한국마린엔지니어링학회지 제32권, 제1호, pp. 175~183, 2008. 1 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

새로운 구조의 유연한 배관탐사 로봇 설계

최형식† · 김동호* · 김동현* · 이종훈* · 황광일**

(원고접수일 : 2007년 3월 21일, 심사완료일 : 2007년 5월 8일)

Design of a New Flexible In-pipe Inspection Robot

Hyeung-Sik Choi† · Dong-Ho Kim* · Dong-Hyun Kim* · Jong-Hoon Lee* · Kwang-il Whang**

Abstract : In this paper, a new in-pipe inspection robot was developed for inspecting a large number of circular pipe insides of the sea plant, ships, and buildings. A new pressure generation system was devised to inspect circular pipes with different diameters and to move up and down slant or perpendicular slopes inside of the pipe. Also, a design method was analyzed to decide the capacity of driving motor for the robot if the mass and maximum velocity of the robot are identified. According to the design specification, a robot was developed and was tested to verify the performance of the pressure generation system. For tests, a control system was developed.

Key words : In-pipe inspection robot(배관탐사로봇), Motor control system(모터제어시스템), Pressure generation system(압력생성장치)

1. 서 론

해상 플랜트나 선박 또는 육상 건물의 지하에는 많은 관들이 설치 되어있다. 이런 관들은 시간이 지남에 따라 부분적인 노화나 부식을 발생하게 되어 전체적인 시스템의 운용에 장애를 일으키는 원인이 되기도 한다. 지하에 매설된 관의 문제위치를 찾는 데 많은 비용이 소요되고 선박의 경우에는 관의 문제 부위를 찾는 것이 용이하지 않아서 이를 찾기 보다는 문제가 발생한 관 라인 전체를 교체하게 되므로 이에 따른 관리비용이 증가하게 된다.

현재 이러한 관에서 발생하는 문제점들을 다루기 위해 다양한 형태의 배관 로봇이 연구되고 있다[1]-[7]. 이들의 형태는 배관을 따라 동작하는 구동 메커니즘에 따라 구분될 수 있다. 우선, 배관 내에서 보행형태로 이동하는 로봇에 대한 연구가 수행되었다[1],[2]. 이러한, 보행형의 로봇들은 수평 관에서는 이동이 가능하지만 경사관 및 수직관 내에서의 이동이 힘들고 다른 검사 장비를 탑재하기가 어려워 실용성이 떨어지는 단점이 있다. 또한, 이미 상용화가 된 Visual Inspection Technology의 Rover 시리즈인 바퀴 형 탐사 로봇은 조향이 자유롭고 이동속도는 빠르지만 보행 형과 마찬가지로 수직관 및 경사 관에서의 이동이 어렵다[3],[4]. 무한

† 교신저자(한국해양대학교 기계정보 공학부), E-mail:hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4969
* 한국해양대학교 기계정보공학부
** 한국해양대학교 기계정보공학부

궤도 형은 이동성이 좋으며 방향전환이 용이한 반면 주행 시에 많은 에너지를 필요로 하며 주행장치 내에 이물질이 침투되면 주행 장애가 발생하는 단점이 있다[5]. 또한, 자벌래 형은 탁월한 견인력을 가지고 있으며 수직관에서 원활한 동작을 하지만 수평 관에서의 속도가 매우 늦어 실용성이 떨어진다[6]. 스크류 형은 나선형 바퀴구조로 수직 상승에는 좋으나 수평 관에는 주행속도가 늦은 단점이 있다[7]. 다양한 배관 로봇 중에서 벽면 압력 형은 다양한 형태의 곡관과 상하 주행에도 적용이 가능한 실용가능성이 매우 높은 구조로 원통형의 관에 적용하기가 용이하여 성공적으로 적용되고 있다[8].

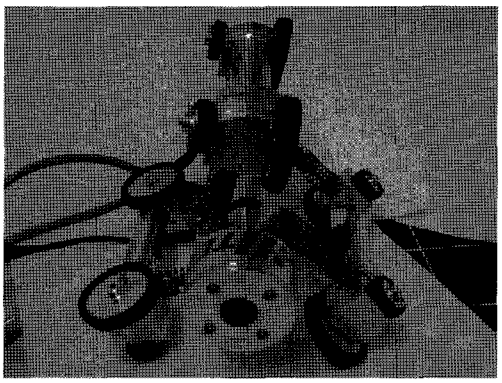
본 논문에서 연구한 로봇은 원형관내 이동을 위해 바퀴 형으로 설계하였다. 기존의 벽면 압력 형 로봇과 달리 다양한 직경의 관과 변형 관(확대 관, 축소관 등), 수직관 및 곡관에 적용 가능하도록 스프링 기반의 유연한 배관 벽면 압력생성 기구를 고안하여 이의 설계 방법에 대하여 설명하였다. 또한, 로봇의 중량과 최대 주행 속도가 주어지면 수직관에서의 로봇 구동모터의 용량을 결정할 수 있는 설계 방법을 제안하였다. 설계사양에 따라 제작한 로봇의 압력생성 장치의 시험을 하였고 이를 위해서 비젼시스템과 구동모터 제어시스템을 제작하고 로봇의 설계 및 주행을 위한 경로제어 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다.

2. 로봇의 기구부

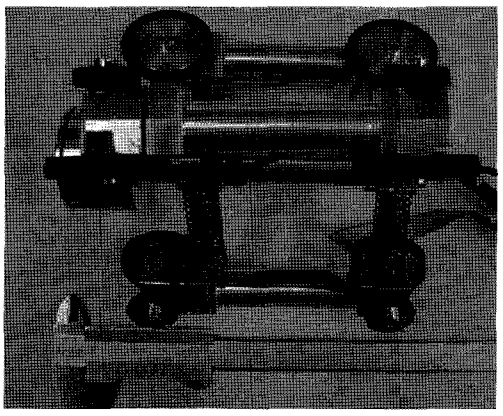
2.1 기구부 구성

본 연구에서 개발한 배관 로봇은 크게 로봇의 몸체부, 압력생성 기구부, 바퀴에 구동력을 제공하는 구동모터를 포함하는 구동부, 그리고 몸체 내부에 설치하여 주변을 탐색하는 비젼시스템, 로봇 위치를 감지하는 센서, 그리고 로봇의 제어를 수행하는 제어부로 구성되며 이것의 외형 사진은 Fig. 1과 같고 그 제원은 Table 1과 같다. 배관 로봇이 관 내부를 수평 혹은 수직이동하기 위해서는 로봇과 배관 내부 사이에 일정한 압력을 생성하여 관을 따라 이동하는 바퀴에 적절한 마찰력을 일으켜야 한다. 이를 위해서 적절한 압력생성 메커니즘이 요구된다. 선박과 같은 구조물에는 다양한 크기의 배관들이 설치되어 있어서 이들을 탐사하려면 이들 크기에 맞는 압력생성 기구를 부착한 다양한 크기의 탐사로봇이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 직경의 배관 내부를 상하 혹은 수평 방향으로 마찰력을 이용하여 바퀴 구동을 할 수 있도록 벽면과 로봇 간에 일정한 압력을 생성할 수 있는 새로운 구조의 압력생성 기구를 개발하였다. 개발된 기구는 신축성 있는 압축 스프링을 이용한 기구로 배관의 직경 방향으로 로봇의 몸체에 탈 부착할 수 있는 모듈형태로 구성하였다. 이것은 배관의 지름에 따라 모듈만을 교환하여 사용가능하도록 유연한 메커니즘으로 설계하였고, 로봇의 몸체에 모듈만 교환하면 되는 매우 유연한 메커니즘을 갖는 구



(a) Front view



(b) Side view

Fig. 1 View of the in-pipe robot

조로 설계하였고 로봇의 몸체에 Fig. 2와 같이 부착한다.

Table 2 Properties of robot

Weight of robot	0.5(Kg)
Total length	130(mm)
Diameter	150(mm)
Body diameter	50(mm)
Actuating motor and numbers	3 motors
Sensors	Web Cam and Tilt sensor
Controller	TMS320LF2407A
Control algorithm	PID

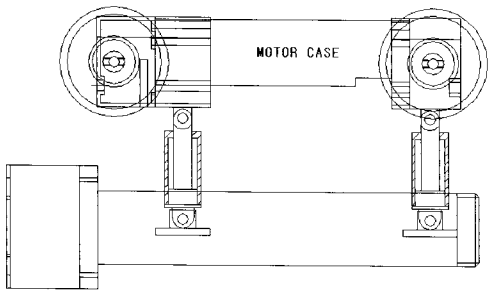


Fig. 2 Side view of the robot

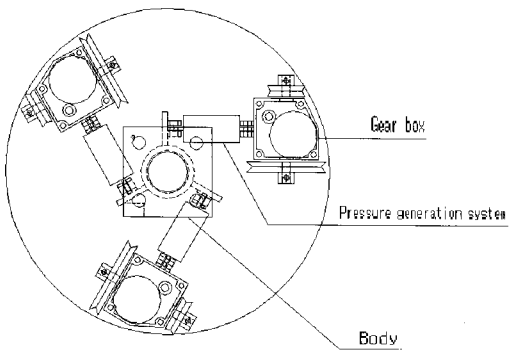


Fig. 3 Front view of the robot

또한, 각각의 링크의 바퀴를 개별적으로 제어하여 여러 가지의 상황에 따른 제어가 가능한 구조이며 웜기어를 이용한 초소형 고감속 구동 시스템을 구성하여 로봇의 몸체를 소형으로 구성하여 다양한 지름의 배관 내부를 탐사할 수 있는 매우 유연한 로봇이다. 제작한 배관로봇의 외형 설계는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같고 Fig. 2는 구동기 모듈을 1 개만 부착한 로봇의 측면도이다.

로봇의 외형 및 구동기의 기구부는 경량화를 위해서 알루미늄을 사용하였다. 관 내부를 이동하는 바퀴를 구동하는 구동부는 3개의 모듈을 제작하여 구성하였고 각 모듈은 Fig. 3과 같이 본체와 120도의 각을 이루며 대칭적으로 결합되어 있다. 또한, 구동 모듈은 연결된 몸체의 지름 방향으로 스프링이 내장된 실린더 형태의 내벽압력장치로 구성되었다. 이 장치는 벽면을 따라 로봇이 이동할 때, 관 벽과 로봇 사이에 생기는 틈을 압축시스템을 통하여 바퀴에 압력을 가해 바퀴와 관을 접하게 하여 발생되는 마찰로 이동할 수 있다.

로봇의 몸체 앞부분에서는 어두운 관의 내부를 밝히는 조명장치로 고휘도 LED를 적용하였고 소형 카메라를 로봇 본체의 정면에 설치하여 관 내부를 검색할 수 있도록 구성하였다.

2.2 기구 부 설계

90도 휘어진 곡관 내부에서 바퀴 구동을 할 수 있는 로봇 바퀴와 몸체를 포함하는 기구부의 외형을 설계하였다. 또한, 관 내부에서 로봇이 적절한 마찰을 일으키며 관 내부를 수직으로 오를 수 있도록 구동부의 길이 및 스프링 계수 등을 고려한 압력생성 기구와 로봇의 구동토크 설계를 하였다. 본 연구에서는 관의 최대 곡경이 90도이고 중력을 받는 수직 이동을 고려한 배관 이동로봇의 외형 및 구동기의 구동토크 설계를 하였다. 이러한 설계의 중요 변수는 로봇 동체의 길이와 압력생성 기구부의 크기이다. 로봇의 설계의 구체적 내용은 다음과 같다.

가. 배관 로봇의 외형 설계

선박에 가장 많이 적용되고 있는 지름 150mm의 배관 내부를 이동할 수 있는 로봇의 외형을 설계하였다. 배관 내부에서의 능동적 동작을 위해서 로봇 본체의 외형 설계는 매우 중요하다. 특히, 로봇의 최대 장애는 90도 곡관에서 일어날 수 있다. 지름 150mm의 배관을 기준으로 내부에서 90도 상승 이동하는 배관 로봇의 외형 및 구동기의 용량

설계를 행하였다. 외형 설계에서 로봇의 길이와 로봇의 직경(폭)을 선정한 후 각각의 부품들의 크기를 결정하였다. 외형 설계 후 구동기의 부피를 최소화 하여 로봇의 압력 생성 기구의 동작범위를 설계하였다. 로봇의 최대 장애는 90도 곡관에서 일어날 수 있어서 이에 대한 해석을 하였다. Fig. 4에서 EFG는 로봇 몸체의 3 꼭지점을 나타내며 선분 EF는 회전 가능한 로봇의 최대 폭이며 122.25mm이다. 또한, 회전 가능한 로봇의 최대길이인 선분 EG는 179.76mm이다. 로봇이 90도 곡관에서 회전을 하기 위해서는 로봇의 길이와 폭이 EG 와 EF 내에 설계되면 된다. 이에 따라 제작한 로봇의 길이는 Fig. 5와 같이122mm이고 압력생성장치를 포함하는 바퀴를 제외한 로봇 몸체의 폭은 90mm

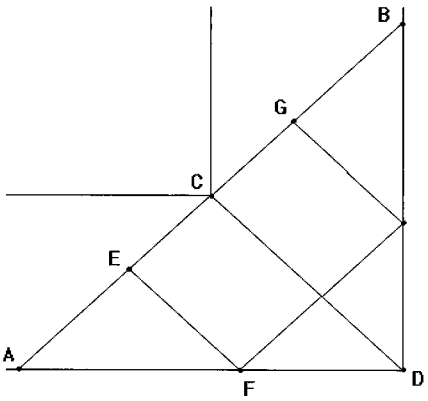


Fig. 4 Working space of robot at 90 degree tube

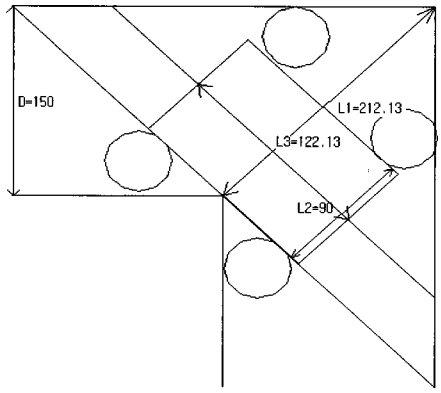
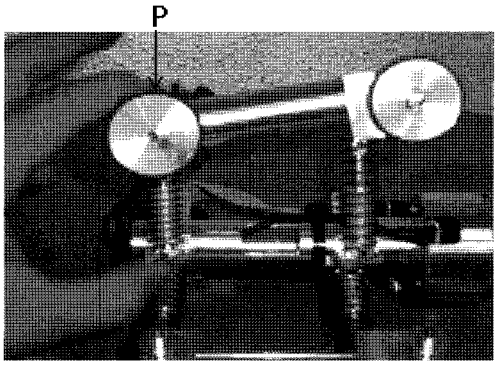


Fig. 5 Specification of Robot

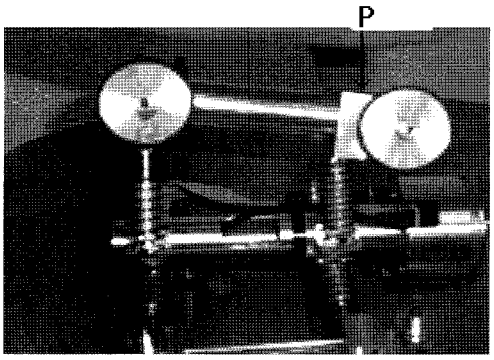
이다. 90도 회전 시에 Fig. 5와 같이 한쪽 바퀴만 걸치게 되므로 압력생성장치 모듈의 길이는 EF의 길이에서 90(mm)를 뺀 32.25mm 보다는 작으면 된다. 따라서 본 로봇의 바퀴를 포함한 압력생성장치의 몸통방향 길이를 스프링이 14mm 수축되었을 때 28mm가 되도록 설계하였다. 만약, 지름이 보다 큰 배관의 탐사를 위해서는 압력생성장치의 길이만 길게 조정하면 되는 유연한 구조를 갖고 있다.

나. 압력생성 기구부의 설계

본 연구내용에서 핵심적인 부분은 배관 내부에서 전진 동작을 할 수 있도록 바퀴의 마찰을 생성하는 새로운 구조의 압력생성 기구부이다. 압력생성 기구는 피스톤과 압축 스프링으로 구성되며 Fig. 6과 같이 모듈 당 전방과 후방에 각각 1개가 설치된다.



(a)



(b)

Fig. 6 Motion test of compressible spring

전방 및 후방 피스톤은 유동식으로 구성하여 유연한 동작이 가능하게 고안하였다. 특히, 고안한 로봇의 장점은 배관의 내경이 클 경우에 로봇의 본체는 그대로 이용하고 배관의 직경에 따라 피스톤과 스프링의 길이만 늘리면 배관내부에서 동작할 수 있는 매우 유연한 특성을 갖고 있다. 이 압력생성 기구의 말단에 구동 바퀴를 부착하고 바퀴의 표면은 마찰력을 높이기 위해 고무를 사용하였다. 또한, 균등한 압력으로 동작할 수 있도록 구동모듈을 120도 간격으로 설치하였다.

2.3 배관 로봇 구동기 설계

압력생성 기구 내의 압축 스프링에 의해 바퀴에 가해지는 마찰력을 극복하고 상하주행을 할 수 있는 모터의 용량 설계를 하였다. 이를 위해 먼저 배관 로봇의 최대 이동속도를 설정하고 이에 따라 적절한 구동모터의 용량을 설계하였다. 구동모터의 용량은 모터의 크기 및 중량과 관계가 있고 이는 로봇의 크기 및 중량에 큰 영향을 주는 제한요인이므로 로봇의 구동 조건을 만족하는 최적의 모터를 다음과 같이 선정하였다.
우선, 로봇이 중력방향으로 진행할 때에 필요한 상승추력은 다음과 같다.

$$F_{act} = F_d + F_i + W \tag{1}$$

여기서 F_d는 구동 바퀴의 마찰력, F_i는 로봇의 가속에 요구되는 관성력, W는 자중, 그리고 F_{act}는 로봇의 상승 추력이다. F_d는 압력생성 기구의 용량에 따라 결정되며 F_i는 경로함수에 따르는 로봇의 속도에 따라 크기가 결정된다. 식 (1)을 구체적으로 살펴보면,

$$F_d = 6\mu F_s \tag{2}$$

로 주어진다. 단, μ는 고무바퀴 마찰계수이고 F_s는 스프링의 압축력이다. 수직관 내부에서 로봇이 중력을 극복하며 미끄러지지 않기 위한 스프링의 용량 설계를 위해 압축력은 다음과 같다.

$$F_s = ke \tag{3}$$

여기서 k는 스프링 상수이고 e는 스프링의 변형량이며 6개의 압축스프링이 사용되므로 $F_d > m_r g$로부터 다음의 조건이 주어진다. 단, m_r, g는 로봇의 전체 질량과 중력을 의미한다.

$$k > \frac{m_r g}{6\mu e} \tag{4}$$

식 (1)에서 로봇의 관성력은 다음과 같이 결정된다. 여기서 로봇의 관성력은 로봇이 처음 이동 시 가속에 요구되는 힘이다.

$$F_i = m_r a \tag{5}$$

여기서 a는 가속도이고 로봇의 이동 경로 프로파일에 따라 결정되며 m_r은 로봇의 질량이다. 본 연구에서는 Fig. 7과 같은 사다리꼴 속도함수와 이를 적분한 형태의 경로함수를 적용하였다. 여기서 가감속 구간의 위치는 3차, 속도는 2차, 그리고 가속도는 1차 다항식으로 표현된다. 따라서 최대속도 $v_{\max}$와 가속도 a와의 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$a = v_{\max}/t_a \tag{6}$$

여기서 t_a는 가속 구간의 시간이다.

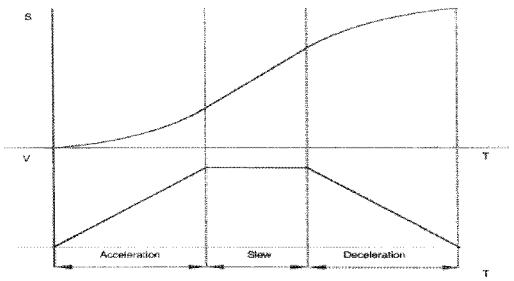


Fig. 7 Reference profile for motors

로봇에는 3 개의 구동 모터가 사용되므로 여기에서 로봇의 가속도는 최대속도에 따라 결정된다. 이를 이용하여 모터의 용량을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{F_{act} r}{3N\eta} = T_m \tag{7}$$

여기서 r은 로봇 바퀴의 반지름, η는 감속기 효율, N은 감속비이다. 식(1)~식(7)에 따라 150(mm) 지름의 원형 내에서 동작하는 로봇의 구동모터의 용량 설계를 다음과 같이 하였다. 로봇 구동기 내에 설치된 기어박스 내의 웜 기어 비는 20:1 이며 모터에 직결된 감속기의 감속비는 5.4:1로 설계하였다. 사용하고자 하는 DC모터의 최대 회전수는 14000rpm로 선정하면 바퀴축의 회전수는 129.62rpm이 된다. 로봇의 중량은 $m_r = 0.5(Kgf)$ 이고 식 (2)에서 μ를 0.95로 가정하면 F_d = 5.7 F_s이다. 또한, 로봇이 수직관내에서 미끄러지지 않기 위해서는 스프링이 받는 힘이 자중보다 커야한다. 즉, $m_r g \leq F_s$의 조건에 따라 F_s가 4.9(Kg/s) 보다 커야한다.

식(1)에 따라 로봇의 구동 모터의 용량을 설계하기 위하여 로봇의 관성력을 계산하였다. Fig. 7에 설정한 로봇 경로에 따라 로봇의 가속시간은 $100(ms)$이고 이동속도는 $0.2(m/s)$로 설정하면 식(6)에서 가속도와 관성력을 다음과 같이 결정된다.

$$a = \frac{0.2(m/s)}{100(ms)} = 2(m/s^2) \tag{8}$$

$$F_i = \frac{0.5(Kg_f)}{9.8(m/s^2)\times 2(m/s^2)\times 9.8(N/kg_f)} = 1.0(N) \tag{9}$$

또한, 식 (5)에서 로봇의 중량은 다음과 같다.

$$W = 0.5(Kg_f)\times 9.81(N/Kg) = 4.81(N) \tag{10}$$

내경 150mm 관내부에서 스프링 장력을 이용하여 전후 혹은 상하로 이동 가능하게 하는 압력생성 장치의 설계에서 스프링이 받는 힘의 크기는 로봇의 중력방향의 힘보다 커야하므로 식 (4)를 적용하면 스프링 상수 k의 범위를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k > \frac{0.5(Kg_f)\times 9.81(N/Kg_f)}{6\times 0.95\times 0.0042(m)} > 204.68(N/m) \tag{11}$$

여기서 설계한 압력생성 장치의 스프링의 최대 변형량은 14mm이지만, 이의 30(%)에 해당하는 0.0042(mm)가 압축된 경우에도 수관내에서 미끄러지지 않도록 설계하였다. 따라서, F_d는 식(2)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_d = 6\times 0.95\times 204.68(N/m)\times .014(m) = 16.33(N) \tag{12}$$

따라서, 식 (9), 식(10) 및 식(12)에 따라 로봇의 상승 추력은 $F_{act} = 25.13(N)$이 된다. 이를 식(7)에 대입하여 모터의 구동토크를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{25.13\times 0.015}{3\times 5.41\times 20\times 0.6} = 1.94(mNm) \tag{13}$$

식 (7)에서 T_m은 모터의 토크, r은 모터의 축 중심에서 바퀴의 외경까지의 거리로 15(mm), η은 감속기의 효율로 60%, N은 기어 비이다. 따라서 배관로봇에 사용 모터는 정격토크 5.44(mNm)의 4.5(W) Maxon Motor를 선정하는데, 로봇이 동작하는 동안 모터의 토크는 정격토크의 1/3 정도이기 때문이다.

2.4 로봇의 압력생성 장치의 성능 시험

본 연구에서 설계한 압력 생성 장치의 성능을 시험하기 위하여 제작한 로봇을 90도 수직으로 설치된 지름 150mm의 상용 배관 내에 삽입하여 그 상태를 살펴보았다. 결과는 Fig. 8과 같이 미끄러지지 않고 부착되어 설계가 성공적으로 이루어 졌음을 알 수 있다.

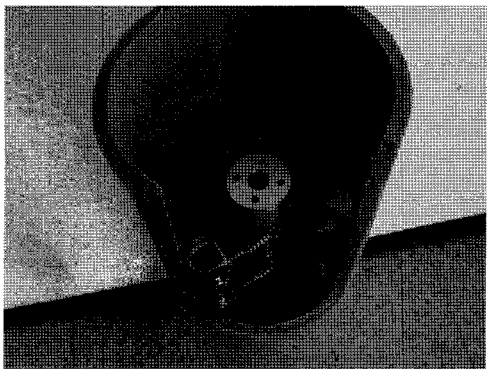


Fig. 8 Test of pressure generation system

3. 배관 로봇의 제어 시스템 설계

3.1 모션 제어기의 구성

배관 로봇을 제어하기 위해 개발한 전체 제어시스템 구성도는 Fig. 9과 같다. 전체 제어시스템은 크게 Host PC, 주 제어기, 관절 축 제어기, 모터 드라이버, 그리고 통신시스템으로 구성된다.

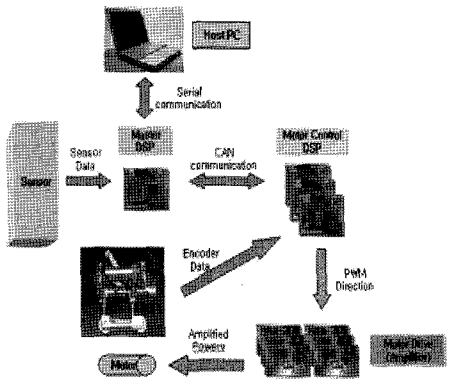


Fig. 9 Control structure

Host PC는 무선 이더넷을 이용하여 주 제어기인 ARM Board에 배관 로봇의 작업명령을 내리거나 구동모터의 상태를 확인하고, 주 제어기인 ARM Board는 Host PC로부터 받은 배관 로봇의 구동모터 제어기들에 동작 명령을 보내고, 각 구동모터로부터 받은 엔코더 신호를 무선통신으로 Host PC로 전송하도록 구성하였다.

구동모터 제어기는 TMS320LF2407A 마이크로프로세서를 기반으로 Fig. 10과 같이 제작하였다.

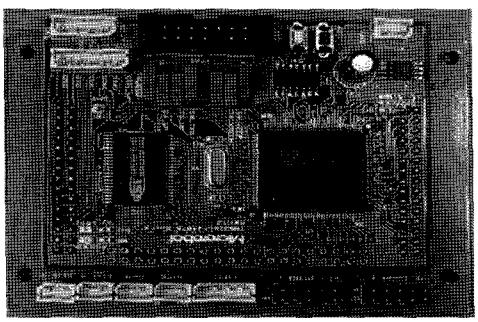


Fig. 10 Motor controller

엔코더 카운터 칩 두 개가 내장된 전용 모터 제어보드 한 대로 두 축의 모터를 제어할 수 있고, 이의 내부 구성 소자는 Table 2에 나타내었다. 모터 드라이버는 구동 모터 제어기에서 출력 되는 PWM과 모터회전 방향 신호에 따라 4.5W DC 모터에 전압을 공급할 수 있도록 직접 제작하였고, 제작한 모터 드라이버의 사진은 Fig. 11과 같다.

Table 2 Properties of composed devices

Parts	Name of parts	Function
MCU	TMS320LF 2407A	PWM, Encoder counter,UART Timer, GPIO
Level Shifter	74LVHT4245	3.3V <-> 5V
DeadTime Generator	CD4538	Dual Precision Monostable

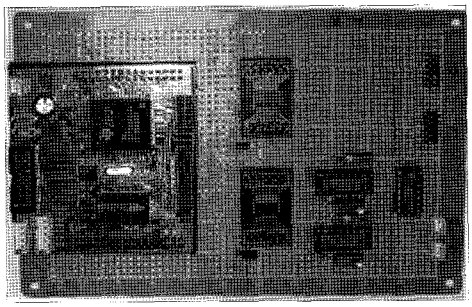


Fig. 11 Developed control system

3.2 모션 제어기의 설계

One-chip 마이크로프로세서를 이용하여 로봇의 위치와 속도를 제어하기 위해서는 적합한 경로 프로파일을 설계하는 것이 중요하다. 모터의 경로 추종을 위한 입력 데이터를 생성하기 위해서는 우선적으로 제어의 목표 값으로 이용되는 목표궤적을 설정해야 하며, One-chip 마이크로프로세서의 제한된 용량으로 인해서 궤적 상의 일정한(200개 정도) 점들의 정보로 구성된 구동 프로파일을 오프라인으로 저장하여 센서로부터의 피드백 상태와 비교해서 오차를 제어입력으로 궤환한다.

본 논문에서는 Fig. 7과 같은 보편적인 사다리꼴 위치 및 속도 프로파일을 적용하였다. 구동 프로파

일은 위치 프로파일과 이의 도함수인 속도, 가속도 프로파일로 구성되지만 경로상의 가능한 많은 경유점을 설정하여 point-to-point 제어를 한다. 이러한 설정으로 경로상의 많은 경유점을 이용할수록 연속적인 동작을 보여준다. 따라서, 인터럽트 주파수를 4kHz 정도로 설정하여 위치상의 가능한 많은 경유점의 정보를 테이블로 저장한다.

3.3 곡면의 방향전환 알고리즘

로봇이 관내의 곡면을 따라 회전할 때는 본체에 120도를 이루어 부착되어 있는 3개의 바퀴들의 회전수가 제어되어야 방향제어가 가능하다. 회전 중심에서 먼 곳은 고속으로 가까운 곳은 저속으로 회전해야 구동 모터에 부하가 적게 걸리고 관내 이동이 원활해진다. 이를 위해 로봇의 본체에 설치된 기울기 센서를 이용하여 회전 중심에 대해 본체에 120도를 이루어 부착되어 있는 각 바퀴의 상대위치를 감지해야한다. 본 연구에서는 Fig. 12에서와 같이 기울기 센서의 신호에 의해 바퀴 1, 2 및 3이 자동 정해지도록 프로그램 하였다.

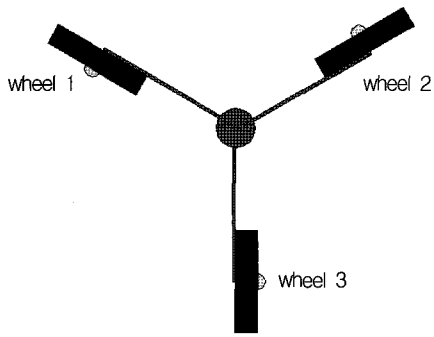


Fig. 12 Rolling position of wheel inside of pipe

바퀴들의 상대적인 roll 회전 위치에 따라 방향제어를 용이하게 하기 위한 알고리즘을 Table 3과 같이 정의하였다.

Table 3 State of wheel for direction change

	whel1	whel2	whel3
upper	deceleration	deceleration	acceleration
lower	acceleration	acceleration	deceleration
left	deceleration	deceleration	const. velocity
right	acceleration	acceleration	const. velocity

본 연구에서는 모터의 제어를 위하여 Fig.13과 같은 PID 제어기를 적용하였다.

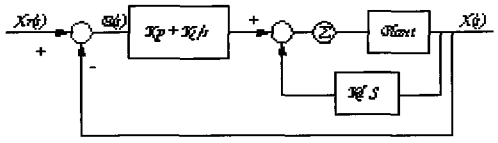


Fig. 13 Structure of PID controller

3.4 리눅스를 이용한 통신프로토콜 설계

다수의 모션 제어기를 구동 시키고 효율적인시스템의 운영을 위해 임베디드 ARM Board 에 Lenux를 OS로 구성하고 이에 기반을 둔 통신시스템을 구성하였다. 저성능의 프로세서와 소 용량의 메모리를 가지고 실시간 처리 기능을 가진 임베디드 리눅스를 임베디드 실시간 리눅스(embedded realtime Lenux)라 하는데, 본 연구에서는 이를 이용하여 제어시스템의 OS를 구성하였다. 리눅스를 이용하여 제어기를 구성하기 위해서는 개발환경 구축, 커널포팅, 디바이스 드라이버 제작, 어플리케이션 작성을 하였다.

PC를 서버로 하고 개발용 보드를 클라이언트로 해서 무선 이더넷 통신을 구현 하고 ARM 보드에서는 RS-232 시리얼 통신으로 모션 제어기를 구동 시키는 시스템을 구성하였다. 또한, 시리얼 네트워크 통신에서 데이터를 입력받기 위해서 기다리는 문제를 해결하기 위해서 복수 개의 장치 입력이 독립적으로 수행 가능 하도록 하는 스레드 구현을 통하여 입력 장치간의 병렬 처리가 가능 하도록 하였다.

4. 결 론

본 논문에서는 다양한 지름의 원형 배관 내부를 탐색할 수 있도록 개발한 새로운 구조의 유연한 로봇의 설계 방법과 제작 내용에 대해 설명하였다. 90도 곡관 및 수직관 내부를 주행할 수 있는 로봇의 압력 생성 시스템을 개발하였고 이에 대해 분석하였다. 로봇의 중량과 최대 주행 속도가 주어지면 수직관에서의 로봇 구동모터의 용량을 결정할 수 있는 설계 방법을 제안하였다. 설계사양에 따라 제작한 로봇의 압력생성 장치의 시험을 위해서 로봇

의 제어시스템과 구동 드라이버를 직접 제작하였고 압력생성 장치가 수직관 관내에서 성공적으로 동작함을 확인하였다.

참고문헌

[1] Neubauer, W."A Spider-like robot that climbs vertically in ducts or pipes." Int. Proc. of IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1178~1185,1994

[2] Pfeiffer, F., Robmann, T. and Loffer, K. "Control of a tube crawling robot", Int. Conf. control, oscillations, and chaos, vol.3, pp. 586-591, 2000.

[3] Horose, S., Ohno, H., Mitsue, T., and Suyama, K., Design of in-pipe inspection vehicles for 25, 50, 150 pipes, Proc. of IEEE Int. Conf. of Robotics and Automation, pp. 2309-2314, 1999.

[4] Scholl, K. U. Kepplin, V., Berns, K. and Dillmann, A. "An articulated service robot autonomous sewer inspection tasks", Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. of Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 1075-1080, 1999.

[5] Roman, H. T. Pellegrino., B. A., Sigrist. G. R. Pipe crawling inspection robots: an overview", IEEE Trans. of Energy Conversion, pp. 576-583, 1993.

[6] Fukuda. T., Hosokai, H., Uemura, M., "Rubber gas actuation driven by hydrogen storage alloy for in-pipe inspection mobile robot with flexible structure," Proc. of IEEE Int. Conf. of Robotics and Automation, pp. 1847-1852, 1989.

[7] Hayashi, I. and Iwatsuki, N., "Micro moving robotics", Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. of Intelligent Robots and Systems, vol. 2, pp. 41-50, 1998.

[8] Roh, S. G., Ryew, S. M., Yang, J. H., and Choi, H. R., "Active steerable inpipe inspection robots for underground urban gas pipeline", Proc. of IEEE Int. Conf. of Robotics and Automation, pp. 761-766, 2001.

저 자 소 개

최형식(崔炯植)

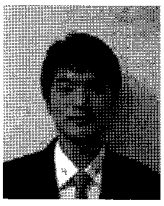
1986년 미국 University of South Carolina 기계공학과에서 석사, North Carolina State University 기계 및 항공공학과 박사로 협조로봇의 제어, 보행로봇 개발, 수중 운동체 시스템 연구 및 공장자동화에 대한 연구를 수행

김동호(金東浩)

현재 한국해양대학교 기계공학부 기계시스템공학 전공, 2008년 한국해양대학교 대학원 기계공학과 입학예정

김동현(金東炫)

2006년 한국해양대학교 기계공학부 기계시스템공학 졸업(학사), 2008 한국해양대학교 대학원 기계공학과 졸업예정(석사)



이종훈(李宗勳)

2006년 한국해양대학교 기계공학부 기계시스템공학 졸업(학사), 2008 한국해양대학교 대학원 기계공학과 졸업예정(석사)

황광일(黃光一)

1964년 4월생. 1988년 고려대학교 기계공학과 졸업(학사), 1991년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1996년 일본 와세다대학 건설공학과 졸업(박사), 1996년~2004년 삼성건설, 삼성전자, 2004년~현재 한국해양대학교 기계정보공학부 조교수