

Intelligent-PID 제어를 사용한 드론용 짐발 시스템의 안정화기 설계

The Stabilization Loop Design for a Drone-Mounted Camera Gimbal System Using Intelligent-PID Controller

변기식*
(Gi-sig Byun)
(Pukyong National Univ.)

조형래**
(Hyung-rae Cho)
(Korea Maritime and Ocean University)

요약

비행중인 드론에는 매우 다양한 주파수 성분의 진동이 발생되고, 이러한 진동 환경에서 드론에 장착된 카메라로부터 깨끗하고 안정된 영상을 획득하기 위해서는 짐발 시스템의 안정화 설계가 필요하다. 짐발 시스템은 카메라 모듈을 지지하는 구조와 외부로부터의 진동을 차단하면서 정확한 각도를 추종하는 안정화기로 구성된다. 본 논문에서는 짐발시스템의 한 축에 대한 동역학 모델을 세우고 이에 대한 고전적인 PID제어기를 적용하여 본다. 또한 시스템에 대한 동적 모델 없이 Intelligent-PID 제어기를 설계하고, 두 제어기의 성능을 MATLAB/Simulink을 이용한 시뮬레이션으로 비교하여 본다. 이들을 통하여, Intelligent-PID 제어기는 동역학 모델을 거의 필요로 하지 않고도 설계가 가능하고, 모델의 특성이 변하여도 제어기의 파라미터를 재조정할 필요가 없이 진동을 차단하고 각도를 추종 할 수 있는 제어강인성을 보인다.

핵심어 : 드론, 짐발시스템 안정화기, Intelligent-PID제어기, 비모델 제어기

ABSTRACT

A flying drone generates vibrations in a great variety of frequencies, and it requires a gimbal system stabilization loop design in order to obtain clean and accurate image from the camera attached to the drone under this environment. The gimbal system for drone comprises the structure that supports the camera module and the stabilization loop which follows the precise angle while blocking the vibration from outside. This study developed a dynamic model for one axis for the stabilization loop design of a gimbal system for drones and applied classical PID controller and intelligent PID controller. The Stabilization loop design was developed by using MATLAB/Simulink and compared the performance of each controller through simulation. Especially, the intelligent PID controller can be designed almost without the dynamic model and it demonstrates that the angle can be followed without readjusting the parameters of the controller even when the characteristics of the model changes.

Key words : Drone, Gimbal System, Stabilization Loop, Intelligent PID Controller, Model-Free Controller

† 본 논문은 부경대학교 자율창의기술연구(2014년)에 의해 연구되었습니다..

* 주저자 : 부경대학교 제어계측공학과 교수

** 공저자 및 교신저자 : 한국해양대학교 전파공학과 교수

† Corresponding author : Hyung-Rae Cho(Korea Maritime and Ocean University, E-mail hrcho@kmou.ac.kr

† Received 5 January 2016; reviewed 14 January 2016; Accepted 19 January 2016

I. 서론

최근 무인기(드론), 자율주행차, 무인선 등 무인 이동체 산업이 미래 신 성장 분야로 급부상하고 있다. 그중에서도 드론은 개발과 보급 속도가 기대를 뛰어 넘으면서 ICT 뿐만 아니라 산업전반에 걸쳐 주목을 받으면서 빠르게 용도 확대가 진행되고 있는데, 특히, 재해예방, 농업용, 산업현장관리, 스포츠 활동과 방송 등의 영상제작에 효용성이 입증되고 있다.

드론의 짐발 시스템은 외란과 장착부위 진동의 영향을 받음에도 불구하고 카메라 영상의 흔들림을 제거하고 원하는 표적 방향으로 영상장비를 유지하는 장치로서 카메라 모듈과 안정화 구동장치로 나눌 수 있다. 카메라 모듈은 직접적으로 영상을 획득하는 부분으로 광학계 및 이를 제어하는 전자보드로 구성되고, 안정화 구동장치는 rolling/ pitching/yawing 운동을 하여 주변의 동적인 외란에도 불구하고 카메라의 시선을 지향하거나 추적하는 목적으로 사용된다.

짐발 시스템의 안정화 구동장치에 대한 제어는 PID(Proportional-Integral-Derivative Controller, 비례-적분-미분 제어기)제어 기법이 가장 많이 사용되고 있다. PID제어 기법은 조정을 위한 파라미터의 수가 적고, 그 구조가 단순하며, 각 요소의 작용에 대한 이해가 쉬우며, 비례이득과 적분시간 및 미분시간 등의 변화에 대한 응답특성의 변화가 직관적이고 적용방법이 용이하다는 특징을 가지고 있다[1]. 그러나 제어대상에 시간지연이 존재하거나 혹은 시스템 등의 특성이 변화하면 PID 파라미터의 재조정이 필요성이 대두되어, 이러한 문제의 해결책으로 비선형제어의 간단화 등을 위해 Intelligent-PID제어라는 새로운 제어기법이 M. Fliess, C. Join 등에 의해 제안되었다[2-4]. 이 기법은

- 제어대상의 모델을 거의 필요로 하지 않는다
- 구조가 PID제어와 동일할 정도로 간단하다.
- 고차의 시스템에 대해서도 파라미터의 조정이 간단하다.
- 제어대상의 특성이 변화하여도 제어기의 파라

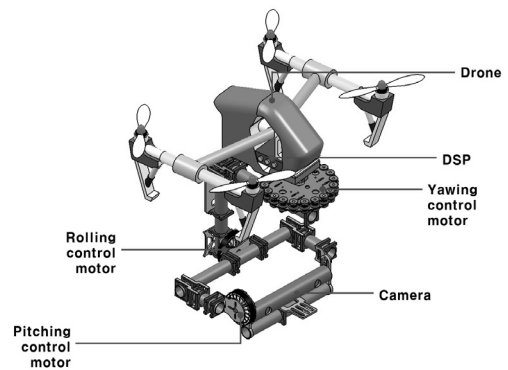
미터를 재조정할 필요가 없다.

등의 특징을 가지는 것으로 기존 PID를 대체할 수 있는 유망한 제어기법의 하나이며 현재 다양한 종류의 플랜트에 적용한 실험결과가 보고되고 있다 [5].

본 연구에서는 짐발 시스템의 3 축에 대한 모델링 과정이 동일하므로, 중복성을 피하기 위하여 한 축에 대한 동적모델을 유도한다. 모델링된 플랜트에 대하여 기존의 PID 및 I-PD제어기(Integral Propotional-Derivative Controller)를 설계하여 외란에 대한 각속도 응답특성을 MATLAB/Simulink를 통하여 시뮬레이션 한다. 또한 본 연구에서 제안하는 Intelligent-PID제어기를 시스템 모델링을 기반으로 하지 않고 오차방정식을 안정화하는 조건으로 설계한 후, PID, I-PD 및 I-PID 제어기법과 비교하여 응답특성 및 파라미터의 변화에 대하여도 강인성을 확인한다.

II. 짐발시스템의 수학적 모델

드론으로부터 깨끗하고 안정적인 영상 획득을 위해 카메라는 짐발시스템에 설치되는데, 짐발시스템은 <Fig. 1>과 같이 3축(롤/피치/요) 운동을 할 수 있는 링크 구조물, 각 축의 회전운동을 위한 직접구동 모터, 오일러 자세각 측정센서, 안정화 제어 알고리즘 연산을 위한 DSP 제어기로 구성된다. 일반



(Fig. 1) Drone-Mounted 3-axis camera gimbal system

적으로 3축 운동은 대칭적이므로 본 연구에서는 1축에 대한 동적모델을 세우고 이에 대한 안정화 제어를 설계한다.

드론의 좌표계를 $D(i, j, k)$ 라 하고 짐발의 좌표계를 $G(r, p, y)$ 라 하고, 각 좌표계의 축에 대한 각속도 벡터들을

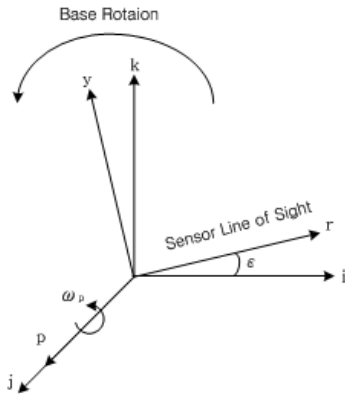
$$\vec{\omega}_D = \begin{bmatrix} \omega_i \\ \omega_j \\ \omega_k \end{bmatrix}, \quad \vec{\omega}_G = \begin{bmatrix} \omega_r \\ \omega_p \\ \omega_y \end{bmatrix} \quad (1)$$

라 하자.

<Fig. 2>와 같이 짐발 좌표계의 p 축에 있는 구동 모터에 의한 회전운동 방정식을 유도해 본다. p 축이 각도 ϵ 만큼 회전할 때 짐발 축의 각속도를 드론 축의 각속도 함수로 나타내면[6-9],

$$\begin{aligned} \omega_r &= \omega_i \cos \epsilon - \omega_k \sin \epsilon \\ \omega_p &= \omega_j + \dot{\epsilon} \end{aligned} \quad (2)$$

$\omega_y = \omega_i \sin \epsilon + \omega_k \cos \epsilon$ 이다.



<Fig. 2> A single-axis gimbal/drone coordinate

한편, 짐발의 관성행렬을 다음과 같이 두자.

$$J = \begin{bmatrix} J_r & J_{rp} & J_{ry} \\ J_{rp} & J_p & J_{yp} \\ J_{ry} & J_{yp} & J_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, J_r, J_p, J_y 는 각각 r, p, y 축에 대한 관성모멘트이고, J_{rp}, J_{ry}, J_{yp} 를 관성 곱모멘트 라고 하자. Newton의 법칙에 의하여 토크방정식은

$$\vec{T} = \frac{d}{dt} (\vec{H}) + \vec{\omega}_G \times \vec{H} \quad (4)$$

이 되는데, 여기서 \vec{H} 를 각 운동량이라 하고 다음과

같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \vec{H} &= J \vec{\omega}_G \\ &= \begin{bmatrix} J_r \omega_r + J_{rp} \omega_p + J_{ry} \omega_y \\ J_{rp} \omega_r + J_p \omega_p + J_{yp} \omega_y \\ J_{ry} \omega_r + J_{yp} \omega_p + J_y \omega_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_r \\ H_p \\ H_y \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

따라서 짐발의 각 축에 대한 토크는 식 (4)에서 각속도벡터와 운동량벡터의 벡터곱을 통하여

$$\vec{T} = \begin{bmatrix} \dot{H}_r + \omega_p H_y - \omega_y H_p \\ \dot{H}_p + \omega_p H_r - \omega_y H_y \\ \dot{H}_y + \omega_p H_p - \omega_y H_r \end{bmatrix} \quad (6)$$

이 된다. 특히, 짐발의 p 축에 대한 토크방정식은

$$\tau = \dot{H}_p + \omega_p H_r - \omega_y H_y \quad (7)$$

와 같이 두는데, 여기서 τ 는 모터로부터 짐발 링크에 인가되는 토크이며, 식 (5)의 항들을 대입하여 다음과 같이 정리한다.

$$\begin{aligned} J_p \dot{\omega}_p &= \tau + (J_y - J_r) \omega_r \omega_y + J_{ry} (\omega_r^2 - \omega_y^2) \\ &\quad - J_{yp} (\dot{\omega}_y - \omega_p \omega_r) - J_{rp} (\dot{\omega}_r + \omega_p \omega_y) \end{aligned} \quad (8)$$

만일, 짐발의 축에 대하여 무게분포가 대칭적이면 관성 곱모멘트가 0, 즉 $J_{rp} = J_{ry} = J_{yp} = 0$ 이므로, 식 (8)은 다음과 같이 된다.

$$J_p \dot{\omega}_p = \tau + (J_y - J_r) \omega_r \omega_y \quad (9)$$

여기에 식 (2)의 ω_r, ω_y 를 대입하여, 드론의 기본 축 외란에 대한 짐발 p 축의 회전운동 방정식을 다음과 같이 얻는다.

$$\begin{aligned} J_p \dot{\omega}_p &= \tau + (J_y - J_r) \cdot (\omega_i \cos \epsilon - \omega_k \sin \epsilon) \cdot \\ &\quad (\omega_i \sin \epsilon + \omega_k \cos \epsilon) \end{aligned} \quad (10)$$

한편 식 (10)에서 축을 회전시키는 토크 τ 가 기여 없는 직접구동 DC모터에 의해 발생된다고 하자.

<Fig. 3>은 직접구동 DC모터의 등가회로를 나타내고 있으며 이 회로에 대한 동적방정식은 다음과 같은 미분방정식으로 표현된다[10].

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt} + e_b(t) \quad (11)$$

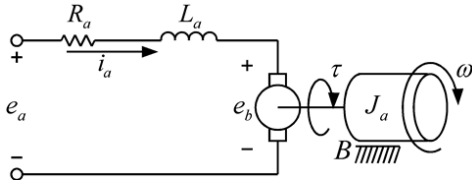
$$e_b(t) = K_e \omega(t) \quad (12)$$

$$\tau(t) = K_t i_a(t) \quad (13)$$

$$\tau(t) = J_m \frac{d\omega}{dt} + b_m \omega(t) + T_D(t) \quad (14)$$

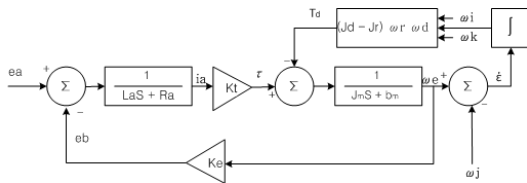
여기서 $J_m = J_a + J_L$ 로서 모터의 관성과 링크의 관성을 합한 것이며, $b_m = B + B_L$ 은 모터의 마찰계수와 짐발링크의 마찰계수를 합한 값인데, 본 연구

에서는 무시한다.



<Fig. 3> The equivalent circuit of DC motor

이상과 같이 유도된 짐발 링크에 대한 회전운동 방정식 (10)과 링크의 회전토크를 발생시키는 구동 방정식 (11)-(14)로 구성된 짐발시스템에 대한 블록 선도를 <Fig. 4>에 나타낸다.



<Fig. 4> The block diagram of the gimbal system

III. Intelligent-PID 제어기 설계

시스템을 해석하고 설계하기 위하여 우선 수행할 일은 제어하고자 하는 동적 시스템을 수학적 모델로 표현하는 모델링 작업이다. 일반적으로 시간역 모델링 방법인 상태공간모델식과 에너지 접근법인 Lagrange 방정식을 이용한 모델식을 기반으로 제어기를 설계하고 있지만, 본 연구에서는 비선형 요소와 불확실한 요소가 많은 복잡한 시스템에 대하여 모델링 없이 제어기를 설계하는 방법에 대하여 기술한다.

일반적으로 시스템 동적방정식은 입력 $u(t)$ 와 시스템 출력 $y(t)$ 의 함수로

$$y^{(m)}(t) = f(y^{(m-1)}(t), \dots, y(t), u^{(l)}(t), \dots, u(t), u(t)) \quad (16)$$

와 같이 표현되는데, 이 식은 아주 짧은 시간동안 유효한

$$y^{(n)}(t) = F(t) + \alpha u(t) \quad (17)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 n 은 일반적으로 1 또는

2가 되며, α 는 설계자가 결정하는 값이고, $F(t)$ 는 $y(t)$, $u(t)$ 및 이들의 고계미분의 함수로서 제어대상의 모든 정보가 들어있는 미지의 항으로 임의의 시간에 입력 $u(t)$ 와 측정값 $y^{(n)}(t)$ 을 이용하여 실시간으로 측정할 수 있다.

만일, $F(t)$ 를 추정할 수 있다면 페루프 제어시스템에서 제어대상의 바람직한 출력을 위하여 제어입력은 다음과 같이 결정한다. 특히, $n=2$ 일 경우 식 (17)로부터[2-4],

$$u(t) = \frac{1}{\alpha} (-F(t) + \ddot{y}^*(t) + K_p e(t) + K_I \int e(\tau) d\tau + K_D \dot{e}(t)) \quad (18)$$

여기서

$y^*(t)$ 는 제어대상의 출력이 추종해야 하는 목표 신호

$e(t) = y^*(t) - y(t)$ 는 추종오차

K_p, K_I, K_D 는 일반적인 PID 제어기 이득이다. 한편 $F(t)$ 는 식 (17)로부터 $y^{(n)}(t) - \alpha u(t)$ 이므로 식(18)에 대입하여 페루프 응답의 오차방정식

$$\ddot{e}(t) + K_p e(t) + K_I \int e(\tau) d\tau + K_D \dot{e}(t) = 0 \quad (19)$$

을 얻으며, 양변에 라플라스변환을 적용하면 다음과 같은 페루프 특성방정식을 얻는다.

$$g(s) = s^3 + K_D s^2 + K_p s + K_I \quad (20)$$

그러므로 식(20)이 안정으로 되도록 K_p, K_I, K_D 를 설정하면 $e(t) \rightarrow 0 (t \rightarrow \infty)$ 로 된다.

실제로, 식 (18)의 $F(t)$ 는 미지이기 때문에 식 (17)를 이용하여 실시간으로 계산해야 할 필요가 있다. 이를 위해 식 (17)의 $u(t)$ 대신에 충분히 작은 값을 가지는 시간 $h(>0)$ 만큼 이전의 값 $u(t-h)$ 를 사용하여 다음과 같이 $F(t)$ 를 추정한다.

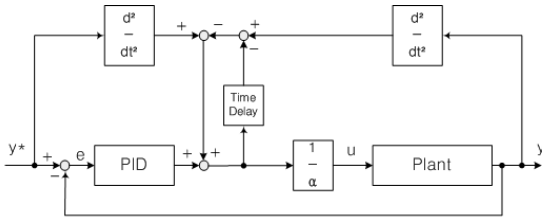
$$F(t)|_e = \ddot{y}(t) - \alpha u(t-h), \quad (\text{단, } u(t-h) \approx u(t)) \quad (21)$$

이 값을 식 (18)에 대입하여 페루프 제어시스템에서 제어대상의 바람직한 출력을 위하여 실제의 제어입력을 다음과 같이 결정한다.

$$u(t) = \frac{1}{\alpha} (-\ddot{y}(t) + \alpha u(t-h) + \ddot{y}^*(t) + K_p e(t) + K_I \int e(\tau) d\tau + K_D \dot{e}(t)) \quad (22)$$

이를 Intelligent PID 제어기라고 하며, 이 제어기

에 의해 구현된 제어시스템 구조를 <Fig. 5>에 나타낸다.



<Fig. 5> Proposed intelligent-PID control system

IV. 시뮬레이션 및 결과

2장에서 유도한 짐발 동역학 플랜트에 대한 안정화 제어기로 많이 사용되는 고전적인 PID 제어기와 본 연구에서 제안하는 Intelligent PID제어기와의 성능을 비교하여 본다. 특히, 플랜트의 환경 변화에 따른 안정화 성능을 비교하여 본다. 제어기들의 성능을 시뮬레이션하기 위해서 DC모터의 파라미터를 <Table 1>과 같이 둔다.

<Table 1> Parameters and variables of the DC motor

Item	Value
Resistance of the motor armature	$R_a = 4.5[\Omega]$
Inductance of the motor armature	$L_a = 0.003[H]$
Motor's moment of inertia	$J_m = 0.0017[Kgm^2]$
Motor electrical constant	$K_e = 0.85 [V/rad/sec]$
Motor mechanical constant	$K_{TM} = 0.85[Nm/A]$

또한 카메라가 부착된 짐발시스템이 무게가 1[Kg]이고 반경이 14[cm]인 회전체라 가정하면 관성모멘트는 $J_L = \frac{1}{2}Mr^2 \cong 9.8 \times 10^{-3} [Kgm^2]$ 라 둘 수 있다. 따라서 모터의 관성모멘트와 합하여 시스템

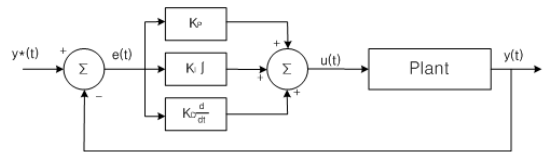
의 관성모멘트는 $J_m^* = J_m + J_L = 11.5 \times 10^{-3} [kgm^2]$ 이 된다. 본 시뮬레이션에서 마찰계수는 무시한다.

먼저, 고전적인 PID제어기는 오차신호($e(t)$)나 플랜트의 출력신호($y(t)$)에 비례(K_P), 적분(K_I), 미분(K_D) 상수를 곱하여 다음과 같은 조합의 알고리즘으로 제어신호 $u(t)$ 를 형성할 수 있다.

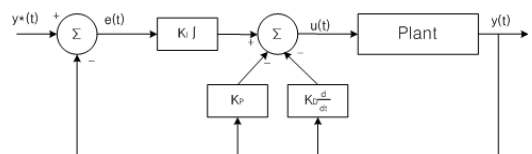
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (23)$$

$$u(t) = K_P y(t) + K_I \int e(\tau) d\tau - K_D \frac{dy(t)}{dt} \quad (24)$$

여기서 식(23)으로 표현된 제어알고리즘은 <Fig. 6>의 (a)로, 식(24)로 표현된 제어알고리즘은 <Fig. 6>의 (b)와 같은 제어기 구조를 형성한다. 여기서 고전적인 PID 제어기의 게인값들을 Ziegler-Nichols 기법에 의해 $K_P = 0.96$, $K_I = 10.7$, $K_D = 0.0001$ 라 둔다. 목표 입력 각속도($y^*(t) = \omega_c$)를 0.35[rad/sec]로 할 때 드론 본체의 i 축의 각속도가 $\omega_i = 0.09[rad/sec]$ 로 변하고, k 축의 각속도가 $\omega_k = 0.17[rad/sec]$ 로 변동하며, j 축의 각속도가 $\omega_j = 0 \sim 0.61[rad/sec]$ 로 변하는 변동 외란에 대해 짐발 p 축의 각속도 출력($y(t) = \omega_p$)를 시뮬레이션한 결과를 <Fig. 7>에 나타내었다.

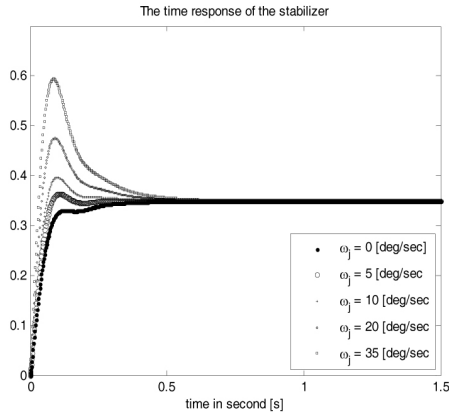


(a) PID control

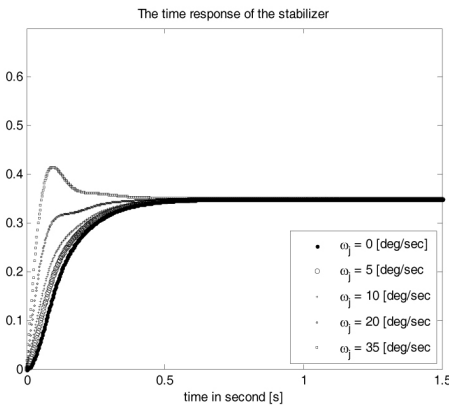


(b) I-PD control

<Fig. 6> Classical control system



(a) PID control system response

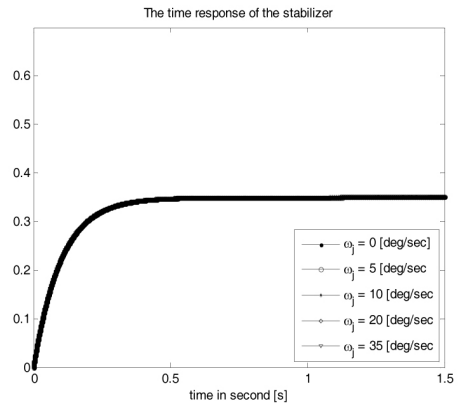


(b) I-PD control system response

<Fig. 7> Classical control system Response

다음은 본 논문에서 제시한 Intelligent-PID 제어기의 설계에 따라 오차방정식 (20)의 안정화 조건으로부터 $K_P = 12$, $K_I = 8$, $K_D = 6$ 을 얻고, 여기서 시간지연 h 를 0.01로 두고 $\alpha = 1$ 로 하여 제어기를 설계한다. 이를 <Fig. 5>와 같은 구조의 제어시스템으로 구성한 후, 앞서 제시한 실험 조건을 대입하여 시뮬레이션한 결과 <Fig. 8>과 같은 응답특성을 얻었다. 이 결과로부터 PID제어기나 I-PD제어기의 경우 변동외란에 대한 드론의 각속도 응답특성이 악화됨을 볼 수 있다. 그러나 Intelligent PID제어기의 경우 환경변화에 매우 강인한 응답특성을 보여주고 있다. 또한 Intelligent PID 제어기의 설계인 경우, 동적 모델을 사용하지 않고도 제어기 파라미터를 선택할

수 있었고 제어성능도 우수함을 확인할 수 있다.



<Fig. 8> Intelligent-PID control system response

V. 결 론

최근 드론은 재해예방, 농업용, 산업현장관리, 스포츠 활동, 방송 등의 영상제작에 효용성이 입증되고 있다. 드론의 짐발 시스템은 외란과 장착부위 진동의 영향을 받음에도 불구하고 카메라 영상의 흔들림을 제거하고 원하는 표적 방향으로 영상장비를 유지하는 장치이다. 짐발 시스템의 안정화 구동장치에 대한 제어는 PID제어 기법이 가장 많이 사용되고 있는데, 제어대상에 시간지연이 존재하거나 혹은 외란 등의 특성이 변화하면 파라미터의 재조정 필요해진다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 연구에서는 Intelligent-PID제어 기법을 짐발 시스템의 안정화 구동제어에 적용하여 보았다. 기존 PID제어 기법과의 응답특성을 비교하기 위하여 드론의 3축 운동 중에서 한 축에 대한 동적 모델을 유도하였고, 이 모델을 기반으로 PID 및 I-PD제어의 각속도 응답특성을 시뮬레이션 및 비교 검토하였다. 이 결과, 본 논문에서 제안한 Intelligent-PID 제어에 의한 응답특성은 외부환경의 변화에도 불구하고 강인한 Servo 특성을 보이는 우수성을 확인하였다. 앞으로 연구결과를 제작된 드론의 짐발시스템 안정화 제어기로 구현하여 안정되고 깨끗한 영상 이미지를 얻는 실험을 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] Tang K., Huang S., Tan K. and Lee T.(2004), "Combined PID and adaptive nonlinear control for servo mechanical systems," *Mechatronics*, vol. 14, no. 6, pp.701-714.
- [2] Fliess M. and Join C.(2008), "Intelligent PID controllers," in Proc. of the 16th Mediterranean Conference on Control and Automation, pp.326-331.
- [3] Fliess M. and Join C.(2009), "Model-free control and intelligent PID controllers: toward a possible trivialization of nonlinear," in Proc. of the 15th IFAC Symposium on System Identification, pp.1531-1541.
- [4] Novel B. D., Fliess M., Join C., Mounier H. and Steux B.(2010), "A mathematical explanation via" intelligent" PID controllers of the strange ubiquity of PIDs," in 18th Mediterranean Conference on Control and Automation, Marrakech, Morocco, arXiv: 1005.0440[math.OC].
- [5] Choe Y. W.(2015), "Intelligent PID controller and its application to structural vibration mitigation with MR Damper," *KIEE*, vol. 64, no. 8, pp.1224-1230.
- [6] Hikert J.(2008), "Inertially stabilized platform technology concepts and principles," *Control Systems, IEEE*, vol. 28, no. 1, pp.26-46.
- [7] Ekstrand B.(2001), "Equations of motion for a two-axes gimbal system," *Aerospace and Electronic System, IEEE Transactions on*, vol. 37, no. 3, pp.1083-1091.
- [8] Abdo M., Toloei A. R., Vali A. R. and Arvan M. R.(2014), "Modeling, control and simulation of cascade servo system for one axis gimbal mechanism," *International Journal of Engineering*, vol. 27, no. 1, pp.157-170.
- [9] Rue A.(1974), "Precision stabilization systems," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, no. 1, pp.34-42.
- [10] Esfandiari L.(2014), *Modeling and Analysis of Dynamic Systems*, Second Edition, CRC Press, p.268.

저자소개

**변 기 식 (Byun, Gi-Sig)**

1990년 9월 ~ 현재 : 부경대학교 제어계측공학과 교수
 2014년 1월 ~ 2014년 12월 : (사)한국조선해양IT학회 회장
 2010년 8월 ~ 2012년 7월 : 부경대학교 산학협력단장
 1983년 3월 ~ 1985년 2월 : 강원대학교 전기공학과
 1985년 9월 ~ 1990년 2월 : Wichita State Univ. 공학박사(제어공학전공)
 1981년 3월 ~ 1983년 2월 : 중앙대학교 공학석사(전력공학전공)
 1977년 3월 ~ 1981년 2월 : 중앙대학교 공학사(전기공학전공)
 e-mail : gsbyun@pknu.ac.kr

**조 형 래 (Cho, Hyung-Rae)**

1996년 4월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 교수
 2015년 1월 ~ 2015년 12월 : (사)한국ITS학회 회장
 2012년 3월 ~ 2013년 2월 : University of Colorado 방문교수
 2004년 4월 ~ 2007년 3월 : (재)한국조선기자재연구원 원장
 1989년 3월 ~ 1993년 2월 : 연세대학교 공학박사(통신공학전공)
 1982년 3월 ~ 1984년 2월 : 연세대학교 공학석사(통신공학전공)
 1978년 3월 ~ 1982년 2월 : 광운대학교 공학사(전자공학전공)
 e-mail : hrcho@kmou.ac.kr