한국정밀공학회지 제17권 제2호 (2000년 2월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 2, February 2000.

지하매설 가스배관 내부검사용 로봇시스템 개발

최혁렬*, 류성무**, 백상훈**, 조성휘**, 송성진*, 신현재***, 전재욱****

Development of Inpipe Inspection Robot System for Underground Gas Pipelines

Hyoukryeol Choi*, Sungmoo Ryew**, Sanghoon Baik**, Sunghwi Cho**,
Sungjin Song*, Hyeon Jae Shin***, Jaewook Jeon****

ABSTRACT

The robotic automation in NonDestructive Testing(NDT) is a promising field of research and it helps to expand the applications of NDT enormously. Especially, in the case of pipelines which are widely used in various industrial facilities, it is required to secure adequate ways of inspection in the usual maintenance activitites. In this paper, we present a robot system for inpipe inspection of underground urban gas pipelines. The robot is configured as an articulated structure like a snake with a tether cable. Two active driving vehicles are located in front and rear of the system, respectively and passive modules such as a NonDestructive Testing module and a control module are chained between the active vehicles. The proposed system has outstanding mobility by employing a new steering mechanism called Double Active Universal Joint, which makes it possible to cope with complicated configurations of underground pipelines. Characteristic features of the system are described and the construction of the system is briefly outlined.

Key Words : Inpipe Inspection Robot (배관검사 로봇), Underground Gas Pipelines (지하매설가스배관), Double Active Universal Joint (이중능동유니버셜조인트)

1. 서론

국내의 도시가스배관은 현재 13,000Km를 상회하고 있으며 도시가스공급업자들이 각 권역별로 분할하여 소유하고 있다. 도시가스배관은 1980년경에 집중적으로 설치되기 시작하여 현재에도 지속적으로 건설되고 있다. 그러나 과거에 매설된 배관의 경우 노화, 부식으로 인한 결함이나 타공사로 인한 손상 등이 배관의 안전성에 많은 문제점을 발생시키고 있으며 대형사고의 주요한 원인이 되고 있다. 최근, 정부는 지하매설 도시가스배관에 대하여 15년 주기로 검사, 보수 및 교체를 의무화하는 규정을 발표하여 배관 관리의 중요성을 강조하고 있다. 그러나, 지하매설배관의 관리에는 막대한 경제적 부담과 고도의 기술이 요구됨에도 불구하고 대부분의 국내 도시가스회사들이 중소기업 형태로 되어 있으므로 쉽게 대응하기 어려운 실정이다. 효과적이고 경제적인 검사 및 관리방법이 시급하게 요

* 회원, 성균관대학교 기계공학부 교수
** 회원, 성균관대학교 기계공학부 대학원
*** 비회원, 성균관대학교 기계공학부 연구교수
**** 비회원, 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

구되고 있다.

지하에 매설된 배관을 검사하는 데에는 다음과 같은 세 가지 어려운 점이 있다. 첫째는 검사부위에 접근하기가 어렵다. 대부분의 도시가스배관은 지하에 매설되어 있으며 또한, 관경이 작은 저압관들이 매우 복잡하게 매설되어 있기 때문에 검사장비를 검사위치까지 이송하는 것이 매우 어렵다. 두 번째로 배관의 검사에는 주로 비파괴검사기술이 사용되고 있으나 비파괴검사작업은 대부분이 작업자에 의존하는 노동집약적 작업이므로 작업자의 잘못이나 오류에 쉽게 노출되어 있어서 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다. 객관적이고 정량적인 검사기술의 확보가 필요하다. 끝으로 첫 번째 문제점과 관련이 있는 것으로 지하매설배관의 경우 검사를 위해서 시편을 채취하는 작업이 용이하지 않다는 점이다. 시편을 채취하기 위해서는 가스의 공급을 중지하고 굴착을 해야 할 뿐더러 또한, 굴착을 하더라도 굴착지점이 불확실하여 여러 번 굴착을 해야 하는 경우가 많으므로 이에 따른 경제적 손실이 크다.

지하매설 가스배관 관리에 가장 시급한 것은 검사기술 및 관련된 장비의 개발이다. 앞서 언급한 세 가지 문제점에 의하면 지하매설 가스배관의 경우 매설된 상태로 배관내부에서 검사하는 것이 가장 적합한 기술이다. 따라서, 검사장비를 탑재하고 배관내부를 주행하면서 검사를 수행할 수 있는 시스템의 개발이 요구되며, 실제로 이와같은 시스템에 관하여 많은 연구가 수행되고 있다. 배관검사시스템은 크게 나누어 능동적 시스템과 수동적 시스템, 두 가지로 나눌 수 있다. 대표적인 수동적인 시스템으로는 지능형 피그(intelligent pig)[1,2]를 들 수 있다. 이 시스템에서 사용되는 주행체(pig)는 배관내부를 흐르는 유체의 압력차에 의하여 수동적으로 구동된다. 그러나 지능형 피그는 대구경, 고압관에 주로 사용되어 왔으며 형상이 복잡하고 저압의 가스가 공급되는 국내 도시가스배관에는 적합하지 않은 것으로 알려져 있다. 한편 능동적 시스템은 로봇기술을 응용한 것들로 저자들이 개발한 시스템이 이에 속한다. 최근에 개발된 능동적 시스템 들은 대부분이 구동바퀴를 스프링이나 링크기구를 이용하여 벽면에 압착시키고 바퀴와 관벽과의 마찰력으로 구동하는 방식을 취하고 있다. 상용화 단계에 이른 시스템으로 MOGRER[3]라고 하는 로봇시스템을 들 수 있다. 이 시스템은 가스관 검사를 위하여 개발된 것으로 이동체는 세 개의 바퀴를 가진 가위형태의 메카니즘으로 되어 있으며 세 바퀴 중 하나만이 능동적으로 구동된다. Fujiwara[4], Taguchi[5] 등의 시스템들도 이와 유사한 구조를 갖고 있다. 한편 Kawaguchi[6]는 자석바퀴를 이용한 주행체를 개발하였으나 강관에 국한되는 단점이 있다. 그밖에 Ilg[7]가 제안한 하수도정비로봇시스템이나, Neubauer[8]의 보행로봇 등은 참고가 될 만한 시스템들이다. 최근에 Hirose[9]는 지금까지 자신이 개발한 다양한 형태의 배관내부 주행로봇을 소개하고 있다. 이처럼 지금까지 많은 배관검사 시스템과 관련된 로봇들이 발표되고 있지만 국내의 도시가스배관에 적합한 운동성과 기능성을 갖고 있는 로봇시스템을 찾기는 어렵다. 특히, 수평관 뿐만이 아니라 곡관, 분기관, 수직관, 밸브, 축소관등이 혼재하여 시공되어 있는 도시가스배관의 내부를 자유롭게 이동하며 검사를 수행할 수 있는 로봇은 찾을 수 없다.

본 논문의 저자들은 지난 수년간 배관검사로봇에 관하여 연구를 수행해 왔으며 배관을 주행할 수 있는 로봇은 이미 소개한 바 있다[10]. 저자들은 최근에 이를 개량한 주행로봇을 탑재한 배관검사로봇시스템의 개발을 완료하였으며 본 논문에서는 이 시스템에 관하여 소개한다. 개발된 시스템은 지금까지 개발된 다른 시스템들에 비하여 뛰어난 운동성과 기능성을 갖춘 새로운 로봇시스템으로서 다수의 관절이 연결된 뱀과 같은 형태의 주행체를 갖고 있다. 특히, 주행로봇의 관절 중에 이중능동유니버설관절(Double Active Universal Joint)라고 하는 새롭게 고안된 능동조향메카니즘을 탑재하고 있어서 복잡한 배관의 형상에 적절하게 대응할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 제안된 시스템의 특징과 요소기술에 관하여 소개하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장과 3장에서는 시스템의 요구조건과 개발된 시스템을 개략적으로 설명하고, 4장에서부터 6장까지는 구동체, 조향메카니즘, 비파괴검사장비에 관하여 기술한다. 7장은 제어기 구조와 사용자인터페이스에 관하여 설명하며 8장에서는 결론을 맺게 된다.

2. 개발시 고려사항

시스템의 설계 조건은 주행체가 이동해야 하는 배관의 조건에 따라서 결정된다. 지하매설배관이

라도 수평관 만으로 이루어진 경우에는 간단한 기능을 가진 주행체, 예를 들어, 바퀴가 달린 이동로봇으로 충분하다. 그러나, 매설된 도시가스배관은 통상 수평관 뿐만이 아니라 수직관, 곡관, 분기관, 축소관, 밸브 등이 복잡하게 시공되어 있으며 더욱 어려운 것은 예상하지 못한 외적인 요인에 의하여 배관이 손상을 입는 경우가 자주 발생한다는 점이다. 따라서, 국내의 지하매설도시가스관에 사용될 수 있는 주행체는 고도의 이동성과 기능성을 고루 갖추어야 한다. 이로부터 개발시 고려해야할 사항들을 정리하면 다음과 같다.

1) 곡률반경이 1.5D이상인 곡관을 통과할 수 있을 것. 여기에서 1.5D라고 하는 것은 내경의 1.5배를 의미하는 것으로 가스시공에 관한 법률로 규정된 최소 곡률반경이다. 그러나, 오래 전에 시공된 배관의 경우 이보다 작은 경우도 발견되고 있어서 실제는 곡률이 1.0D정도 이상의 곡관을 통과할 수 있어야 한다.

2) 분기관에서 선택적인 주행을 할 수 있을 것. 분기관에서의 조향능력은 도시가스배관검사용 시스템의 가장 중요한 기능중의 하나이다.

3) 관경범위 160-240mm 내부의 배관을 주행할 수 있을 것. 개발된 시스템은 호칭경 8inch배관에 사용하기 위하여 개발된 것이지만 축소관, 밸브, 손상배관을 고려할 때 ±20%정도의 관경변화에는 대응할 수 있어야 한다.

4) 장비를 끌고 갈 수 있는 충분한 견인력을 갖을 것. 검사장비를 이송하기 위해서는 개략적으로 5Kg정도의 수직하중을 견인할 수 있어야 한다.

5) 한번 관내부에 투입하여 편도 500m, 왕복 1Km이상을 주행할 수 있을 것. 장거리를 주행하는 것이 유리하나 로봇이 통신 및 전원공급선을 끌고 가야 하므로 최대 500m정도가 한계로 예상된다.

6) 주행속도는 분당 3-5m이상을 낼 수 있을 것. 하루에 작업자가 500m정도의 배관을 검사하는 것을 가정하여 설정된 주행체의 속도이다. 좀더 빠른 속도로 주행하는 것이 가능하지만 비파괴검사장비의 검사속도가 이에 미치지 못하므로 의미가 없다.

위에 제시된 조건에서 1)에서 3)까지는 다양한 배관에 대응하기 위하여 로봇이 갖추어야 할 이동성에 관한 조건들이고 4)에서 6)은 사양에 관한 추가적인 조건들이다.

배관검사시스템의 개발에 있어서 가장 중요한 과제는 운동성이 뛰어난 주행체의 개발이다. 그러나, 시스템의 개발에는 앞서 언급한 고려사항 뿐만이 아니라 요소기술의 수준에 크게 영향을 받는다. 실제로 배관의 조건이 시스템의 설계조건을 제한하지만 제한조건에 맞는 시스템의 성패는 요소기술의 수준에 의존하기 때문이다. 구동기, 전기 및 전자회로, 제어기, 전원, 센서, 통신도구들이 매우 작은 공간에 집약이 되어야 하므로 설계조건을 항상 만족하는 시스템을 개발하기는 어렵다. 최근에 매우 작은 이동로봇의 개발이 발표되고 있지만[11] 이들이 갖는 기능은 제한되어 있어서 실제로 검사를 하기는 불가능하다. 따라서, 배관검사기능을 갖는 시스템이 일정한 크기 이하로 작아지는 것은 불가능하며 한가지 타당한 접근방법은 주행체를 다수의 모듈로 구분된 이동체들이 연결된 다중관절의 로봇으로 구성하는 것이다. 이와 같은 구조의 시스템은 소형화할 수 없기 때문에 발생하는 불리함을 다소 극복할 수 있으나 반면에 시스템의 제어가 어려워지는 문제가 있다.

3. 시스템개요

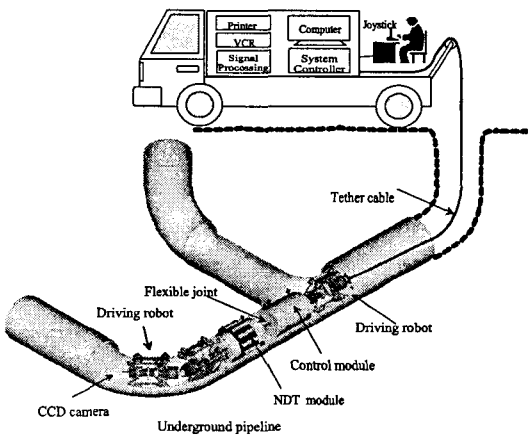
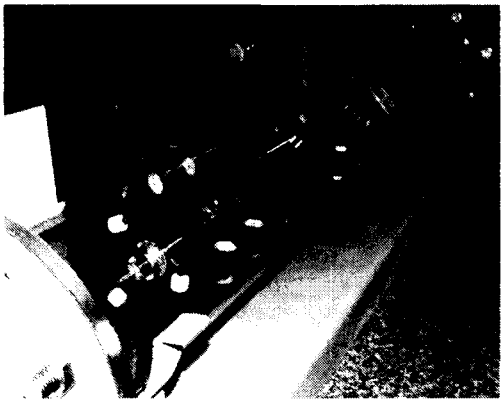


Fig. 1 Schematic of Proposed System

Fig. 1은 개발된 시스템의 개략도를 나타낸다. 배관내부검사시스템은 견인로봇(driving robot), 비파괴검사장비(NDT module), 제어부를 포함하는 주행체와 공급선(tether cable), 지상조작부(ground station)로 구성된다. Fig. 1에 나타낸 것과 같이 견인로봇은 주행체의 앞과 뒤에 두 대가 배치되어 있으며 그 사이에 비파괴검사장비와 제어부가 유니버

설관절로 연결되어 있다. 따라서, 앞으로 전진할 경우 전방견인로봇은 주행체를 끌고 후방견인로봇은 미는 힘을 주게 되며, 후진을 할 경우는 전후방 견인로봇의 역할이 바뀌게 된다. 견인로봇은 다양한 형상의 배관에 대응하여 주행할 수 있도록 두 개의 몸체가 2자유도 조향메카니즘으로 연결되어 있다. 조향메카니즘에 관한 상세한 사항은 5장에서 설명하기로 한다. 한편, 비파괴검사장비나 제어부는 견인로봇에 의하여 구동되며 이때, 수동바퀴와 신축메카니즘을 이용하여 벽면에 항상 압착된 채 균형을 유지하며 이동한다. 주행체에 공급되는 전원과 지상조작기와의 통신은 공급선을 이용하여 이루어진다. 공급선은 직류전원을 공급하기 위한 전원선, 영상신호와 디지털정보를 전송하기 위한 광케이블(optical cable)로 구성된다. Fig. 2(a)는 견인로봇의 모습이며 Fig. 2(b)는 지상조작부를 보여준다.



(a) Inspection robot

(b) Ground station

Fig. 2 Robot system

4. 견인로봇

Fig. 2(a)에 나타낸 견인로봇의 상세한 모습은 Fig.3과 같다. 견인로봇은 두 개의 독립적인 이동체가 이중능동유니버설관절(Double Active Universal Joint)이라고 하는 2자유도 능동조향메카니즘으로 연결되어 있다. 각 분절형 이동체는 3개의 바퀴가 달린 다리로 구성되며 이 다리들은 원주방향 120도의 간격을 두고 배치되어 있다.

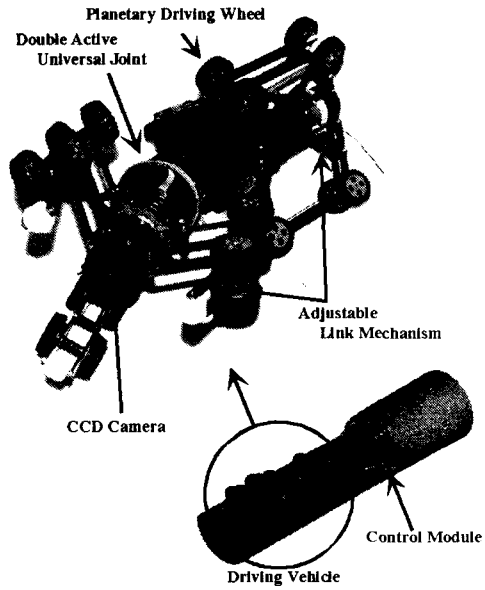


Fig. 3 Driving robot

다리 메카니즘은 미끄럼관절과 팬토그래프(pantograph)메카니즘을 조합하여 고안된 것으로 이동체가 자연스럽게 접고 펴지는 것이 가능하게 해준다[10]. 이와 같은 구조의 다리 메카니즘은 바퀴가 돌출부나 수축관같이 예상하지 못한 장애물을 만나게 될 경우 반경방향으로만 수축하게 되어 벽면과 바퀴와의 마찰로 인한 무리한 힘이 가해지지 않는 장점이 있다. 견인로봇의 구동모터는 후방의 이동체에 탑재되어 있으며 시스템의 주요한 동력원이 된다. 전방의 이동체는 동력이 없으며 다만 방향전환시 주행체의 운동을 안내하는 역할을 한다. 벽면을 압착하는 힘은 다리메카니즘의 미끄럼 관절을 지탱하는 스프링에 의해서 제공되며 부하에 따라서 스프링의 강성과 초기변형률을 조정하여 설정할 수 있다.

이동체의 크기는 배관의 기하학적인 형상에 의하여 크게 영향을 받는 주행체의 설계에 있어서 가장 중요한 초기 설계인자이다. 실제로 주행체가 지나치게 길거나 반경방향으로 두꺼운 경우 직관부에서는 문제가 없으나 곡관부를 주행할 경우 배관내부에 끼어서 움직이지 못하게 된다. 이는 배관내부를 주행하는 주행체에서 발생할 수 있는 최악의 상황이 될 수 있으므로 설계시 가장 먼저 고려되어야 한다. 2장에서 언급한 것과 같이 현재 국내의 배관 설치기준은 곡률이 직경의 1.5배 이상이 되도록 규정하고 있으나 최악의 경우 1배정도의 배관도 발견되고 있으며 이에 대응할 수 있는 설계가 필요하다(상세한 설계방법은 문헌 10을 참고할 것). 본 논문의 이동체는 문헌 10에서 제안된 기준하에서 설계되었으며 배관을 주행할 수 있는 최소한의 조건은 이미 만족되어 있다.

5. 조향 메카니즘

국내의 도시가스배관에는 분기관과 곡관이 다수 존재한다. 따라서 조향능력은 주행체가 가져야 할 중요한 기능중의 하나이며 조향능력이 없이는 주행을 할 수 없다. 그러나 기존에 개발된 시스템들은 대개 곡관에서 수동적인 조향과 주행성을 확보한 것들이 대부분이며 능동적 조향능력을 갖춘 것은 찾아보기 힘들다. Fig. 4와 5는 각각, 이중능동 유니버설관절(Double Active Universal Joint: DAUJ)라고 불리우는 개발된 시스템의 조향 메카니즘과 이의 상세도이다.

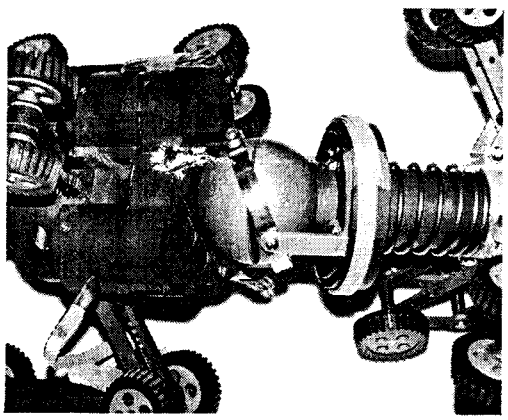


Fig. 4 Double Active Universal Joint

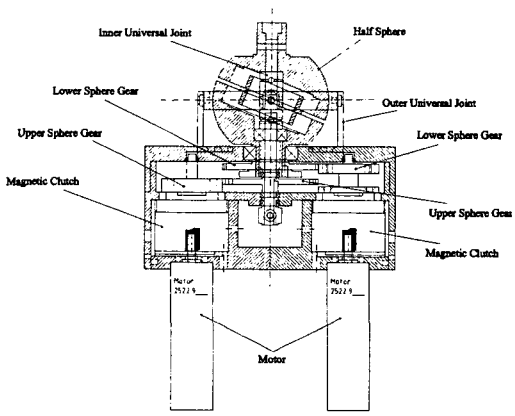


Fig. 5 Mechanism of Double Active Universal Joint

Fig. 5에 나타낸 것과 같이 DAUJ는 두 개의 모터와 두 개의 전자클러치로 구동되는 2자유도 관절이다. 관절의 내부에는 기어-베어링-기어로 된 모듈과 각 이동체의 비틀림운동을 제한하기 위하여 두 개의 유니버설관절이 포함되어 있다. 견인로봇의 두 몸체를 연결하는 관절은 Fig. 5의 구형으로 표기된 부분을 사이에 두고 나누어 지며 두 몸체는 구형부의 기울어진 면을 따라서 상대적인 회전운동을 하게 된다. 이 때 두 개의 유니버설관절은 기어헤드가 베어링을 사이에 두고 자유롭게 회전할 수 있게 해 주는 반면에 메카니즘의 중심축방향으로의 roll운동을 억제하는 역할을 한다. 이와 유사한 메카니즘은 Ikeda[12]등에 의하여 출원된 특허에서 볼 수 있으나 이들은 한 개의 유니버설관절만을 사용하고 있어서 실제로 roll운동을 완벽하게 제한할 수 없는 단점이 있다. 본 시스템에 탑재된 DAUJ는 완벽하게 roll운동을 제한하며 전자클러치를 이용하여 능동과 수동관절로 사용될 수 있는 새로운 메카니즘이다. DAUJ를 기구학적으로 간략화하면 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 J_1과 J_3만이 능동관절이고 나머지 부분은 베어링과 수동적으로 움직이는 회전축만으로 구성되어 있어서 구조적으로 메카니즘의 roll 운동을 제한할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6을 간략화 하여 좌표계를 정의한 것이다. 이 그림에서 DAUJ는 좌표계 1과 ϕ의 각도를 이루는 좌표계 2, 그리고 좌표계 2와 $-\phi$의 각도를 갖고 회전하는 좌표계 3으로 구성된다. 따라서, DAUJ는 세 좌표계의 Z축방향 회전만으로

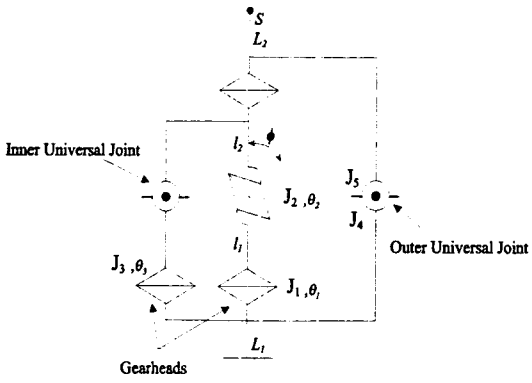


Fig. 6 Kinematic Structure of Double Active Universal Joint

pitch와 yaw운동을 얻을 수 있으며 어떠한 경우라도 S 점의 상대적인 roll운동은 발생하지 않는다.

DAUJ는 주행조건에 따라서 능동조향과 수동조향, 두가지 양식으로 동작한다. 능동조향은 주행체가 분기관을 만나게 될 경우 택하게 되는 조향형식으로 DAUJ를 능동적으로 회전시켜서 방향을 선택하는 것을 말한다.

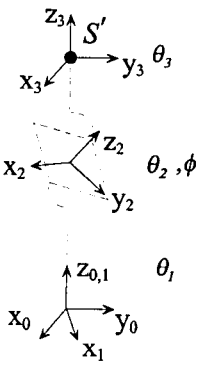
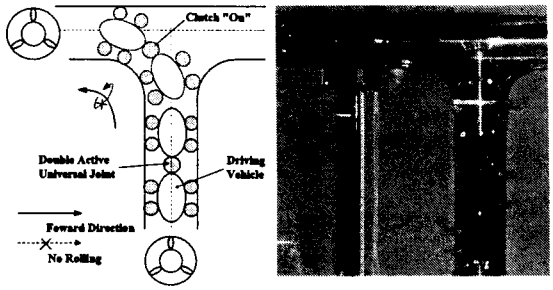


Fig. 7 Kinematic Structure of Double Active Universal Joint

따라서, 능동조향시는 전자클러치가 ON상태가 되며 두 개의 조향용 모터에서 나온 동력을 이용하여 견인로봇의 전면에 있는 몸체를 선택된 방향으로 조향한다. 이 때 조향부는 위치제어 뿐만이 아니라 전자클러치의 ON시간을 펄스폭변조(PWM: Pulse Width Modulation)방식으로 제어함으로서 관절의 강성을 제어하는 효과를 동시에 갖게 하여 주행체에 무리한 힘이 가해지지 않도록 한다. 조향방향은 지상조작부에서 원격조작으로 전해지는 명령에 따라서 정해진다.

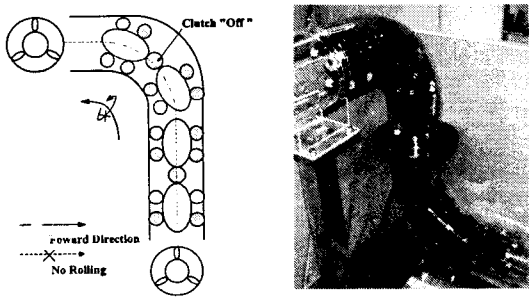


(a) (b)

Fig. 8 Steering in Branch

Fig. 8은 견인로봇이 분기관에서 방향을 전환하는 것을 도식적으로 나타낸 것으로 상부좌측과 하부의 원은 배관내부를 주행하는 로봇의 단면을 표시한다. 조향 전과 후를 비교하여 볼 때 진행방향으로 roll에 의한 회전이 없음을 알 수 있다.

조향메카니즘은 견인로봇이 곡관내부를 주행할 경우 수동조향으로 전환하게 된다. 이 때, 무리하게 모터를 구동하여 관절을 굽혀줄 필요는 없으며 단지 관벽의 기하학적 형상에 적절하게 순응하며 roll이 없는 조향 만을 할 수 있으면 된다. 따라서, 이 경우 전자클러치를 OFF의 상태로 하여 수동조향을 하게 된다. Fig. 9는 곡관에서의 주행상황을 보여주는 것으로 이 경우는 수동적으로 roll이 제한되는 조향메카니즘의 특성만을 사용하는 것을 개략적으로 보여 준다.



(a) (b)

Fig. 9 Steering in Elbow

DAUJ는 $\pm\phi$의 pitch와 yaw 각을 갖으며 roll은 없다. 그밖에 메카니즘의 자세한 기구학적 해석에 관해서는 문헌 10에 상세하게 기술되어 있다.

6. 초음파검사장비

Fig. 1에 나타낸 것과 같이 개발된 검사시스템의 주행체는 다양한 비파괴검사장비를 탑재할 수 있다. 본 연구에서는 시스템에 탑재하기 위한 비파괴검사장비로서 초음파를 이용하여 배관의 결함을 검사할 수 있는 장비(Ultrasonic Testing: UT)를 개발하였다. 개발된 UT장비는 두 개의 수동형 이동체로 구성된다. 하나는 초음파탐촉자와 탐촉자를 구동하는 메카니즘 들로 구성되며 다른 하나에는 초음파 신호를 처리하기 위한 DSP(Digital Signal Processing), 초음파발생장치(Pulser/ Receiver), 그리고 관련된 전자회로 들이 포함되어 있다. 도시가스배관을 검사하는 목적은 부식에 의한 관벽두께의 변화를 측정하는 것과 용접부에 발생하는 결함을 찾아내기 위함이다. Fig. 10에 나타낸 것은 UT장비의 메카니즘부분이며 UT장비는 두 가지 목적을 동시에 수행할 수 있다. Fig. 10에서 수직탐상용 탐촉자(vertical beam probe)는 관벽두께를 측정하며 사각탐상용 탐촉자(angle beam probe)는 용접부의 결함검사를 수행한다. 수직탐상용 탐촉자는 바퀴에 붙어 있어서 주행시 항상 관벽두께의 변화를 측정하며 사각탐상용 탐촉자는 용접부에 근접하여 원격조작으로 검사한다. 검사신호는 인텔 80196 마이크로프로세서(microprocessor)를 사용하여 실시간으로 처리되며 이로부터 얻어진 관벽의 두께와 결함의 유무에 관한 정보는 주제어기를 통하여 지상에 있는 작업자에게 전송된다.

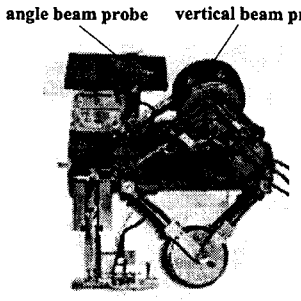


Fig. 10 Ultrasonic testing mechanism

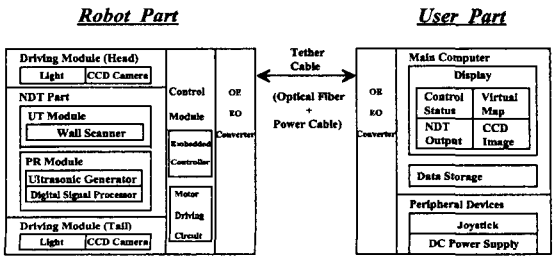


Fig. 11 System Architecture

7. 제어기

Fig. 11의 시스템의 기능적 구조를 나타낸 그림에서 알 수 있는 것과 같이 개발된 시스템은 크게 나누어 주행체와 지상작업기, 두 부분으로 나누어진다. Fig. 11에 나타낸 것과 같이 주행체는 두 개의 CCD카메라가 전면과 후면에 장착되어 있다. 전면의 카메라는 전방으로 전진할 시 작업자에게 육안으로 장애물 및 결함의 유무를 확인할 수 있게 해 주며 후면의 카메라는 이동체의 후방확인을 목적으로 한다. 이동체가 후진할 시에는 두 카메라의 역할이 바뀌게 된다. 주행체의 제어는 인텔80196 마이크로프로세서를 이용한 내장형 제어기를 개발하여 제어하였다. 내장형 제어기는 주행체의 운동을 제어함과 동시에 원격조작, 통신 등의 역할을 수행한다. 통상적인 주행시 주행체는 검사의 결과만을 전송하고 자율주행을 수행하게 되며 작업자가 원격조작을 요구하게 될 경우 시스템의 제어는 원격조작상태로 전환하게 되어 조이스틱에 의한 작업자의 명령에 따라 수행된다.

주행체는 일곱 개의 모터를 탑재하고 있으며(견인로봇에 각 3개씩, UT모듈에 1개) 모터의 구동회로들은 자체 제작하여 내장형 제어기에 포함되어 있다. 그밖에 주행체에는 광케이블 전송을 위한 컨버터와 센서들이 탑재되어 있다. Fig. 12은 제어기의 구조를 나타낸 그림이다.

제어기 하드웨어와 함께 소프트웨어 개발도 동시에 수행되었다. 소프트웨어는 주제어기를 위한 저차원제어 프로그램과 지상작업기에 사용된 운용 소프트웨어를 포함하며 후자에 관하여 간략하게 설명한다. 지상작업기에 사용된 소프트웨어는 작업자에게 시스템의 운용과 관리에 가장 중요한 역할을 하며 작업자와의 인터페이스에 있어서 편리함이 가장 먼저 고려되었다. Fig. 13는 개발된 소프트웨어의 GUI(Graphical User Interface)화면을 보여준다. Fig. 13에서 나타낸 것처럼 GUI는 주행체의 운동에 관한 정보와 전후면의 CCD영상, 그리고 배관에 관

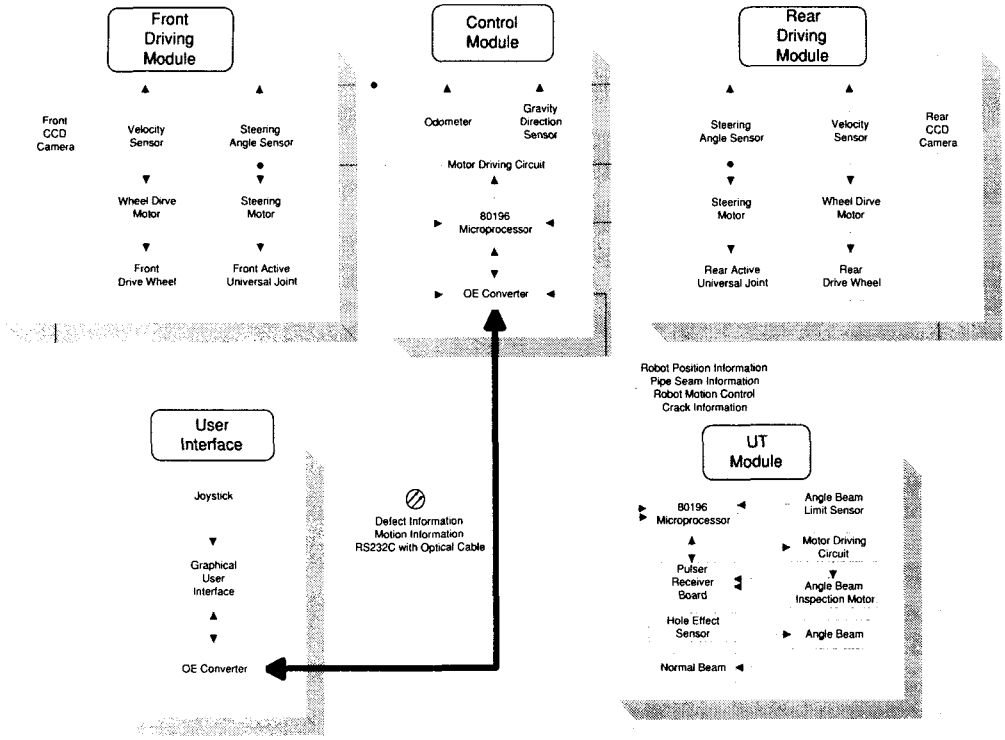


Fig. 12 Controller Structure

한 가상지도(virtual map)를 포함하고 있다.

개발된 시스템에서 특징적인 것은 Fig. 13의 하부 창에 나타낸 가상지도이다. 가상지도는 주행체가 주행한 배관의 형상을 3차원 그래픽으로 표현한 것으로 결함의 위치 배관의 형상, 구성에 관한 정보를 정확하게 나타내어 준다. 주행체가 지나간 배관의 길이 및 형상은 주행체가 가지고 있는 주행계(odometer), 조향각, 공급선의 길이, 그리고 두 개의 부가적인 센서에 의하여 추정되며 Fig. 13과 같이 3차원 배관모델로 표현된다. 부가적인 센서는 두 개의 센서가 직각으로 배치되어 중력의 방향을 측정하여 배관의 형상을 추정할 수 있게 해 주므로 가상지도를 그리는 데에 가장 중요한 역할을 한다.

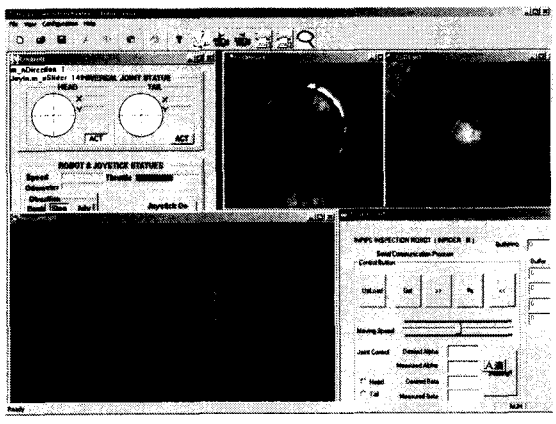


Fig. 13 Graphical User Interface

8. 결 론

본 논문에서는 지하매설 가스배관 내부검사용 로봇시스템에 관하여 소개하였다. 배관내부검사기술은 종합적인 기술의 개발을 필요로 하며 본 시스템의 개발에도 다양한 요소기술의 개발이 동반적으로 수행되었다. 개발된 시스템은 기존의 다른 시스

템에 비하여 탁월한 주행성을 갖추고 있으며 따라서 예상하지 못한 다양한 배관의 문제에 대응하여 검사를 수행할 수 있는 능력이 있다. 개발된 시스템이 현재는 초음파검사장비만을 탑재하고 있으나 이밖에도 다양한 검사장비를 탑재할 수 있는 표준기로서 개발에 착수한 것이며 추후 다양한 검사기법을 적용하여 볼 계획이다. 아울러 배관의 가스공급 중에 시스템을 사용하기 위해서는 발사장비(launching system)의 개발이 동시에 수행되어야 하며 이는 추후 관심을 갖고 지속적으로 연구해야 할 것으로 판단된다. 개발된 시스템은 지하매설가스배관에 국한되지 않고 배관이 사용되는 다양한 산업에서 응용될 수 있는 가능성이 있으므로 향후 여타 산업설비의 관리에도 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

후 기

본 논문은 한국과학재단과 성균관대학교 산업설비 안전성평가 연구센터의 연구비 지원으로 이루어진 것으로서, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김영환, "배관의 진단," 산업설비안전성평가 연구센터 기술보고서 SAFE 97-3, pp. 87~130, 1998.
2. A. E. Crouch, F. A. Bruton, G. R. Bartlett, "In-Line Inspection of Unpiggable Natural Gas Pipelines," GRI Topical Report, no. GRI-95/0323, 1995.
3. T. Okada and T. Sanemori, "MOGRER: A Vehicle Study and Realization for In-Pipe Inspection Tasks," IEEE J. of Robotics and Automation, Vol. 3, No. 6, pp. 573~582, 1987.
4. S. Fujiwara, R. Kanehara, T. Okada, and T. Sanemori, "Development of an Articulated multi-Vechicle Robot for Monitoring and Testing In Pipe," J. of the Robotics Society of Japan, Vol. 12, No. 2, pp. 318~327, 1994.
5. K. Taguchi, and N. Kawarazaki, "Development of In-pipe Inspection Robot for Small Radius Pipelines," J. of the Robotics Society of Japan, Vol. 15, No. 2, pp. 230~235, 1997.
6. Y. Kawguchi, I. Yochida, T. Kikuta , and Y. Yamada, "Internal Pipe Inspection Robot," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 857~862, 1995.
7. W. Ilg, K. Berns, S. Cordes, M. Eberl, and R. Dillmann, "A Wheeled Multijoint Robot for Autonomous Sewer Inspection," Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp. 1687~1692, 1995.
8. W. Neubauer, "A Spider-Like Robot that Climbs Vertically in Ducts and Pipes," Proc. of IEEE Int. Conf. on Intelligent Robot and Systems, pp. 1178~1185, 1995.
9. S. Hirose, H. Ohno, T. Mitsui, K. Suyama, "Design og In-pipe Inspection Vehicles for $\varphi 25, \varphi 50, \varphi 150$ pipes," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 2309~2314, 1999.
10. 최혁렬, 류성무, "지하매설 가스관 검사로봇 개발," 한국정밀공학회 추계학술대회, pp. 290~294, 1998.
11. K. Suzumori, K. Hori, and T. Miyagawa, "A Direct-Drive Pneumatic Stepping Motor for Robots," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3047~3052, 1998.
12. H. Ikeda and N. Takanashi, "Joint Assembly Moveable Like a Human Arm," United States Patent Number 4, 683, 406, 1987.