

마이크로 로봇 날개짓 비행체의 설계 및 개발

Design and Development of a Micro Robot Ornithopter

이재문*, 장조원(한국항공대)

1. 서론

영화를 보면 곤충 같은 작은 비행체를 정찰이나 첩보용으로 사용하는 경우를 종종 볼 수 있다. 이러한 상상력을 현실화하는 것이 MAVs (Micro Air Vehicles)의 연구이다. 이런 MAVs는 다양한 형태로 개발 되어지고 있는데, 고정익 형태나 회전익 형태의 MAVs는 연료나 동력장치 등의 기술의 한계가 있으며 기존의 항공역학을 적용하기엔 한계가 있기 때문에, 최근엔 날개짓 비행 형태의 MAVs가 많은 관심을 끌고 있다[1]. 따라서 본 연구는 기존의 고정익 항공기와는 근본적으로 개념이 다른 저 레이놀즈수와 비정상 흐름을 발생시키는 공력 특성을 지닌 곤충과 같은 작은 스케일의 비행 메커니즘을 가진 날개짓 비행체 설계하고, 이것의 비행효율을 높이고 중량을 줄여 비행체의 조종성을 높임으로써 무선조종이 원활한 마이크로 로봇 날개짓 비행체(Micro Robot Ornithopter)를 개발하는데 그 목적이 있다.

2. 본론

2.1 마이크로 로봇 날개짓 비행체 설계

마이크로 로봇 날개짓 비행체의 경우 설계에 관한 정확한 매뉴얼이 없는 관계로 Chang과 Sohn[2][3]의 이론 등을 기본으로 하여, 기존에 개발 완료된 날개짓 비행체[4]의 설계과정을 참조 하였다. 설계 목적은 실험용으로 사용할 수 있고 정찰 임무가 가능하도록 설계 제작하였으며, 마이크로 로봇 날개짓 비행체의 기본 성능은 최대한 DARPA에서 정한 기준을 만족하도록 설계하였다. 그리고 무게와 소음을 최소화하고, 안전상의 위험이 없어야 하며, 이송 등 역시 편리해야 한다는 요구조건으로 설계 하였다.

전체적인 형상의 경우 국내외에서 개발 중인 날개짓 비행체를 참조를 하여 날개 길이 대 전장의 길이의 비를 기존의 날개짓 비행체[4]와 비슷하게 3:2의 비율로 정하여 설계하였다. 또한 무게의 감소를 위해 동체 부분의 필요 없는 부분을 과감하게 제거하고, 날개 및 꼬리날개와 동력부를 지지하고 착륙 시 기계장치 및 전자장치를 보호할 수 있도록 하여 그 결과 동체전면에서 후면으로 곡선 형태로 휘어지는 형태가 되도록 하였다. 비행체의 무게의 경우 요구 조건에 맞추어 최소화하기 위해 가장 무게가 적게 나가면서 효율적인 장치들을 사용하였으며, 이들 장치들의 무게를 근거로 하여 무게 중심이 전방에서 약 45% 위치에 오게 하여 플레핑 시 추력과 양력을 쉽게 낼 수 있고, 앞전이 약간 들리면서 제어가 쉽게 하도록 하였다.

날개의 경우 날개짓 비행체를 날 수 있도록 하는 추력의 핵심이 되는 것으로서 중량과 동력을 고려하여 날개크기와 형상을 결정하였다. 기본적인 형상은 프로펠러의 형상과 일반 곤충의 형상을 참조하여 설계하였으며[5], 날개의 크기는 추력과 영력 그리고 모터의 출력에 맞는 최적현상을 찾기 위해 여러 가지 크기의 날개 모형을 제작한 뒤 가장 효율이 좋은 것으로 택하였다.

날개짓 비행체의 특성상 제어는 꼬리날개에 있는 방향타와 승강타로만 조종되므로 꼬리날개의 설계는 제어에 중점을 두어 설계하였다. 날개짓 비행체는 기존의 고정익 비행체에 비하여 속도가 느리므로 이를 고려하여 꼬리날개의 크기를 기존의 고정익 항공기 보다 크기를 증가시켰다. 날개와는 반대로 장착각을 주어 날개 후류의 영향을 적게 받으면서 조종성을 용이하도록 설계하였다. 그리고 꼬리날개는 자주 사용되

어지는 만큼 강도를 보강하기 위해서 테두리에 카본봉을 두르도록 하였다.

마이크로 로봇 날개짓 비행체의 동력 메커니즘은 기존의 다른 날개짓 비행체와는 다르게 비행체의 무게가 적고 날개의 무게가 적기 때문에 과도한 움직임이 필요 없어 조금 더 단순하고 효율적으로 설계 되었다. 그 결과 위의 설계 내용을 바탕으로 Fig. 1과 같은 설계 도면을 만들었고 이를 통해 마이크로 로봇 날개짓 비행체를 개발 하였다.

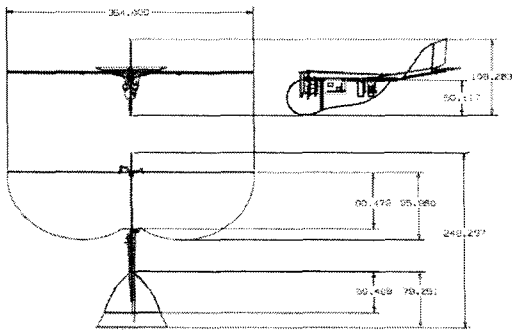


Fig. 1 마이크로 로봇 날개짓 비행체의 설계 도면

2.2 마이크로 로봇 날개짓 비행체 개발

본 연구에서 개발한 마이크로 날개짓 비행체는 모터, 배터리, 수신기(전자변속기), 구동 메커니즘, 서보 등이 장착된 동체부, 구동 메커니즘부에 연결되어 유연한 재료로 만들어진 날개구조부, 그리고 서보와 연결되어 비행방향을 조종할 수 있도록 제작된 꼬리 날개 등으로 구성되어 있다.

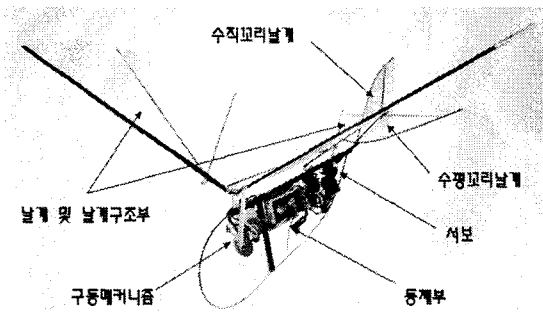


Fig. 2 마이크로 로봇 날개짓 비행체 사진

Fig. 2은 본 연구에 따른 마이크로 로봇 날개짓 비행체의 실제 모습으로, 동체부는 배터리, 서보, 모터, 감속기어, 수신기(전자변속기) 등 각종 장치를 부착할 수 있도록 하였다. 이러한 동체부는 구조물이 하중을 견디고 경량화 하는 할 수 있도록 우드락(woodrock) 코어에 복합재료인 카본(carbon)코어를 적층하여 제작하였다. 또한 직경 0.7 mm의 카본 봉을 동체전면에서 후면으로 곡선 형태로 휘어서 부착하였으며, 이러한 보호대는 동체부에 설치된 부속 장치들을 착륙할 때 보호할 수 있도록 하였다. 본 연구의 날개짓 구동 메커니즘은 DC 페이지 모터 2개와 자체 제작한 모터 축 기어에 연결한 1차 및 2차 감속기어, 3차 감속기어, 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다. 날개는 동체 윗부분에 설치한 일종의 고익기 형태로 중량과 동력을 고려하여 날개크기를 결정하였다. 꼬리날개는 수직꼬리날개와 수평꼬리날개 모두 합쳐서 1g이내가 되도록 하였고, 무선조종을 위하여 꼬리날개에 승강타와 방향타를 부착하였다.

2.3 날개짓 구동방법

Fig. 3는 날개짓 비행체의 구동 메커니즘을 정면 쪽에서 자세히 나타낸 것이다. 구동 메커니즘은 날개의 앞전 운동 중심과 뒷전 연결부를 축으로 하여 플레핑 운동을 구동하며, 이러한 구동 메커니즘은 기본적으로 회전운동을 왕복운동으로 바꾸는 장치로 약 1g짜리 DC 페이지 모터 2개와 모터 축에 연결한 1차 감속기어, 2차 감속기어, 3차 감속기어로 구성되어 있다[6]. 3차 감속기어는 날개와 연결되어 유연한 상하운동을 유발할 수 있는 1개의 크랭크와 2개의 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다.

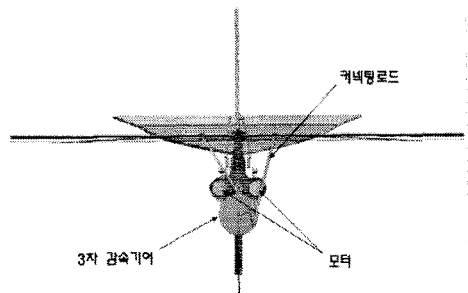


Fig. 3 구동 메커니즘의 정면도

날개짓 구동 메커니즘은 모터에서 감속비로 얻은 힘을 이용하여 한 개의 샤프트(shaft)에서 두 궤도의 원운동을 할 수 있는데, 이러한 두 궤도의 원운동을 이용하여 좌·우 날개의 앞전 부분에 장착되어진 1번 커넥팅 로드와 2번 커넥팅 로드로 좌·우 날개는 상·하 움직임이 거의 동일한 플래핑 운동을 할 수 있도록 하였다.

2.4 날개 및 꼬리날개

Fig. 4는 날개짓 비행체를 날개 아랫부분에서 관찰한 입체도를 나타낸 것이다. 날개는 동체 윗부분에 설치한 일종의 고익기(high wing)형태로 비행 중 교란에 의해 기울어지더라도 원래 상태로 복원할 수 있는 특성을 갖는다.

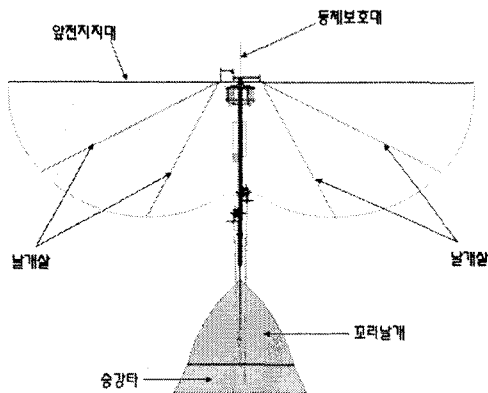


Fig. 4 마이크로 날개짓 비행체 입체도

본 연구에서는 중량과 동력을 고려하여 날개 크기를 결정하였으며, 날개재질은 공기 차단성과 기계적강도가 우수하고 가벼운 재질을 사용하였다. 날개구조물은 Fig. 3에서와 같이 앞전부분을 지지하는 앞전지지대, 앞전에서 뒷전 쪽으로 연결하는 2개의 날개살로 구성되어 있으며, 구조 강도를 높였으며, 이로 인한 동력손실을 보상하기 위하여 좌우 날개의 중앙부분의 뒷부분에 고정 장치를 유연(flexible)하게 움직일 수 있도록 제작하였다.

본 연구에서 개발된 날개짓 비행체는 약 11° ± 3° 정도의 장착각을 가지며, 또한 날개가 날개짓을 함에 따라 뒷전부분이 완전히 고정되지 않고 팽팽하게 약간의 텐션(tension)을 주어 움직일 수 있도록 하였다. 따라서 날개짓 비행체의 날개가 위로 올라가게 되면 뒷전부분이 들리

는 것을 방지하도록 함으로써 추력을 효율성 있게 발생하도록 하였고, 날개살은 앞전지지대에 견고하게 부착함으로써 비행체가 날개짓을 할 때 뒤쪽방향으로 추력이 발생되도록 한 것이다.

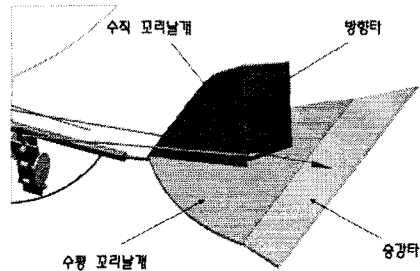


Fig. 5 마이크로 로봇 날개짓 비행체 꼬리날개

Fig. 5는 날개짓 비행체의 꼬리날개를 개략적으로 나타낸 구성도이다. 본 연구에서의 마이크로 로봇 날개짓 비행체는 새의 꼬리형태와 달리 고정익 항공기의 수직꼬리날개와 수평꼬리날개로 구분하였다. 이러한 꼬리날개의 폭은 10cm, 높이 약3.5cm 이며, 꼬리날개는 날개살 없이 중앙에 1개의 봉으로 동체와 연결하여 부착하였다. 이와 같이 두개의 안정판을 사용하여 2개의 서보를 사용하는 것은 방향전환과 상승 및 강하를 하나의 안정판으로 제작하여 1개의 서보를 사용하는 것보다 중량은 증가하겠지만 제어효과와 안정효과가 향상되며, 선회 비행 중 저항을 줄일 수 있는 장점이 있다.

꼬리날개는 경량으로 제작하기 위하여 두께 1mm의 우드락과 직경 0.5mm 카본 봉으로 접합하여 강도를 증가시키고 힌지부분은 실로 꿰매어 무게가 증가하지 않도록 하였으며, 수직꼬리날개와 수평꼬리날개 모두 합쳐서 1g이내가 되도록 하였다[7]. 마이크로 날개짓 비행체는 규모가 작아질수록 비행체 전진속도가 빨라야 조종면 효과를 낼 수 있으므로 날개짓에서 발생된 힘(추력과 양력)을 추력 쪽에 많이 할당하였다. 또한 날개짓 비행체에서는 수평꼬리날개를 고정하기 어렵지만 수평꼬리날개가 비행 중에 흔들릴 경우 조종성이 급격히 떨어지므로 단단히 고정하였다.

2.5 제어부품 및 조종방법

본 연구는 마이크로 로봇 날개짓 비행체를 조종하기 위한 서보는 수신기로부터 받은 전기적

신호로 조종면을 움직이게 하는 장치로 아주 가벼운 1.3g 서보를 사용하였으며, 흔들리지 않도록 동체에 고정하였다. 승강타용 서보와 방향타용 서보 2개를 사용하였다. 배터리는 수신기와 서보 그리고 모터에 전원을 공급하는 장치로 3.7V 리튬 폴리머 배터리(lithium polymer battery) 셀(cell)을 사용하였다. 마이크로 로봇 날개짓 비행체의 비행속도는 모터의 RPM을 수신기에 내장된 전자변속기로 조절함으로써 날개의 플래핑 속도를 증가시키거나 감소시킬 수 있도록 하였다. 본 연구를 통하여 개발된 날개짓 비행체의 주요성능을 Table 1에 나타내었다.

내 용	주요성능	비고
최대 크기	약 35cm	날개 스패ن
총 무게	20g	서보: 약3g 배터리: 약5.5g 날개 및 동체무게: 약4.5g
무선 RC 조종	상승, 강하, 선회 가능	방향조종 상승 및 강하비행 모터RPM 변속가능

Table 1 마이크로 로봇 날개짓 비행체의 주요성능

본 연구에서 개발한 날개짓 비행체의 무게중심은 앞전에서 평균시위의 약 45%정도에 위치한다. 이것은 제어가 용이하고 앞부분이 적당하게 들러 진진비행을 할 수 있는 위치에다 설정한 것이다. 본 연구에서 개발한 날개짓 비행체는 배터리 용량이 작기 때문에 서보를 조작하게 되면 배터리의 파워가 현저히 떨어지는 단점이 있다. 따라서 비행 중에 키를 잡고 있으면 안되며 빠른 제어방식의 비행방법으로 동력감소를 최소화하여 비행하여야 한다.



Fig. 6 마이크로 로봇 날개짓 비행체 비행장면 (EMAV 2004 시범비행)

Fig. 6은 독일 브라운슈바이크에서 개최된 EMAV 2004(European Micro Air Vehicle 2004)에서 시범 비행하는 날개짓 비행체 장면(좌측 상단부분)을 나타낸 것이다. 이와 같이 성공적으로 시범비행의 마친 날개짓 비행체는 독일신문 1면 및 TV에 대대적으로 소개되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 총중량 20g의 마이크로 로봇 날개짓 비행체를 설계·개발하였다. 특히 날개짓 구동 메커니즘은 DC 페이저 모터 2개를 사용하였으며, 서보도 승강타용 서보와 방향타용 서보를 장착하여 총 2개를 사용하였다. 이외에도 배터리는 3.7V 리튬 폴리머 배터리(lithium polymer battery)를 사용하였으며, 단지 1개의 셀(cell)만을 사용한 특징이 있다. 향후 자동비행 (autopilot)이 가능한 날개짓 비행체를 개발할 예정이다.

참고 문헌

- [1] Ellington, C. P., "The Novel Aerodynamics of Insect Flight: Applications to Micro-Air Vehicles", The Journal of Experimental Biology, Vol. 202, 1999, pp. 3439-3448
- [2] 장조원, 손명환, "Fling-clapping운동을 하는 대형평판날개의 비정상흐름연구," 한국항공우주학회지, 제23권 제3호, 1995, pp.25-32
- [3] 손명환, 장조원, "프링-크래핑 날개의 첫 번째 사이클 운동에 관한 수치적 흐름 가시화," 한국항공우주학회지, 제32권 제7호, 2004, pp.1-12
- [4] 장조원, "로봇 날개짓 비행체 '송골매' 개발," 한국항공우주학회지, 제13권 제1호, 2003, pp.5-16
- [5] Vest, M. S., Katz, J., "Aerodynamic Study of a Flapping-Wings Micro-UAV," AIAA Paper, 99-0994, 37th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 1999.
- [6] 장조원, "동일한 플래핑 진폭을 갖는 날개짓 비행체의 구동 메커니즘", 대한민국 특허청, 실용신안 출원 20-2004-0027745, 2004. 9.
- [7] 장조원, "우드락을 보강한 꼬리날개를 갖는 날개짓 비행체", 대한민국 특허청, 실용신안 출원 20-2004-0027746, 2004. 9.