

# 지뢰탐지를 위한 궤도로봇의 설계와 가능성 연구

## Design and Feasibility Study of a Tracked Robot for Landmine Detection

이상호<sup>1</sup>, 한창수<sup>2,✉</sup>

Sang Ho Lee<sup>1</sup> and Chang Soo Han<sup>2,✉</sup>

<sup>1</sup> 한양대학교 메카트로닉스공학과 (Department of Mechatronics Engineering, Hanyang Univ.)

<sup>2</sup> 한양대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Hanyang Univ.)

✉ Corresponding author: cshan@hanyang.ac.kr, Tel: 031-400-5247

Manuscript received: 2008.9.2 / Revised: 2008.10.27,11.25 / Accepted: 2008.11.29

*Millions of landmines still have been buried in various countries around the world. Unfortunately, landmines make the correct detection of humanitarian organizations very difficult. For this purpose, new technologies such as improved sensors, efficient manipulators and mobile robots are needed. Our effort is to develop a small mobile robot for landmine detection. The mobile robot consists of sensor module, GPS, RF communications equipment, IR camera, motors, and controllers, etc. This paper describes the current configuration of development in landmine detecting tracked robot. Specifically we are concerned with the sensor module of the mobile robot. Our results show that graphs have measured a small metal instead of a real landmine because of the big danger of students experiments on detection with real landmines.*

Key Words: Detection (탐지), Landmine (지뢰), Metal (금속), Tracked Robot (무한궤도 로봇)

### 기호설명

$\varepsilon$  = electromotive force

$B$  = magnetic flux

$i$  = current

$s$  = moving distance of robot

$t$  = moving time of robot

$\theta$  = directional angle of magnetic flux

### 1. 서론

캄보디아(Cambodia)에는 4~6 백만 개의 지뢰가, 베트남(Vietnam)에는 30 만개의 지뢰가 묻혀 있는 것으로 추정되고 있다. 몇 번의 내전을 겪은 예멘(Yemen)에는 1 백만 개가 매설 되어 있고, 지난 40 년 동안 계속된 전쟁으로 앙골라(Algola)는 8 백만

개의 지뢰가 매설되어 있다.<sup>1</sup>

한국에 묻혀있는 지뢰는 휴전선 비무장지대와 그 남쪽의 민간인 통제구역에 집중되어 있으나, 후방 지역의 39 개 군사기지에도 설치돼 있어 홍수에 대인 지뢰가 쓸려 내려가 민간인들에게 위협이 되고 있다. 지뢰 보고서에 의하면 지난 2004 년 유엔 주재 한국대표부는 ICBL(international Campaign to Ban Landmines)에 한국의 지뢰지대가 여의도 면적(8.45km<sup>2</sup>)의 10.8 배인 91km<sup>2</sup> 이라고 밝혔으나 지난 2003 년 한국 국방부는 국회 국방 위원회에 지뢰지대가 112.5km<sup>2</sup>(비 확인지대 90.7km<sup>2</sup>, 확인지대 21.8km<sup>2</sup>)라고 보고 했다고 밝혔다.<sup>2</sup>

이러한 지뢰의 위험요소로 인하여 인간이 지뢰의 피해를 줄이기 위해 지뢰제거의 필요성이 고조되어 많은 지뢰들이 민간인 및 군인에 의해 수작업으로 제거되어 왔다. 그러나 지뢰제거 작업은

다른 여타의 작업보다 인간이 오직 청각만을 이용하여 작업하기 때문에 매우 위험하며 많은 시간이 소요되고 작업자가 고도의 정신적 스트레스(stress)를 받는 단점이 있다. 이러한 이유로 근래에는 다양한 지뢰탐지 장비들이 개발되어 인간을 대신해 왔으나 대부분 1 톤 이상의 무게를 가지는 대형 장비이므로 지형에 대한 적응성이 낮다는 문제점을 가지고 있다.

외국에서 개발된 지뢰탐지 시스템의 동향에서 시스템을 보면 빠른 탐지속도와 이동속도, 넓은 탐지 지역, 초정밀 센서를 장착하여 지뢰 및 폭발물을 탐지할 수 있는 장점이 있으나, Fig. 1 에 미국 및 영국에서 개발된 지뢰 탐지 시스템을 보여주고 있는 것과 같이 몸체가 크기 때문에 수목이 우거진 산악 및 들판 지형에서 임무수행이 불가능하고<sup>3</sup> 초정밀 탐지를 위하여 고가의 센싱 장비를 장착한 것과 탐지된 데이터를 처리하기 위해 많은 시간을 사용해야 되는 단점을 가진다.

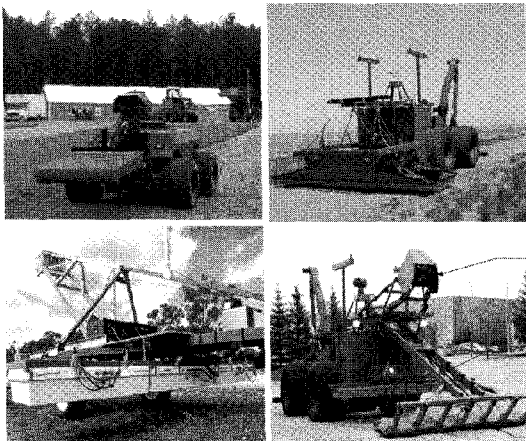


Fig. 1 Mine detecting system

따라서, 본 논문에서는 야지와 같은 산악지형을 주행하는 무한궤도형 바퀴형태가 로봇의 구동부로 적합하는<sup>4</sup> 소형 로봇을 제안하여 급속을 탐지할 수 있는 가능성에 대해 논한다.

## 2. 로봇 시스템

### 2.1 모바일(mobile) 시스템

로봇 시스템의 임무수행을 위한 운영과 내부 각 시스템의 신호제어를 담당하고 있으며, 입·출력된 외부 정보를 처리하고 제어명령을 운영자와

송·수신하는 중요한 시스템이다.

Fig. 2 는 제안한 이동 시스템의 전체형상을 나타내고 있으며 지게차의 차륜 형태와 같이 구동륜을 전문으로 하는 후륜이 전문보다 작은 하이휠(high wheel)형 무한궤도 로봇이다. 후륜을 전문의 크기보다 작게 함으로써 로봇 시스템의 무게를 줄여 주행토크를 올릴 수 있으며, 전문에 의해 궤도에 발생하는 스트레스(stress)를 줄일 수 있는 장점이 있어 하이휠형 형태로 장착하였다.

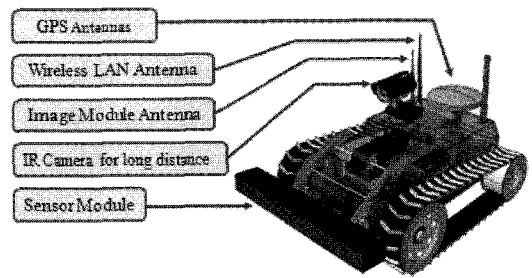


Fig. 2 Designed mobile system

Fig. 3 은 이동로봇 시스템의 내부 시스템 블럭도(block diagram)를 나타내고 있다.

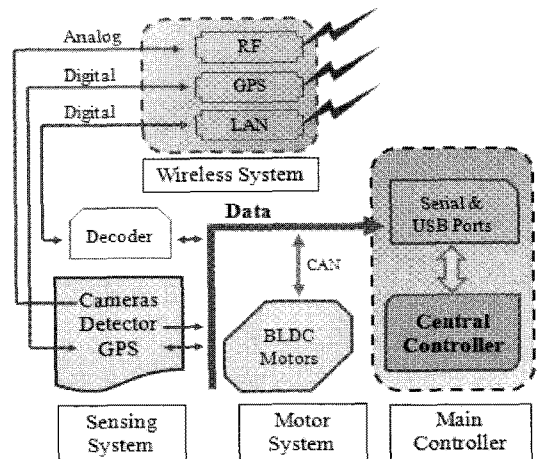


Fig. 3 Block diagram of robot system

로봇 시스템의 이동 및 주행을 시키고, BLDC(Brushless DC) 모터를 장착하여 오랜 수명을 가능하게 하며 모터 제어기와 드라이브(drive) 사이에 캔(CAN)통신을 이용하여 간단한 하드웨어 구성으로 빠른 통신을 하는 구동(motor) 시스템, 야간에도 영상을 습득 할 수 있는 적외선 원거리 카

메라와 로봇의 바로 앞 영상을 습득하는 근거리 카메라의 영상 시스템, 자기장을 이용하여 지뢰 및 위험물을 탐지하는 센서와 수 십 cm 의 정밀도 까지 로봇 위치를 알 수 있게 해주는 GPS(Global Positioning System)를 포함하는 센싱(sensing) 시스템, 원거리에 떨어진 운영자가 발생시키는 무선신호와 로봇의 각 시스템의 신호를 송·수신 하는 무선 시스템 그리고 각 시스템에서 발생하는 신호 처리와 명령을 연산하는 메인 컨트롤러(main controller)가 구성되어 있다.

**2.2 탐지 시스템**

본 연구에서 제안된 로봇 시스템의 차체상부에 지뢰 탐지 시스템이 구축된다. 이는 4 관절 링크(4 bar link)가 장착되어 센서모듈(sensor module)을 상·하로 이동 시켜줌으로써 지뢰 탐지모드(detecting mode)시에 보다 정밀한 탐지를 할 수 있도록 하며, 주행 모드 시에는 장애물에 의한 충격으로부터 센서모듈을 보호한다.

Table 1 에 나타난 바와 같이, 이동 로봇이 주행 모드 일 때 속도는 0~20km/hour 이며, 탐지모드 일 때 속도는 약 5~6km/hour 로 주행하면서 지뢰를 탐지하며 지면과 센서모듈 사이의 거리는 5cm 이고, 주행모드 일 때 사이의 거리는 15cm 이다.

Table 1 Specification of the mobile system

Length/Height/Width	670 x 350 x 540 mm
Mass	40Kg
Driving Actuator	2 BLDC Motors
Power Source	NI-MH(24V)
Operation Velocity	During minesweeping: 0-5km/hour During driving: 0-25km/hour
Maneuverability	Max slop: 45°
Sensor length	550mm
Detecting Area	
Length /Width	580 x 100mm

특히, 지뢰를 탐지할 때 센서모듈이 미약한 신호 또는 의심되는 신호를 감지되면 재 탐지를 하기 위해 센서모듈이 4 관절 링크에 의해 상하로 움직이는데 Fig. 4 에서 그 경로를 나타내고 있으며, 각 링크의 위치가 조인트(joint) 축 A, B 에 위치하여 있을 때는 주행 시 이며, 센서 모듈은 C 위치에 있고, 조인트 축 A', B'에 위치 하여 있을 때는 탐

지 시 이며 센서모듈은 C' 위치 하는데, Fig. 4 의 링크위치는 주행 시를 나타내고 있다.

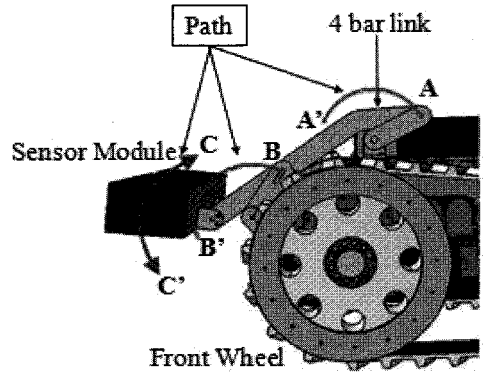


Fig. 4 Moving path of sensor module and 4 bar link

**2.3 센서모듈**

실험에 사용된 센서모듈은 기존의 상용화된 센서로 군용 원형 센서가 아닌 일반용 막대형 센서를 사용하여 로봇이 탐지를 위해 주행 시 로봇의 궤도가 지뢰를 밟지 않도록 Fig. 5 에 나타난 것과 같이 로봇의 폭보다 넓게 탐지하도록 구성하여 이동 로봇 에 장착하였다.

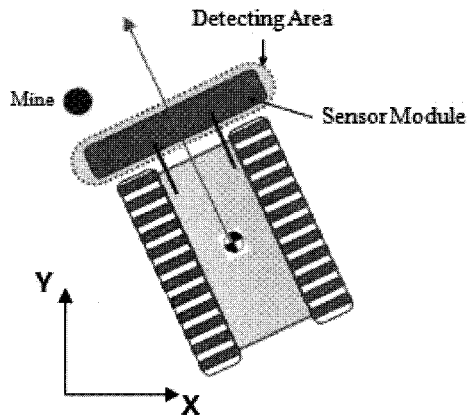


Fig. 5 Detecting area of sensing module

Fig. 6 은 장착된 막대형 센서모듈 블럭도이며 송신 안테나 코일부터 자기장이 발생, 지뢰를 탐지하여 수신 코일에서 수신한 미약한 신호를 증폭, 그 신호를 분석하여 컨트롤러까지 신호의 흐름을 나타내고 있다. 센서모듈의 송신 안테나에서 자기장이 발생되면 상호유도(Mutual Inductance)에 의하

여 금속 성분인 지뢰에 전류가 유도됨으로써 자기장이 발생한다.<sup>5</sup>

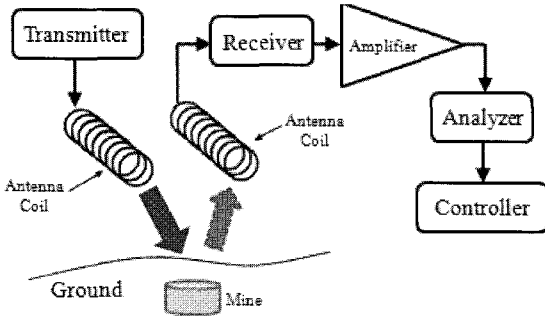


Fig. 6 Block diagram of sensor Module

본 논문에서는 이동하는 모바일 로봇에 장착된 센서모듈에서 이 원리를 이용하여 자기장을 측정하는 것이므로, 움직이는 센서모듈에 의한 유도 기전력을 측정할 수 있는데 구하는 식은 다음과 같다.

$$\varepsilon = Bi \sin \theta ds \frac{1}{dt} \quad (1)$$

$$\varepsilon \propto \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

여기에서,  $\varepsilon$ 는 유도 기전력,  $B$ 는 자속밀도,  $i$ 는 전류크기,  $ds/dt$ 는 로봇의 이동속도,  $\theta$ 는 자속밀도의 방향각도이다.

식(1)에서  $B, i$ 는 센서모듈이 목표물을 측정하여 알 수 있는 값이고,  $\sin \theta$ 는 센서모듈의 탐지 면적에 가까워지면 알 수 있는 값으로 따라서, 식(2)와 같이 로봇의 이동 속도  $ds/dt$ 에 의해 자속밀도가 측정되기 때문에 목표물을 감지할 수 있으며, 이때 감지된 자속밀도의 세기는 수신 안테나에서 입력 받아 증폭 및 분석 처리과정을 거친 후 컨트롤러(controller)에 전달하여 기전력의 크기를 운영자가 판단하기 쉽도록 출력한다.

### 3. 실험 및 결과

Fig. 7 은 본 논문에서 제안하여 실험을 실시한

이동 시스템이며, 기전력 측정방법은 자갈과 흙이 섞여진 비교적 평탄한 평지에서 실험하였다. 실제 지뢰를 실험하기에는 군부대의 협조가 필요하고 또한, 실험자와 협조자의 생명을 위협하는 매우 위험한 일이므로, 일반적으로 구하기 쉽고 지뢰보다 작은 크기의 대상을 선정하여 땅 밑 5cm 정도 묻은 후, 센서모듈을 장착한 이동 로봇이 그 위를 지나가면서 기전력을 측정하는 방법으로 실험을 하였으며, 탐지 대상물의 크기는 지름 1cm, 길이 2cm 이고, 철 재질인 원형 막대이다.

실험 결과 그래프는 로봇의 이동속도를 0.35m/sec (1.26km/h), 0.47m/sec (1.69km/h), 0.55m/sec (1.98km/h), 1.16m/sec (4.18km/h)와 같이 점점 증가시키면서 측정한 그래프이고, 원형막대를 검출하였을 때, 그래프 상에는 빈 공간(Null area)으로 나타내는데, 이는 신호처리 알고리즘(algorithm) 과정에서 운영자가 판단하는 것과 연산 프로그래밍을 쉽게 하기 위해 빈공간(Null area)으로 두었다. 따라서 모바일 로봇의 주행 속도에 따라 Null area 폭이 다름을 알 수 있으며, 그래프 상에서 탐지 되었음을 쉽게 확인 할 수 있다.

Fig. 8 에서 0.4~0.5 초 사이에 Fig. 9 은 0.1~0.2 초 사이, Fig. 10 는 0.4 초에서, Fig. 11 은 0.6 초에서 원형 막대가 탐지된 것을 알 수 있으며, 0V 이하에서 발생된 신호와 그래프 안에서 잡음처럼 빈틈이 보이는 이유는 이동로봇이 도양 위를 주행하면서 발생하는 진동때문에 센서모듈의 수신 안테나에서 발생한 잡음이고, 이동로봇이 움직일 때, 센서모듈을 외부 충격으로부터 보호하고 오직 도양속의 원형 막대에서 발생하는 기전력을 측정하기 위해 보호 장치를 설치하였다. 따라서 보호막의 경계부분에 의해 그래프 상에서 약 2V 이상부터 측정되는 것을 알 수 있다.

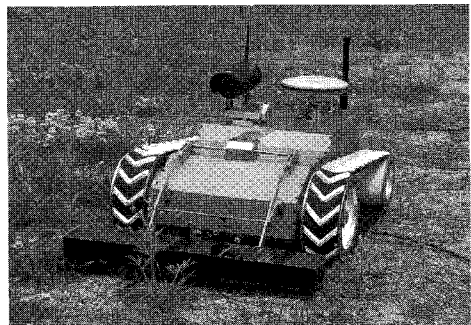


Fig. 7 The mobile system

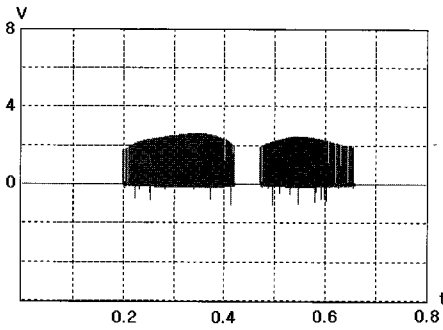


Fig. 8 Velocity of mobile robot is 0.35m/s

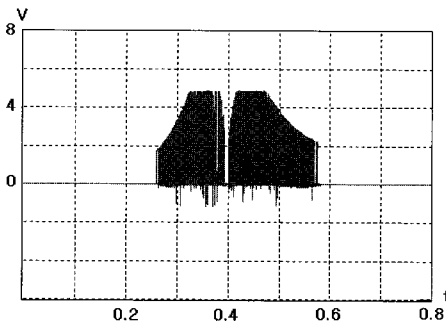


Fig. 9 Velocity of mobile robot is 0.47m/s

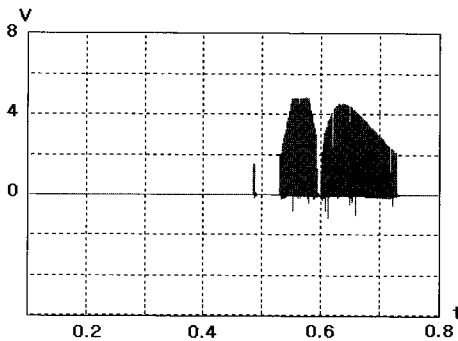


Fig. 10 Velocity of mobile robot is 0.55m/s

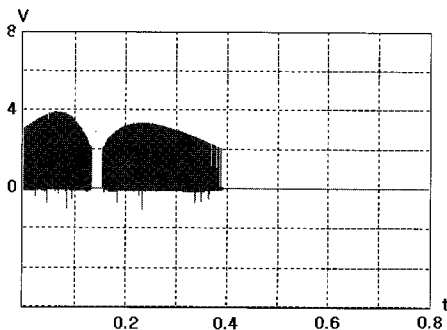


Fig. 11 Velocity of mobile robot is 1.16m/s

#### 4. 결론

본 논문에서는 지뢰탐지를 위한 소형 이동 로봇의 실용화를 위한 성능 평가를 제시하고 지뢰탐지의 기능 실현 가능성에 대해 논하였다.

힘지구행 소형 무한궤도 로봇을 제작하고 지뢰탐지 센서를 장착하며, 이동로봇에 여러가지 주행 속도를 주어 센서모듈에서 탐지한 각각의 신호형태를 보였다.

탐지 시, 완벽하게 원형 막대를 탐지하였으며, 탐지된 신호 또한 쉽게 구분될 수 있도록 출력이 되었다. 탐지된 신호는 토양 표면상태에 의하여 발생한 진동 때문에 신호를 처리할 때 잡음이 발생하였는데, 사용자가 탐지신호를 분석하는데 전혀 영향을 주지 않았다.

본 실험의 시작단계에서 지뢰대신 비록 강철 막대를 사용하여 측정을 하였지만, 향후에는 안전적인 면을 절대적으로 고려하여 지뢰가 매설된 실제 현장에서 작업 및 실험이 가능하도록 다양한 설계 및 안전변수의 설정과 그 보완이 함께 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. International Campaign to Ban Landmine Monitor (2003), [http://www.icbl.org/lm/2003/south\\_korea](http://www.icbl.org/lm/2003/south_korea)
2. International Campaign to Ban Landmine Monitor (2005), <http://www.icbl.org/lm/2005/cambodia>
3. Jeong, H. K., Choi, H. D., Kim, S. D. and Kwak, Y. K., "Clearance Depth Control for the Non-explosive Demining System of a Tracked Mobile Robot," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 22, No. 9, pp. 155-161, 2005.
4. Iwamoto, T. and Yamamoto, H., "Mechanical Design of Variable Configuration Tracked Vehicle," *Journal of Mechanical Design*, Vol. 112, No. 3, pp. 289-294, 1990.
5. Purcell, E. M., "Electricity and Magnetism," McGraw-Hill International Editions, Vol. 2, pp. 276-279, 1985.