

<論文>

로봇 날개짓 비행체 “송골매” 개발

장조원*

Development of a Robot Ornithopter “Songgolmae”

J. W. Chang*

목 차

- I. 서론
- II. 본론
 - 2.1 로봇 날개짓 비행체 설계
 - 2.2 구동 메커니즘
 - 2.3 날개 및 날개구조물
 - 2.4 꼬리날개
 - 2.5 제어 및 기타 부품
 - 2.5 시험비행 및 조종방법
- III. 결론

Abstract

The present study was carried out to develop highly efficient RC ornithopter “Songgolmae” powered by motor and battery. Designed electric ornithopter, which has the dimension of 0.88m(W)×0.56m(L)×0.15m(H), is smaller than a conventional ornithopter. This ornithopter weighs 277 grams and has 3 channels radio control. It runs on an electric motor by a lithium polymer battery and has a gear ratio of about 75~95 to 1 to flap its 88 cm wingspan. The aerodynamic performance of the ornithopter, applied to a flapping motion only, was validated by flight tests. Flight times have exceeded 23 minutes until the battery was used up. The flight test results indicate that the ornithopter developed here has sufficient thrust to propel itself in a forward flight. From the economical point of view and the handling of the RC ornithopter, it can be said that the developed robot ornithopter is an effective RC ornithopter. This robot ornithopter flies its way high into the sky just like a real bird flies. The robot ornithopter is used for a wide range of missions.

Key Words : Ornithopter(날개짓 비행체), RC(무선조종), Flapping motion(플래핑 운동), Metalizing film(증착필름), Horizontal Tail(수평꼬리날개), Songgolmae(송골매)

* 한국항공대학교 항공운항학과 조교수

I. 서론

플래핑 운동을 하는 날개짓 비행체(ornithopter; 날개를 퍼드덕거리며 나는 비행기)에 관한 연구는 1490년 레오나도 다빈치(Leonardo Da Vinci)의 인력을 이용한 설계부터 시작을 하였다. 첫 비행에 대한 기록과 증거는 1874년 프랑스에서 Alphonse Penaud가 개발한 고무줄 동력에 의한 기계적인 플래핑 운동을 하는 날개짓 비행체이다. 이후에도 날개짓 비행체에 관한 연구가 계속적으로 수행되었으며, 1960년도에는 미국의 Percival Spencer가 플래핑하는 비행체를 개발하였고, 1991년도에는 Harris와 DeLaurier가 엔진을 이용한 날개짓 비행체를 개발하였다. 최근 캐나다의 터론토 대학에서는 사람이 탑승할 수 있는 실체크기의 날개짓 비행체를 개발하여 비행시험을 수행중이며[1], 이러한 날개짓 비행체는 총중량이 322Kg, 동체 총길이가 7.5m이며, 고속주행 시험을 통하여 비행에 성공할 만한 데이터를 획득하였다. 또한, Albert Kempf는 2000년 6월에 플래핑운동을 하는 비행체로 날개스팬이 124cm, 무게가 440g인 Truefly II를 개발하였다. 이러한 비행체는 1999년 프랑스 리옹에서 개최된 발명박람회에서 금상을 차지하였다. 2000년, 6월 Truefly II로 5분 이상 비행에 성공한 이후, Albert Kempf는 더 작고 성능이 우수한 새로운 모델을 개발하고 있다. 이외에도 미국에서는 새로운 티타늄 합금을 이용하여 손바닥만한 크기의 날개짓 비행체를 개발하고 있다. 이것은 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-Systems)를 근거로 한 기체 기술로 미소 비행체(MAVs; micro air vehicle)를 제작하기 위한 것이다. 이와 같이 플래핑 날개(flapping-wing)에 의한 비행체 연구는 아직 충분히 연구된 분야가 아니지만 최근 미국을 비롯한 세계 각국에서 자연의 새와 곤충, 박쥐, 벌새 등의 조사를 통하여 집중적인 연구가 진행되고 있는 분야이다[2].

날개짓 비행체와 관련된 연구로 Chang과 Sohn[3][4]은 플래핑 날개가 fling과 clapping중에 발생하는 separation vortex pair와 플래핑 날개의 안쪽 면에 작용하는 압력에 대하여 조사하였다. 그들은 fling-clapping 메커니즘은 비정상 흐름(unsteady flow)에서 fling-clapping 운동 통하여 추가적인 양력을 발생시킬 수 있으나 양쪽의 날개가 맞닿게 되므로 실제 제작에서는 기계적인 마찰과 충격, 그리고 조종의 어려움 등으로 인한 문제점을 유발시킨다고 하였다. Vest와 Katz[5]는 비둘기 형태의 실험모델을 이용하여 플래핑 주기 동안의 무차원 진동수(reduced frequency)에 따른 양력과 추력 발생을 측정하였으며, 그 결과 무차원 진동수가 증가할수록 양력계수와 추력계수가 증가한다고 하였다.

미국에서는 'Ornithopter'(US 5,899,408)란 특허명칭으로 등록되었으며, 이는 가솔린 엔진으로 날개의 플래핑 운동을 구동함으로써 비행하는 비행체이다. 이러한 특허는 날개의 앞전(leading edge)의 유연한 스틸 지지봉으로 강제 조화진동을 유도하며, 날개의 상하 운동에 따라 날개표면에 설치된 구멍이 막히거나 열린 장치를 이용하는 것을 특징으로 하고 있다. 또한 미국 Schylling社에서 'Flying Bird(Flapping-Wing Aircraft)'를 상품화하여 판매하고 있다. 이러한 상품은 고무줄을 동력원으로 플래핑 운동(flapping motion)을 통하여 46m까지 상승 비행하지만 날개가 크기가 1m이상으로 크고 비행효율 및 조종성이 우수하지 못하다. 최근 무선조종장치로 조종하는 날개짓 비행체가 상품화되어 인터넷을 통하여 판매되고 있다. 그러나 이와 같은 종래의 날개짓 비행체는 무선으로 조종할 수 있으나 효율적으로 플래핑 운동을 구현하지 못하고 있다. 이러한 날개짓 비행체는 효율이 좋은 날개짓 비행체와 동일한 추력과 양력을 발생하기 위해 날

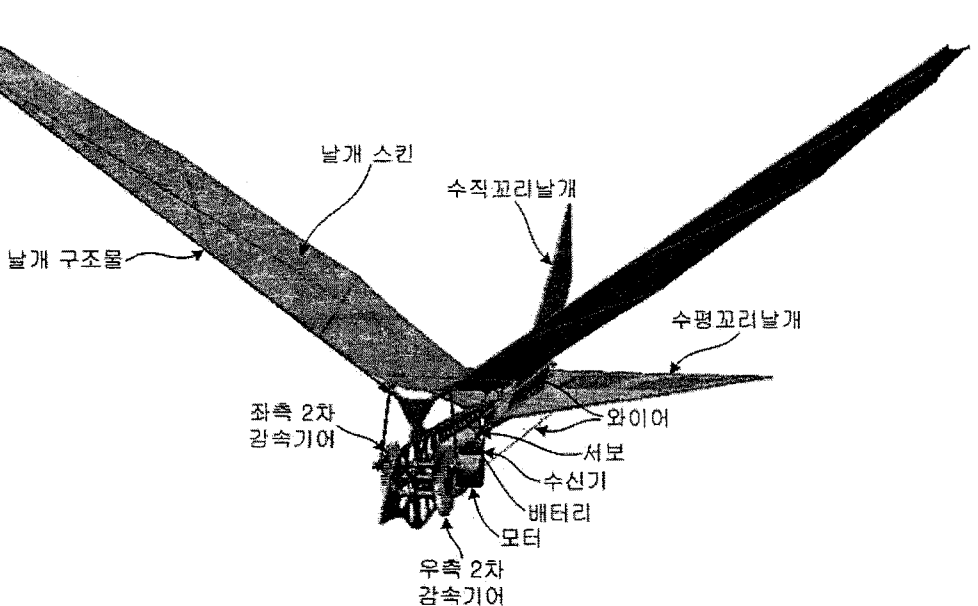
개면적을 더 크게 하거나 동력을 증가시켜야 한다. 또한 날개짓 비행체는 최상의 배터리를 사용한다 할지라도 비행효율이 좋지 않아 비행시간이 짧은 단점이 있다.

본 논문은 날개짓 비행체의 비행효율을 높여 날개의 크기를 줄이고 비행체의 조종성을 높임으로써 무선조종이 원활한 로봇 날개짓 비행체인 “송골매”를 개발하는데 그 목적이 있다. 특히 본 논문에 따른 로봇 날개짓 비행체의 개발은 모터와 배터리를 동력으로 최적의 플랩핑 운동(flapping motion)을 유발하고, 날개짓 비행체의 방향전환, 상승 및 강하, 그리고 제어와 안정성을 향상시키며, 비행시간을 증가시키는데 중점을 두었다.

II. 본 론

2.1 로봇 날개짓 비행체 설계

<그림 1>은 본 연구에 따른 로봇 날개짓 비행체인 “송골매”를 나타낸 구성도이다. 날개짓 비행체는 모터, 배터리, 전자변속기 등으로 구성된 동력부, 동력부와 구동 메커니즘, 서보 등이 장착된 동체부, 구동 메커니즘부에 연결되어 유연한 재료로 만들어진 날개부와 날개구조부, 그리고 비행방향을 조절할 수 있는 수직꼬리 날개부와 수평꼬리 날개부, 꼬리날개를 조종할 수 있도록 서보와 연결된 와이어, 소형 비디오카메라, 무선통신장치 등이 장착될 수 있는 기타장치부 등으로 구성되어 있다[6]. 특히 본 날개짓 비행체는 날개부의 뒷전(trailing edge) 동체부분의 연결부에 베어링이 내장된 볼 링크를 장착하여 플랩핑 운동(flapping motion)을 원활하게 할 수 있는 특징이 있다.



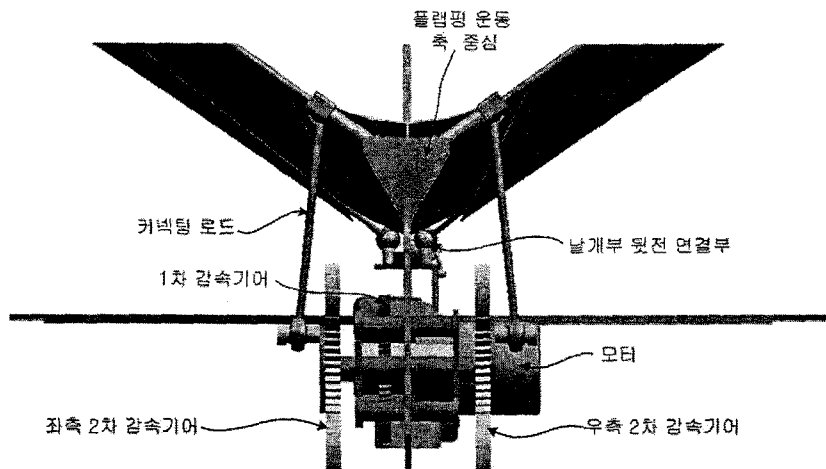
<그림 1> 로봇 날개짓 비행체 “송골매”

동체부는 구조물이 하중을 견디고 경량화 하는 할 수 있도록 복합재료인 카본(carbon)판을 워터커팅(water cutting)하여 제작하여야 하며, 본 연구에서 동체부는 얇은 판 형태로 배터리, 서보, 모터, 감속기어, 전자변속기 등 각종 장치를 내장할 수 있도록 하였다. 이러한 동체부는 카본 크로스매트 판 3장을 에폭시 레진에 적층하여 성형한 것이다. 동체부에 내장된 구동 메커니즘은 모터의 동력을 최적의 기어 감속비를 찾아내어 비행이 가능한 날개짓 속도와 힘을 갖도록 설계되어야 한다. 본 연구의 구동 메커니즘은 전기 모터와 자체 제작한 모터 축 기어에 연결한 1차 감속기어, 그리고 2차 감속기어, 커넥팅 로드 등으로 구성되어 있다. 2차 감속기어는 좌우 날개에 연결될 수 있도록 서로 대칭을 이룬 2개로 톱니기어로 구성되어 있고, 유연한 상하운동을 유발할 수 있도록 2차 감속기어와 연결된 커넥팅 로드를 날개에 연결하였다. 본 연구의 2차 감속기어는 좌우 2개로 구성되어 좌우 무게균형을 이루고, 날개의 진폭을 맞추기 위한 각도 기준점(기어부분의 커넥팅 로드 연결위치)을 선택하기 편리하다. 이러한 모터와 날개짓과의 구동 메커니즘에서 기어 감속비의 범위는 약 75:1~95:1정도이다.

날개짓 비행체의 날개는 포장지와 같은 얇은 재질에 날개살을 두어 플랩핑 운동을 통하여 추력과 양력을 발생시킬 수 있도록 하였다. 이러한 날개(주날개 및 꼬리날개)의 재질은 증착필름으로 증착 PET(Poly Ethylene Terephthalate) 9~15 μm 와 알루미늄 피막 20~30 μm , 그리고 접착제 두께 등을 합하여 총 40 μm 에서 60 μm 까지의 두께를 갖는다. 날개구조물은 0.5mm에서 1.0mm범위를 갖는 굵은 카본과 0.3mm에서 0.7mm의 범위를 갖는 가느다란 카본을 날개살로 병행하여 사용하였으며, 날개의 구조물중에 중간지지대는 날개살보다 아래에 위치하게 하여 추력과 양력을 효율적으로 발생하게 하였다. 따라서 날개는 두께가 거의 없는 얇은 증착필름으로 제작하였으며, 날개살이 있는 곳과 없는 곳의 날개 재질의 길이를 차이를 두어 우산에서와 같이 여러 개의 원호형태를 연결한 모양을 갖도록 하였다.

본 연구에서의 날개짓 비행체는 새의 꼬리형태로 제작된 기존의 날개짓 비행체와 달리 고정익 항공기의 수직꼬리날개와 수평꼬리날개가 부착되었다. 이것은 방향전환, 상승 및 강하를 하나의 안정판으로 하는 기존의 방법보다 제어효과와 안정효과가 향상된다.

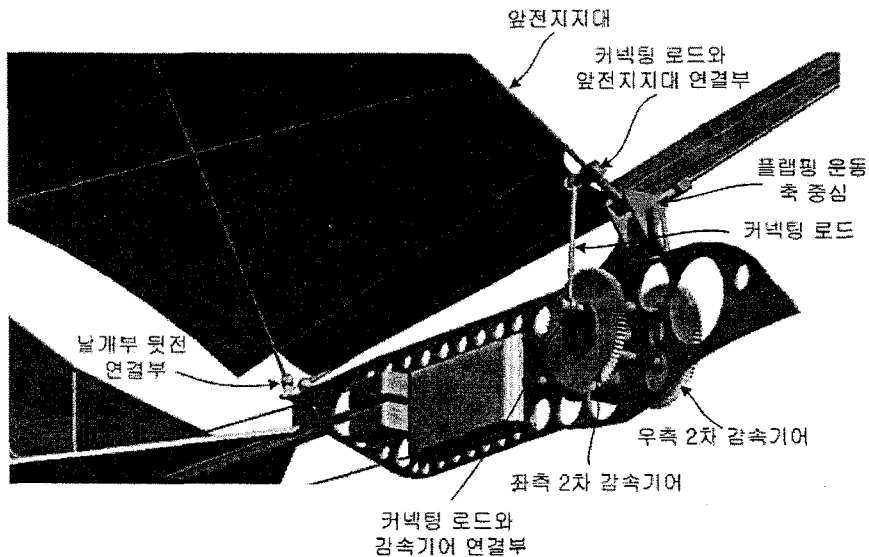
2.2 구동 메커니즘



<그림 2> 날개짓 비행체의 구동 메커니즘 정면도

<그림 2>는 날개짓 비행체의 구동 메커니즘을 정면 쪽에서 자세히 나타낸 것이다. 이러한 구동 메커니즘은 기본적으로 회전운동을 왕복운동으로 바꾸는 장치로 모터와 모터 축에 연결한 1차 감속기어, 양쪽 날개에 연결될 수 있도록 양쪽에 각각 하나 씩 2개로 구성된 2차 감속기어, 날개와 연결되어 유연한 상하운동을 유발할 수 있는 커넥팅 로드 등으로 구성된 것을 특징으로 한다. 또한 커넥팅 로드는 베어링이 내장된 볼 링크(ball link)로 연결되어 플랩핑 운동을 하면서 커넥팅 로드와 걸리는 하중을 감소시킬 수 있도록 장착되어 있다. 이러한 구동 메커니즘을 통하여 날개짓 비행체의 날개는 플랩핑 운동 축 중심선의 날개부의 앞전(leading edge)과 뒷전(trailing edge) 연결부에 고정되어 플랩핑 운동을 수행하게 된다[7].

날개짓 비행체는 자체의 중량을 이겨내고 비행하기 위해서는 기본적으로 가볍고, 날개를 상하로 움직이는 속도가 빨라야 하며, 날개의 구동 메커니즘은 동력손실이 작아 추력과 양력을 효율적으로 발생하여야 한다. 따라서 날개짓 비행체의 구동 메커니즘은 모터 동력을 최적의 기어 감속비를 찾아내어 비행이 가능한 날개짓 속도와 힘을 갖도록 설계되어야 한다. 이와 같이 설계된 날개짓 비행체의 구동 메커니즘은 날개의 크기를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 이륙, 착륙, 상승, 강하, 체공시간, 기동성 등 비행성능을 향상시킬 수 있다.



<그림 3> 날개짓 비행체의 구동 메커니즘 측면도

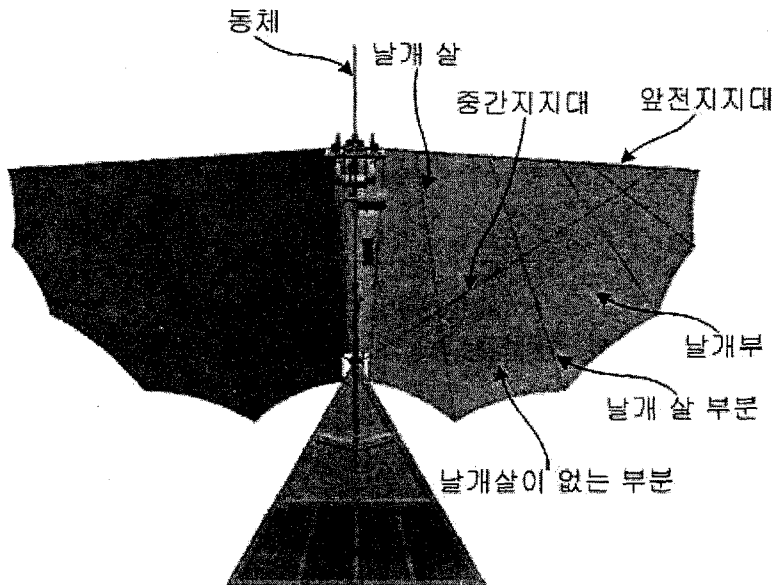
<그림 3>은 날개짓 비행체 구동 메커니즘을 정면/좌측 쪽에서 본 입체도이다. 날개짓 비행체 구동 메커니즘은 모터 축에 연결된 1차 감속기어와 2차 감속기어를 통하여 모터의 회전이 감속되어 느린 속도와 강력한 힘을 갖는 회전운동으로 바뀐다. 이때 2차 감속기어는 날개 양쪽에 연결될 수 있도록 2개로 구성되어 있다. 이것은 1차 감속기어로부터 나온 힘을 두 곳으로 균등히 분산시키므로 튼튼하며, 동력 전달이 정확하여 손실이 적은 장점이 있다. 또한 2개의 2차 감속기어는 좌우 무게균형을 이루며, 양쪽 날개의 각도 기준점을 선정하기 편리하다. 2차 감속기어 사이의 간격은 너무 작으면 유격이 생기며, 간격이 너무 크면 중량이 증가하고 진동이 심하므로 적

정한 간격을 유지하여야 한다. 또한 2차 감속기어는 자체중량을 감소시키기 위하여 구멍을 뚫어 내부의 재료 일부분을 제거하였다. 날개짓 비행체의 구동 메커니즘의 커넥팅 로드는 무게를 줄이고 강도를 높이기 위해 알루미늄 봉으로 제작하였다. 이러한 커넥팅 로드는 회전운동에서 상하 직선운동으로 변경하는 과정에서 마찰로 인하여 동력손실을 유발되는 경우 커넥팅 로드 자체에 하중이 가해지지 않도록 유의하여야 한다. 따라서 구동 메커니즘은 2차 감속기어와 커넥팅 로드 사이의 연결부에 베어링을 내장한 볼 링크(ball link)를 사용하고, 날개의 앞전지지대의 커넥팅 로드 연결부에도 볼 링크를 사용함으로써 모터의 회전운동을 원활한 플랩핑 운동으로 바꿀 수 있도록 하였다. 또한 구동 메커니즘은 날개부의 뒷전(trailing edge) 연결부에도 볼 링크를 장착하여 날개짓 비행체가 매끄러운 플랩핑 운동을 할 수 있도록 하였다. 따라서 날개짓 비행체의 날개는 구동 메커니즘을 통하여 플랩핑 운동 축 중심과 날개부의 뒷전 연결부를 축으로 하여 플랩핑 운동을 수행한다.

날개짓 비행체는 날개의 진폭을 너무 크게 하면 동체 자체에 영향을 주어 비행체 전체가 위·아래로 움직이는 불규칙한 운동을 유발한다. 그러나 날개의 진폭이 너무 작게 되면 날개짓 비행체는 비행할 수 있을 정도의 추력과 양력이 발생되지 못한다. 따라서 날개짓 비행체의 진폭은 적절한 플랩핑운동을 할 수 있도록 수평면에서 윗방향으로 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 와 아랫방향으로 약 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 범위 내에서 선택하였다. 이러한 날개짓 비행체는 비행체의 규모에 따라 최적의 진폭을 선택하여야 비행효율성을 제고할 수 있다.

2.3 날개 및 날개구조물

<그림 4>는 날개짓 비행체를 날개 아랫부분에서 관찰한 입체도를 나타낸 것이며, 날개가 완전히 펼쳐져 있지 않고 날개 윗면 쪽으로 접힌 상태를 나타내고 있다. 날개는 동체 윗부분에 설치한



<그림 4> 로봇 날개짓 비행체의 입체도

일종의 고익기 (high wing) 형태로 비행중 교란(disturbance)에 의해 기울어지더라도 원래 상태로 복원할 수 있는 특성을 갖는다. 날개짓 비행체는 중량과 동력(power)이 큰 경우 날개면적을 증가시켜야 비행체를 뜨게 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 중량과 동력을 고려하여 날개크기를 결정하였으며, 날개재질은 공기 차단성과 기계적강도가 우수하고 표면을 원하는 칼라로 도색이 가능한 재질을 선택하였다. 날개짓 비행체의 날개는 날개재질로 알루미늄 포일(foil)만을 사용하면 플랩핑 운동으로 인하여 찢어지기 쉬우며, 낙하산 천 등과 같은 천을 사용하면 통풍으로 인하여 추력과 양력 발생효율이 떨어진다.

일반적으로 증착 필름은 증착용인 외층과 코어(core), 실링층(sealing)인 내층으로 구성되어 있다. 증착필름은 외층으로 PET, PP(Polypropylene), NY(Nylon) 등 여러 가지 필름을 사용하고, 피막의 내층으로 알루미늄을 사용하므로 공기를 차단하는 효과가 아주 우수하다. 또한 기계적 강도 및 광택성이 우수하고 외관이 미려한 재질이다. 이러한 증착필름은 알루미늄 포일(foil)을 사용하는 경우보다 1/100~1/200 정도로 경량화 할 수 있으며, 증착막 두께로 중량을 감소시켜 최적의 날개짓 비행체 재질로 사용할 수 있다. 또한 증착필름은 날개짓 비행체의 날개로 사용하는 경우 표면을 도안하여 칼라로 도색이 가능하다. 이러한 증착필름을 날개짓 비행체의 날개재질로 사용하는 경우, 날개짓 비행체는 증착필름의 두께가 너무 두꺼우면 비행체 자체가 너무 무거워 비행하기가 곤란하고, 증착필름의 두께가 너무 얇으면 날개가 찢어지기 쉽고 추력과 양력을 제대로 발생시키지 못하는 단점이 있다. 이러한 증착필름을 날개짓 비행체의 날개로 사용하기 위하여 본 연구에서 다양한 두께의 증착필름을 제작하여 수십 번의 실험을 통하여 데이터를 구한 결과; 날개재질은 증착 PET(Poly Ethylene Terephthalate) 9~15 μm 와 알루미늄 피막 20~30 μm , 그리고 두 재질 사이의 접착제 두께 등을 합하여 약 40~60 μm 의 두께범위를 갖는 경우 적당한 것으로 판명되었다[8]. 따라서 본 연구는 날개짓 비행체의 주날개 재질로 증착 PET 12 μm 와 알루미늄 피막 25 μm 그리고 두 재질 사이의 접착제 두께 등을 합하여 약 50 μm 의 두께를 갖는 알루미늄 증착 PET 필름을 사용하였다.

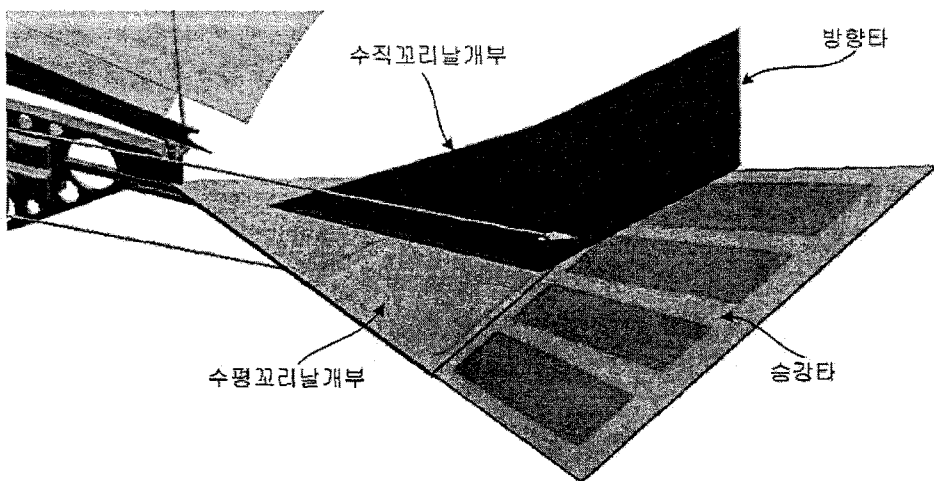
날개짓 비행체의 날개살 및 지지대는 추력과 양력을 발생시키는 핵심이 된다. 만약 날개짓 비행체의 날개를 증착필름만을 사용하여 제작한다면 날개짓 비행체는 플랩핑 운동을 하면서 추력과 양력을 발생시키지 못하지만, 날개짓 비행체의 날개에 날개구조물을 적당히 넣어 보강함으로써 비행 가능한 추력과 양력을 발생하게 된다. 날개구조물은 <그림 4>에서와 같이 앞전부분을 지지하는 앞전지지대, 날개짓 비행체의 동체 중앙부분에서 날개끝 쪽으로 지지하는 중간지지대, 앞전에서 뒷전 쪽으로 지지하는 날개살 등으로 구성되어 있다. 날개짓 비행체의 날개재질은 날개살 부분에는 길게 하고, 날개살과 날개살 사이에는 짧게 하였다. 따라서 날개 뒷부분은 원호 모양을 여러 개 연결한 형태를 갖게 되며, 이것은 면적을 줄이고 항력을 작게 하는 장점이 있다. 또한 이것은 날개살이 있는 부분을 길게 함으로써 풍량을 증가시킬 수 있으며, 날개모양의 미관성도 향상되는 장점이 있다.

날개짓 비행체는 날개살의 두께가 굵어지면 추력이 감소하게 되므로 가느다란 카본대(약 0.5~0.7mm)를 사용하여 추력을 증가시켜야 한다. 본 연구에서의 날개짓 비행체는 날개살 위치에 따라 굵은 것과 가느다란 것을 병행하여 적용함으로써 추력을 향상시켰다. 예를 들어 날개 끝에 있는 날개살은 가느다란 것을 사용하고, 그 다음 날개살은 굵은 것, 그리고 그 다음은 가느다란 것 등을 사용하는 방법이다. 날개짓 비행체에서 날개의 날개살 숫자를 줄이고자 한다면 좀더 두꺼운

날개살을 사용하여야 한다. 또한 날개짓 비행체는 날개 전체에 중간지지대 없이 날개살만 있으면 날개가 힘없이 플랩핑운동을 하므로 제대로 추력과 양력을 발생하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 날개에 중간지지대를 삽입하여 추력과 양력 발생효율을 향상시켰다. 날개짓 비행체에서의 중간지지대는 중앙에서 뒷전까지 대각선 길이를 길게 하여 힘을 많이 받도록 하였다. 또한 중간지지대는 날개살보다 윗면에 장착하느냐 혹은 아랫면에 장착하느냐에 따라 풍량 발생이 아주 다르므로 유의하여야 한다. 날개짓 비행체의 날개뒷전 부분은 날개가 플랩핑 운동을 수행할 때 날개살보다 아래에 중간지지대를 삽입하면 중간지지대 이후의 날개면은 아랫방향보다 윗방향으로 쉽게 올라간다. 이러한 날개의 구조물은 캠버(camber)를 이뤄 날개짓 비행체가 비행을 하는데 추력과 양력발생에 도움을 주게 된다. 한편 본 연구에서의 날개짓 비행체는 앞전지지대를 날개 끝까지 길게 하거나 이보다 짧게 삽입함으로써 풍량과 날개가 플랩핑 운동을 하는 동안에 작용되는 하중을 조절할 수 있도록 하였다.

2.4 꼬리날개

<그림 5>는 로봇 날개짓 비행체인 “송골매”의 꼬리날개를 개략적으로 나타낸 구성도이다. 본 연구에서의 날개짓 비행체는 새의 꼬리형태로 제작된 기존의 날개짓 비행체와 달리 고정익 항공기의 수직꼬리날개와 수평꼬리날개[9]가 부착되었다. 이것은 방향전환과 상승 및 강하를 하나의 안정판으로 제작하는 것보다 제어효과와 안정효과가 향상되며, 선회 비행중 저항을 줄일 수 있다. 날개짓 비행체는 수직꼬리날개에 부착된 방향타(rudder)가 너무 크게 되면 측풍이 부는 경우에 심각한 저항으로 인하여 비행하기 곤란하다. 또한 날개짓 비행체는 측풍이 너무 세게 부는 경우 수직꼬리날개가 작동하는데 많은 힘을 요구한다. 따라서 수직꼬리날개는 작아도 기능을 충분히 수행하므로 수직꼬리날개는 수평꼬리날개의 1/4정도의 크기로 작게 제작하였다.



<그림 5> 로봇 날개짓 비행체 꼬리날개

수평꼬리날개의 크기는 주날개(main wing) 면적의 30%를 넘도록 제작하였는데, 이것은 조종면을 넓게 하여 느린 비행속도를 갖는 날개짓 비행체를 용이하게 제어하기 위한 것이다. 날개짓 비행체는 수평꼬리날개의 조종면이 너무 작게 제작되면 비행체를 눌러주거나 받쳐주지 못하는 단점을 발생시킨다. 날개짓 비행체는 규모가 작아질수록 비행체 전진속도가 빨라야 조종면 효과를 낼 수 있으므로 날개짓에서 발생된 힘(추력과 양력)중에서 추력으로 많이 전환되어야 한다. 또한 날개짓 비행체에서는 수평꼬리날개를 고정하기 어렵지만 수평꼬리날개가 비행 중에 흔들릴 경우 조종성이 급격히 떨어지므로 단단히 고정하여야 한다. 날개짓 비행체의 꼬리날개는 방향타(rudder)보다 승강타(elevator)가 바람의 영향에 예민하다. 이외에도 날개짓 비행체는 꼬리날개를 움직이지 않고 날개짓만을 조종함으로써 비행체를 제어할 수 있는 기능을 첨가할 수 있다. 이것은 날개의 뒷전 뿌리부분에 지렛대를 이용한 서보를 장착하고 좌우 날개짓의 높이를 조절하여 날개짓 비행체를 제어하는 것이다. 이때 날개짓 비행체의 꼬리날개는 작동하지 않고 고정되어 있거나, 약간의 보조적인 조종면 역할을 수행한다.

2.5 제어 및 기타 부품

일반적인 모형비행기의 원격조종기(radio control system)는 무선신호를 보내면 수신기가 이를 분석하여 서보(servo)를 조종하는 시스템으로 송신기(RC transmitter), 수신기(RC receiver), 서보, 배터리, 전원 스위치, 충전기 등으로 구성되어 있다. 이러한 모형 비행체의 원격조종기는 전파관리에 관한 법규를 준수하여야 하며, 국내에서는 주파수 40MHz밴드, 72MHz밴드 등을 허용한다. 또한 무선조종기의 송신기는 제어장치의 숫자에 따라 다수의 채널을 사용하며 채널마다 스티어링(steering), 스로틀(throttle), 에일러론(aileron), 승강타(elevator), 방향타(rudder)를 조종하는 기능을 두고 있다. 수신기는 송신기에서 보내온 신호를 분석하여 각 서보의 움직임을 통제하고, 서보는 수신기로부터 받은 전기적 신호를 받아 조종면을 움직이는 시스템이다. 이러한 비행체의 무선조종 시스템(radio control system)으로 원격조종이 가능한 거리는 반경 1km정도이지만, 대개*200m~300m의 가시거리 내에서 조종해야 완벽하게 원격 제어할 수 있다.

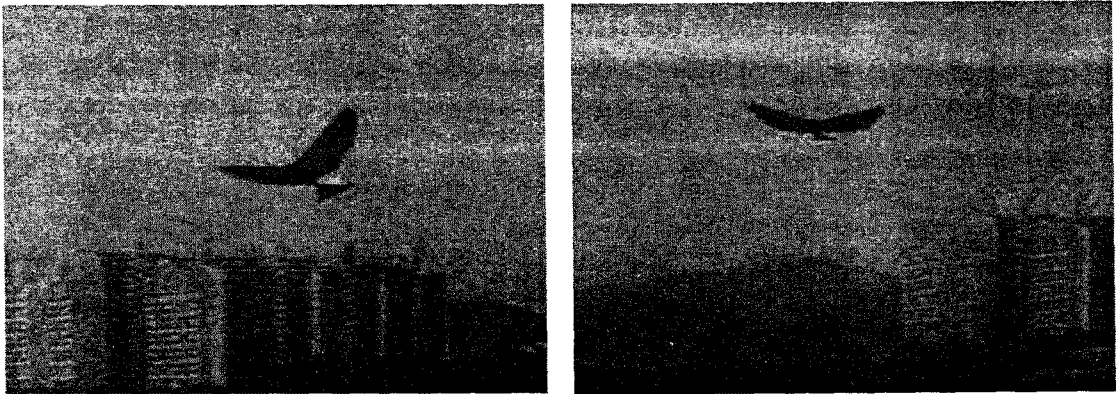
본 연구는 날개짓 비행체를 조종하기 위하여 송신기로 40MHz 태광 하이텍(Hitec) Laser 4FM을 사용하였으며, 수신기도 송신기와 같은 회사의 Feather Light Rec.를 사용하였다. 송신기의 채널 2는 승강타(elevator)를 작동하게 하고, 채널 3은 모터 출력을 조절할 수 있도록 하였으며, 채널 4는 방향타(rudder)를 작동하도록 하였다. 서보는 수신기로부터 받은 전기적 신호로 조종면을 움직이게 하는 장치로 하이텍의 Light Servo HS-55를 사용하였으며, 흔들리지 않도록 동체에 고정하였다. 배터리는 송신기와 수신기, 그리고 모터에 전원을 공급하는 장치로 1,040 mAh인 리튬 폴리머 배터리(lithium polymer battery)를 사용하였다. 날개짓 비행체의 비행속도는 모터의 RPM을 ‘Great Plane’의 C-10 전자변속기로 조절함으로써 날개의 플랩핑 속도를 증가시키거나 감소시킬 수 있도록 하였다.

향후 블루투스(bluetooth)가 내장된 휴대폰 또는 휴대용 원격조종기를 활용하여 모형 비행기를 조종하는 원격시스템을 개발할 예정이다. 이러한 블루투스를 이용한 원격조종시스템은 별도로 조종기를 구입하거나 고가의 조종기를 사용하지 않고, 날개짓 비행체를 신뢰성 있게 무선 조종할 수 있는 장점이 있다. 또한 이러한 시스템은 전 세계적으로 통일된 주파수 밴드를 사용하기 때문

에 종래의 원격조종기처럼 해당국가 전과관리법의 주파수 밴드에 맞추어야 하는 불편이 없을 것이다[10~11].

2.6 시험비행 및 조종방법

<그림 6>은 본 연구를 통하여 제작된 로봇 날개짓 비행체인 “송골매”가 비행하는 장면을 나타낸 것으로 배터리가 소진될 때까지 23분 동안 지속적인 비행에 성공하였다. 이와 같이 날개짓 비행체를 매우 안정적으로 비행에 성공하도록 설계하기 위해서는 기본적으로 가볍고, 충분한 추력과 양력을 얻을 수 있도록 플랩핑 운동을 하여야 하며, 무게중심위치를 잘 설정하여 비행안정성을 유지할 수 있어야 한다. 본 연구에서 날개짓 비행체의 무게중심(C. G.)은 대략적으로 날개의 중간정도가 적당한 것으로 판명되었다. 날개짓 비행체의 무게중심이 날개중간 위치보다 뒷부분으로 이동하게 되면 비행 중에 앞부분이 들리게 되므로 제어하기 곤란하다. 또한, 비행체의 무게중심이 날개중간 위치보다 앞부분으로 이동하게 되면 비행 중에 제어가 용이하나 비행체의 앞부분을 들지 못하며 승강타(elevator)는 전진비행을 방해하는 역할을 한다. 따라서 날개짓 비행체의 무게중심이 날개의 중간위치 정도에 있게 되면 날개짓 비행체는 최대동력에서 플랩핑 운동은 잘 이뤄지나 비행중에 동력을 줄인다면 앞부분을 들게 된다. 이것은 승강타(elevator)를 조종함으로써 비행체의 앞부분이 들리는 것을 방지할 수 있다. 이외에도 무게중심이 날개 중간에 있는 경우 날개짓 비행체는 무풍에서는 아주 좋은 효과를 내지만, 바람이 심하게 부는 경우 전진비행을 수행하기 곤란하다.



<그림 6> 로봇 날개짓 비행체인 “송골매” 비행장면(23분 비행)

날개짓 비행체에 작용하는 양력과 추력은 날개짓 운동에 의하여 얻고 있으며, 이것은 날개 자체의 장착각을 통하여 조절하고 있다. 날개의 장착각을 날개짓 비행체의 날개가 지면과 평행하게 놓은 수평꼬리날개와 이루는 각이라 정의할 때, 날개짓 비행체의 장착각은 약 $10^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 정도이다. 만약 날개짓 비행체의 날개의 장착각이 대략 $10^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 보다 작으면 날개짓 비행체는 앞부분(nose)을 숙이게 되고, 날개의 장착각이 $10^{\circ} \pm 3^{\circ}$ 보다 너무 크면 날개짓 비행체는 추력이 너무 작

게 되어 전진추력을 잃게 된다. 일반적인 날개짓 비행체는 초기에 비행체를 이륙시킬 때 손으로 잘못 던지면 추락하는 단점이 있다. 그러나 본 연구에서 개발한 날개짓 비행체는 초기동력이 충분하여 이륙 중에 비행자세가 음(-)의 받음각을 갖거나 손으로 던지지 않더라도 이륙할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서 개발한 로봇 날개짓 비행체는 받음각을 아주 높이고 모터 동력을 줄이면 거의 정지에 가까운 비행(hovering)을 수행할 수 있다. 또한 날개짓 비행체는 정지비행 상태에서 방향타(rudder)를 조작함으로써 180° 회전을 할 수 있다. 날개짓 비행체는 모터의 RPM을 줄이면 앞부분(nose)이 올라가므로 승강타(elevator)로 조종하여야 하며, RPM을 최대로 증가시키면 앞부분이 내려가는데 이러한 상태에서도 승강타를 조절하여 전진비행이 가능하다.

본 연구를 통하여 개발된 로봇 날개짓 비행체의 주요성능을 <표 1>에 나타내었다. 개발된 날개짓 비행체는 최대크기는 88cm로 지속적으로 23분간 비행(배터리: 1,040 mAh)하는데 성공하였으며, 배터리 용량을 증가시킨다면 비행시간을 늘릴 수 있다. 이러한 날개짓 비행체의 탑재하중은 약 30~50g 정도가 가능하리라 판단된다. 따라서 날개짓 비행체의 총무게는 277g이지만 카메라 또는 비디오, 전자칩 등 약 30~50g 정도 탑재한다면 총무게는 307~327g 정도가 될 것이다.

<표 1> 로봇 날개짓 비행체 “송골매” 주요성능

내 용	측정방법	주요성능	비고
1. 날개짓 비행체 최대 크기	길이 측정	88cm	날개 스패
2. 날개짓 비행체 총 무게	무게 측정	277g	탑재하중 약 30~50g 가능
3. 날개짓 비행체 비행시간	비행장면 비디오 촬영	23분	체공시간
4. 무선조종	RC 조종	Hovering 비행가능	방향조종 상승 및 강하비행 모터RPM 변속가능

III. 결 론

본 연구에서는 모터와 배터리, 구동 메커니즘, 서보 등이 장착된 동체부; 1차 감속기어와 2개의 기어로 구성된 2차 감속기어, 상하운동을 유발하는 커넥팅 로드, 날개의 앞전과 뒷전 연결부 등으로 구성된 구동 메커니즘; 증착필름과 카본 구조물을 사용한 날개; 수직과 수평꼬리 날개 등으로 구성된 날개짓 비행체 “송골매”를 개발하여 작은 규모(최대 88cm)의 로봇 날개짓 비행체로 23분간 비행하는데 성공하였다. 따라서 본 연구는 로봇 날개짓 비행체 “송골매”를 개발하여 비행체 규모를 줄이고 비행체의 조종성을 향상시키는데 성공하였다. 특히, 모터와 배터리를 동력으로 최적의 플랩핑 운동(flapping motion)을 유발하였으며, 최적의 날개 재질을 사용하고 꼬리날개의 성능을 향상시켜 날개짓 비행체의 방향전환, 상승 및 강하, 그리고 제어와 안정성을 제고하였다.

이와 같이 본 연구에서 개발한 로봇 날개짓 비행체는 주날개 및 꼬리날개 재질을 다양한 색상의 야광안료 들을 도색[12]하여 비행체의 위치를 확인할 뿐만 아니라 야간공연, 야간촬영, 야간 스포츠행사, 야간비행 등 각종 이벤트 행사에 활용할 수 있다. 또한 날개짓 비행체는 레저 스포

츠용, 또는 취미활동용, 과학기자재, 환경감시, 광고 및 홍보용 비행체로 활용할 수 있으며, 날개짓 비행체는 저속비행 및 개인휴대가 가능하므로 밀집된 아파트와 건물 등이 있는 도시전투환경에서도 공중수색 및 정찰비행을 할 수 있는 장점이 있다. 향후 로봇 날개짓 비행체는 전산연구와 풍동실험을 통하여 최적의 형상을 도출하여 더 크기가 작고 우수한 비행성능을 갖도록 개발된다면 계도, 경고, 군사정찰, 환경감시, 교통흐름조사 등 다목적으로 활용할 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 산업자원부 신기술실용화기술개발사업(과제번호: 10006295)의 일환으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) DeLaurier, J. D. "The Development and Testing of a Full-Scale Piloted Ornithopter," Canadian Aeronautics and Space Journal, Vol. 45, No. 2, 1999.
- (2) 이기학, 김규홍, 이경태, "MAV/UAV 연구개발에서의 저 레이놀즈수 공기역학응용과 연구방향(2)," 한국항공우주학회지, 제29권, 제7호, 2001, pp. 152~164.
- (3) 장조원, 손명환 "Weis-Fogh Wing의 Fling-clapping메커니즘에 대한 실험 및 수치적 연구," 한국항공우주학회 춘계학술발표회 논문집, 인하대학교, 1992. 4. 18, pp.119 ~ 123
- (4) 장조원, 손명환, "Fling-clapping운동을 하는 대칭평판날개의 비정상흐름연구," 한국항공우주학회지, 제23권 제3호, 1995, pp.25 ~ 32
- (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, "원격조종 날개짓 비행체", 대한민국 특허청, 실용신안출원 20-2003-0023354, 2003. 7.
- (7) 장조원, "날개짓 비행체 구동 메커니즘", 대한민국 특허청, 실용신안출원 20-2003-0023356, 2003. 7.
- (8) 장조원, "증착필름을 이용한 날개짓 비행체", 대한민국 특허청, 실용신안출원 20-2003-0023352, 2003. 7.
- (9) 장조원, 백동기, 조옥찬, "수평-수직 꼬리날개가 아음속항공기의 정안정성에 미치는 영향", 한국항공우주학회지, 제15권 제3호, 1987, pp.1 ~ 13
- (10) 장조원, "블루투스를 이용한 무인비행체 원격조종시스템," 한국항공우주학회 2002년도 추계 학술발표회 논문집, 2002. 11. 9, pp. 1329~1332.
- (11) 장조원, "블루투스를 이용한 무인운행체 원격조종시스템", 대한민국 특허청, 특허출원 10-2002-0048633, 2002. 8.
- (12) 장조원의 1인, "야광 날개짓 비행체 및 조종방법", 대한민국 특허청, 실용신안 등록번호 제 0256778호, 2001.