

해상감시용 NV 시스템의 추종 및 안정화

황승욱* · 김정근** · 송세훈*** · †진강규

*† 한국해양대학교 IT공학부, **,***(주)극동일렉콤

Tracking and Stabilization of a NV System for Marine Surveillance

Seung-Wook Hwang* · Jung-Keun Kim** · Se-Woon Song*** · †Gang-Gyoo Jin

*†Div. of IT, KMU, Busan 606-791, Korea

,*(주)KukDong Elecom, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 연구는 선박용 Night Vision 시스템을 개발하기 위한 선행연구로 2축 지그와 이를 구동할 수 있는 PCU 보드를 제작하고, 추종 및 안정화 제어루틴을 얻는 문제를 다룬다. 개발한 지그와 PCU 보드를 6DOF 모션 시뮬레이터와 결합하여 실험환경을 구축하고 RCGA를 이용하여 지그 모델의 파라미터를 얻고, 추정된 모델과 RCGA를 이용하여 2DOF PID 제어기를 동조한다. 실험과 시뮬레이션을 통해 제안하는 2자유도 PID 제어기의 유효성을 검토한다.

핵심용어 : 해상감시, Night Vision System, 안정화, 2자유도 PID 제어기, 실수코딩 유전알고리즘

Abstract : This paper presents the tracking and stabilization problem of a night vision system for marine surveillance. Both a hardware system and software modules are developed to control azimuth and elevation axes independently with compensation for ship motion. A two degree of freedom(2DOF) PID controller is designed and its parameters are tuned using a real-coded genetic algorithm(RCGA). Simulation demonstrates the effectiveness of the proposed method.

Key words : marine surveillance, night vision system, stabilization, 2DOF PID controller, real-coded genetic algorithm

1. 서 론

최근 선박을 통한 화물수송, 어로작업, 해상치안, 군사작전 등이 빈번해지면서 안전운항, 범죄단속, 인명구조 및 해상오염감시 등의 중요성이 부각되고 있다. 특히 대형선박들은 주야간, 우중, 무중과는 상관없이 항해하기 때문에 시계 불량과 부주의로 충돌, 좌초, 침몰하게 되면 대형 인명사고나 해상오염 등의 문제가 발생된다. 또한 EEZ를 넘어 불법 어로행위를 하면 국제분쟁이 발생하고, 청정해역에서 기름이나 오염물질을 투기하게 되면 어장 피해로 법적문제가 발생될 수 있다. 이 때문에 최근 시계가 확보되지 않은 곳을 운항할 때 항해사들의 안전운항을 돕고 또 해상범죄를 효과적으로 단속하고 증거를 확보하기 위해 Night vision(NV) 시스템을 장착하고 사용하는 예가 늘어나고 있다.

선박용 NV 시스템은 크게 항해용과 해상감시용으로 나눌 수 있다. 항해용은 레이더에 포착되지 않는 물체나 근접 해상 상황을 영상으로 관찰하기 위한 것으로서 정밀한 추종(Tracking) 기능이나 안정화(Stabilization) 기술이 요구되지 않으나, 해상 감시용 NV 시스템은 해상범죄 행위에 대

한 증거물 확보를 위한 장치로서, 고성능 탐조등과 주야간 카메라가 함께 장착되는 Pedestal의 추종 및 안정화 기술이 요구된다(Debruin, 2008).

따라서 NV 시스템이 제 기능을 다하기 위해서는 추종단계에서 선체의 6자유도(6 degree of freedom: 6DOF) 운동을 실시간으로 보상하면서 알파 레이더로부터 수신되는 목표물을 찾아서 추종하게 해주고 또 안정화 단계에서는 선체가 동요하더라도 원거리에 있는 목표물을 향해 Pedestal을 정확히 지향시킬 수 있는 제어가 요구된다.

이 문제와 관련해서 다수의 연구가 육해상의 장비를 대상으로 수행되어 왔다. Seong 등(2006)은 2축 짐벌 시스템(Gimbal system)의 안정화 문제를 다루면서 LQG 제어기를 설계하였고, Smith 등(1999)은 전략 미사일용 2축 짐벌 시스템의 추종제어 문제에 슬라이딩 모드 제어(Sliding mode control)를 사용하여 비선형과 불확실성 문제를 해결하려고 시도하였다. 또한 Shtessel(1995)은 3축 관성 플랫폼을 안정화하는 문제에서 외란을 보상하기 위해 슬라이딩 모드 제어를 응용하였다. 각 방법마다 나름대로의 장점을 가지지만, LQG 제어의 경우 잡음환경에서 모든 상태변수의 계측이

* 연회원, hsw@hhu.ac.kr 051)410-4346

** 연회원, jkkim@kukdongelecom.com 051)261-1446

*** 연회원, ngc2158@hanmail.net 051)290-1448

† 교신저자 : 연회원, ggjin@hhu.ac.kr 501)410-4341

요구되며, 슬라이딩 모드 제어의 경우 채터링 현상을 줄이는 것이 관심사이다.

따라서 해상 감시용 NV 시스템을 개발하는 선행 연구로서 본 연구에서는 선체 운동을 실시간으로 보상하여 NV 시스템이 목표물을 추종하고 안정화하는 제어시스템을 구성하는 문제를 다룬다. 먼저 NV Pedestal 대신 실험용 2축 지그(2-axes zig)와 이를 구동할 수 있는 PCU 보드를 제작하고, 추종 및 안정화 제어루틴을 얻는다. 이를 위해 제어대상으로서의 2축 지그 모델을 얻고, 실수코딩 유전알고리즘(RCGA)으로 그 매개변수를 추정하고 추정된 모델과 RCGA를 이용하여 2자유도 PID 제어기를 설계한다. 실험과 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법의 성능을 확인한다.

2. 선체운동과 동요 외란

2.1 선체 운동

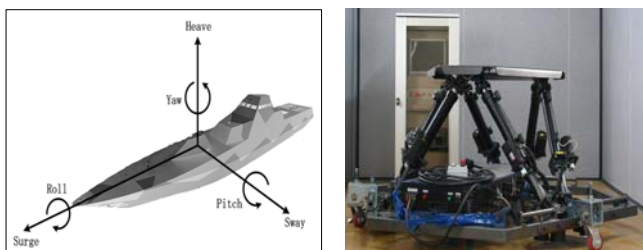
선체는 주기관의 추력과 파도, 바람, 조류 등의 외부환경으로부터 힘과 모멘트를 받기 때문에 끊임없이 동요하게 된다. 동요로 인해 Fig. 1(a)와 같이 선체 중심을 기준으로 한 X-Y-Z 좌표계에 대한 병진운동인 전후동요(Surge), 좌우동요(Sway), 상하동요(Heave)와 회전운동인 횡동요(Roll), 종동요(Pitch), 선수동요(Yaw)의 6DOF 운동을 하게 된다.

선체의 6DOF 운동에 대한 기본 식은 다음 운동방정식으로 기술된다(Fossen, 1994).

$$M\dot{\nu} + C(\nu)\nu + D(\nu)\nu + g(\eta) = \tau \quad (1)$$

여기서 $\nu = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$ 는 X, Y, Z 방향의 힘 u, v, w 와 모멘트 p, q, r 로 구성되는 벡터이고, τ 는 외부입력 벡터, M 은 관성모멘트 행렬, $C(\nu)$ 는 Coriolis and Centripetal 행렬, $D(\nu)$ 는 댐핑행렬, $g(\eta)$ 는 중력 힘과 모멘트 벡터이다.

식 (1)은 다수의 파라미터를 가지는 비선형 방정식일 뿐만 아니라 파라미터 또한 선종, 적하물량과 외부 환경에 따라 수시로 달라지기 때문에 본 연구에서는 NV Pedestal 모델을 얻고 그 파라미터를 추정하는 실험을 수행함에 있어서 이 운동방정식을 쓰기 보다는 Fig. 1(b)의 6DOF 모션 시뮬레이터를 이용한다.



(a) 6DOF motions (b) Motion simulator

Fig. 1 6DOF motions and motion simulator

2.2 동요 외란

외부환경으로부터 선체를 동요케 하는 주 요인은 파도이며, 그 주기는 약 2-25초이지만 실제 해상파는 다양한 주기의 파도가 섞여서 나타나게 되므로 불규칙한 형태를 갖게 된다. 파도의 에너지는 파고의 제곱에 비례하며, 그 스펙트럼은 주파수에 따른 파고의 제곱을 분포시킨 것으로서, 지역과 해상여건에 따라 그 모양이 다소 차이가 있다. 식 (2)는 Pierson과 Moskowitz(PM)에 의해 제안된 북대서양지역의 PM 스펙트럼 모델이며, 파도 높이에 따른 PM 스펙트럼은 Fig. 2와 같다(Pierson et al., 1963).

$$S(\omega) = A\omega^{-5}\exp(-B\omega^{-4}) \quad [m^2s] \quad (2a)$$

$$\text{단, } A = 8.1 \times 10^{-3} g^2 \quad (2b)$$

$$B = 3.11 H_s^{-2} \quad (2c)$$

여기서 ω 는 각주파수, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 는 중력가속도, H_s 는 파도 높이(Wave height)를 의미한다.

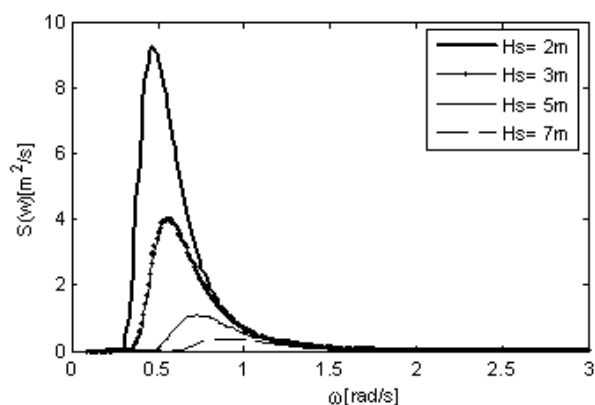


Fig. 2 PM spectrum for different wave heights

NV 시스템이 목표물을 지향할 때, 동요로 인한 회전운동 성분은 지향각에 절대적인 영향을 미치게 된다. 특히 선수동요 성분은 NV Pedestal의 방위각(Azimuth) 오차를, 횡동요와 종동요 성분은 고각(Elevation) 오차를 발생시키는 주 요인이 된다. 이러한 환경 하에 안정화 알고리즘을 유도할 때 페루프 시스템의 시뮬레이션이 요구되며, 이때 선체 동요 외란 모델을 사용한다. 자주 이용되는 선형 파도모델 중 하나는 댐핑 항을 가지는 2차 방정식으로 표현되며 다음과 같다(Fossen, 1994; Sælid et al., 1983).

$$H(s) = \frac{K_\omega s}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (3)$$

$$K_\omega = 2\xi\omega_0\sigma_\omega \quad (4)$$

여기서 K_ω 는 이득, σ 는 파도 강도 상수, ξ 는 댐핑 계수, ω_0 는 파도의 주파수를 의미한다.

3. 2축 Pedestal과 PCU

3.1 2-축 Pedestal

NV Pedestal은 프레임, 구동 모터, 탐조등, 감시카메라, 센서 등이 부착되는 장치로서 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 2개의 구동부를 갖는 2 축 구조로 설계하였다. Pedestal의 프레임 재질은 알루미늄 6061이고, 최적 설계를 위하여 Nastran을 이용하여 구조해석을 한 결과는 표 1과 같다. 이 결과를 바탕으로 Arm 크기 100mm, 질량 100Kg의 Pedestal을 설계 제작하였다.

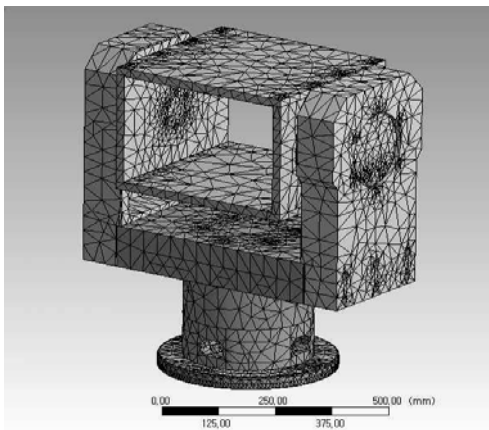


Fig. 3 Schematic diagram of the proposed 2-axes Pedestal

Table 1 Results of structural analysis using Nastran

Pedestal Weight	Total Translation	Von Mises Stress	Arm Thickness
114.79 kg	0.00121mm	최대 0.231kg	100mm
62.58 kg	0.00431mm	최대 0.453kg	50mm

3.2 Pedestal Control Unit(PCU)

Pedestal이 설계되면 NV시스템을 초기화하고, 센서신호를 필터링한 후 좌표변환해주고, 제어루틴을 실행해주는 PCU 제작이 요구된다. 초기화 기능은 각종 H/W와 S/W 변수들을 초기화해주며, 신호처리 및 좌표변환 기능은 3축 각속도 센서 모듈(3-Axis Angular Rate Sensor Module)을 통해 계측되는 3축 회전신호(횡동요, 종동요, 선수동요)를 받아 고주파 잡음을 거른 다음 2축 회전신호(방위각과 고각)로 변환해 주며, 안정화 기능은 2축 회전신호와 사용자 명령(또는 설정치)을 받아 제어루틴을 계산해서 Pedestal의 방위각과 고각 모터 구동신호를 만들게 된다.

Fig. 4는 PCU 블록전도를 보여준다.

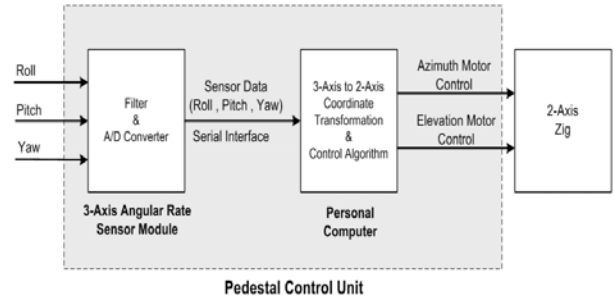


Fig. 4 Pedestal Control Unit(PCU)

3.3 제어대상

앞서 설계한 2축 Pedestal은 축간의 동역학적 연관성이 존재하나 Pedestal이 안정화 되면 모터의 구동속도가 낮아 이를 무시할 수 있고 또 제어시간이 외란의 변화에 비해 매우 짧은 것으로 간주할 수 있어서 방위각과 고각은 각각 독립적으로 제어할 수 있다. 따라서 이후로는 방위각을 중심으로 해석하며, 여기서 얻은 결과는 고각에도 적용이 가능하다.

방위각 Pedestal 운동방정식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$J \ddot{\theta} + B \dot{\theta} = \tau + \tau_d \tag{5}$$

여기서 $\theta (= y)$ 는 방위각, $\tau (= u)$ 는 제어입력, $\tau_d (= d)$ 는 동요 외란이고 J, B 는 제어대상의 매개변수를 의미한다.

4. 2자유도 PID 제어기

NV 시스템은 파도, 바람 등 예측할 수 없는 동요외란이 존재하는 환경에서도 증거물 확보를 위해 움직이는 목표물을 잘 추종하고 또 안정화할 수 있는 기능을 갖고 있어야 한다. 지난 수십 년 동안 많은 고급 제어 알고리즘들이 제안되어 왔음에도 불구하고, 아직도 PID 제어기 사용이 보편적이므로 본 연구에서도 PID 제어기를 채용한다. 그러나 기존의 1DOF PID 제어기는 설정치추종 성능이 좋도록 동조되면 외란억제, 즉 안정화 성능이 나빠지고, 반대로 외란억제 성능이 좋도록 동조되면 설정치추종 성능이 나빠지는 근본적인 한계를 지니고 있다.

이러한 한계를 극복하기 위해 Horowitz(1963)는 2DOF PID 제어기를 제안하였지만 동조해야할 파라미터의 수가 많아지는 단점 때문에 1980년대 전반까지 큰 관심을 끌지 못했으나, 전역 최적화 알고리즘들(Holland, 1975)이 제안되고 플랜트에 대한 실효성이 인식되면서 많은 연구가 진행되고 있다(Araki et al., 2003). 따라서 본 연구에서는 추종과 안정화 성능을 동시에 만족시킬 수 있는 제어루틴을 얻기 위해 2DOF PID 제어기를 채용한다.

Fig. 5는 방위각(또는 고각) 모터 제어를 위한 2DOF PID 제어기의 구조를 보여주며 그 전달함수는 식 (6)으로 주어

진다.

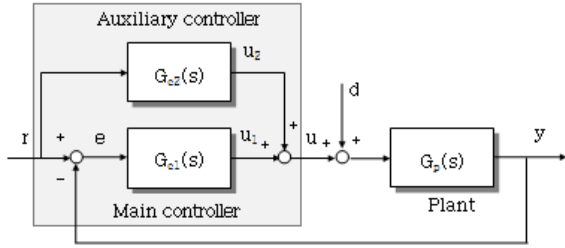


Fig. 5 2DOF PID control system

$$G_{c1}(s) = K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d H(s) \right] \quad (6a)$$

$$\text{단, } H(s) = \frac{s}{1 + \frac{T_d}{N} s} \quad (6b)$$

$$G_{c2}(s) = -K_p [\alpha + \beta T_d H(s)] \quad (6c)$$

그림에서 r, y, d는 각각 설정치, 출력, 외란이고, $G_{c1}(s)$ 는 오차에 대한 피드백 보상을 해주는 주제어기이고 $G_{c2}(s)$ 는 설정치 신호의 피드포워드 보상을 해주는 보조제어기이다. 주제어기는 기존의 1DOF PID 제어기로서 매개변수 K_p , T_i , T_d 는 각각 비례이득, 적분시간, 미분시간을 뜻한다. 이상적인 미분동작은 고주파 잡음에 대해 미분폭주(Derivative kick) 현상을 일으키고 또 물리적으로도 구현이 어렵기 때문에 근사미분 $T_d H(s)$ 를 사용하며, 이때 필터의 대역폭을 조절하는 N은 경험적으로 3-10 사이에서 선택된다(Åström et al., 1995). 한편 보조제어기의 매개변수 α , β 는 0과 1사이의 값으로서 비례동작과 미분동작을 적절히 제어해주는 역할을 해준다.

Fig. 5와 식 (6)으로부터 r에 대한 출력 y의 폐루프 전달함수 $F_{yr}(s)$ 와 외란 d에 대한 출력 y의 폐루프 전달함수 $F_{yd}(s)$ 를 구해 두 전달함수간의 관계식을 쓰면 다음과 같다.

$$F_{yr}(s) = G_{c1}(s)F_{yd}(s) + G_{c2}(s)F_{yd}(s) \quad (7a)$$

$$F_{yd}(s) = \frac{G_p(s)}{1 + G_{c1}(s)G_p(s)} \quad (7b)$$

식 (7)에서 보면 제어대상 $G_p(s)$ 가 결정될 때 $F_{yd}(s)$ 는 $G_{c1}(s)$ 만의 함수이고, $F_{yr}(s)$ 의 우변 첫째 항은 $G_{c1}(s)$ 의 함수, 둘째 항은 $G_{c1}(s)$ 와 $G_{c2}(s)$ 의 함수임을 알 수 있다. 만약 외란제거 성능이 우수하도록 $F_{yd}(s)$ 의 $G_{c1}(s)$ 를 동조하면, $G_{c1}(s)$ 는 $F_{yr}(s)$ 의 관점에서 최적이지 아닐 수 있지만 $F_{yr}(s)$ 에는 이를 보완해줄 수 있는 또 다른 자유도 $G_{c2}(s)$ 를 가지고 있다. 이 때문에 2DOF라는 이름을 얻게 되었고, $G_{c2}(s)$ 를 적절히 동조함으로써 설정치추종 성능을 동시에 개선할 수 있다.

Fig. 5를 하나의 미분기로 표현하도록 식 (6)을 이용하여

정리하면 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} U(s) &= G_{c1}(s)[R(s)-Y(s)] + G_{c2}(s)R(s) \\ &= K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d H(s) - \alpha - \beta T_d H(s) \right] R(s) \\ &\quad - K_p \left[1 + \frac{1}{T_i s} + T_d H(s) \right] Y(s) \\ &= K_p \left\{ [(1-\alpha)R(s) - Y(s)] + \frac{1}{T_i s} [R(s) - Y(s)] \right. \\ &\quad \left. + T_d H(s) [(1-\beta)R(s) - Y(s)] \right\} \quad (8) \end{aligned}$$

이를 다시 등가블록선도로 나타내면 다음 그림과 같다.

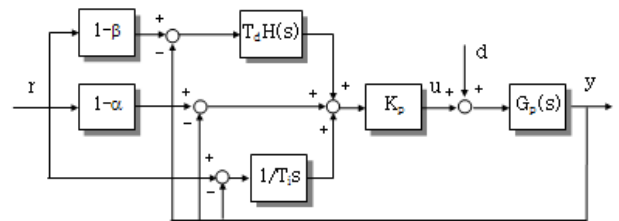


Fig. 6 Equivalent 2DOF PID control system

본 연구에서 2DOF PID 제어기는 Pedestal의 모델과 실수코딩 유전알고리즘(RCGA)을 기반으로 동조되며 다음 과정으로 수행된다.

- Step 1:** Get data set {u, y} through experiment;
- Step 2:** Estimate the model parameters K, T(or J, C) of the controlled object using a RCGA;
- Step 3:** Tune the parameters { $K_p, T_i, T_d, \alpha, \beta$ } using the estimated model and another RCGA with a choice of N;

Pedestal 모델의 매개변수 추정에서 RCGA는 Pedestal 출력과 모델의 출력 차 $e(t) = y(t) - y_m(t)$ 의 제곱 적분값이 최소가 되도록 매개변수를 최적화하게 된다.

$$J_1(\Phi) = \int_0^{t_r} e^2(t) dt \quad (9)$$

여기서 $\Phi = [K \ T]^T$ 이고, t_r 는 최종적분 시각으로서 이후의 적분값이 무시될 수 있을 정도의 큰 값이 된다.

또한 2DOF PID 제어기의 동조에서 RCGA는 설정치와 출력의 차 $e(t) = r(t) - y(t)$ 의 제곱 적분값이 최소가 되도록 제어기의 계수를 조정하게 된다.

$$J_2(\Phi) = \int_0^{t_r} e^2(t) dt \quad (10)$$

여기서 $\Phi = [K_p \ T_i \ T_d \ \alpha \ \beta]^T$ 이다.

5. 실험 및 시뮬레이션

5.1 동요 외란

본 연구에서는 동요 외란의 원인이 되는 선박의 운동을 분석하기 위해 실습선 한바다호를 이용하여 부산에서 제주까지 항해하는 동안 횡동요, 종동요, 선수동요 신호를 계측하였다. Fig. 7은 각각의 스펙트럼을 그린 것이다. 그림에서 보면 횡동요와 선수동요의 스펙트럼은 Fig. 2와 유사하며 $\omega = 0.67[\text{rad/s}]$ 주파수 부근의 파도가 선체 동요에 크게 영향을 주며, 종동요는 낮은 주파수에만 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

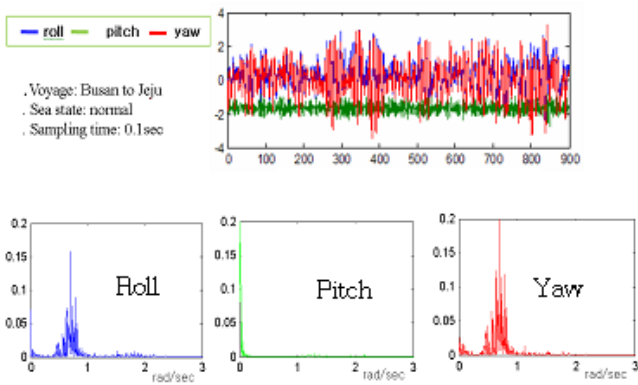


Fig. 7 Time series and spectra

따라서 2DOF PID 제어기 성능평가 시뮬레이션에 필요한 동요 외란 $d(t)$ 은 식 (2)의 선형 파도 방정식을 사용해서 만들며 이때 계수는 해상 실험을 실시한 결과와 문헌을 참고하여 $\xi = 0.1$, $w_0 = 0.67$, $\sigma = 1$ 로 하였다(Fossen, 1994).

5.2 제어대상의 파라미터 추정 및 제어기 동조

본 연구의 주요 목적 중 하나는 상업용 NV 시스템을 개발하면서 추종 및 안정화를 달성할 수 있는 제어루틴을 얻는 것이므로 선행 연구로 Pedestal를 직접 사용하는 대신 Fig. 8과 같은 실험용 2축 지그(2-Axes zig)를 설계하고 사

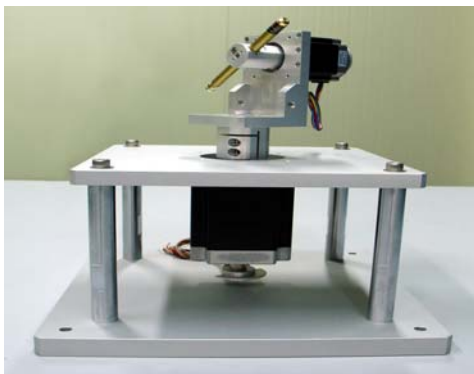


Fig. 8 2-Axes zig

용하였다. 지그는 방위각, 고각 2축으로 회전운동을 할 수 있도록 설계되었고, PCU에 의해 직접 구동된다.

먼저 지그의 파라미터를 추정하기 위해 Fig. 9와 같은 테스트 환경을 구축하고 입출력 데이터를 얻는 실험을 수행하였다. 이때 편의상 고각을 고정하고 방위각을 변경하면서 u , y 를 계측하였지만, 비슷한 실험을 통해 고각에 대한 지그의 입출력 데이터를 얻는 것도 가능하다.

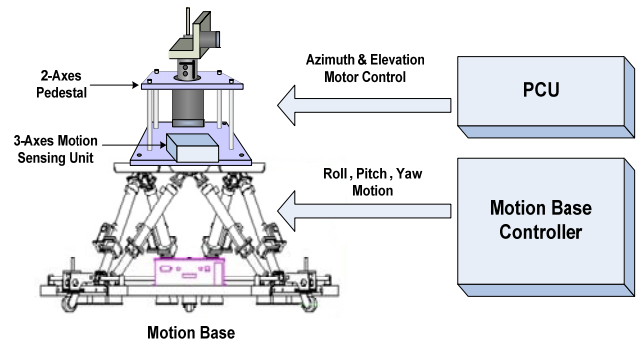


Fig. 9 Test environment

실험으로부터 취득한 데이터로 지그 모델의 파라미터를 얻고 또 이 모델로부터 2DOF PID 제어기를 최적 동조하는데 RCGA를 사용하였다. RCGA의 유전연산자로는 구배와 같은 선택자, 산술교배, 동적돌연변이를 사용하였고 엘리트즘 전략을 채용하였다. 이때 RCGA 파라미터로는 집단 크기 50, 교배확률 0.9, 돌연변이확률 0.1를 사용하였다.

시뮬레이션을 실시한 결과 방위각 지그 모델의 파라미터로 $B = 1$, $J = 0.02$ 를 얻었고 또 필터 상수 N 을 5로 하여 2DOF PID 제어기를 동조한 결과 $K_p = 30.1, T_i = 0.05, T_d = 0.03$, $\alpha = 0.1$, $\beta = 0.3$ 을 얻었다.

5.3 추종 및 안정화 시뮬레이션

Fig. 10은 파도에 의한 선체동요 외란 $d(t)$ 와 센서로부터 측정잡음 $n(t)$ 가 존재하는 환경 하에 시뮬레이션을 실시하기 위한 전체 시스템의 블록선도이고, Fig. 11은 2DOF PID 제어기 부분을 따로 그린 것이다.

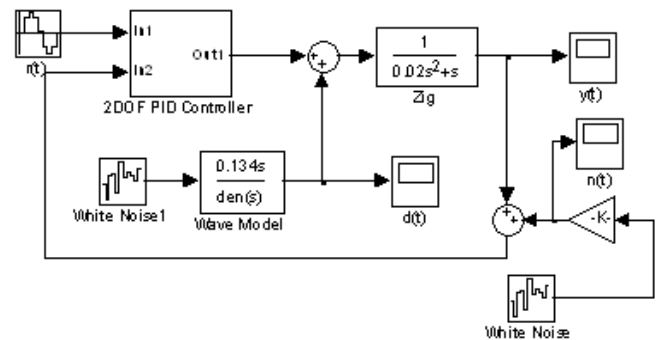


Fig. 10 Simulation diagram of the overall control system

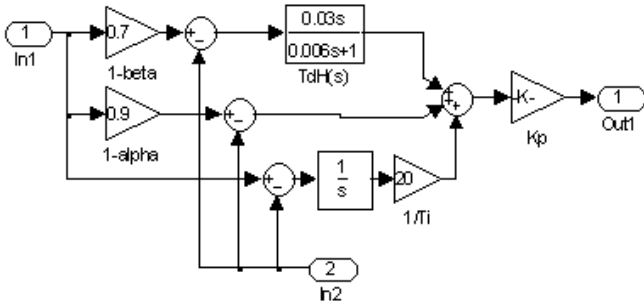


Fig. 11 Simulation diagram of the 2DOF PID controller

여기서 $d(t)$ 는 앞에서 언급한 모델과 파라미터를 사용하였고, 이때 평균이 0이고 파워 스펙트럼이 1인 정규백색잡음을 입력으로 사용하였다. $n(t)$ 는 파워 스펙트럼이 1인 정규백색잡음을 스케일링해서 사용하였고, 그 결과 $\pm 1.7^\circ$ 내의 크기를 가졌다. Fig. 12는 $d(t)$ 와 $n(t)$ 를 그린 것이다.

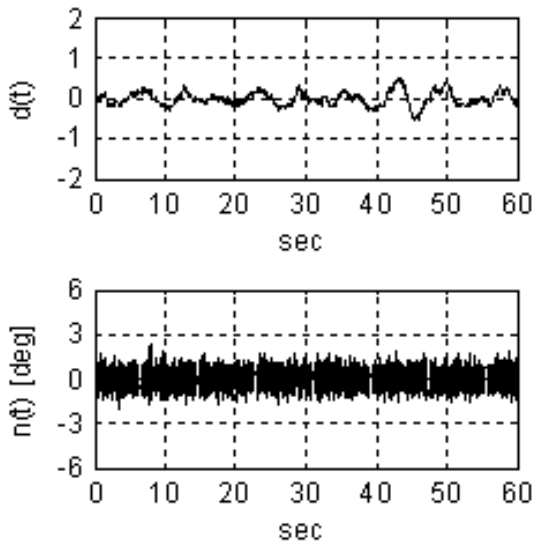


Fig. 12 Disturbance $d(t)$ and noise $n(t)$

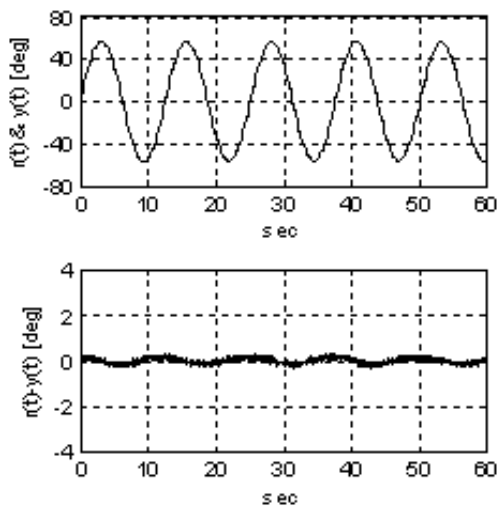


Fig. 13 Responses and error $r(t)-y(t)$

Fig. 13은 싸인과 형태의 설정치를 변경할 동안 제안된 2DOF PID 제어기의 추종성능과 외란제거 성능을 동시에 보여주는 그림이다. Fig. 13(a)는 설정치와 출력을 동시에 그린 것이지만, 두 응답이 겹쳐있기 때문에 시각적으로 구별이 어렵다. 다만 동요 외란과 측정잡음이 존재함에도 불구하고 제어기는 이를 최대한 배제하고 출력이 설정치를 잘 추종하도록 동작하고 있음을 보여준다. Fig. 13(b)는 두 응답간의 차이를 확대해서 보여준 것으로서 오차의 크기는 약 $\pm 0.4^\circ$ 범위 내에 유지되고 있는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 선박용 NV 시스템을 개발하기 위한 선행연구로 2축 지그와 이를 구동할 수 있는 PCU 보드를 제작하였고, 추종 및 안정화 제어루틴을 얻는 문제를 다루었다. 2축 지그, PCU 보드와 6DOF 모션 시뮬레이터를 결합한 실험환경을 구축하고 데이터를 취득하고 RCGA를 이용하여 지그 모델의 파라미터를 얻었다. 다시 추정된 모델과 RCGA를 이용하여 2DOF PID 제어기를 동조하였다. 외란과 잡음이 공존하는 Simulink 폐회로 제어시스템을 구축하고 시뮬레이션을 실시한 결과 제안한 2DOF PID 제어기의 성능을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국산업단지공단의 지원으로 수행된 결과입니다.

참 고 문 헌

- [1] Araki, M. and Taguchi, H.(2003), "Two-Degree-of-Freedom PID Controllers", Int. J. of Control, Automation, and Systems, Vol. 1, No. 4, pp. 401-412.
- [2] Åström, K. J. and Hagglund, T. (1995), PID Control Theory, Design and tuning, ISA.
- [3] Debruijn, J.(2008), "Control Systems for Mobile Satcom Antennas," IEEE Control Systems Magazine, pp. 86-101.
- [4] Fossen, T. I.(1994), Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons, N.Y.
- [5] Horowitz, I. M.(1963), Synthesis of feedback systems, Academic Press Edition, N.Y.
- [6] Holland, J. H.(1975), Adaptation in natural and artificial systems, The University of Michigan Press, Michigan.
- [7] Pierson, W. J. and Moskowitz, L.(1963), "A Proposed Spectral Form for Fully Developed Wind Seas Based

on the Similarity Theory of S. A. Kitaigorodsku",
U.S. Naval Oceanographic Office Contact 62306-
1042.

- [8] Sælid, S., Jenssen, N. A. and Balchen, J. G.(1983),
"Design and Analysis of a Dynamic Positioning
System Based on Kalman Filtering and Optimal
Control", IEEE Tran. on Automatic Control, Vol.
AC-28, No. 3, pp. 331-339.
- [9] Seong, K. J., Kang, H. G., Yeo, B. Y., Lee, H.
P.(2006), "The Stabilization Loop Design for a
Two-Axis Gimbal System Using LQG/LTR
Controller," SICE-ICASE Int. Joint Conf., Busan
Korea, pp. 755-759.
- [10] Smith, B.J., Schrenk, W.J., Gass, W.B., and Shtessel,
Y.B. (1999), "Sliding mode control in a two-axis
gimbal system," Proc. of 1999 IEEE Aerospace Conf.,
Vol.5, pp. 457-470.
- [11] Shtessel, Y. B.(1995), "Decentralized Sliding Mode
Control in Three-Axis Inertial Platforms", J. of
Guidance Control, and Dynamics, Vol 18, No. 4, pp
773-781.

원고접수일 : 2010년 12월 28일
심사완료일 : 2011년 2월 27일
원고채택일 : 2011년 3월 11일