

# 지뢰탐지를 위한 궤도로봇의 개발

## A Development of a Tracked Mobile Robot for Landmine Detection

\*이상호<sup>1</sup>, #한창수<sup>2</sup>, 장광수<sup>3</sup> 김일환<sup>4</sup>, 권기홍<sup>5</sup>

\*S. H. Lee<sup>1</sup>, #C. S. Han(cshan@hanyang.ac.kr)<sup>2</sup>, K. S. Jang<sup>3</sup>, I. H. Kim<sup>4</sup>, K. K. Hong<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 한양대학교 메카트로닉스공학과, <sup>2</sup> 한양대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 한양대학교 기계공학과, <sup>4</sup> 한양대학교 기계공학과, <sup>5</sup> 대전대학교 신소재공학과

Key words : Detection, Landmine, Mutual Induction, Mobile Robot

### 1. 서론

캄보디아(Cambodia)에는 4 백만 ~ 6 백만 개의 지뢰가, 베트남(Vietnam)에는 30 만개의 지뢰가 묻혀 있는 것으로 추정되고 있다. 1962 년 이래 예멘(Yemen)에는 1 백만 개가 매설되어 있고, 지난 40 년 동안 끊임없이 계속된 전쟁으로 앙골라(Algola)는 8 백만 개의 지뢰가 매설되어 있다.

한국의 지뢰는 지뢰 보고서에 의하면 지난 2004 년 유엔 주재 한국대표부는 ICBL(international Campaign to Ban Landmines)에 한국의 지뢰지대가 여의도 면적(8.4 km<sup>2</sup>)의 10.8 배인 91 km<sup>2</sup>이라고 밝혔으나 지난 2003 년 한국 국방부는 국회 국방위에 지뢰 지대가 112.5 km<sup>2</sup>(비 확인지대 90.7 km<sup>2</sup>, 확인지대 21.8 km<sup>2</sup>)라고 보고했다고 밝혔다.<sup>1)</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 직접 하기엔 매우 위험하며 시간도 많이 소요되고 오직 청각만을 이용하여 작업하기 때문에 작업자가 고도의 정신적 스트레스(stress)를 받는 단점이 있다. 이러한 이유로 근래에는 다양한 지뢰제거 장비들이 개발되어 인간을 대신해 왔으나 거의 대부분 장비들이 5 톤 이상의 무게를 가지는 대형 장비들이기 때문에 지형에 대한 적응성이 낮다는 문제점을 가지고 있다. 또한 이러한 장비들은 인위적으로 지뢰를 폭발시켜, 파편을 제거하는 방식을 취하고 있기 때문에 지뢰폭파 시 유출되는 화학 성분이 토양을 오염시키고 있다. 경의선 지뢰제거 사업에 사용된 독일에서 수입한 지뢰제거 장비인 RINO 와 Minebreaker, 영국에서 수입한 MK-4 는 97%의 높은 작업 성공률을 자랑하나, 작업 시 기계 전반부에 장착된 도리끼로 매설된 지뢰를 폭발하여 제거하기 때문에 폭발로 인한 기계의 잦은 고장 때문에 고가의 유지비가 소요된다. 또한, 수목이 우거진 산악지형에서 나무로 인해 지뢰제거 작업 수행이 불가능했던 사례가 존재한다.<sup>2)</sup> 따라서, 능선과 같이 경사가 있는 지형 및 험지에서 지뢰 탐지가 가능하며, 특히, 우리나라 지형과 비슷한 야지와 같은 산악지형을 주행하는 소형의 무한궤도형 바퀴형태가 로봇의 구동부로 가장 적합하며 <sup>3)</sup> 비폭파적으로 지뢰탐지 작업만을 수행할 수 있는 새로운 개념의 지뢰탐지 시스템이 필요 하다. 지뢰제거 작업에서 제일 우선시 되는 탐지 작업에서 로봇을 이용하여 지뢰를 탐지 함으로써 작업자에게 안전성을 제공하고 작업 시간의 효율을 극대화 할 수 있다. 기존의 지뢰탐지 및 제거 시스템이 하나의 전체 시스템(system)을 구성하는 장비에 반해, 본 논문에서는 오직 지뢰 탐지를 목적으로 이동 로봇을 이용한 지뢰 탐지 시스템을 제안하고 그 가능성에 대해 설명한다.

### 2. 궤도로봇 시스템

#### 2.1 로봇 시스템

로봇 전체 시스템의 운영과 제어를 담당하고 있으며, 입,출력된 외부 정보를 처리하고 제어명령을 운영자에 송수신하는 중요한 시스템이다. Fig. 1 은 제안한 이동 시스템의 전체형상을 나타내고 있으며 지게차의 차륜 형태와 같

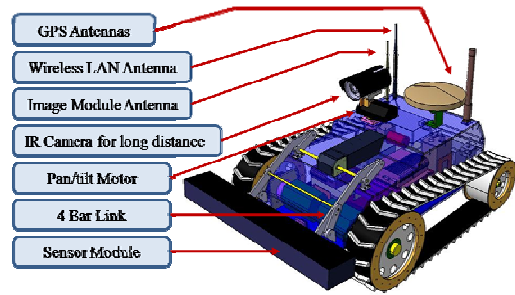


Fig. 1 Designed Tracked Robot

이 후륜이 전륜보다 작은 무한궤도 로봇이다.

Fig. 2 는 이동로봇 시스템의 내부 장치 블록도(block diagram)를 나타내고 있다. 이동 시스템의 이동 및 주행을 위한 모터(motor) 시스템, 원거리와 근거리의 영상을 습득하는 카메라와 지뢰를 탐지하는 센서, 로봇 위치를 알려주는 GPS(Global Positioning System)를 포함하는 센싱(sensing) 시스템, 각각의 무선 신호를 송수신 하는 무선 시스템 그리고 각 시스템에서 발생하는 신호 처리와 명령을 연산하는 메인(main) 제어기가 구성되어 있다.

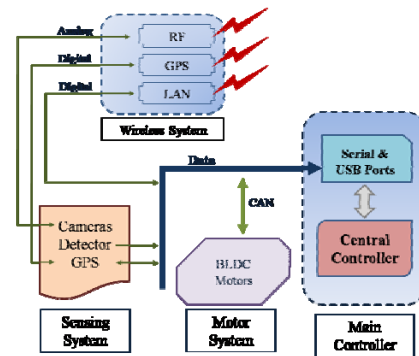


Fig. 2 Block diagram of Tracked Robot

#### 2.2 센싱 시스템

제작된 궤도로봇 시스템의 상반부에 지뢰탐지 센서모듈과 지뢰 탐지모드(detecting mode)시, 센서모듈(sensor module)을 위 아래 방향으로 움직여 주는 4관절 링크(four bar link)를 장착하여 지뢰 센싱 시스템을 구축한다. Table 1.에 나타난 바와 같이, 이동 로봇이 주행모드 일 때는 20km/hour 속도까지 높일 수 있고, 탐지모드 일 때는 약 5 ~ 6km/hour 정도의 속도로 주행하면서 지뢰를 탐지하며 지면과 센서모듈의 거리는 5cm 이고, 주행모드 일 때는 지면과 15cm 떨어져 있다. 특히, 지뢰를 탐지할 때 센서모듈에서 미약한 신호 또는 의심되는 신호를 감지되면 재확인하기 위해 센서모듈이 4 관절 링크에 의해 위 아래로 움직이는데 Fig. 4 에서 그 경로를 나타내고 있다. 각 링크의 위치가 조인트(joint) 축 A, B 에 위치하여 있을 때는 주행 시 이고, 조인트 축 A', B'에 위치하여 있을 때는 탐지 시 이다. 검정색 링크 구조가 주행 시 이다.

Table 1 Specifications of the mobile system

Category	
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: 0-20km/hour
Maneuverability	Max slop: 30°
Sensor	Differential-Induction Magnet
Sensor length	550mm

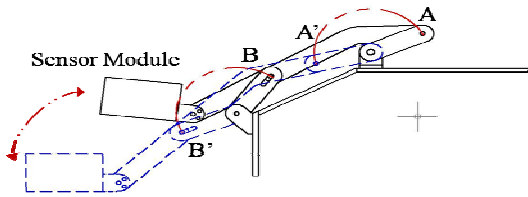


Fig. 3 Moving path of sensor module

2.2.1 센서 모듈

실험에 사용된 센서모듈은 기존의 상용화된 센서로, 균용 원형센서가 아닌 막대형 센서를 사용하여 로봇의 주행시 로봇이 지뢰를 밟지 않도록 앞부분 전체를 탐지하도록 하여 이동 로봇에 장착 하였다.

센서모듈의 송신 안테나에서 자기장이 발생되면 상호유도(Mutual Inductance)에 의하여 금속 성분인 지뢰에 전류를 유도함으로써 자기장이 발생한다.<sup>4)</sup> 본 논문에서는 이동하는 로봇에 장착된 센서모듈에서 이 원리를 이용하여 기전력을 탐지하는 것이므로 구하는 식은 다음과 같다.

$$\varepsilon = Blv \sin \theta \tag{1}$$

여기에서,  $\varepsilon$  는 유도 기전력,  $B$  는 자속밀도,  $I$  는 전류크기,  $v$  는 로봇의 이동속도,  $\theta$  는 자속밀도 의 방향각도이다.

식(1)에서  $B, I$  는 센서 모듈의 사양에 의해 알고 있는 값이고,  $\sin \theta$  는 센서 모듈의 탐지 면적에 가까워지면 알 수 있는 값으로 따라서, 로봇의 이동 속도  $v$  에 의해 감지 할 수 있다. 이렇게 감지된 기전력은 수신 안테나에서 입력받아 증폭 및 분석 후 컨트롤러(controller)에 전달한다.

3. 실험 및 결과

측정방법은 자갈과 흙이 섞여진 비교적 평탄한 평지에서 실험하였다. 실제 지뢰를 이용한 실험은 군 부대의 협조가 필요하고 또한, 실험자나 협조자의 생명을 위협하는 매우 위험한 일이므로, 구하기 쉽고 지뢰보다 작은 크기의 대상물을 선정하여 땅밀 5cm 정도 묻은 후, 실험을 하였으며, 탐지 대상물의 크기는 지름 1cm, 길이 2cm 이고 철 재질인 원형 막대이다.

실험 결과 그래프는 로봇의 이동속도를 0.35m/sec, 0.8m/sec, 1.6m/sec 와 같이 점점 증가 시키면서 측정한 그래프이고, 원형막대를 검출하였다. 이 때, 그래프 상에는 빈공간(Null area)으로 나타내는데, 이는 신호처리 알고리즘 (algorithm) 과정에서 운영자가 판단하는 것과 연산 프로그래밍을 쉽게 하기 위해 Null area 으로 두었다. 그래프 상에서 탐지 되었음을 쉽게 확인 할 수 있다.

Fig.4 에서 0.4 초 사이에 Fig.5 는 0.2 ~ 0.3 초 사이, Fig.6 은 0 ~ 0.1 초에서 원형 막대가 탐지된 것을 알 수 있다. 0V 이하에서 발생 된 신호와 그래프 안에서 잡음처럼 빈틈이 보이는 이유는 이동로봇이 토양 위를 주행하면서 발생하는

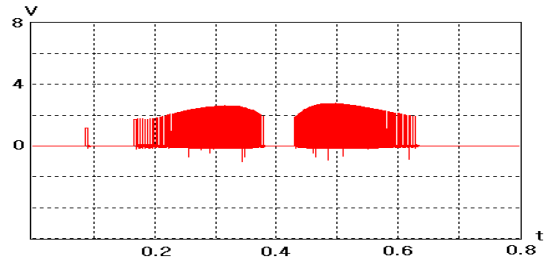


Fig. 4 Velocity of mobile robot is 0.35 m/s

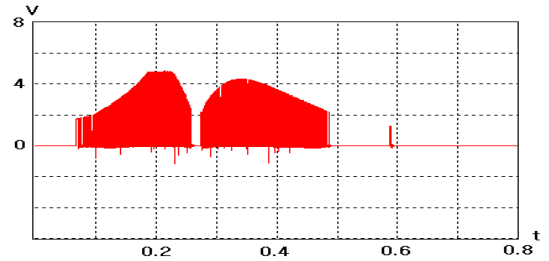


Fig. 5 Velocity of mobile robot is 0.8 m/s

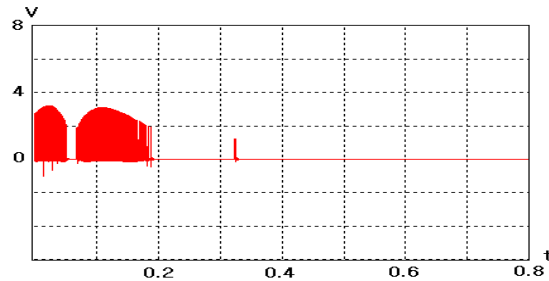


Fig. 6 Velocity of mobile robot is 1.6 m/s

진동때문에 센서모듈의 수신 안테나에서 발생한 잡음이고, 이동로봇이 매우 천천히 움직일 때, 탐지 신호에 영향을 미치지 않는 그래프가 화면에 표시되지 않게 하기 위해 신호처리 과정 중, 약 2V 의 이하에서 발생하는 신호들은 그래프 상의 양 끝부분처럼 표시가 되지 않게 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 지뢰탐지를 위한 소형 레도로봇의 개발에 대해 논하였으며, 지뢰탐지 센서를 장착하고, 이동로봇에 여러가지 주행속도를 주어 센서모듈에서 탐지한 각각의 신호를 보였다. 탐지 시, 완벽하게 원형 막대를 탐지하였으며, 탐지된 신호도 거의 완벽하게 출력을 하였다. 탐지된 신호는 토양 표면상태에 의하여 발생한 진동 때문에 신호를 처리할 때 잡음이 발생하였는데, 사용자가 탐지신호를 분석하는데 전혀 영향을 주지 않았다.

향후에는 안전한 면을 절대적으로 고려하여 실제 지뢰가 매설된 토양에서 작업 및 실험이 가능하도록 다양한 설계 변수의 설정이 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) International Campaign to Ban Landmine Monitor (2005)
- (2) Hae Kwan Jeong, Hyun Do Choi, Sang Do Kim and Yoon Keun Kwak, "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
- (3) Iwamoto, T., Yamamoto, H., "Mechanical Design of Variable Configuration Tracked Vehicle." Journal of Mechanical Design, Vol. 112, pp. 289~294, 1990
- (4) Edward M. Purcell, "Electricity and Magnetism." McGraw-Hill International Editions, Vol. 2, pp. 276~279, 1985