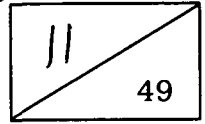


629.8P2  
7373T



GOVP 19904512 v.1

## 구조 구난용 원격조종 Vehicle의 개발

Development of a remote-controlled multipurpose  
vehicle for manless emergency-rescue

연구기관  
한국과학기술연구원

과 학 기 술 부

## 제 출 문

과학기술부 장관 귀하

본 보고서를 “구조구난용 원격조종 Vehicle 개발에 관한 연구”과  
제의 보고서로 제출합니다.

1999. 1. 29.

주관연구기관명 : 한국과학기술연구원  
연구책임자 : 홍       예       선  
                  김       창       호  
연구       원 : 박       종       오  
                  류       시       복  
                  이       강       규  
                  김       정       태

여 백

## 요 약 문

### I. 제목

#### 구조구난용 원격조종 Vehicle 개발

### II. 연구 개발의 목적 및 필요성

대기 오염, 폭발, 붕괴 등의 위험이 있는 재난 현장에서 무선 원격조종에 의해 사람 대신 구난 및 구조 작업을 수행할 수 있는 로봇화된 원격조종 Vehicle이 개발된다면, 구조 인력의 희생을 최소화하면서 사고 인명과 재산을 신속하고 효율적으로 구제하여 추가적인 경제적 손실을 줄일 수 있다. 이러한 기능을 발휘할 수 있는 장비는 제한적이거나 실제 용도에 맞도록 적절한 구조로 개발되어야 하고, 특히 혹독한 환경에서도 신뢰할 수 있게 작동되는 구조를 갖추어야 하며, 조작이 단순하여 신속한 작업이 가능하도록 보장되어야 한다. 본 연구는 계단이나 장애물을 승월할 수 있는 주행장치와 무게 100kg 정도의 장애물이나 사람을 들어올릴 수 있는 양팔 매니플레이터를 갖춤으로써 단순한 무인 탐색뿐만 아니라, 실제 무인 구난 작업을 수행할 수 있는 원격조종 로봇을 개발하기 위해 추진되었고, 전체 시스템을 로봇 대신 Vehicle로 정의한 것은 그 크기 및 중량, 작동원리 측면에서 소형 중장비에 가깝기 때문이다.

### III. 연구 개발의 내용 및 범위

본 연구 과제의 최종 목표는 무선 원격조종에 의해 구난 및 방재 작업을 수행할 수 있는 로봇화된 다목적 vehicle 시스템을 개발하는 것으로서 전체 중량은 1,000 kg 이내, 전체 크기는 길이 2m 이내, 폭 1.5m 이내 그리고 높이는 2m 이내로 제한하였고 주요제원은 아래 표와 같다.

주요기능	기본구조	사양
작업기능	6자유도의 양팔 매니플레이터와 교환 가능한 다양한 end effector	-전기유압식 관절구동 -양팔의 가반하중 100kg 이상 -팔 길이 약 2m -파식, 굴착, 굴삭, 로프 발사 기능을 갖는 end effector
주행이동 기능	-무한궤도 방식 -소형엔진을 이용한 동력공급	-계단 통과 기능 -평지 최대속도 시속 10km
원격조종 기능	-Stereo camera와 force reflection 기능을 갖는 양팔 master	-무선 송수신 반경 2km
탐색기능	-초음파방식 지하매설물 탐사 센서 -적외선 카메라 -X-ray 카메라	

위의 연구목표를 달성하기 위한 주된 연구 내용은 다음과 같다. 즉,

- 1) 문헌 및 선행 연구사례 조사
- 2) 시스템에 대한 개념 설계 및 개발 목표 확정
- 3) manipulator 설계, 시제작 및 성능 평가
- 4) end effector 설계, 시제작 및 성능 평가
- 5) 주행장치의 설계, 시제작 및 성능 평가
- 6) 무선 원격조종 시스템 개발
- 7) 전체 시스템의 integration 및 성능 시험

본 연구과제의 1차년도에서는 위 연구내용 중에서 관련 기술의 현황 파악, 시스템 및 단위 요소들에 대한 상세 개념 및 개발 목표 확정을 주로 수행하도록 계획되었다.

#### IV. 연구 개발 결과의 활용계획

본 연구과제의 1차년도 연구결과는 구조 구난용 원격조종 Vehicle의 개념 모델로서 제작된 mock up, 주행장치의 작동 원리 및 그래픽 시뮬레이션, 유압 작동식 팔 관절 시제 및 성능시험 결과, 원격조종 장치의 구조에 대한 개념 등이다. 이러한 결과는 본 연구의 지원이 계속될 경우 주행장치 시제 개발, 양팔 매니플레이터 개발의 주요 개념으로서 활용될 것이다.

여 백

## SUMMARY

### I. Title

Development of a remote-controlled multipurpose vehicle for manless emergency-rescue

### II. Necessity and Purpose of Study

If a remote-controlled vehicle which can perform manless emergency-rescue missions in toxic-gas contaminated, explosive, or collapsive environments is available, minimization of sacrifice of rescue manpower as well as prevention of additional economic loss through effectively and promptly saving the accidental human life and valuable properties is possible. The equipment which can perform above-mentioned missions has to be developed in an adequate structure for dedicated but actual purposes. Especially, in extreme environments, reliable operation of the structure should be guaranteed, and it should be simple and swift. This research aims for developing a remote-controlled robot which can perform actual manless rescue missions in addition to simpler manless probing missions by adopting a unique locomotion for running through ascending and descending steps and obstacles as well as a two-armed manipulator for lifting obstacles or human beings at about 100Kg weight limit.

### III. Contents and scope of study

Final goal of this study is the development of a multi-purpose vehicle robot system which can perform a remote-controlled rescue missions. Total weight is limited



within 1,000Kg, while the length, width, and height are limited within 2m, 1.5m, and 2m, respectively. Major specifications are shown in the following table.

Major Capabilities	Basic Structure	Specification
Operating Capabilities	6-DOF two-armed manipulator and exchangeable/variable end effector	-electrohydraulic joint drive -lifting capacity of higher than 100Kg -arm length about 2m -end effector with breaking, excavating, drilling, and rope launching capabilities
Locomotion Capabilities	-catapillar type -power supply with a small size engine	-stairway travelling capability -maximum speed in plain ground 10Km
Remote Control Capability	Two armed master with stereo camera and force reflection capability	-wireless transmitting and receiving capability 2Km
Probing Capability	-Ultrasonic probing sensor for underground objects -IR camera -X-ray camera	

Major research contents are as follows for reaching the above-mentioned research goals.

- 1) reviews on references and previous research cases.
- 2) concept design and determination of development goals

- 3) design, test rig development and performance test of manipulator and end effector
- 4) design, test rig development and performance test of locomotion equipment
- 5) development of wireless remote control system
- 6) integration and performance test of the assembled entire system

As the first year in this project among the above research contents, reviews on related state of the art technologies, detailed concept designs and development goals in system and unit elements were determined.

#### IV. Results and suggestions for the applications

Results in the first year are the development of a mock-up vehicle as a concept design model of remote-controlled rescue mission vehicle, operating principle and graphic simulation of the locomotion equipment, test rig and performance test results of hydro-powered arm joints, and a concept structure design of remote control equipment. These results will be used as major development concepts of the locomotion equipment and two-armed manipulator if the budget is extended.

여 백

## CONTENTS

Chapt.1	Introduction .....	15
Chapt.2	State of the art .....	17
Chapt.3	Contents of study and their results.....	27
3.1	Conceptual design of locomotion .....	27
3.2	Conceptual design of two-armed manipulator .....	37
가.	Configuration of two-armed manipulator .....	37
나.	Configuration of end-effectors .....	42
다.	Design of hydraulic drive for arm joints.....	43
라.	Configuration of arm joint controller .....	44
마.	Performance test of hydraulic arm joint .....	47
3.3	Conceptual design of whole system .....	50
가.	Mock-up model .....	50
나.	Graphic simulation .....	53
3.4	Conceptual design of tele-operation system .....	63
가.	Configuration of two-armed master .....	66
나.	Configuration of visual monitor.....	77
다.	Tele-operation of locomotion .....	83
Chapt.4	Achievement of development goal .....	89
Chapt.5	Suggestion for application of results .....	91

여 백

## 목 차

제1장 서론 .....	15
제2장 국내외 기술개발 현황 .....	17
제3장 연구개발 수행 내용 및 결과 .....	27
3.1 주행장치의 개념 설계 .....	27
3.2 양팔 매니플레이터의 개념 설계 .....	37
가. 양팔 매니플레이터의 개념 .....	37
나. End effector의 개념 .....	42
다. 유압 구동식 팔 관절의 설계 및 제작 .....	43
라. 팔 관절 제어기의 사양 .....	44
마. 유압 구동식 팔 관절의 성능시험 .....	47
3.3 전체 시스템에 대한 개념 설계 .....	50
가. Mock-up 제작 .....	50
나. 그래픽 시뮬레이션 .....	53
3.4 원격조종 장치의 개념 설계 .....	63
가. 양팔 master .....	66
나. 시각 모니터 .....	77
다. 주행 원격조종 .....	83
제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도 .....	89
제5장 연구개발 결과의 활용 계획 .....	91

여 백

## 제1장 서론

### 1.1 연구 개발의 목적, 필요성

대기 오염, 폭발, 붕괴 등의 위험이 있는 재난 현장에서 무선 원격조종에 의해 사람 대신 구난 및 구조 작업을 수행할 수 있는 로봇화된 원격조종 Vehicle 이 개발된다면, 구조 인력의 희생을 최소화하면서 사고 인명과 재산을 신속하고 효율적으로 구제하여 추가적인 경제적 손실을 줄일 수 있다. 이러한 기능을 발휘할 수 있는 장비는 주어진 목적에 부합되도록 적절한 구조로 개발되어야 하고, 특히 혹독한 환경에서도 신뢰할 수 있게 작동되는 구조를 갖추어야 하며, 조작이 단순하여 신속한 작업이 가능하도록 보장되어야 한다. 본 연구는 계단이나 장애물을 승월할 수 있는 주행장치와 무게 100kg 정도의 장애물이나 사람을 들어올릴 수 있는 양팔 매니플레이터를 갖추으로써 단순한 무인 탐색뿐만 아니라, 실제 무인 구난 작업을 수행할 수 있는 원격조종 로봇을 개발하기 위해 추진되었고, 전체 시스템을 로봇 대신 Vehicle로 정의한 것은 그 크기 및 중량, 작동원리 측면에서 소형 중장비에 가깝기 때문이다. 이러한 Vehicle을 개발하여 상업화까지 추진하려면 주행장치의 구조에 있어서 독창적인 개념이 요구되고, 양팔 매니플레이터에 있어서는 관절 구동장치와 관절구동 제어기의 하드웨어적인 설계에 있어서 작업 용도에 적합한 구조적 개념이 도입되어야 하며, 원격조종 장치에 있어서는 조작하는 사람이 마치 현장에서 작업하는 것과 같은 감각을 부여하여 신속하고 정교한 작업이 가능하도록 하기 위해 가상현실 기술과 접목된 시스템의 개발이 요구된다. 또한 Vehicle 전체의 부품 배치 layout과 동력 공급 장치의 선정 등이 시제작에 있어서 주요 관건이 된다. 이러한 내용들을 해결하고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

### 1.2 연구 목표, 연구 내용 및 범위

본 연구 과제의 최종 목표는 무선 원격조종에 의해 구난 및 방재 작업을 수행할 수 있는 로봇화된 다목적 vehicle 시스템을 개발하는 것으로서 전체 중량은 1,000 kg 이내, 전체 크기는 길이 2m 이내, 폭 1.5m 이내 그리고 높이는 2m 이내로 제한하였고 주요제원은 아래 표와 같다.



주요기능	기본구조	사양
작업기능	6자유도의 양팔 매니플레이터와 교환가능한 다양한 end effector	-전기유압식 관절구동 -양팔의 가반하중 100kg 이상 -팔 길이 약 2m -파쇄, 굴착, 굴삭, 로프 발사 기능을 갖는 end effector
주행이동 기능	-무한궤도 방식 -소형엔진을 이용한 동력공급	-계단 통과 기능 -평지 최대속도 시속 10km
원격조종 기능	-Stereo camera와 force reflection 기능을 갖는 양팔 master	-무선 송수신 반경 2km
탐색기능	-초음파방식 지하매설물 탐사 센서 -적외선 카메라 -X-ray 카메라	

위의 연구목표를 달성하기 위한 주된 연구 내용은 다음과 같다. 즉,

- 1) 문헌 및 선행 연구사례 조사
- 2) 시스템에 대한 개념 설계 및 개발 목표 확정
- 3) manipulator 설계, 시제작 및 성능 평가
- 4) end effector 설계, 시제작 및 성능 평가
- 5) 주행장치의 설계, 시제작 및 성능 평가
- 6) 무선 원격조종 시스템 개발
- 7) 전체 시스템의 integration 및 성능 시험

총 연구기간을 5년으로 기획한 본 연구과제의 1차년도에서는 위 연구내용 중에서 관련 기술의 현황 파악, 시스템 및 단위 요소들에 대한 상세 개념 및 개발 목표 확정을 주로 수행하도록 계획되었다.

## 제2장 국내외 기술개발 현황

구조 및 구난을 위한 원격조종 무인 로봇의 응용분야는 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 소방 작업
- 인명 구조 작업
- 폭발물의 탐색 및 운반 작업
- 원전 및 화학 플랜트에서의 점검 및 보수 작업
- 오염된 재난 지역에서의 토목 작업

다음은 이들 각 분야에 대한 기술 현황을 조사한 내용으로서, 대부분 Schraft교수가 저술한 Serviceroboter<sup>[2],[3]</sup>를 참고하여 발췌하였다.

### 2.1 소방 작업

폭발 위험이 있거나, 열기가 강해 사람이 접근할 수 없는 화재 현장에 접근하여 원격조종에 의해 작업자가 지정하는 방향으로 소화액을 분사해 주는 것이 소방 로봇의 주된 용도이다. 소방 로봇의 시조는 1968년 미국 General Dynamics사 개발하였던 Fire Cat인데, 1.2m 길이의 무한궤도 방식 주행 샤프시 위에 무선으로 방향 조종이 가능한 분사 노즐을 탑재한 구조로서 현재 실용화되고 있는 제품들의 기본 개념을 제시한 것이었다. 그러나 고압 급수 호스의 반력으로 인한 기동 성능의 불량으로 인해 실용화되지는 못했다.

일본 동경 소방서의 연구부서는 여러 종류의 소방 로봇, 구조 로봇 등을 개발하였는데, 그림 2.1은 그 중 하나인 원격조종 소방 차량 Rainbow 5를 보여준다. 길이 4m, 폭 2m 크기의 이 장비는 작업자가 TV 모니터로 화재 현장을 보면서 분사 노즐의 방향을 무선 또는 유선 원격 조종할 수 있다. 이러한 소방 로봇은 가격이 비싸기 때문에 여러 대를 동시에 사용할 없다는 경제적인 문제점을 갖는다. 이것을 해결하기 위해 개발된 개념이 독일의 Iveco Magirus Brandschutztechnik사가 개발한 그림 2.2의 로봇이다. 이 로봇은 이동형의 분사 노즐을 화재 현장 가까이 견인하여 설치만 해주고 복귀하면 되므로

Telerob사의 MF4 모델의 주행 샤프트를 사용하였다. 이 소방 로봇은 여러 대의 소방 노즐을 교대로 설치할 수 있으므로 활용도도 높다는 장점을 갖는다. 이 소방 로봇은 각 소방서마다 한 대씩 보급한다는 목표로 개발되어 현재 다른 나라에까지 수출되고 있는 성공적인 제품이다.

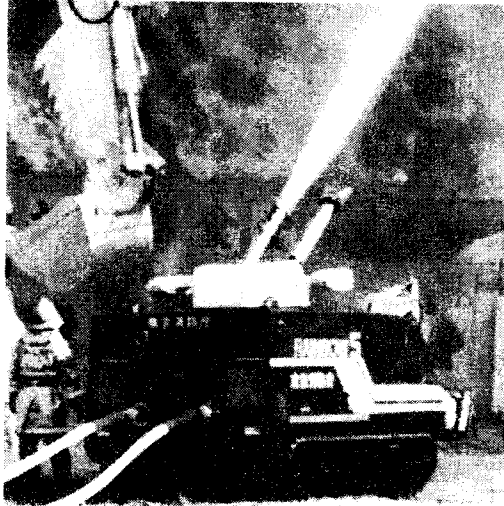


그림 2.1 Rainbow 5

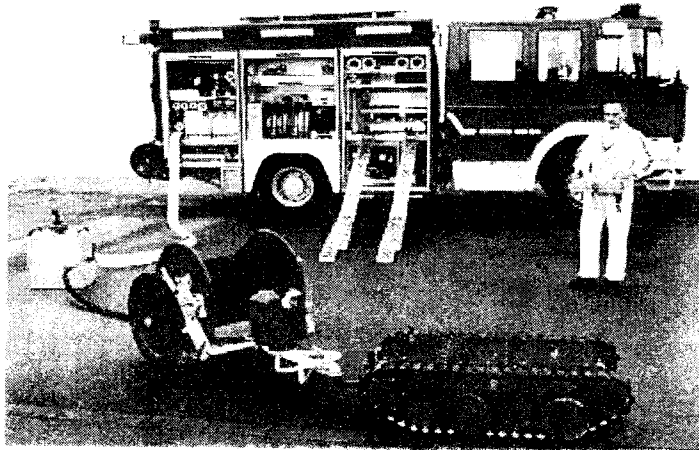


그림 2.2 독일 Iveco Magirus Brandschutztechnik사와 Telerob사가 공동 개발한 소방 로봇



그림 2.3 Telerob사의 MF4를 응용한 소방 로봇

그림 2.3은 Telerob사의 MF4 모델 주행 샴시에 소방기구를 탑재한 소방 로봇이다. 이 경우 로봇 자체의 무게가 300 kg 정도에 불과하여 소방 호스의 반력을 결정하는 소화액 분사 유량에 있어서 크게 제한을 받는다.

그림 2.4는 역시 동경 소방서에서 개발한 로봇으로서 높이 조절이 가능한 가변 구조의 무한궤동 방식 주행 샴시 위에 매니퓰레이터와 TV-카메라, 온도 센서 등을 설치하여 원격으로 화재를 점검하는 데 사용될 수 있다.

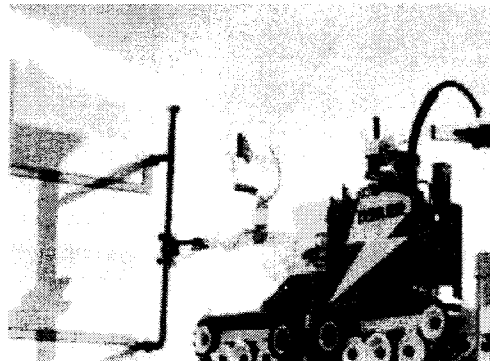
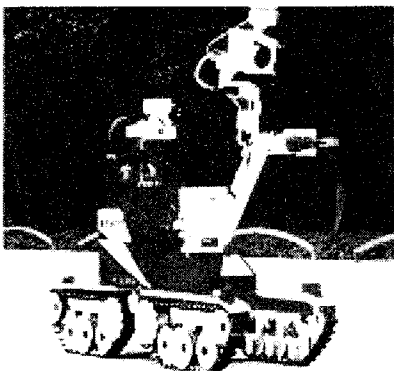


그림 2.4 Fire Search

## 2.2 인명 구조 작업

화재가 난 공장, 백화점, 창고, 지하철 역사, 폭발 위험이 있는 화학 공장이나 항공기 사고 현장 등에서 사람을 구조할 수 있도록 개발된 것이 일본 동경 소방서가 개발한 그림 2.5의 Robo Cue이다. 이를 위해 이 로봇은 부상자를 찾기 위한 조명등과 TV-카메라는 물론, 연기에 의해 시야가 나쁜 곳에서 사용하기 위한 적외선 센서와 초음파 센서 등을 비롯하여 부상자를 눕힐 수 있는 두 개의 매니플레이터와 슬라이딩 들것, 그리고 부상자의 호흡을 돕기 위한 공기탱크와 통신기기를 탑재하고 있다.

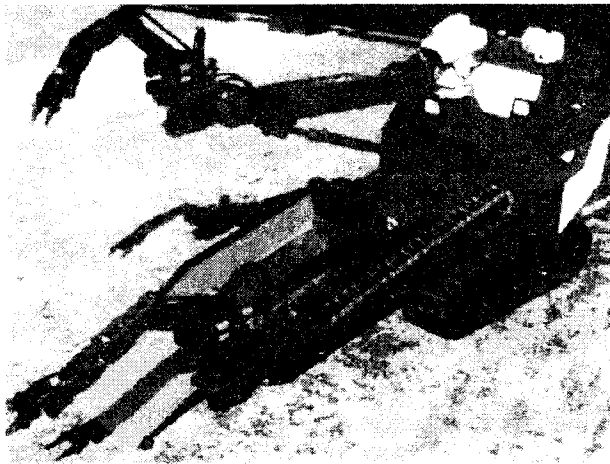


그림 2.5 일본 동경 소방서의 Robo Cue

## 2.3 폭발물의 탐색 및 운반 작업

그림 2.6은 비좁은 건물 안에 설치된 폭발물을 수색하고 제거하기 위한 목적으로 아일랜드의 IMP가 개발한 로봇으로서, 전후 두 개의 무한궤도 샤프트를 결합하여 계단 등을 오르내릴 수 있는 구조로 되어 있고, 무한궤도는 전기모터로 구동되며, 무선으로 조종된다. 주요 제원은 길이가 90cm, 무게는 탑재 장비에 따라서 20-40kg, 속도는 시속 720m, 작동시간은 2-5시간이다.

그림 2.7은 역시 Telerob사의 MV4 모델에 매니플레이터를 탑재하고 gripper에 금속 탐지기를 고정하여 포탄 등을 원격 수색하는 로봇을 보여 준다. 지뢰 탐지 등의 용도로도 적합한 로봇으로서 매니플레이터의 원격조종을 위한

bilateral force feedback 방식의 master를 사용할 수 있으며, 기본 가격이 저렴하다는 것이 장점이다. 이러한 폭발물 탐지 및 제거 로봇은 크기가 작아 이동시키기 쉽고, 가격이 저렴하여 폭발물에 의해 손실되더라도 경제적인 손실이 작아야 한다.

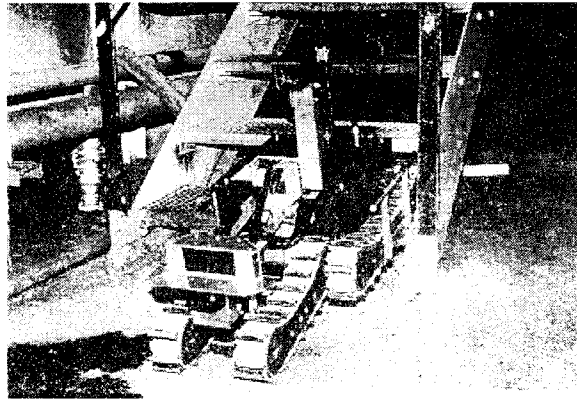


그림 2.6 IMP사의 폭발물 수거 로봇

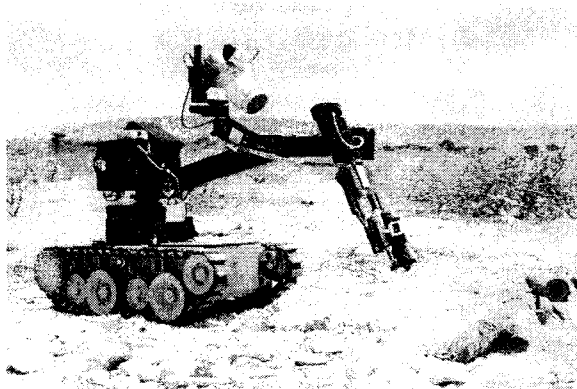


그림 2.7 Telerob사의 MV4를 이용한 포탄 수색

#### 2.4 원자력 발전소 및 화학 플랜트의 안전 점검/보수용

원자력 발전소나 화학 플랜트와 같이 사고가 발생하였을 때 대기가 치명적으로

오염되거나 폭발 위험이 있는 시설물 안에서 사람대신 원격조종에 의해 플랜트 내를 이동하며 고장난 부위를 찾아내 긴급 보수를 할 수 있는 무인 작업 로봇을 개발하는 것은 매우 시급하고 중요한 일이다. 이러한 무인 작업 로봇의 특징은 계단을 쉽게 통과할 수 있어야 하고, 특히 원자력 발전소용은 내방사능 소재로 제작되어야 한다. 그림 2.8은 Telerob사의 MF3로서, 계단을 승월할 수 있도록 두 개의 무한궤도 샤프트를 결합하였고, 매니퓰레이터와 TV-카메라, 조명 등을 탑재하고 있으며, 유선으로 조종된다. 그림 2.9는 일본 Toshiba사가 개발한 로봇으로서, 휠 세 개를 유성치차 방식으로 조합한 cloverleaf형 바퀴 4개를 이용하여 계단이나 문턱을 넘게 되어 있다. 무게는 220kg에 길이는 1,650mm, 폭과 높이는 700mm의 크기를 갖는다.

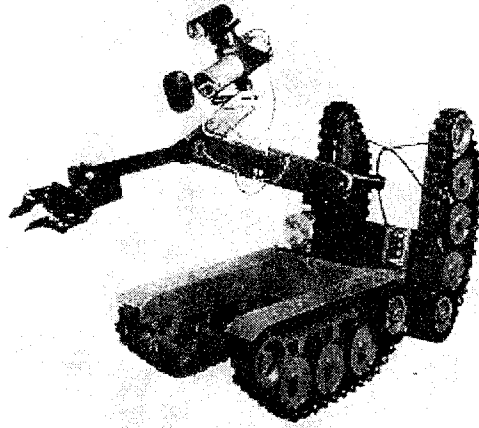


그림 2.8 Telerob사의 MF3

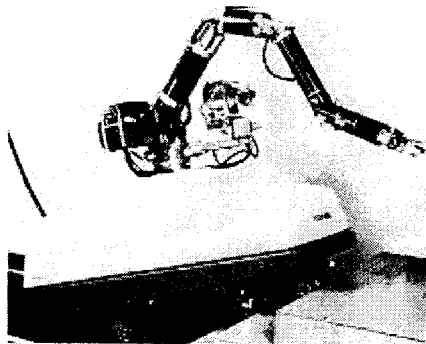


그림 2.9 일본 Toshiba의 AIMARS

그림 2.10도 Toshiba에서 개발한 원전설비 점검 로봇으로서 두 개의 무한궤도를 결합시킨 주행 샤프시를 갖고, 특히 계단 주행시의 안정도를 높이기 위해 축간 거리를 변화시킬 수 있다. 그림 2.11은 무게 80kg정도의 원전설비 점검용 로봇으로서, 지정된 점검 장소를 기억된 경로에 의해 찾아가며 TV-카메라로 원격 점검할 수 있도록 개발되었고, 계단 주행을 위해 전후에 보조 지지용 팔을 가지고 있다. 그림 2.12는 Mitsubishi중공업이 개발한 Containment vessel의 점검 및 경정비용 로봇으로서, 45도 경사의 계단까지 오를 수 있는 가변 주행장치를 갖고 gripper의 가반 하중은 20kg에 달한다.

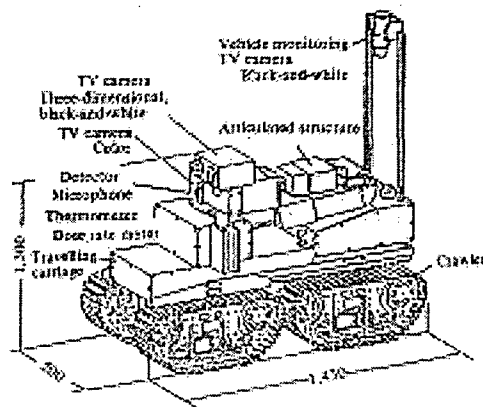


그림 2.10 일본 Toshiba의 원전설비 점검 로봇  
(무게 400kg, 속도 10m/min)

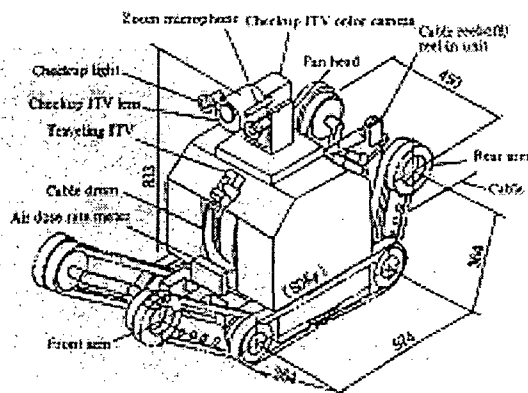


그림 2.11 일본 Meidensha 전기공업사의 원전 설비 경비 로봇(무게 80kg)



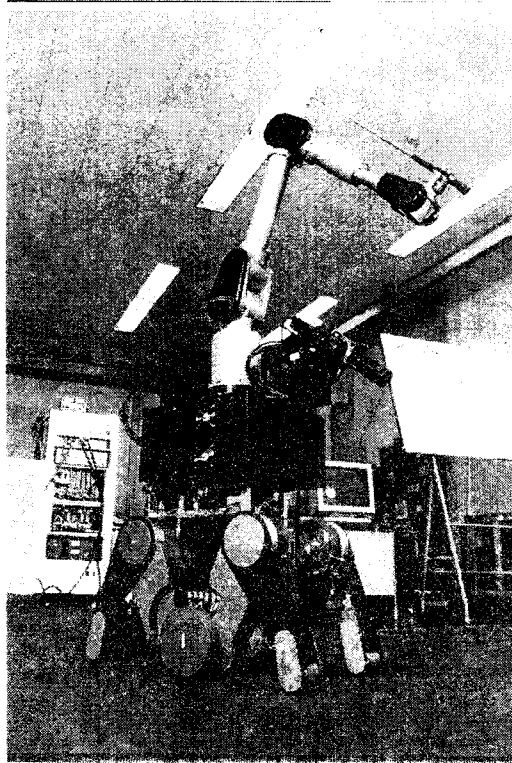


그림 2.12 일본 Mitsubishi의 C/V robot (무게 420kg)

## 2.5 방사능 오염지역의 보수 작업

무한궤도를 사용한 Off-road 차량으로서 붕괴, 폭발 등으로 인한 잔해를 제거하거나, 원자력 발전소의 철거 등의 목적으로 개발된 것이 그림 2.13에서 보는 Telerob사의 무선조종 방식 MF2 모델이다. 전체 중량이 3.5톤, 길이 3.2m, 폭 1.5m 크기의 이 차량은 전기 모터로 구동되고 동력 공급원으로 납축전지를 사용하여 기동 반경 1,000m 내에서 시속 0.6km에서 12km속도로 주행할 수 있다. 5자유도에 최대 길이 3m의 매니플레이터로는 400kg까지 들어올릴 수 있고, gripper는 200kg의 장력을 낼 수 있다. 센서로는 주행을 위한 흑백 TV 카메라와 팔 작업을 위한 스테레오 카메라, 방사능 측정 센서, 대기 온도 센서 등을 갖추게 된다.

그림 2.14는 러시아의 State Institute of Physics and Technology에서 개발한 내방사능 기능의 원격조종 차량으로서 무한궤도 대신 off-road 휠을 사용하

였으며, 원격조종 모니터용 카메라와 굴삭기능의 팔 등을 갖추고 있다. 이 차량은 체르노빌 원자력 발전소의 사고가 발생하였을 때 실제로 수습작업에 투입되어 수많은 인명의 희생을 대체할 수 있었던 것으로 알려져 있다.

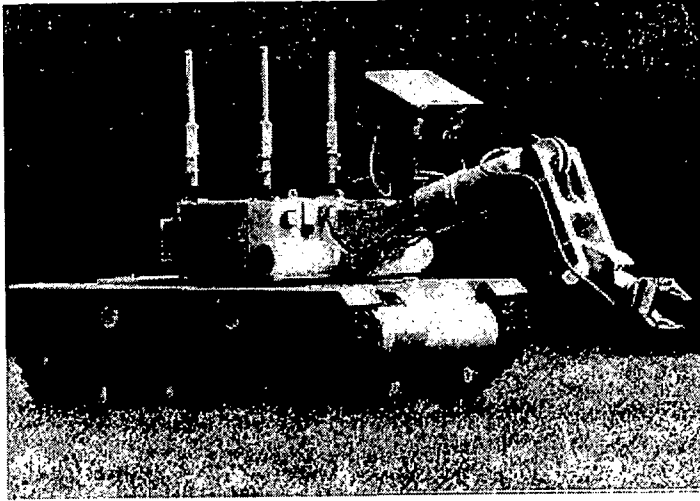


그림 2.13 Telerob사의 MF2

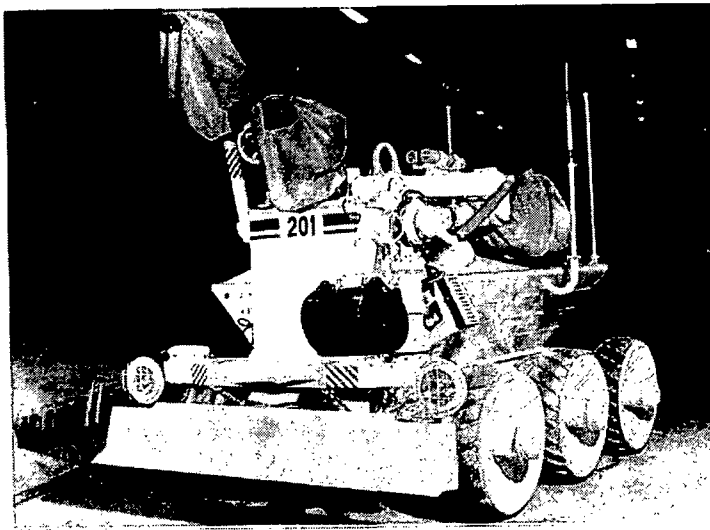


그림 2.14 러시아 SIPT의 내방사능 원격조종 차량

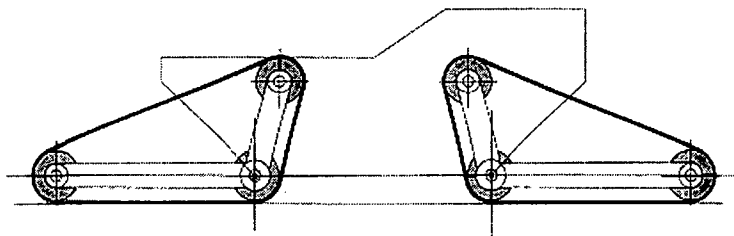
여 백

## 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

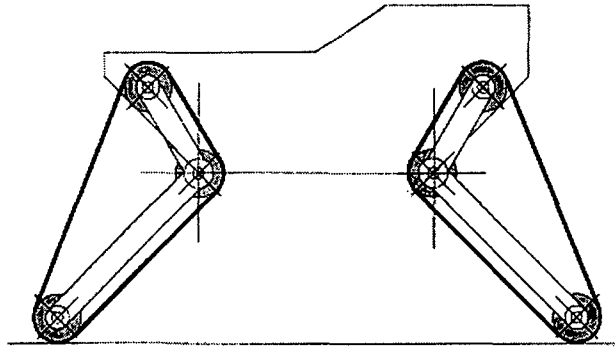
본 과제에서 개발하고자 하는 구조 구난용 원격조종 Vehicle의 기본 개념은 그림 2.7에서 설명한 일본의 Robo Cue와 같이 두 팔을 가지고 장애물을 제거하여 부상자를 구출할 수 있고, 이 분야의 대부분의 로봇들처럼 가변구조의 무한궤도 방식 주행장치를 이용하여 계단 등의 장애물을 승월할 수 있으며, 무선으로 원격조종되고, 양팔과 무한궤도를 유압으로 구동하여 pay load를 높이며, 동력원은 소형 엔진을 이용함으로써 작동시간이 6시간 이상 될 수 있도록 하되, 내열 기능을 위해 엔진과 연료통을 내열재로 감싸는 방향으로 구상되었다. 다만, 내방사능 기능은 연구 범위에서 제외하였다.

### 3.1 주행장치의 개념 설계

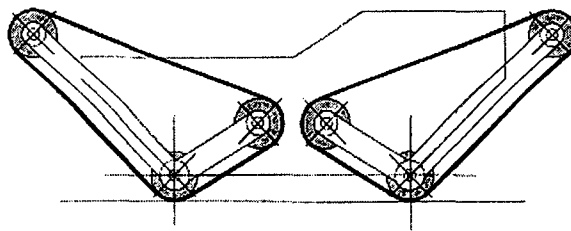
본 과제에서 목표로 하는 주행장치의 개념은 무한궤도 방식으로서, 평지에서 경사각이 큰 계단, 높은 턱, 급한 경사면 등으로 진입하거나, 반대로 다시 평지로 복귀하는 것이 쉽도록 경사각을 독립적으로 변화시킬 수 있는 그림 3.1과 같은 가변구조를 기반으로 한다. 이러한 구조는 차체의 높이 조절뿐만 아니라 경사면이나 계단에서 차체를 수평으로 유지할 수 있는 장점이 있다.



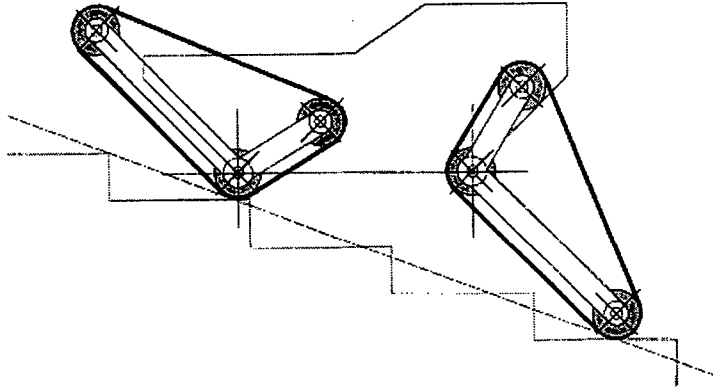
(a) 정상 자세



(b) 차고가 최대인 상태



(c) 진입각이 최대인 상태



(d) 계단 또는 경사면 주행 상태  
그림 3.1 주행장치의 작동 원리

주행장치의 자유도는 무한궤도의 좌우 1 set에 1개씩, 각 무한궤도의 경사각 1개씩으로 구성되어 전체 자유도는 6이다. 그림 3.2는 무한궤도의 작동 구조에 대한 개념을 상세하게 도시한 것이다. 무한궤도의 경사각을 변화시켜 주는 유압모터는 회전각 범위가 90도이면 충분하다. 주행을 위한 유압 모터는 감속기와 조합된 허브형 모터로서 농기계나 중장비에 사용되고 있는 모델을 사용할 수 있다.

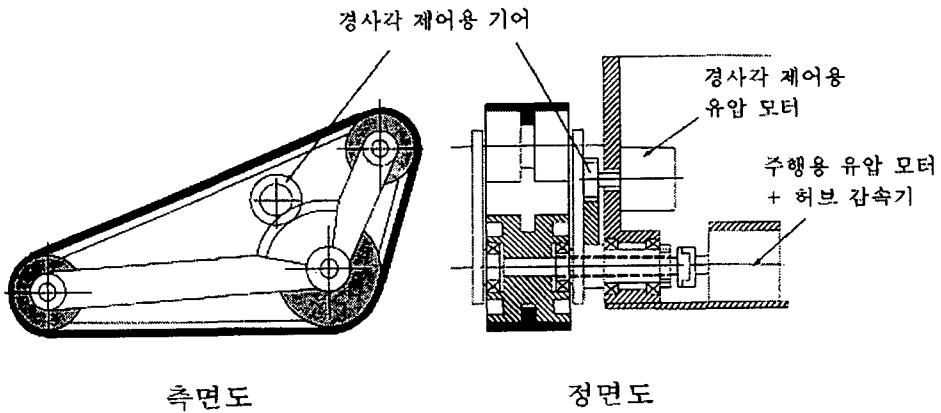


그림 3.2 무한궤도의 기본 구조

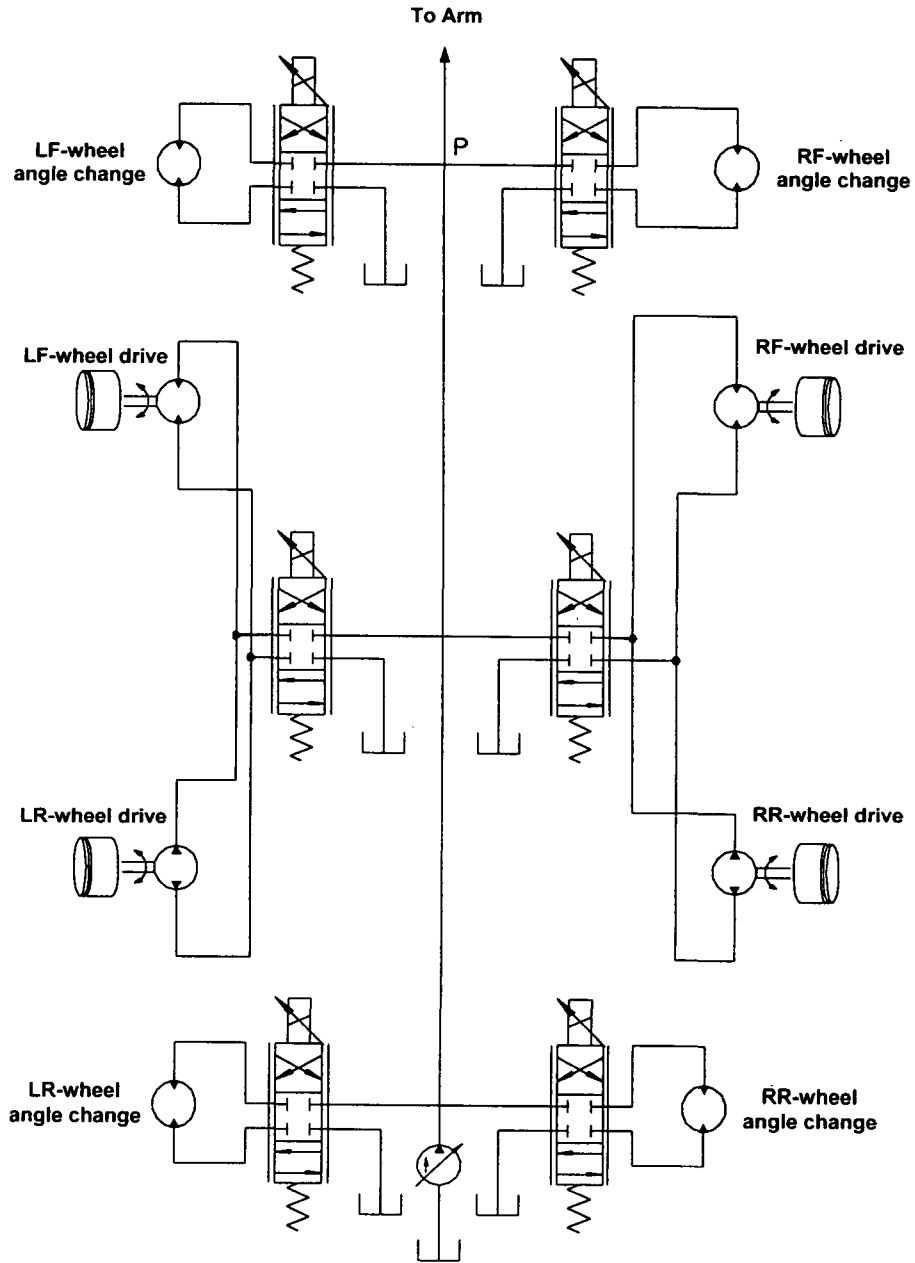


그림 3.3 주행장치의 유압회로도

그림 3.3은 주행장치의 유압회로이다. 각 유압 모터의 제어에 비례제어밸브를 사용하면 되고, 유압은 200bar의 정압을 공급하되, 시스템 효율을 높이기 위해 유압 펌프는 압력 보상 가변펌프를 사용해야 한다. 상체의 양팔 매니퓰레이터 작동을 위한 유압도 동일한 펌프로부터 공급받는다. 상체보다는 주행장치에서 소비하는 유량이 더 많기 때문에 유압펌프의 선정은 주행장치를 기준으로 한다. 이때의 전체조건은 전속으로 주행하면서 양팔 매니퓰레이터를 조작하지 않는다는 것이다.

각 유압 부품의 선정을 위한 작동조건은 그림 3.4와 같이 20도의 경사면을 등판할 때 차체는 수평을 유지한다고 가정할 수 있다. 이러한 조건에서 차량 총중량을 1톤으로 가정하여 주행 모터의 체적 용량, 경사각 제어 모터의 체적 용량, 유압 펌프의 공급유량을 계산하면 다음과 같다.

주행 노면의 마찰계수가 충분히 크기 때문에 wheel slip이 없는 조건에서는 후륜에 작용하는 마찰력과 구동 토크는

$$F_2 = \mu N_2 = \frac{W \cdot L \sin 20^\circ}{2(L + R \cos 45^\circ)}$$

$$T_2 = r \cdot F_2$$

이다. 여기에서  $r$ 은 후륜의 반경이다. 이로부터 유압 모터의 체적용량을 구하면

$$D_m = \frac{T_2}{\eta_m N P_s}$$

여기에서  $\eta_m$ 은 유압모터 및 감속기의 기계효율,  $P_s$ 는 공급압력,  $N$ 은 감속비이다. 이때 주행속도  $V$ 를 얻기 위해 펌프로부터 공급되어야 하는 유량은

$$Q_s = \frac{N \cdot V \cdot D_m}{r \eta_v}$$

이다. 여기에서  $\eta_v$ 는 유압모터의 체적효율이다. 따라서 회전속도  $n$ 으로 펌프의 최소 체적용량은

$$D_p = \frac{4Q_s}{n \cdot \eta_p}$$

와 같다. 동일한 조건에서 경사각 제어용 유압 모터의 체적용량을 구하면

$$D_h = \frac{W \cdot L \cdot R \cos 45^\circ}{2 \eta_m \cdot P_s \cdot N_h (L + R \cos 45^\circ)}$$

이다. 이상과 같은 수식에 표 3.1과 같은 설계 조건을 대입하면 그 결과는 표 3.2와 같다. 여기에서  $N_h$ 는 경사각 제어용 유압모터의 감소비이다.



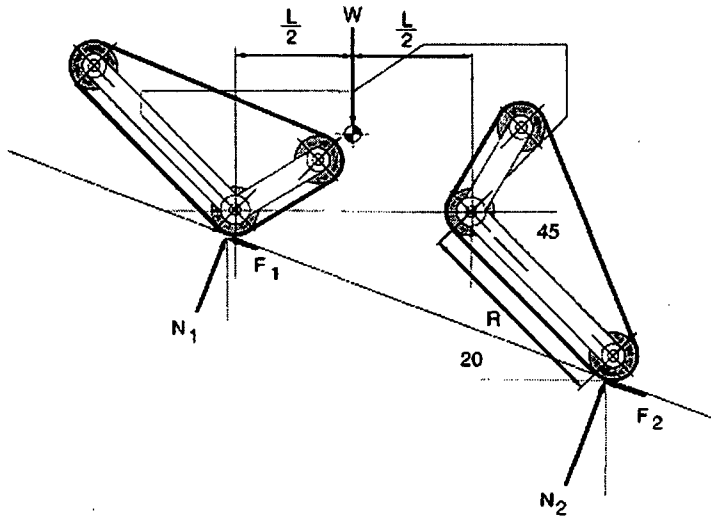


그림 3.4 경사면 주행시의 정역학

표 3.1 설계 조건

항목	W (kg)	L (m)	R (m)	r (m)	$\eta_m$	$\eta_v$	$\eta_p$	V (km/h)	n (rpm)	$P_s$ (bar)	N	$N_h$
수치	1,000	0.6	0.6	0.1	0.85	0.9	0.9	4	2,500	200	3	10

표 3.2 유압 모터와 펌프의 선정 기준

항목	$D_m(cm^3/rad)$	$D_p(cm^3/rad)$	$D_h(cm^3/rad)$
수치	6	4.7	7.3

따라서 경사각 제어용 유압 모터의 체적용량이 가장 큰 것을 알 수 있다. 이들 모터는 다음 절에서 설명될 Volvo사의 swash plate형 axial piston motor(모델 F11)를 사용하면 된다. 그리고 압력 보상형 가변 유압 펌프로는 Rexroth사의 가변 3X series 베인펌프가 소형이면서 가격도 저렴하여 가장 적합하다.

주행장치 내에는 무한케도 작동용 유압 모터외에도 유압 펌프와 발전기를 구동하기 위한 소형 엔진 및 연료탱크, 축전지, 주행장치 및 팔 제어기, 무선 조종을 위

한 통신장치, 유압 밸브 블록이 내장되어야 한다. 이러한 부품들의 배치를 위한 layout의 개념은 그림 3.5와 같다.

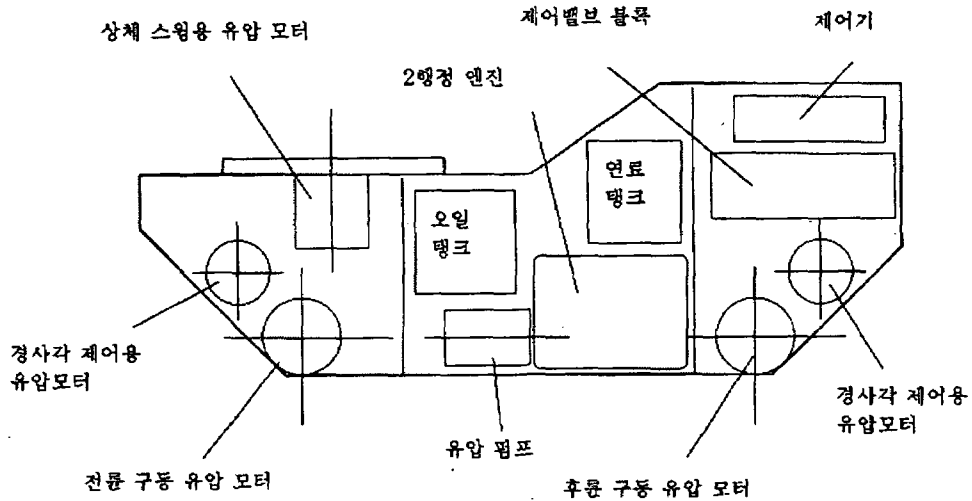


그림 3.5 주행장치의 layout

주행장치의 제어기는 다음에 설명되는 양팔 매니플레이터 제어기와 동일한 구성을 갖는다. 주행장치에 있어서는 경사각 제어용 구동모터의 변위 제어가 요구되므로 4축의 동시제어가 이루어져야 한다. 주행모터는 속도조절이 요구되는데, open-loop로 제어해도 되므로 별도의 구동 제어기 없이 주제어기의 D/A 포트에서 아날로그 전압 신호를 출력시킬 수 있으면 된다. 주행장치에 요구되는 센서로는 각 무한궤도의 경사각 센서 4개와 양쪽 주행 모터의 회전 속도 센서, 차체의 roll 및 pitch 방향 경사각 센서, 진행방향을 측정하기 gyro compass등이 요구된다. 그림 3.6은 주행장치의 제어기 개념을 도시한 것이다.

주행장치 제어기는 그림 3.6에서 보는 바와 같이 크게 main control board, peripheral I/O board, motion control board로 구성된다. Main control board는 외부의 원격조종 제어기와 무선 modem으로 연결되어 각 무한궤도의 경사각, 주행속도 및 방향에 대한 명령을 전달받는다. Main control board 와 peripheral I/O board는 나중에 설명되는 양팔 제어기와 공유하는 부분이다. 경사각 제어 모터 하

나씩 사용되는 motion control board는 기본적으로 PID제어에 의한 회전각 변위 제어 기능, 변위제어에 필요한 센서 신호의 입력기능, 구동 모터의 제어신호 출력 기능을 갖는다. 탑재형 보행제어기의 특징은 motion control board를 최소화하여 각 모터에 분산 배치하고 motion control board와 main control board간은 고속 daisy chain serial 통신방식에 의해 두개의 와이어만을 이용해 전부 연결시킨 점이다. 따라서 신호 배선이 단순해지고 주행 제어기 하드웨어를 설치하기 위한 공간을 분산시킬 수 있는 장점이 있다.

Motion control board의 주요 기능은 다음과 같다. 즉,

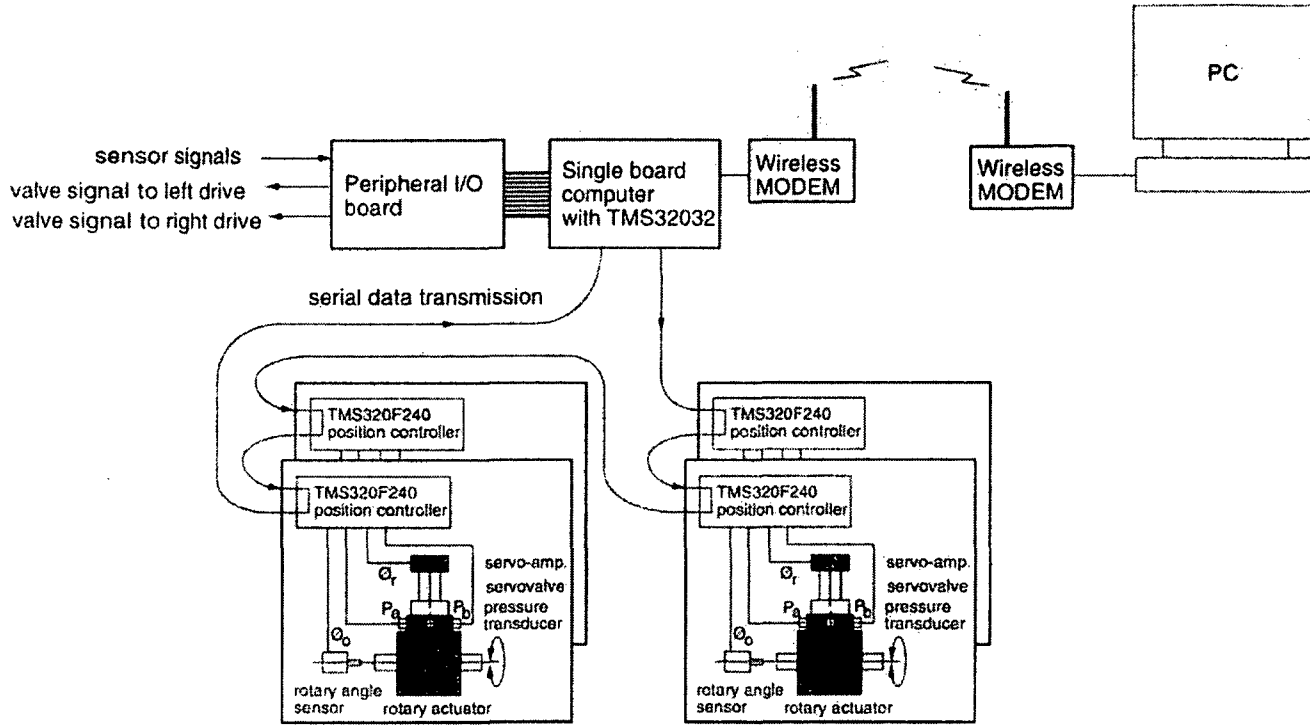
- 1) 각 유압 모터의 제어에 필요한 회전각 센서의 신호를 직접 입력할 수 있는 기능
- 2) 유압모터 제어용 비례제어밸브 전류신호를 출력할 수 있는 기능
- 3) DSP를 이용하여 임의의 변위제어 알고리즘을 빠른 속도로 처리할 수 있는 기능
- 4) 작동 전원의 종류를 단순화
- 5) 고속 serial 통신에 의한 데이터 전송 배선의 단순화

주행장치용 motion control board의 구체적인 신호 입출력 사양은 표 3.3과 같다.

표 3.3 주행장치용 motion controller의 사양

입력전원	밸브구동용	+24V
	신호처리용	+24V
	GND	
출력전원	직류 ± 2A	
센서신호 입력	analog input ; 2 ch. ± 5V	
	2-phase encoder signal input ; 2 ch. +5V	
제어신호 출력	직류 ± 5V	
통신신호	sin. sout	
CPU	TMS320F240PQ	

그림 3.6 주행장치 제어기의 구성



유압 펌프를 구동하기 위한 엔진의 출력은 15마력 정도이면 크기 면에서 적당할 것이다. 따라서 당초의 최대 주행속도 목표인 시속 10km는 문헌 조사를 통해서도 필요이상으로 높은 것으로 나타났고, 펌프의 크기와 엔진의 출력이 위에서 선택한 체원의 2배 이상이 되는 문제점이 있다. 결론적으로 최대 주행속도 목표는 사람의 보행속도와 유사한 시속 4km가 적절한 것으로 판단된다.

### 3.2 양팔 매니플레이터의 개념 설계

#### 가. 양팔 매니플레이터의 개념

매니플레이터는 그림 3.7에서 보는 바와 같이 어깨 관절에 2 자유도, 팔굽 관절에 2 자유도, 손목 관절에 2 자유도 등 최소 6개의 자유도를 가져야 인간의 팔과 유사한 작업을 할 수 있다. 그림 3.8은 이와 같은 자유도를 갖도록 유압으로 작동되는 매니플레이터의 구조에 대한 기본 개념을 도시한 것이다.

1번 관절은 회전각이 180도 가까이 되어야 하므로 유압 모터와 감속기를 사용하여 구동하고, 2번 및 3번 관절은 회전각 180도 이내의 로테이터, 4번 관절, 5번 관절과 6번 관절은 회전각 110도 이내의 로테이터를 사용하여 구동하는 것이 팔 구조를 단순화하는 데 유리하다. 손목 끝에는 End-effector의 작동을 위한 A 및 B 두 개의 포트가 quick-coupler 형태로 돌출되어, 다양한 용도의 End-effector를 쉽게 교환할 수 있도록 해야 한다.

1번 관절의 설계 및 시제작에 관한 설명은 다음에 별도로 기술하였다. 그외의 로테이터를 이용한 관절의 구조를 설명하면 그림 3.9와 같다.

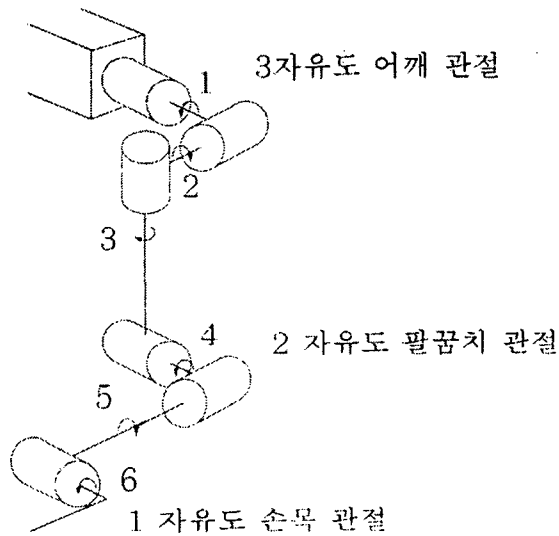


그림 3.7 양팔 매니플레이터의 자유도

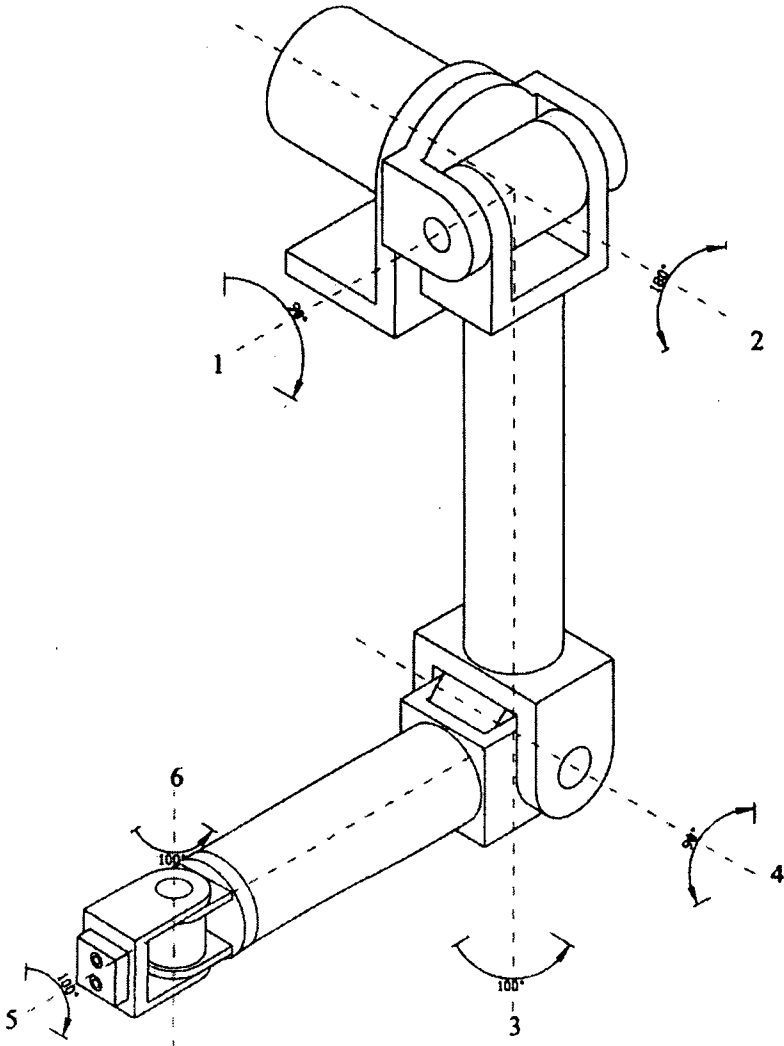


그림 3.8 양팔 매니퓰레이터의 구조적 개념

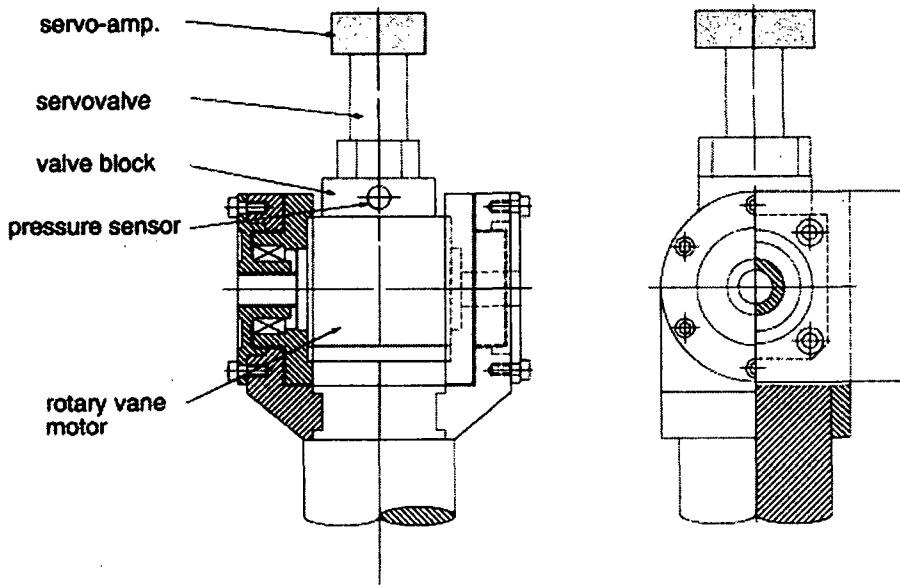


그림 3.9 로테이터를 이용한 회전 관절의 기본 구조

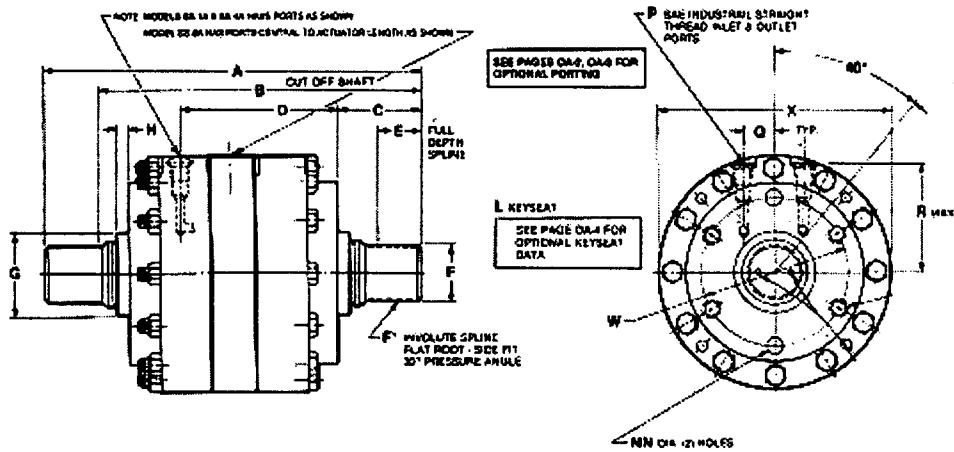
관절을 구동하는 rotary vane motor는 미국 Textron사의 제품을 사용할 수 있다 이 제품은 하우징이 알루미늄 재질로 제작되어 무게가 가볍고 외관은 그림 3.10과 같다. 주요 제원은 표 3.4에 요약하였다.

표 3.4 Rotary vane motor의 주요 제원

항목	최대회전각	최대토크 (압력차=140bar)	체적용량	최대 break-away 압력	무게
제원	100도	515 Nm	39.3(cc/rad)	3.4 bar	4.5 kg

관절 제어를 위한 서보 밸브는 servo-amplifier가 밸브에 내장되고도 소형이며 직동방식으로 작동되는 미국 Textron사의 제품을 선정하였다. 그림 3.11은 이 서보 밸브의 외관을 보여준다. 표 3.5은 서보 밸브의 주요 제원을 종합한 것이다. 이 밸브를 사용하여 위에서 설명한 로테이터를 구동하면 관절의 무부하 최대 회전속도는 초속 280도에 달한다.





A	B	C	D	E	F	G	H	P	Q	W	X
194.6	175.5	35	84.3	15.24	26.3	41.4	3.3	7/16	12.7	67.3	120

그림 3.10 Rotary vane motor의 외관 단위: mm)

표 3.5 서보 밸브의 주요 제원

항목	정격유량 (압력차=1000 psi)	내부누설유량 (압력차=1000 psi)	주파수응답대역 (-3 dB)
제원	11.5 l/min	0.038 l/min	200 Hz

관절의 회전각을 측정하기 위한 센서로는 절대각 측정이 가능한 센서가 가장 적합하나 absolute encoder는 최소 8개의 데이터 라인을 요구하기 때문에 배선이 번거롭고 일반 encoder는 절대각 측정이 불가능하므로 rotary inductive differential transformer형 센서를 선정하였다. 이 센서는 아날로그 신호를 출력시키나 노이즈가 매우 작다는 특징을 갖는다. 그림 3.12는 Analog device사의 회전각 센서의 주요 제원을 보여준다.

양팔 매니플레이터를 위한 유압회로는 주행장치의 유압회로와 유사하고 단지 구동축의 수가 12개에 달하는 점만 차이가 난다. 따라서 전체적으로는 주행장치용 비례제어밸브 6개, 양팔 매니플레이터용 서보밸브 12개 등 18개의 제어밸브가 요구된다.

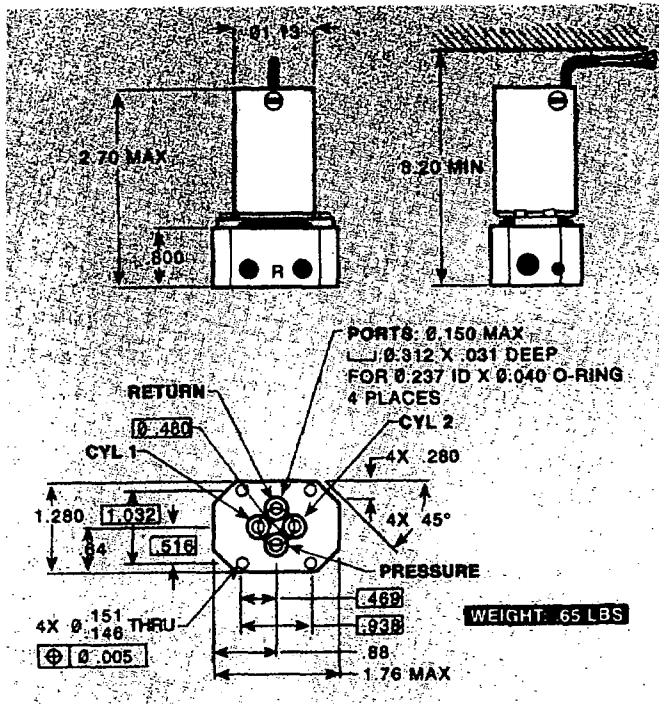
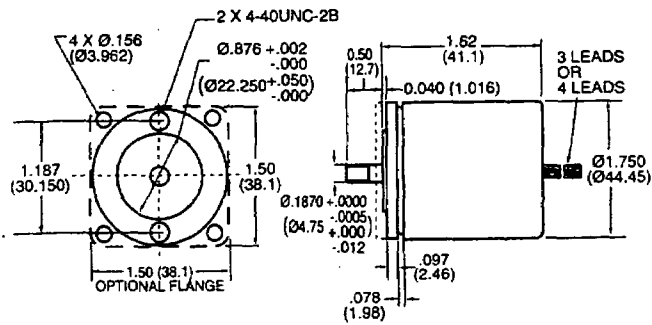


그림 3.11 서보 밸브의 외관



항목	측정범위	Scale factor	주파수응답대역	선형오차
제원	±60도	0.05 V/deg	25 Hz	±0.25 deg

그림 3.12 관절 회전각 센서의 외관 및 주요사양

나. End effector의 개념

구조작업을 위해서는 다양한 end-effector가 요구된다. 그림 3.13은 용도별로 필요한 end-effector의 개념을 나열한 것이다. 즉,

- Gripper; 물건을 집어 옮기는 기능
- Crusher; 철재 장애물을 파쇄하는 기능
- Hammer; 콘크리트 벽과 같은 장애물을 분쇄하는 기능
- Welding torch; 철재 장애물을 분리하는 기능

이들 end-effector는 유압으로 작동되며 quick-coupler에 의해 손목 끝의 유압 포트와 연결될 수 있어야 하며, 방향제어 밸브는 팔목 안에 내장시키면 된다. 특히 Welding torch는 유압으로 산소 공급 밸브를 개폐할 수 있도록 하되, 산소 탱크는 소형의 것을 end-effector에 내장시켜 별도의 호스를 연결할 필요가 없도록 해야 한다.

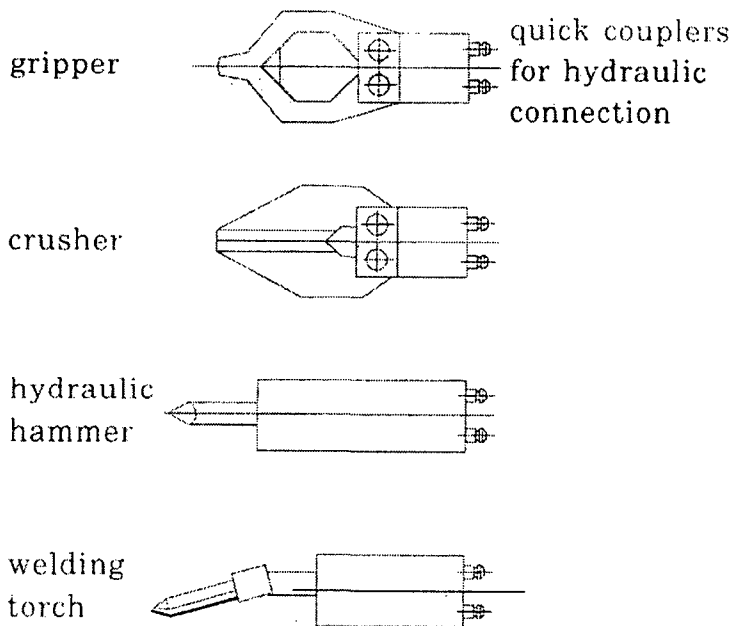


그림 3.13 End effector의 개념

다. 유압 구동식 팔 관절의 설계 및 제작

원격조종에 의해 작동되는 양팔 매니퓰레이터는 팔 끝에 100kg 이상의 하중을 가할 수 있도록 유압식 관절에 의해 작동되어야 한다. 팔 관절 중에 회전각과 부하 토크가 가장 큰 1번 관절은 유압 모터를 이용하여 구동해야 하므로 구조가 가장 복잡하다. 본 연구의 1차년도에서는 1번 관절을 시제작하였고, 그림 3.14는 이 유압구동식 관절의 제어성능을 시험하기 위해 제작된 시험장치를 보여준다. 팔 관절 구동을 위한 유압 모터는 Volvo사의 F11-5모델의 사축형 피스톤 모터로서, 그 제원은 표 3.6과 같이 12,000rpm까지의 순간 고속 회전이 가능하다. 따라서 고속 회전 소형 경량의 관절 구동 모터로서 매우 적합하다. 이 유압 모터의 정격 토크는 200bar의 압력차에서 약 15.6 Nm이므로 감속비가 1/40인 감속기를 사용하면 정격 토크를 약 620Nm까지 발생시킬 수 있다. 본 연구에서 선정된 감속기어는 (주)세진에서 특수하게 개발한 박형의 유성치차형 감속기로서 외경은 200mm, 두께는 90mm, 무게는 13kg에 불과하여 약 20kg의 무게로 정격 토크 620Nm인 관절 구동장치의 개발이 가능한 것이다. 감속기어의 제원은 표 3.7과 같다.

표 3.6 유압 모터의 제원

항목	체적용량 (C.C/rev)	회전속도(rpm)			정격 출력 (kW)	토크 (Nm) (200bar)	정격 압력 (bar)
		순간 최대	연속 최대	연속 최저			
수치	4.88	12,000	8,500	200	18	15.6	350

표 3.7 감속기의 제원

항목	정격 출력 토크 (kgm)	내충격성 (%)	최소기동 토크 (kgm)	순간허용 최대 토크 (kgm)	Backlash (arc.min)	최대허용 입력 회전수 (rpm)
수치	66	500	0.15	330	1	4,000



오크 제어 기능, 관절제어에 필요한 센서 신호의 입력기능, 구동 모터의 제어신호 출력 기능을 갖는다. 탑재형 보행제어기의 특징은 motion control board를 최소화하여 각 관절에 분산 배치하고 각 motion control board와 main control board간은 고속 daisy chain serial 통신방식에 의해 두개의 와이어만을 이용해 전부 연결시킬 수 있다는 점이다. 따라서 신호 배선이 단순해 지고 팔 관절 제어기 하드웨어를 설치하기 위한 공간을 각 관절로 분산시킬 수 있는 장점이 있다.

양팔 제어용 Motion control board의 주요 기능은 다음과 같다. 즉,

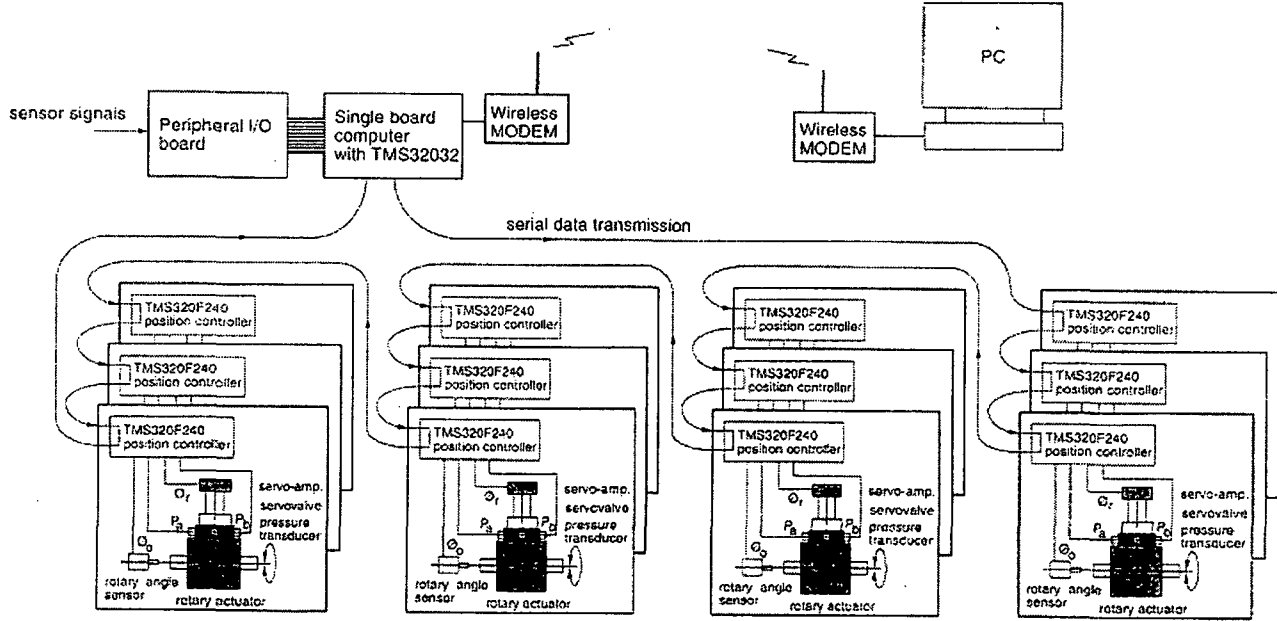
- 1) 각 관절의 제어에 필요한 회전각 센서나 힘 또는 압력 센서의 신호를 직접 입력할 수 있는 기능
- 2) 관절모터 구동용 서보밸브 입력신호를 출력할 수 있는 기능
- 3) DSP를 이용하여 임의의 관절 제어 알고리즘을 빠른 속도로 처리할 수 있는 기능
- 4) 작동 전원의 종류를 단순화
- 5) 고속 serial 통신에 의한 데이터 전송 배선의 단순화

기본적으로 주행장치 제어용과 동일한 양팔 제어용 motion control board의 구체적인 신호 입출력 사양은 표 3.8과 같다.

표 3.8 양팔제어용 Motion controller의 사양

입력전원	밸브구동용 +24V
	신호처리용 +24V
	GND
출력전원	직류 ± 5V
센서신호 입력	analog input ; 2 ch. ± 5V
	strain gauge input ; 2 ch.
	2-phase encoder signal input ; 2 ch. +5V
제어신호 출력	직류 ± 5V
통신신호	sin, sout
CPU	TMS320F240PQ

그림 3.15 유압 구동식 팔 관절 제어기의 구성도



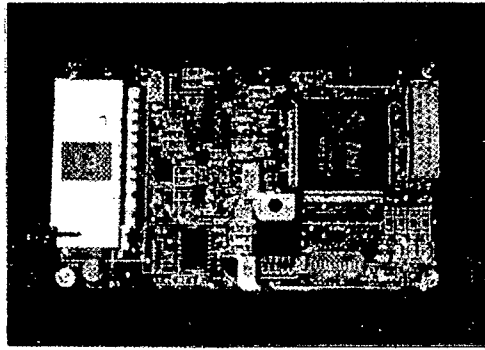


그림 3.16 Motion controller의 실물

양팔 제어와 주행제어에 사용할 main control board는 상용의 Stand-Alone 32-Bit single board computer로서 TMS320C40 계열 DSP를 사용한다.

마. 유압 구동식 팔 관절의 성능시험

그림 3.14에 의해 설명된 구조의 그림 3.17과 같은 팔 관절 시험장치를 이용한 성능시험 결과는 다음과 같다.

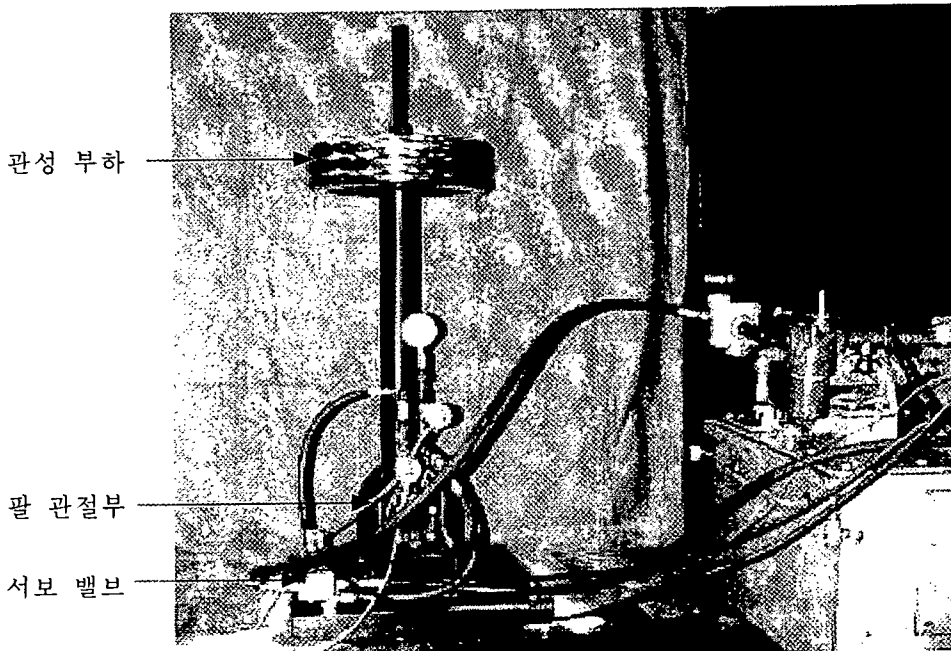
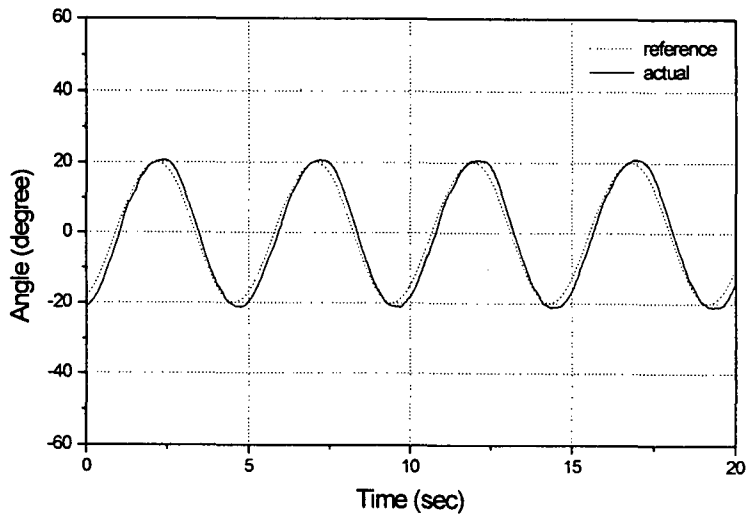
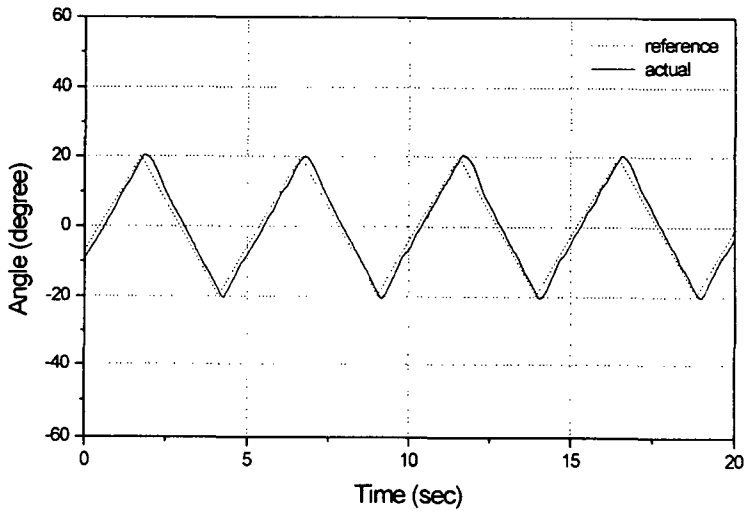


그림 3.17 팔 관절 성능 시험장치의 실물





(a) 정현파 추종제어



(b) 삼각파 추종제어

그림 3.18 팔 관절 성능 시험장치의 성능시험 결과

그림 3.18은 정현파와 삼각파 입력신호에 따른 관절의 추종성능을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 이 실험에서 관성 부하로 60Kg의 추가 사용되었고 관절 중심에서 부하중심까지의 거리는 0.75미터이며 진폭은 좌우 20도이고 주파수는 0.2 Hz로 설정되었다. 실험 결과에서 나타난 것과 같이 위상차는 약 1% 내외, 진폭은 약 5%내외의 오차를 나타낸다. 특히 양 끝단에서의 오차가 최대로 나타나는데 이는 부하 질량의 관성으로 인한 것이다. 관성부하의 크기가 580N이고 이 질량에 더하여 팔 구조물의 질량까지를 고려할 때 본 실험에서 제작한 유압관절의 추종제어 실험을 통한 성능시험 결과는 양호하다고 할 수 있다.

### 3.3 전체 시스템에 대한 개념 설계

#### 가. 원격조종 Vehicle의 스타일링 및 Mock-up 모델 제작

본 연구에서 최종적으로 완성시킬 원격조종 Vehicle의 형태를 도출한 결과는 그림 3.19와 같은 형태이다. 앞에서 설명한대로 주행장치는 계단, 둔턱과 같은 장애물을 쉽게 통과하고 험로에서의 이동 능력을 확보하기 위해 하체의 높이를 조절하거나 경사면이나 계단에서도 몸체를 수직으로 유지할 수 있도록 전후 좌우에 4개의 분리된 무한궤도를 갖고, 각 무한궤도는 경사각을 조절할 수 있다. 그리고 상체는 각 6자유도의 양팔과 2자유도의 시각 장치를 가지며, 상체자체는 pitch 방향과 yaw 방향의 자유도를 갖는다. 따라서 이동 중에는 상체를 뒤로 눕히고 작업을 할 때는 앞으로 숙일 수 있으며, 사람을 태운 들 것을 견인할 수 있는 고리가 주행장치 후방에 설치된다.

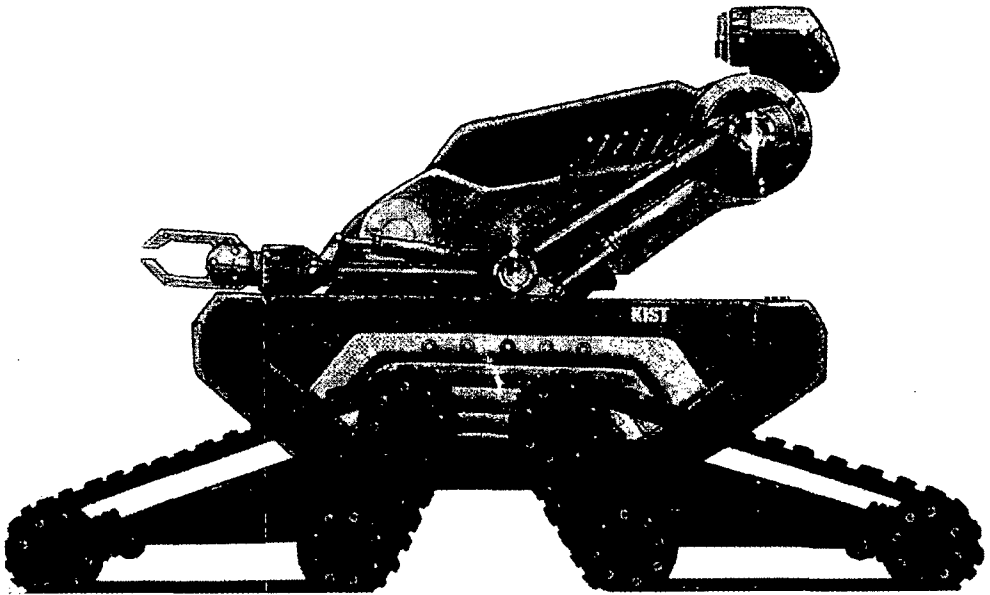
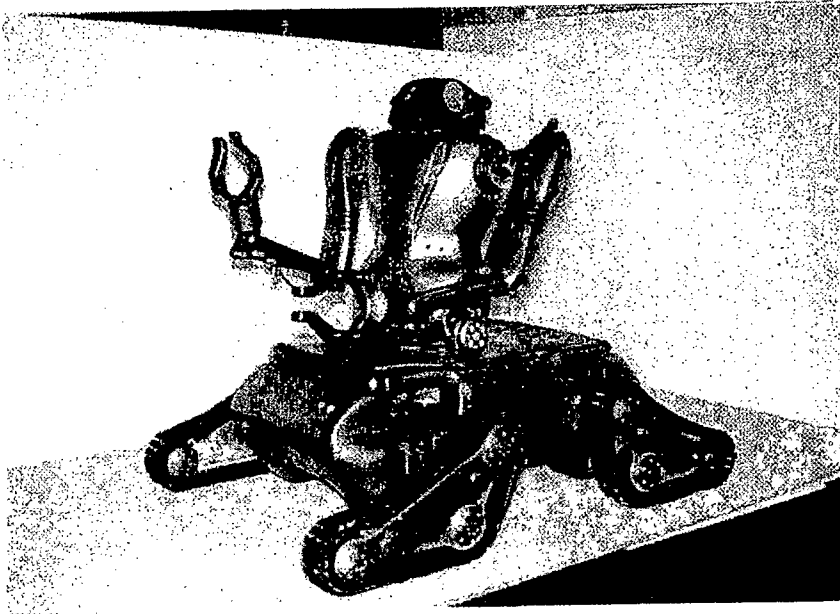


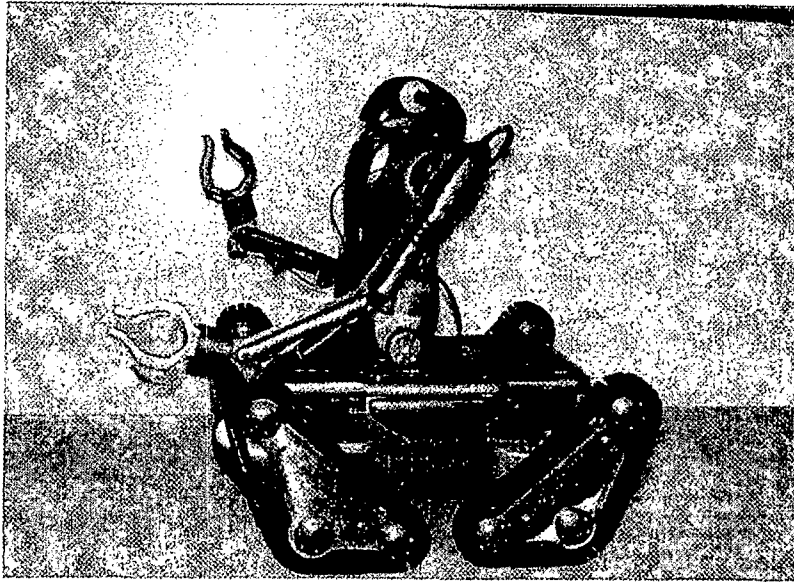
그림 3.19 구조 구난용 원격조종 Vehicle의 개념 모델

1차년도에서는 개념 설계가 주된 연구목표이었기 때문에 그 결과를 가시적으로 제시하고 구조적인 개념을 실제에 근접하여 검토할 수 있도록 주행장치의 주행, 방향전환, 4축 경사각 제어등 기본 동작이 전동 모터에 의해 이루어지는 중량 30kg의 1/2 축소모델을 제작하였다. 그림 3.20은 이 축소모델의 기본 자세를 보여준다.

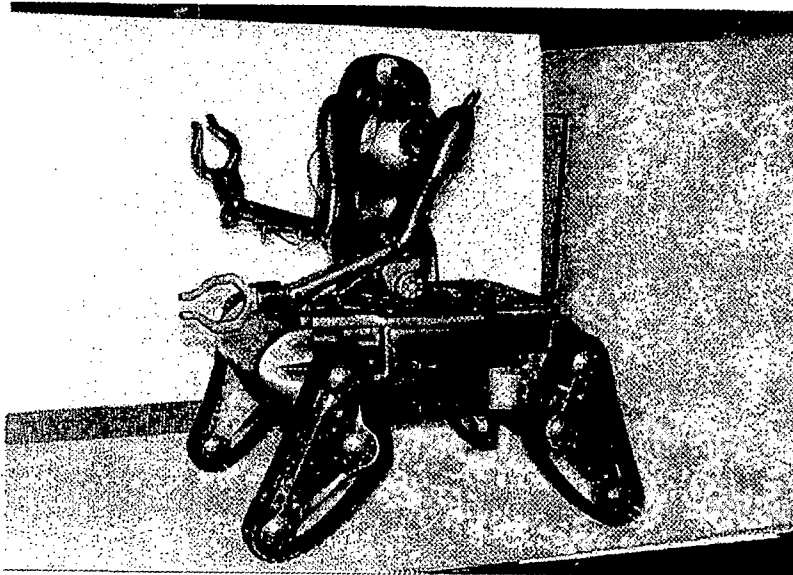
그림 3.20a는 수평면에서 안정도가 가장 높은 주행 자세이고, 그림 3.20b는 경사면이나 계단을 오르기 위해 무한궤도의 진입각도를 변화시킨 모습을 보여 준다. 그림 3.20c는 하체의 높이를 최대한 높인 상태인데, 각 무한궤도의 높이를 독립적으로 조절함으로써 몸체의 경사각을 임의로 변화시킬 수 있다.



(a) 안정도가 가장 높은 기본 자세



(b) 경사면 진입이나 좁은 공간에서의 방향전환을 위한 자세



(c) 장애물을 지나가기 위한 자세  
그림 3.20 축소 모델의 기본 동작

## 나. 그래픽 시뮬레이션

구조구난 로봇의 시뮬레이션은 간단한 장애물이나 계단과 같은 상황에서 구조구난 로봇의 기본적인 주행알고리즘 및 주행가능성을 위하여 수행되었다. 다음 표와 같은 세가지 장애물에서의 주행가능성과 양팔과 손을 이용한 물체 들어올리기 등을 테스트함으로써 본 구조구난 로봇이 실제상황에서 다양한 작업을 수행 가능함을 알 수 있다.

시뮬레이션은 구조구난 로봇의 양팔 및 상체, 그리고 주행장치를 모델하고, 기본적인 주행알고리즘 상에서 장애물들과의 충돌 및 적합성을 검사하도록 수행되었다. 수행결과 장애물의 높이 및 각도, 형상에 따른 다양한 알고리즘의 개발이 필요함을 알 수 있었다.

표 3.9 구조구난 로봇 그래픽 시뮬레이션

	시뮬레이션 내용	시뮬레이션 결과	비 고
차체 높이 제어	높이 조종을 통한 낮은 통로 통과 요령	높은 위치에서의 작업가능성 및 낮은 통로 통과 가능	각 위치에서의 주행가능성 연구 필요
돌출형 장애물	돌출형 장애물에서의 통과 요령 및 주행알고리즘	장애물 통과 알고리즘 적용 가능	장애물의 다양한 높이 및 형상에 따른 적용성 연구 필요
경사로	경사로	경사로 주행 시 수평 유지 알고리즘가능	실제 가능한 경사각 및 변곡각 계산 필요
계단	계단 상승주행을 통한 계단 통과	계단 주행 시 수평유지 알고리즘 가능	계단 높이 및 길이에 따른 알고리즘 변화가능
물체 들어올리기	gripper로 잡을 수 있는 물체를 잡고 들어올리기	장착된 손의 종류에 따라 다양한 작업 가능	6자유도 양팔과 7자유도 인간 팔 사이의 원격제어 방법 연구필요

1) 차체 높이 제어

구조구난 로봇의 최소 높이는 머리를 뒤로 젖힌 상태에서 약 690mm 정도이다. 따라서 690mm 의 낮은 통로를 통과할 수 있으며 또한 최대한 자세를 높인 상태는 차체 높이 약 380mm 상승, 상체는 약 510mm 상승이 가능하므로 차체 기본 높이를 포함하여 이론적으로 1580mm 의 높이까지 상체의 상승이 가능하며, 카메라의 FOV(field of view)와 양팔의 작업 영역을 감안하면 실제 사람이 앉거나 서서 작업하는 모든 영역을 본 구조구난 로봇이 작업 가능하다.

또한 차체 폭보다 좁고 높이 약 400mm 이하의 장애물은 차체를 들어올린

후 주행하는 방법으로 통과가 가능하다.

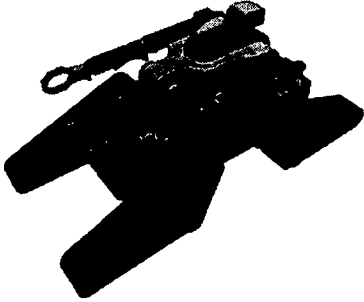


그림 3.21 구조구난 로봇 모델

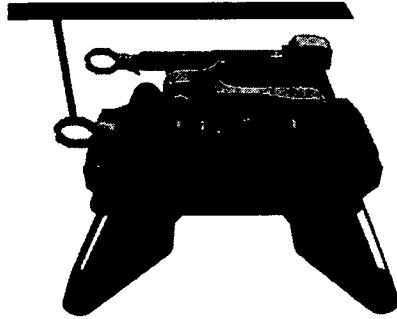


그림 3.22 차체 들어올리기



그림 3.23 높은 곳에서의  
작업 시뮬레이션

## 2) 돌출형 장애물 통과

그림 3.24는 돌출형 장애물 시뮬레이션 장면이다. 높이 250mm의 직육면체



형상의 장애물을 상체의 수평을 유지한 상태로 통과할 수 있다. 상체의 머리부분에 장착된 카메라를 통하여 장애물의 높이 및 거리를 인식하고 이러한 정보를 가지고 통과 알고리즘을 적용할 수 있다.



그림 3.24 돌출형 장애물 통과 시뮬레이션

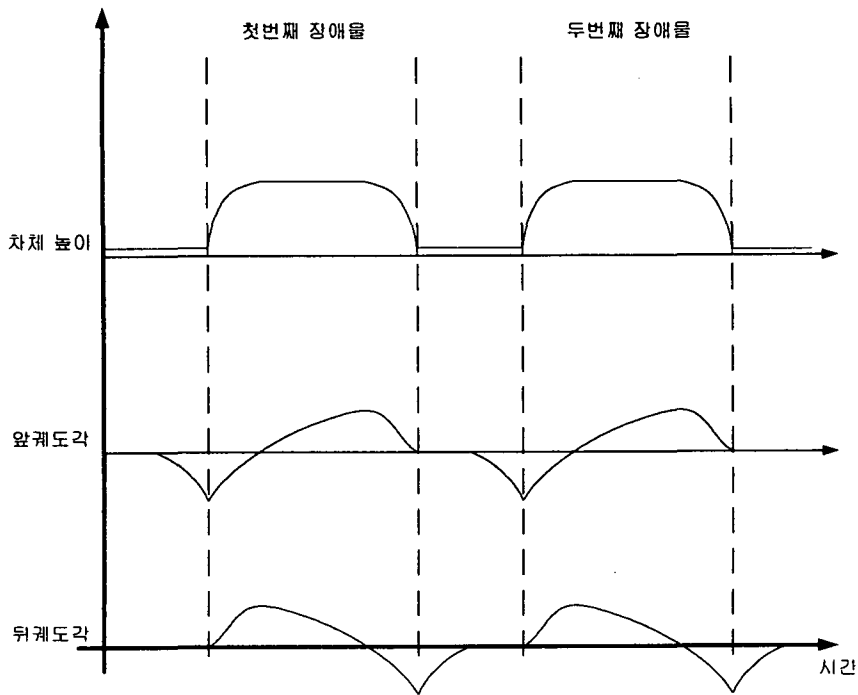


그림 3.25 장애물 통과 시뮬레이션 결과

구체적인 장애물 통과 알고리즘은 제안 및 개발단계에 있으며 그래픽 시뮬레이션을 통하여 계속 검증해 나갈 것이다. 또한 이러한 직육면체 장애물뿐만 아니라 실제와 유사한 다양한 장애물에 대한 알고리즘을 개발하여 적용해 나가야 할 것이다.

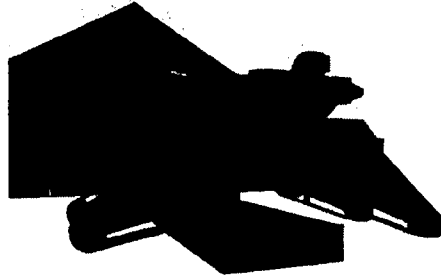


그림 3.26 앞 구동장치 장애물 통과



그림3.27 뒤 구동장치 장애물 통과

### 3) 경사로 주행

다음 그림 3.28과 같은 30°의 경사로를 넘는 시뮬레이션을 수행하였다. 경사로를 카메라 비전을 통하여 인식함과 동시에 차체의 F/T센서를 이용하여 경사도에 근접한 도입 각도를 알아낼 수 있다. 이러한 정보를 바탕으로 그림 3.29 3.30과 같이 경사로를 주행할 수 있으며, 실제의 경사로는 직선경사로가 아니므로 곡면의 구배를 따라가는 주행바퀴의 최적 각도를 계산해 낼 수 있다. 또한 그림 3.31과 같이 경사로의 꼭지점을 장애물 통과와 같은 방법으로 통과할 수 있으며, 그림 3.32는 차체를 수평으로 유지한 채 경사로를 내려오는 방법을 시

물레이션 한 것이다.

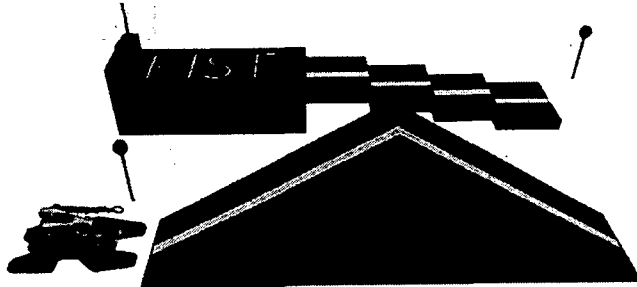


그림 3.28 경사로 주행 시물레이션

이러한 경사로 주행 시물레이션은 차체와 상체, 양팔 그리고 각종 작업에 따른 팔에 작용하는 하중에 따라 최대 경사각, 주행 자세, 주행 속도 및 가속도가 결정되므로 보다 많은 연구가 수행되어야 한다. 또한 경사로 상에서 상체의 자세변화에 따른 위험성 판별도 추가로 고려되어야 할 것이다.

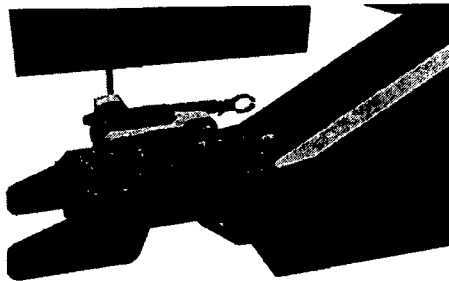


그림 3.29 경사로 도입부분



그림 3.30 경사로 주행

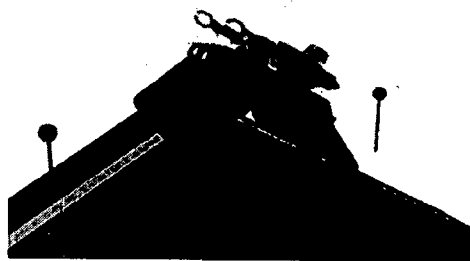


그림 3.31 꼭지점 상황에서의 통과

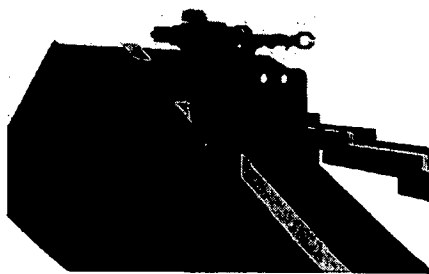


그림 3.32 수평유지 상태 하강

#### 4) 계단 주행

구조구난 로봇의 계단 주행은 실제에서 가장 빈번히 일어날 수 있는 상황이다. 계단의 높이, 길이에 따라 각기 다른 알고리즘의 적용이 고려되어야 한다. 또한 계단은 보통의 경사로부터 경사가 급한 경우가 많으므로 안전하게 계단을 주행하기 위해서는 주행바퀴 및 궤도 표면의 향상이 요구된다. 가장 손쉬운 예로서 궤도의 표면을 역방향으로 밀리지 않는 구조로 설계할 수 있다.

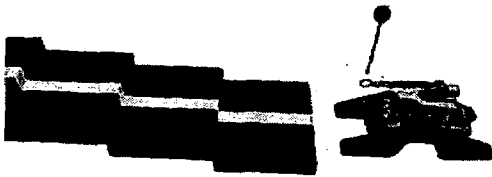


그림 3.33 계단 시뮬레이션

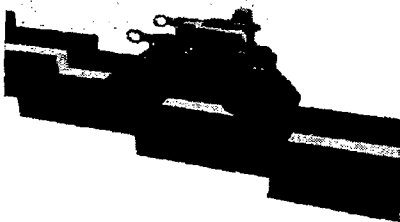


그림 3.34 계단 주행

### 5) 물체 들어올리기

상체 및 양팔을 이용해 폭넓고 다양한 작업을 수행 할 수 있다. 또한 작업에 따라 손을 선택하여 장착 할 수 있다. 그림 3.35와 같은 gripper를 가지고 물체를 들어올리는 작업을 시뮬레이션 하였다. 양팔은 각각 6축의 자유도를 가지고 있고 상체의 허리부분에 2자유도가 있으므로 다양하고 유연한 자세에서 작업을 수행 할 수 있다



그림 3.35 양팔과 손을 이용한  
물체 들어올리기

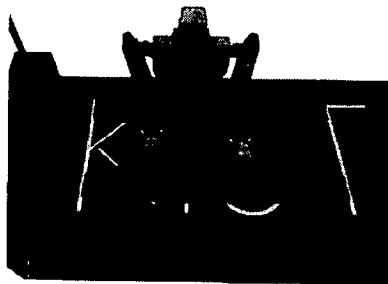


그림 3.36 상체 및 양팔을  
이용한 작업가능성

### 3.4 원격조종 장치의 개념 설계

구조구난 로봇을 원격조종(teleoperation)하기 위한 복합적이고 새로운 마스터 장치가 제안되었다. 구조구난 로봇은 크게 손, 양팔, 목, 상체, 주행장치의 5가지 동작부분으로 나눌 수 있으며 이러한 장치들을 사람의 동작을 통하여 제어할 수 있어야 한다.

사람의 동작은 크게 손, 양팔, 목, 상체, 양다리의 5가지 부분으로 가능하며 구조구난 로봇의 동작부분에 각각 대응될 수 있다. 또한 구조구난 로봇의 머리 부분에 장착되는 카메라의 시각 정보는 조종자의 눈으로 전달되어야 하며, 현장의 청각 정보는 조종자의 귀를 통해 전달되어야 한다. 또한 구조구난 로봇과 작업 환경과의 상호 접촉힘은 조종자에게 반환되어야 한다.

그 밖에 조종자는 팔이나 손, 다리 등과 같은 부분 외에도 음성을 통하여 조종 정보를 로봇에 전달 할 수 있다. 이러한 기능은 특히 복잡하고 자율제어와 원격조종이 병행되는 주행장치의 조종에 유용하게 사용되어질 수 있다.



표 3.10 조종자와 마스터 장치, 구조구난 로봇 기능대응

조종자	마스터 장치	구조구난 로봇	비고
눈	Stereo vision (HMD)	Camera	현장 모니터용/ 자율 제어용
입	Mike	N/A	제어용
귀	Headphone	Mike	현장 모니터용
목	Polhemus sensor	Neck(1 DOF)	
팔	Master arm(7 DOF)	Arm(6 DOF)	force reflection
손	Master hand(20 DOF)	Hand / tool	
허리(몸통)	Master chair	Body(2 DOF)	
다리 / 발	Master shoe	Vehicle	
	Chair base	sensors on vehicle	Vehicle force reflection 용

이러한 기능들을 모두 만족시키기 위하여 다음 그림 3.37 과 같은 마스터 장치가 고안되었다.

조종자는 force reflection chair base위에 장치된 master chair에 앉아서 조종을 하게 된다. 손에는 master hand를 낀 상태에서 양팔에 master arm을 장착하여 구조구난 로봇의 양팔 및 손을 제어한다. 머리에는 polhemus sensor가 장착된 HMD(headphone and mike 내장)가 있으며 다리 및 발에 master shoe를 장착하고 주행장치를 제어한다. 그림 3.37 은 구조구난 로봇을 위한 마스터 장치의 개략적인 모델을 보였다.

## 구조 구난 로봇을 위한 원격조종 장치

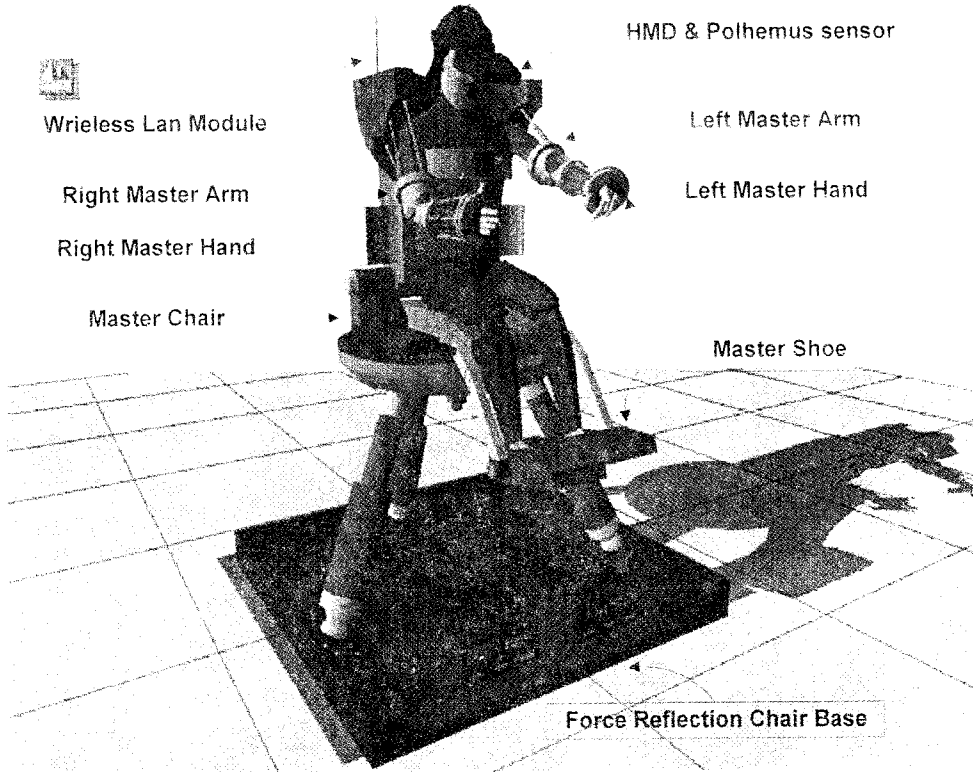


그림 3.37 구조구난 로봇을 위한 원격조종 장치 개념도

이 마스터 장치는 기본적으로 다음 그림 3.38와 같은 세부 장치들로 구성되어 있다.

## 구조 구난 로봇을 위한 원격조종 장치



그림 3.38 원격 조종 세부 장치

가. 양팔 master

구조 구난 로봇이 원격지에서 구조 구난 작업을 수행할 때, 작업은 로봇에 설치된 팔과 손에 의해 주로 작업이 수행되어진다. 이때. 조작자가 원격지에 있는 구조 구난 로봇의 팔을 제어하기 위한 장치가 양팔 마스터이다.

양팔 마스터는 Left Master arm과 Right Master arm으로 구성되어 있으며 구조 구난 로봇의 Left arm, Right arm과 각각 대응된다. Left Master arm과 Right Master arm은 조작자의 몸에 장착되는 곳에 따라 구분되어지고 구조적으로 동일하다.

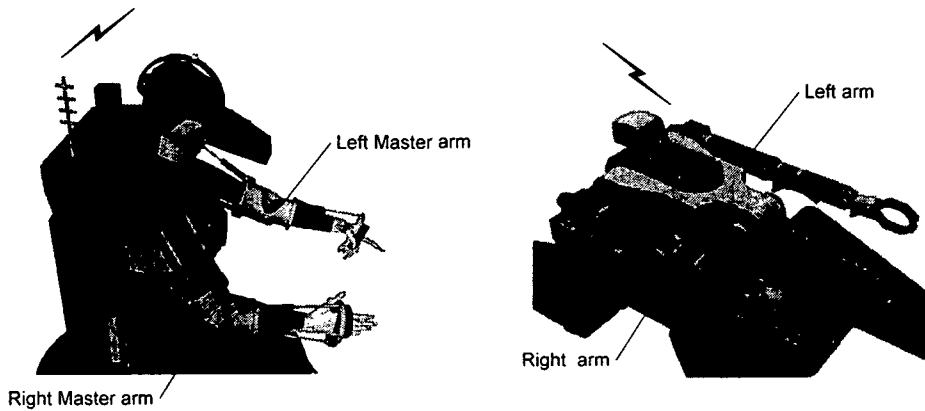


그림 3.39 양팔마스터와 구조구난로봇

인간 팔은 국부적으로는 Parallel하며 전체적으로는 Serial Link 개념의 Hybrid 특성을 가지고 있고 인간 근육은 무수한 근육들이 병렬로 연결되어 경량에 고출력이 가능한 구조이고 또 근육에 분포된 힘 감지 신경도 마찬가지로 병렬로 분포되었다.

양팔 마스터는 인간 팔과 동일한 Hybrid Link구조로 하여 착용시 인간의 팔과 동일한 구조이므로 인간 팔에의 적합성이 우수하다. 또 병렬 구동부로 하여 인간 근육형으로 하였으며 이는 결국 소형 구동부 및 전달기구를 사용하여 경량구조이면서 고출력이 가능하게 되었다. 또 힘 방향도 마찬가지로 병렬로 조종자 어깨에 분포되어 전달되기 때문에 훨씬 신경특성에 적합하게 전달할 수 있다.

## (1) 기본 개념

현재까지 다양한 종류의 원격 제어용 마스터 암이 제안되고 실험되어왔다. 하지만 마스터 암의 설계에 있어서 인간 팔의 특징은 거의 무시되어왔다. 이로 인해 조정자의 팔의 움직임과 로봇 팔의 움직임의 불일치, 주변환경과의 접촉으로 발생되어 지는 힘의 반향의 불일치 등으로 조정에 많은 어려움이 있었다. 따라서, 조정자가 직관과 감각을 이용하여 원격지에 로봇을 조정하는데는 한계가 있었다. 구조 구난 로봇에서는 인간의 직관과 감각으로 신속한 구조 구난 작업을 수행하기 때문에 양팔 마스터는 인간 팔의 특징을 갖고 움직임의 일치 및 힘의 반향을 갖는다.

인간 팔의 구조에 적합한 마스터 암의 이상적인 요구조건을 알아내기 위해 인간의 팔의 특징을 해석하였다.

### ○ 팔의 주요 구조(Main arm structure)

인간의 팔은 크게 어깨, 팔꿈치 그리고 팔목의 세 부분으로 구성되어 있으며 각각 3개, 1개, 3개의 자유도를 갖고 있다. 전체적으로 인간의 팔은 7자유도를 가지고 있어서 민첩하고 부드럽게 움직일 수 있다. 그림 3.40는 인간 팔의 기구학을 보여준다.

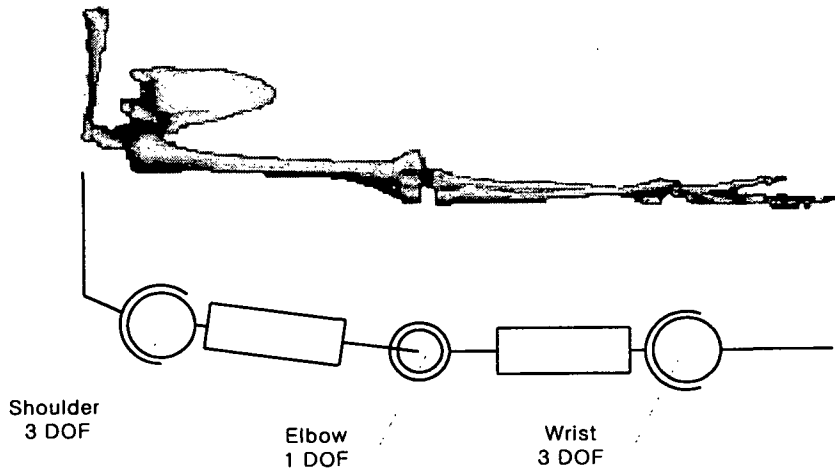


그림 3.40 인간 팔의 기구학

어깨는 일반적인 볼과 소켓 조인트(ball & socket joint)와 같은 형태로 3자유도를 갖고 있으며 팔꿈치는 편과 굽힘을 위해 1자유도를 갖고 있다. 그리고 팔목은 pitch와 roll, yaw의 3자유도를 갖고 있다. 어깨와 팔꿈치 그리고 팔목 사이의 이러한 기구학적인 배열은 소위 직렬 메카니즘이라 할 수 있다.

근육은 구조 구난 로봇 팔에 있어서 액츄에이터와 같은 역할을 한다. 인간의 액츄에이터의 독창성은 선형 액츄에이터의 복합적인 결합에 있다. 그림 3.41는 몸통과 어깨 사이에 있는 근육의 배열을 단순화하여 표현한 것이다.

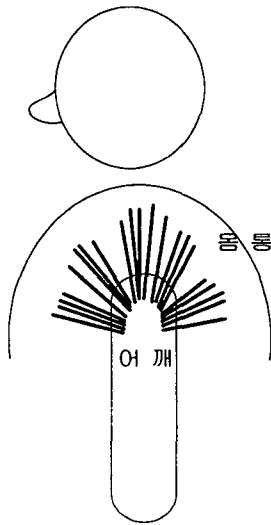


그림 3.41 어깨의 근육 배열에 관한 개념도

이러한 근육 구조는 팔의 3개 부분에 모두 동일하며 복합적인 선형 액츄에이터를 사용하고 있다. 이는 로봇공학에 있어서 전형적인 평행 메카니즘과 같다. 여자유도가 매우 많으며 모든 조인트에 골고루 분포되어 있다. 이러한 평행 구조를 이용한 마스터 암은 현존하는 마스터 암과 비교했을 때 다음과 같이 인간 팔의 중요한 특징을 나타낸다.

어깨의 근육은 몸통의 여러 부분에 골고루 분포되어 있다. 이러한 특징은, 강성이 관성 모멘트와 관련되어 있기 때문에 이와 같이 분포되어 있는 경우는 고강성을 갖게 한다. 이는 다음과 같이 표현되어진다.

$$I \propto d^2$$

여기서  $I$ 는 강성 모멘트이고  $d$ 는 근육 부분의 중심으로부터 근육까지의 거리를 나타낸다. 이는 또한 경량의 특징에도 부합되는 데 이것은 같은 부피의 근육으로 가정했기 때문이다.

근육은 액츄에이터 뿐만 아니라 동시에 힘 센서로서의 역할을 한다. 근육으로 이루어진 힘 변환 메카니즘은 인간 팔의 근육이 분포되어 있기 때문에 보다

효과적이다.

○ 설계를 위한 이상적 요구조건

팔의 구조와 액츄에이터의 구성에 관한 해석은 인간 팔의 특징을 갖는 양팔 마스터 암의 개발을 위해 이상적인 요구조건을 포함하고 있다.

인간의 팔 구조는 어깨, 팔꿈치, 손목의 각각의 병렬 조인트가 직렬로 연결되는 복합적인 구조를 갖고 있다. 이러한 인간 팔의 복합적인 구조를 이상적으로 마스터 암에 적용하기 위해서는 기본적으로 조종자의 팔에 부착하는 형태의 마스터 암이 손으로 잡는 형태나 조이스틱 타입의 마스터 암 보다 적합하다.

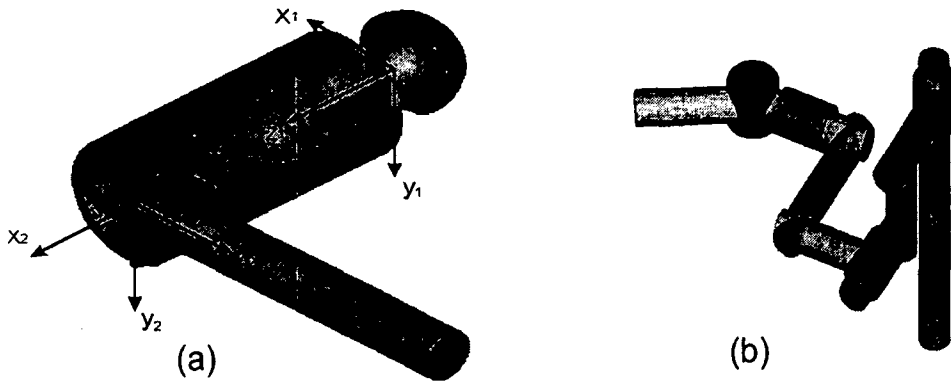
가벼운 마스터 암이 작동하기 쉽고, 지속적인 사용이 가능하다는 것은 당연한 사실이다. 병렬 메카니즘을 이용한 마스터 암은 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 하나의 해결책이 될 수 있다.

마스터 암이 인간의 팔에 부분적으로 접촉하는 방식보다 인간의 근육 역할을 대신하는 액츄에이터와 센서가 조종자의 팔에 여러 부분에 분포된 메카니즘은 인간의 팔과 유사한 기능을 함으로써 적용성을 향상시키고, 마스터 암의 동작성과 힘 제한 기능을 구현하는데 많은 이점이 있다.

○ 설계 기본 개념

고유연성과 여유 자유도를 통한 마스터와 구조구난 로봇 사이의 연계 용이성을 위해 새로운 마스터 암 개념이 도출되었다. 인간의 팔의 어깨부분은 3자유도를 갖는 볼과 소켓 조인트 형태의 관절로 되어있는데 이를 팔에 부착하는 마스터 암으로 표현하기 위해서는 링크와 구동장치의 새로운 배치가 필요하게 된다. 그림 3.42(a)는 팔의 어깨 및 팔꿈치 부분의 4자유도를 개념적으로 표현하였으며 그림 3.42(b)는 같은 자유도를 표현하기 위해 링크와 조인트의 결합으로 나타낸 것이다.





어깨와 팔꿈치

링크와 조인트

그림 3.42 인간 팔의 구조의 개략도(4 자유도)

구조구난 로봇을 구동하기 위해선 팔의 동작이 자유롭게 이루어져야하며 구조구난 로봇에 가해지는 힘을 적절하게 표현하여야한다. 그러한 의미에서 마스터 암은 팔의 주위를 감싸는 병렬 기구부 방식의 링크 구조를 취하며 그 링크의 길이 변화를 통해 팔의 움직임을 유도하는 형태로 설계된다. 인간의 팔이 어깨부분의 고정된 점을 중심으로 원운동을 하듯이 양팔 마스터 암도 이와 유사하게 링크의 길이를 변화시킨다.

## (2) 양팔 마스터 암의 기구학

마스터 암의 기구학을 해석하기 위하여 다음 그림과 같은 모델을 사용하였다. 어깨의 3자유도를 표현하기 위하여 3개의 Euler angle( $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ )을 3개의 병렬링크( $L_1, L_2, L_3$ )를 이용하여 어깨에 고정된 강체 A에 대한 강체 B의 자세와 위치로서 표현한다. 또한 강체 C는 강체 B를 중심으로 만큼 회전하며 강체 D와 강체 E 사이의 병렬링크( $L_5, L_6, L_7$ )로서 손목의 자세 및 위치를 표현하게 된다.

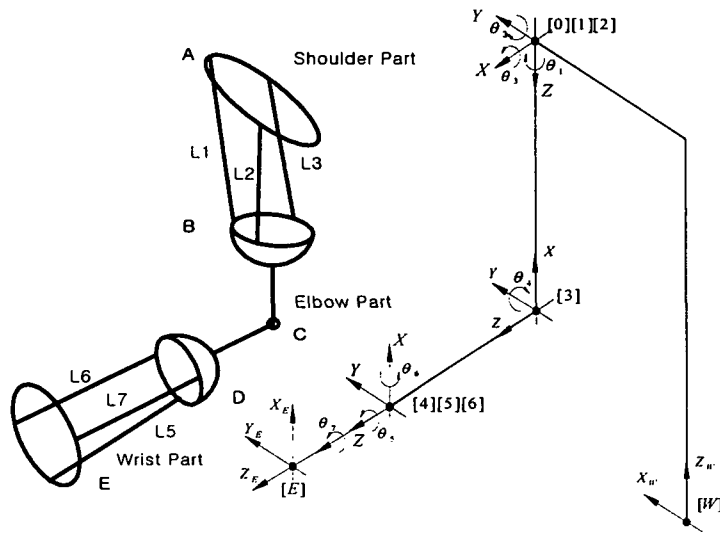


그림 3.43 양팔 마스터 암의 좌표계

이렇게 설계된 양팔 마스터 암은 다음과 같은 구속조건을 가짐으로써 사람의 팔과 같은 7개의 자유도를 갖게 할 수 있다.

- 사람의 팔은 길어질 수 없으므로 강체 A와 B 사이의 중심길이는 변하지 않는다.
- 같은 이유로써 강체 D와 E 사이의 중심길이는 변하지 않는다.

이러한 모델을 바탕으로 강체 A와 B(상박)과 강체 D와 E(하박)의 병렬링크 순기구학을 수행하고, 강체 C의 직렬링크로 연결함으로써 마스터 암 전체의 순기구학을 해석한다. 상박 및 하박에서 3개의 병렬링크로 3개의 회전 조인트각을 얻어내는 것은 직접적인 함수관계를 수식화하기 불가능하므로 3개의 링크와 회전 조인트각 사이의 자코비안을 이용하고 수치적으로 근사화하기 위하여 Newton-Raphson method를 사용한다. 또한 이렇게 얻어진 회전 조인트 각들을 이용하여 Euler angle 변환행렬을 구성하고 전체적인 마스터 암의 손끝 위치 및

방향을 계산한다.

즉, 각 링크의 길이의 변화에 따른 위치 변화를 오일러 각(Euler angle)을 이용하여 나타내고 다시 오일러 각의 변화에 따른 마스터 암 말단부의 위치 관계를 유도하는 2단계 방법을 사용한다.

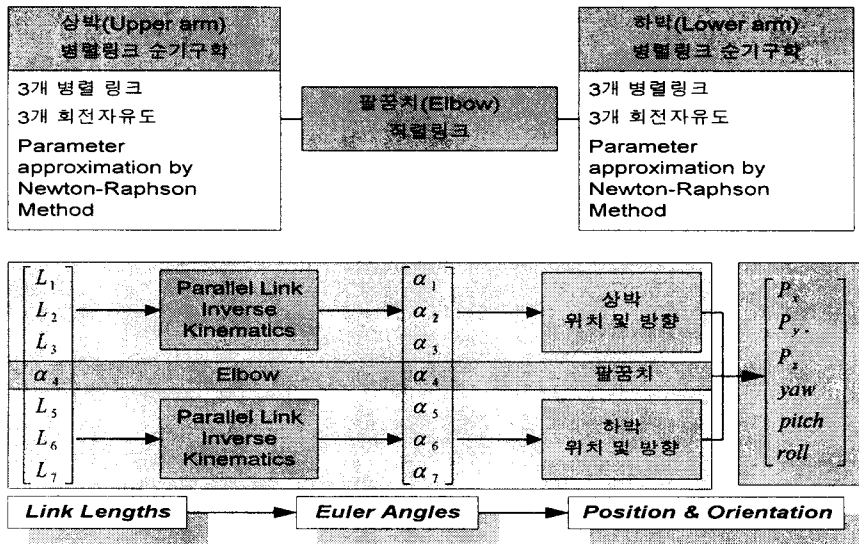


그림 3.45 양팔 마스터 암의 순기구학

그림 3.45는 양팔 마스터 암의 역기구학 알고리즘의 블록다이어그램이다.

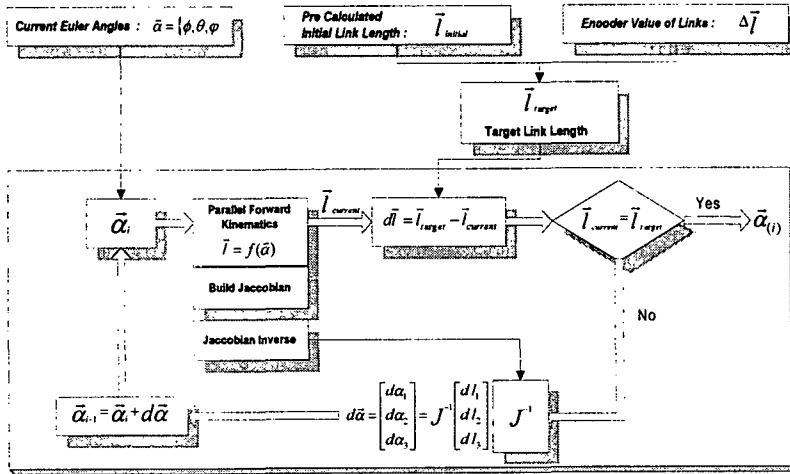


그림 3.45 Algorithm of parallel link inverse kinematics

(3) 양팔 마스터 암의 구조

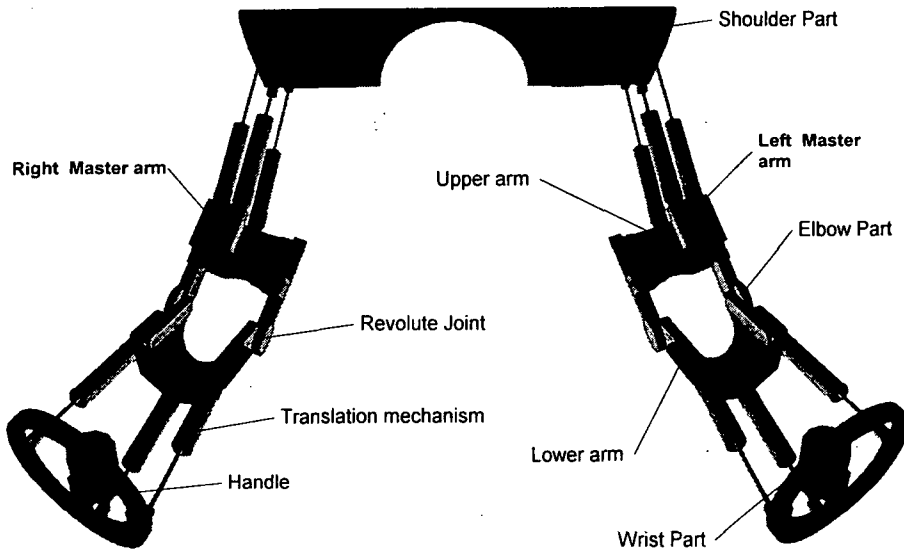


그림 3.46 양팔 마스터 암의 구조

양팔 마스터 암은 인간의 팔과 같이 7자유도이며, 팔에 장착되어 조작자가 팔을 움직임에 따라 양팔 마스터 암에서 얻어지는 정보가 변한다. 이때 양팔 마

스터 암의 움직임을 구조 구난 로봇의 각 관절각의 회전으로 바꾸어 구조 구난 로봇 팔의 움직임을 제어한다.

양팔 마스터 암은 그림 3.46과 같은 상박(Upper arm)과 하박(Lower arm)의 병진 메커니즘(translation mechanism)을 이용하여 링크의 위치 제어 및 힘반향(Force reflection)이 가능하다. 이 병진 메커니즘은 조작자가 양팔 마스터 암을 동작시킬 때 발생하는 힘을 동작 제어가 감지하여 링크의 길이를 조정할 수 있는 메커니즘이다.

양팔 마스터 암의 병진 메커니즘의 구조는 아래 그림 3.47과 같다.

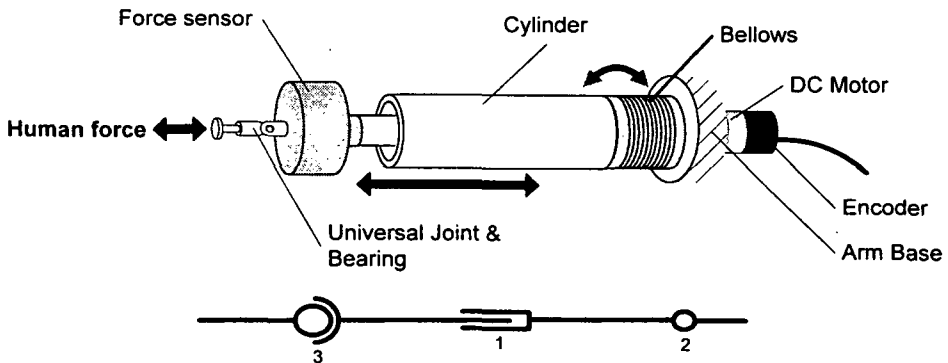


그림 3.47 양팔 마스터 암의 병진 액츄에이터의 구조

힘 센서는 병진 액츄에이터를 동작시키는 초기 정보를 얻을 수 있는 부분으로 조작자의 움직임에 의해 발생하는 힘을 감지하여 링크의 길이를 변화시킨다. 즉 힘이 가해진 방향으로 링크 길이를 변화시킴으로 결국 양팔 마스터 암의 움직임은 사람팔의 움직임을 추종하게 된다.

좌우 각각 7자유도의 양팔 마스터 암은 어깨에서 팔꿈치 위 부분인 상박에 병진 메커니즘 3개, 팔꿈치 아래에서 손 부분인 하박에 병진 메커니즘 3개를 설치하여 각각 3자유도를 구성하고 팔꿈치 부분에는 풀리와 타이밍 벨트를 이용

한 1자유도의 회전관절로 구성된다.

나. 시각 모니터

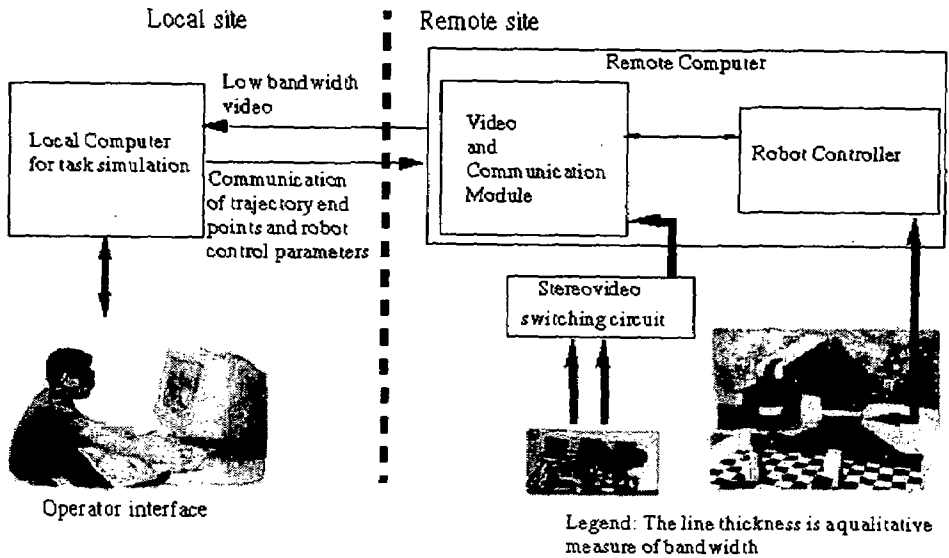


그림 3.48 구조 구난 원격제어 시스템

(1) 스테레오 비전 기본 개념

3차원 거리 정보 추출을 위한 스테레오 정합과 스테레오 동영상 압축에 관하여 연구하고 있다. 스테레오 정합은 두장의 2차원 영상을 가지고, 3차원 거리 정보를 추출하여 3차원 영상을 구현하는 것이다. 스테레오 동영상 압축은 사실감의 전달을 위해 좌,우 영상열을 축하여 전송하는 것으로서, 효과적인 스테레오 동영상 압축을 위해서는 각 영상열에서의 움직임과 좌,우 영상사이에서의 변이 정보를 함께 이용하는 것이 바람직하다. 이를 위하여 객체 기반 방법과 다해상도 블록 정합기반의 스테레오 동영상 압축기술이 필요하다.

Computer를 이용하여 인간의 시각 기능을 대체하는 기술인 컴퓨터 비전 연

구는 최근 심리학, 생물학, 기계공학, 의공학, 반도체 기술등과 결합하면서 비약적인 성장의 계기를 마련하고 있다. 과거, 알고리즘 상으로만 가능했던 기법들이 반도체기술과 ASIC설계 기술의 성장과 함께 하드웨어상의 구현이 현실화되었고, 인간의 시각처리 능력에 대해 단편적인 지식들이 밝혀짐에 따라 이를 Vision기술에 응용하려는 노력들이 활발하다. Vision기술은 영상처리 알고리즘이나 자동화제어 방법의 기반기술이 될 뿐 아니라, 그 자체로도 많은 응용분야를 가진다. 즉, 초기의 대표적인 목적이 되었던 군사용 무기체계의 지능화뿐만 아니라, 공장자동화, 기기의 신뢰성증가, 의료기기의 자동화 및 시술보조 장치, 자동차의 자동운행 시스템, 우주탐사선의 자동운행 및 시료채취 장비 등 컴퓨터 비전 기술이 사용되는 분야는 이루 헤아릴 수 없이 많다.

이러한 컴퓨터 비전 분야는 크게 인식 기술, 영상 처리 기술, 영상 획득 기술 등을 기반으로 하여 인간이 시각으로 처리하는 모든 일을 그 응용분야로 한다. 3차원 기술은 카메라로 획득한 2차원 영상으로부터 3차원의 정보를 추출하거나, 이 정보를 이용하여 3차원의 실제 공간을 복원하는 것을 목적으로 한다. 최근, 인체 영화나 입체 TV, 가상 현실 시스템 등에서 3차원의 입체를 구현하는 기술이 사용되고있고, 위성이나 항공기를 항공정찰이나 지도 제작 등에서 실용화되고 있다. 뿐만 아니라, 전통적으로 3차원 정보가 필요한 거리 측정이나, 거리 보정에 이와 같은 기법이 폭넓게 이용된다. 이와 같은 3차원 응용기술은 크게 3차원 정보 추출, 추출된 정보를 전송하기 위한 압축기술, 그리고 이러한 정보를 가공하여 인간이 인식할 수 있도록 표현하는 기술 등으로 나누어진다. 스테레오 영상(좌, 우 두 대의 카메라로 부터 획득된 한 쌍의 영상)으로부터 3차원 정보(주로, disparity 정보자로 불리는)를 추출하는 연구를 진행해 왔으며, 최근 이를 기반으로 스테레오 영상을 전송하는 기법에 대한 연구를 동시에 수행하고 있다.

## (2) 스테레오 비전의 필요성

구조 구난 원격제어를 하기 위해서는 될 수 있는 한 다각적인 원격지의 정보를 조종자가 인식하도록 해야한다. 여러 가지의 오감을 이용한 정보가 이용될

수 있지만 조종자가 원격지에서 느끼는 것과 거의 동일한 체험을 하도록 실현하는 일은 어려운 것이다. 그러나 시각과 청각정보만은 카메라의 발달로 높은 신뢰도를 가진 정보를 사용하게 되었다. 재래적인 원격제어에서는 모노 카메라를 이용하여 시각정보를 받았다. 그러나 이 방법은 다음과 같은 단점을 가지고 있다. 첫째로 이차원적인 정보만을 얻을 수 있으므로 거리정보를 얻을 수 없다. 만일 조종자가 작업하는 대상체가 친숙하지 못할 경우 거리(깊이)정보는 얻기 더욱 힘들어 지게 된다. 구조구난 작업에 있어서 어떤 상황이 발생할 지 예측하기 어려우므로 모노 카메라 정보는 적합하지 못한 방법이라 하겠다. 또 하나의 단점으로는 카메라 시계(viewpoint)가 제한될 수 있다. 경우에 따라서는 대상체가 정밀하게 인식되도록 확대될 경우도 필요하다. 사전에 알고 있는 장소라면 카메라를 여러 대 설치하여 이 문제를 해결하겠지만 구조 구난 작업을 경우에는 작업장소를 미리 알기 어려우므로 카메라 시계를 자유자재로 조종할 수 있어야 하는 것이다.

원격제어에서는 시간지연 문제를 결코 간과해서는 안 된다. 지구 궤도를 돌고 있는 인공위성과의 원격작업에서는 보통 한 명령을 수행하는 시간이 6초나 소요되고 심해작업의 경우에선 음파탐지기(1700m/s)를 이용하여 명령을 전달하는데 10초가 걸리는 것이 상례이다. 일반적으로 시간지연은 원격제어 시스템 성능에 막대한 영향을 미치므로 시각정보를 어떻게 보내느냐는 중요한 문제가 된다. 비디오 신호는 매우 높은 주파수 대역이므로 송신이 어렵다. 압축하지 않은 정보를 보내는 데 초당 30 Megabytes를 보내는 주파수 대역을 요구한다 낮은 주파수 대역은 비디오 갱신 주기를 떨어뜨려 화질을 저하시킨다. 알려진 바에 의하면 5 - 6 frames/sec이하의 주기이면 원격제어 시스템의 성능을 크게 저하시킨다고 한다. 만일 3 frames/sec이면 거의 제어가 불가능하다.

### (3) 원격제어에서의 스테레오 비전의 설계

3D 스테레오 비전의 중첩(stereographical overlay)은 좌/우 두 카메라 신호를 보정(calibration)하고 등록(registration)하는 두 단계를 거치게 된다. 카메라



의 위치와 시계각(viewpoint angle)은 임의로 설정될 수 있는데 이에 따라 좌표 변환(coordinate transformation) 행렬이 정의되어 스테레오 그래픽을 생성하게 되는 것이다.

보정의 단계에서는 먼저 두 개의 그래픽 카메라(실제 카메라와 동일함)를 일정한 관계를 갖도록 설치하는 것이다. 그리고 그래픽 카메라(그래픽 환경에서의 카메라)의 스케일과 실제 카메라의 스케일을 일치시키는 것이다. 등록의 단계는 두 개의 그래픽 카메라의 좌표를 그래픽 환경의 좌표의 원점과 일치시키기 위하여 좌표 변환 행렬을 이용하는 것이다. 이렇게 함으로써 실세계 좌표와 실제의 카메라의 좌표가 하나의 좌표체계에 등록되는 것과 같은 효과를 주는 것이다.

이와 같은 단계를 거침으로서 실 카메라로 보는 실제의 대상체는 그래픽 환경에서 동일한 대상체로 등록되는 것이다. 이것은 스테레오 비디오의 이미지의 좌표와 스테레오 그래픽의 이미지의 좌표간에 일대일 대응관계로 이어지게 된다.

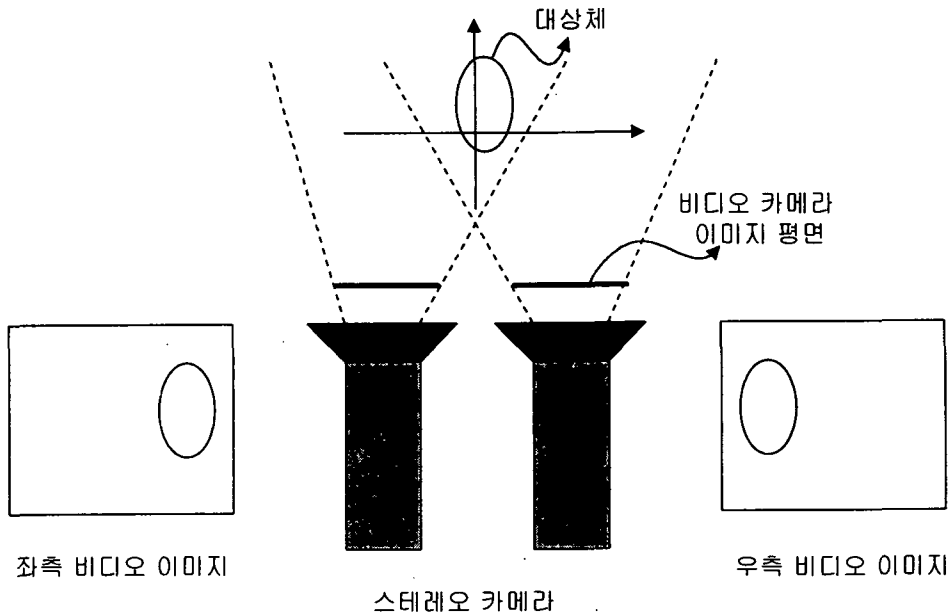


그림 3.49 스테레오 카메라를 구현도

두 개의 비디오 채널로부터 오는 비디오 신호를 하나의 비디오 채널로 합성하는 방법은 두 가지가 있는데 하나는 필드 교차법이 있고 또 하나의 방법은 후레임 교차법이 있다. 표준 NTSC방식은 초당 30 후레임을 갱신하는데 525 수평 스캔을 하고 있다. 한 번은 짝수 라인의 스캔, 그 다음은 홀수 라인의 스캔 신호를 전송하게 된다. 필드 교차법은 짝수 스캔라인 신호는 좌측 카메라로부터의 신호를 보내고 홀수 스캔 라인 신호는 우측 카메라로부터 교대로 보내는 것이다. 후레임 교차법은 좌측 카메라의 짝수/홀수 스캔 신호를 모두 보내고 우측 카메라의 짝수/홀수 스캔 신호를 다음에 보내는 방법이다. 표준 NTSC신호는 초당 30 후레임을 전송하므로 필드 교차법은 이 규격에 적합하다.

그러나 후레임 교차법은 수신후에 전처리를 반드시 해야 한다. 필드 교차법에서는 해상도가 반으로 감소됨을 유의해야 할 것이다. 이는 조종자의 조종성을 떨어뜨리는 결과로 연결되므로 좋은 방법이 될 수 없다. 본 연구에서는 그래픽 기능을 이용하여 조종자가 위치한 제어부가 원격지와 별개의 제어루프로 형성되어 있으므로 통신 지연에 강인하므로 후레임의 크기가 크다 하더라도 후레임

교차법이 적합한 방법이라 하겠다.

스테레오 카메라로부터 온 신호는 그래픽 워크스테이션에서 그래픽과 중첩되게 되는데 이는 조종자에게 실제의 영상과 그래픽영상의 차이를 보여주고 제어에 도움을 주기 위함이다. 여기에 조종자에게 유익한 정보를 표시함으로써 작업의 능률을 향상시키게 된다.

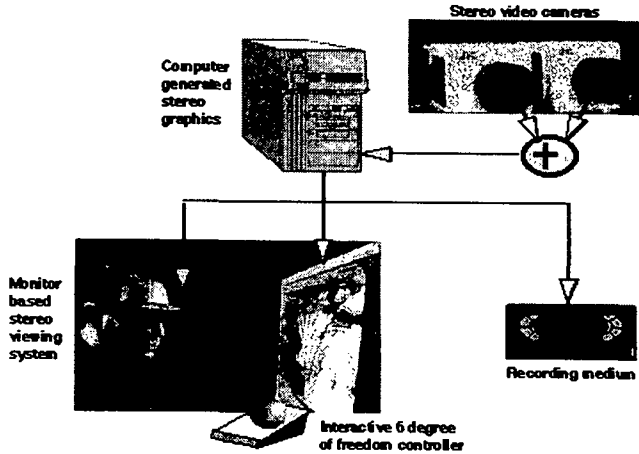


그림 3.50 스테레오 카메라를 이용한 원격제어시스템

원격 제어 시스템에 비디오 중첩을 하는 이유는 다음과 같다. 비디오상의 실제 정보를 작업의 정확성을 위한 시험 도구로 사용하기 위함이다. 또한 열악한 조명조건과 비디오 화면의 질이 저하된 것을 비디오 중첩으로 비디오 이미지를 향상할 수 있다. 또한 구조구난과 같은 예상치 못한 일에서는 그래픽 워크스테이션에 사전에 입력되지 않은 정보가 있을 수 있으므로 중첩을 통하여 그래픽 워크스테이션에 투영되게 함으로서 정보가 입력되어 있는 듯한 효과를 조종자에게 줄 수 있는 장점도 있다.

다. 주행 원격조종

(1) 주행조작 H/W

주행장치의 조종을 위한 마스터 장치로써 Master shoe와 Master hand를 사용할 수 있다. 복잡하고 다양한 주행장치의 조종은 4개의 궤도 각도 독립제어, 좌/우 전후진 제어로 나눌 수 있으며 이러한 조종을 Master shoe만으로는 구현하기 매우 어렵다. 또한 master hand를 사용함에 있어서 주행장치 조종과 양손(gripper)의 조종이 중복되게 되므로 다음과 같은 몇 가지 방법이 제안되었다.

표 3.11 주행 원격 조종 장치

	사용 방법	장점	단점
음성 인식 지원	음성을 사용한 master hand의 모드 전환	음성과 손가락의 pose를 사용하여 제어하므로 편리하다.	양손(gripper) 사용불가. 손가락 pose와 주행방향과 일치시키기 어렵다.
Master joystick 사용	master arm의 끝단에 장치하여 조종	조종이 쉽다.	mater arm끝단에 장치하기 어렵다. 중량 부가.
Master chair lever 사용	음성을 사용한 master arm 및 hand의 모드 전환	조종이 쉽다. 장치하기 쉽다.	master arm 및 hand 사용불가.

주행장치의 세부 주행방법 및 모드에 따라 주행 원격 조종 장치의 사용을 결정 할 수 있다. 따라서 기본적인 주행 조작 방법에 대한 다음의 내용에 대해서는 master chair lever에 대해 설명한다.

마스터의 주행조작부는 크게 좌우 두개의 주행 페달(Master shoe)과 좌우

두개의 조작 레버(Master hand)로 구분된다. 조작 레버는 조종자의 음성 신호에 의하여 gripper제어와 주행 제어 모드로 전환하며 조종자의 손가락 모양 및 입의로 정의된 손 모양 패턴을 인식하여 조종자가 제어하게 된다. 각각은 다음과 역할을 하도록 설계되어 있다.

다음 그림 3.51는 주행 조종 페달(Master shoe)의 개념도이다. inner shoe는 outer shoe로부터 슬라이딩 운동을 하는 강체 위에 하나의 회전축을 가지고 장착되며 따라서 inner shoe속에 조종자는 발을 넣고 앞 뒤 방향으로 이동이 가능하며 회전축을 중심으로 앞꿈치 누르기, 뒷꿈치 누르기 등의 조절을 할 수 있다.

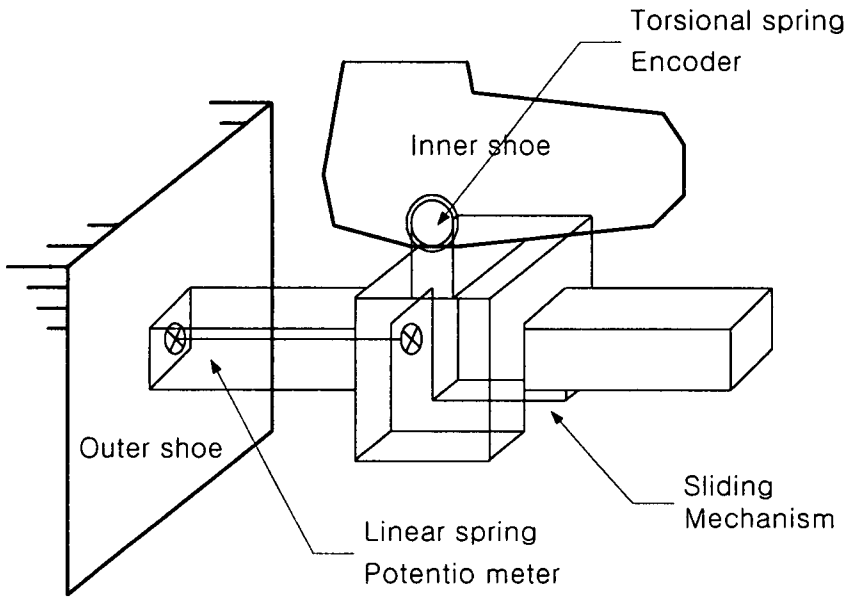


그림 3.51 주행 조종 페달 장치 개념도

○ 주행 페달 부(Master shoe): 주행 페달은 구조 구난 로봇의 차체 평면상의 위치 ( $x, y$ )와 회전스핀( $\theta_z, yaw$ ) 회전을 제어한다. 좌측 페달과 우측 페달은 각각 차체의 좌측 두 개의 바퀴와 우측 두 개의 휠을 제어하며 결과적으로 좌측 두 개의 휠과 우측 두 개의 휠은 각각 한 개의 휠처럼 간주되어 제어된다.

○ 조작 레버 부(or Master hand): 페달과 연계하여 구조 구난 로봇의 정지 후 차체 platform의 들어올리기(z, Lifting) 및 platform의 방위( $\theta_x$ ,  $\theta_y$  - roll, pitch)를 제어를 행하는 데에 사용된다. 기본적으로 네 개의 휠은 이러한 복합 운동이 가능하도록 되어 있다. 결과적으로 좌측 두개의 휠과 우측 두 개의 휠은 각각 4 개의 수직 실린더처럼 간주되어 제어된다.

표 3.12 주행 조종 장치 및 기능

	전		후		제어 기능
	좌	우	좌	우	
주행 페달 (Master shoe)	좌측 페달	우측 페달	좌측 페달	우측 페달	좌우측 전/후진 속도 (전/후진/회전)
주행 레버 (or Master hand)	우측 레버		좌측 레버		전/후/좌/우 궤도회전 각도 (4개 휠 독립 상승/하강)

## (2) 주행 조작 모드

구조 구난 로봇의 주행장치는 4개의 무한 궤도식 바퀴로 구성되며 양팔 매니플레이터가 장착된 플랫폼의 공간상의 위치와 자세를 결정한다. 이러한 구조 구난 로봇의 여러 가지 주행방법에 대한 조종은 Master shoe와 Master hand를 통한 복합적인 방법으로 구현된다. 구조 구난 로봇 플랫폼의 위치와 자세의 조작 모드는 크게 다음과 같이 구분된다.

### (가) 평면상의 운동(PMM, Plane Motion Mode)

구조 구난 로봇이 현재의 자세를 유지하면서 평면상의 위치와 방위 ( $x, y, \theta_z$ )를 non-holnomic motion으로 바꾸는 것으로 다음과 같이 조작된다.

○ 기본 주행 모드(페달, Master shoe)

기본적으로 페달을 이용한 주행방법으로 내부 shoe에 발을 넣고 내부 shoe와 외부 shoe의 상대적인 움직임을 통하여 제어한다.

- 전진(F, Forward) : 양쪽 페달을 동시에 앞쪽 민다.
- 후진(R, Reverse) : 양쪽 페달을 동시에 뒤쪽으로 끌면서 발의 뒷꿈치로 누른다.
- 시계 방향 제자리 회전(CW, Clock-wise Spin) : 왼쪽 페달은 뒷꿈치로 누른다.
- 반시계 방향 제자리 회전(CCW, Counter Clock-wise Spin) : 왼쪽 페달은 앞꿈치로 누르면서 오른쪽 페달은 뒷꿈치로 누른다.
- 정지(S, Stop) : 왼쪽과 오른쪽 페달 모두 발을 떼면 내부 shoe와 외부 shoe가 중립위치로 오게 되며 정지하게 된다.

○ 연계 주행 모드(페달, Master shoe)

- 전진 좌회전(FCW) : 양쪽 페달을 동시에 앞으로 밀면서 왼쪽 페달은 뒷꿈치로 누르고 오른쪽 페달은 앞꿈치로 누른다.
- 전진 우회전(FCCW) : 양쪽 페달을 동시에 앞으로 밀면서 왼쪽 페달은 앞꿈치로 누르고 오른쪽 페달은 뒷꿈치로 누른다.
- 후진 좌회전(RCW) : 양쪽 페달을 동시에 뒤로 끌면서 왼쪽 페달은 뒷꿈치로 누르고 오른쪽 페달은 앞꿈치로 누른다.
- 후진 우회전(RCCW) : 양쪽 페달을 동시에 뒤로 끌면서 왼쪽 페달은 앞꿈치로 누르고 오른쪽 페달은 뒷꿈치로 누른다.

(나) 차체 들기 및 방위 제어

구조 구난 로봇의 차체 플랫폼의 z방향 수직 병진 이동과 자세 ( $\theta_x, \theta_y$ ) 를

조작하는 것으로 이는 두 개의 master hand 조작 레버와 페달의 중립상태에서 조종되는 데 다음과 같은 방식으로 조작된다.

○ 수직 상승 및 하강(z방향 병진 이동 제어)

- 차체 수직 상승 : 양 페달과 두 레버의 중립상태에서 두 개의 조작 레버를 모두 잡아당기면 차체는 수직 상승한다.

- 차체 수직 하강: 두 레버의 중립상태에서 두 조작 레버를 모두 누르면 놓으면 수직 하강한다.

○ y방향회전(pitch,  $\theta_y$ )제어

- 차체 앞 들기 : 양 페달의 중립상태에서 두 개의 조작 레버를 모두 앞으로 밀면 앞바퀴를 들어올린다.

- 차체 뒤 들기 : 양 페달의 중립상태에서 두 개의 조작 레버를 모두 뒤로 당기면 뒷바퀴를 들어올린다.

○ x방향회전(roll,  $\theta_x$ )제어

- 차체 좌측 들기 : 양 페달과 조작레버의 중립상태에서 왼쪽 레버만 들면 차체는 왼쪽만 들린다.

- 차체 우측 들기 : 양 페달의 중립상태에서 오른쪽 레버만 들면 차체는 오른쪽만 들린다.



# 여 백

## 제4장 연구개발 목표 달성도 및 대외 기여도

본 과제의 연도별 연구 목표는 표 4.1과 같다.

표 4.1 연도별 연구 목표 및 연구내용

구 분	연구개발목표	연구개발내용 및 범위
1차년도 (1997)	관련 기술 파악, 개념 설계 및 개발 목표 확정	- 문헌 및 선행 연구사례 조사 - 시스템에 대한 개념 설계 및 개발 목표 확정 - 단위 요소기술들의 상세 개념 및 개발 목표 확정
2차년도 (1998)	주요 기능부의 1차 설계 및 시제작	- manipulator 설계 및 1차 시제작 - end effector 설계 및 1차 시제작 - 이동부 설계 및 1차 시제작 - 무선 원격조종 시스템 하드웨어 구축 - 진동 및 충격 시험설비 제작
3차년도 (1999)	주요 기능부의 성능 보완 및 1차 시스템 가조립	- manipulator 성능 평가 및 수정 - end effector 성능 평가 및 개선 - 이동부 성능 평가 및 보완 - 무선 원격조종 시스템 소프트웨어 구축 - 1차 시스템 가조립 및 개선 방안 확정
4차년도 (2000)	2차 시스템 시제작	팔, 이동장치, 원격조종장치 등의 수정 보완을 거친 2차 시스템 시제의 제작
5차년도 (2001)	현장 모사 시험을 통한 최종적 성능 보완	- 실제 환경을 모사한 작동시험 설비 구성 - 성능 평가를 거친 각 요소들의 최종적 설계 보완 및 수정

위와 같은 연도별 연구목표에 준하여 수행한 1차년도의 연구는 mock-up 모델의 제작, 팔 관절 구동장치의 시제작 등을 통해 가능한 한 실험적으로 개념 설계의 타당성을 확인하려 하였고, 주행장치의 가변구조 개념은 나름대로의 독창성을 갖는다.

# 여 백

## 제5장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구과제의 결과는 구조 구난용 원격조종 Vehicle의 상세 설계를 위한 기본 개념으로서 활용될 계획이었다. 그러나 생명공학 연구사업의 증과제로서 본 과제를 세부과제로 지원한 사회안보기술 개발 과제의 2차년도 연구비가 50% 축소됨에 따라 본 과제는 1차년도 연구로 중단시키는 조치가 내려지게 되었다. 본 연구의 2차년도에서는 주행장치, 매니플레이터, 원격조종 장치 등 주요 요소들의 1차 시제를 계획한 만큼 최소 4억원 이상의 직접경비가 소요되는 데 반해 연구비의 삭감은 연구결과의 부실화를 의미하므로 부득이 이러한 조치가 내려지게 된 것이다. 따라서 본 과제의 1차년도 연구결과는 추후 이러한 연구가 반드시 필요할 때가 올 것임을 기대하고 그 때를 대비한 선행 조사연구 결과로서 활용할 수밖에 없게 되었다.

# 여 백

## 참고문헌

1. Japan Industrial Robot Association, 1990, "The Specification and Application of Industrial Robots in Japan; Non-manufacturing Fields"
2. Rolf D. Schraft, Hansjoerg Volz, 1995, "Serviceroboter", Springer Verlag
3. Rolf D. Schraft, Gernot Schmierer, 1998, "Serviceroboter", Springer Verlag
4. Electric Power Research Institute, 1990, "A Compendium of Robotic Equipment Used in Hazardous Environments", Research Reports Center, U.S.A.