 가상 영역일 경우, 낙하 충격이 있었지만 손상이 발생하지 않았다고 판단할 수 있다.
- [0077] 상기 손상 영역 분류 모델로부터 상기 손상 영역으로 출력되면, 상기 손상 영역에서 손상이 발생되었다고 판단할 수 있다.
- [0078] 상기 손상 영역 분류 모델에서 출력된 손상 영역은 이미지나 메시지로 표시될 수 있다.
- [0079] 상기와 같이, 본 발명에 따르면, 상기 전극들의 개수(P1), 상기 전극 쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)을 알면, 미리 학습된 상기 손상 영역 분류 모델을 이용해 예상되는 손상 영역을 도출할 수 있으므로, 관리자 등은 상기 탄소섬유강화복합재의 손상 위치를 보다 신속하고 정확하게 인식할 수 있다.
- [0080] 따라서, 탄소섬유강화복합재의 보수 및 교체 등 후속 조치도 보다 용이하게 이루어질 수 있다.
- [0081] 또한, 본 발명에서는, 상기 전극들의 개수(P1), 상기 전극 쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)만을 이용하여 손상 영역을 도출할 수 있는 이점이 있다.
- [0082] 한편, 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0083] 도 5를 참조하면, 상기 전극들(11)이 상기 탄소섬유강화복합재(10)의 테두리로부터 내측으로 소정간격 이격된 위치에 배치될 때, 상기 탄소섬유강화복합재(10)를 구획하는 복수의 영역들은 상기 채널 영역들(C12~C89)과 상기 채널 영역들(C12~C89)마다 각각 등분하여 구획된 복수의 섹션 영역들(S1~S9)뿐만 아니라, 상기 탄소섬유강화복합재(10)의 테두리와 상기 전극들(E1~E9)사이를 나누어 구획된 복수의 외측 영역들(B10~B90)을 더 포함하는 것이 상기 일 실시예와 상이하고, 나머지 구성 및 방법은 유사하므로, 유사 내용에 대한 상세한 설명은 생략하고, 상이한 점을 중심으로 상세히 설명한다.
- [0084] 상기 외측 영역들(B10~B90)은, 상기 전극들(E1~E9)의 바깥쪽 영역에 해당하며, 미리 구획되어 번호가 각각 부여된다.
- [0085] 도 5를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에서 제36외측 영역(B36)에 손상이 발생한 경우 손상 영역을 도출하는 방법을 설명한다.
- [0086] 상기 손상 영역 분류 모델에 상기 전극들의 개수(P1), 상기 전극 쌍들의 초기 저항(P2), 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)이 입력되면, 상기 복수의 채널 영역들(C12~C89) 중에서 상기 전극 쌍들의 변화 저항(P3)이 최대값이 채널 영역을 분류한다.
- [0087] 상기 복수의 전극 쌍들의 변화 저항 중에서 제3전극(E3)과 제6전극(E6)이 이루는 전극쌍(E3-E6)의 변화 저항이 최대값이면, 상기 손상 영역 분류 모델은 상기 복수의 채널 영역(C12~C89) 중에서 제36채널 영역(C36)과, 상기

제36채널 영역(C36)에 인접한 외측 영역인 제36외측 영역(B36)을 분류해낼 수 있다.

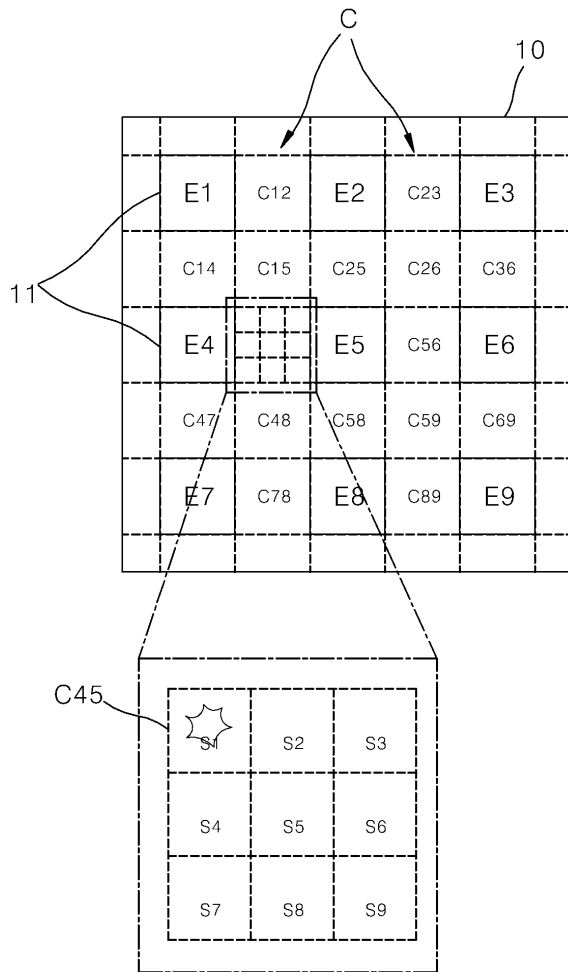
- [0088] 즉, 상기 복수의 영역들 중에서 총 2개의 영역인 제36채널 영역(C36), 제36외측 영역(B36)이 손상 영역 후보가 된다.
- [0089] 이 때, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제3전극(E3)과 제6전극(E6)이 이루는 전극쌍(E3-E6)의 변화 저항이 미리 설정된 제1기준값 이상이면, 상기 손상 영역으로 상기 제36채널 영역(C36)을 도출한다.
- [0090] 한편, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제3전극(E3)과 제6전극(E6)이 이루는 전극쌍(E3-E6)의 변화 저항이 상기 제1기준값 미만이면, 상기 손상 영역으로 상기 제36외측 영역(B36)을 도출한다.
- [0091] 즉, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제3전극(E3)과 제6전극(E6)이 이루는 전극쌍(E3-E6)의 변화 저항이 나머지 전극 쌍들의 변화 저항보다 가장 큰 값이긴 하나, 상기 제1기준값 미만이면, 상기 손상 영역은 상기 제36채널 영역(C36)이 아니라 상기 제36채널 영역(C36)과 인접한 외측 영역인 상기 제36외측 영역(B36)으로 도출할 수 있다.
- [0092] 따라서, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 전극들(E1~E9)의 외측 영역(B10~B90)에 손상이 발생한 경우에도 상기 손상 영역을 검출해낼 수 있다.
- [0093] 한편, 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에서 제91외측 영역(B91)에 손상이 발생한 경우 손상 영역을 도출하는 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0094] 도 6을 참조하면, 상기 복수의 전극 쌍들의 변화 저항 중에서 제6전극(E6)과 제9전극(E9)이 이루는 전극 쌍의 변화 저항(R69)이 최대값이고, 제8전극(E8)과 제9전극(E9)이 이루는 전극 쌍의 변화 저항(R89)이 상기 최대값보다 작은 차순위 최대값이면, 상기 손상 영역 분류 모델은 상기 복수의 채널 영역(C12~C89) 중에서 제69채널 영역(C69), 제69외측 영역(B69), 제91외측 영역(B91)을 분류해낼 수 있다.
- [0095] 즉, 상기 복수의 영역들 중에서 총 3개의 영역인 제69채널 영역(C69), 제69외측 영역(B69), 제91외측 영역(B91)이 손상 영역 후보가 된다.
- [0096] 이 때, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제6전극(E6)과 상기 제9전극(E9)사이의 변화 저항(R69)이 상기 제1기준값보다 낮으면, 상기 손상 영역은 상기 전극들 사이의 영역이 아니라 상기 전극의 외측 영역인 상기 제69외측 영역(B69)과 상기 제91외측 영역(B91)으로 분류한다.
- [0097] 또한, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제6전극(E6)과 상기 제9전극(E9)사이의 변화 저항(R69)이 상기 제1기준값보다 낮게 설정된 제2기준값 이상이면, 상기 손상 영역으로 상기 제69외측 영역(B69)을 도출한다.
- [0098] 한편, 상기 손상 영역 분류 모델은, 상기 제6전극(E6)과 제9전극(E9)사이의 변화 저항(R69)이 상기 제2기준값 미만이면, 상기 손상 영역으로 상기 제91외측 영역(B91)을 도출한다.
- [0099] 상기과 같이, 상기 손상 영역 분류 모델은, 전극 쌍들의 변화 저항에 따라 전극들 사이의 영역 뿐만 아니라 전극의 외측 영역에서 발생한 손상도 검출해낼 수 있다.
- [0100] 한편, 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 탄소섬유강화복합재에 전극 배치와 영역 구획의 예를 개략적으로 나타낸 도면이다.
- [0101] 도 7을 참조하면, 탄소섬유강화복합재에 총 16개의 전극들(E1~E16)을 설치하고, 상기 전극들(E1~E16) 중 일부는 상기 탄소섬유강화복합재의 테두리에 배치하는 것도 가능하다.
- [0102] 상기 전극들(E1~E16)의 개수에 따라 센싱이 가능한 채널 영역들의 수가 달라지게 된다.
- [0103] 따라서, 상기 손상 유형 분류 모델의 생성시 상기 전극들(E1~E16)의 개수를 입력 변수로 입력하여 머신 러닝을 수행한다.
- [0104] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

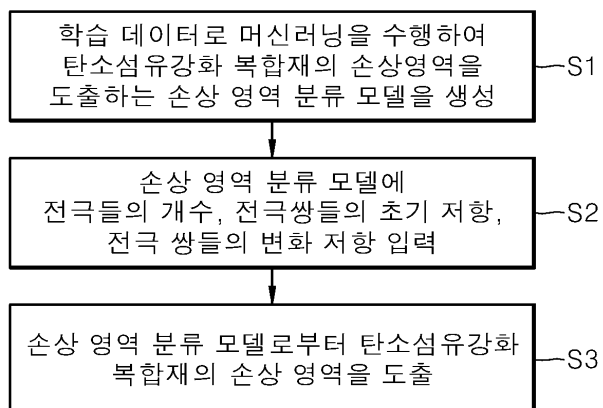
- [0105] 10: 탄소섬유강화복합재 11: 전극

도면

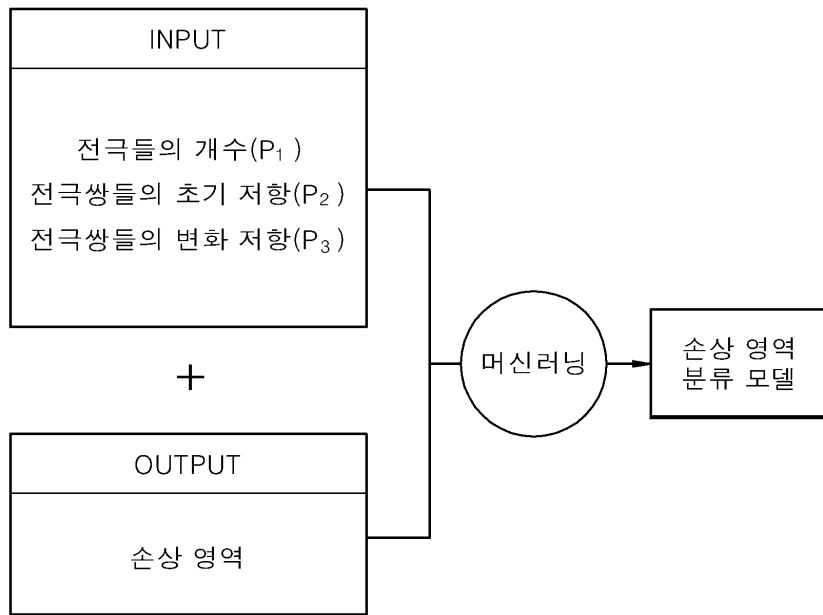
도면1



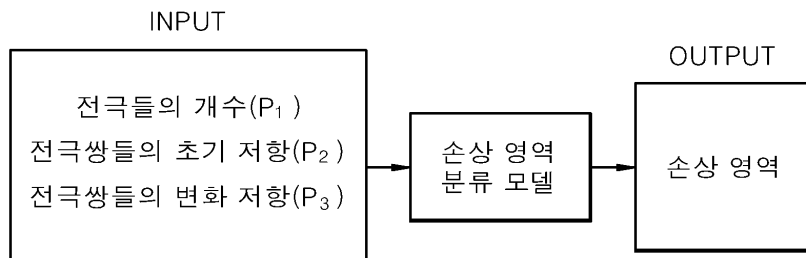
도면2



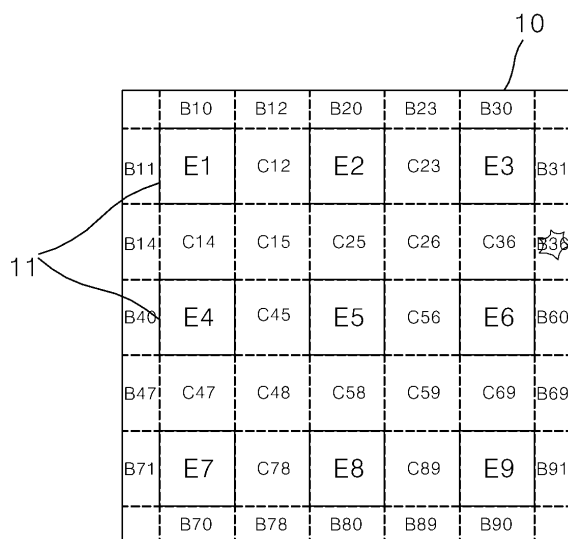
도면3



도면4



도면5



도면6

10

	B10	B12	B20	B23	B30	
B11	E1	C12	E2	C23	E3	B31
B14	C14	C15	C25	C26	C36	B36
B40	E4	C45	E5	C56	E6	B60
B47	C47	C48	C58	C59	C69	B69
B71	E7	C78	E8	C89	E9	B91
	B70	B78	B80	B89	B90	

도면7

C

10

11

E1		E2		E3		E4
E5		E6		E7		E8
E9		E10		E11		E12
E13		E14		E15		E16