

技術論文

중량 20그램의 초소형 날갯짓 비행체 개발

이재문*, 장조원**, 정윤식***

Development of a Micro Ornithopter with a Weight of 20 gram

Jae-Moon Lee*, Jo-Won Chang** and Yun-Sik Jung***

ABSTRACT

The present study was carried out in order to develop a remote-controlled micro ornithopter with a weight of 20 gram. This ornithopter has three channel radio control. It runs on two direct-current type pager motors powered by a lithium polymer battery which flaps its 35cm wings. The performance of an ornithopter, applied to a flapping motion only, was validated by flight tests. The flight test results indicate that the ornithopter developed here has sufficient thrust to propel itself.

초 록

본 연구는 중량 20그램의 무선조종 초소형 날갯짓 비행체를 개발하기 위하여 수행되었다. 본 날갯짓 비행체는 3채널 방식의 무선조종을 사용하였고, 리튬 폴리머 배터리로 두 개의 DC 페이지 모터를 구동하여 35cm 크기의 날개로 날 수 있도록 하였다. 플래핑 운동만 적용된 날갯짓 비행체의 성능은 비행시험으로 입증되었다. 비행시험 결과는 비행체의 추진에 필요한 충분한 추력이 발생하도록 개발되었다는 것을 나타낸다.

Key Words : Micro Ornithopter(초소형 날갯짓 비행체), Micro Air Vehicles(초소형 비행체), Flapping(플래핑), Insect Flight(곤충 비행)

1. 서 론

TV나 영화를 보면 곤충 같은 작은 비행체를 정찰이나 첩보용으로 사용하는 경우를 종종 볼 수 있다. 이러한 상상력을 현실화하는 것이 초소형 비행체(MAVs, Micro Air Vehicles) 연구이다. 초소형 비행체는 미 국방성의 요구조건에 의하면 날개폭이 6in(약 15.2cm) 이하이고, 총 중량이 100그램을 넘어서는 안 되며, 10~20m/s의 속도

로 비행하며 총 비행시간이 약 20~60분인 비행체를 말한다. 미국은 92년도 걸프전에서 1.5m 정도의 크기의 소형 무인정찰기를 투입하여 어느 정도 성과를 거둔 이후, 92년도부터 미 국방성의 DARPA (Defense Advanced Research Project Agency)에서 초소형 비행체 개념 및 타당성 연구를 수행하여 현재까지 발전하여 오고 있으며, 국내에서도 대학 및 연구소를 중심으로 몇 년 전부터 연구가 진행 중에 있다[1].

초소형 비행체는 일반적으로 세 가지 형태로 개발되어지고 있는데, 고정익 형태(Fixed wing type), 회전익 형태(Rotary wing type), 날갯짓 형태(Flapping wing type) 형태로 구분되고 있다. 이러한 초소형 비행체의 개발에 있어서 고정익이나 회전익 형태의 초소형 비행체는 연료나 동력장치 등의 기술의 한계가 있으며, 기존의 항공역학을 적용하기엔 한계가 있어 최근 날갯짓

† 2005년 4월 29일 접수 ~ 2005년 9월 7일 심사완료

* 정희원, 한국항공대학교 항공우주및기계공학과 대학원

** 정희원, 한국항공대학교 항공운항학과
연락처, E-mail : jwchang@hau.ac.kr
경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

*** 정희원, 한국항공대학교 항공운항관리학과 대학원

형태의 초소형 비행체가 많은 관심을 끌고 있다. 또한 많은 학자들은 수억 년 동안 진화되고 검증된 새나 곤충의 복잡한 비행 메커니즘을 밝혀내기 위해 다양한 연구를 진행하였고, 이 연구들은 새나 곤충들의 비행을 날갯짓 운동으로 모사하게 되었다. 따라서 이러한 날갯짓 운동에 관한 관심이 새로운 형태의 초소형 비행체의 개발에 모아진 것이다[2].

초소형 날갯짓 비행체를 설계·개발하는데 있어서 이론적 배경은 플레핑 운동에 대한 이론에 그 근본을 두고 있다. 참고문헌 [3][4]는 날개가 프링(Fling)과 크래핑(Clapping) 운동 중에 발생하는 분리 와류쌍(Separation vortex pair)과 플레핑 운동을 하는 날개의 안쪽 면에 작용하는 압력에 대하여 조사하였다. 이러한 프링-크래핑 메커니즘은 비정상 흐름(Unsteady flow)에서 추가적인 양력을 발생시킬 수 있으나 양쪽의 날개가 맞닿게 되므로 실제 제작에서는 기계적인 마찰과 충격, 그리고 조종의 어려움 등으로 인한 문제점을 유발시킨다고 하였다.

참고문헌 [5][6]은 프링-크래핑 날개의 첫 번째 사이클 운동 및 주기적 운동에 관한 수치적 흐름 가시화를 수행하였으며, 날갯짓 비행체가 전혀 교란되지 않은 정지된 유체 속에서 첫 번째 플레핑 운동을 하는 경우 발생하는 흐름현상을 주기적인 운동을 하는 경우와 비교하였다. 이를 위하여 크래핑-프링-정지, 프링-크래핑-정지 두 가지 단계를 거치는 동안의 플레핑 운동을 분석하였으며, 결론적으로 크래핑-프링-정지 운동의 프링 단계에서 발생된 열린 내부공간의 분리와류 쌍은 프링-크래핑-정지 운동의 프링 단계에서 발생된 열린 내부공간의 분리와류 쌍보다 더 강한 와류를 형성한다고 하였다.

참고문헌 [7]은 비둘기 형태의 실험모델을 이용하여 플레핑 주기 동안의 무차원 진동수(Reduced frequency)에 따른 양력과 추력 발생을 측정하였으며, 그 결과 무차원 진동수가 증가할수록 양력계수와 추력계수가 증가한다고 하였다.

이와 같은 날갯짓 비행체에 관한 이론과 기초적인 데이터를 통하여 총중량 277그램, 최대스팬 88cm의 날갯짓 비행체를 개발하였으며[8], 이룩 후 배터리가 소진될 때까지 23분 동안 비행하는 결과를 얻을 수 있었다[9]. 본 연구는 이러한 성공을 기반으로 하여 날갯짓 비행체의 중량을 줄이고 비행효율 및 조종성을 향상시킴으로써 무선 조종이 원활한 초소형 날갯짓 비행체(Micro Ornithopter)를 개발하는데 그 목적이 있다.

II. 본 론

2.1 초소형 날갯짓 비행체의 설계

2.1.1 설계·개발의 개요

새로운 항공기나 비행체를 개발하기 위해서는 먼저 이에 관한 기초이론 및 기본원리를 바탕으로 새로운 개념의 항공기기술을 검증하는 기반기술, 이로부터 도출되는 핵심기술과 각종 구성 부품 개발에 소요되는 요소기술, 항공기를 설계하고 항공기의 각종 성능을 해석하는 설계 및 해석 기술, 시험 및 평가기술, 그리고 설계된 항공기를 설계도면에 따라 가공, 제작하여 조립하는 생산 기술, 끝으로 이를 정비하고 운영하는 운용유지 기술이 필요하다[10].

그러나 MAVs의 설계과정은 위와 같은 이론 및 기술들이 확실히 정립되지 못하였으므로 본 연구에서 개발한 초소형 날갯짓 비행체는 기존 항공기 개념설계 과정을 참조하여 여러 가지 요구조건에 대해 분석한 후 그에 따라 설계 및 제작을 진행하였다. Fig. 1은 초소형 날갯짓 비행체의 설계·개발 단계를 나타낸 것이다.

2.1.2 설계 목적

일반적인 항공기의 설계 요구조건은 임무요구(Mission Requirement), 성능요구(Performance Requirement), 운영요구(Operation Requirement)가 있으며 더불어 비용(Cost)에 관한 분석도 요구된다[10]. 따라서 본 연구에서도 초소형 날갯짓 비행체의 설계 목적 및 요구 조건을 다음과 같이 세 가지로 적용하였다.

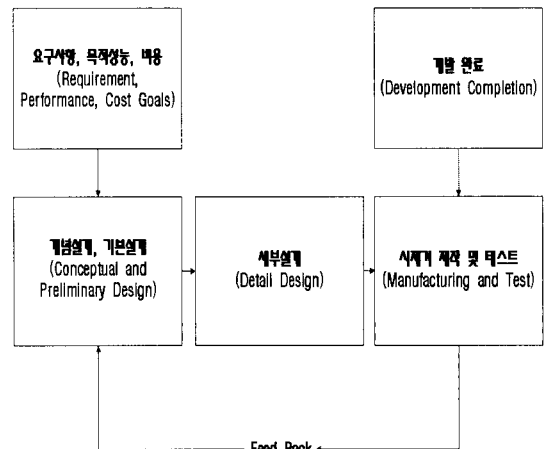


Fig. 1. 초소형 날갯짓 비행체의 설계·개발 단계

- (1) 임무요구(Mission Requirement) : 초소형 날갯짓 비행체는 크기가 작기 때문에 풍동 시험 등 실험용으로도 유용하게 사용될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 초소형 날갯짓 비행체 역시 각종 실험이 가능하도록 하며, 초창기 MAVs의 임무는 군사적 목적에 의하여 정찰 임무가 부과되었으므로 역시 정찰 임무 또한 가능하도록 하여야 한다.
- (2) 성능요구(Performance Requirement) : 초소형 날갯짓 비행체의 기본적인 성능은 최대한 DARPA에서 정한 기준을 만족하도록 하여야 한다. 다만 크기에 있어서는 날갯짓 비행체임을 감안하여 충분한 추력을 얻기 위해 날개 크기를 더 크게 할 필요성이 있다. 그리고 비행체 중량은 필요하지 않는 부분을 과감하게 제거하여 최소화시키고, 이에 따라 가장 적합한 동력 장치를 사용하도록 한다. 추후 정찰 개념을 도입을 위한 소형 카메라 장치나 데이터 전송 장치 등을 장착 할 수 있을 정도의 탑재하중(Payload)을 가질 수 있는 추력을 갖도록 하며, 날갯짓 속도를 조절하기 위한 변속 장치의 설치도 고려하여야 한다. 각종 부품이나 장치들은 과도한 비용을 소요하지 않도록 상용화된 상품을 사용한다.
- (3) 운영요구(Operation Requirement) : 임무요구의 목적이 실험 및 정찰이기 때문에 소음이 최소화 되어야 하며, 이착륙이 편리해야 한다. 또한 날갯짓 비행체는 안전상의 위험이 없어야 하며, 이송 등도 역시 편리해야 한다.

2.1.3 비교 분석 및 요구 조건

본 논문에서는 초소형 날갯짓 비행체 설계에 관한 정립된 매뉴얼이 없는 관계로 전에 개발 완료된 날갯짓 비행체[8][9]의 설계과정을 참조하였으며, 전체적인 형태 및 성능은 국외에서 개발 중인 날갯짓 비행체를 참조 하였다. 국외에서 개발 중인 날갯짓 비행체 중에서도 크기가 작은 것 위주로 조사였으며, 이들 중 주요 초소형 날갯짓 비행체의 사양을 살펴보면 Table 1과 같다.

Aerovironment社의 Caltech Microbat[11]의 경우 본체의 무게는 11.5그램이고 날개길이는 23cm이며, 비행시간은 6분 17초인 날갯짓 비행체로 현재 설계하려는 초소형 날갯짓 비행체와 유사한 사양을 보유하고 있다. 따라서 외형 설계는 Caltech Microbat을 참조하여서 설계를 시작하였으며, 또한 Slow Hawk 2 RC Ornithopter의 Eagle 역시 유사한 사양을 가지고 있으므로 참조 대상으로 삼았다.

Table 1. 국외 초소형 날갯짓 비행체

구분	Aerovironment Caltech Microbat	Slow Hawk 2 RC Ornithopter Eagle
무게(본체)	11.5 g	8.5 g
제작목표	스파이임무	상용
날개 Span	23cm	30 cm
기어비	22:1	-
날갯짓	-	10 rate/s
운용시간	6분 17초	20 분
비행속도	24km/h	저속

Table 2. 초소형 날갯짓 비행체의 요구조건

구분	성능
최대 크기	40cm 이하
전장	20cm 이하
총 무게	30g 이하
순항속도	2 m/s ~ 4 m/s
운용시간	5 ~ 10 min

초소형 날갯짓 비행체의 요구조건들은 위에서 제시한 설계목적 들에 적합하도록 국내·외 날갯짓 비행체들의 비교 분석을 통하여 Table 2와 같이 설정하였다.

2.1.4 초소형 날갯짓 비행체 설계

저 레이놀즈수와 비정상 흐름특성을 갖는 곤충과 같은 작은 스케일의 비행 메커니즘은 기존의 고정익 항공기와는 근본적으로 개념이 다르다 [12][13]. 그러므로 본 연구는 기존의 항공역학과는 다른 방법으로 설계가 되어야 한다. 따라서 본 연구에서 개발하고자 하는 초소형 날갯짓 비행체는 이미 개발 완료된 날갯짓 비행체[9]의 설계과정을 참고로 하여 설계하였다.

(1) 전체적인 형상 및 무게

본 날갯짓 비행체의 전체적인 기본형상은 Caltech Microbat을 비롯한 국내·외에서 개발 중인 날갯짓 비행체를 참조를 하였으며, 날개 길이 대 전장의 길이의 비는 기존의 날갯짓 비행체 [9]와 비슷하게 3:2의 비율로 정하였다. 또한 본 연구의 날갯짓 비행체는 중량을 줄이기 위하여 동체 부분의 필요 없는 부분은 과감하게 제거되었고, 날개 및 꼬리날개와 동력부뿐만 아니라 착륙할 때 기계장치 및 전자장치를 보호할 수 있도록

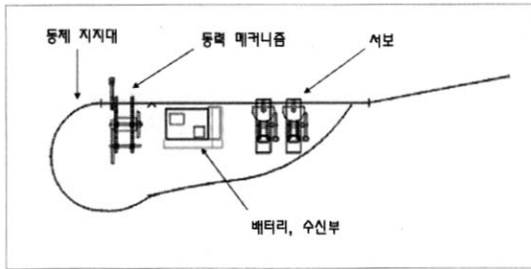


Fig. 2. 동체 형상 및 부품의 배치

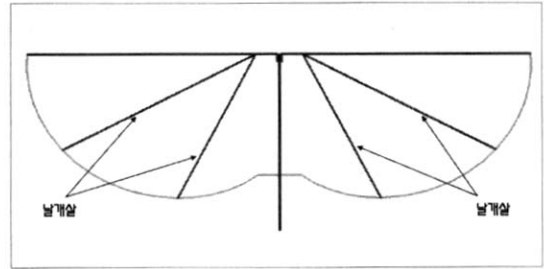


Fig. 3. 날개의 형태

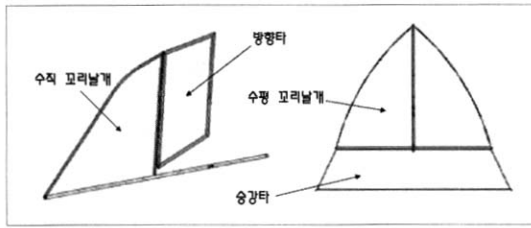


Fig. 4. 꼬리날개의 형태



Fig. 5. 동력 메커니즘의 구조

록 설계되었다. 그 결과 동체의 형상은 동체 전면에서 후면으로 곡선 형태로 휘어지는 형태가 되었다.

본 연구에서는 비행체의 중량을 요구 조건에 맞추어 최소화하기 위해 가장 가벼우면서도 효율적인 부품들을 사용하였다. 이에 따라 Falcon社의 서보, 초소형 모터와 수신기(전자변속기 겸용)를 사용하였으며, 동체 및 날개 지지부의 경우 카본(Carbon) 재질을 사용하였다. 본 날갯짓 비행체에서 사용된 부품은 각각 서보 약 3.0그램, 배터리 약 5.5그램, 날개 및 동체무게 약 4.5그램의 무게를 가진 부품들을 사용하였다. 이때 무게 중심은 플레깅 운동시 추력과 양력을 쉽게 낼 수 있도록 날갯짓 비행체의 앞전이 약간 들리게 하는 효과를 주기 위해 전방에서 약 45% 위치에 있게 하였다. 이를 근거로 각 부품은 각 부속품들의 무게를 고려하여 Fig. 2와 같이 배치하였다.

(2) 날개

날개는 날갯짓 비행체를 날 수 있도록 하는 추력의 핵심이 되는 부분으로 날개 크기와 형상은 중량과 동력을 고려하여 결정되었다. 기본적인 형상은 프로펠러의 형상과 일반 곤충의 형상을 참조하여 설계하되, 날개의 크기는 추력과 양력 그리고 모터의 출력에 맞는 최적현상을 찾기 위해 여러 가지 크기의 날개 모형을 제작한 뒤 가장 효율이 좋은 것으로 선택되었다. 날개 앞전은 흐름을 부드럽게 받기 위해서 동체와 수직이 되도록 장착되었고, 뒷부분의 형상은 날개 뿌리에서 날개 끝까지 곡선 형태를 갖추되, 날개 뿌리

리 부분에서 1/3 되는 지점이 가장 두껍게 설계 되도록 하였다. 따라서 본 날갯짓 비행체는 짧은 길이의 날개이지만 좋은 추력을 낼 수 있도록 설계하였다. 또한 날개는 약 10°~15° 정도의 장착각을 두어 효율적인 추력 및 양력을 발생되도록 하였다.

본 연구에서의 비행체는 무게를 최소화하기 위해서 매우 가볍고 유연한(Flexible) 재질이 사용되기 때문에 추력이 발생하지 않을 수 있으므로, 날개는 Fig. 3과 같이 날개살을 보강하여 날개의 형태를 유지시킴으로써 비행이 가능한 추력을 발생시키도록 하였다.

(3) 꼬리날개

날갯짓 비행체의 특성상 비행의 제어는 꼬리날개에 있는 방향타와 승강타로만 조종된다. 따라서 꼬리 날개의 설계는 비행체 제어의 핵심이 되는 부분 중의 하나로 역시 기존의 날갯짓 비행체[9]를 참조하여 설계하였다. 또한 날갯짓 비행체는 기존의 고정익 비행체에 비하여 속도가 아주 느리다는 점을 고려하여 꼬리날개의 크기를 기존의 고정익 항공기 보다 증가시켰다.

또한 꼬리날개는 날개와는 다른 장착각으로 설치하여 날개 후류의 영향을 적게 받으면서 용이하게 조종되도록 설계되었다. 그리고 꼬리날개는 우드락으로 제작되었으며, 또한 자주 사용되어지는 만큼 강도를 보강하기 위해서 테두리에 카본봉으로 보강되었다. 수평 꼬리날개와 수직 꼬리날개에 부착된 승강타와 방향타의 크기는 기존의 항공기를 참조하여 각 꼬리날개의 1/4의

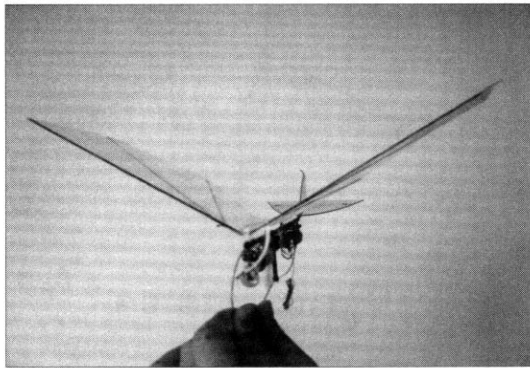


Fig. 6. 실제 시제기의 사진

크기, 즉 안정판과 승강타와 방향타의 비율이 3:1이 되도록 설계되었다. Fig. 4는 각각 우드락으로 제작된 수평꼬리날개와 수직 꼬리날개의 형태를 나타낸 것이다.

(4) 동력 메커니즘

초소형 날갯짓 비행체의 동력 메커니즘은 기존의 다른 날갯짓 비행체와는 다르게 비행체뿐만 아니라 날개의 무게도 적기 때문에 과도한 움직임이 필요 없어 단순하고 효율적으로 설계하였다. Fig. 5와 같이 설계 제작된 동력 메커니즘은 약 1그램의 무게를 지닌 일반 모터 1개와 모터축에 연결한 1차 감속기어, 2차 감속기어, 그리고 3차 감속기어로 구성되어 있으며, 날개와 연결되어 유연한 상하운동을 유발할 수 있는 1개의 크랭크와 휘어진 형태의 2개의 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다.

2.1.5 시제기 제작

Fig. 6은 위와 같은 설계 내용을 바탕으로 초기에 제작된 시제기를 촬영한 사진이다. 제작된 시제기의 날개 크기는 약 37cm이고, 전장은 약 26cm이며, 중량은 약 26그램으로 제작되었다. 시제기의 특징을 살펴보자면 먼저 메커니즘 부분을 볼 수 있다. 메커니즘 부분을 보면 커넥팅 로드 가 휘어진 형태로 되어 있는데 이것은 좀 더 안정적으로 동력을 전달하기 위하여 제작하였으나, 무게가 증가하고 효율적이지 못하다고 판단되었다.

또한 시제기는 모터 역시 일반 모터를 사용해서 무게가 증가하였고, 날갯짓 비행을 하기에 충분한 추력을 내지 못하여, 결국 시제기는 비행에 성공하지 못하였다. 따라서 시제기에 대한 다음 사항을 보완하고 수정하였다.

2.1.6 시제기의 문제점 보완 및 수정 사항

시제기의 가장 큰 문제점은 동력 메커니즘에

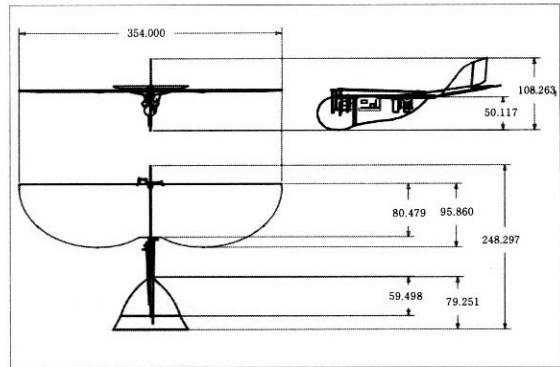


Fig. 7. 초소형 날갯짓 비행체 최종 설계도면

의한 추력발생에 있다고 판단하여 먼저 날갯짓 비행체의 부족한 동력을 보강하고 무게를 줄이기 위해 가벼우면서 효율적인 페이지 모터 2개를 채택 하였다. 또한 휘어진 형태의 커넥팅 로드를 효율적인 일자 형태로 바꾸어 불필요한 중량을 줄였다.

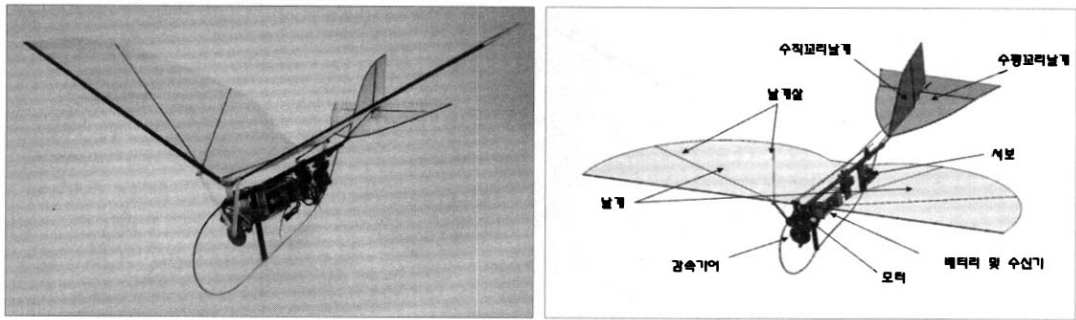
수정된 동력 메커니즘의 동작을 확실하게 파악하기 위해 CAD 작업을 통해 설계하고 움직임에 문제가 없는지 시험작동이 수행되었으며, 결과적으로 개선된 동력 메커니즘을 설계·적용할 수 있었다. 또한 날개의 크기 역시 미 국방성의 DARPA 기준에 비해 너무 크므로 크기를 줄이려 시도 하였으나, 날갯짓 비행체의 특성상 날개 면적이 넓어야 비행이 가능한 추력과 양력을 발생시키므로 약간 줄이는데 그쳤다. 날개 크기를 줄임에 따라 전장의 길이도 변하였고, 무게 중심도 옮기게 되었다. 결과적으로 시제기를 수정·보완하여 Fig. 7과 같은 날갯짓 비행체의 최종 설계 도면을 얻을 수 있었다.

2.2 초소형 날갯짓 비행체의 개발

2.2.1 전체적인 구성

본 연구개발은 앞서 제작한 시제기의 날개, 메커니즘 등을 수정·보완하여 새로운 초소형 날갯짓 비행체를 제작하였다. 제작된 초소형 날갯짓 비행체는 모터, 배터리, 수신기(전자변속기), 구동 메커니즘, 서보 등이 장착된 동체부, 구동 메커니즘에 연결되어 유연한 재료로 만들어진 주날개 구조부, 그리고 서보와 연결되어 비행방향을 조종할 수 있는 꼬리날개부 등으로 구성되어 있다.

Fig. 8은 중량 20그램의 초소형 날갯짓 비행체를 나타낸 실제 날갯짓 비행체 사진(a)과 구성도(b)로 날개 스패んの 길이는 35cm, 전장은 25cm로 제작되었다. 동체부에는 배터리, 서보, 모터, 감속



a. 실제 비행체 사진

b. 구성도

Fig. 8. 중량 20그램의 초소형 날갯짓 비행체

기어, 수신기(전자변속기 겸용) 등 각종 장치가 부착될 수 있도록 하였고, 이러한 동체부에는 구조물이 하중을 견디고 경량화 할 수 있도록 우드락(Woodrock) 코어에 복합재료인 카본 코어를 적층하여 제작하였다. 또한 직경 0.7mm의 카본봉을 동체전면에서 후면으로 곡선 형태로 휘어서 부착하였으며, 이러한 동체 보호대는 동체부에 설치된 부속 장치들을 착륙할 때 보호할 수 있도록 하였다. 동체부에 내장된 구동 메커니즘은 모터의 동력을 최적의 기어 감속비를 찾아내어 비행이 가능한 플래핑 속도와 힘을 갖도록 설계·제작되었으며, DC 페이지 모터 2개와 자체 제작한 모터 축 기어에 연결한 1차 감속기어, 2차 감속기어, 3차 감속기어, 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다.

날개는 동체 윗부분에 설치한 일종의 고익기(High wing)형태로 중량과 동력을 고려하여 날개크기를 결정하였으며, 날개의 재질은 공기 차단성과 기계적강도가 우수하면서 가벼운 재질을 사용하였다. 꼬리날개는 경량으로 제작하기 위하여 두께 1mm 우드락과 직경 0.5mm 카본봉으로 접합하여 보강하였으며, 수직꼬리날개와 수평꼬리날개 모두 합쳐서 1그램 이내가 되도록 하였다. 꼬리날개에 부착된 승강타와 방향타를 조종하기 위하여 서보 2개를 사용하였으며, 수신기와 서보 그리고 모터에 전원을 공급하는 배터리는 3.7V 리튬 폴리머 배터리(Lithium polymer battery)를 사용하였다. 일반적으로 초소형 날갯짓 비행체는 2개 이상의 셀(Cell)을 사용하지만, 본 연구에서는 중량을 감소시키기 위하여 1개의 셀을 사용하였다.

2.2.2 날갯짓 구동 방법

Fig. 9는 초소형 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘을 정면에서 자세히 나타낸 것이고, Fig. 10은

초소형 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘을 측면에서 나타낸 것이다. 이러한 구동 메커니즘은 날개의 플래핑 운동 중심과 뒷전 연결부를 축으로 연결하여 날개가 플래핑 운동을 하도록 설계되었고, 기본적으로 회전운동을 왕복운동으로 바꾸는 장치로 약 1그램의 무게를 지닌 DC 페이지 모터 2개와 모터 축에 연결한 1차 감속기어, 2차 감속기어, 3차 감속기어, 그리고 날개와 연결되어 유연한 상하운동을 유발할 수 있는 1개의 크랭크와 2개의 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다. 커넥팅 로드는 두께 0.5mm의 에폭시 판을 2.5mm 정도의 폭으로 NC가공하여 가볍고 강도 있게 제작하였다.

플래핑 운동을 발생시키는 동력은 모터에서 감속비로 얻은 힘을 이용하여 한 개의 샤프트(Shaft)에서 두 궤도의 원운동을 할 수 있도록 하였으며, 이러한 두 궤도의 원운동을 이용하여 1번 커넥팅 로드와 2번 커넥팅 로드로 나누어 좌·우 날개의 앞전 부분에 장착하여 좌·우 날개는 상·하 움직임이 거의 동일한 플래핑 운동을 할 수 있도록 하였다[14].

플래핑 운동의 진동수는 약 30Hz 정도이며, 날개의 진폭은 약 55°~65° 정도이다. 따라서 본 연구의 구동 메커니즘은 메인기어의 원판 상에 두 궤도를 만들었으며, 플래핑 운동을 하는 동안의 날개의 위치각도는 최대한 안정된 비행을 할 수 있도록 배분하였다.

초소형 날갯짓 비행체의 날개는 구동 메커니즘을 통하여 플래핑 운동 축 중심선의 날개부의 앞전(Leading edge)과 뒷전(Trailing edge) 연결부에 고정되어 플래핑 운동을 수행하게 된다. 이때 2차 감속기어에서 3차 감속기어를 회전시킬 때 2차 감속기어가 가장 힘을 많이 받아 파손율이 가장 크므로 청동재질의 감속기어를 샤프트와 열박음하여 고정하였다. 또한 초소형 날갯짓 비

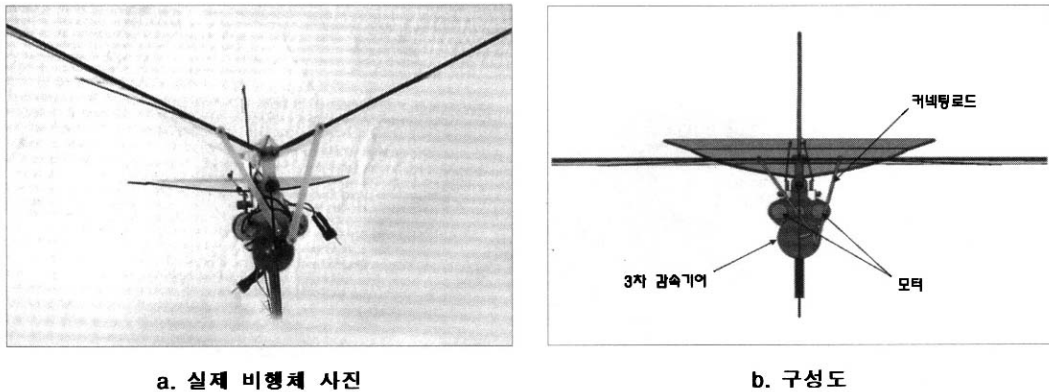


Fig. 9. 초소형 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘 정면도

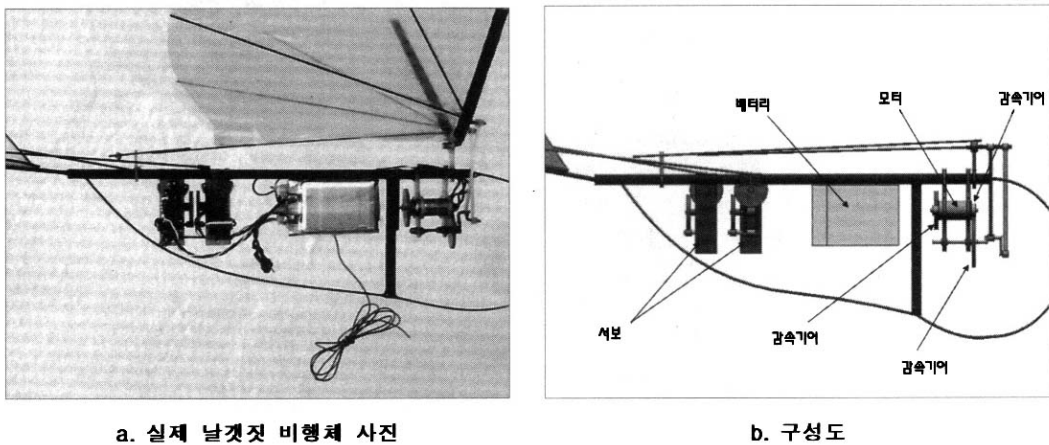


Fig. 10. 초소형 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘 측면도

행체의 구동 메커니즘은 추력과 양력을 효율적으로 발생하도록 모터 동력을 최적의 기어 감속비를 찾아 제작하였다.

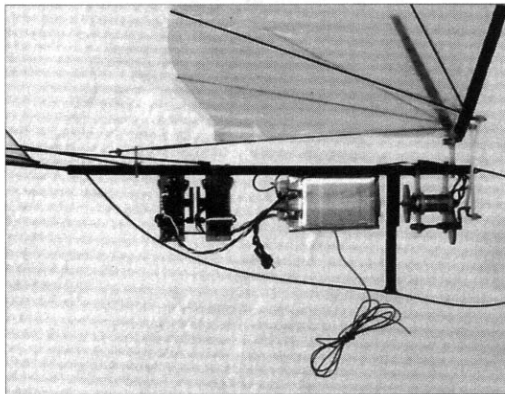
초소형 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘의 커넥팅 로드는 무게를 줄이고 강도를 높이기 위해 에폭시 판으로 성형하였으며, 이러한 커넥팅 로드는 회전운동에서 상하 직선운동으로 변경하는 과정에서 마찰로 인하여 동력손실이 유발되는 경우 커넥팅 로드 자체에 하중이 가해지지 않도록 하였다. 날개의 경우 진폭을 너무 크게 하면 동체 자체에 영향을 주어 비행체 전체가 위·아래로 움직이는 불규칙한 운동에 의하여 모터가 파손될 수 있고, 진폭이 너무 작게 되면 초소형 날갯짓 비행체는 비행할 수 있을 정도의 추력과 양력을 발생시키지 못한다. 따라서 초소형 날갯짓 비행체의 날개는 적절한 플래핑 운동을 할 수 있도록 수평면에서 위쪽 방향으로 33°~38°와 아랫 방향으로 약 22°~27° 범위 내에서 플래핑 운동을 하도록 하였다.

이외에도 직경 0.7mm의 카본봉을 동체전면에서 후면으로 곡선 형태로 휘어서 부착함으로써 동체 보호대를 제작하였으며, 이러한 동체 보호대는 동체부에 설치된 부속 장치들을 보호할 수 있도록 하였다.

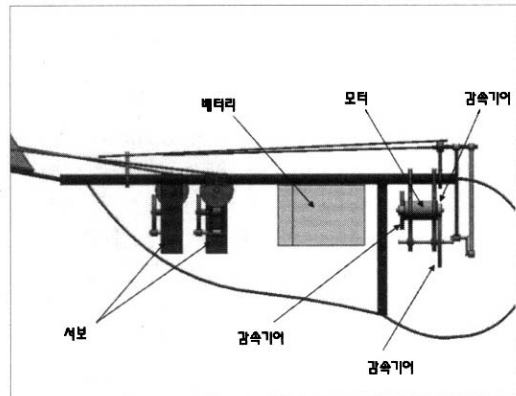
2.2.3 날개 및 꼬리날개

Fig. 11은 초소형 날갯짓 비행체를 날개 윗부분에서 관찰한 평면도를 나타낸 것이다. 날개는 동체 윗부분에 설치한 고익기(High wing)형태로 비행 도중 교란(Disturbance)에 의해 기울어지더라도 원래 상태로 복원할 수 있는 특성을 갖는다. 날개 및 꼬리날개의 크기는 중량과 동력을 고려하여 결정하였다.

초소형 날갯짓 비행체의 앞전 지지대 및 날개살은 추력과 양력을 발생시키는 핵심이 된다. 날개구조물은 앞전부분을 지지하는 앞전지지대, 앞전에서 뒷전 쪽으로 지지하는 2개의 날개살로 구성되어 있으며, 앞전지지대는 카본로빙을 에폭시



a. 실제 날갯짓 비행체 사진



b. 구성도

Fig. 11. 초소형 날갯짓 비행체의 평면도

로 적층하여 두께 0.1~0.2mm 평판을 펼쳐서 폭 5mm로 절단 가공하여 제작하였다. 날개뿌리에서 2/3되는 지점까지는 직경 0.7mm 카본봉을 부착하고 날개 중앙부분에서는 직경 0.5mm 카본봉 2개를 부착하였다. 이것은 날개끝부분에서의 앞전 지지대를 잘 휘어지도록 하여 동력손실을 줄이기 위한 것이다. 또한 날개살은 앞전지지대에 한쪽 날개에 2개를 부착하여 구조 강도를 높였으며, 이로 인한 동력손실을 보상하기 위하여 좌우 날개의 중앙부분의 뒷부분에 고정 장치를 유연하게 움직일 수 있도록 제작하였다.

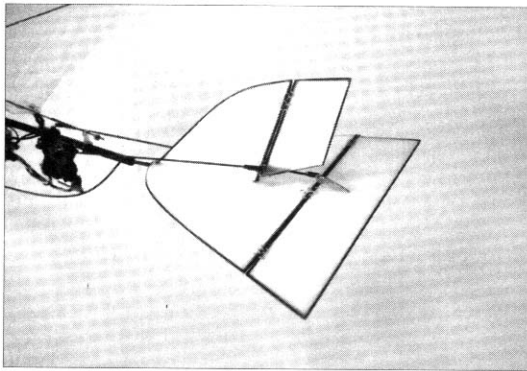
양쪽 날개의 중앙부분에는 직경 0.7mm 카본봉을 부착하여 동체와 날개와의 장착각을 고정하였다. 날개의 장착각이 지면과 평행하게 놓은 수평꼬리날개와 이루는 각이라 정의할 때, 장착각은 약 $11^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 정도이다. 또한 날개 중앙의 뒷전부분이 고정되면 저항이 증가하므로 뒷전부분에 0.5mm 카본봉을 길게 연장하고 고정 장치에 연결하여 슬라이드 식으로 움직일 수 있도록 하였다. 따라서 이로 인해 날개가 플래핑 운동을 함에 따라 뒷전부분이 완전히 고정되지 않고 팽팽하게 약간의 텐션(Tension)을 주어 움직일 수 있도록 하였다. 또한 날갯짓 비행체의 날개가 위로 올라가게 되면 뒷전부분이 들리는 것을 방지하도록 함으로써 추력을 효율성 있게 발생하도록 하였다. 초소형 날갯짓 비행체는 날개살의 두께가 굵어지면 추력이 감소하게 되므로 가느다란 카본대(약 0.5mm)를 사용하여 추력을 증가시켰다. 날개살은 앞전지지대에 견고하게 부착됨으로써 비행체가 플래핑 운동을 할 때 앞쪽방향으로 추진력이 발생되도록 한 것이다.

Fig. 12는 초소형 날갯짓 비행체의 꼬리날개의 실제 사진과 구성도이다. 본 연구에서의 초소형

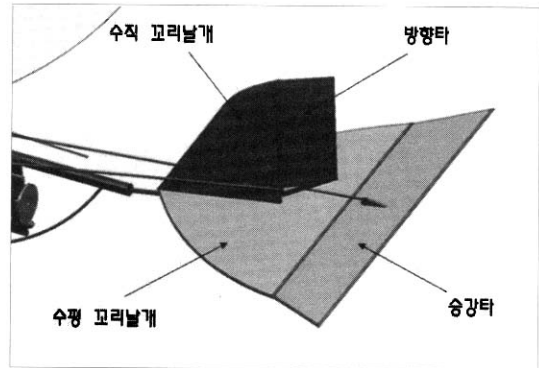
날갯짓 비행체는 새의 꼬리형태와 달리 고정의 항공기의 수직꼬리날개와 수평꼬리날개가 부착되었다. 이러한 꼬리날개의 폭은 10cm, 높이는 약 3.5cm 이며, 꼬리날개는 날개살 없이 중앙에 1개의 봉으로 동체와 연결하여 부착하였다. 본 연구에서 두개의 안정판(Stabilizer)을 사용하는 것은 하나의 안정판을 사용하는 것보다 중량은 증가하겠지만 제어효과와 안정 효과가 향상되며, 선회 비행중 저항을 줄일 수 있는 장점을 가지게 된다.

꼬리날개는 우드락(Woodrock)의 가장자리에 가느다란 카본봉을 접착제로 부착하여 제작되었다. 이러한 우드락은 스티로폼(Styrofoam)의 일종이지만 강한 압력으로 압축되었기 때문에 작은 조각으로 부서지지 않고 표면이 매끄러우며, 스티로폼보다 강도가 높다. 또한 우드락은 기계적 강도 및 광택성이 우수하며, 공기 차단성이 매우 뛰어나다. 이러한 우드락은 비닐을 사용하는 경우보다 꼬리날개의 가장자리를 보강하는 카본봉의 굵기를 가느다란 것으로 사용할 수 있기 때문에 경량화 할 수 있다. 또한 꼬리날개의 가장자리에 부착된 카본봉은 꼬리날개 형상을 유지하고, 비틀림을 방지하며 꼬리날개의 강도를 향상시키는 장점이 있다. 따라서 날갯짓 비행체의 꼬리날개 재질로 카본봉을 가장자리에 부착하여 보강된 우드락을 사용함으로써 꼬리날개는 무게가 가볍고 기계적 강도가 우수한 특성을 갖는다.

따라서 본 연구에서의 개발한 초소형 날갯짓 비행체의 꼬리날개는 두께 1mm의 우드락과 직경 0.5mm 카본봉으로 접합하여 강도를 증가시켰으며, 힌지부분은 실로 꿰매어 무게를 줄일 수 있도록 하였다. 그러므로 수직 및 수평꼬리날개의 무게는 모두 합쳐서 약 1.0그램 이내이다. 초



a. 실제 날갯짓 비행체 사진



b. 구성도

Fig. 12. 초소형 날갯짓 비행체의 꼬리날개

소형 날갯짓 비행체에서는 수평꼬리날개를 고정하기 어렵지만 비행 중에 수평꼬리날개가 흔들릴 경우 조종성이 급격히 떨어지므로 단단히 고정하여야 한다. 이외에도 날갯짓 비행체는 규모가 작아질수록 비행체 전진속도가 빨라야 조종면 효과를 낼 수 있으므로 날갯짓에서 발생된 힘(추력과 양력)중에서 추력부분에 배분을 많이 하였다.

2.2.4 제어부품 및 조종방법

일반적으로 모형비행기에 사용되는 원격조종 시스템은 무선신호를 보내면 수신기가 이를 분석하여 서보(Servo)를 조종하는 Radio Control 방식으로 송신기(RC transmitter), 수신기(전자변속기 겸용), 서보, 배터리, 전원 스위치, 충전기 등으로 구성되어 있다. 수신기는 송신기에서 보내온 신호를 전기적 신호를 받아 조종면을 움직이는 시스템이다.

초소형 날갯짓 비행체를 조종하기 위한 서보는 수신기로부터 받은 전기적 신호로 조종면을 움직이게 하는 장치로 아주 가벼운 1.3그램 서보를 사용하였으며, 흔들리지 않도록 동체에 고정하였다. 본 연구에서는 승강타용 및 방향타용 서보를 장착하여 서보 2개를 사용하였으며, 이는 날갯짓 비행체에 1개의 서보를 장착한 경우에 비하여 조종성이 향상된다. 배터리는 수신기와 서보 그리고 모터에 전원을 공급하는 장치로 3.7V 리튬 폴리머 배터리(Lithium polymer battery) 셀(Cell)을 사용하였다. 일반적으로 초소형 날갯짓 비행체는 2개 이상의 셀(Cell)을 사용하지만, 본 연구에서는 중량을 감소시키기 위하여 1개의 셀을 사용하였다. 초소형 날갯짓 비행체의 비행속도는 모터의 RPM을 수신기에 내장된 전자변속기로 조절함으로써 날개의 플래핑 속도를 증가시키거나 감소시킬 수 있도록 하였다.

2.3. 개발 결과

Table 3은 본 연구를 통하여 개발된 초소형 날갯짓 비행체의 주요성능을 나타낸 것이다. 개발된 초소형 날갯짓 비행체는 총무게 20그램, 최대크기 35cm정도이고, 무게중심은 앞전에서 평균시위의 약 45%정도에 위치하도록 제작되었다.

일반적으로 어느 정도 크기가 있는 날갯짓 비행체는 초기에 비행체를 이륙시킬 때 손으로 잘못 던질 경우 추락하는 단점이 있으며, 또한 날갯짓 비행체는 무게중심이 날개중간 위치보다 뒷부분으로 이동하게 되면 비행 중에 앞부분이 들리게 되므로 제어하기 곤란하다. 이외에도, 비행체의 무게중심이 날개중간 위치보다 앞부분으로 이동하게 되면 비행 중에 제어가 용이하나 비행체의 앞부분을 들지 못한다. 따라서 본 연구에서 개발한 초소형 날갯짓 비행체의 무게중심을 상승능력과 제어능력 두 가지를 모두 고려하여 선정하였다.

본 연구에서 개발한 초소형 날갯짓 비행체는 배터리 용량이 작기 때문에 서보를 조작하게 되

Table 3. 초소형 날갯짓 비행체의 주요성능

내 용	주요성능	비고
최대 크기	34cm	날개 스패ن
전장	25cm	앞, 뒤 전체 길이
총 무게	20g(그램)	서보: 약3.0g 배터리: 약5.5g 날개 및 동체: 약4.5g
무선 RC 조종	상승, 강하, 선회, 활공 가능	방향조종, 상승 및 강하비행, 활공(gliding)가능 모터RPM 변속가능

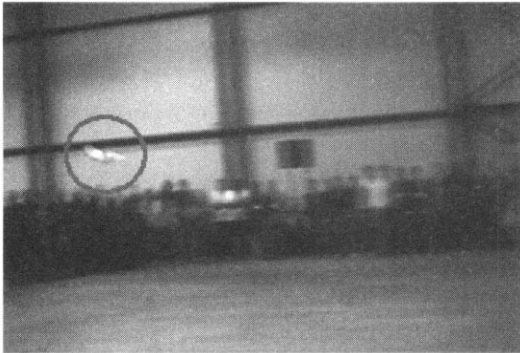


Fig. 13. 초소형 날갯짓 비행체 비행장면 (EMAV 2004 시범비행)

면 배터리의 파워가 현저히 떨어지는 단점이 있다. 따라서 날갯짓 비행체 조종자는 비행 중에 키를 잡고 있으면 안 되며, 온(on) 오프(off) 스위치 식으로 동력감소를 최소화하여 비행하여야 한다.

이와 같이 초소형 날갯짓 비행체가 매우 안정적으로 비행에 성공하도록 하기 위해서 기본적으로 가볍고, 충분한 추력과 양력을 얻을 수 있도록 플래핑 운동을 수행하여야 하며, 무게중심 위치를 잘 설정하여 비행안정성을 유지할 수 있어야 한다. Fig. 13은 2004년 7월 독일 브라운쉬 바이크에서 개최된 제1회 유럽초소형비행체 학술 발표회 및 비행 대회(EMAV 2004: European Micro Air Vehicle 2004)에서 본 연구에서 개발한 날갯짓 비행체를 성공적으로 시범 비행하는 장면(좌측 상단)을 나타낸 것이다.

III. 결 론

본 연구는 날개 스패น은 35cm, 전장은 25cm, 총중량 20그램인 초소형 날갯짓 비행체의 설계 및 개발을 수행한 것이다. 이와 같이 개발된 초소형 날갯짓 비행체는 개념설계 및 세부설계 과정을 거치고 여러 차례의 시제기 개발과 시험과정을 통하여 개발되어 성공적으로 비행을 수행하였다.

이와 같이 개발된 초소형 날갯짓 비행체는 모터와 배터리, 구동 메커니즘, 수신기, 서보 등이 장착된 동체부, 1차와 2차 감속기어, 3차 감속기어, 상하운동을 유발하는 커넥팅 로드, 날개의 앞전과 뒷전 연결부 등으로 구성된 구동 메커니즘, 카본 구조물을 사용한 날개, 그리고 수직과 수평 꼬리 날개 등으로 구성되어 있다. 특히 날갯짓 구동 메커니즘은 DC 페이저 모터 2개를 사용하

여 출력을 높였으며, 서보도 승강타용 서보와 방향타용 서보를 장착하여 총 2개를 사용하였다. 이외에도 배터리는 3.7V 리튬 폴리머 배터리를 사용하였으며 단지 1개의 셀만을 사용하여 무게를 절감한 특징이 있다.

본 연구에서 개발한 초소형 날갯짓 비행체는 크기가 작아 풍동시험 등에 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 저속비행 및 개인휴대가 가능하고 크기가 작으므로 취미활동용, 광고 및 홍보용 비행체로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2005년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

참고문헌

- 1) 안 존, "초소형 항공기의 개발 현황 및 추세", 항공기술과 정보, 13호, pp. 3~8, 1999
- 2) 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
- 3) 장조원, 손명환, "Weis-Fogh Wing의 Fling-clapping 메커니즘에 대한 실험 및 수치적 연구", 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 인하대학교, 1992.
- 4) 장조원, 손명환, "Fling-clapping 운동을 하는 대칭평판날개의 비정상흐름연구", 한국항공우주학회지, 제23권 제3호, 1995, pp. 25~32
- 5) 손명환, 장조원, "프링-크래핑 날개의 첫 번째 사이클 운동에 관한 수치적 흐름 가시화", 한국항공우주학회지, 제32권 제7호, 2004, pp. 1~12.
- 6) 장조원, 손명환, "프링-크래핑 날개의 주기적 운동에 관한 수치적 흐름가시화", 대한기계학회 논문집 B권, 제28권 제12호, 2004.12, pp. 1511 ~1520.
- 7) 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.
- 8) 장조원, "원격조종 날갯짓 비행체", 대한민국 특허청, 실용신안등록 제 0336765호, 2003.
- 9) 장조원, "로봇 날갯짓 비행체 '송골매' 개발", 한국항공운항학회지, 제13권 제1호, 2003, pp. 5~16
- 10) 항공기설계교육연구회, "항공기 개념설계",

경문사, 2001.

11) <http://touch.caltech.edu/research/bat/bat.html>

12) Masato Okamoto, Kunio Yasuda and Akira Azuma, "Aerodynamic Characteristics of the Wings and Body of a Dragonfly", *The Journal of Experimental Biology*, Vol. 199, 1996, pp. 281~294.

13) 이기학, 김규홍, 이경태, "MAV/UAV 연구 개발에서의 저 레이놀즈수 공기역학응용과 연구 방향(2)", *한국항공우주학회지*, 제29권, 제7호, 2001, pp. 152~164.

14) 장조원, "동일한 날갯짓 진폭을 갖는 날갯짓 비행체의 구동 메커니즘", *대한민국 특허청, 실용신안 등록*, 제 0370681호, 2004.