



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0128918  
(43) 공개일자 2017년11월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

*F16L 55/26* (2006.01) *F16L 1/11* (2006.01)  
*F16L 55/28* (2006.01) *F16L 55/48* (2006.01)  
*G01B 5/02* (2006.01) *G01B 5/24* (2006.01)  
*G01D 21/02* (2006.01) *F16L 101/30* (2006.01)

(52) CPC특허분류

*F16L 55/26* (2013.01)  
*F16L 1/11* (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-0059610

(22) 출원일자 2016년05월16일

심사청구일자 2016년05월16일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경희대학교 국제캠퍼스내)

(72) 발명자

이순걸

서울특별시 서초구 반포대로4길 24, 101동 1003호(서초동, 월드메르디앙오피라하우스)

김재준

경기도 수원시 권선구 서수원로 161-12, 203동 404호(오목천동, 영조아름다운나날2단지)

백승엽

경기도 수원시 영통구 청명로21번길 7, B03호(영통동)

(74) 대리인

김연권

전체 청구항 수 : 총 18 항

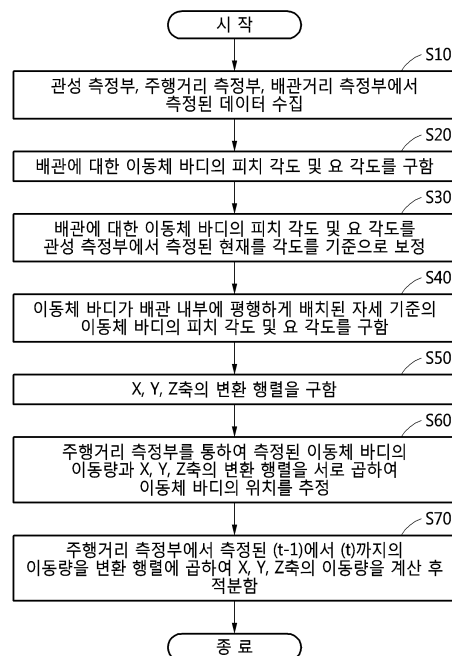
(54) 발명의 명칭 배관의 위치 추정 시스템 및 그 방법

### (57) 요약

본 발명은 배관의 위치 추정 시스템 및 방법을 개시한다. 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템은, 배관 내부를 이동하는 이동체의 위치를 통하여 배관의 위치를 추정하는 시스템에 있어서, 상기 배관 내부에 설치되는 이동체 바디; 상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 배관에서의 이동량을 측정하는 주행거

(뒷면에 계속)

대표도 - 도7



리 측정부; 상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 관성 변화를 측정하는 관성 측정부(IMU); 상기 이동체 바디에 적어도 하나 이상 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 거리측정부; 및 상기 이동체 바디의 현재 자세 기준으로 상기 관성 측정부에서 측정된 회전 각도를 상기 거리측정부에서 측정된 거리 값을 이용하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도로 변환하고, 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 변환 회전각도 및 상기 주행거리 측정부에서 측정된 주행거리를 이용하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 연산부; 를 포함할 수 있다.

(52) CPC특허분류

**F16L 55/28** (2013.01)

**F16L 55/48** (2013.01)

**G01B 5/02** (2013.01)

**G01B 5/24** (2013.01)

**G01D 21/02** (2013.01)

**F16L 2101/30** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10040992

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 산업융합원천기술개발사업

연구과제명 8 " 및 16 " Unpiggable 가스배관 비파괴 검사용 자가추진 로봇 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국가스공사(연구개발원)

연구기간 2011.12.01 ~ 2017.01.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

배관 내부를 이동하는 이동체의 위치를 통하여 배관의 위치를 추정하는 시스템에 있어서,

상기 배관 내부에 설치되는 이동체 바디;

상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 배관에서의 이동량을 측정하는 주행거리 측정부;

상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 관성 변화를 측정하는 관성 측정부(IMU); 상기 이동체 바디에 적어도 하나 이상 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 거리측정부; 및

상기 이동체 바디의 현재 자세 기준으로 상기 관성 측정부에서 측정된 회전 각도를 상기 거리측정부에서 측정된 거리 값을 이용하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도로 변환하고, 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 변환 회전각도 및 상기 주행거리 측정부에서 측정된 주행거리를 이용하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 연산부;

를 포함하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 거리측정부는 상기 이동체 바디의 일 측에 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 제1 거리측정부와, 상기 이동체 바디의 타 측에 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 제2 거리측정부를 포함하고,

상기 제1 거리측정부는 상기 이동체 바디의 일 측에 같은 각도 간격으로 배치되는 다수개의 제1 거리측정센서를 구비하고, 상기 제2 거리측정부는 상기 이동체 바디의 타 측에 같은 각도로 배치되는 다수개의 제2 거리측정센서를 구비하며,

상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부는 상기 이동체 바디와 상기 배관의 내주면 사이의 거리를 측정하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 연산부는 상기 제1 거리측정부와 상기 제2 거리측정부 사이의 거리와, 상기 제1 거리측정부에서 측정한 거리측정값, 및 상기 제2 거리측정부에서 측정한 거리측정값을 이용하여,

상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도와, 요 각도를 구하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 4

제3항에 있어서,

상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도는, 수식  $\frac{d_{fu} - d_{ru}}{l_b} = \tan \theta_p$ 에 의하여 도출되고,  $d_{fu}$ 는 상기 제1 거리측정부의 측정 거리이고,  $d_{ru}$ 는 상기 제2 거리측정부의 측정 거리이며,  $l_b$ 는 상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부 사이의 거리이고,  $\theta_p$ 는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도인 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 요 각도는, 상기 이동체 바디를 바라보는 시선을 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도를 구하기 위하여 상기 이동체 바디를 바라보는 시선으로부터 90도 회전하여 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도를 구하는 수식과 동일한 방식으로 구하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 6

제3항에 있어서,

상기 연산부는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 7

제6항에 있어서,

상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도는,

수식 
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & \sin \phi_I \\ 0 & -\sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$
 을 이용하여 구한  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  값

을 수식  $R_a = \arctan(-n_y, n_x)$  및  $P_a = \arctan(-n_z, (n_x \times \cos R_a - n_y \times \sin R_a))$  에 구해지는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

(여기서,  $\phi_I$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 물 각도이고,  $R_a$ 는 절대 좌표계에서의 물 각도이며,  $P_a$ 는 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 (절대 좌표계에서의 피치 각도)임).

#### 청구항 8

제6항에 있어서,

상기 연산부는, 상기 관성 측정부에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도 및 요 각도를 각각 차감하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 연산부는 상기 주행거리 측정부를 통해 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도의 보정값을 결합하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 10

제9항에 있어서,

상기 이동체 바디의 위치는, 수식

$$\begin{bmatrix} \cos Y_a & -\sin Y_a & 0 \\ \sin Y_a & \cos Y_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos P_a & 0 & \sin P_a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P_a & 0 & \cos P_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & -\sin \phi_I \\ 0 & \sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix}$$
 에 의하여 계산되는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

(여기서,  $Y^a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 요 각도이고,  $P^a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도이며,  $\Phi^j$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 롤 각도이고,  $x_{odo}$ 는 상기 주행거리 측정부에서 측정한 상기 이동체 바디의 주행량임).

#### 청구항 11

제10항에 있어서,

상기 관성 측정부에서 측정된 롤 각도, 피치 각도, 요 각도와 상기 거리측정부를 통하여 측정한 거리를 이용하여 계산된 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도는 (t-1)에서의 값을 이용하고, 상기 거리측정부에서 측정한  $x_{odo}$  값은 (t-1)에서 (t)까지의 값을 사용하여,  $X(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $Z(t)$ 에 대하여 (t-1)에서 (t)까지 계속 적분하여 현재 시점(t)에서의 배관의 위치를 판단하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 12

제1항에 있어서,

상기 주행거리 측정부는 상기 이동체 바디에 배관의 벽면에 접촉하는 오도미터를 구비하고, 상기 오도미터는 회전지지축에 의하여 상기 이동체 바디에 회전 가능하게 결합되는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 13

제12항에 있어서,

상기 오도미터는,

상기 회전지지축과 연결되는 인크리멘탈 엔코더와,

상기 인크리멘탈 엔코더에 결합되는 바퀴부를 포함하고,

상기 이동체 바디의 배관 주행 시, 상기 인크리멘탈 엔코더와 상기 바퀴부가 상기 배관 내벽을 따라 일체로 회전되면서 상기 이동체 바디의 이동량을 측정하는 배관의 위치를 추정하는 시스템.

#### 청구항 14

배관 내부를 이동하는 이동체의 위치를 통하여 배관의 위치를 추정하는 방법에 있어서,

관성 측정부와, 주행거리 측정부, 거리측정부에서 측정된 데이터를 수집하는 단계; 상기 배관에 대한 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계;

상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정하는 단계;

상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계; X축, Y축, Z축의 변환 행렬을 구하는 단계;

상기 주행거리 측정부를 통하여 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, X축, Y축, Z축의 변환행렬을 서로 곱하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 단계; 및

상기 주행거리 측정부에서 측정된 (t-1)에서 (t)까지의 이동량을 상기 변환행렬에 곱하여 X축, Y축, Z축의 이동량을 계산한 후 적분하는 단계;

를 포함하는 배관의 위치를 추정하는 방법.

#### 청구항 15

제14항에 있어서,

상기 배관에 대한 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계에서, 상기 배관에 대한 이동체 바디의 피

치 각도는 수식  $\frac{d_{fu}-d_{ru}}{l_b} = \tan \theta_p$  에 의하여 도출되고,  $d_{fu}$ 는 상기 제1 거리측정부의 측정 거리이고,  $d_{ru}$ 는 상기 제2 거리측정부의 측정 거리이며,  $l_b$ 는 상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부 사이의 거리이고,  $\theta_p$ 는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도인 배관의 위치를 추정하는 방법.

#### 청구항 16

제14항에 있어서,

상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정하는 단계에서, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의

피치각도는, 수식 
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & \sin \phi_I \\ 0 & -\sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$
 을 이용하여 구한

$n_x, n_y, n_z$  값을 수식  $R_a = \arctan(-n_y, n_x)$  및

$P_a = \arctan(-n_z, (n_x \times \cos R_a - n_y \times \sin R_a))$  에 대입하여 구해지는 배관의 위치를 추정하는 방법.

(여기서,  $\phi_I$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 물 각도이고,  $R_a$ 는 절대 좌표계에서의 물 각도이며,  $P_a$ 는 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 (절대 좌표계에서의 피치 각도)임).

#### 청구항 17

제14항에 있어서,

상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계는, 상기 관성 측정부에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도 및 요 각도를 각각 차감하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 배관의 위치를 추정하는 방법.

#### 청구항 18

제14항에 있어서,

상기 주행거리 측정부를 통하여 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, X축, Y축, Z축의 변환행렬을 서로 곱하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 단계에서, 상기 이동체 바디의 위치는, 수식

$$\begin{bmatrix} \cos Y_a & -\sin Y_a & 0 \\ \sin Y_a & \cos Y_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos P_a & 0 & \sin P_a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P_a & 0 & \cos P_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & -\sin \phi_I \\ 0 & \sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix}$$
 에 의하여 계산되는 배관의 위치를 추정하는 방법.

(여기서,  $Y_a$ 는 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 요 각도이고,  $P_a$ 는 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도이며,  $\phi_I$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 물 각도이고,  $x_{odo}$ 는 상기 주행거리 측정부에서 측정한 상기 이동체 바디의 주행량임).

#### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 본 발명은 배관의 위치 추정 시스템 및 방법에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 GPS와 같은 정밀 위치 측정장치를 사용하지 못하는 지하 매설 배관 환경에서 배관 내부를 이동하는 이동체의 이동 위치를 판단하여 배관의 위치를 추정할 수 있는 배관의 위치 추정 시스템 및 방법에 관한 것이다.

## 배경 기술

[0002] 일반적으로 여러 산업 분야에서 다양한 형태의 배관이 설치되는데, 예를 들어 상하수도관, 도시가스관, 석유화학 공장의 플랜트관 등과 같이 다양한 분야에서 물, 유류, 액화가스 또는 그와 유사한 종류의 유체를 이송시킨다. 이러한 배관은 설치된 후 시간의 흐름에 따라 노화나 부식으로 인하여 틈이 생기거나 공사 등으로 인한 외부 충격으로 배관에 손상이 발생할 수 있으며, 이로 인해 대형사고의 원인으로 작용할 수도 있다.

[0003] 따라서, 배관이 시공된 후 운용 시에는 수시로 또는 일정기간 마다 배관의 내부 상태를 확인하여 사고발생을 예방하도록 유지 보수작업이 이루어지는데, 이러한 유지보수작업은 배관 주변의 시설물들로 인하여 접근하려는 배관에 접근이 어렵고 또한 배관이 지중에 매설되어 있는 경우에는 배관에 접근이 불가능하므로 많은 비용과 인력이 소요된다.

[0004] 종래 지하 매설 배관 환경에서의 이동체, 예를 들어 로봇의 위치 추정은 일정 거리마다 지상에 존재(sonde)를 설치하여 이동체가 그 밑을 지나갈 때 신호를 읽어 오도미터(odometer) 및 관성 측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)의 센싱 오차를 보정하여 사용하였다. 이러한 시스템의 문제점으로 인해 존재가 약 200~500m 간격마다 하나씩 설치되고, 존재 설치를 위하여 많은 인력과 시간을 필요로 하며, 실시간 위치 추정이 불가능하여 후 처리를 통한 보정이 필수로 진행되어야 한다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 일본공개특허공보 제2001-235090호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 GPS와 같은 정밀 위치 측정 장치를 사용하지 못하는 지하 매설 배관 내부에서 이동하는 이동체의 이동 위치를 측정하게 하여 배관의 위치를 추정하는 배관의 위치 추정 시스템을 제공하고자 한다.

[0007] 또한, 본 발명은 오도미터(odometer), 관성측정장치(IMU) 및 다수개의 거리측정센서를 이용하여 종래 방식보다 오차를 감소시켜서 길게 연장되는 배관 내부에서도 이동체의 정확한 위치 측정을 하여 배관의 위치를 추정하는 배관의 위치 추정 시스템을 제공하고자 한다.

### 과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템은, 배관 내부를 이동하는 이동체의 위치를 통하여 배관의 위치를 추정하는 시스템에 있어서, 상기 배관 내부에 설치되는 이동체 바디; 상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 배관에서의 이동량을 측정하는 주행거리 측정부; 상기 이동체 바디에 구비되고, 상기 이동체 바디의 관성 변화를 측정하는 관성 측정부(IMU); 상기 이동체 바디에 적어도 하나 이상 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 거리측정부; 및 상기 이동체 바디의 현재 자세 기준으로 상기 관성 측정부에서 측정된 회전 각도를 상기 거리측정부에서 측정된 거리 값을 이용하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도로 변환하고, 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 변환 회전각도 및 상기 주행거리 측정부에서 측정된 주행거리를 이용하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 연산부;를 포함할 수 있다.

[0009] 또한, 상기 거리측정부는 상기 이동체 바디의 일 측에 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 제1 거리측정부와, 상기 이동체 바디의 타 측에 구비되고, 상기 이동체 바디와 상기 배관 사이의 거리를 측정하는 제2 거리측정부를 포함하고, 상기 제1 거리측정부는 상기 이동체 바디의 일 측에 같은 각도 간격으로 배치되는 다수개의 제1 거리측정센서를 구비하고, 상기 제2 거리측정부는 상기 이동체 바디의 타 측에 같은

각도로 배치되는 다수개의 제2 거리측정부 센서를 구비하며, 상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부는 상기 이동체 바디와 상기 배관의 내주면 사이의 거리를 측정할 수 있다.

[0010] 또한, 상기 연산부는 상기 제1 거리측정부와 상기 제2 거리측정부 사이의 거리와, 상기 제1 거리측정부에서 측정한 거리측정값, 및 상기 제2 거리측정부에서 측정한 거리측정값을 이용하여, 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도와, 요 각도를 구할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도는, 수식  $\frac{d_{fu} - d_{ru}}{l_b} = \tan \theta_p$ 에 의하여 도출되고,  $d_{fu}$ 는 상기 제1 거리측정부의 측정 거리이고,  $d_{ru}$ 는 상기 제2 거리측정부의 측정 거리이며,  $l_b$ 는 상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부 사이의 거리이고,  $\theta_p$ 는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 일 수 있다.

[0012] 또한, 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 요 각도는, 상기 이동체 바디를 바라보는 시선을 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도를 구하기 위하여 상기 이동체 바디를 바라보는 시선으로부터 90도 회전하여 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도를 구하는 수식과 동일한 방식으로 구할 수 있다.

[0013] 또한, 상기 연산부는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정할 수 있다.

[0014] 또한, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도는, 수식

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_l & \sin \phi_l \\ 0 & -\sin \phi_l & \cos \phi_l \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$

을 이용하여 구한  $n_x, n_y, n_z$  값을 수

식  $R_a = \arctan(-n_y, n_x)$  및  $P_a = \arctan(-n_z, (n_x \times \cos R_a - n_y \times \sin R_a))$ 에 대입하여 구해 질 수 있다 (여기서,  $\phi_l$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 롤 각도이고,  $R_a$ 는 절대 좌표계에서의 롤 각도이며,  $P_a$ 는 관성 측정부에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 (절대 좌표계에서의 피치 각도)임).

[0015] 또한, 상기 연산부는, 상기 관성 측정부에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도 및 요 각도를 각각 차감하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 연산부는 상기 주행거리 측정부를 통해 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도의 보정값을 결합하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정할 수 있다.

[0017] 또한, 상기 이동체 바디의 위치는, 수식

$$\begin{bmatrix} \cos Y_a & -\sin Y_a & 0 \\ \sin Y_a & \cos Y_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos P_a & 0 & \sin P_a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P_a & 0 & \cos P_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_l & -\sin \phi_l \\ 0 & \sin \phi_l & \cos \phi_l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix}$$

에 의하여 계산될 수

있다 (여기서,  $Y_a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 요 각도이고,  $P_a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도이며,  $\phi_l$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 롤 각도이고,  $x_{odo}$ 는 상기 주행거리 측정부에서 측정한 상기 이동체 바디의 주행량임).

[0018] 또한, 상기 관성 측정부에서 측정된 롤 각도, 피치 각도, 요 각도와 상기 거리측정부를 통하여 측정된 거리를 이용하여 계산된 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도는 (t-1)에서의 값을 이용하고, 상기 거리측정부에서 측정된  $x_{odo}$  값은 (t-1)에서 (t)까지의 값을 사용하여,  $X(t), Y(t), Z(t)$ 에 대하여 (t-

1)에서 (t)까지 계속 적분하여 현재 시점(t)에서의 배관의 위치를 판단할 수 있다.

[0019] 또한, 상기 주행거리 측정부는 상기 이동체 바디에 배관의 벽면에 접촉하는 오도미터를 구비하고, 상기 오도미터는 회전지지축에 의하여 상기 이동체 바디에 회전 가능하게 결합될 수 있다.

[0020] 또한, 상기 오도미터는, 상기 회전지지축과 연결되는 인크리멘탈 엔코더와, 상기 인크리멘탈 엔코더에 결합되는 바퀴부를 포함하고, 상기 이동체 바디의 배관 주행 시, 상기 인크리멘탈 엔코더와 상기 바퀴부가 상기 배관 내벽을 따라 일체로 회전되면서 상기 이동체 바디의 이동량을 측정할 수 있다.

[0021] 본 발명의 다른 실시예에 의한 배관의 위치를 추정하는 방법은, 배관 내부를 이동하는 이동체의 위치를 통하여 배관의 위치를 추정하는 방법에 있어서, 관성 측정부와, 주행거리 측정부, 거리측정부에서 측정된 데이터를 수집하는 단계; 상기 배관에 대한 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계; 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정하는 단계; 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계; X축, Y축, Z축의 변환 행렬을 구하는 단계; 상기 주행거리 측정부를 통하여 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, X축, Y축, Z축의 변환행렬을 서로 곱하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 단계; 및 상기 주행거리 측정부에서 측정된 (t-1)에서 (t)까지의 이동량을 상기 변환행렬에 곱하여 X축, Y축, Z축의 이동량을 계산한 후 적분하는 단계; 를 포함할 수 있다.

[0022] 또한, 상기 배관에 대한 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계에서, 상기 배관에 대한 이동체 바디의 피치 각도는 수식  $\frac{d_{fu} - d_{ru}}{l_b} = \tan \theta_p$ 에 의하여 도출되고,  $d_{fu}$ 는 상기 제1 거리측정부의 측정 거리이고,  $d_{ru}$ 는 상기 제2 거리측정부의 측정 거리이며,  $l_b$ 는 상기 제1 거리측정부 및 상기 제2 거리측정부 사이의 거리이고,  $\theta_p$ 는 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도일 수 있다.

[0023] 또한, 상기 배관에 대한 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정하는 단계에서, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체

바디의 피치각도는, 수식 
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & \sin \phi_I \\ 0 & -\sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix}$$
을 이용하여 구한

$n_x, n_y, n_z$  값을 수식  $R_a = \arctan(-n_y, n_x)$  및

$P_a = \arctan(-n_z, (n_x \times \cos R_a - n_y \times \sin R_a))$ 에 대입하여 구해질 수 있다 (여기서,  $\phi$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 물 각도이고,  $R_a$ 는 절대 좌표계에서의 물 각도이며,  $P_a$ 는 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도 (절대 좌표계에서의 피치 각도)임).

[0024] 또한, 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계는, 상기 관성 측정부에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 상기 관성 측정부에서 측정된 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치각도 및 요 각도를 각각 차감하여 상기 이동체 바디가 상기 배관 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 상기 이동체 바디의 피치 각도 및 요 각도를 구할 수 있다.

[0025] 또한, 상기 주행거리 측정부를 통하여 측정된 상기 이동체 바디의 이동량과, X축, Y축, Z축의 변환행렬을 서로 곱하여 상기 이동체 바디의 위치를 추정하는 단계에서, 상기 이동체 바디의 위치는, 수식

$$\begin{bmatrix} \cos Y_a & -\sin Y_a & 0 \\ \sin Y_a & \cos Y_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos P_a & 0 & \sin P_a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P_a & 0 & \cos P_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi_I & -\sin \phi_I \\ 0 & \sin \phi_I & \cos \phi_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix}$$
에 의하여 계산될 수

있다 (여기서,  $Y_a$ 는 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 요 각도이고,  $P_a$ 는 현재 물 각도를 기준으로 보정된 상기 이동체 바디의 피치 각도이며,  $\phi_I$ 는 상기 관성 측정부에서 측정된 물 각도이고,

$x_{odo}$  는 상기 주행거리 측정부에서 측정한 상기 이동체 바디의 주행량임).

### 발명의 효과

- [0026] 본 발명에 의하면, 종래의 배관의 위치 추정 알고리즘에 비해 더 긴 거리의 주행 위치 추정 과정에서 더 적은 오차가 발생되므로 존데(sonde)가 설치되는 간격이 증가하여, 설치되는 존데의 수가 감소되므로 인력 및 비용 절감이 가능하다.
- [0027] 또한, 배관의 위치를 추정하기 위하여 사용되는 이동체는 작업자를 대신하여 다양한 배관 시설의 유지 보수를 위한 배관 탐상용 로봇 등으로 활용 가능한 효과가 있다.
- [0028] 또한, 배관 이동체의 정확한 위치 정보를 제공하여 정확한 위치에서 굴삭이 가능하므로 배관의 결함 보강 및 교체가 용이한 장점이 있다.

### 도면의 간단한 설명

- [0029] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에 설치된 모습을 도시하는 사시도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체의 사시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체를 다른 각도에서 바라본 사시도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에 설치된 모습을 정면에서 바라본 모습을 도시하는 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에서 소정 각도 기울어진 상태를 도시하는 개략도이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템의 블록도이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 방법을 도시하는 순서도이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0030] 이하에서는 도면을 참조하여 본 발명의 구체적인 실시예를 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명의 사상이 그와 같은 실시예에 제한되지 않고, 본 발명의 사상은 실시예를 이루는 구성요소의 부가, 변경 및 삭제 등에 의해서 다르게 제한될 수 있을 것이나, 이 또한 발명의 사상에 포함되는 것이다.
- [0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에 설치된 모습을 도시하는 사시도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체의 사시도이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체를 다른 각도에서 바라본 사시도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에 설치된 모습을 정면에서 바라본 모습을 도시하는 도면이다.
- [0032] 도 1 내지 도 4를 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템(1)은 이동체 바디(10)와, 주행거리 측정부(20)와, 관성 측정부(30)와, 거리측정부(70)와, 연산부(60)를 포함할 수 있다.
- [0033] 이동체 바디(10)는 배관 이동체의 몸체를 형성하는 부분으로서, 배관(P) 내부에 설치될 수 있다. 이동체 바디(10)는 배관(P) 내부에 삽입될 수 있는 크기로 제작될 수 있으며, 일례로, 이동체 바디(10)는 도 2에 도시된 바와 같이 일 부분이 뚫린 직육면체 형상의 판이 다수개 결합된 형태일 수 있다.
- [0034] 주행거리 측정부(20)는 이동체 바디(10)에 구비되고, 이동체 바디(10)의 배관에서의 이동량을 측정할 수 있다. 주행거리 측정부(20)는 이동체 바디(10)에 회동 가능하게 결합될 수 있다. 주행거리 측정부(20)는 다수개의 오도미터(21, 22, 23, 24)가 기 설정된 간격으로 이격되어 이동체 바디(10)에 회동 가능하게 결합된 형태일 수 있다.
- [0035] 보다 상세히, 주행거리 측정부(20)를 구성하는 다수개의 오도미터(21, 22, 23, 24)와 이동체 바디(10) 사이에는 다수개의 오도미터(21, 22, 23, 24)의 회전을 지지하는 회전지지축(11)이 결합될 수 있다.

- [0036] 회전지지축(11, 12, 13, 14)의 일 측은 이동체 바디(10)에 회동 가능하게 결합될 수 있고, 타 측은 오도미터(21, 22, 23, 24)의 회전축(미도시)과 결합되어 오도미터(21, 22, 23, 24)가 배관(P)의 내벽을 따라 회전되도록 지지하는 역할을 할 수 있다.
- [0037] 다수개의 오도미터(21, 22, 23, 24)는 회전지지축(11, 12, 13, 14)과 연결되는 인크리멘탈 엔코더(210, 220, 230, 240)와, 인크리멘탈 엔코더(210, 220, 230, 240)에 결합되는 바퀴부(211, 221, 231, 241)를 포함할 수 있다. 일례로, 이동체 바디(10)가 배관(P) 내벽을 따라 주행하면, 인크리멘탈 엔코더(210, 220, 230, 240)와 바퀴부(211, 221, 231, 241)는 배관(P) 내벽을 따라 일체로 회전되면서 이동체 바디(10)의 이동량을 측정할 수 있다.
- [0038] 오도미터(21, 22, 23, 24)는 이동체 바디(10)가 배관(P) 내벽을 따라 주행한 거리를 적산(積算)하는 주행 기록계로서, 바퀴부(211, 221, 231, 241)가 회전되는 만큼 이동량, 다시 말해 주행거리를 측정하여 이동량을 측정할 수 있는 장치로 구비될 수 있다. 일례로, 오도미터(21, 22, 23, 24)는 이동체 바디(10)에 90° 간격으로 이격되어 배치될 수 있다.
- [0039] 관성 측정부(IMU, Inertial measurement unit)(30)는 이동체 바디(10)에 결합될 수 있고, 이동체 바디(10)의 오일러(euler) 각도를 측정할 수 있다. 보다 상세히, 관성 측정부(30)는 이동체 바디(10)의 중앙부에 탑재될 수 있고, 이동체 바디(10)가 배관(P) 내벽을 주행할 때 관성의 변화를 측정 및 기록하는 역할을 할 수 있다.
- [0040] 관성 측정부(30)는 배관(P)이라는 3차원 공간 내에서 전후, 좌우, 상하 3축으로의 이동을 감지하는 가속도센서(미도시)와, 피치(Pitch), 롤(Roll), 요(Yaw)의 3축 회전 각도를 검출하는 자이로스코프 센서(미도시)를 구비할 수 있다.
- [0041] 거리측정부(70)는 제1 거리측정부(40) 및 제2 거리측정부(50)를 포함할 수 있고, 이동체 바디(10)와 배관(P) 사이의 거리를 측정할 수 있다.
- [0042] 제1 거리측정부(40)는 이동체 바디(10)의 전방부에 구비될 수 있고, 다수개의 거리측정센서(41, 42, 43, 44)가 같은 각도 간격으로 배치될 수 있다.
- [0043] 제2 거리측정부(50)는 이동체 바디(10)의 후방부에 구비될 수 있고, 제1 거리측정부(40)와 마찬가지로 다수개의 거리측정센서(51, 52, 53, 54)가 같은 각도 간격으로 배치될 수 있다.
- [0044] 일례로, 제1 거리측정부(40)를 구성하는 거리측정센서(41, 42, 43, 44)와 제2 거리측정부(50)를 구성하는 거리측정센서(51, 52, 53, 54)는 각각 90° 간격으로 배치될 수 있고, 이동체 바디(10)와 배관(P) 내벽 사이의 거리를 측정하는 역할을 할 수 있다. 제1 거리측정부(40)를 구성하는 거리측정센서(41, 42, 43, 44)와 제2 거리측정부(50)를 구성하는 거리측정센서(51, 52, 53, 54)가 배치되는 각도는 같은 각도 간격이면 되고, 90°로 한정되지 않음은 물론이다.
- [0045] 연산부(60)는 이동체 바디(10)의 위치를 추정하여 배관(P)의 위치를 추정할 수 있다.
- [0046] 연산부(60)는 이동체 바디(10)의 위치를 추정하기 위하여, 먼저 이동체 바디(10)의 현재 자세를 기준으로 관성 측정부(30)에서 측정된 회전 각도를 거리 측정부(70)에서 측정된 거리 값을 이용하여 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도로 변환할 수 있다. 연산부(60)에서 관성 측정부(30)에서 측정된 회전 각도를 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도로 변환하는 것은, 연산부(60)는 이동체 바디(10)의 위치를 이용하여 배관의 위치를 추정하는 것인데, 이동체 바디(10)가 도 5와 같이 기울어진 상태의 경우 배관은 기울어진 것이 아님에도 불구하고, 배관이 기울어진 상태로 연장되는 것으로 인식될 수 있기 때문이다.
- [0047] 이를 위해, 연산부(60)는 연산부(60)는 제1 거리측정부(40)와 제2 거리측정부(50)사이의 거리 편차와, 제1 거리측정부(40)에서 측정한 거리측정값과, 제2 거리측정부(50)에서 측정한 거리측정값을 이용하여 배관(P) 내벽에 대한 이동체 바디(10) 기준 좌표계의 피치 각도와 요 각도를 계산할 수 있고, 이러한 피치 각도 및 요 각도를 관성 측정부(30)에서 측정된 오일러 각도 값(피치 각도와 요 각도)에서 차감하여 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도를 구할 수 있다. 일례로, 도 5에서 관성 측정부(30)에서 측정된 피치 각도가 0°이고, 이동체 바디(10)의 배관(P) 내벽에 대한 이동체 바디(10) 기준 좌표계의 피치 각도( $\theta_P$ )가 20°인 경우에(이동체 바디(10)의 롤 방향 회전 각도는 0°라고 가정), 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 회전 각도는 -20°가 될 수 있다. 다시 말해, 이러한 경우 이동체 바디

(10)가 배관(P)과 평행하게 배치되었다고 가정했을 때 관성 측정부(30)의 피치 각도가  $-20^\circ$  이므로, 배관(P)이  $-20^\circ$  의 하향 경사로 연장되는 것임을 알 수 있다.

[0048] 연산부(60)는 상술한 방법에 의해 구한 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 변환 회전각도와, 주행거리 측정부(20)에서 측정된 주행거리를 이용하여 이동체 바디(10)의 위치를 추정할 수 있다. 이에 대한, 자세한 설명은 후술한다.

[0050] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템에 사용되는 배관 이동체가 배관 내부에서 소정 각도 기울어진 상태를 도시하는 개략도이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 시스템의 블록도이다.

[0051] 도 5 및 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 배관 이동체의 위치 추정 시스템(1)은 제1 거리측정부(40)에 구비되는 다수개의 제1 거리측정센서(41, 42, 43, 44) 및 제2 거리측정부(50)에 구비되는 다수개의 제2 거리측정센서(51, 52, 53, 54)를 이용하여 배관(P)에 대한 이동체 바디(10) 피치 각도와 요 각도를 측정할 수 있다.

[0052] 우선, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\frac{d_{fu}-d_{ru}}{l_b} = \tan \theta_p \quad (1)$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{d_{fu}-d_{ru}}{l_b}\right) = \theta_p \quad (2)$$

[0056] 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도( $\theta_p$ )는 수식 (1) 및 (2)에 의하여 도출될 수 있고, 이 때,  $d_{fu}$ 는 제1 거리측정부(40)의 측정 거리이고,  $d_{ru}$ 는 제2 거리측정부(50)의 측정 거리이며,  $l_b$ 는 제1 거리측정부(40) 및 제2 거리측정부(50) 사이의 거리일 수 있다.

[0057] 한편, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 요 각도는, 이동체 바디(10)를 바라보는 시선을 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도를 구하기 위하여 이동체 바디(10)를 바라보는 시선으로부터  $90^\circ$  회전하여 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도를 구하는 수식(수식 (1) 및 (2))과 동일한 방식으로 구할 수 있다.

[0058] 이동체 바디(10)는 롤 방향으로 회전이 발생될 수 있고, 이러한 경우에 연산부(60)는 상술한 방법에 의하여 구한 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를, 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정할 수 있다.

[0059] 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_l & \sin \theta_l \\ 0 & -\sin \theta_l & \cos \theta_l \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \theta_p & 0 & \sin \theta_p \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_p & 0 & \cos \theta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & a_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

[0062] 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도는 수식 (3)을 이용하여 구한  $n_x$ ,  $n_y$ ,  $n_z$  값을 다음의 수식에 대입하여 구해질 수 있다.

$$R_a = \arctan(-n_y, n_x) \quad (4)$$

$$P_a = \arctan(-n_z, (n_x \times \cos R_a - n_y \times \sin R_a)) \quad (5)$$

[0063]

[0065] 이 때,  $\Phi$ 는 관성 측정부(30)에서 측정된 롤 각도이고,  $R_a$ 는 절대 좌표계에서의 롤 각도이며,  $P_a$ 는 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도(절대 좌표계에서의 피치 각도)일 수 있다.

[0066] 연산부(60)는 관성 측정부(30)에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도(식(5) 참조) 및 요 각도를 각각 차감하여 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 구할 수 있다.

[0067] 또한, 연산부(60)는 주행거리 측정부(20)를 통해 측정된 이동체 바디(10)의 이동량과, 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도의 보정값을 결합하여 이동체 바디(10)의 위치를 추정할 수 있다.

[0068] 이 때, 이동체 바디(10)의 위치, 즉 X축, Y축, Z축 좌표는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \cos Y_a & -\sin Y_a & 0 \\ \sin Y_a & \cos Y_a & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos P_a & 0 & \sin P_a \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin P_a & 0 & \cos P_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Phi_I & -\sin \Phi_I \\ 0 & \sin \Phi_I & \cos \Phi_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{odo} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) \\ Y(t) \\ Z(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

[0069]

[0071] 수식 (6)에서,  $Y_a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 요 각도이고,  $P_a$ 는 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치 각도이며,  $\Phi$ 는 관성 측정부(30)에서 측정된 롤 각도이고,  $x_{odo}$ 는 주행거리 측정부(20)에서 측정한 이동체 바디(10)의 주행량 일 수 있다.

[0072] 관성 측정부(30)에서 측정된 롤 각도, 피치 각도, 요 각도와 거리측정부(70)를 통하여 측정한 거리를 이용하여 계산된 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도는 (t-1)에서의 값을 이용할 수 있고, 거리측정부(70)에서 측정한  $x_{odo}$  값은 (t-1)에서 (t)까지의 값을 사용하며,  $X(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $Z(t)$ 에 대하여 (t-1)에서 (t)까지 계속 적분하여 현재 시점(t)에서의 배관(P)의 위치를 판단할 수 있다.

[0074] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 의한 배관의 위치 추정 방법을 도시하는 순서도이다.

[0075] 도 7을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 의한 배관 이동체의 위치 추정 방법은, 관성 측정부(30)와, 주행거리 측정부(20)와, 거리 측정부(70)에서 측정된 데이터를 수집하는 단계(S10)와, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계(S20)와, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정하는 단계(S30)와, 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계(S40)와, X축, Y축, Z축의 변환 행렬을 구하는 단계(S50)와, 주행거리 측정부(20)를 통하여 측정된 이동체 바디(10)의 이동량과 X축, Y축, Z축의 변환 행렬을 서로 곱하여 이동체 바디(10)의 위치를 추정하는 단계(S60) 및 주행거리 측정부(20)에서 측정된 (t-1)에서 (t)까지의 이동량을 변환 행렬에 곱하여 X축, Y축, Z축의 이동량을 계산한 후 적분하는 단계(S70)를 포함할 수 있다.

[0076] 먼저, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 구하는 단계(S20)에서, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도는 상술한 바와 같이 수식 (1) 및 (2)에 의해 구해질 수 있고, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 요 각도는, 이동체 바디(10)의 피치 각도를 구하기 위하여 이동체 바디(10)를 바라보는 시선으로부터 90° 회전하여 상기 수식(1) 및 (2)를 이용하여 피치 각도를 구하는 방식과 동일한 방식으로 구할 수 있다.

[0077] 그 다음에, 배관(P)에 대한 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각

도를 기준으로 상술한 바와 같이 수식 (3) 내지 (5)을 이용하여 보정할 수 있다(S30).

[0078] 그 다음에, 관성 측정부(30)에서 측정된 피치 각도 및 요 각도에, 관성 측정부(30)에서 측정된 현재 롤 각도를 기준으로 보정된 이동체 바디(10)의 피치각도 및 요 각도를 각각 차감하여, 이동체 바디(10)가 배관(P) 내부에 평행하게 배치된 자세 기준의 이동체 바디(10)의 피치 각도 및 요 각도를 구할 수 있다(S40).

[0079] 그 다음에, X축, Y축, Z축의 변환 행렬을 구할(S50) 수 있고, 상기 변환 행렬과, 주행거리 측정부(20)를 통하여 측정된 이동체 바디(10)의 이동량을 곱하여 상술한 바와 같이 수식 (6)을 이용하여 이동체 바디(10)의 위치를 추정할 수 있다(S60).

[0080] 그 다음에, 주행거리 측정부(20)에서 측정된 (t-1)에서 (t)까지의 이동량을 변환 행렬에 곱하여 X축, Y축, Z축의 이동량을 계산한 후 적분함으로써, 현재 시점(t)에서의 배관(P)의 위치를 판단할 수 있다(S70).

### 부호의 설명

[0081] 1: 배관 이동체의 위치 추정 시스템

10: 이동체 바디 11, 12, 13, 14: 회전지지축

20: 주행거리 측정부 21, 22, 23, 24: 오도미터

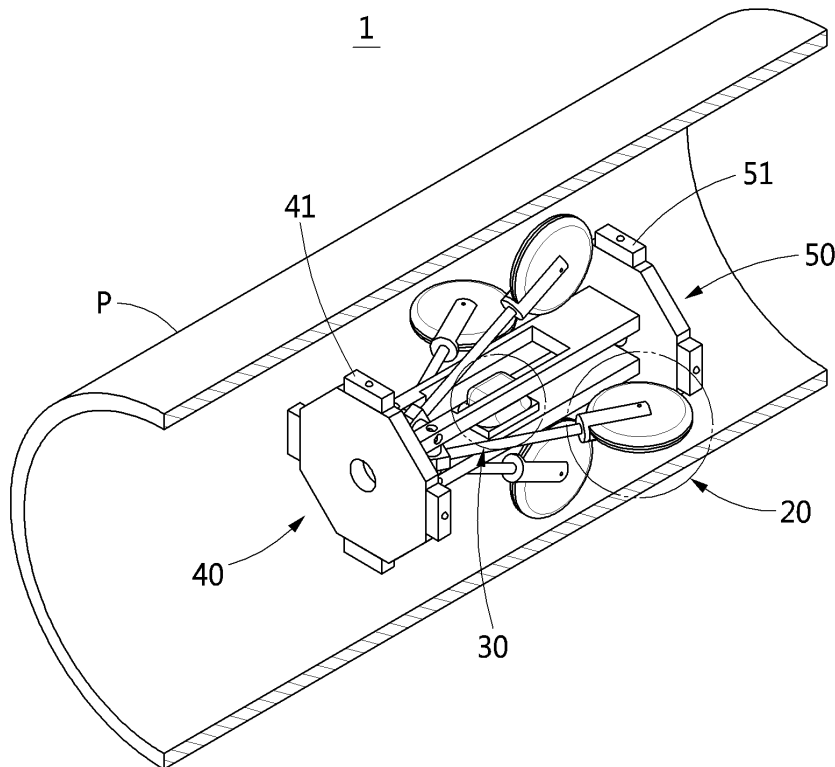
30: 관성 측정부(IMU) 40: 제1 거리측정부

50: 제2 거리측정부 60: 연산부

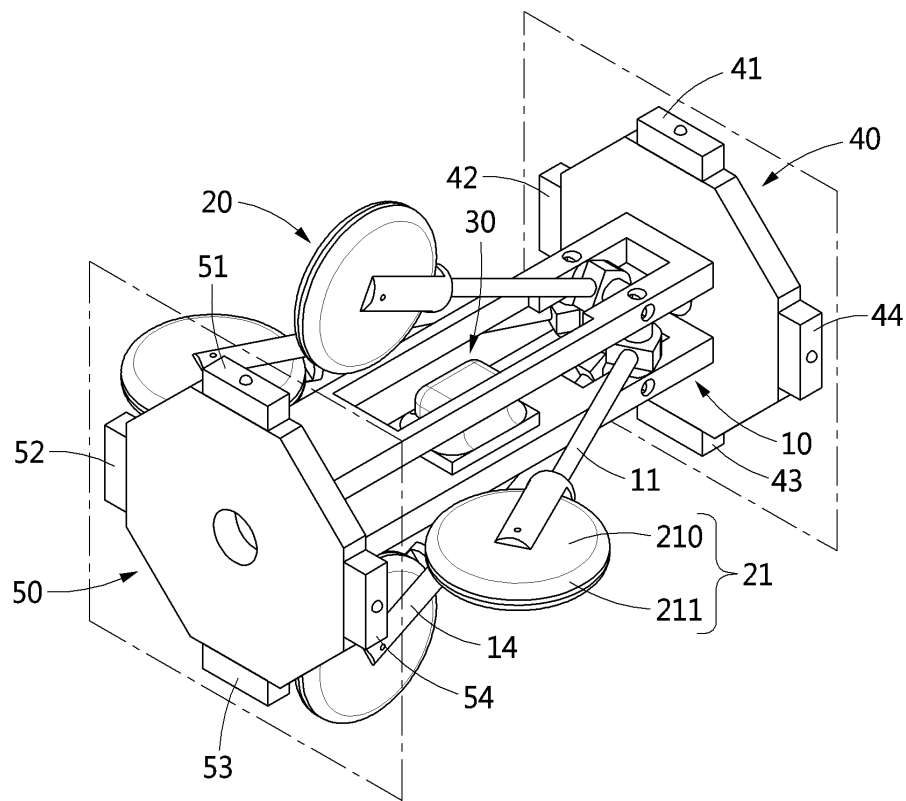
P: 배관

### 도면

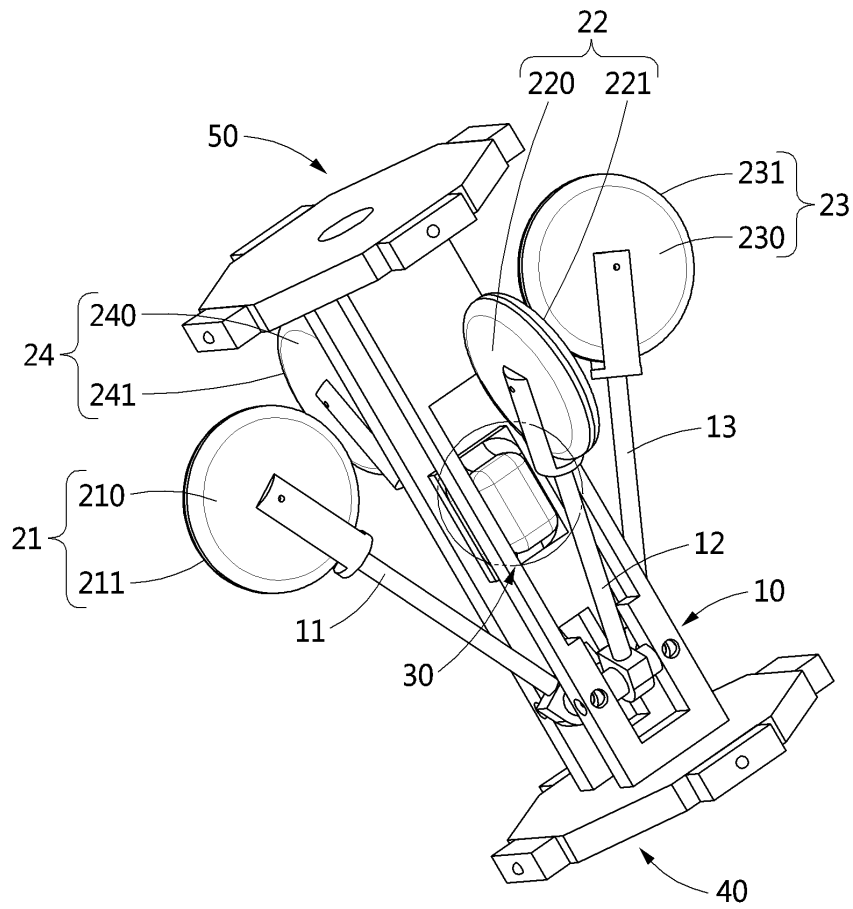
#### 도면1



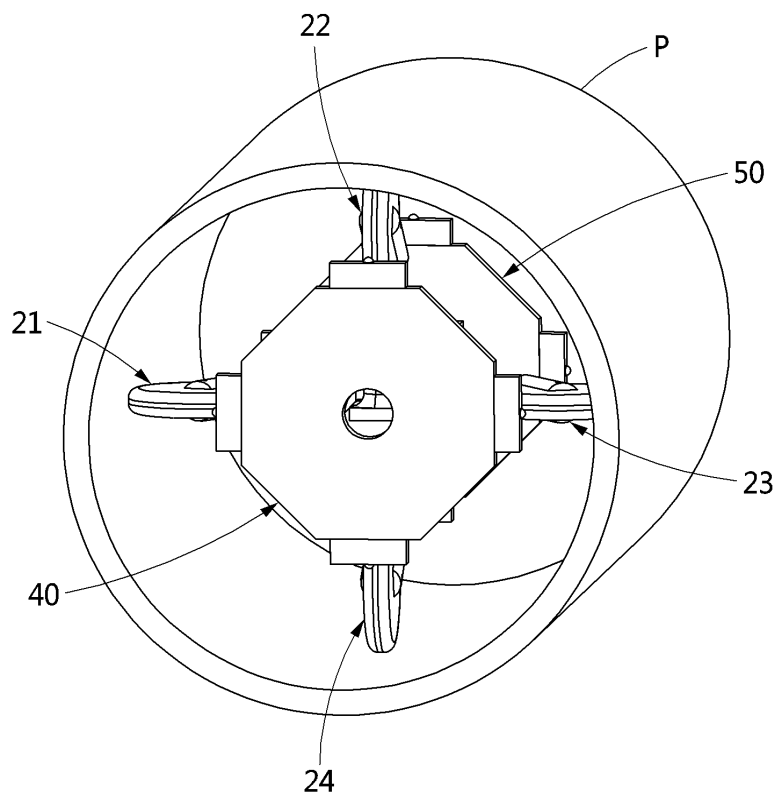
도면2



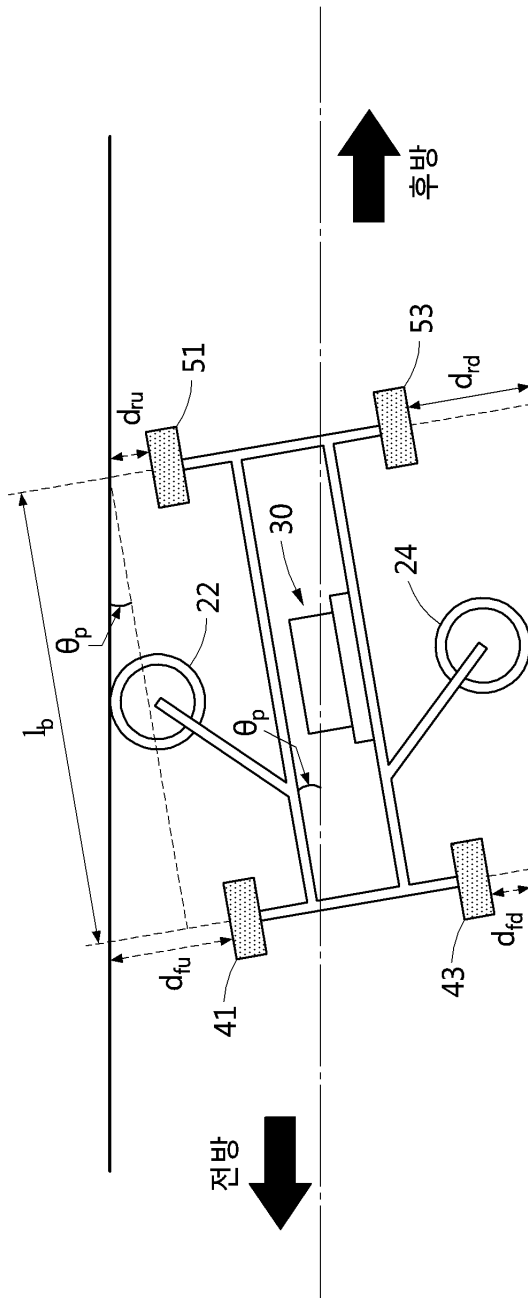
도면3



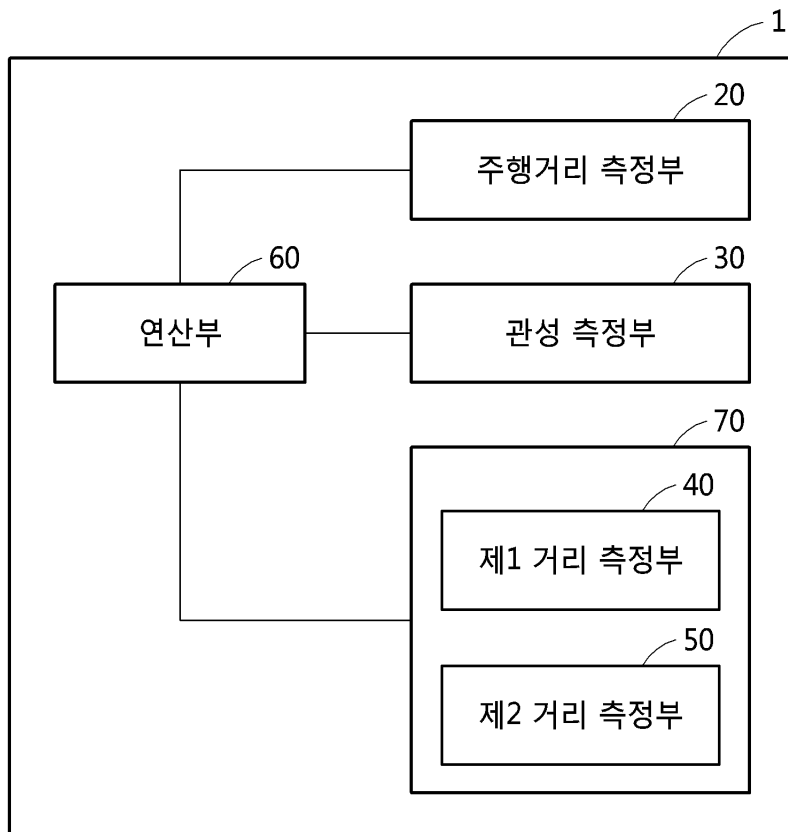
도면4



도면5



도면6



도면7

