

<論 文>

반잠수식 해양구조물의 동위치제어에 관한 실험적 연구

김성근* · 유휘룡** · 김상봉***

(1994년 7월 21일 접수)

Experimental Study on Dynamic Positioning Control of a Semi-Submergible Platform

Seoung Gun Kim, Hui Ryong Yoo and Sang Bong Kim

Key Words : Dynamic Positioning Control System(동위치제어 시스템), Observer(관측기), Semi-Submergible Platform(반잠수식 작업선), Servo Control System(서보제어 시스템)

Abstract

This paper presents a design method of dynamic positioning control system in view of practical design concept for reliability and robust realization. This method adopts a design method of multivariable robust servo system. The practical experiments of the dynamic positioning control were carried out for a semi-submersible 2-lower hull type platform model with 4 rotatable thrusters in a small water tank. The results of overall experiment show that the proposed position control method will be an efficient method to the better control performance of dynamic positioning system under severe environment and it is substantially practicable for the platform.

I. 서 론

자동제어 시스템은 1769년 James Watt의 Fly-ball Governor가 근대 공업화과정에 처음 적용된 이래 현재까지 여러 분야에 응용되고 있으며, 더욱이 디지털컴퓨터의 급속한 발달은 현대제어이론에 대한 적용범위의 확대는 물론 경제성있는 제어시스템의 개발을 가능하게 하고 있다. 특히, 해양분야의 기존 제어 시스템에 대한 새로운 시각에서의 재조명이 필요할 것으로 생각된다. 기존의 부유구조물의 동위치제어에 대한 연구는 제어이론을 적

용한 수치시뮬레이션이 대부분을 차지하고 있었으나, 모형실험 및 실험실실험에 대한 연구도 최근에 이르러 활발히 진행되어지고 있다.⁽¹⁻⁵⁾

종래의 해상 플랫폼 또는 선박의 위치를 유지하기 위한 계류수단으로서 앵커, 체인, 케이블 및 윈치 등이 결합된 시스템이 사용되어 왔지만, 수심이 깊은 해역에 있어 플랫폼의 정위치 유지가 기술적, 경제적인 면에서 어렵게 되었다. 그래서 새로운 계류 수단으로써 자동위치제어 시스템(DPS)이 연구 대상으로 되어 실용화에 대한 연구들이 활발하게 진행되어 왔다.⁽¹⁻⁷⁾

본 논문에서는, DP 시스템의 적용을 위한 모델로서 추진식 Thruster를 채용한 반잠수식 2-lower hull¹ 플랫폼⁽¹⁾을 택하여, 정점유지 제어를 위한 제어법으로 다변수 서보계 설계법⁽⁶⁾을 적용하고, 그

*부산수산대학교 해양산업개발연구센터

**부산수산대학교 대학원

***정회원, 부산수산대학교 기계공학과

유효성을 검토하기 위하여 모형선을 제작한 후, 기 초적인 실험을 행한 결과를 보였다.

2. 반잠수식 구조물의 모델

실험을 위하여 제작된 모델은 2-lower hull을 갖 는 반잠수식 모델로서 기본寸법은 Table 1에 나타 낸 것과 같다.

위치제어 실험을 위하여 실험모델은 설계과장 500 mm를 기준으로 설계되었으며, 재료는 PVC를

사용하였다. 그 모형은 Photo 1에 보인 것과 같 다. 추진을 위한 4개의 모터는 lower hull 밑 4곳 의 모서리 근방에 장착하였으며, 추진방향제어를 위한 4개의 모터는 갑판의 4곳에 설치하였다

플랫폼의 비선형 운동방정식은 Fig. 1에 보인 좌 표계로부터 다음 식으로 주어진다.⁽³⁾

$$(M + m_x) \frac{du}{dt} = (M + m_y) \cdot ur + X_1 + X_2 + X_m + X_w + T_{B1} \cdot \cos \theta_{B1} + T_{B2} \cdot \cos \theta_{B2} + T_{S1} \cdot \cos \theta_{S1} + T_{S2} \cdot \cos \theta_{S2} \quad (1)$$

$$(M + m_x) \frac{dv}{dt} = (M + m_x \cdot ur + Y_1 + Y_2 + Y_m + Y_w + T_{B1} \cdot \sin \theta_{B1} + T_{B2} \cdot \sin \theta_{B2} + T_{S1} \cdot \sin \theta_{S1} + T_{S2} \cdot \sin \theta_{S2} \quad (2)$$

$$(I + J_{zz}) \frac{dr}{dt} = (m_x - m_y) \cdot uv + N_1 + N_2 + N_m + N_w + L_B (T_{B1} \cdot \sin \theta_{B1} + T_{B2} \cdot \sin \theta_{B2}) - L_S (T_{S1} \cdot \sin \theta_{S1} + T_{S2} \cdot \sin \theta_{S2}) + B (-T_{B1} \cdot \cos \theta_{B1} + T_{B2} \cdot \cos \theta_{B2}) + B (-T_{S1} \cdot \cos \theta_{S1} + T_{S2} \cdot \cos \theta_{S2}) \quad (3)$$

$$u_a = \frac{dx_0}{dt} = u \cdot \cos \phi - v \cdot \sin \phi \quad (4)$$

$$v_a = \frac{dy_0}{dt} = u \cdot \sin \phi - v \cdot \cos \phi \quad (5)$$

$$r = \frac{d\phi}{dt} \quad (6)$$

여기서,

$O(x_0, y_0, z_0)$: 공간 고정좌표계

M : 플랫폼의 질량

m_x, m_y : 플랫폼의 x, y 축 방향 부가질량

I : 플랫폼의 z 축 주위 관성모멘트

J_{zz} : 플랫폼의 z 축 주위 부가관성 모멘트

u, v : x, y 축 주위의 속도성분

ϕ : 플랫폼의 방위각

X_i, Y_i, N_j : 플랫폼의 x, y 축 방향의 유체력 ($i=1, 2$) 및 z 축 주위의 유체모멘트

(1: Wave exciting force & moment, 2: Current force & moment)

X_m, Y_m, N_m : 플랫폼의 x, y 축 방향의 계류력 및 z 축 주위의 계류모멘트

X_m, Y_m, N_m : 플랫폼의 x, y 축 방향의 풍압력

Table 1 Basic dimension of model

Description	Scale	Unit
Length	430	mm
Depth	280	mm
Draft	170	mm

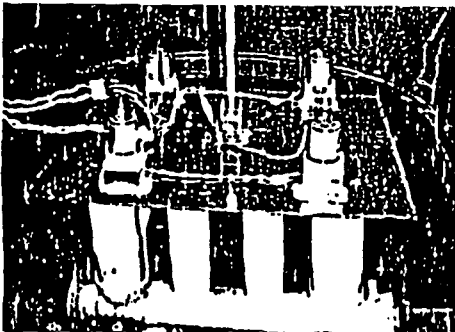


Photo 1 Photograph of model apparatus

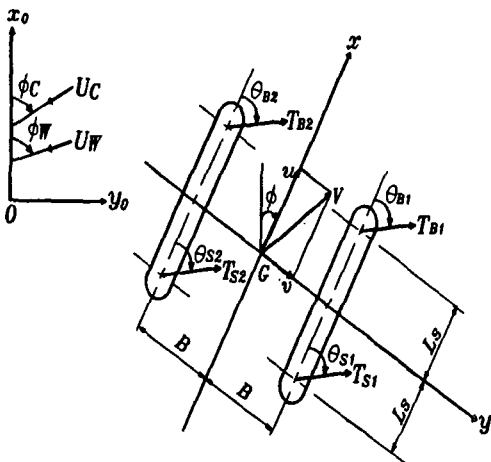


Fig. 1 Coordinate axes of a platform motion

Table 2 Specification of model platform

Symbol	Description	Values
M	Mass of platform	7.520 kgf
m_x	Added mass of x-axis direction	1.504 kgf
m_y	Added mass of y-axis direction	3.760 kgf
I	Mass moment of inertia around z-axis direction of platform	0.9776 kgf-m
J_{zz}	Added mass moment of inertia around z-axis direction of platform	0.244 kgf-m
L_B	Length between y-axis and thruster	0.14 m
B	Length between x-axis and thruster	0.13 m

및 z축 주위의 풍압모멘트

T_{Bi}, T_{Si} : 선수 및 선미 Thruster의 추력크
($i=1, 2$) 기

θ_{Bi}, θ_{Si} : 선수 및 선미의 선회각
($i=1, 2$)

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$x^t(t) = [x_0, y_0, \phi, u_a, v_a, r]$$

$$u^t(t) = [\theta_{B1}, \theta_{B2}, \theta_{S1}, \theta_{S2}, T_{B1}, T_{B2}, T_{S1}, T_{S2}]$$

u_a, v_a : x_0 및 y_0 방향의 속도성분

2.1 상태방정식

반잠수식 해양구조물의 상태방정식은 구조물에 대한 비선형 운동방정식을 평형점 근방에서 선형화한 후 다음과 같은 식(7)로 나타낼 수 있다.^(6,7)

$$\frac{dx(t)}{dt} = Ax(t) + Bu(t) + \delta(t) \quad (7)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

단,

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & a_{13} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{23} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ 0 & 0 & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ 0 & 0 & a_{63} & a_{64} & a_{65} & 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} & b_{45} & b_{46} & b_{47} & b_{48} \\ b_{51} & b_{52} & b_{53} & b_{54} & b_{55} & b_{56} & b_{57} & b_{58} \\ b_{61} & b_{62} & b_{63} & b_{64} & b_{65} & b_{66} & b_{67} & b_{68} \end{bmatrix}$$

모델의 실험을 위하여 식(7)에서의 A 및 B 행렬의 요소에 대한 연산식은 부록에 수록하였으며, A 및 B 행렬값은 Table 2에 보인 모델의 사양값과 Table 3에서와 같은 평형점 근방의 조건을 대입하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -0.00043 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.0004 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.0 & 0 & 0.0 & 0.00001 \\ 0 & 0 & 0.0 & 0.0 & 0 & 0.00886 \\ 0 & 0 & 0.00362 & 0.000079 & -0.081792 & 0 \end{bmatrix}$$

Table 3 Values of equilibrium point

Symbol	Values
$\phi(t_0)$	0.01 deg
$r(t_0)$	0.0 deg/sec
$u(t_0)$	0.0443 m/sec
$v(t_0)$	0.0004 m/sec
$T(t_0)$	0.001 Kgf
$\theta(t_0)$	0.01 deg

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.10e+5 & -0.10e+5 & -0.20e+5 & -0.20e+5 & 0.110812 & 0.110812 & 0.110812 & 0.110812 \\ 0.89e+4 & 0.89e+4 & 0.89e+4 & 0.89e+4 & 0.001197 & 0.001197 & 0.001995 & 0.001995 \\ 1.15e+4 & 1.14e+4 & -1.13e+4 & -1.16e+4 & -0.106266 & 0.106495 & -0.107526 & 0.105235 \end{bmatrix}$$

3. 위치서보제어계의 설계

에서 Step 6의 과정을 통하여 이루어진다.⁽⁷⁾

3.1 서보보상기 설계

Step 1 : 식(7)에 대해 샘플링시간 T=0.01(sec)으로 이산화한 시스템을 구한다.

반감수식 구조물의 위치제어를 위한 제어계 구성 방법으로 본 연구에서는 디지털 서보계 구성법⁽⁶⁾을 사용하였다. 실제적인 설계는 다음과 같은 Step 1

$$x(k+1) = \Phi x(k) + \Gamma u(k) + \delta(k) \quad (8)$$

단,

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1.00E+00 & 0.00E+00 & -4.43E+05 & 1.00E-01 & 5.90E-11 & -2.16E+06 \\ 0.00E+00 & 1.00E+00 & -3.99E+07 & 1.47E-12 & 9.99E+02 & 4.42E+05 \\ 0.00E+00 & 0.00E+00 & 1.00E+00 & 5.00E-09 & -4.09E+06 & 0.00E+01 \\ 0.00E+00 & 0.00E+00 & 1.80E-12 & 1.00E+00 & -4.05E+11 & 1.00E+06 \\ 0.00E+00 & 0.00E+00 & 1.59E-09 & 4.43E-11 & 9.99E+01 & 8.86E+04 \\ 0.00E+00 & 0.00E+00 & 3.60E-06 & 0.00E+07 & -8.18E+05 & 1.00E+00 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} -5.00E-9 & -5.00E-9 & -9.99E-9 & -9.99E-9 & -5.54E-4 & 5.54E-4 & 5.54E-4 & 5.54E-4 \\ 4.45E-7 & 4.45E-7 & 4.44E-7 & 4.44E-7 & 5.80E-6 & 6.16E-6 & 9.97E-4 & 9.97E-4 \\ 6.69E-7 & 6.69E-7 & -6.65E-7 & -6.75E-7 & -6.20E-5 & 6.22E-4 & -6.28E-4 & 6.14E-4 \\ -9.99E-8 & -9.99E-8 & -2.00E-7 & -2.00E-7 & 1.10E-2 & 1.10E-2 & 1.10E-2 & 1.10E-2 \\ 8.90E-6 & 8.90E-6 & 8.89E-6 & 8.89E-6 & 1.14E-4 & 1.25E-4 & 1.99E-2 & 1.99E-2 \\ 1.33E-5 & 1.33E-5 & -1.35E-5 & -1.35E-5 & -1.24E-2 & 1.24E-2 & -1.25E-2 & 1.22E-2 \end{bmatrix}$$

Step 2 : 외란과 목표치에 대한 최소공배 다항식 (least common multiple)을 구한다.

$$z(k+1) = N_e z(k) + M_e P^*(q^{-1})x(k) \quad (10)$$

단,

외란 $\delta(k)$ 와 목표치 $y_r(k)$ 는 각각 Step형태라고 가정했을 경우, 다음과 같은 차분방정식 형태로 표현된다.

$$N_e = \text{diag}[-1 -1 -1]$$

$$M_e = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$P_{yr}(q^{-1})y_r(k) = (1 - q^{-1})y_r(k) = 0$$

$$P_\delta(q^{-1})\delta_r(k) = (1 - q^{-1})\delta(k) = 0$$

단, q^{-1} 는 추이연산자(shift operator)이다. 이때, 최소공배 다항식은 다음과 같이 정의한다.

Step 4 : 최소공배 다항식을 이산화된 모델상태방정식에 작용시킨 후 오차 상태방정식을 이용하여 확대계를 구성한다.

$$P^*(q^{-1}) \triangleq \text{L.C.M} [P_{yr}(q^{-1}), P_\delta(q^{-1})] \quad (9)$$

$$x_e(k+1) = \Phi_e x_e(k) + \Gamma_e v(k) \quad (11)$$

Step 3 : 최소공배 다항식을 이용하여 오차 상태방정식을 구한다.

단,

오차 $e(k)$ 를 다음과 같이 정의하고,

$$x_e(k) = \begin{bmatrix} x(k) \\ z(k) \end{bmatrix}, v(k) \triangleq P^*(q^{-1})u(k)$$

$$e(k) \triangleq y_r(k) - y(k)$$

최소공배 다항식을 작용(operation)시킨 후 정리하면 식(10)과 같은 오차 상태방정식을 얻을 수 있다.

$$\Phi_e(k) = \begin{bmatrix} \Phi & 0 \\ M_e & N_e \end{bmatrix}, \Gamma_e(k) = \begin{bmatrix} \Gamma \\ 0 \end{bmatrix}$$

Step 5 : 확대계에 대한 제어칙 $v(k)$ 를 구한다. 본 논문에서는 제어칙을 구하는 방법으로서, 다음과 같은 2차형식의 평가함수

$$J = \sum_{k=1}^{\infty} \{x_e^T(k) Q x_e(k) + v^T(k) R v(k)\} \quad (12)$$

가 최소화되도록 제어칙을 구하는 방법인 최적제어법을 이용하도록 한다.⁽⁹⁾

단, 행렬 Q 는 非不定對稱行列 (positive semi-

$$F1 = \begin{bmatrix} -4.07E-3 & 6.25E-3 & 7.46E-3 & -4.09E-3 & 5.18E-3 & 5.55E-3 \\ -4.07E-3 & 6.25E-3 & 7.46E-3 & -4.09E-3 & 5.18E-3 & 5.55E-3 \\ -4.14E-3 & 6.19E-3 & -7.40E-3 & -4.16E-3 & 5.13E-3 & -5.45E-3 \\ -4.14E-3 & 6.18E-3 & -7.51E-3 & -4.16E-3 & 5.13E-3 & -5.54E-3 \\ 1.10E-1 & -4.89E+0 & -6.89E+0 & 9.70E+0 & -4.94E+0 & -5.13E+0 \\ 1.09E-1 & -4.79E+0 & 6.95E+0 & 9.68E+0 & -4.86E+0 & 5.12E+0 \\ 2.18E-0 & 8.81E+0 & -6.96E+0 & 8.01E-1 & 6.39E+0 & -5.12E+0 \\ 2.15E-0 & 8.92E+0 & 6.88E+0 & 7.81E-1 & 6.47E+0 & 5.12E+0 \end{bmatrix}$$

$$F2 = \begin{bmatrix} -1.83E-4 & 3.61E-4 & 4.70E-4 \\ -1.83E-4 & 3.61E-4 & 4.70E-4 \\ -1.88E-4 & 3.57E-4 & -4.67E-4 \\ -1.88E-4 & 3.57E-4 & -4.74E-4 \\ 5.93E-1 & -2.19E-1 & -4.34E-1 \\ 5.92E-1 & -2.13E-1 & 4.38E-1 \\ 1.97E-1 & 5.74E-1 & -4.39E-1 \\ 1.96E-1 & 5.80E-1 & 4.32E-1 \end{bmatrix}$$

Step 6 : 서보보상기를 구한다.

$$\zeta(k+1) = N_e \zeta(k) + \begin{bmatrix} 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \\ I \end{bmatrix} e(k)$$

단, ζ 는 보상기 변수이고 N_e 는 step 3의 내용과 동일하다.

이때, 피드백 행렬 F 가 행렬 $[\Phi_e - \Gamma_e F]$ 를 안정하게 할 경우 제어입력은 다음과 같이 주어진다.⁽⁹⁾

$$u(k) = -[F_1 | F_2] [x^T, \zeta^T]^T \quad (13)$$

3.2 관측기의 설계

본 실험의 경우, x_o 및 y_o 방향 위치와 방위각만을 포텐쇼메터를 사용하여 측정하고 있으므로, 나머지 상태를 관측하기 위해 최소차원 관측기를 다음과 같이 설계했다.⁽⁸⁾

definite matrix)이고 R 은 正定對稱行列 (positive definite matrix)이다.

여기서, Q 와 R 을 단위행렬 I 로 했을 경우, 2차형식 평가함수 J 를 최소화하는 제어칙은 다음과 같다.

$$v(k) = -F x_e(k)$$

$$\text{단, } F = [F_1 | F_2]$$

관측기의 설계법으로 극배치법을 사용하였으며, 이 때 관측기의 극은 $[(-10, 0), (-20, -10), (-20, 10)]$ 으로 했다.

$$m(k+1) = A_D m(k) + B_D y(k) + J_D u(k)$$

$$x(k) = C_D m(k) + D_D y(k)$$

샘플링 시간이 10 ms일 때 관측기의 행렬은 다음과 같이 구해진다.

$$A_D = \begin{bmatrix} 9.048E-01 & -3.122E-09 & 4.072E-07 \\ -3.122E-09 & 9.048E-01 & -4.379E-04 \\ -4.072E-07 & -4.379E-04 & 9.048E-01 \end{bmatrix}$$

$$B_D = \begin{bmatrix} -9.516E-02 & -4.665E-09 & 4.204E-05 \\ -3.894E-09 & -9.517E-02 & 5.558E-05 \\ -9.306E-07 & -8.206E-04 & -9.516E-02 \end{bmatrix}$$

$$J_D = [J_{D1} | J_{D2} | J_{D3}]$$

$$J_{D1} = \begin{bmatrix} -9.52E-08 & -9.52E-08 & -1.90E-07 \\ 8.47E-06 & 8.47E-06 & 8.46E-06 \\ 1.27E-05 & 1.27E-05 & -1.26E-05 \end{bmatrix}$$

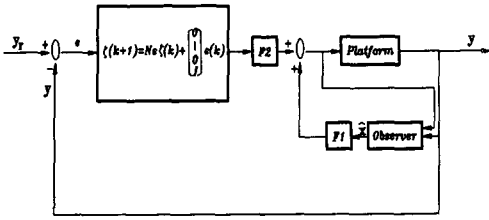


Fig. 2 Block diagram of servo control system with observer

$$J_{D2} = \begin{bmatrix} 1.90E-07 & 1.06E-02 & 1.056E-02 \\ 8.46E-06 & 1.11E-04 & 1.160E-04 \\ -1.28E-05 & -1.18E-02 & -1.180E-02 \end{bmatrix}$$

$$J_{D2} = \begin{bmatrix} 1.056E-02 & 1.06E-02 \\ 1.900E-02 & 1.89E-02 \\ -1.190E-02 & 1.16E-02 \end{bmatrix}$$

$$C_D = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 1.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.000 \end{bmatrix}$$

$$D_D = \begin{bmatrix} 1.000E+00 & 0.000E+00 & 0.000E+00 \\ 0.000E+00 & 1.000E+00 & 0.000E+00 \\ 0.000E+00 & 0.000E+00 & 1.000E+00 \\ 1.000E+00 & 3.342E-08 & 5.499E+06 \\ 3.342E-08 & 1.000E+00 & 4.021E-03 \\ 5.499E-06 & 4.021E-03 & 9.999E-01 \end{bmatrix}$$

이산화된 관측기를 제어프로그램으로 실현시켜 제어를 행하였으며, 제어프로그램은 C언어로 작성되었다.

이상의 서보제어계 설계법에 의해 구성되는 폐루프계를 블록선도로 표시하면 Fig. 2와 같다.

4. 실험결과

4.1 실험장치의 구성

위치제어 실험을 위해 제작된 모델에 대한 전체적인 하드웨어 구성도는 Fig. 3에 나타낸 것과 같고, 그에 대한 제어 블록선도는 Fig. 4에 보이기 것과 같다.

실험의 전체적인 내용을 살펴보면 위치계측기로

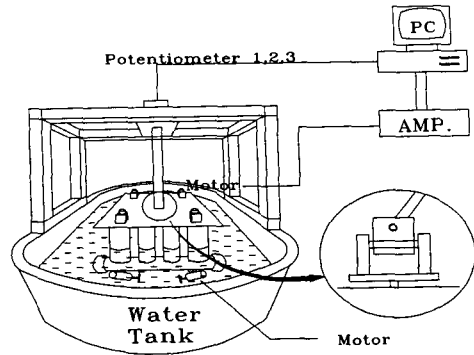


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

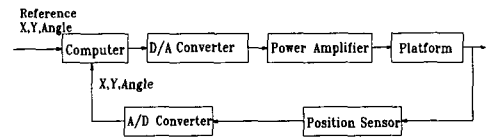


Fig. 4 Block diagram of control system

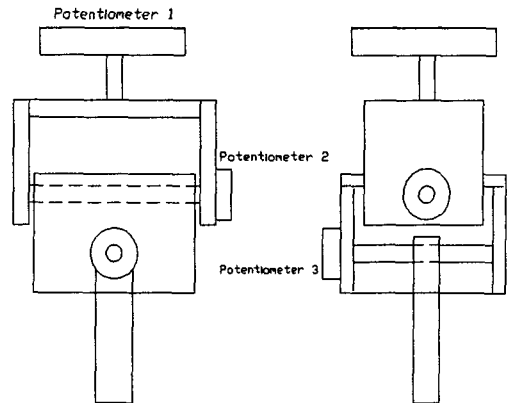


Fig. 5 Measurement device of position

부터 구조물의 위치에 대한 정보가 A/D 변환기를 통하여 디지털화된 후 컴퓨터로 입력된다. 입력된 데이터는 서보계 제어 알고리즘 루틴에서 계산되어 8개 모터의 제어입력치 계산에 사용된다. 프로그램에 의하여 산출된 값은 D/A 변환기를 통하여 아날로그화된 값으로 변환되어 각 모터의 전력 증폭기에 입력되어지며, 추력과 회전을 위하여 각 모터에 입력된다. 이러한 과정의 반복을 통하여 기준위치와 계측위치의 오차를 최소화하는 방향으로 구조물이 이동하게 된다.

4.2 모델의 위치계측장치

실제 해상에서는 구조물의 위치측정을 위해 기계적인 Taut Wire시스템, GP시스템 등이 사용되고

있으며, 실험수조에서는 3분력계 등을 응용하여 사용하고 있다.⁽⁵⁾ 본 연구에서는 Potentiometer를 이용한 위치계측장치를 제작하여 사용하였다.

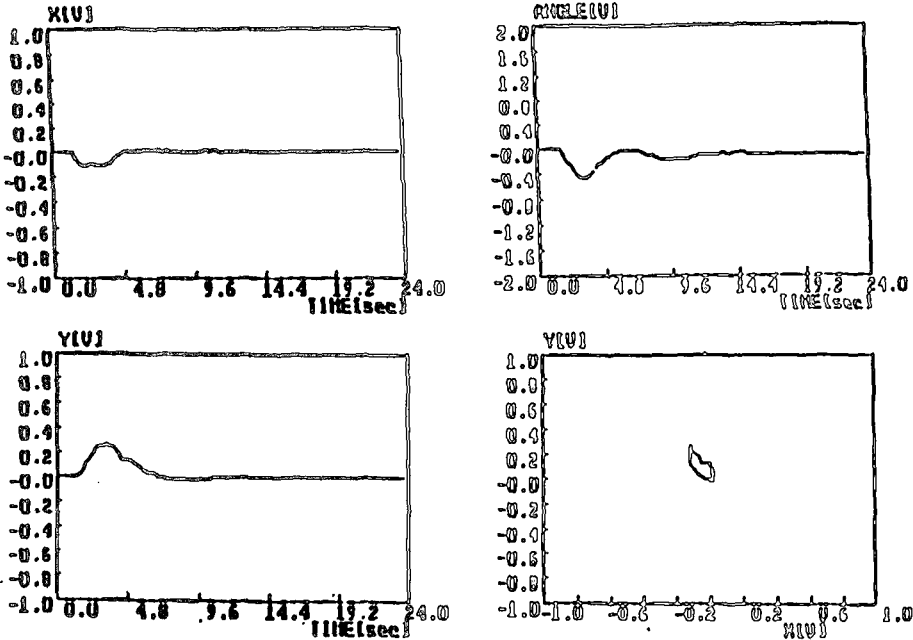


Fig. 6 Experimental results for position disturbance (X : 1[V]=1.5[m], Y : 1[V]=1[m], ANGLE : 1[V]=72[DEGREE])

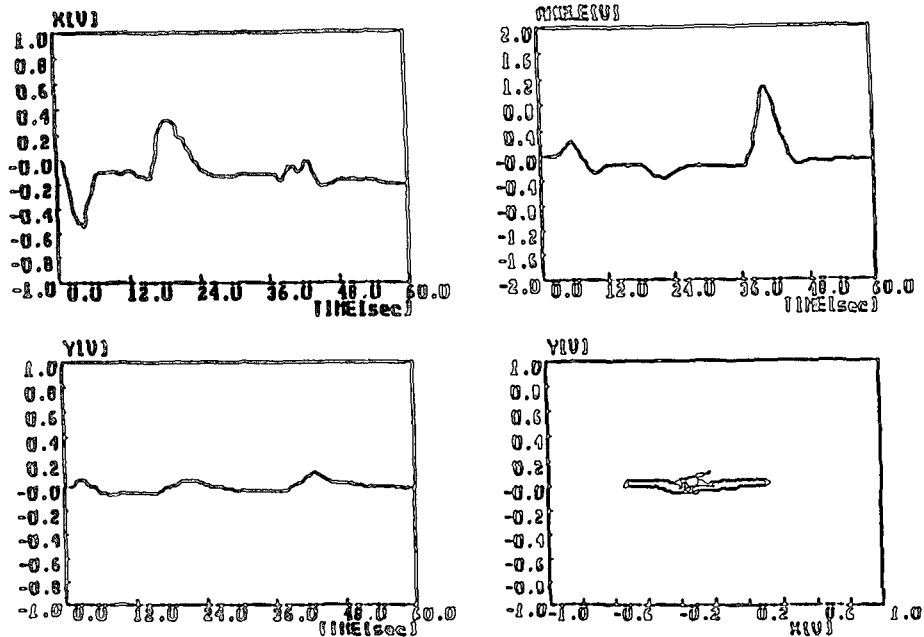


Fig. 7 Experimental Results for Disturbance Force (X : 1(V) = 1.5[m], Y : 1[V] = 1[m], ANGLE : 1[V]=72[DEGREE])

이장치는 3개의 Potentiometer를 사용하여 x_0 , y_0 방향의 거리와 방위각 값의 측정이 가능하도록 되어 있으며, 이 장치의 개략도는 Fig. 5에 나타낸 것과 같다.

4.3 실험결과

Fig. 6은 임의의 초기위치로부터 임의의 거리로 구조물을 이동시켰을 경우, 원위치로 되돌아오는 제어가 가능한가를 판정하기 위한 가장 기본적인 실험을 행한 결과이다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 위치가 양호하게 제어되어지고 있음을 알 수 있다. 실험의 상황은 제어가 되어지고 있는 상태에서 임의의 위치로 구조물을 이동시킨 후 힘을 제거했을 경우, x_0 와 y_0 방향의 위치는 정위치 상태에서 변화가 없으나, 방위각은 8초 근방에서 작은 오차를 보이고 있다. 이러한 현상은 외부의 어떤 힘 혹은 수조의 크기로 인한 외력이 구조물에 다소 영향을 미치고 있는 것으로 생각된다.

Fig. 7은 일정한 힘 뿐만 아니라 순간적인 모멘트를 가했을 경우 구조물의 거동을 조사하기 위해서 수행되었다. 초기에는 x_0 의 마이너스방향으로 일정한 힘을 가하여 이동시켰을 경우 정위치하고 있는 모습을 보이고 있으며, 15초 부근에서는 x_0 의 플러스방향으로 위치변화, 35초 부근에서는 순간적인 모멘트를 가하여 방위각의 변화를 주었을 때에도 빠른 시간내에 정위치하고 있는 모습을 보이고 있다.

5. 결 론

DP 시스템 제어용 모델로서 제작된 수진식 추진 장치를 채용한 반잠수식 2-Lower Hull 플랫폼에 대해, 정점유지 제어를 위한 제어법으로 다변수 서보계 설계법을 적용하여 기초적인 실험을 행한 결과, 본 서보계 설계법이 실제적인 부유구조물의 동위치제어에도 적용가능한 방법임을 확인할 수 있었다.

앞으로의 연구과제로써, 실제적인 자연환경 또는 해양공학적인 수조실험을 통하여 발생하는 여러가지 문제점들을 수정 보완하면서, 실제시스템에 적용할 수 있는 통합시스템적인 설계 알고리즘의 연구개발과 더불어 정확한 위치신호를 얻기 위한 계측시스템의 개발도 병행되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 1993년 상공부 산학협동재단의 학술연구비에 의해 수행된 연구결과와 일부임을 밝혀두며, 관계자 여러분께 감사의 뜻을 포함합니다.

참고문헌

- (1) 赤坂 啓之, 岩崎 晃, 三和英一, 1981, “首振式スラストによる作業船のグイナミックポジショニング,” 三菱重工技報, Vol. 18, No. 2.
- (2) Patrick Tze-kwai Fung and Mike J. Grimbale, 1983, “Dynamic Ship Positioning Control Using a Self-Tuning Kalman Filter,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, Vol. 28, No. 3.
- (3) 이판목, 이상무, 홍사영, 1988, “칼만필터를 이용한 부유체운동의 최적제어,” 한국해양공학회지, 제2권, 제2호, pp. 37~45.
- (4) S. G. Kim and R. S. Park, 1991, “The Method of Dynamic Position Control for Wave Energy Conversion Device,” *10th Symposium on Ocean Engineering* (Tokyo), 1.
- (5) Masayuki Tamehiro and Hironao Kasai, 1990, “Experimental Study on Positioning Control for a Semi-submergible Lower-hull Type Offshore Platform,” 일본조선학회논문집, 제136호.
- (6) 김성근, 김상봉, 1993, “서보계구성법에 의한 반잠수식해양구조물의 동위치제어,” 대한조선학회, 해양공학연구회 논문집.
- (7) 김성근, 유휘룡, 김상봉, 1993, “부유식 구조물의 동위치 제어에 관한 연구(1),” 한국해양공학회지, 제7권, 제2호, pp. 257~268.
- (8) 김성근, 유휘룡, 김상봉, 1993, “서보계구성법에 의한 Pipelaying 작업선의 동계적제어,” 한국해양공학회 1993년 춘계강연논문집.
- (9) 김상봉, 하주식 공역, 1992, “메카니칼 시스템 제어,” 도서출판 한미.

부 록

$$a_{13} = v_0 - u_0 \sin \phi_0 - v_0 \cos \phi_0 (= -0.0043)$$

$$a_{23} = -u_0 + u_0 \cos \phi_0 - v_0 \sin \phi_0 (= -0.00043)$$

$$a_{43} = \left(\frac{\cos \phi_0 (u_0 \cos \phi_0 + v_0 \sin \phi_0)}{M + m_x} + \frac{\sin \phi_0 (-u_0 \sin \phi_0 + u_0 \cos \phi_0)}{M + m_x} \right) \cdot r_0 (m_x - m_y) + (-u_0 r_0 \sin \phi_0 - u_0 r_0 \sin \phi_0) \\ (=0.0)$$

$$a_{44} = \left(\frac{1}{M + m_x} + \frac{1}{M - m_y} \right) \cdot (m_x - m_y) \cdot r_0 \sin \phi_0 \cos \phi_0 \\ (=0.0)$$

$$a_{45} = \left(-\frac{\cos^2 \phi_0}{M + m_x} + \frac{\sin^2 \phi_0}{M + m_y} \right) \cdot (m_x - m_y) r_0 (=0.0)$$

$$a_{46} = \left(\frac{u_0 \sin \phi_0}{M + m_x} + \frac{u_0 \cos \phi_0}{M - m_y} \right) \cdot (m_x - m_y) \\ (=0.00001)$$

$$a_{53} = \left(\frac{\sin \phi_0 (u_0 \cos \phi_0 + v_0 \sin \phi_0)}{M + m_x} + \frac{\cos \phi_0 (-u_0 \sin \phi_0 + u_0 \cos \phi_0)}{M + m_x} \right) \cdot r_0 (m_y - m_x) + (-u_0 r_0 \sin \phi_0 - u_0 r_0 \cos \phi_0) \\ (=0.0)$$

$$a_{54} = \left(-\frac{\sin^2 \phi_0}{M + m_x} + \frac{\cos^2 \phi_0}{M - m_y} \right) \cdot r_0 (m_x - m_y) \\ (=0.0)$$

$$a_{55} = \left(\frac{1}{M + m_x} + \frac{1}{M - m_y} \right) \cdot (m_x - m_y) \cdot r_0 \sin \phi_0 \cos \phi_0 (=0.0)$$

$$a_{56} = \left(\frac{u_0 \cos \phi_0}{M + m_y} + \frac{u_0 \sin \phi_0}{M + m_x} \right) \cdot (m_y - m_x) (=0.00886)$$

$$a_{63} = \frac{m_x - m_y}{I + J_{zz}} (-u_0^2 \cos \phi_0 + v_0^2 \cos \phi_0 - 2u_0 v_0 \sin \phi_0) (=0.00362)$$

$$a_{64} = \frac{(m_x - m_y)}{I + J_{zz}} \cdot (-u_0 \sin \phi_0 + u_0 \cos \phi_0) \\ (=0.000079)$$

$$a_{65} = \frac{(m_x - m_y)}{I + J_{zz}} \cdot (u_0 \cos \phi_0 + u_0 \cos \phi_0) \\ (= -0.81792)$$

$$b_{41} = \left(-\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} \theta_{B10} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \right) T_B(0) \\ (= -0.00001)$$

$$b_{42} = \left(-\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} \theta_{B20} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \right) T_{B2}(0) \\ (= -0.00001)$$

$$b_{43} = \left(-\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} \theta_{S10} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \right) T_{S1}(0) \\ (= -0.00002)$$

$$b_{44} = \left(-\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} \theta_{S20} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \right) T_{S2}(0) \\ (= -0.00002)$$

$$b_{45} = \left(\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \theta_{B10} \right) (= -0.110812)$$

$$b_{46} = \left(\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \theta_{B20} \right) (= -0.110812)$$

$$b_{47} = \left(\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \theta_{S10} \right) (= -0.110812)$$

$$b_{48} = \left(\frac{\cos \phi_0}{M + m_x} - \frac{\sin \phi_0}{M + m_y} \theta_{S20} \right) (= -0.110812)$$

$$b_{51} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} \theta_{B10} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \right) T_{B1}(0) \\ (= -0.00089)$$

$$b_{52} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} \theta_{B20} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \right) T_{B2}(0) \\ (= -0.00089)$$

$$b_{53} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} \theta_{S10} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \right) T_{S1}(0) \\ (= -0.00089)$$

$$b_{54} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} \theta_{S20} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \right) T_{S2}(0) (= -0.00089)$$

$$b_{55} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \theta_{B10} \right) (= -0.001197)$$

$$b_{56} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \theta_{B20} \right) (= -0.001197)$$

$$b_{57} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \theta_{S10} \right) (= -0.001995)$$

$$b_{58} = \left(-\frac{\sin \phi_0}{M + m_x} + \frac{\cos \phi_0}{M + m_y} \theta_{S20} \right) (= -0.001995)$$

$$b_{61} = \frac{(L_B + B \theta_{B10}) T_{B1}(0)}{I + J_{zz}} (0.000115)$$

$$b_{62} = \frac{(L_B - B \theta_{B20}) T_{B2}(0)}{I + J_{zz}} (0.000114)$$

$$b_{63} = \frac{(-L_S + B \theta_{S10}) T_{S1}(0)}{I + J_{zz}} (0.000113)$$

$$b_{64} = \frac{(-L_S + B \theta_{S20}) T_{S2}(0)}{I + J_{zz}} (0.000116)$$

$$b_{65} = \frac{(L_B \theta_{B10} - B)}{I + J_{zz}} (0.106226)$$

$$b_{66} = \frac{(L_B \theta_{B20} - B)}{I + J_{zz}} (0.106495)$$

$$b_{67} = \frac{(-L_S \theta_{S10} - B)}{I + J_{zz}} (0.107526)$$

$$b_{68} = \frac{(-L_S \theta_{S20} - B)}{I + J_{zz}} (0.105235)$$