

논문 2017-12-31

센서 오차를 고려한 기뢰제거용 무인잠수정의 유도방법

(A Study on Guidance Methods of Mine Disposal Vehicle Considering the Sensor Errors)

변승우*, 김동희, 임종빈, 한종훈, 박도현

(Seung-Woo Byun, Donghee Kim, Jong-Bin Im, Jong-Hoon Han, Do-Hyun Park)

Abstract : This paper introduces mathematical modelling and control algorithm of expendable mine disposal vehicle. This vehicle has two longitudinal thrusters, one vertical thruster and internal mass moving system which can control pitch rate. Also, the vehicle has an optical camera and forward looking sonar for underwater mine detection and classification. The vehicle is controlled via an optical cable connected with operating console on the mother ship. We describe the vehicle's 6DOF dynamic model and controller which can track the desired trajectory for the way-point tracking. These simulation results shows guidance and maneuvering performance which has other sensor data or not.

Keywords : Mine disposal vehicle, Modeling, Detection and classification, Simulation, Guidance

I. 서론

제래식 무기라 할 수 있는 기뢰는 한발로 대형 함정 및 잠수함을 무력화 시킬 수 있는 효과적인 무기체계이며 또한 주요 항만이나 항로상의 위협세력에 대한 접근을 막을 수 있는 효과적인 무기체계이다. 이에 해군의 작전도 대양작전에서 연안작전(Littoral Warfare)으로 패러다임이 변화하면서 연안의 작전 중에서도 기뢰대항전의 중요성은 크다고 할 수 있다 [1].

기뢰전은 기뢰부설 (Mine-Laying)과 기뢰대항전 (Mine Countermeasure)으로 구분할 수 있으며, 기뢰부설은 기뢰의 제작, 운반, 보관, 그리고 항공기, 잠수함, 수상함 등에 의한 부설과정을 의미한다. 기뢰대항전은 기뢰부설 자체를 억제하는 공세적 방법과 부설된 기뢰를 제거하는 방어적 방법이 있다. 기뢰를 제거하는 방법에는 기뢰를 개별적으로 탐색, 식별, 확인 그리고 제거하는 기뢰탐색 (Mine Hunting)과 기계식 또는 감응기뢰 소해구를 함미에

예인하여 소해구로 계류기뢰의 계류색을 절단하여 기뢰를 부상시켜 폭발하거나, 복합신호를 이용하여 기뢰를 폭발시키는 기뢰소해 (Mine Sweeping)가 있다 [2, 3].

본 논문에서는 기뢰대항전에 사용되는 기뢰제거용 무인잠수정 운용 시 발생할 수 있는 함정과 연동 중단이 발생한 경우, 위치/방위 측정 센서의 오차가 존재함에도 불구하고 무인잠수정을 표적으로 유도하는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

기뢰제거용 무인잠수정을 수중의 표적 위치까지 유도하기 위해서는 함정에 탑재된 음탐기를 이용해 획득한 표적까지의 상대위치 및 방위 정보를 전술 정보처리장치 (TDS)를 통해 무인잠수정으로 실시간 전송하여야 하며, 이를 활용하여 표적 위치를 확인 하면서 무인잠수정을 유도할 수 있다. 그러나 무인잠수정 운용 중 TDS와의 연동이 중단된 경우 무인잠수정은 표적까지의 상대위치 및 방위 정보를 전송받지 못하게 되며 표적으로의 유도가 불가능하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 TDS와의 연동이 중단된 경우에 함정에 탑재된 GPS의 위치정보와 음탐기에 의해 최종적으로 확인된 표적까지의 상대거리 및 방위 정보를 이용하여 표적의 절대위치와 방위 정보를 이용하여 무인잠수정을 표적이 위치해 있을 것으로 추정되는 위치까지 유도하는 시뮬레이션을 수행하였다.

*Corresponding Author

(seungwoo1.byun@hanwha.com)

Received: July 31 2017, Revised: Aug. 29 2017,

Accepted: Aug. 31 2017.

S.W. Byun, D. Kim, J.B. Im, D.H. Park:

Hanwha Systems Co., Ltd.

II. 무인잠수정 운용개념 및 구성

본 논문에서 다루는 기뢰제거용 무인잠수정은 소모성으로 운용되는 무인잠수정이며, 운용개념 및 시스템 구성은 그림 1, 2와 같다. 주요 임무는 함정에서 탐지한 기뢰에 접근한 후 플랫폼에 장착된 탄두부를 이용하여 자폭과 동시에 기뢰를 제거하는 임무를 수행한다 [4].

무인잠수정은 함정에서 진수되어 함정의 음탐기와 무인잠수정의 수중위치인식시스템으로부터 위치 신호를 전달 받으면서 기뢰추정 물체까지 이동하고, 탑재된 전방소나를 이용하여 약 15m 이격거리에서 탐지한 후 기뢰추정물체까지 접근 후 광학카메라를 이용하여 기뢰를 최종 식별한 다음 자폭을 통해 기뢰를 제거하는 절차로 운용된다. 위에서 설명한 운용 절차를 요약하면 다음과 같다.

1. 함정의 음탐기를 이용 기뢰추정물체 탐지
2. 기뢰제거용 무인잠수정 진수
3. 음탐기 빔폭 안으로 유도
4. 기뢰추정물체까지 유도
5. 전방소나 및 카메라 이용 기뢰 탐지/식별
6. 자폭으로 기뢰제거



그림 1. 기뢰제거용 무인잠수정 운용개념도
Fig. 1 Operation concept of mine disposal UUV

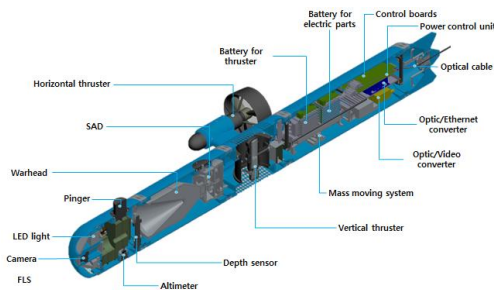


그림 2. 기뢰제거용 무인잠수정 하드웨어 구성
Fig. 2 Hardware configuration of UUV

이를 위해 기뢰제거용 무인잠수정 플랫폼은 선수부, 탄두부, 추진부, 전장부 선미부의 5개 모듈로 구성된다. 선수부에는 광학카메라, 전방소나, LED라이트, 마그네틱컴파스, 심도계와 고도계가 위치하여 운항에 필요한 정보를 제공하고, 기뢰를 탐지/식별한다. 탄두부는 기뢰제거를 위한 성형작약탄인 탄두장치와 이중화된 신관안전장치를 포함하고 있으며, 추진부는 2개의 수평추진기와 1개의 수직추진기로 구성된다. 전장부에는 전원장치와 정보처리장치, 피치각 제어를 위한 운동제어부 (질량이동장치)가 위치하며, 선미부에는 운용콘솔과 연결되는 광케이블과 커넥터로 연결되어 있다.

III. 무인잠수정 및 센서 모델링

1. 무인잠수정 모델링

기뢰제거용 무인잠수정에 대해 수중에서의 동적 거동을 파악하고, 특정한 임무 수행을 위한 경로 생성 알고리즘 및 제어기의 성능을 확인하기 위하여 무인잠수정에 대한 수학적 동역학모델이 필요하다. 이를 위하여 그림 3에서 나타낸 바와 같이 선체고정좌표계에 대해 6자유도 비선형 운동방정식을 식 (1)과 같이 유도할 수 있으며, 이를 이용하여 기뢰제거용 무인잠수정의 수중 운동 시뮬레이션을 수행하도록 한다.

$$\begin{aligned}
 m[\dot{u}-vr+wq+z_G(pr+\dot{q})] &= X \\
 m[\dot{v}+ur-wp+z_G(qr-\dot{p})] &= Y \\
 m[\dot{w}-uq+vp-z_G(p^2+\dot{q}^2)] &= Z \\
 I_{xx}\dot{p}+(I_{xx}-I_{yy})qr-(\dot{r}+pq)I_{zx}+(r^2+\dot{q}^2)I_{yz} \\
 + (pr-\dot{q})I_{xy}-mz_G(\dot{v}+ur-wp) &= K \quad (1) \\
 I_{yy}\dot{q}+(I_{xx}-I_{zz})pr-(\dot{p}+qr)I_{xy}+(\dot{p}^2-r^2)I_{zx} \\
 + (qp-\dot{r})I_{yz}+mz_G(\dot{u}-vr+wq) &= M \\
 I_{zz}\dot{r}+(I_{yy}-I_{xx})pq-(\dot{q}+rp)I_{yz}+(\dot{q}^2-p^2)I_{xy} \\
 + (rq-\dot{p})I_{zx} &= N
 \end{aligned}$$

여기서 u, v, w 와 p, q, r 은 각각 x, y, z 축에 대한 무인잠수정의 병진운동 속도와 회전운동 각속도를 나타낸다. m 은 무인잠수정의 질량을 의미하고, I_{ij} 는 각 첨자의 축에 대한 무인잠수정의 질량관성모멘트를 나타내고, z_G 는 무인잠수정의 수직방향의 질량중심 위치를 나타낸다. 또한 식 (1)의 우변에 있는 X, Y, Z, K, M, N 은 각각의 운동방향에 대해 추력, 부력, 중력 및 유체력 등과 같이 무인잠수정에 작용하는 외력과 모멘트를 나타낸다.

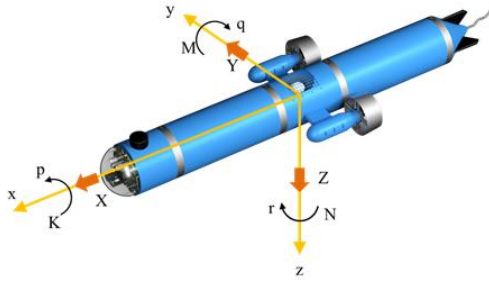


그림 3. 무인잠수정 좌표계
Fig. 3 Coordinate system of UUV

표현의 단순화를 위하여 식 (1)을 행렬형태로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M_{RB}\dot{\nu} + C_{RB}(\nu)\nu = \tau \quad ; \quad (2)$$

$$\nu = [u, v, w, p, q, r]^T$$

식 (2)의 우변에 나타난 무인잠수정에 작용하는 외력과 모멘트는 식 (3)과 같이 동유체력, 중력 및 부력을 포함하는 유체력과 추진기에 의해 무인잠수정에 가해지는 제어력으로 구분할 수 있다.

$$\tau = -M_A\dot{\nu} - C_A(\nu)\nu - D(\nu)\nu - G_v(\eta) + \tau_c \quad (3)$$

식 (2)와 (3)에 의해 기뢰제거용 무인잠수정의 6 자유도 비선형 운동방정식은 식 (4)와 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$M_v\dot{\nu} + C_v(\nu)\nu + D_v(\nu)\nu + G_v(\eta) = \tau_c \quad ; \quad (4)$$

$$\eta = [x, y, z, \phi, \theta, \psi]^T$$

여기서 η 는 지구고정좌표계에서 표현한 무인잠수정의 각 축 방향의 위치 및 방향각을 나타내고, τ_c 는 무인잠수정에 가해지는 제어력을 나타낸다.

2. 조류모델 및 센서 오차 모델

본 절에서는 무인잠수정의 시뮬레이션 정확도를 높이기 위해서 실 운용환경에서 발생할 수 있는 조류에 의한 영향과 센서의 오차를 고려하였다.

조류모델을 적용하기 위해서는 바람이나 파도 또는 해양 온도차, 조수의 차 등과 같은 다양한 요인들을 고려해야 하지만 이를 수학적으로 정확히 모델링하는 것은 매우 어려운 작업이다. 따라서, 일반적으로 무인잠수정의 운동 시뮬레이션에서는 조류

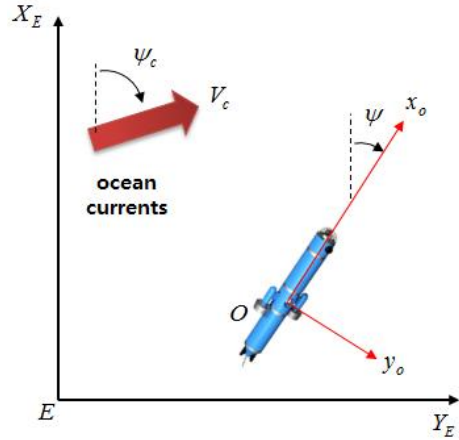


그림 4. 2차원 평면 조류 모델
Fig. 4 Ocean currents model in a plane

를 1차 Gauss-Markov 프로세스를 이용하여 표현한다 [5].

본 논문에서는 2차원 평면상에서 그림 4와 같이 조류의 영향을 조류 속도 V_c 와 조류의 진행 방향 ψ_c 로 모델링하여 무인잠수정의 운동방정식에 조류의 영향을 포함하도록 하였다.

그림 4에서 좌표계 {E}는 지구고정좌표계를 나타내고, {O}는 무인잠수정에 고정된 선체고정좌표계를 나타낸다. 지구고정좌표계 및 좌표변환을 통한 선체고정좌표계에서 표현한 조류속도는 각각 식 (5), (6)과 같다.

$$\begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix}_E = \begin{bmatrix} V_c \cos \psi_c \\ V_c \sin \psi_c \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix}_O = \begin{bmatrix} \cos \psi & \sin \psi \\ -\sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_c \\ v_c \end{bmatrix}_E \quad (6)$$

$$= \begin{bmatrix} V_c \cos(\psi_c - \psi) \\ V_c \sin(\psi_c - \psi) \end{bmatrix}$$

위 식 (6)에서 실시간으로 변하는 조류속도에 대한 모델은 앞서 언급한 1차 Gauss-Markov 프로세스를 이용하여 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\dot{V}_c(t) = -\mu_0 V_c(t) + w_0(t)$$

$$V_c(0) = 0.5(V_{\max} + V_{\min})$$

$$V_{\min} \leq V_c(t) \leq V_{\max} \quad (7)$$

여기서 μ_0 는 양의 값을 갖는 상수이며, $w_0(t)$ 는 조류속도 변수에 대한 정규분포를 갖는 랜덤변수를 나타낸다.

표 1. 센서 모델 및 오차 특성
Table 1. Sensor model and specification

	Model / Specification
GPS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Military : Max. 1m ▪ DGPS: Max. 2m ▪ Commercial GPS: Max. 10m
USBL	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Company/Model: Applied Acoustics/Easytrak USBL Systems ▪ 2m (@500m range)
Magnetic Compass	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Company/Model: PNI/TCM-XB ▪ Max. 0.5°

또한, GPS, USBL 및 마그네틱컴파스와 같은 센서들은 항상 측정 오차를 포함하고 있기 때문에 이러한 오차들이 존재함에도 불구하고 표적 위치까지 무인잠수정을 유도할 수 있는 가에 대한 검증이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 표 1과 같이 무인잠수정 유도시스템에 사용된 각 센서들의 오차 성능을 분석하였으며, 이를 시뮬레이션에 반영하여 유도성능을 확인하였다.

표 1과 같은 각 센서들의 오차를 모델링하기 위하여 본 논문에서는 식 (8)과 같이 센서에 의해 측정되는 값을 백색잡음으로 모델링하였다.

$$\begin{aligned}
 m_{sen} &= m_0 + w_n \quad ; \\
 m_{sen} &= [P_{gps}, P_{usbl}, \psi_{mc}]^T \quad (8) \\
 w_n &\sim N(\mu_i, \sigma_i^2) \quad \text{for } i=1,2,3
 \end{aligned}$$

여기서 m_{sen} 은 GPS에 의해 측정되는 함정의 위치 P_{gps} , USBL에 의해 측정되는 무인잠수정의 위치 P_{usbl} 및 마그네틱컴파스에 의해 측정되는 무인잠수정의 방위 ψ_{mc} 로 구성된 센서측정벡터이다. 또한 w_n 은 각 센서들의 오차를 반영하기 위한 오차 벡터이다.

3. 목표 경로 생성 및 제어 알고리즘

기뢰제거용 무인잠수정을 표적 위치로 유도하기 위해서는 무인잠수정이 진행해야 할 목표 방향각, 목표 피치각 및 목표 수심을 설정할 필요가 있다. 목표 수심 및 목표 피치각은 음탐기로부터 획득한 수심정보와 현재 무인잠수정의 위치정보를 이용하여 설정할 수 있다. 무인잠수정의 목표 방향각을 설정하기 위해 본 논문에서는 그림 5에 나타낸 바와

같이 LOS (Line of Sight) 기법과 CTE (Cross Track Error) 기법을 적용하였다 [6, 7].

그림 5에서 i 번째 경유점은 함정으로 설정할 수 있고, $i+1$ 번째 경유점은 표적으로 설정할 수 있다. 함정에서 진수된 무인잠수정이 표적까지의 직선 경로로 빠르게 수렴하면서 표적방향으로 이동하기 위해서 CTE인 $\varepsilon(t)$ 을 줄일 수 있는 방향으로 목표 방향각 ψ_d 를 설정하도록 식 (9)와 같이 설계하였다.

$$\begin{aligned}
 \psi_d(t) &= \alpha - \beta \quad ; \\
 \alpha &= \tan^{-1}\left(\frac{\varepsilon}{\delta}\right) \quad (9) \\
 \beta &= \tan^{-1}\left(\frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}\right)
 \end{aligned}$$

여기서 ψ_d 는 무인잠수정의 목표 방향각을 나타내며, (X_i, Y_i) 와 (X_{i+1}, Y_{i+1}) 는 각 경유점의 수평면 절대좌표를 나타내며, 본 연구에서는 GPS 측정정보와 음탐기에 의해 탐지된 정보를 통해 경유점의 절대좌표 정보를 항상 알 수 있다고 가정하였다.

식 (9)에서 CTE인 $\varepsilon(t)$ 은 다음과 같은 식 (10)에 의해 구할 수 있으며, δ 는 전방 주시 거리 (Look-ahead distance)로서 무인잠수정의 목표 방향각을 결정하기 위해 사용자가 선정하는 파라미터이다.

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= S \cdot \tan \gamma \quad ; \\
 S &= \vec{r}_v \cdot \vec{r}_i / L_i \\
 \vec{r}_v &= [X_{i+1} - X_v, Y_{i+1} - Y_v] \\
 \vec{r}_i &= [X_{i+1} - X_i, Y_{i+1} - Y_i] \quad (10) \\
 L_i &= \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2} \\
 L_v &= \sqrt{(X_{i+1} - X_v)^2 + (Y_{i+1} - Y_v)^2} \\
 \gamma &= \cos^{-1}\left(\frac{S}{L_v}\right)
 \end{aligned}$$

여기서 벡터 \vec{r}_v 와 \vec{r}_i 는 각각 표적에서부터 잠수정까지의 위치벡터와 표적에서부터 함정까지의 위치벡터를 나타낸다.

경로 및 경유점을 추종하기 위한 다양한 제어 알고리즘들이 있지만 [8-10], 본 논문에서는 생성된 목표 수심, 피치각 및 방향각을 추종할 수 있도록 각각의 독립적인 PD 제어기를 설계하였으며, 식 (11)

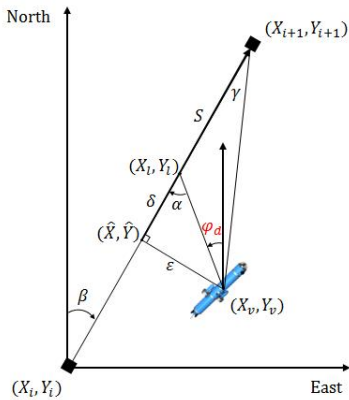


그림 5. 목표 방향각 생성 알고리즘 개념도
Fig. 5 Conceptual diagram of desired heading angle generation algorithm

에 나타내었다. 목표 수심을 제어하기 위해서는 무인잠수정에 장착된 1개의 수직추진기를 이용하게 되며, 내부에 장착된 질량이동장치를 이용하여 목표 피치각을 제어할 수 있다. 또한 무인잠수정 좌우에 장착된 2개의 수평추진기를 이용하여 목표방향각을 제어하도록 하였다.

$$\begin{aligned}
 U_z &= K_{pz}(z_d - z) + K_{dz}(\dot{z}_d - \dot{z}) \\
 U_\theta &= K_{p\theta}(\theta_d - \theta) + K_{d\theta}(\dot{\theta}_d - \dot{\theta}) \\
 U_\psi &= K_{p\psi}(\psi_d - \psi) + K_{d\psi}(\dot{\psi}_d - \dot{\psi})
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

IV. 운용 시뮬레이션

본 장에서는 3장에서 제시한 기뢰제거용 무인잠수정의 표적 위치까지의 유도기법에 대한 성능을 검증하기 위하여 조류모델과 센서 오차 모델을 포함한 무인잠수정 운동모델을 이용하여 운용 시뮬레이션을 수행하였다.

본 운용 시뮬레이션의 목적은 무인잠수정이 함정의 TDS로부터 표적까지의 상대 위치 및 방위 정보를 실시간으로 수신하여 표적으로 유도하는 과정에서, TDS와의 연동 중단이 발생하였을 경우 최종적으로 수신한 위치와 방위 정보를 바탕으로 무인잠수정을 표적까지 유도 가능한가에 대한 여부를 확인함에 있다. 이를 위하여 표적의 절대 위치와 방위, 무인잠수정의 절대 위치 및 방위 정보는 항상 이용 가능하여야 한다. 또한 함정의 GPS 및 무인

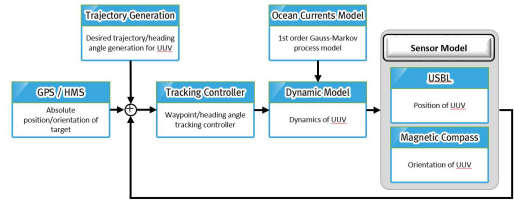


그림 6. 시뮬레이션 구성도
Fig. 6 Block diagram of simulation

잠수정에 장착된 USBL과 마그네틱컴파스 센서는 앞 장에서 나타낸 바와 같이 측정 오차를 포함하고 있으며, 평균 2노트의 조류속도가 존재할 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 6은 시뮬레이션 구성도를 나타낸다. 기뢰제거용 무인잠수정의 운용 시뮬레이션 절차는 다음과 같다.

1. 함정 우현에서 무인잠수정 진수 (함정과 표적의 이격거리 500m)
2. 무인잠수정 유도 중 TDS와의 연동 중단 (진수 후 150초 운용 이후 연동 중단)
3. TDS로부터 최종 수신된 표적의 절대 위치/방위 정보를 활용하여 무인잠수정 유도
4. 무인잠수정 전방소나 탐지영역 내 유도 (표적 중심으로부터 반경 15m 이내)

먼저 TDS와의 연동이 지속적으로 수행된 경우에 대한 무인잠수정의 유도 시뮬레이션 결과를 그림 7에 나타내었다. 무인잠수정의 운용 절차에 따라 함정 우현에서 진수된 무인잠수정이 함정의 음탐 가능영역 안으로 진입한 후 표적의 위치까지 유도가 가능함을 확인할 수 있다.

그림 8은 센서 오차에 의한 표적 및 무인잠수정의 위치를 살펴보기 위해 표적 위치를 확대한 그림이다. 검정색으로 표현된 점이 실제 표적의 위치이며, 검정색 원 주변의 반경 15m의 노란색 원은 무인잠수정에 탑재된 전방소나에 의해 표적 식별이 가능한 영역을 의미한다. 검정색 원에서 약 1m 떨어진 곳에 위치한 파란색으로 표현된 점은 GPS 오차가 반영된 표적의 위치이며 주변의 빨간색으로 표현된 점들은 함정의 운동 및 GPS 오차에 의해 발생하는 표적 위치의 실시간 변화되는 위치를 나타낸다.

본 시뮬레이션 결과 TDS와의 연동이 지속되는 경우에는 무인잠수정이 표적 식별이 가능한 노란색 영역 안으로 유도가 가능함을 보이고 있다.

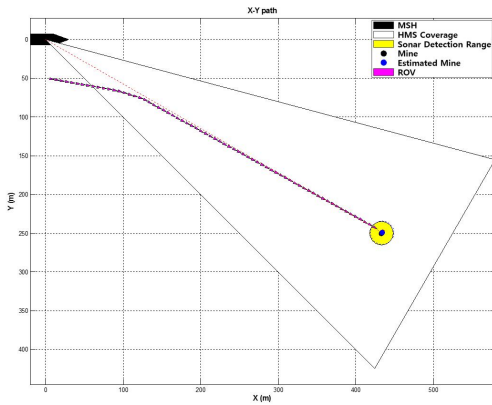


그림 7. 무인잠수정 궤적 (TDS와 연동이 지속된 경우)

Fig. 7 Trajectory of UUV (In case of connection continued with TDS)

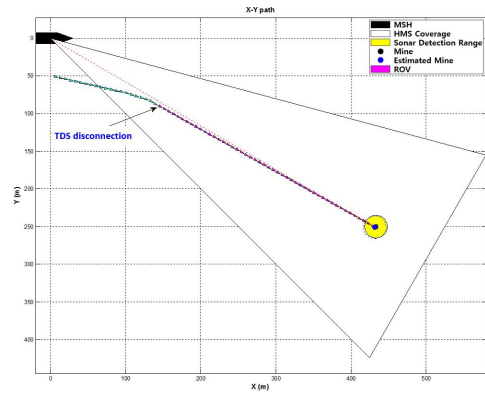


그림 9. 무인잠수정 궤적 (TDS와 연동이 중단된 경우)

Fig. 9 Trajectory of UUV (In case of disconnection with TDS)

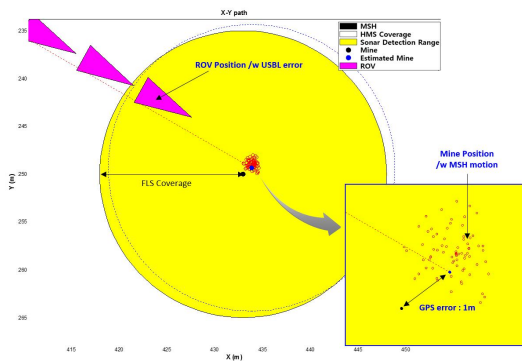


그림 8. 무인잠수정 운용 시뮬레이션 결과 (표적 추정 위치)

Fig. 8 Simulation result of UUV operation (Target position estimation)

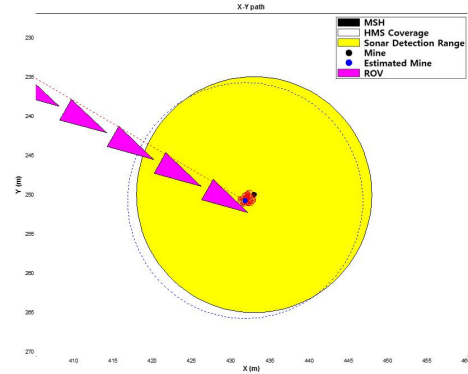


그림 10. 무인잠수정 운용 시뮬레이션 결과 (TDS 연동 중단 시 유도 결과)

Fig. 10 Simulation result of UUV operation (Guidance result with TDS disconnection)

그림 9와 10은 무인잠수정 운용 중 TDS와의 연동이 중단된 경우, TDS로부터 수신한 표적의 최종 위치와 방위 정보를 활용하여 무인잠수정을 표적으로 유도한 결과를 나타낸다. 결과에서 보는 바와 같이 TDS와의 연동이 중단된 경우, 센서 오차가 있음에도 불구하고 전방소나의 탐지영역 안으로 무인잠수정이 유도 가능함을 확인할 수 있다.

일반적으로 USBL 및 마그네틱컴파스는 센서 오차 정도가 거의 일정하기 때문에 본 논문에서는 표 1에서 보는 바와 같은 오차를 그대로 사용하였으며, GPS의 경우에는 오차가 매우 작은 군용GPS부터 DGPS 및 비교적 측정 오차가 큰 일반 GPS를 사용하였을 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였으며

그 결과를 그림 11에 나타내었다. 그림 11의 결과에서 보는 바와 같이 GPS의 측정 오차가 1m와 2m 일 경우에는 본 시스템에 사용된 USBL 및 마그네틱컴파스의 오차범위 내에서는 항상 무인잠수정에 탑재된 전방소나의 탐지영역 안으로 유도가 가능하다. 그러나 GPS의 오차가 10m 일 경우에는 USBL의 오차정도 또는 오차가 발생하는 방향에 따라 전방소나의 탐지영역으로 유도가 되지 않을 수 있다.

그러나 현재 이용하고 있는 대부분의 GPS장비는 오차범위가 매우 작기 때문에 TDS와의 연동이 중단된 경우에도 항상 무인잠수정에 탑재된 전방소나의 탐지영역 안으로 유도가 가능함을 확인할 수 있다.

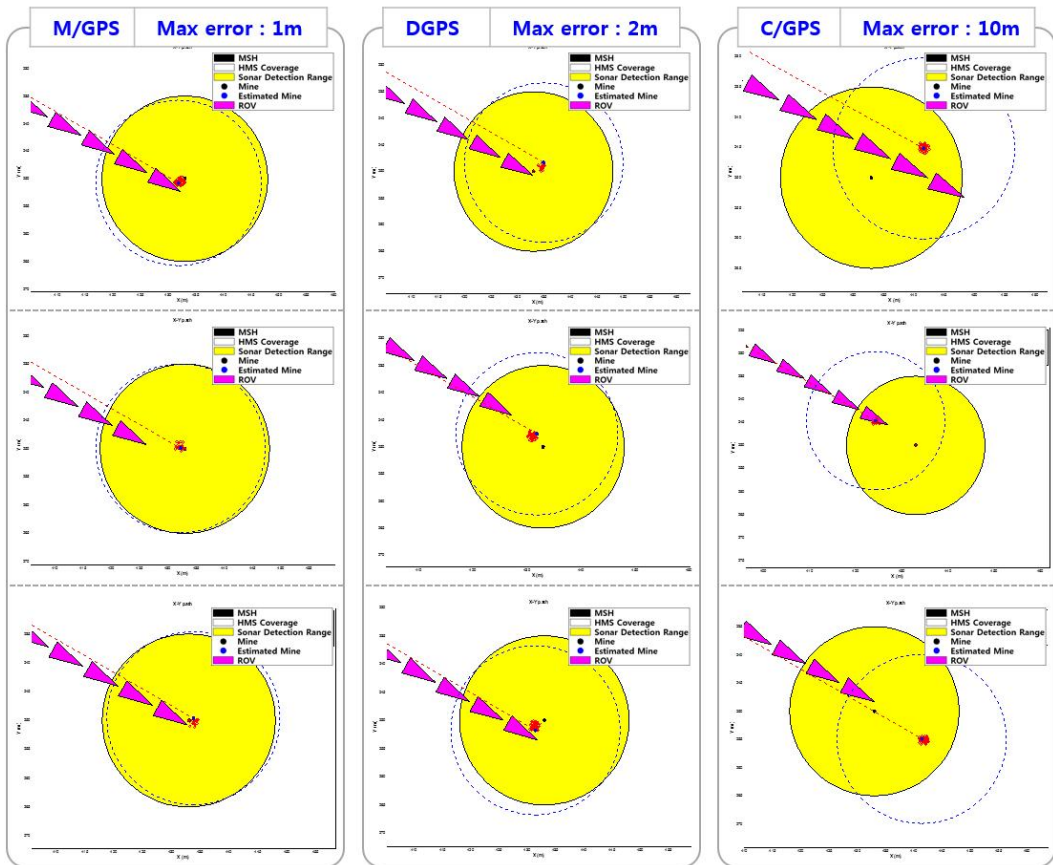


그림 11. GPS 종류에 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 11 Simulation results according to GPS type

또한 무인잠수정을 해양환경에서 운용함에 있어 조류의 영향성을 검토하기 위하여 다음과 같은 시뮬레이션을 수행하였다. 무인잠수정이 기뢰를 제거하기 위해 운용되는 동안 모함은 수상에서 최대한 일정한 위치를 유지하고 있어야 한다. 따라서 조류의 영향을 최소화하기 위하여 조류가 진행해오는 방향으로 모선의 선수 방향을 결정하게 된다. 하지만 무인잠수정은 표적까지 이동하는 동안에는 여러 방향으로 조류의 영향을 받기 때문에 다양한 방향의 조류에 대한 해석을 수행할 필요가 있다.

그림 12~14는 평균속도 2노트 및 여러 방향의 조류에 대한 무인잠수정의 운용 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다. 그림 12는 운용개념과 같은 조류 진행방향이 180°도일 경우이며, 그림 13은 150°의 조류방향, 그림 14는 270°의 조류방향일 경우에 대한 결과이다.

결과에서 보는 바와 같이 어뢰형태의 무인잠수정이기 때문에 횡방향의 조류가 선체에 가해지게 되면 조류가 진행하는 방향으로 무인잠수정이 밀려가는 현상을 보이지만 목표 위치 및 목표 경로를 추종하기 위해 무인잠수정의 방향각을 설계된 경로 생성알고리즘을 통해 실시간으로 생성하게 되며, 제어를 통해 전방소나의 탐지영역인 목표 위치까지 잘 유도됨을 결과를 통해 확인할 수 있다.

물론 본 논문에서 적용한 기뢰제거용 무인잠수정을 5노트 이상의 강한 조류가 있는 해양 환경에서 정밀한 제어를 통한 운용은 불가능할 수 있으며, 이를 극복하기 위해서는 고성능의 추진기를 장착해야 하지만 이는 무인잠수정의 설계 및 제작 상 많은 제약이 있기 때문에 적절한 운용 성능을 설정하여 활용하여야 한다.

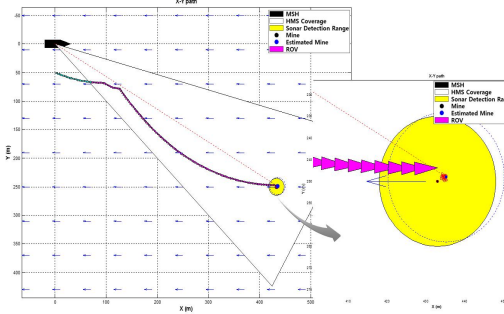


그림 12. 무인잠수정 궤적 (조류방향: 180°)
 Fig. 12 Trajectory of UUV
 (Direction of Ocean currents: 180°)

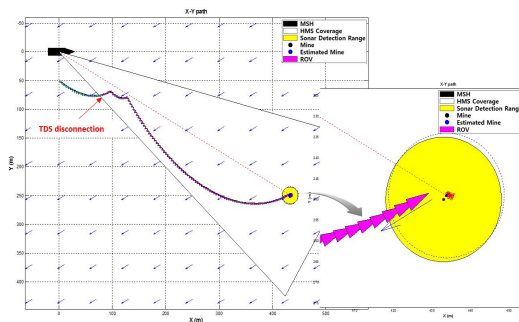


그림 13. 무인잠수정 궤적 (조류방향: 150°)
 Fig. 13 Trajectory of UUV
 (Direction of Ocean currents: 150°)

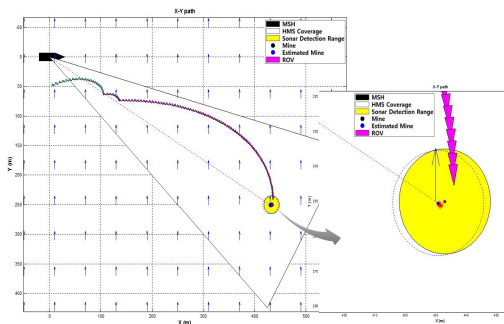


그림 14. 무인잠수정 궤적 (조류방향: 270°)
 Fig. 14 Trajectory of UUV
 (Direction of Ocean currents: 270°)

IV. 결론

본 논문에서는 기뢰제거에 사용되는 무인잠수정의 운용개념을 분석하고, 이 때 사용되는 기뢰, 함

정 및 기뢰제거용 무인잠수정의 위치측정 센서의 오차를 고려하여 효율적이고 단시간 내에 임무를 수행하기 위한 무인잠수정의 운용방법에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 기뢰제거용 무인잠수정의 운용 시 사용되는 위치확인용 센서의 오차와 해양환경에서의 조류모델을 고려한 운용 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 통해 기뢰와 무인잠수정의 위치 정보에 대한 수신이 중단되는 경우에도 최종 수신된 표적의 위치를 기준으로 무인잠수정을 유도하여도 무인잠수정에 탑재된 전방소나의 탐지범위 내로 유도가 가능함을 확인하였다.

이 결과 탐지범위 내로 유도된 기뢰제거용 무인잠수정을 이용하여 목표지점 (기뢰의 위치)까지 유도한 후 표적 제거가 가능함을 확인할 수 있었으며, 향후 개발될 무인잠수정의 유도 성능에 대하여 실험실 실험을 통해 검증할 예정이다.

References

- [1] K.Y. Lee, "An Analysis of Required Technologies for Developing Unmanned Mine Countermeasure System Based on the Unmanned Underwater Vehicle," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 14, No. 4, pp. 579-589, 2011 (in Korean).
- [2] J.N. Sur, "Current Status of Technology Development of Mine-countermeasure Warfare Using Underwater Vehicle," Journal of the defence science & technology information, Vol. 23, pp. 171-180, 2010 (in Korean).
- [3] B. Fletcher, "Worldwide Undersea MCM Vehicle Technologies," Space and Naval Warfare System Center, San Diego, CA, Rep. MS-11, 2000.
- [4] S.W. Byun, H.S. Kim, Y.N. Song, D.H. Park, Y.C. Son, J.N. Sur, "Status and Development Direction on Unmanned Underwater Vehicle for Mine Disposal," Proceedings of 2014 Spring Korean Unmanned Underwater Vehicle Conference, pp. 43-46, 2014 (in Korean).
- [5] T.I. Fossen, "Guidance and Control of Ocean Vehicles," John Wiley & Sons Ltd., 1994.
- [6] M. Breivik, T.I. Fossen, "Principles of Guidance-based Path Following in 2D and

- 3D,” Proceedings of 44th IEEE Conference Decision Control, pp. 627–634, 2005.
- [7] D.B. Marco, A.J. Healey, “Command, Control, and Navigation Experimental Results with the NPS ARIES AUV,” IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 26, No. 4, pp. 466-476, 2001.
- [8] D. Lienard, A.J. Healey, “Multivariable Sliding Mode Control for Autonomous Diving and Steering of Unmanned Underwater Vehicles,” IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 327-339, 1993.
- [9] J.E. Refsnes, A.J. Sørensen, K.Y. Pettersen, “Model-Based Output Feedback Control of Slender-Body Underactuated AUVs: Theory and Experiments,” IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 16, No. 5, pp. 930-946, 2008.
- [10] M.G. Joo, “Depth Control of Underwater Glider by Lyapunov’s Direct Method,” IEMEK J. Embed. Sys. Appl., Vol. 12, No. 2, pp. 105-112, 2017 (in Korean).

Seung-Woo Byun (변 승 우)



He received his B.S. and M.S. degree in Ocean Information & System Engineering from Jeju National University in 2003 and 2007. He received his

Ph.D. in Material Engineering from Korea Maritime and Ocean University in 2015. Since 2010, he has been a Senior Engineer at Hanwha Systems Co., Ltd.
Email: seungwoo1.byun@hanwha.com

Donghee Kim (김 동 회)



He received the B.S. degree at the School of Mechanical Engineering, the M.S. degree at the Department of Precision Mechanical Engineering from Hanyang Univer-

sity in 1999 and 2001, respectively. He received the Ph.D. degree from Korea Maritime and Ocean University in 2016. Since 2016, he has been a Senior Engineer at Hanwha Systems Co., Ltd.
Email: donghee4.kim@hanwha.com

Jong-Bin Im (임 종 빈)



He received the B.S. degree in Electronic Engineering from Korea Naval Academy in 1990 and the M.S. degree in Electronic Engineering from Hanyang Univer-

sity in 1998. Since 2010, he has been a General Manager at Hanwha Systems Co., Ltd.
Email: jongbin.im@hanwha.com

Jong-Hoon Han (한 종 훈)



He received the B.S. and M.S. degree in Computer Engineering and Software Engineering from Kumoh National Institute of Technology in 2004 and

2006. He is currently Ph.D. candidate in Systems Engineering from Ajou University. Since 1991, he has been a General Manager at Hanwha Systems Co., Ltd.
Email: jh_han@hanwha.com

Do-Hyun Park (박도현)

He received the B.S., M.S. and Ph.D. degree in Electronics Engineering from Kyungpook National University in 1996, 1999 and 2004. Since 2004, he has been a Chief Engineer at Hanwha Systems Co., Ltd.

Email: dohyun90.park@hanwha.com