



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 공개특허공보(A)**

(11) 공개번호 10-2016-0101081  
(43) 공개일자 2016년08월24일

- |   |  |
|---|--|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)<br/> <b>G21C 17/017</b> (2006.01) <b>G01N 29/06</b> (2006.01)<br/> <b>G01N 29/22</b> (2006.01) <b>G01N 29/28</b> (2006.01)<br/> <b>G01S 15/89</b> (2006.01) <b>G01S 7/52</b> (2006.01)<br/> <b>G21C 17/06</b> (2006.01)</p> <p>(52) CPC특허분류<br/> <b>G21C 17/017</b> (2013.01)<br/> <b>G01N 29/0654</b> (2013.01)</p> <p>(21) 출원번호 <b>10-2016-7019324</b></p> <p>(22) 출원일자(국제) <b>2014년12월17일</b><br/>         심사청구일자 <b>없음</b></p> <p>(85) 번역문제출일자 <b>2016년07월15일</b></p> <p>(86) 국제출원번호 <b>PCT/CA2014/051232</b></p> <p>(87) 국제공개번호 <b>WO 2015/089667</b><br/>         국제공개일자 <b>2015년06월25일</b></p> <p>(30) 우선권주장<br/>         61/917,066 2013년12월17일 미국(US)</p> | <p>(71) 출원인<br/> <b>온타리오 파워제너레이션 인코퍼레이티드</b><br/>         캐나다, 엠5지 1엑스6, 온타리오, 토론토, 유니버<br/>         시티 애비뉴 700</p> <p>(72) 발명자<br/> <b>텐 그로텐후이스 레이몬드</b><br/>         캐나다 온타리오 엠5에스 3엑스5 토론토 아마데일<br/>         애비뉴 283<br/> <b>버마 야다브</b><br/>         캐나다 온타리오 엘6피 1케이3 브램턴 세이디릿쥐<br/>         로드 1<br/> <i>(뒷면에 계속)</i></p> <p>(74) 대리인<br/> <b>리앤목특허법인</b></p> |
|---|--|

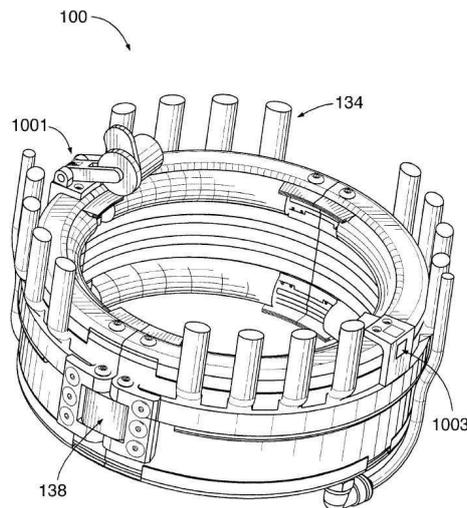
전체 청구항 수 : 총 25 항

(54) 발명의 명칭 **향상된 초음파 탐지**

**(57) 요약**

실질적으로 원통 형상 물체를 초음파와 스캔하는 장치 및 방법에서, 상기 장치는, 물체의 둘레 주위에 체결되도록 된 컵, 상기 컵의 내측 둘레에 대하여 장착되며 물체의 둘레를 스캔하도록 배치된 초음파 탐침, 상기 초음파 탐침에 대한 제어 정보를 제공하며 상기 초음파 탐침으로부터 스캔 데이터를 수신하는 하나 이상의 데이터 연결 부를 포함한다. 상기 탐침은 방향이나 위치를 결정하는 하나 이상의 센서를 포함하며, 이러한 데이터는 상기 배열로부터 데이터를 처리하고 상기 장치의 작동을 제어하는데 사용된다.

**대표도** - 도10



(52) CPC특허분류

*G01N 29/225* (2013.01)

*G01N 29/28* (2013.01)

*G01S 15/899* (2013.01)

*G01S 15/8993* (2013.01)

*G01S 15/8997* (2013.01)

*G01S 7/52079* (2013.01)

*G21C 17/06* (2013.01)

*G01N 2291/2634* (2013.01)

(72) 발명자

**홍 앤드류**

캐나다 온타리오 엠1씨 1티8 토론토 클라이트 로드

31

**사쿠타 알렉스**

캐나다 온타리오 엠8지 3브이8 토론토 피날로이 블러바드 18

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

도관을 초음파 스캔하는 장치로서, 상기 장치는,

상기 도관의 둘레 주변에 체결되도록 된 원통형 커프;

상기 도관의 둘레를 스캔하도록 배치되며 상기 커프 상에 장착되는 초음파 탐침; 및

상기 커프의 가속과 상기 커프의 방향 중 하나 이상을 결정하기 위하여 상기 커프 상에 장착되는 하나 이상의 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,

하나 이상의 상기 센서는 하나 이상의 자이로스코프를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,

하나 이상의 상기 센서는 하나 이상의 가속도계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,

하나 이상의 센서는 상기 커프의 방향과 가속도를 결정하도록 작동되는 자이로스코프 및 가속도계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 자이로스코프 및 상기 가속도계는 3차원적으로 방향과 가속도를 결정하도록 작동되는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 6

도관을 초음파 스캔하는 장치로서, 상기 장치는,

상기 도관의 둘레 주위에서 체결되도록 된 원통형 커프;

상기 도관의 둘레를 스캔하도록 배치되며 상기 커프 상에 장착되는 초음파 탐침; 및

사용자에게 초음파 탐침 데이터의 품질의 흠결을 알리기 위한 적어도 하나의 표시기를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 7

제 1 항 내지 제 6 항에 있어서,

상기 커프의 내측 표면과 상기 도관의 외측 사이의 내측 공간에 유체를 탑재하도록 원통형의 상기 커프의 단부에 배치되는 밀봉부; 및

유체를 수용하여 상기 내부 영역으로 통과시키는 유체 흡입부;를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 8**

제 1 항 내지 제 7 항에 있어서,

상기 초음파 탐침에 대한 제어 신호를 제공하며 상기 초음파 탐침으로부터 스캔 데이터를 수신하는 하나 이상의 데이터 연결부를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 9**

제 1 항 내지 제 8 항에 있어서,

상기 초음파 탐침은 초음파 트랜스듀서의 배열체인 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 10**

제 9 항에 있어서,

상기 초음파 트랜스듀서의 배열체는 상기 도관의 전체 둘레에 걸쳐서 연장되어 있는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 11**

제 1 항 내지 제 10 항에 있어서,

상기 커프는 상기 두관 주위에 상기 커프를 체결하도록 서로에 대하여 탈착 가능한 적어도 2개의 부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 12**

제 1 항 내지 제 11 항에 있어서,

상기 커프는 상기 초음파 탐침 데이터의 품질의 흠결을 사용자에게 알리는 하나 이상의 표시기를 구비하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 흠결은 수집된 데이터의 품질에 영향을 주는 탐침 데이터에서의 흠결, 물의 유동에 대한 문제점, 및 파이프 주위의 밀봉부에 대한 문제점 중 하나 이상인 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 14**

제 3 항 내지 제 13 항에 있어서,

상기 가속도계는 3-축 가속도계인 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 15**

제 1 항 내지 제 14 항에 있어서,

시각적 피드백을 작업자에게 제공하는 하나 이상의 LED 라이트 표시기를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 16**

제 1 항 내지 제 14 항에 있어서,

파이프를 따라 장치가 이동하는 거리를 결정하는 로터리 엔코더; 및

상기 장치의 방향을 저장하는 하나 이상의 관성 측정 유닛을 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

**청구항 17**

도관을 초음파 스캔하는 장치로서, 상기 장치는,

상기 도관의 둘레 주위에 체결되도록 된 원통형 커프;

상기 도관의 둘레를 스캔하도록 위치되며 상기 커프 상에 장착되는 초음파 탐침; 및

롤링 수밀 밀봉 상태를 유지하도록 원통형의 상기 커프의 각 단부에 배치된 원통형 롤링 밀봉부를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 롤링 밀봉부에 대하여 주별부에 와이퍼 밀봉부를 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 19

제 17 항 또는 제 18 항에 있어서,

상기 롤링 밀봉부의 축에 원통형 샤프트를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 20

제 17 항 내지 제 19 항에 있어서,

상기 원통형 샤프트는 가요성을 가지는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 장치.

#### 청구항 21

도관을 초음파 스캔하는 방법으로서, 상기 방법은,

상기 도관의 둘레에 대하여 배열된 다수의 초음파 요소를 구비하는 초음파 배열과, 상기 배열이 위치와 배열의 가속도 중 하나 이상을 제공하는 하나 이상의 센서를 제공하는 단계;

상기 도관의 길이방향 축을 따라 제 1 지점에서 상기 도관의 외측 표면을 향하여 초음파 신호를 발사하도록 상기 초음파 배열을 위치시키는 단계;

상기 도관의 길이방향 축을 따라 상기 제 1 지점에 대하여 전체-매트릭스-캡처 스캔을 수행하는 단계를 포함하되, 상기 스캔을 수행하는 단계는,

상기 초음파 배열의 제 1 초음파 요소로부터 초음파 신호를 송신하는 단계;

상기 초음파 배열의 각각의 다른 초음파 요소에 의해 수신된 초음파 신호를 센싱하고 저장하는 단계; 및

송신하는 단계, 센싱하고 저장하는 단계를 반복하는 단계로서, 상기 송신하는 단계는 상기 제 1 초음파 요소와는 다른 초음파 배열의 각 초음파 요소에 의해 번갈아 행해지는, 반복하는 단계를 포함하며,

상기 도관의 길이방향 축을 따라 제 2 지점에 초음파 배열을 재배치하는 단계;

상기 도관의 길이방향 축을 따라 상기 제 2 지점에 대하여 전체-매트릭스-캡처 스캔을 수행하는 단계;

상기 제 1 지점에서의 스캔과 상기 제 2 지점에서의 스캔을 서로 연계하도록 하나 이상의 센서로부터 데이터를 이용하는 단계; 및

재배치하는 단계와 전체-매트릭스-캡처 스캔을 수행하는 단계를 반복하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 방법.

#### 청구항 22

제 21 항에 있어서,

상기 초음파 배열은 상기 탐침 데이터의 흐름을 사용자에게 알리는 하나 이상의 표시기를 가지며,

전체-매트릭스-캡처-스캔을 각각 수행하기 전에,

상기 초음파 배열의 하나 이상의 초음파 요소로부터의 하나 이상의 초음파 신호를 송신하는 단계;  
 상기 초음파 배열의 하나 이상의 초음파 요소에 의해 수신된 하나 이상의 초음파 신호를 센싱하는 단계;  
 하나 이상의 센싱된 신호의 품질을 프로세서에서 평가하는 단계; 및  
 하나 이상의 표시기를 이용하여 평가의 결과를 사용자에게 알리는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 방법.

**청구항 23**

제 21 항에 있어서,  
 상기 초음파 배열은 사용자에게 알리기 위한 하나 이상의 표시기를 구비하며,  
 전체-매트릭스-캡처-스캔을 각각 수행하기 전에,  
 상기 배열의 방향 및 가속도에 관한 하나 이상의 센서 데이터를 생성하는 단계;  
 상기 센서 데이터에 기초하여 상기 배열의 위치와 방향이 정확한지에 대하여 프로세서에서 평가하는 단계; 및  
 하나 이상의 표시기를 이용하여 평가의 결과를 사용자에게 알리는 단계를 추가로 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 방법.

**청구항 24**

제 21 항에 있어서,  
 상기 제 1 지점에서의 스캔과 상기 제 2 지점에서의 스캔을 연계시키는 단계는 초음파 배열 상의 서로 다른 지점에 대한 샘플링 속도를 서로 다르게 조절하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 방법.

**청구항 25**

제 24 항에 있어서,  
 상기 샘플링 속도를 서로 다르게 조절하는 단계는,  
 상기 배열이 하나 이상의 센서로부터 수신된 데이터에 기초하여 상기 도관의 반곡된 구간을 현재 스캔하고 있는 지를 결정하는 단계; 및  
 상기 반곡된 구간의 외측보다는 반곡된 구간의 내측에서 덜 자주 배열을 샘플링하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 도관을 초음파 스캔하는 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 2013년 12월 17일에 출원된 미국 가출원 제61/917,066호에 대하여 우선권을 주장한다.

[0002] 본 발명은 초음파 탐지 및 파이프 탐지를 수행하는 방법과 장치에 대한 것이다.

**배경 기술**

[0003] 모리스 주니어 등에 허여된 미국 특허 제8,301,401호는 캐나다 중수소 우라늄 (CANada Deuterium Uranium : CANDU) 반응기 파이프를 탐지하기 위한 초음파 탐침에 대한 것이다. 상기 탐침은 파이프 원주 주변에 배치된 원통형 커프를 채우는 물과 같은 접촉매질을 사용한다. 상기 탐침은 파이프 원주 전체를 원을 그리며 둘러싸는 초음파 부채를 사용한다.

[0004] 맥라우클란에 허여된 미국 특허 제7,823,454호는 물결 모양 또는 비정형 표면을 모델링하는 초음파 탐지 방법에 대한 것이다. 상기 방법은 초음파 부채 배열체 및 탐지되는 표면 사이에 물과 같은 스캔 매체를 사용하는 단계를 포함한다.

[0005] 국제공보 W02013/044350호는 파이프 표면을 초음파 탐지하기 위하여 사용되는 매니퓰레이터를 개시한다. 상기

매니플레이터는 셔틀 상에 장착된 초음파 배열체를 가지는 파이프 원주 주위에 체결된 컵을 포함한다. 상기 셔틀은 탐침 데이터를 수집하고 처리하기 위한 전체 매트릭스 캡처 기술의 버전인, 전체 포커싱 방법을 사용하여 파이프의 원주를 스캐닝하도록 컵 주위에서 이동하게 된다. 참고자료들은 설비와 소프트웨어를 캘리브레이션하고, 파이프 표면을 스캐닝하며, 파이프 표면의 모델을 재구축하기 위한 전체 포커싱 방법을 이용하여 탐침 데이터를 수집 및 분석하는 방법을 설명한다. 본 발명은 참고자료에 의해 교시되는 것들을 편집하여 이전의 출판물의 교시 사항에 의존한다.

- [0006] 볼커가 발명자인 미국 특허공개 2011/0087444(이하 '444 공보 라 한다)는 내측 파이프 표면을 초음파 탐지하고 파이프의 보어를 통하여 크롤링하는 "피그(pig)"에 대한 것이다. 이 참고문헌은 백스캐터 신호에 기초한 파이프 표면의 이미지를 형성하는 알고리즘을 설명한다. '444 공보는 최단 전파 시간으로의 소리의 경로를 결정하는 페르마 원리에 대한 것이다. 이러한 모델링은 그리드를 우선 생성하고 상기 그리드의 각 지점에 대한 이동 시간을 결정하는 단계를 포함한다. '444 공보는 내부로부터 파이프를 스캐닝하는 단계를 필요로 하는데, 여기서 확인되어지는 주된 정보는 파이프의 내측 표면에 대한 3D 정보이다. 이것은 외측 표면에 배치된 스캐닝 장치를 사용하는 파이프의 내측 표면을 정확하게 모델링하는 문제 이상을 해결하지 못하였다.
- [0007] 배른스트롬에 허여된 미국 특허 제7,685,878호(이하 '878 특허)는 파이프 용접 탐지를 위하여 파이프 둘레 주변에서 초음파 트랜스듀서 쌍을 회전시키는 장치에 대한 것이다. 이를 통하여, 트랜스듀서로부터 연장되는 다른 장치 및 케이블은 정지한 상태로 유지되며 하나의 방향으로만 연장되게 된다. '878 특허는 용접부에 인접한 위치에서 파이프 상에 장착되며 파이프 주위에서 이러한 트랜스듀서를 회전시키며 트랜스듀서를 지지하는 장치를 설명하는데, 상기 파이프에 대한 효과적인 접근은 파이프의 일측으로부터만 가능하다는 점에 유념할 필요가 있다.
- [0008] 두개의 트랜스듀서는 본체의 구조적 테스트를 위한 원통형 본체 상의 원주방향 위치 주위에서 회전하게 되며 장착부 및 구동 장치 상에 지지되며, 상기 구동 장치는 용접부로부터 축방향으로 이격된 위치에서 그 일측 상에서 파이프에 고정된 연결을 위하여서만 일측으로부터 파이프로 수동으로 밀어올려지게 되는 자석 부착부를 포함한다. 트랜스듀서 쌍에 대한 칼라 형상 지지체는 일측으로부터 파이프의 주위를 둘러싸며 원주방향 용접부 주위에서 트랜스듀서를 지지하는 파이프 축 주위에 대하여 회전하게 되는 분리된 세그먼트의 열로 형성된다. 상기 세그먼트는 상기 표면 상의 물에 대하여 물러를 지지하며 자석에 의해 파이프에 대하여 지지된다. 상기 트랜스듀서는 상기 파이프에 대하여 반경방향 움직임 또는 축방향 움직임을 가능하게 하는 방식으로 그 위치를 추적하여 각진 위치에서 고정된 지지체에 의해 지지된다.
- [0009] 존슨에 허여된 미국 특허 제7,412,890호(이하 '890 특허라 한다)는 외측 파이프 표면에 인접한 공간을 물로 채우는 단계를 포함하는 파이프 용접부의 크랙을 탐지하고, 다음으로 파이프 표면을 스캔하도록 페이즈된 열 초음파를 사용하는 방법 및 장치에 대하여 설명한다. 상기 장치는 파이프 표면에 대하여 가압되는 개방된 저부 표면을 가지며 물로 채워지는 사각형의 캐비티를 구비한다. 상기 초음파 배열체는 캐비티의 상부에 위치된다. 페이즈된 배열 데이터 수집 방법이 사용된다.
- [0010] 비즈에 허여된 미국 특허 제5,515,298호(이하 '298 특허라 한다)는 오목한 표면 상에 배치되는 지문 또는 다른 물체를 초음파 스캐닝하는 장치에 대한 것이다. 상기 장치는 지문이 놓이는 표면의 오목한 내측 표면에 대하여 그리고 핀홀 배열체를 통하여 트랜스듀서 배열으로부터(트랜스듀서 당 하나) 초음파를 발사한다. 그 후 상기 트랜스듀서는 핀홀에 의해 형성된 구형 파형의 반사 및 산란으로부터 지문의 특징을 도출한다. 상기 장치는 지문이 놓이는 지지체의 볼록-오목 렌즈 구조체의 공지의 구조체에 영향을 받게 된다.
- [0011] 덴 보어등에 허여된 미국 특허 제6,896,171호(이하 '171 특허라 한다)는 열간 상태에서 새롭게 만들어지는 파이프 용접부를 EMAT(전자기 어쿠스틱 트랜스듀서) 스캐닝하는 장치에 대한 것이다. 상기 장치는 상기 파이프의 외측 표면 주위에서 링 형상 구조체에 배치되는 리시버 코일과 EMAT 트랜스미터의 배열체를 포함한다. 어떠한 후처리 알고리즘도 설명되지 않는다. 상기 장치는 용접 홈결부의 존재를 탐지할 수 있는 것으로 설명되며, 그 크기에 대한 정보는 주지만, 이미지, 정확한 위치, 및 다른 사항들은 설명되지 않는다.
- [0012] 알레인 등이 발명자인 미국 특허공개 2009/015850호(이하 '850 공보라 한다)는 파이프의 보어 내부에 피그 장치가 삽입되는 파이프를 탐지하기 위한 방법 및 장치에 대한 것이다. 초음파 트랜스듀서는 파이프의 내측 벽에 대하여 가압되며 홈결부를 탐지하도록 파이프 벽 자체의 물질 내부에서 초음파의 가이드된 파장(램 파장)을 이용한다. 데이터 수집 및 처리는 비록 페이즈된 배열체 데이터 수집 기능이 사용되고 있기는 하지만, 서로 다른 파장 모드가 추출되는 것으로부터 풀 매트릭스 캡처 기술에 기초한 것으로 보인다.

[0013] 파스칼리 등이 발명한 미국 특허 공개 제2009/0078742호 (이하, '742 공보라 한다)는 열간 또는 냉간 유체의 수면 아래 이동을 위하여 사용되는 것들과 같은 다중 벽을 가진 파이프를 탐지하는 방법 및 장치에 대한 것이다. 상기 방법은 내측 파이프 표면에 대하여 초음파 탐침을 배치하고, 파이프 벽의 내측 원주벽에 대하여 탐침이 회전하는지를 다양한 인터벌로 스캐닝하는 단계를 포함한다. 상기 장치는 파이프 내에 탐침을 위치시키며 내측 벽의 원주에 대하여 그것을 회전시키는 회전식 아암이 단부에 배치된 탐침이다. '742 공보는 파이프 표면에 대하여 다양한 각으로 탐침을 배치시키는 방법을 개시한다. 그러나, 이것은 파이프 축방향으로 용접부로부터 배치되며 파이프 용접부의 위치를 향하여 전방이나 후방으로 각이진 탐침을 사용하는 것만을 개시하고 있을 뿐이다.

[0014] 추가적인 선행기술은 우메, 이페아니 씨 등에 허여된 미국 특허 제7726136호를 포함하는데, 이것은 실시간 오프라인으로 용접 관통 깊이를 측정하는 초음파 시스템 및 방법을 개시하고 있으며, 맥그래스 매튜 등에 허여된 미국 특허 제7694569호는 페이즈된 배열체 초음파 물 웨지 장치를 개시하고 있으며, 브리그넥, 자크 엘 등에 허여된 미국 특허 제7694564호는 센터링 메커니즘을 구비한 보일러 튜브 탐지 탐침 및 이것을 작동시키는 방법을 개시하며, 프로스 라인하드에 허여된 미국 특허 6935178호는 초음파를 사용하는 파이프 탐지를 위한 장치를 개시하고 있으며, 버틀러 존 브이 등에 허여된 미국 특허 제6734604호는 멀티모드 합성된 비임 트랜스듀서 장치를 개시한다. 파가노 도미닉 에이에 허여된 미국 특허 제4872130호는 자동화된 일렬 파이프 탐지 시스템을 개시하며, 후루카와 티 등에 허여된 일본 특허 2004 028937호는 용접된 파이프의 형상을 측정하는 방법을 개시한다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0015] 본원에 예시적으로 설명되는 실시예는 전체 매트릭스 데이터 캡처 기술을 이용하여 물체를 초음파 탐지하는 방법 및 장치에 대한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0016] 제1 특징에서, 본 발명은 도관을 초음파 스캐닝하는 장치에 대한 것이며, 상기 장치는 도관의 원주 주위에 체결되도록 된 원통형 컵과, 상기 컵 상에 장착되며 도관의 원주를 스캔하도록 배치되는 초음파 탐침 및 상기 컵의 배향 및 가속을 결정하도록 컵 상에 장착되는 하나 이상의 센서를 포함한다.

[0017] 다른 특징에서, 본 발명은 도관을 초음파 스캐닝하는 방법에 대한 것이며, 상기 방법은, 도관의 원주에 대하여 배열된 다수의 초음파 부재와, 상기 배열체의 가속 또는 위치를 제공하는 하나 이상의 센서를 구비하는 초음파 배열체를 제공하는 단계, 상기 도관의 길이방향 축을 따라 제 1 지점에서 도관의 외측 표면을 향하여 초음파 신호를 투사하도록 초음파 배열체를 배치시키는 단계; 상기 도관의 길이방향 축을 따라 상기 제 1 지점을 전체-매트릭스-캡처 스캔하는 단계, 상기 도관의 길이방향 축을 따라 제 2 지점에서 초음파 배열체를 재배치하는 단계, 상기 도관의 길이방향 축을 따라 상기 제 2 지점을 전체-매트릭스-캡처-스캔하는 단계, 제 1 지점에서의 스캔과 제 2 지점에서의 스캔을 서로 연계시키도록 적어도 하나의 센서로부터 데이터를 사용하는 단계, 전체-매트릭스-캡처 스캔을 재배치하고 수행하는 단계를 반복하는 단계를 포함한다. 각각의 스캔 단계는 초음파 배열체에서 제1 초음파 부재로부터 초음파 신호를 전송하며, 초음파 배열체에서 각각의 초음파 부재에 의해 수신된 초음파 신호를 감지하고 저장하는 단계, 전송, 감지 및 저장의 단계를 반복하는 단계를 포함한다. 상기 전송하는 단계는 제1 초음파 부재보다는 다른 초음파 배열체의 각 초음파 부재에 의해 번갈아 행해진다.

[0018] 본 발명의 다른 실시예는 첨부된 도면을 참조하여 하기의 상세한 설명을 검토함으로써 통상의 기술자에게 자명하게 이해된다.

**발명의 효과**

[0019] 본 발명에 따르면, 전체 매트릭스 데이터 캡처 기술을 이용하여 물체를 초음파 탐지하는 방법 및 장치가 제공될 수 있게 된다.

**도면의 간단한 설명**

[0020] 도 1은 절개된 데이터 케이블 및 제거된 유체 흡입 호스를 구비한 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 도구의 사시도이다.

- 도 2는 도 1의 예시적인 실시예의 전개된 사시도이다.
- 도 3은 도 1의 예시적인 탐침에서 사용되는 초음파 배열체의 측면도이다.
- 도 4는 도 3의 초음파 배열체의 사시도이다.
- 도 5는 도 3 및 도 4의 초음파 배열체의 사시도이다.
- 도 6은 예시적인 환상 탐침 공구 상에 관성 측정 유닛을 배치하는 관계를 도시하는 단순화된 환형체의 등축도이다.
- 도 7은 예시적인 환형 탐침 공구상에 관성 측정 유닛을 배치한 단순화된 환형체이 제 2 등축도이다.
- 도 8은 전면에 LED 표시기를 가지는 초음파 탐침 공구의 사시도이다.
- 도 9는 절개된 데이터 케이블 및 제거된 유체 흡입 호스를 가진 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 공구의 사시도이다.
- 도 9a는 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 공구의 래치 조립체의 확대도이다.
- 도 10은 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 공구의 사시도이다.
- 도 11은 절개된 데이터 케이블, 및 제거된 유체 흡입 호스를 가진 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 공구의 측면도이다.
- 도 12는 예시적인 실시예에 따른 초음파 탐침 공구의 전개된 부분 측면도이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] **개관**
- [0022] 본 발명의 예시적인 실시예는 초음파 탐지 데이터를 캡처하고 후처리하기 위한 초음파 이미지 장치 및 방법에 대한 것이다.
- [0023] 특히, 설명된 실시예는 파이프 용접부를 탐지하기 위한 장치 및 방법에 대한 것이다. 도면을 참고하면, 도 1은 파이프의 전체 둘레를 둘러싸는 초음파 트랜시버 배열체(200)를 탑재하며 파이프 주위에서 체결되는 기계적 컵(106)을 가지는 탐침 공구(100)를 도시한다. 도시된 실시예에서, 상기 배열체(200)는 컵 내측 표면의 내측 둘레의 1/4를 각각 가로지르는 분리된 4개의 부재로 구성된다.
- [0024] 다수의 실시예에서, 상기 배열체(200)는 파이프의 길이를 따라 길이방향으로 컵(106)을 작업자가 이동시킬 때 풀 매트릭스 캡처 데이터 획득 기술을 통하여 파이프 공간의 다중 송신-수신 사이클을 수행한다. 송신-수신 사이클로부터의 모든 데이터는 유지된다. 데이터는 2단계 알고리즘을 사용하여 후처리된다. 우선, 상기 파이프의 외측 표면은 외측 표면의 경계를 탐지하도록 이러한 맵을 필터링하고 표면의 강도 맵을 구축함으로써 모델링된다. 다음으로, 제 1 단계 동안에 구축된 외측 표면의 모델은 페르마 원리를 이용하여 파이프의 내측 표면을 모델링함에 있어서 렌즈로서 사용된다. 내측 표면은 외측 표면과 동일한 방식으로 모델링되는데, 강도 맵이 구축되고서 경계를 탐지하도록 필터링된다.
- [0025] 기계적 컵(106)은 파이프 표면에 대하여 밀봉하는 양 단부 상에 수밀한 밀봉부(104)를 가지는 원통형 외측 구조체를 가진다. 다수의 실시예에서, 상기 밀봉부는 극각적으로 롤링되는 환형 밀봉부이며, 이로 인하여 컵(106)이 파이프 표면을 따라 길이방향으로 이동할 때 파이프의 외측 표면에 접촉된 상태를 유지하게 된다. 상기 컵(106)은 유체 흡입부(132)를 통하여 초음파 스캐닝 매체로서 사용되는 물이나 다른 유체 유동을 받아들일 수 있게 되며, 초음파 스캐닝을 촉진하기 위하여 작동시에 유체가 있는 파이프 표면과 컵(106)의 내측 표면 간의 공간을 채우게 된다. 다른 실시예에서, 상기 밀봉부(104)는 네오프렌과 같은 저마찰 소재로 형성되던 립 밀봉부이며, 컵(106)이 이동할 때 파이프 표면을 따라 간단히 슬라이드하게 된다. 다양한 실시예는 수밀한 밀봉 상태를 유지하기 위하여 외측 파이프 표면 상의 비정형부 주위를 변형하기 위하여 적절한 밀봉부(104)에 대한 탄성 소재를 사용한다.
- [0026] 상기 컵(106)은 원통형 구조체의 둘레 주위에서 정렬되는 배열체(200)의 길이방향 축을 가진 초음파 트랜시버 크리스탈(202)의 선형 배열체를 그 내측 표면에 가지는 내측 링을 가진다.
- [0027] 다수의 실시예에서, 데이터는 각각의 프레임에 대한 초음파 배열체로써 다중 송신-수신 사이클을 수행하면서 파

이프의 길이방향 축을 따라 커프(106)을 수동으로 이동시킴으로써 얻어진다. 각각의 프레임은 풀 매트릭스 캡처 기술을 사용하는데, 단일 부재(202)가 펼성되며, 배열체(200)의 각각의 부재(202)는 그 위치에서 응답을 측정하며 최종 시간-도메인 신호(A-스캔)을 저장한다. 이러한 과정이 반복되어, 각 부재(202)를 번갈아 펼성하고, 각 부재(202)에서 응답을 저장하며, N 부재(202)를 가지는 배열체에 대한 (N X N) A-스캔의 전체 데이터 자료가 구현되게 된다. 다수의 실시예에서, 각각의 A-스캔의 저장된 시간 기간은 설정된 쓰레스홀드(시간 t))를 지나서 신호 스파이크에 대한 모니터링을 함으로써 결정되며, 이후 소급적으로 모든 신호 데이터를 저장하는 것인 상기 스파이크 이전의 설정된 인터벌(시간 (t-C))에서 시작된다.

[0028] 정의

[0029] 하기의 정의는 아래에서 설명되는 파이프 용접 탐지에 대한 내용에서 사용된다.

[0030] FMC: 전체 매트릭스 캡처(Full Matrix Capture). 트랜스듀서에서의 각각의 부재가 모든 부재가 수용되는 동안에 개별적으로 펼성되는 초음파 데이터 수집 전략. 이것은 모든 부재들이 시작되기까지 트랜스듀서에서 각각의 부재를 위하여 반복된다. 이러한 전략은 상기 트랜스듀서 내의 부재의 개수가 되는 n 행 n 열 개의 데이터 배열을 생성한다. 그 결과, FMC 탐지에 대한 데이터 파일은 동일한 해상도에서 균등한 일반적인 (예를 들어 페이즈된 배열) 기술보다는 현저하게 크다.

[0031] 메인 대각선 : 각각의 전송 부재가 그 자체의 리시버가 되는 FMC 를 사용하여 수집된 데이터에서 송신-수신 부재 그룹. FMC 데이터 세트의 메인 대각선 시작은 일반적인 선형 전자 B 스캔과 동일하다. 상기 메인 대각선 시작은 FMC 데이터 B 스캔의 기본 시작이다.

[0032] 매트릭스 : FMC 데이터 수집 전략을 사용할 때 생성되는 데이터 구조. 매트릭스의 열(column)이 전송 부재를 특정하는데 할당된다면, 매트릭스의 행은 수신 부재에 대응된다. 배열의 각 요소는 송신기 수신기 쌍에 관한 A 스캔에 대응된다. 예를 들어, 요소(17)에 대한 전송, 요소(32)에 대한 수신의 조합은 FMC 데이터 매트릭스의 32행 상의 17열 아래에 배치된다.

[0033] TFM : 전체 포커스 방법. FMC 방법을 통하여 생성된 데이터를 사용하는 자동화된 다양한 데이터 분석 전략에 대한 일반적인 명칭. TFM 은 다양한 송신-수신 조합으로부터 A-스캔에서 시간 표시의 범위에서 진폭값을 합산하는데 의존하게 된다. 유효한 표면이 존재하는 경우, 진폭은 상기 표면을 이미징하는데 구조적으로 방해가 된다. 이러한 표면이 존재하지 않는 경우, 진폭은 어떠한 이미지를 형성하지 않는 파괴적인 방해가 된다. TFM 은 전체 탐지 공간을 통하여 포커싱된 페이즈된 배열에 균등한 것으로 설명된다.

[0034] 약어 및 두문자

[0035] 하기의 약어 및 두문자는 아래에서 설명되는 파이프 용접 탐지의 내용에서 사용된다.

표 1

[0036]

A 스캔	특정 Tx-Rx 쌍에 대한 시간-진폭 플롯
DP	A 스캔의 시간 축에 따른 지점-지점 디지털화
공급기	개별 연료 채널로부터 또는 이에 대한 중수 냉각재를 운반하는 파이프
FMC	풀 매트릭스 캡처
탐지 배열체	FMC 데이터 수집에 사용되는 다중 요소 트랜스듀서
ID	내경
OD	외경
TFM	전체 포커싱 방법
UT	초음파 테스트
WPIT	용접 형상 탐지 도구

[0037] 위치 및 방향 트래킹

[0038] 파이프 상의 탐침의 위치 및 방향은 3축 자이로스코프 및 3축 가속도계를 가진 위치 및 방향 탐지기를 이용하여 측정된다. 위치 및 방향 데이터는 상이한 프레임 및 조각으로부터 스캐닝 데이터를 통합하는데 사용된다. 이것은 파이프 표면을 따라 탐침 도구가 이동하게 되는 속력에 기초하여 샘플링 속도를 가변시키는 것과 같이, 초음파 배열체에 대한 제어를 조절하는데 사용된다. 예를 들어 커프(106)가 파이프의 엘보우 조인트 주위에서 이

동하게 될 때, 파이프 표면에 대한 상이한 속력으로 이동하게 된다면 초음파 배열체 상의 서로 다른 지점에 대한 샘플링 속력을 서로 다르게 조절할 수 있게 되며, 상기 샘플링 속력은 상기 엘보우의 외측면 상의 일부분에 대하여 엘보우의 내측면에 초음파 배열체의 일부를 위하여 낮추어지게 되어, 엘보우의 내측 상의 파이프 표면이 과도하게 샘플링되는 것이 방지된다.

[0039] 아래에서는 3D 공간에서 탐침 도구의 방향 및 위치를 결정하는 방법이 설명된다. 상기 도구는 탐지 경로를 따라 슬라이드될 때 방향상 몇가지 변화를 일부 환경에서 겪게 된다. 공급기 파이프 벤드의 내부 둘레 상에서 초음파 데이터가 과도하게 샘플링되는 것을 방지하기 위하여, 그 경로를 따라 도구의 위치와 방향을 알 필요가 있다. 설명되는 방법은 탐침 도구의 위치와 방향을 결정하도록 나란히 작동하는 2개의 관성 측정 유닛(IMUs)을 사용한다. 도면을 참조하면, 도 6은 설정 위치에서 2개의 IMU(관성 측정 유닛: 602, 604)에 체결된 도구(600)의 예시적인 실시예를 도시한다.

[0040] 장치를 캘리브레이션 한 후에, 제1 IMU(602)는 중력 벡터(612)를 사용하여 도구의 방향을 저장하게 된다. 제2 IMU(604)는 수직 파이프와 같은 문제되는 형상 상에서 도구 위치를 결정할 때 유용하다. 제2 IMU 유닛(604) 상의 엔코더 및 가속도계는 파이프를 따라 도구가 이동한 거리를 결정하는데 사용된다. 방향과 축방향 위치의 조합으로 인하여 예를 들어 각도(610) 및 가속도(608) 벡터를 통하여 회전 벡터(606)를 탐지함으로써 공간을 통하여 도구의 경로를 실시간으로 재구성할 수 있게 된다.

[0041] 도 7에 도시된 예시적인 실시예에서, 제 1 IMU(602) 및 제 2 IMU(604)는 90도 각도(704)로 분리된 도구(600)의 둘레 상의 지점에 배치된다. 이들은 도구(600)의 길이방향 작동축(702)에 대하여 배향된다.

[0042] **중력 벡터를 이용하여 도구의 방향을 저장**

[0043] 도구(100)의 방향은 제 1 IMU(602)의 자이로스코프 및 가속도계로부터의 입력값을 조합하여 결정된다. 관독은 도구가 우선 초기화되고 각 후속 시간 인터벌( $t=0, t=1 \dots t=n$ )의 말미에 행해진다.

$$\vec{a}(t) = \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix}$$

$$\vec{g}(t) = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix}$$

$$\vec{0}(t) = \begin{bmatrix} 0_x \\ 0_y \\ 0_z \end{bmatrix}$$

[0044]

[0045] 여기서,  $\vec{a}(t)$  = 가속도 벡터: 가속도계에 의해 주어진 중력 벡터의 방향

[0046]  $\vec{g}(t)$  = 자이로스코프 벡터 : 자이로스코프에 의해 주어진 도구의 방향

[0047]  $\vec{O}(t)$  = 방향 벡터 : 도구의 현재 방향으로서 "최상의 예상"

[0048] 가속도계 벡터의 성분은 각각의 샘플링 기간 동안에 가속도계를 판독함으로써 직접 얻어진다. 이러한 벡터는 그 방향을 나타내도록 표준화된다:

$$\vec{a}(t) = \frac{\vec{a}(t)}{\|\vec{a}(t)\|}$$

[0049]

[0050] 자이로스코프로부터, 시간 인터벌간에 도구가 움직이게 되는 각도  $\vec{\theta}(t)$  는 아래와 같이 되는데,

$$\theta_{xy,avg}(t) = \theta_{xy}(t-1) + \left(\frac{d}{dt}\theta_{xy,avg}\right) * T$$

[0051]

[0052] 여기서,

[0053]  $\theta_{xy}(t-1)$  = 이전 시간 인터벌로부터의 판독

[0054]  $\frac{d}{dt}\theta_{xy,avg}(t)$  : = 시간 인터벌 동안에  $\theta$ 의 평균 속도 변화

[0055] T= 시간 인터벌의 시간적 간격이다.

[0056] 유사하게,

$$\theta_{xz,avg}(t) = \theta_{xz}(t-1) + \left(\frac{d}{dt}\theta_{xz,avg}\right) * T$$

[0057]

$$\theta_{yz,avg}(t) = \theta_{yz}(t-1) + \left(\frac{d}{dt}\theta_{yz,avg}\right) * T$$

[0058]

[0059] 이전 방향 벡터,  $\vec{O}(t-1)$  및 각 벡터,  $\theta(t)$  를 이용하여 도구의 현재 방향,  $\vec{g}(t)$  를 재구축하는 것이 가능하다. 이것은 아래와 같이 행해질 수 있다.

$$\|\vec{g}(t)\| = \sqrt{(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2)} = 1$$

[0060]

$$g_x = \frac{g_x}{1} = \frac{g_x}{\sqrt{(g_x^2 + g_y^2 + g_z^2)}}$$

[0061]

[0062] 삼각함수를 이용하면 이것은 간단하게 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$g_x = \frac{\sin(\theta_{xy}(t))}{\sqrt{1 + \cos(\theta_{xy}(t))^2 * \tan(\theta_{xy}(t))^2}}$$

[0063]

[0064] 이것은 제1 표현보다는 삼각함수를 덜 사용하도록 하여 계산에 비용이 덜 소요되는 아래와 같이 더욱 간단하게 표현될 수 있다.

$$g_x = \frac{1}{\sqrt{1 + \cot(\theta_{xy}(t))^2 * \sec(\theta_{xy}(t))^2}}$$

[0065]

[0066] 유사하게,

$$g_y = \frac{1}{\sqrt{1 + \cot(\theta_{yz}(t))^2 * \sec(\theta_{yz}(t))^2}}$$

[0067]

이 될 수 있다.

[0068]

자이로스코프에 의해 각각 중력 벡터의 방향 및 도구의 방향이 주어지므로, 이제  $\vec{a}(t)$  와  $\vec{g}(t)$  를 가지게 된다. 개별적으로 보면, 이러한 관측 두가지 모두는 시간에 대한 오류- 높은 진폭으로부터의 가속도계, 짧은 시간 간격 노이즈 및 낮은 진폭으로부터의 자이로스코프, 긴 시간 간격 드리프트를 겪게 된다.

[0069] 이러한 효과에 대하여 대응하여 균형을 맞추기 위하여, 입력 두가지는 아래 형태의 상보적인 필터로 입력된다:

$$\bar{O}(t) = x * \bar{a}(t) + (1 - x) * \bar{g}(t)$$

[0070]

[0071] 여기서,  $x$  = 가속도계 입력에 영향을 받게 되는 중량 이다.

[0072] 중량  $x$ 는 가속도계 입력값이 "신뢰" 상태로 되고 실험을 통하여 결정되는 수준을 나타낸다.

[0073] **탠덤(tandem) IMUs 를 사용하여 수직 공급기를 수용**

[0074] 캐나다 중수소 우라늄(CANDU) 반응기 면 상의 공급기 파이프의 대부분은 의도한 탐지 구간(Grayloc™ 체결부와 같은 체결부로부터 1-1.5 미터) 이내에서 수직하다. 이것은 중력 벡터가 탐지 스캔의 일부분에 대한  $-z$  축에 정렬되므로, 도구(100)의 둘레 방향(극좌표에서  $\theta$  방향)를 결정하기 위한 시도를 나타낸다. 도 6은 탐침 도구 (600)의 방향을 도시한다.

$$\frac{d}{dt} \bar{a}(t) = 0$$

[0075] 이것은 스캔의 일부분에 있어서,  $\frac{d}{dt} \bar{a}(t) = 0$  인 것을 의미하며, 가속도계는 상보적인 필터에 대한 유용한 입력값을 제공할 수 없게 된다. 이러한 상황에서, 상기 도구(100)의 방향은 자이로스코프로부터의 입력값으로부터만 결정된다. 상기 자이로스코프가 드리프트를 받게 되면, 그 결과 "고스트 회전"이 발생하게 되는데, 여기서, 탐침 도구 소프트웨어는 어떠한 회전이 발생하지 않을 때 파이프 축에 대하여 도구가 회전하게 된다고 믿게 된다.

[0076] 상기 작업자가 이러한 수직 구간을 따라 그것이 이동할 때 도구를 회전시킬 필요가 있을 가능성이 높기 때문에, 시간에 대한  $\theta$ 크기에서의 도구의 방향의 정확한 상황을 가질 필요가 있다. 이로 인하여 흠이 있는 위치는 Grayloc™ 체결부와 같은 고정된 기준 지점에 대하여 결정되게 된다.

[0077] 이를 달성하기 위한 한 방법은 가속도계를 사용하는 도구의 구심가속도를 측정함으로써 행해진다. 구심가속도는 아래의 식으로 주어지는데

$$a_c = \frac{v_t^2}{r}$$

[0078]

[0079] 여기서,  $v_t$  = 원래 IMU 에서 측정된 도구의 법선 속도이고,

[0080]  $r$  = 원래 IMU 에서 측정된 도구의 반경이다.

[0081]  $a_c$ 의 크기는 일반적으로 작으므로(40rpm에서 회전하는 2.5" 도구에 대하여  $0.014 \frac{mm}{s^2}$ 의 크기), 각각 서로의 관독에 협력하여 작동하는 두개의 IMUs 는  $\theta$ 의 도구 위치의 정확한 그림을 제공하는데 사용된다.

[0082] 탠덤 IMUs(602, 604)로부터의 입력값이 어떻게 결합되는지는 실험을 통하여 결정된다. 상보적인 필터 및 스프레드 시홀드 기술의 결합이 사용되어, 정확한 중량과 한계가 테스트를 통하여 결정된다.

[0083] **가속도계 및 엔코더를 사용하여 도구의 축방향 위치를 저장**

[0084] 로터리 엔코더(1001) 및 상기 탠덤 가속도계로부터의 입력값의 결합은 파이프를 따라 탐침 도구(100)의 축방향 위치를 결정하는데 사용된다. 상보적인 필터는 입력값을 상기 엔코더 입력을 향하여 심하게 가중된 필터와 결합하는데 사용된다. 그 이유는 로터리 휠은 파이프 표면에 접촉하는 것으로 되며, 높은 진폭 노이즈를 받게 되는 가속도계보다는 더 "신뢰할 수 있는" 것으로 고려되기 때문이다.

[0085] 실험을 통하여, 상기 도구는 그 위치를 결정하기 위하여 가속도계 입력값에 순간적으로 의존하게 되는 조건을

형성함으로써 엔코더 "슬립"에 반응할 필요가 있다는 것으로 알려졌다.

**[0086] 작업자 피드백**

**[0087]** 다수의 실시예에서, LED 라이트 시스템은 현재 도구 상태에 기초하여 시각적인 피드백을 작업자에게 제공하도록 도구(100)에 일체로 된다. 예를 들어, 상이한 빛 패턴은 물 칼럼의 손실, 소실된 스캔 또는 설비 파손과 같은 상이한 도구에 대한 이벤트에 대응되게 된다. 이러한 피드백으로 인하여 작업자는 도구 배치, 스캔, 속도 등에 대한 신속한 전달된 결정을 하게 된다.

**[0088]** 피드백은 IMU 시스템(매우 신속하게 이동하는 도구(100))을 포함하는 다수의 소스로부터 또는 트랜스듀서(낮은 물 칼럼, 소실된 스캔, 등)로부터 나온다.

**[0089] 회전 계산에서의 4원법(quaternion)의 사용**

**[0090]** 4원법은 벡터를 사용하여 3D 회전을 나타내는 수단을 가리키며, 컴퓨터 그래픽스 애플리케이션에서 널리 사용된다. 이들은 삼각함수를 수반하지 않기 때문에, 함수가 불연속부에 접근하게 될 때(예를 들어  $\tan(90^\circ)$ ) 만나게 되는 불안정성을 겪지 않게 되며, 오일러 각의 특징은 짐벌 로크(gimbal lock)의 현상을 일으키지 않는다. 짐벌 로크 현상은 중요한 이슈를 생성하는데, 그 이유는, 진술한 바와 같이, 탐침 도구로써 탐지하는 것의 대부분은 수직 파이프에서 일어나며, 여기서, 중력 벡터는 -z 축에 대하여 대략 정렬된다. 따라서, 도구 및 그 스캐닝 소프트웨어의 다수의 실시예는 진술한 계산을 행함에 있어서 4원법을 사용한다.

**[0091] 삼각함수에 대한 수치 근사화**

**[0092]** 관련된 이슈는 삼각함수를 계산할 때 발생하게 되는데, 이러한 삼각함수는 계산상 비용을 발생시키게 된다. IMUs의 샘플링 속도에 따라, 이것은 여러 환경에서 시스템의 성능을 저하시킬 수 있다. 따라서, 삼각함수값을 도표화하거나 삼각함수에 따라 근사값을 생성하는 것이 설명된다.

**[0093] 광학적 엔코더의 사용**

**[0094]** 다수의 실시예에서, 광학적 엔코더는 필드 조건에서(젓어 있고, 깨끗하지 않은 파이프, 반사도의 변화 등을 고려) 진행하는 거리를 모니터링하도록 사용될 수 있다. 이러한 실시예에서, 상기 도구의 축방향 위치를 결정하도록 엔코더 입력값에 전적으로 의존하는 것이 가능하다. 이것은 가속도계 입력값이 위치를 결정할 때 고려되어질 필요가 없기 때문에 소프트웨어의 복잡도를 감소하게 된다.

$$\frac{d}{dt} \bar{\theta}(t)$$

**[0095] 를 결정함에 있어서 보다 정확한 적분**

**[0096]** 자이로스코프 판독으로부터 각속도를 계산하는 방법은, 다수의 실시예에서, 사다리꼴 적분 방법에 의존하는데, 여기서 시간 인터벌의 시작시와 종료시의 각속도 판독값은 인터벌에 대한 판독값을 행성하도록 단순히 평균값으로 된다.

**[0097]** 고속으로 샘플링하고 심슨 법칙과 같은 더욱 정확한 적분 방법을 수행하면 어떠한 환경에서는 보다 양호한 결과를 도출하게 된다.

**[0098] 데이터 획득**

**[0099]** FMC 탐지는 용접 구조에 원통형 형상의 탐침 궤적을 덧붙이게 된다. 조인트 및 상기 조인트 상의 탐침 도구의 배치의 특성에 따라, OD 및 ID 신호의 약간의 변형이 발생할 수 있다. 이러한 것들이 발생하는 영역은 형상을 만족시키는 직선의 볼 영역이거나 형상을 만족시키는 Gayloc™ 일 수 있다. 이에 대한 대책은 변형이 경험되는 영역에서 신호를 최적화하는 의도로 조인트에 대하여 탐침 도구(100)를 재통과시키는 것이다.

**[0100]** 탐침 데이터는 스캐닝 작업동안에 실시간으로 전체적으로 또는 부분적으로 처리된다. 이것은 스캔된 데이터의 적절성에 순간적인 피드백을 작업자에게 제공한다. LED 라이트와 같은 표시기(136)는 탐침 데이터에서의 순간적인 미흡함을 작업자에게 경고하도록 탐침 도구(100)에 체결되어서, 작업자는 흠결이 나타나는 파이프 길이의 제 2 통과를 행할 수 있게 된다. 이러한 흠결은 작업자가 커프를 너무 빨리 이동시키거나 충분히 매끄럽지 않게 이동시킴으로써 발생하게 되며, 파이프의 문제 되는 구간에서 "페인팅 백"에 의해 행해지는 제 2 통과와 결과로서 커프(106)의 매끄럽고 천천히 이동하는 회전에 기인하여 만족스러운 데이터를 나타내게 된다.

**[0101]** 상기 표시기는 파이프 주위의 밀봉부 또는 물 유동의 문제점과 같은 수집된 데이터의 품질에 영향을 주게되는

다른 문제를 작업자에게 경고하는데 사용된다.

- [0102] 본 발명은 파이프 탐지 도구 및 기술로서 설명되는 반면, 일반적인 원리 및 알고리즘은 다수의 서로 다른 내용 및 애플리케이션에서 초음파 이미징에 적용될 수 있다.
- [0103] **초음파 탐지 도구 장치**
- [0104] 도면을 참고하면, 도 1은 초음파 탐지 도구(100)를 포함하는 예시적인 실시예를 도시한다. 탐침 도구(100)는 스캔 과정에서 파이프(2)의 둘레 주위에 체결되는 컵프(106)를 포함한다. 상기 컵프(106)의 중심은 파이프의 길이방향 축에 정렬된다. 상기 탐침 도구(100)는 상기 컵프(106)에 의해 둘러싸이는 파이프의 슬라이스 부분을 스캔하도록 초음파 탐침 요소(202)의 선형 배열체(200)를 사용한다.
- [0105] 작동시에, 상기 컵프(106)는 컵프(106)의 에지로부터 파이프 표면으로 연장되는 2개의 수밀 밀봉부(104)로써 파이프 주위에 체결된다. 도시된 실시예에서, 상기 밀봉부(104)는 네오프렌과 같은 저마찰 물질로 형성된 립 밀봉부이다. 작동시에, 상기 립 밀봉부는 수밀 밀봉 상태를 유지하도록 파이프의 표면을 따라 슬라이드한다. 다른 실시예에서, 상기 밀봉부(104)는 환형 스프링과 같은 탄성 코어, 및 네오프렌과 같은 탄성의 저마찰 코팅부를 포함한다. 각각의 밀봉부(104)는 컵프(106)의 각 외측 에지를 따라 연장되는 트렌치 내에서 탐침 도구(100)에 체결된다. 탐침 도구(100)가 파이프 표면을 따라 길이방향으로 이동할 때, 상기 밀봉부(104)는 롤링하는 수밀 밀봉 상태를 유지하도록 파이프 표면에 접촉된 상태를 유지하면서 상기 트렌치 내에서 유지되도록 극각적으로 회전하게 된다.
- [0106] 상기 컵프(106)의 내측 표면에 의해 형성된 내측 영역, 밀봉부(104), 및 외측 파이프 표면은 초음파 스캔 매체로서 작용하는데 적합한 물이나 다른 유체로 채워진다. 다수의 실시예에서, 상기 물은 탐침 도구(100)에 탑재되는 호스(110)에 의해 내측 공간으로 펌핑된다. 상기 호스(110)는 외부 수조 및/또는 펌프에 연결되며, 호스 흡입부(132)를 통하여 컵프(106)의 내측 공간으로 공급된다.
- [0107] 하나 이상의 데이터 연결부(134)는 탐침 도구(100)를 하나 이상의 외부 데이터 처리 시스템 및/또는 제어부에 연결한다. 이러한 외부 시스템은 탐침 도구(100)의 작동을 제어하거나 탐침 도구(100)의 스캔 작업에 의해 모인 데이터를 수집하고 처리한다. 상기 데이터 연결부(134)는 상기 탐침 배열체 및 외부 데이터 처리 시스템 및/또는 제어부 사이에서 탐침에 의해 수집된 데이터 및 초음파 탐침 제어 데이터를 교신하는 기능을 한다. 다른 실시예에서, 일부 또는 모든 함수는 예를 들어 설치된 제어부 및/또는 데이터 저장 및 처리 유닛에 의해 탐침 도구(100) 자체 내에서 발생한다. 상기 데이터 연결부(134)는 데이터 배열체의 작업 및/또는 도구(100)의 다른 전원 연결된 요소를 위한 전력선을 포함한다.
- [0108] 탐침 도구(100)는 상기 컵프(106)가 개방되도록 하는 힌지된 설계에 의해 파이프 또는 목적물을 스캐닝하는 다른 것으로부터 제거되거나 체결된다. 도 1은 상기 컵프가 개방되도록 하는 힌지(140)를 가진 힌지된 탐침 도구, 및 래치와 같은 연결 수단에 의해 폐쇄된 작업 위치로 서로 컵프의 단부가 연결되게 하는 연결부(138)를 포함하는 실시예를 도시한다. 상기 연결부(138)는 래치와 같은 도 1의 예시적인 실시예에 도시된다. 도 9에 도시된 래치 조립체(901)는 래치 메커니즘의 추가적인 실시예를 제공한다. 도 10에 도시된 것과 같은 다른 실시예에서, 힌지 조립체(138)는 컵프(106)가 개방되게 한다.
- [0109] 도 2는 도 1의 도구의 요소의 전개도를 도시한다. 이러한 실시예에서 밀봉부(104)는 컵프(106)의 외측 요소 및 내측 요소 사이의 위치에 지지되는 것으로 도시된다.
- [0110] 탐침 도구(100)는 컵프(106)에 의해 둘러싸이는 공간을 스캔하도록 공명 크리스탈과 같은 초음파 탐침 요소의 선형 배열체를 사용한다. 도 3 내지 도 5는 예를 들어 초음파 배열체(200)의 다양한 도면을 도시한다. 여기서 도시되는 4분원 배열체(200) 중 4개는 도 1 내지 도 2의 예시적인 탐침 도구(100)의 내측 둘레에 대하여 배치된다. 다수의 실시예는 512-요소 배열체를 각각 형성하는 123 요소를 가지는 4개의 배열 세그먼트에 참가하게 된다. 배열체(200)는 배열 요소(202)의 작업에 전원을 공급하고 작업시에 이러한 요소들로부터 데이터를 수집하는 데이터 연결부(134: 여기서서는 절개되어 도시됨)를 구비한다. 많은 개수의 요소들을 가지는 실시예에서, 상기 데이터 연결부(134)는 적어도 350MB/s 를 전달할 수 있는 하나 이상이 광섬유 데이터 케이블 또는 트랜스듀서 케이블(134)를 구비한다.
- [0111] 작업시에, 선형 배열체(200)는 스캔된 파이프의 길이방향 축에 원주방향으로 정렬된다. 상기 파이프는 아래에서 설명되는 전체 매트릭스 캡처 기술을 이용하여 전체 배열체에 의해 스캔되어서, 상기 탐침 도구(100)는 도구의 새로운 위치의 새로운 길이방향 좌표에 대하여 스캔 과정이 반복된 후에 파이프의 길이방향 축을 따라 이동하게 된다. 파이프의 길이를 따라 일정하게 이격된 인터벌로 이러한 다수의 스캔을 행함으로써, 전체 파이프

길이의 둘레의 내측 표면 및 외측 표면의 모델은 스캔 데이터를 사용하여 구축된다.

- [0112] 다수의 실시예에서, 도 8에 도시된 바와 같이, 커프(106)는 다음의 파이프 영역을 스캔하는 과정 이전에 설명될 필요가 있는 반대 조건을 작업자에게 경고하는 하나 이상의 표시기(136)를 구비한다. 다수의 실시예에서, 이러한 표시기(136)는 작업시에 작업자를 향하도록 된 커프(106)의 전방면에 부착되는 LED 라인을 포함한다. 상기 표시기(136)는 데이터 연결부(134), 추가적인 표시기 데이터 연결부(142), 및/또는 탐침 도구(100: IMUs) 자체 내의 내부 센서로부터 데이터를 수신한다. 상기 표시기(136)는 수집된 데이터 신호의 품질에 대한 문제, 물의 유동 또는 파이프 둘레의 밀봉부에 대한 문제, 또는 스캔의 품질에 영향을 주는 다른 문제를 작업자에게 경고한다. 작업자는 다른 속도, 배향 및/또는 방향에서 스캔을 반복함으로써 이러한 경고에 대응하게 된다. 상기 작업자는 호스(110)가 굴절되지 않았는지 또는 방해되지 않았는지 체크하거나 밀봉부(104)를 조절하는 것과 같은 데이터 품질에 영향을 주는 문제점을 교정하는 단계를 진행하게 된다. 도 9에 도시된 바와 같은 다수의 실시예에서, 초음파 탐침 도구(100)는 시각적 피드백을 작업자에게 제공하도록 커프(106)에 일체로 되는 하나 이상의 LED 표시기(902)를 포함한다.
- [0113] 도 9에 도시된 바와 같은 다수의 실시예에서, 하나 이상의 홀 센서(903)는 도구의 가속 및 방향을 결정하도록 커프(106)에 장착된다. 도 10에 도시된 바와 같은 추가적인 실시예에서, 로터리 엔코더(1001)는 파이프를 따라 도구가 이동하는 거리를 결정하는데 사용되며 커프(106)에 장착된다. 하나 이상의 IMUs(1003)는 커프(106)에 장착될 수 있으며 장치의 방향을 저장하는데 사용된다.
- [0114] 도 9 및 도 10에 도시된 다수의 실시예에서, 상기 장치는 트랜스듀서(1104), 트랜스듀서 케이블 라우팅 트레이(1101), 접촉매질 라인(1102), 접촉매질 체결부(1103), 와이퍼 밀봉부(1105), 롤링하는 수밀 밀봉부를 유지하는 롤링 밀봉부(1106), 베어링(1107) 및 롤링 밀봉부(1106)의 회전을 허용하는 플렉스 샤프트(1108)를 포함한다.
- [0115] 도 11 및 도 12에 도시된 바에 의하면, 상기 커프의 양단부의 밀봉은 롤링 밀봉부(1106)에 의해 달성된다. 롤링 밀봉부는 그 축에 대하여 플렉스 샤프트(108) 주위에서 회전하게 되는 가단성 실린더이다. 롤링 밀봉부 자체는 커프의 각 단부 주위에 원을 형성한다. 플렉스 샤프트는 원통형의 베어링 내에 배치되며, 베어링은 플렉스 샤프트에 대하여 롤링 밀봉부가 자유롭게 회전할 수 있게 한다. 와이퍼 밀봉부(1105)는 커프의 양 단부에서 롤링 밀봉부(1106)에 대하여 주변에 사용된다.
- [0116] **전체 매트릭스 캡처(FMC) 데이터 수집**
- [0117] 다수의 실시예에서 사용되는 풀 매트릭스 캡처(FMC) 기술은 초음파 스캐닝에 널리 사용되는 페이즈된 배열 데이터 캡처 기술의 공지된 개선 기술이다. FMC는 비교되는 페이즈된 배열 스캔보다는 보다 많은 양의 데이터를 캡처하는 것이 필요하지만, 단일 스캔으로 보다 많은 정보들이 추출될 수 있게 한다. 풀 매트릭스 캡처에서, 초음파 배열체(200)의 단일 요소(202)는 필싱되어, 스캔된 매체로 초음파 에너지를 발신하게 된다. 배열체(200)의 각각의 요소(202)는 이러한 에너지에 대한 수신부로서 사용되어, 이러한 펄스 이후의 시간에 있어서 그 좌표에서 초음파 진동을 탐지하게 된다. 탐지된 이러한 진동은 후처리에서 기록되고 저장된다. 일단 데이터가 모든 n 개 요소(202)에 대하여 저장되면, 제 2 요소가 필싱되며, 저장 과정이 모든 수신 요소(202)에 대하여 반복된다. 이러한 과정은 다시 반복되어, n 개의 요소(202) 각각은 번갈아 필싱되며, 데이터는 각각의 수신 요소에 대하여 저장되어, n 행 n 열의 매트릭스로 데이터가 저장되며, 각각의 수신 요소는 각각의 발신 요소로부터의 펄스로부터 스캔 데이터를 저장한다.
- [0118] 다수의 실시예에서, 각각의 수신 요소(202)로부터의 데이터는 시간에 있어서 취해진 일련의 디지털 샘플로서 저장된다. 리시버(j)에 의해 캡처된 트랜스미터(i)의 펄스로부터 유래되는 데이터 신호는 시간의 차원에 있어서 취해진 일련의 m개 샘플을 생성하게 되어, n 행 n 열 m 층 크기로 되는 전체 3차원 매트릭스의 샘플이 얻어진다.
- [0119] 도 1 및 도 2의 탐침 도구(100)를 사용하는 예시적인 실시예에서, 초음파 배열체(200)의 작동은 데이터 연결부(134)에 의해 탐침 도구(100)에 연결된 외부 제어기에 의해 제어된다. 배열체(200)에 의해 저장된 데이터는 데이터 연결부(134)를 통하여 외부 데이터 레코더 및 프로세서에 보내지며, 여기서 아래에서 추가로 설명되는 바와 같이 데이터는 저장되고 처리된다. 제어기 및 데이터 프로세서는 서로 교신하게 되며, 저장된 데이터는 스캔시에 배열체(200)의 작동을 캘리브레이션하고 최적화하도록 제어기에 의해 사용된다.
- [0120] 전술한 바와 같은 단일 송신-수신 사이클에 의해 n X n 번 A 스캔이 이루어진다 (즉, 시간-도메인 신호는 수신 요소에서 수신된다). 단일 A-스캔은 설정된 스프레드 위도의 진동에 대하여 모니터링함으로써 수신 요소에 의

해 생성되어서, 이러한 스트레스홀드가 크로스된 후에 설정된 시간 동안 센싱된 진동을 저장하게 된다.

[0121] **FMC 데이터의 처리**

[0122] 캡처된 데이터를 처리하는 것은 스캔과 동시에 또는 그 이후에 행해진다. 캡처된 데이터를 처리하는 기술은 시프트된 어퍼처 포커싱 방법 (SFM), 내부 포커싱 방법(IFM), 및 파이프 변의 내측 표면과 외측 표면 형상과 같은 스캔된 물체의 구조를 결정하고 인식하며 경계를 탐지하는 것을 포함한다. 이러한 기술은 파이프 두께에서의 미세한 변화, 파이프 벽의 흠결, 파이프의 임의의 내부 및 외부 표면의 다른 구조적 사항을 탐지할 수 있게 된다.

[0123] 파이프 탐지에 적용되는 TFM 기술에 대한 추가적인 상세한 사항은 국제공보 W02013/044350호에 설명되며, 2012년 비파괴 평가에 대한 국제 컨퍼런스에서 발표된 "전체 포커스 방법을 이용한 용접부의 공간 탐비" 및 "전체 매트릭스 캡처 데이터 세트로부터 페이즈된 배열 기술의 재구축"의 논문에서 설명되었으며, 이러한 3가지 문헌의 내용은 그 전체가 본원에 편입된다. W02013/044350 공보는 본원과 연계되어 사용되거나 적용될 수 있는 다양한 토픽에 대한 방대한 특정 사항의 내용을 담고 있다 : 설비와 소프트웨어에 대한 캘리브레이션 기술 및 도구, 설비 세팅, 설비 유지, 데이터 밸리데이션, 신호 품질 및 데이터 억셉턴스에 대한 기준, 탐침 데이터의 저장, 데이터 처리에 사용도는 수학적 기술, 탐침 데이터를 수집하고 분석하는데 사용되는 설비 및 소프트웨어에 대한 상세 사항, 및 소프트웨어 작업자에 의해 행해지는 상세한 데이터 분석 과정. 본원은 선행문헌에서 설명된 도구와 기술의 향상된 사항을 포함하며, 이전의 문헌의 내용은 그 전체가 본원에 편입된다.

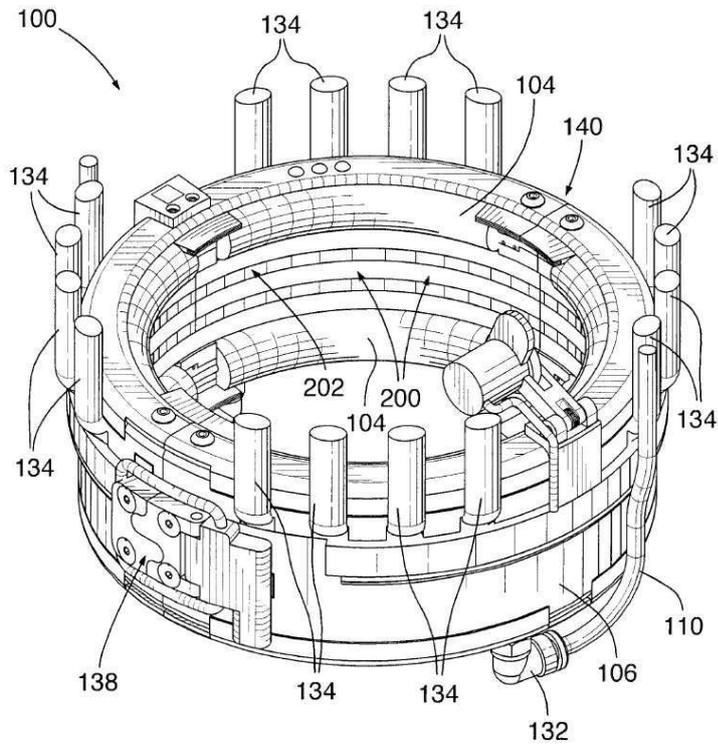
[0124] 본원은 그 기본적인 사상적 특징으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 다른 특정 형상으로 구현될 수 있다. 설명된 실시예는 예시적인 것이지 한정적인 것으로 아닌 것으로 모든 면에서 고려된다. 본원은 기술적인 변에서 적절한 모든 변화를 커버한다.

**부호의 설명**

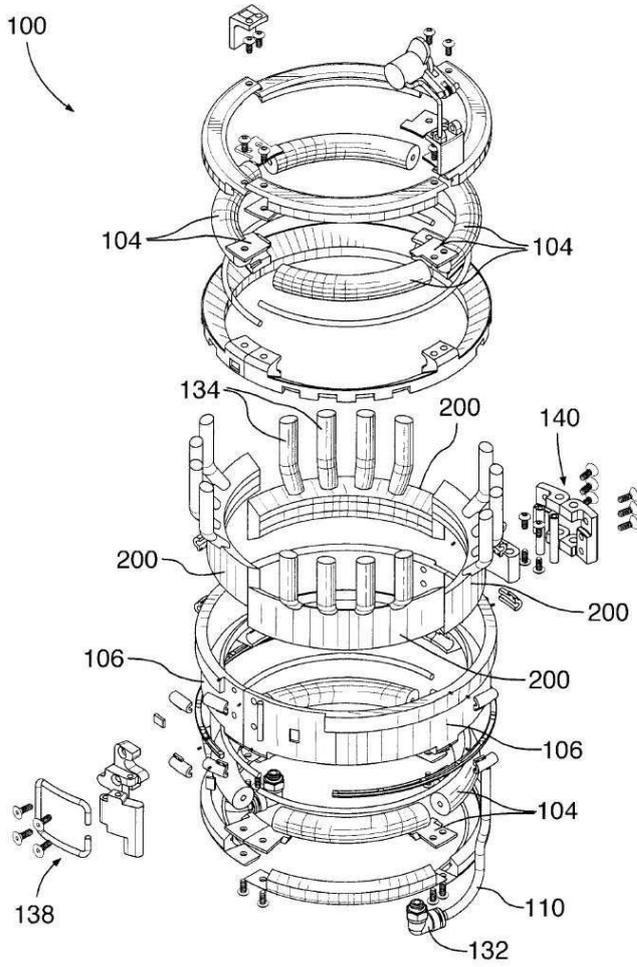
- [0125] 100: 초음파 탐침 도구 106: 커프  
 104: 밀봉부 110: 호스  
 200: 배열체 202: 요소

도면

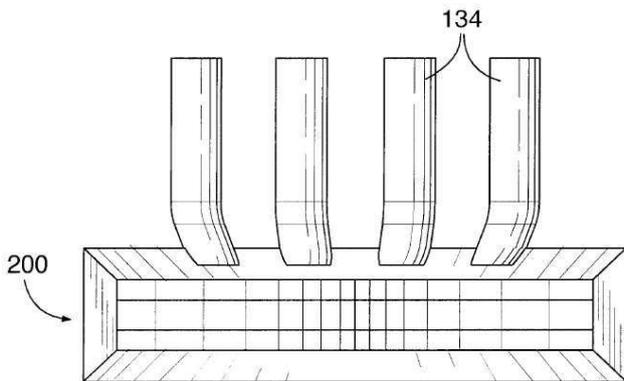
도면1



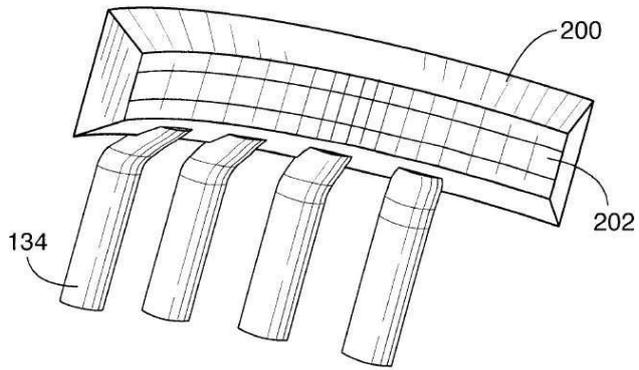
도면2



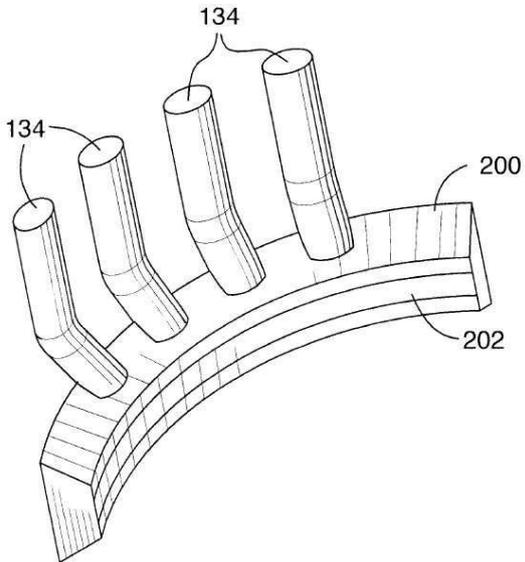
도면3



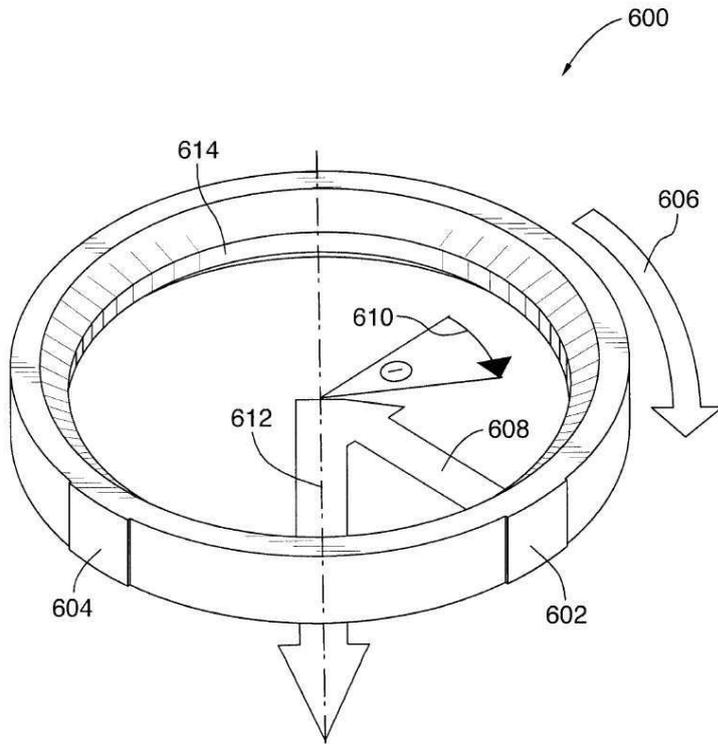
도면4



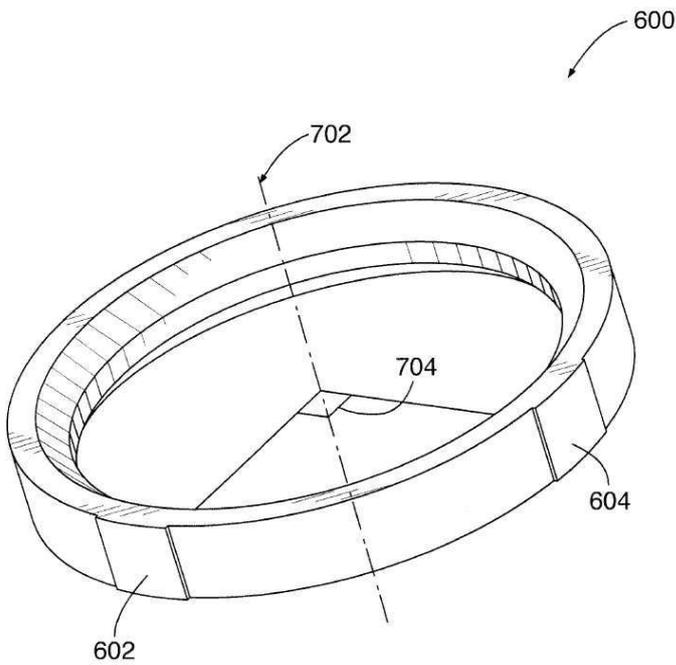
도면5



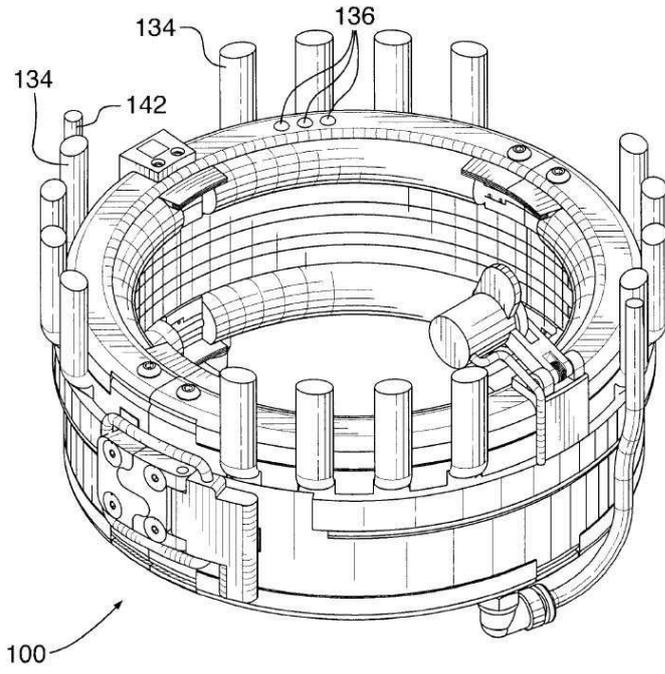
도면6



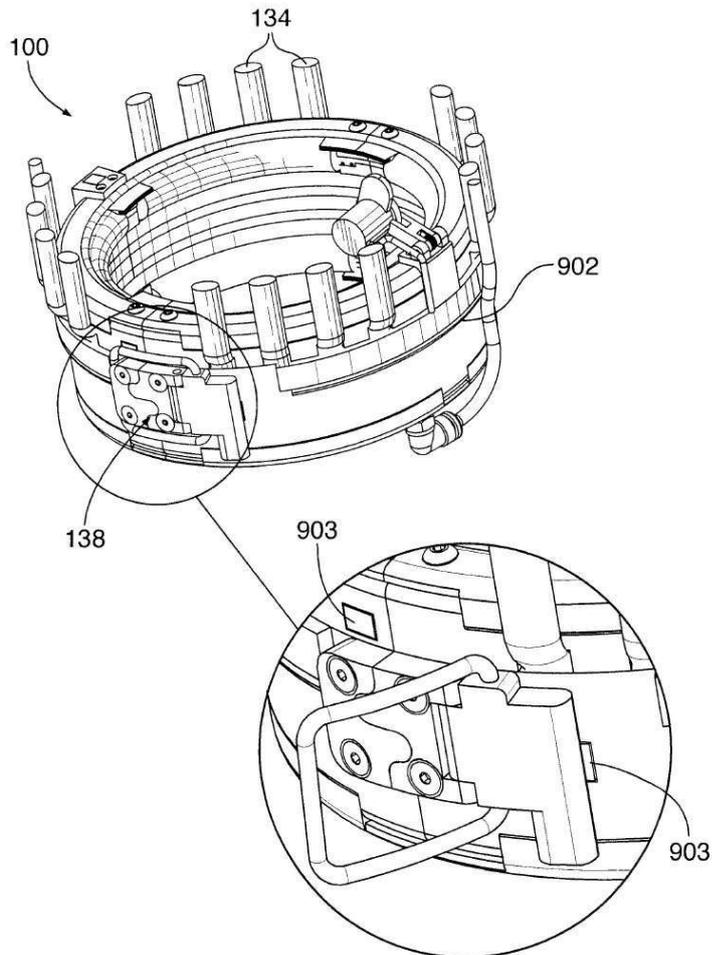
도면7



도면8

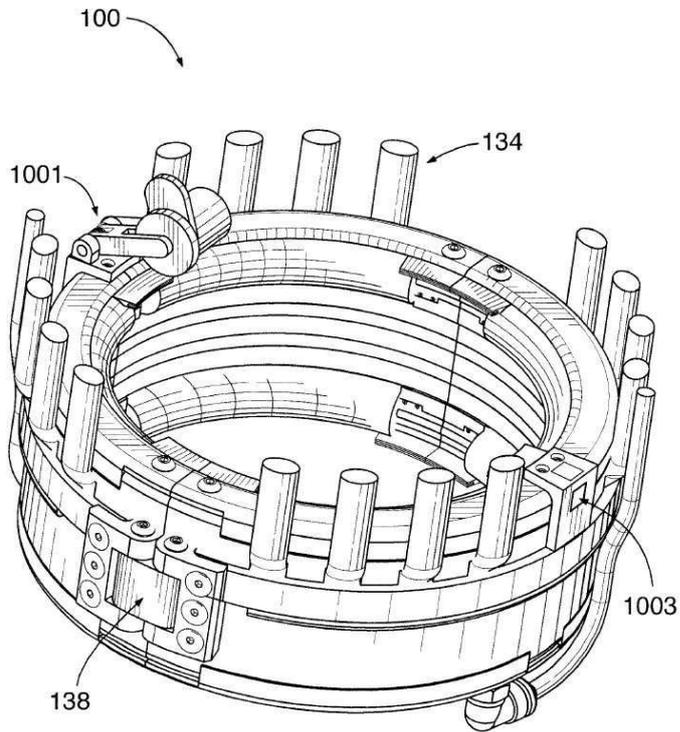


도면9

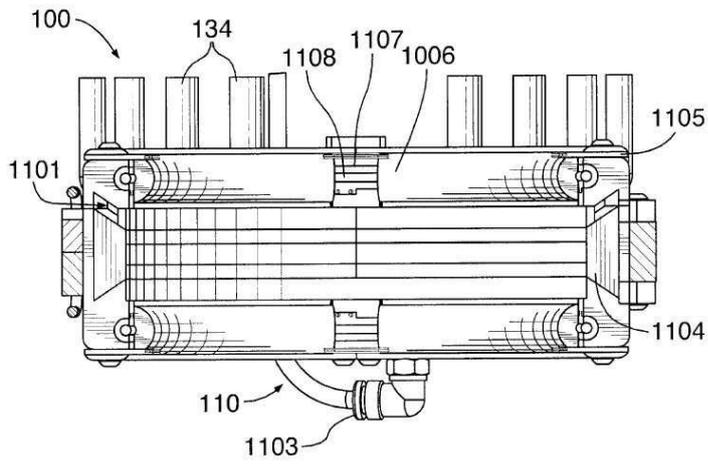


도 9a

도면10



도면11



도면12

