[UCI]I804:24011-200000233278

2006年 2月

碩士學位論文

下水管路 檢査 및 連結 突出部 切斷用 로봇 開發

朝鮮大學校 大學院

精密機械共學科

金 友 珍

下水管路 檢査 및 戀結 突出部 切斷用 로봇 開發

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

2006年　2月　24日

朝鮮大學校 大學院

精密機械共學科

金 友 珍

下水管路 檢査 및 戀結 突出部 切斷用 로봇 開發

指導敎授　金 在 烈

이 論文을 工學碩士學位 申請 論文으로 提出함.

2005年　10月

朝鮮大學校 大學院

精密機械共學科

金 友 珍

金友珍의 碩士學位 論文을 認准함.

委員長　朝鮮大學校 敎授 沈 在 基

委員　朝鮮大學校 敎授 金 永 奭

委員　朝鮮大學校 敎授 金 在 烈

2005年　11月　30日

朝鮮大學校大學院

목 차

LIST OF FIGURES ····· iii
LIST OF TABLE ····· vi
NOMENCLATURE ····· viii
ABSTRACT ····· ix

제 *1* 장 서 론 ····· 1

제 1 절 연구배경 및 필요성 ····· 1
제 2 절 연구현황 ····· 3
제 3 절 연구목적 및 방법 ····· 12

제 *2* 장 검사시스템 및 로봇의 개발 ····· 13

제 1 절 로봇의 제작 ····· 13
1. 로봇의 설계 ····· 13
2. 로봇의 하드웨어 구성 ····· 15
가. 본체 ····· 15
나. 고정유닛 ····· 21
다. 절단 헤드부 ····· 25
라. 검사시스템 ····· 29
마. 제어부 ····· 31

제 *3* 장 주행 및 모터의 성능실험 ····· 35

제 1 절 로봇의 주행 시뮬레이션 ····· 35
1. 로봇의 이동부 시스템 모델링 ····· 35
2. 추종모델구성에 의한 로봇의 적응 백스텝핑 제어 ····· 39
3. 백스텝핑 제어에 의한 로봇의 주행시뮬레이션 ····· 40
제 2 절 구동모터의 성능실험 ····· 44
1. 오픈루프 제어상의 모터 성능실험 ····· 44
2. 폐루프 제어상의 모터 성능실험 ····· 46

제 *4* 장 로봇의 현장실험 ····· 48

1. 실험 과정 ····· 48
2. 실험결과 및 보완점 ····· 50

제 *5* 장 결 론 ····· 53

Reference ····· 54

부 록

LIST OF FIGURES

Fig. 1-1 Actual conditions of sewage pipe ····· 1
Fig. 1-2 PIRAT robot ····· 4
Fig. 1-3 KARO robot ····· 4
Fig. 1-4 COBRA robot ····· 5
Fig. 1-5 Gantry system mounting figure ····· 5
Fig. 1-6 COBRA software performance ····· 5
Fig. 1-7 KURT Robot ····· 6
Fig. 1-8 KANTOOL Robot ····· 7
Fig. 1-9 VCH561-RB of VArious kinds ····· 7
Fig. 1-10 VCH561-RB ····· 8
Fig. 1-11 CCV-150S ····· 8
Fig. 1-12 Q • I Robot ····· 8
Fig. 1-13 HKS300 ····· 9
Fig. 1-14 HCC450 ····· 9
Fig. 1-15 KANTOOL Robot ····· 10
Fig. 1-16 K-TE Robot ····· 11
Fig. 2-1 schematic diagram of robot system ····· 14
Fig. 2-2 Image of body ····· 15
Fig. 2-3 Shaft and gear ····· 18
Fig. 2-4 Front view of body ····· 19
Fig. 2-5 A view of robot that is manufactured for stability security ····· 20
Fig. 2-6 A view of fixing unit ····· 22
Fig. 2-7 Driving source of fixing unit(Air cylinder) ····· 24

Fig. 2-8 Front view of cutting head ····· 26
Fig. 2-9 Image of manufactured cutting head ····· 27
Fig. 2-10 Plane view of cutting head that loading bite ····· 28
Fig. 2-11 Image of manufactured bite ····· 28
Fig. 2-12 CCD camera ····· 30
Fig. 2-13 The Sequence of Cutting Robot for projecting part at Sewage pipe channel connection ····· 31
Fig. 2-14 A front view of control box ····· 33
Fig. 2-15 Inner image of control box ····· 34
Fig. 3-1 Position coordinate system of robot ····· 36
Fig. 3-2 Interrelation of $e_{y^{\cdot}}$ and e_{θ} ····· 38
Fig. 3-3 Moving point P_0 is result that follow standard trajectory x_{ref}, y_{ref} ····· 41
Fig. 3-4 Distance variable error of velocity coordinate system for standard trajectory distance ····· 41
Fig. 3-5 Angle variable error of velocity coordinate system for standard trajectory distance ····· 42
Fig. 3-6 Distance error of fixing coordinate system for standard trajectory distance ····· 42
Fig. 3-7 Conclusion result about standard linear velocity ····· 43
Fig. 3-8 Conclusion result about standard angular velocity ····· 43
Fig. 3-9 Motor drive wiring diagram at open loop control ····· 44
Fig. 3-10 Right and left side motor output by input voltage ····· 45
Fig. 3-11 Right and left side wheel output by input voltage ····· 45
Fig. 3-12 Motor drive wiring diagram at closed loop control ····· 46
Fig. 3-13 Right and left side motor output by input voltage ····· 47

Fig. 3-14 Right and left side wheel output by input voltage ····· 47
Fig. 4-1 PVC pipe parallel for diameter 400mm ····· 49
Fig. 4-2 Experiment process ····· 49
Fig. 4-3 Cutting head that produce as left, right change of base is possible ·
····· 51

LIST OF TABLE

Table 2-1 Specifications of servo motor and gearhead ····· 17
Table 2-2 Specifications of air cylinder ····· 24
Table 2-3 Specifications of cutting motor ····· 25
Table 2-4 Specifications of camera ····· 30
Table 3-1 Parameter of robot system ····· 40
Table 4-1 Specifications of cutting motor ····· 51

NOMENCLATURE

CCD	: Charge coupled device
f	: Frequency
G	: Warm gear ratio
N	: Rotative velocity
Ns	: Synchronous rotative velocity
P	: Position coordinates vector
P_r	: Standard position
Q_1	: The forces of moving front or rear($l$pm)
RY	: Relay
SMPS	: Switching mode power supply
SOL	: Solenoid
t	: Time
G	: Warm gear ratio
T	: Sampling cycle
T_c	: Succession matrixes
w	: Steering angular velocity
ν	: Movement liner velocity
v	: Control input vector
v_d	: Velocity controlled input
ν_{ref}	: A standard velocity
ω	: Swivelling angle velocity
l_x	: The X-axis motion coordinate system
l_y	: The Y-axis motion coordinate system

$e_{x'}$: Driving direction error

$e_{y'}$: A vertical side directional error to $e_{x'}$

e_{Θ} : An angle of direction at error

e_P : Flowing error vector

θ : Perpendicular inertia reference system

ABSTRACT

The development of Cutting Robot for Projection Part at Sewage Pipe Channel Connection

Kim Woo-jin

Advisor : Prof. Kim Jae-yeol Ph.D.

Dept of Precision Mechanical Engineering,

Graduate School of Chosun University

The city water and sewage pipelines that had been installed tens of years ago make big problems more seriously for the nation these days for the sanitation and flood measures in the viewpoint of environment and health as the country is developed into industrialized society and the population is concentrated into cities.

Reviewing the reality of the city water and sewage pipelines buried nationwide, tens-of-years old pipes are more than some kilometers long, which have been piled up with dregs and garbage, more than half of them have been clogged up to cause the water contamination, decayed malodor and various harmful insects in there, so it is really a big problem for national sanitation, and all of

us know the actuality how much financial damage is given to the people and to the country because of the traffic jam and submerged areas when the sewage lines are clogged up when it is heavily raining.

Reverse flow or clogging of sewage makes as of the interception of sewage flows by the corrosion or partial crack and sinking of sewage pipelines another big problem while the garbage treatment in sewage has become compulsory in these days. The maintenance and repair of sewage lines is a task that should be accomplished, therefore, for the preservation of clean environment. In order to repair the sewage lines, the rusted or cracked parts must be cut off and replaced with reinforcement. But the sewage lines are buried underground and so it is not possible for workers to get inside the pipes.

As the license can not be granted from the local Authority because the breakage of sewage lines or projection of other small channels into the sewage lines are classified as warranty, it is required to develop robots that can repair these defects without digging he ground. The robots will be produced with both cutting tools and grinding tools in it, so the repair time can be significantly reduced as the tool position can be changed freely according to the repair works. Conventional digging repair work has caused many problems such as traffic obstruction, malodor by sewage, noise pollution,

reduction of pavement lifetime, damage to underground installations, in the national circumstance that the sewage lines need continuous repair, but the cost will be drastically reduced as well as the traffic jam and dust can be prevented when these robots are practically used to replace the conventional digging work.

제1장 서 론

제 1 절 연구배경 및 필요성

산업현장에 쓰이는 각종 수도관, 송유관, 도수로, 하수관등에 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 작업등에 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%), 타관통과(2.8%), 토사퇴적 및 기타 장애(18.0%)로 나타나고 있으며, 환경부 발표 자료에 따르면 전국 평균 7m 간격으로 관의 결함이 있는 것으로 나타났다.[21]

(a)A water leak(b) (b)An accumulation (c)Other pipe transit (d)Pipe sinking

(e)Projection part at sewage pipe channel connection

Fig. 1-1 Actual conditions of sewage pipe

이러한 하수관의 노후나 파손으로 인한 누수의 위험을 사전에 검사하여 적절한 조취를 취해야 할 것이다. Fig. 1-1은 현재의 하수관 실태와 준설 작업 후 돌출 되어 있는 관들을 보여주고 있다.

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.

제 2 절 연구현황

현재 국내 산·학·연의 여러 기관에서 산업용 부품의 제조, 이송, 검사 작업에 사용하기 위한 이동 로봇의 개발이 비교적 활발히 진행하고 있으나, 지하에 매설된 각종 도관(하수관, 상수관, 가스관 등)의 검사 또는 보수 작업에 사용될 수 있는 이동 로봇의 연구 사례는 찾아보기 어렵다. 최근에 환경오염문제가 사회적 문제로 대두됨에 따라 지하에 매설된 하수관의 원격 검사를 위한 특수 로봇의 개발이 관심을 끌고 있으나 특기할 만한 연구는 진행되고 있지 않으며, 특히 하수관의 보수 작업을 수행하기 위해 고하중의 공구를 취급할 수 있는 이동 로봇의 연구는 전혀 수행되고 있지 않다.

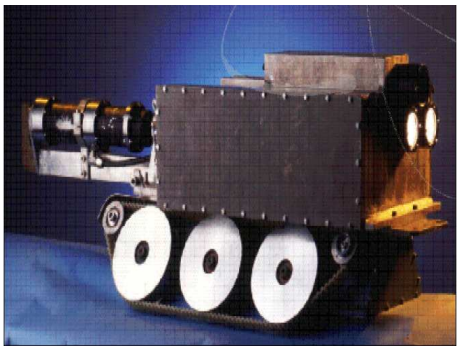
이에 반하여 스위스 및 프랑스를 중심으로 미국, 일본, 영국 등지에서는 대략 8~9년 전부터 하수관 파손으로 인한 지하수의 오염 문제를 해결하기 위하여 하수관의 파손 부위를 검사/보수할 수 있는 고기능의 이동 로봇을 개발하여 사용하고 있으며, 이에 대한 개발 현황은 다음과 같다.

1. 하수관 검사 로봇

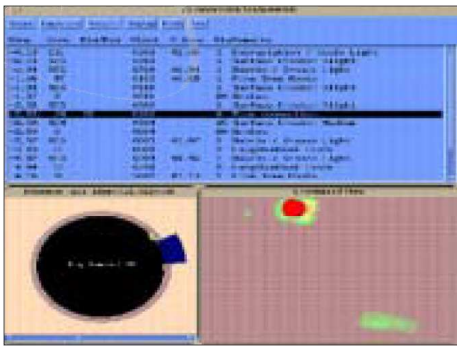
가. 호주

(1) PIRAT[(2)~(3)]

CSIRO와 Melbourne Water에서 공동으로 개발한 PIRAT 로봇은 Fig. 1-2에서 보는 바와 같이 몸체 전단에 하수관 내부형상 정보 제공을 위한 고화질 CCTV와 2개의 조명장치, 몸체 하단에 주행을 위한 6개의 기울어진 바퀴, 그리고 후단에 관내 형상 측정 장치로 구성 된다. 관내 형상 측정 장치는 LASER(저유량관) 센서나 SONAR(다유량관) 센서를 관의 반경 방향으로 회전시켜 스캔된 거리 정보를 이용하여 이상 구간의 데이터 베이스를 구축한다. 검사 속도는 대략 100 mm/s이다.



(a) External of PIRAT



(b) Inspection result

Fig. 1-2 PIRAT Robot

나. 독일

(1) KARO[4]

Fraunhofer와 Datenverarbeitung가 공동으로 개발한 KARO 로봇은 Fig. 1-3에서 보는 바와 같이 하수관의 결함을 검사하기 위해 다중센서(3-D optical sensor, ultrasonic sensor, microwave sensor)를 이용하고, 이 신호들을 fuzzy 알고리즘을 이용하여 하수관의 결함 유무를 결정한다.

(a) External of PIRAT

(b) Inspection result

Fig. 1-3 KARO Robot

(2) COBRA[5]

COBRA 로봇은 Fig. 1-4에서 보는 바와 같이 6″~24″(150~600 mm), 8″~96″(200~2500 mm)등 관의 크기에 따라 여러 종류가 있다 로봇은 좌우 270°와 상하 360°회전 가능한 카메라와 50W(6″~24″ 관용), 100W(8″~6″ 관용)의 조명으로 구성된 검사 장치, 감속 기어와 자동 클러치가 장착된 DC 기어 모터, 앞과 뒤 바퀴 사이의 동력을 전달하는 원형 고무벨트, 4개의 바퀴로 구성되어 있다. 그리고 큰 관에서는 gantry system(Fig. 2-4)을 이용하여 검사장치가 관 중심에 위치하게 한다. 검사 장치로부터 얻어진 하수관 영상 정보는 Fig. 1-6에서 보는바와 같이 소프트웨어를 이용하여 관리 및 처리되어 데이터베이스화된다.

(a) COBRA for 6″~24″

(b) 8″~6″ COBRA for 8″~6″

Fig. 1-4 COBRA Robot

Fig. 1-5 Gantry System Mounting Figure

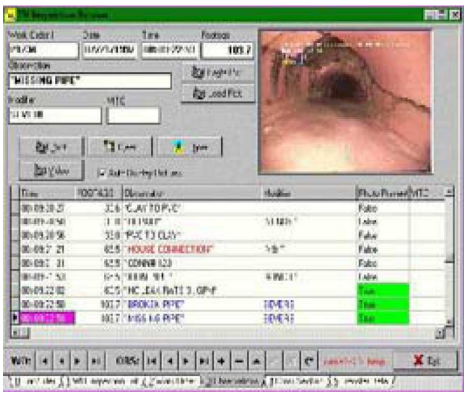


Fig. 1-6 COBRA Software Performance

(3) KURT[8]

LAOKOON와 IPT가 공동으로 개발 중인 KURT 로봇은 Fig. 1-7에서 보는바와 같이 2개의 DC 모터를 이용하여 6 개의 바퀴를 구동하고 경사계를 이용하여 수평 각도를 측정하여 전복 방지에 이용하고 4개의 초음파 센서를 이용하여 근접거리의 물체와 교차로를 검출한다. 로봇 자체에 제어장치를 탑재하였다.

(a) Interior of KURT

(b) Exterior of KURT

Fig. 1-7 KURT Robot

다. 일본

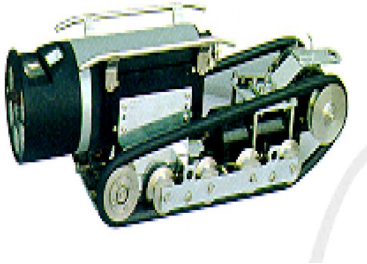
(1)KANTOOL[6]

KANTOOL 로봇은 Color TV camera 시스템 및 다양한 관 크기 200~800mm의 모양(원형 및 계란형)에 맞게 설계된 주행 시스템(M15H4, M204L3, M205H4, M205L3, MD202, KH150, KH250, KH350 등)의 두 가지 시스템으로 구성된다. VCH-561RB는 직시(直視)와 측시(側視)용 카메라로 구성되어 있고, 무한 회전 2 기압 방수 자동 초점 조정 기능이 있다. VCH-561RBX는 상하 회전과 좌우회전을 이용하여 모든 부분의 관찰이 가능하고, 특히 라이닝 후 취부관의 천공에 최적이다. VCH-562RB는 소형관 검사용이다. 이동시스템은 Fig. 1-11에서 보는 바와 같이 무한궤도형이고 벨트를 이용하여 동력을 전달하며, 후단의 스프라켓을 전기모터DC-24V로 구동한다. Fig. 1-9는 VCH561-RB에 여러 종류의 바퀴를 결합한 것을 나타낸 것이다.

(a) VCH-561RB

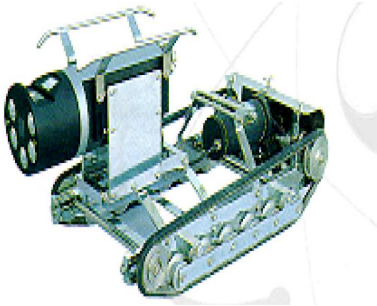
(b) VCH-561RBX

Fig. 1-8 KANTOOL Robot

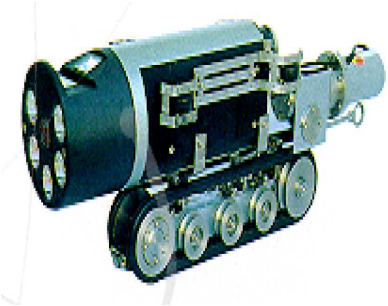


(a) CCV-2R(250～500 mm)

(b) CCV-2030R(200～300 mm)



(c) CCV-6080R(600～800 mm)



(d) CCV-25ES (250 mm 계란형)

Fig. 1-9 VCH561-RB of Various Kinds

Fig. 1-10 VCH-562RB

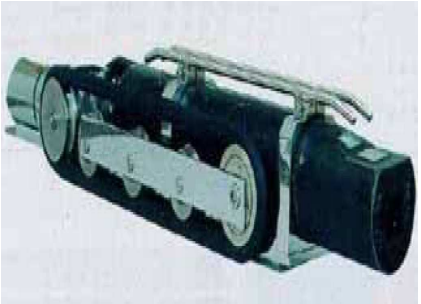


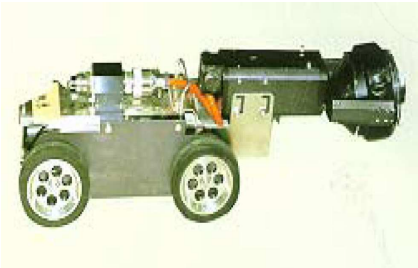
Fig. 1-11 CCV-150S(150 mm)

(2) Q · I[7]

TKC-7700는 상하 270도, 좌우 360도 회전하고, 원점 복귀 기능을 가지고 있어서 관내 영상에 사각이 없고 3차원 영상을 출력한다. 이외에 TKC-7800, TKC-3200과 4륜형 자주차, 측면검사 궤도형 자주차, 하수도 간선조사용 소구경 자주차 등의 여러 가지가 있다.

(a) TKC-7700

(b) KC-7800(150～600 mm)



(C) 4WD Mobile(300mm and less)

(D) Small Caliber (125～200mm)

Fig. 1-12 Q·I Robot

2. 하수관 보수 로봇

가. 일본

(1) HOKURYO

HKS300은 Fig. 1-13에서 보는바와 같이 250～350mm의 관에서 이동 가능하며 전방에는 유압으로 구동되는 회전 커터를 이용하여 관내의 퇴적물을 제거하고, 몸체에는 공구와 4개의 바퀴를 구동하기위한 유압모터와 제어기로 구성 되어있다.

Fig. 1-13 HKS300(250～350 mm)

HCC450은 Fig. 1-14에서 보는 바와 같이 250～450 mm의 관내에서 이동가능하며 전방에는 초소형 카메라와 드라이버형 공구를 회전하여 전방장애물을 제거하고 그 뒤에는 몸체와 스파이크를 부착한 전륜 구동 방식인 8개의 바퀴를 이용하여 주행한다.

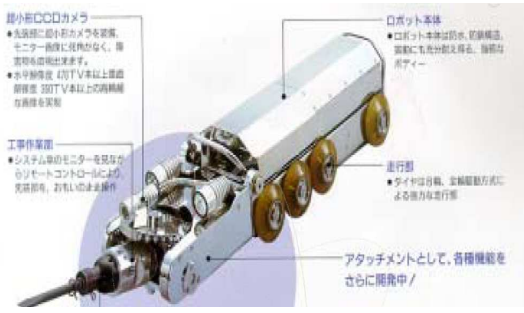
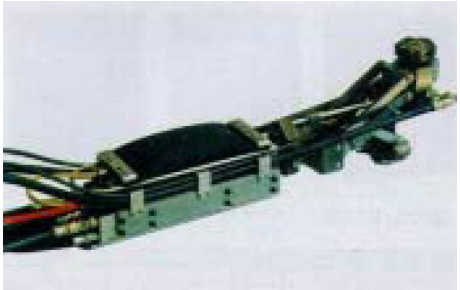


Fig. 1-14 HCC450(250～450 mm)

(2) KANTOOL[6]

Fig. 1-15의 KT200과 KT250은 200~450mm의 관에서 주행 가능하며 전방의 유압 모터를 이용하여 천공기를 구동하고, 이 천공기는 링크와 유압실린더를 이용하여 상하로 이동되며, 그 뒤에는 몸체와 지지용 공기주머니가 있다. 천공기를 이용하여 천공 작업, 지관 제거, 모르타르 제거 등을 할 수 있다.



(a) Exterior of KT-200(200mm)

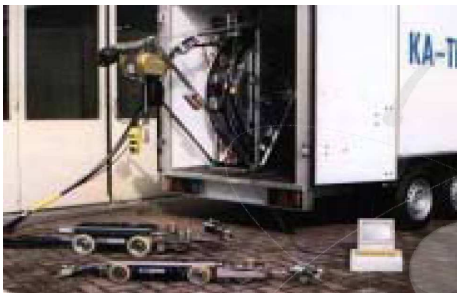
(b) Exterior of KT-250(250~450mm)

Fig. 1-15 KANTOOL Robot

나. 스위스

(2) KA-TE[9][10]

Fig. 1-15의 KA-TE 로봇은 유압 모터를 이용하여 바퀴와 공구를 회전하여 작업한다. 전방에는 공구 작업을 감시하기 위한 카메라와 조명 장치가 있다. 그리고 그 뒤에는 유압모터로 구동되는 공구와 공구를 상하로 이동하는 유압실린더가 있다. 몸체에는 각종제어장치 작업 중 몸체를 지지하기 위한 유압실린더 바퀴구동용 유압모터와 기어박스 공구를 좌우로 회전시키는 전기 모터와 전방에 유압과 전기라인을 연결하기 위한 슬립 커넥터 등으로 구성되어 있다.



(a) KA-TE Robot (300, 450 mm)

(b) Removal work of Geomancer

Fig. 1-16 KA-TE Robot

제 3 절 연구목적 및 방법

본 연구에서는 기존의 하수관로 장치로봇이 가지고 있는 단점들을 보완하고 국내 하수관 환경에 맞는 새로운 모델의 하수관로 검사 및 연결돌출부 절단용 로봇을 개발하는 것이다. 이러한 연구 목표를 달성하기위해 7단계로 나누어서 하였으며, 연구수행 내용은 다음과 같다.

1. 하수관 검사와 보수 작업을 병행하여 수행할 수 있는 검사 및 연결돌출부 절단용 로봇을 개발한다.

2. 기존 시스템의 문제점인 절단헤드의 구조적 문제로 나타나는 바이트 잠김 현상 해결 및 새로운 원통형 바이트를 개발한다.

3. 작업 시 받는 진동이나 백래쉬 등의 문제점 해결방안을 모색한다, 작업 시 로봇을 지지할 수 있는 고정유닛을 개발한다.

4. 절단헤드 모터와 고정지지부에 로드셀을 설치하여 하중 및 과부하로 인한 전압의 변화에 따른 감속제어시스템 개발을 한다.

5. 하수관로 검사나 작업시 하수관로 실태 및 작업상황을 모니터할 수 있는 검사 시스템을 개발한다.

6. 기존 시스템의 문제점인 절단직경의 한계를 해결할 수 있는 새로운 절단헤드부를 개발한다.

7. 개발된 로봇의 주행 및 모터성능과 현장적용 실험을 실시하여 로봇의 성능을 테스트한다.

제2장 검사시스템 및 로봇의 개발

제 1 절 로봇의 제작

1. 로봇의 설계

이동 로봇은 직경 300～400mm이하의 직선의 하수관로에서 작업을 목적으로 하기 때문에 바퀴는 일반 차량의 바퀴처럼 간단한 구조로 설계하였으며 절단헤드는 기구학적 설계를 하여 연결 돌출부가 하수관내 어느 위치에 있더라도 절삭헤드가 돌출부를 정확히 제거할 수 있도록 설계하였다.

또한, 고정 유닛은 로봇의 구조적 문제로 본체 내부에 장착하기에는 어려움이 있어 로봇이 관로상 중앙에 위치하여 절단헤드가 정확한 위치에서 작업을 할 수 있고, 원활한 동작을 위하여 배관의 중앙에 위치 할 수 있는 로봇의 상단에 부착하여 차체고정이 수월하게 설계하였다. 그리고 고정유닛은 견고하고, 유연성 있게 설계하였으며 이는 로봇의 견고한 고정으로 안정된 절단 작업을 할 수 있다. 로봇의 구동은 본체를 구동하는 본체 구동모터와 절단헤드를 구동하는 모터, 작업 시 절단할 흄관과 접촉 시 감속하는 감속기와 고정유닛의 동작을 위한 에어실린더로 이루어져 있다. 로봇의 크기는 800(L)×300(H)×300(W) 이고 무게는 바이트와 고정유닛의 장착 시 45kg의 무게로 일반 PVC관 절단 시 고정유닛의 구동이 없이도 작업이 가능도록 설계하였다.

본 로봇은 작업 전 기존의 하수관로 보수공사나 준설작업, 기존의 하수관 로봇이 작업할 시에도 마찬가지로 미리 관로를 CCD(charge coupled device) 카메라가 장착된 본 로봇으로 내부의 사전조사를 끝낸 후 관로의 직경에 맞추어 로봇의 바퀴와 바이트의 Seting을 관로 밖에서 관로 내부의 환경에 맞게 자유로이 교체하여 작업을 수행할 수 있게 설계하였다. 그리고 컨트롤러에는 AC 220 V 및 DC 12V 의 전원공급이 가능하고, 두개의 릴레이 부착으로 절삭헤드 본체를 좌·우의 방향 제어가 가능하며, 로드셀

감지에 의한 가·감속 스위치 및 고정유닛 버튼, 절삭 유닛 스위치, 방향 제어 및 절삭 헤드부의 좌·우 회전 제어가 가능한 조이스틱 스위치로 누구나 구동할 수 있도록 설계하였다. Fig. 2-1은 로봇 시스템의 전체적인 모습을 보여주고 있다.

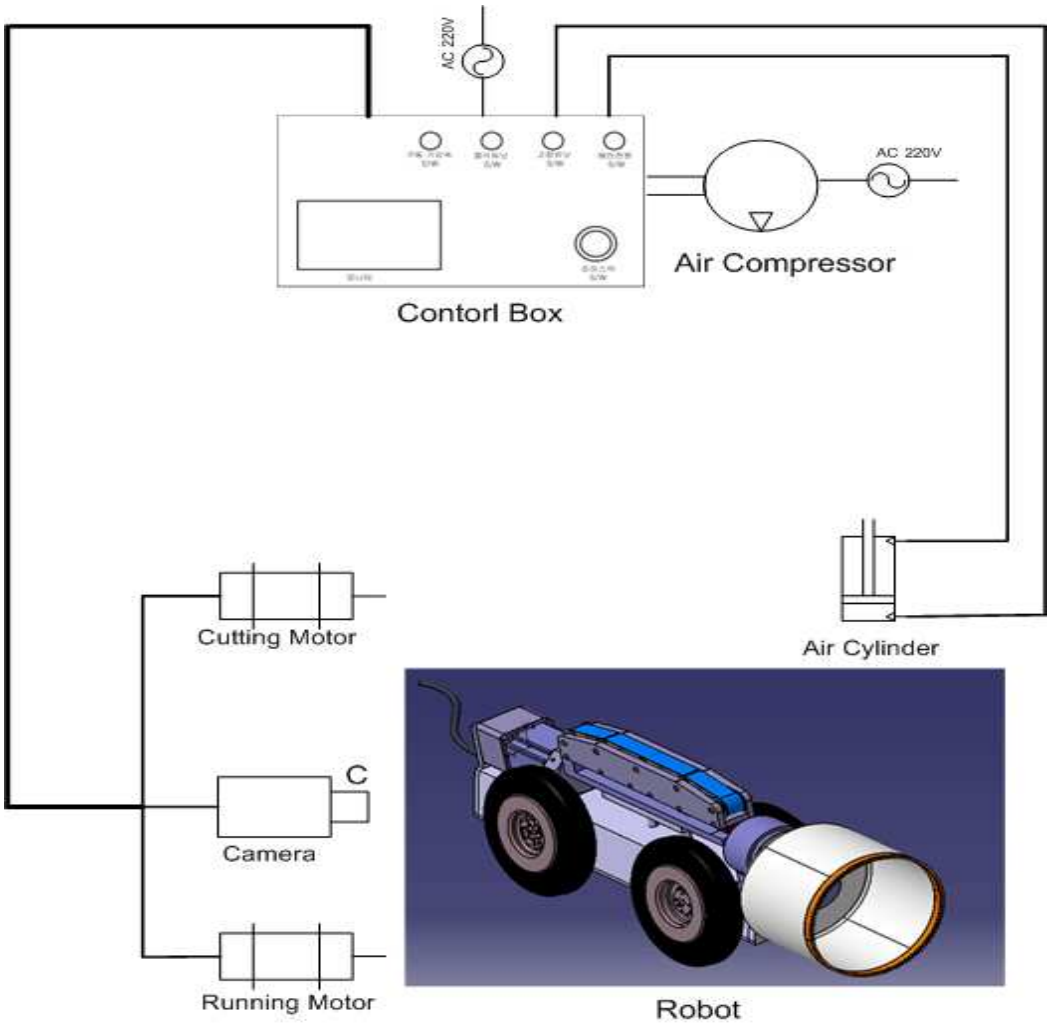


Fig. 2-1 schematic diagram of robot system

2. 로봇의 하드웨어 구성

가. 본체

(1) 본체의 재질 및 구성

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 크기와 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. 본체구성은 본체를 구동할 수 있는 구동모터와 감속기, 구동부의 마찰을 최소화할 수 있는 8개의 볼베어링 8개의 슬라이딩 베어링, 동력을 전달하는 샤프트와 기어, 고정유닛과 절단헤드를 부착할 수 있는 지지대와 바퀴 등으로 구성되어 있다. Fig. 2-2는 제작된 본체이다.

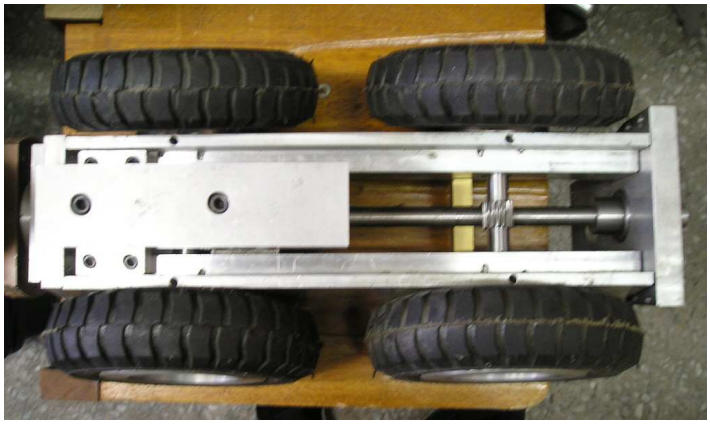


Fig. 2-2 Image of body

(2) 구동모터 및 감속기 선정

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)

$$T_L = J\alpha$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t_a} \tag{2}$$

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})

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

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 150mm 길이 86mm, 정격 전압은 AC 220V, 정격출력은 100W로 된 AC서보모터를 선정하였으며, 감속기(Gearhead)는 1:15의 감속비를 갖는 것을 선정 하였다. Table 2-1은 로봇에 사용된 구동 모터 및 감소기의 자세한 사양이다.

Table 2-1 Specifications of servo motor and gearhead

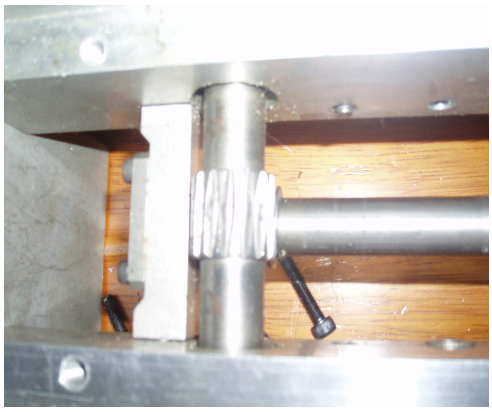
Motor and Gearhed	Specifications	
Servo Motor	Nominal voltage	220V
	Output Power	150W
	Maximum Current	0.54A
	Maximum speed	5000rpm
	Start torque	320mNm
	Diameter	90mm
Gearhead	Reduction Ratio	15:1
	Length Without Motor	61mm
	Length With Motor	274mm
	efficiency	70%

(3) 동력 전달 장치

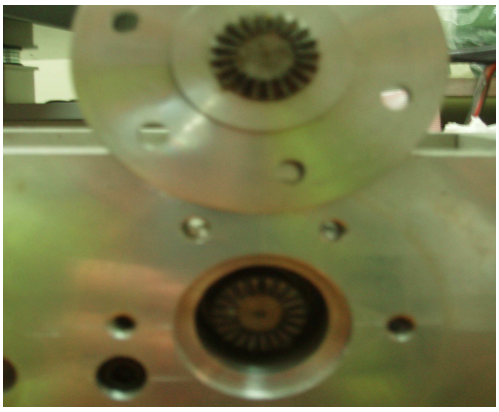
동력 전달 장치 중 기어는 바퀴의 최대 전진 속도가 0.3m/s가 되도록 하기 위해서는 바퀴의 지름은 150mm이므로 감속 기어비는 15:1이 필요로 하였다. 이를 위해 주축인 샤프트에 2줄 웜 나사선을 내었으며 바퀴의 구동축에 32의 잇수의 웜 기어를 이용하여 감속 기어비가 15:1을 만족하도록 설계 및 제작하였다.

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. 2-3은 본체의 동력전달 장치인 샤프트와 디퍼런셜 기어이다.



(a)A shaft of body



(b)Differential gear of wheel shaft

Fig. 2-3 Shaft and gear

(4) 바퀴 축

관로상 원활하고 안정된 주행을 위해 본체의 바퀴 부분에 11도의 경사를 주어 안정된 주행과 작업을 수행 할 수 있게 하였으며, 바퀴는 일반 타이어를 사용하였다.

기존의 하수관 로봇은 고정된 유닛으로 관로의 직경과 상관없이 관로 작업 시에는 항상 같은 크기의 유닛으로 헤드 부분을 컨트롤하여 돌출부위를 절삭하는 형식을 취하였다. 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.

Fig. 2-4은 하수관의 직경에 따른 본체의 정면도이고, Fig. 2-5는 안정성 확보를 위해 제작된 로봇의 전·후면이다.

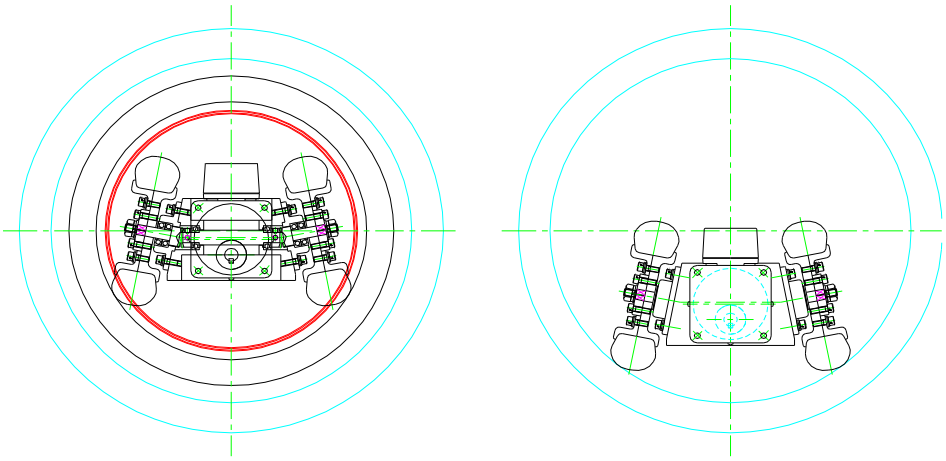
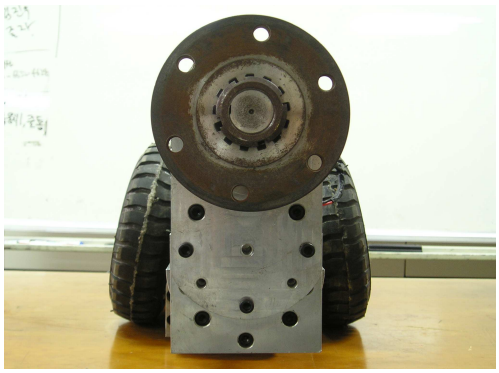
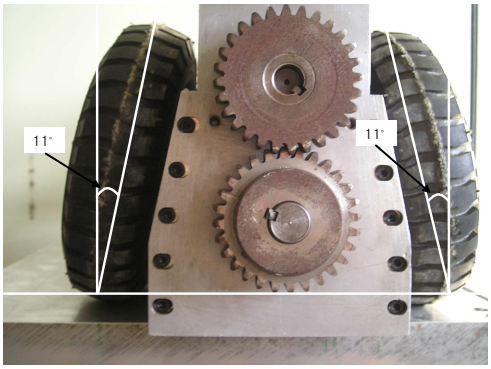


Fig. 2-4 Front view of body



(a)Front view



(b)Rear view

Fig. 2-5 A view of robot that is manufactured for stability security

관로를 매끄럽게 주행시키기 위해 Fig. 2-5에서 보이는 것과 같이 일반 타이어와 같은 바퀴로 설계하여 관로에 따라 안정성을 주기 위해 교체가 가능하도록 하였다.

이와 같이 하수관로 로봇의 본체는 직경 300~400mm 이하의 관로의 검사나 작업시에 하수관로 이동이 원활하고, 고정유닛과 절단헤드의 하중을 충분히 견딜 수 있도록 견고하게 설계되었고, 하수관로에서 안정되게 주행 또는 작업을 할 수 있도록 사전 조사 후 알맞은 크기의 바퀴로 탈·장착이 가능하게 하였다. 또한 본체의 바퀴축은 본체 상단에 장착하는 고정유닛과 함께 삼각형 꼴의 형태를 이루어 안정감을 주기 위해 11도의 경사를 주어 로봇의 고정에 더욱 안정성 있게 작업을 수행할 수 있게 하였다.

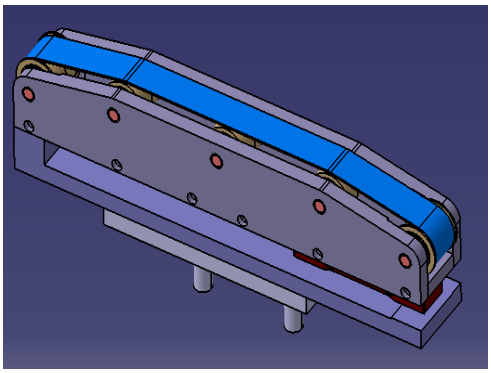
나. 고정유닛

(1) 지지부

하수관로 연결돌출부 절단 작업을 할 때 로봇이 돌출 부위를 절단 시 백래쉬와 진동 등으로 인해서 작업시간이 지연되고 돌출부위를 매끄럽게 절단하지 못해 바이트 잠김과 같이 로봇에 무리가 생겼다. 로봇이 돌출부위 위치에서 정확한 포지션을 가지고 절단한다고 해도 바이트의 회전과 마찰로 인한 많은 진동과 밀림현상이 수반되어 절단부위에서 바이트가 자주 벗어나므로 절삭헤드의 모터에 과부하가 일어나 구동모터의 손상의 원인이 되고, 바이트 잠김 현상을 야기 시킬 수 있다. 그리고 백래쉬로 인해 벗어난 바이트를 다시 고정하는데 많은 시간이 걸리기 때문에 능률적인 작업을 수행하기가 힘들다. 따라서 작업의 성능 및 효율을 높이고 구동모터의 과부하와 밀림현상을 방지하기 위해 로봇이 안정되고 원활하게 작업이 이루어질 수 있게 할 수 있는 고정유닛이 필요로 하였다.

본 연구에서는 이러한 문제점의 대안으로 고정유닛을 통해 백래쉬와 진동을 억제하고 작업 효율을 높이고자 하였다. 기존의 하수관로 로봇에 대한 보완으로 많은 형태의 지지대가 개발되어지고 있다. 그러나 작업 시 진동이나 하중을 충분히 지지할 수 있는 유닛을 개발하는 것은 상당히 어려운 일이다.

본 연구에서는 고정유닛을 본체의 상단에 장착하여 로봇을 고정할 수 있게 고안하였다. 고정유닛의 형태는 무한궤도 차륜의 형태로 하였고, 작업 포지션에 로봇이 도착하면 관로상의 위쪽으로 고정유닛이 올라가 바퀴와 함께 삼각형의 형태로 관로에서 로봇을 고정하여 작업을 수행 할 수 있게 하였다. 무한궤도 차륜의 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. 2-6은 3D모델링과 실제 제작된 고정유닛을 보여주고 있다.



(a)3-D modeling

(b)Image of manufactured

Fig. 2-6 A view of fixing unit

(2) 지지 실린더

무한궤도 차륜의 형태로 고안하였기 때문에 작업 할 때 로봇이 절단부위를 절단함과 동시에 천천히 앞으로 이동할 수 있고 그에 따라 받는 하중에도 충분히 견딜 수 있도록 안정되게 설계하였다.

실린더의 용량 설계에서 압력은 입력과 출력의 차를 100bar로 계산하였다. 이때 실린더의 두께는 6mm로 하고 최고 압력이 210bar에서 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 150mm, 외경은 50mm로 선정하였다. 실린더 내경(D_1)과 로드경(D_2)은 실린더 전·후진시의 힘을 고려하여 각각 25mm, 20mm로 하였다. 따라서 실린더 전진시 유효 단면적(A_1) 4.91cm^2이고, 후진시 유효 단면적(A_2)는 1.77cm^2이다. 조작자의 작업 환경을 고려하여 실린더의 전진속도는 30mm/s로, 실린더의 행정은 관과 로봇의 거리를 고려하여 25mm로 설정하였다. 따라서 위에서 설정한 값으로부터 전후진시 힘은 다음과 같다.

$$Q_1=A_1 \cdot \nu=4.91cm^2 \times 3cm/s=14.73cm^3/s=0.884\ \iota pm$$

위의 식을 기초로 사용된 실린더는 TPC 제품으로 튜브 내경이 40이고, 실린더 행정은 25mm를 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 차륜의 하단 부위와 본체 사이에 로드셀을 장착하여 하중량을 검출 할 수 있게 하였으며, 작업 상태에 따라 고정유닛의 고정 정도를 조절할 수 있도록 설계 및 제작하였다.

Table 2-2는 선정된 에어실린더 사양을 이고, Fig. 2-7은 실제 사용된 공압 실린더이다.

Table 2-2 Specifications of air cylinder

Cylinder	Specifications	
Cylinder (TPC)	Model	TCO2B40 -25D
	Using fluid	Air
	Inside diameter of tube	40mm
	Stroke bore ratio	25mm
	Operation type	Double-acting
	Working pressure	1.0Mpa
	Piston speed	50~500mm/s

Fig. 2-7 Driving source of fixing unit(Air cylinder)

다. 절단 헤드부

일반적으로 기존의 하수관 로봇의 절단 헤드는 두 개의 자유도를 가지고 상하・좌우로 컨트롤하여 절단부위를 포착하여 작업을 수행하는 형태로 되어 있다. 이 방법은 작업할 때 관절부위에 힘을 많이 받게 되므로 로봇이 손상될 수 있으므로 이에 충분히 견딜 수 있도록 견고하게 제작되어야 한다. 본 연구에서 고안한 절단 헤드는 이처럼 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.

(1) 동력에 맞는 모터선정

본 로봇에서 절단 작업에 필요한 바이트는 다이아몬드 제작된 바이트이고, 하수관 내에서 다이아몬드 바이트가 절단작업을 하는데 최대의 효율을 발휘하기 위해서는 절단 공구인 다이아몬드 바이트의 회전속도가 400rpm 정도는 되어야 한다. 또한 여러 하수관 보수 작업에 쓰이는 로봇에 대한 자료들을 조사한 결과 하수관 내벽의 절단 작업이 원활히 이루어질 수 있는 동력은 최대 1.5마력이다. 앞서 말한 동력을 기반으로 하여 모터의 마력 및 회전속도를 고려하여 선정된 모터는 계양제품의 D-23 이다. Table 2-3 선정된 모터에 대한 사양이다.

Table 2-3 Specifications of cutting motor

Motor	Specifications	
Motor (D-23)	Nominal voltage	220V
	Output Power	1,150W
	Maximum Current	5.5A
	Maximum speed	500rpm
	Weight	6.2Kg

(2) 공구설계

Fig. 2-8, 9는 로봇의 절단헤드의 정면도와 실제 제작 되어진 절단헤드를 보여주고 있다.

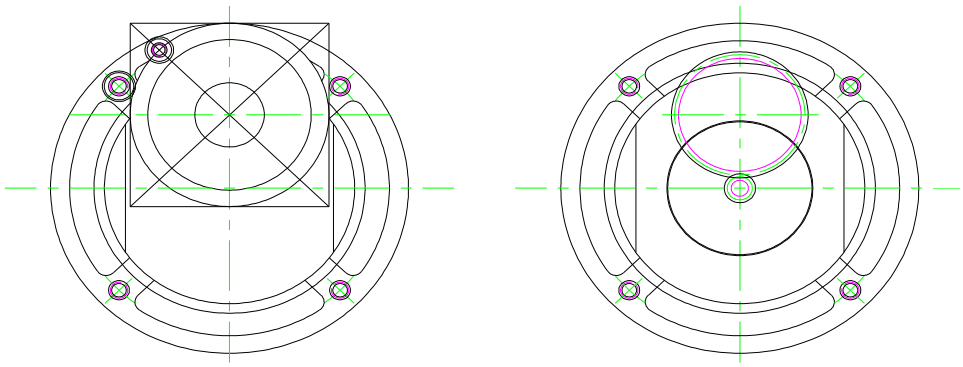


Fig. 2-8 Front view of cutting head

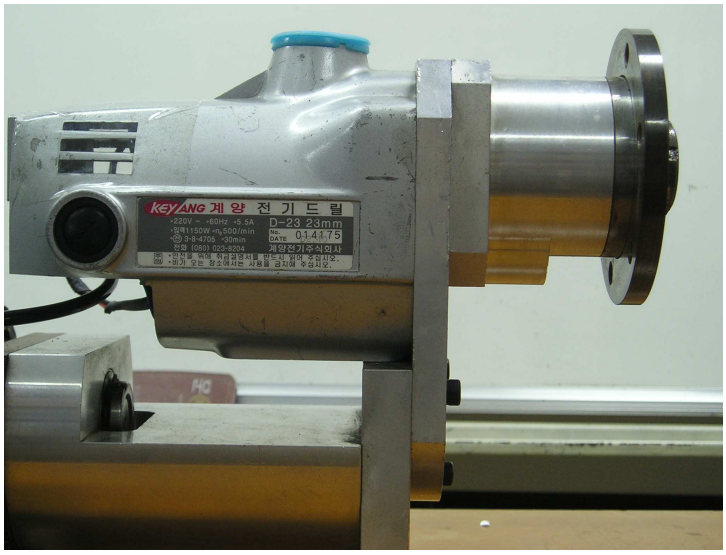


Fig. 2-9 Image of manufactured cutting head

(3) 절단헤드의 바이트

관로상에서 흄관을 절단하여 직접적으로 영향을 가장 많이 받는 부분이 바이트이다. 기존의 모든 로봇의 바이트는 흄관 부위의 한곳의 위치해 흄관을 조금씩 깎아 나가는 방법을 취하였다. 이는 작은 바이트로 흄관을 깎아서 날려버리는 방법으로 절삭 시 바이트의 마모와 그로 인한 모터의 과부화 현상이 나타나고 작업시간도 오래 걸렷다. 돌출된 흄관을 몇 개의 자유도를 가지는 절단헤드로 작업을 수행하는데 로봇이 흄관의 어느 부위라도 자유자재로 바이트의 위치를 고정할 수는 있지만 바이트가 어느 한쪽에서부터 조금씩 깎아 나가므로 그만큼 작업시간도 지연되고 한번에 많은 작업을 수행할 수가 없다. 작은 바이트와 흄관 절삭 시 밀림현상, 그로 인해 다시 바이트를 작업위치에 setting하는 작업이 번거로워 효율적인 작업이 이루어질 수 없다.

이러한 이유로 본 논문에서는 바이트의 형상을 원통형으로 설계 및 제작 하였다. 원통형 바이트는 흄관 부위의 어느 한쪽에 위치에 흄관을 조금씩 깎아서 없애는 방법을 떠나 흄관 자체를 한번에 돌출된 관로상의 가장 안쪽으로부터 한번에 절단하는 형식을 취하였다. 작업 전 절단헤드에 관로 직경에 맞는 적당한 바이트를 장착하여 관로상을 주행하면서 흄관이 바이트에 닿으면 절단헤드를 컨트롤하여 바이트를 관로상에 돌출된 흄관 안쪽으로부터 고정에 바이트를 구동시키면 흄관 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 흄관을 절단한 후 제거된 흄관을 로봇에 장착한 절단물 제거기에 떨어지게 하여 제거한다.

본 연구에서 설계한 바이트의 형상은 원통형으로 Fig. 2-10은 평면도로 그 형상을 확인할 수 있다. Fig. 2-11는 실제 설계/제작된 원통형 바이트이다.

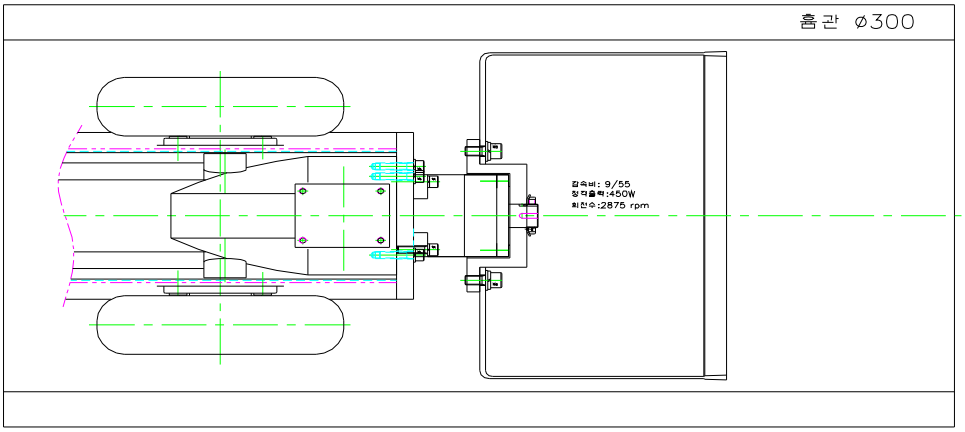


Fig. 2-10 Plane figure of cutting head that loading bite

Fig. 2-11 Image of manufactured bite

라. 검사시스템

하수관 검사/보수 로봇의 주된 역활은 하수관의 상태를 빠른 시간 내에 조사하고 이에 대한 상세한 자료를 생산하는 데 있다. 즉, 하수관에 투입된 로봇은 지관 등이 나타나더라도 이를 제거하고 전진하면서 하수관의 상태를 시각장치를 활용하여 연속적으로 촬영한다. 또한 조사된 자료를 근거로 보수하는 역활도 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.

(1) 카메라 및 조명 선정

하수관 둘레를 세밀하게 검사하고 촬영할 수 있는 카메라는 시각장치에서 선정한 것과 같이 초점거리 고정형 NTSC방식의 CCD 칼라 카메라를 선정하였다. 본 검사장치로 하수관 검사 시에는 절삭헤드부에 부착하여 하수관 상태를 촬영하며, 하수관 연결부 절단 작업 시에는 본체의 뒷부분에 부착하여 상태를 촬영한다. 선정된 카메라가 촬영할 수 있는 각도는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\theta = 2\tan^{-1}\left(\frac{c}{2 \times f}\right)$$

여기서, c는 CCD 소자의 셀크기(cell size(mm)), f는 초점거리(focal length(mm))이다.

직경이 300~400mm 관에서는 하수관 벽까지지의 거리가 매우 근접해 있기 때문에 작은 카메라를 선택해야 한다. 그러나 카메라의 크기가 작아지면 셀크기도 작게 되어 카메라가 촬영할 수 있는 범위가 작아지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 초점거리가 작은 렌즈를 선택하였다. 선정된 카메라의 초점 거리는 3.7mm이고, CCD소자의 셀크기는 대각선길이가 1/4″이므로 이들을 이용하면 카메라가 촬영할 수 있는 범위를

다음과 같이 구할 수 있다.

$$즉,\ \theta=2\tan^{-1}\left(\frac{6.35}{2\times 3.7}\right)=81°$$

또한, 카메라의 좌우에는 하수관의 조도를 높여주기 위해 조명램프를 각각 한 개씩 설치하게 되는데 12V/20W의 할로겐램프를 선정하였다. 램프 빛의 강도는 로봇 제어반에서 조절할 수 있다. Table 2-4는 선정된 카메라에 대한 사양이고, Fig. 2-12은 선정된 카메라이다.

Table 2-4 Specifications of camera

Camera	Specifications	
Camera	Input voltage	DC12V, 450mA
	Diagonal angle	81°
	Power consumption	2.0Watt
	Window	40mm heart-resisting glass
	Construction	Aluminum
	Operation temp	-20°C~+60°C
	Weight	180g

Fig. 2-12 CCD camera

마. 제어부

제어부는 로봇의 주행을 제어하고, 검사 장치와 공구부의 동작을 수행하기 위한 제반 제어 기능을 담당한다. 이를 위해서 로봇의 각 부분에 전원을 공급하고, 여러 가지 신호를 처리하며, 제어지령을 입력하여 다수의 구동기를 직접 또는 간접적으로 구동한다.

(1) 전기 회로도

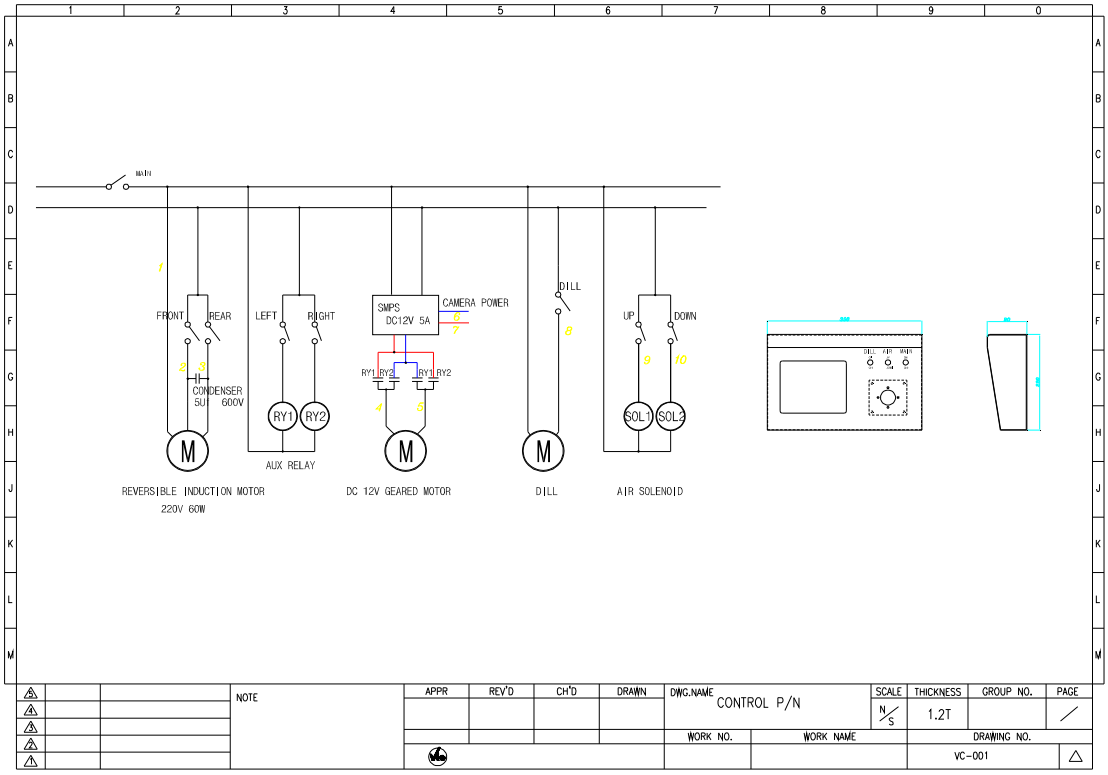


Fig. 2-13 The Sequence diagram of Cutting Robot for projecting part at Sewage pipe channel connection

Fig. 2-13의 회로도를 보면 크게 전기적 제어와 공압적 제어가 필요한 부분으로 나누어진다. 전기적 제어가 필요한 부분은 로봇의 본체에 장착되어진 전·후 이동이 가능케 하는 구동모터, 절삭헤드부의 좌·우 이동이 가능케 하는 GEARED MOTOR, 돌출부 절단 시 사용되는 전기드릴 등의 모터부가 있으며, CCD 카메라 부분과 액정 모니터부분이다.

먼저 로봇의 전·후 구동을 담당하는 SERVO MOTOR로 150W의 출력을 가진 모터를 사용하여 전·후 구동이 가능하게 하였다. AC220V의 전압을 SMPS(Switching Mode Power Supply)를 사용하여 DC12V 5A의 전원으로 바꾸어 GEARED MOTOR 및 카메라의 전원을 공급하였다. GEARED MOTOR 부분에는 두개의 보조 릴레이(Aux Relay)를 사용하여 좌·우 구동이 용이하도록 구성되었다. 돌출부 절단 시 사용되는 드릴의 경우는 단상 220V, 60㎐의 전원을 사용하며 컨트롤러의 ON/OFF 스위치로 제어가 가능하다.

또 다른 한 부분은 공압 제어가 필요로 하는 공압 실린더 부분이다. 이에 사용된 공압 실린더는 TPC 제품으로 튜브 내경이 40이고, 25mm의 행정은 갖는 복동식 실린더를 사용하였다. 또한 전기적 신호에 의해 공압, 유압의 흐름을 바꾸거나 제어하는 장치인 Air Solenoid 두개를 사용하여 공압 실린더의 상·하 운동을 자유롭게 하였다.

이와 관련된 모든 제어는 컨트롤 박스에서 제어가 가능하도록 설계 및 제작 하였다.

(2) 제어부 구성 및 제작

관로상 사람이 직접 들어가 로봇을 조정할 수 없으므로 전기모터를 구동 원력으로 사용하는 방식으로 외부에서 조이스틱과 버튼을 이용하여 제어하여야 한다. 또한 컨트롤을 하기 위해서는 조이스틱, 조향과 가·감속, 비상 정지 기능을 갖추도록 설계하고 물체와의 접촉시에 가·감속을 할 수 있는 센서 또한 갖추어야 한다. 본 연구에서는 이를 위한 센서로 흄관과의 접촉이 일어나면 구동 모터의 부하로 인한 전압의 변화를 검출할 수 있는 로드셀을 통해 이러한 문제를 해결하였다.

앞에서 설명 한바와 같이 동력장치에는 본체의 구동모터, 지지부의 공압 피스톤과 절

단헤드의 구동모터, 그리고 절삭헤드부의 좌·우 이동을 가능하게 하는 모터로 이루어져 있다. 이렇게 3개의 구동모터가 하나의 원격제어 장치에 의해 작동되는데, 유선으로 연결된 컨트롤 박스로 인해 구동부터 흄관제거까지 모든 작업에 필요한 모터를 제어하며 고화질 CCD 카메라를 통해 작업 상황을 모니터 할 수 있다.

주요 형식은 유선 컨트롤 박스를 이용해 본체의 구동, 지지부 구동 및 절단헤드의 구동을 컨트롤 박스에 있는 조이스틱의 방향 조절과 스위치 등으로 CCD 카메라에 전송해온 모니터를 관찰하며 작업을 진행한다. 본 연구에서 하수관로 연결 돌출부 절단용 로봇은 AC 220V 및 DC 12V의 전기로 통합하여 모든 모터를 구동하고, 이로 인해 본체 구동, 절단헤드 및 카메라가 작동 되어진다.

Fig 2-14는 제작된 컨트롤박스의 전면이다. Fig. 2-15은 제작된 컨트롤박스의 내부 모습이다.

Fig. 2-14 A front view of control box

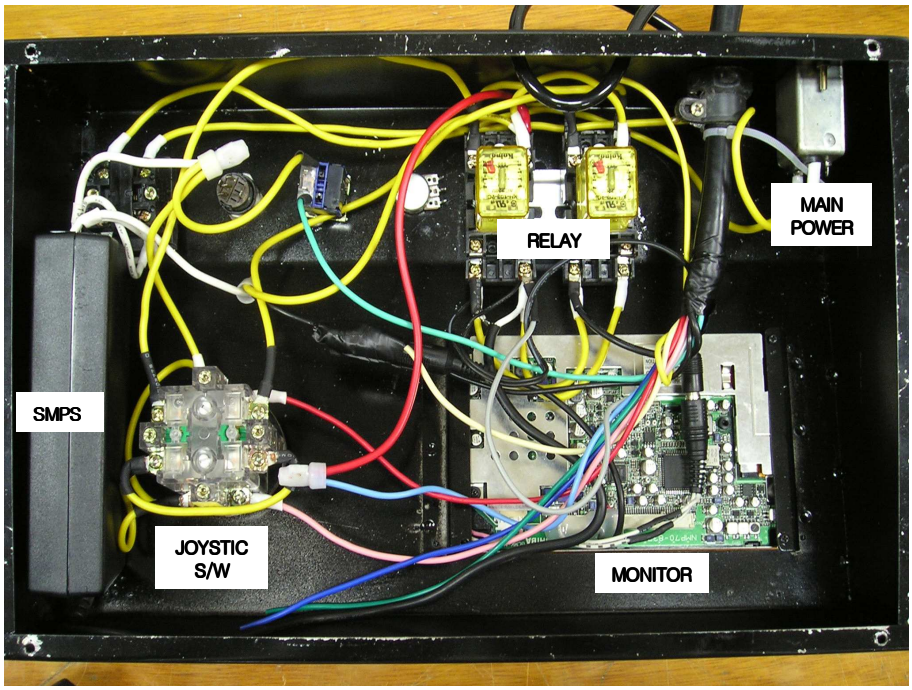


Fig. 2-15 Inner image of control box

컨트롤러 박스는 Fig. 2-15과 같이 AC 220 V 및 DC 12V 의 전원공급이 가능하고, 두개의 릴레이 부착으로 절삭헤드 본체를 좌·우의 방향 제어가 가능하며, 가·감속 스위치 및 고정유닛 버튼, 절삭 유닛 스위치, 방향 제어 및 절삭헤드부의 좌·우 회전 제어가 가능한 조이스틱 스위치로 누구나 쉽게 구동할 수 있도록 설계 및 제작 되었다.

또한 작업에 편리한 컨트롤러와 교체가 가능한 원통형 바이트와 작업 모습을 모니터로 전송해 볼 수 있는 고화질의 CCD카메라 통한 작업상황을 모니터할 수 있다.

제3장 주행 및 모터의 성능실험

제 1 절 로봇의 주행 시뮬레이션

하수관로 돌출부 절단용 로봇은 하수관내의 현재 자세를 정확히 판단하며 원하는 경로대로 조향하며 주행하는 것이 필요하다. 그러나 로봇 주행 시 관의 대칭성으로 인해 관의 중심축에 대하여 주행 중 로봇이 회전하거나 관로 내부의 예기치 않은 장애물 발생으로 인하여 초기 장입 상태의 위치가 변하게 된다. 그러므로 이러한 로봇 위치 추종 문제에 대하여 재빨리 대처하는 추종제어가 필요하다. 본 로봇은 AC서보 모터에 의해서 차동으로 바퀴를 구동 하는 로봇이다. 일반적으로 바퀴 구동로봇의 위치는 위치좌표 벡터 $P=(x,\ y,\ \Theta)^T$로 나타내며 x, y는 수직 고정 좌표계 $\{ l_x, l_y \}$ 상에서 로봇의 중심점을 나타내고, Θ는 로봇의 운동좌표 $\{ l_x, l_y \}$의 로봇 방위 각을 나타낸다. 따라서 본 로봇의 위치제어는 위치측정 센서인 엔코더를 이용하여 측정된 현재 위치 P에서 구성된 정적위치 상태가 기준위치 P_r을 하는 추종제어이다. 추종 오차에 의한 상태식은 구동방향 오차와 이에 수직하는 측면방향 오차 그리고 방위각 오차로 구성되며, 이에 의해 로봇의 속도와 조향제어 하는 제어입력 $v=(\mathrm{v}\omega)^T$를 설계한다. 따라서 본 로봇 제어시스템에서는 구동로봇의 강인 제어입력을 얻고자 하는데 이용하는 적응 백스탭핑 제어를 이용하여 본 로봇의 속도와 조향을 제어하는 제어입력 $v=(\mathrm{v}\omega)^T$를 설계하고, 시뮬레이션에 의해 제어특성을 살펴보았다.

1. 로봇의 이동부 시스템 모델링

로봇 이동부는 변형되지 않는 바퀴를 장착한 견고한 구조로 만들어진 장치로서 로봇의 위치는 다음과 같은 위치 좌표벡터 P로 나타낸다.

$$P = (x,\ y,\ \Theta)^T$$

여기서 x, y는 Fig. 3-1과 같은 고정된 수직 관성좌표계 $\{l_x,\ l_y\}$상에 로봇의 측정 위치점 P의 좌표를 나타내며, Θ는 수직 관성좌표계의 l_x축에 대한 로봇의 운동좌표계 $\{l_x,\ l_y\}$의 방위각을 나타낸다.

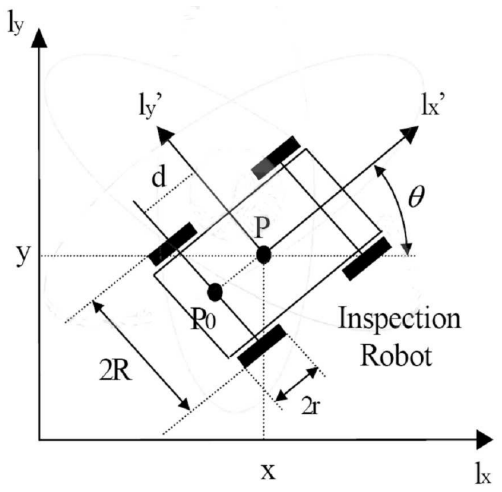


Fig. 3-1 Position coordinate system of robot

그리고 로봇의 차동바퀴에 의한 조향은 구동방향 l_x축에 수직인 l_y축의 범위로 한정한다.

$$\dot{y}\cos\Theta - \dot{x}\sin\Theta - \dot{d}\Theta = 0 \tag{1}$$

따라서 로봇을 측정 위치 점 P의 좌표에 대한 정적위치 상태 모델로 나타내면 식(2)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\Theta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\Theta & -d\sin\Theta \\ \sin\Theta & d\cos\Theta \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} \tag{2}$$

여기서 제어입력벡터 $v=(v\omega)^T$는 로봇의 속도와 조향 제어하는 보조제어 입력으로서 v는 이동 선속도를 ω는 조향 각속도를 의미한다. (2)식의 정적위치상태 $P=(x, y, \Theta)^T$가 기준위치 $P_r=(x_{ref}, y_{ref}, \Theta_{ref})^T$와 기준속도 $v_{ref}=(v_{ref}, \omega_{ref})^T$을 추종한다면, 이때 위치 추종 오차벡터는 다음과 같다.

$$e_p = P_r - P = (e_x e_y e_\Theta)^T \tag{3}$$

위의 추종 오차벡터를 방위각에 대하여 선형독립이 되도록 천이행렬 T_c에 의해 변형하면 식(4)와 같다.

$$T_c = \begin{pmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta & 0 \\ -\sin\Theta & \cos\Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$e_p^c = T_c e_p = (e_{x'} e_{y'} e_\Theta)^T$$

$$\begin{pmatrix} e_{x'} \\ e_{y'} \\ e_\Theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} e_x\cos\Theta + e_y\sin\Theta \\ -e_x\sin\Theta + e_y\cos\Theta \\ e_\Theta \end{pmatrix} \tag{4}$$

여기서 e_p^c는 로봇의 운동좌표 $\{l_x, l_y\}$상에서의 오차 상태값이고, $e_{x'}$는 구동방향 오차 $e_{y'}$는 $e_{x'}$에 수직하는 측면방향 오차 그리고 e_Θ는 방위각 오차를 나타낸다. 그리고 식(4)의 로봇운동좌표 $\{l_x, l_y\}$상의 위치오차를 미분 상태식으로 나타내면 식(5)와 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{e}_{x'} \\ \dot{e}_{y'} \\ \dot{e}_\Theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega e_{y'} - v + v_{ref}\cos e_\Theta \\ -\omega e_x + v_{ref}\sin e_\Theta \\ \omega_{ref} - \omega \end{pmatrix} \tag{5}$$

따라서, 식(5)에서 적절한 속도제어 입력 $v_d=(v_d, \omega_d)^T$를 식(6)과 같이 정하면

$$\upsilon_d = [f_v(e_{x'}, e_{y'}, e_\Theta, v_{ref}\omega_{ref}), f_\omega(e_{x'}, e_{y'}, e_\Theta, v_{ref}\omega_{ref})]^T \quad (6)$$

현재위치 P는 기준위치 P_r로 $t \to \infty$에서 $P_r \to P$이 되고 바퀴구동제어기 입력 $\upsilon \to \upsilon_d$이 된다. 그런데 식(5)의 미분 상태식을 보면 위치오차의 세 성분 중 e_Θ는 식(1)에서 정한 제약조건에 의해 구동방향에 수직하는 측면방향 오차 $e_{y'}$의 조향위치를 직접적으로 결정하는 성분이다. 따라서 $e_{y'}$와 e_Θ사이의 이러한 커플링 관계는 Fig. 3-2와 같은 상관관계를 갖는다.

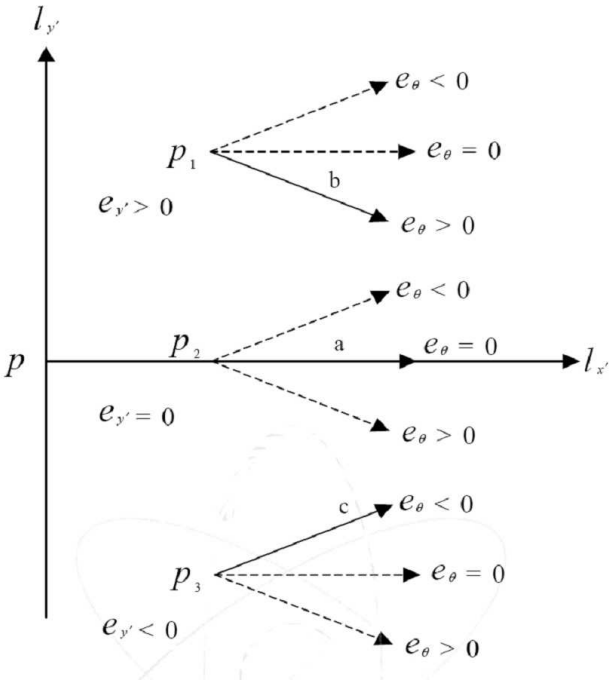


Fig. 3-2 Interrelation of $e_{y'}$ and e_θ

Fig. 4-2의 P_1, P_2, P_3중 P_2의 a 경우가 $e_{y'}=0$와 $e_\Theta=0$로 가장 이상적인 경우이다. 그러나 실제의 경우에서는 로봇이 기준궤적을 따라 이동할 때 로봇이 회전 하거나 관로 내부의 예기치 않은 장애물 발생으로 인한 외란이나 불확실성에 의하여 b와 c의 경우가 발생된다. 따라서 식(5)의 위치오차 미분 상태식의 $e_{y'}, e_\Theta$가 $e_{y0'}=0$, $e_{\Theta 0}=0$로 추종되는 적절한 속도제어 입력 $\upsilon_d=(v_d\omega_d)^T$ 구하기 위해 새로운 추종 오차모델을 구성하고 적응 백스탭핑 제어 이론에 의해 속도제어 입력 $\upsilon_d=(v_d\omega_d)^T$를 구한다.

2. 추종모델구성에 의한 로봇의 적응 백스탭핑 제어

식(4)의 방위각오차 e_Θ를 다음과 같은 새로운 매개변수 $\overline{e_\Theta} = e_\Theta + \alpha e_{y'}$ $(\alpha > 0)$라고 하고, $e_{x'}$과 $\overline{e_\Theta}$가 0으로 수렴한다고 가정하면 식(5)의 구동방향 오차의 미분 상태식은 $\dot{e}_{y'} = -v_{ref}\sin(\alpha e_{y'})$이 되고 $e_{y'} = 0$으로 안정하다. 따라서 식(5)의 미분상태식을 새로운 매개변수 $\overline{e_\Theta}$에 의한 새로운 추종오차 모델로 구성하면 식 (6)과 같다.

$$\begin{pmatrix} \dot{e}_{x'} \\ \dot{e}_{y'} \\ \dot{\overline{e_\Theta}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega e_{y'} - v + v_{ref}\cos e_\Theta \\ -\omega e_{x'} + v_{ref}\sin e_\Theta \\ \omega_{ref} - (1+\alpha e_{x'})\omega + \alpha v_{ref}\sin e_\Theta \end{pmatrix} \tag{6}$$

따라서 식(6)의 오차 모델로서 백스텝핑 제어 방법을 이용 궤환 제어 입력을 구한다. 다음과 같은 리아프노프 함수를 정한다.

$$V(t,\ e_{x'},\ e_{y'},\ e_\Theta) = \frac{1}{2}e^2_{x'} + \frac{1}{2}e^2_{y'} + \frac{1}{2\gamma}\overline{e^2_{\Theta}}\ (\gamma > 0) \tag{7}$$

따라서 식 (7)의 리아프노프 함수를 시간 t에 대해 미분하여 궤환 제어 입력 $\upsilon_d = (v_d\ w_d)^T$를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_d \\ \omega_d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 e_x + v_{ref}\cos e_\Theta \\ (1+\alpha e_x)^{-1}(\omega_{ref} + k_2\overline{e_\Theta} + \alpha v_{ref}\sin\Theta) \end{bmatrix} \tag{8}$$

여기서 $k_1, k_2 > 0$이다.

3. 백스텝핑 제어에 의한 로봇주행 시뮬레이션

로봇 시스템의 위치제어를 위한 시스템 매개변수들은 Table 3-1과 같다.

Table 3-1 Parameter of robot system

바퀴 지름(2r)	로봇 차체폭(2R)	$P \sim P_0$사이의 거리(d)
15.2 Cm	38 Cm	12.5 Cm

샘플링주기는 T=0.05이고 제어입력 v에 대한 로봇의 두 차동모터속도 입력은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{G}{r}(\upsilon + R\omega) \\ \frac{G}{r}(\upsilon - R\omega) \end{bmatrix}$$

여기서 G는 로봇바퀴에 연결된 웜 기어의 기어비이고 r은 두 바퀴의 반지름 R은 로봇의 차체 폭 길이의 반을 나타낸다. Fig. 4-3은 제어매개 변수 $k_1 = 10$, $k_2 = 2$, $\alpha = 4$이고 초기 위치 추종 오차 벡터 e_p가 $e_x = -0.6$, $e_y = 0$, $e_\Theta = 45^\circ$ 일 때 이동 점 P_0가 기준속도 v_{ref}, $\omega_{ref} = 0$에서 x_{ref}, y_{ref}, Θ_{ref}, v_{ref}을 추종하는 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

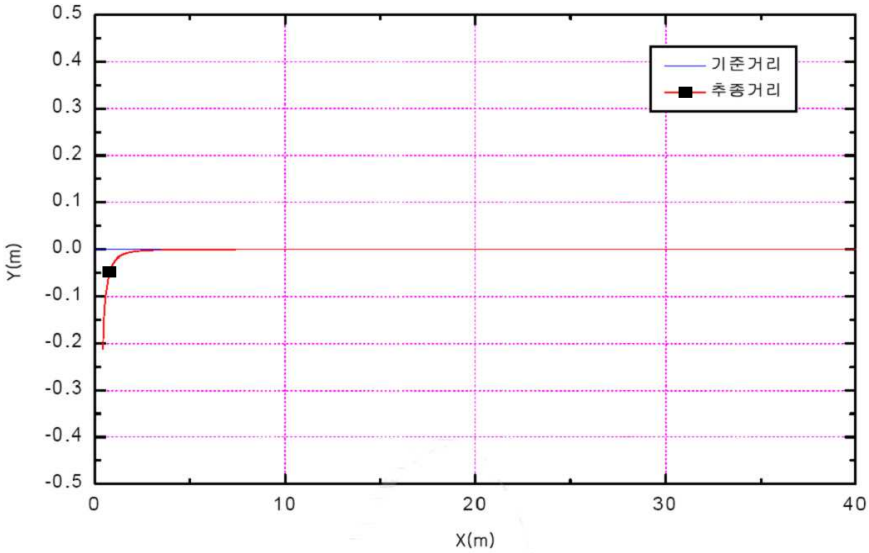


Fig. 3-3 Moving point P_0 is result that follow standard trajectory x_{ref} y_{ref}

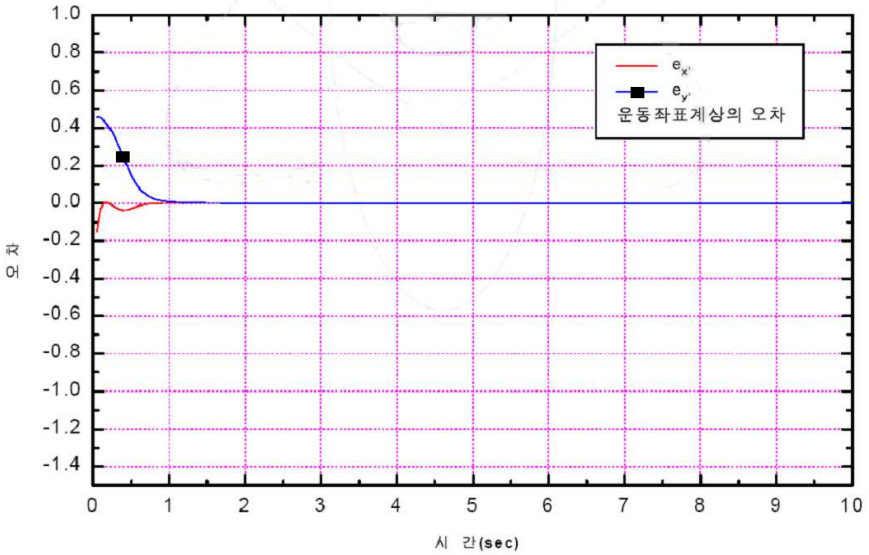


Fig. 3-4 Distance variable error of velocity coordinate system for standard trajectory distance

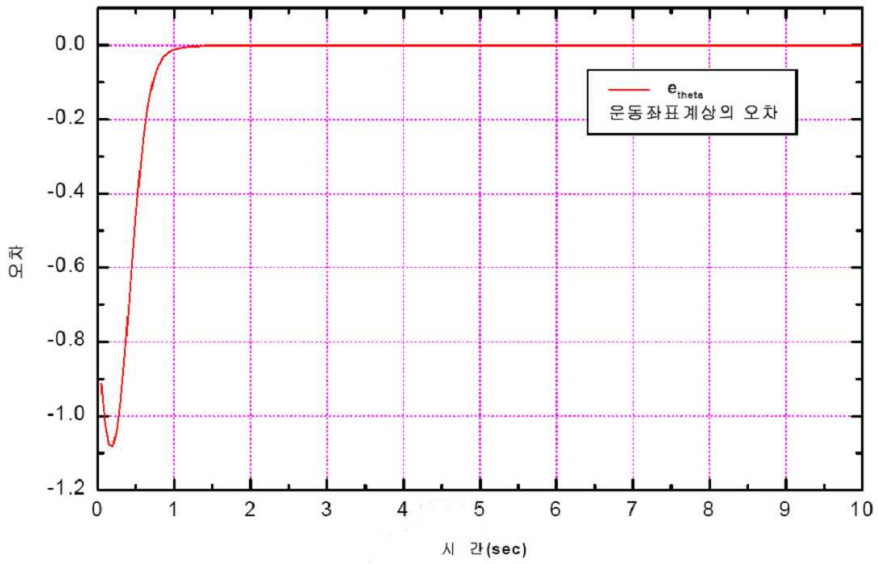


Fig. 3-5 Angle variable error of velocity coordinate system for standard trajectory distance

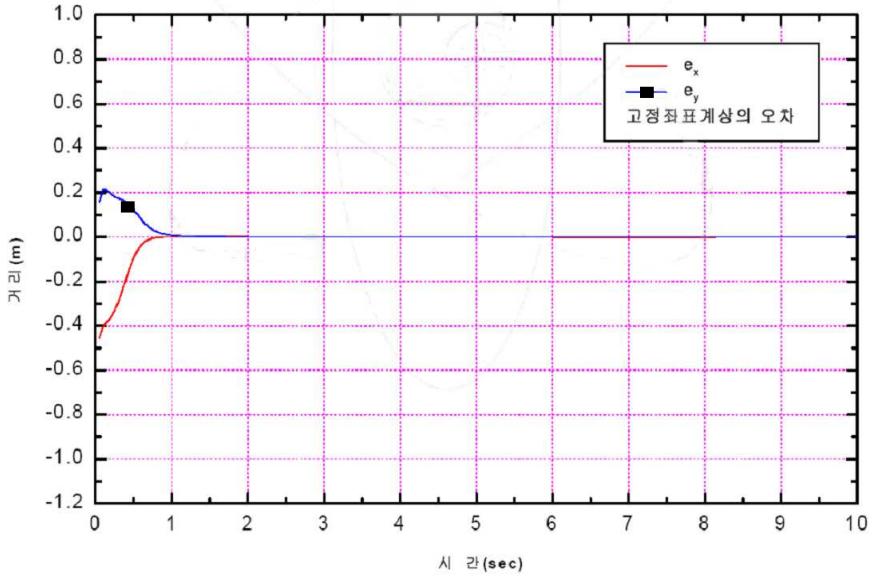


Fig. 3-6 Distance error of fixing coordinate system for standard trajectory distance

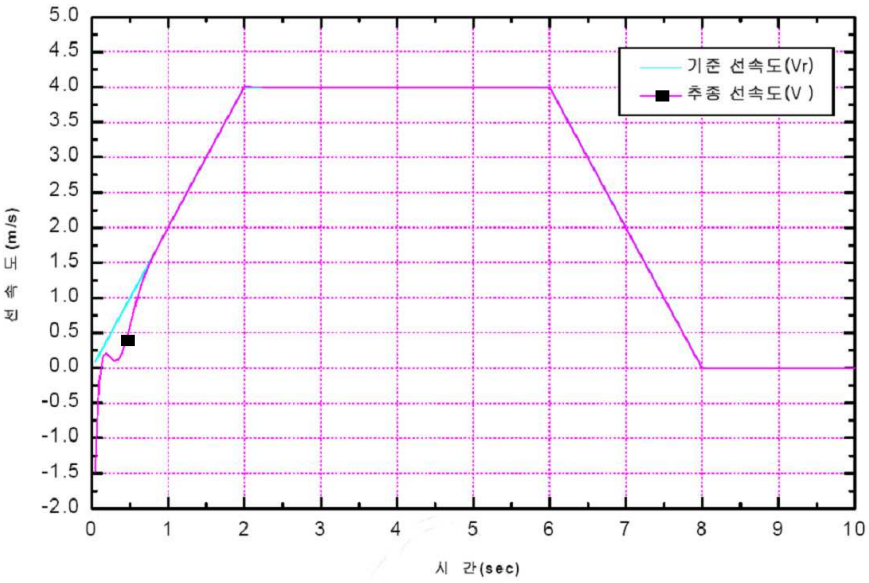


Fig. 3-7 Conclusion result about standard linear velocity

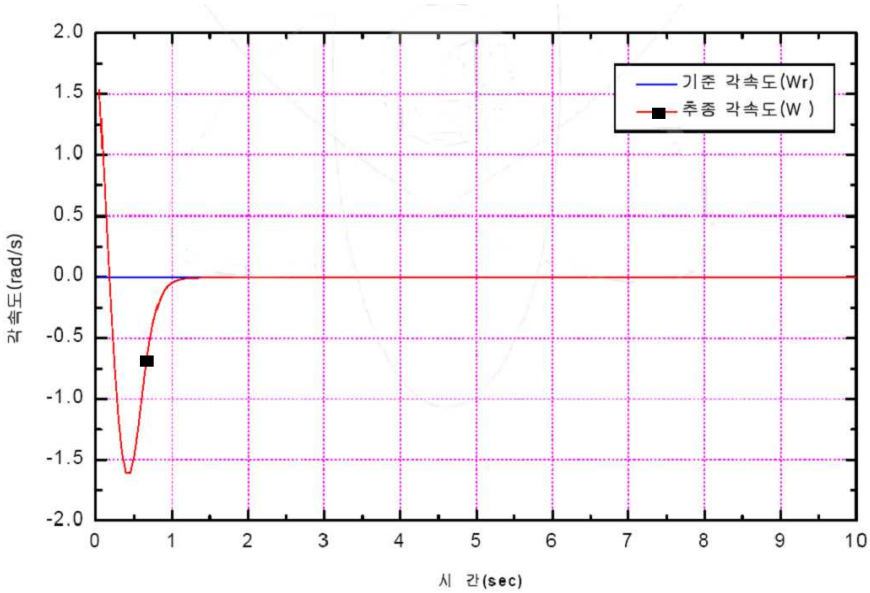


Fig. 3-8 Conclusion result about standard angular velocity

제 2 절 구동모터의 성능 실험

1. 오픈루프 제어상의 모터 성능실험

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. 3-9는 오픈루프 제어상의 모터 구동배선도를 나타낸 그림이며, Fig. 3-10은 입력전압과 모터 출력의 관계를 나타낸 그림이고, Fig. 3-11은 입력전압과 바퀴출력의 관계를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 입력과 출력의 관계가 선형임을 알 수 있었다.

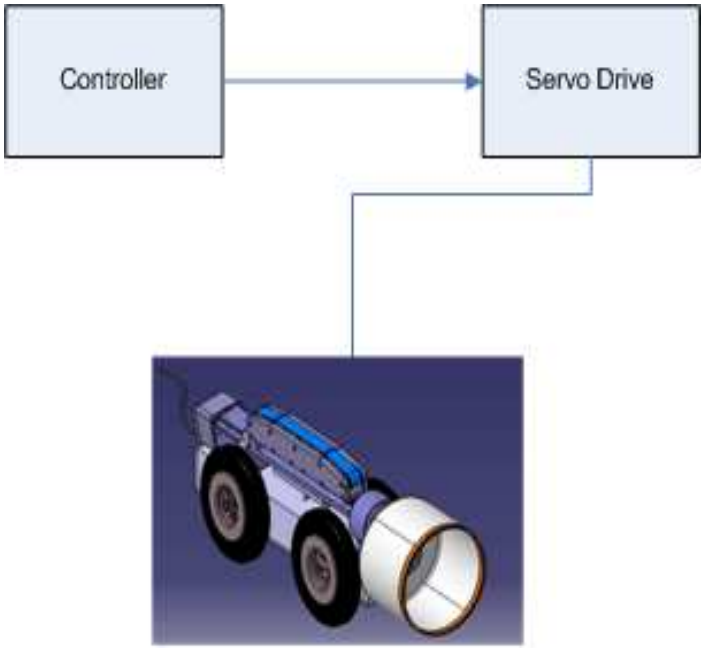


Fig. 3-9 Motor drive wiring diagram at open loop control

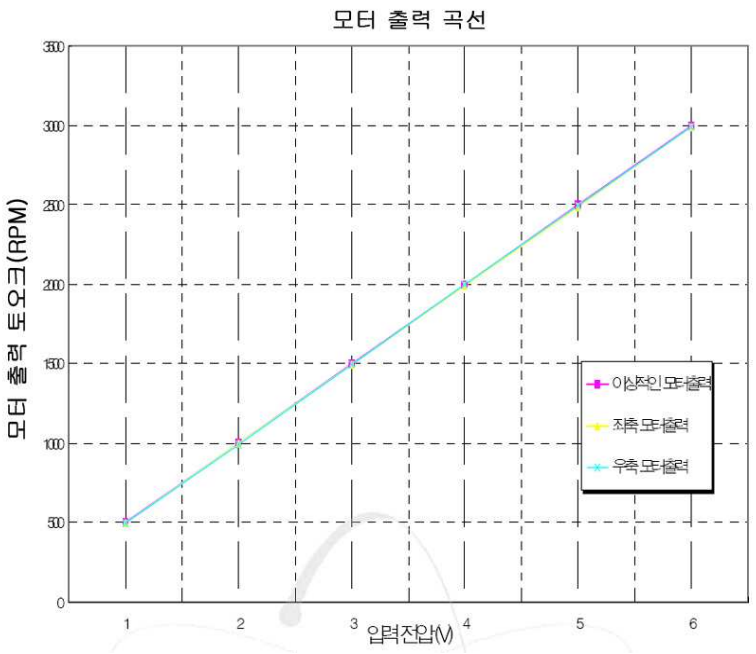


Fig. 3-10 Right and left side motor output by input voltage

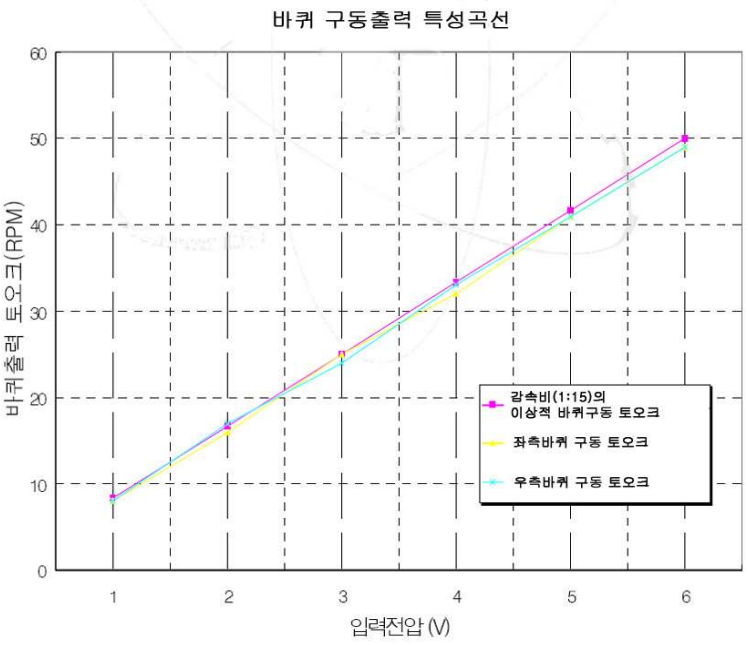


Fig. 3-11 Right and left side wheel output by input voltage

2. 폐루프 제어상의 모터 성능실험

폐루프 제어 설정 상에서 전압과 모터출력 그리고, 웜 기어(60:1)의 기어비에 의한 바퀴 출력의 관계를 실험으로 살펴보았다. Fig. 3-12는 오픈루프 제어상의 모터 구동배선도를 나타낸 그림이며, Fig. 3-13은 입력 전압과 모터출력의 관계를 나타낸 그림이고, Fig. 3-14는 입력전압과 바퀴출력의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이 입력과 출력의 관계가 오픈 루프제어의 경우와 같이 선형임을 알 수 있다.

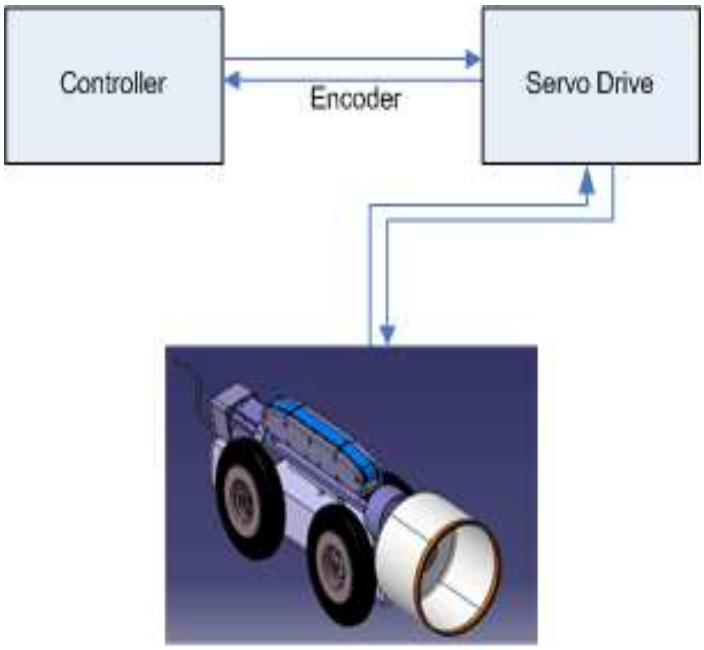


Fig. 3-12 Motor drive wiring diagram at closed loop control

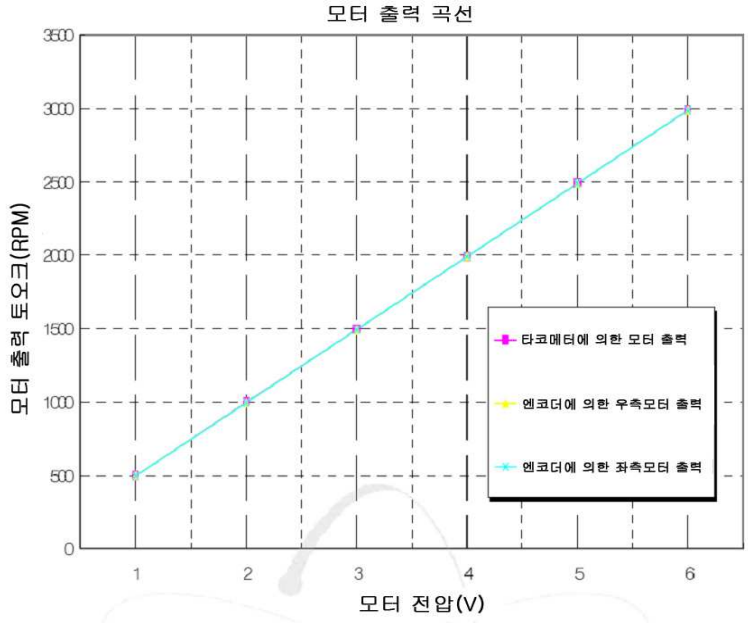


Fig. 3-13 Right and left side motor output by input voltage

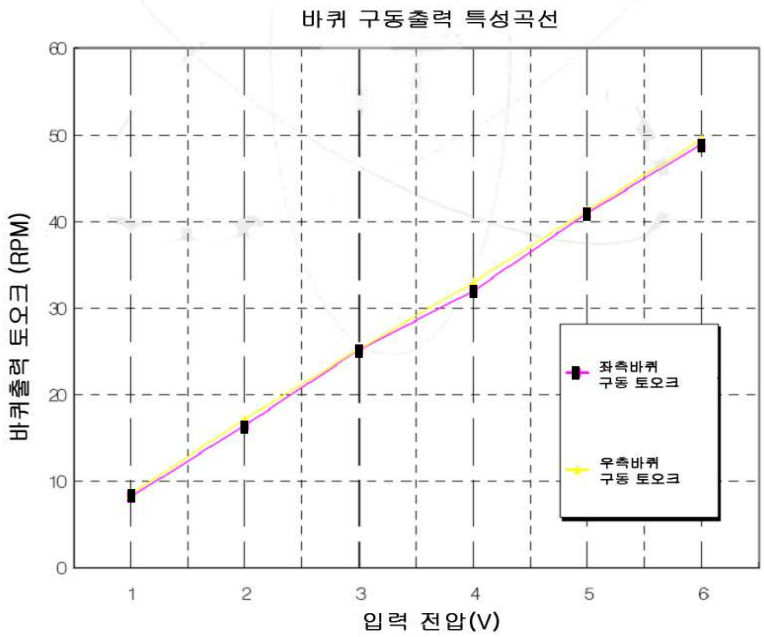


Fig. 3-14 Right and left side wheel output by input voltage

제4장 로봇의 현장실험

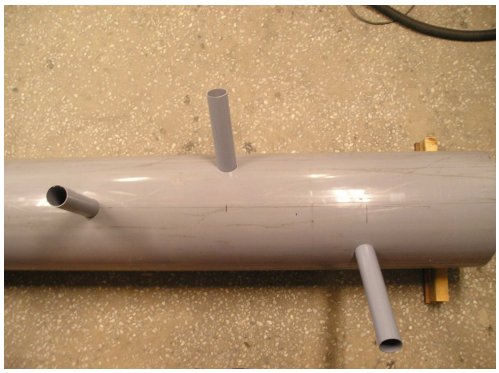
제1절 실험과정

본 연구에서 개발한 로봇이 실제적인 현장에서 활용할 경우 관로에서 주행이 원활하고, 본체의 모터와 작업 시 절단헤드의 모터가 과부화가 됨에 따라 전압의 변화를 로드셀로 검출하여 감속이 되는지, 또한 절단이 원활하게 되는지를 검증하는 실험이다.

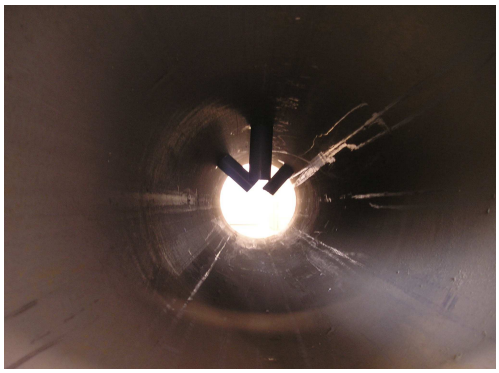
Fig. 4-1은 실험용으로 제작된 직경 400mm의 평행한 PVC관을 이용하여 주행 및 작업실험을 하였다. 관로내의 상태와 환경을 조사 후 관로의 직경에 맞추어 로봇의 상태를 미리 setting한 후에 로봇을 투입하고, CCD 카메라로 작업 상황을 모니터로 전송해 로봇의 상태와 작업상황을 살펴보았다.

다음은 로봇의 주행 및 작업 실험을 하기위한 작업과정이다.

① CCD 카메라의 관로조사.
② 관로 직경에 따른 구동바퀴와 바이트 장착
③ 투입된 유닛 관로를 따라 구동.
④ 관로상 돌출된 흄관과의 접촉.
⑤ 하수관로 연결 돌출부 절단기 유닛의 절삭헤드 구동과 지지대 구동.
⑥ 감속기 구동 앞으로 천천히 전진과 동시에 흄관 절단작업시작 CCD 카메라를 통한 작업상황 모니터.

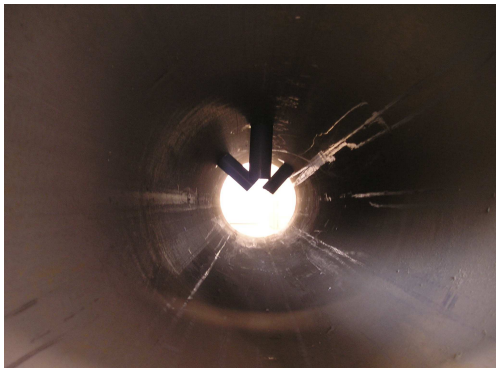


(a)Outside face



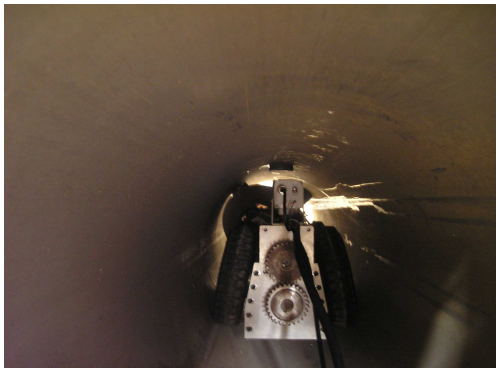
(b)Inside face

Fig. 4-1 PVC pipe parallel for diameter 400mm

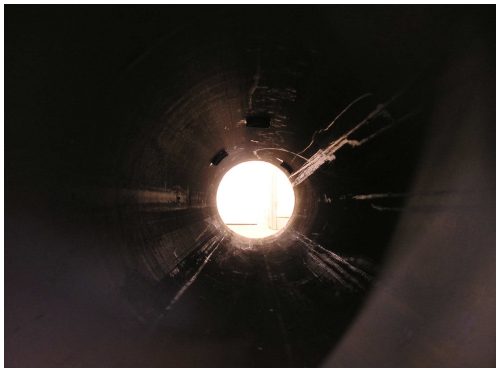


(a)The Before figure

(b)Cutting upper direction pipe



(c) Cutting left direction pipe



(d)The after figure

Fig. 4-2 Experiment process

2. 실험결과 및 보완점

가. 개발 모델의 문제점

주행, 지지부와 절단 헤드에 맞추어 실험한 결과 주행 시 특별한 문제점은 발생되지 않았다. 지지부에서는 PVC관의 절단 시 로봇의 미끄러짐이 없이 관로에 압착력의 타당성을 검증하기 위해 로봇을 주행하면서 힘 센서(로드셀)로 지지부에 압력을 가하는 방법으로 관경 변화와 벽면 가압력의 관계를 살펴 본 결과 이동과 동시에 흄관을 절단하는데 무리가 없고 안정적인 작업이 이루어지는 것을 볼 수 있었다.

절단헤드는 관경의 내경에 맞추어 장착 후 작업을 실시하여 보았다. 바이트의 회전과 흄관과의 접촉하여 전압의 변화를 로드셀로 검출하여 감속이 되고 이에 따라 안정적인 작업을 할 수 있으나 고정된 절단헤드로 인해 한 번에 흄관을 절단하는 장점이 있지만 로봇이 너무 고정적이므로 정밀한 작업을 할 수 없다는 문제가 발생되었다. 흄관이 특정한 부위에 돌출 되는게 아니라 관로를 따라 여러 곳에서 돌출 되었고 관로 면이 매끄럽지 않을 때에는 로봇의 균형이 제대로 잡히지 않을 수 있기 때문에 관로에 맞추어 장착한 바이트의 균형 또한 틀어질 가능성이 보였다.

로봇의 구성에서 볼 때 본 연구의 목표에서 로봇의 구동과 지지부의 안정적인 구동과 로봇의 고정에 있어서의 문제는 앞에서 언급하였듯이 목표 도달에 성과가 있었으나 절단헤드의 작은 문제점에 대해서는 다소 미약한 점이 발견되었다.

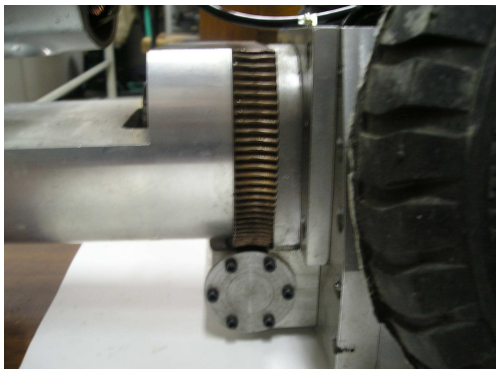
나. 보완

앞에서 살펴본 내용에서 본 연구 대상 로봇의 문제점을 파악하였다. 로봇의 구성에 있어서 문제점은 없지만 실질적으로 작업하는데 가장 영향을 미치는 절단헤드에 대한 보완책은 절단헤드의 고정적인 유닛을 유동적으로 바꾸어 해결하였다. 절단헤드의 고정적이고 관경에 맞추어 흄관을 절단함에 있어서의 문제점을 바이트의 크기를 줄이고 절단헤드를 좌·우로 이동이 가능하게 보완하였다. 이때 절단헤드의 이동에 있어 좌·

우 이동으로 절단 부위를 제거하는데 흄관이 돌출된 부위를 생각해보면 관로상의 흄관 돌출은 대부분 관로 위쪽에서부터 돌출 되어 있다. 이에 대한 문제는 지금까지 본 로봇에 대한 설명과 같이 관로에 로봇을 투입하기 전에 로봇의 setting을 하기 때문에 로봇의 높이를 작업하는데 알맞은 높이로 절단헤드 역시 조정하여 문제점을 해결하였다. Table 4-1은 절단헤드부의 좌·우이동이 가능케 하는 구동모터의 사양이다. Fig. 4-3은 새로 개발된 절삭헤드부와 구동모터이다.

Table 4-1 Specifications of cutting motor

Motor	Specifications	
Geared Motor	Nominal voltage	DC12V
	Output Power	1.42W
	Maximum Current	0.05A
	Maximum speed	100rpm
	Diameter	24.4mm



(a)Cutting head

(b)Geared motor

Fig. 4-3 Cutting head that produce as left, right change of base is possible

다. 성능평가

본 연구에서 개발한 로봇은 작업성능, 안정성, 내구성 등 실험을 통하여 문제가 없고 원활한 구동이 된다는 것을 검증하였다.

유닛이 관로상에서 작업함에 있어 기존의 유닛과는 다르게 관로상에서 지지부의 도움으로 작업시에 유닛의 밀림이 없이 고정적이고 안정된 상태에서 원통형 바이트로 흄관을 한번에 절단함에 있어 작업시간이 단축되고, 효율적인 작업이 이루어졌다. 기존의 로봇은 바이트가 흄관을 제거함에 있어 고정유닛이 없어서 로봇이 흄관과 바이트의 마찰로 인해 밀림현상과 바이트 직경의 한계에 따른 흄관의 제거에 걸리는 시간이 지연되는 문제점을 본 연구에서 개발한 유닛으로 해결하여 효율적이고 안정된 작업이 이루어지도록 해결하였다.

또한 본 로봇은 하수관로를 주행함에 있어 본체의 바퀴 부분에 경사를 두어 안정적으로 주행이 가능하게 하였으며 흄관을 제거 할 때 고정유닛의 구동으로 진동 및 백래쉬를 제거하여 원활한 작업이 가능하였다. 흄관을 제거함에 있어 유닛의 바이트와 흄관의 마찰로 인해 생기는 모터의 과부화가 생기는 문제점은 유닛에 내장되어 있는 로드셀에 의해 유닛의 속도를 자동적으로 감속하고, 모터의 회전 또한 감속시키는 방법으로 모터의 과부화 현상이나 흄관을 제거할 때 생길 수 있는 바이트 잠김 현상 등을 해결하여 안정적인 작업을 할 수 있게 하였다. 이러한 문제를 로봇에 내장된 로드셀에 의해 안정적으로 하였기 때문에 모터의 무리가 없고 로봇의 내적으로도 무리를 주지 않아 내구성 또한 작업을 함에 있어 문제가 발생되지 않다는 것이 확인되었다.

제5장 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 장착함으로서 한번의 작업으로 흄관을 제거해 모터의 과부하를 방지하였다.

2. 흄관 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.

이 밖에 작업함에 로봇이 흄관과의 접촉 할 때에 전진속도로 인한 부하와 바이트 잠김 현상을 로봇의 내부에 과부하로 인한 전압의 변화가 발생하면 감속할 수 있게 하는 센서인 로드셀을 장착하여 안정된 작업을 할 수 있도록 하였다.

하수관로 로봇은 현재 국내에는 비굴착공법에 관한 학술적인 연구가 미비한 상태이다. 이러한 로봇 개발은 하수관 유지보수 산업의 시간, 비용, 환경 등 여러 가지 문제점들을 해결해줄 수 있고 배관시설과 관련된 설비의 검사, 진단, 및 기타 작업용으로 응용범위가 넓어 앞으로도 많은 기술개발의 필요성이 있다.

Reference

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. Campbell, G., Rogers, K., and Gilbert, J., "PIRAT - A system for quantitative sewer assessment", International No-Dig '95 Conference Documentation, Dresden, September 1995.

4. Kuntze, H.B., Schmidt, D., Haffner, H., Loh, M., "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 ofmunicipal sewerage systems”, GMD German National Research Center.

9. “KA-TE : High-Tech Sewer Rehabilitation”

10. “하수관 보수공법 KA-TE SYSTEM-카탈로그”, 동국화공주식회사

11. 고영균 “하수관 내부 조사용 자주차의 카메라 헤드 높낮이 조정장치”, 특허 96-038001, 1996.

12. 고영균 “하수지관 조사장치가 구비된 하수관 내부 조사용 자주차”, 특허 96-038003, 1996.

13. 고영균 “하수관 내부 조사용 카메라 운반보트”, 특허95-008879, 1995.

14. 고영균 “하수관 내부 조사용 카메라 운반 주차의 함몰부 추락 방지장치”, 실용신안 95-009069, 1995.

15. 고영균 “하수관 내부소자를 위한 카메라 운반주차용 바퀴”, 실용신안95-009070, 1995.

16. 고영균 “하수관 내부 조사용 자주차의 바퀴”, 실용신안96-034724, 1996.

17. 유애권외 “하수관 검사 카메라의 보조 바퀴장치”, 실용신안97-051961, 1997.

18. Chiba-Shi 외다수 “Investigation robot for inspecting sewage drain in general home, factory - has runners and apparatus stand on which investigating apparatus with several sensors, which are both extendable from vehicle body through extendable legs and elevator”, JP9254782.

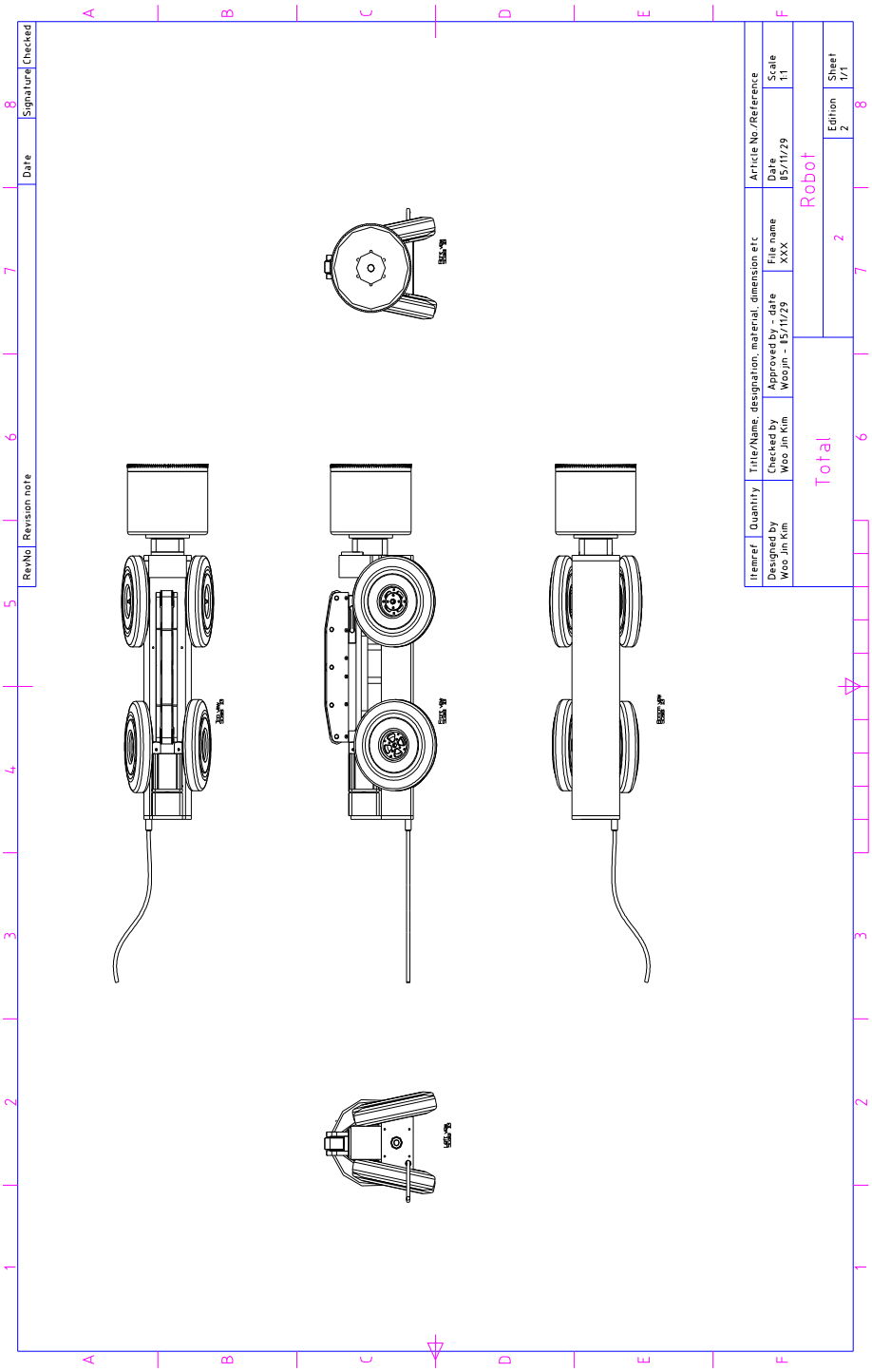
19. Sekisui Chem Ind Co Ltd, “Repairing of sewage or gas pipes-using robot provided with detector and piercing machine”, JP2275196.

20. 한국원자력연구소 “지하 매설 파이프의 검사 보수용 다기능 이동로봇 개발”, 1차년도 보고서 1999, 4.

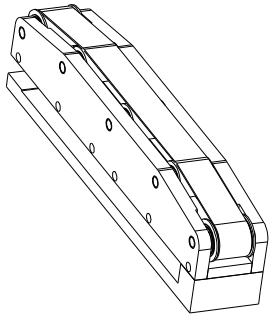
21. 김영석, 김재열, 송경석, 곽이구, 안재신, 이창선, “하수관로 연결 돌출부 절단기 유닛의 개발에 관한 연구”, 한국공작기계학회 춘계학술대회 논문집 pp. 143-148, 2003

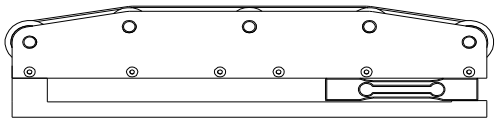
23. 김재열, 곽이구, 김우진, 최철준, 김유홍, “하수관 돌출부 절단 로봇 개발에 관한 연구”, 한국자동차공학회 광주·호남지부 추계학술대회 논문집, pp. 21-25, 2005

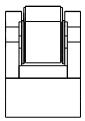
Appendix


Rev.No
Revision note
Date
Signature
Checked
Item ref
Quantity
Title/Name, designation, material, dimension etc
Article No./Reference
Designed by
Woo Jin Kim
Checked by
Woo Jin Kim
Approved by - date
Woojin - 15/11/29
File name
XXX
Date
15/11/29
Scale
1:1
Total
Robot
2
Edition
2
Sheet
1/1

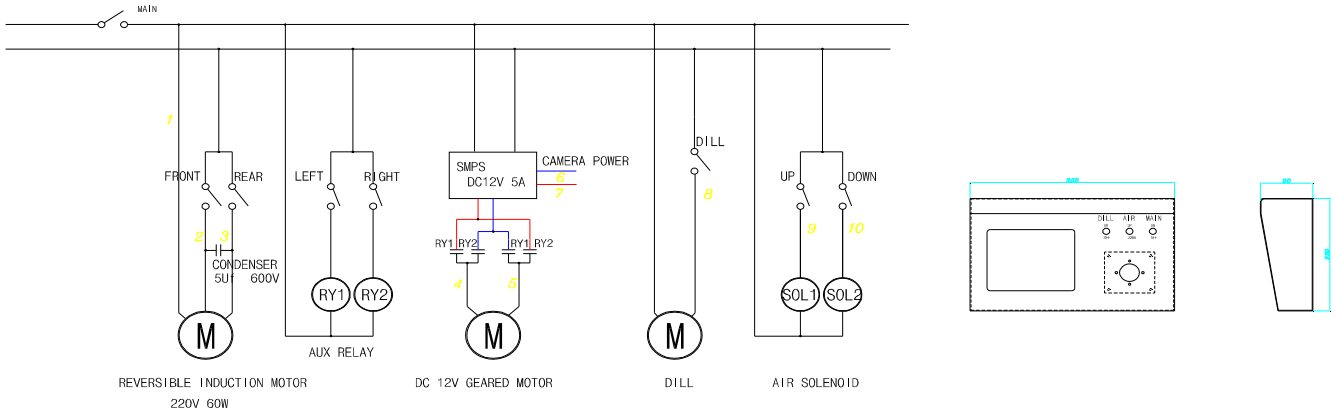
RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked





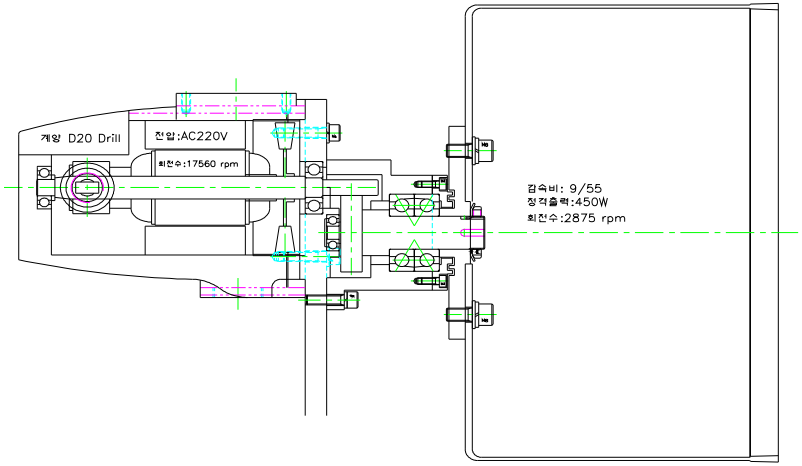


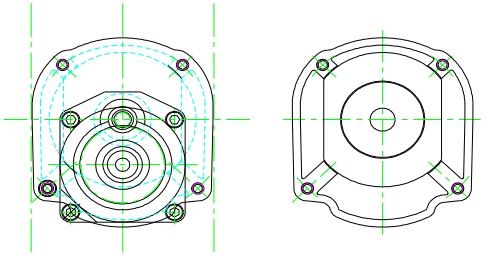
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No /Reference	
Designed by Woo Jin Kim	Checked by Woo Jin Kim	Approved by - date Woo - 05/11/29	File name XXX	Date 05/11/29	Scale 1:1
Fxing Unit		Robot			
		3		Edition 3	Sheet 1/1



6			NOTE	APPR	REV'D	CH'D	DRAWN	DWG.NAME CONTROL P/N	SCALE N/S	THICKNESS 1.2T	GROUP NO.	PAGE
4												
3								WORK NO.	WORK NAME	DRAWING NO.	
2										VC-001	
1											

NO.	MARKING	REVISION	DATE	BY





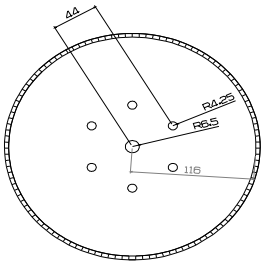
1	MOTOR		1	SUS304	
NO.	ARTICLE	STANDARD	Q'TY	MATERIAL	REMARK

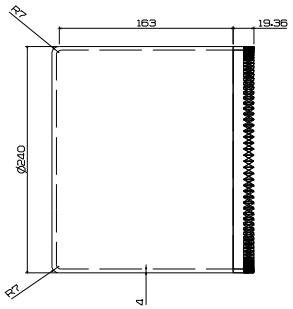
SCALE.	1/1	A3	DESIGN	L.J.T	May.02.01
			DRAWN	L.J.T	
REMARK			CHECK	K.J.Y	
			APPROVE	YS LEE	

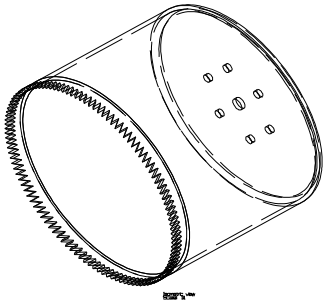
TITLE.
CAP FLANGE
ϕ100 SPINDLE ASS'Y

DWG' NO. JK-GSA-100-008

RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked







Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by DESIGNED_BY	Checked by CHECKED_BY	Approved by - date APPROVED_BY_DATE	File name FILENAME	Date DATE	Scale SCALE
WOO JIN KIM		SAW BLADE			
				Edition EDITION	Sheet SHEET