

지뢰 탐지를 위한 지면추종 및 탐지위치 표식에 관한 연구

A Study on the Ground Following and Location Marking Method for Mine Detection System

이 명 천* 신 호 철** 윤 중 훈***
Myungchun Lee Hocheol Shin Jonghoon Yoon

Abstract

The mine-detection system, which is one of the various mission equipments for Ground Vehicle System, detects mine under the ground. The mine detection sensors comprised of Metal Detection(MD) sensor and Ground Penetration Radar(GPR) are attached on the end of the multi-DOF manipulator. The manipulator moves the sensor to sweep mine areas keeping the pre-determined distance between the sensor and ground to enhance mine detection performance. The detection system can be operated automatically, semi-automatically and manually. When the detection system is operated automatically, the sensor should avoid collisions with unexpected obstacles which may exist on the ground. Two types of ultra-sonic sensors were developed for the mine detection sensor system to keep the appropriate gap between sensor and the ground to avoid the obstacles. Also, mine place marking device was developed.

Keywords : Mine-detection Sensor(지뢰탐지 센서), Ultra-sonic Sensor(초음파 센서), Mine Location Marking Device(지뢰위치 표시장치)

1. 서론

지하에는 도시가스, 상/하수도관, 통신관, 송유관과 같은 인위적 혹은 자연적으로 매설된 각종 물질 등이 있을 수 있다. 인위적으로 지표면이나 지표면 아래에 매설된 물질 중에서 폭발물질 특히, 금속 및 비금속의

지뢰와 같은 물질은 인간이나 동물에 가장 큰 재해를 준다.

1996년 유엔과 국제적십자위원회의 추산에 따르면, 여러 국가들의 전쟁으로 인해, 전 세계 60여 개국에 약 1억 1천만 개의 지뢰가 잔존해 있다고 한다. 현재 우리나라는 한국전쟁과 분단으로 인하여 비무장지대(DMZ)에 많은 수의 지뢰가 묻혀있다. 비무장지대의 지뢰는 우리가 앞으로 통일을 준비하면서 제거해야 할 대상 중 하나이다.

다음의 Fig. 1은 유인조종 또는 원격조종에 의해 지뢰탐지 업무를 수행할 수 있도록 개발한 지뢰탐지 장치와 전동 실험장치대이다.

† 2011년 10월 2일 접수~2011년 11월 25일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 한국원자력연구원(KAERI)

*** 대전대학교

책임저자 : 이명천(mchlee@add.re.kr)

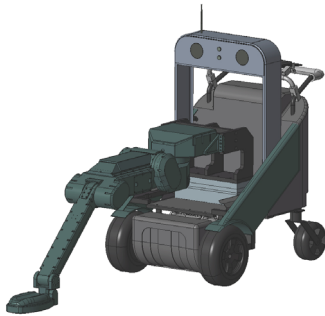


Fig. 1. 유/무인 지하 매설물 탐지장치

지뢰를 탐지하기 위해서는 지뢰 탐지 센서로 지뢰 매설 예상 지역을 스캔해야 하는데, 이 때 센서의 성능을 높이기 위해서는 지뢰 탐지 센서와 지면과의 거리를 일정하게 유지하는 것이 매우 중요하다. 또한, 지뢰 탐지 센서가 자동으로 지뢰 매설 지역을 스캔할 때 예상치 않은 장애물이 있을 경우, 지뢰 탐지 장치와 장애물 간의 충돌을 피해야 한다^[1].

본 논문에서는 초음파센서를 활용하여 지하에 매설된 물체를 탐지할 때 지뢰 탐지 센서를 지면과 일정한 거리를 유지하고 장애물과의 충돌을 방지하는 방법과 지뢰를 탐지하였을 때 지뢰 매설 위치를 표시하는 탐지 위치 표시 장치에 대해 논하고자 한다.

2. 매설물 탐지장치의 구성

Fig. 2는 본 연구에서 이용한 매설물 탐지장치 전체 구성도로서, 이동차량에 장착하기 위한 베이스부와 좌우 선회 모션을 구현하는 좌우 선회부, 상하 모션을 통해 매니플레이터의 끝단이 위치를 조절하는 상부암, 하부암, 그리고 금속 및 비금속 매설물의 탐지를 위하여 하부암 끝단에 장착된 탐지센서, 이렇게 5개 부분으로 구성되어 있다. 각각의 부분들은 회전관절로 연결되며, 탐지장치 즉 매니플레이터는 4자유도를 갖는다.

차량 즉, 이동 플랫폼에 장착되는 암베이스의 내부에는 상부암을 선회 구동시키기 위한 구동메커니즘이 설치되어 있으며, 상부암 끝단의 양쪽에는 모터가 장착되어 하부암을 구동하고 다른 한쪽의 모터는 탐지센서의 톨구동을 담당한다. 탐지센서는 상부암에 끝단에 있는 모터와 하부암 내부에 있는 벨트로 연결되어 구동된다^[2].

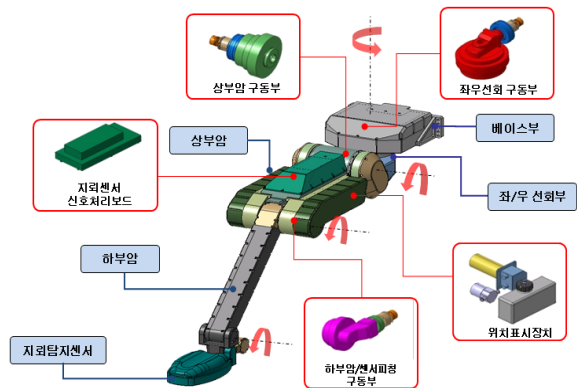


Fig. 2. 탐지장치 구성도

또한 Fig. 2는 탐지장치의 내부 구성도를 나타낸다. 내부 구성품 중에 지하매설물을 탐지하고 위치를 표시하기 위한 장치로 위치 표시 장치가 있으며, 페인트 분사노즐은 지뢰탐지 센서부 후방에 장착되어 있다. 또한 센서부 후방에는 지뢰 탐지 센서와 지면과의 거리를 측정하여 지면 추종 제어를 할 수 있도록 되어 있는데 거리 측정용 초음파센서와 탐지 선회간 장애물 충돌을 방지할 수 있는 장애물 탐지용 초음파 센서가 통합모듈로 구성되어 있다.

3. 지면 추종을 위한 초음파센서 적용 방안

가. 거리측정용 초음파 센서

기존의 지면추종 연구는 3D 월드맵 정보만을 이용하여 주로 수행되었으나 3D 월드모델 데이터는 상당한 정밀도를 갖는 지형 정보이지만 DGPS를 기반의 지형정보이므로 DGPS가 갖는 오차와 지형 굴곡 및 장애물로 인한 사각지대의 발생과 지형정보 획득 장치인 각종 레이저를 이용한 3D 월드모델 데이터화까지 걸리는 시간 지연이 발생한다. 그리고 획득된 지형데이터를 기반으로 지뢰탐지 구동장치를 제어하여 지뢰탐지센서를 지면의 형상에 따라 모션을 제어하는데 소요되는 총 지연시간과 탐지센서의 구동속도를 고려하면 지뢰탐지센서 지면 추종 간 지면에 돌출된 장애물과의 충돌을 피하기가 쉽지 않다.

따라서 이를 보완하기 위하여 지뢰탐지센서의 위치에서 지면의 정보를 획득하여 지뢰탐지에 적합한 지면과의 거리를 유지하는 것이 필요하며, 이를 위한 거리측정 방법으로써 Fig. 3과 같이 지뢰탐지장치에 초

음파 센서를 부착하여 실시간으로 지뢰탐지장치에 인접한 지형변화에 대응함으로써 보다 안정적으로 지면 추종이 될 수 있는 모션 제어를 모색하고자 한다.

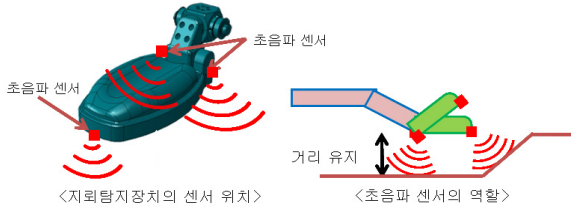


Fig. 3. 초음파센서를 적용한 지면 추종방안

초음파는 인간의 가청주파수 영역인 16~20kHz의 범위를 넘어선 20kHz이상의 주파수 영역에 존재하는 음파로써 의학, 생활과학, 국방 등의 여러 분야에서 응용되고 있으며, 특히 최근에 자동차에 적용되기 시작한 후방감지장치의 초음파 센서는 환경 적응성, 실용성 및 경제성이 우수한 제품으로 본 연구에 적용하기 적합할 것으로 판단되었다.

이러한 초음파 거리 측정 시스템은 Fig. 4와 같이 크게 송신모듈, 수신모듈, 제어기로 이루어져 있으며 송신 모듈은 신호를 생성해 주기 위한 오실레이터와 생성된 신호를 증폭시키기 위한 증폭기로 이루어져 있다. 이렇게 발생된 송신 신호는 측정 물체에 의해 반사되어 수신모듈로 전송되며 수신모듈은 약해진 반사 신호를 증폭시키기 위한 증폭기와 신호를 검출하기 위한 비교기로 이루어져 있다. 제어기는 DSP를 이용하여 송신한 순간의 시간과 응답신호가 수신된 순간의 시간의 차를 계산하여 물체와 센서 간의 거리를 측정한다.

거리측정 시스템은 야전에서 우천시 운용을 위한 방수 기능이 요구되며 약 100mm의 지면추종을 위하여 초음파 센서의 거리측정 범위는 30~300mm의 거리에 측정오차 범위는 ±2cm 정도의 탐지정능이 필요하다. 또한, 금속탐지 시 오탐지를 최소화할 위하여 탐지센서 주변에 장작물에 금속성분을 최소화해야 하며, 시간지연을 최소화하기 위해 빠른 응답성 등이 요구된다^[3].

거리측정을 위한 초음파센서는 앞의 Fig. 4에서 보여준 바와 같이 좌/우 스윙시 지표면 장애물 탐지를 위하여 지뢰탐지센서 좌/우측에 각 1개씩과 지뢰탐지센서 전방으로 전진 시 전방의 장애물 탐지를 위한 지뢰탐지센서 끝단에 1개로써 총 3개의 초음파센서 적용이 적합할 것으로 분석, 판단하였다.

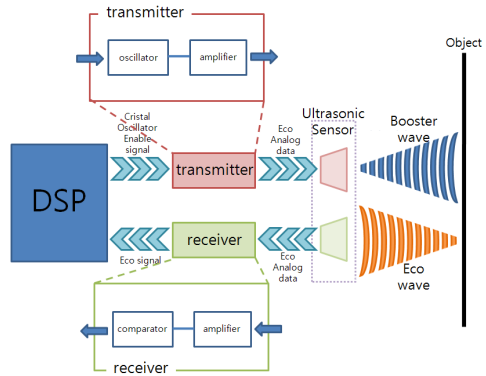


Fig. 4. 초음파센서 거리측정 시스템 구조

나. 초음파 센서의 적용

일반적으로 초음파 센서는 송신기능과 수신기능이 한 모듈에서 동시에 수행하도록 구성된 일체형 초음파 센서와 송신기와 수신기가 분리된 분리형 초음파 센서가 있는데 일체형 센서는 환경적응성 및 경제성이 우수한 반면, 약 20cm이하의 거리는 측정이 불가능하며 분리형 센서는 약 2cm에서부터 수 m까지 거리 측정이 가능하지만 상용으로 나와 있는 제품은 대부분 방수가 안 되는 이유로 적용이 곤란하다. 따라서 일체형의 초음파센서를 적용하되 근거리 측정도 가능할 수 있도록 두 개의 센서를 사용하여 각 센서가 송신 및 수신기능만 수행할 수 있도록 개조하여 지면 추종용 초음파 센서로 적용함으로써 약 2cm까지의 근거리 측정은 물론 환경적응성을 달성할 수 있도록 적용하였다.

초음파 센서의 경우 Fig. 5와 같이 송신 신호의 파형이 타원형을 그리는 이방성 특징을 가진 센서와 송신 신호의 파형이 원형에 가깝게 출력되는 등방성 특징을 가진 센서가 있다.

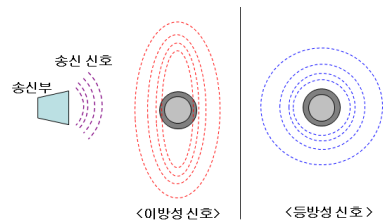
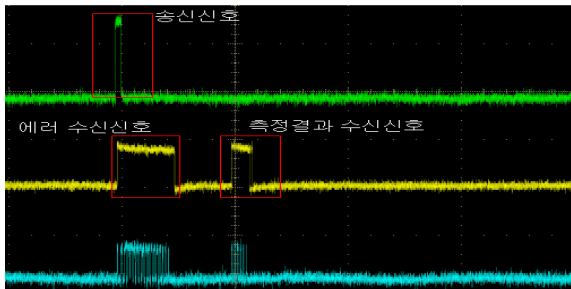


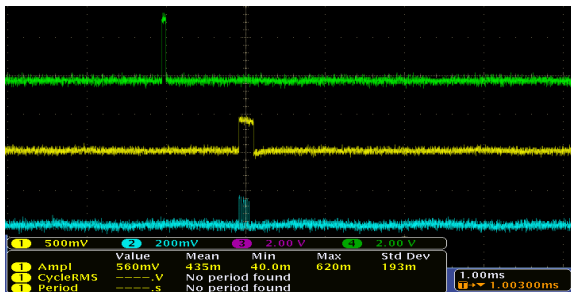
Fig. 5. 초음파 센서 특성에 따른 신호형태

본 연구에서는 Fig. 6과 같이 등방성 송신 센서와 이방성 송신 센서를 사용하였을 때 발생하는 수신신호 결과 즉, (a) 등방성 송신 센서의 경우에는 송신신호가

바로 옆에 위치한 수신센서에 직접 전해져서 에러수신 신호로 나타난 실험결과를 통해 기구설계의 많은 제약 조건을 줄일 수 있는 장점을 가진 이방성 특징을 갖는 센서를 선정하여 장치를 구성하였다.



(a) 등방성 송신 센서 사용



(b) 이방성 송신 센서 사용

Fig. 6. 등방성 신호와 이방성 신호 수신 결과

초음파센서의 특징을 고려하여 설계한 거리측정시스템 모듈의 형상은 Fig. 7과 같다. 이방성 특징을 고려하여 두 센서간의 거리가 가깝게 구성할 수 있어 모듈의 소형화가 가능해졌다. 그리고 지뢰탐지장치의 동작 특성을 고려하여 모듈에 사용되는 부품은 모두 비금속 재질로 구성하였다. 또한 거리측정시스템모듈을 일체형으로 구성함으로써 환경적응성 및 취급성이 용이하도록 하였다.

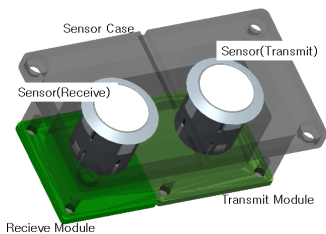


Fig. 7. 거리측정시스템 모듈 설계

지면추종을 위하여 적용한 초음파 센서는 기존의 일체형 초음파 센서에서 송신부와 수신부를 분리하여 신호의 흐름에 대한 반응성을 높였다. 사용한 센서는 TK-031모델로 형상과 특성은 Fig. 8과 같다. 송신신호의 세기를 높여 측정범위를 길게 할 수 있으나, 송신신호가 수신부로 직접 유입되는 문제가 발생할 수 있는 문제를 고려하여 3~25cm의 측정범위가 되도록 신호의 세기를 조절하였다.

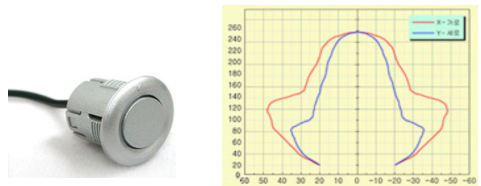


Fig. 8. TK-031 모델과 특성

한편, 장애물 탐지용 초음파 센서는 매우 근접한 거리를 측정할 필요가 없으므로 송신부와 수신부가 일체형으로 되어 있는 모델을 적용하였다. 이 경우 송신신호가 발생하고 남아 있는 음파가 소멸될 동안 기다려야 하는 단점이 있다. 일체형은 하나의 센서로 송수신을 다 하고 음파소멸 시간을 두고 있기 때문에 최대 측정 범위가 상대적으로 늘어날 수 있으나, 최소 측정 범위가 같이 늘어나는 문제점과 너무 멀리 있는 물체에도 반응하게 되면 지뢰탐지장치의 제어에 좋지 않을 것으로 판단되어 측정 범위를 제한하였다. 여러 실험을 통해 ST-207모델의 초음파 센서와 DM1모델의 드라이버 모듈을 사용하였을 때 측정범위 내에서 안정적인 측정 결과를 얻게 됨을 확인하였고, 센서의 특성은 Fig. 9와 같다^[4,5].

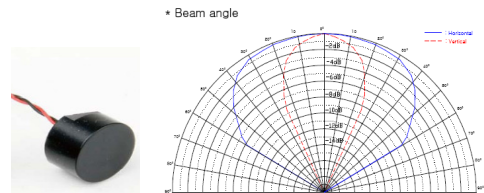


Fig. 9. ST-207 모델과 특성

본 연구에서 사용된 초음파 센서의 신호 보정 및 필터링을 위해 크게 두 가지 방법을 사용하였다. 하나는 하드웨어적인 필터링이고 다른 하나는 소프트웨어적인 보정 및 필터링이다. 우선 하드웨어적으로 Fig. 10과

같이 신호의 잔 떨림으로 인한 신호 에러를 제거하기 위해 RC 필터링과 74L123 IC소자를 사용하여 신호를 간결화 시켰다. 그리고 소프트웨어적으로는 Fig. 11과 같이 식 (1)과 같은 직선의 방정식을 이용하여 1차 보정을 하였다.

$$y = ax + b \tag{1}$$

여기서, y 는 보정된 출력 값, x 는 현재 측정된 결과 값 그리고 a, b 이를 보정하기 위한 상수값이다.

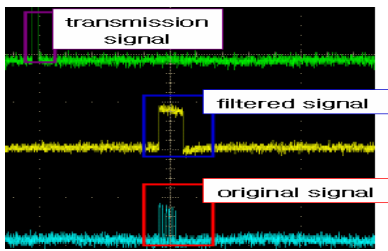
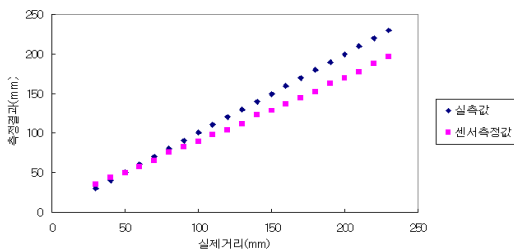
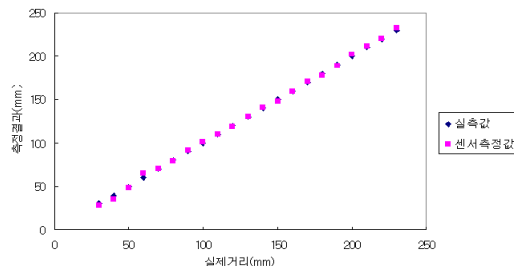


Fig. 10. 하드웨어 필터링 결과



(a) 오차 보정 전 결과



(b) 오차 보정 후 결과

Fig. 11. 수신 결과 오차 1차 보정

그리고 1차 보정한 값을 식 (2)와 같이 평균오차를 보정하는 필터링(averaging filter with weight factor)을 통해 제어에 용이한 신호로 변환하였다.

$$y_n = \frac{a_1x_{n-4} + a_2x_{n-3} + a_3x_{n-2} + a_4x_{n-1} + a_5x_n + y_{n-1}}{6} \tag{2}$$

여기서 y_n 은 수신된 측정결과를 필터링한 현재 제어 루프에서 사용할 값이고, a_1, a_2, \dots, a_5 는 수신된 측정 결과의 중요도에 따라 값을 달리하기 위한 가중치이고, $x_{n-4}, x_{n-3}, \dots, x_n$ 은 수신된 측정 결과를 4번째 이전 값까지 저장해 놓은 결과이고, y_{n-1} 은 수신된 측정결과를 필터링한 1번째 이전 값이다.

다. 초음파센서 적용 실험 결과

일반적으로 원격으로 운용되는 이동로봇에 장착되어 구동되는 탐지장치는 탐지장치 및 탐지센서의 주변 시야 확보에 대한 제약요소가 있다. 이러한 시야 확보 장애를 보완하기 위해 탐지장치의 가장 끝단에 지면추종/장애물 탐지용 초음파 센서를 배치하였다. 이때 고려해야 할 요소가 탐지센서 특성이다.

지뢰 탐지 센서는 지반 침투형 레이더(GPR : Ground Penetrating Radar)와 금속탐지센서(MD : Metal Detection sensor)로 구성되어 있다. 특히 금속탐지센서는 자기장의 특성을 이용하여 금속을 찾아내는 센서이다. 이 자기장은 디지털 회로에 악영향을 미치는데 자기장 흐름으로 인해 수신 후 처리되는 신호의 왜곡이 일어날 수 있기 때문이다. Fig. 12와 Fig. 13에서 신호 왜곡 현상을 확인할 수 있다.

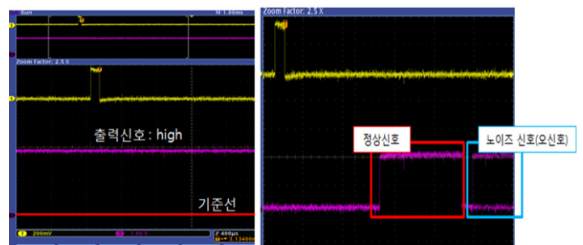


Fig. 12. 자기장 영향으로 인한 오동작 결과

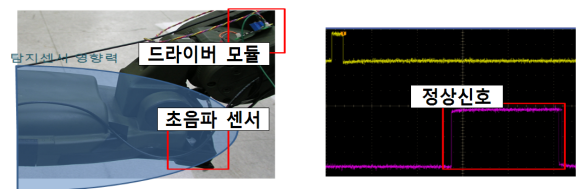


Fig. 13. 정상 동작에서의 결과

자기장 내에 센서와 드라이버, 그리고 자기장 차폐 처리되지 않은 데이터 전송선을 배치하였을 때 송신 신호에 대한 측정 결과신호가 Fig. 12의 우측 그림과 같이 연속적으로 장애물 탐지 신호를 발생하게 된다. 특히, 데이터전송선과 디지털신호 처리 보드의 경우 자기장에 의해 큰 영향을 받는다. 차폐호일과 같은 소재를 이용하여 자기장을 차단하는 방법을 생각해 볼 수 있는데 이는 역으로 금속탐지센서에 지속적으로 금속이 탐지되었다는 오 신호를 전달할 수 있어 사용이 어렵다. 다행스럽게도 아날로그 신호의 경우에는 디지털 신호에 비해 상대적으로 자기장의 영향이 크지 않은 것을 확인하였다. 그리고 자기장 내를 통과하는 데이터전송선이 길수록 자기장의 영향을 크게 받는 것도 확인하였다.

자기장 영향의 실험결과를 근거로 초음파 센서 드라이버를 포함한 지면추종 및 장애물 탐지 센서 모듈을 설계하여 적용하였는데, 초음파 센서 드라이버 부분은 자기장 범위 밖에 배치될 수 있도록 지면 측정용 초음파센서와 장애물 탐지용 초음파 센서는 통합 모듈로 제작하여 지뢰탐지센서의 뒷부분에 장착하는 방법을 고안하였다.

이와 같이 구성된 거리측정시스템 모듈을 상위 제어 시스템에서 사용하기 위해 VC++를 이용하여 구동 프로그램을 제작하였다. 사용자 인터페이스는 CAN통신을 이용하여 거리측정시스템 모듈에 신호를 보내고 측정된 결과를 전송받아 확인할 수 있도록 하였다.

4. 탐지 위치 표시장치

다목적 견마로봇의 지뢰탐지장치로부터 탐지된 지형 정보 및 위치정보를 기반으로 지뢰가 매설된 정확한 위치에 대한 표시가 요구되는데 이는 야간식별성이 좋으며 영하의 동절기에도 얼지 않는 효율적으로 마킹이 가능한 기능성 페인트의 개발 요구와 동시에 페인트 스프레이가 가능한 지뢰 위치표시장치의 개발이 요구된다.

가. 시스템 구성

지뢰위치 표시기는 페인트통과 펌프유닛, 펌프를 제어하기 위한 모터 컨트롤러, 노즐로 구성된다.

대부분의 구성품은 지뢰탐지장치의 상부암 내부에 설치되며, 펌프유닛에서 토출된 페인트는 센서유닛

후방에 설치된 노즐까지 튜브를 통해 전달된다. 페인트통은 외부에서 장탈착이 가능토록 함으로써 유지관리가 용이하도록 설계하였으며, 페인트 노즐과 펌프사이의 압력 저하를 막기 위해 체크밸브를 장착하였다.

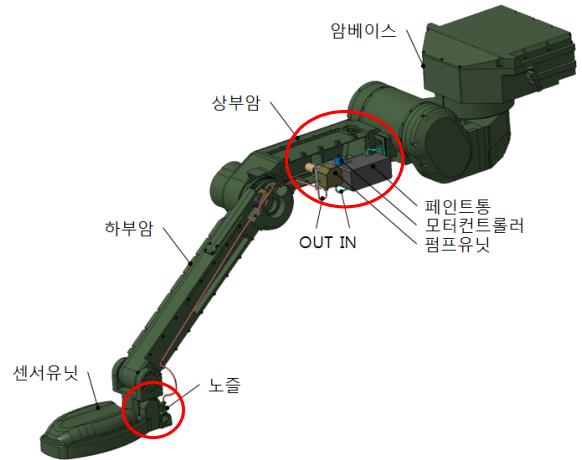


Fig. 14. 지뢰위치 표시기 설치 위치

Fig. 14는 지뢰 탐지장치에 장착된 지뢰위치 표시기의 배치를 나타낸다. 펌프유닛은 5W급의 DC모터, 유성기어 감속기 및 펌프로 구성하였다. 펌프는 페인트 튜브 내 이물질 유입의 방지에 유리하며, 누유의 최소화 에 유리한 튜빙펌프를 선정하여 적용하였다.



또한, 지뢰위치 표시 후에 모터를 잠시 역회전시킴으로써 펌프유닛으로부터 노즐까지의 공간에 남아있는 잔여 페인트를 페인트 통으로 회수할 수 있도록 함으로써 장시간 사용을 하지 않을 경우에 노즐 및 튜브 내에서의 경화로 인한 막힘을 방지하기 위한 기능을 갖추도록 설계하였다.

본 표시기에 적용한 페인트 통의 용량은 500ml로써 약 3초간 페인트를 분사할 경우, 250회 정도 지뢰위치 표시가 가능한 분량으로 선정하였다.

나. 기능성 페인트 개발 및 적용

지뢰위치 표시기에 사용되는 페인트는 지표면과 구분이 잘 되도록 채도가 높은 형광안료를 선택하였다. 첨가된 형광안료는 미세입자로 이루어져 있고, 비중이 낮아 장기간 보존해도 침전이 발생하지 않는 특성을 갖고 있다. 어는점을 낮추고 경화를 방지하기 위해 글리세롤을 첨가하였다.

Table 1. 기능성 페인트 주요 특성

구분	사양
외상	구형, 착색 분말
비중	1.3
내열성	150℃
평균입자경	3 μ m 이하
수분함유량	3% 이하
내광성	2
색상(2종)	 (연두색),  (빨간색)
어는점	-35℃

위의 Table 1은 기능성 페인트의 주요 특성을 나타낸다. 또한 야광기능을 갖는 분말형태의 축광안료를 페인트에 첨가하여 야간에도 시인성을 확보하도록 하였다. 선정된 축광안료는 잔광시간이 20시간이며 충광시 빛의 세기가 강할수록 발광의 세기 및 잔광시간이 오래가는 특징이 있다. 다만 축광안료 첨가 시 침전이 발생되므로 제한적으로 야간상황에서만 첨가하여 사용하는 것이 바람직하며, 사용 시에는 잘 섞어 사용해야 한다^[6].

다. 위치 표시기 자체 적용 실험

Fig. 15의 a는 탐지센서 후면에 탐지위치 표시를 위한 분사노즐을 부착한 후 실험실 내에서 실시한 분사 실험 장면이다. 실차 실험을 위한 적용시에는 분사노즐의 분사각도를 전방으로 더 지향하도록 조종하여 탐지센서의 중앙 하단부에 페인트가 분사되게 하였다. 다음의 그림 b는 야외 일반 비포장도로 위에서 페인트를 분사한 사진이며 식별에 문제가 없음을 확인하였다.



a. 실내 환경 b. 야외 환경

Fig. 15. 페인트 분사 장면

5. 결론

본 연구논문에서는 지면 추종을 위하여 적용된 초음파센서의 설계/개발 방안과 지뢰를 탐지한 후에 지뢰위치를 표시하기 위한 지뢰 위치 표시기의 설계/개발 방안에 대한 연구 결과에 대하여 논하였다. 이 중에서 지뢰탐지 후 위치표시를 위하여 적용한 동결방지 및 야광 기능을 추가한 기능성페인트의 적용과 튜브 내의 잔광 회수를 위하여 적용한 설계내용은 유사기능의 설계에 유용하게 적용이 가능할 것으로 판단한다.

추후 본 연구 결과 개발된 초음파센서를 적용한 지뢰탐지장치 및 지뢰위치 표시장치에 대한 기능시험과 실차 적용시험 및 시험용 지뢰를 대상으로 현장 실험을 실시하고 그 결과를 바탕으로 보완 적용함으로써 다양한 지형 하에서 효과적으로 지뢰를 탐지하고 마킹 가능한 지뢰탐지장치를 개발하고자 한다.

References

- [1] 신호철, 권정주, 이명천, 유동수, “지뢰탐지장치의 효과적인 지면 스캔 경로 연구”, 2011 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2011.
- [2] J. Duffy, “Analysis of Mechanisms and Robot Manipulators”, John Wiley, 1980.
- [3] MINEHOUND™ VMR2 Dual Sensor Mine Detector Oeration Manual Ver.04/2007.
- [4] 이명천, 이호주, 이영일, 신호철, 유동수, “3D 지형 모델 및 초음파 센싱 기반의 지뢰탐지장치 노면추종 연구”, 2010 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2010.
- [5] K. J. Sung, “A Study on the Application of Ultrasonic Sensor for Obstacle Avoidance”, 2008.
- [6] 이명천, 이석재, 강신천, 신호철, 김대제, “지뢰탐지장치용 초음파센서 및 지뢰위치 표시장치 개발/적용에 관한 연구”, 2011 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2011.