

◎ 論 文

원격무인 잠수정의 자기동조 위치제어⁺

이 판 목*

(1989년 10월 17일 접수)

Self-Tuning Position Control of a Remotely Operated Vehicle

Pan-Mook Lee*

Key Words : ROV(Remotely Operated Vehicle(원격무인 잠수정), Self-Tuning Control(자기동조 제어), Parameter Estimation(매개변수추정), Autoregressive Moving Average Model (ARMA 모델), Performance Index(성능지수)

Abstract

In general, a remotely operated vehicle(ROV) operates at deep sea. The control system of ROV is composed of two local loops ; the first loop placed on the surface vessel monitors and manipulates the attitude of the ROV using joystick, and the second part on the ROV automatically controls thrusters and acquires positional data.

This paper presents a position control simulation of a ROV using an adaptive controller and discusses the control effects of two different conditions. The design of an adaptive control system is obtained by the application of a self-tuning controller with the minimization of an appropriate cost function. The parameters of the control system are estimated by a recursive least square method(RLS). In the simulation, a Runge-Kutta method is used for the numerical integration and the generated outputs are obtained by adding measurement errors. Additionally, this paper discusses the mathematical modelling of a ROV and make a survey of control systems.

1. 서 론

원격 무인잠수정(remotely operated vehicles : ROV)은 인간의 손이 닿지 않는 심해에서 탐사작업, 해저자원채취, 구조물설치 및 검사작업 등을 수행할 수 있는 수중선체를 지칭한다. 원격무인 잠수정은 지난 10년간 해저석유개발사업 분야에서

해저유정의 설치, 조사작업에 응용되면서 관심이 고조되었으며, 해양공학의 새로운 분야 즉, 수중음향, 전자공학, 로봇공학 등이 등장하여 종합된 산업으로 발전되고 있다. Fig. 1¹⁾에 도시된 것과 같은 대부분의 원격무인 잠수정은 수상선과 케이블로 연결되어 운용자가 ROV의 위치를 지정한 후 추진기의 레벨을 조종하여 요구되는 위치와 높이로 선체를 이동시키는 시스템이다.

⁺ 1989년도 한국해양공학회 추계학술대회 발표 (1989. 11)

* 정회원, 한국해사기술연구소 수중작업시스템실

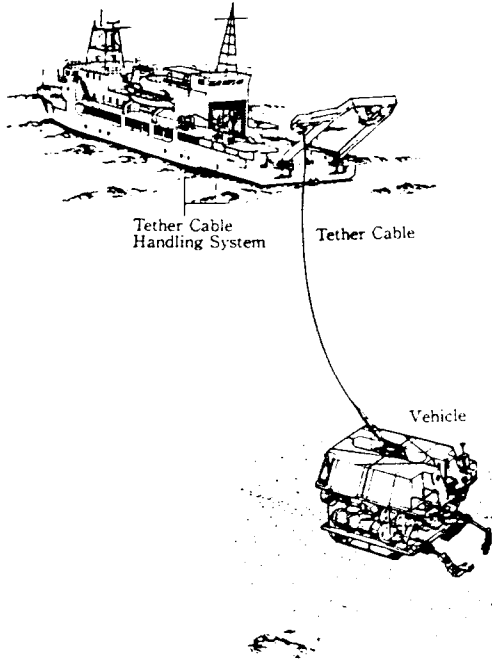


Fig. 1 A remotely operated vehicle system

수상 운용자의 판단과 조종에 의해 해양작업을 수행하는 위치제어는 운용자가 전작업과정에 대하여 연속적으로 추진기를 조작해야 하므로 작업효율이 떨어지며 반복적인 작업인 경우에는 작업속도가 느리다는 문제점이 있다. 파이프 절단과 같은 진형적인 해양작업을 수행하는 동안 ROV의 위치를 확보·유지하는데 소요되는 시간은 총작업시간의 35% 정도가 필요하다. 따라서 ROV의 위치제어를 자동적으로 수행하기 위한 제어기 설계가 필요하며, 상이한 하중조건 및 열악한 주변환경에서도 복잡한 작업을 신뢰성 있게 수행할 수 있는 적응제어 가능한 수중로봇의 동장이 필요하다.

일정한 방향으로 전진하는 선박이나 항공기와는 달리 ROV는 전진속도가 여타 운동모드의 속도와 동일한 차수가 되어 심한 비선형성을 가지므로 비선형성을 고려한 제어시스템으로 구성되어야 한다. ROV의 선형화된 운동방정식은 속도의 변화에 매우 민감하게 변화하고 선체의 동특성은 부속장치의 침부에 따라 변화가 심하므로 고전적인 제어기는 각 조건마다 제어변수를 최적화시키지 않고는 ROV의 제어설계에 이용하기 부적합하다. 형상

이 복잡하고 건조실적이 적은 ROV에 작용하는 유체력은 계산이나 경험에 의해서 결정하는 것이 곤란하므로 강제동요시험(PMM) 등에 의해서 계측하여 결정해야 한다.

원격무인 잠수정의 전체적인 제어시스템이 Fig. 2에 도시되었다. 운용자의 조작에 의한 제어 입력은 수중 신호전달 케이블을 통하여 ROV의 추진기에 도달하여 추진기를 구동시키고 이에 따른 ROV의 위치변화를 수상에서 모니터를 통하여 관찰하고 새로운 제어명령을 계획한다. 이러한 제어시스템은 운용자로부터의 제어명령과 ROV에서 감지된 위치정보를 이용하여 제어 컴퓨터를 통해서 수정된 제어입력으로 계산하는 제어부분과, ROV 구동장치의 자율적인 제어부분으로 나뉘어져 서로 연계되어 작동하는 시스템이다. 한편 수상선의 위치는 ROV 제어와는 독립적인 제어시스템(DPS)으로 구성된다¹¹⁾ 수상모선과 ROV 사이의 정보교환을 위하여 70년대¹²⁾에는 통상적인 케이블을 이용하여 동력공급 및 계측신호들을 각각 직접 연결·전달하였으나, 최근의 DOLPHIN-3K¹³⁾는 한 개의 광케이블을 이용하여 계측신호의 정보교환을 동시에 수행하였다.

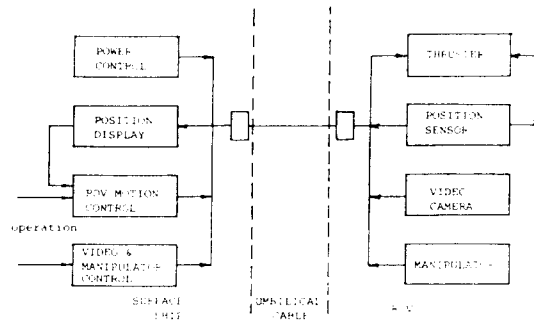


Fig. 2 System block diagram

제어시스템의 구성은 ROV의 작업목적에 따라 다양한 형태로 구현될 수가 있으며 크게 두 가지 형태로 나눌 수가 있다. 첫째, ROV의 조종성능을 개선하기 위하여 수심센서 및 선수각 속도센서를 이용하여 수심과 선수각속도를 계측하고 각각을 귀환제어하는 제어형태¹⁴⁾가 있다. 이러한 제어시스템은 joystick을 이용하여 추진기를 조작하는 시스템으로서 간단하고 저렴하므로 일반적으로 많이 쓰

이고 있다. 둘째, 선수각, 수심 및 위치를 측정할 수 있는 장비를 ROV에 내장하고 필터를 이용해서 ROV의 매개변수를 추정하여 제어기를 구성하는 형태⁷⁾가 있다. 이 제어시스템은 ROV의 시스템 모델링이 적절히 이루어지고 계측오차의 정도가 일정한 경우에는 정도 높게 위치 추적이 이루어질 수 있으나, 시스템의 환경이 변화하여 모델링 오차가 커지거나 작업위치 변화에 따른 계측오차의 변화가 심한 상황에서는 부적절하다. 후자의 제어형태 중에서 ROV가 작업을 수행하는 여러 환경과 하중 조건에 대하여 순환적인 매개변수 추정을 통하여 제어변수를 적응시키는 적응제어기⁸⁾가 있다. Fig. 3은 ROV의 전후진, 횡진 및 선회 방향제어를 수행하기 위한 자기동조 제어기의 계통도를 나타낸다. 이러한 제어시스템은 교란환경의 비선형 운동 제어에 쉽게 적용가능하며, 제어기 설계자가 설정한 성능지수를 최소화 할 수 있도록 제어입력을 변화시키는 기법을 이용한다.

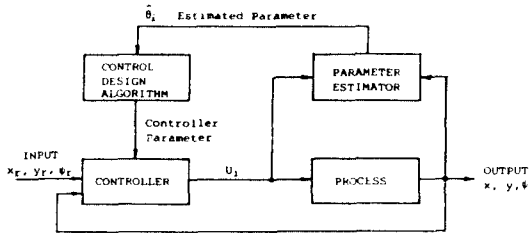


Fig. 3 Structure of control system

본 논문은 원격무인 잠수정의 위치제어시스템 설계를 위하여 자기동조제어기를 이용하였으며 단순화된 ROV에 대하여 수학적 모델링을 수행하였고, 해저면에서 물체를 지정위치로 운반하는 ROV 시스템에 대하여 위치제어 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 조류가 존재하는 해저 수평면상에서 ROV의 위치와 선수각 제어에 국한시켰으며, 적절한 성능지수를 최소화시키는 자기동조 제어기를 적용하였다. 제어시스템의 매개변수추정은 순환 최소제곱법(RLS)^{2),3)}을 이용하였다. 운동방정식의 수치적분을 위하여 Runge-Katta법을 이용하였고, 계측신호는 계산된 운동변위에 계측오차를 더하여 구현하였다.

2. 운동방정식

원격무인잠수정의 위치제어를 위하여 6자유도

운동방정식으로부터 ROV의 수학적 모델을 유도해야 한다. 수중 운항 ROV의 운동방정식을 나타내기 위하여 정좌표계와 ROV에 고정된 이동좌표계를 사용하며 두 좌표계의 변환은 Euler 각을 이용한다.

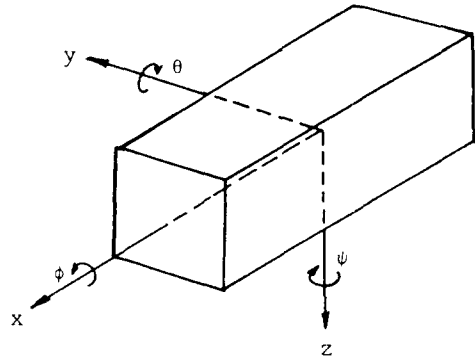


Fig. 4 Coordinate system of ROV

본 논문에서는 Fig. 4에 도시된 바와 같은 선수 방향을 x, 우현방향을 y, 수직하방을 z로 하는 ROV에 고정된 이동좌표계에 대하여 운동방정식을 기술하였다. 수중물체의 운동방정식은 6차 행렬식으로 다음과 같이 표현된다.

$$M \dot{v} = -F_I + F_F + F_G + F_B + F_T \dots \dots (1)$$

여기서, M 은 질량행렬이고 \dot{v} 는 가속도 벡터이다.

$$\dot{v} = \{\dot{u}, \dot{v}, \dot{w}, \dot{\omega}_x, \dot{\omega}_y, \dot{\omega}_z\}^T \dots \dots \dots (2)$$

ROV에 작용하는 주요 외력은 식 (1)의 우측항과 같이 5가지로 분류할 수 있다. F_I 는 원심력과 관성적 유체력을 나타내며, F_F 는 비관성적 유체력, F_G 는 중력, F_B 는 부력, F_T 는 추진기력 및 케이블 인장력 등을 나타낸다. 각 항목별 상세한 관계식은 참고문헌⁶⁾에 정리되어 있다.

ROV의 질량 및 관성모멘트는 실측하여 구하고, 무게중심은 탑재물의 중량 및 탑재 위치로부터 계산하여 구할 수 있고, 배수량 및 부심은 탑재물의 배수량으로부터 계산된다. 부가질량 및 부가관성 모멘트는 수조시험을 통하여 구하며, 항력계수, 양력계수도 역시 수조시험을 통하여 얻는다. 프로펠러의 추진기력은 선박의 경우와 동일하게 정량화 할 수 있으며, 케이블 인장력은 ROV의 사용목

적에 따라 외력항에 포함시킨다.

ROV는 수중에서 저속으로 운항되므로 ROV의 6자유도 운동방정식은 각 운동성분이 모두 연성되고 시스템 계수가 선속 및 주파수의 비선형 함수이므로 제어시스템을 위한 수학적 모델로는 부적합하다. 따라서 ROV의 운항조건 및 작업목적에 따라 적절한 가정을 하여 제어와 관련된 수학적 모델링을 수행하여야 한다. 본 논문에서는 ROV의 수심은 독립적으로 제어가능하다고 가정하였으며, 해저 수평면 상에서 수중 물체를 이동하는 ROV 시스템을 설정하였다.

ROV의 하중변화에 따른 관성력과 유체항력의 변화를 고려하고, ROV의 위치변화에 따른 x, y 방향 케이블 인장력이 선형적으로 변화한다고 가정하였다. 또한 케이블에 작용하는 조류력이 ROV에 일정한 외력으로 작용한다고 가정하였다. 따라서 x-y 평면상의 운동에 국한된 ROV의 운동방정식은 다음과 같이 전개할 수 있다⁸⁾.

$$(M+A_{11})\ddot{x} + \frac{1}{2} \rho_w(C_1 S_1 | \cos\psi | + C_2 S_2 | \sin\psi |) V_x | V | + kx - C_1 V_{\alpha} | V_c | = T_x \dots\dots\dots (3)$$

$$(M+A_{22})\ddot{y} + \frac{1}{2} \rho_w(C_3 S_1 | \sin\psi | + C_4 S_2 | \cos\psi |) V_y | V | + ky - C_1 V_{\gamma} | V_c | = T_y \dots\dots\dots (4)$$

$$(I+A_{66})\ddot{\psi} + \frac{1}{2} \rho_w C_5 S_3 \psi | \dot{\psi} | = M_z \dots\dots (5)$$

여기서,

- M, I : 질량 및 관성모멘트
- A_{11}, A_{22}, A_{66} : 부가질량 및 부가관성 모멘트
- ρ_w : 해수의 밀도
- x, y, ψ : 전후, 좌우, 선수동요
- T_x, T_y, M_z : 추진기의 제어입력 및 모멘트
- C_1, C_2, \dots, C_5 : 유체력 계수
- V_c : 조류 속도벡터
(= $V_{\alpha} i + V_{\gamma} j$)
- V : ROV의 대수 속도벡터
(= $(\dot{x} - V_{\alpha})i + (\dot{y} - V_{\gamma})j$)
- k : 케이블의 수평면 스프링 상수
- C_i : 케이블에 작용하는 조류력상수
(= $\frac{1}{2} \rho_w S_i$)

- S_1, S_2 : ROV의 x, y 방향 유효면적
- S_3 : ROV의 z 회전방향 유효면적
- S_i : 케이블의 수직면 투영 유효면적

3. 자기동조 위치제어 시스템

3.1 시스템 모델링

수중 물체를 이동하기 위한 ROV시스템은 하중변화에 따라 시스템 계수가 변화하므로 자기동조 제어를 적용하였다. 운동방정식 (3), (4), (5)에 대하여 자기동조 제어를 구성하기 위하여 입력 및 출력 변수를 다음으로 치환하였다.

$$u_1(t) = T_x(t); u_2(t) = T_y(t); u_3(t) = M_z(t) \\ v_1(t) = x(t); v_2(t) = y(t); v_3(t) = \psi(t)$$

식 (3), (4), (5)를 선형화하여 연성항을 소거시키고 차분방정식 형태로 변환하면 다음과 같은 수학적 모델이 얻어진다⁹⁾.

$$u_1(k) = a_{11}v_1(k-1) + a_{12}v_1(k-2) + b_{11}u_1(k-1) + b_{12}u_1(k-2) + h_1 + e_1(k) \dots\dots\dots (6)$$

$$u_2(k) = a_{21}v_2(k-1) + a_{22}v_2(k-2) + b_{21}u_2(k-1) + b_{22}u_2(k-2) + h_2 + e_2(k) \dots\dots\dots (7)$$

$$u_3(k) = a_{31}v_3(k-1) + a_{32}v_3(k-2) + b_{31}u_3(k-1) + b_{32}u_3(k-2) + h_3 + e_3(k) \dots\dots\dots (8)$$

여기서 u_i 는 추진기 입력, v_i 는 출력변위, h_i 는 조류의 효과를 나타내며, e_i 는 모델링 오차이다. 식 (6), (7), (8)은 자기동조 제어기 설계 및 시스템의 모델화를 위하여 서로 독립적인 단일입력/단일출력(SISO) 차분방정식 형태로 시스템이 가정된 것을 나타낸다. 이러한 가정으로부터 계측오차가 포함된 SISO의 차분모델이 다음과 같은 ARMA 형태를 갖는다.

$$A_i(q^{-1})v_i(t) = B_i(q^{-1})u_i(t-d) + h_i + D_i(q^{-1})\zeta_i(t) \dots\dots\dots (9)$$

여기서 $\zeta_i(t)$ 는 모델링 오차 및 계측교란을 나타내는 Gaussian변수이고 d 는 시간지연, q^{-1} 는 backward shift operator이다. 다항식 $A_i(q^{-1}), B_i(q^{-1}), D_i(q^{-1})$ 는 다음식으로 주어지며,

$$A_i(q^{-1}) = 1 + a_{i1}q^{-1} + a_{i2}q^{-2} + \dots + a_{in}q^{-n} \dots(10)$$

$$B_i(q^{-1}) = b_{i0} + b_{i1}q^{-1} + b_{i2}q^{-2} + \dots + b_{im}q^{-m} \dots(11)$$

$$D_i(q^{-1}) = 1 + d_{i1}q^{-1} + d_{i2}q^{-2} + \dots + d_{in}q^{-n} \dots(12)$$

$b_{i0} \approx 0$ 이고, n 은 모델의 차수이다. 교란성분이 제어입력에 무관하다고 가정하면 식 (12)의 n 은 영이 되어 $D_i(q^{-1})$ 은 1이 된다.

3.2 매개변수 추정

식 (9)는 변수에 대해 선형이므로 다음과 같이 regression model로 나타낼 수 있다.

$$u_i(t) = \theta_i^T \Phi_i(t-1) + \zeta_i(t), \quad i=1, 2, 3 \dots (13)$$

여기서,

$$\theta_i = \{a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{im} \ b_{i0} \ b_{i1} \ \dots \ b_{in} \ h_{ij}\}^T \dots (14)$$

$$\Phi_i(t-1) = \{-v_i(t-1) \ -v_i(t-2) \ \dots \ -v_i(t-n) \ v_i(t-d) \ v_i(t-d-1) \ \dots \ v_i(t-d-n)\}^T \dots (15)$$

식 (13) 모델의 매개변수는 일반적으로 시변수이므로 순환 최소제곱법(RLS)을 이용하여 매개변수 $\theta_i(t)$ 를 순환적으로 추정할 수 있다^{2),3)}

$$\hat{\theta}_i = \hat{\theta}_i(t-1) + \frac{P_i(t-2)\Phi_i(t-1)}{\beta_i(t-1) + \Phi_i(t-1)^T P_i(t-2)\Phi_i(t-1)}$$

$$[v_i(t) - \hat{\theta}_i^T(t-1)\Phi_i(t-1)] \dots (16)$$

$$P_i(t-1) = \frac{1}{\beta_i(t-1)} \left[P_i(t-2) - \frac{P_i(t-2)\Phi_i(t-1)\Phi_i^T(t-1)P_i(t-2)}{\beta_i(t-1) + \Phi_i(t-1)^T P_i(t-2)\Phi_i(t-1)} \right] \dots (17)$$

$i=1, 2, 3$

여기서 $\beta_i(t)$ 는 forgetting factor이다.

3.3 제어기 구성

거칠은 제어작용 및 진동하는 제어작용을 감쇠시키기 위하여 1차차수 다항식을 이용한 성능지수 함수를 설정하여 위치차의 분산, 제어입력의 분산, 및 제어입력 변화량의 분산을 최소화하는 자기동조 제어기를 구성하였다.

SISO차분 모델에 대하여 성능지수함수를

$$J(t+1) = E \left\{ S_{11} [C_{ik}(q^{-1})\{v_i(t+d) - v_i^*(t+d)\}]^2 + S_{22} u_i(t)^2 + S_{33} \{v_i(t) - v_i(t-1)\}^2 \mid t \right\}, \quad i=1, 2, 3 \dots (18)$$

와 같이 설정하였다. 여기서 $E\{*\mid t\}$ 는 시간 t 에서 얻어진 I/O 데이터를 조건으로 한 시간 $t+d$ 에서의 기대치를 의미하며, S_{11} , S_{22} , S_{33} 는 각 항에 대한 가중함수이고, v_i^* 는 요구되는 ROV의 위치를 나타

낸다. 다항식 $C_{ik}(q^{-1})$ 은 단위원 안에 근이 존재하는 1차차수 tailoring polynomial로서 $1 + C_{ik}q^{-1}$ 이다³⁾.

요구되는 ROV의 궤적으로부터의 출력 분산, 제어입력 분산 및 제어입력의 변화량 분산을 제어입력 $u_i(t)$ 에 대하여 최소화 하였다. 식 (18)에서 $v_i(t+d)$ 를 최적 d -단계 예측치 $\hat{v}_i(t+d \mid t)$ 로 대체시키고 $u_i(t)$ 에 대하여 최소화하면 $u_i(t)$ 는 다음을 만족한다.

$$b_{i0} S_{11} [C_{ik}(q^{-1})\{\hat{v}_i(t+d \mid t) - v_i^*(t+d)\}] + S_{22} u_i(t) + S_{33} \{u_i(t) - u_i(t-1)\} = 0 \dots (19)$$

모델식 (9)의 차수 n 을 2로하고 d 를 1로 정하면 $\hat{v}_i(t+d \mid t)$ 는 다음과 같다.⁹⁾

$$\hat{v}_i(t+d \mid t) = \hat{\Theta}_i^T(t) \Phi_i(t) \dots (20)$$

따라서, 식 (18)를 최소화하는 제어입력 $u_i(t)$ 는 다음과 같이 정리된다.

$$u_i(t) = \frac{1}{S_{11} \hat{b}_{i0} + S_{22} + S_{33}} \left[S_{33} u_i(t-1) + \hat{b}_{i0} \{v_i^*(t+1) + \hat{a}_{i1} v_i(t) + \hat{a}_{i2} v_i(t-1) - \hat{b}_{i1} u_i(t-1) - \hat{b}_{i2} u_i(t-2) - h_{i1}\} + \hat{b}_{i0} S_{11} C_{i1} \{v_i^*(t) - v_i(t)\} \right], \quad i=1, 2, 3 \dots (21)$$

여기서 \hat{a}_{i1} , \hat{a}_{i2} , \hat{b}_{i0} , \hat{b}_{i1} , \hat{b}_{i2} 는 시간 $t-1$ 에서 추정된 매개변수를 의미한다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

운동방정식 (3), (4), (5)를 Runge-Kutta법으로 수치적분하여 ROV의 운동을 시뮬레이션하였다. Fig. 5는 원점에 존재하는 ROV가 P1위치의 물체를 P2위치로 이동하고 다시 원점으로 돌아오는 ROV 시스템의 좌표계를 나타낸다. 원점에서 이탈되는 변위에 따라 시스템이 변화하고, ROV가 P1, P2 위치 사이에서 ROV의 하중이 변화한다. 계산에 사용된 하중조건은 L1, L2 두 가지로서 운동방정식 (3), (4), (5)의 계수가 Table 1에 나타나 있다. x, y방향의 계측오차 공분산을 각각 0.01, 선수각 계측오차 공분산을 0.003이라고 가정하였고 시뮬레이션된 운동 변위에 계측오차를 더하여 계측신호를 발생시켰다. 데이터 취득시간 간격은 0.5초로 정하였고 시상수를 1.0초로 하여 $C_{11} = -0.606$ 으

로 고정시켰다. 초기 매개변수추정치 $\hat{\theta}_i(0)$ 는 교란이 없는 정지상태의 값으로 선택하였으며, $P_i(-1)$ 은 positive definite하게 정하였다. 가중함수는 요

적으로 데이터에 가중치를 주는 함수로 선정하였다.

$$\beta(t) = \beta_0\beta(t-1) + (1-\beta_0)$$

여기서 $\beta(0) = 0.95$, $\beta_0 = 0.99$ 로 정하였다.

Table 2 Weighting coefficients of the cost function

i	S_{i1}	S_{i2}	S_{i3}
x	2×10^9	1×10^5	1×10^4
y	1×10^9	2×10^4	2×10^4
z	2×10^8	1×10^5	2×10^4

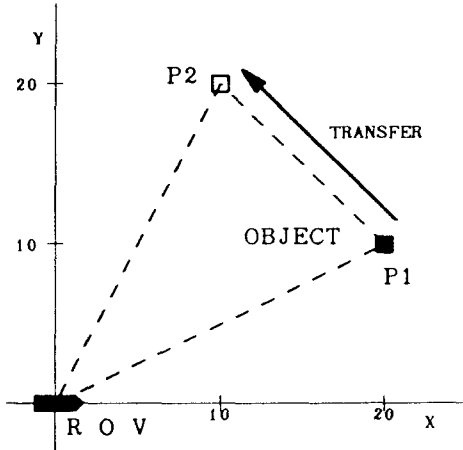


Fig. 5 Work schedule to transfer an object from P1 to P2

Table 1 Example data of the equation of motion for load condition L1 and L2.

Item	L_1	L_2	Unit
M	50.0	70.0	kgf
I	15.0	20.0	kgf · m ²
A_{11}	70.0	70.0	kgf
A_{12}	70.0	80.0	kgf
A_{66}	15.0	20.0	kgf · m ²
$C_i (i=1, \dots, 5)$	1.00	1.00	
C_7	50.	50.0	kgf/m
S_1	0.15	0.15	m ²
S_2	0.20	0.25	m ²
S_3	0.25	0.30	m ²
k	1.00	1.50	N/m

총 시물레이션 시간은 240초로 하였으며 초기 하중조건은 L1이고 계단입력으로 위치명령이 주어졌다. 시간 40초에서 하중조건 L2로 바뀌고 시간 80초에서 새로운 위치명령이 내려졌다. 시간 120초에서 하중조건 다시 L1으로 바뀌었으며 시간 160초에서 원점으로 돌아오는 시스템이다.

Fig. 6은 상술한 조건하에서 자기동조 위치제어 시물레이션의 결과를 나타낸다. 그림에서 초기 계단입력에 대하여 x 위치는 23초, y 위치는 14초의 rising time이 소요되었다. 하중조건이 L2로 변화할 때 x 방향의 위치변화가 존재하였으나 곧 원상 회복하였고 선수각에 약간의 요동이 일어났다. 제어 결과는 전체적으로 지정위치를 1m 반경 이내로 유지하였으며, Fig. 7로부터 위치제어가 어느 정도로 정확하게 수행되었는가를 알 수 있다. 본 연구의 위치제어 시물레이션은 경로제어를 포함하지 않았으므로 위치변화 시에 곡선궤적을 그리는 결과를 보였다. Fig. 8은 최대 추력을 150 N, 최대 모멘트를 50 Nm로 가정하였을 때의 제어입력을 도시한 것이다. P1 위치와 P2 위치에서 추력의 평균치가 영이 아닌 것은 케이블의 인장력에 기인한 결과이며, 매개변수추정오차에 의하여 초기 T_y 에 교란성분이 포함되었다. Fig. 9는 매개추정변수 \hat{b}_0 의 시간에 따른 변화양상을 도시한 것으로서 하중조건이 변할 때와 새로운 위치명령이 주어질 때에 \hat{b}_0 가 변화하였으며 시간이 지남에 따라 수렴하는 결과를 보였다. Fig. 10은 추정매개변수 \hat{a}_{11} 의 시간에 따른 변화양상으로서 선수동요 성분이 x, y 성분보다 추정오차가 큼을 보이고 있다.

구되는 작업위치와 ROV위치의 차이, 추진기력 및 추진기력의 변화량 각각의 성능치의 차수가 같게 설정하였으며, 시물레이션에 사용된 가중함수를 Table 2에 나타내었다. 조류속도는 x, y 방향으로 각각 0.1, 0.2m/s라고 정하였다. forgetting factor $\beta(t)$ 는 다음과 같이 시간이 지남에 따라 지수함수

자기동조 제어기를 이용한 원격무인 잠수정의

위치제어 시뮬레이션을 통하여 자기동조 위치제어는 하중조건 변화 및 위치변화에 따른 시스템의 변화에 적응하여 사용될 수 있음을 검증하였다.

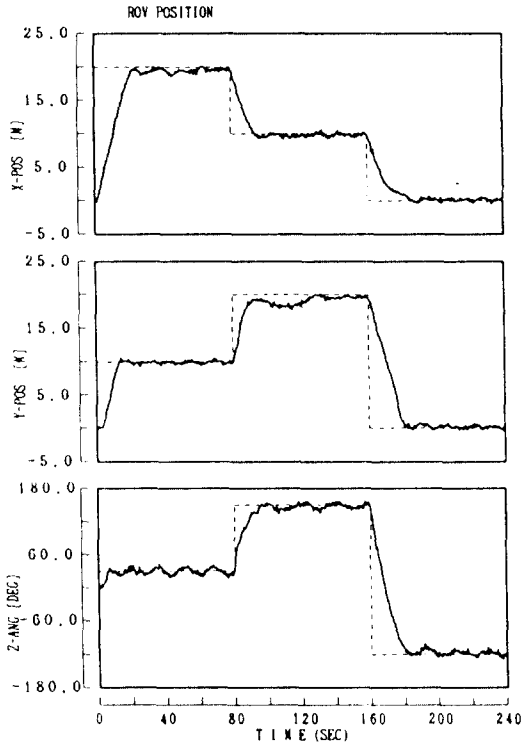


Fig. 6 Simulated position x, position y and yaw angle ψ of the ROV

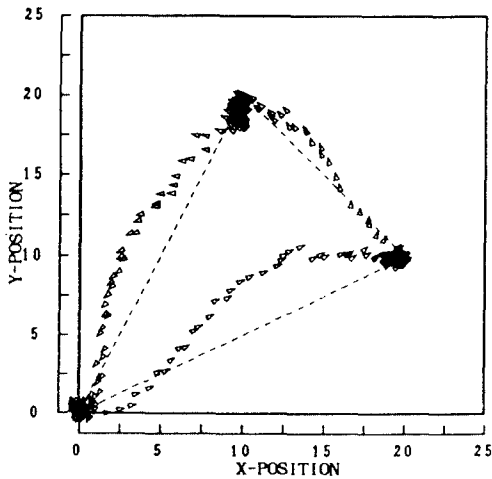


Fig. 7 Simulated planar motion of the ROV

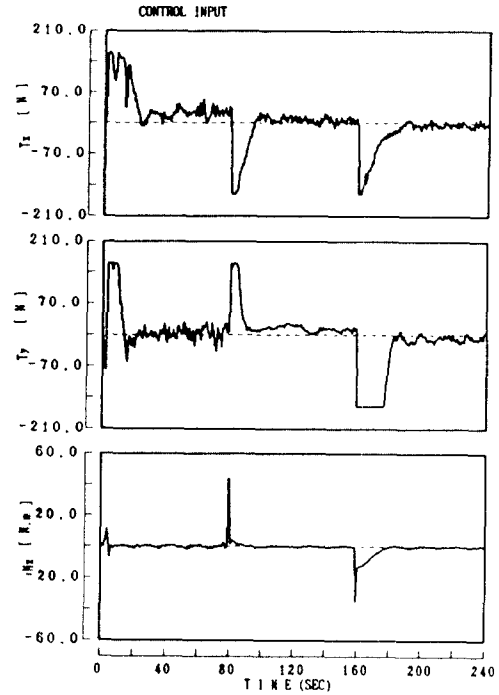


Fig. 8 Control input force T_x , T_y and moment M_z

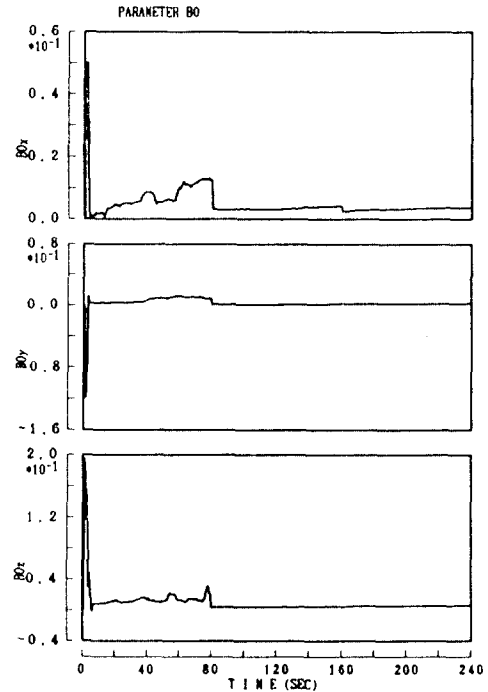


Fig. 9 Estimated parameter \hat{b}_{i0} for x, y, ψ

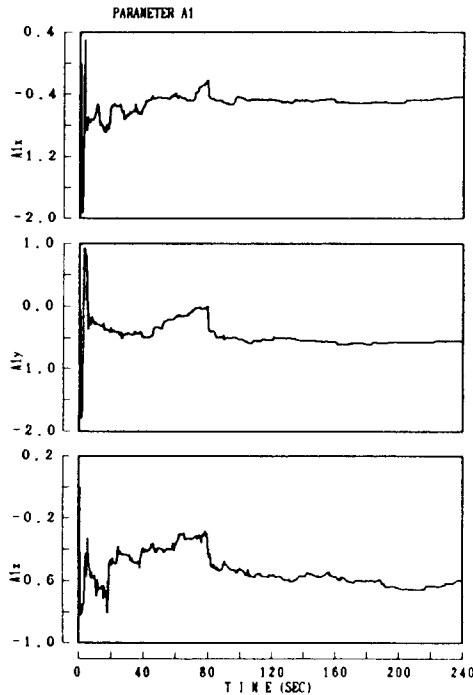


Fig. 10 Estimated parameter \hat{a}_1 for x, y, ψ

5. 결 론

원격무인 잠수정은 수상선으로부터 멀리 떨어져 있는 심해에서 작업을 수행하므로 원격조종되는 특성을 갖는 시스템으로서 신뢰성있는 제어시스템 구성이 요구된다. ROV시스템의 제어를 위해서는 수조시험을 통하여 얻어지는 유체력 계수들로부터 운동방정식을 정립하고 ROV의 사용목적에 부합되는 수학적 모델을 세우는 과정이 필요하며, 위치제어를 위한 제어시스템 선정이 중요 관건이 되는 것을 검토하였다.

본 논문은 자기동조제어기를 이용한 위치제어 시뮬레이션을 수행하였으며, 하중조건의 변화 및 위치변화에 따른 시스템의 변화에 적응하는 제어시스템을 구성하였다. 성능함수를 최소화하는 기법을 이용하였고 매개변수추정은 순환최소제곱법(RLS)을 이용하였다. 시뮬레이션 결과로부터 하중조건이 변화하는 상황에서 ROV의 위치제어기로서 적응제어기가 유효함을 나타내었다.

ROV의 제어를 실현하기 위해서는 영상처리 시

스템, 계측시스템, 통신시스템, 위치제어시스템, 매니퓰레이터 제어시스템, 추진기시스템, 동력시스템 등을 종합하여야 하는 과제가 있으며, 앞으로 총체적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 한국해사기술연구소가 과학기술처의 89년도 국가특정연구사업으로 수행하고 있는 "해양 작업 시스템 개발"과제의 일부 결과임을 밝혀 둔다.

참 고 문 헌

- 1) Mitsui Zosen Ship and Ocean Project Headquarters, "3000m class ROV 'DOLPHIN-3K'", Mitsui Zosen Tech. Rev. No.134, 1989
- 2) Astrom, K.J., B. Wittenmark, "Adaptive Control", Addison-wesley Co., 1989
- 3) Harris, C.J., S.A. Billings, "Self-tuning and Adaptive Control: Theory and Applications", Peter Peregrinus Ltd., 1981
- 4) 이상무, 홍도천, 이판목, 홍사영, "선박의 자동 위치확보시스템 해석법에 관한 연구", 한국기계연구소보고서 UCD629. 181, 1987
- 5) Scholley, G.C., C.T. Mullen, D. Johnson, "A New Family of Tethered under Water Remote Controlled Work Vehicles", OTC 2403, Vol. III, 1975
- 6) Ishidera, H., Y. Tsusaki, Y. Ito, T. Oishi, S. Chiba, T. Maki, "Motion Simulation of a Remotely Operated Vehicle (ROV)", J.S.N.A.J. Vol. 157, 1985
- 7) Fyfe, A.J., G.T. Russell, "Closed Loop Control System and Hydrodynamics of a Tethered Submersible", OTC 3767, Vol. II, 1980
- 8) Conter, A., S. Longhi, C. Tirabassi, "Dynamic Model and Self-Tuning Adaptive Control of an Underwater Vehicle", Proceedings of 8th OMAE, 1989
- 9) Goodwin, G.C., K.S. Sin, "Adaptive Filtering Prediction and Control", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984