

## 야지 주행을 위한 견마형 로봇 개발

### Development of Mobile Robot for Rough Terrain

이 지 흥\*, 심 형 원, 조 경 환, 홍 지 미, 김 중 배, 김 성 훈  
(Jihong Lee, Hyungwon Shim, Kyoung-Hwan Jo, Jimi Hong, Jungbae Kim, and Sunghun Kim)

**Abstract :** In this work, we present the development of a patrol robot which is intended to navigate outdoor rough terrain. Proposed mechanism consists of six legs for overcoming an obstacle, and six wheels for traveling. Also, in order to absorb vibration in rough terrain effectively, the slide-spring system and tubed type tire are adopted to each leg and each wheel. The control system of robot consists of several imbedded boards for management of lots of diverse devices such as sensors designed for rough terrain, motor controllers, camera, micro controller and so on. And the base system of the robot is designed to operate in real time and to surveil in the vicinity of the robot, and the robot system is controlled by wireless LAN connected to GUI-based remote control system, while CAN communication connects the control board and the device controllers for sensors and motor controllers. For operating this robot system efficiently, we propose the control algorithms for autonomous navigation using GPS, stabilization maintenance by posture control, obstacle-avoidance by impedance control, and obstacle-overcoming with interference-avoidance between wheels. The performance of the robot and the proposed algorithms are tested and proved by a set of experiments in outdoor rough terrain.

**Keywords :** autonomous mobile robot, patrol robot, rough terrain, six legs and wheel, obstacle-overcoming

#### I. 서론

최근 국가 방위 및 전시 중에 보다 정확한 감시 정찰 임무의 중요성이 극대화되면서, 이를 위한 많은 로봇들이 연구되고 있다. 이 연구의 일환으로 인명 중시의 기본 정신을 바탕으로 전방에서 일반 병사의 감시 정찰 임무를 대신하거나 보조하는 역할을 하는 이동 로봇에 대한 연구가 국내외에서 활발히 진행되고 있다[1-11]. 이러한 로봇은 일반 도로가 아닌 야지를 안정적으로 주행하면서 감시 정찰이나 운반 등의 임무를 수행할 수 있어야 하는데 그러기 위해서는 이동 로봇의 몸체의 흔들림을 최소화하며, 바위나 작은 언덕 등의 장애물을 효과적으로 극복할 수 있는 형태를 가져야 한다. 과거의 연구들은 이러한 점을 착안하여 이동 로봇 몸체에 다리를 부착하여 장애물 극복 및 자세 제어를 하여 야지를 이동할 수 있게 하거나 이동 로봇에 큰 휠을 달아 야지에서 장애물 극복의 효율을 높이는 방향으로 진행되었다. 그러나 이러한 연구들은 주행 속도와 안정된 자세 제어의 두 가지 측면을 모두 고려하고 있지 않다는 점을 주시하여 현재는 휠과 다리를 접목하여 이동 로봇을 구현하려는 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 이러한 로봇은 야지 주행으로부터 발생하는 로봇 몸체의 진동을 최소화하며, 안정적인 자세를 유지하기 위해 수동적, 능동적 현가장치를 갖춘 기구부를 필요로 하며[5-8], 지형 정보가 불확실한 야지에서 보다 효율적으로 운용되기 위해 이동 방향 제어, 다리를 이용한 자세 평형 유지 및 능동적 현가 제어, 장애물 극복 등을 위한 알고리즘을 필요로 한다[9-11]. 또한 무인화 시스템 개발의 일환으로 자율 주행이

가능하도록 설계되어야 한다는 점에 있어서 위치 측정 및 경로 계획 등에 관한 기술과 알고리즘이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 야지에서의 안정적인 주행 및 장애물 극복이 용이한 6개의 다리와 휠을 가진 견마형 이동 로봇을 제안한다. 제안하는 로봇의 기구부는 계단 형태의 장애물이나 작은 바위 등을 넘어갈 수 있도록 로봇 몸체에 6개의 1축 다리를 장착하고 있으며, 각 다리의 끝에 주행을 위한 휠이 연결되어 있다. 또한 야지에서의 진동을 효과적으로 흡수하기 위한 현가장치로 각 다리들에는 슬라이드-스프링 구조를 적용하였으며, 다리의 관절에 토크 센서를 삽입하여 능동적으로 진동을 흡수하고 자세를 유지할 수 있는 기반 시스템을 구축하였다. 더불어 장애물 극복과 자세 유지 및 자율 주행을 위한 이동 환경의 정보를 획득할 수 있는 다중 센서 시스템과 통합 관리 제어가 용이한 내부 네트워크 시스템을 구축하였다. 본 연구에서는 이렇게 구현된 이동 로봇에 야지 주행 시 필요한 알고리즘 연구의 일환으로 주행 및 조향, 자세 균형 유지 및 능동 현가, 계단형 장애물 극복, 그리고 GPS를 이용한 자율주행 알고리즘을 적용하였다.

본 논문의 II장에서는 야지 주행을 위해 설계된 로봇의 기구부와 구동부를 소개하고, III, IV, V장에서는 로봇의 효율적인 제어를 위한 기반 시스템으로 센서 전원부 설계와 로봇 자체 및 원격 제어 시스템을 제시하였다. VI장에서는 본 논문에서 제안하는 로봇 구동 알고리즘에 대해 소개하고, VII장에서는 설계된 이동 로봇을 실제로 구현한 과정과 알고리즘에 대한 실험을 보여줌으로써 본 연구에서 제안한 이동 로봇의 구현 가능성 및 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

#### II. 야지 주행 로봇의 기구 설계

먼저, 이 장에서는 야지 주행 로봇의 기구부 설계를 위하여 야지 주행을 위한 기본 능력 설계를 바탕으로 효율적인 로봇의 운용을 위한 몸체 내부 및 다리에 대한 설계를 제시하기로 한다.

##### 1. 야지 주행 로봇의 개요

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 2. 12., 채택확정 : 2007. 7. 2.

이지흥, 심형원, 조경환, 홍지미 : 충남대학교

(jihong@cnu.ac.kr/s\_shw@cnu.ac.kr/neoview@cnu.ac.kr/rozeny@gmail.com)

김중배, 김성훈 : 한국전자통신연구원

(jkim@etri.re.kr/saint@etri.re.kr)

※ 본 연구는 한국전자통신연구원과 2006년도 충남대학교 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

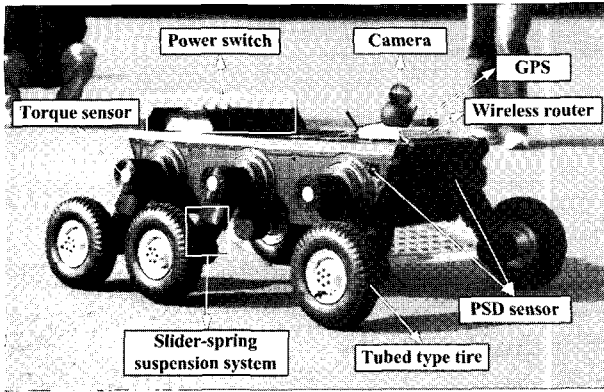


그림 1. 칼랩 1(야지 주행을 위한 견마형 로봇).  
Fig. 1. CALEB 1(mobile robot for rough terrain).

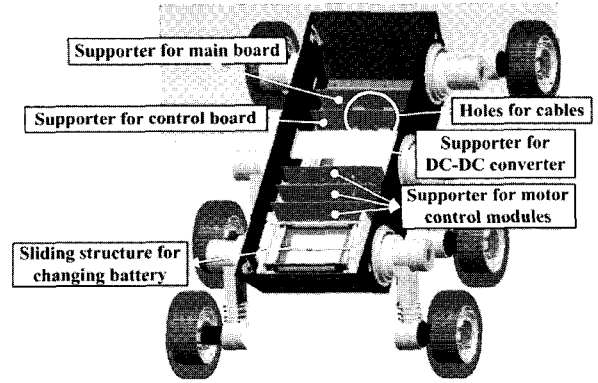


그림 2. 몸체 내부 구조.  
Fig. 2. Inner body structure.

표 1. 칼랩 1의 제원.

Table 1. Specifications of CALEB 1.

분류	제원
로봇 몸체의 크기	400(가로)×950(세로)×235(높이)mm
로봇의 총 중량	75kg
다리와 휠 축 간 거리	225mm
휠의 지름	260mm
다리의 구동 범위	±720°
비접촉 극복을 위한 장애물 최대 높이	220mm
평지 최고 주행 속도	7.54km/h(≈2.1m/s)
최대 전후 등판 능력	23.4°
운용 시간	2h(다리 각도 ±30°, 경사면의 각도 : 5°, 이동 속도 : 1m/s)

그림 1은 본 논문에서 제안하는 야지 주행 및 감시 정찰용 이동 로봇으로 미국의 Lockheed Martin사에서 제안한 차세대 전투 시스템인 무인 전투 차량을 기본 모델로 하여 약 2:1의 축척으로 제작된 모습을 보여주는 그림이다. 이 로봇은 그림 1에서 보는 바와 같이 장애물 극복이 용이하도록 몸체에 서로 독립적인 6개의 1축 다리를 장착하고, 그 끝에 휠을 연결한 구조로 되었으며, 야지 주행 시 로봇 몸체가 받는 진동을 줄이기 위해 슬라이드-스프링 구조의 현가장치와 공기 주입식 타이어를 장착하고 있다. 또한 능동적 자세 제어를 위해 각 다리의 관절에는 토크 센서가 삽입되어 있으며, 장애물 감지를 위한 거리 측정 센서가 로봇 몸체의 전·후·좌·우면에 장착되어 있고, 감시 정찰을 위한 카메라, 그리고 로봇의 위치 정보 획득을 위한 GPS가 로봇 몸체의 앞쪽 상단에 위치해 있다. 로봇 몸체의 뒤쪽 상단부에 전원 스위치를 위치시킴으로써 로봇의 전원을 켜고 끄는 것이 용이하도록 하였다. 구체적인 로봇의 제원은 표 1과 같다.

본 논문에서 제안한 로봇의 전체 기구부는 배터리와 내부 부품들의 확장성 및 교환의 효율성을 증진할 수 있도록 설계된 몸체와 야지에서 안정적인 주행 및 장애물 극복이 용이하도록 설계된 다리와 휠 부분으로 나눌 수 있다.

로봇의 몸체 내부는 야지에서 지속적인 운용이 가능하도록 배터리 탈부착이 용이한 슬라이드를 장착하여 배터리 교

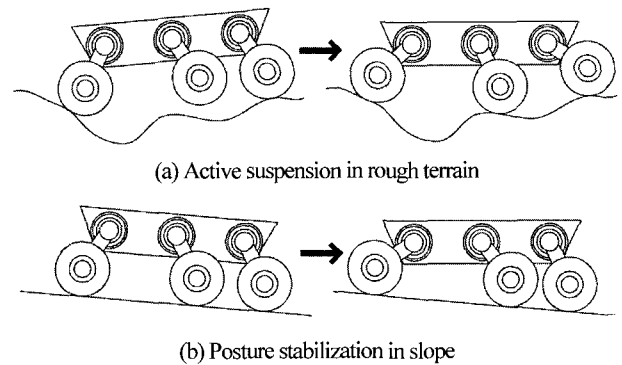


그림 3. 야지에서의 이동 로봇 자세 제어.  
Fig. 3. Control of posture in rough terrain.

환에 드는 시간을 줄일 수 있는 시스템을 내장하고 있으며, 내부 배선과 열 배출의 효율을 높이고 보드의 탈부착이 용이하도록 하기 위해 설계된 여러 개의 지지판을 탑재하고 있다. 그림 2는 배터리 교환을 위한 슬라이드 구조물과 보드 및 모듈들을 장착할 수 있는 지지판을 내장하고 있는 로봇 몸체의 내부를 보여주는 그림이다.

## 2. 다리·휠 기구 설계

### 2.1 능동적 제어를 위한 기반 메커니즘 설계

이동 로봇이 야지 주행 시 그림 3(a)와 같은 지형을 만나면 로봇 몸체에 큰 진동이 발생하거나 자세가 불안정해질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 험지에서 능동적 진동 흡수 및 (b)와 같은 경사에서의 이동 로봇의 자세 유지가 가능하도록 한 개의 회전축을 갖는 다리로 로봇 몸체와 휠을 연결하였다. 또한 각 다리의 관절에 토크 센서를 삽입하여 지면의 상태에 따라 각 휠에 걸리는 저항을 계산하여 자세 유지 및 진동 흡수를 능동적으로 제어할 수 있는 기반 시스템을 구축하였다. 능동적 진동 흡수 및 자세 유지와 더불어 계단이나 암석 등의 장애물을 효과적으로 극복하기 위하여 각 다리가 360도 회전이 가능하도록 다리를 배치하고, 10cm 이하의 장애물은 바퀴의 구동만으로 극복할 수 있도록 휠 크기를 26cm로 설계하였다.

### 2. 수동적 진동 흡수를 위한 메커니즘 설계

야지를 주행함에 있어 장애물과 충돌 시 발생하는 큰 반발력으로 인해 능동적 진동 흡수 제어만으로는 효과적인 진동

표 2. 진동 흡수를 위한 스프링 제원.

Table 2. Specifications of spring for absorbing vibration.

분류	크기	분류	크기
스프링 중심경(D)	58mm	횡탄성계수(G)	8380
총권선수	5	자유장	56mm
유효권선수(n)	3	최대 높이	50mm
스프링 재질	경강선	최소 높이	32mm

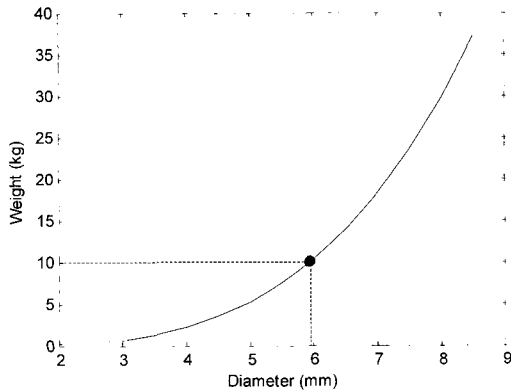


그림 4. 스프링 선직경과 지지 하중의 관계.

Fig. 4. Relationship between line diameter of spring and supporting weight.

흡수가 이루어지지 않는다. 이를 보완하기 위해 각 다리의 중간 부분을 슬라이드 구조로 설계하고 그 사이에 스프링을 위치시켰다. 각 다리에 장착되는 압축스프링은 평지에서 로봇 몸체의 하중을 견딜 수 있도록 하기 위해 경강선을 사용하여 다리의 최대 길이(스프링에 의해 최대로 늘어난 길이)에서 10kg 이상의 하중을, 최소 길이에서 30kg 이상의 하중을 견디도록 설계하였다. 스프링 설계 시 다리의 슬라이드 구조에 따라 스프링 내경, 총권선수, 유효권선수, 횡탄성계수 및 자유장을 표 2와 같이 결정하고, 스프링 선직경에 따른 지지 하중과의 관계를 (1)로부터[12] 계산하였다.

$$P = k\delta \left( k = \frac{Gd^4}{8nD^3} \right) \quad (1)$$

표 2의 제원과 (1)을 이용하여 스프링 선직경(d)의 크기에 따른 스프링 최대 높이(δ = 50mm)에서의 지지 하중(P)을 구한 결과 그림 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 4에서 보는 바와 같이 스프링 선직경은 다리의 최대 길이(스프링 최대 높이)에서 10kg의 하중을 지지하기 위해서는 약 5.9mm 이상의 값을 가져야 한다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 지지 하중과 현가 능력을 고려하여 스프링의 선직경을 6mm로 설계하였으며, 설계된 스프링은 최소 높이 32mm에서 약 41kg의 하중을 지지할 수 있음을 (1)로부터 구할 수 있다. 이 결과로부터 스프링 최소 길이에서 필요 지지 하중인 30kg 이상을 만족함을 확인할 수 있었으며, (1)로부터 약 1.72라는 스프링 상수(k)를 얻을 수 있었다.

본 연구에서 제안하는 이동 로봇은 자갈밭과 같은 거친 표면을 갖는 야지를 주행할 때 발생하는 크기는 작고 주파수가 높은 진동을 감쇄시키기 위해 바퀴를 일반 차량과 유사한 공

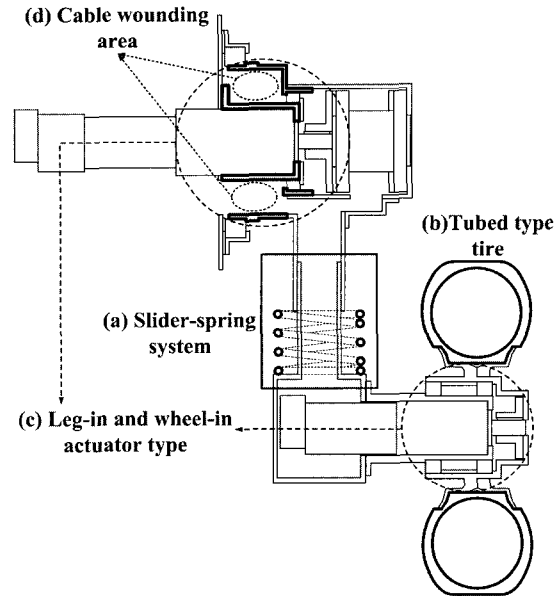


그림 5. 수동적 진동 흡수를 위한 다리-휠 구조.

Fig. 5. Leg and wheel structure for passive suspension.

기를 채운 타이어로 설계하였다. 그림 5(a), (b)는 이 현가장치를 도입한 다리와 휠 부분에 대한 단면도이다. (c)는 로봇의 몸체 무게와 지면의 굴곡으로부터 구동기의 구동축에 가해지는 충격으로 인해 구동축이 파괴되지 않도록 하기 위해 설계된 구조로 바퀴에 가해지는 충격을 구동기의 기어 헤드로 분산시키는 역할을 한다. (d)는 구동기 보호를 위해 설계한 (c)에 의해 다리 회전 시 다리 관절 구동기 기어헤드 외부에 발생하는 휠 모터와 토크 센서의 전원 케이블 및 신호 케이블의 감김 현상을 고려하여 다리가 최대 4회전이 가능하도록 하기 위해 설계된 케이블의 감김 공간을 나타내는 그림이다.

### 3. 다리, 휠 구동기 설계

이동 로봇은 평지 및 야지를 주행하기 위하여 12개의 모터로 구성된다. 로봇의 이동은 6개의 휠모터가 담당하며, 6개의 다리 관절 모터는 장애물 극복 및 자세평형 유지를 위하여 사용된다. 각 구동부의 세부 설계는 다음과 같다.

다리와 휠 구동기는 몸체의 좌측과 우측에 각각 3개씩 위치하여 다리와 휠의 회전 및 위치 유지에 사용된다. 각 구동기 설계의 핵심이 되는 모터는 로봇의 크기와 무게를 고려하여 최소의 크기와 무게로 최대의 토크를 얻을 수 있는 Maxon motor®사의 모터를 사용하였다. 더불어, 다리 구동기는 최대 토크가 걸리는 각도인 90도에서 몸체를 지지할 수 있으며, 휠의 경우는 20도 이상의 등판 능력과 2m/s 이상의 주행 속도를 낼 수 있도록 모터와 기어 헤드를 선정하였다. 필요 토크를 계산하기 위해 다리와 휠에 대한 기구학적 모델을 그림 6과 같이 도식화하였다.

표 3은 다리와 휠의 변수들을 정의한 표이며, 다리의 하중은 휠과 몸체에 비해 작아서 기구학적 모델의 단순화를 위해 생략하였다. 그림 6으로부터 i 번째 다리의 회전 각도 θ<sub>i</sub>°와 i 번째 휠이 접촉하고 있는 지면의 기울기 θ<sub>w</sub>°를 고려하여 다리와 휠에 걸리는 토크와 휠의 속도를 구하면 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_i^a = \frac{W_b L \sin \theta_i^a}{n} g(Nm) \tag{2}$$

$$\tau_i^w = \left( \frac{W_b}{n} + W_w \right) R \sin \theta_i^w g(Nm) \tag{3}$$

$$N = \frac{60v}{2\pi R} (rpm) \tag{4}$$

(2)-(4)의 각 변수에 표 3의 파라미터를 적용하여 구동기 선정 시 필요한 토크 및 속도를 계산하면 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있다. 표 4의 결과로부터 다리 구동기는 순간 최대 토크 45Nm, 최대 지속 토크 28Nm, 24V에서 33rpm의 회전 속도를 갖는 모터와 기어 헤드를 선정하였다. 선정된 모터의 속도 및 위치 제어와 에너지 절감을 위해 엔코더 및 브레이크를 추가로 구동기에 장착하였다. 그리고 휠 구동기는 최대 순간 토크 24Nm, 최대 지속토크 5.45Nm, 24V에서 175rpm의 회전 속도를 갖는 모터와 기어 헤드를 선정하였다. 휠 구동기에는 기구부 외형의 간섭을 피하고 스트레스를 감소시키기 위해 브레이크는 장착하지 않았다.

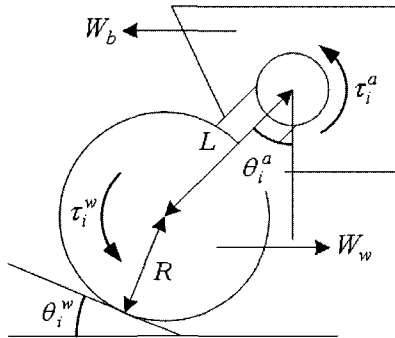


그림 6. 다리와 휠의 구동 토크 계산을 위한 기구학적 모델.  
Fig. 6. Kinematic model for calculating torques of leg and wheel actuators.

표 3. 그림 6의 파라미터 정의.

Table 3. Definition of parameters in Fig. 6.

변수	크기	변수	크기
몸체의 하중 ( $W_b$ )	60kg	휠의 하중 ( $W_w$ )	3kg
다리의 길이 ( $L$ )	225mm	휠의 반경 ( $R$ )	130mm
다리(휠)의 개수 ( $n_d$ )	6	중력가속도 ( $g$ )	9.81m/s <sup>2</sup>

표 4. 다리와 휠 구동을 위한 필요 토크 및 속도.

Table 4. Required torque and speed for leg and wheel operation.

각 다리의 각도에 따른 필요 토크 계산	
$i$ 번째 다리의 관절각도 ( $\theta_i^a$ )	필요 토크 ( $\tau_i^a$ )
45°/90°	19.5Nm/27.6Nm
각 휠의 필요 토크 및 회전 속도 계산	
경사면의 각도 ( $\theta_i^w$ )	필요 토크 ( $\tau_i^w$ )
10°/20°	2.765Nm / 5.45Nm
로봇의 주행 속도 ( $v$ )	필요 회전 속도 ( $N$ )
2m/s	147rpm

### III. 로봇 센서 및 전원부 설계

#### 1. 센서부 설계

야지에서 이동 로봇의 자율 주행을 위해서는 주변 환경 및 로봇의 상태를 인지할 수 있는 많은 종류의 센서들이 필요하다. 또한, 정확한 인지를 위해서는 적절한 위치에 적합한 센서를 배치할 필요가 있으며, 센서 퓨전을 위해 센서들을 통합 관리할 수 있는 네트워크가 필요하다. 이런 점들을 감안하여 본 논문에서는 그림 7과 같이 네 면의 벽과의 거리내지 장애물을 파악하기 위한 32개의 PSD(Position Sensitive Detector)센서를 사면에 위치시켰으며, 각 다리의 회전축에는 토크센서를 장착하여 다리의 구동 상태, 장애물의 존재 유무 및 로봇 하중의 분포 상태를 알 수 있도록 하였다. 또한 로봇 몸체의 자세를 파악하기 위하여 자이로 센서와 틸트 센서를 로봇의 중앙에 위치시켰으며, 로봇 몸체의 내부 온도를 측정하기 위한 온도센서를 부착되어 로봇의 운용 상태를 체크할 수 있다. 이렇게 측정되는 모든 데이터들은 CAN버스를 통해서 컨트롤 보드로 전송되어 제어 정보로 활용된다. 추가적으로 GPS정보를 획득하여 주행 경로 및 로봇의 위치를 파악하는데 사용하였으며, 감시 정찰을 위해 카메라를 로봇 몸체 상단 앞 부분에 설치하였다.

#### 1.1 PSD 센서

본 연구에서는 일본의 Sharp®사에서 개발된 거리 감지 센서를 선정하였다. 이동 로봇의 전·후진을 고려하여 로봇의 전후면 모두에서 제동 거리 확보와 장애물을 감지할 수 있고, 양 측면부에서 벽면을 감지할 수 있도록 그림 8과 같은 위치에 전면부/측면부/후면부에 각각 12개/8개(4개\*2)/12개씩 PSD 센서를 장착하였다. 전/후면부 센서의 최대 감지 거리를 선정하기 위해 필요한 제동 거리는 로봇의 운동 에너지와 지면의 마찰력을 이용한 (5)으로부터[12] 표 5과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{1}{2}mv^2 = \mu mgD_b \rightarrow D_b = \frac{1}{2\mu g}v^2 \tag{5}$$

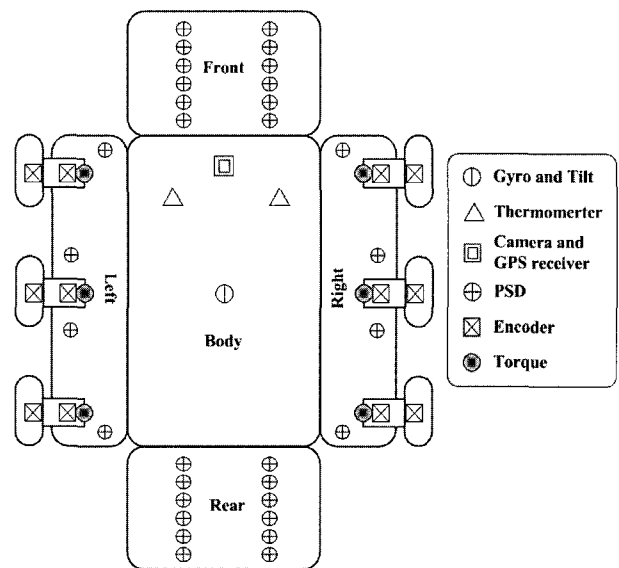


그림 7. 칼럼 1의 센서 종류 및 위치.  
Fig. 7. Sensor type and position of CALEB 1.

표 5. 칼럼 1의 제동 거리.

Table 5. Braking distance of CALEB 1.

변수	크기	변수	크기
로봇의 질량(m)	75kg	최대 속도(v)	2m/s
지면 마찰력 $\mu$		제동 거리( $D_b$ )	
일반 건조 도로	0.8		0.2548m
빙판	0.2		1.019m

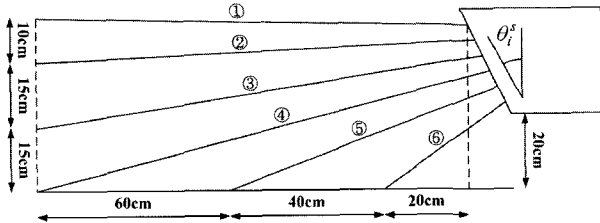


그림 8. 장애물 감지를 위한 거리 측정 센서 설계.

Fig. 8. Design of PSD sensor for perceiving an obstacle.

로봇의 안전을 고려하여 센서의 최대 감지 거리를 표 5의 빙판에서의 제동 거리인 1.019m보다 약 20% 더 큰 1.2m로 선정하였다.

로봇이 극복 가능한 장애물의 높이는 다리 관절 각도 0도인 상태에서 몸체 바닥과 지면과의 거리 25cm를 최대로 하여 선정하였다. 선정된 장애물의 높이를 고려하여 극복 가능 여부 판단 및 제동 거리를 확보와 근거리 장애물 감지를 위해 그림 8과 같이 센서를 위치시켰다. 그림 8과 같이 배열된 센서들은 로봇의 자세 제어 및 거리 감지의 효율을 높이기 위해 전·후면에 각각 2열로 배치하였다.

1.2 토크 센서(TCN : 비회전형 센서)

토크 센서의 선정은 본 연구에서는 III장에서 선정된 다리 구동기가 낼 수 있는 최대 토크인 45Nm와 장애물과의 충돌 시 발생하는 충격량을 고려하여 토크 센서를 선정하였다. 예상 최대 충격량을 구하기 위해 로봇이 최고 속도 주행 중 하나의 휠이 벽이나 장애물에 충돌하였을 때를 가정하여 그림 6으로부터 (6)을 유도하였다.

$$I_i = mvgL \sin \theta_i \tag{6}$$

로봇의 질량( $m=75\text{kg}$ )과 최대 속도( $v=2\text{m/s}$ ) 및 충돌 시간( $t=0.3$ ), 그리고 주행 중 다리 관절의 각도 ( $\theta_i=45^\circ$ ) 를 (6)에 대입하여 계산하면 충돌 시 발생될 수 있는 예상 충격량( $I_i$ ) 70.23Nm를 구할 수 있다. 이렇게 구한 예상 충격량과 구동기 최대 토크 모두를 수용할 수 있는 0.1~98.1Nm의 측정 범위 가지는 TCN 비회전형 토크 센서를 선정하였다.

2. 센서 및 컨트롤러 인터페이스 설계

본 이동 로봇의 내부에는 장착되는 센서가 많아 센서 데이터를 제어용 보드에서 일괄적으로 처리하기 힘들다. 따라서 본 연구에서는 각 종 센서들로부터 데이터를 수신하여 로봇 구동 알고리즘을 수행하는 제어용 보드에서 센서 데이터 요청 시 처리가 용이한 형태로 데이터를 전환하여 송신해줄 수 있는 하위 컨트롤러를 9개 장착하였다. 그리고, 양방향 통신이 가능하며 노이즈에 강한 CAN 통신을 로봇의 센서 컨트롤러

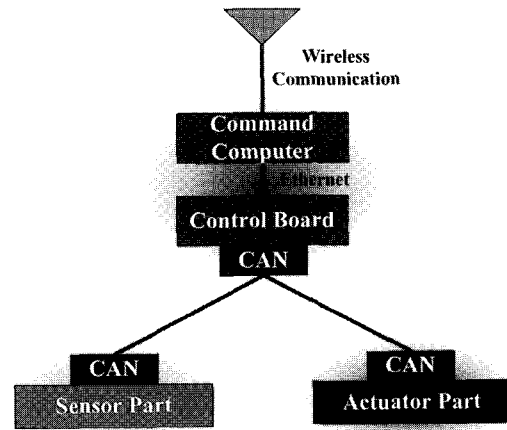


그림 9. 센서 및 컨트롤러간 내부 네트워크.

Fig. 9. Inner network between sensors and controllers.

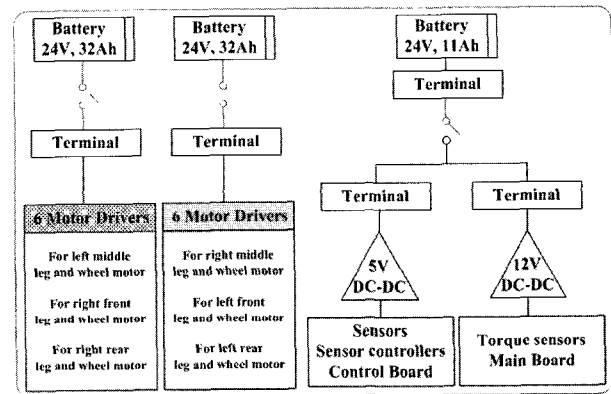


그림 10. 전원부 구조도.

Fig. 10. Structure of power supply system.

러 및 구동기 제어 모듈과 제어용 보드 간의 통신 수단으로 사용하였다.

하위 컨트롤러와 모터 제어 모듈로부터 CAN 통신을 통해 집계된 센서 데이터를 수신하여 구동 명령을 내리는 제어용 보드를 상위 컨트롤러로 위치시켰다. 또한 원격 제어 시스템과의 무선 통신 및 영상 전송, 카메라 팬&틸트 모듈의 제어, LAN 통신을 이용한 제어용 보드로의 운동 명령 전달을 담당하는 메인 보드를 최상위 컨트롤러로 하여 로봇의 내부 네트워크를 그림 9와 같이 구성하였다.

3. 전원부 설계

로봇의 전원부는 전체적으로 두 종류의 배터리를 이용해 그림 10과 같은 구조로 설계하였다. 배터리의 용량은 표 1에서 제시된 다리 관절 각도  $\pm 30^\circ$ , 경사면의 각도  $5^\circ$ , 이동 속도 1m/s에서 2시간을 운용하는데 필요한 전력을 계산하여 결정하였다.

배터리는 소비 전력을 기준으로 크게 두 부분으로 구분하였다. 첫째는, 메인 보드 및 제어용 보드, 그리고 각각 센서 전원 및 하위 컨트롤러에 각각 파워를 공급하기 위한 저전력 배터리이다. 이 배터리는 손실되는 전력과 전압 분배 시 안정적인 전압 공급의 두 가지 측면을 고려하여 이 부품들의 소비 전력의 합인 108.1W보다 약 2.5배 더 큰 260W 이상의

전력 용량을 갖도록 24V, 11Ah로 설계하였다. 둘째로 구동부에 전력을 공급하는 배터리는 소비 전력의 합인 1440W 이상의 용량을 갖도록 24V, 32Ah의 배터리 두 개로 설계하였다.

**IV. 로봇 제어 시스템**

본 연구에서는 필요 전송 속도를 만족시키고 원격 제어 시스템의 이동성을 높이기 위해 무선 LAN(Local Area Network)을 이용한 통신 방식을 선택하였으며, 통신 시스템을 구현하기 원격 제어 시스템은 노트북에 무선 LAN 카드를 설치하였으며, 로봇은 무선 라우터에 메인 보드와 제어 보드를 유선 LAN으로 연결하는 방식을 사용하였다. 하지만 무선 LAN의 통신 거리가 약 11m 내외로 장거리 통신에는 적합하지 않다는 문제 때문에 궁극적으로는 무선 휴대인터넷을 이용한 WiBro(Wireless Broadband) 방식이 적합하다고 판단된다.

그림 11은 원격 제어 시스템과 이동 로봇 전체의 통신 및 제어 시스템을 도식화하여 표현한 그림이다. 원격 제어 시스템으로부터 무선 LAN 통신을 통해 받은 구동 명령은 무선 라우터에서 유선 LAN을 통해 메인 보드와 제어 보드에 전달되고, 이렇게 전달된 명령은 각 보드들에 의해 각 디바이스, 즉 센서 및 모터 컨트롤러를 제어할 수 있는 명령으로 바뀌어 CAN 통신을 통해 전달되도록 로봇 내부 통신 시스템을 구성하였다. 또한 메인 보드는 USB(Universal Serial Bus)를 통해 웹카메라의 영상을 받을 수 있도록 하였으며, GPS의 정보를 수신하기 위해 RS-232 통신을 사용하였다.

더불어 이동 로봇의 효율적인 운용을 위해 구동기를 제어하고 센서로부터 읽어 드린 데이터를 처리하는 메인 보드와 제어 보드, 그리고 하위 컨트롤러에 대한 제어 소프트웨어 플랫폼을 다음과 같이 구현하였다.

**1. 메인 보드 소프트웨어 플랫폼**

메인 보드는 이동 로봇의 제어 성능을 높이기 위해 제어 보드에서 감당하기 어려운 원격 제어 시스템으로 감시 영상

을 전송하기 위한 영상 압축과 이동 로봇의 경로 계획과 같은 데이터의 연산량이 많은 프로그램을 구동하도록 설계되었다. 이와 같은 목적을 설계된 메인 보드의 소프트웨어 플랫폼은 그림 11과 같이 무선 라우터로부터 LAN 통신을 통하여 명령을 수신하며, 이를 가공하여 LAN 통신을 통해 제어 보드로 명령을 전송하는 서버로서의 역할을 하도록 설계되었다. 그리고 카메라의 영상 정보를 압축한 영상 데이터와 로봇의 상태 및 주행 정보 데이터를 원격스테이션으로 전송할 수 있도록 설계되었다. 또한, GPS 데이터를 활용하여 사용자가 원하는 목적지로 이동 가능한 경로를 계획하고, 원격 제어 시스템이나 제어 보드와 통신이 두절되었을 때 로봇을 정지할 수 있도록 설계되었다.

**2. 제어 보드 소프트웨어 플랫폼**

그림 11의 제어 보드 블록은 제어 보드의 소프트웨어 플랫폼을 도식화하여 나타낸 것이다. 제어 보드는 기본적으로 모터 드라이버에게 운동 명령을 내보내며, 센서들로부터 데이터들을 획득하는 기능을 가지고 있으며, 모터 컨트롤 알고리즘을 구성 요소로 가지고 있어 주행 조건에 따라 다른 알고리즘을 사용하여 로봇의 주행 상태를 다르게 제어할 수 있다. 제어 보드를 통한 로봇의 제어 과정은 크게 세 단계로 나누어 설계되었다. 첫 번째 단계는 원격 제어 시스템으로부터 무선 LAN을 통해 받은 제어 명령에 따라 제어 알고리즘을 선택하는 단계이며, 두 번째는 선택된 알고리즘과 CAN 통신으로부터 받은 센서 데이터를 바탕으로 구동기 제어 명령을 CAN 통신을 통해 구동기 컨트롤러에 전달하는 과정이다. 마지막으로 알고리즘 수행 중 센서 데이터와 구동기 제어 상태를 LAN 통신으로 메인보드에 전송함으로써 과정이 일단락되고 이와 같은 과정이 계속 순환된다. 선택된 알고리즘 알고리즘의 종류로는 주행 및 조향, 자세 안정화, 장애물 극복, 자율 주행 등이 있으며, 이 알고리즘에 대한 소개는 VI장에서 다루기로 한다.

**3. 센서 컨트롤러 소프트웨어 플랫폼**

센서 컨트롤러는 센서 데이터를 연산하기 용이한 형태로 변환하여 제어 보드에 전달해줌으로써 알고리즘 수행에 있어 제어 보드의 부하를 줄이고 제어의 효율을 높이기 위해 설계되었다. 따라서, 센서 컨트롤러의 소프트웨어는 센서로부터 입력된 아날로그 신호를 A/D 컨버터를 통해 디지털 신호로 바꾸어 연산이 용이한 형태의 데이터로 변환하여 저장하고, 제어 보드로부터 CAN 통신을 통해 수신한 센서 데이터 요청 명령에 따라 데이터를 선택하여 다시 CAN 통신을 통해 선택된 데이터를 제어보드로 보내도록 설계되었다.

**V. 원격 제어 시스템 설계**

**1. 원격 제어 시스템 구조**

이동 로봇을 원격지에서 효율적으로 제어하기 위해 설계된 원격 제어 시스템은 그림 12(a)와 같이 로봇을 수동적으로 제어하기 위한 입력 디바이스인 조이스틱과 원격 제어 컴퓨터로 구성된다. 원격지에 있는 로봇을 수동으로 제어하기 위해서는 입력 디바이스인 조이스틱을 통해 구동기 각각을 제어할 수 있어야 하며, 상황에 따라 휠 전체나 다리 전체, 또는 앞/중간/뒤 다리 두 쌍을 동시에 제어할 수 있어야 한다. 이점을 착안하여 조이스틱의 손잡이의 방향과 버튼에 표 6

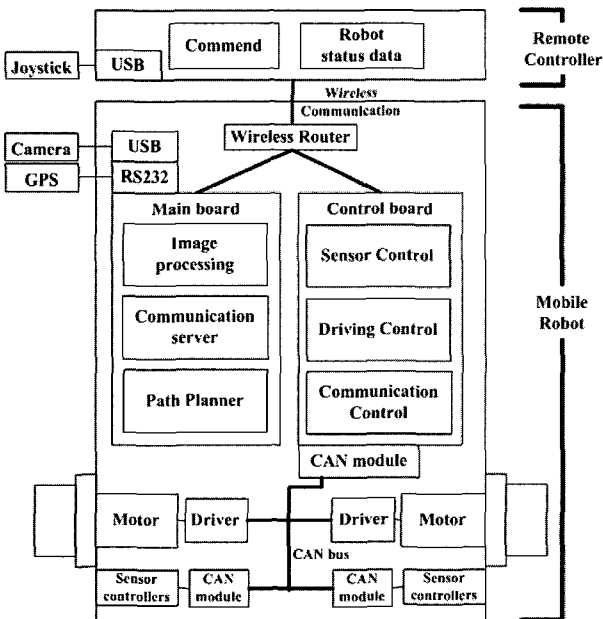


그림 11. 로봇 제어 시스템의 구조  
Fig. 11. Structure of robot control system.

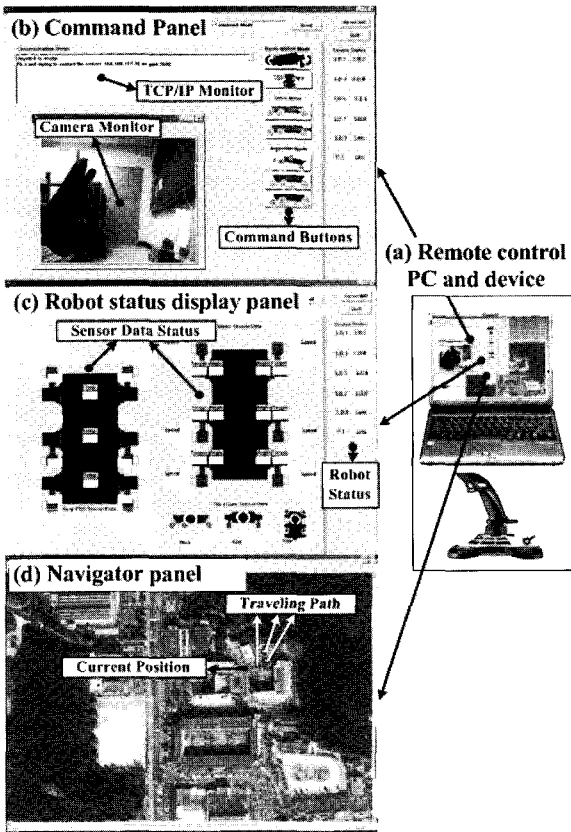


그림 12. 원격 제어 시스템 GUI 구성도.  
Fig. 12. GUI configuration of remote control system.

표 6. 구동기 제어를 위한 조이스틱 기능 정의.  
Table 6. Definition of joystick functions for controlling actuators.

Device	Definition
X, Y axis motion	구동기 회전 속도 명령
Rotation	좌우측 휠 반대 속도 명령(제자리 회전)
Throttle	최대 속도 변환 명령
Button 1/Button 2	휠/다리 구동기 선택
Button 3/Button 4	휠/다리 구동기 전체 선택
Button 5~10	휠 또는 다리 구동기 중 하나 선택

과 같은 기능을 부여하였다.

원격 제어 시스템은 원격지의 로봇을 제어하기 위한 기반 사항인 로봇의 센서 정보, 카메라 영상, 로봇의 위치 정보를 제공하고 제어 명령을 효과적으로 전달할 수 있어야 한다. 이점을 착안하여 원격 제어 컴퓨터는 조이스틱의 구동 명령과 (b)의 명령 버튼에 따른 구동 알고리즘을 로봇 쪽으로 전달할 뿐만 아니라 (c)와 같이 로봇으로부터 전달된 로봇의 각종 센서 데이터들과 각 모터 데이터를 출력하도록 설계되었다. 또한 (b)의 카메라 모니터로 로봇으로부터 전달된 카메라 영상을 디스플레이해 주며, (d)의 창을 통해 지형에 대한 위성 사진과 GPS 데이터로부터 추측한 로봇의 위치 및 자율 주행을 위한 로봇의 경유점 등을 사용자가 확인할 수 있도록 설계되었다.

2. 원격 제어 시스템의 소프트웨어 플랫폼

원격 제어 시스템의 주 목적은 원격지의 로봇에 로봇이 처

한 환경에 가장 효과적인 제어 명령을 전달하는데 있다. 따라서 원격 제어 시스템의 소프트웨어 플랫폼은 그림 12에서 볼 수 있듯이 로봇이 처한 환경 정보 및 로봇의 상태 정보를 사용자가 확인할 수 있도록 하는데 중점을 두어 설계되었다. 우선 통신에 관련된 소프트웨어 플랫폼은 로봇 내의 메인보드와 무선 LAN 모듈을 이용하여 데이터 통신을 하고, 로봇 내의 메인보드로부터 메인보드와 컨트롤 보드의 통신 이상 발생시 이를 사용자에게 통신 이상 메시지를 출력할 수 있도록 통신 상태를 지속적으로 관찰할 수 있는 구조로 이루어져 있다. 그리고 로봇의 상태 정보를 사용자에게 전달하기 위한 소프트웨어 플랫폼은 로봇으로부터 센서 정보 및 카메라, GPS 정보를 메인 보드 및 제어 보드로부터 전달 받아 모니터에 디스플레이 할 수 있도록 되어 있다. 마지막으로 제어 명령에 관련된 소프트웨어 플랫폼은 조이스틱이나 디스플레이 창의 명령 버튼에 의한 사용자 명령을 무선 LAN을 통해 메인보드 및 제어 보드에 전달할 수 있도록 설계되었다.

VI. 로봇 구동 알고리즘

아지에서 로봇의 자율 주행을 실현하기 위해서는 방향 전환 및 장애물 회피, 험지에서의 로봇 자세 유지 및 장애물 극복, 그리고 자기 위치 인식 알고리즘에 대한 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 이점을 착안하여 다음의 네 가지 알고리즘을 제안한다.

1. 주행 및 조향 알고리즘

본 연구에서 제안한 이동 로봇의 효율적인 주행과 조향을 위해서는 로봇의 방향 전환 및 충돌 회피에 대한 알고리즘이 필요하다.

1.1 로봇의 주행 및 방향 전환

본 연구를 통해 구현된 이동 로봇은 휠이 1축 회전 다리에 고정되어 있는 형태로 조향이 불가능한 시스템이다. 따라서, 본 연구에서는 좌우 휠에 회전 속도를 이용하여 주행 및 이동 방향을 전환할 수 있는 알고리즘[13]을 적용하였다.

그림 13은 순간 회전 중심(ICR)에 따른 로봇의 이동 속도 ( $V = [\dot{x} \ \dot{y} \ \dot{\theta}]^T$ )를 구하기 위해 로봇을 도식화하여 나타낸 그림이다. 로봇의 이동 속도는 좌우측 각 3개의 휠의 회전 속도( $\omega_L, \omega_R$ )와 로봇의 회전각( $\theta$ )로부터 (7)과 같이 표현될 수 있다.

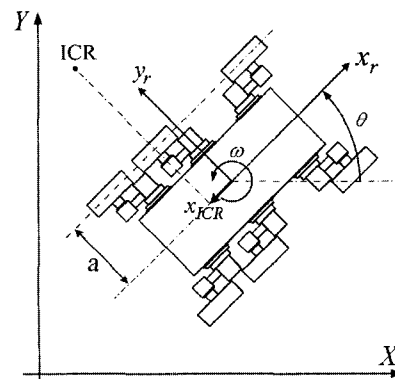


그림 13. 방향 전환을 위한 이동 로봇의 기구학적 모델.  
Fig. 13. Kinematic model of mobile robot for turning.

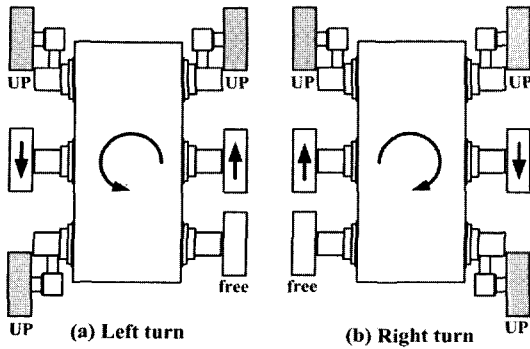


그림 14. 제자리 회전을 위한 다리 위치 제어.  
Fig. 14. Leg position control for turning in original place.

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = T(\theta) \begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = T(\theta) \begin{bmatrix} \left(\frac{\omega_L + \omega_R}{2}\right)r \\ \left(\frac{-\omega_L + \omega_R}{2a}\right)r \\ \omega \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$T(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & x_{ICR} \sin\theta \\ \sin\theta & x_{ICR} \cos\theta \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, r = \frac{2\pi R}{60}$$

(7)의  $a$ 는 로봇의 기구학적 형상에 의해 정해지는 상수이기 때문에 로봇의 순간 회전 중심과 이동 속도가 결정되면 각 휠의 회전 속도를 계산하여 로봇을 제어할 수 있다.

6개의 자세 조향이 불가능한 휠로 인해 로봇이 도로와 같은 마찰력이 큰 지면에서는 제자리 회전이 불가능하다. 이를 위해 그림 14와 같이 전방 다리 2개와 후방 다리 1개를 들어 지면과의 마찰력을 줄이고 균형을 잡아줌으로써 제자리에서 회전이 가능하도록 하였다.

$$\theta = \omega t = r(\omega_L - \omega_R)t \quad (8)$$

(8)은 주어진 시간( $t$ )동안 원하는 회전 각도로 로봇을 회전시키기 위해 필요한 좌우 휠의 회전 속도를 나타낸 수식이다.

1.2 충돌 회피

원격 제어 시스템의 조이스틱을 이용하여 수동으로 로봇을 제어하는 경우 사용자의 조작 미숙에 의해 장애물과 충돌할 우려가 있다. 이 점을 착안하여 본 연구에서는 로봇을 수동으로 제어할 시 장애물과의 충돌을 회피할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 로봇이 PSD 센서로 장애물을 감지 시 사용자가 전진 명령을 하달하더라도 일정 거리 이내로 접근하지 않도록 하는 것이다. 이를 위하여 로봇과 장애물 사이를 가상 스프링으로 모델링하여 충돌을 회피하는 알고리즘을 도입하였다.

$$v_{i+1} = V_{in} - \lambda[k_1(x_i - x_{fix}) + k_2v_i], \lambda = \begin{cases} 0 & (x_i > x_{fix}) \\ 1 & (x_i \leq x_{fix}) \end{cases} \quad (9)$$

(9)과 표 7은 임피던스 컨트롤 알고리즘[14]을 이용하여 속도를 구하는 식이다. (9)는 로봇과 장애물 사이의 거리가 사용자가 정한 최소 유지 거리 이하로 줄어들었을 때 로봇의 현재 속도와 거리 차(최소 유지 거리-현재 거리)에 일정한 이득을 곱한 값을 사용자의 입력 속도에서 빼줌으로써 장애물

표 7. (9)의 변수 정의.

Table 7. Definition of variables in (9).

변수	정의
$x_i$	로봇과 장애물 사이의 현재 거리
$x_{fix}$	로봇과 장애물의 최소 유지 거리(60cm)
$v_i / v_{i+1}$	로봇의 현재 / 이후 속도
$V_{in}$	사용자의 입력 속도
$k_1, k_2$	사용자에 의해 정의된 이득
$i$	수행 시간에 따른 순서

과 로봇 사이의 거리를 일정하게 유지할 수 있도록 속도를 보정하는 식이다.

2. 자세 균형 유지 및 능동 헨가 알고리즘

본 연구에서는 몸체의 중심부에 장착한 틸트 센서와 각 다리의 관절에 삽입한 토크 센서를 이용하여 능동적으로 로봇의 다리를 제어함으로써 자세 균형을 유지하는 알고리즘을 제안한다.

2.1 자세 균형 유지 알고리즘

본 연구에서 구현한 로봇은 지형을 감지하기 위한 센서를 가지고 있지 않기 때문에 틸트 센서로부터 지형의 기울기와 토크 센서로부터 지면 위에 놓인 휠 상태를 추측해야 한다. 이러한 점을 착안하여 본 알고리즘은 그림 15와 같이 몸체가 기울어져 있을 때 틸트 센서에 의해 기울어진 상태를 감지하여 전방 다리와 중간 다리를 제어 대상 후보 다리로 1차 선택하고, 토크 센서로부터 휠이 지면에 닿아 있는지를 감지하여 1차적으로 선택된 다리 중에 휠이 지면에 접촉되어 있는

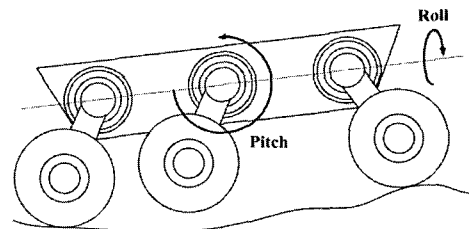


그림 15. 야지에서의 로봇 자세.  
Fig. 15. Robot configuration in rough terrain.

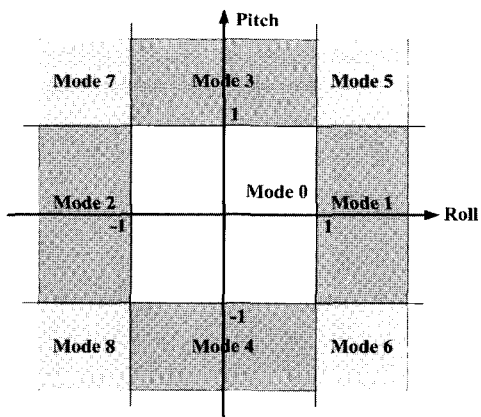


그림 16. 다리 선택 모드.  
Fig. 16. Mode for leg selection.



표 8. 각 모드에서 선택된 제어 후보 다리.

Table 8. Candidates of legs for control in each mode.

Mode	Candidates
1	front-left, middle-left, rear-left
2	front-right, middle-right, rear-right
3	front-left, front-right, middle-left, middle-right
4	middle-left, middle-right, rear-left, rear-right
5	front-left, front-right, middle-left
6	middle-left, rear-left, rear-right
7	front-left, front-right, middle-right
8	middle-right, rear-left, rear-right

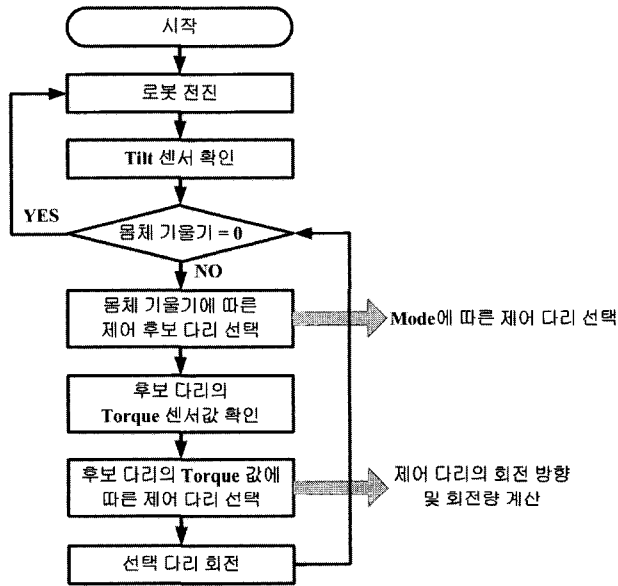


그림 17. 자세 균형 유지 알고리즘 순서도.

Fig. 17. Flow chart of algorithm for maintaining posture balance.

표 8의 제어 모드와 토크 센서로부터 선택된 다리의 위치를 제어하기 위한 수식은 다음과 같다.

전방 다리를 제어 대상으로 선택하는 과정을 포함하고 있다. 이 개념을 바탕으로 로봇의 몸체 기울기에 따라 그림 16과 같이 후보 다리를 선택하기 위한 모드를 결정할 수 있다.

그림 16은 로봇 몸체 허용 기울기  $\pm 1$ 를 기준으로 모드를 구분한 것이다. 모드 0는 다리의 제어가 필요 없는 모드로 평지 주행시의 모드가 된다. 각 모드에서 선택된 제어 후보 다리는 표 8과 같다.

$$\theta_{i+1}^a = \theta_i^a - kS\theta_{pp} \quad (10)$$

$$\left( \theta_i^a = [\theta_i^{a1} \dots \theta_i^{a6}]^T, \theta_{pp} = [\theta_r, \theta_p]^T, S = \begin{bmatrix} S_1^r & S_2^r & \dots & S_6^r \\ S_1^p & S_2^p & \dots & S_6^p \end{bmatrix} \right)$$

(10)의  $\theta_i$ 은 현재 다리의 각도이며,  $\theta_{pp}$ 는 틸트 센서로부터 감지된 로봇의 기울기이다.  $k$ 는 사용자 지정한 이득값이며,  $S$ 는 표 8의 모드와 토크 센서를 이용한 지면 접촉 여부에 따른 제어 대상 다리를 선택해주는 행렬이다. 그림 17은 자세 균형 알고리즘의 순서도로 행렬  $S$ 가 결정되는 과정을 보여 준다.

2.2 능동 현가 알고리즘

능동 현가 알고리즘은 주행 시 빠른 속도로 자세 제어 알고리즘을 반복하여 자세를 유지하는 알고리즘이다. 따라서 센서의 샘플링 타임과 연산 속도의 제한으로 이 알고리즘의 수행이 가능한 로봇의 이동 속도도 제한된다. 틸트 센서의 샘플링 타임 0.1s를 감안했을 때 자세 유지 알고리즘은 초당 10회 정도 수행될 수 있으며, 10회의 반복을 거쳐 자세의 균형이 유지된다는 가정하고 대략 5cm/s 이하의 느린 이동 속도를 갖게 된다. 이런 이유로 이 알고리즘에 대한 성능 향상은 본 연구의 추후 연구로 진행할 것이다.

3. 계단형 장애물 극복 알고리즘

본 연구에서는 야지의 장애물을 극복하는 첫 단계로 계단형 장애물 극복 알고리즘을 제안한다. 계단형 장애물이란 도로에서 인도로의 보도 블록층을 간단히 예로 들 수 있다. 이 보도 블록을 오르내리는 알고리즘을 본 이동 로봇에 도입함으로써 계단형 장애물 극복 알고리즘을 구현하였다.

3.1 다리 경로에 따른 휠 간섭 회피

계단 극복에 있어 먼저 고려되어야 할 사항은 다리를 원하는 위치로 이동시키기 위해 이동 중 각 휠 간의 간섭 여부를 확인하는 것이다. 그림 18은 다리 경로에 따른 휠 간섭 여부를 확인하기 위해 로봇을 기구학적으로 도식화한 그림이다.

그림 18과 표 9로부터 각 휠의 위치를 계산하면 (11)과 같다.

$$\begin{aligned} C_1^w &= (-P + L \sin \theta_1) \hat{x} + (-L \cos \theta_1) \hat{y} \\ C_2^w &= L \sin \theta_2 \hat{x} + (-L \cos \theta_2) \hat{y} \\ C_3^w &= (P + L \sin \theta_3) \hat{x} + (-L \cos \theta_3) \hat{y} \end{aligned} \quad (11)$$

(11)로부터 각 휠의 간섭 회피 조건은 (12)과 같이 구할 수 있다.

$$|C_1^w C_2^w| > 2r, |C_2^w C_3^w| > 2r, |C_3^w C_1^w| > 2r \quad (12)$$

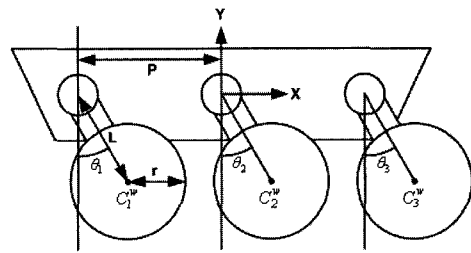


그림 18. 간섭 회피를 위한 다리와 휠의 기구학적 모델링. Fig. 18. Kinematic model of legs and wheels for avoiding interference.

표 9. 그림 18의 파라미터 정의.

Table 9. Definition of parameters in Fig. 18.

변수	정의
$C_{1,2,3}^w$	X-Y의 직교 좌표계에서 각 휠 중심의 위치
$\theta_{1,2,3}$	각 다리가 Y축과 이루는 각도
$r/L$	휠의 반경 / 다리의 길이
$P$	각 다리의 관절 중심 사이의 거리
$\hat{x}, \hat{y}$	$x, y$ 의 단위 벡터

3.2 계단형 장애물 극복 알고리즘

계단형 장애물 극복 알고리즘은 장애물과의 거리 유지 및 다리의 자세 제어를 통해 장애물 극복의 각 단계에 맞는 로봇의 자세를 만들어내는 것을 목표로 한다. 따라서 본 알고리즘을 구현하기 위해 계단형 장애물을 인식할 수 있는 거리 센서와 바퀴가 지면에 닿았는지를 식별하기 위한 토크 센서, 그리고 현재 다리의 회전 각도를 인지할 수 있는 엔코더를 이용하였다. 알고리즘은 장애물의 효율적 극복과 로봇의 안전을 위해 여러 단계로 나누어 구성하였으며, 각 단계 별로 동작을 세분화하였다. 또한 3.1절의 휠 간섭 회피 영역을 고려하여 각 단계에서 다리의 위치를 제어하였으며, 장애물 극복 시 오작동으로 인한 사고를 방지하기 위해 휠의 최대 속도를 40rpm 이하로 제한하였다. 그림 19와 20은 장애물 극복 알고리즘을 구현하기 위해 20cm의 계단형 장애물을 극복하는 과정을 미리 시뮬레이션한 그림이다.

그림 19와 20의 시뮬레이션 과정을 이용하여 계단형 장애물 극복 알고리즘을 구현하였다. 계단형 장애물 오르기 과정 중 그림 19(c)와 같이 중간 다리를 회전시키는 이유는 (g) 단계에서 중간 다리의 회전에 의한 다리 관절부에 삽입된 휠의 전원 및 데이터 케이블의 감김으로 인해 차후에 다시 같은 방향으로 여러 번 감겨 발생할 사고를 미연에 방지하고자 (g) 단계에서의 중간 다리의 회전 방향과 반대 방향으로 미리 감아 놓음으로써 장애물 오르기를 끝마쳤을 때 케이블의 감김 상태를 처음과 같이 유지하기 위함이다. 그리고 그림 19의 (j)와 같은 과정을 수행하는 이유는 구현된 로봇의 무게

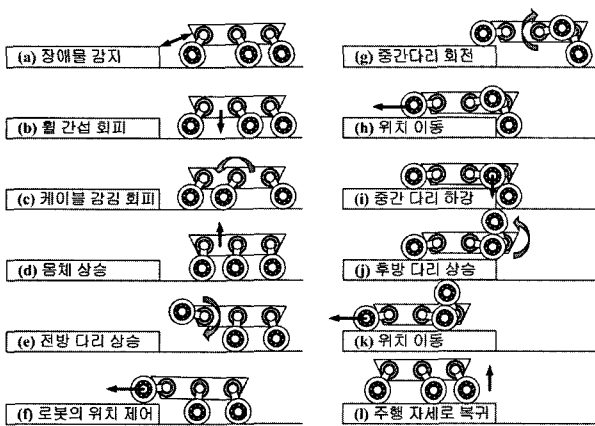


그림 19. 계단형 장애물 오르기 시뮬레이션.

Fig. 19. Simulation of climbing obstacle.

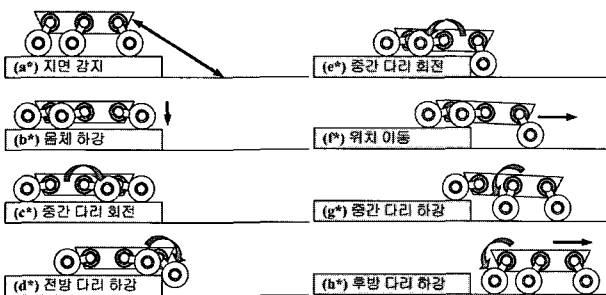


그림 20. 계단형 장애물 내려오기 시뮬레이션.

Fig. 20. Simulation of descending obstacle.

가 뒷부분으로 치우쳐 있어 중간 다리 만으로는 몸체의 중하단부를 상승시킬 수 없기 때문에 몸체가 장애물에 닿아 몸체를 앞으로 전진시킬 수 없다. 때문에 중간 휠에 후방 휠을 접촉하여 중간 다리와 후방 다리의 합력으로 몸체를 상승시킴으로써(j),(k) 몸체와 장애물의 접촉을 피할 수 있으며 이로 인해 다음 단계의 로봇의 이동을 용이하게 할 수 있다.

4. GPS를 이용한 자율주행 알고리즘

본 연구에서 로봇의 절대적인 위치를 알기 위해서 일반 차량용 GPS 수신기를 사용하였다. GPS는 위성의 정보를 받아 매시간 위치계산을 수행함으로 위치 오차가 누적되지 않는다는 장점을 가지고 있는 반면, 위성 신호의 수신 상태에 따라 이용하지 못하는 경우가 생길 수 있다는 단점을 가지고 있다. 또한 S/A나 DOP등의 변화에 의하여 계산되는 로봇의 궤적이 불연속적으로 변한다.

추측항법(Dead Reckoning :DR)[15]은 로봇의 초기위치로부터 현재 로봇의 속도 및 방향각(heading angle)을 센서를 통해서 입력 받아 다음 로봇의 위치를 계산하는 방법이다. t 시각에서의 로봇의 위치와 방향각을 알고 있는 경우 t+Δt 시각에서 로봇의 위치는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\dot{\phi}_{Long} = \frac{180V \sin \theta}{(R+h)\pi} \text{ (deg/sec)} \tag{13}$$

$$\dot{\phi}_{Lat} = \frac{180V \cos \theta}{(R+h)\pi} \text{ (deg/sec)} \tag{14}$$

$$\phi_{Long}(t + \Delta t) = \phi_{Long}(t) + \dot{\phi}_{Long} \Delta t \tag{15}$$

$$\phi_{Lat}(t + \Delta t) = \phi_{Lat}(t) + \dot{\phi}_{Lat} \Delta t \tag{16}$$

표 10. (13)~(16)의 변수 정의.

Table 10. Definition of variables in (13)~(16).

기호	정의
$\dot{\phi}_{Long} / \dot{\phi}_{Lat}$	단위 시간당 경도/위도의 변화율
$\phi_{Long} / \phi_{Lat}$	경도/위도
V	단위 시간 동안의 로봇의 평균 속도
θ	로봇 몸체의 방향각
R	지구 반경
Δt	샘플링 시간 간격

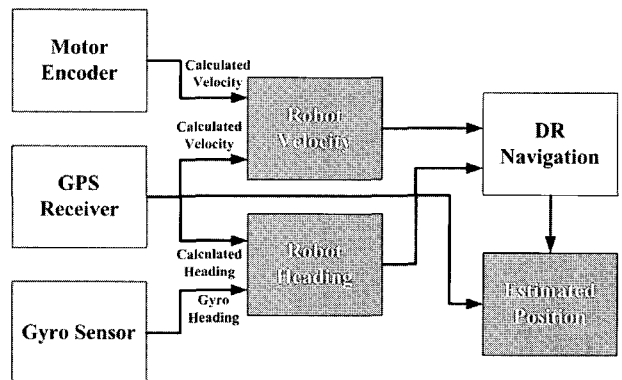


그림 21. GPS/DR 통합 시스템 구성.

Fig. 21. The integrated system construction of GPS/DR.

본 연구에서는 로봇의 휠 모터 드라이버가 제공하는 엔코더 데이터와 로봇 중심에 부착된 자이로 센서 데이터를 바탕으로 추측항법을 구현하였다. (13), (14)와 같이 추측 항법은 단위 시간 동안 로봇의 진행 궤적을 직선으로 가정하여 경도, 위도를 계산하고 그 위치 정보를 이전 시간까지의 위치 정보에 누적시켜 현재의 위치를 추정하므로 시간이 경과함에 따라 위치 오차가 누적된다는 단점을 갖는다. 그러나, 외부 환경의 영향을 거의 받지 않으며, GPS에 비하여 추정된 위치 정보가 연속적으로 변하는 경향을 갖는다. 따라서 GPS와 추측항법과 같은 서로 다른 특성을 지닌 두 종류의 시스템은 로봇의 위치를 추정하는데 있어서 상호보완적인 역할을 수행할 수 있다.

**VII. 실험**

**1. 자세 균형 유지 알고리즘 수행 결과**

장애물을 그림 22(a)와 같이 설치하고 VI장의 2절에서 소개한 자세 균형 유지 알고리즘을 수행한 결과 (b)와 같이 자세 균형을 잡는 모습을 볼 수 있다. 그림 23은 알고리즘 반복 횟수에 따른 틸트 센서값을 나타낸 결과로 오차 범위  $\pm 1^\circ$ 로 하여 실험한 결과이다. 이 결과로부터 초기 로봇 몸체를 6°정도 기울게 하는 16cm 높이의 장애물에 대해, 알고리즘의 반복 횟수가 늘어남에 따라 몸체의 기울기가 오차 범위  $\pm 1^\circ$ 내로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 여기서 기울기가 0°로 수렴하지 않고 1°와 0° 사이를 오르락내리락 하는 것은 최소 감지 단위가 1°인 틸트 센서를 이용하였기 때문에 발생한 결과로 판단된다.

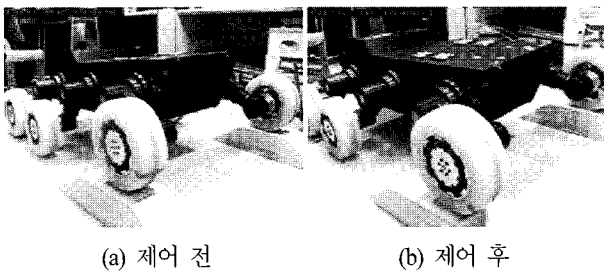


그림 22. 자세 균형 유지 알고리즘 실험.  
Fig. 22. Test of algorithm for maintaining posture stabilization.

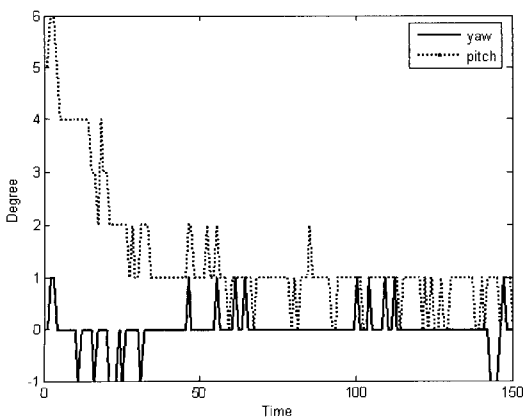


그림 23. 알고리즘 수행 결과(틸트 센서값).  
Fig. 23. Result of the algorithm test(values of title sensor).

**2. 알고리즘 통합 실험**

그림 24는 VI장에서 소개한 GPS를 이용한 자율 주행 알고리즘을 기반으로 주행 및 방향 전환, 계단형 장애물 극복 알고리즘의 수행 실험을 하기 위해 구성된 환경을 보여주는 그림이다. GPS를 이용한 자율 주행 알고리즘과 주행 및 조향 알고리즘을 테스트 하기 위해 출발 위치 및 목표 위치와 로봇이 거쳐야 하는 지점을 설정하였고, 계단형 장애물 극복 알고리즘을 테스트하기 위한 실험 경로 중간에 장애물을 위치 시켰다.

그림 25는 24와 같이 계획된 실험 경로를 이용하여 계단형 장애물 극복에 대한 실험을 한 결과이다. 로봇이 출발하여 접하게 된 장애물을 VI장 3절에서 소개한 그림 19, 20의 시물

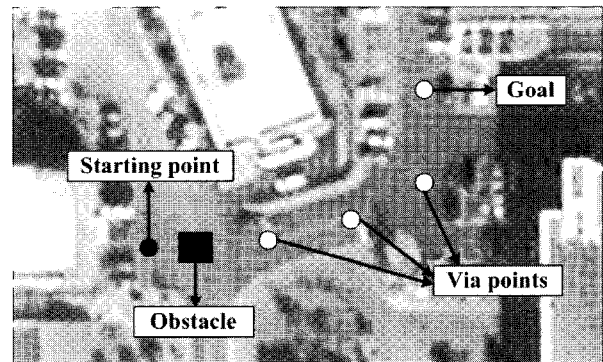


그림 24. 자율 주행 실험을 위한 경로.  
Fig. 24. Path for autonomous traveling test.

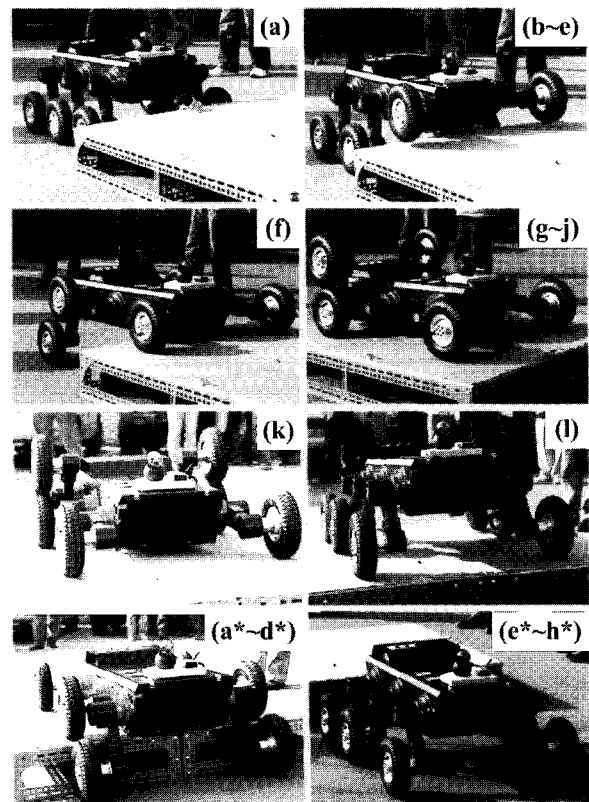


그림 25. 장애물 극복 실험.  
Fig. 25. Test for overcoming obstacle.

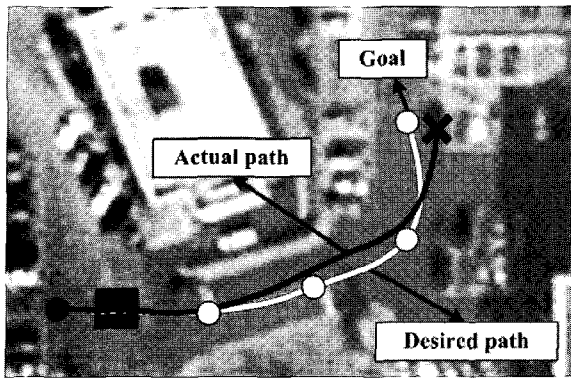


그림 26. 자율 주행 실험 결과.

Fig. 26. Experiment result of autonomous traveling.

레이션과 거의 동일한 움직임으로 극복하는 과정을 보여주는 이 사진은 본 연구에서 제안한 계단형 장애물 극복 알고리즘의 타당성을 입증해 준다.

그림 26은 GPS를 이용하여 로봇의 자율 주행을 실험한 결과를 나타내는 그림이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 실제 로봇이 이동한 경로는 계획된 통과 지점을 벗어나고 있음을 알 수 있다. 그러나 목표 위치로의 이동은 어느 정도 추종하고 있음을 알 수 있다. 이렇게 통과 지점을 정확히 지나가지 않는 이유는 최대 1.5m의 오차를 가지는 GPS를 사용함으로써 발생된 결과라 사료된다.

### VIII. 결론

본 논문에서는 야외에서의 안정적인 주행 및 장애물 극복이 용이한 이동 로봇을 제안하였다. 제안하는 로봇의 기구부는 로봇 몸체에 6개의 1축 다리를 장착하고, 각 다리의 끝에 주행을 위한 휠이 연결하여 계단 형태의 장애물이나 작은 바위 등을 넘어갈 수 있도록 설계되었다. 또한 다리에 슬라이드 스프링 구조를 적용함으로써 야외에서의 진동을 효과적으로 흡수하기 위한 현가장치를 구현하였다. 더불어 각종 센서를 삽입함으로써 장애물을 감지하고 능동적으로 진동 흡수 및 자세를 유지할 수 있는 기반 시스템 및 제어시스템을 구축함으로써 하드웨어와 관련된 모든 시스템을 구현하였다. 이렇게 구현된 이동 로봇을 효율적으로 제어하기 위하여 로봇 제어 시스템 및 원격 제어 시스템을 구현하였으며, 야외에서의 자율 주행을 위한 로봇 구동 알고리즘, 즉 주행 및 조향, 자세 균형 유지 및 장애물 극복, GPS를 이용한 자율 주행 알고리즘에 대해 제안하고 이에 대한 타당성을 실험을 통하여 입증하였다.

차후에는 야외에서 접하게 되는 장애물을 극복할 수 있는 알고리즘과 성능이 향상된 능동 현가 알고리즘, 그리고 보다 정확한 자기 위치 인식을 통해 효과적인 자율 주행이 가능한 알고리즘을 개발하여 인공 지형이 아닌 야외에서 로봇의 효율성을 검증하는 연구가 필요하다.

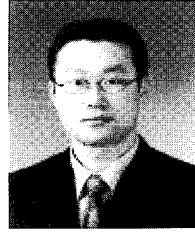
### 참고문헌

- [1] G. Gerhart, R. Goetz, and D. Gorsich, "Intelligent mobility for robotic vehicles in the army after next." *Proceedings of the SPIE Conference on Unmanned Ground Vehicle Technology*, 1999.
- [2] Z. Dehuai, X. Cunxi, and L. Xuemei, "Design and implementation of a security and patrol robot system," *Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference*, vol. 4, pp 1745-1749, Aug. 2005.
- [3] K. L. Moore and N. S Flann, "A six-wheeled omnidirectional autonomous mobile robot," *Control Systems Magazine, IEEE* pp. 53-66, Dec. 2000.
- [4] R. Jarvis, "An articulated six wheel drive robot for very rough terrain navigation," *Australasian Conference on Robotics and Automation*, pp. 113-138, Nov. 2002.
- [5] K. Tani and N. Shirai, "Active suspension four-wheel model for a terrain robot," *IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and System*, pp. 408-413, Sep. 1989.
- [6] E. Esmailzadeh and H. Bateni, "Active vehicle suspension with adaptive preview control," *Proc. of the International Symposium on Robotics and Manufacturing*, Santa Fe, New Mexico, USA, November 1992.
- [7] K. Iagnemma, A. Rzepniewski, and S. Dubowsky, "Control of robotic vehicles with actively articulated suspensions," *Autonomous Robots*, pp. 5-16, 2003.
- [8] P. Lamon and R. Siegwart, "Wheel torque control in rough terrain-modeling and simulation," *International Conference on Robotics and Automation, Barcelona*, pp. 879-884, April 2005.
- [9] Y.Uchida and S. Hirose, "Step-climbing motion of 6 wheeled off-road vehicle HELIOS-V," *Proceedings of 18th Annual Conference of RSJ*, vol. 3, pp. 1157-1158, 2000.
- [10] E. Koyanagi and S. Yuta, "Wheel type mobile robot which travels over a step" Third report; *Process for Climb up/down step, Proceedings of 18th Annual Conference of RSJ*, vol. 3, pp. 1145-1146, 2000.
- [11] M. S. Lim, J. H. Lim, and S. R. Oh, "High-speed wall following and obstacle avoidance of wheeled mobile robots using hybrid behavior specifications," *Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation Banff, Alberta, Canada*, pp. 143-148, July 2001.
- [12] J. E. Shigley, C. R. Mischke, and R. G. Budynas, *Mechanical Engineering Design*, McGraw Hill, 2003.
- [13] K. Kozłowski and D. Pazderski, "Modeling and control of a 4-wheel skid-steering mobile robot," *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 4, pp. 477-496, 2004.
- [14] N. Hogan, "Impedance control: An approach to manipulator, part i, ii, iii," *ASME Journal of Dynamics Systems, Measurements, and Control*, vol. 3, pp. 1-24, 1985.
- [15] 김진원, 지규인, 이장규, 이영재, "GPS와 Dead-Reckoning을 이용한 항법시스템 설계," *제어 · 자동화 · 시스템공학 논문지*, vol. 2, no. 3, pp. 188-193, September 1996.



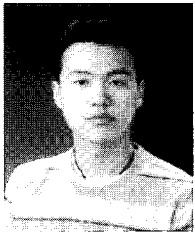
**이지홍**

1960년 4월 21일 출생. 1983년 서울대 전자공학과 졸업. 1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사. 1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사. 1983년~1988년 현대중공업 로봇사업부 연구원. 1991년 한국과학기술원 연수연구원. 1994년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 교수. 관심분야는 로봇틱스, 지능제어, 전자파 차폐, 컴퓨터 기반 신호처리 시스템.



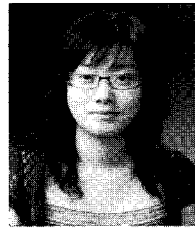
**심형원**

1978년 1월 25일 출생. 2003년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업. 2005년 동 대학원 석사. 2005년~현재 동대학원 박사과정. 관심분야는 로봇틱스, 지능제어, 컴퓨터 네트워크, DSP를 이용한 실시간 제어 시스템.



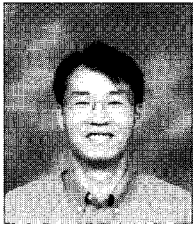
**조경환**

1979년 12월 5일 출생. 2006년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업. 2006년~현재 동대학원 석사과정. 관심분야는 로봇틱스, 지능제어, 컴퓨터 네트워크, DSP를 이용한 실시간 제어 시스템.



**홍지미**

1978년 2월 23일 출생. 2002년 충남대 메카트로닉스공학과 졸업. 2001년~2004년 자이로소프트(주) 근무. 2004년~2005년 KIST 영상미디어센터 근무. 2006년~현재 충남대 메카트로닉스공학과 석사과정. 관심분야는 로봇틱스, HCI (Human-Computer Interaction), HRI (Human-Robot Interaction)



**김중배**

1964년 11월 6일 출생. 1986년 고려대 산업공학과 졸업. 1988년 한국과학기술원 산업공학과 석사. 1988년~1991년 대한항공 시스템부 DBA. 1991년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원. 관심분야는 네트워크 기반의 로봇시스템, 지능형 실시간 시스템.



**김성훈**

1970년 2월 27일 출생. 1995년 광운대 전자공학과 졸업. 1997년 광운대학교 전자공학과 석사. 2005년~현재 한양대학교 박사과정. 1996년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 관심분야는 로봇틱스, 지능제어, 인공지능, 로봇S/W아키텍처.