

## ROV 제어를 위한 수중환경변화의 추정기 설계에 관한 연구

김환성<sup>1</sup> · 유삼상<sup>2</sup> · 최형식<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2009년 7월 4일, 원고수정일 : 2009년 9월 4일, 심사완료일 : 2009년 9월 13일)

### Estimator Design of Underwater Environment Changes for ROV by Using Observer Techniques

Hwan-Seong Kim<sup>1</sup> · Sam-Sang You<sup>2</sup> · Hyeung-Sik Choi<sup>†</sup>

**요약** : 본 논문에서는 ROV 제어 시스템 구축을 위하여 관측기를 이용한 수중환경 추정기 설계를 다룬다. 먼저, 수중환경변화는 ROV 시스템의 입력항목에 가해지는 외부외란으로서 다루어질 수 있으며, 이러한 수중환경변화를 추정하기 위하여 외부외란에 영향을 받지 않는 PI 관측기를 제안한다. 이후 본 논문에서는 계단형 및 정현파형 수중환경변화를 가정하여 제안한 방법에 대해 시뮬레이션을 행하였으며, 그 결과 유효성을 확인하였다. 향후, 본 제안법을 ROV 시스템에 대한 햅틱제어기 설계에 이용하고자 한다.

**주제어** : ROV, 수중환경변화, 관측기

**Abstract**: In this paper, an estimator design of underwater environment changes is proposed by using observer techniques for ROV control system. The underwater environment changes are considered as an external disturbance term for ROV model and it is added into the input term of ROV model. To estimate the environment changes, a PI observer which does not effect the external disturbance input term is proposed. To verify the effectiveness of the proposed method, the step and the sinusoidal environment changes are considered in simulation. The proposed method will be applied to design the haptic controller for ROV in future.

**Key words**: ROV, Underwater Environment Changes, Observer

### 1. 서 론

1990년대에 해양 분야에 관심이 고조되면서 ROV (Remotely Operated Vehicle)를 포함한 수중 운

동체에 대한 연구가 일부 수행되어져 왔다[1-4]. 수중 운동체에 대한 연구는 주로 수중에서의 운동체의 위치를 정밀하게 인식할 수 있는 위치인식 문제 및 자율운항을 포함한 위치제어문제로 나누어진다. 이 중에서 ROV는 주로 해저 감시활동의 목적으로 지정된 궤도를 추적하면서 해저정보를 얻는 것이다. 최근에는 ROV를 이용하여 수중 구조물의

작업, 특히 난파선박의 기름 회수를 목적으로 하는 등 다양한 해저작업에 이용이 시도되고 있다[1,3].

이러한 ROV의 기본적인 작업 특성상 수중에서 타 구조물과 연계하거나 또는 독립적으로 수중에서의 호버링 상태를 유지해야 하며, 이를 위해 선박으로부터 유선에 의해 원격 제어되는 특징을 지니고 있다.

ROV의 원격제어는 주로 선박에서 조이스틱에 의하여 작업이 수행되므로 작업 정밀도가 수중환경 변화에 크게 영향을 받고 있다. 이러한 수중에서의

<sup>†</sup> 최형식(한국해양대학교 기계정보공학부, E-mail:hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4297)

1 한국해양대학교 물류시스템공학과

2 한국해양대학교 기계정보공학부

다양한 환경변화는 ROV 제어를 어렵게 하며, 강인제어기설계법으로 예측 불가능한 수중환경변화에 대처하기에는 한계를 보이고 있다[5].

본 연구에서는 수중환경 변화를 관측기를 통하여 추정하고자 하며, 추정된 정보가 작업자에게 반력으로서 전달되어 수중 환경변화를 쉽게 인식되도록 하고자 하는데 목적이 있다. 이로서, 작업자는 수중환경변화를 직접 감지하고 이를 고려하여 조이스틱 조작을 통해 ROV를 제어할 수 있다.

본 연구에서는 수중운동체 모델링에 대하여 비례 및 적분요소를 포함한 PI 관측기를 제안하며, 제안된 관측기를 이용하여 외부 환경변화하에서 상태변수 및 외부환경변화를 추정하는 방법을 보인다. 또한 관측기의 존재조건을 보이며, 시뮬레이션을 통하여 계단형 및 정현파형 외부환경변화에 대한 유효성을 보인다.

## 2. 수중 운동체 모델링

### 2.1 운동방정식

ROV를 포함한 수중 운동체는 일반적으로 수직 운동 및 수평운동으로 분류되며, Figure 1과 같이 두 개의 직교 좌표로 나타낼 수 있다. 여기서  $(Q-X, Y, Z)$  해수면으로부터의 기준 좌표계를 나타내고,  $(q-x, y, z)$ 는 수중 운동체의 무게중심 좌표계를 나타낸다. 단,  $\delta_b$  와  $\delta_s$ 는 각각 심도 조향각 및 경로 조향각을 나타낸다.

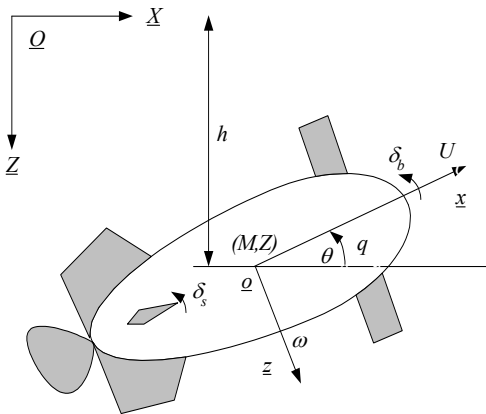


Figure 1: Underwater vehicle system configuration

수중 운동체의 두 가지 조향각을 조절함으로써 수중에서 심도 및 경로가 제어된다. 수중 운동체의 모델을 선형화하기 위하여 운동체의 반력 및 모멘트 항에 대해 편미분을 행하고 테일러급수 전개를 한다.

먼저, 수중 운동체의 정상 편차계수를 다음과 같이 가정한다.

$$Z_q \approx \left[ \frac{\partial Z}{\partial q} \right]_{q_0} \quad (1)$$

$$M_q \approx \left[ \frac{\partial M}{\partial q} \right]_{q_0} \quad (2)$$

여기서 수중 운동체의 상승력  $Z$  및 피치 모멘트  $M$ 에 대하여 정상상태부근  $q_0$ 에서 미분을 취하여 구한다.

수중 운동체가 일정속도  $U$  로 이동한다고 가정하면, 운동체의 미분방정식을 다음과 같이 표시할 수 있다[5].

$$\begin{aligned} m_v(\dot{w} - Uq - x_G \dot{q}) &= \frac{\rho}{2} l^2 [Z_w U \omega + U^2 (Z_{\delta_b} \delta_b + Z_{\delta_s} \delta_s)] \\ &+ \frac{\rho}{2} l^3 (Z_q U q + Z_w \dot{w} + \frac{\rho}{2} l^4 Z_q \dot{q} + (W_W - W_B) \cos \theta + g_F \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} I_y \dot{q} - m_v [x_G (\dot{w} - Uq)] &= \frac{\rho}{2} l^3 [M_w U \omega + U^2 (M_{\delta_b} \delta_b + M_{\delta_s} \delta_s)] \\ &+ \frac{\rho}{2} l^4 (M_q U q + M_w \dot{w}) + \frac{\rho}{2} l^5 M_q \dot{q} - (x_G W_W - x_B W_B) \cos \theta \\ &- (z_G W_W - z_B W_B) \sin \theta + g_M \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $M_w, Z_{\delta_b}, Z_{\delta_s}$ 는 식 (1) 및 (2)에서와 같이  $w, \delta_b$  및  $\delta_s$ 의 정상상태에서의 미분을 나타낸다.

또한 수중 운동체는 해수 표면력, 해류, 파도 및 기타 수중환경에 의해 영향을 받는다. 이러한 수중 환경은 장기간에 서서히 변하며 수중 운동체의 추진력과 모멘트에 영향을 줄 수 있으므로  $g_F = b_1 w_1$  및  $g_M = b_2 w_2$ 로 둘 수 있다. 이때, 기구학적 관련으로부터  $\dot{\theta} = q$ 이며,  $\dot{h} = \omega \cos \theta - U \sin \theta + \omega \cos \theta \approx \omega - U$ 로 나타내며, 피치각이 작다고 가정하면  $\sin(\theta) \approx \theta$ 이며  $\cos(\theta) \approx 1$ 으로 된다.

식 (4)에서 수중 운동체의 중심 높이에서  $z_G = z_B$ 이며, 수중 운동체의 중심이 부력중심과 일치하는 경우를 가정하면  $\bar{x}_G = \bar{x}_B$ 으로 된다.

### 2.2 상태방정식

수중 운동체의 CG 관성좌표계 운동에 관한 관련 식 및 기본적인 가정을 통하여 다음과 같이 구해진다. 먼저, 상태벡터, 입력벡터 및 외력벡터를 다음과 같이 둔다.

$$x = \begin{bmatrix} \delta\omega \\ \delta q \\ \delta h \\ \delta\theta \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} \delta_b \\ \delta_s \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, 상태변수  $\delta_i$  는 정상상태( $x_0=0$ )에서의 변동을 나타내며,  $\omega, q, h, \theta$ 는 상승속도, 피치각속도, 수심 및 피치각을 각각 나타낸다.

위의 수중운동체 모델을 선형화하면 다음과 같이 된다[5].

$$E_M \dot{x}(t) = E_A x(t) + E_B u(t) + E_D w(t) \quad (6)$$

여기서,

$$E_M = \begin{bmatrix} m_v - \mu_2 Z_w & -(m_v x_G + \mu_3 Z_q) & 0 & 0 \\ -(m_v x_G + \mu_3 M_w) & J_y - \mu_4 M_q & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$E_A = \begin{bmatrix} \mu_1 Z_w U & (m_v + \mu_2 Z_q) U & 0 & 0 \\ \mu_2 M_w U & -(m_v x_G - \mu_3 M_q) U & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$E_D = \begin{bmatrix} b_1 & 0 \\ 0 & b_2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad E_B = \begin{bmatrix} \mu_1 Z_{\delta_b} U^2 & \mu_1 Z_{\delta_s} U^2 \\ \mu_2 M_{\delta_b} U^2 & \mu_2 M_{\delta_s} U^2 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mu_1 = (\rho/2)l^2, \quad \mu_2 = (\rho/2)l^3, \quad \mu_3 = (\rho/2)l^4, \quad \mu_4 = (\rho/2)l^5, \\ \alpha = (z_G W_w - z_B W_B)$$

위의 수중운동체 모델은 양변에  $E_M^{-1}$ 를 곱하여 다음과 같이 일반화시킬 수 있다.

$$\sum: \begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + Dw(t) \\ y(t) = Cx(t) \end{cases} \quad (7)$$

여기서  $A = E_M^{-1}E_A, B = E_M^{-1}E_B, D = E_M^{-1}E_D$  이다.

## 3. 관측기 설계

### 3.1 PI 관측기

본 절에서는 수중운동체의 상태벡터 및 수중환경 변화를 추정하기 위한 관측기 설계를 다루기로 한다. 먼저 식 (7)의 상태변수 차수를  $A \in \mathbb{R}^{n \times n}, B \in \mathbb{R}^{n \times m}, C \in \mathbb{R}^{p \times n}, D \in \mathbb{R}^{n \times r}$ 으로 일반화하자.

비례계인과 적분계인을 포함한 PI 관측기를 다음과 같이 둘 수 있다.

$$\sum_{PI}: \begin{cases} \dot{\hat{x}}(t) = (A - K_p C)\hat{x}(t) + K_p y(t) \\ \quad + Bu(t) + D\xi(t) \\ \dot{\xi}(t) = K_I (y(t) - C\hat{x}(t)) \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\hat{x}(t)$ 는 상태 추정량,  $\xi(t)$ 는 관측기 내부변수를 나타내며,  $K_p \in \mathbb{R}^{n \times p}$  및  $K_I \in \mathbb{R}^{p \times p}$ 는 각각 관측기의 비례 이득 및 적분 이득을 나타낸다.

**정의 1:** 수중 운동체 모델 식 (7)에 대한 관측기 식 (8)이 성립할 필요충분조건은 다음과 같다.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = 0, \quad \forall z(0), x(0), u(\cdot) \quad (9)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \xi(t) = 0, \quad \forall \xi(0) \quad (10)$$

여기서  $e(t) = x(t) - \hat{x}(t)$ 는 상태관측오차를 나타낸다.

다음은 PI 관측기를 이용하여 수중환경 변화의 추정에 관하여 알아본다.

먼저, 식 (7) 및 (8)로부터 상태관측오차  $e(t)$ 의 미분을 구하면 다음과 같이 구해진다.

$$\dot{e}(t) = (A - K_p C)e(t) + D(w(t) - \xi(t)) \quad (11)$$

또한, 식 (8)로부터 다음과 같이 정리된다.

$$\dot{\xi}(t) = K_I C e(t) \quad (12)$$

변수  $\zeta(t)$  를 다음과 같이 정의하자

$$\hat{w}(t) = \xi(t) \quad (18)$$

$$\zeta(t) = w(t) - \xi(t) \quad (13)$$

식 (13)의 양변을 미분을 취하여 식 (12)를 대입하면

$$\begin{aligned} \dot{\zeta}(t) &= \dot{w}(t) - \dot{\xi}(t) \\ &= \dot{w}(t) - K_I C e(t) \end{aligned} \quad (14)$$

으로 되고, 외란의 일정하다고 가정하면  $\dot{w}(t) = 0$ 이 되어 식 (11) 및 (14)로부터 다음과 같은 확대계를 구성할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{e}(t) \\ \dot{\zeta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - K_p C & D \\ -K_I C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e(t) \\ \zeta(t) \end{bmatrix} \quad (15)$$

따라서 다음 조건을 만족하는

$$\lambda_i \begin{bmatrix} A - K_p C & D \\ -K_I C & 0 \end{bmatrix} < 0, \quad i = 1, \dots, n+p \quad (16)$$

$K_p$  및  $K_I$  가 설계된다면,  $t \rightarrow \infty$  일 때,  $e(t)$  및  $\zeta(t)$ 는 각각 0이 되어, PI 관측기에 의해서 수중 환경변화에도 불구하고 ROV 상태가 추정됨을 알 수 있다. 단,  $\lambda_i[\cdot]$ 는 행렬의  $i$  번째 고유치를 나타낸다.

### 3.2 수중변화 환경 추정

위의 절에서는 일정 상태의 외란(수중환경변화)에 대해서는 식 (8)의 PI 관측기를 이용하여 상태 추정이 가능함을 보였다. 본 절에서는 식 (8)의 관측기를 이용하여 상태추정 및 외부환경 변화의 추정이 가능함을 보이도록 한다.

PI 관측기는 식 (16)이 만족되는  $K_p$  및  $K_I$  를 설계함으로써,  $t \rightarrow \infty$  일 때,  $e(t)$  및  $\zeta(t)$ 는 각각 0으로 수렴하므로, 식 (13)에 의하여

$$0 = w(t) - \xi(t) \quad (17)$$

으로 되어, 수중환경변화  $w(t)$ 의 추정값  $\hat{w}(t)$ 는 다음과 같이 얻을 수 있다.

### 3.3 관측기의 존재조건

식 (15)는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$\begin{bmatrix} \dot{e}(t) \\ \dot{\zeta}(t) \end{bmatrix} = \left( \begin{bmatrix} A & D \\ 0_n & 0_{n \times p} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_p \\ K_I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & 0_p \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} e(t) \\ \zeta(t) \end{bmatrix} \quad (20)$$

위 식으로부터  $\left( \begin{bmatrix} A & D \\ 0_n & 0_{n \times p} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} C & 0_p \end{bmatrix} \right)$ 가 가관측이면 관측기 이득  $K_p$  및  $K_I$ 가 존재함을 알 수 있다. 또한, 관측기 이득은 종래의 극배치법 및 LQG에 의하여 설계할 수 있다.

Theorem 1: 식 (8)이 수중 환경변화를 고려한 수중운동체 모델 식 (7)의 관측기가 되기 위한 필요조건은

$$\text{rank} \left( \begin{bmatrix} A & D \\ 0_n & 0_{n \times p} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} C & 0_p \end{bmatrix} \right) = n+p \quad (21)$$

이다. □

위의 Theorem 1로부터  $(A, C)$  가관측 조건에  $\text{rank } C \geq \text{rank } D$ 가 포함됨을 알 수 있다.

## 4. 시뮬레이션 및 고찰

### 4.1 시뮬레이션 조건 및 추정기 설계

#### 4.1.1 시뮬레이션 조건 및 ROV 모델

시뮬레이션에서 ROV 파라미터는 Table 1과 같이 하여[5] 시뮬레이션을 행하도록 한다. 이때 ROV의 유체역학계수는 Table 2와 같이 주어진다[5].

**Table 1:** Parameters of ROV

$U = 3.0[m/s]$	$W_B = 53,400[N]$
$W_B = 53,400[N]$	$\rho = 1,000[kg/m^3]$
$l = 5.3[m]$	$\underline{x}_G = 0.0[m]$
$\underline{x}_B = 0.0[m]$	$\underline{z}_G = 6.1[m]$
$\underline{z}_B = 0.0[m]$	$J_{\underline{z}} = 13,587[kgm^2]$
$b_1 = 1$	$b_2 = 10$
$g = 9.81[m/s^2]$	

**Table 2:** Non-dimensional hydrodynamic coefficients for ROV(\*estimated)

$Z\dot{\omega} = -2.4 \times 10^{-1}$	$Z_q = -1.4 \times 10^{-1}$	$*M_{\delta_b} = 6.0 \times 10^{-3}$
$Z_{\dot{\omega}} = -3.0 \times 10^{-1}$	$Z_{\delta_s} = -7.3 \times 10^{-2}$	$M_{\dot{q}} = -1.7 \times 10^{-2}$
$*Z_{\delta_b} = -3.0 \times 10^{-2}$	$M_{\dot{\omega}} = -6.8 \times 10^{-2}$	$M_q = -6.8 \times 10^{-2}$
$Z_{\dot{q}} = -6.8 \times 10^{-3}$	$M_{\omega} = 1.0 \times 10^{-1}$	$M_{\delta_s} = -4.1 \times 10^{-2}$

ROV 모델의 파라미터를 이용할 때 상태방정식의 행렬은 각각 다음과 같이 주어진다.

$$A = \begin{bmatrix} -0.8741 & -0.4807 & 0 & 0.8138 \\ 2.8861 & -1.3756 & 0 & -7.0740 \\ 1.0000 & 0 & 0 & -3.0000 \\ 0 & 1.0000 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} -0.1635 & -0.3536 \\ 0.0074 & -0.3660 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$$

$$D = 1.0^{-3} \times \begin{bmatrix} 0.0458 & -0.0250 \\ -0.0250 & 0.2172 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

4.1.2 관측기 설계

ROV 관측기 설계는 극배치 방법을 이용하였으며, 이때 관측기 극은  $\lambda\{-8, -10, -11, -12, -13, -15\}$  으로 하였다. 이때 구하여진  $K_p$  및  $K_I$  값은 다음과 같다.

$$K_p = \begin{bmatrix} 28.4330 & -1.0357 \\ -717.0592 & -759.5286 \\ 9.2081 & 38.3174 \\ -80.9242 & -166.6235 \end{bmatrix},$$

$$K_I = 10^7 \times \begin{bmatrix} -0.8384 & -1.2005 \\ -1.3646 & -1.0749 \end{bmatrix}$$

이때, 시뮬레이션 초기값 및 입력값은 다음과 같이 가정하였으며, 샘플링주기는 5[ms]로 하였다.

$$x(0) = [0.1 \ 0 \ 0 \ 0.3]^T,$$

$$\hat{x}(0) = [0 \ 0 \ 0 \ 0]^T,$$

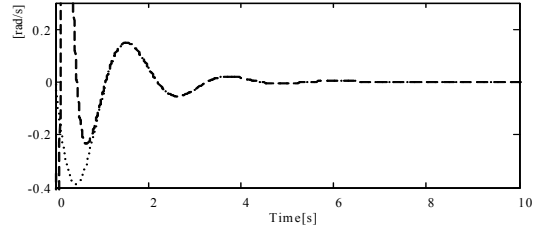
$$\delta_b = -0.1 \text{ [rad]}, \quad \delta_s = -0.3 \text{ [rad]}$$

4.2 시뮬레이션 결과 및 고찰

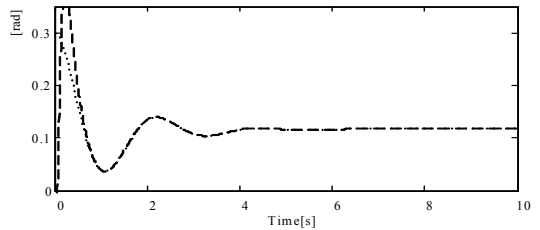
4.2.1 상태추정

위의 설계된 관측기 파라미터를 이용하여 추정시

뮬레이션을 행한 결과는 Figure 2와 Figure 3으로 나타 낼 수 있다. 여기서 점선은 실제 값이며, 일점쇄선은 관측기를 이용한 추정값이다.



**Figure 2:** Estimated  $x_2$  with step environment change



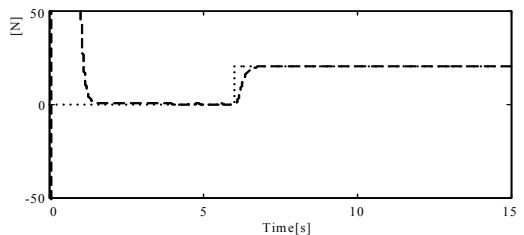
**Figure 3:** Estimated  $x_4$  with step environment change

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 약 0.8[초] 이후에는 관측기를 이용한 추정값이 실제값을 잘 추정함을 알 수 있다. 다음은 6[초] 후에 계단형 수중환경변화를 가정하여 시뮬레이션 행한다.

4.2.2 스텝형 수중환경변화

수중환경변화는 시간에 따라 일정한 형태인 계단형으로 가정하여 6[초]에 각각  $w_1 = 20$  [N] 및  $w_2 = 30$  [N]으로 변화시켰다.

Figure 4에서는  $w_1$  추정값을 나타내며, Figure 5에서는  $w_2$ 의 추정값을 나타낸다.



**Figure 4:** Estimated  $w_1$  with step environment change

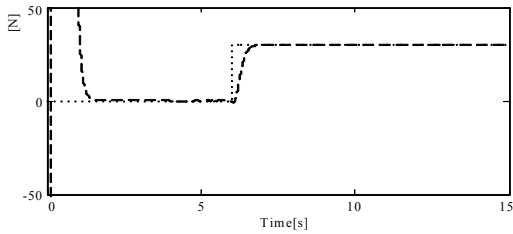


Figure 5: Estimated  $w_2$  with step environment change

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이, 계단형 환경 변화에서 약간의 지연시간 후에 수중환경변화를 정확히 추정함을 알 수 있다.

#### 4.2.3 정현파형 수중환경변화

본 절에서는 수중환경변화가 시간에 따라 변화하는 정현파 형태인  $w_1 = 20 \sin(2\pi ft)$  및  $w_2 = 30 \sin(2\pi ft)$  로 각각 가정하였으며,  $f=0.08$ 로 하였다.

이때 6[초]후에 수중환경변화가 정현파로 변화할 때의 시뮬레이션의 결과는 각각 Figure 6 및 Figure 7로 나타내어진다.

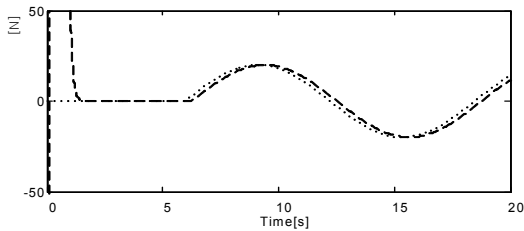


Figure 6: Estimated  $w_1$  with sinusoidal environment change

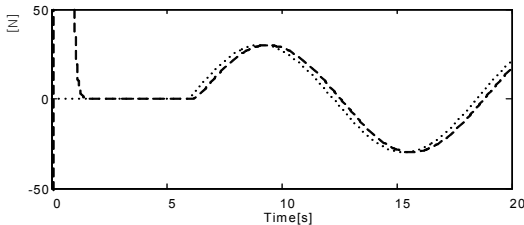


Figure 7: Estimated  $w_2$  with sinusoidal environment change

정현파형 변화의 시뮬레이션에서도 계단형의 경우와 같이 약간의 시간지연이 일어남을 알 수 있

으며, 이러한 시간지연현상을 관측기 설계값에 의해 좌우됨을 확인할 수 있으며, 또한 수중환경변화의 주기도 관련이 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 수중환경변화는 일정한 범위내에서 주기적인 점을 고려한다면, 본 연구의 결과가 유효함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 수중 운동체 ROV 작업자의 작업 용이성을 위하여 수중환경변화를 추정하는 관측기를 설계하였다. 본 관측기는 ROV의 상태를 추정할 뿐만 아니라, 외란으로서 작용하는 수중환경변화를 추정할 수 있다.

본 연구에서는 스텝 및 정현파의 수중환경변화만을 고려하였으나, 수중환경변화가 일정한 형태로 변화하는 주기적인 경우를 고려하면 본 제안법이 유효할 것으로 판단된다. 따라서 향후에 본 기법은 ROV의 햅틱 제어계 설계에 유용할 것으로 기대한다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부 지역MT특성화사업의 연구비 지원(해양산업고도화를 위한 핵심 해양장비 개발 - 전기모터 기반의 해중 매니플레이터 및 추진시스템 개발)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- [1] 이종식, 이관목, 이종무, 홍석원, "300m급 수중 ROV 개발에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제8권, 제1호, pp. 50-61, 1994.
- [2] 김경기, 최형식, 유삼상, 서주노, "반 자율 무인 잠수정의 개발", 한국마린엔지니어링학회지, 제31권, 제6호, pp. 784-790, 2007.
- [3] 황아름, 성우제, 전봉환, 이관목, "무인 잠수정 3자유도 운동 실험에 대한 무향 칼만 필터 기반 SLAM기법 적용", 한국해양공학회지, 제23권, 제2호, pp. 58-68, 2009.
- [4] 최현택, 김기훈, 이관목, 이종무, 전봉환, "ROV(원격조종 수중로봇)의 소개와 ROV 해

미래의 운동제어 및 신호처리”, 한국정밀공학회, 제25권, 제5호, pp. 41-47, 2009.

- [5] S.S. You and Y.H. Chai, “Diving autopilot design for underwater vehicles using multi-objective control synthesis”, KSME Inter. Journal, vol. 12, no. 6, pp. 1116-1125, 1998.

## 저 자 소 개



### 김환성(金煥成)

1993년 부경대학교(구, 부산수대) 기계공학 학과 석사, 1996년 일본 Kumamoto Univ. 박사. 물류기기 및 해양시스템의 제어분야 연구수행. 현재 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수



### 유삼상(柳三相)

1990년 미국 University of Wisconsin (Madison) 기계공학 석사. 1994년 미국 Iowa State University 기계공학 박사. 시스템 역학 및 제어 설계에 관한 연구. 현재 한국해양 대학교 기계정보공학부 교수



### 최형식(崔炯植)

1989년 5월 미국 University of South Carolina 기계공학과에서 석사 1993년 2월 North Carolina State University 기계 및 항공공학과박사로 협조로봇의 제어 보행로봇개발 수중운동체시스템연구 및 공장자동화에 대한 연구를 수행