

가변트랙형 주행로봇의 장애물 탐지와 주행모드제어

최근하*, 정해관**, 현경학** 곽윤근#

Obstacle Detection and Driving Mode Control for a Mobile Robot with Variable Single-tracked Mechanism

Keun Ha Choi*, Hae Kwan Jeong**, Kyung Hak Hyun** and Yoon Keun Kwak#

ABSTRACT

In this paper, we propose a new driving mode control algorithm for a mobile robot based on obstacle detection. The robot has a variable geometry single-tracked mechanism, so it can maximize a contact length with ground for the adaptability to off-road and pursue a stable system due to the lower center of gravity. However this robot system embodied passive type according to operator. In this reason, several problems are detected. So, this research presents a new method of obstacle detection using PSD infrared sensors and translates the variable tracks on the best suited driving mode actively. And experimental results about mentioned are presented.

Key Words : Mobile Robot (주행로봇), Obstacle Detection (장애물 탐지), Attack Angle (접근각), Driving Mode Control (주행모드제어)

기호설명

θ = attack angle of variable track

h_i, γ_i = detected obstacle height and angle from
PSD infrared sensors

ϕ = thresholds for driving mode decision

α = angular deviation of two PSD sensors

1. 서론

최근 개발되고 있는 주행로봇(Mobile Robot)의 메커니즘은 기본적으로 바퀴형(Wheeled Type), 궤

도형(Tracked Type) 그리고 보행형(Legged Type)으로 나뉘고 이들의 장점을 살린 복합 형태의 메커니즘으로 개발되고 있다. 개발되는 많은 주행 로봇들이 이동기구로 바퀴를 이용하고 있지만 이러한 차륜주행로봇은 탄탄한 평면의 운동에 있어서는 무한 궤도형이나 보행형 같은 다른 이동 기구에 비해 주행 성능 및 에너지 효율 등에서 훨씬 우수하다는 특징을 지니지만 험로 극복에서는 타 구조에 비해 부적합한 구조를 지니고 있다. 그리고 보행형 로봇의 경우 지형에 대한 적응성은 향상 시킬 수 있지만, 험난한 지형에 대한 안정성이 떨어지고, 제어가 매우 복잡하며 에너지 효율이 매우 낮다는 단점을

접수일: 2007년 2월 14일; 게재승인일: 2007년 11월 22일

* 한국과학기술원 기계항공시스템학부 기계공학전공 석사과정

** 한국과학기술원 기계항공시스템학부 기계공학전공 박사과정

교신저자: 한국과학기술원 기계항공시스템학부 교수

E-mail: ykkwak@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3212

지닌다. 따라서 평지 주행 속도 및 에너지 효율이 낮고 소음이 크다는 단점에도 불구하고 안정적인 험로 극복을 위해서는 무한궤도형 메커니즘이 가장 적합하다고 볼 수 있다. 특히 최근에는 무한궤도형 메커니즘의 지형 적응성을 극대화하기 위하여 트랙의 형상이 가변되는 구조에 대한 관심이 높아지고 있다.

하지만 이런 가변형 트랙(Variable Track)이 가지는 문제점은 장애물 극복시 트랙의 변형이 링크에 의한 수동형 변형을 하고 있으며 능동 변형의 경우 운용자에 의하여 로봇에 설치된 영상을 보고 직접 트랙을 변형한다는데 있다. 이는 동시에 많은 임무를 수행하는 로봇 운용자에게 많은 운용부담을 주게 된다. 또한 수동 변형의 경우 로봇이 장애물을 극복하기 위하여 트랙을 변형해야 하는 경우 로봇의 구동력이 장애물에 접하고 있는 트랙을 밀어 올려 링크구조로 되어있는 트랙이 변형될 수 있을 정도로 충분한 구동력을 갖추어야 한다. 하지만 이런 구동력은 장애물로 진입하는 로봇의 위치에 큰 영향을 받으며 로봇의 구동력에는 한계가 있기 때문에 변형에 실패하여 장애물을 극복하지 못하게 될 가능성이 높다.

따라서 본 논문에서는 트랙의 형상이 가변되는 구조를 지닌 가변형 단일 트랙 메커니즘의 주행로봇이 장애물을 탐지하고 탐지된 장애물 정보를 가지고 로봇이 스스로 자율 트랙변형을 통하여 장애물 극복 성능을 향상시키는 것을 그 목적으로 하였다.

2. 시스템 개요

2.1 가변형 단일트랙의 주행로봇 (VSTR)

Fig. 1은 가변형 단일트랙 메커니즘(Variable Single-Tracked Mechanism)을 가진 주행로봇의 실제 제작된 형상을 보여준다. Table 1은 이 로봇의 형상 제원을 보여준다. 가변 트랙형 로봇은 Fig. 1과 같이 야의 주행성능이 우수한 트랙형상의 구동 로봇이며 두 개의 단일 트랙과 8개의 구동바퀴로 구성 되어있다. 그리고 지형의 적응성 향상을 위하여 Fig. 2와 같이 트랙 형상을 변형 시킬 수 있다. 즉 트랙의 접근각 (Attack Angle, θ)을 DC모터를 통해 변형시킴으로써 장애물과의 접촉점을 높이고 이를 통해 장애물 극복 능력을 향상시킬 수 있는 구동 메커니즘을 지니고 있다.

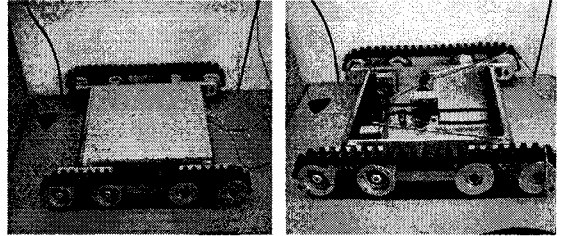
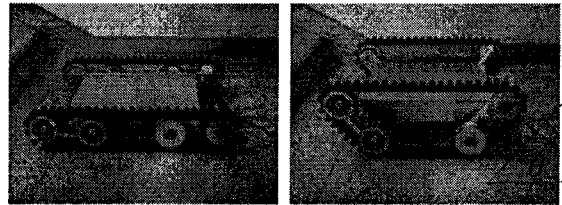


Fig. 1 Mobile robot with variable geometry single-track mechanism (VSTR)



(a) Mode 1 (b) Mode 2

Fig. 2 Variation of variable track

로봇의 내부는 구동축과 변형축의 이중축 구조로 되어있으며 DC모터 2개에 의하여 구동축이 동작하여 양쪽 두 개의 트랙을 구동시키며 변형축은 1개의 DC모터에 의하여 트랙의 변형을 Fig. 2와 같이 동기화 하여 변형시킨다.

2.2 로봇의 접근각과 등반효과

가변형상 트랙 메커니즘의 주행로봇이 가지는 장점 중 하나는 Fig. 2처럼 접근각의 변화를 통하여 로봇의 트랙과 장애물의 접촉점을 높여서 장애물극복 능력을 향상시킬 수 있다는 것이다. 가변트랙이 만드는 접근각은 로봇의 등반효과에 큰 영향을 미치게 된다. 접근각이 커질수록 로봇의 장애물 등반

Table 1 Specification of VSTR

| | specification |
|------------------------|-------------------------------|
| Body size | 550(L) x 400(W) x 90(H) [mm] |
| Total size | 800(L) x 560(W) x 150(H) [mm] |
| Mass | 34 kg |
| Motor for driving | 90W x 2 (43:1 gear ratio) |
| Motor for Transmission | 150W (353:1 gear ratio) |
| Materials | Body : Al, Track : Rubber |

효과는 증가되나 반면 로봇의 장애물 등반간 자세 안정성은 떨어지게 된다.¹ 따라서 정확한 접근각의 제어가 요구되며 이는 로봇의 등반효과와 자세안정성에 중요한 요소가 된다.

3. 장애물 탐지(Obstacle Detection)

3.1 장애물의 높이와 각 측정

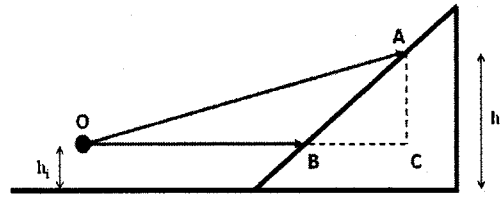
장애물의 높이와 각은 로봇의 장애물 극복 유무를 결정하는 중요한 요소가 되며 따라서 정확한 장애물의 높이와 각 정보를 얻는 것이 필요하다. 현재 장애물을 탐지하기 위하여 사용되는 laser rangefinder, CCD camera 그리고 stereo camera 등은 정확한 장애물 정보를 얻을 수 있는 반면에 매우 고가이며 많은 계산시간과 복잡한 시스템을 동반한다는 단점을 지니고 있다. 이는 로봇의 복잡성을 증가시키고 가격의 증가를 초래하게 된다. 따라서 본 연구에서는 장애물의 각과 높이를 측정하기 위하여 Fig.3 과 같이 2개의 PSD(Position sensitive device) 적외선 센서를 이용하여 수평방향의 거리와 윗방향(α) 장애물까지의 거리를 센서로부터 탐지하여 가하학적 관계에 의하여 식 (1), (2)와 같이 장애물의 각과 높이를 계산하였다.

$$h = h_i + d_h \sin \alpha \quad (1)$$

$$\gamma_i = \tan^{-1} \left\{ \frac{d_h \sin(\alpha)}{d_h \cos(\alpha) - d_m} \right\} \quad (2)$$

장애물 탐지에 사용되는 PSD 적외선 센서는 광삼각법을 응용한 거리탐지 센서로 적외선 LED로 조사된 빛이 장애물에 반사되어 나오면 반사된 빛이 렌즈를 통하여 PSD 디바이스에 탐지되는 위치에 따라 장애물까지의 거리를 측정하는 센서이다. PSD 센서의 탐지거리는 0~2m 이며 근거리에서 높은 정확도와 대상 물체의 색이나 온도(-10 ~ +60 °C) 변화 등 환경적 영향을 덜 받는 장점을 지니며 다른 비전센서에 비하여 매우 저가의 센서라는 장점을 지니고 있다.

이렇게 장애물 정보를 저가의 간단한 시스템으로 획득하는 것은 많은 부수 장치와 센서를 장착해야 하는 주행로봇에게 부여되는 많은 운용부담을 줄여줄 수 있게 된다.



$$\alpha = \angle AOB = \angle AOC, \quad \gamma = \angle ABC$$

$$d_h = \overline{OA}, \quad d_i = \overline{OB}$$

Fig. 3 Estimation of the obstacle height and angle

3.2 장애물의 탐지와 로봇의 주행모드 결정

가변 트랙형 메커니즘의 구조로봇이 가지는 장점 중 하나는 가변 트랙의 변형을 통하여 접근각을 증가시켜 최초 장애물 극복단계에서 장애물 극복 성능을 향상시킬 수 있으며 등반 중에는 다시 접근각을 감소시켜 등반간 로봇의 자세 안정성을 향상시킬 수 있다는 것이다. 따라서 장애물 극복 능력을 최대화하고 자세 안정성을 유지 할 수 있도록 주행모드를 정의하는 작업이 필요하다. 본 연구에서는 Fig.2와 같이 2가지로 주행모드를 결정하였다. Mode 1은 낮은 차체고를 이용하여 낮은 통로, 하수구 등을 주행할 수 있는 기능을 가지며 장애물 등반 시에는 낮은 무게중심으로 전복 위험성을 감소시켜 로봇의 안정성을 향상시킬 수 있는 모드이다. 다음으로 Mode 2는 가변 트랙에 접근각(θ)을 통하여 장애물 극복 능력을 높일 수 있는 주행모드이다. 그리고 모드1과 2로 극복이 불가능한 경우에는 장애물을 회피하거나 응급정지를 하게 된다.

로봇의 주행모드 결정은 PSD 센서를 통해 측정된 장애물의 높이와 각 정보에 의해 결정되게 된다. 실제로 제작된 로봇의 형상 정보를 통해 로봇이 각 모드에서 극복할 수 있는 장애물의 높이와 각을 추정할 수 있으며 이 값들은 모드결정을 위한 문턱값(Thresholds)이 된다. 따라서 이를 통하여 장애물 극복을 위한 적절한 모드를 구분할 수 있게 된다. 실제 제작된 VSTR의 형상정보와 동역학 해석을 통하여 얻어진 높이에 따른 문턱값(ϕ_{h1}, ϕ_{h2})은 모드 1일 경우 0.075m, 모드 2의 경우 0.21m가 되며 각의 문턱값(ϕ_a)은 39°로 계산되었다.²

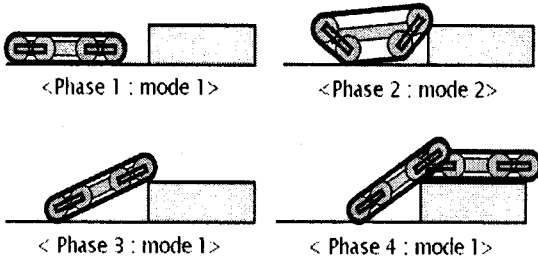


Fig. 4 Four phases for overcoming obstacles

4. 주행모드제어(Driving Mode Control)

4.1 제어 알고리즘

주행모드제어를 위한 제어 흐름은 Fig. 5의 흐름도에서 볼 수 있듯이 2개의 PSD 센서로부터 탐지된 장애물까지의 거리정보를 이용하여 장애물의 높이와 각을 계산하고 계산된 장애물 정보를 실시간으로 주행모드의 결정과정을 통하여 장애물에 따른 적절한 주행모드를 결정하게 된다. 장애물과 주행모드의 관계는 실시간 계산된 장애물의 높이, 각 정보와 앞 절에서 제시된 문턱값과의 비교를 통해 결정되며 다음과 같다.

- I. Mode 1 : $h_i \leq \phi_{h1}$ and $\gamma_i \leq \phi_a$
 $h_i > \phi_{h1}$ and $\gamma_i \leq \phi_a$
- II. Mode 2 : $\phi_{h1} < h_i \leq \phi_{h2}$ and $\gamma_i > \phi_a$
- III. 극복불가(회피) : $h_i > \phi_{h2}$ and $\gamma_i > \phi_a$

주행모드가 1이 되는 경우는 로봇이 모드1로 극복 가능한 장애물의 높이와 각일 경우이며 또한 장애물의 높이와 상관없이 장애물의 경사각이 모드1로 극복 할 수 있을 정도로 낮은 경사각일 경우이다. 그리고 주행모드가 2가 되는 경우는 모드1로 극복 불가능한 높이와 각을 지닌 장애물을 접했을 경우가 된다. 마지막으로 극복불가(회피)의 경우는 제작된 로봇의 메커니즘으로는 극복이 불가능한 경우로 응급정지 또는 회피를 하게 되는 경우이다.

4.2 접근각의 제어

접근각의 제어는 로봇이 모드1에서 모드2로의 변형을 실시할 때 주어진 모드에 맞는 접근각을 정확히 만들기 위한 것이다. 이를 위하여 로봇시스템의 구성은 Fig.6에서 보는 바와 같이 로봇 구동을

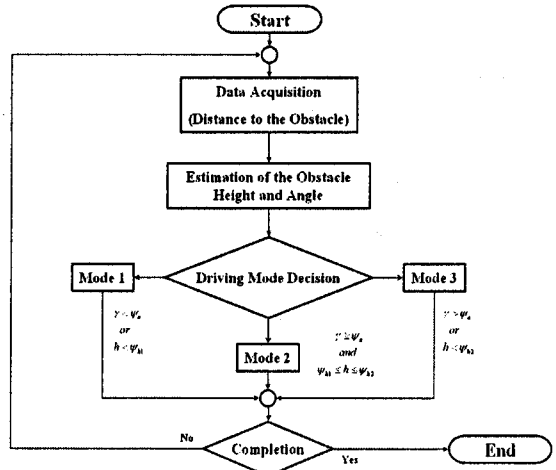


Fig. 5 The flow of variable track control

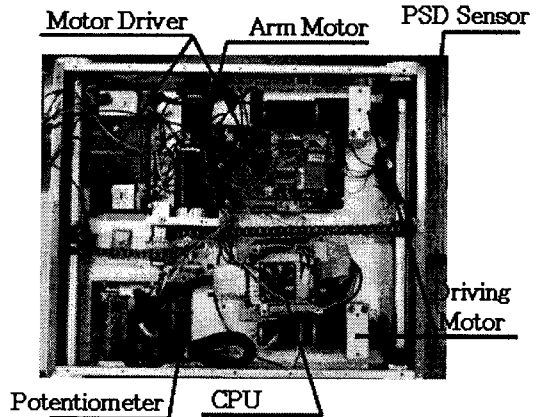


Fig. 6 The Schematic diagram of VSTR

위해서 2개의 DC모터(구동모터)와 로봇의 접근각을 생성하는 1개의 DC모터(암모터)를 사용하였으며 접근각 제어를 위하여 CPU와 DAQ Card, 모터 드라이버를 설치하였다. 그리고 실시간으로 생성되는 접근각을 측정할 수 있도록 암모터에 가변저항기(Potentiometer)를 설치하였다.

접근각의 제어는 PSD 센서로부터 장애물이 탐지되고 이에 맞는 모드가 결정되면 모드에 따른 정해진 접근각(mode1 : 0°, mode2: 45°)이 입력값(θ_{ref})이 되며 가변저항기로부터 현재 상태의 접근각(θ_{po})이 피드백 되어 PI제어를 통하여 모드에 적합한 접근각을 만들게 된다.

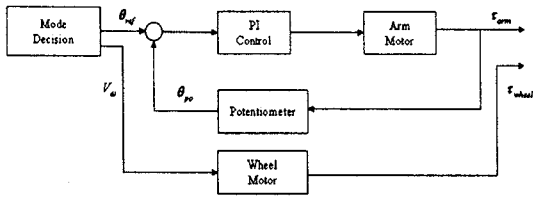


Fig. 7 Block diagram for attack angle control

5. 실험결과

5.1 장애물 탐지 실험결과

장애물 탐지 실험을 위하여 최대 탐지거리가 0.8m인 2개의 PSD 적외선 센서(Sharp GP2D12)를 사용하였으며 2개의 센서를 높이(h_0)는 0.075m 그리고 서로 14° (α)의 각을 가지도록 설치하였다. 적외선 센서의 고주파 영역의 노이즈 제거를 위하여 저주파 통과 필터(Low Pass Filter)를 사용하였다. Fig.9는 높이가 20cm 이고 단(Tread)이 15cm 인 계단모형의 장애물 각과 높이를 측정한 결과이며 Fig.10은 높이가 20cm이고 20° 의 경사를 가지는 경사지 모형의 장애물 각과 높이를 측정한 실험결과를 보여준다. 로봇이 장애물에 접근함에 따라 장애물의 높이와 각이 측정되었으며 실험결과 약 $\pm 1\text{cm}$, $\pm 1^\circ$ 내외의 오차를 가지며 비교적 정확히 측정되는 것을 확인할 수 있었다. 탐지할 수 있는 최대 높이는 2개의 센서사이의 설치각(α)과 설치높이(h_0) 따라 조정이 가능하다.

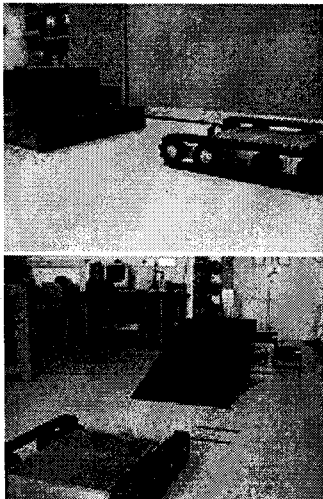
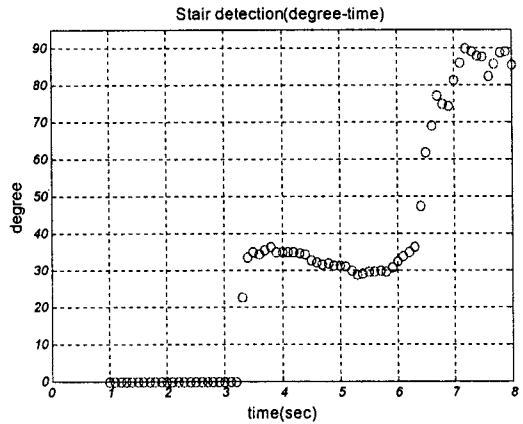
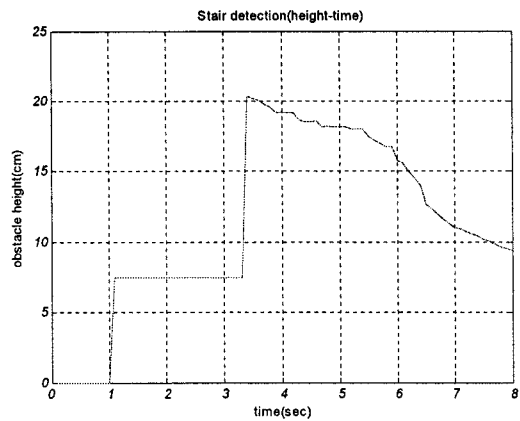


Fig. 8 Obstacle detection experiments

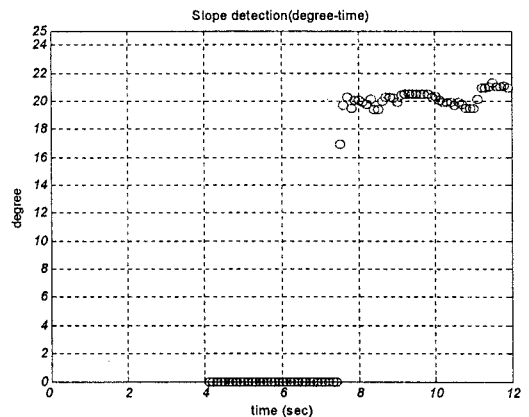


(a) Obstacle angle

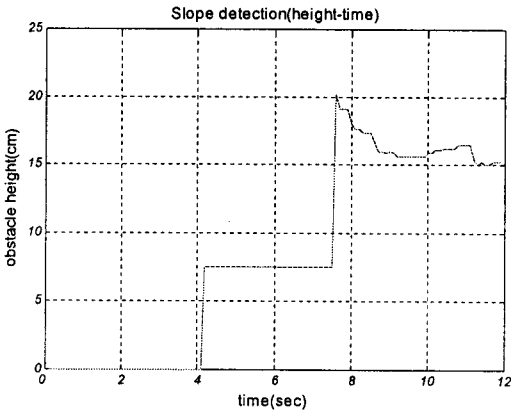


(b) Obstacle height

Fig. 9 Obstacle detection results of stair



(a) Obstacle angle



(b) Obstacle height

Fig. 10 Obstacle detection results of slope

5.2 주행모드제어 실험결과

앞서 제안된 주행모드제어 시스템을 적용하여 성능을 평가하는 실험을 Fig. 11과 같이 실시하였다. Fig.12는 장애물을 접근시켰을 때 모드 변화에 따라 접근각이 생성되어지는 과정을 나타낸다. 그 그래프에서 볼 수 있듯이 장애물이 접근시 장애물의 높이와 각이 PSD센서를 통하여 측정되어 주행모드가 모드1에서 모드2로 변형되게 된 시점에 가변저항기의 전압값이 점점 증가하여 45°를 나타내는 전압값(1.6V)이 되었으며 이 값이 일정하게 유지된 후 장애물이 사라지게 되면 다시 원래의 모드1의 접근각(0°)으로 변형되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 로봇이 장애물을 탐지하고 실시간 탐지된 장애물의 높이와 각 그리고 문턱값 사이의 실시간 처리를 통해 모드결정과정에서 모드 1, 모드 2, 모드 1이 차례로 선택되어져 접근각 제어를 통해 각 모드에 적합한 접근각을 생성하였음을 의미한다.

6. 결론

본 연구에서는 가변 트랙형의 메커니즘을 지닌 주행로봇이 임무 수행시 자율적으로 장애물을 탐지하고 탐지된 정보를 가지고 장애물에 적합한 주행모드를 결정하도록 하여 로봇의 장애물 극복 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다.

이를 위해 장애물을 탐지하기 위하여 PSD 거리 탐지 센서를 사용하여 장애물의 높이정보와 각 정보를 측정하였다. PSD 센서는 다른 비전 센서에 비하여 가격이 매우 저렴하고 적은 크기와 전력 소비

등의 장점을 지닌다. 이는 소형의 주행로봇이 인명 구조 작업을 위하여 많은 센서와 부수장비를 장착해야 하는 면을 고려했을 때 PSD 센서를 통한 장애물의 탐지는 매우 유용할 것으로 생각된다. 그리고 로봇의 장애물 극복간 등반효과와 로봇의 자세 안정성 확보를 위하여 로봇의 주행모드 결정과정을 제시하였다. 또한 가변저항기와 간단한 PI제어를 이용하여 정확한 접근각 제어 방법을 제시하였다. 실험결과에서도 볼 수 있듯이 정확하게 장애물의 거리, 높이, 각을 측정할 수 있었고 이를 바탕으로 장애물에 따라 로봇의 주행모드가 정확성 있게 변화함을 확인할 수 있었다.

향후에는 제작된 제어시스템의 성능향상을 통하여 다양한 장애물 형태에 따라 적절한 주행모드의 결정될 수 있도록 하여 좀 더 다양한 지형에서 운용 가능하도록 시스템이 고안되어야 할 것이다.

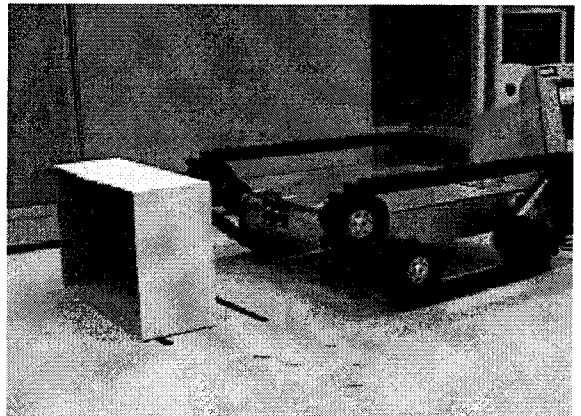
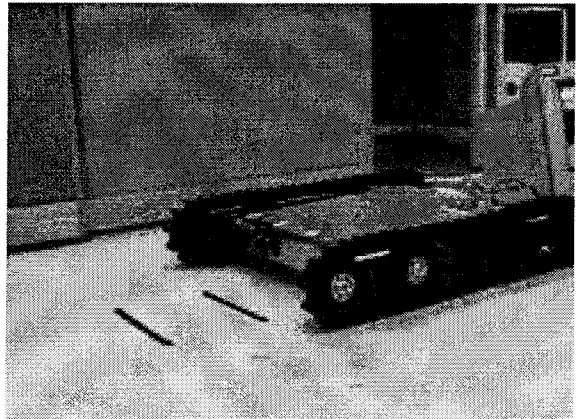


Fig. 11 Variable track control experiments

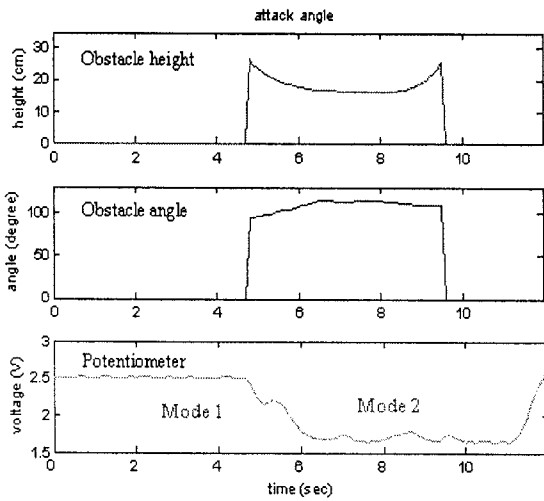


Fig. 12 Variable track control results in real obstacle (model: potentiometer voltage: 2.5, mode2: potentiometer voltage: 1.6)

후 기

이 논문은 2007년도 2단계 두뇌한국(BK)21사업에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. Choi, K. H., Jeong, H. K., Choi, J. H., Choi, H. D. and Kwak, Y. K., "Obstacle Detection and Overcoming for Mobile Robot with Variable Geometry Single-tracked Mechanism," KIMST, pp. 1017-1020, 2006.
2. Choi, K. H., Jeong, H. K. and Kwak, Y. K., "Obstacle Detection and Driving Mode Decision for a Rescue Robot using a PSD Sensor," Proceedings of the KSME Fall Annual Meeting, pp. 680-685, 2006.
3. Lim, S. K., Park, D. I., Kim, B. S., Jeon, S. W. and Kwak, Y. K., "Variable Geometry Single-Track Mechanism for a Rescue Robot," Proceedings of the IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics, pp. 111-115, 2005.
4. Park, D. I., "Design and Analysis of Variable Geometry Single-Track Mechanism for Climbing

- Stairs," Ph.D. Thesis, KAIST, pp. 23-45, 2005.
5. Lee, C. H. and Kwak, Y. K., "Double-track Mobile Robot For Hazardous Environment Applications," Advanced Robotics, Vol. 17, No. 5, pp. 447-459, 2003.
6. Xiong, Y. and Matties, L., "Vision-Guided Autonomous Stairs Climbing," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 1842-1847, 2001.
7. Hagen, S. and Mutschler, E., "Pandora: Autonomous Urban Robotic Reconnaissance System," IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation(ICRA '99), Vol. 3, pp. 2315-2321, 1999.
8. Martens, J. D. and Newman, W. S., "Stabilization of a Mobile robot Climbing Stairs," Proceeding of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 3, pp. 2501-2507, 1994.
9. Thierry, P., "A Probabilistic Framework to Monitor a Multi-Mode Outdoor Robot," ICIRS, pp. 2103-2108, 2005.
10. Roland, S., "Introduction to Autonomous Mobile Robots," The MIT Press, pp. 89-117, 2004.
11. Manduchi, R., "Obstacle Detection and Terrain Classification for Autonomous Off-Road Navigation," Autonomous Robots 18, pp. 81-102, 2005.