



Received: 2023/02/28
Revised: 2023/03/11
Accepted: 2023/03/30
Published: 2023/03/31

***Corresponding Author:**

Jungil Song

Dept. of Mechanical Engineering, Changwon
National University
20 Changwondaehak-ro Uichang-gu Changwon-si,
Gyeongsangnam-do, 51140, Republic of Korea
Tel: +82-55-213-2370
E-mail: jjsong@changwon.ac.kr

지뢰 탐지시스템의 구동장치 제어 연구

Study on Actuator Control of Landmine Detection System

박민수¹, 임재식², 김민수³, 김상욱⁴, 최종성⁵, 송정일^{6*}

¹창원대학교 기계공학과 박사과정

²㈜경인테크 연구소 수석연구원

³㈜경인테크 연구소 연구원

⁴㈜이성 사업부 상무

⁵㈜이성 연구소장

⁶창원대학교 기계공학부 교수

Minsu Park¹, Jae-Sik Lim², Minsu Kim³, Sanguk Kim⁴, Jongsung Choi⁵,
Jungil Song^{6*}

¹Graduate(Ph.D. course), Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University

²Chief researcher, R&D Center, Kyeongin Tech Co., Ltd.

³Researcher, R&D Center, Kyeongin Tech Co., Ltd.

⁴Senior Vice President, Business Division, Isung Co., Ltd.

⁵Head of R&D center, Isung Co., Ltd.

⁶Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Changwon National University

Abstract

지뢰탐지 시스템의 매니퓰레이터 제어는 지표면의 높이 변화를 추종하고 탐지 센서의 자세를 구동장치 제어를 통하여 구현함으로써 매설 깊이를 알 수 없는 상태에서 제어를 통해 탐지 확률을 높인다. 본 연구는 지뢰탐지 시스템의 제어를 위하여 동력학 해석, 제어기 설계, 성능 시뮬레이션, 제작 및 시험을 통해 지뢰탐지용 매니퓰레이터 제어기의 설계부터 시험까지의 과정을 소개하였다. 차별된 점은 진행방향의 지표면 높이 변화 추종외에 롤(roll) 제어 구동장치를 적용하여 센서의 초기값 설정 및 이동간의 휴대성 향상을 통한 실용성을 향상시킨 점이다. 또한 롤(roll) 구동장치의 추가적인 연구를 통해 지표면의 횡방향 변화도 추종할 수 있을 것으로 기대된다.

This study focuses on the control of a robot manipulator that implements the operation of a landmine detection system that can be mounted on a tactical vehicle.

Mine detection uses height control and pitch control drives that follow longitudinal changes. Through this, the probability of detection is increased by maintaining a constant height while the depth of burial is unknown. In this study, the final performance of the controller was confirmed through theory, performance design, performance simulation, manufacturing and testing. The differentiation of this study is that a roll-controlled driving device was used to follow the transverse direction in addition to following the longitudinal surface change. The roll driving device helps improve practicality by helping to set the initial value of the sensor and simplifying portability when moving vehicle. It is believed that further research will be able to follow the lateral changes of the surface.

Keywords

지뢰탐지 시스템(Landmine Detection System), 매니퓰레이터(Manipulator), 제어(Control), 롤 제어(Roll Control), 지면추종(Terrain Compliance)

1. 서론

1996년 국제연합과 국제적십자위원회의 발표자료에 의하면 전 세계 60여개 국가에 약 1억 1천만 개의 지뢰가 있다고 발표[1]하였으며, 한반도에는 비무장지대 인근에 약 86만발의 지뢰가 매설된 것으로 추정하고 있다. 1억 1천만 개의 지뢰를 제거하기 위한 순수 제거 비용으로 최소 약 33조 원이 필요하다는 발표[2], 한반도에 매설된 지뢰의 탐지 및 제거에만 472년이 소요된다는 발표[3] 등을 통해 알 수 있듯이 지뢰탐지 효율상승은 절실한 문제이다.

최근 유·무인 장비 중 로봇을 활용한 지뢰탐지 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 센서 분야에서는 MD(metal detector)와 GPR(ground penetrating radar)의 신호 융합을 통한 연구의 성과가 현장에 적용되고 있는 추세이며 지뢰지대의 지질에 대한 선형학습 및 지질특성에 따른 주변의 노이즈로부터 지뢰를 식별하는 다양한 소프트웨어가 개발되고 있다.

본 연구는 국내·외에 지뢰탐지 장비가 대형(예: 미국의 Niitek)이거나 소형의 개발중인 로봇인 점을 고려, 이미 전력화된 전술차량급에

서 적용 가능한 지뢰탐지 시스템의 연구분야 중에서 제어분야의 내용이다. 기존 연구와 다른 점은 병사의 수동 탐지를 최소화하고, 한국의 산악도로의 특성상 굴곡이 많은 지형에서 지표면의 높이 변화 및 경사도 변화에 따른 센서의 탐지 오류를 감소시키고자 탐지센서의 높이 제어, 각도(pitch) 제어 외에 롤(roll) 제어를 추가한 것이 특징이다. 아래 Fig. 1은 험비차량에 장착된 지뢰탐지 장치의 개념도이다.

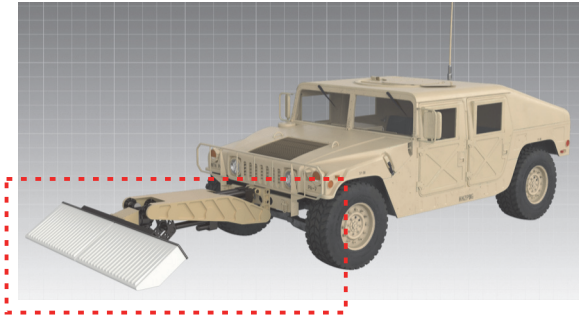


Fig. 1. Concept image of active attitude control landmine detection system attached to light tactical vehicle

2. 모델 설계 및 해석

2.1 동역학 해석

동역학 해석의 대상은 2022년도 하반기 해군군사과학기술학회에 발표된 “능동 자세제어형 지뢰 탐지시스템 연구”[4]에서 선행 연구된 기계 하드웨어 모델이다 (Fig. 2 참조). 선행연구된 구동부의 기구적 분석 내용 (Fig. 3)을 기반으로 구동부의 동적 거동을 라그랑지 방정식으로 동역학 식을 유도하였다.

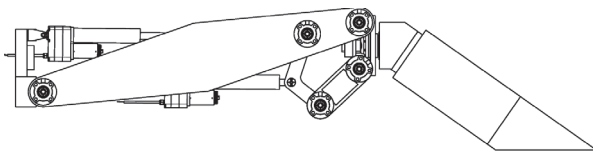


Fig. 2. Pre-studied actuator module

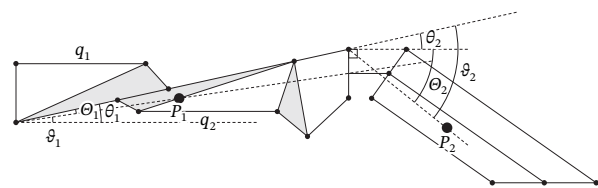


Fig. 3. Kinematic model of detection system

운동에너지 T 와 위치에너지 V 를 구하고 라그랑지안을 식 (1)과 같이 정의하면,

$$L(\vartheta, \dot{\vartheta}) = T(\vartheta, \dot{\vartheta}) - V(\vartheta) \quad (1)$$

외력 Q 가 주어질 때 라그랑지 방정식을 정의하여, 동역학이 식 (2)와 같이 정해진다.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{\vartheta}} - \frac{\partial L}{\partial \vartheta} = Q \quad (2)$$

각 관절의 질량을 m_i , 회전축에 대한 관성모멘트를 I_i 라 하고, 각 관절의 무게중심의 속도가 $v_i \in \mathbf{R}^2$, 각속도가 $w_i \in \mathbf{R}^2$ 이면 매니퓰레이터의 운동에너지는 식 (3)과 같다[5].

$$\begin{aligned} T(\vartheta, \dot{\vartheta}) &= \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2) + \frac{1}{2} I_1 \dot{\vartheta}_1^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_2^2 + \dot{y}_2^2) + \frac{1}{2} I_2 (\dot{\vartheta}_1 + \dot{\vartheta}_2)^2 \\ &= \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \dot{\vartheta}_1 \\ \dot{\vartheta}_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu c_2 & \delta + \mu c_2 \\ \delta + \mu c_2 & \delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\vartheta}_1 \\ \dot{\vartheta}_2 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, r_1, r_2 는 각 회전축에서 질량중심까지의 거리이고, 수식에 포함된 각각의 요소에 대하여 정리하면 아래의 식 (4) - 식 (12)와 같다.

$$\lambda = I_1 + I_2 + m_1 r_1^2 + m_2 (l_1^2 + r_2^2) \quad (4)$$

$$\mu = m_2 I_1 r_2 \quad (5)$$

$$\delta = I_2 + m_2 r_2^2 \quad (6)$$

$$\bar{x}_1 = r_{1c_1} \quad (7)$$

$$\bar{y}_1 = r_{1s_1} \quad (8)$$

$$\bar{x}_2 = l_{1c_1} + r_2 c_{12}, \quad \bar{y}_2 = l_{1s_1} + r_2 s_{12} \quad (9)$$

$$\dot{\bar{x}}_1 = -r_1 s_1 \dot{\vartheta}_1, \quad \dot{\bar{y}}_1 = r_1 c_1 \dot{\vartheta}_1 \quad (10)$$

$$\dot{\bar{x}}_2 = -(l_1 s_1 + r_2 s_{12}) \dot{\vartheta}_1 - r_2 s_{12} \dot{\vartheta}_2 \quad (11)$$

$$\dot{\bar{y}}_2 = (l_1 c_1 + r_2 c_{12}) \dot{\vartheta}_1 + r_2 c_{12} \dot{\vartheta}_2 \quad (12)$$

단, $s_i = \sin\theta_i$, $s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$ 이며, c_i 와 c_{ij} 도 유사하게 정의된다. 각 θ_1, θ_2 는 다음 관계를 갖는다.

$$\vartheta_i = \theta_i + \Theta_i \quad (i = 1,2) \tag{13}$$

Θ_i 는 질량중심의 회전각과 좌표축 회전각의 차를 의미한다. 매니플레이터에 대한 위치에너지 V 는 다음과 같다(g : 중력가속도).

$$V(\vartheta_1, \vartheta_2) = m_1gr_1s_1 + m_2g(l_1s_1 + r_2s_{12}) \tag{14}$$

라그랑지안 $L = T - V$ 의 정의로부터 식 (15)를 구할 수 있다.

$$M\ddot{\vartheta} + C(\vartheta, \dot{\vartheta})\dot{\vartheta} + N(\vartheta) = T \tag{15}$$

여기서,

$$\vartheta = \begin{bmatrix} \vartheta_1 \\ \vartheta_2 \end{bmatrix} \tag{16}$$

$$T = \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \end{bmatrix} \tag{17}$$

$$M = \begin{bmatrix} \lambda + 2\mu c_2 & \delta + \mu c_2 \\ \delta + \mu c_2 & \delta \end{bmatrix} \tag{18}$$

$$C(\vartheta, \dot{\vartheta}) = \begin{bmatrix} -\mu s_2 \dot{\vartheta}_2 & -\mu s_2 (\dot{\vartheta}_1 + \dot{\vartheta}_2) \\ \mu s_2 \dot{\vartheta}_1 & 0 \end{bmatrix} \tag{19}$$

$$N(\vartheta) = \begin{bmatrix} m_1gr_1c_1 + m_2g(l_1c_1 + r_2c_{12}) \\ m_2gr_2c_2 \end{bmatrix} \tag{20}$$

τ_i 는 각 축에 인가된 토크이다. 상기 동역학 방정식 (15)에서 $C(\vartheta, \dot{\vartheta})\dot{\vartheta}$ 는 코리올리의 힘에 의한 토크 성분을

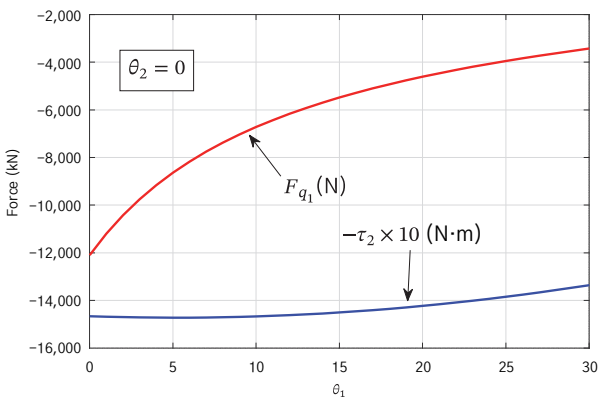


Fig. 4. The static torque(τ_1) and linear actuator's force (F_{q1}) of 1st link needed to keep $\theta_1 =$ steady state when $\theta_2 = 0$

나타내고 $N(\vartheta)$ 는 중력에 의한 토크 성분을 나타낸다. 아래 Fig. 4는 첫 번째 관절에서 $\theta_2 = 0$ 일 때 θ_1 의 각도를 일정하게 유지하기 위해 소요되는 the static torque(τ_1)와 선형 구동기에 걸리는 힘(F_{q1})을 나타낸다. Fig. 6는 두 번째 관절에서 $\theta_1 = 0$ 일 때 θ_2 의 각도를 일정하게 유지하기 위해 소요되는 the static torque(τ_2)와 선형 구동기에 걸리는 힘(F_{q2})을 나타낸다.

2.2 제어기 설계

앞 절에서 유도한 동역학식에 대한 PD제어기를 다음과 같이 설계하였다.

$$T(t) = T_{ff}(t) + K_p\vartheta_e(t) + K_d\dot{\vartheta}_e(t) \tag{21}$$

여기서 $T_{ff}(t) = C(\vartheta, \dot{\vartheta})\dot{\vartheta} + N(\vartheta)$ 로 두어 전향보상으로 코리올리 성분과 중력에 의한 성분을 제거할 수 있다. 한편, $\vartheta_e = \vartheta_r - \vartheta \in \mathbf{R}^2$ 인데, ϑ_r 은 ϑ 의 레퍼런스 신호이다.

우선 $\vartheta_r = 0$ 으로 두고 페루프시스템

$$M\ddot{\vartheta} + K_p\vartheta + K_d\dot{\vartheta} = 0 \tag{22}$$

을 안정화하는 PD 계수 $K_p, K_d \in \mathbf{R}^{2 \times 2}$ 를 구하려면 $K_p = MK'_p, K_d = MK'_d$ 를 만족하는 대각행렬 $K'_p = \text{diag}\{k_{p1}, k_{p2}\}$ 및 $K'_d = \text{diag}\{k_{d1}, k_{d2}\}$ 이 있다고 가정하고 M 이 가역이라는 성질을 이용하여 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$M\ddot{\vartheta} + K_d\dot{\vartheta} + K_p\vartheta = 0 \tag{23}$$

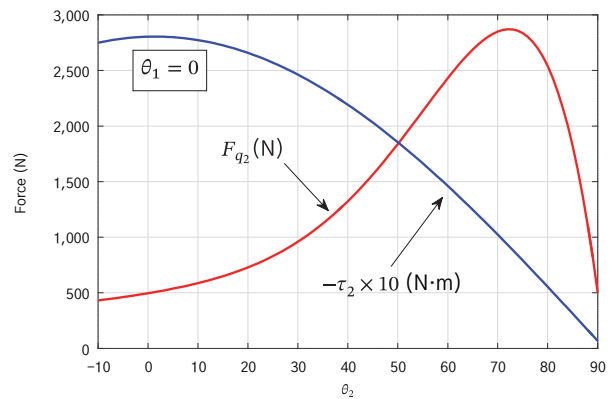


Fig. 5. The static torque(τ_2) and linear actuator's force (F_{q2}) of 2nd link needed to keep $\theta_2 =$ steady state when $\theta_1 = 0$

$$\Leftrightarrow \ddot{\theta} + K'_d \dot{\theta} + K'_p \theta = 0 \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \ddot{\theta}_1 + K_{d_1} \dot{\theta}_1 + k_{p_1} \theta_1 = 0 \\ \ddot{\theta}_2 + K_{d_2} \dot{\theta}_2 + k_{p_2} \theta_2 = 0 \end{cases} \quad (25)$$

선형시스템 설계 방법을 각각의 루프에 적용하면 적절한 이득(gain)을 구할 수 있다. 두 시스템은 다음의 특성다항식을 갖는다.

$$\Delta_i(s) = s^2 + k_{d_i} s + k_{p_i} \quad (i = 1, 2) \quad (26)$$

원하는 특성을 갖는 특성다항식을

$$\Delta_{d_i}(s) = s^2 + c_{1_i} s + c_{0_i} \quad (i = 1, 2) \quad (27)$$

라 하면 $\Delta_i = \Delta_{d_i}$ 로 두고 계수 비교를 통하여

$$k_{p_i} = c_{0_i}, \quad k_{d_i} = c_{1_i} \quad (i = 1, 2) \quad (28)$$

를 얻고 따라서 PD 계수는 다음과 같다.

$$K_p = M \text{diag}\{k_{p_1}, k_{p_2}\} \quad (29)$$

$$K_d = M \text{diag}\{k_{d_1}, k_{d_2}\} \quad (30)$$

2.3 제어기의 제어 높이 계산

지뢰탐지 센서하단과 지면 사이의 거리는 T_{01} 좌표계에서 T_{04} 좌표계까지 변환행렬로 구할 수 있다.

$$T_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & a \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$T_{12} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & L \cos \theta_1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & L \sin \theta_1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & \sin \theta_2 & 0 \\ -\sin \theta_2 & \cos \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$T_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & d \\ 0 & 1 & -b \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$T_{04} = T_{01} T_{12} T_{23} T_{34} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 - \theta_2) & \sin(\theta_1 - \theta_2) & -b \sin(\theta_1 - \theta_2) \\ \sin(\theta_1 - \theta_2) & \cos(\theta_1 - \theta_2) & +d \cos(\theta_1 - \theta_2) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

여기서, $\theta_1 - \theta_2$ 는 지뢰탐지 센서 하단과 지면과의 각도를 의미하며, 높이 h 는

$$h = a + d \sin(\theta_1 - \theta_2) - b \cos(\theta_1 - \theta_2) + L \sin(\theta_1) \quad (36)$$

순기구학을 이용하여 높이 구동기, 피치 구동기의 현

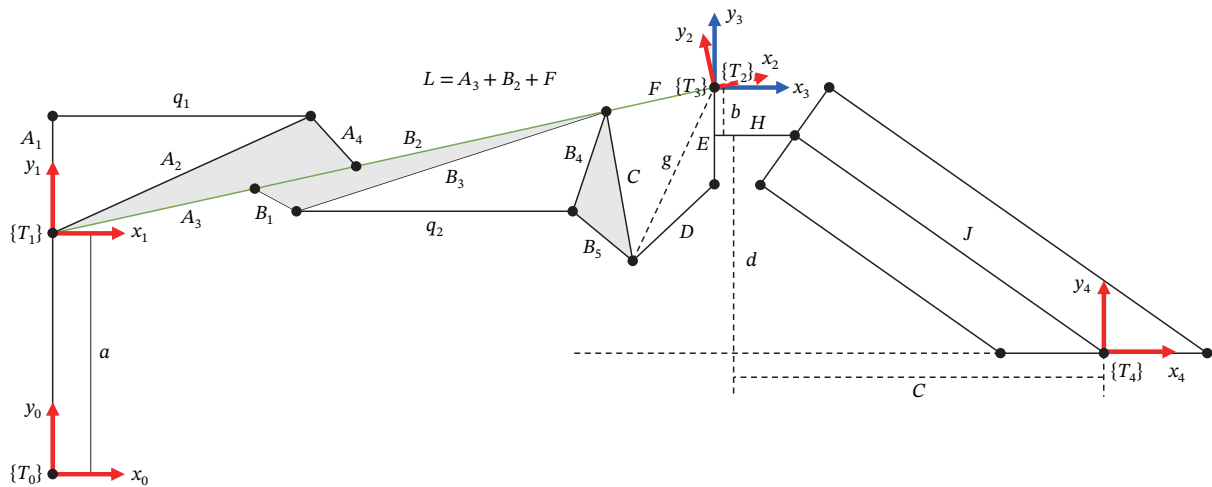


Fig. 6. Coordinate system designation from T_{01} to T_{04}

제 상태를 통하여 θ_1, θ_2 를 계산하여 구할 수 있고 높이 h 도 계산된다. 여기서 약 34 Hz 주기로 높이센서 데이터가 실시간으로 전송되고 그 높이를 h_s 라 하고 지면과 추종되는 기준높이를 H_r 이라고 했을 때 제어해야 할 최종높이 h_r 은

$$h_r = h - h_s + H_r \tag{37}$$

계산된 h_r 을 이용, 지면추종을 위한 높이 구동기, 피치 구동기의 길이를 지면과의 각도는 0° 로 설정하여 높이 구동기 및 피치 구동기의 길이를 산출하면

$$h_r = a - b + L \sin(\theta_1) \tag{38}$$

여기서 θ_1 을 구할 수 있고, q_1 은 삼각형의 코사인 법칙을 이용하면 식 (39)와 같이 구할 수 있다(Fig. 7 참조).

$$q_1 = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 \sin(\theta_1 + \psi_1)} \tag{39}$$

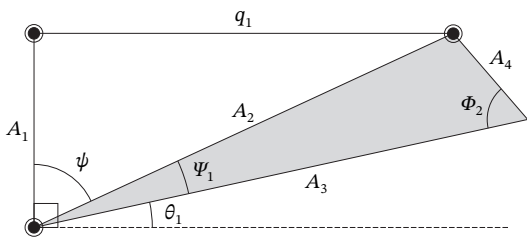


Fig. 7. Diagram for derivation of the relation between q_1 and Q_1

q_2 는 주어진 θ_2 로부터, $\alpha, l, \beta_1, \beta_2, \phi_3$ 를 차례로 구한 후 q_1 과 같은 방법으로 식을 유도하면 식 (40)과 같다 (Fig. 8 참조).

$$q_2 = \sqrt{B_3^2 + B_4^2 - 2B_3B_4 \sin(\phi_3)} \tag{40}$$

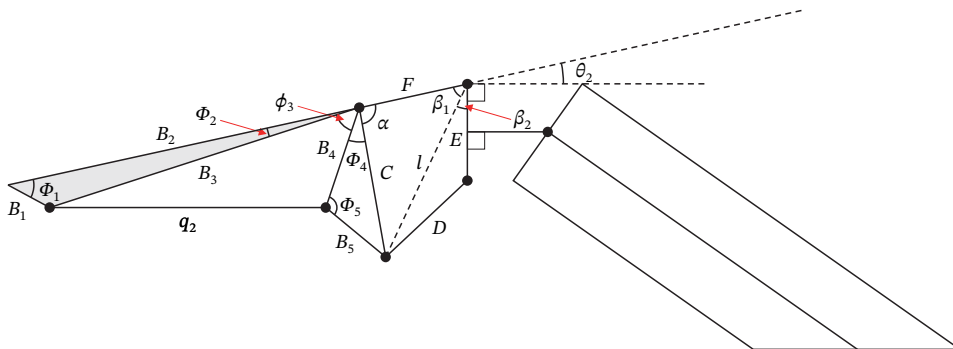


Fig. 8. Diagram for derivation of the relation between q_2 and Q_2

2.4 제어 알고리즘 설계

제어 알고리즘은 센서와 지면과의 높이를 일정하게 실시간 제어하도록 설계되었다. 지면 추종제어에 의하여 제어될 최종높이는 지뢰탐지 센서부에서 자동으로 측정된 지면 높이 데이터, 순기구학에 의해 계산된 높이 및 지면 추종 기준높이에 의하여 최종 제어될 높이가 계산된다. Fig. 9는 지면 추종제어를 수행하기 위하여 이루어지는 유도과정이다.

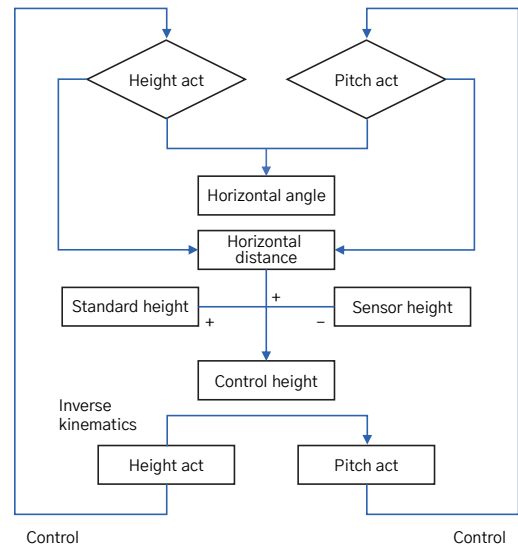


Fig. 9. Terrain adaptive height control block diagram

최종 제어높이는 식 (31) - 식 (35)를 통하여 관절의 길이 및 각도 $q_1, q_2, \theta_1, \theta_2$ 의 값으로 계산된다. 제어 알고리즘은 이 계산과정을 통하여 지뢰탐지 센서 하단이 지면으로부터 수평 상태로 일정 높이를 유지하며 지면과의 높이를 일정하게 추종하도록 설계되었다. Fig. 10은 제어알고리즘을 통하여 계산된 값을 역기구학을 통해 검증하는 과정을 표시하였다.

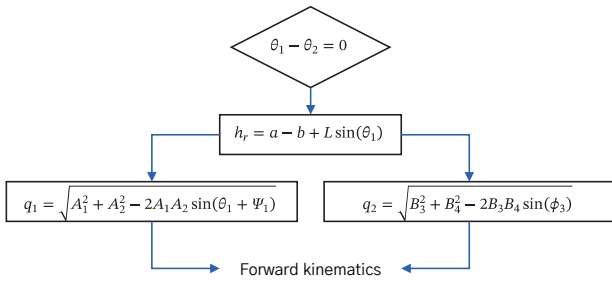


Fig. 10. Inverse kinematic diagram to check $q_1, q_2, \theta_1, \theta_2$

2.5 제어 성능 시뮬레이션

2.5.1 제어 레퍼런스

탐지센서와 지면 사이의 거리 기준은 $H_r = 150 \text{ mm}$ 로 유지하도록 하였다. 센서가 측정한 높이를 h_s , 베이스 좌표계 기준으로 현재의 높이를 h 라 하면 앞에서 도출한 식 (38)과 같다.

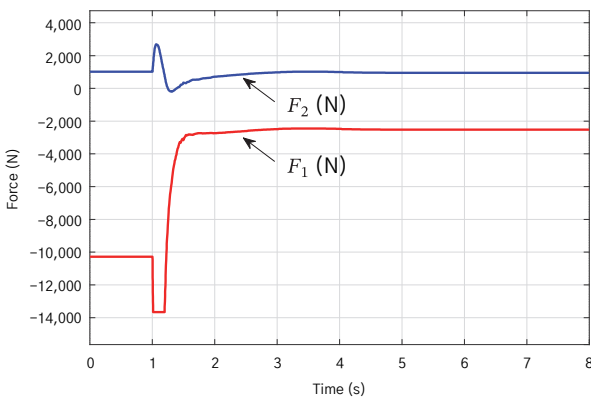


Fig. 11. Changes of pitch actuator’s force F_1 (N) when reference signal (ϑ_2) is fixed and changes ϑ_1

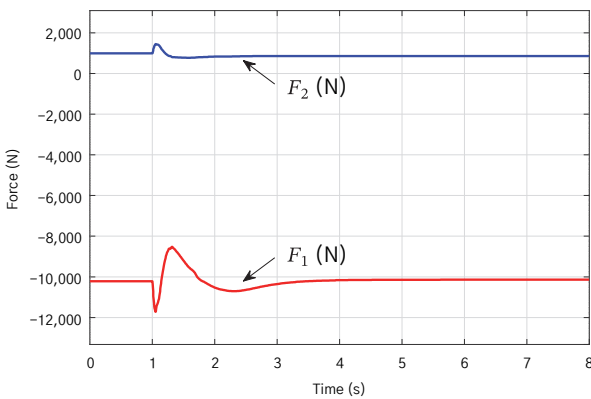


Fig. 13. Changes of height actuator’s force F_1 (N) when reference signal (ϑ_2) is fixed and changes ϑ_1

2.5.2 구동기 제어 시뮬레이션

MATLAB Simulink를 이용, 구동기 제어시스템의 시뮬레이션 결과 높이 구동기, 피치 구동기에 대한 각도 명령 변화에 대한 응답을 확인하였다(Figs. 11-14).

3. 제작

3.1 제어부

매니플레이터 제어를 위해 Table 1의 design target 을 참고하여 제어방식의 결정, 제어기 구성요소 식별, 제어회로 설계, 제어 알고리즘 설계 및 시뮬레이션을 수행하였다. 제어방식으로는 PD 제어기를 사용하였다. 이는 매니플레이터의 급격한 변화를 감소시키고 제어목표치에 미분에 의한 변화율을 제어요소로 반영하기 때문이다.

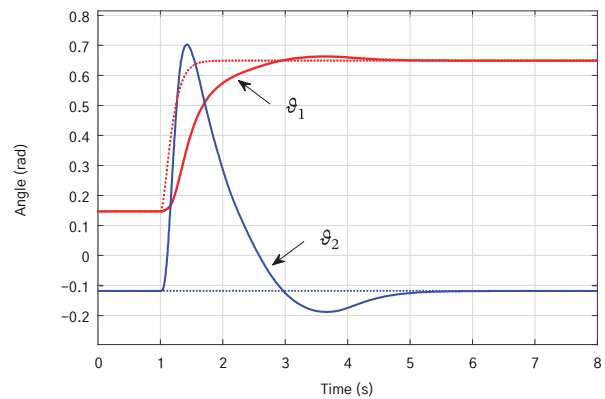


Fig. 12. Response speed (ϑ_1) of pitch actuator link angle when uniform reference signal (ϑ_2) is applied to actuator

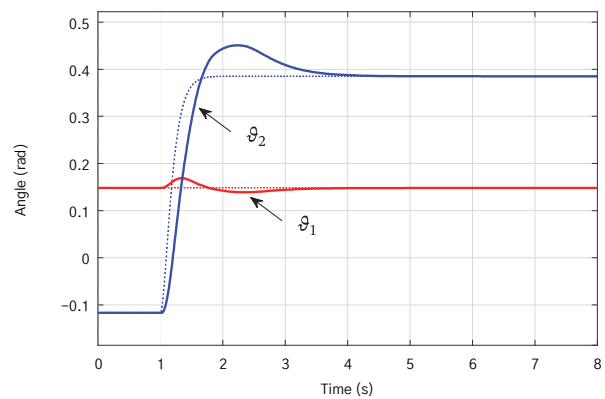


Fig. 14. Response speed (ϑ_1) characteristic of height actuator link angle when uniform reference signal (ϑ_1) is applied and changes ϑ_2

3.1.1 제어기 하드웨어 요소

매니플레이터의 제어 하드웨어는 Table 1과 같다. 주요 하드웨어는 높이, 피치, 롤 구동용 모터, 통합컴퓨터, 위치 미속도 feedback 센서, 지뢰위치 표시기, 통신시스템에 관련된 하드웨어들이다.

Table 1. Main controller hardware components

Components	Control method	Function
Height control actuator	Voltage control	Bidirectional DC motor drive
Pitch control actuator	Voltage control	Bidirectional DC motor drive
Roll control actuator	CAN	Roll actuator control
Integrated console	RS422	Send and receive control/status information
	RS232	Data extraction
Encoder	SSI	Roll angle measurement
Potentiometer	Analog 0V - 5V	Actuator length information measurement

3.1.2 주 제어보드

주 제어보드는 선형구동장치 및 롤 구동장치를 제어하며, 포텐셔미터(potentiometer) 및 엔코더(encoder)의 측정 데이터를 통합 제어컴퓨터에 전송하며, 통합 제어컴퓨터에서는 실시간으로 계산된 제어명령에 따라 구동기가 동작하도록 설계 및 제작되었다(Figs. 15-16 참조). 프로그래밍이 가능한 digital signal processor를 탑재하였고 프로그램은 analog signal과 CAN통신, SSI통신, 시리얼 통신을 이용하여 데이터 처리 및 전송, 구동기 제어, 지뢰표시장치 on/off 기능 등을 가진다.



Fig. 15. Manufactured controller

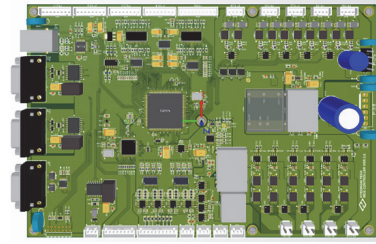


Fig. 16. Controller main board

4. 시험

4.1 시스템 운용모드 구현 시험

지뢰탐지시스템의 운용은 탐지모드, 이동모드 및 세팅모드로 구분할 수 있다. 제작된 매니플레이터를 구동하여 각 모드별 동작을 Fig. 17에 구현하였다.



(a) Detection mode (b) Vehicle move mode (c) Setting mode

Fig. 17. Modes of manipulator operation

4.2 지뢰탐지 시스템 성능시험

4.2.1 제어 높이구현 시험

제어높이에 대한 다양한 높이를 구현하는 시험을 진행하였고 Fig. 18, Fig. 19은 각 상승 하강의 대표적인 결과값이다. 통합콘솔을 통하여 제어지령을 내려 시험한 결과, 센서와 지면과의 각도를 수평을 유지하면서 각각의 제어높이가 구현되는 것을 확인하였다.

4.2.2 지면추종 시험

높이 센서의 데이터를 이용하여 지면추종 모드의 성능을 지뢰탐지 시스템 구동부의 제어 알고리즘으로 확인하였다. 장애물로는 경사진 형상의 최대높이가 200 mm, 경사각도가 10° 인 형상을 사용하였다

Fig. 20과 Fig. 21에서 확인할 수 있듯이 지뢰탐지 센서부와 지면과의 각도는 거의 0°이며 센서 높이도 기준 높이인 200 mm를 유지하는 것을 확인하였다.

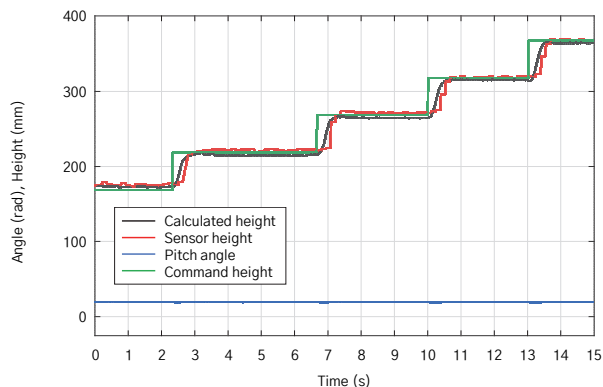


Fig. 18. 150–350[mm] height command and result

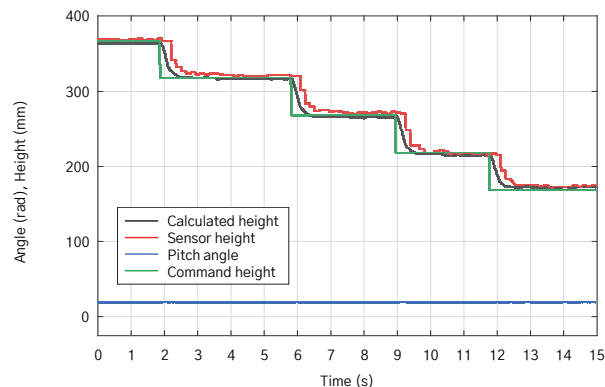


Fig. 19. 350–150[mm] height command and result

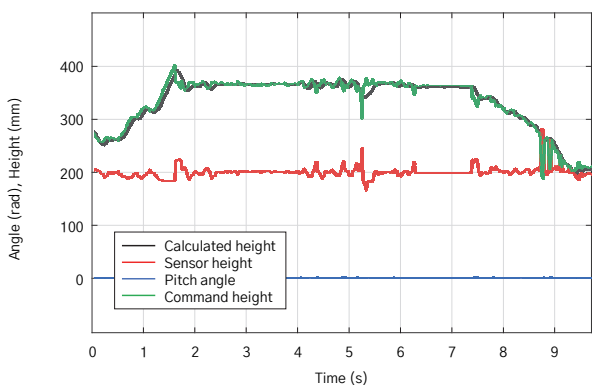


Fig. 20. Terrain compliance result #1

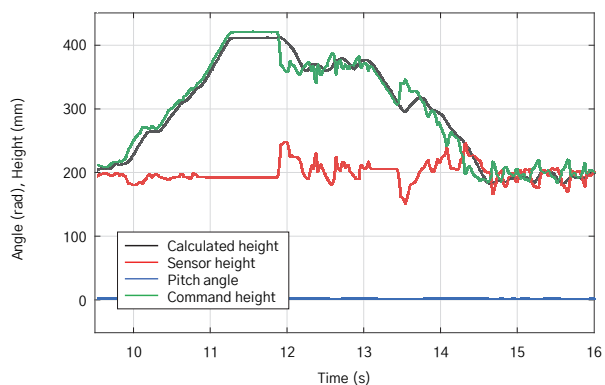


Fig. 21. Terrain compliance result #2

5. 결론

본 논문은 중·소형무인 로봇 또는 유인 전술차량에 적용 가능한 지뢰탐지시스템의 3-DOF 매니퓰레이터 구동제어에 대한 연구를 수행하였다. 구체적으로 탐지센서가 지면의 높이 변화를 추종하고, 센서판이 지표면을 향하는 자세를 유지하도록 알고리즘 및 제어 방안을 이론적인 계산, 설계, 성능 시뮬레이션, 제작을 통해 구현하였고 시험을 통해 유효성을 검증하였다.

탐지센서의 자세제어를 위하여 롤(roll) 구동장치를 높이 및 자세제어 구동장치 외에 추가로 적용하여 야전에서의 실용성을 향상시켰다. 즉 센서판을 초기화 세팅할 때 주변의 노이즈를 피하도록 허공을 향하여 급속탐지(MD) 센서 및 지표투과레이더(GPR) 센서를 초기화하고, 탐지 장비의 이동 시 센서판을 뒤로 접어 휴대성을 향상시켰다. 또한 추가적인 roll 제어기에 대한 연구를 통하여 현재 구현한 중방향 높이추종제어 외에 횡방향의 높이 변화에 대한 추종제어도 가능할 것으로 기대된다.

지뢰탐지 작업은 병사가 지뢰매설 지역에 투입되어

직접 수행하는 위험작업으로 장비로 대체함으로써 병사의 위험을 줄임은 물론, 탐지속도 및 효율(오탐지율 개선등)을 향상시켜야 한다. 향후 전술차량급 또는 타 플랫폼에 연구된 지뢰탐지 시스템을 적용하면 산악의 소로길, 사막지대, 향만 등의 지뢰매설 지역에서 차량을 활용하여 신속(5 km/h)하고 효율적인 탐지를 수행할 수 있을 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] Jody Williams ICRC 31-08-1995 Article “Landmines and measures to eliminate them,” International Review of the Red Cross, No. 307 a
- [2] Louise Doswald-Beck, Peter Herby, Johanne Dorais-Slakmon. 01-01-1995, “Basic Facts: the human cost of landmines,” International Review of the Red Cross
- [3] 이용민 “지뢰제거 효율화 방안” 2018. 7, pp. 11, 민주연구원
- [4] 박민수, 송정일, 임재식, 김민수, 김상욱. 2022, 한국해군과학기술학회 하계대회 논문집. ‘능동 자세제어형 지뢰탐지시스템 연구’
- [5] R. M. Murray, S. S. Sastry, L. Zexiang, A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation, 1st Edition, CRC Press, Inc., USA, 1994.