

하수관로 검사 및 연결 절단부 로봇의 개발

정재강[†] · 김재열^{*‡} · 김우진^{**}

조선대학교 기계공학과, *조선대학교 메카트로닉스공학과, **조선대학교 정밀기계공학과

The Development of Robot that is Detecting of Sewage Pipe and Cutting of Connection Projecting Part

JaeKang Chung[†], JaeYeol Kim^{*‡} and Woojin Kim^{**}

Dept. of Mechanical Engineering, ChoSun University

**Dept. of Mechatronics Engineering, ChoSun University*

***Dept. of Precision Mechanical Engineering, ChoSun University*

Abstract – The issue with the drainpipe now a day is that they are laid underground. Causing us to perform additional work to repair, such as digging up the ground and peeling off the insulator that surrounds the pipe. And such series works are difficult that concession appears from government and municipal office. However, if we can save time and money. Performance of piping robot that we are studied in existing session through fixing unit and improvement of cutting bit shorten and wished to heighten work efficiency. And we are trying to develop a unit that can cut up the projecting parts which connects with the interior part of the drainpipes.

Key words – drainpipe, projecting part, fixing unit, cutting bite, CCD camera.

1. 서 론

산업현장에 쓰이는 각종 수도관, 송유관, 도수로, 하수관 등에 대구경의 파이프들이 많이 사용되고 있다. 이들은 연장길이가 매우 길며, 여러 갈래로 지관이 연결되어 있으며, 주로 지하에 매설되어 있다. 이러한 관들은 지형의 변화, 지상의 각종 공사 작업 등에 의하여 파손되는 경우가 많이 있는데, 이들은 정기적으로 검사·보수하여야 한다.

이러한 관들은 지형의 변화, 지상의 각종 공사 작업 등에 의하여 파손되는 경우가 많이 있는데, 이들은 정기적으로 검사·보수하여야 한다. 특히 하수관의 결함 내역 및 파손율을 보면 연결관 불량(34.8%), 이음부 불량(30.9%), 관 침하 및 파손(13.5%), 타관 통과(2.8%), 토사퇴적 및 기타 장애(18.0%)로 나타나고 있다.

환경부 발표 자료에 따르면 전국 평균 7m 간격으로

관의 결함이 있는 것으로 나타났다. 이러한 하수관의 노후나 파손으로 인한 누수의 위험을 사전에 검사하여 적절한 조치를 취해야 할 것이다. 국내 하수관실태가 지속적인 보수가 불가피한 상황에서 기존 굴착방식에 의한 보수공사로는 도로굴착에 의한 교통장애, 오물로 인한 악취, 소음공해, 도로수명 단축, 지하매설물 손상 등의 문제가 있었으나, 하수관로 검사 및 연결 돌출부 절단용 로봇이 실용화될 경우 기존의 굴착방법을 대체함으로써 교통체증이나 먼지 발생 등을 방지하는 것은 물론 작업비용도 크게 낮출 수 있을 것으로 기대된다.

2. 로봇의 구성 및 제작

2-1. 로봇의 본체

본체는 관로상 전·후진의 이동이 원활하도록 견고하고 유연성 있게 설계하였다. 본체의 상단과 정면에 고정유닛과 절단헤드를 부착하여 이동을 하기 때문에 그에 대한 충분한 하중을 견딜 수 있고, 이동상에 어려움 없이 전·후진이 원활히 이루어 질수 있도록 크기

[†]주저자 : jkchung@chosun.ac.kr

[‡]책임저자 : jykim@chosun.ac.kr

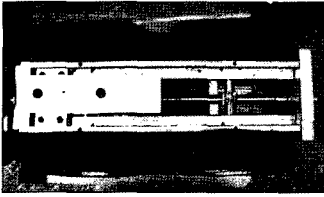


Fig. 1. Main frame.

와 구조를 최적화시켜 설계하였다. 또한 하수관 내부에 존재하는 하수나 물이 스며들지 않도록 충분한 방수 처리와 하수관 진행 시 관 내벽 및 장애물에 충돌하더라도 견딜 수 있는 내구력을 지닌 알루미늄 합금(라우탈) 재질로 설계 및 제작 하였다.

2-2. 로봇의 구동

2-1-1. 구동모터 및 동력전달장치

구동모터 및 감속기어의 선정은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 먼저, 로봇의 모든 하중을 견인할 수 있는 모터의 용량, 관성, 마찰을 고려하여 모터 및 감속기를 선정하였다. 결합된 모터와 감속기의 크기가 본체 내부에 들어갈 수 있는 크기이며, 가·감속이 가능한 모터를 선정하였다.

부하의 관성 모멘트(J)

$$J = \frac{GD^2}{4g}$$

$$GD^2 = \frac{W(D^2 + d^2)}{2} \tag{1}$$

부하 토크(T_L)

$$T_L = J\alpha \quad \alpha = \frac{\omega}{t_g} \tag{2}$$

모터축 환산 부하 토크(T_{ML})

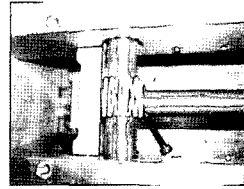
$$T_{ML} = \frac{T_L}{R_1 \times R_2} \tag{3}$$

기어헤드의 감속기 선정

$$T_M > \text{안전율} \times T_{ML} \tag{4}$$

감속기어 출력축 환산 부하 토크(T_{GL})

$$T_{GL} = \frac{T_L}{R_2} \tag{5}$$



(a) A shaft of body



(b) Differential gear of wheel shaft

Fig. 2-1. Shaft and gear.

구동부의 최대속도(N_R)

$$N_R = \frac{N}{R_1 \times R_2} \tag{6}$$

위의 (1)-(6)의 식을 기초로 사용된 구동 모터의 크기는 지름 150 mm 길이 86 mm, 정격 전압은 AC 220 V, 정격출력은 100 W로 된 AC서보모터를 선정하였으며, 감속기는 1:15의 감속비를 갖는 것을 선정 하였다. 또한 바퀴의 구동축 부분에는 디퍼런셜 기어를 설치해서 구동축 양쪽 바퀴의 회전속도가 다를 경우에도 양축에 고르게 회전력(토크)을 전달하도록 하였다. 본체와 구동축이 접촉하는 곳에는 슬라이딩 베어링과 볼베어링을 장착하여 마찰력을 최소화 하였다. Fig. 2-1은 본체의 동력전달 장치인 샤프트와 디퍼런셜 기어이다.

2-1-2. 휠의 설계

관로상 원활하고 안정된 주행을 위해 본체의 바퀴 부분에 11도의 경사를 주어 안정된 주행과 작업을 수행 할 수 있게 하였으며, 바퀴는 일반 타이어를 사용 하였다. 본 연구의 하수관 돌출부 절단용 로봇은 관로의 직경에 따라 안정된 주행을 할 수 있도록 사전에 관로 조사 후 바퀴 부분을 작업 전 관로의 직경에 맞추어 더욱 안정된 주행과 작업을 수행 할 수 있도록 알맞은 크기의 바퀴로 교체하여 작업 시 본체의 주행 부담을 줄이는 방법으로 설계하였다.

3. 고정유닛

3-1. 지지부

하수관로 연결돌출부 절단 작업 시 백래쉬와 진동 등으로 인해서 작업시간이 지연되고 돌출부위를 매끄럽게 절단하지 못해 바이트 잠김과 같은 문제가 발생 한다. 따라서 작업의 성능 및 효율을 높이고 구동모터의 과부하와 밀립현상을 방지하기 위해 로봇이 안정되

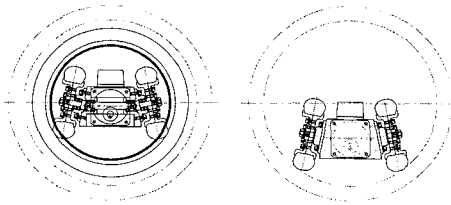


Fig. 2-2. Front view of wheel axis.

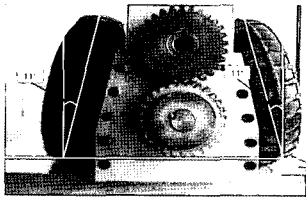
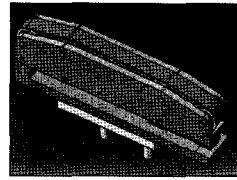


Fig. 2-3. Angle of wheel.

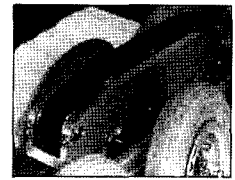
고 원활하게 작업이 이루어질 수 있게 할 수 있는 고정유닛이 필요로 하였다. 본 연구에서는 고정유닛을 본체의 상단에 장착하여 로봇을 고정할 수 있게 고안하였다. 고정유닛의 형태는 무한궤도 차량의 형태로 하였고, 작업 포지션에 로봇이 도착하면 관로상의 위쪽으로 고정유닛이 올라가 바퀴와 함께 삼각형의 형태로 관로에서 로봇을 고정하여 작업을 수행 할 수 있게 하였다. 무한궤도 차량의 형태로 고안하였기 때문에 작업할 때 로봇이 절단부위를 절단함과 동시에 천천히 앞으로 이동할 수 있고 그에 따라 받는 하중에도 충분히 견딜 수 있도록 안정되게 설계하였다. 본 연구에서 고안한 무한궤도 형태의 고정유닛으로써 Fig. 3-1은 (a) 3D모델링과 실제 제작된 고정유닛을 보여주고 있다.

3-2. 실린더의 설계

실린더의 용량 설계에서 압력은 입력과 출력의 차를 100 bar로 계산하였다. 이때 실린더의 두께는 6 mm로 하고 최고 압력이 210 bar에서 견딜 수 있어야 했다. 지지실린더는 로봇 몸체 중앙에 위치하며 로봇이 작업 중 안정된 자세를 유지하기 위한 실린더로, 실린더의 바깥 크기는 로봇 내 공간을 고려하여 길이 150 mm, 외경은 50 mm로 선정하였다. 실린더 내경(D)과 로드경(D)은 실린더 전·후진시의 힘을 고려하여 각각 25 mm, 20 mm로 하였다. 따라서 실린더 전진시 유효 단면적(A) 4.91 cm²이고, 후진시 유효 단면적(A)는 1.77 cm²이다. 조작자의 작업 환경을 고려하여 실린더의 전



(a) 3-D modeling



(b) Fixing unit

Fig. 3-1. View of fixing unit.

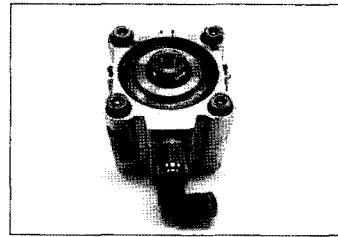


Fig. 3-2. Air cylinder.

진속도는 30 mm/s로, 실린더의 행정은 관과 로봇의 거리를 고려하여 25 mm로 설정하였다. 따라서 위에서 설정한 값으로부터 전후진시 힘은 다음과 같다.

$$Q_1 = A_1 \cdot v = 4.91 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ cm/s} = 14.73 \text{ cm}^3/\text{s} = 0.884 \text{ lpm}$$

위의 식을 기초로 사용될 실린더는 TPC 제품으로 튜브 내경이 40이고, 실린더 행정은 25 mm를 갖는 공압 복동식 실린더를 사용하였다. 또한 두 개의 솔레노이드를 사용하여 상·하 운동을 자유롭게 하였다. 한 개의 가이드와 공압 피스톤이 연결된 한 개의 축으로 구성 되어있다. 또한 무한궤도 차량의 하단 부위와 본체 사이에 로드셀을 장착하여 하중량을 검출 할 수 있게 하였으며, 작업 상태에 따라 고정유닛의 고정 정도를 조절할 수 있도록 설계 및 제작하였다.

4. 절단유닛

4-1. 절단헤드

본 연구에서 고안한 절단 헤드는 상하·좌우로 작업을 할 수 있는 자유도는 없지만 도면에서 볼 수 있듯이 헤드 자체를 상하·좌우의 자유도 없이 고정하여 관로상에 돌출 되어 있는 관을 한 번에 헤드컨트롤 없이 절단할 수 있도록 설계하였다.

4-2. 절단헤드의 바이트

본 논문에서는 바이트의 형상을 원통형으로 설계 및

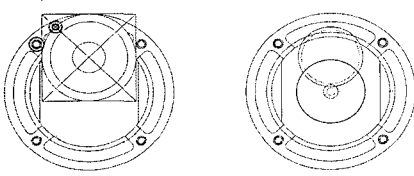


Fig. 4-1. Front view of cutting head.

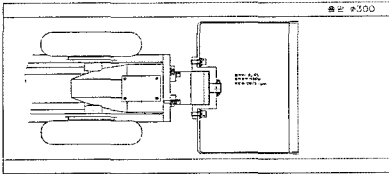


Fig. 4-2. Plane figure of cutting head that loading bite.

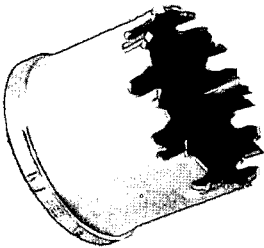


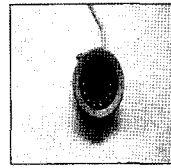
Fig. 4-3. Image of manufactured bite.

제작 하였다. 원통형 바이트는 흡관 부위의 어느 한쪽에 위치에 흡관을 조금씩 깎아서 없애는 방법을 떠나 흡관 자체를 한번에 돌출된 관로상의 가장 안쪽으로부터 한번에 절단하는 형식을 취하였다. 작업 전 절단헤드에 관로 직경에 맞는 적당한 바이트를 장착하여 관로상을 주행하면서 흡관이 바이트에 닿으면 절단헤드를 컨트롤하여 바이트를 관로상에 돌출된 흡관 안쪽으로부터 고정에 바이트를 구동시키면 흡관 자체를 한번에 절단할 수 있다. 이로 인해 작업시간을 줄이고 한번에 많은 작업을 수행할 수 있게 하였다. 원통형 바이트는 바이트 끝 부분이 띠톱 형태로 되어 있으며, 바이트로 흡관을 절단한 후 제거된 흡관을 로봇에 장착한 절단물 제거기에 떨어지게 하여 제거한다.

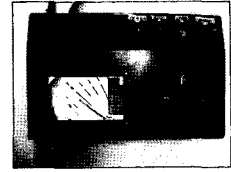
5. 하수관 검사시스템

5-1. 검사시스템

하수관 검사/보수 로봇의 주된 역할은 하수관의 상태를 빠른 시간 내에 조사하고 이에 대한 상세한 자료를 생산하는 데 있다. 즉, 하수관에 투입된 로봇은 지



(a) CCD camera



(b) Control box

Fig. 5. Composition of inspection system.

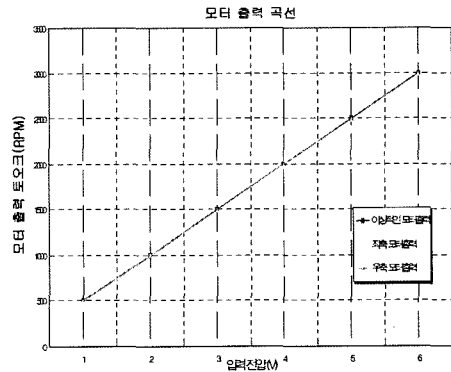


Fig. 6-1. Right and left side motor output by input voltage.

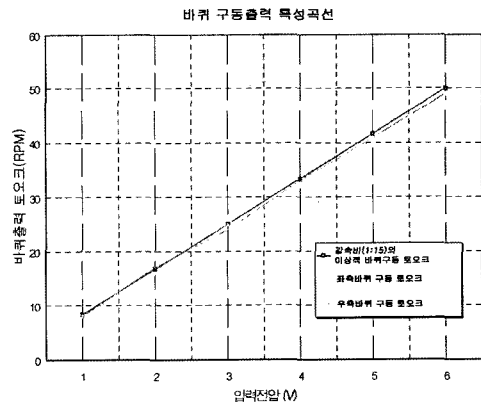


Fig. 6-2. Right and left side wheel output by input voltage.

관 등이 나타나더라도 이를 제거하고 전진하면서 하수관의 상태를 시각장치를 활용하여 연속적으로 촬영한다. 또한 조사된 자료를 근거로 보수하는 역할도 가진다. 따라서 가장 중요한 것은 검사 작업 시에 가능한 한 정밀한 데이터를 얻는 일이다. 로봇의 장착된 카메라를 이용하여 작업시에 시각장치를 통해서 운전자는 하수관의 상태를 실시간으로 파악하고 영상 데이터를 지속 혹은 간헐적으로 저장할 수 있다.

6. 구동모터의 성능실험

6-1. 구동모터의 제어성능 실험

구동 모터의 동작 순서는 로봇 제어반의 DA출력을 통해 모터 드라이브로 구동명령을 주는 것이다. 따라서 오픈루프 제어 설정 상에서 전압과 모터출력 그리고 웜기어(15:1)의 기어비에 의한 바퀴 출력의 관계를 실험으로 살펴보았다. Fig. 6-1은 입력전압과 모터 출력의 관계를 나타낸 그림이고, Fig. 6-2은 입력전압과 바퀴출력의 관계를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 입력과 출력의 관계가 선형임을 알 수 있었다.

7. 결 론

본 연구에서 개발된 하수관로 검사 및 연결 돌출부 절단용 로봇은 기존에 있던 하수관로 로봇의 단점을 보완하고 새로운 기능을 추가하여 작업성능과 효율적인 작업을 할 수 있었다.

1. 절단헤드의 구조적 문제점으로 인하여 과부하시 구동모터가 손상되는 문제점을 절단헤드의 자유도를 없애고 원통형의 바이트를 장착함으로써 한번의 작업으로 휴관을 제거해 모터의 과부하를 방지하였다.

2. 휴관 절단 시에 절단헤드에 받는 부하로 인하여 수평 및 센터 잡기가 불안정 요소를 고정유닛의 개발을 통해 수평 및 센터잡기를 하여 작업 중에 받는 불안정한 진동이나 백래쉬를 해결하였다.

3. 절단헤드의 자유도 및 구조적 문제로 절단직경의 한계가 있었으나 이 문제도 역시 자유도를 없앤 절단헤드와 원통형 바이트로 인하여 절단직경의 한계를 없애고 원활한 작업이 이루어 질 수 있도록 하였다.

후 기

본 연구는 조선대학교 학술연구비 지원에 의해서 연구되었음.

참고 문헌

1. Matthias Hartrumpf and Roland Munser, "Optical three-dimensional measurements by radially symmetric structured light projection," *Applied Optics*, Vol. 36, No. 13, pp. 2923-928, 1997.
2. "CSIRO Annual Report," Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia, 1994-95.
3. G. Campbell, K. Rogers and J. Gilbert, "PIRAT-A system for quantitative sewer assessment," International No-Dig '95 Conference Documentation, Dresden, September 1995.
4. H.B. Kuntze, D. Schmidt, H. Haffner and M. Loh, "KARO-A flexible robot for smart sensor-based sewer inspection," International No-Dig '95 Conference Documentation, Dresden, September 1995.
5. "Specializing in sewer maintenance information management software and TV inspection equipment," Cobra Technologies.
6. "KANTOOL PRODUCTS 카탈로그," 주식회사 KANTOOL, pp. 50-77.
7. "관내 검사용 카메라 시스템 종합 카탈로그," 주식회사 Q·I, pp. 3-14.
8. "An investigation into the feasibility of adaptive, autonomous, cooperating robot platforms for the inspection and maintenance of municipal sewerage systems," GMD German National Research Center.
9. "KA-TE : High-Tech Sewer Rehabilitation".