



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2021년11월22일

(11) 등록번호 10-2329502

(24) 등록일자 2021년11월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/02 (2006.01) B64D 45/00 (2006.01)

B64F 5/00 (2017.01) G01J 5/48 (2006.01)

G01L 5/00 (2020.01) G01N 21/80 (2006.01)

G01N 25/20 (2006.01) G01N 27/20 (2006.01)

G01V 15/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 27/02 (2021.01)

B64D 45/00 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2015-0093198

(22) 출원일자 2015년06월30일

심사청구일자 2020년03월13일

(65) 공개번호 10-2016-0098002

(43) 공개일자 2016년08월18일

(30) 우선권주장

14/337,285 2014년07월22일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US03803485 A*

US20070197383 A1

KR1019950003794 A

KR1020070067309 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

더 보잉 컴파니

미국, 일리노이스 60606, 시카고, 100 노스 리버
사이드 플라자

(72) 발명자

게리 이. 조지슨

미국, 일리노이 60606-2016, 시카고, 100 노스 리
버사이드 플라자, 메일 코드 2티-42, 더 보잉 컴
파니

윌리엄 조셉 타피아

미국, 일리노이 60606-2016, 시카고, 100 노스 리
버사이드 플라자, 메일 코드 2티-42, 더 보잉 컴
파니

(74) 대리인

강철중, 김윤배

전체 청구항 수 : 총 14 항

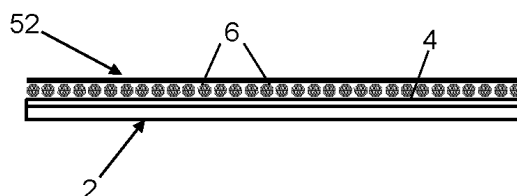
심사관 : 김동원

(54) 발명의 명칭 블런트 충격 표시 방법

(57) 요약

항공기와 같은 구조물 상의 고에너지 블런트 충격을 모니터링하거나 표시하는 것을 돕기 위하여 유체로 채워진 할로우 마이크로스피어를 이용하는 시스템 및 방법. 복수의 마이크로스피어가 서브스트레이트(예컨대, 테이프 또는 어플리케이션)의 표면 상에 적용된 코팅에 부착되거나 내장될 수 있으며, 서브스트레이트는 모니터링될 구조물의 표면에 부착될 수 있다. 마이크로스피어는 하나 이상의 특정된 압력 한계값에서 파열되도록 설계된다. 몇몇 실시예에서, 마이크로스피어는 전기 전도성 유체로 채워지는데, 이 전기 전도성 유체는 파열된 마이크로스피어로부터 유출되면 서브스트레이트의 전자기 상태를 변화시킨다. 서브스트레이트의 전자기 상태의 충분히 큰 변화의 검출에 반응하여, 블런트 충격 표시가 생성된다. 이후, 충격 지점은 비파괴 검사를 거칠 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B64F 5/60 (2017.01)
G01J 5/48 (2013.01)
G01L 5/0052 (2013.01)
G01N 21/80 (2013.01)
G01N 25/20 (2013.01)
G01N 27/023 (2013.01)
G01N 27/025 (2013.01)
G01N 27/20 (2013.01)
G01V 15/00 (2021.01)

명세서

청구범위

청구항 1

블런트 충격 표시 장치(blunt impact indicator device)로서,

제1 표면 및 제2 표면을 포함하는 서브스트레이트(substrate)(2); 및

상기 서브스트레이트(2)의 상기 제1 표면(52)에 근접하게 배치된 복수의 파열가능한 셸(rupturable shell)(8);을 포함하고,

셸(8)은 셸의 내부 용적(internal volume)에 배치된 전기 전도성 유체(electrically conductive fluid)(20)를 가지고,

상기 전기 전도성 유체(20)는 콜로이드질 흑연 현탁액(colloidal graphite suspension)을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 셸(8)은 유전체(dielectric material)로 만들어진 할로우 마이크로스피어(hollow microsphere)(6)인 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 3

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 서브스트레이트(2)는 테이프(tape) 또는 아플리케(appliqué)의 형태인 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 4

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14); 및

상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)에 연결된 전압 공급기(voltage supply)(18);를 더 포함하고,

상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)가 상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고 이격되어 있어서, 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)는 상기 복수의 셸(8)로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 서로 전기적으로 결합될(electrically coupled) 것이고, 상기 복수의 셸로부터의 전기 전도성 유체(20)의 부재(absence)시에는 서로 전기적으로 결합되지 않을 것임을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 5

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

전기 전도성 유체의 부재시 서로 전기적으로 결합되지 않는 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14); 및

상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)에 연결된 무선주파수 식별 회로(radio-frequency

identification circuit)(64);를 더 포함하고,

상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)는 상기 서브스트레이트(2)의 상기 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고, 상기 복수의 웰로부터 유출된 전기 전도성 유체(20)의 존재(presence)시 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체(12, 14)가 서로 전기적으로 결합될 수 있도록 구성되고 이격되어 있는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 6

청구항 1 또는 청구항 2에 있어서,

상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면 상에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층;

전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층과의 사이에 공간을 두고 상기 제1 층 위에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제2 층; 및

전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층 및 제2 층에 연결된 전압 공급기(18);를 포함하고,

상기 복수의 웰은 상기 공간에 배치되고,

전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층 및 제2 층이 이격되어 있어서, 전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층 및 제2 층은 상기 복수의 웰(8)로부터 유출된 전기 전도성 유체(20)에 의해 젖을(wetted) 때 서로 전기적으로 결합될 것이고, 상기 복수의 웰(8)로부터의 전기 전도성 유체(20)의 부재시에는 서로 전기적으로 결합되지 않을 것임을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 7

블런트 충격 표시 장치로서,

서브스트레이트;

상기 서브스트레이트(2) 상에 배치되거나 상기 서브스트레이트(2)에 내장되고 제1 단자 및 제2 단자를 갖는, 파손가능한 전기 전도체(breakable electrical conductor)(44);

상기 파손가능한 전기 전도체(44)의 상기 제1 단자 및 제2 단자에 연결된 전압 공급기(18); 및

상기 파손가능한 전기 전도체(44)에 전기적으로 연결된 지속성 표시기(continuity indicator)(49);를 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 파손가능한 전기 전도체(44)는 구불구불한(serpentine) 구조 또는 나선형(spiral) 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 9

청구항 7 또는 청구항 8에 있어서,

상기 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 상기 파손가능한 전기 전도체(44)를 포함하는 영역 위에 분포되어 있고, 각각의 웰이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 웰(8); 및

상기 복수의 웰의 각각의 웰의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체(20);를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

청구항 10

블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물(structure)을 모니터링하기 위한 방법으로서,

구조물의 표면에 서브스트레이트(2)를 부착하는 단계; 및

서브스트레이트의 전기 전도도(electrical conductivity)의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고,

서브스트레이트(2)는 서브스트레이트(2)에 부착되거나 서브스트레이트(2)에 내장된 복수의 파열가능한 셀(8)을 포함하고, 각각의 셀은 내부 용적, 및 상기 복수의 셀(8)의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체(20)를 가지고,

상기 전기 전도성 유체(20)는 콜로이드질 흑연 현탁액을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계는:

서브스트레이트에 근접하게 코일(coil)을 배치하는 것;

제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 것; 및

상기 제1 시간간격 동안의 코일의 제1 임피던스와 상기 제2 시간간격 동안의 코일의 제2 임피던스 간의 임의의 차이를 측정하는 것;을 포함하고,

상기 교류 전류의 크기 및 서브스트레이트로부터 코일을 떨어뜨리는(separating) 거리는 서브스트레이트에 맴돌이 전류(eddy current)를 유도하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 12

블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서,

구조물의 표면에 서브스트레이트(2)를 부착하는 단계; 및

서브스트레이트의 열적 상태(thermal state)의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고,

서브스트레이트는:

서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 셀(8), 및

상기 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체(20)를 포함하고,

상기 전기 전도성 유체(20)는 콜로이드질 흑연 현탁액을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계는, 겹치지 않는 제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안:

(a) 서브스트레이트에 근접하게 코일을 배치하는 단계;

- (b) 코일이 서브스트레이트에 근접해 있는 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 단계;
- (c) 코일에서 교류 전류에 의해 전기 전도성 유체에 유도된 맴돌이 전류로 인하여 (b) 단계 동안 서브스트레이트가 한 영역에서 가열된 후에, 코일을 제거하는 단계; 및
- (d) 코일이 제거된 후에, 열화상 카메라(thermal imaging camera)를 이용해서 가열된 서브스트레이트의 상기 영역의 열화상(thermal image)을 획득하는 단계;를 수행하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 14

블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서,

서브스트레이트 상에 무선주파수 식별 회로(64)와 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체를 배치하는 단계;

제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체 위에 복수의 파열가능한 셸(8)을 배치하는 단계; 및

무선주파수 식별 회로에 의해 인터섹팅된(intersected) 공간의 체적(volume)을 통하여 무선주파수 신호를 전송함으로써 무선주파수 식별 회로(64)를 심문하는(interrogating) 단계;를 포함하고,

제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체는 서로 전기적으로 연결되지 않은 각각의 제2 단자 및 무선주파수 식별 회로의 각각의 단자에 전기적으로 연결된 각각의 제1 단자를 가지고,

각각의 셸은 전기 전도성 유체(20)로 적어도 부분적으로 채워진 내부 용적을 가지고,

무선주파수 식별 회로(64)에 의한 심문에 대한 임의의 응답은, 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체가 복수의 셸(8)로부터 유출된 전기 전도성 유체(20)에 의해 서로 전기적으로 결합되는 경우에 형성되는 안테나의 임피던스의 함수인 주파수를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.

청구항 15

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 일반적으로 구조물에 대한 고에너지 충격(high-energy impact)을 모니터링 또는 표시하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다. 더욱 구체적으로, 본 발명은 고에너지 충격 이벤트(high-energy impact event)의 크기 및 위치를 측정하기 위한 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 구조적 구성요소(structural component)에 대한 손상(damage)이 의심되는 경우에, NDE(non-destructive evaluation) 기술을 이용해서 가능성 있는 손상된 구성요소의 구조적 완전성(structural integrity)을 평가하는 것이 관례이다. NDE 기술이 이용되는 경우에, 구조물의 넓은 영역이 스캐닝될 필요가 있기 때문에 신속하게 구체적인 손상 지점을 결정하는 것은 어려울 수 있다. 그러므로, 손상의 정밀한 위치를 쉽게 결정할 수 있는 기술을 가지는 것이 바람직하다.

[0003] 항공 산업에서, 항공기는 카고 벨트 로더(cargo belt loader), 러기지 카트(luggage cart), 항공기 급유기(refueler), 케이터링 비히클(catering vehicle), 지상 전원 장치(ground power unit), 공항 버스(airport bus), 및 승객 탑승 계단(passenger boarding stair)과 같은 지상 지원 장비(ground support equipment) 및 지

원 비히클(support vehicle)로부터의 고에너지 블런트 충격(high-energy blunt impact)에 취약할 수 있다. 고에너지 블런트 충격이 일어났다는 임의의 표시에 응답하여, 관례적인 최초 유지보수 절차는 예컨대 항공기에 대한 손상을 수리하는 것과 같은 적절한 처분을 결정하기에 충분한, 충격받은 영역의 비파괴 평가(non-destructive evaluation)를 수행하는 것이다.

[0004] 충격에 취약한 항공기 구조물의 표면 상에 충격 테이프(유색의 지표 유체(colored indicator fluid)로 채워진 파열가능한 마이크로스피어(rupturable microsphere)를 포함함)를 배치함으로써 항공기 상의 고에너지 블런트 충격의 시각적 표시(visual indication)를 우연한 목격자(casual observer)에게 생성하기 위한 방법이 알려져 있지만, 표면 손상의 시각적 표시를 원하지 않는 경우도 존재한다.

[0005] 항공기와 같은 구조물에 대한 고에너지 블런트 충격을 모니터링하거나 표시하는 기존 기술에 대해서 개선의 여지가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 명세서에서 공개된 본 발명은 항공기와 같은 구조물 상의 고에너지 블런트 충격을 모니터링하거나 표시하는 것을 돕기 위하여 유체로 채워진 할로우 마이크로스피어를 이용하는 시스템 및 방법을 지향하는 것이다. 복수의 마이크로스피어가 서브스트레이트(예컨대, 테이프 또는 어플리케이션)의 표면 상에 적용된 코팅에 부착되거나 내장될 수 있으며, 서브스트레이트는 모니터링될 구조물의 표면에 부착될 수 있다. 마이크로스피어는 하나 이상의 특정된 압력 한계값에서 파열되도록 설계된다. 몇몇 실시예에서, 마이크로스피어는 전기 전도성 유체로 채워지는데, 이 전기 전도성 유체는 파열된 마이크로스피어로부터 유출되면 서브스트레이트의 전자기 상태를 변화시킨다. 서브스트레이트의 전자기 상태의 충분히 큰 변화의 검출에 반응하여, 블런트 충격 표시가 생성된다. 이후, 충격 지점은 비파괴 검사를 거칠 수 있다.

과제의 해결 수단

[0007] 이하에서 상세하게 기술되는 본 발명의 하나의 관점은 블런트 충격 표시 장치로서, 블런트 충격 표시 장치는: 제1 표면 및 제2 표면을 포함하는 서브스트레이트; 및 서브스트레이트의 제1 표면에 근접하게 배치된 복수의 파열가능한 셀;을 포함하고, 셀은 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체를 가진다. 셀은 유전체로 만들어진 할로우 마이크로스피어일 수 있다. 서브스트레이트는 테이프 또는 어플리케이션의 형태일 수 있다.

[0008] 하나의 구현예에 따라서, 블런트 충격 표시 장치는: 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체; 및 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 연결된 전압 공급기;를 더 포함하고, 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체가 서브스트레이트의 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고 이격되어 있어서, 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체는 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 서로 전기적으로 결합될 것이고, 복수의 셀로부터의 전기 전도성 유체의 부재시에는 서로 전기적으로 결합되지 않을 것이다. 제1 전기 전도체를 통과해서 흐르는 전류의 크기를 측정하기 위한 계기(meter)가 제공될 수 있다.

[0009] 다른 하나의 구현예에 따라서, 블런트 충격 표시 장치는: 전기 전도성 유체의 부재시 서로 전기적으로 결합되지 않는 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체; 및 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 연결된 무선주파수 식별 회로;를 더 포함하고, 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체는 서브스트레이트의 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고, 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체의 존재시 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체가 서로 전기적으로 결합될 수 있도록 구성되고 이격되어 있다. 이 구현예에서, 무선주파수 식별 회로는 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 결합된 트랜시버와, 무선주파수 식별 회로를 고유하게 식별시키는 정보를 저장하는 비휘발성 메모리를 포함할 수 있다.

[0010] 추가적인 구현예에 따라서, 블런트 충격 표시 장치는: 서브스트레이트의 제1 표면 상에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층; 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층과의 사이에 공간을 두고 제1 층 위에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제2 층; 및 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층 및 제2 층에 연결된 전압 공급기;를 더 포함하고, 복수의 셀은 상기 공간에 배치되고, 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층 및 제2 층이 이격되어 있어서, 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층 및 제2 층은 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 쪼

을 때 서로 전기적으로 결합될 것이고, 복수의 셀로부터의 전기 전도성 유체의 부재시에는 서로 전기적으로 결합되지 않을 것이다.

[0011] 이하에서 상세하게 기술되는 본 발명의 다른 관점은 블런트 충격 표시 장치로서, 블런트 충격 표시 장치는: 서브스트레이트; 서브스트레이트 상에 배치되거나 서브스트레이트에 내장되고 제1 단자 및 제2 단자를 갖는, 파손 가능한 전기 전도체; 파손가능한 전기 전도체의 제1 단자 및 제2 단자에 연결된 전압 공급기; 및 파손가능한 전기 전도체에 전기적으로 연결된 지속성 표시기;를 포함한다. 선택적으로, 블런트 충격 표시 장치는: 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 파손가능한 전기 전도체를 포함하는 영역 위에 분포되어 있고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 셀; 및 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체;를 더 포함한다.

[0012] 본원에서 공개된 본 발명의 추가적 관점은 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서, 이 방법은, 구조물의 표면에 서브스트레이트를 부착하는 단계; 및 서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고, 서브스트레이트는 서브스트레이트에 부착되거나 서브스트레이트에 내장된 복수의 파열가능한 셀을 포함하고, 각각의 셀은 내부 용적, 및 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체를 가진다. 하나의 실시예에 따라서, 서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계는: 서브스트레이트에 근접하게 코일을 배치하는 것; 제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 것; 및 제1 시간간격 동안의 코일의 제1 임피던스와 제2 시간간격 동안의 코일의 제2 임피던스 간의 임의의 차이를 측정하는 것;을 포함하고, 교류 전류의 크기 및 서브스트레이트로부터 코일을 떨어뜨리는 거리는 서브스트레이트에 맴돌이 전류를 유도하도록 선택된다. 선택적으로, 서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계는: 제1 임피던스와 제2 임피던스의 차이가 특정된 한계값보다 더 큰지 여부를 결정하는 것; 및 제1 임피던스와 제2 임피던스의 차이가 특정된 한계값보다 더 크다면, 코일이 근접해 있는 구조물의 영역에서 비파괴 검사를 수행하는 것;을 더 포함한다.

[0013] 또 다른 관점은 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서, 이 방법은 구조물의 표면에 서브스트레이트를 부착하는 단계; 및 셀로부터의 전기 전도성 유체의 누출을 나타내는 서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고, 서브스트레이트는: 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 셀, 및 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체를 포함한다. 하나의 실시예에 따라서, 서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계는, 겹치지 않는 제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안: (a) 서브스트레이트에 근접하게 코일을 배치하는 단계; (b) 코일이 서브스트레이트에 근접해 있는 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 단계; (c) 코일에서 교류 전류에 의해 전기 전도성 유체에 유도된 맴돌이 전류로 인하여 (b) 단계 동안 서브스트레이트가 한 영역에서 가열된 후에, 코일을 제거하는 단계; 및 (d) 코일이 제거된 후에, 열화상 카메라를 이용해서 가열된 서브스트레이트의 상기 영역의 열화상을 획득하는 단계;를 수행하는 것을 포함한다. 바람직하게는, 서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계는: 제1 시간간격 동안 획득된 제1 열화상을 제2 시간간격 동안 획득된 제2 열화상과 비교하는 것을 더 포함한다. 본 방법은 제1 열화상과 제2 열화상의 차이를 나타내는 이미지를 디스플레이하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 다른 관점은 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서, 이 방법은 서브스트레이트 상에 무선주파수 식별 회로와 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체를 배치하는 단계; 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체 위에 복수의 파열가능한 셀을 배치하는 단계; 및 무선주파수 식별 회로에 의해 인터섹팅된 공간의 체적을 통하여 무선주파수 신호를 전송함으로써 무선주파수 식별 회로를 심문하는 단계;를 포함하고, 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체는 서로 전기적으로 연결되지 않은 각각의 제2 단자 및 무선주파수 식별 회로의 각각의 단자에 전기적으로 연결된 각각의 제1 단자를 가지고, 각각의 셀은 전기 전도성 유체로 적어도 부분적으로 채워진 내부 용적을 가지고, 무선주파수 식별 회로에 의한 심문에 대한 임의의 응답은, 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체가 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 서로 전기적으로 결합되는 경우에 형성되는 안테나의 임피던스의 함수인 주파수를 가진다.

[0015] 본 발명의 추가적 관점은 블런트 충격 표시 장치로서, 블런트 충격 표시 장치는 표면을 갖는 서브스트레이트; 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 제1 복수의 파열가능한 셀; 제1 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된, 제1 pH 레벨을 갖는 제1 유체; 및 제1 복수의 파열가능한 셀에 인접하게 배치된, pH-감응 물질로 이루어진 층;을 포함한다. 이 블런트 충격 표시 장치는: 제1 복수의 파열가능한 셀과 섞이고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 제2 복수의 파열가능한 셀; 및 제2 복수의 셀의 각각의 셀의

내부 용적에 배치된, 제1 pH 레벨과 다른 제2 pH 레벨을 갖는 제2 유체;를 더 포함할 수 있다.

- [0016] 본 발명의 태양은 다음의 실시예를 더 포함한다:
- [0017] A1. 블런트 충격 표시 장치(blunt impact indicator device)로서,
- [0018] 제1 표면 및 제2 표면을 포함하는 서브스트레이트(substrate); 및
- [0019] 상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면에 근접하게 배치된 복수의 파열가능한 셸(rupturable shell);을 포함하고,
- [0020] 셸은 셸의 내부 용적(internal volume)에 배치된 전기 전도성 유체(electrically conductive fluid)를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0021] A2. A1에 있어서, 상기 셸은 유전체(dielectric material)로 만들어진 할로우 마이크로스피어(hollow microsphere)인 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0022] A3. A1 또는 A2에 있어서, 상기 서브스트레이트의 상기 제2 표면 상에 접착제(adhesive)로 이루어진 층을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0023] A4. A1 내지 A3 중 어느 하나에 있어서, 상기 서브스트레이트는 테이프(tape) 또는 아플리케(appliqué)의 형태인 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0024] A5. A1 내지 A4 중 어느 하나에 있어서, 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체; 및
- [0025] 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 연결된 전압 공급기(voltage supply);를 더 포함하고,
- [0026] 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체가 상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고 이격되어 있어서, 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체는 상기 복수의 셸로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 서로 전기적으로 결합될(electrically coupled) 것이고, 상기 복수의 셸로부터의 전기 전도성 유체의 부재(absence)시에는 서로 전기적으로 결합되지 않는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0027] A6. A5에 있어서, 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체는 구불구불한 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0028] A7. A5 또는 A6에 있어서, 상기 제1 전기 전도체를 통해서 흐르는 전류의 크기를 측정하기 위한 계기(meter)를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0029] A8. A1 내지 A4 중 어느 하나에 있어서, 전기 전도성 유체의 부재시 서로 전기적으로 결합되지 않는 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체; 및
- [0030] 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 연결된 무선주파수 식별 회로(radio-frequency identification circuit);를 더 포함하고,
- [0031] 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체는 상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면의 한 쪽에 배치되어 있고, 상기 복수의 셸로부터 유출된 전기 전도성 유체의 존재(presence)시 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체가 서로 전기적으로 결합될 수 있도록 구성되고 이격되어 있는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0032] A9. A8에 있어서, 상기 무선주파수 식별 회로는 상기 제1 전기 전도체 및 제2 전기 전도체에 결합된 트랜시버와, 상기 무선주파수 식별 회로를 고유하게 식별시키는 정보를 저장하는 비휘발성 메모리를 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0033] A10. A1 내지 A4 중 어느 하나에 있어서, 상기 서브스트레이트의 상기 제1 표면 상에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제1 층;
- [0034] 전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층과의 사이에 공간을 두고 상기 제1 층 위에 배치된, 전기 전도성 물질로 이루어진 제2 층; 및
- [0035] 전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층 및 제2 층에 연결된 전압 공급기;를 포함하고,
- [0036] 상기 복수의 셸은 상기 공간에 배치되고,
- [0037] 전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제1 층 및 제2 층이 이격되어 있어서, 전기 전도성 물질로 이루어진 상기 제

1 층 및 제2 층은 상기 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 젖을(wetted) 때 서로 전기적으로 결합되고, 상기 복수의 셀로부터의 전기 전도성 유체의 부재시에는 서로 전기적으로 결합되지 않는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

- [0038] B1. 블런트 충격 표시 장치로서,
- [0039] 서브스트레이트;
- [0040] 상기 서브스트레이트 상에 배치되거나 상기 서브스트레이트에 내장되고 제1 단자 및 제2 단자를 갖는, 파손가능한 전기 전도체(breakable electrical conductor);
- [0041] 상기 파손가능한 전기 전도체의 상기 제1 단자 및 제2 단자에 연결된 전압 공급기; 및
- [0042] 상기 파손가능한 전기 전도체에 전기적으로 연결된 지속성 표시기(continuity indicator);를 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0043] B2. B1에 있어서, 상기 파손가능한 전기 전도체는 구불구불한(serpentine) 구조 또는 나선형(spiral) 구조를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0044] B3. B1 또는 B2에 있어서, 상기 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 상기 파손가능한 전기 전도체를 포함하는 영역 위에 분포되어 있고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 셀; 및
- [0045] 상기 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0046] C1. 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물(structure)을 모니터링하기 위한 방법으로서,
- [0047] 구조물의 표면에 서브스트레이트를 부착하는 단계; 및
- [0048] 서브스트레이트의 전기 전도도(electrical conductivity)의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고,
- [0049] 서브스트레이트는 서브스트레이트에 부착되거나 서브스트레이트에 내장된 복수의 파열가능한 셀을 포함하고, 각각의 셀은 내부 용적, 및 상기 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0050] C2. C1에 있어서, 서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계는:
- [0051] 서브스트레이트에 근접하게 코일(coil)을 배치하는 것;
- [0052] 제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 것; 및
- [0053] 상기 제1 시간간격 동안의 코일의 제1 임피던스와 상기 제2 시간간격 동안의 코일의 제2 임피던스 간의 임의의 차이를 측정하는 것;을 포함하고,
- [0054] 상기 교류 전류의 크기 및 서브스트레이트로부터 코일을 떨어뜨리는(separating) 거리는 서브스트레이트에 맴돌이 전류(eddy current)를 유도하도록 선택되는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0055] C3. C2에 있어서, 서브스트레이트의 전기 전도도의 변화를 검출하는 단계는:
- [0056] 상기 제1 임피던스와 제2 임피던스의 차이가 특정된 한계값보다 더 큰지 여부를 결정하는 것; 및
- [0057] 상기 제1 임피던스와 제2 임피던스의 차이가 특정된 한계값보다 더 크다면, 코일이 근접해 있는 구조물의 영역에서 비파괴 검사를 수행하는 것;을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0058] D1. 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서,
- [0059] 구조물의 표면에 서브스트레이트를 부착하는 단계; 및
- [0060] 서브스트레이트의 열적 상태(thermal state)의 변화를 검출하는 단계;를 포함하고,
- [0061] 서브스트레이트는:
- [0062] 서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치되고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 복수의 파열가능한 셀,

및

- [0063] 상기 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된 전기 전도성 유체를 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0064] D2. D1에 있어서, 서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계는, 겹치지 않는 제1 시간간격 및 제2 시간간격 동안:
- [0065] (a) 서브스트레이트에 근접하게 코일을 배치하는 단계;
- [0066] (b) 코일이 서브스트레이트에 근접해 있는 동안 코일을 통해서 교류 전류가 흐르게 하는 단계;
- [0067] (c) 코일에서 교류 전류에 의해 전기 전도성 유체에 유도된 맴돌이 전류로 인하여 (b) 단계 동안 서브스트레이트가 한 영역에서 가열된 후에, 코일을 제거하는 단계; 및
- [0068] (d) 코일이 제거된 후에, 열화상 카메라(thermal imaging camera)를 이용해서 가열된 서브스트레이트의 상기 영역의 열화상(thermal image)을 획득하는 단계;를 수행하는 것을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0069] D3. D2에 있어서, 서브스트레이트의 열적 상태의 변화를 검출하는 단계는:
- [0070] 상기 제1 시간간격 동안 획득된 제1 열화상을 상기 제2 시간간격 동안 획득된 제2 열화상과 비교하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0071] D4. D3에 있어서, 상기 제1 열화상과 제2 열화상의 차이를 나타내는 이미지를 디스플레이하는 것을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0072] E1. 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법으로서,
- [0073] 서브스트레이트 상에 무선주파수 식별 회로와 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체를 배치하는 단계;
- [0074] 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체 위에 복수의 파열가능한 셀을 배치하는 단계; 및
- [0075] 무선주파수 식별 회로에 의해 인터섹팅된(intersected) 공간의 체적(volume)을 통하여 무선주파수 신호를 전송함으로써 무선주파수 식별 회로를 심문하는(interrogating) 단계;를 포함하고,
- [0076] 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체는 서로 전기적으로 연결되지 않은 각각의 제2 단자 및 무선주파수 식별 회로의 각각의 단자에 전기적으로 연결된 각각의 제1 단자를 가지고,
- [0077] 각각의 셀은 전기 전도성 유체로 적어도 부분적으로 채워진 내부 용적을 가지고,
- [0078] 무선주파수 식별 회로에 의한 심문에 대한 임의의 응답은, 제1 구불구불한 전기 전도체 및 제2 구불구불한 전기 전도체가 복수의 셀로부터 유출된 전기 전도성 유체에 의해 서로 전기적으로 결합되는 경우에 형성되는 안테나의 임피던스의 함수인 주파수를 가지는 것을 특징으로 하는 블런트 충격으로 인한 손상에 대해서 구조물을 모니터링하기 위한 방법.
- [0079] F1. 블런트 충격 표시 장치로서,
- [0080] 표면을 갖는 서브스트레이트;
- [0081] 상기 서브스트레이트의 상기 표면에 근접하게 배치되고, 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 제1 복수의 파열가능한 셀;
- [0082] 상기 제1 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된, 제1 pH 레벨(level)을 갖는 제1 유체; 및
- [0083] 상기 제1 복수의 파열가능한 셀에 인접하게 배치된, pH-감응 물질(pH-sensitive material)로 이루어진 층;을 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.
- [0084] F2. F1에 있어서, 상기 제1 복수의 파열가능한 셀과 섞이고(intermingled), 각각의 셀이 내부 용적을 가지는, 제2 복수의 파열가능한 셀; 및
- [0085] 상기 제2 복수의 셀의 각각의 셀의 내부 용적에 배치된, 상기 제1 pH 레벨과 다른 제2 pH 레벨을 갖는 제2 유체;를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블런트 충격 표시 장치.

[0086] 항공기와 같은 구조물에 대한 고에너지 블런트 충격을 모니터링하거나 표시하기 위한 시스템 및 방법의 다른 관점들이 이하에서 공개되고 청구된다.

도면의 간단한 설명

[0087] 도 1은 몇몇 실시예에 따라서 전기 전도성 유체로 채워진(filled with) 파열가능한 마이크로스피어를 포함하는 블런트 충격 표시기 테이프의 측면도를 나타내는 도면이다.

도 2는 대안적인 실시예에 따라서 블런트 충격 표시기 테이프의 일부의 단면도를 나타내는 도면이다.

도 3은 구조물의 표면 상에 또는 표면층 내에 분포된 할로우 마이크로스피어로부터의 전기 전도성 유체의 누출에 의해 초래되는 자기장 교란을 검출하기 위한 유도 코일을 포함하는 프로브를 이용한, 구조물의 비파괴 검사를 위한 장치의 구성요소를 도시하는 블록도이다.

도 4는 구조물의 표면 상에 또는 표면층 내에 분포된 할로우 마이크로스피어로부터의 전기 전도성 유체의 누출에 의해 초래되는 자기장 교란을 검출하기 위한 유도 코일을 포함하는 프로브를 이용한, 구조물의 비파괴 검사를 위한 자동화된 스캐닝 장치의 구성요소를 도시하는 블록도이다.

도 5는 구조물의 표면층 내에 분포된 할로우 마이크로스피어로부터의 전기 전도성 유체의 누출에 의해 초래되는 자기장 교란을 검출하기 위하여 유도 코일을 이용하는 것을 도시하는 도면이다.

도 6은 대안적인 실시예에 따라서 블런트 충격 이벤트 전후에 전기 전도성 유체로 채워진 마이크로스피어가 들어있는 구조물에서 맴돌이 전류를 발생시키고 열화상을 캡처하기 위한 시스템의 구성요소를 도시하는 도면이다.

도 7a 및 7b는 다른 실시예에 따른 블런트 충격 표시기 시스템의 평면도를 도시하는 도면이고, 블런트 충격 표시기 시스템은 전기 전도성 유체로 채워진 파열가능한 마이크로스피어로 코팅된 서브스트레이트, 마이크로스피어가 온전할 때 전기적으로 결합되지 않는 전기 전도체, 및 전압 공급기를 포함한다. 도 7a은 모든 마이크로스피어가 온전할 때의 시스템을 도시하는 반면에, 도 7b는 몇몇 마이크로스피어가 파열되어 전기 전도성 유체가 유출된(released) 후의 시스템을 도시한다.

도 8은 도 7a 및 7b에서 도시된 시스템을 이용해서 직접적인 시각적 표시 없이 블런트 충격의 레벨(즉, 크기) 및 위치의 측정을 제공하는 방법의 단계들을 도시하는 흐름도이다.

도 9는 대안적인 실시예에 따라서 복수의 패시브 RFID 칩을 포함하는 블런트 충격 표시기의 평면도를 나타내는 도면이다.

도 10은 도 9에 도시된 블런트 충격 표시기에 통합된 타입의 패시브 RFID 칩의 (확대된 크기를 가진) 평면도를 나타내는 도면이다.

도 11은 구조물 상에 설치된 액티브 RFID 칩에 저장된 블런트 충격 데이터를 판독할 수 있는 RFID 리더를 포함하는 시스템의 구성요소를 도시하는 블록도이다.

도 12는 다른 실시예에 따라서 브레이커를 전기 전도체(예컨대, 전선)의 매트릭스(matrix)를 포함하는 블런트 충격 표시기의 평면도를 나타내는 도면이다.

도 13은 도 12에 도시된 블런트 충격 표시기의 단면도를 나타내는 도면이다.

도 14는 파열된 마이크로스피어로부터 유체가 유출될 때 정상 조명 또는 다른 조명(UV, IR 등) 하에서 가시적인(visible) 색상 변화를 낚는 pH 레벨을 갖는 유체로 채워진 할로우 마이크로스피어 및 pH-감응성 종이(pH-sensitive paper)를 포함하는 블런트 충격 표시기의 단면도를 나타내는 도면이다.

도 15는 추가적인 실시예에 따른 블런트 충격 표시기 테이프의 일부의 단면도를 나타내는 도면이다.

도 16은 항공기 생산 및 서비스 방법의 흐름도이다.

도 17은 항공기의 시스템을 도시하는 블록도이다.

이하에서 도면을 참조할 것이며, 상이한 도면들에서의 유사한 엘리먼트는 동일한 참조 번호를 가진다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0088] 이제 유체로 채워진 마이크로스피어를 채용하는 블런트 충격 표시기의 다양한 실시예가 단지 실례의 목적으로 상세하게 기술될 것이다. 이러한 블런트 충격 표시기(blunt impact indicator)는 접착성 백킹(adhesive backing)을 가진 서브스트레이트(예컨대, 테이프 또는 애플리케이션)의 형태로 구조물의 표면 상에 적용될 수 있다. 마이크로스피어는 서브스트레이트에 부착되거나 서브스트레이트 상에 적용된 코팅(coating)에 내장될(embedded) 수 있다.
- [0089] 상술한 타입의 블런트 충격 표시기의 제1 예시적인 실시예가 도 1에서 개략적으로 도시된다. 이 블런트 충격 표시기는 접착제로 이루어진 층(4)(이하, "접착층(4)")에 의해서 서브스트레이트(2)의 하나의 표면에 부착되거나(attached) 분포된(distributed) 복수의 할로우 마이크로스피어(6)를 갖는 서브스트레이트(2)를 포함한다. 선택적으로, 마이크로스피어(6)는 덮개층(cover layer)(52)에 의해 덮여진다(covered).
- [0090] 서브스트레이트(2)는 상이한 형태를 취할 수 있다. 몇몇 경우들에서, 서브스트레이트(2)는 가소성 물질(plastic material)로 이루어진 박판 스트립(thin strip)을 포함하는 테이프의 형태를 취할 수 있다. 다른 경우에 있어서, 서브스트레이트는 가소성 물질로 이루어진 박판(thin sheet)을 포함하는 애플리케이션의 형태를 취할 수 있다. 본 명세서에서 사용될 때, "테이프(tape)" 및 "애플리케이션(appliqué)"라는 용어는 각각 서로 다른 폭 범위를 가지는 서브스트레이트들을 지칭하는 것인데, 테이프의 폭이 애플리케이션의 폭 보다 작다. 테이프 또는 애플리케이션은 구조물, 예컨대, 항공기의 표면에 맞거나(fit) 부착되도록 절단될 수 있다.
- [0091] 이와 달리, 도 2의 단면도에서 도시된 바와 같이, 마이크로스피어(6)는 서브스트레이트(2)의 외부 표면 상에 적용된 코팅(51)에 내장될 수 있다. 접착층(adhesive layer)(4)은 서브스트레이트(2)의 제1 표면(2a)에 부착되는 반면, 접착성 백킹(10)은 서브스트레이트(2)의 제2 표면(2b)에 접착된다. 선택적으로, 서브스트레이트(2)는, 서브스트레이트(2)가 구조물(도 1 및 2에서는 도시되지 않음)의 표면에 부착되기 전에 접착성 백킹(10)을 덮어서 보호하는 이형필름(release film)(도시되지 않음)을 더 포함할 수 있다.
- [0092] 도 2에서 도시된 바와 같이, 각각의 마이크로스피어(microsphere)(6)는, 셸(8)이 온전할(intact) 때, 내부 용적의 경계를 이루는(bound) 셸(8)을 포함한다. 각각의 셸(8)은 특정된 파열 강도(burst strength)를 갖는 유전체(dielectric material)로 만들어질 수 있다. 몇몇 애플리케이션에서는 셸(8)들이 거의 동일한 파열 강도를 가질 수 있고; 다른 애플리케이션에서는 셸(8)들의 상이한 서브그룹(subgroup)들이 상이한 파열 강도를 가질 수 있다.
- [0093] 계속 도 2를 참조하면, 각각의 셸(8)의 내부 용적은 전기 전도성 유체(20)로 채워진다(또는 부분적으로 채워진다). 블런트 충격 표시기가 부착되어 있는 하부의 구조물(underlying structure)(도 1 및 2에서는 도시되지 않음)이, 복수의 셸(8)의 적어도 일부가 파열되도록 초래하기에 충분한 크기의 블런트 충격을 받는 경우에, 전기 전도성 유체(20)의 전부 또는 일부가 파열된 셸로부터 흘러나오거나(bleed), 새거나(leak), 또는 누출되어(escape), 이하에서 설명하는 목적하는 블런트 충격의 영역에서 유체의 퍼들(puddle) 또는 다른 컬렉션(collection)을 형성할 것이다.
- [0094] 도 2에 도시된 바와 같이, 블런트 충격 표시 장치는 바람직하게는 복수의 뽁뽁하게 들어찬(closely packed) 할로우 마이크로스피어(6)를 포함한다. 마이크로스피어(6)의 유전성 셸(dielectric shell)(8)은 유리, 플라스틱, 또는 세라믹으로 만들어질 수 있다. 하지만, 셸(8)이 구체라는 것(spherical)이 본 발명의 실시예 필수적인 것은 아니다. 다른 할로우 구조물(hollow structures)(즉, 구체가 아닌 것)이 채용될 수 있다. 전기 전도성 유체(20)는, 특별한 환경적 인벨롭(environmental envelope)의 요구사항을 만족시키기 위해서 다른 첨가물(계면활성제(surfactants), 용제(solvents), 부동액(anti-freeze) 등)을 가지고 희석될 수 있는, 콜로이드질 흑연 현탁액(colloidal graphite suspension)(예컨대, 수중의 미세하고 순수한 콜로이드질 흑연의 조제물(a preparation of fine, pure colloidal graphite in water))을 포함하되 이에 한정되지 않는 임의의 적절한 유체 베이스(fluid base)일 수 있다.
- [0095] 전기 전도성 유체(20)의 유출(release)은 블런트 충격의 영역에서의 구조물의 전자기적 거동(electromagnetic behavior)을 바꿀 수 있다. 더욱 구체적으로는, 충격 영역 내의 파열된 마이크로스피어로부터 전기 전도성 유체가 누출된 후의 구조물의 전자기적 거동은, 마이크로스피어가 온전할 때의 동일한 영역의 전자기적 거동과는 다를 것이다(이 경우에, 할로우 마이크로스피어 내부의 전기 전도성 유체의 개별적인 용적은 온전한 유전성 셸에 의해서 서로 절연된다(insulated)). 블런트 충격으로 인한 전자기 속성의 이러한 변화는 상이한 방식으로 검출될 수 있다.
- [0096] 도 3은, 검사되는 구조물의 표면 상에 또는 표면층 내에 분포된 할로우 마이크로스피어(6)로부터의 전기 전도성

유체의 누출(escape)에 의해 초래되는 자기장 교란(magnetic field disturbance)을 검출하는 검출 시스템(detection system)(84)과 전력원(power source)(82)에 연결된 유도 코일(induction coil)(도 3에서 도시되지 않음)을 포함하는 프로브(probe)(80)를 이용하는 구조물의 비파괴 검사를 위한 장치의 구성요소를 도시하는 블록도이다. 검사되는 구조물은 동체와 같은, 항공기의 일부 상의 표피(skin)일 수 있다.

[0097] 하나의 실시예에 따라서, 프로브(80)는 검사되고 있는 영역에 근접하게(in proximity) 배치된다. 이후, 전력원(82)이 턴온된다(turned on). 전력원(82)은 특정된 주파수로 교류 전류를 발생시키고, 교류 전류는 프로브(80)의 유도 코일을 통해서 흐른다. 그리고, 코일로부터 방사되는 전자기파(electromagnetic radiation)의 결과적인 파동은 근접한 임의의 전기적 도체(예컨대, 검사되고 있는 구조물의 표면 상의 또는 표면층 내의 파열된 마이크로 스피어로부터 누출된 임의의 전기 전도성 유체)에서 맴돌이 전류(eddy current)를 유도한다. 그리고, 이 맴돌이 전류는 전자기파의 더 많은 파동을 발생시켜서, 구동된(driven) 유도 코일에 의해서 생성되고 있는 자기장을 방해한다(disturbing).

[0098] 계속 도 3을 참조하면, 검출 시스템(84)은 유도 코일에 의해 생성된 자기장의 교란 또는 변화를 정량화하도록 구성된 회로(예컨대, 프로세서)를 포함할 수 있다. 하나의 예에서, 자기장의 교란 또는 변화는 프로브(80)의 유도성 리액턴스(inductive reactance)의 변화를 통해서 검출된다. 검출 시스템(84)은 자기장에 대한 교란으로 인한 유도성 리액턴스의 변화를 나타내기 위한 디스플레이를 더 포함할 수 있고, 그래서 검사되고 있는 구조물의 상이한 부분들에 대해 기술자가 프로브(80)를 이동시킴으로써 이러한 변화를 시각화할 수 있다.

[0099] 도 3에 도시된 예에서, 프로브(80)는 검사를 수행하는 기술자에 의해서 이동가능한 핸드헬드 유닛(hand-held unit)일 수 있다. 검출 시스템(84)은, 마이크로스피어(6)가 파열된 후의 프로브의 유도성 리액턴스의 변화를, 파라메트릭 데이터를 나타내는 전기 신호로 변환하도록 구성된 하드와이어드(hard-wired) 전자 회로이거나 프로 그램된 프로세서일 수 있는데, 이후 이 파라메트릭 데이터는 마이크로스피어(6)가 온전했을 때 즉 블런트 충격 이벤트 전에 사전에 획득된, 메모리에 저장되어 있는, 레퍼런스 파라메트릭 데이터(reference parametric data)와 비교될 수 있다.

[0100] 도 4는 유도 코일을 포함하는 프로브를 이용해서 구조물의 비파괴 검사를 위한 자동화된 스캐닝 장치(automated scanning apparatus)의 구성요소를 도시한다. 다시 말하지만, 유도 코일은 구조물의 표면 상에 또는 표면층 내에 미리 분포되어 있는 할로우 마이크로스피어(6)로부터 새는 전기 전도성 유체의 존재(presence)에 기인하는 자기장 교란을 검출하는 데에 이용될 수 있다. 이 실시예에서, 프로브(80)는 스캐너(scanner)(88)의 암(arm)(86)의 엔드 이펙터(end effector)에 설치된다. 시스템은 컴퓨터(90)를 더 포함하고, 이것은 스캐너(88)를 제어하고, 디스플레이 스크린(display screen)(92) 상의 표현을 위해 프로브(80)로부터 유도성 리액턴스 데이터를 수신한다. 스캐너(88)는 또한 프로브(80)를 위한 전력원을 제공할 수 있다.

[0101] 도 4에 도시된 예에서, 컴퓨터(90)는 검사될 영역의 위에서 근접하게 스캐너(88)에 의한 암(86)의 움직임(movement)을 지시하는 명령을 생성한다. 전력원은 특정 주파수로 프로브(80)의 유도 코일을 통하여 교류 전류(alternating electric current)를 보내어, 전류의 방향이 번갈아 바뀔(alternate)에 따라 강화 및 약화되는 변하는 자기장을 생성한다. 다시 말하지만, 프로브(80)에 의해 생성되는 자기장은 블런트 충격 이벤트(blunt impact event)로 인하여 마이크로스피어(6)로부터 누출되는 임의의 전기 전도성 유체 내에서 맴돌이 전류를 초 래하고, 이 맴돌이 전류는 검사되고 있는 영역에 근접하게 프로브(80)가 이동할 때 프로브(80)에 의해서 생성되고 있는 자기장의 교란 또는 변화를 초래한다. 구조물의 상이한 부분들을 스캐닝한 결과는 디스플레이 스크린(92) 상에서 표현될 수 있다. 이 디스플레이는 칼라코드 디스플레이(color-coded display)로서 표현될 수 있고, 여기서 상이한 자기장 강도들이 상이한 칼라들로 디스플레이된다.

[0102] 프로브(80)는 선택된 사이즈 및 강도를 갖는 자기장을 생성하도록 설계되고 구성될 수 있다. 몇몇 예들에서, 프로브(80)에 의해 생성되는 자기장의 사이즈 및 강도는 교류 전류의 주파수, 프로브 코일의 치수 및 기하구조, 및 코일 전선(coil wire)의 지름과 같은 다수의 상이한 파라미터들을 기초로 하여 구성되거나 선택될 수 있다. 이러한 파라미터들 및 다른 파라미터들은 또한 특정된 형상을 갖는 자기장을 선택하거나 생성하는 데에 이용될 수 있다.

[0103] 도 5는, 자기장 M_1 을 생성하고, 검사되는 영역 내의 파열된 마이크로스피어(도시되지 않음)로부터 누출된 전기 전도성 유체(96)의 퍼들 또는 다른 컬렉션의 존재로 인한 자기장 교란 M_2 를 검출하기 위하여 유도 코일(94)을 이용하는 것을 도시하는 도면이다. (파열된 셸을 가지고 전기 전도성 유체(96)의 컬렉션의 도시가 복잡해지는 것을 피하기 위하여 도 5에서는 온전한 마이크로스피어(6)만이 도시된다.) 코일(94)이 교류 전류로 구동되는 것

에 반응하여, 코일(94)은 변하는 자기장 M_1 을 생성하고, 이것은 도 5에서 6개의 아래로 향하는 파선 곡선 화살표(dashed curved arrows)에 의해서 하나의 순간에 대해 표시된다. 전기 전도성 유체(96)에서 유도된 맴돌이 전류는 변하는 자기장 교란 M_2 을 생성하고, 이것은 도 5에서 6개의 위로 향하는 파선 곡선 화살표에 의해서 동일한 순간에 대해 표시된다. 자기장 교란 M_2 는 코일이 검사될 영역 위로 이동할 때 변할 것이다. 자기장 교란 M_2 는 프로브에 연결된 측정 회로를 이용해서 검출될 수 있다. 교란은 코일(94)의 유도성 리액턴스의 변화에서 검출된다. 리액턴스(reactance)는, 커패시턴스(capacitance) 또는 인덕턴스(inductance)로 인하여 전자 부품(electronic components)이 교류 전류의 흐름에 대해서 보이는 오퍼지션(opposition)의 한 형태이다. 교류 전류가 리액턴스를 갖는 부품을 통과해서 흐를 때, 에너지가 번갈아가며(alternately) 자기장 또는 전기장에 저장되고 자기장 또는 전기장에서 방출된다. 자기장의 경우에, 리액턴스는 유도성(inductive)이다.

[0104] 도 5에 도시된 인덕턴스 코일(94)은 도 3 및 도 4를 참조하여 상술한 타입의 임의의 시스템에서 이용될 수 있다. 전기 전도성 유체(96)는, 블런트 충격으로 흐트러진(dispersed) 때에, 인덕턴스 코일(94)을 이용해서 검출될 수 있다. 마이크로스피어(6)의 유전성 셸은 특정된 압력 한계값(specified pressure threshold)의 함수인 파열 강도를 가지고 설계될 수 있다. 이 경우에, 블런트 충격 표시 장치는 그 한계값을 초과하는 압력을 낳는 임의의 블런트 충격을 검출할 수 있다. 블런트 충격 이벤트를 검출하기 위하여 인덕턴스 코일을 이용하는 것은, 블런트 충격 이벤트의 표시가 우연한 목격자에게 보이지 않는다는 이점이 있다. 대신, 전기적 표시(electrical indication)가 유지보수 인원에게만 접근가능한 원격 장치로 전송될 수 있고, 검사되고 있는 구조물이 항공기인 경우에는 선택적으로 비행승무원에게 전송될 수 있다.

[0105] 대안적인 구현예에 따라서, 코일(94)은 미국 특허 제7,312,608호에서 도시되고 기술된 타입의 핸드헬드 전도성 검사 장치(hand-held conductive inspection apparatus)의 일부일 수 있다.

[0106] 도 6은 대안적인 실시예에 따라서 시스템의 구성요소들을 도시하는 도면이다. 시스템에 의해 구현된 측정 방법은 블런트 충격 이벤트의 전후에 수행되는 이하의 단계들을 포함한다: 전기 전도성 유체로 채워진 마이크로스피어가 들어 있는 구조물의 영역에서 맴돌이 전류를 발생시키는 단계; 맴돌이 전류 발생기(eddy current generator)를 제거하는 단계; 및 이후, 맴돌이 전류에 의해 가열된 영역의 열화상(thermal images)을 캡처하는(capturing) 단계. 실행의 목적을 위하여, 도 6은, 그 표면 상의 코팅(coating)에 내장되거나 부착된 할로우 마이크로스피어를 가진 애플리케이션(96)(파선의 파원으로 표시됨)를 갖는 복합재 항공기 동체(composite aircraft fuselage)(132)의 일부분을 조사하는 것을 도시한다. 할로우 마이크로스피어 내의 전기 전도성 매체는, 충격으로 흐트러진 때에, 국부적으로 온도를 상승시키기에 충분히 강한 맴돌이 전류를 생성하기 위하여 고출력(high-power) 무선주파수(RF) 코일(134)을 이용해서 이미징될(imaged) 수 있고, 그 결과적인 온도 상승은 열화상 카메라(thermal imaging camera)(136)(예컨대, 적외선 카메라)를 이용해서 이미징된다. 결과적인 이미지는 데이터 획득 및 제어 컴퓨터 시스템(data acquisition and control computer system)(138)에 전기적으로 결합된 디스플레이 모니터(display monitor)(140) 상에서 디스플레이될 수 있고, 칼라의 변화는 블런트 충격의 영역을 나타낸다.

[0107] 이 열화상 방법은 애플리케이션(96)에 근접하게 고출력 RF 코일(134)을 배치하는 단계 및 전자기장을 생성하기 위하여 코일을 활성화하는(activating) 단계를 포함한다. 고출력 RF 코일(134)에 대한 여기 주파수(Excitation frequencies)는 100 내지 400 kHz의 범위 내에 존재할 수 있다. 이 범위가 복합재 물질(composite material)을 관통하는(penetrate) 전자기장을 생성한다는 것을 알아내었다. 변하는 자기장에 의해서 맴돌이 전류가 전도성 매체에 유도된다는 점은 잘 알려져 있다. 예를 들어, 변하는 자기장은 코일과 전도성 매체의 상대적 운동에 의해서 야기되거나; 또는 시간에 따른 전자기장의 변화로 인하여 야기될 수 있다. 인가되는 전자기장이 강하면 강할수록, 또는 전도성 매체의 전기 전도도(electrical conductivity)가 크면 클수록, 또는 운동의 상대 속도(relative velocity)가 크면 클수록, 맴돌이 전류가 더 크게 발생된다. 도 6에 도시된 애플리케이션에서, 변하는 자기장에 의해서 유도되는 맴돌이 전류는 애플리케이션(96)의 임의의 영역이 충격 영역 내의 할로우 마이크로스피어를 파열시키기에 충분한 압력을 가지고 둔한 물체(blunt object)의해서 충격을 받았는지 여부에 따라서 달라질 것이다. 결과적으로, 충격 영역 안의 맴돌이 전류는 충격 영역 밖의 맴돌이 전류보다 더 강할 것이다. 충격 영역 안과 밖의 맴돌이 전류의 강도의 차이는 상응하는 상이한 가열 정도(degrees of heating)를 초래할 것이다. 코일의 여기 전류(excitation current)는 제어된 가열(controlled heating)을 가능하게 하기 위해서 펄스폭변조될(pulse width modulated) 수 있다.

[0108] 본 방법은 가열된 영역의 열화상을 생성하는 것을 더 포함한다. 더욱 구체적으로는, 전도성 매체의 열화상은 애플리케이션(96) 내의 전기 전도성 매체에 대한 전자기 상태 정보(electromagnetic state information)를 밝히도록

생성된다. 도 6에서 도시된 실시예에서, 열화상은 열화상 카메라(136)를 이용해서 생성된다. 다른 실시예에서, 열화상은 복합재 부품의 표면 상에 써모그래픽 필름(thermographic film)을 배치함으로써 생성될 수 있다. 써모그래픽 필름은 온도-감응성(temperature-sensitive)이고, 가열된 영역의 시각적으로 볼 수 있는 표현(optically viewable representation)을 생성한다. 이러한 써모그래픽 필름은 미국 특허 제7,287,902호에 상세하게 기술되어 있다.

[0109] 도 6에서 보이는 바와 같이, 고출력 RF 코일(134)은 제어가능한 전력 공급기(controllable power supply)(142)에 의해서 전력을 공급받는다(powered). 전력을 공급받은 RF 코일(134)을 동체(132)의 복합재 표피 표면(composite skin surface)에 근접하게 배치하는 것은 어플리케이션(96)에서의 전류 흐름을 유발하는데, 이는 어플리케이션(96)의 국부적 가열과 연관이 있다. 열화상 카메라(136)는 어플리케이션(96)의 전체 또는 일부를 포함하는 시야(field of view)를 가지고 표피 표면에 겨냥되어서, RF 코일(134)이 제거된 후에, 가열된 어플리케이션(96)의 열 구배(thermal gradient)의 기록을 가능하게 한다. 데이터 획득 및 제어 컴퓨터 시스템(138)은 열화상 카메라(136)로부터의 데이터를 기록하고, 이후에 더욱 상세하게 설명되는 바와 같은, 다양한 열화상 기술에 대하여 제어가능한 전력 공급기(142)의 제어를 제공한다.

[0110] 차분 화상 처리(differential imaging processes)를 가진 특정 실시예를 위해서, 어플리케이션(96)의 최초(예컨대, 블런트 충격 이벤트 전) 및 최종(예컨대, 블런트 충격 이벤트 후) 이미지가 캡처된다. 각각의 예에서, 유도 코일(134)에 전력이 인가되고, 수동의(hand-operated) 실시예에서, 검사자/조작자는 검사될 영역 위에서 코일(134)을 흔든다. 원하는 코일(134) 움직임 및 표피 표면으로부터의 그것의 거리는 전력 레벨, RF 주파수, 코일(134)의 형상 및 사이즈에 의존한다. 코일의 전자기장은 어플리케이션(96) 및 하부 표피의 임의의 전기 전도성 영역에서 맴돌이 전류를 유도적으로(inductively) 발생시킨다. 전기 전도성 물질에서 발생된 맴돌이 전류는 국부적 전기 경로에 따라서 열을 생성하기에 충분한 강도로 이루어진다. 열화상 카메라(136)는 블런트 충격 이벤트의 전과 후의 상대적 가열을 이미징하는 데에 이용된다. 이 상대적 가열은 특정 실시예에 대해서 최종 이미지값으로부터 최초 이미지값을 뺀으로써 차분 열화상(differential thermal imaging)을 이용하여 판단된다.

[0111] 도 6에 도시된 시스템에서, 열화상 카메라(136)는 초점면 배열 적외선 카메라(focal plane array infra-red camera)를 포함할 수 있다. 코일(134)에 의해 발생된 유도 전류(induced current)는, 각각의 조사되는 영역의 전자기적 거동의 임의의 차이를 드러내 보이는 열 구배를 생성하는 여기 기술(excitation technique)을 이룬다. 어플리케이션(96) 하부의 구조물에 손상을 주지 않으면서 제어되는 가열을 가능하게 하기 위하여, 유도 전류 가열(induced current heating)은 펄싱되는 방식(pulsed manner)으로 발생할 수 있다. 게다가, 열화상 카메라(136)에 의해 캡처된 프레임(frame)은 코일(134)에 공급되는 전류 펄스(current pulse)와 동기화될 수 있고(데이터 획득 및 제어 컴퓨터 시스템(138) 및 제어가능한 전력 공급기(142)에 전기적으로 결합된 동기화 유닛(synchronization unit)(144)에 의함), 그래서 이미지는 전류가 펄싱되기 전에 획득될 수 있고, 이후 전류가 펄싱된 후에 캡처될 수 있다. 데이터 획득 및 제어 컴퓨터 시스템(138)은 열화상 카메라(136)와 전력 공급기(142) 양쪽 모두를 제어할 뿐만 아니라 카메라로부터의 데이터의 저장을 제어하도록 프로그래밍된다. 캡처된 열화상 데이터의 표현은 디스플레이 모니터(140) 상에서 제공되고, 추가적인 처리를 위해 메모리에 저장된다.

[0112] 자동화된 시스템을 채용하는 대안적인 실시예에서, 유도 코일 움직임은 3축 배치 장치(three-axis positioning device)를 이용해서 수행되고, 표피 표면을 따르는 움직임, 코일 여기(coil excitation), 및 열 화상(thermal imaging)은 데이터의 동기화를 위한 컴퓨터 제어 시스템에 의해 제어된다.

[0113] 도 7a 및 7b는 다른 실시예에 따른 블런트 충격 표시기 시스템의 평면도를 나타내는 도면이며, 이 블런트 충격 표시기 시스템은 전기 전도성 유체로 채워진 파열가능한 마이크로스피어(6)로 코팅된(coated) 서브스트레이트(2), 마이크로스피어(6)가 온전할 때 서로에 대해 전기적으로 결합되지 않은(개방 회로(open circuit)(16)로 표시됨) 한 쌍의 구불구불한 전기 전도체(serpentine electrical conductor)들(12 및 14), 및 전압 공급기(voltage supply)(18)(예컨대, 배터리)를 포함한다. 전기 전도체(12 및 14)는 전선, 또는 서브스트레이트(2)에 내장되거나 프린팅된 다른 전류 경로를 포함할 수 있다. 도 7a는 모든 마이크로스피어(6)가 온전하고 전기 전도체(12, 14)를 통과하는 전류가 $I = 0$ 일 때의 시스템을 도시하는 반면에, 도 7b는 몇몇 마이크로스피어가 파열되었고 전기 전도성 유체가 전기 전도성 유체의 퍼들 또는 컬렉션(20)을 형성하도록 방출된 후의 시스템을 도시한다. 만일 전기 전도성 퍼들 또는 컬렉션(20)의 범위가 전기 전도체(12 및 14)를 서로에 대해 전기적으로 결합시키기에 충분하다면, 전압 공급기(18)의 전원 및 접지 단자들을 지나는 회로는 닫힐(closed) 것이다. 이 완성된 회로(completed circuit)를 통하여 흐르는 전류 $I = I_d$ 는 전류계(ammeter)(60)(또는 다른 전류 검출기)에 의해서 검출될 수 있고, 이것은 마이크로스피어 셀 강도에 의해서 정의된 한계값(threshold)을 넘는 충격을 나타내

기 위해 경고 신호를 경고 장치(alert device)(62)에 보낸다.

[0114] 옴의 법칙(Ohm's Law)에 따라서, 전압 공급기(18)의 단자들에 걸리는 포텐셜 차이(즉, 단자 전압)가 일정할 때, 전류 I_d 는 완성된 회로의 저항에 반비례할 것이다. 그리고, 이 저항은 완성된 회로의 길이에 직접적으로 비례하는데, 이것은 전류 I_d 가 완성된 회로의 길이에 반비례할 것이라는 것을 의미한다. 만일 전선의 포지션(position)들이 맵핑된다면(mapped), 전류계(60)에 의해 측정되는 전류 레벨로부터 충격의 위치가 결정될 수 있다.

[0115] 도 8은 도 7a 및 7b에 도시된 시스템을 이용하여 직접적인 시각적 표시 없이 블런트 충격의 레벨(즉, 크기) 및 위치의 측정을 제공하기 위한 프로세스를 도시한다. 한 쌍의 전기 전도체들이 전압 공급기의 단자들에 연결되어 있고 서로에 대해서는 연결되어 있지 않을 때, 센싱 상태(sensing state)는 온(on)이다(상태 22). 실패를 위해서, 충격이 발생한 것(이벤트 24)으로 가정될 것이다. 시스템의 반응은 도 8의 결정 블록(26)에서 도시된 바와 같이 충격이 마이크로스피어 파손에 대한 한계값을 넘는지 여부에 좌우될 것이다. 만일 마이크로스피어가 파열되지 않았다면, 아무런 알림(notification)도 주어지지 않고(옵션 28), 센싱 상태는 온(on)으로 남아 있다(상태 22). 반대로, 마이크로스피어가 파열되었다면, 할로우 마이크로스피어 내부의 전기 전도성 유체가 충격 지점 주위에 흐트러질 것이다(이벤트 30). 만일 충분한 양의 전기 전도성 유체가 흐트러졌다면, 전기 전도성 유체는 전압 단자들을 형성하는 전원 및 접지 전선들 사이에 전류 경로를 생성할 것이다(이벤트 32). 완성된 회로(즉, 루프(loop))에서 결과적으로 흐르는 전류는 전류 검출기에 의해서 검출되고(단계 34), 이것은 한계값을 초과하는 충격이 발생했다는 것을 나타내는 신호(36)를 출력한다. 게다가, 만일 전기 전도체(예컨대, 전선)의 포지션(position)들이 맵핑되어 있다면, 그리고, 전류 검출기가 완성된 회로에서의 전류 레벨을 측정할 수 있는 전류계의 형태라면, 전류계는 전류 레벨을 나타내는 신호를 충격 위치파악 프로세서(impact location processor)에 출력할 것이다. 충격 위치파악 프로세서는 맵핑된 전선에 대하여 충격의 위치(40)를 결정하는 룩업 테이블(look-up table)에 전류 레벨을 입력할 수 있다(단계 38).

[0116] DC 전압 공급기(18)(예컨대, 구조물에서 떨어져 있는(off-board) 배터리)가 7a 및 7b에 도시되어 있고, 인라인(in-line)은 전류를 감지하는 것을 의미한다. 충격은 쌍둥이 같은(twin) 구불구불한 전기 전도체들(12 및 14)간의 회로를 완성한다. 이와 달리, 측정되는 회로 및 전류가 존재하지 않는다. 교류 전류는 직류 전류보다 전선에 대하여 더 적은 전압 강하를 가지기 때문에, 구조물로부터 떨어져 있는 몇몇 타입의 AC 발생기에 플러그하는 것(plug)이 더 효율적인 방법일 것이다.

[0117] 도 9는 대안적인 실시예에 따라서 블런트 충격 표시기의 도면을 나타내는 도면이다. 이 블런트 충격 표시기는 도 7a 및 7b에서 도시된 앞의 실시예와 동일한 원리로 작동하지만(즉, 충격 지점에서 전기 전도성 유체를 유출시키도록 마이크로스피어를 파손시키는 것이 전기 회로를 완성함), 더 작은 규모로 작동한다. 도 9에 도시된 실시예는 서브스트레이트(즉, 테이프 또는 어플리케이션)의 표면 위에 부착되고 분포된 복수의 패시브 RFID 칩(passive RFID chip)(42a-42d)을 포함한다. 복수의 할로우 마이크로스피어(6)가 서브스트레이트의 표면에 부착되거나 내장되고, 각각의 복수의 마이크로스피어(6)는 각각의 RFID 칩(42a-42d) 위에 존재한다. 충격을 받은 마이크로스피어를 파열시키기에 충분한 압력을 초래하는 블런트 충격에 반응하여, 충격 지점에서의 마이크로스피어는 파열될 것이고, 하나 이상의 RFID 칩(42a-42d)을 오버랩시킬(overlap) 수 있는 영역에서 전기 전도성 유체(20)를 유출시킬 것이다.

[0118] 도 10에서 도시된 바와 같이, 각각의 패시브 RFID 칩(42)은 바람직하게는 한 쌍의 구불구불한 전기 전도체(12 및 14)에 연결된 RFID 집적회로(integrated circuit)(64)를 포함하고, 한 쌍의 구불구불한 전기 전도체들(12 및 14)은 그 사이에 전기 전도성 유체의 부재(absence)시 서로 전기적으로 연결되어 있지 않다. 전기 전도성 유체의 유출에 반응하여, 전기 전도체(12 및 14)는 완성된 회로를 형성하고, 특정된 한계값 위의 충격이 발생한 국부 영역(local area)을 검출하기 위한 센싱 코일(sensing coils) 및 RFID 리더와 통신하기 위한 안테나 코일(antenna coils) 양쪽 모두로서 이 전기 전도체들이 기능하는 것을 가능하게 한다. 이 한계값은 바람직하게는 마이크로스피어(8)의 셸의 파열 강도의 함수이다.

[0119] RFID 집적회로(64)는 다음의 기능들을 수행한다: 정보를 저장하고 처리하는 기능, 무선주파수(RF) 신호를 변조하고(modulating) 복조하는(demodulating) 기능, 입사하는 리더 신호(incident reader signal)로부터 DC 전력을 수집하는(collecting) 기능, 및 다른 특화된(specialized) 기능. 전기 전도성 유체에 의해서 전기적으로 연결되었을 때, 전기 전도체(12 및 14)는 RF 신호를 수신하고 전송하기 위한 안테나로서 기능한다. 고유한 RFID 태그 정보(tag information)가 각각의 RFID 칩을 위한 비휘발성 메모리에 저장된다. RFID 집적회로(64)는 데이터를 처리하기 위하여 프로그램되었거나(programmed) 프로그램가능한(programmable) 데이터 프로세서 또는 칩-

와이어드 로직(chip-wired)을 포함한다.

- [0120] 도 10은 전기 전도체(12 및 14)가 RFID 칩(42) 내에 통합된 실시예를 도시하지만, RFID 칩이 부착된 테이프 또는 어플리케이션 상에 프린팅된 전기 전도체(12 및 14)를 가지는 것 또한 가능하다. 대안적인 실시예에 따른 블런트 충격 표시기는 더 적은 수의 RFID 칩을 이용해서 더 넓은 커버영역(coverage)을 제공할 수 있다.
- [0121] 할로우 마이크로스피어(8)로부터의 전기 전도성 유체의 유출 시에, 전기 전도체(12 및 14)는 도 7b를 참조하여 앞서 설명된 방식으로 완성된 회로를 형성할 것이다. 다시 말하지만, 완성된 회로에서 흐르는 전류의 크기는 완성된 회로의 길이에 반비례할 것이다. RFID 집적회로(64)의 응답은 유출된 전도성 유체에 의해 변화된다. 질의 될 때, 패시브 RFID 칩(42)은 전기 전도체(12 및 14)에서의 상이한 임피던스로 인하여 상이한 주파수 응답을 가질 것이다. 전기적으로 연결될 때, 전기 전도체(12 및 14)는 RFID 리더와 같은 다른 장치와 통신하기 위한 안테나 나로서 기능한다. 상술한 충격 시나리오에 기인한 임피던스의 변화는 감지될 수 있는 안테나 응답에서의 천이(shift)를 초래할 것이다.
- [0122] 도 9에 도시된 실시예에 따라서 각각의 RFID 칩(42a-42d)은 패시브한 종류(passive variety)로서 이루어진다. 패시브 RFID 칩이 스캐닝 안테나(scanning antenna)의 장(field)을 통과해서 지나갈 때, RFID 칩(42)의 전기 전도체(12 및 14)(도 10 참조)는 스캐닝 안테나에 의해 출력된 RF 신호를 픽업하고(pick up), 이후 고유한 시리얼 번호(unique serial number) 또는 다른 커스터마이징된(customized) 정보와 같은 몇몇 추가적인 데이터를 가진 신호를 돌려보낸다(return). 더욱 구체적으로는, 구불구불한 전기 전도체(12 및 14)는 전자기장을 발생시키고, 이 전자기장으로부터 RFID 칩이 전력을 끌어내고, 이로써 그 회로에 전력을 공급한다. 이후, RFID 회로(64)의 트랜시버(transceiver)는 비휘발성 메모리에서 인코딩되어(encoded) 이로부터 판독되는 식별 정보(identifying information)를 송신한다.
- [0123] 이와 달리, RFID 칩은 액티브 타입(active type)으로 이루어질 수 있는데, 이것은 각각의 칩이 그 자신의 전압 공급기(예컨대, 배터리)에 의해 전력을 공급받는다는 것을 의미한다. 도 11은 전압 공급기(18)에 의해 전력을 공급받는 RFID 집적회로(64) 및 RFID 집적회로(64)에 의해 전송된 센서 데이터를 수신할 수 있는 RFID 리더(reader)(66)를 포함하는 시스템의 구성요소들을 도시한다. 상술한 바와 같이, RFID 리더(66)에 의해 질의될 때, 충격 영역 내의 모니터링되는 구조물에 부착된 RFID 칩은 전기 전도체(12 및 14)에서의 임피던스의 변화로 인하여 상이한 주파수 응답을 가질 것이다. 전기적으로 연결될 때, 전기 전도체(12 및 14)는 RFID 리더(66)와 통신하기 위한 안테나 및 충격 센싱 코일 양쪽 모두로 기능한다. RFID 리더(66)는 그 전력 출력 및 사용된 무선 주파수에 따라서 전파(radio waves)를 방출한다. 유출된 전기 전도성 유체를 가진 RF 칩이 RFID 리더(66)의 전자기 존(electromagnetic zone)을 통과해서 지나갈 때, RFID 집적회로(64)는 리더의 활성화(activation) 신호를 검출한다. RFID 리더(66)는 RFID 집적회로(64)의 비휘발성 메모리에서 인코딩된 칩 식별 데이터를 디코딩하고(decode), 이 칩 식별 데이터는 (RFID 칩의 변화된 주파수 응답을 나타내는 데이터와 함께) 처리를 위한 호스트(host) 컴퓨터로 전달된다. 복수의 RFID 칩이 구조물에 부착된 테이프 또는 어플리케이션 상에 맵핑되어 있는 경우에, 블런트 충격을 나타내는 주파수 응답을 갖는 임의의 RFID 칩의 ID들(identities)은 이들의 위치 및 충격 영역의 범위를 결정하도록 처리될 수 있다.
- [0124] 대안적인 실시예에 따른 블런트 충격 표시기가 도 12에서 개략적으로 도시된다. 선택적으로, 이 표시기 시스템은, 이하에서 설명될 목적을 위해서, 내장된 복수의 할로우 마이크로스피어(6)(유색의 유체(colored fluid)로 채워짐)를 갖는 층 또는 코팅을 포함할 수 있다. 도 12에서 도시된 실시예에서, 파손가능한 물질(breakable material)(예컨대, 전선)로 만들어진 구불구불한 전기 전도체(44)가 서브스트레이트(2)(예컨대, 테이프 또는 어플리케이션) 내에 또는 서브스트레이트(2)(예컨대, 테이프 또는 어플리케이션) 상에 배치되고, 이 서브스트레이트는 모니터링될 구조물의 표면 상에 적용된다. 대안에 있어서, 몇몇 다른 기하구조(예컨대, 나선형)를 갖는 전기 전도체의 그리드(grid)가 채용될 수 있다.
- [0125] 도 12에서 도시된 바와 같이, 구불구불한 전기 전도체(44)는 전력 공급기(50)의 전압 단자에 각각 연결된 한 쌍의 단자를 가진다. 그러므로, 구불구불한 전기 전도체(44)가 완전히 온전할 때, 전류가 전기 전도체(48, 44, 및 46)(이것은 직렬로 연결됨)에 의해서 지속성 표시기(continuity indicator)(49)를 통하여 흐른다. 하나의 구현에 있어서, 지속성 표시기(49)는 전구(light bulb) 또는 LED와 같이 단순하거나, 지속성의 손실로 인한 전압 강하시 활성화되는 전산화된 프로그램에서와 같이 더욱 복잡할 수 있다.
- [0126] 구불구불한 전기 전도체(44) 위의 영역에서의 블런트 충격에 반응하여, 전기 전도체(44)의 하나 이상의 턴(turn)이 파손될 수 있고, 이 경우에 전류는 지속성 표시기(49)를 통하여 흐르는 것을 중단할 것이다. 이러한 상태에서, 지속성 표시기(49)는 블런트 충격 이벤트가 발생했다는 것을 기술자에게 나타내지만, 충격 지점의 위

치 또는 범위를 나타내지는 않는다. 선택적으로, 만일 (도 13에서 제시된 단면도에서 도시된 바와 같이) 충격 전에 마이크로스피어(6)(유색의 유체로 채워짐)가 구불구불한 전기 전도체(44)에 의해 점유된 영역 위에 분포되어 있었다면, 충분한 압력을 가하는 임의의 충격은 하나 이상의 마이크로스피어(6)가 파열되는 것 또한 초래할 것이고, 이 경우에 유출된 유색의 유체는 충격 지점의 위치 및 범위의 시각적 표시를 기술자에게 제공한다.

[0127] 대안적인 구현예에 따라서, 파손가능한 전기 전도체(breakable electrical conductor)는 구조물에 부착된 서브스트레이트 상에서 전기 전도성 메쉬(mesh)의 형태를 취할 수 있다. 파손가능한 전기 전도체들 중의 몇몇을 파손시키기에 충분한 힘의 블런트 충격의 이벤트의 발생시에, 파손(breakage)의 영역은 상술한 바와 같이 유도 코일만을 이용하여 또는 열화상 카메라와 함께 이용하여 검출될 수 있다.

[0128] 도 14는 다른 실시예에 따라서 유체로 채워진 마이크로스피어를 이용하여 블런트 충격 표시기의 단면도를 나타내는 도면이다. 이 경우에, 표시기는: 모니터링될 구조물의 표면에 부착될 서브스트레이트(2)(즉, 테이프 또는 아플리케); 서브스트레이트(2)에 적층되는 물질(도시되지 않음)로 이루어진 코팅 또는 층에 분포된 복수의 할로우 마이크로스피어(6); 내장된 마이크로스피어(6)가 들어 있는 코팅 또는 층에 적층되는 한 장의 PH-감응성 종이(pH-sensitive paper)(54); 및 PH-감응성 종이(54)를 덮어서 보호하는 투명한 보호층(transparent protective layer)(52);을 포함한다. 하나의 구현예에서, 할로우 마이크로스피어(6)는, 파열된 마이크로스피어로부터 유체가 유출될 때, 정상 조명(normal lighting) 또는 다른 조명(UV, IR 등) 하에서 가시적인(visible), PH-감응성 종이(54) 상에서의 색상 변화를 초래할 pH 레벨을 갖는 유체로 채워진다. 만일 마이크로스피어(6)의 모든 셀들이 동일한 파열 강도를 가진다면, 색상을 변화시키는 PH-감응성 종이(54)의 부분은 충격시 가해진 압력이 파열 강도에 대응하는 한계값을 초과한 영역의 위치 및 범위를 나타낼 것이다.

[0129] 대안적인 구현예에 따라서, 할로우 마이크로스피어(6)의 셀들은 상이한 파열 강도들을 가질 수 있고, 상이한 pH 레벨들을 가진 유체들로 채워질 수 있다. 예를 들어, 상대적으로 낮은 파열 강도를 갖는 제1 복수의 마이크로스피어는 제1 pH 레벨을 갖는 유체로 채워질 수 있고, 상대적으로 높은 파열 강도를 갖는 제2 복수의 마이크로스피어는 제1 pH 레벨과는 다른 제2 pH 레벨을 갖는 유체로 채워질 수 있다. 만일 표시기가 제1 복수의 마이크로스피어를 파열시키기에는 충분하되 제2 복수의 마이크로스피어를 파열시키지 않는 충격을 받는다면, 제1 pH 레벨을 갖는 유체만이 유출될 것이고, 이로써 PH-감응성 종이(54)가 그 원래의 색상으로부터 제1 색상으로 천연색(coloration)을 바꾸는 것을 초래할 것이다. 만일 표시기가 제1 및 제2 복수의 마이크로스피어를 파열시키기에 충분한 충격을 받는다면, 제1 pH 레벨을 갖는 유체 및 제2 pH 레벨을 갖는 유체가 유출될 것이고, 이로써 PH-감응성 종이(54)가 그 원래의 색상으로부터 제1 색상과는 다른 제2 색상으로 천연색을 바꾸는 것을 초래할 것이다.

[0130] 몇몇 실시예에서, 마이크로스피어 셀의 파열 저항(즉, 파열 강도)의 베리에이션(variation)들은 각각의 복수의 마이크로스피어의 벽의 두께를 변화시킴으로써 달성될 수 있다. 상술한 예에서, 제1 복수의 마이크로스피어의 벽 두께는 제2 복수의 마이크로스피어의 벽 두께 보다 더 작을 수 있다. 다른 실시예에서, 마이크로스피어 셀의 파열 저항의 베리에이션들은 통상의 기술자에게 알려진 대안적인 방법 또는 기술을 이용하여 달성될 수 있다. 그래서, 샌 유체(leaked fluid)는 위치를 마킹할(mark) 수 있고, 표면에 인가된 블런트 충격력(blunt impact force)의 크기를 나타낼 수 있다.

[0131] 특별히, 블런트 충격 표시가 바로 눈에 보이는 것을 원하지 않는 경우를 위해서, 마이크로스피어는 유출될 때 육안으로는 보이지 않으나 UV 또는 IR 광을 이용해서는 알아볼 수 있는 투명한(clear) UV 또는 IR 형광 염료(fluorescing dye)로 채워질 수 있다. 다른 실시예에 따라서, 마이크로스피어 안에 투명한 유체가 들어 있고, 이 투명한 유체는 유출시 검사자에 의해 적용되는 현상 스프레이(developer spray)에 의하여 화학적으로 활성화되는 때에만 눈에 보이게 된다. 대안적인 실시예에 따라서, 마이크로스피어들은 서로 접촉하게 되는 때에만 반응하는 적어도 두 개의 별개의 액체들을 담고 있고, 유색의 지표(colored indicator)를 생성한다.

[0132] 도 15는 또 다른 실시예에 따라서 블런트 충격 표시기 테이프의 일부분의 단면도를 나타내는 도면이다. 전기 전도성 유체로 채워진 복수의 할로우 마이크로스피어(6)가 유전체(도시되지 않음)로 이루어진 층에 내장되어 있는데, 이 유전체층(dielectric layer)은 큰 커패시터를 형성하는 한 쌍의 상호 마주보는 전기 전도성 층들(56 및 58) 사이에 끼여 있다(sandwiched). 전기 전도성 층들(56 및 58)은 전기 커넥터(electrical connector)들(46 및 48)에 의해서 지속성 표시기(49)의 각각의 단자들 및 전력 공급기(50)의 전압 단자들에 각각 전기적으로 결합되어 있다. 마이크로스피어(6)가 온전하게 남아 있는 경우에, 전기 전도성 층들(56 및 58)을 분리시키는 공간에서 전기 전도성 유체의 부재(absence)로 인하여, 전기 전도성 층들(56 또는 58) 중의 하나의 층으로부터 다른 층으로 흐르는 전류가 존재하지 않을 것이다. 반대로, 블런트 충격 동안 파열된 마이크로스피어의 수가 전기 전

도성 층들(56 및 58)에 다리를 놓도록(bridge) 충분한 양의 전기 전도성 유체를 유출시키기에 충분하면, 전류가 전기 전도성 층들(56 또는 58) 중의 하나의 층으로부터 다른 층으로 흐를 수 있다. 블런트 충격을 나타내는 이러한 전류 흐름은 지속성 표시기(49)를 턴온(turn on)할 것이다. 앞서 언급한 바와 같이, 지속성 표시기(49)는 전구 또는 LED이거나, 완성된 회로를 통해서 전류가 흐를 때 활성화되는 전산화된 프로그램일 수 있다.

[0133] 우연한 목격자에 의해서 바로 눈에 보이는 표시를 피하는 대안적인 실시예에 따라서, 마이크로스피어들은 유출될 때 육안으로는 보이지 않으나 UV 또는 IR 광을 이용해서는 알아볼 수 있는 투명한 UV 또는 IR 형광 염료로 채워질 수 있고; 또는 이들은 유출시 검사자에 의해 적용되는 현상 스프레이에 의하여 화학적으로 활성화되는 때에만 눈에 보이게 되는 투명한 유체로 채워질 수 있다.

[0134] 추가적인 대안적인 실시예에 따라서, 마이크로스피어들은 적어도 두 개의 액체들로 채워져 있을 수 있는데, 이 적어도 두 개의 액체는 마이크로스피어가 파열되기 전에는 분리되어 있으며, 서로 접촉하게 되는 때에 서로 반응해서 유색의(즉, 가시적인) 지표를 생성한다.

[0135] 도 17에 도시된 바와 같은 항공기(102)에 대한 고에너지 블런트 충격을 모니터링(monitoring) 또는 표시(monitoring)하기 위하여, 상술한 시스템 및 방법 각각은 도 16에 도시된 바와 같은 항공기 제조 및 서비스 방법(aircraft manufacturing and service method)(100)에서 채용될 수 있다. 생산 전(pre-production) 동안, 예시적인 방법(100)은 항공기(102)의 사양 및 설계(specification and design)(104)와 자재 조달(material procurement)(106)을 포함할 수 있다. 생산(production) 동안, 항공기(102)의 구성요소 및 서브어셈블리 제조(component and subassembly manufacturing)(108)와 시스템 통합(system integration)(110)이 일어난다. 그 이후에, 항공기(102)는 서비스 중(in service)(114)에 놓이기 위해서 인증 및 인도(certification and delivery)(112)를 거친다. 고객에 의해 서비스 중에 있는 동안, 항공기(102)는 일상적인 유지보수 및 점검(maintenance and service)(116)(이것은 변형(modification), 재구성(reconfiguration), 재단장(refurbishment) 등도 포함할 수 있다)에 대한 스케줄이 잡힌다.

[0136] 방법(100)의 프로세스 각각은 시스템 통합자(system integrator), 써드 파티(third party), 및/또는 오퍼레이터(operator)(예컨대, 고객)에 의해서 실시되거나 수행될 수 있다. 이 설명의 목적을 위해서, 시스템 통합자는 제한 없이 임의의 수의 항공기 제조자들 및 메이저-시스템(major-system) 하청업자들을 포함할 수 있고; 써드 파티는 제한 없이 임의의 수의 판매자(vendor)들, 하청업자(subcontractor)들, 및 공급자(supplier)들을 포함할 수 있고; 오퍼레이터는 항공사(airline), 리스회사(leasing company), 군사 단체(military entity), 서비스 기구(service organization) 등일 수 있다.

[0137] 도 17에서 도시된 바와 같이, 예시적인 방법(100)에 의해 생산된 항공기(102)는 복수의 시스템(120)을 가진 기체(airframe)(118) 및 내부(interior)(122)를 포함할 수 있다. 고수준 시스템(high-level system)(120)의 예는, 추진 시스템(propulsion system)(124), 전기 시스템(electrical system)(126), 유압 시스템(hydraulic system)(128), 및 환경 제어 시스템(environmental control system)(130) 중의 하나 이상을 포함한다. 임의의 수의 다른 시스템이 포함될 수 있다.

[0138] 본 명세서에서 구체화된 시스템 및 방법은 생산 및 서비스 방법(100)의 단계들 중의 하나 이상 동안에 채용될 수 있다. 또한, 시스템 실시예, 방법 실시예, 또는 이들의 조합 중의 하나 이상은, 예컨대, 항공기(102)를 조립하는 공정 동안 워크피스(workpiece)에 대한 고에너지 블런트 충격의 크기 및 위치의 측정(measure)을 제공함으로써 생산 단계들(108 및 110) 동안 이용될 수 있다. 유사하게, 시스템 실시예, 방법 실시예, 또는 이들의 조합 중의 하나 이상은 항공기(102)가 서비스 중에 있는 동안 예컨대 제한 없이 유지보수 및 점검(116) 동안 이용될 수 있다.

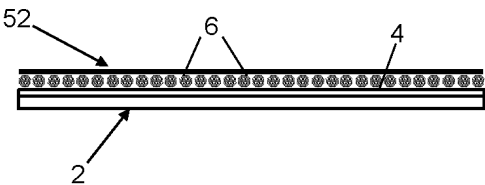
[0139] 다양한 실시예를 참조하여 시스템 및 방법이 설명되었지만, 다양한 변경이 가해질 수 있다는 점 및 등가물이 본 명세서의 교시(teaching)로부터 벗어나지 않으면서 구성요소들에 대해 치환될 수 있다는 점이 통상의 기술자에게 이해될 것이다. 게다가, 본 명세서에서 공개된 실시를 위한 감축(reduction) 및 개념(concept)을 특정한 상황에 적응시키기 위하여 많은 수정이 가해질 수 있다. 따라서, 청구항에 의해서 커버되는 주제(subject matter)는 본원에서 공개된 실시예에 한하지 않는 것으로 의도된다.

[0140] 본 명세서에서 제시되는 방법 청구항은, 언급된 단계들이 알파벳 순서(청구항에서의 임의의 알파벳 순서매김(alphabetical ordering)은 이전에 언급된 단계들을 참조할 목적으로만 이용됨) 또는 언급된 순서로 수행되는 것을 필요로 하는 것으로 이해되지 않아야 한다. 또한, 둘 이상의 단계들의 임의의 부분이 동시에 또는 교대로 수행되는 것을 배제하는 것으로 이해되지 않아야 한다.

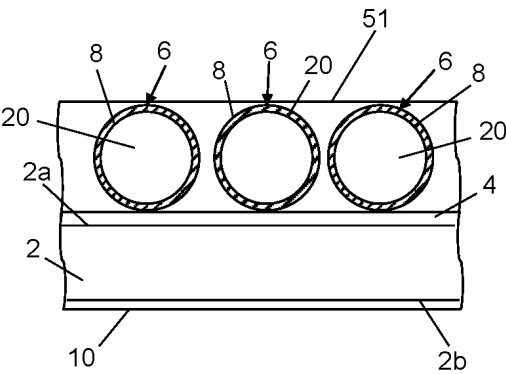
[0141] 청구항에서 사용될 때, 마이크로스피어와 관련하여 "서브스트레이트의 표면에 근접하게 배치된(disposed in proximity to a surface of a substrate)"이라는 문구는 적어도 다음의 것들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다: (1) 마이크로스피어를 표면에 부착하는 것(attaching); 및 (2) 표면에 적용된 코팅(coating)에 마이크로스피어를 내장하는 것(embedding).

도면

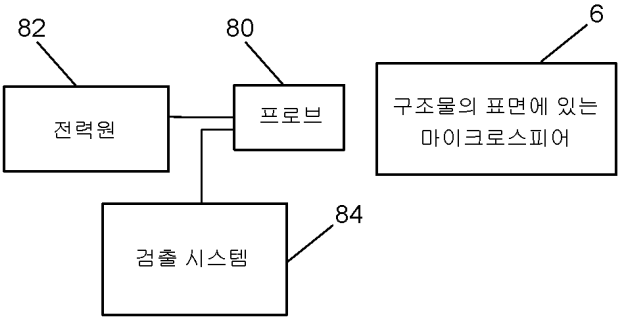
도면1



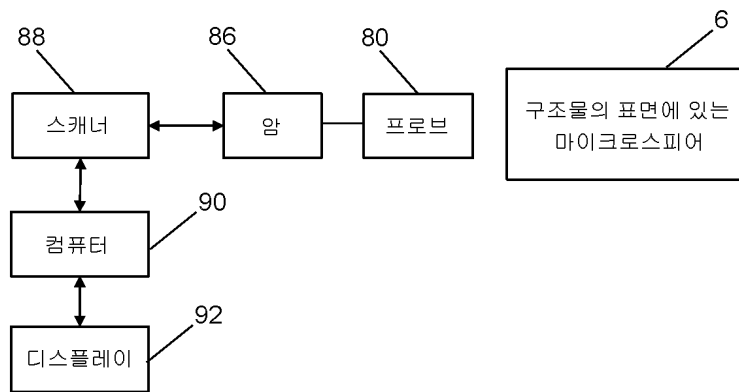
도면2



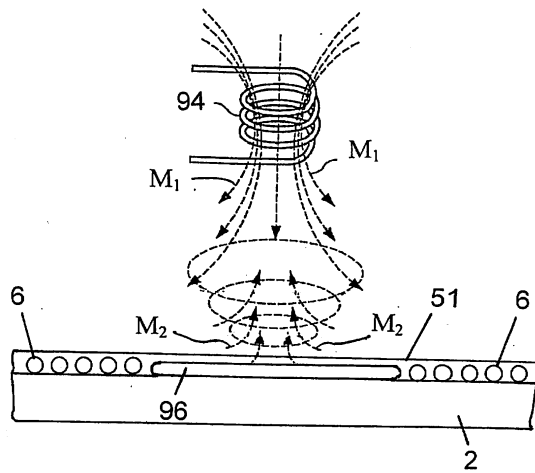
도면3



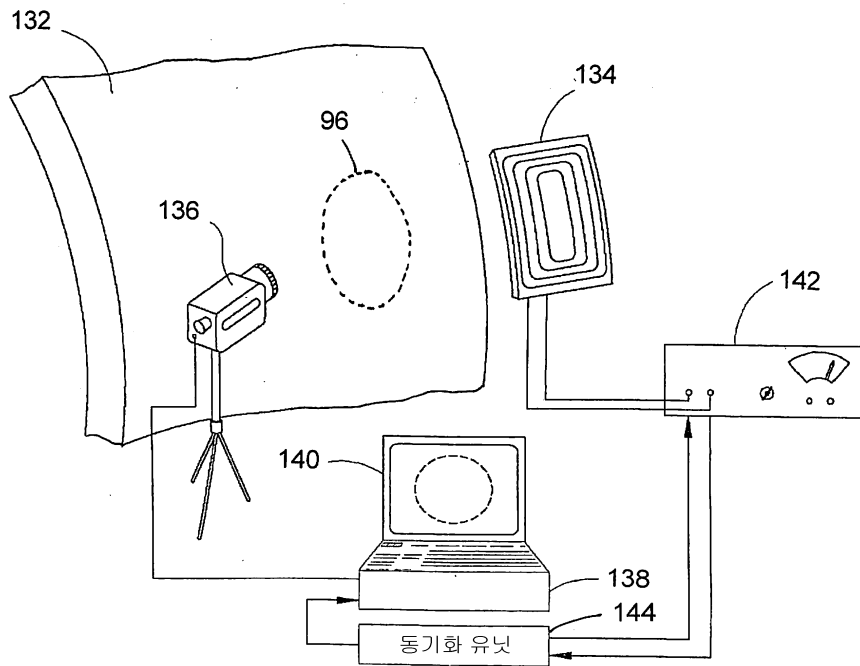
도면4



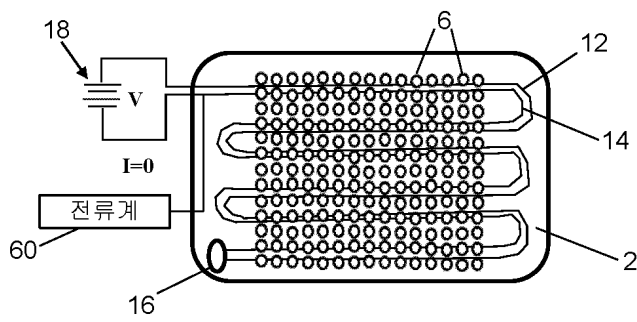
도면5



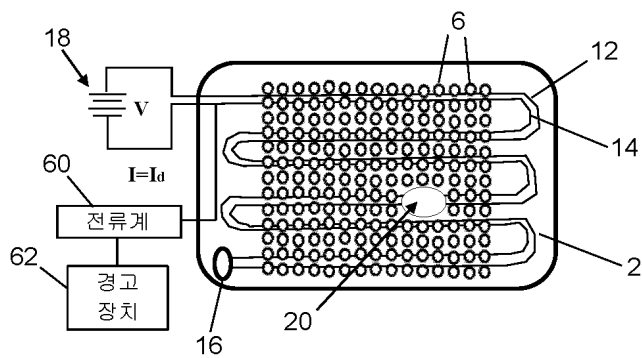
도면6



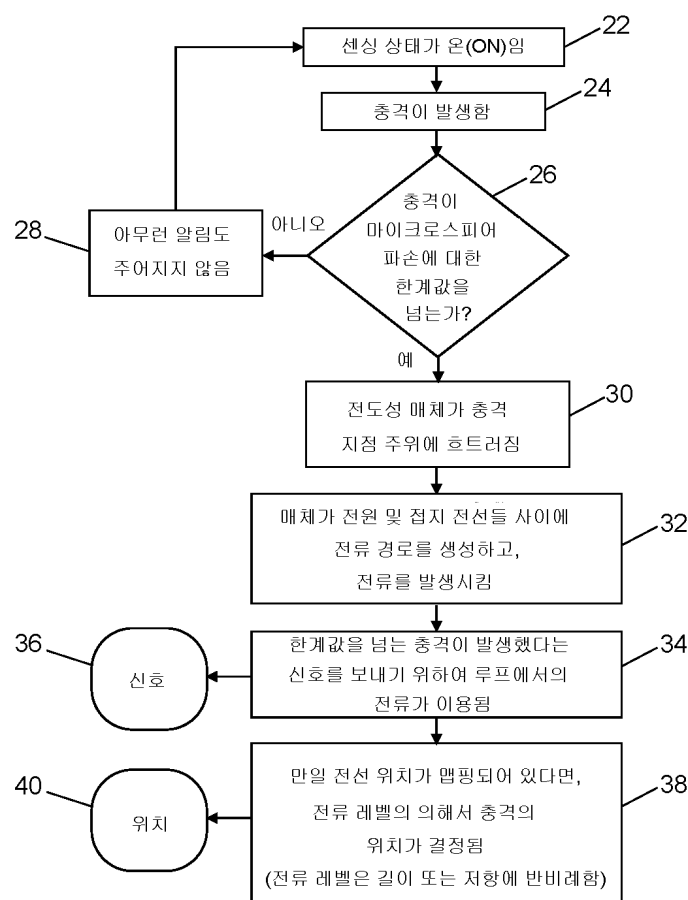
도면7a



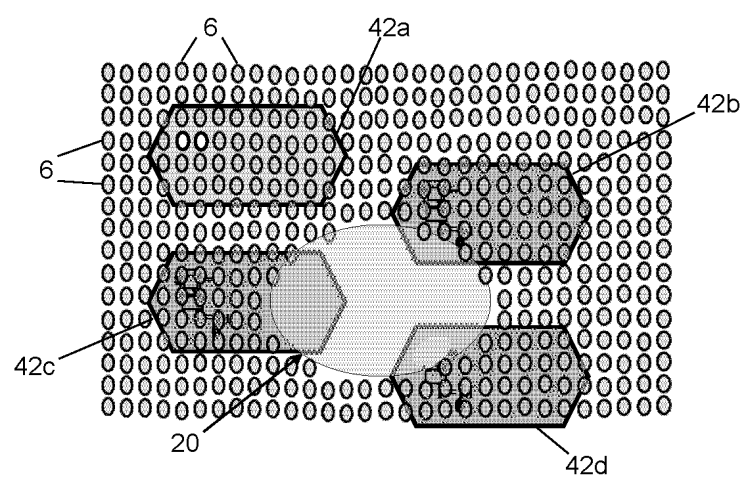
도면7b



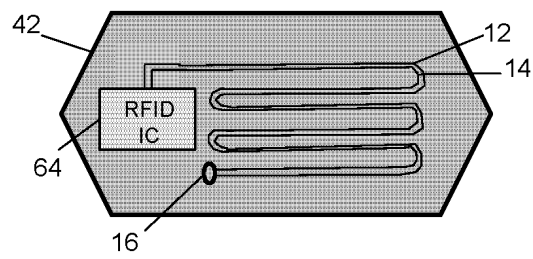
도면8



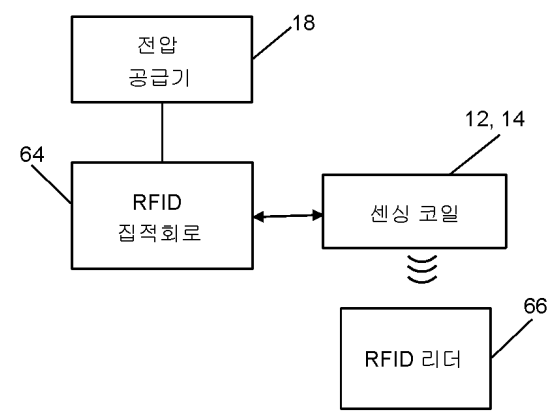
도면9



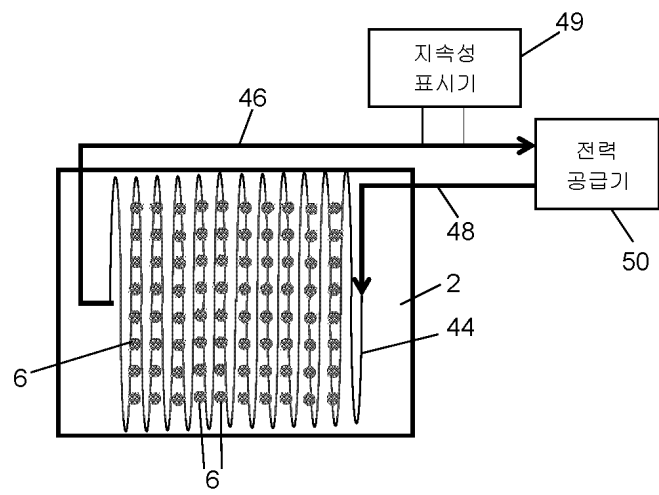
도면10



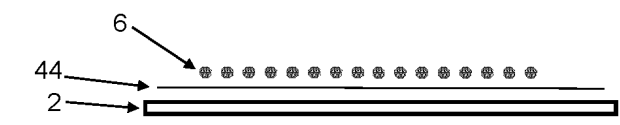
도면11



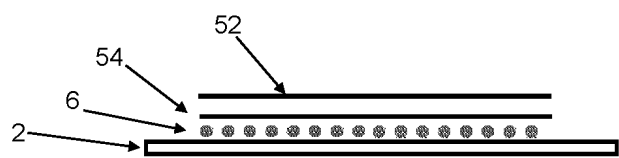
도면12



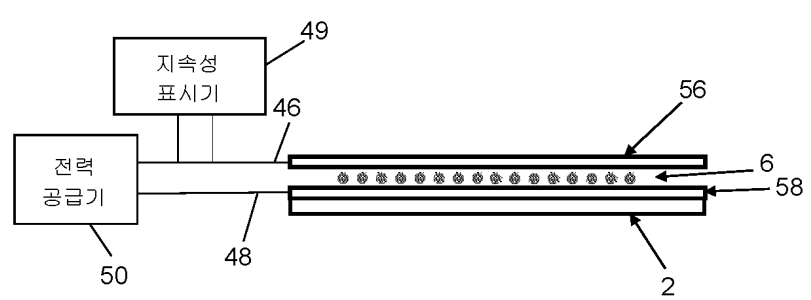
도면13



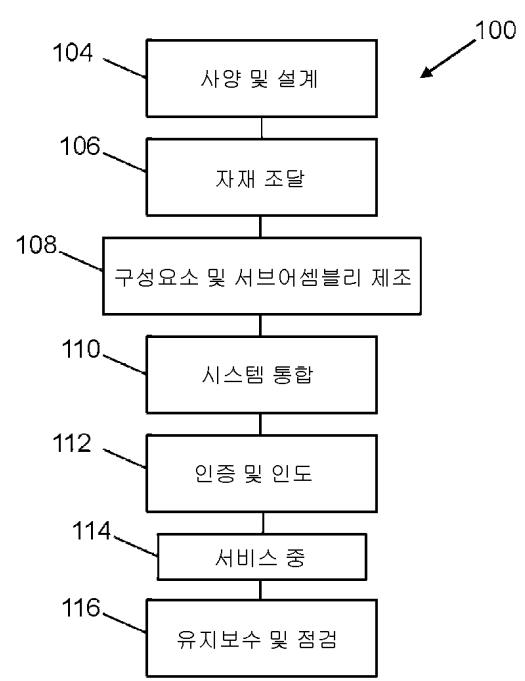
도면14



도면15



도면16



도면17

