

지하매설 배관의 보수를 위한 로봇시스템 개발

여희주^{1*}

¹대진대학교 전자공학과

Development of a Robot System for Repairing a Underground Pipe

Hee-Joo Yeo^{1*}

¹Dept. of Electronic Engineering, Daejin University

요 약 국내의 배관시설은 약 30년이 지난 지금 배관의 노후화에 따른 부식 및 결함 등이 나타나기 시작하고 있다. 저비용 고효율의 노후관 갱생을 위한 배관 로봇시스템 개발에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 배관의 탐사, 표면처리와 도장기술 및 열악한 작업환경에서의 고장에 강인한 로봇시스템 구성은 배관 로봇의 중요한 요인으로 알려져 있다. 지하매설 배관의 관리는 경제적 부담과 고도의 기술이 요구되는 실정에 업체에서 쉽게 대응하기 어려운 실정이다. 이러한 이유로 인하여 본 논문에서는 로봇의 노후관 탐사, 표면처리 및 도장이 가능한 로봇 시스템을 개발하였다. 개발된 로봇은 벽면 압착방식을 이용하여 구동력 및 작업을 위한 견인력을 확보하였다.

Abstract The pipe laid underground more than three decades ago are already starting to reveal the problem like corrosion. There have been many studies to design robotic system for a cost-effective revival of old pipes. And the ability to inspect in the pipes, the ability to treat and repaint the pipes and the fault-tolerant robotic system are well known important factors for the robotic system. It's real hard part to manage the underground pipes for companies because it needs high technical and too much money. According to this reasons, in this paper, we had design an in-pipe robotic system having abilities to inspect outworn pipes, to treat and paint old pipes. This new robot system is pressing wall type robot, and it has a good carrying power for working.

Key Words : In-pipe Robot, Monitoring System, Underground Pipe

1. 서론

배관은 가스나 기름과 같은 많은 양의 유체를 빠르고 안전하게 수송하는 수단으로 현대산업에서 혈관과 같은 존재이다. 석유나 화학제품과 같은 산업용에서 일상생활과 밀접한 관계를 가지는 도시가스관, 상하수도관등은 모두 배관으로 설치, 운영되고 있다. 산업화가 가속화되어 자동화에 대한 수요가 급증함에 따라 지하매설 배관의 상태를 검사하고 도장을 하기 위한 로봇시스템 개발에 대한 많은 연구가 진행되었다. 또한, 현재의 심각한 경제난과 인건비의 상승으로 인하여 무인화 및 자동화에 대한 업계의 지속적인 관심이 증가되고 있다.

국내에서는 70년대 후반부터 이러한 배관이 건설되어 왔으며, 약 20년이 지난 지금 배관의 노후화에 따른 부식 및 결함 등이 나타나기 시작하고 있으며, 이에 따라 배관의 교체 및 보수검사의 중요성이 부각되고 있으며 이러한 시설물에 대한 검사 및 보수작업이 허술하게 이루어질 경우 대형사고가 발생하게 되며, 수많은 인명 및 재산의 손실과 자연환경의 파괴도 야기할 수 있는 문제점으로 대두되고 있다. 이에 정부에서도 도시가스배관에 대해서는 15년 주기로 검사, 보수 및 교체를 의무화하는 규정을 발표하여 배관 관리의 중요성을 강조하고 있다.

따라서 배관설비는 설계, 시공, 운전단계뿐만 아니라 시간의 경과, 환경의 변화에 따른 성능의 저하를 수시로

이 논문은 2012학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

*교신저자 : Hee-Joo Yeo

Tel: +82-10-9139-5000 e-mail: hjeo@daejin.ac.kr

접수일 11년 11월 17일

수정일 (1차 12년 01월 04일, 2차 12년 02월 29일)

게재확정일 12년 03월 08일

검사하고 진단하여 설비의 건전성을 확보할 필요가 있다. 하지만 국내 배관의 대부분이 지하에 매설되어 있어 그 관리에 있어 막대한 경제적 부담과 고도의 기술이 요구되는 실정에 업체에서 쉽게 대응하기 어려운 실정이다 [1-8]. 배관 내부에서 주행이 자유로우며, 배관 검사기능을 통해 결함부위를 사용자에게 알릴 수 있으며, 배관내부의 청소 및 유지 보수를 할 수 있는 로봇의 개발이 절실하며, 그러한 로봇의 실용화는 경제적이고, 정확한 배관 검사 및 유지 보수를 수행 할 수 있도록 해야 할 것이다. 특히,복잡한 지하의 배관매설 상황에서 최소한의 시공으로 배관의 상태 점검 및 유지 보수를 위해서는 로봇의 투입이 가장 적절한 방법이라 할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 인간이 들어갈 수 없는 소형 송유관, 해수관, 가스관등의 지하매설 배관을 이동하면서 설비배관 내부의 상태를 검사 하고, 세라믹 코팅제를 적용하기 위한 분사장치를 제작할 뿐만 아니라, 작업이 용이한 구조의 마이크로프로세서 기반의 사용자 편리성을 고려한 고속, 고정도 배관로봇 시스템을 개발하였다. 특히, 본 논문에서는 벽면 압착방식을 이용한 구동 방식으로 작업을 위한 견인력을 충분히 확보 하도록 하였다. 배관 보수작업의 자동화를 추진함에 있어서 핵심기술인 로봇을 이용한 자동화에서도 긴 배관 내부의 검사 및 보수작업에 관련된 H/W및 S/W는 아직까지 외국에서도 연구 중인 분야로서 기술도입이 어려운 실정이다.

2. 배관 로봇시스템의 구현

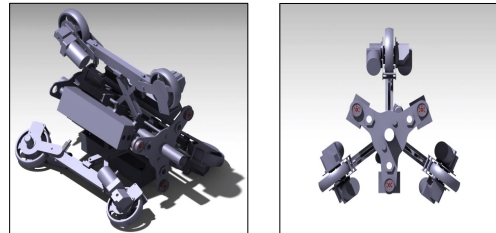
2.1 로봇 메커니즘

설비배관 내부의 표면은 사용되는 목적에 따라 다양한 종류의 이물질이 배관 내벽에 부착되어 있으므로, 이때 로봇의 주행에 끼치는 피해를 최소화하기 위하여 벽면압착 방식을 적용하여 로봇이 내벽에 닿는 부위를 최소화 하였으며, 거 칠은 표면의 이동을 고려하여 속 옹저버의 설계에 중점을 두었다. 지하에 매설되어있는 부식된 배관내부는 어떠한 이물질이 있으며 어느 지점에 크랙이나 핀홀이 존재하는지 알 수 없다. 따라서 예상 가능한 문제뿐만 아니라 예상하지 못한 문제들을 극복할 수 있는 강한 Body와 제어를 설계해야 한다.

개발된 배관로봇은 앞면의 뒤쪽에 컨트롤 박스가 위치하여 전방에서 발생하는 이물질과 폭발에 컨트롤 박스를 보호하며 각종 배선 또한 로봇 중심부로 이동하면서 앞면에 의해 충분히 보호를 받게 하였다. 로봇은 X-Bar링크 구조를 가지고 있으며 이 구조가 가지는 장점은 최소한

의 공간으로 큰 행정거리와 압착력을 가진다.

로봇은 그림 1에서와 같이 크게 4개의 모듈로 나눌 수 있으며, 각 모듈을 지지하는 본체, 벽면압착을 위한 압착장치, 관내 주행을 위한 구동장치와 작업 환경에 원활한 주행을 위한 완충장치로 구성되어 있다.

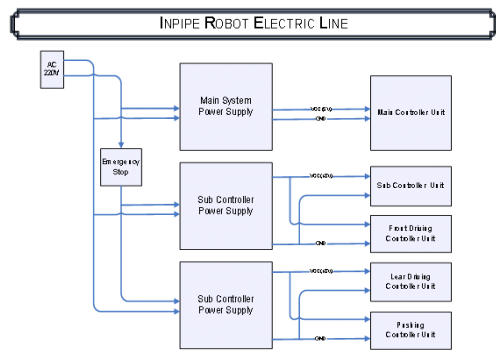


[그림 1] 로봇의 측면도(좌), 정면도(우)
[Fig. 1] Robot side view(left) and front view(right)

2.2 로봇 시스템의 배전

배관로봇은 220V의 AC전원을 사용하여 메인 제어시스템의 SMPS, 서브 제어시스템의 리니어 파워로 각각 인가된다. 메인 제어시스템과 서브 제어시스템은 병렬로 연결되어 비상정지스위치를 통해 사용자가 비상시에 로봇에 인가되는 전원을 모두 차단할 수 있도록 구성되어 있다.

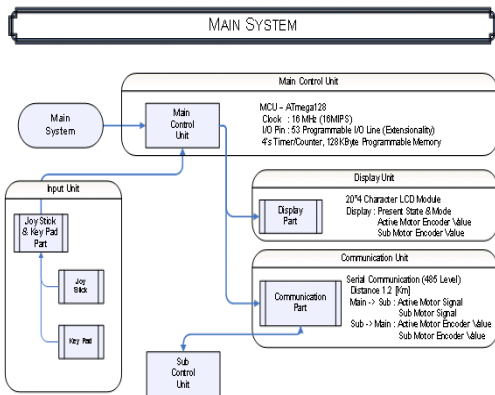
메인 시스템의 경우는 AC 220V를 SMPS를 통하여 DC 5V로 변환하여 회로에 전압을 공급한다. 서브시스템의 경우는 모터 컨트롤러 등의 높은 전력의 이용이 필요하므로, 리니어 파워를 이용하여 30V의 전압을 출력하고, 이 전압을 모터 드라이브에 공급되며, 서브 보드에는 레귤레이터 통하여 IC의 동작전압인 DC 5V로 변환하여 전력을 공급한다. 그림 2는 모터 구동용 전원으로 사용된 리니어 파워와 로봇시스템의 배전에 관한 블록도이다.



[그림 2] 로봇시스템의 배전 블록도
[Fig. 2] Block diagram for electric line of robot system

2.3 메인 제어시스템

메인 시스템의 제어용 MCU로는 16MIPS의 고속 연산이 가능하고, 다양하게 사용할 수 있는 I/O와 넓은 프로그래밍 영역을 가지고 있는 ATMEGA128을 사용하였으며, 이를 중심으로 Input Unit, Comm. Unit, Display Unit으로 구성되었다. Input Unit은 로봇에게 제어신호를 줄 수 있는 키 패드와 속도제어를 위한 볼륨 노브로 구성되며, 로봇의 상태를 알 수 있도록 표시해주는 디스플레이 장치인 LCD, 로봇과의 통신을 위한 전이중방식의 통신 드라이버로 구성되었다. 메인 제어시스템은 로봇의 서브 제어 시스템과 실시간 통신을 통하여, 사용자에게 필요한 정보를 제공하며, 로봇의 모드 입력 및 속도제어를 담당한다. 또한 사용자가 비상시에 로봇시스템의 운영을 중단시킬 수 있기 용이하도록 비상정지 버튼을 메인 시스템과 함께 구성하여 비상사태가 발생 시 로봇의 모든 시스템에 공급되는 전력을 차단함으로써, 로봇을 긴급정지 할 수 있도록 하였다. 아래 그림 3은 메인 시스템의 블록도이며, 그림 4는 제작한 컨트롤 박스이다.



[그림 3] 메인 제어시스템의 블록도
[Fig. 3] Block diagram for main control system



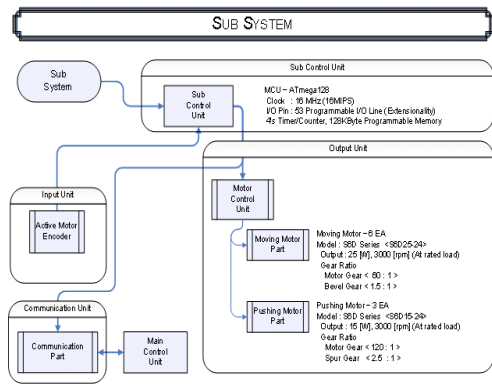
[그림 4] 배관 로봇을 위한 컨트롤 박스
[Fig. 4] Control box for in-pipe robot

2.4 서브 제어시스템

서브 제어시스템은 크게 2가지로 구성되어 있다. 이는 로봇의 동작 및 메인 시스템의 명령을 수행하는 로봇 제어시스템과 모터에 필요 전력을 공급하고, PWM제어를 이용한 6개의 속도 제어 모듈로 구성되어 있다. 그림 5는 서브 제어 시스템의 전체 블록도이다.

2.4.1 로봇 제어시스템

로봇 제어시스템은 로봇에 부착되어 메인 제어시스템으로 부터의 명령을 수행한다. 로봇 제어시스템의 제어용 MCU로는 ATMEGA128을 사용하였으며, 전체 구성은 입력센서인 엔코더 인터페이스 유니트, 메인 제어시스템과 통신을 위한 통신 유니트, 로봇에 견인력 확보와 로봇 주행을 위한 모터 컨트롤 유니트로 구성된다. 로봇 제어시스템은 주로 메인 제어시스템의 제어명령에 의하여 로봇의 Pushing Motor나 Driving Motor에 PWM 신호를 생성시켜 제어하며, PWM 신호의 듀티비는 메인 제어시스템의 볼륨 노브의 조절에 의해 결정된다. 또한 엔코더를 이용하여 현재 로봇의 이동거리를 메인 제어시스템으로 전송시켜 준다.



[그림 5] 서브 제어시스템의 블록도
[Fig. 5] Block diagram for sub control system

2.4.2 모터 드라이버 모듈

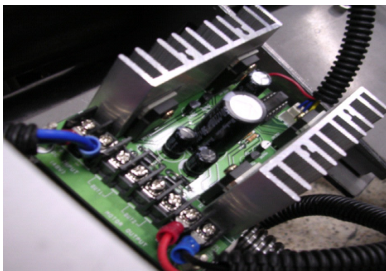
개발된 로봇시스템에 사용되는 모터의 정격전력은 25W이다. 로봇은 견인력 확보를 위한 벽면 압착방식의 구동이므로 실제 구동에 있어 바퀴에 걸리는 부하를 무시할 수 없다. 따라서 모터의 정격전력 이상의 충분한 전력을 공급할 수 있는 드라이버가 필요하게 되어, N-Channel Power MOSFET 제품 모델 중 IRFP 350을 이용하여 모터 드라이브를 설계하였다.

회로설계는 IRFP 350을 이용하여 H-Bridge를 구성한

후 논리 게이트를 이용하여 인에이블 신호를 이용하여 PWM 제어를 할 수 있도록 하였으며, Con_0과 Con_1을 이용하여 모터의 방향을 선택할 수 있도록 구성하였다. 한 가지 주의사항은 Con_0과 Con_1에 모두 High 입력을 가하면 모든 게이트가 열리게 되어 파손을 줄 수 있으므로 주의하여야 한다. IRFP 350은 최대전압 400V, 허용전류 15A, 허용전력 150W의 특성을 가지기 때문에 25W급 모터 3개를 동시에 구동 할 수 있도록 하였고, 비교적 높은 전력 사용의 안정성을 고려하여 PCB를 제작하였다. 표 1은 제어신호의 입력신호이고, 그림 6은 완성된 모터 드라이브 모듈의 외관이다.

[표 1] 모터 드라이브 모듈의 입력 신호
[Table 1] Input signal of motor driver module

Con_0	Con_1	Motor Direction
0	0	Stop
0	1	Forward
1	0	Backward
1	1	Don't Acceptable
Con_En		PWM Signal Input

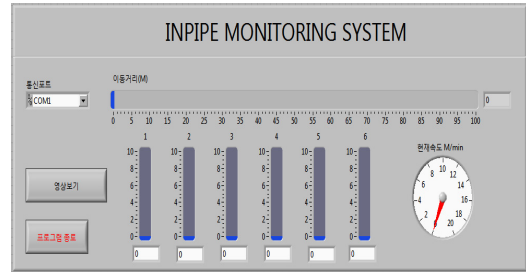


[그림 6] 모터 드라이브 모듈의 구성
[Fig. 6] Configuration of motor driver module

2.5 모니터링 시스템

배관로봇의 작업환경은 지하이고 밀폐되어 있어 정상적으로 동작을 하는지와 얼마만큼의 거리를 이동했는지 보이지 않는다. 따라서 배관 내에서 고장으로 인해 고립되지 않기 위해 모니터링 프로그램이 필수적이다. 배관로봇에 큰 손상을 주는 경우는 대부분이 과전류로 인한 서브컨트롤 보드에 모터 드라이버의 파손이며, 그에 따라 회로 보호를 위해 앞에서 설명하였듯이 과전류검출로써 정지시킨다. 하지만 사용자는 전류로 인해 정지인지 알 수 없고 메인 컨트롤의 4*16 LCD로는 한계가 있으므로 메인 컨트롤과 서브 컨트롤과의 통신과정을 컴퓨터에서 읽고 필요한 정보를 디스플레이 해주는 모니터링 시스템이 필수적이다. 이 모니터링 시스템은 Lab-view를 기반으로 제작하였으며 현재 현장에서 산업용 모니터링과 컨

트롤 프로그램으로 많이 사용되고 있다. 아래 그림 7은 모니터링 시스템의 UI를 보여준다.



[그림 7] 모니터링 시스템의 UI
[Fig. 7] UI for monitoring system

통신포트는 현재 연결된 통신포트를 의미하며 이동거리는 로봇에 부착된 엔코더에 의해 산출된 로봇의 이동 거리를 뜻한다. 이동거리 게이지 아래에 있는 1-6번까지의 수직 게이지는 로봇의 드라이빙 모터 6개를 의미하며, 로봇 구동시 실시간으로 모터에 흐르는 전류값을 디스플레이한다. 모니터링을 위한 통신 프로토콜이 존재하는 것이 아니라 메인 컨트롤과 서브 컨트롤이 교신하는 데이터 중 필요한 데이터를 취득하기 때문에 불필요한 프로토콜이 존재하거나 통신속도가 감소하지 않는다. 영상보기 버튼은 카메라를 사용하여 탐사를 하기위해 영상을 보여주는 버튼으로써 영상보기를 클릭할 경우 카메라 영상을 화면에 띄우며 한 번 더 클릭할 시 영상화면이 종료된다. 현재속도는 실제 로봇의 이동속도를 뜻하며 단위는 m/min이다.

2.6 제어시스템과 로봇시스템과의 통신

로봇이 사용자가 명령대로 움직이기 위해서는 메인 컨트롤에서 서브 컨트롤까지 통신방법이 중요하다. 로봇 시스템이 관내에서 보장되어야 하는 통신거리는 100~150(M)의 거리이며, 동시에 데이터 송수신이 이루어져야 하기 때문에 이에 적합한 RS-488 통신을 선정하였으며, 배관로봇의 경우 서브컨트롤 유닛이 3개가 장착되고 이에 따라 1:n의 통신방식이 필요하다. 다수를 대상으로 한 통신의 경우 통신여가 난 서브 컨트롤을 식별하며 그에 따라 적절한 조치를 취해야 한다. 수신 장치가 다수일 경우 각각에 맞는 ID를 지정해야 하며 해당되는 서브 컨트롤에서는 자신의 데이터를 제대로 획득하고 다른 서브 컨트롤에서는 이를 무시하고 자신의 데이터를 기다릴 수 있어야 한다. 메인 컨트롤이 전송한 명령을 서브 컨트롤이 오류 없이 수신하였다면 응답을 해야 하는데 이는 단방향 통신이 아니라 양방향 통신으로서 구현되어야 한다.

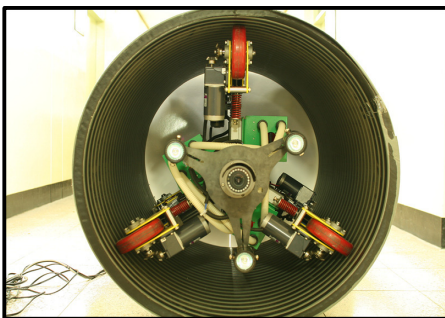
이런 통신이 가능하도록 하기 위해서는 모든 경우의 송수신 데이터를 정의하여 프로토콜을 강화하여야 한다. 제어시스템과 로봇시스템간의 통신을 위해서는 서로 간에 정보를 주고받기 위해 양방향 통신에 맞추어 프로토콜을 표 2와 같이 정의하였다.

[표 2] 로봇시스템의 통신 프로토콜
[Table 2] Comm. protocol for robot system

순서	송신	수신
1	Start Byte1	Start Byte1
2	Start Byte2	Start Byte2
3	ID	ID
4	Driving	Motor1 current
5	Lifting + Light	Motor1 current
6	Check sum	Motor2 current
7		Motor2 current
8		Distance
9		Check sum

3. 결론

본 논문을 통하여 개발한 배관로봇은 극한 작업을 하는 로봇을 개발함에 있어서 각종 돌발 상황에 대비하고 대처할 수 있는 강인한 로봇을 설계하였으며, 특히 외부 충격 이외에 내부적 고장에 대비하여 PC와 연계된 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 로봇은 700~900(mm)의 다양한 크기의 관내에서도 동작할 수 있으며, 견인력 확보를 위한 벽면 압착방식의 메커니즘을 갖는 로봇시스템을 개발하였다. 따라서 본 논문을 통하여 그림8과 같은 배관로봇의 개발로 인하여 배관 내에서의 탐사 및 도장을 위한 충분한 견인력과 주행능력을 확보하였다. 극한작업 로봇은 현재 많은 곳에서 사람을 대신하고 있고 앞으로 더욱더 많은 곳에서 활용하게 될 것이다.



[그림 8] 개발된 로봇시스템의 외관
[Fig. 8] Configuration of implemented robot system

References

- [1] JGC Corporation, "Inspection Robots in Nuclear Power Plants," Robotics in Nuclear Facilities, Special issue for the exhibition of the 11th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMIRT II), Tokyo, August 1991
- [2] W. Neubauer, "A Spider-like Robot that Climbs Vertically in Ducts or Pipes," Int. Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp. 1178-1185, 1994.
- [3] F. Pfeiffer, T. Robmann, and K.Loffer, "Control of a Tube Crawling Robot," Int. Conf. Control, Oscillations. and Chaos, Vol. 3, pp. pp. 586-591, 2010.
- [4] S. Horose. H. Ohno. T. Mitsue, and K. Suyama. "Design of In-pipe Inspection Vehicles for $\square 25$, $\square 30$. $\square 50$ Pipes," Proc. of IEEE Int. Conf. of Robotics and Automation, pp.2309-2314, 1999.
- [5] K. U. Scholl, V. Kepplin, K. Berns, and A. Dillmann, "An Articulated Service Robot Autonomous Swer Inspection Tasks," Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. of Intelligent Robots and Systems, Vol. 2, pp. 1075-1080, 1999.
- [6] H. T. Roman, B. A. Pellegrino, G. R. Sigrist, "Pipe Crawling Inspection Robots: an overview," IEEE Trans. of Energy Conversion, pp. 576-583, 1993.
- [7] 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.
- [8] I. Hayashi and N. Iwatsuki, "Micro Moving Robotics," Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. of Intelligent Robots ad Systems, Vol. 2, pp. 41-50, 1998.

여 희 주(Hee-Joo Yeo)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한양대학교 전자공학과(학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 전자공학과(석사)
- 1997년 2월 : 한양대학교 전자공학과(박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

퍼지제어, 다중로봇, 배관로봇, 지능로봇