

MAV (Micro Air Vehicle) 비행 시뮬레이터의 설계

김형철* · 김강수** · 노재춘*** · 윤석준****

The Design of MAV (Micro Air Vehicle) Flight Simulator

Hyongchol Kim · Kangsu Kim · Jaechun No · Sugjoon Yoon

Abstract

일반 항공기의 유형을 고정익기와 회전익기로 구별할 수 있다면, MAV (Micro Air Vehicle)의 경우는 곤충이나 조류들의 날개 짓 (flapping) 비행형태인 ornithopter 형이 추가된다. 1993년 미국 RAND사에 의하여 MAV에 대한 타당성 검토[1]가 시작된 이래로 실로 다양한 실험적 형태의 MAV들이 속속 소개되고 있는 실정이다. MAV는 초소형 무인항공기로 길이는 성인의 손바닥 크기인 2.5 inch 정도이고, 개발비용과 기간이 유인항공기에 비해서는 비교할 수 없을 정도로 적게 소요되며, 동체길이가 2~5 m인 일반 무인항공기에 비해서도 상대적으로 유리하다는 장점, 그리고 새로운 소형화 기술들을 평가할 수 있는 매우 훌륭한 시험장치가 될 수 있다는 이유로 항공우주기술 분야는 물론 MEMS나 나노 기술 분야에서도 상당한 관심을 갖고 있는 실정이다. MAV의 비행 시뮬레이션 또는 시뮬레이터에 대한 현재까지의 국내외 연구개발 노력[2,3]은 MAV의 기체나 부품기술개발 노력에 비하여 상대적으로 뒤쳐져 있는데, 본 논문은 그 기술적 문제가 무엇인지를 분석하고, MAV 비행 시뮬레이터 환경을 통해 수행될 수 있는 효과적인 연구개발 분야는 무엇인지를 조명하고자 한다. 또한, MAV 비행 시뮬레이터의 성능 요구사항 도출을 통하여 개념설계를 제시하고, 세종대학교와 (주)모델심이 공동 개발 중인 "RC Virtual Flight" 비행 시뮬레이터에 MAV가 어떻게 접목되고 있는지를 소개한다.

Key Words: MAV, Simulator, Simulation

1. 서론

미국국방성 고등연구계획국(DARPA : Defence Advanced Research Projects Agency)에서는 MAV를 최대크기 6~15cm, 총 중량 10~100g, 탑재중량 1~18g, 총 비행시간 20~60분, 순항속도 30~65km/h, 항속거리 1~10Km의 고정익으로 규정하고 있다. 미군은 이미 MAV와 비슷한 무인정찰기를 걸프전과 보스니아내전에서 실

전배치했으나 당시 투입된 무인정찰기는 무게가 4~5kg, 길이 1~2 m 정도로 쉽게 눈에 띄는 것이 단점이었다.

MAV는 단지 크기를 줄이는 것 이상의 공기역학적 복잡성을 띠고 있으므로 새나 곤충의 비행특성을 살피고, 양력 및 추진원리를 파악, 적용하여야만 성공적으로 개발이 가능하다. 즉, 크기와 무게가 작아지면 기존 비행역학은 전혀 의미가 없어지게 될 수 있으므로 초미세형 MAV 개발을 위해 새로운 개념의 비행체 설계와 기술이 필요하게 된다.

현재까지 MAV의 개발을 위해 새와 곤충의 비행에 대한 많은 연구가 있어 왔으나 라이트형

* 세종대학교 항공우주공학과 대학원 석사
** 세종대학교 항공우주공학과 대학원 박사
*** 세종대학교 컴퓨터공학부 조교수
**** 세종대학교 항공우주공학과 부교수

제로부터 시작되어온 고정익 항공기가 여전히 비행체의 주류를 이루고 있다. 비행 시뮬레이션 기술 또한 고정익 항공기가 등장한 이래 많은 선구자에 의해 개척되어 왔지만 디지털 컴퓨터의 등장 이후부터는 보다 손쉽게 동적 개체의 특성을 시뮬레이션하고, 결과를 예측할 수 있게 되었다. 앞서 언급한바와 같이 기존의 비행역학이 MAV의 동적 특성에 적용될 수 있는 확률은 상대적으로 낮겠지만, 고정익 항공기에서 수행되어온 각종 시뮬레이션 기술을 MAV를 위한 시뮬레이션에 접목한다는 것은 개발상의 어려움을 미리 예측해 볼 수 있다는 점에서 가장 큰 장점이 될 수 있으며 시각 센서 등과 같은 하드웨어 성능을 어느 정도나마 판단해 볼 수 있다는 점이 MAV개발에 부차적인 장점으로 작용할 것이다.

2. 모델링 관점에서의 MAV 비행 시뮬레이션의 난제

2.1 공기력 모델

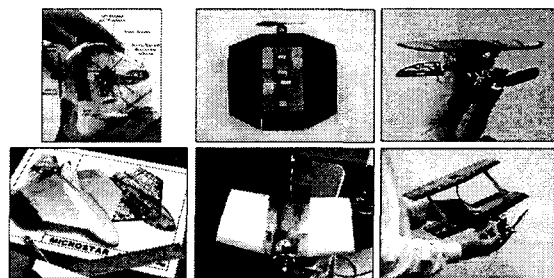
전통적인 항공기 형태에서 벗어나는 대다수 MAV 외형 설계(그림 1) 상의 특성은 비행 시뮬레이션의 구현 시 고정익 및 회전익 항공기들에 대한 전통적인 비행 시뮬레이터들의 개발에서는 경험하지 못하였던 다양하고 복잡한 공기역학적 특성에 대한 이해를 요구하게 된다. 그 중에서도 가장 난해한 모델링 영역은 저 레이놀즈수 영역 (104~106)에서의 공기력을 어떻게 구현할 것인가 하는 면이다. 저 레이놀즈수 유동의 주요 현상인 층류박리기포 (laminar separation bubble), 이력고리 (hysteresis loop), 그리고 비정상 (unsteady) 유동에서의 동적 실속 (dynamic stall) 등은[4] 전통적인 수치해석 코드들의 접근을 불허한다. MAV는 비행체가 초소형이기 때문에 기존 비행시험측정장비들의 적용을 통한 유효 공력계수들의 추출도 현재의 기술로 불가능하다. 유일한 대안은 초정밀 풍동

실험을 통한 공기력의 측정인데, 이 또한 비행 시뮬레이션의 근간이 되는 동적 미계수들의 추출에서는 적절한 해법이 될 수 없다.

공기력 모델의 불확실성을 극복하기 위한 노력 중에는 linear regression analysis[3] 기법을 이용하여 테일러급수 형태로 받음각, 미끄러짐각, 프로펠러 회전각속도 등에 대한 공기력과 모멘트의 의존관계를 유도하는 방식이 포함되는데, 이 또한 받음각이 20. 미만, 미끄러짐각이 5. 미만인 선형비행 영역에서 유효한 방식으로 기류의 영향을 심하게 받을 수 있는 작은 기체를 갖는 MAV의 공기력 해석에서는 매우 제한적으로 적용될 수밖에 없을 것이다.

MAV 공기력의 모델링에서 고려되어야 하는 특성 중에는 특유의 평퍼짐한 외형과 작은 질량 및 관성질량으로 인한 각속도 즉, 동적 미계수들에 대한 두드러진 의존성과 단순한 조종장치로 인한 상태변수간의 심한 커플링 문제들이 포함된다. 예를 들어, 양력의 계산에서 받음각 속도와 피치 각속도의 영향과 추력에 대한 의존 관계가 다음의 식에서와 같이 고려된다는 것이다.

$$C_L = (C_{L_0} + C_{L_T} T) + (C_{L_\alpha} + C_{L_{\alpha T}} T) \alpha + (C_{L_{\delta_{sym}}} + C_{L_{\delta_{sym} T}} T) \delta_{sym} + C_{L_q} \left(\frac{c}{2V} \right) q + C_{L_{\dot{\alpha}}} \left(\frac{c}{2V} \right) \dot{\alpha}$$



〈그림 1〉 MAV의 다양한 형태

2.2 추력 모델

MAV의 추진계통 역시 실제 비행시스템에서의 구현에서와 마찬가지로 비행 시뮬레이션의 관점에서 새로운 숙제를 제시한다. MAV의 경우 고정익 비행에서 양항비가 4 근방으로 나타나기 때문에 일반 항공기들에 비하여 비행을 위하여 상대적으로 강력한 추력을 요구한다[5]. 회전익 비행이나 ornithopter의 경우는 고정익 비행에 비하여 훨씬 높은 추력을 필요로 하므로 MAV들은 전통적인 항공기 엔진들과는 다른 형태의 추력장치들을 요구하게 된다. 비행 시뮬레이션의 관점에서는 그 동력원이 가스터빈 방식이든 아니면 전동모터 방식이든 추력특성만을 파악하면 된다. 하지만, MAV 추진장치에 대한 연구개발을 목적으로 한 시뮬레이션에서나 조종사의 비행훈련을 목적으로 한 시뮬레이션에서는 동력 전달계통에 대한 수학적 모델이 요구된다. 로터리 엔진, 가스터빈 엔진, 피스톤 엔진, 전동모터 등의 동력원에 따라 추진계통의 모델이 매우 다양할 수 있으며, 전동모터를 사용하는 경우도 적용되는 전지의 방식에 따라 수학적 모델이 달라지므로 표준 모델을 사용할 수가 없다. 즉, 추진계통이 달라지게 되면, 그 때마다 새로운 매개변수만 요구되는 것이 아니라 수학적 모델 자체가 바뀌게 될 가능성이 높은 것이다.

2.3 비행제어계통 모델링

MAV의 비행제어계통에 대한 모델링 상의 문제점은 앞서의 추력 모델링에서와 마찬가지로 전통적인 비행제어계통이 MAV에 적용되지 않음에 따른 새로운 제어시스템에 대한 모델링 상의 기술적 부담이다. 고정익 MAV를 조종하기 위해서는 작은 기체 크기로 야기되는 여러 가지 MAV 고유의 안정성 및 조종성 의 문제점들에 봉착하게 된다. 작은 비행체는 작은 관성 질량으로 인하여(표 1) 회전 방향의 진동에서 매우 높

은 고유 주파수를 갖게 되며, 이를 통제하기 위한 MAV의 비행제어계통은 이러한 진동을 안정화시키기 위하여 고속의 컴퓨터 프로세서와 고속의 액추에이터를 필요로 한다[6]. 초창기의 MAV들은 더치롤 모드 의 경우 3Hz 정도의 진동 특성을 갖고 있었다. 이러한 높은 주파수의 운동 특성은 실시간 시뮬레이션에서 발산을 방지하고 시뮬레이션의 정확성을 유지하기 위하여 매우 작은 적분 스텝의 사용을 강요하게 되어 시뮬레이션을 위한 컴퓨터 엔진의 연산 처리 능력을 높게 요구하게 된다.

초소형 센서들의 성능 향상이 이루어지면, 통상적인 유·무인 항공기에서 찾아볼 수 있는 복잡한 경로 (way point) 비행도 향후에는 가능해 지리라고 기대되기는 하지만, 현재까지 개발된 MAV들의 전형적인 autopilot은 속도, 고도, 방향 등의 유지에 대한 세 가지 단순 모드를 갖는다. 하지만, 이러한 단순기능들조차 구현하는데 난해한 이유는 공기력이 매우 높은 비선형성을 가질 수밖에 없는 MAV 고유의 특성 때문이다.

〈표 1〉 플로리다 대학에서 개발한 MAV의 기하학적, 질량 특성

항목	내용
중량 (empty)	0.12 lbs
날개 면적	19.8 in ²
날개 폭	6 in
평균 시위	3.3 in
관성 질량	Ixx : 0.086 lb-in ² Iyy : 0.23 lb-in ² Izz : 0.21 lb-in ² Ixz : 0.037 lb-in ²

2.4 시각 센서 모델링

MAV의 주 임무중의 하나는 근 거리에서의 정찰이다. 이를 위해서 시각 센서로 통상 CMOS 카메라가 고려되는데, MAV 시뮬레이션에서 비

행 특성만이 아니라 시스템 전체에 대한 시뮬레이션에 위해서는 탑재되는 시각 센서도 모델링하여야 할 것이다. 센서의 시각적 인지 능력이나 밝기, 비행체와 목표물과의 거리에 따른 정찰 능력 등도 모델링 작업에 포함되어야 하는데, 상용 제품을 활용할 경우 제작사로부터의 성능 데이터 확보가 필수적으로 요구된다.

2.5 통신 장비 모델링

MAV 시뮬레이터의 목적이 조종사 훈련용이거나 또는 연구용 목적이 정찰 능력을 분석하는 경우에는 MAV의 통신 장비 특성에 대한 모델링도 요구될 수 있을 것이다. 탑재 카메라로부터의 시각 신호는 통상 2.4 GHz로 동작하는 Radio Frequency 송신 장치를 통하여 지상의 수신 장치로 전송되는데 장애물이나 신호 잡음으로 인한 통신 장애 등의 특성도 모델링 영역에 포함된다. 이를 위해서는 통신 장비 제작사의 성능 데이터의 확보는 물론, MAV가 비행하는 지역의 지형지물에 대한 DB의 구축은 물론 장애물과 전파와의 상관관계에 대한 모델링도 요구될 것이다. 영상 신호 처리에 따른 모델링 문제 이외에도 무선 조종기로부터의 전달 신호 지연에 따른 효과나 장애물로 인한 통신 장애의 효과도 경우에 따라 요구될 수 있을 것이다.

3. MAV 비행 시뮬레이션을 이용한 연구개발 영역

MAV의 비행 시뮬레이션을 이용한 연구개발 분야는 일반 유인 항공기의 연구개발과 매우 유사하다. 유인 항공기의 연구개발에서는 시뮬레이션 또는 시뮬레이터가 다음의 5가지 용도로 주로 활용된다[7].

- 1) 초기 항공기 형상설계시 성능평가자료를 시뮬레이션에 반영함으로써 효율적인 항

공기 형상설계를 가능케 한다.

- 2) 조종성 및 안정성 면에서 비행조종시스템을 시뮬레이션 하여 평가할 수 있다.
- 3) 조종석 배치, 비행조종시스템, 디스플레이(Display) 등이 조종사의 작업부담에 미치는 영향을 분석하여 이를 설계에 반영함으로써 항공기라는 장치 자체를 위한 설계가 아닌 사람이 사용한다는 측면에서의 Man-Machine Interface를 고려한 인간공학적 조종석 개발을 가능하게 한다.
- 4) RIG 설계단위에서는 비행 시뮬레이터를 사용하여 성능을 평가하는 HILS 시험을 통해 항공전자장비(Avionics), 비행조종시스템 등의 하드웨어에 대하여 성능 및 기능을 평가할 수 있다.
- 5) 첫 비행시험이 시작되기 전 조종사가 하드웨어의 사용법을 지상에서 미리 숙지할 수 있도록 한다.

위의 연구개발 영역 중에서 3)항만 조종석을 MAV의 무선원격제어장치로 대체하면 나머지는 MAV의 시뮬레이션 기술로 모두 유효한 활용 영역들이다.

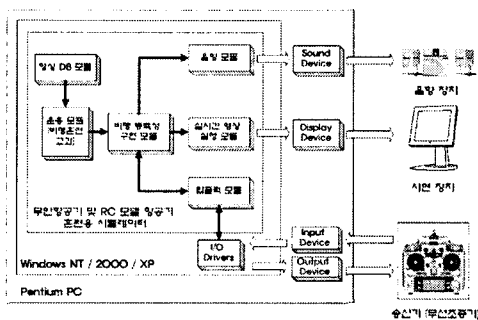
4. MAV 비행 시뮬레이터의 요구사항 및 개념설계

일반 항공기의 연구 개발용 시뮬레이터에 대한 임무 요구사항은 다음과 같다:

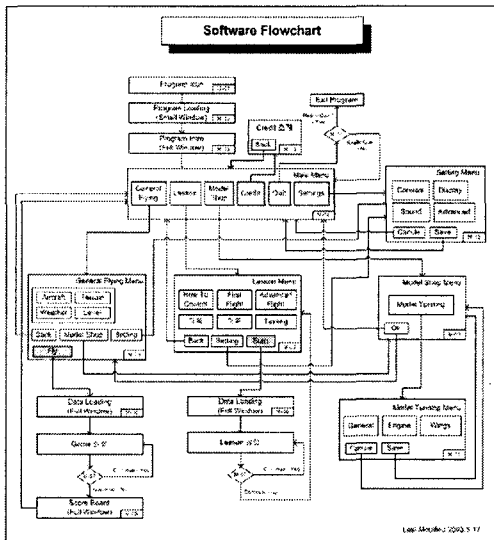
- 1) 항공기 시스템과 조종석의 개발지원
- 2) 조종사의 훈련방법에 관한 연구
- 3) 특정 훈련항목에 요구되는 시뮬레이션과 시뮬레이터의 성능 및 기능에 관한 탐사

이러한 임무 요구사항은 MAV의 설계에서도 앞서의 경우와 마찬가지로 조종석을 MAV의 무

선원격제어장치로 대체하면 바로 적용할 수 있다. 임무 요구사항이 일반 항공기의 경우와 대체로 일치한다면, MAV 비행 시뮬레이터의 성능 요구사항들도 일반 항공기 시뮬레이터에서와 유사할 것이다. 다음은 세종대학교와 (주)모델심이 공동개발중인 RC 비행 시뮬레이터 (RC Virtual Flight)의 H/W, S/W 구성 예이다.

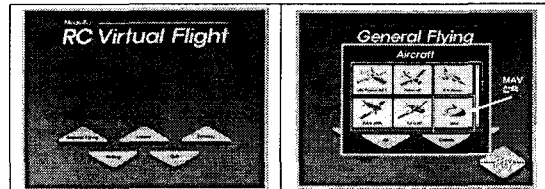


〈그림 2〉 RC Virtual Flight의 하드웨어 구성도



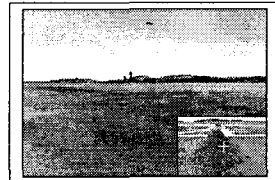
〈그림 3〉 RC Virtual Flight의 소프트웨어 구성도

5. RC Virtual Flight에서의 MAV 비행 시뮬레이션

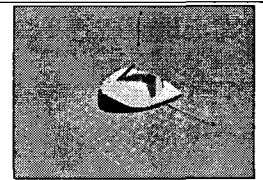


〈그림 4〉 RC Virtual Flight 메인 화면

〈그림 5〉 항공기 선택 화면



〈그림 6〉 RC Virtual Flight 실행 화면



〈그림 7〉 MAV 3D Model

6. 결론 및 향후과제

MAV는 현재의 기술로도 완벽하게 구현이 가능한 비행체는 아니다. MAV도 크게 보면 무인 항공기(UAV)에 속하는 비행체라고 할 수 있지만 UAV와는 그 비행 특성이 현저하게 다르다. MAV 자체도 실용화된 제품을 찾아보기 어렵고 풀어야 할 난제가 수도 없이 남아 있는 현재의 시점에서 시도할 수 있는 유일한 방법은 시뮬레이션을 통해 성능과 특성을 미리 예측해 보는 것이다. MAV의 특성상 공력 특성과 추력 등과 같은 부분이 어느 하나 쉽게 모델링이 가능하진 않지만 세종대학교와 (주)모델심에서 개발 중인 RC 모형기 시뮬레이터에 접목해 봄으로써 MAV를 운용할 때의 문제점을 파악할 수 있었고 조종을 위해 필요한 시각 센서의 성능을 미리 예측할 수 있었다.

MAV는 아직 개척되지 않은 미지의 영역이

다. 또한 실제 비행데이터를 확보하기가 사실상 불가능한 MAV 경우는 시뮬레이션 또한 도전해야 할 새로운 영역이다. 따라서 시뮬레이션을 하기 위해 당장 풀어야 할 숙제, 즉 모델링과 관련된 난제를 어떻게 해결해야 하는가에 따라서 MAV 비행 시뮬레이션의 결과가 좋고 나쁨이 판가름될 것이다.

참고문헌

- [1] Hundley, Richard O., Gritton, and Eugene C., "Future Technology-Driven Revolutions in Military Operations," RAND Corporation, Document No. DB-110-ARPA, 1994.
- [2] Waszak Martin R., Jenkins Luther N, and Ifju Peter G., "Stability and Control Properties of an Aeroelastic Fixed Wing Micro Aerial Vehicles", AIAA Paper No. 2001-4005, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, August 2001.
- [3] Waszak Martin R., Davidson John B, and Ifju Peter G., "Simulation and Flight Control of an Aeroelastic Fixed Wing Micro Aerial Vehicles", AIAA Paper No. 2002-4875, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, August 2002.
- [4] 이기학, 김규홍, 이경태, "MAV/UAV 연구 개발에서의 저레이놀즈수 공기역학 응용과 연구방향 (1)," 한국항공우주학회지 제29권 제6호, pp.157-172, 2001년 9월.
- [5] 안준, "초소형 항공기(MAV)의 개발현황 및 전망," 한국항공우주학회지 제28권 제7호, pp.145-154, 2000년 10월.
- [6] Grasmeyer Joel T. and Keennon Mathew T., "Development of the Black Widow Micro Air Vehicle", AIAA Paper No. 2001-0127, AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, August 2001.
- [7] 윤석준, 시뮬레이션과 시뮬레이터, 선학사, 2003. 3.