

정지비행을 위한 UAV의 동역학 시뮬레이션

Dynamic Simulation of UAV for Hovering

*이광수¹, 김용배¹, 권익식², 김성관²

*J. S. Lee¹, Y. T. Kim¹, E. S. Jeon², #S.G.Kim(kimsg@kongju.ac.kr)²

¹ 공주대학교 기계공학과, ² 공주대학교 기계자동차공학부

Key words : UAV, Unmanned aerial vehicle, Helicopter, Hovering

1. 서론

UAV는 사람이 탑승하지 않은 항공기를 말하는 Unmanned aerial vehicle의 약자로, 지상에서 조종사가 조종기나 프로그램을 이용하여 수동 또는 자동으로 원격 조종하여 임무를 수행하며, 보통 임무, 비행고도, 크기 등에 따라 분류한다[1].

선진농업국가에서는 UAV를 농업 전반에 이용하고 있다. 일본의 경우 1980년 무인헬기 개발연구회를 발족한 이래 Yamaha 등에서 항공방재용 무인헬기를 생산하고 있으며, 무인 헬기의 적용 범위도 항공촬영, 관측, 감시등 민간용은 물론 군사용으로 까지 확대되고 있다[2].

레저 스포츠나 연구목적 외에도 이렇듯 다양한 분야에서 개발, 사용되고 있는 UAV는 실제 헬리콥터와 거의 같은 비행특성을 갖고 있다[3]. 그러나 조종에 대한 응답속도는 더 빠르기 때문에 안전성 및 조종의 편의를 위해 yaw 운동 제어용 자이로센서를 부착하기도 하지만 숙달된 조종을 하기 까지 많은 연습이 필요하다[4]. 이 점은 UAV의 다양한 활용에 제약으로 작용하며, 조종사와 비행체 모두를 고려한 비행제어 연구가 필요하다.

본 논문에서는 UAV의 자율적인 정지비행 제어 시스템 개발을 위하여 공학 분야에서 많이 사용하고 있는 Matlab/Simulink 프로그램을 이용하였으며, 시뮬레이션 대상 UAV는 Fig. 1과 같은 모형 헬리콥터에 적용하여 정지비행 제어에 대한 시뮬레이션 결과를 확인하였다.



Fig. 1 Model helicopter(without Cabin)

2. 수학적 모델링

2.1 선형화 과정

비선형 상태에서의 헬리콥터 운동방정식을 고려하면 식 (1)과 같이 주어지며, 6자유도 양식에서 모션 상태 및 제어는 식 (2), 식 (3)과 같다. 이에 비선형화된 운동방정식은 식 (4) ~ (12)와 같이 결정된다[5].

$$\dot{x} = F(x, u, t) \quad (1)$$

$$x = \{u, w, q, \theta, v, p, \phi, r, \psi\} \quad (2)$$

$$u = \{\theta_0, \theta_{1s}, \theta_{1c}, \theta_{0T}\} \quad (3)$$

$$\dot{u} = -(wq - vr) + \frac{X}{M_a} - g \sin \theta \quad (4)$$

$$\dot{v} = -(ur - wp) + \frac{Y}{M_a} + g \cos \theta \sin \phi \quad (5)$$

$$\dot{w} = (vp - uq) + \frac{Z}{M_a} + g \cos \theta \cos \phi \quad (6)$$

$$I_{xx} \dot{p} = (I_{yy} - I_{zz})qr + I_{xz}(\dot{r} + pq) + L \quad (7)$$

$$I_{yy} \dot{q} = (I_{zz} - I_{xx})rp + I_{xz}(r^2 - p^2) + M \quad (8)$$

$$I_{zz} \dot{r} = (I_{xx} - I_{yy})pq + I_{xz}(\dot{p} - qr) + N \quad (9)$$

$$\dot{\phi} = p + q \sin \phi \tan \theta + r \cos \phi \tan \theta \quad (10)$$

$$\dot{\theta} = q \cos \phi - r \sin \phi \quad (11)$$

$$\dot{\psi} = q \sin \phi \sec \theta + r \cos \phi \sec \theta \quad (12)$$

$x = x_e + \delta x$ 의 섭동이론을 사용하여 식 (13)과 같이 모든 힘에 대해 대략적으로 쓸 수 있으며, Fig. 2와 같이 기체의 질량 중심으로부터 직각 축 성분들을 나타낼 수 있다. 전체 6자유도를 위한 선형화된 운동방정식은 식 (14)와 같고, 이를 확장하여 시스템 및 제어 매트릭스로 작성할 수 있다[5,6].

$$X = X_e + \frac{\partial X}{\partial u} \delta u + \frac{\partial X}{\partial w} \delta w + \dots + \frac{\partial X}{\partial u} \delta \theta_0 + \dots, \text{etc.} \quad (13)$$

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (14)$$

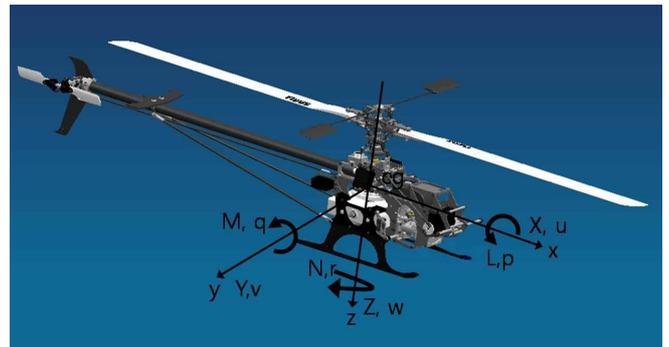


Fig. 2 The orthogonal axes system for helicopter flight dynamics

2.2 UAV 데이터

모형 헬리콥터의 측정 물리량과 계산 값을 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Data of Helicopter Parameters

Parameters	Data
Overall Length	1200mm
Overall Width	170mm
Overall Height	305mm
Overall Weight	3.2kg
Gear Ratio	1:9.08:5.27
Main Rotor's Diameter	1350mm
Tail Rotor's Diameter	220mm
I _{xx}	0.028382 kg · m ²
I _{yy}	0.255376 kg · m ²
I _{zz}	0.268114 kg · m ²
I _{xz}	-0.00429 kg · m ²
Ω _a	188.5 rad/s

2.3 해석결과

Matlab/Simulink 프로그램을 이용하여 종속변수 및 관련된 식을 계산하여 필요한 값들을 산출하고, 블록선도 프로그램을 구성하였다.

모형 헬기에서 yaw 운동은 자이로 센서에 의해 제어되고, ψ 는 수평방향 비행 이후에는 동역학적인 영향이 크지 않기에 해석에서 제외하였다[6]. 메인로터 콜렉티브 피치, 장방향 주기 피치, 측방향 주기 피치에 비행중의 각도를 입력하였다.

롤, 피치, 각 방향별 속도 $u1, v, w1$ 에 대한 시뮬레이션 결과를 Fig. 3 ~ Fig. 7과 같이 호버링 제어가 될 때와 되지 않을 때를 각각 표현 하였다.

3. 시뮬레이션 결과

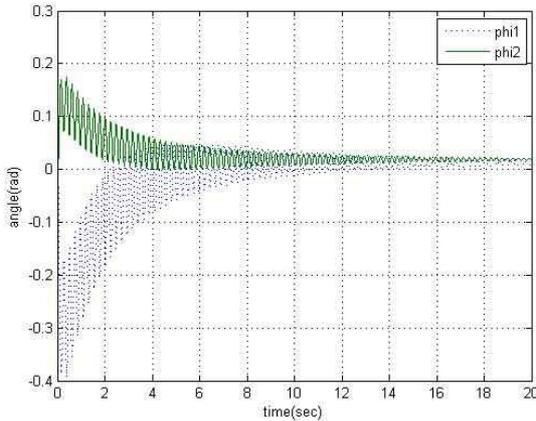


Fig. 3 Comparison between the roll angle ϕ in hovering simulation

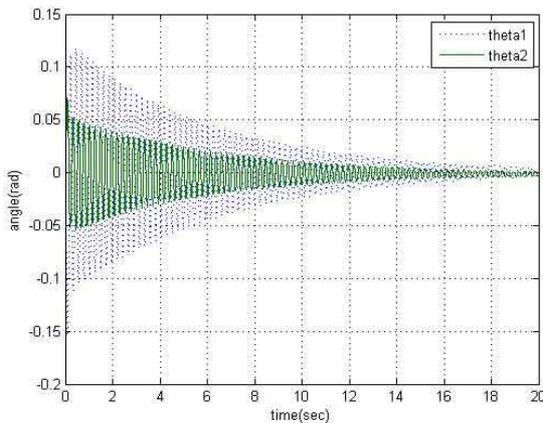


Fig. 4 Comparison between the pitch angle θ in hovering simulation

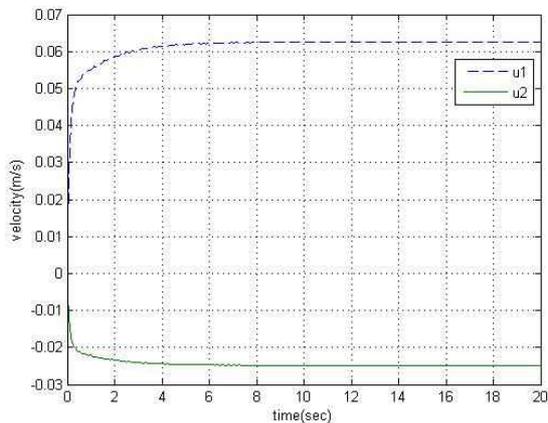


Fig. 5 Comparison between the longitudinal velocity u in hovering simulation

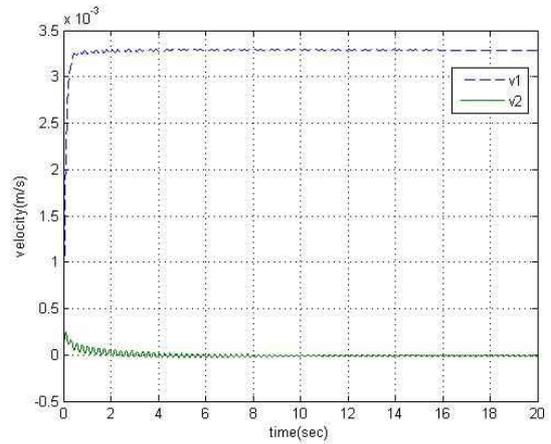


Fig. 6 Comparison between the lateral velocity v in hovering simulation

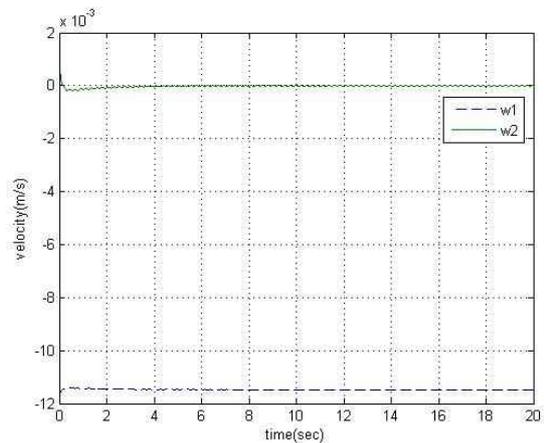


Fig. 7 Comparison between the vertical velocity w in hovering simulation

해석 결과 롤과 피치 운동을 나타내는 ϕ 와 θ 는 10초 이후 정지비행 상태로 수렴하는 모습을 보이나 각 축 방향별 속도는 처음 값 $u1, v, w1$ 은 경우 정지비행 상태를 크게 벗어나고, $v2, w2$ 가 수렴함을 보이나, $u2$ 가 정지속도에서 벗어남을 보여 준다. 전체적으로 이는 시스템상의 불안정과 제어변수의 부정확함에서 기인한 것으로 판단된다.

4. 결론

시스템 불안정 등의 이유로 예상했던 결과를 얻지 못하였으나, 일부 구간에서 정지비행 상태로 수렴하는 결과를 확인하였다. 해석하고자 하는 UAV에 대해 더 많은 데이터가 필요하며, 향후 시스템에 필요한 가중치, 정확한 matrix K 등 데이터와 프로그램 상의 보안을 통해 피치와 롤 운동 및 비행속도에 대한 정확한 해석을 바탕으로 실제 UAV에 적용 할 수 있는 제어 시스템을 구현할 계획이다.

참고문헌

1. <http://ko.wikipedia.org/wiki/UAV>.
2. “저투입 정밀농약살포용 농용무인헬기 개발”, 농림부, 2007
3. 심현철, 이은호, 이교일, “모형 헬리콥터의 정지비행 제어기의 설계”, 대한기계학회 춘추학술대회, 1, 616-621, 1992.
4. 심현철, 이은호, 이교일, “모형 헬리콥터 정지비행제어에 관한 연구”, 대한기계학회논문집, 제18권, 제6호, 1399-1411, 1994.
5. Ganeta D. Padfield, Helicopter Flight Dynamics, Blackwell Science, 2007.
6. Fahad A Al Mahmood, "Construction & Simulating a Mathematical Model of Longitudinal Helicopter Flight Dynamics", MATLAB Central.