3축 김발 시스템의 시선 안정화 제어 성능 향상에 관한 고찰

고현서*, 김정호
한화시스템

Review for performance improvement of Line of Sight Stabilization control of three axis gimbal system

Hyun Seo Ko*, Jung Ho Kim
Hanwha Systems

ABSTRACT

본 논문에서는 3축 김발 시스템의 시선 안정화 제어 성능 향상을 위해 기본적인 3상 PID 제어기에 외란 관측기를 추가하여 설계하고, 시뮬레이션을 통해 외란의 영향력 감소를 확인하였다. 또한 주파수 응답 특성, 시간 응답 안정도와 성능, 안정화 정밀도를 확인하였다.

1. 서 론

시선(Line Of Sight)은 김발에 의해 회전하는 광학 센서가 지향하는 방향을 말하며, 목표물과 시선을 일치시키는 과정을 통해 목표물을 추적한다. 목표물과의 거리가 멀수록 작은 흔들림에도 큰 시선 오차로 이어질 수 있으며, 미상 목표의 식별을 위해 보다 선명한 영상이 필요하므로 외란을 포함하는 플랫폼에 장착된 전자광학 김발 장비에는 시선 안정화 제어가 필수적이다.

본 논문에서는 항공기에 장착된 3축 전자광학 김발 시스템의 속도제어 및 시선안정화 성능 향상에 대한 과정을 보였다. 3축 전자광학 김발을 MATLAB/SIMULINK에 전달함수로 모델링하고, 고전제어 기법인 PI 제어기, Lead 제어기에 외란관측기(Disturbance OBserver, 이하 DOB)를 추가하여 제어기를 구성한 후 시뮬레이션을 통해 안정화 성능을 확인하였다. 정확도를 높이기 위해 항공기의 가진 데이터를 토크로 변환하여 외란으로 입력하였으며, 자이로센서의 ARW(Angle Random Walk)를 노이즈로 입력하여 신뢰도를 높였다.

2. 본 론

2.1 시스템 모델링

DC 모터의 전압, 기계 방정식을 기반으로 모터와 김발을 구성하였으며, 각속도를 측정하는 자이로센서는 2차 시스템으로 모델링하였다. 속도 제어보다 고주파 대역에서 작동하는 전류 제어기는 앰프로 대체하였다.

본 논문에서 사용한 주요 시스템 파라미터는 표 1과 같다.

2.2 속도 제어기 설계

표 2의 설계 목표를 달성하기 위해 최대 각속도, 각가속도를 고려하여 피크값 1 rad, 주파수 2.23 Hz의 정현파를 속도 명령으로 입력하였으며, 항공기 가진 데이터를 외란으로 입력하는

표 1 시스템 파라미터
Table 1 System Parameters

기호	의미	값	단위
-	최대 각속도	1	[rad/sec]
-	최대 각가속도	14	[rad/sec^2]
Ra	모터 저항	7.2	[Ω]
La	모터 인덕턴스	0.0023	[H]
amp_d	모터 드라이버 이득	2.7871	-
Kt	토크 상수	0.31	[Nm/A]
Jm	관성 모멘트	0.037	[kgfm^2]
Bm	점성 마찰 계수	0	[Nm/rad/s]
Ke	역기전력 상수	0.31	[V/rad/s]
T_lim	토크 제한	1.2	[Nm]
BW	자이로센서 대역폭	500	[Hz]
ζ(zeta)	자이로센서 감쇠비	0.7071	[-]
f_q	DOB Q-필터 대역폭	10	[Hz]
		45	[Hz]

표 2 설계 목표값
Table 2 Design Objectives

	목표값	단위
대역폭	50	[Hz]
이득 여유	10	[dB]
위상 여유	40	[deg]
각속도 정상상태 오차	±0.4	[deg/sec]
안정화 정확도	±5	[urad]

상황에서 제어기 설계를 진행하였다. 실제 제어기의 출력 한계치와 딜레이 또한 반영하여 그림 1과 같이 시뮬레이션을 구성하였다.

2.2.1 PI 제어

적분 이득 I를 0으로 고정하고 대역폭이 확보될 때까지 비례 이득 P를 높였고, 0.73까지 높여 목표 대역폭을 확보할 수 있었다. 그 뒤 각속도 정상상태 오차를 줄이기 위해 비례 이득을 고정하고 적분 이득 I를 증가시키며 시간영역의 성능과 주파수영역의 안정도를 확인하였다.

I를 105까지 증가시킨 후 정상상태 오차 목표값에 도달하지 못했음에도, 위상 여유와 성능의 trade off 관계로 인하여 더 이상 적분 이득을 올릴 수 없었다. 이득 여유는 충분함을 확인하고, 현재 상황에서 부족한 위상 여유의 확보에 적합한 Lead 제어기를 추가하였다.

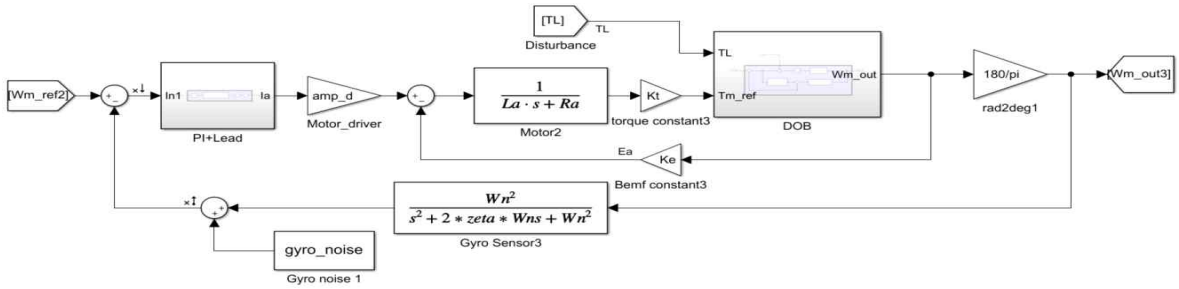

그림 1 MATLAB/SIMULINK 전체 블록도

2.2.2 Lead 제어기

36Hz, 20deg Lead 제어기를 추가하여 위상 여유를 확보했고 적분 이득을 더 높일 수 있었다. 적분 이득을 250까지 상승시키자 각속도 정상상태 오차를 설계 목표인 0.4 deg/sec 이하로 줄일 수 있었다.

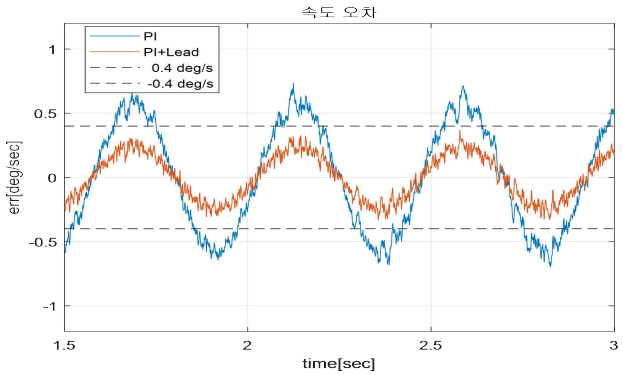

그림 2 Lead 제어기 추가 시 성능 비교

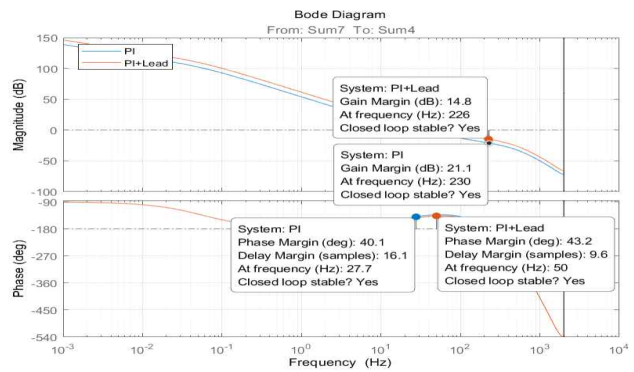

그림 3 Lead 제어기 추가 시 안정도 비교

2.3 안정화 정확도

추적 제어 목표를 달성한 뒤 안정화 정확도 측정을 위해 속도 입력을 0으로 바꿔 시뮬레이션을 진행하였다.

추적 제어기만으로 안정화 정확도 목표를 달성할 수 없어 제어기에 DOB를 추가 설계하였다.

2.3.1 DOB

DOB는 입력과 외란이 함께 들어간 시스템의 결과값을 통해 외란을 관측해 미리 입력에서 빼주는 일을 한다. 이를 위해 시스템 모델의 역수가 필요한데, causality를 위반하므로 추가적으로 Q-필터를 이용하며, 주로 저역통과 필터를 이용한다.

Q-필터의 차단주파수가 높을수록 DOB의 성능도 좋아지지만 대역폭이 늘어나 안정도를 떨어뜨리므로 적절한 값의 선정이 필요하다. 제어 딜레이를 최소화하기 위해 1차 저역통과 필터를 사용했으며, 차단주파수를 10Hz부터 증가시키며 안정화 정확도를 확인하였다. 차단주파수를 45Hz까지 상승시키자 안정화 정확도를 목표값인 5μrad 이하로 감소시킬 수 있었다.

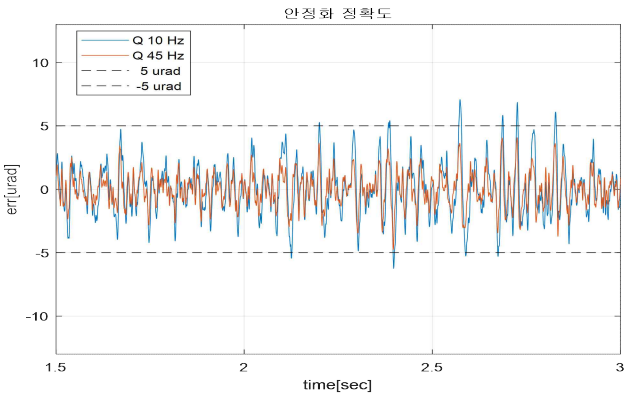

그림 4 Q-filter 차단 주파수에 따른 안정화 정확도 비교

3. 결 론

본 논문에서는 3축 김발 시스템의 시선 안정화 제어를 통해 목표를 정밀하게 추적하기 위해 고전 제어기법인 PI, Lead 제어기와 DOB를 함께 활용하여 시선 안정화 성능을 확인했다.

본 연구를 통해 DOB를 활용하면 보다 간편하게 외란의 영향을 줄여 안정화 정확도 성능 향상이 가능한 것을 확인했으며, 대역폭의 증가로 인한 안정도 하락의 방지도 가능함을 볼 수 있었다.

추후 제어기를 더 구체적으로 구성하고, 실제 수행했던 실험 데이터를 활용해 실물과 차이가 있는 시스템 모델을 사용할 시 DOB로 인한 어떤 성능 변화가 있는지 확인이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 박재영, 김대현, 안정훈, “3축 김발 시선안정화 전자광학 시스템의 서보 제어기 설계”, 정보 및 제어 논문집, 205~206, 2018.

[2] 김정호, 신승철, 박재영, “2축 김발 시스템의 시선 안정화 제어 성능 향상에 관한 고찰”, 정보 및 제어 학술대회, 527~528, 2021

[2] 최현택, 여희주, ”풀어쓴 제어 시스템 설계“, 161~166