쿼드로터 시스템의 추력 측정을 위한 실험대에 설계에 대한 연구

김태준, 오명식, 정 슬

충남대학교 메카트

로닉스공학과

Study on Design of the Experimental Stand for Measuring Thrust of a Quadrotor System

Intelligent Systems and Emotional Engineering(ISEE) Lab.

Abstract

본 논문에서는 실내에서 쿼드로터의 자세제어 실험을 위한 실험 거치대의 설계를 소개한다. 실험거치대는 쿼드로터 시스템의 자세제어를 실제로 실험하기 위한 장비로 롤, 피치, 요 의 각도와 고도를 제어할 수 있다. 추가적으로 직교좌표 공간에서 위치제어도 가능하다. 또한 쿼드로터 시스템의 스프링 저울을 통해 추력을 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 실제 추력실험을 통해 추력의 측정이 가능한가를 검증하였다.

Keywords-Quadrotor system, thrust measurement, an experimental stand

1. 서 론

최근 무인비행체 DRONE에 대한 연구가 활발하다. 군사용으로 쓰임을 넘어서 상업용으로 제품화하여 판매되고 있는 실정이다. 특히 최근에는 북한에서 넘어 온 무인비행체가 남한에 추락하여 발견됨으로써 국방 및 사회전체에 큰 문제점으로 대두되었다.

DRONE은 이착륙의 형태에 따라 두 가지 종류로 나뉜다. 북한에서 넘어 온 것과 같은 고정 익기 기반의 활주로가 필요한 비행체와 회전익기 기반의 활주로가 필요없는 형태로 나뉜다. 고정익기 형태는 장거리로 사용되고 회전익기 형태는 근거리용으로 주로 사용된다.

회전익기 형태 중 쿼드로터는 최근에 각광을 받고 있는 DRONE이다. 두 쌍의 로터가 서로 반대 방향으로 회전하는 쿼드로터는 안정적인 호버링 제어 성능이 뛰어나 영화촬영이나 모니터링과 같은 영상 관련 작업에 많이 사용되고 있다.

이처럼 쿼드로터의 사용이 급증하면서 연구도 활발해졌다. 다양한 제어 알고리즘을 적용하는 쿼드로터의 자세제어에 대한 연구가 활발하다. 선행연구에서는 자세제어를 위해 외란 관측기를 사용한 제어와 시간지연 제어알고리즘을 적용하여 실험하였다[1,2]. 고도제어와 안전한 착륙을 위해 시간지연제어 방식을 사용하였다[3].

이러한 실험 모두 실내 환경의 거치대에서 각도제어를 주로 수행하였다. 대부분의 실험거치대는 자세제어 즉 3개의 각도를 제어할 수 있는 형태로 설계가 되어 있다. 하지만 쿼드로터 실험에서 필요한 부분은 부하에 따른 추력을 측정하는 것이다. 실내 실험 환경에서 추력에 대한 측정은 장비가 없어 정확하게 알 수 없는 경우가 대부분이다.

그러므로 본 논문에서는 쿼드로터 시스템의 추력을 측정할 수 있는 새로운 측정 장치를 제안한다. 기존의 3축 거치대에 추가적으로 움직일 수 있는 봉을 달아 쿼드로터를 아래위로 움직일 수 있게 설계하였다. 또한 봉의 위에는 쿼드로터를 부착하고 아래 끝에는 줄이 스프링에 연결되어 풀리를 거쳐 저울과 연결되어 있어 쿼드로터가 위로 당기는 힘을 측정할 수 있다. 쿼드로터가 위로 상승하게 되면 연결된 봉이 함께 올라가게 되고 봉에 연결된 스프링이 늘어나게 되어 추력을 측정하게 된다.

새로 제안하는 실험 거치대 위에서 쿼드로터의 자세제어를 수행하고 추력을 실험을 통해 측정해 보았다.

2. 본 론

2.1 쿼드로터 시스템

쿼드로터 시스템은 4개의 로터의 회전으로 오리엔테이션과 선운동을 나타내는 대표적인 underactuated 시스템이다. 각 로터의 회전 속도에 의해 움직임이 정해지며 자세제어는 오리엔테이션과 고도제어를 포함한다. 그림 1은 쿼드로터 시스템을 나타낸다.

쿼드로터 시스템은 4개의 추력 F_F, F_B, F_L, F_R에 의해 롤(ϕ), 피치(θ), 요(ψ) 각의 움직임과 x,y,z의 선운동 움직임이 생성된다.

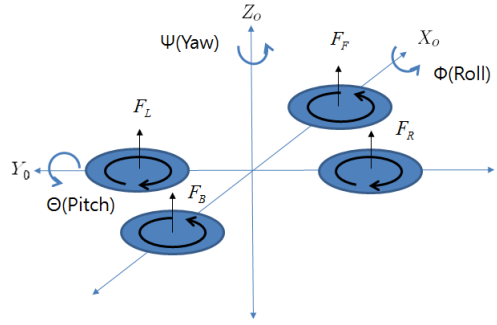

그림 1. 쿼드로터 시스템

쿼드로터의 동역학은 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
m\ddot{x} &= f_T(\cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\psi)\\
m\ddot{y} &= f_T(\cos\phi\sin\theta\cos\psi - \sin\phi\cos\psi)\\
m\ddot{z} &= f_T\cos\phi\cos\theta - mg\\
I_{xx}\ddot{\phi} &= L(F_L - F_R)\\
I_{yy}\ddot{\theta} &= L(F_B - F_F)\\
I_{zz}\ddot{\psi} &= C(F_L + F_R - F_F - F_B)
\end{aligned}
\tag{1}
$$

여기서 m은 질량, g는 중력가속도, C 는 변환 상수, 그리고 $f_T = F_R + F_L + F_F + F_B$이다.

제어방식으로 PD제어 방식을 사용하였다.

$$
\begin{aligned}
u_\phi &= K_{P\phi}(\phi_d - \phi) + K_{D\phi}(-\dot{\phi})\\
u_\theta &= K_{P\theta}(\theta_d - \theta) + K_{D\theta}(-\dot{\theta})\\
u_\psi &= K_{D\psi}(-\dot{\psi})\\
u_{th} &= m(K_{Pz}(z_d - z) + K_{Dz}(\dot{z}_d - \dot{z}) + g)\frac{1}{\cos\phi\cos\theta}
\end{aligned}
\tag{2}
$$

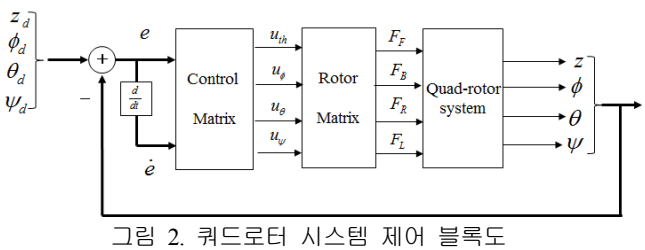

그림 2. 쿼드로터 시스템 제어 블록도

표 1. PD 이득값

Angle \ Gain	K_P	K_D
Roll, Pitch	15	3
Yaw	0	2.7

표 1에는 실험에 사용한 PD 제어기의 이득값이 나타나 있다.

2.2 거치대의 설계

기존의 거치대는 그림 2와 비슷하지만 가운데 움직이는 봉이 없이 오리엔테이션만 측정할 수 있도록 구성되어 있다. 본 논문에서 제안하는 거치대의 구조는 그림 2에 보여진 것처럼 가운데에 움직이는 봉이 있어 쿼드로터 시스템의 고도를 제어할 수 있을 뿐만 아니라 봉의 일부분이 유니버설 조인트로 설계되어 있어 위치제어도 가능하다. 봉의 아래 끝부분은 스프링과 연결된 센서가 장착되어 있어 추력을 측정할 수 있다. 따라서 봉의 무게를 하중으로 고려하고 쿼드로터 시스템의 추력을 측정할 수 있게 된다.

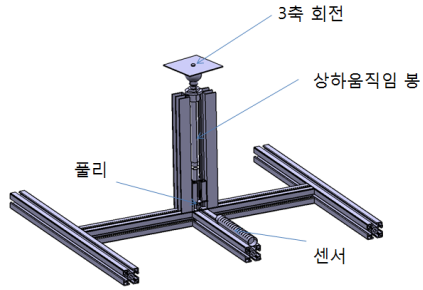

그림 2. 거치대의 설계모습

그림 3은 고도제어를 수행할 경우 봉의 움직임을 보여준다. 봉이 움직이지 않으면 3개의 각을 실험할 수 있다. 봉이 최대 0.2m까지 위로 움직일 수 있는데 이를 통해 고도제어를 실험할 수 있다. 봉이 최대 0.2m 까지 움직인 경우에는 유니버설 조인트로 인해 3축의 직선움직임을 실험할 수 있다. 따라서 고도제어와 추력제어는 0.2m 이내에서 수행하면 된다.

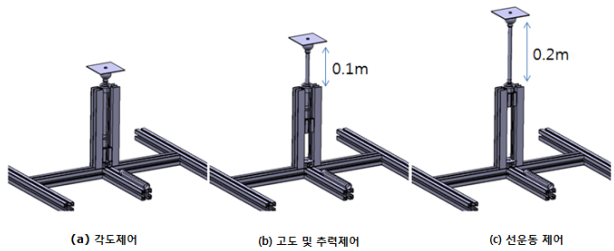

그림 3. 다양한 제어 실험

2.3 거치대의 자세제어 실험

그림 4는 거치대위에서 자세를 제어하는 실험을 보여준다. 한 쪽으로 기울지 않고 자세를 잘 유지하는 것을 볼 수 있다. 기존의 거치대와 마찬가지로 3개의 각도, 롤, 피치, 요를 제어할 수 있다.

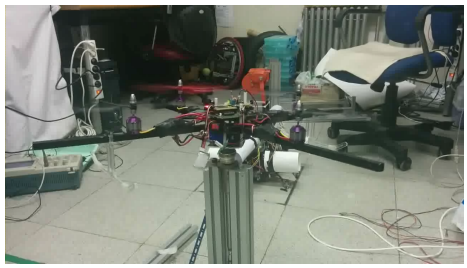

그림 4. 거치대의 자세제어 실험

2.4 거치대의 고도제어 실험

그림 5는 거치대 위에서 고도를 제어하는 실험이다. 가운데 봉이 위로 올라가는 것을 볼 수 있다. 각 로터의 추력을 키우면 기체가 위로 올라가게 된다. 그림 5는 추력이 높아져 기체가 위로 올라 간 상태를 나타낸다. 추력의 크기에 따라 고도를 아래위로의 움직임을 제어할 수 있다.

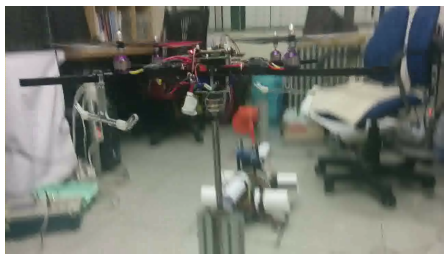

그림 5. 고도제어실험

2.5 추력 측정 실험

다음 실험은 추력을 측정하는 실험이다. 쿼드로터가 위로 움직여 봉이 위로 나온 모습이다. 가운데 봉의 아래 부분에 줄이 연결되어 있고 줄은 풀리를 통해 추력을 측정하는 센서에 연결되어 있다. 쿼드로터의 추력은 봉의 무게에 센서에 나타난 수치가 함께 더해진다.

그림 6. 추력제어실험

3. 결 론

본 논문에서는 쿼드로터 시스템의 추력을 측정하기 위해 거치대를 설계하고 제작하였다. 거치대 위의 쿼드로터의 자세제어를 수행하고 거치대 가운데 있는 봉을 들어 올리는 추력실험을 수행하였다. 연결된 줄과 센서를 통해 추력을 측정하였다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 연구재단 일반연구자지원사업 (NRF-2010-0024904)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] S. H. Jeong and S. Jung, “Design and Experimental Studies of a Disturbance Observer for Attitude Control of a Quad-rotor System”, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems,* vol. 19, no. 11, pp.1-7, 2013.

[2] J. G. Lim and S. Jung, "Experimental Studies of Attitude Control of a Quad-rotor System Using a Time-delayed Controller“, *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 4, pp. 381-388, 2014.

[3] J. G. Lim and S. Jung, "Altitude control of a quad-rotor system using a time-delayed control method", *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 7, pp.724-729, 2014.