



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월06일

(11) 등록번호 10-2085752

(24) 등록일자 2020년03월02일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G01N 27/82 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G01N 27/82 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2019-7009027(분할)

(22) 출원일자(국제) 2015년05월15일

심사청구일자 2019년08월28일

(85) 번역문제출일자 2019년03월28일

(65) 공개번호 10-2019-0035969

(43) 공개일자 2019년04월03일

(62) 원출원 특허 10-2016-7035533

원출원일자(국제) 2015년05월15일

심사청구일자 2018년06월14일

(86) 국제출원번호 PCT/US2015/031092

(87) 국제공개번호 WO 2015/179237

국제공개일자 2015년11월26일

(30) 우선권주장

61/994,961 2014년05월18일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

W02013128210 A1\*

(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 37 항

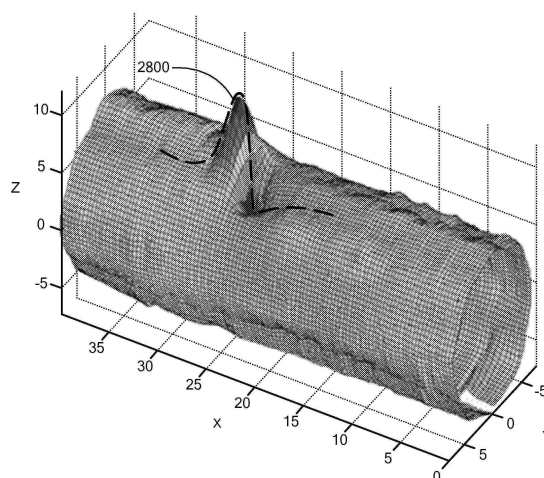
심사관 : 박미옥

(54) 발명의 명칭 강자성 재료에서 결함을 측정하는 시스템 및 방법

## (57) 요약

강자성 재료 내의 결함은 물품의 비결함 부분에 의해 발생하는 잔류 자계로부터 특징적 방식에서 서로 다른 자계의 일부를 발견하기 위해 물품의 자계를 분석함으로써 검출되고 특징화된다. 특징적 방식에서 서로 다른 자계의 일부는 결함의 위치에 대응한다. 잔류 자계는 결함에서 떨어진 물품의 일부에 대응한다. 결함 특징화는 각각의 결함 및/또는 각각의 결함의 폭 및/또는 깊이로 인해 손실되는 재료의 체적을 포함할 수 있다.

## 대표도



(72) 발명자

**구스타프손, 도날드**

미국, 메사추세츠주 02420, 렉싱턴, 파이퍼 레인  
34

**밤콕, 필립, 에스. IV**

미국, 메사추세츠주 01886, 웨스트포드, 폴레이 로  
드 25

**베르틀드, 리차드, 티.**

미국, 메사추세츠주 01721, 에쉬랜드, 하드윅 로드  
37

(56) 선행기술조사문헌

JP07072122 A\*

JP2009537834 A\*

JP2011514534 A\*

EP02482067 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

강자성 재료에서 결함을 검출하는 시스템으로서,

상기 강자성 재료의 표면 주위에 배치되고, 상기 강자성 재료로 에너지가 도입되는 것을 필요로 하지 않고, 상기 강자성 재료의 고유 잔류 자계를 감지하고 상기 감지된 고유 잔류 자계에 기초하여 자계 데이터를 발생시키는 복수의 자력계로서, 상기 복수의 자력계의 각각의 자력계는 상기 강자성 재료에 대해 움직이지 않고 제자리에 고정되는 복수의 자력계;

상기 자계 데이터로부터 2차원 맵의 데이터 포인트들을 발생시키는 자계 맵퍼로서, 각각의 데이터 포인트는 상기 강자성 재료의 상기 표면 상의 각각의 위치에 대응하고 상기 위치에 근접한 상기 감지된 자계의 강도를 표현하는 자계 맵퍼; 및

상기 맵에서, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하고 상기 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치를 출력하는 패턴 매처를 포함하는 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 진폭에 기초하여, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치에서 상기 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정하는 결함 크기 추정기를 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 결함 크기 추정기는 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향에서의 길이에 기초하여, 상기 분실되는 재료의 면적을 추정하는 시스템.

#### 청구항 4

제2항에 있어서, 상기 결함 크기 추정기는 상기 분실되는 재료의 추정된 체적 및 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향에서의 길이에 기초하여, 상기 분실되는 재료의 깊이를 추정하는 시스템.

#### 청구항 5

제1항에 있어서,

상기 맵의 상기 데이터 포인트들 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 상기 위치에서 떨어진 위치에서 상기 강자성 재료에 의해 발생하는 상기 자계의 진폭을 결정하는 잔류 자계 강도 산출기; 및

상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터의 진폭 및 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치에서 떨어진 상기 위치에서 상기 강자성 재료에 의해 발생하는 상기 자계의 상기 진폭에 따라, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 상기 위치에서 상기 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정하는 결함 크기 추정기를 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 6

제1항에 있어서,

상기 복수의 자력계의 각각의 자력계는 3개의 직각으로 배향된 자력계를 포함하고;

상기 맵의 각각의 데이터 포인트는 3개의 직각 방향 각각에서 상기 감지된 자계의 강도를 표현하고;

상기 패턴 매치는, 상기 3개의 직각 방향 각각에 대해, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들 및 상기 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접하는 위치를 식별하는 것에 의해, 상기 패턴 매치는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 3개의 위치를 식별하며;

상기 3개의 식별된 위치로부터 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 최종 위치를 산출하고 상기 최종 위치를 출력하는 결합기를 더 포함하는 시스템.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,

상기 패턴 매치는 상기 맵의 상기 데이터 포인트들로부터 복수의 공간 미분 값을 산출하며;

상기 패턴 매치는 상기 복수의 공간 미분 값으로부터 자계 강도의 상기 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 시스템.

#### 청구항 8

제1항에 있어서, 자계 강도의 상기 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들은 부식 또는 침식으로 인한 상기 강자성 재료의 일부의 손실에 대응하는 시스템.

#### 청구항 9

제1항에 있어서, 자계 강도의 상기 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들은 상기 강자성 재료의 균열에 대응하는 시스템.

#### 청구항 10

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료의 외부 표면을 둘러싸는 원통형 표면상에 놓여 있는 시스템.

#### 청구항 11

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 원통형 표면상에 놓여 있으며 상기 강자성 재료를 수용할 수 있는 크기의 원통 내강을 규정하는 시스템.

#### 청구항 12

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료 주위에 둘러져 있는 자력계의 2차원 어레이로서 조직화되어 있는 시스템.

#### 청구항 13

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 복수의 자력계의 링들로 조직화되어 있으며, 상기 복수의 자력계의 링들은 상기 강자성 재료의 종방향을 따라 이격되어 있으며, 상기 복수의 자력계의 링들의 각각의 링은 상기 강자성 재료를 둘러싸고 있는 시스템.

#### 청구항 14

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료의 둘레방향을 따라 부분적으로 배치되는 시스템.

#### 청구항 15

제1항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 자력계의 2차원 어레이로서 조직화되어 있는 시스템.

#### 청구항 16

강자성 재료에서 결함을 검출하는 방법으로서,

상기 강자성 재료의 표면 주위에 복수의 자력계를 배치하는 단계로서, 상기 복수의 자력계의 각각의 자력계는 상기 강자성 재료에 대해 움직이지 않고 제자리에 고정되는 단계;



상기 강자성 재료로 에너지가 도입되는 것을 필요로 하지 않고, 상기 복수의 자력계를 이용하여 상기 강자성 재료의 고유 잔류 자계를 감지하는 단계;

상기 감지된 고유 잔류 자계로부터 2차원 맵의 데이터 포인트들을 발생시키는 단계로서, 각각의 데이터 포인트는 상기 강자성 재료의 상기 표면 상의 각각의 위치에 대응하고 상기 위치에 근접한 상기 감지된 자계의 강도를 표현하는 단계;

상기 2차원 맵에서, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계; 및

상기 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치를 출력하는 단계를 포함하는 방법.

#### 청구항 17

제16항에 있어서, 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 진폭에 기초하여, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치에서 상기 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 18

제17항에 있어서, 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향에서의 길이에 기초하여, 상기 분실되는 재료의 면적을 추정하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 19

제17항에 있어서, 상기 분실되는 재료의 추정된 체적 및 상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향에서의 길이에 기초하여, 상기 분실되는 재료의 깊이를 추정하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 20

제16항에 있어서,

상기 맵의 데이터 포인트들 중 적어도 하나에 기초하여, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 상기 위치에서 떨어진 위치에서 상기 강자성 재료에 의해 발생하는 상기 자계의 진폭을 결정하는 단계; 및

상기 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터의 진폭 및 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 상기 위치에서 떨어진 위치에서 상기 강자성 재료에 의해 발생하는 상기 자계의 진폭에 따라, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 상기 위치에서 상기 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정하는 단계를 더 포함하는 방법.

#### 청구항 21

제16항에 있어서,

상기 자계를 감지하는 단계는 복수의 자력계에 의해 상기 자계를 감지하는 단계를 포함하고, 상기 복수의 자력계의 각각의 자력계는 3개의 직각으로 배향된 자력계를 포함하고;

상기 데이터 포인트들을 발생시키는 단계는, 상기 맵의 각각의 데이터 포인트가 3개의 직각 방향 각각에서 상기 감지된 자계의 강도를 표현하도록 상기 데이터 포인트들을 발생시키는 단계를 포함하고;

상기 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는, 상기 3개의 직각 방향 각각에 대해, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들 및 상기 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접하는 위치를 식별하는 것에 의해, 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 3개의 위치를 식별하는 단계를 포함하며; 상기 방법은,

상기 3개의 식별된 위치로부터 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 최종 위치를 산출하는 단계를 더 포함하며;

상기 위치를 출력하는 단계는 상기 최종 위치를 출력하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 22**

제16항에 있어서,

상기 맵의 상기 데이터 포인트들로부터 복수의 공간 미분 값을 산출하는 단계를 더 포함하며;

미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는, 상기 복수의 공간 미분 값으로부터 자체 강도의 상기 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 23**

제16항에 있어서, 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는, 부식 또는 침식으로 인한 상기 강자성 재료의 일부의 손실에 대응하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 24**

제16항에 있어서, 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 상기 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는, 상기 강자성 재료의 균열에 대응하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 25**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 상기 강자성 재료의 외부 표면을 둘러싸는 원통형 표면에 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 26**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 상기 복수의 자력계가 상기 강자성 재료를 수용할 수 있는 크기의 원통 내장을 규정하도록, 상기 복수의 자력계를 원통형 표면에 배치하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 27**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 상기 강자성 재료 주위에 둘러져 있는 자력계의 2차원 어레이로서 상기 복수의 자력계를 조직화하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 28**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 복수의 자력계의 링들로서 상기 복수의 자력계를 조직화하는 단계를 포함하며, 상기 단계는 상기 복수의 자력계의 링들의 각각의 링이 상기 강자성 재료를 둘러싸도록, 상기 강자성 재료의 종방향을 따라 상기 복수의 자력계의 링들을 이격시키는 것을 포함하는 방법.

**청구항 29**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 상기 강자성 재료의 외부 표면의 둘레방향을 따라 부분적으로 연장하는 표면에 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 30**

제16항에 있어서, 상기 복수의 자력계를 배치하는 단계는, 자력계의 2차원 어레이로서 상기 복수의 자력계를 조직화하는 단계를 포함하는 방법.

**청구항 31**

강자성 재료에서 결함을 검출하기 위하여 컴퓨터 판독 가능 프로그램 코드가 저장되는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체로서, 상기 컴퓨터 판독 가능 프로그램 코드는,

상기 강자성 재료의 표면 주위에 배치되는 복수의 자력계로부터 자체 데이터를 수신하는 프로세서에 의해 실행되는 감지 모듈로서, 상기 복수의 자력계는, 상기 강자성 재료로 에너지가 도입되는 것을 필요로 하지 않고, 상기 강자성 재료의 고유 잔류 자계를 감지하고 상기 감지된 고유 잔류 자계에 기초하여 상기 자체 데이터를 발생시키며, 상기 복수의 자력계의 각각의 자력계는 상기 강자성 재료에 대해 움직이지 않고 제자리에 고정되는 감

지 모듈;

상기 감지된 자계로부터 2차원 맵의 데이터 포인트들을 발생시키는 데이터 포인트 발생기 모듈로서, 각각의 데이터 포인트는 상기 강자성 재료의 상기 표면 상의 각각의 위치에 대응하고 상기 위치에 근접한 상기 감지된 자계의 강도를 표현하는 데이터 포인트 발생기 모듈;

상기 2차원 맵에서, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 결함 식별자 모듈; 및

상기 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 상기 강자성 재료의 상기 표면에 근접한 위치를 출력하는 결함 위치 출력 모듈을 포함하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 32

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료의 외부 표면을 둘러싸는 원통형 표면상에 놓여 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 33

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 원통형 표면상에 놓여 있으며 상기 강자성 재료를 수용할 수 있는 크기의 원통 내강을 규정하는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 34

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료 주위에 둘러져 있는 자력계의 2차원 어레이로서 조직화되어 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 35

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 복수의 자력계의 링들로 조직화되어 있으며, 상기 복수의 자력계의 링들은 상기 강자성 재료의 종방향을 따라 이격되어 있으며, 상기 복수의 자력계의 링들의 각각의 링은 상기 강자성 재료를 둘러싸고 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 36

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 상기 강자성 재료의 둘레방향을 따라 부분적으로 배치되는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

### 청구항 37

제31항에 있어서, 상기 복수의 자력계는 자력계의 2차원 어레이로서 조직화되어 있는 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체.

## 발명의 설명

## 기술 분야

[0001]

관련 출원에 대한 교차 참조

[0002]

본 출원은 "강자성 재료에서 결함을 측정하는 시스템 및 방법(System and Method of Measuring Defects in Ferromagnetic Materials)"이라는 발명의 명칭으로 2014년 5월 18일에 출원된 미국 가특허 출원 제61/994,961호의 이익을 주장하며, 그 전체 내용은 이로써 모든 목적을 위해 본 명세서에 참조로서 통합된다.

[0003]

기술 분야

[0004]

본 발명은 강자성 재료 내의 결함 검출에 관한 것으로서, 특히 자력계를 사용하여 강자성 재료 내의 결함을 검출하는 것에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0005]

철, 니켈, 강철 및 다른 재료와 같은 강자성 재료는 파이프, 빔 및 대양 선박 선체와 같은 많은 물품을 제조하

기 위해 사용된다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, "강자성 재료(ferromagnetic material)"는 강자성 및 페리자성 재료 둘 다를 포함한다. 많은 경우에, 이러한 재료는 부식 및/또는 침식을 겪는다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 부식은 가장 흔한 산화의 결과로서 재료의 손실을 의미한다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 침식은 마모와 같은 기계적 프로세스의 결과로서 재료의 손실을 의미한다. 예를 들어, 오일 또는 가스정(gas well)에서 생산되는 샌드는 정(well)으로부터 오일 또는 가스를 운반하는 파이프라인의 내측을 마모시킬 수 있다. 부식 및/또는 침식으로 인한 재료 손실은 본 명세서에서 "결함"으로 집합적으로 언급된다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "결함"은 또한 제조 동안에 또는 나중에 발생할 수 있는 것과 같이, 균열, 또는 공동 또는 이물의 포함을 포함한다. 임계점을 넘어 발생하도록 허용되면, 부식 또는 침식은 물품의 구조적 무결성을 손상시키며, 가능하게는 석유 유출, 건물 붕괴 또는 배 침몰과 같은 돌발 고장을 야기할 수 있다.

[0006] 다양한 장치 및 방법이 강자성 재료 및 강자성 재료로 제조되는 물품에서 결함을 검출하기 위해 종래 기술에서 사용되었다. 이러한 장치 및 방법의 일부는 강자성 재료의 표면에 직접 접근하기 위해 단열을 제거하는 것 및 표면 처리를 억제하는 부식을 벗기는 것을 필요로 한다. 일부 경우에, 표면은 센서에 새로운 인터페이스를 생성하거나 센서로부터 파 전파를 생성하기 위해 연마되어야 한다. 이러한 단계는 비용이 많이 들고, 시간 소비적이고 종종 단열 및/또는 표면 처리를 손상시킨다.

[0007] 발명자에게 알려진 강자성 재료에서 결함을 검출하는 모든 종래 기술 장치 및 방법은 에너지를 재료로 도입하는 것을 수반한다. 예를 들어, 음향 센서는 음파를 재료로 송신하고 복귀하는 신호를 측정한다. 유도파 및 토포그래픽 센서는 전자기파를 재료로 유사하게 송신하고 반사를 감지하거나 몇 배의 파를 수송한다. 에너지를 측정되는 물품으로 제공하는 상이한 견지에서, Rohrback Cosasco Systems, Inc는 상표명 "Quicksand"으로 샌드 침식 검출 프로브의 라인을 생산한다. 이러한 프로브는 파이프 등의 침식을 직접 측정하지 않는다. 그 대신, 이러한 프로브는 프로브의 일부의 침식을 그 자체로 검출한다는 점에서 소모적이다. 그러한 프로브에 기초하는 시스템은 파이프 및 다른 물품이 프로브의 희생 부분과 거의 동일한 속도로 침식하는 것을 가정한다. 더욱이, 프로브는 파이프를 통해 유체의 흐름에 의존하며, 따라서 에너지가 유체 흐름의 형태로 파이프로 도입되는 것을 필요로 한다. 이러한 시스템은 파이프의 내측에서만 침식을 검출할 수 있다. 이러한 시스템은 파이프 벽의 내측 또는 파이프의 외측 표면 상에서와 같이 다른 곳에서 결함을 검출할 수 없으며, 센서가 제자리에 있기 전에 침식으로 인해 파이프의 조건을 추론할 수 없다.

[0008] 일부 종래 기술 장치 및 방법은 강자성 재료에서 결함을 검출하기 위해 자기 측정을 수반한다. 예를 들어, Valerian Goroshevskiy 등에 의한 미국 특허 제8,542,127호 및 제8,447,532호 둘 다는 역 자기 변형 빌라리 효과(inverse magnetostrictive Villari effect)를 사용하는 것을 개시한다. 역 자기 변형 빌라리 효과는 인가된 기계적 응력 하에 재료의 자화율의 변화를 수반한다. 파이프가 결함을 겪으면, 파이프 재료가 기계적으로 응력이 가해질 때, 예를 들어 파이프가 가압될 때의 파이프의 자화율은 파이프가 기계적으로 응력이 가해지지 않을 때와 상이하다. Goroshevskiy 특허는 파이프 내의 압력이 변화될 때 이러한 자화율의 변화를 검출하는 것에 의존한다. 따라서, 에너지는 파이프의 내부를 가압하는 형태로 파이프에 도입되어야 한다. 파이프와 같은 일부 물품은 비사용을 유지하고, 따라서 결함이 전개될 수 있는 시간 기간 동안 가압되지 않는다. 배 선체 또는 구조적 요소와 같은 다른 구조는 그 자체를 공지된 가압 사이클링에 부여하지 않는다. 그러나 가압 없이 Goroshevskiy 장치 및 방법은 이러한 결함을 검출할 수 없다. 더욱이, Goroshevskiy 기술은 파이프의 길이를 따라서만 결함의 위치를 결정할 수 있으며; Goroshevskiy 기술은 파이프 주위에서 원주 방향으로 결함의 위치를 결정할 수 없다.

## 발명의 내용

[0009] 본 발명의 일 실시예는 강자성 재료에서 결함을 검출하는 시스템을 제공한다. 시스템은 복수의 자력계를 포함한다. 복수의 자력계는 강자성 재료의 표면 주위에 배치된다. 복수의 자력계는 강자성 재료에 의해 발생하는 자계를 감지한다. 복수의 자력계는 감지된 자계에 기초하여 자계 데이터를 발생시킨다. 복수의 자력계의 각각의 자력계는 강자성 재료에 대해, 적당한 위치에 고정된다. 시스템은 또한 자계 매핑(mapper)을 포함한다. 자계 매핑은 자계 데이터로부터 2차원 맵의 데이터 포인트들을 발생시킨다. 각각의 데이터 포인트는 강자성 재료의 표면상의 각각의 위치에 대응한다. 각각의 데이터 포인트는 위치에 근접한 감지된 자계의 강도를 표현한다. "근접"은 이러한 문맥에서 충분히 가까운 것을 의미하므로 결함의 위치는 x 및 y 방향 둘 다를, 즉 강자성 재료를 따라 세로로 및 재료를 가로질러 측면으로 결정될 수 있다. 일부 실시예에서, 근접은 대략 5 내지 10 인치 내를 의미한다. 시스템은 또한 패턴 매치(matcher)를 포함한다. 패턴 매치는 맵에서, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별한다. 패턴 매치는 복수의 데이터 포인트들에 대응하

는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치를 출력한다. 출력된 위치는 결함의 위치이다.

- [0010] 시스템은 또한 결함 크기 추정기를 포함할 수 있다. 결함 크기 추정기는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정한다. 분실된 체적 추정은 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 진폭에 기초한다.
- [0011] 결함 크기 추정기는 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초하여 분실된 재료의 영역을 추정할 수 있다.
- [0012] 결함 크기 추정기는 분실된 재료의 추정된 체적 및 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초하여 분실된 재료의 깊이를 추정할 수 있다.
- [0013] 시스템은 또한 잔류 자계 강도 산출기를 포함할 수 있다. 잔류 자계 강도 산출기는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 떨어진 위치에서 강자성 재료에 의해 발생하는 자계의 진폭을 결정한다. 자계의 진폭은 맵의 데이터 포인트들 중 적어도 하나에 기초한다. 시스템은 또한 결함 크기 추정기를 포함할 수 있다. 결함 크기 추정기는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적을 추정한다. 체적 추정은 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터의 진폭 및 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 떨어진 위치에서 강자성 재료에 의해 발생하는 자계의 진폭에 따라 이루어진다.
- [0014] 결함 크기 추정기는 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초하여 분실된 재료의 영역을 추정할 수 있다.
- [0015] 결함 크기 추정기는 분실된 재료의 추정된 체적 및 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초하여 분실된 재료의 깊이를 추정할 수 있다.
- [0016] 복수의 자력계의 각각의 자력계는 3개의 직각으로 배향된 자력계를 포함할 수 있다. 맵의 각각의 데이터 포인트는 3개의 직각 방향 각각에서 감지된 자계의 강도를 표현할 수 있다. 패턴 매치는 3개의 직각 방향 각각에 대해, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들 및 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치를 식별할 수 있다. 패턴 매치는 그것에 의해 강자성 재료의 표면에 근접한 3개의 위치를 식별할 수 있다. 시스템은 또한 결함기를 포함할 수 있다. 결함기는 3개의 식별된 위치로부터 강자성 재료의 표면에 근접한 정제된 위치를 산출하고 정제된 위치를 출력할 수 있다.
- [0017] 패턴 매치는 맵의 데이터 포인트들로부터 복수의 공간 미분 값을 산출할 수 있다. 패턴 매치는 복수의 공간 미분 값으로부터 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별할 수 있다.
- [0018] 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들은 부식 또는 침식으로 인해 강자성 재료의 일부의 손실에 대응할 수 있다.
- [0019] 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들은 강자성 재료의 균열에 대응한다.
- [0020] 본 발명의 다른 실시예는 강자성 재료에서 결함을 검출하는 방법을 제공한다. 방법은 강자성 재료에 의해 발생하는 자계를 감지하는 단계를 포함한다. 2차원 맵의 데이터 포인트들은 감지된 자계로부터 발생된다. 각각의 데이터 포인트는 강자성 재료의 표면상의 각각의 위치에 대응한다. 각각의 데이터 포인트는 위치에 근접한 감지된 자계의 강도를 표현한다. 2차원 맵에서, 복수의 데이터 포인트들이 식별된다. 복수의 데이터 포인트들은 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치한다. 강자성 재료의 표면에 근접한 위치가 출력된다. 위치는 복수의 데이터 포인트들에 대응한다. 위치는 결함에 대응한다.
- [0021] 자계를 감지하는 단계는 강자성 재료의 표면 주위에 복수의 자력계를 배치하는 단계를 포함할 수 있다. 복수의 자력계의 각각의 자력계는 강자성 재료에 대한 위치에 고정된다.
- [0022] 자계를 감지하는 단계는 강자성 재료에 대해 적어도 하나의 자력계를 이동시킴으로써 적어도 하나의 자력계에 의해 강자성 재료를 물리적으로 스캐닝하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 강자성 재료에 대해 적어도 하나의 자력계를 이동시키는 단계는 강자성 재료의 축에 실질적으로 수직으로 배향되는 형상을 따라 적어도 2개의 자력계의 1차원 어레이를 배치하는 단계를 포함할 수 있다. 적어도 2개의 자력계의 1차원 어레이는 강자성 재료의 축을 따라 이동될 수 있다.
- [0024] 임의로, 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적이 추정될 수 있다. 추정은 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 진폭에 기초할 수 있다.

- [0025] 임의로, 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 떨어진 위치에서 강자성 재료에 의해 발생하는 자계의 진폭은 맵의 데이터 포인트들 중 적어도 하나에 기초하여 결정될 수 있다. 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 강자성 재료로부터 분실되는 재료의 체적은 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터의 진폭 및 강자성 재료의 표면에 근접한 위치에서 떨어진 위치에서 강자성 재료에 의해 발생하는 자계의 진폭에 따라 추정될 수 있다.
- [0026] 임의로, 분실된 재료의 영역이 추정될 수 있다. 추정은 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초할 수 있다.
- [0027] 분실된 재료의 둘레 깊이가 추정될 수 있다. 추정은 분실된 재료의 추정된 체적 및 복수의 데이터 포인트들 내의 데이터에 의해 표현되는 특징의 2개의 공간 방향으로의 길이에 기초할 수 있다.
- [0028] 자계를 감지하는 단계는 복수의 자력계에 의해 자계를 감지하는 단계를 포함할 수 있다. 복수의 자력계의 각각의 자력계는 3개의 직각으로 배향된 자력계를 포함할 수 있다. 데이터 포인트를 발생시키는 단계는 맵의 각각의 데이터 포인트가 3개의 직각 방향 각각에서 감지된 자계의 강도를 표현하도록 데이터 포인트를 발생시키는 단계를 포함할 수 있다. 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는 3개의 직각 방향 각각에 대해 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들 및 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치를 식별하는 것에 의해 강자성 재료의 표면에 근접한 3개의 위치를 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 게다가, 강자성 재료의 표면에 근접한 정제된 위치는 3개의 식별된 위치로부터 산출될 수 있다. 위치를 출력하는 단계는 정제된 위치를 출력하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0029] 복수의 공간 미분 값은 맵의 데이터 포인트들로부터 산출될 수 있다. 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는 복수의 공간 미분 값으로부터 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0030] 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는 부식 또는 침식으로 인해 강자성 재료의 일부의 손실에 대응하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0031] 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계는 강자성 재료의 균열에 대응하는 복수의 데이터 포인트들을 식별하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 또 다른 실시예는 강자성 재료에서 결함을 검출하는 컴퓨터 프로그램 제품을 제공한다. 컴퓨터 프로그램 제품은 비일시적 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 컴퓨터 판독 가능 프로그램 코드는 매체 상에 저장된다. 컴퓨터 판독 가능 프로그램 코드는 감지 모듈, 데이터 포인트 발생기 모듈, 결함 식별자 모듈 및 결함 위치 출력 모듈을 포함한다.
- [0033] 감지 모듈은 강자성 재료의 표면 주위에 배치되는 복수의 자력계로부터 자계 데이터를 수신한다. 복수의 자력계는 강자성 재료에 의해 발생하는 자계를 감지한다. 복수의 자력계는 또한 자계 데이터를 발생시킨다. 자계 데이터는 감지된 자계에 기초한다. 복수의 자력계의 각각의 자력계는 강자성 재료에 대한 위치에 고정된다.
- [0034] 데이터 포인트 발생기 모듈은 감지된 자계로부터 2차원 맵의 데이터 포인트들을 발생시킨다. 각각의 데이터 포인트는 강자성 재료의 표면상의 각각의 위치에 대응한다. 각각의 데이터 포인트는 위치에 근접한 감지된 자계의 강도를 표현한다.
- [0035] 결함 식별자 모듈은 2차원 맵에서, 자계 강도의 미리 정의된 공간 패턴에 합치하는 복수의 데이터 포인트들을 식별한다. 결함 위치 출력 모듈은 복수의 데이터 포인트들에 대응하는 강자성 재료의 표면에 근접한 위치를 출력한다.

### 도면의 간단한 설명

- [0036] 본 발명은 도면과 함께 특정 실시예의 이하의 상세한 설명을 참조함으로써 더 완전히 이해될 것이다.
- 도 1은 종래 기술에 공지된 바와 같이 가상 파이프의 사시도 및 파이프의 일부의 단면도이다.
- 도 2는 종래 기술에 공지된 바와 같이 가상 만곡된 파이프의 사시도이다.
- 도 3은 종래 기술에 공지된 바와 같이 가상 자기 쌍극자에 의해 생성되는 자계를 개략적으로 예시한다.
- 도 4는 도 3의 라인을 따르는 3개의 축을 따라 자력계에 의해 감지되는 가상 예시적 필드 강도( $B_x$ ,  $B_y$  및  $B_z$ )의 그래프를 포함한다.



- 도 5는 종래 기술에 공지된 바와 같이 강자성 재료의 가상 플레이트를 개략적으로 예시한다.
- 도 6은 본 발명의 실시예에 따라 해석되는 바와 같이 많은 작게 정렬된 자기 쌍극자로 도 5의 플레이트를 개략적으로 예시한다.
- 도 7은 표면에 결함을 갖는 도 5의 플레이트를 개략적으로 예시한다.
- 도 8은 종래 기술에 공지된 바와 같이 제조로부터 발생하는 헬리컬 두께 인공물을 보여주는 가상 파이프를 개략적으로 예시한다.
- 도 9는 종래 기술에 공지된 바와 같이 개념적으로 절단되고 전개된 후에 도 8의 파이프를 개략적으로 예시한다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 외부 표면에 결함을 갖는 실제 파이프 주위에 자계의 한 성분의 그래프를 포함한다.
- 도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 자기 측정 센서 유닛의 측면도이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프에 부착되는 한 세트의 자기 측정 센서 유닛을 개략적으로 예시한다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프에 부착되는 한 세트의 자기 측정 센서 유닛을 개략적으로 예시한다.
- 도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프 주위에 원주 방향으로 배치되는 자기 측정 센서의 어레이의 개략 사시도이다.
- 도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 도 14의 자기 측정 센서의 어레이의 각각의 요소에서와 같이 자력계를 지니는 한 쌍의 회로 보드의 개략 사시도이다.
- 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프 주위에 배치되는 자기 측정 센서의 링의 개략 사시도이다.
- 도 17 및 도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 실제 파이프의 2개의 각각 차원을 따르는 자기 측정 데이터의 그래프를 포함한다.
- 도 19 및 도 20은 본 발명의 일 실시예에 따라 각각 도 17 및 도 18의 플롯(plot)으로부터 산출되는 미분의 플롯을 포함한다.
- 도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 모두 동일한 직경이지만 상이한 깊이의 3개의 시뮬레이션된 결함에 대한 자계 강도의 그래프이다.
- 도 22는 본 발명의 일 실시예에 따른 동일한 깊이를 모두 갖지만 상이한 직경의 3개의 시뮬레이션된 결함에 대한 자계 강도의 그래프이다.
- 도 23은 본 발명의 일 실시예에 따른 내의 결함에 근접한 x 축을 따르는 자계 강도의 그래프이다.
- 도 24는 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프 내의 결함에 근접한 z 축을 따르는 자계 강도의 그래프이다.
- 도 25는 본 발명의 일 실시예에 따른 정규화 후에 도 23의 자계 강도의 그래프이다.
- 도 26은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프 및 검출기와 파이프 내의 결함 사이의 이격 거리(standoff)의 개략적 사시도이다.
- 도 27은 본 발명의 일 실시예에 따른 파이프의 내측 상의 결함으로부터의 신호 강도 및 파이프의 외측 상의 결함으로부터의 신호 강도의 차이를 예시하는 그래프이다.
- 도 28은 본 발명의 일 실시예에 따른 시간적 분석에 따라 자계의 한 축을 도시하는 감산의 결과의 표면 플롯이다.
- 도 29 및 도 30은 본 발명의 각각의 실시예에 따른 물품의 물리적 스캔을 구현하는 장치의 개략 사시도이다.
- 도 31은 본 발명의 일 실시예에 따른 기지국과 무선 통신하는 원격 자기 측정 센서의 개략 블록도이다.

#### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

본 발명의 실시예는 에너지가 재료로 도입되는 것을 필요로 하지 않고 재료 또는 물품으로부터 단열, 표면 처리

[0037]

등을 반드시 제거하지 않으면서 강자성 재료를 포함하는 물품에서 결함을 검출하는 것을 가능하게 한다. 물품 내의 강자성 재료는 자계를 발생시킨다. 본 발명의 실시예는 물품의 비결함 부분에 의해 발생하는 잔류 자계로부터 특징적 방식에서 서로 다른 자계의 일부를 발견하기 위해 물품의 자계를 분석함으로써 물품에서 결함을 검출하고 특징화한다. 특징적 방식에서 서로 다른 자계의 일부는 결함의 위치에 대응한다. 잔류 자계는 결함에서 떨어진 물품의 일부에 대응한다. 결함 특징화는 각각의 결함 및/또는 각각의 결함의 폭 및/또는 깊이로 인해 분실되는 재료의 체적을 포함할 수 있다. 임의의 자기 측정 접근법에 대한 도전은 물품의 고유 잔류 자계가 전형적으로 불균일하며, 물품에 걸친 재료 및 제조 변화를 반영한다는 것이다. 이러한 방법에 대한 중요 도전은 물품의 잔류 필드에 고유한 "잡음"으로부터 결함의 자기 "표시"를 분리하는 것이다.

[0038]

개요

[0039]

일부 실시예에서, 자기 측정 센서의 2차원 어레이는 분석되는 물품의 외측 표면과 평행하게 배치된다. 자기 측정 센서의 어레이는 데이터를 수집하여 자기 측정 데이터(자계 맵)의 2차원 맵의 생성을 가능하게 한다. 이러한 문맥에서, 원형 단면 파이프 또는 다른 비평면 물품 주위에 둘러싸여 지는 자기 측정 센서의 "매트"는 2차원 인 것으로 간주된다.

[0040]

일부 실시예에서, 물품은 자기 측정 센서의 1차원 어레이에 의해 1차원을 따라 물리적으로 스캐닝되는 것에 의해 자기 측정 데이터의 2차원 맵을 생성한다. 일부 실시예에서, 물품은 자기 측정 데이터의 2차원 맵을 생성하기 위해 단일 자기 측정 센서 또는 작은 그룹의 자기 측정 센서에 의해 1 초과의 차원을 따라 래스터, 나선형 또는 다른 방법으로 스캔된다.

[0041]

물품 내의 강자성 재료는 자계를 발생시킨다. 자계는 강도 및 방향 둘 다에 의해 특징화되는 벡터량이다. 자기 측정 데이터의 맵(자계 맵)은 물품의 표면 위의 많은 포인트 각각에서 자계의 강도를 표현한다. 자계 맵은 3차원 자계 강도 벡터의 1개, 2개 또는 3개의 성분을 표시할 수 있다.

[0042]

일부 실시예에서, 자기 측정 데이터는 수개의 미리 정의된 패턴(형상) 중 어느 것에 대해 본질적으로 검색된다. 자계의 강도, 또는 3차원 자계의 성분 중 어느 것이 미리 정의된 패턴 중 하나에 따라 공간적으로 변하는 영역은 결함의 위치에 대응한다. 이러한 미리 정의된 패턴 중 하나에 따르면, 직선을 따라, 자계는 잔류 레벨에서 시작되고, 그 다음에 잔류물에 대해 피크의 강도가 증가되고, 이어서 잔류물 아래에서 밸리의 강도가 감소되며, 그 다음에 사인 곡선의 한 사이클의 형상과 다소 유사한 잔류 레벨로 복귀된다.

[0043]

이러한 미리 정의된 패턴 중 다른 것에 따르면, 직선을 따라, 자계는 잔류 레벨에서 시작되고, 그 다음에 잔류물에 대해 피크의 강도가 증가되고, 이어서 잔류물 아래에서 밸리의 강도가 감소되며, 그 다음에 잔류물에 대해 제 2 피크의 강도가 증가되고, 이어서 코사인 곡선의 1과 2분의 1 사이클의 형상과 다소 유사한 잔류 레벨로 복귀된다.

[0044]

언급된 바와 같이, 잔류 자계는 임의의 결함에서 떨어진 물품의 일부에 대응한다. 그러나, 잔류 필드는 물품이 완전히 균일하지 않은 것으로 인해, 많은 특징을 가지며, 그것은 결함 표시의 존재를 마스킹할 수 있다. 결함 표시에 대한 자계 측정을 검색함으로써, 잔류물 내의 비결함 특징과 비교하여 결함의 위치를 식별할 수 있다. 이러한 타입의 분석을 참조하며, 결함(들)의 자계는 "공간적 분석"과 같이, 결함을 검출하는 수단으로서 잔류물로부터 구별된다.

[0045]

일부 실시예에서, 물품에 대한 자기 측정 데이터는 물품이 새롭거나 일부 다른 참조 시점에 있을 때 캡처된다. 자기 측정 데이터가 저장되고, 나중에 자기 측정 데이터는 물품의 동일한 부분에 대해 다시 캡처되며, 2개의 데이터세트가 비교된다. 2개의 데이터세트 사이의 차이는 후보 결함을 표현한다. 이러한 타입의 분석을 참조하며, 데이터세트는 "시간적 분석"과 같이 데이터세트 사이의 차이를 결정하기 위해 상이한 시간에 캡처된다. 그 다음에, 후보 결함은 공간적 분석에서와 같이, 결함 표시에 대해 분석될 수 있다.

[0046]

일부 실시예에서, 자기 측정 센서의 다수의 어레이는 분석되는 물품에 부착되고 본질적으로 물품의 수명 동안 또는 다른 연장된 시간 기간 동안 물품에의 부착을 유지한다. 각각의 그러한 어레이는 물품 상의 별개 위치에 부착된다. 각각의 어레이는 어레이를 동작시키기 위해 전기 전력을 제공하도록 에너지 수확기를 포함할 수 있다. 어레이는 유선 또는 무선 네트워크에 의해 상호 연결될 수 있다. 네트워크는 매우 적은 전력을 소비하는 동안에, 즉 에너지 수확기에 의해 전력 공급될 수 있는 동안에 10개 초과의 홉(hops)을 갖는 수백 개의 노드를 포함하는 선형 네트워크가 동작될 수 있게 하는 메시징 프로토콜, 라우팅 알고리즘, 클록 관리 및 다른 양태를 이용할 수 있다.

[0047]

자기 측정 센서의 어레이는 데이터를 네트워크를 통해 기지국에 송신하며, 그것은 결함을 검출하기 위해 데이터



를 분석한다. 기지국은 분산 제어 시스템, 플랜트 관리 시스템 또는 다른 외부 시스템에 결합될 수 있다. 외부 시스템은 기지국에 결합에 관해 질의하거나 기지국에게 결합 검출을 개시하라고 명령할 수 있다. 임의로 또는 대안으로, 기지국은 외부 시스템으로부터의 질의 없이 외부 시스템에 결합을 통지할 수 있다. 유사하게, 기지국은 결합을 검출하면, 빔을 비추는 것, 경적을 울리는 것, 이메일 메시지를 송신하거나 전화 통화를 개시하는 것 및 녹음된 또는 음성 합성된 메시지를 플레이하는 것과 같이, 경보를 울릴 수 있다.

- [0048] 언급된 바와 같이, 자기 측정 센서의 어레이는 자기 측정 데이터를 수집하기 위해 물품에 고정될 수 있거나, 물품은 자기 측정 데이터를 수집하기 위해 물품에 대해 자기 측정 센서를 이동시킴으로써 물리적으로 스캐닝될 수 있다. 어느 하나의 경우에, 자기 측정 데이터는 결합을 검출하기 위해 시간적으로 또는 공간적으로 분석될 수 있다.
- [0049] 결합
- [0050] 언급된 바와 같이, 결합은 부식 및/또는 침식으로 인한 재료의 손실일 수 있다. 예 및 실시예는 본 명세서에서 파이프의 내용으로 설명된다. 그러나 이러한 실시예 및 예는 플랫 시트, 배의 선체, 저장 탱크/용기, 빔, 기둥 등과 같은 다른 타입의 물품에 적용된다.
- [0051] 도 1은 가상 파이프(100)의 개략도 및 파이프(100)의 단면(단면 A-A)이다. 거의 모든 파이프는 102로 예시된 바와 같이 파이프의 외측 표면 상의 부식 또는 침식의 결과로서, 예를 들어 산성비, 화학 유출물 또는 우연한 또는 고의의 물리적 손상의 결과로서 결합이 성장하는 것을 겪는다. 대부분의 파이프는 또한 104, 106 및 108로 예시된 바와 같이 파이프의 내측 표면에 결합이 성장하는 것을 겪는다. 예를 들어, 오일 또는 가스정에서 생산되는 샌드는 전형적으로 104로 예시된 바와 같이 파이프의 하단을 따라 수송되고 따라서 파이프의 하단을 마멸시킬 수 있다. 106 및 108로 예시되는 파이프 내의 액체의 상단 표면이 파이프의 내측 벽을 만나는, 파이프의 내측 벽의 영역은 부식에 대한 공통 위치이다. 파이프는 또한 110으로 예시된 바와 같이 파이프의 벽의 두께 내에서 결합을 전개할 수 있다.
- [0052] 침식은 종종 도 2의 파선(202)에 의해 표시되는 위치에서, 파이프(200) 내의 굴곡부 내에 그리고 굴곡부의 약간 하류에 발생한다. 흐름 방향의 변경으로 인한 난류는 부식에 대한 후보 부위를 생성한다. 화살표는 파이프(200) 내에서 흐름의 방향을 표시한다. 파이프라인(도시되지 않음) 내의 확장 및 수축은 침식에 대한 잠재적 부위를 생성할 뿐만 아니라, 그것은 하류에 난류를 생성하는 것이 경향이 있고, 따라서 난류 영역에 인접하여 결합을 야기하는 경향이 있다.
- [0053] 자력계 및 결합 검출
- [0054] 도 3은 가상 자기 쌍극자(300)에 의해 생성되는 자계를 개략적으로 예시한다. 라인 302에 의해 예시되는 자계 라인은 자계를 표현한다. 자기 쌍극자(300)는 평면(304)에 있고, 단순화를 위해 평면(304) 내의 자계 라인(300)만이 도시된다.
- [0055] 벡터 자력계는 자계의 벡터 성분을 측정한다. 즉, 벡터 자력계는 자력계의 축을 따라 지향되는 자계의 강도를 측정한다. 3축 자력계(306)는 3개의 축(X, Y 및 Z)을 따라 자계 강도를 측정한다. 자력계(306)가 자기 쌍극자(302)와 평행한 라인(308)을 따라 병진되면, 자력계(306)는 라인(308)을 따라 가변 자계를 감지한다. 예를 들어, X 축 센서는 다양한 필드 강도를 감지하며, 이 필드 강도는 A, B, C, D, E, F, G 및 H에서 화살표에 의해 표현되는 자기 벡터의 X 성분을 표현한다. 도 4는 라인(308)을 따르는 3개의 축을 따라 자력계(306)에 의해 감지되는 가상 예시적 필드 강도( $B_x$ ,  $B_y$  및  $B_z$ )의 그래프를 포함한다.  $B_x$  그래프는 코사인 곡선과 유사하고  $B_z$  그래프는 사인 곡선과 유사한 점을 주목한다. 이러한 형상은 별개 자기 쌍극자 근방의 자계의 특성이다.
- [0056] 도 5는 강자성 재료의 가상 플레이트(500)를 개략적으로 예시한다. 플레이트(500)는 도 6에 개략적으로 예시된 바와 같이 자기 쌍극자(602 및 604)에 의해 예시되는 많은 작게 정렬된 자기 쌍극자로 구성되는 것으로 간주될 수 있다. 자계 라인은 본질적으로 도 3에 예시된 바와 같이 각각의 작은 자기 쌍극자로부터 그것의 전면 및 후면 이웃으로, 주로 직선으로 연장되고, 자계 라인은 단부(502 및 504)에서 플레이트(500)를 나간다. 자계 라인은 상단, 하단 또는 측면을 통해 플레이트(500)를 약간 나가거나 나가지 않는다.
- [0057] 그러나, 플레이트가 결합을 겪었으면, 일부 재료는 도 7에 예시된 바와 같이 블록(702)의 표면 내의 결합(700)에 의해 손실된다. 그 결과, 자기 쌍극자(602 또는 604)와 같은 작은 자기 쌍극자 중 하나 이상 손실되고, 나머지 자기 쌍극자의 최종 비대칭 배열은 일부 자계 라인이 블록(702)의 상단, 하단 및/또는 측면을 통해 블록을 나가는 것을 야기한다. 따라서, 결합의 표시, 즉 강자성 재료의 손실 체적은 반대로 배향된 자기 쌍극자의 같은 체적만큼 근사되는 것으로 생각될 수 있다. 내부, 즉 비표면 자기 쌍극자만이 손실되지만, 나머지 자기 쌍

극자의 최종 비대칭 배열은 일부 자계 라인이 블록(702)의 상단, 하단 및/또는 측면을 통해 블록을 나가는 것을 야기한다.

[0058] 손실된 자기 쌍극자 근방의 국부 자계는 도 3 및 도 4에 대해, 위에 설명되는 자계와 유사하다. 그 결과, 결합의 위치는 도 4의 Bx 또는 By 그래프의 형상과 유사한 형상을 갖는 플레이트(702)에 의해 생성되는 자계의 일부를 위치시킴으로써 발견될 수 있다. 따라서, Bx 및 By 그래프의 일반적 형상은 결합의 자기 표시로 사용될 수 있다.

[0059] 파이프 결합 검출

[0060] 파이프는 다양한 방식으로 제조된다. 각각의 방법은 조성물, 두께, 온도 이력 또는 일부 다른 인공물에서 불균일 특징을 남긴다. 이러한 것들 모두는 결합의 표시를 발견하는 것이 간단하지 않도록 물품의 고유 잔류 자계가 매끄러운 것이 아니라 크기 및 복잡성의 특징을 갖게 할 가능성을 갖는다. 파이프 내의 공통 제조 인공물은 파이프의 길이를 따른 두께의 나선형(헬리컬) 패턴이다. 도 8은 제조로부터 발생하는 그러한 헬리컬 두께 인공물(802)을 보여주는 파이프(800)를 개략적으로 예시한다. 개념적으로, 파이프(800)는 도 9에 개략적으로 예시된 바와 같이 그것의 세로 축과 평행한 라인(804)을 따라 절단되며 그 다음에 평탄 플레이트(900)로 전개될 수 있다. 이러한 플레이트(900)는 위에 설명된 바와 같이 도 3 내지 도 7에 대해 분석될 수 있다.

[0061] 도 10은 외부 표면에서 1 인치 x 1 인치 x 0.06 인치(25.4 mm x 25.4 mm x 1.5 mm) 결합을 갖는 실제 4.5 인치(114.3 mm) 직경 파이프에 관한 자계의 x 성분의 그래프를 포함한다. 그래프는 왜곡된 표면(1000)으로 제시된다. 파이프의 세로 축(1002)으로부터의 표면(1000)의 반경 거리는 자계의 x 성분의 강도를 표시한다.

[0062] 파이프의 제조 프로세스는 자계에 인공물을 남긴다. 제조 프로세스로 인한 필드 내의 종종 관찰된 헬리컬 패턴, 즉 패턴(802)(도 8 및 도 9)은 도 10에서 분명하게 나타나며, 자계 강도의 마루(ridge)는 헬리컬 점선(1004)에 의해 표시되는 바와 같이 헬리컬 제조 특징에 공간적으로 대응한다.

[0063] 또한 자계 강도의 피크(1006)는 도 10에서 분명하게 나타난다. 더욱이, 점선(1008)에 의해 표시되는 바와 같이, 피크(1006)에 근접한 표면의 형상은 도 4의 By 곡선의 형상과 유사하며, 따라서 결합의 특성이다.

[0064] 유사한 분석은 파이프에 관한 자계의 y 성분 및 자계의 z 성분을 사용하여 수행될 수 있다. 3개의 분석에 의해 발견되는 결합의 위치를 상관시키는 것은 자계의 한 성분만의 분석보다 더 정확하게 결합의 위치를 제공한다.

[0065] 센서 어레이

[0066] 도 11은 본 발명의 일 실시예를 개략적으로 예시한다. 이러한 실시예에서, 자기 측정 센서 유닛(1100)은 파이프(1102) 주위에 스트랩된다. 자기 측정 센서 유닛(1100)은 함께 힌지되는 2개의 반원 부분(하프 셸)을 포함한다. 힌지는 자기 측정 센서 유닛(1100)의 후면 측면 상에 위치되고 따라서 도 11에서 보이지 않는다. 해제 가능한 래치(1104)는 2개의 하프 셸을 서로 기계적으로 고정하는 것에 의해 파이프(1102) 주위에 자기 측정 센서 유닛(1100)을 클램핑한다. 래치(1104)는 자기 측정 센서 유닛(1100)을 파이프(1102)에 충분히 단단하게 고정해서, 정상 사용, 예컨대 산업 설치에 직면되는 것으로 예상되는 힘에 응답하여, 파이프(1102) 주위에 자기 측정 센서 유닛(1100)의 회전을 방지하거나 파이프(1102)를 따라 자기 측정 센서 유닛(1100)의 병진을 방지한다. 래치(1104)가 필수적일 수 있어, 자기 측정 센서 유닛(1100)에 의한 비인가된 제거 또는 조작을 방지한다. 자기 측정 센서 유닛(1100)은 내후성일 뿐만 아니라 폭발 보호에 관한 ATEX/UL 지시 표준을 충족시키도록 구성될 수 있다.

[0067] 유리하게, 자기 측정 센서 유닛(1100)은 측정되는 물품과 접촉할 필요가 없으므로, 그것은 파이프 커버링을 제거하지 않으면서 단열 또는 파이프 표면 처리와 같은 임의의 기존 파이프 커버링을 통해 파이프(1102)에 부착될 수 있다. 부가 단열 또는 다른 커버링은 원하는 경우 설치된 자기 측정 센서 유닛(1100)을 통해 적용될 수 있다.

[0068] 자기 측정 센서 유닛(1100)의 외부 하우징의 부분(1105)은 자기 측정 센서의 어레이(1106)를 나타내기 위해 도 11에 제거되어 도시된다. 자기 측정 센서의 어레이(1106) 내의 각각의 자기 측정 센서는 3축 자력계일 수 있다. 외부 하우징 내의 개구부(1105)를 통해 알 수 있는 바와 같이, 자기 측정 센서의 어레이(1106)는 링 내의 파이프(1102) 주위에 배치된다. 각각의 링은 링 주위에 규칙적으로 이격되는 다수의 자기 측정 센서를 포함한다. 이러한 내부 링은 규칙적 간격으로 파이프(1102)를 따라 세로로 이격되어, 파이프(1102)의 외부 표면과 평행하게 배치되고 파이프(1102)로부터 고정 거리, 가능하게는 제로로 이격되는 자기 측정 센서의 규칙적 2차원 어레이를 본질적으로 생성한다. 코어 회로 보드(1108)는 자기 측정 센서의 어레이(1106)를 제어하고, 자기 측정 센

서의 어레이(1106)로부터 데이터를 수집하고 무선 통신 네트워크를 통해 다른 자기 측정 센서 유닛 및/또는 기지국(도시되지 않음)과 통신하는 안테나(1110) 및 회로를 포함한다.

[0069] 한 세트의 에너지 수확기(1112)는 파이프(1102)와 주변 환경 사이의 온도 차이로부터 전기를 발생시킨다. 임의로 또는 대안으로, 에너지 수확기(1112)는 광전지 및/또는 임의의 다른 적절한 에너지 수확 기술을 포함할 수 있다. 임의로 또는 대안으로, 전력 요구 및 수명이 실행 가능 대안이면, 에너지 수확기를 갖거나 갖지 않는 일차 배터리가 사용될 수 있다. 충전 가능 배터리(1114)는 코어 회로 보드(1108)에 의해 요구될 때까지 수확된 에너지를 저장하기 위해 포함될 수 있다. 에너지 수확기(1112)는 도시된 바와 같이 링으로 배열될 수 있다.

[0070] 자력계들(자기 측정 센서의 어레이, 1106)의 간격, 예컨대 대략 0.3 인치(7.6 mm) 자력계간 간격, 즉 인접한 3축 자력계 센서 사이의 간격은 원하는 자력계 밀도를 달성하기 위해 선택될 수 있다. 자력계간 간격은 검출되는 최소 크기 결함에 기초하여 선택될 수 있다. 자력계간 간격은 자체 맵에서 결함의 표시의 형상을 검출할 수 있기 위해 검출되는 가장 작은 결함이 충분한 수의 3축 자력계 센서에 의해 걸쳐지도록 선택되어야 한다.

[0071] 도 12는 파이프(1102)에 부착되는 한 세트의 자기 측정 센서 유닛(1200)을 개략적으로 예시한다. 도 12에 도시된 바와 같이, 수개의 자기 측정 센서 유닛(1200)은 파이프(1202)의 길이의 전부 또는 일부를 따라 단단히 패키징될 수 있다. 이러한 실시예에서, 에너지 수확기 링(1204, 1206 및 1206)에 의해 예시되는 각각의 에너지 수확기 링은 2개의 자기 측정 센서 유닛에 전력을 공급하며, 하나는 에너지 수확기 링의 각각의 측면 상에 있다. 도 13에 개략적으로 도시된 바와 같이, 한 세트의 자기 측정 센서 유닛(1300)은 파이프(1302)에 부착되고 파이프(1302)를 따라 서로 이격될 수 있다.

[0072] 도 14는 다른 실시예에 따른 자기 측정 센서 어레이(1400)의 클로즈업 도면이다. 이러한 실시예에서, 자기 측정 센서(1400)의 어레이는 도 11 내지 도 13에서와 같이, 원주 방향으로 또는 도중까지 파이프(1402) 주위에 배치된다. 어레이(1400)는 어레이 모듈(1404, 1406 및 1408)에 의해 예시되는 수개의 어레이 모듈을 포함한다. 그러나 명료성을 위해, 8개의 어레이 모듈만이 도 14에 도시된다. 각각의 어레이 모듈(1404-1408)은 한 쌍의 원주 방향 장착 링(1410 및 1412)에 분리 가능하게 부착될 수 있다. 임의로 또는 대안으로, 모듈(1404-1408)의 어레이는 도 11 내지 도 13에 대해 논의되는 바와 같이 보호 하우징 내측에 패키징될 수 있다. 일부 실시예에서, 부가 어레이 모듈은 장착 링(1410 및 1412)에 부착되므로, 파이프(1402)는 어레이 모듈에 의해 둘러싸여 진다. 그러나 다른 실시예에서, 어레이 모듈(1404-1408)은 파이프(1402)의 둘레의 일부만을 커버할 수 있다. 일부 실시예에서, 어레이 모듈(1404-1408)은 어레이 모듈(1404-1408)의 필드 대체를 용이하게 하는 분리식 전기 플러그를 통해 부착될 수 있다. 일부 실시예에서, 어레이 모듈(1404-1408)은 핫 스왑 가능하다(hot swappable).

[0073] 어레이(1400)는 에너지 수확기(1414)에 의해 전원 공급될 수 있고 코어 회로 보드(1416)를 포함할 수 있다. 어레이(1400)는 무선 송수신기 및 안테나(도시되지 않음)를 포함한다.

[0074] 일부 실시예에서, 각각의 어레이 모듈(1404-1408)은 도 15에 도시된 바와 같이 한 쌍의 회로 보드(1500 및 1502)를 포함한다. 한 쌍의 회로 보드(1500-1502)의 각각의 회로 보드는 자력계(1504, 1506 및 1508)에 의해 예시되는 3축 자력계의 행을 포함한다. 일부 실시예에서, 각각의 회로 보드는 16 3축 자력계(1504-1508)를 포함한다.

[0075] 어레이 모듈(1500-1502) 내부의 각각의 자기 측정 센서(1504-1508)는 3개의 자력계(동등하게 3축 자력계 센서)를 포함한다. 3개의 자력계는 상호 직각 배향될 수 있거나, 그것은 일부 다른 공지된 배열에 따라 배향될 수 있다. 자력계 배향은 여기서 자력계의 일차 감도의 축을 지칭한다. 일부 실시예에서, 각각의 어레이 모듈(1404-1408)(도 14)은 3축 자력계 센서의, 16x1 어레이(도 15에서와 같음) 또는 16x16 어레이와 같은 어레이를 포함한다.

[0076] 결함의 표시를 위치시키는 패턴 매칭

[0077] 언급된 바와 같이, 일부 실시예에서, 자기 측정 데이터는 결함을 표시하는 수개의 미리 정의된 공간 패턴(표시) 중 어느 것에 대해 검색된다. 패턴은 사인파일 수 있고, 사인파의 길이(파장)는 결함의 크기에 비례할 수 있다. 이러한 의미에서, 사인파의 파장은 일반적으로 선형적으로 공지되어 있지 않다. 위에 설명된 바와 같이, 자기 측정 센서의 링(1600)은 도 16에 개략적으로 예시된 바와 같이 파이프(1602)의 외부 표면과 평행하게 배치되는 자기 측정 센서의 규칙적 2차원 어레이를 생성하기 위해 파이프(1602)의 둘레 주위에 배치된다. 자기 측정 센서의 이러한 어레이는 자기 측정 데이터를 생성한다. 도 17은 실제 파이프로부터의 그러한 자기 측정 데이터의 그래프를 포함한다. 도 17의 데이터는 x 배향된 자력계에 의해 검출되는, 즉 파이프의 길이를

따르는 성분 자체 강도를 도시한다. 도 18은  $z$  배향된 자력계에 의해 검출되는, 즉 파이프의 표면과 수직(또는 거의 수직)인 성분 자체 강도를 도시한다. 그래프(도시되지 않음)는  $y$  배향된 자력계에 의해 검출되는, 즉  $x$  배향된 및  $y$  배향된 자력계에 수직인 성분 자체 강도를 도시한다.

[0078] 각각의 자기 측정 센서(센서 유닛(1100) 내의)(도 11)는 링(1600) 주위에, 1604(도 16)로 예시되는 주어진 각도 위치("클록 위치")에 배치된다. 도 17 및 도 18에 대해 데이터를 발생시키는 실시예에서, 각각의 링은 18 자기 측정 센서를 포함한다. 그러나 다른 수의 센서가 사용될 수 있다. 라인(1700, 1702 및 1704)에 의해 예시되는 각각의 일반적인 수평 라인은 파이프 주위의 별개 각도 위치에서  $x$  성분 감지 자력계로부터 데이터를 표현한다. 따라서, 수직 축은 파이프 주위의 각도 위치를 표현한다. 수평 축은 파이프의 길이를 따르는 거리를 표현한다. 따라서, 각각의 라인(1700-1704)을 따르는 포인트는 파이프의 길이를 따르는 자체 강도를 표현한다. 유사하게, 도 18은 도 17에서 데이터와 배열되는 위치 내의 자체의  $z$  성분을 도시한다. 파이프 제조 프로세스로 인한 자체의 헬리컬 변화는 1710, 1712, 1800 및 1802로 표시되는 바와 같이 분명하게 나타난다. 결함의 표시는 1714, 1716, 1804 및 1806에 존재한다. 이러한 결함이 어떻게 검출되는지가 아래에 설명된다.

[0079] 자력계로부터 수집되는 데이터는 파이프를 따르는 공간 차원에서 그리고 파이프 주위에서 연속적으로 구별될 수 있도록 처리될 필요가 있다. 표준 접근법은 센서 데이터에 갭을 채우고 데이터를 평활하게 하고 보간하기 위해 사용되어, 공간적 부분 미분이 산출될 수 있다.

[0080] 도 17의 플롯(plot) 내의 각각의 라인(1700-1704)을 따라 그리고 유사하게 다른 2개의 성분 방향으로의 각각의 라인을 따라(예컨대 도 18은 자체의 벡터 성분의 하나 더를 도시함) 공간 미분(경사 또는 변화율)이 산출된다. 도 19 및 도 20은 각각 도 17 및 도 18로부터 산출되는 미분의 플롯이다. 미분을 산출하는 동기는, 결함의 자기 표시 및 잔류 자체가 크기에 있어서 유사하지만, 결함이 더 작은 정도인 경향이 있고 더 급격한 상승 및 하강을 갖는다는 것이다. 그러므로 잔류 필드의 미분의 특징과 비교하여, 미분은 이러한 더 높은 주파수 작용을 증폭하는 경향이 있고, 결함은 진폭 및 파장 둘 다에서 두드러진다. 도 20에서 알 수 있는 바와 같이, 예를 들어, 트레이스(trace)의 대부분은 적절한 진폭(그러므로, 자체 신호 내의 적절한 경사)을 갖는다. 이것은 비결함 영역에 있는 트레이스이다. 도 20의 중심에서의 밝은 회색 트레이스(2000)는 결함을 교차하는 2개의 트레이스이다. 이러한 미분 플롯에서, 이러한 트레이스는 비결함(잔류) 영역으로부터의 크기에서 두드러져서 검출 알고리즘을 위한 부가 정보를 제공하여 동작하는 것을 알 수 있다.

[0081] 자동 패턴 매치는 수개의 사인 또는 코사인 템플릿 중 하나와 매칭하는 부분에 대한 최종 미분을 검색한다. 각각의 템플릿은 상이한 공간 파장에 대응한다. 많은 템플릿은 언급된 바와 같이 결함의 공간 정도 때문에, 결함 사인 및 코사인의 공간 파장이 선형적으로 공지되어 있지 않으므로 사용된다. 자체 데이터와 가장 강한 상관을 갖는 파장을 가진 템플릿은 결함의 검출 및 특징화를 위해 사용된다.

[0082] 3개의 개별 분석, 즉 자체의  $x$ ,  $y$  및  $z$  성분에 확인되는 결함의 위치는 최종 결함 위치 및 신뢰 레벨을 산출하기 위해 병합된다.

[0083] 결함 특징화

[0084] 결함의 위치가 발견되었다면, 결함은 체적(손실되는 재료의 양) 및 표면 범위(결함이 파이프의 내부에 있으면 파이프의 표면 또는 파이프의 표면과 평행한 표면에서)에 관하여 특징화될 수 있다. 일부 경우에, 결함의 일반적인 형상에 관한 가정이 이루어진다. 예를 들어, 결함은 일반적으로 파이프의 표면상에서 원형 또는 타원형이고 일부 종류의 수직 프로파일을 갖는 것으로 가정될 수 있다. 이러한 종류의 가정에서, 결함의 영역 및 깊이가 근사될 수 있다.

[0085] 측정된 자체의  $z$  성분은 파이프에 대해 도 21에 도시된 바와 같이 측정되는 강자성 재료의 표면에 수직이다. 자체의  $z$  성분의 진폭은 결함으로 인해 손실되는 강자성 재료의 양에 비례한다. 따라서, 동일한 직경을 갖는 결함에 대해, 자체의  $z$  성분은 또한 결함의 깊이에 비례한다. 도 21의 그래프는 파이프의 표면에서의 모든 동일한 직경(파이프의 벽 두께의 4배), 3개의 시뮬레이션된 결함을 표현한다. 곡선(2100)은 깊이가 파이프의 벽 두께의 30%인 결함을 표현한다. 곡선(2102)은 깊이가 파이프의 벽 두께의 15%인 결함을 표현한다. 곡선(2104)은 깊이가 파이프의 벽 두께의 7%인 결함을 표현한다. 그래프로부터 알 수 있는 바와 같이, 자체의  $z$  성분의 진폭은 결함의 깊이와 관련된다.  $z$  성분의 진폭은 분실되는 재료의 체적에 더 비례하고, 결함 성장의 전형적인 형상에 관한 한 세트의 가정에 대해, 결함의 깊이가 추론될 수 있다. 이러한 결과는 모든 3개의 자체 축에서 알 수 있다. 따라서, 자체 성분 진폭을 고려하면, 결함의 체적은 아래에 더 설명되는 바와 같이 알려진 것에서 재료의 자화를 추정하여 결정될 수 있다. 결함 영역 및 깊이 프로파일과 결합되는 이러한 정보는 근사 결함 깊



이의 결정을 허용한다.

- [0086] 그러나 주어진 결함 깊이에 대해, 자계의 성분 중 어느 것에 대한 진폭은 결함의 표면적의 증가에 따라 증가한다. 이것은 신호의 진폭이 결함의 체적에 비례한다는 점에서, 표면적이 지정된 깊이에 대해 증가함에 따라, 결함의 체적이 또한 증가하는 것으로 예상된다. 도 22에서, 그래프는 동일한 깊이(파이프의 벽 두께의 15%)를 모두 갖는, 3개의 시뮬레이션된 결함에 대한 자계의  $z$  성분을 표현한다. 곡선(2200)은 직경이 2 인치(50.8 mm)인 결함을 표현한다. 곡선(2202)은 직경이 1 인치(25.4 mm)인 결함을 표현한다. 곡선(2204)은 직경이 0.5 인치(12.7 mm)인 결함을 표현한다. 알 수 있는 바와 같이, 일정한 결함 깊이에서, 자계의  $z$  성분의 진폭은 결함의 체적 증가로 인해, 결함의 표면적에 따라 증가한다. 그러나 증가는 2206으로 나타낸, 예측 가능 곡선을 따른다(그것이 체적을 표현하므로). 그 결과, 이러한 증가는 수학적 모델에서 설명될 수 있다. "범위"(2208)로 표시되는, 그래프 내의 밸리로부터 그래프 내의 피크로의 거리는 플롯을 생성한 자력계의 방향을 따르는 결함의 범위에 비례한다.
- [0087] 결함 신호의 강도는 분실되는 재료의 양 및 재료의 자화 레벨 둘 다에 비례한다. 따라서, 파이프의 자화를 결정하는 것은 분실되는 재료의 체적을 결정하는 것에 유용하고, 따라서 결함의 영역 및 깊이의 특징화에 유용하다. 자계의 결정은 결함 부위에서 행해져야 하는 것이 아니라, 인근의 비결함 부위에서 행해져야 한다. 국부 "잔류" 파이프 자화의 이러한 측정은 결함 신호를 정규화하는 것을 가능하게 함으로써, 결함 체적 및 깊이 산출을 효과적으로 교정한다. 결함을 위치시켰으면, 위에 설명된 바와 같이 결함 검출 시스템은 결함을 포함하지 않는 영역에서 파이프의 잔류 자화 레벨, 즉 그것의 자화 레벨을 측정한다.
- [0088] 도 23은 파이프 내의 결함에 근접한  $x$  축(파이프 아래로 종방향임)을 따르는 자계 강도의 그래프이다. 모든 3개의 플롯은 동일한 파이프 결함을 표현하고, 모든 3개의 플롯은 결함의 표시를 나타낸다. 그러나 각각의 플롯에 대한 데이터가 수집되기 전에, 파이프는 상이한 정도로 자화되었다. 플롯(2300)에 대해, 파이프는 690 A/m(amps/meter)의 강도로 동작되는 코일로 자화되었다. 플롯(2302)에 대해, 파이프는 460 A/m으로 자화되었다. 플롯(2304)에 대해, 파이프는 230 A/m로 자화되었다. 플롯으로부터 알 수 있는 바와 같이, 결함 신호는 파이프의 자화에 직접 비례하여 증가한다.
- [0089] 파이프에서 국부 잔류 필드의 강도를 측정하는 일 실시예는 도 24에서 그래프로 도시된다. 누설 경로를 갖는 파이프에 대해(종중 그것이 제조 프로세스로 인해 불균일한 것으로 인함),  $z$  자계(파이프의 중심 축에 대해 반경 방향)는 파이프의 길이에 따라 경사를 갖는다. 이러한 경사는 자계 강도에 비례한다. 도 24의 경사진 트레이스는 도 23에 도시된 자화 경우에 대응하며, 가장 작은 경사는 230 A/m 경우에 대응하고 가장 큰 경사는 690 A/m 경우에 대응한다. 이러한 조건 하에, 자계의  $z$  성분은 파이프에서 잔류 자계 강도의 독립 측정값을 제공한다.
- [0090] 도 23의 플롯은 잔류 자화 레벨에 따라 정규화되어, 도 23의 플롯과 일치하도록 번호가 부여되는 도 25의 플롯을 산출한다. 도 23 및 도 25를 비교함으로써 알 수 있는 바와 같이, 신호 진폭은 파이프의 잔류 자화 레벨에 따라 정규화함으로써 파이프 자화 레벨에 크게 변동되지 않도록 할 수 있다. 이러한 방식으로, 자기 측정 진폭은 이하의 깊이의 산출에 따라 체적 및 면적으로 변환될 수 있다.
- [0091] 파이프의 잔류 자화 레벨을 결정하는 다른 방법을 생각해볼 수 있다. 예를 들어, 파이프는 파이프가 설치될 때 공지된 레벨로 자화될 수 있거나, 파이프는 임의 레벨로 자화될 수 있고 자화 레벨이 측정될 수 있다. 어느 하나의 경우에, 이러한 자화 레벨은 결함이 검출되고 체적 및 깊이 정보가 요구될 때 기지국에 의해 액세스가능한 메모리에 저장되고 나중에 사용될 수 있다. 임의로 또는 대안으로, 파이프의 이전 자화 레벨에 관한 정보가 저장되지 않을지라도 결함이 검출되었다면, 자기 측정 센서는 상기 경사 방법, 또는 다른 독립 측정 접근법을 사용하여 모든 검출된 결함에서 떨어진 하나의 영역에서 파이프의 잔류 자화를 측정하기 위해 사용될 수 있다.
- [0092] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, "이격 거리(standoff)"는 도 26에 개략적으로 예시된 바와 같이 결함과 자력계 사이의 거리를 의미한다. 이론 및 테스트는 자기 쌍극자에 가까울 때 신호 강도가 역제곱 법칙에 따라 감소하는 것을 나타낸다. 센서가 거리에 있어서 쌍극자의 특성 길이와 유사한 이격 거리를 가지면, 쌍극자는 2개의 독립 극으로 나타나고, 신호 강도는 역제곱으로 내려간다. 이격 거리가 증가함에 따라, 쌍극자의 범위는 줄어드는 것으로 나타나고 포인트 소스가 된다. 이러한 조건 하에, 이론 및 테스트는 신호 강도가 역제곱 법칙에 따라 감소하는 것을 나타낸다. 따라서, 작은 결함은 이격 거리가 결함의 크기를 넘어 이동함으로써 더 많은 신호 손실을 갖는 반면에, 큰 결함은 더 큰 이격 거리에 대해 그것의 신호의 역제곱 저하를 계속 "경험"한다. 예를 들어, 1 인치(25.4 mm) 제곱 결함에 대해, 신호 손실은 이격 거리가 0.25 인치(6.4 mm)로부터 2.25 인치(51.2 mm)로 증가될 때, 대략 자릿수보다 더 크다. 잔류 파이프 자화 특징은 그것의 더 큰 공간 범위로 인해

더 느린 강도로 감소한다. 그럼에도 불구하고, 본 명세서에 설명되는 장치 및 방법은 오일 및 가스 파이프라인, 정제소 등에서의 것과 같은, 종래의 파이프에서 발견되는 것으로 예상되는 결함을 신뢰성 있게 검출한다.

[0093] 파이프 벽 두께 내의 또는 내측 벽 상의 결함은 필연적으로 파이프의 외측 벽 상의 결함보다 자력계로부터 더 멀다. 그러나 시뮬레이션 및 테스트는 도 27의 플롯에 표시된 바와 같이 외부 결함에 비해 내부 결함으로부터 신호의 작은 손실만을 표시한다. 신호 진폭의 많은 감소는 외부 결함과 대조적으로 내부 결함에서 암시되는 더 큰 이격 거리로 인한 것이다. 플롯(2700)은 외부 결함을 위한 것이고, 플롯(2702)은 내부 결함을 위한 것이다.

[0094] 이전 논의에 나타난 바와 같이, 검출된 신호에서의 많은 파라미터는 다수의 의존 소스를 갖는다. 이러한 의존은 결함의 검출 및 특징화를 수행할 때 이해되고 관리되어야 한다. 관계는 센서 간격의 것이다. 도 14 및 도 15에 암시된 바와 같이, 자기 측정 센서(자력계)의 가까운 간격이 흥미롭다. 자력계의 간격은 작은 결함(표면을 따라 측정되는 바와 같음)이 검출되고 특징화될 수 있는지에 관한 것이다. 검출 방법은 사인 및 코사인 파와의 상관을 발견하는 것에 의존하므로, 진정으로 사인파인 것을 결정하기 위해 사인파를 따라 충분한 수의 자력계가 있는 것이 필요하다. 실제로, 0.3 인치 내지 0.4 인치(7.6 내지 10.2 mm) 이격되는 센서는 가까운(1 인치(25.4 mm) 이하) 이격 거리에서 대략 1 인치(25.4 mm) 결함을 검출하기 위해 사용될 수 있다. 이격 거리가 증가하거나 표면 치수가 감소함에 따라, 결함을 신뢰성 있게 검출하는 능력은 분실된 검출 또는 거짓 경보의 증가하는 가능성으로 감소한다.

[0095] 시간적 결함 검출

[0096] 언급된 바와 같이, 본 발명의 일부 실시예에서, 결함의 표시에 대해 자기 측정 데이터를 검색하는 것보다는 오히려, 상이한 시간에 수집되는 2개의 데이터세트는 결함을 검출하기 위해 비교된다. 예를 들어, 하나의 데이터세트는 물품이 새롭거나 일부 다른 시점에 있을 때 수집될 수 있다. 제2 데이터세트는 나중에 수집된다. 2개의 데이터세트는 공간적으로 상관되고, 그 다음에 제2 데이터세트 내의 자계 강도는 제1 데이터세트 내의 공간적으로 대응하는 자계 강도로부터 감소된다. 이러한 감소는 축마다 수행된다. 도 28은 그러한 감소의 결과의 표면 플롯이며, 자계의 x 축을 도시한다. 결함 표시는 파선(2800)에 의해 강조되는 바와 같이 분명하게 나타난다. 라인(2800)의 형상은 도 4의 By 곡선의 형상과 유사하고, 따라서 결함의 특성이다. 실제로, 결함은 공간적 분석의 기본 방법에 의한 이러한 시간적 감소 후에 발견된다 - 나머지 신호를 확인하기 위해 적합한 사인 및 코사인 파 중 하나는 결함의 표시이다. 위에 설명된 바와 같이, 공간 결함 검출에 대해, 3개의 축 각각에서 검출되는 결함에 관한 공간 정보는 더 정확한 결함 검출 정보를 생성하기 위해 조합될 수 있다. 결함(체적, 면적 및 깊이)을 특징화하는 위의 접근법은 이러한 시간적 방법 후에 적용될 수 있다.

[0097] 결함에 대한 물품의 물리적 스캐닝

[0098] 언급된 바와 같이, 물품에 관한 자기 측정 데이터는 물품 주위에 배치되는 고정된 세트의 자기 측정 센서에 의해 획득될 수 있다. 임의로 또는 대안으로, 물품은 스캐닝 없이 자기 측정 데이터를 획득하는데 다른 방법으로 필요한 것보다 더 작은 세트의 자기 측정 센서에 의해 물리적으로 스캐닝될 수 있다. 물품은 그것의 세로 축을 따라 또는 임의의 다른 적절한 방향을 따라 스캐닝될 수 있다. 도 29는 물리적 스캐너(2900)의 사시도이다. 파이프와 같은 물품(2902)은 스캐너(2900)에 의해 스캐닝될 수 있다. 단일 자기 측정 센서, 작은 그룹의 자기 측정 센서 또는 자기 측정 센서(2904)의 1차원 어레이는 1, 2 또는 3 자유도 스캐너 아암(2906)에 의해 지지된다. 제 1 선형 모터(2908)는 물품(2902)으로부터 적절한 거리에 수직으로 자기 측정 센서(2904)의 어레이를 위치시킨다. 제 2 선형 모터(2910)는 스캐닝 축에 수직인 축을 따라 자기 측정 센서(2904)의 어레이를 위치시킨다. 제 3 선형 모터(2912)는 스캐닝 축을 따라 자기 측정 센서(2904)의 어레이를 병진시킨다. 스캔이 완료되었다면, 물품은 스캔 축 주위에서 회전될 수 있고, 다른 스캔이 수행될 수 있다. 이러한 프로세스는 물품의 모든 원하는 부분이 스캐닝되었을 때까지 반복될 수 있다.

[0099] 도 30에 사시도로 예시되는 다른 실시예에서, 자기 측정 센서의 링은 물리적 스캐너(3002)에 의해 병진된다. 다른 실시예에서, 스캔은 2차원일 수 있다. 예를 들어, 적절한 물리적 스캐너에서, 물품은 나선형 스캐닝, 래스터 스캐닝 또는 다른 경우에 따라 스캐닝될 수 있다.

[0100] 본 명세서에 설명되는 자력계, 자계 매핑, 패턴 매치, 및 기지국 제어 기능 및 다른 기능으로부터의 데이터 수집은 도 31에 개략적으로 예시된 바와 같이 메모리에 저장되는 명령어를 실행하는 프로세서에 의해 수행될 수 있다.

[0101] 본 발명이 위에 설명된 예시적 실시예를 통해 설명되지만, 예시된 실시예에 대한 수정, 및 변화는 본 명세서에

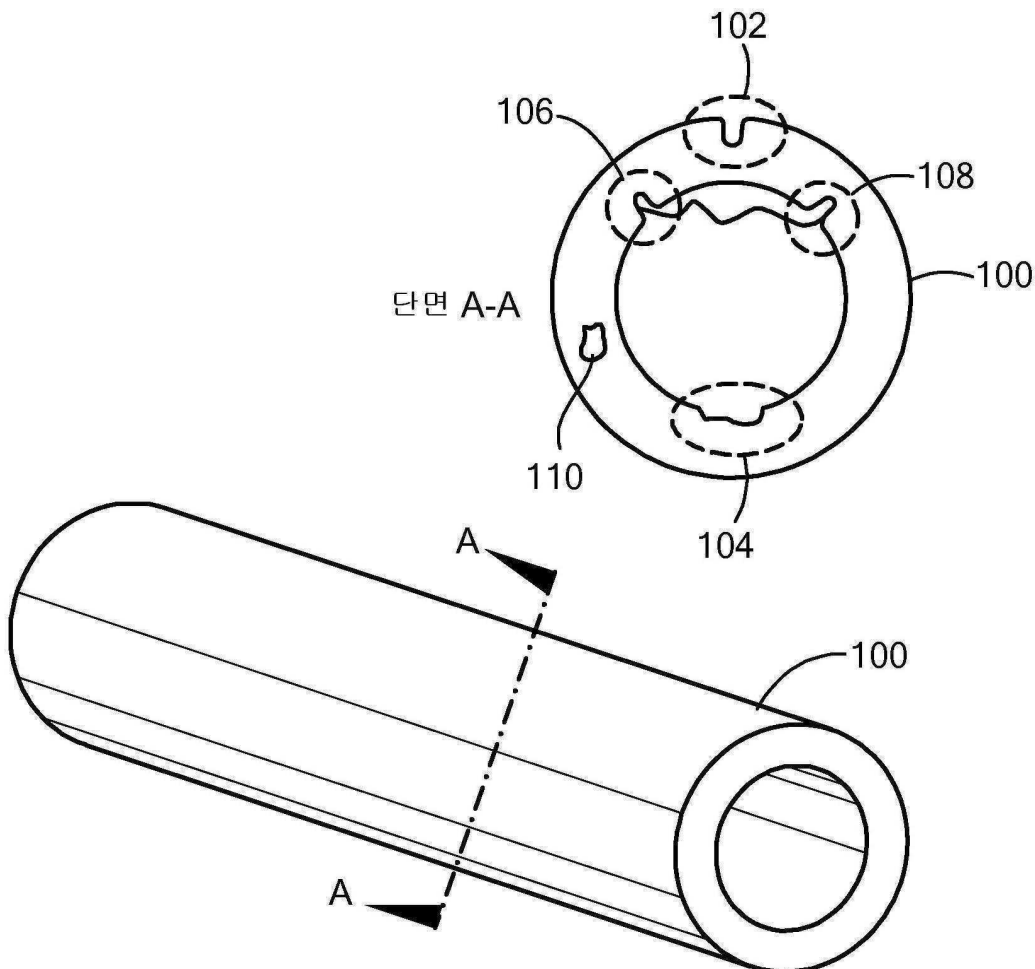
개시되는 발명의 개념으로부터 벗어나는 것 없이 이루어질 수 있다. 더욱이, 개시된 양태, 또는 그것의 일부는 위에 열거되지 않고 및/또는 명시적으로 청구되지 않은 방식으로 조합될 수 있다. 따라서, 본 발명은 개시된 실시예로 제한되는 것으로 간주되지 않아야 한다.

[0102]

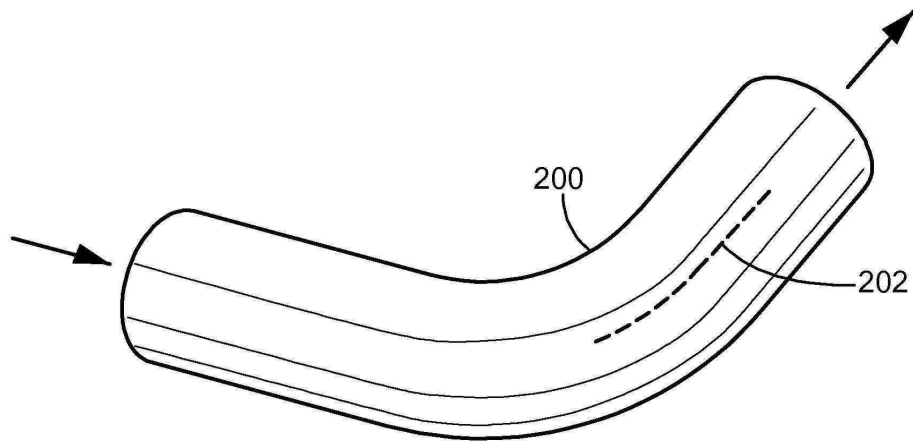
실시예의 양태는 흐름도 및/또는 블록도를 참조하여 설명될 수 있지만, 각각의 블록의 전부 또는 일부, 또는 블록의 조합의 기능, 동작, 결정 등은 개별 동작으로 조합되거나, 분리되거나 다른 순서로 수행될 수 있다. 각각의 블록의 전부 또는 일부, 또는 블록의 조합, 컴퓨터 프로그램 명령어(예컨대 소프트웨어), 하드웨어(예컨대 조합 논리, 주문형 집적 회로(Application Specific Integrated Circuits)(ASICs)), 필드 프로그램 가능 게이트 어레이(Field-Programmable Gate Arrays)(FPGAs) 또는 다른 하드웨어), 펌웨어 또는 그것의 조합으로 구현될 수 있다. 실시예는 메모리에 저장되는 명령어를 실행하는 프로세서에 의해 구현되거나, 명령어에 의해 제어될 수 있다. 메모리는 제어 소프트웨어 또는 다른 명령어 및 데이터를 저장하는데 적절한 랜덤 액세스 메모리(random access memory)(RAM), 판독 전용 메모리(read-only memory)(ROM), 플래시 메모리 또는 임의의 다른 메모리, 또는 그것의 조합일 수 있다. 본 발명의 기능을 정의하는 명령어는 유형의 비기록 가능 저장 매체(예를 들어, ROM과 같은, 컴퓨터 내의 판독 전용 메모리 장치, 또는 CD-ROM 또는 DVD 디스크와 같은, 컴퓨터 I/O 부속 장치에 의해 판독가능한 장치) 상에 영구적으로 저장되는 정보, 유형의 기록 가능 저장 매체(예를 들어, 플로피 디스크, 제거식 플래시 메모리 및 하드 드라이브) 상에 변경 가능하게 저장되는 정보 또는 유선 또는 무선 컴퓨터 네트워크를 포함하는 통신 매체를 통해 컴퓨터에 운반되는 정보를 포함하지만, 이에 제한되지 않는 많은 형태로 프로세서에 전달될 수 있다. 더욱이, 실시예가 다양한 예시적 데이터 구조와 관련하여 설명될 수 있지만, 시스템은 다양한 데이터 구조를 사용하여 구체화될 수 있다.

## 도면

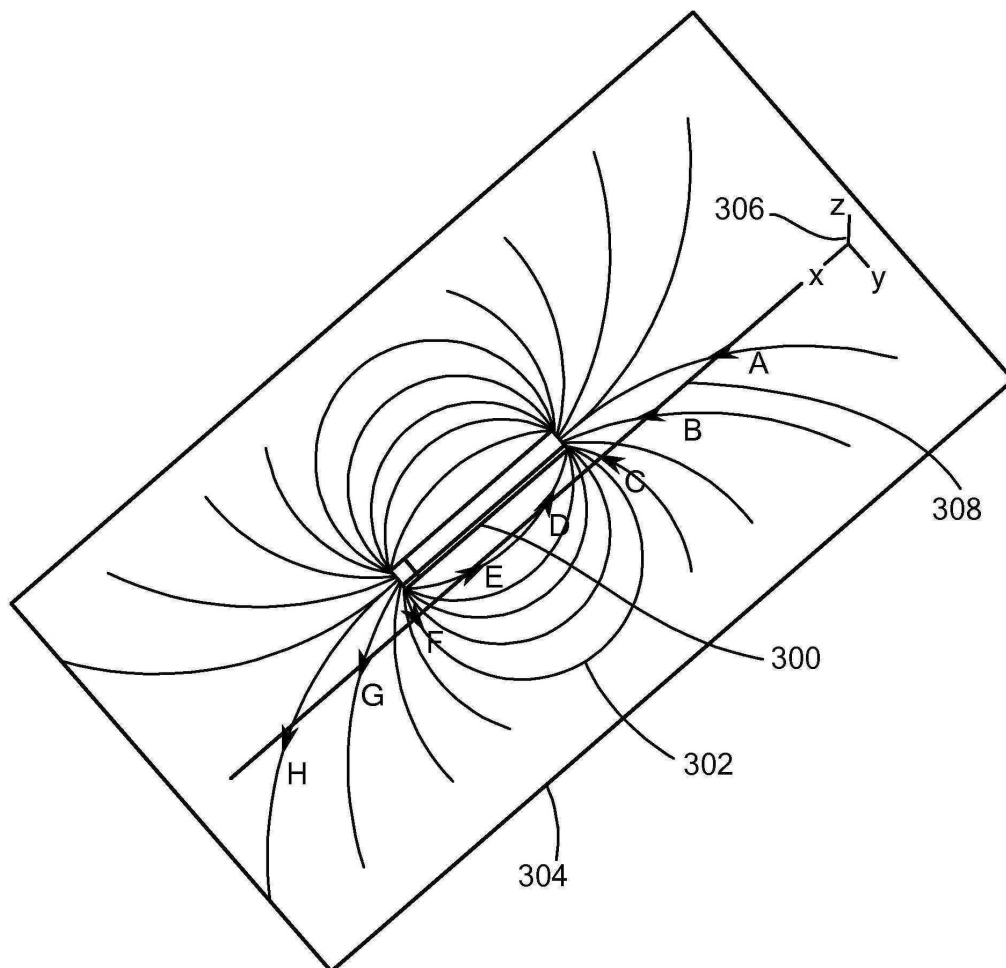
### 도면1



도면2

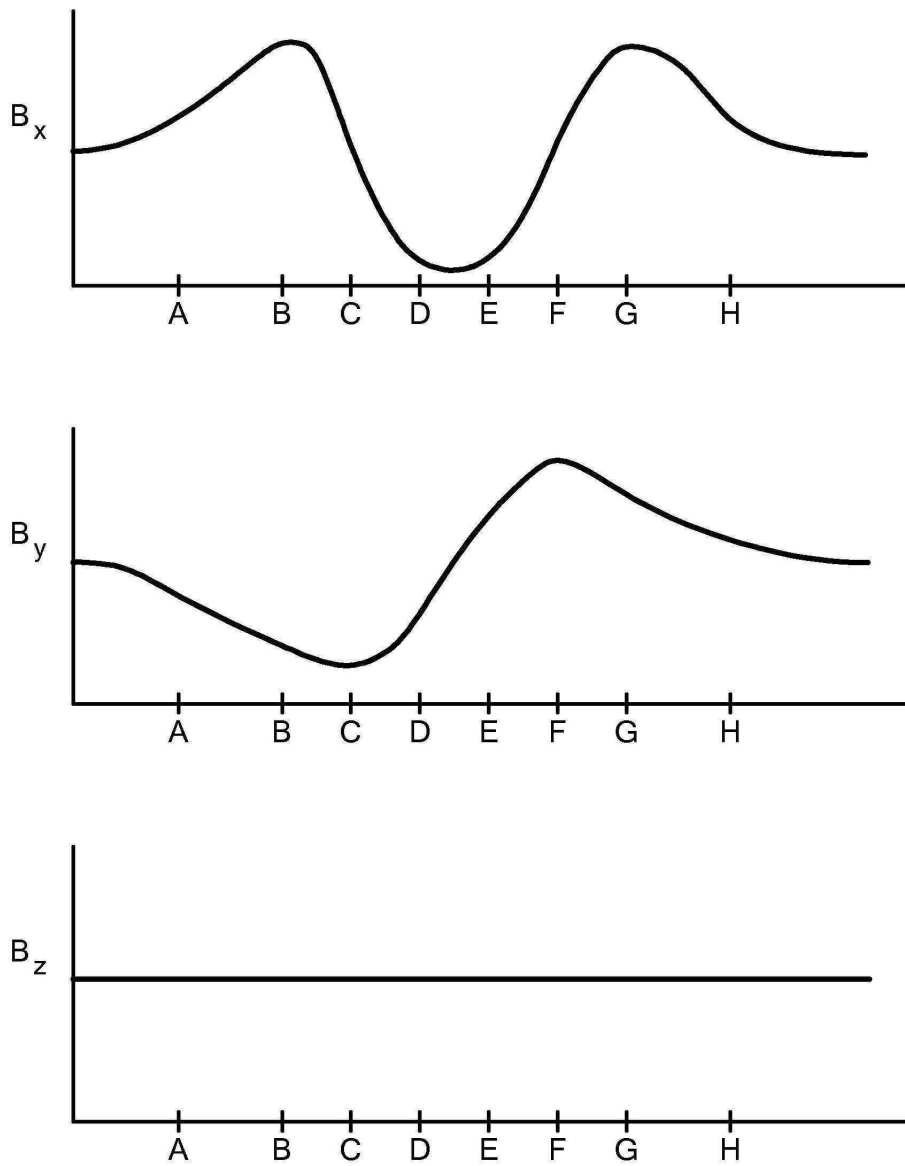


도면3

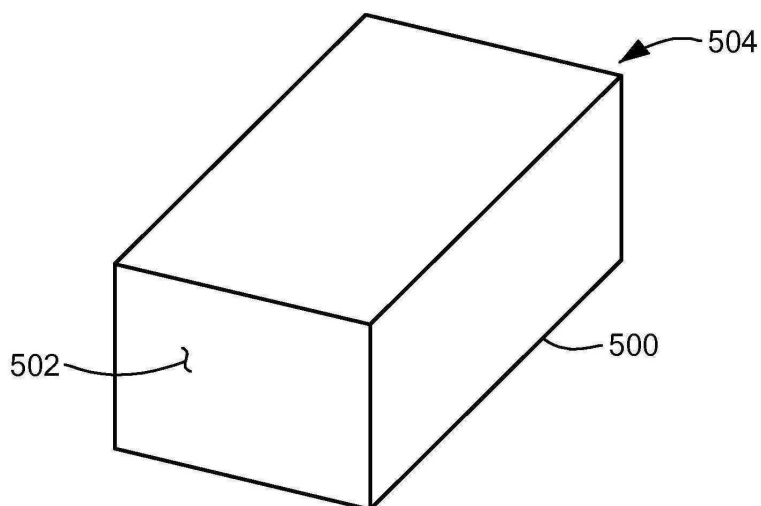




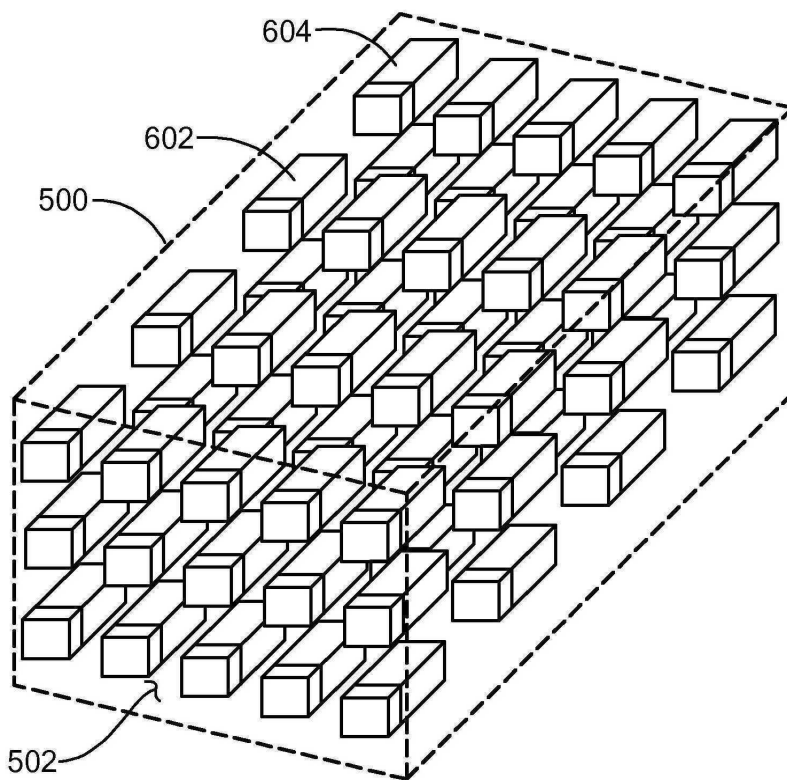
도면4



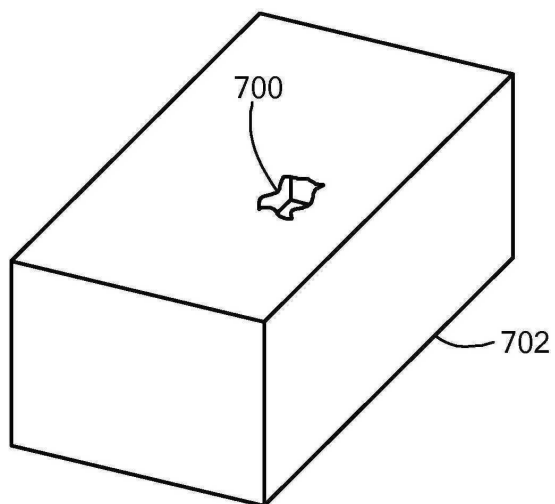
도면5



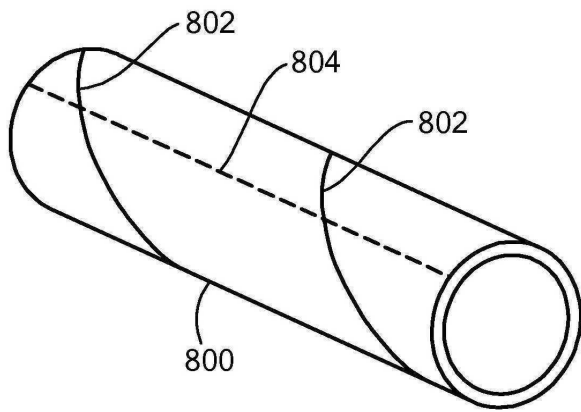
도면6



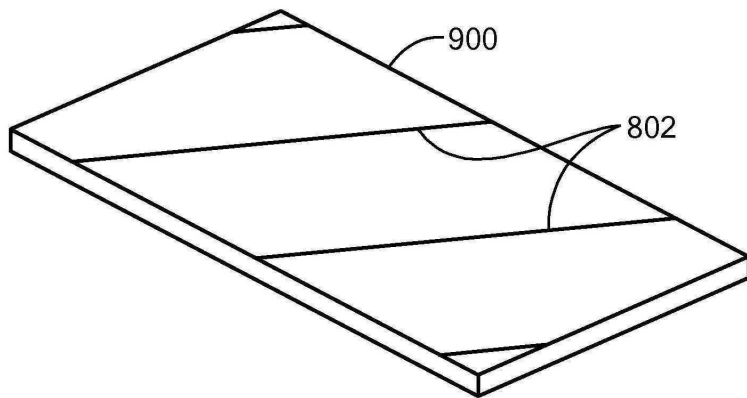
도면7



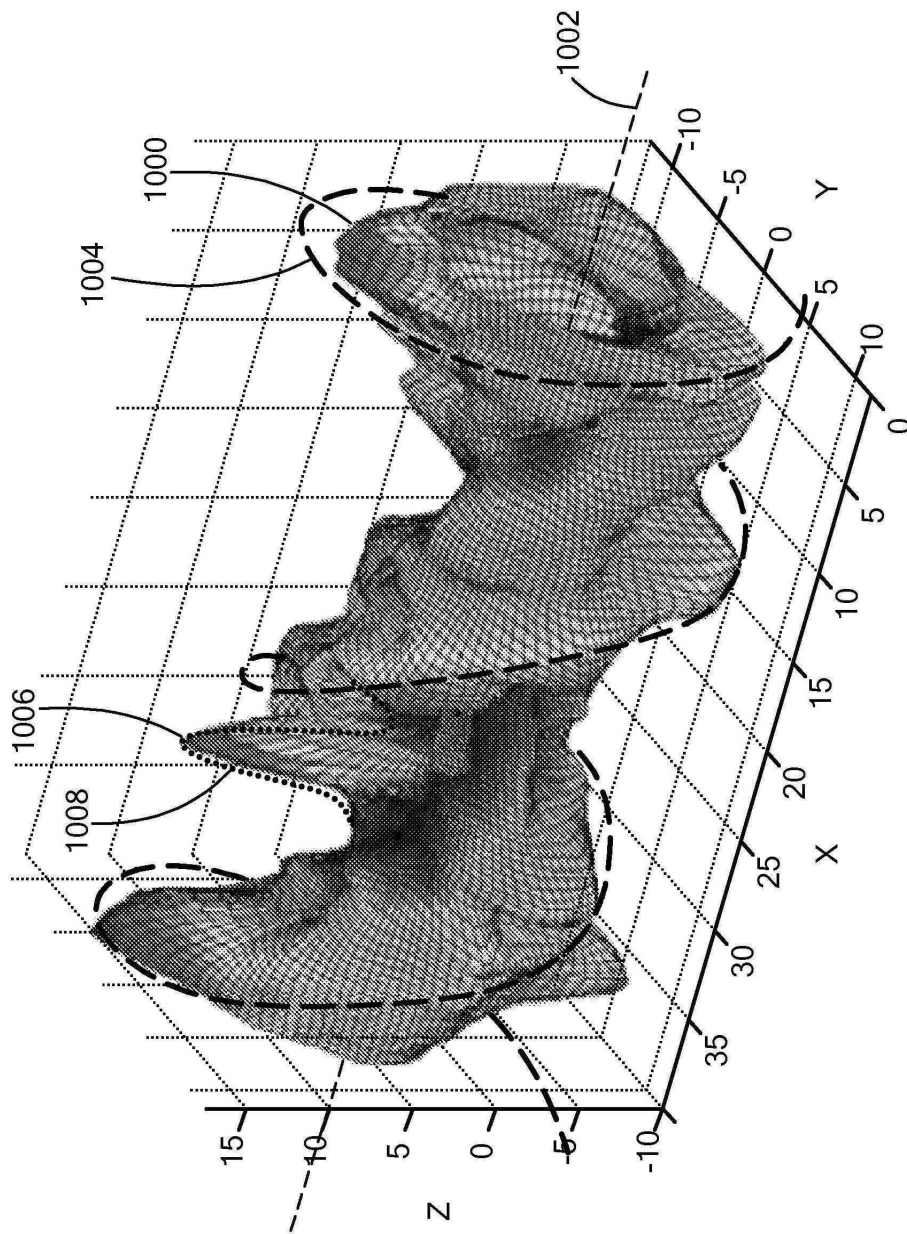
도면8



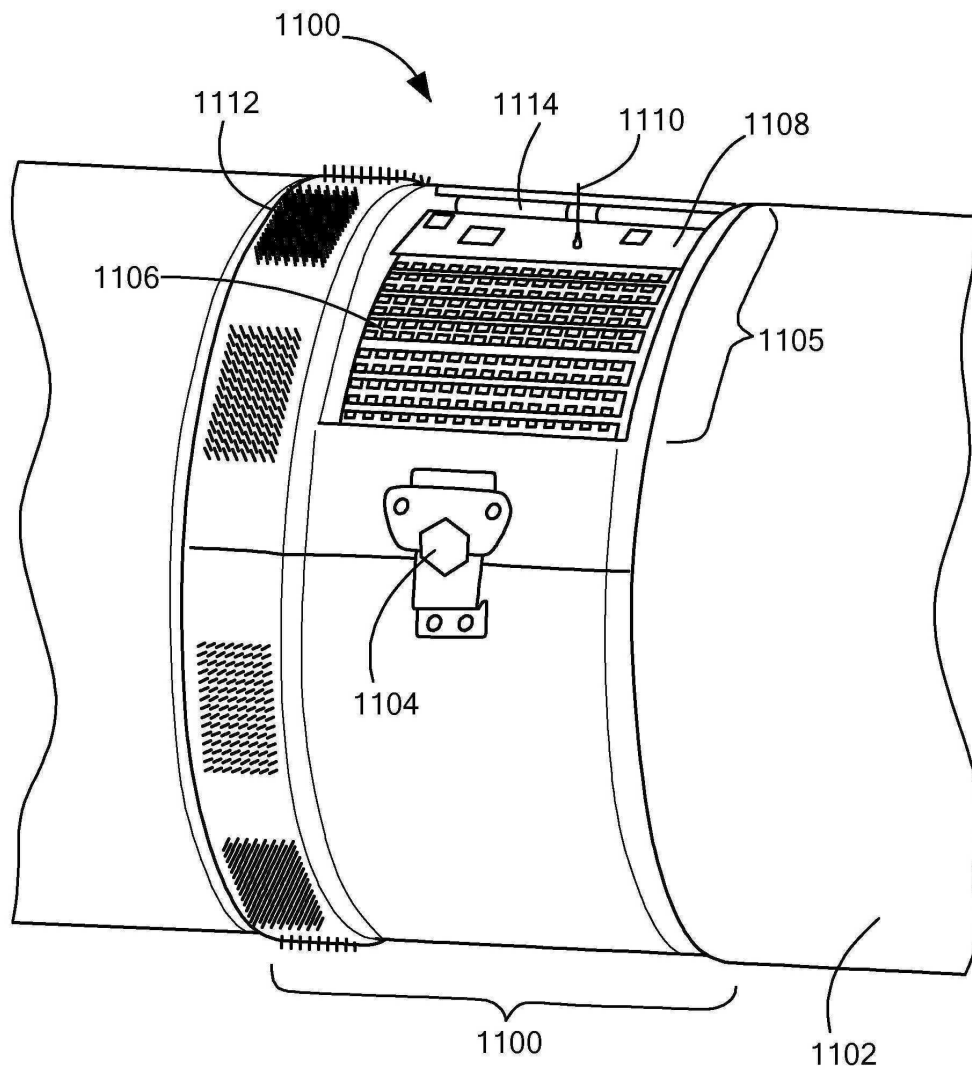
도면9



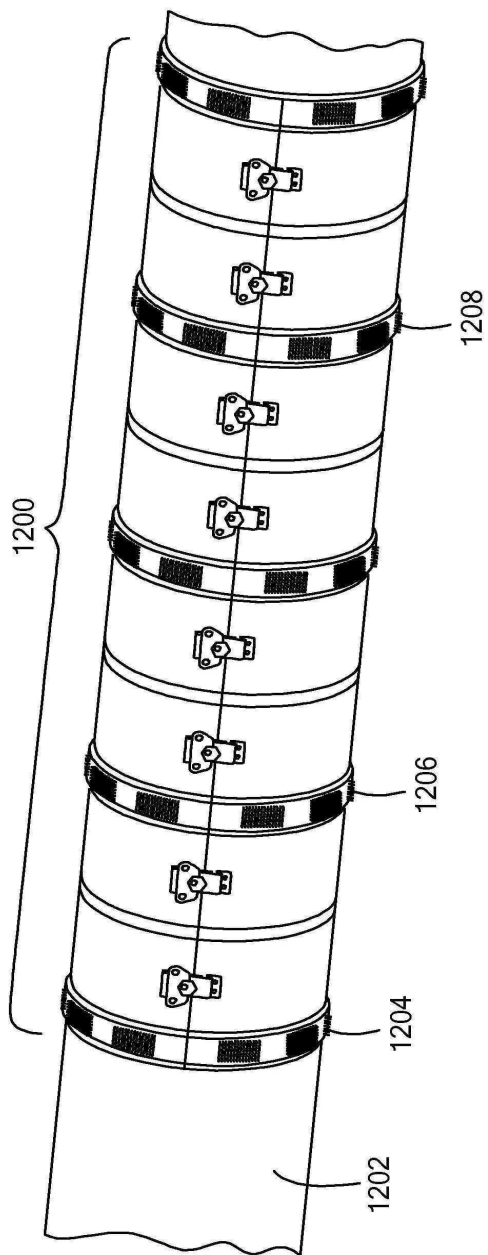
도면10



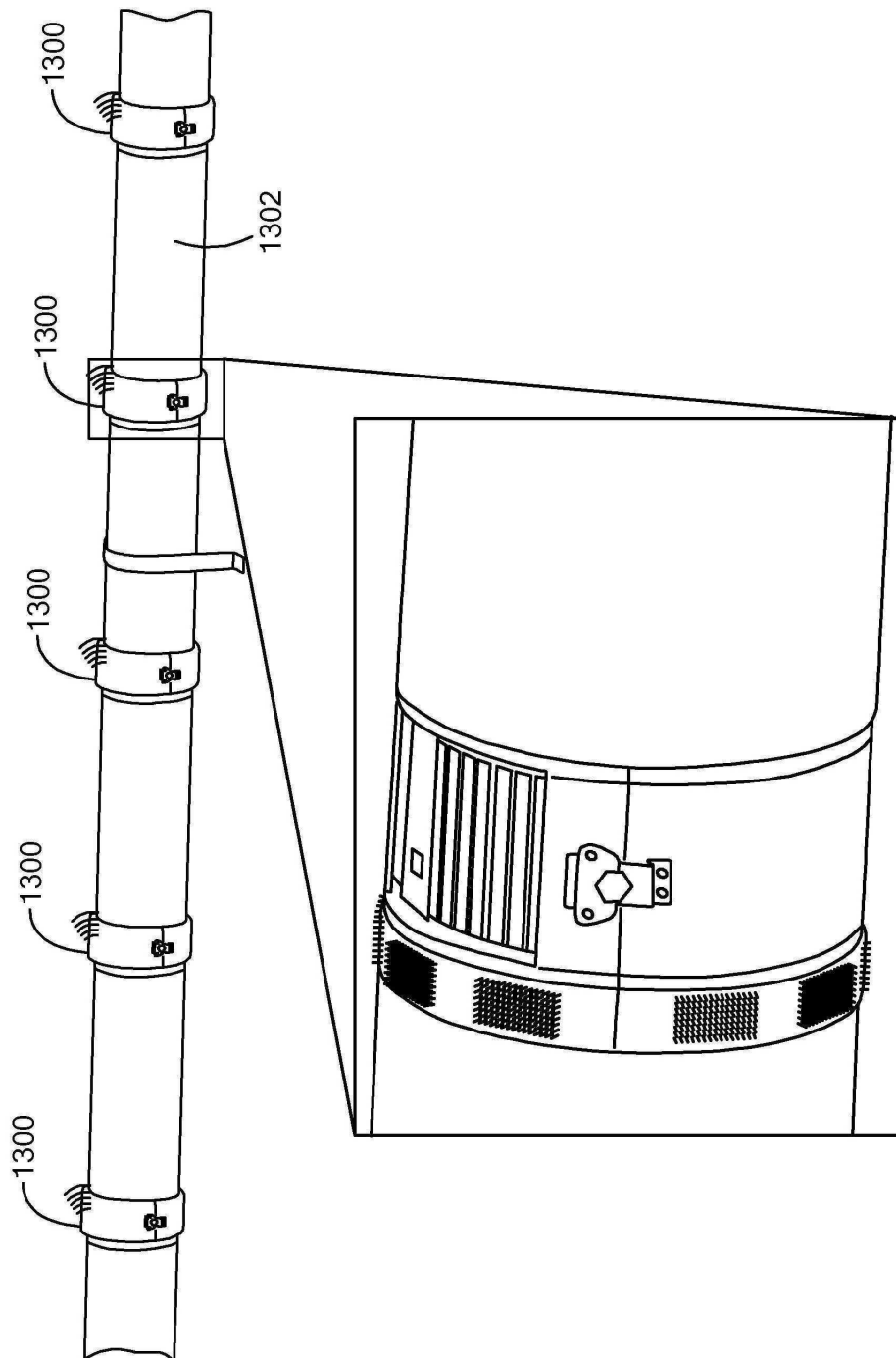
도면11



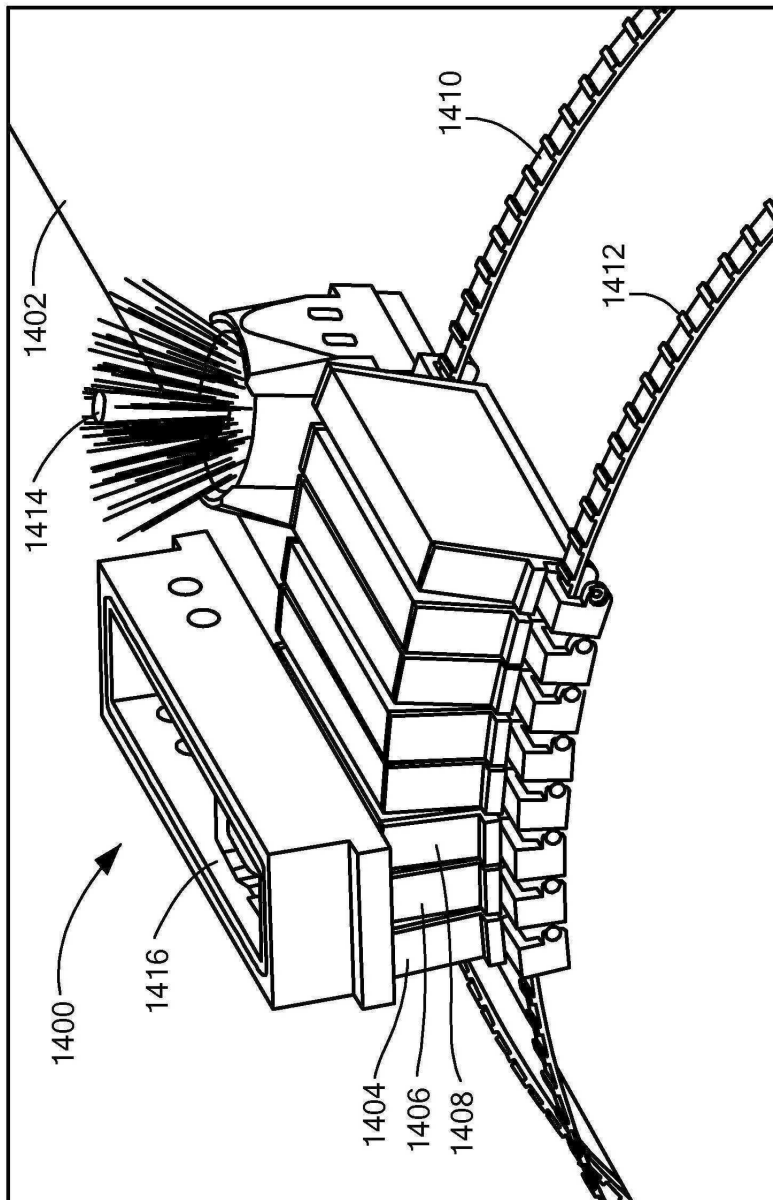
도면12



도면13

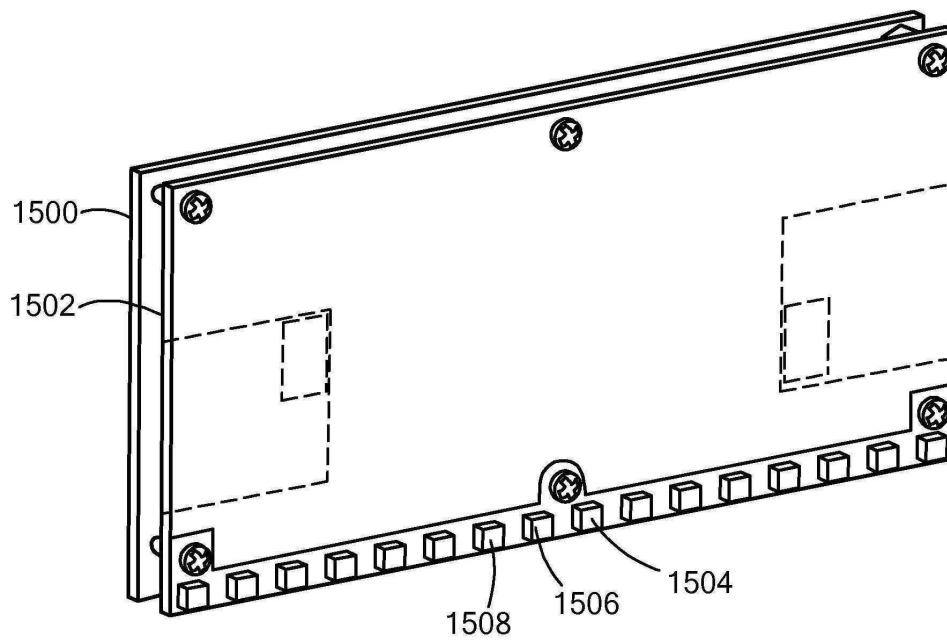


도면14

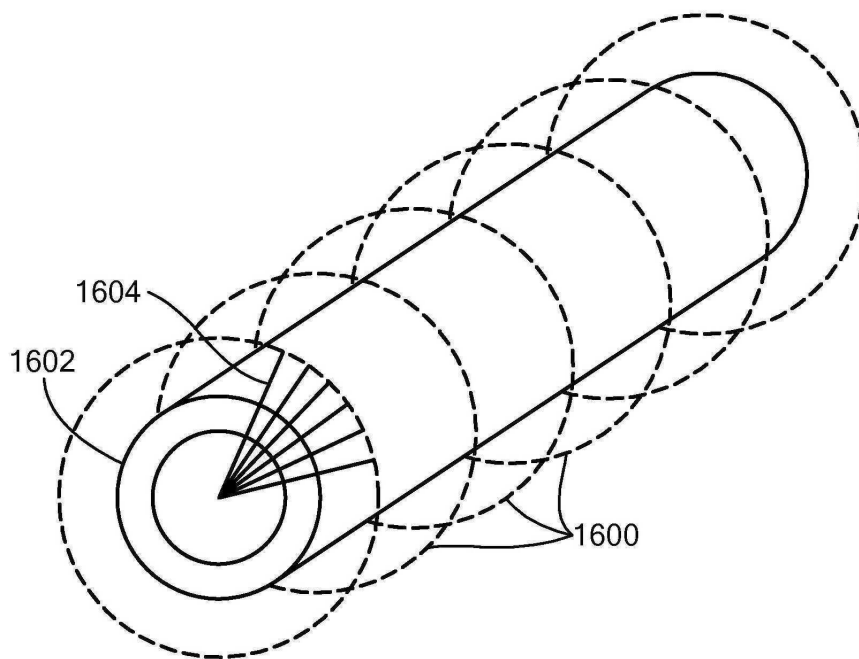




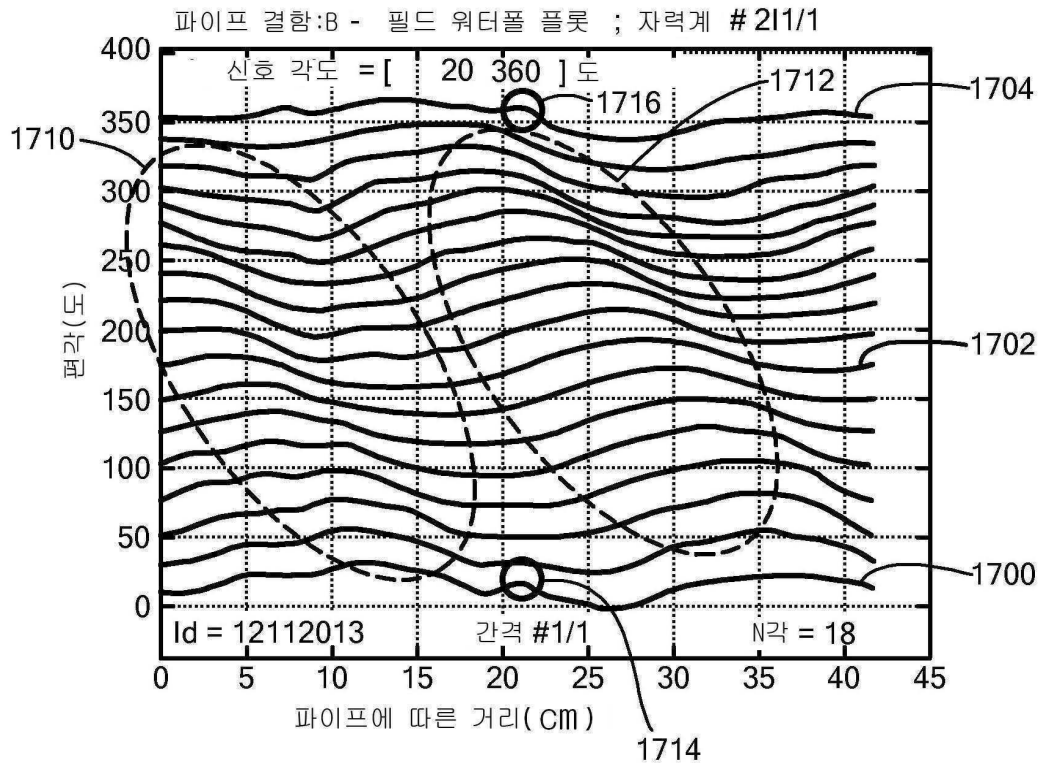
도면15



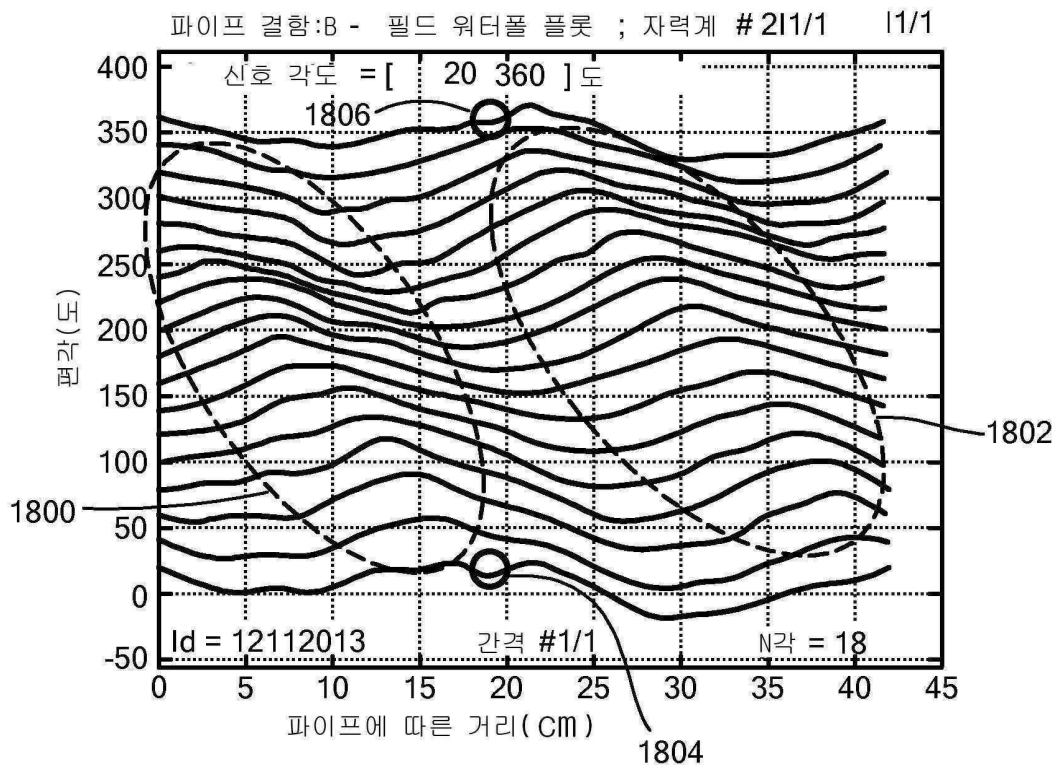
도면16



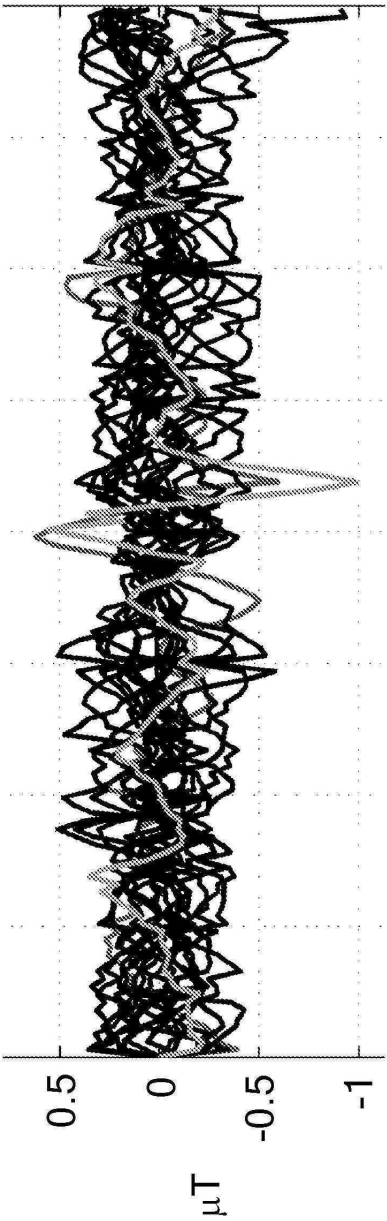
도면17



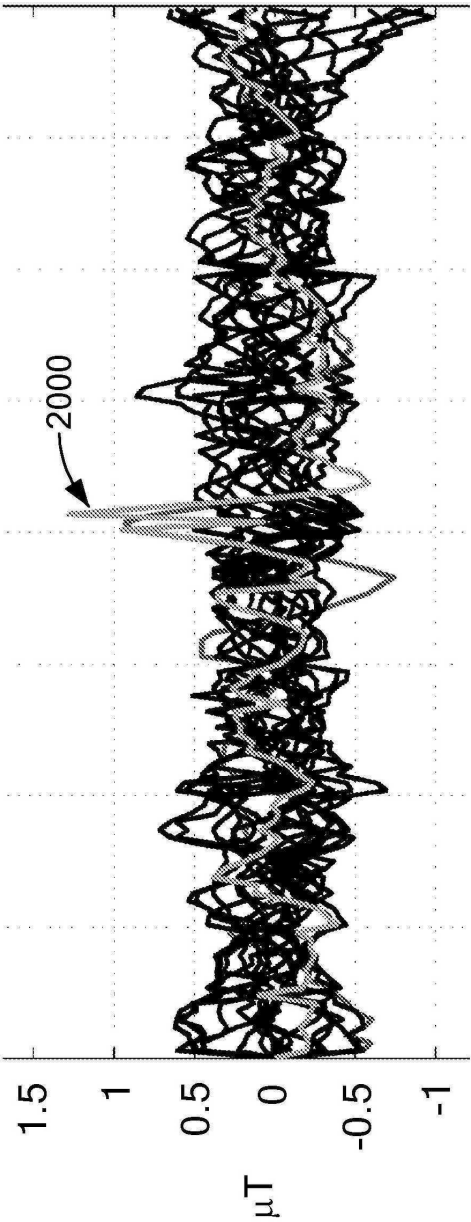
도면18



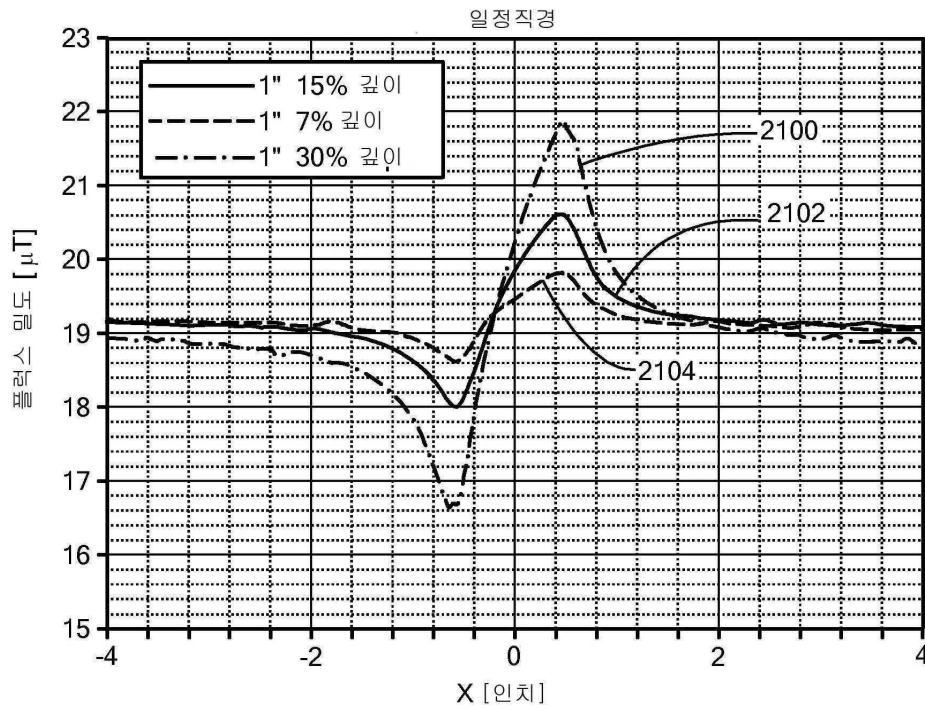
도면19



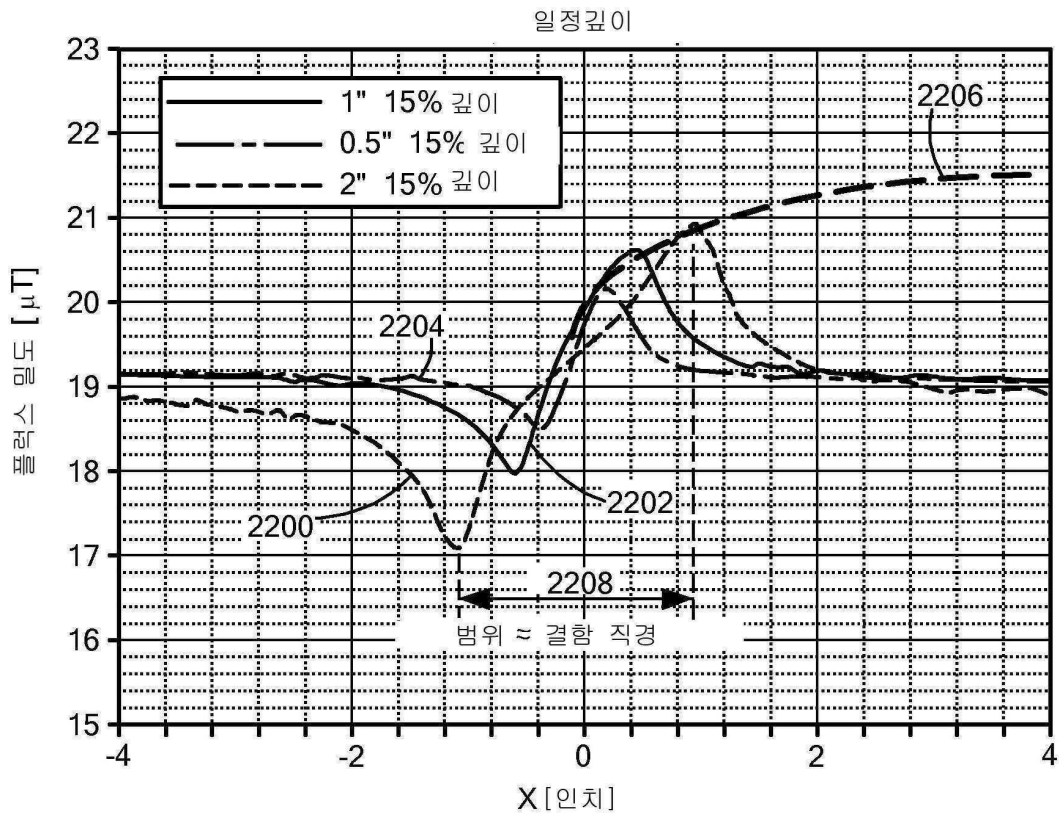
도면20



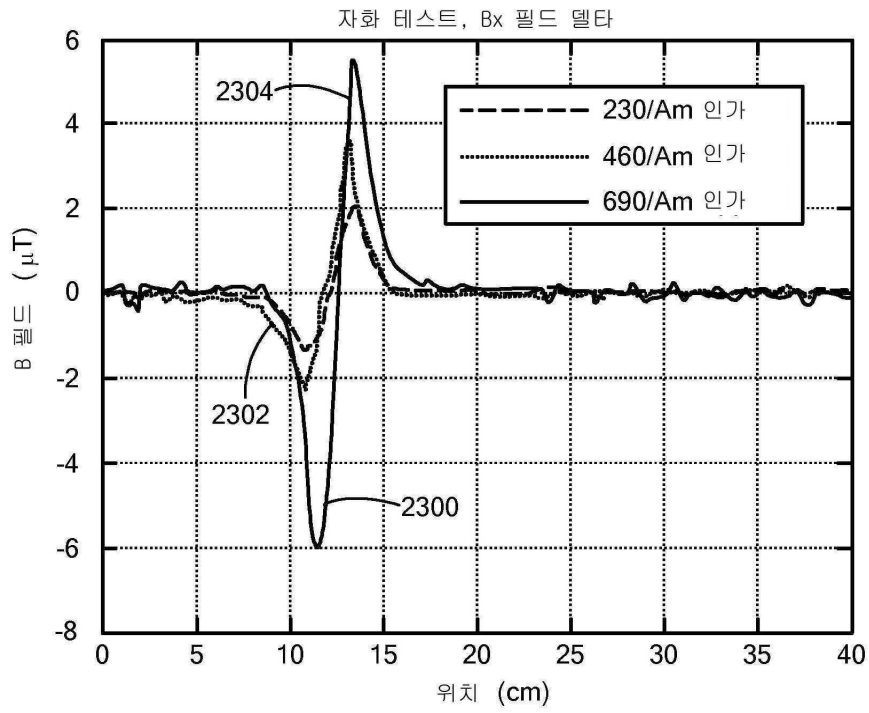
도면21



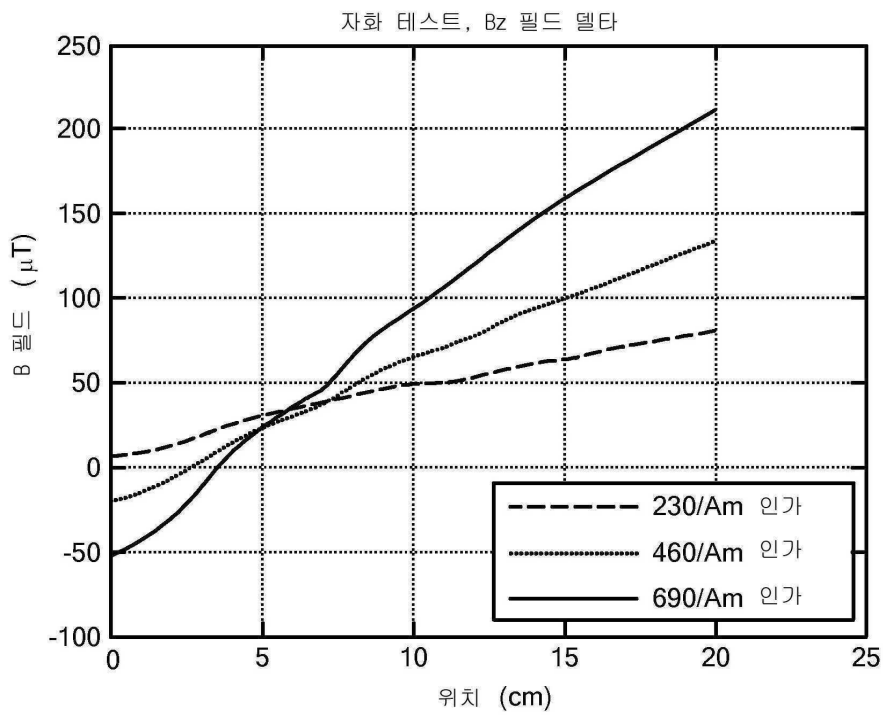
도면22



도면23

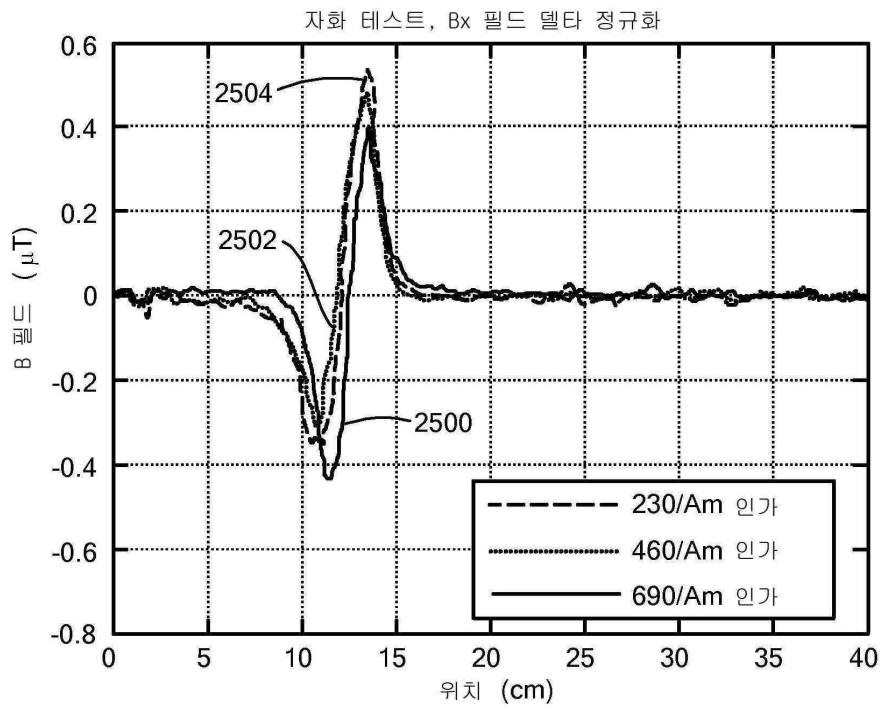


도면24

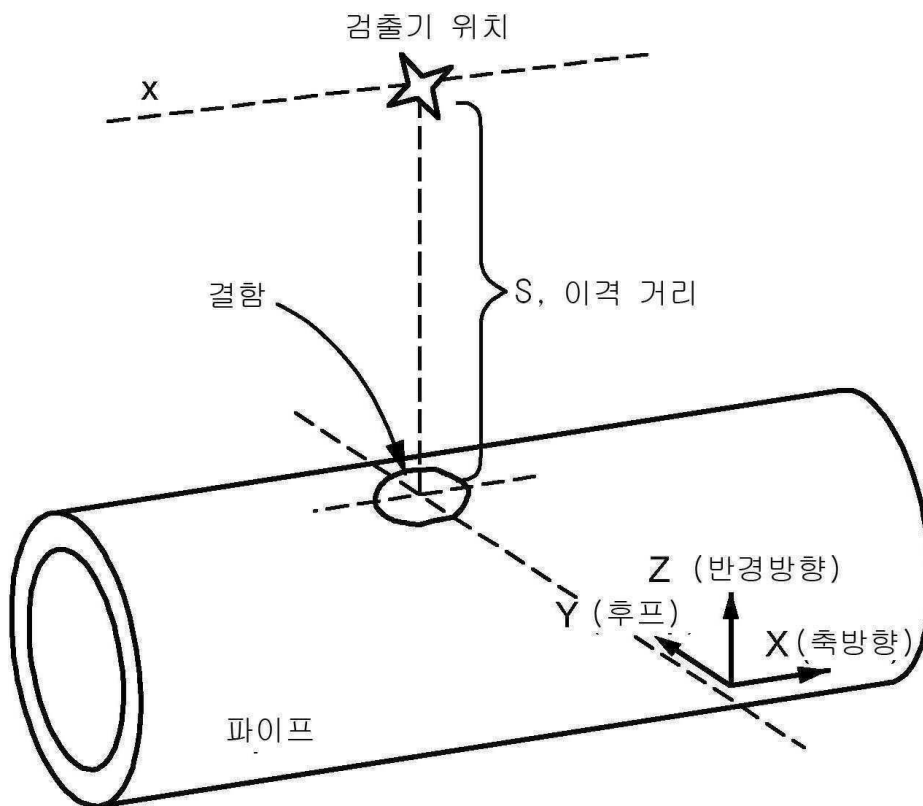




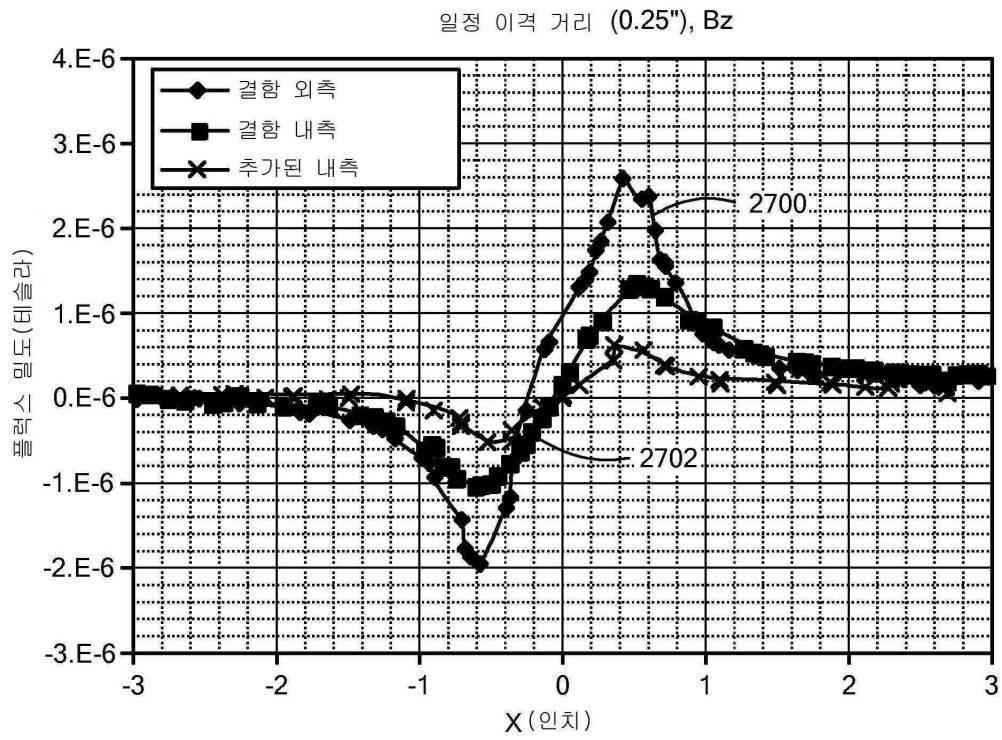
도면25



도면26

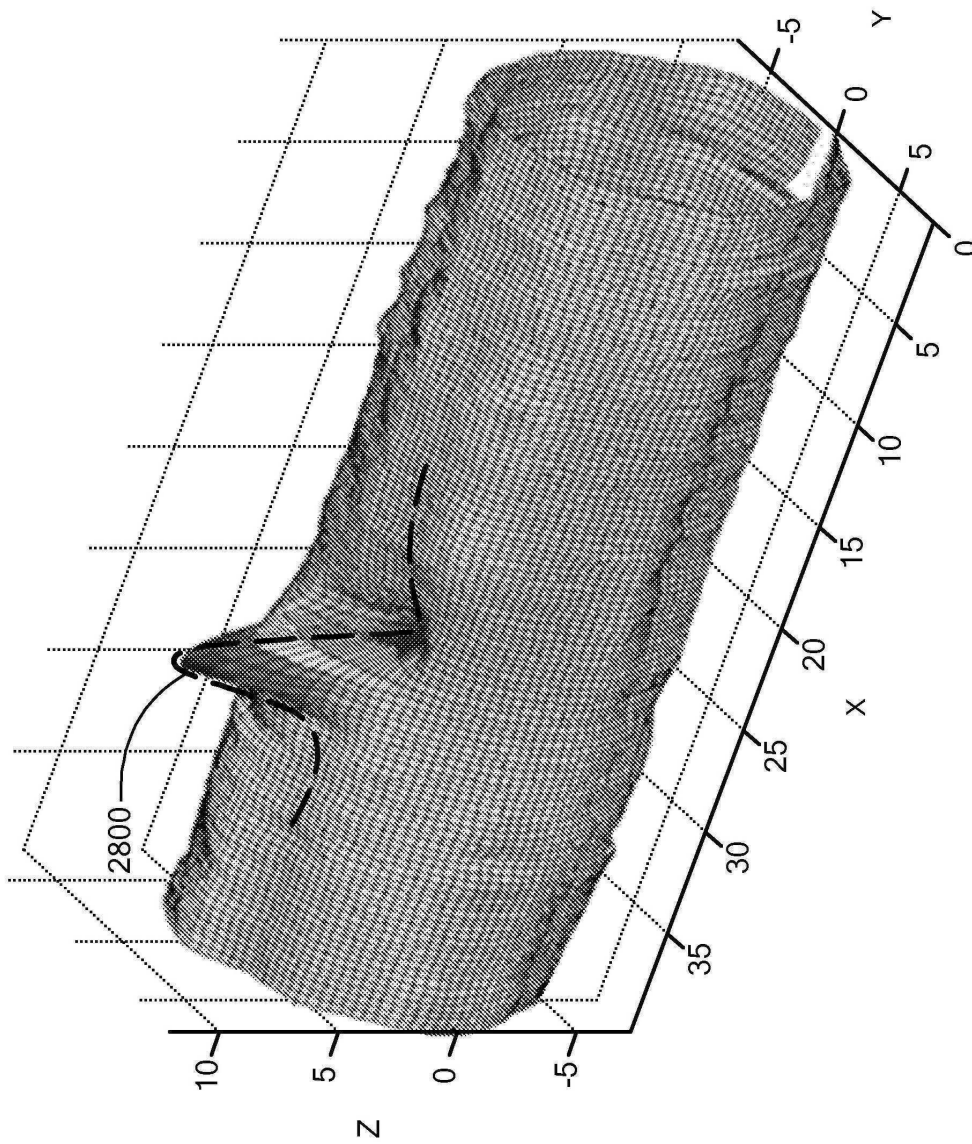


도면27

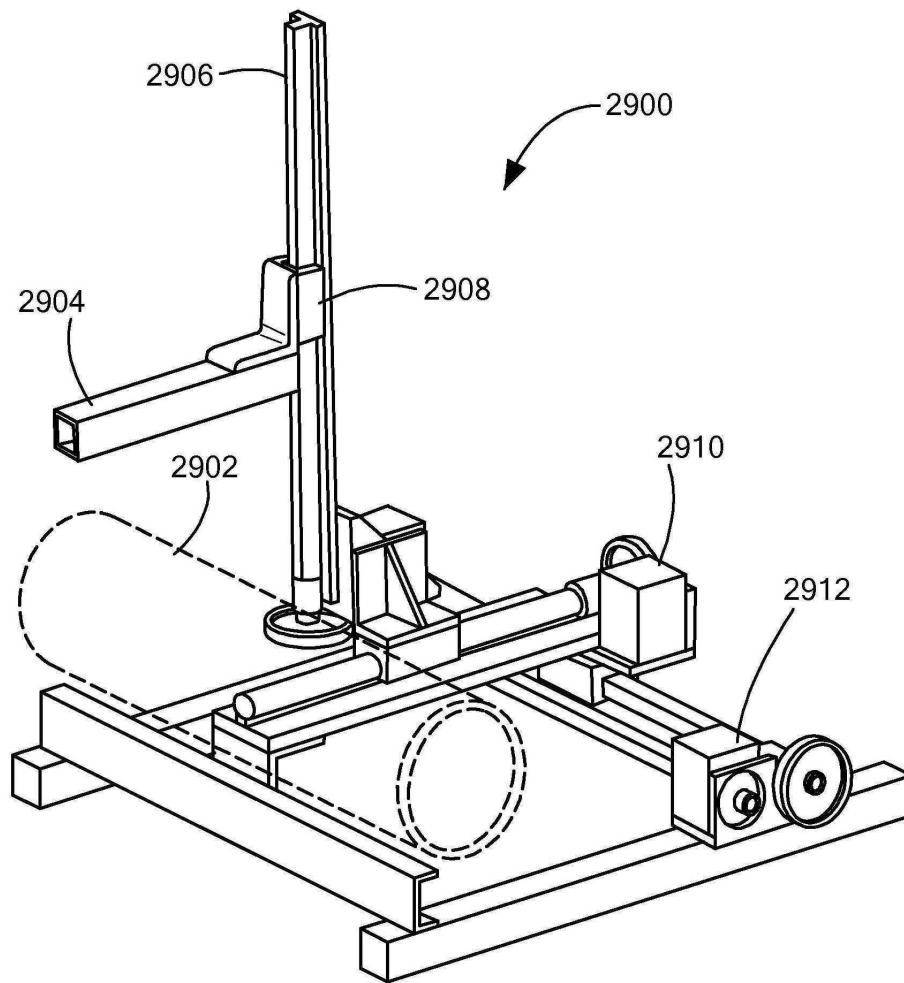




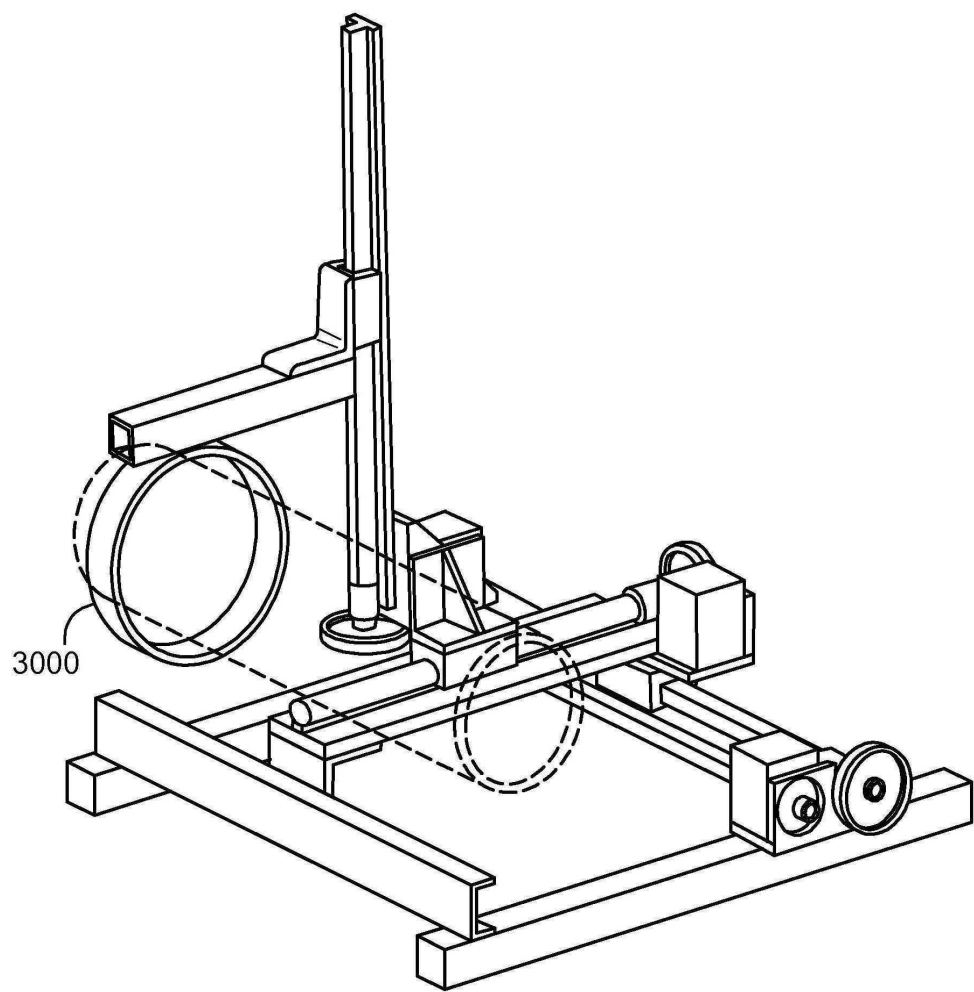
도면28



도면29



도면30



도면31

