

배관 검사 및 청소 로봇의 개발

최형식† · 나원현* · 강동완* · 강형석* · 전지광* · 김현식**

(원고접수일 : 2009년 3월 5일, 원고수정일 : 2009년 4월 17일, 심사완료일 : 2009년 5월 22일)

Development of an In-Pipe Inspection and Cleaning Robot

Hyeung-Sik Choi† · Won-Hyun Na* · Dong-Wan Kang* · Hyung-Suk Kang* · Ji-Gwang Jeon*
and Hyun-Sik Kim**

Abstract : In this paper, a robot was developed for in-pipe cleaning and inspecting a large number of circular in-pipes of sea plants, ships, and buildings. A pressure generation mechanism was devised to inspect circular in-pipes with different diameters and to move up and down slant or perpendicular slopes in-pipes. For inspection of the dark inner side of the pipe, a light system using LED which dissipats small electricity was developed. Also, a design method was analyzed to decide the capacity of driving motor for the robot when the mass and maximum velocity of the robot are identified. The robot developed based on the design specification, was tested to verify the performance of the pressure generation mechanism. In addition, a control system was developed for the test.

Key words : In-pipe inspection robot(배관검사로봇), Motor control system(모터제어시스템), Pressure generation mechanism(압력생성기구)

1. 서 론

일반적으로, 해상 플랜트나 선박 또는 육상 건물의 지하에는 많은 배관들이 설치되어 있으며, 이런 배관들은 시간이 지남에 따라 부분적인 노화나 부식을 발생하게 되어 전체적인 시스템의 운용에 장애를 일으키는 원인이 되기도 한다. 그런데, 지하에 매설된 배관의 문제 부위를 찾는 데에는 많은 비용이 소요되고 선박의 경우에는 배관의 문제 부

위를 찾는 것이 용이하지 않아서 이를 찾아서 수리하기 보다는 문제가 발생한 배관 라인 전체를 교체하게 되므로 이에 따른 관리비용이 증가하게 된다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 다양한 형태의 배관 로봇이 연구되고 있는데⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾ 이들의 형태는 배관을 따라 동작하는 구동 메커니즘에 따라 구분될 수 있다. 우선적으로, 배관 내에서 보행형태로 이동하는 로봇에 대한 연구가 수행되었다⁽¹⁾⁻⁽²⁾. 이러한 보행형태의 로봇들은 수평 배관에서는 이동이

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

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

** 동명대학교 로봇시스템공학과

가능하지만 경사관 및 수직관 내에서의 이동이 힘들고 부수적인 장비를 탑재하기가 어려워 실용성이 떨어지는 단점이 있다. 또한, 이미 상용화가 된 Visual Inspection Technology사의 Rover 시리즈인 바퀴 형 탐사 로봇은 조향이 자유롭고 이동 속도는 빠르지만 보행 형과 마찬가지로 수직관 및 경사관에서의 이동이 어렵다^{[3]-[4]}. 무한궤도 형은 이동성이 좋으며 방향전환이 용이한 반면 주행 시에 많은 에너지를 필요로 하며 주행장치 내에 이물질이 침투되면 주행 장애가 발생하는 단점이 있다^[5]. 또한, 자벌레 형은 탁월한 견인력을 가지고 있으며 수직관에서 원활한 동작을 하지만 수평관에서의 속도가 매우 늦어 실용성이 떨어진다^[6]. 스크류 형은 나선형 바퀴구조로 수직 상승에는 좋으나 수평관에는 주행속도가 느린 단점이 있다^[7]. 다양한 배관 로봇 중에서 벽면 압력 형은 다양한 형태의 곡관과 상하 주행에도 적용이 가능한 실용가능성이 매우 높은 구조로 원통형의 배관에 적용하기가 용이하여 성공적으로 적용되고 있다^[8].

본 논문에서 고려한 로봇은 원형관내 이동을 위해 바퀴 형으로 설계하였다. 기존의 벽면 압력형 로봇과 달리 다양한 직경의 배관과 변형 관(확대관, 축소관 등), 수직관 및 곡관에 적용 가능하도록 스프링 기반의 유연한 배관 벽면 압력생성기구를 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 압력생성기구의 시험을 수행하였고 이를 위해서 비전 시스템과 구동모터 제어 시스템을 제작하고 로봇의 설계 및 주행을 위한 경로제어 알고리즘에 대한 연구도 수행하였다.

2. 기구부 설계

본 연구에서 개발한 배관 로봇은 크게 로봇의 몸체부, 압력생성기구부, 바퀴에 구동력을 제공하는 구동모터를 포함하는 구동부, 그리고 몸체 앞부분에 설치하여 주변을 탐색하는 검사부, 로봇 위치를

감지하는 센서부로 구성되며 이것의 외형 사진은 Fig. 1과 같고, 그 제원은 Table 1과 같다.



Fig. 1 Design of the in-pipe robot

Table 1 The feature of the in-pipe robot

hardware	
Driving motor	90W Maxon Motor Planetary Gearhead 113:1 Reduction
Driving camera	4.5W Maxon Motor
Rolling camera	IMS Step Motor
Cleaning module	800W AC Motor
Inspecting CCD camera	410,000pixel, 15frame, Color 1/4" Sony Super HAD CCD
Back CCD camera	COLOR 380TV Lines 1/4" SHARP CCD
Power LED	White, 120mA
Monitor and Storage devices	7" LCD Monitor Storage device HDD 20G

2.1 몸체부

본 연구에서는 선박에 많이 적용되고 있는 지름 600mm ~ 750mm의 배관 내부를 이동할 수 있는 로봇의 외형을 설계하였다. 배관 내부에서의 능동적 동작을 위해서 로봇 본체의 외형 설계는 매우 중요하다. 지름 600mm ~ 750mm의 배관을 이동하는 배관 로봇의 외형 및 구동기의 용량 설계를 수행하였다. 외형 설계에서 로봇의 길이와 로봇의 직경(폭)을 선정 후 각각의 부품들의 크기를 결정하였는데, 외형 설계 후 구동기의 부피를 최소화하여 로봇의 압력 생성 기구의 동작범위를 설계하

였다.

이에 따라 제작한 로봇의 길이는 550mm이고 압력생성기구를 포함하는 바퀴를 제외한 로봇 몸체의 폭은 200mm이다. 따라서 본 로봇의 바퀴를 포함한 압력생성기구의 길이를 스프링이 90mm 수축되었을 때 200mm가 되도록 설계하였고 이때 로봇이 주행해야할 최소직경인 600mm를 만족시킨다. 또한 스프링이 15mm씩 수축되었을 때 최대 직경인 750mm를 만족시킨다. 만약, 지름이 보다 큰 배관의 탐사를 위해서는 압력생성기구의 길이만 길게 조정하면 되는 유연한 구조를 갖고 있다.

2.2 압력생성기구부

본 연구내용에서 핵심적인 부분은 배관 내부에서 전진 동작을 할 수 있도록 바퀴의 마찰을 생성하는 새로운 구조의 압력생성기구부이다. 배관 로봇이 배관 내부를 주행하기 위해서는 로봇과 배관 내부 사이에 일정한 압력을 생성하여 배관을 따라 이동하는 바퀴에 적절한 마찰력을 일으켜야 한다. 이를 위해서 적절한 압력생성기구가 요구되는데, 선박과 같은 구조물에는 다양한 크기의 배관들이 설치되어 있어서 이들을 검사하려면 이들 크기에 맞는 압력생성기구를 부착한 다양한 크기의 검사로봇이 필요하다.



Fig. 2 Module of the compressible spring

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 압력생성기구를 개발하였다. 개발된

기구는 피스톤과 압축 스프링을 이용한 기구로 배관의 직경 방향으로 로봇의 몸체에 탈 부착할 수 있는 모듈형태로 구성하였다. 이것은 배관의 지름에 따라 로봇 몸체의 모듈만 교환하면 되는 매우 유연한 메커니즘을 갖는 구조로 Fig. 2와 같이 모듈 당 전방과 후방에 각각 1개가 설치된다.

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 압력생성기구의 말단에 구동 바퀴를 부착하고 바퀴의 표면은 마찰력을 높이기 위해 고무를 사용하였다. 또한, 균등한 압력으로 동작할 수 있도록 구동모듈을 120도 간격으로 설치하였다.

2.3 구동부

압력생성기구 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. 그리고 휠에 걸리는 최대 토크는 다음과 같다.

Table 2 The feature of the in-pipe robot

Symbol	Explanation
τ_w	Maximum torque (wheel)
τ_{w1}	Maximum torque (a spring link)
a	The number of spring link = 12
μ	coefficient of friction = 1 (supposition)
r	Radius of driving wheel = 40mm
k	Spring constant = 0.1kg _f /mm
x	Maximum displacement = 105mm

$$\tau_w = \tau_{w1} \times a \quad (1)$$

여기서 $\tau_{w1} = r\mu kx$ 이다. 또한, τ_{w1} 는 스프링 링크 하나에 걸리는 최대토크로써 식(1)과 Table 2의 파라미터 값을 대입하여 계산하면 $\tau_{w1} = 4116mN \cdot m$ 이다. 이때, 마찰계수 μ 은 최대값인 1로 가정하여 계산하였으며 실제로 배관속의 마찰계수는 0.2 정도에 그치지지만 본 연구에서는 구동기 선정에 있어서 최악의 조건을 기준으로 계산하였다. 또한 τ_w 는 로봇의 전체 휠에 걸리는 최대토크로써 총 12개의 스프링 링크를 사용하였기 때문에 그 값은 $49.4N \cdot m$ 로 계산되었다. 따라서 모터의 토크는 전체 휠에 걸리는 최대토크보다 더욱 크게 선정되어야 한다.

모터의 선정에 앞서 주행속도 및 감속비 또한 고려되어야 한다. 본 연구에서 배관로봇의 평균 주행속도는 $2m/min$ 로 목표를 잡았다. 또한 구동 바퀴에 사용된 휠의 직경은 $D = \varnothing 80mm$ 으로써 휠 1회전 당 이동거리는 다음식과 같다.

$$D \times \pi \approx 251.3mm/rev \tag{2}$$

따라서 목표치 평균 주행속도를 만족하는 회전수는 8rpm임을 알 수 있다. 또한 본 연구에 사용된 감속기는 113:1의 감속비와 81%의 효율을 가진다. 그러므로 감속기 출력축에서 8rpm이 되기 위한 입력축의 모터 회전수는 약 1000rpm이 되어야 함을 알 수 있다.

본 연구에서는 90W, 15V의 maxon모터를 채택하여 전방 구동 휠 양쪽에 각각 1개씩 사용하여 총 2개의 구동 모터를 사용하였다. 이 모터 하나가 특정 회전수 N_r 에서 낼 수 있는 토크(τ_n)는 다음식과 같다.

$$\tau_n = (k_n \cdot k_m \times W) / N_r \tag{3}$$

여기서 $k_n \cdot k_m$ 는 모터 상수이고 그 값은 9549.3(30000/π), N_r 는 1000rpm이며 W 는 0.09Kwatt로 모터용량이다. 따라서 식(3)에 의거하여 1000rpm에서 낼 수 있는 토크(τ_n)는 859.4mN·m이다. 감속비(γ)는 113:1이며 감속

기의 전달효율(ϵ)은 81%, 베벨기어의 전달효율(η)은 0.5(가정)이다. 따라서 구동기 1개가 낼 수 있는 토크(τ_{m1})는 다음식과 같고 그 값은 $39.33N \cdot m$ 이다.

$$\tau_{m1} = \tau_n \times \gamma \times \epsilon \times \eta \tag{4}$$

구동기는 총 2개를 사용하므로 로봇의 전체 구동 토크는 $78.66N \cdot m$ 이며 이것은 로봇의 휠에 걸리는 최대토크 $49.4N \cdot m$ 을 50%를 능가하는 토크로써 모터 선정에 있어 적합함을 알 수 있다. 로봇이 구동될 때 배관은 수평관이라고 가정한다면 로봇의 자중은 그 위치 에너지의 변함이 없으며 관성 모멘트의 경우는 실제로 구동되는 로봇의 구동 회전수가 8rpm 미만의 속도를 가지므로 그 값은 매우 작은 값을 가지므로 본 연구에서는 로봇의 자중과 관성모멘트를 잠재력으로 가정하고 고려하지 않았다. 설계된 구동기는 모터를 케이스로 감싸는 구조로 하여 최소한의 공간으로 구동기를 보호하도록 제작하였다.

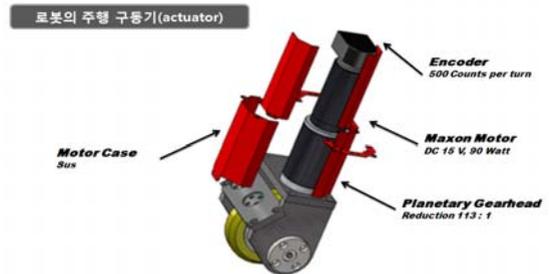


Fig. 3 Actuator of the in-pipe robot

로봇의 외형 및 구동기의 기구부는 경량화를 위해서 알루미늄을 사용하였다. 배관 내부를 이동하는 바퀴를 구동하는 구동부는 3개의 모듈을 제작하여 구성하였고, 각 모듈은 Fig. 4와 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, 배관 벽과 로봇 사이에 생기는 틈을 압축시스

템을 통하여 바퀴에 압력을 가해 바퀴와 배관을 접하게 하여 발생하는 마찰로 이동할 수 있다.

로봇의 몸체 앞부분에서는 어두운 배관의 내부를 밝히는 조명장치로 고휘도 LED를 적용하였고, 소형 카메라를 로봇 본체의 정면에 설치하여 배관 내부를 검사할 수 있도록 구성하였다.

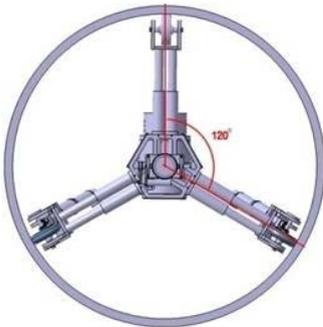


Fig. 4 Front view of the in-pipe robot

2.4 청소부

본 연구에서는 배관의 검사뿐만 아니라 상황에 따라서는 배관내의 이물질질을 청소할 수 있는 기능을 고려하였다. 청소 모듈을 설계함에 있어서 청소 성능은 일반 가정용 청소기 정도의 성능으로 배관내의 Tig용접봉, Sus Tip, 그라인딩 슛돌가루, 장갑 실밥 정도의 이물질질을 제거할 수 있다. 청소모듈의 구성은 800W급의 AC 모터와 쓰레기 흡입구 및 공기 토출구, 그리고 필터로 이루어져 있다. 선박용 배관의 경우에는 벨루지 턱이 존재하게 된다. 그리고 대부분의 이물질질은 배관의 아랫부분에 쌓이게 되므로 청소 모듈 흡입구를 로봇의 아랫면에 배치함으로써 이물질질을 효율적으로 제거할 수 있게 된다.



Fig. 5 Component of the high brightness-LED

2.5 조명부

본 연구에서는 배관의 원활한 검사를 위해 상대적으로 낮은 전력을 사용해도 더욱 높은 조도를 얻을 수 있는 고휘도 LED를 사용하여 조명을 구성하였고 아래의 Fig. 5는 실제 사용된 LED와 원형 배열의 배치를 할 수 있도록 구성된 보드의 모습이다.

본 연구에서 사용된 고휘도 LED의 1개당 소비전력은 약 0.06 W로 60개의 LED를 사용하였을 경우 조명에 사용된 전체 전력은 3.6 W이며 이 수치는 소형 형광등에 사용되는 전력의 20%정도으로써 전력사용이 줄어들 뿐만 아니라 수명의 경우는 10배가량 늘어나게 되어 높은 효율을 보여준다. Fig. 6은 실험용 배관내에서 LED 조명의 조도를 실험한 결과이다.



Fig. 6 Test of LED light



Fig. 7 Control structure of the driving motors

3. 로봇의 제어부

3.1 제어 시스템의 구성

배관 로봇을 제어하기 위해 개발한 전체 제어시스템은 크게 주행 모터 제어부와 카메라 제어부, 그리고 영상데이터와 센서데이터를 출력해주는 디스플레이 부분으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는

주행 모터 및 카메라 구동 모터를 제어하기 위한 전용 컨트롤러를 자체 개발하였으며 모터를 구동할 수 있는 드라이버 또한 직접 개발하여 시스템에 적용하였다.

Fig. 7은 주행 모터에 관한 제어 시스템 구조를 나타내고 있다. 우선 조작부에서 조이스틱의 데이터를 주 제어기인 DSP2407로 시리얼 통신으로 전송되며 제어기에서 처리된 데이터들이 모터드라이버에서 증폭되어 구동 DC 모터를 제어하고 이때 DC 모터에서 피드백 받은 엔코더 값을 이용하여 PID 제어를 통한 정속제어를 구현하였다. 구동모터 제어기는 TMS320LF2407A 마이크로프로세서를 기반으로 Fig. 6과 같이 제작하였다. 엔코더 카운터 칩 두 개가 내장된 전용 모터 제어보드 한 대로 두 축의 모터를 제어할 수 있고, 이의 내부 구성 소자는 Table 3에 나타내었다. 모터 드라이버는 구동 모터 제어기에서 출력 되는 PWM과 모터회전 방향 신호에 90W DC 모터에 전압을 공급할 수 있도록 직접 제작하였고, 제작한 모터 드라이버의 사진은 Fig. 8과 같다.

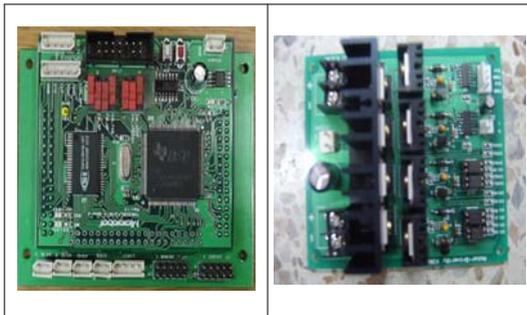


Fig. 8 Motor controller and driver

Table 3 Properties of the composed devices

Parts	Device name	Function
MCU	TMS320LF2407A	PWM, Encoder counter, UART Timer, GPIO
Level Shifter	74LVHT4245	3.3V (->) 5V
Dead Time Generator	CD4538	Dual Precision Monostable

카메라 모듈의 모터 제어 시스템은 그림 Fig. 9에서 보는 바와 같이 주행용 DC 모터의 제어 시스템과 동일하게 구성하였다.

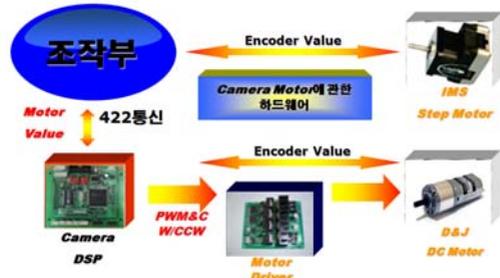


Fig. 9 Control structure of the camera motors



Fig. 10 Control structure of the camera and the sensor

주행 모터와 카메라 모터 부분 이외에도 전방 카메라와 후방카메라의 사용 여부에 따른 스위칭, 내부 하드웨어를 식히기 위한 냉각 팬, 그리고 배관 로봇의 기울기 보정을 위한 Tilt 센서 등이 Fig. 10에서 보는 것처럼 구성되어 있다. 특히 기울기 센서의 경우에는 실제로 로봇이 배관 속을 주행할 때 상황에 따라 로봇의 기울어짐이 발생할 수 있으므로 배관 내 검사부분의 정확한 위치를 검출하기 위하여 카메라의 경사(Tilt)값과 보정하여 표시하게 함으로써 검사부분의 오차를 줄일 수 있게 된다.

3.2 제어 콘솔

조작 패널과 카메라 디스플레이, 로봇에 필요한 각종 전원과 데이터 값들을 확인할 수 있는 통합 콘솔을 구성하였다. 통합 콘솔을 사용함에 따라 실제 산업현장에서 휴대성도 증가되며 기타 별도의

장치 없이 로봇을 제어하여 배관 내를 검사할 수 있게 되는 편의성을 가진다. 통합 콘솔의 전체적인 구성 및 제작된 사진은 Fig. 11과 같으며 여기에는 모터 제어용 조이스틱, 디스플레이용 LCD와 데이터용 LCD, 녹화장치 및 각종 스위치와 과전류 차단회로가 내장되어 있다. 콘솔 내부의 제어박스는 모터 및 카메라 구동을 위한 전원부를 내장하고 있으며 외부에서 220V AC전원을 공급받게 되면 5V, 12V, 15V의 DC전원을 시스템에 공급하게 된다. 제어박스의 내부는 알루미늄케이스로 제작되어 있으며 산업용 조이스틱을 사용함으로써 높은 내구성을 갖추고 있다.



Fig. 11 Control box

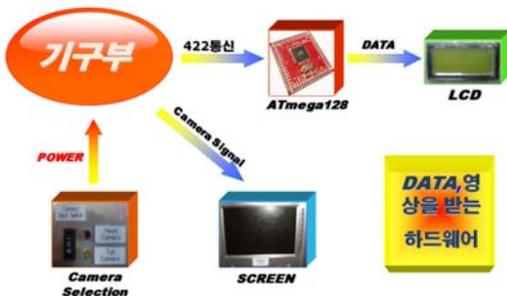


Fig. 12 Control structure of the LCD

주행 모터 및 카메라 모터의 제어는 2개의 조이스틱으로 이루어진다. 조이스틱에서 얻어진 전압값을 A/D변환하여 모터 제어용 컨트롤러에 시리얼 통신으로 전송하게 된다. 또한 모터 컨트롤러에서 획득한 모터의 엔코더 데이터와 기울기 센서의 데이터를 연산하여 그 정보들을 텍스트형 LCD에 표현하게 된다. Fig. 12는 제어박스의 시스템 구성을 보여주고 있다.

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 배관내 이동이 원활해진다. 이를 위해 로봇의 본체에 설치된 기울기 센서를 이용하여 회전 중심에 대해 본체에 120도를 이루어 부착되어 있는 각 바퀴의 상대 위치를 감지해야 한다. 본 연구에서는 Fig. 13에서와 같이 기울기 센서의 신호에 의해 바퀴 1, 2 및 3이 자동 정해지도록 프로그램 하였다.

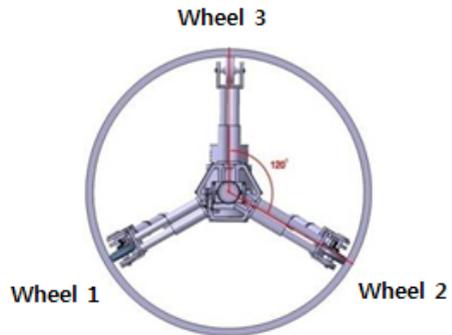


Fig. 13 Rolling position of wheel inside of pipe

Table 4 State of wheel for direction change

	V1(wheel1)	V2(wheel2)	V3(wheel3)
Down	Deceleration	Deceleration	Acceleration
Up	Acceleration	Acceleration	Deceleration
Left	Deceleration	Acceleration	Maintenance
Right	Acceleration	Deceleration	Maintenance

바퀴들의 상대적인 회전 위치에 따라 방향 제어를 용이하게 하기 위한 알고리즘을 Table 4와 같이 정의하였다.

본 연구에서는 모터의 제어를 위하여 Fig.14와 같은 PID 제어를 적용하였다.

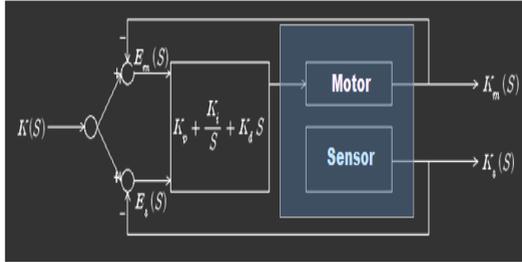


Fig. 14 Structure of PID controller

PID 제어 방식에서 gain값을 산출하는 방법은 일반적으로 스텝 응답법과 한계 감도법이라는 tuning방법을 사용한다. 본 연구에서는 스텝 응답법을 적용하여 각각의 제어 gain을 산출하였다. 아래의 Table 5는 로봇의 주행모터에 적용하여 tuning한 제어 gain값이다.

Table 5 Gain of the motors

	Kp	Ki	Kd
Motor 1	0.5	0.09	2.0
Motor 2	0.5	0.09	4.0

3.4 리눅스를 이용한 통신프로토콜 설계

다수의 모션 제어를 구동시키고 효율적인 시스템의 운영을 위해 임베디드 ARM Board 에 Linux를 OS로 구성하고 이에 기반을 둔 통신시스템을 구성하였다. 저성능의 프로세서와 소 용량의 메모리를 가지고 실시간 처리 기능을 가진 임베디드 리눅스를 임베디드 실시간 리눅스(embedded realtime Linux)라 하는데, 본 연구에서는 이를 이용하여 제어시스템의 OS를 구성하였다. 리눅스를 이용하여 제어를 구성하기 위해서 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 제어를 구동시키는 시스템을 구성하였다. 또한, 시리얼 네트워크 통신에서 데이터를 입력받기 위해서 기다리는 문제를 해결하기 위해서 복수 개의 장치 입력이 독립적으로 수행 가능 하도록 하는 스펙트 구현을 통하여 입력 장치간의 병렬처리가 가능 하도록 하였다.

4. 성능 시험

본 연구에서 설계한 압력 생성 장치의 성능을 시험하기 위하여 제작한 로봇을 지름이 600mm에서 750mm까지 변화하는 배관을 제작하여 직접 주행 시험을 하였다.



Fig. 15 Test of the in-pipe robot

위의 그림 Fig. 15는 실제 in-pipe 로봇의 주행 시험을 하는 모습이다. 실험용으로 제작한 배관은 직경이 600 ~ 750mm로 150mm의 직경 변화를 가지고 실제 선박에서 사용하는 배관과 같이 벨루지 턱이 존재한다. 본 연구에서는 실험을 통해 압력 생성기구의 충분한 압착력을 바탕으로 로봇의 구동부가 슬립을 일으키지 않고 안전하게 배관을 주행하는 것을 확인할 수 있었다.

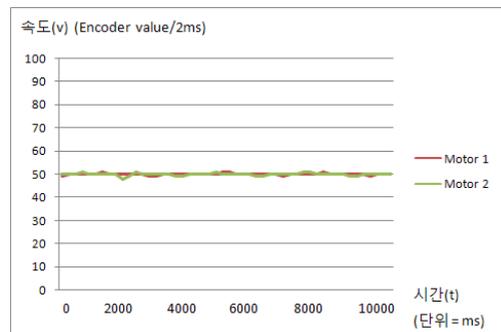


Fig. 16 Result of the velocity-control

위의 Fig. 16은 두 개의 모터를 대상으로 같은 속도 값(50)을 주었을 때 단위 시간(2ms)당 엔코더 값을 측정하였다. 여기서, 단위 시간 당 엔코더 값은 절대적인 모터의 회전 속도와 같다. 사용한 엔코더의 분해능은 1회전에 1024펄스로써 $\pm 2(0.2\%)$ 의 작은 오차로 정속도 제어가 가능한 것을 확인할 수 있었다.

5. 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 직경이 변화하는 배관의 내부를 주행할 수 있는 로봇의 압력 생성 시스템을 개발하였고 이에 대해 분석하였다. 로봇의 중량, 배관 지름 및 최대 주행 속도가 주어지면 로봇 구동모터의 용량을 결정할 수 있는 설계 방법을 제안하였다. 설계 사양에 따라 제작한 로봇의 압력생성기구의 시험을 위해서 로봇의 제어시스템과 구동 드라이버를 직접 제작하였고 압력생성기구가 곡관 및 직경 변화관 내에서 성공적으로 동작함을 확인하였다.

후 기

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(IITA-2009-C1090-0903-0007)

“이 연구는 (재)부산테크노파크의 2008년 산학공동 기술혁신사업의 지원에 의하여 수행되었음”

참고문헌

[1] W. Neubauer, “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] F. Pfeiffer, T. Robmann, and K.

Loffer, “Control of a tube crawling robot”, Int. Conf. control, oscillations, and chaos, Vol. 3, pp. 586-591, 2000.

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

[4] K. U. Scholl, V. Kepplin, K. Berns, and A. Dillmann, “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] H. T. Roman, B. A. Pellegrino, G. R. Sigrist, “Pipe crawling inspection robots: an overview”, IEEE Trans. of Energy Conversion, pp. 576-583, 1993.

[6] T. Fukuda, H. Hosokai, M. Uemura, “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] I. Hayashi, and N. Iwatsuki, “Micro moving robotics”, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. of Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 41-50, 1998.

[8] S. G. Roh, S. M. Ryew, J. H. Yang, and H. R. Choi, “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)

1989년 5월 미국 University of South Carolina 기계공학과에서 석사, 1993년 2월 North Carolina State University 기계 및 항공 공학과 박사로 협조로봇의 제어, 보행로봇 개발, 수중 운동체 시스템 연구 및 공장자동화에 대한 연구를 수행



강형석(姜亨錫)

1983년생, 2008년 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2008. 3~현재 동대학원 기계공학과 재학(석사)



나원현(羅元賢)

1980년생, 2007년 동아대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2009년 한국해양대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 2008.12~현재 현대로템 풍력시스템개발팀 연구원



전지광(田智廣)

1983년생, 2009년 한국해양대학교 기계시스템공학과 졸업(학사), 2008. 3~현재 동대학원 기계공학과 재학(석사)



강동완(姜東完)

1981년생, 2007년 한국해양대학교 제어시스템공학과 졸업(학사), 2009년 동대학원 기계공학과 졸업(석사), 2008.12~현재 금호기전 연구원



김현식(金賢植)

1972년생, 1994년 부산대학교 전기공학과 졸업(학사), 1996 동대학원 전기공학과 졸업(석사), 2001년 동대학원 전기공학과 졸업(박사), 국방과학연구소 1998. 2~2007.2, 2007.3~2009.4 동명대학교 로봇시스템공학과 전임강사, 2009.5~현재 동명대학교 로봇시스템공학과 조교수