

압전 특성을 이용한 날개짓 비행체의 날개 구동 장치 개발

이광락*(KIST CAD/CAM 연구센터), 박지형*(KIST CAD/CAM 연구센터),
김성주*(KIST CAD/CAM 연구센터)

Development of Wing and Driving Mechanism for Flapping Micro Air Vehicle using
Piezoelectirc and Electroactive Materials.

K.-R. Lee*(CAD/CAM Research Center, KIST), J.-H. Park*(CAD/CAM Research Center, KIST),
S.J. Kim*(CAD/CAM Research Center, KIST)

ABSTRACT

The existing technical limitation makes engineer imitate nature to solve engineering problems. Recently Micro Air Vehicle(MAV) imitating the mechanism of birds or insects is being developed. Especially Ultra Flite supported by DARPA is studying hummingbird aerodynamics to relate that information to MAV. To drive MAV bender piezoelectric(PZT) actuators are used due to the convinience of control and the small size. But the displacement of the PZT actuators are very small, and the wing driving mechanism which amplifies the stroke generated by the PZT actuators has constraints in design and manufacture because of the small dimension. In this paper a wing design concept and a efficient driving mechanism are proposed. Electroactive polymers(EAPs) are used as wing mechanism actuators. Using OpenGL the mechanisms are simulated graphically. Also a prototype actuator is being developed and verified by digital Mockup with CATIA. Basic kinematics of the mechanism is studied.

Key Words : Electroactive Polymer(EAP), Piezoelective actuator(압전구동기), MAV(초소형 비행체)

1. 서론

오랜 과거부터 인간은 자연에서 영감을 얻어 많은 새로운 설계 기술을 개발하고 재료의 제조법을 배워 왔으며 이는 최근에 생체모방공학이라는 하나의 학문으로 정립되었다. 최근에는 기존 기술의 한계를 자연을 모방하여 해결하려는 노력이 행해지고 있으며, 이의 일환으로 초소형 비행 로봇을 곤충이나 새를 모방하여 만들려는 연구가 진행되고 있다.

초소형 비행체의 개발은 1992 년 미국의 the Rand 사가 군사적 방어 용도로 소형화된 비행물체의 가능성 제기하여 시작되었으며, 현재 DARPA(the Defense Advanced Research Projects Agency)의 TTO(Tactical Technology Office) 주관으로 새로운 무기체계 개념의 실현 가능성과 필요 요소 기술을 분석하기 위한 연구들 중 하나로 수행되고 있다.

1997 년 DARPA 에서 규정하고 있는 초소형 비

행체의 제원과 성능은 최대 크기가 15cm 이하이고, 총 중량은 100g 이내이며, 항속거리 10 km, 순항속도 64 - 90 km/h, 총 비행시간은 20 - 60 분으로 규정하고 있다[1].

연구 동향을 살펴보면, 먼저 곤충을 모방한 연구는, 실제 파리의 날개짓을 모방하여 자동으로 비행을 유지할 수 있도록 하는, 양 날개 끝 사이의 길이가 25mm 인 비행체를 목표로 UC Berkeley 에서 MFI (Micromechanical Flying Insect) project 라는 이름으로 행해지고 있다. 이 과제는 1998 년 5 월에 시작되어, 처음 3 년간은 파리의 비행 시 공기역학 해석과, 구동원과 비행체의 흥팍과 날개의 설계와 제조를 중심으로 행해졌으며, 2001 년 8 월에 한쪽 날개를 단 시제품을 통해 추력을 확인하였다. 이 과제는 ONR MURI Biomimetic Robotics 와 DARPA 에 의해 지원되고 있다[2].

새를 모방한 초소형 비행체의 개발은 Ultra

Flight 사에 의해 초소형 비행체에 적용하기 위해 벌새 비행시 공기역학을 연구하는 The Hummingbird MAV(Micro Air Vehicle) project 로 행해지고 있다. 이 과제는 1997 년 IMB (Institute of Molecular Biotechnology)의 Alex Meyer 와 Stephen Serniak 에 의해 정지 비행(hovering flight)시의 벌새 날개의 움직임에 대한 연구 그룹이 형성되어, 정지 비행시의 벌새의 동역학적 모델을 개발하고, I-DEAS model 을 만들어 MAV 기술에 접목하는 것을 연구 목표로 하고 있다[3]. 이외에도 MAV 연구 과제는 DARPA 의 지원에 의해 몇몇 연구 단체와 중소 연구 개발 업체에 의해 연구되고 있다.

MAV 의 날개는 회전익형, 고정익형, 플레핑형 등으로 구분된다[1]. 회전익형의 경우 엔진이나 블레이드에서 발생하는 소음이 큰 단점이 있으며, 고정익형의 경우 속도가 빨라서 정지 비행이나 제어가 힘든 단점이 있다. 새나 곤충을 모방한 플레핑형의 경우가 MAV 의 가장 궁극적인 목표이지만, 기존의 기술로는 재료 구조나 비행 제어의 모방에 한계가 있다. 따라서 새로운 소재를 개발하고, 미세 가공 기술을 발전시켜 이의 문제를 해결해 나가고 있다.

플레핑형 MAV 를 위한 구동기의 개발은 현재, 극소형 가스터빈 엔진, Piezoelectric(PZT) actuator, Electroactive Polymer(EAP) actuator, 열전효과 등을 이용하여 이루어지고 있다[1]. 이 중 bender PZT 구동기나 EAP 구동기의 경우 가볍고 큰 힘이 발생하며, 전압을 이용하여 구동하여 제어가 편리하여, 플레핑형 MAV 의 구동기로 가장 적합하다. 그러나 변위가 작고, 운동의 방향이 제한되어 있어, 날개의 플레핑에 적용하기 위해, 운동을 증폭하고 운동의 방향을 바꾸어줄 장치가 필요하다.

본 논문에서는, 비행의 방향이 전진, 후진, 그리고 정지 비행이 가능한 벌새의 날개 구조와 비행 특성을 고찰하고, 이를 통하여 플레핑형 MAV 의 날개와 날개 구동기가 갖추어야 할 기능을 알아보고 이에 대한 개념 설계를 수행하였다. 또한 개념 설계를 바탕으로 OpenGL 을 이용하여 구동기에 의한 날개의 움직임과 날개 자체의 움직임을 확인한다. 또한 CATIA 를 이용하여 설계를 구체화하고 Digital Mockup 을 통하여 Kinematics 에 관한 기초 연구를 수행한다.

2. 벌새의 날개 구조 및 비행 특성

2.1 벌새의 날개 뼈대 구조

1997 년 Meyer 의 연구에 따르면, 벌새의 날개의 뼈대 구조를 CT 로 촬영한 결과, 일반 새와는 다르

게 손목과 팔꿈치의 구별이 모호하고, 비행 시에도 일반 새들은 팔꿈치가 퍼졌다가 접혀지는 동작을 하는 반면에, 벌새의 경우 그렇지 않았다. 그리고 어깨에서는 모든 방향으로의 회전이 가능하며, 진행 방향에 따라 날개의 회전 양식의 변환이 자유로운 구조를 가진다[3]. 기존의 플레핑형 비행체는 동체의 동력원에서 발생하는 진동 및 회전 운동을 기어, 벨트, 링크 등의 기구를 이용하여 날개의 상하 운동을 유발하여 추진력을 얻고 있다. 하지만 날개의 상하 운동은 곤충이나 새의 날개짓의 일부 운동만을 구현한 것이며, 실제로 날개는 모든 방향으로 회전하는 운동을 하고 있다. 결국, 상하 운동의 날개짓만으로는 방향 전환이나, 후진 비행이 불가능하다. 이를 보완하기 위해 프로펠러나 꼬리날개를 부가적으로 설치하고, 설계상으로 날개짓을 하는 날개의 pitch 각을 유도하고 있으나, 외관이 안 좋고, 제작 및 설계가 복잡한 문제가 있다. 따라서 벌새를 모방한 플레핑형 구동 기구도 날개를 모든 방향으로의 회전이 가능하도록 설계를 요구받는다.

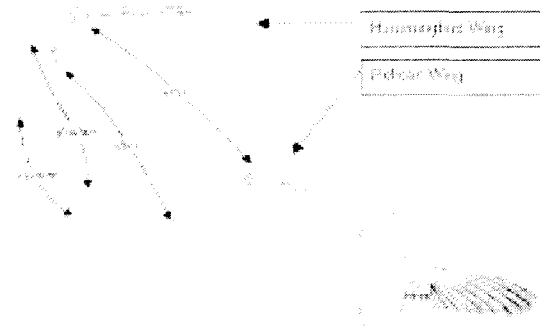


Fig. 1 Hummingbird Wing Bone Structure

2.2 벌새의 날개 움직임 양상

Meyer 의 연구 중, 벌새의 진행 방향 및 속도에 따라 날개 끝의 움직임을 비디오로 촬영하여 관찰한 결과, 날개 끝이 비행 형태에 따라 타원이나 납혀진 숫자 8 의 모양으로 궤도를 그리며 모든 방향으로 날개가 회전하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 날개가 회전하면서 그리는 타원 궤적의 장축에 수직한 방향으로 추진력이 발생하고, 추진 방향을 기준으로 날개가 일정한 피치각으로 날개의 stroke 에 따라 진동하는 것을 알 수 있었다. 따라서 날개의 구동과 동시에 날개의 피치각을 진행 방향에 따라 조절할 수 있도록 날개 구조 설계를 요구받는다.

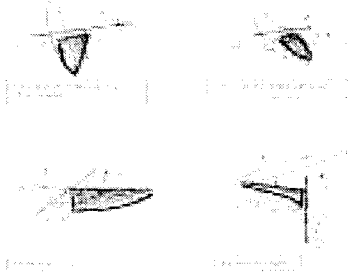


Fig. 2 Hummingbird Wing Tip Traces

2.3 정지 비행시 날개 움직임

벌새가 공중에서 정지한 상태에서의 날개의 움직임을 비디오로 촬영하여 관찰한 결과, 날개의 1 회전 stroke 동안에 날개가 2 번의 180 도 반전이 일어남을 관찰할 수 있었다. 이는 팔꿈치와 어깨의 비틀림으로 인해 생기는 현상으로 생각되며, 이로 인하여 많은 공기를 담아 밀어내어 큰 양력을 얻으며, 정지 비행이 가능하게 된다. 따라서 날개의 재료 선정 시, 바람 등의 외력을 이기며, 임의로 각도를 조절할 수 있는 유연하면서도 조절 가능한 재료를 필요로 한다.

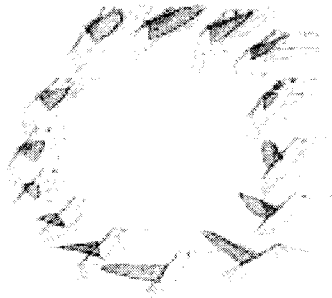


Fig. 3 Hummingbird Hovering Wing Motion

3. 날개 구동원

3.1 PZT Actuator

Piezoelectric actuator는 가한 전압 차이에 비례하여 길이 방향의 변위를 일으키며, 반대로 힘을 가하면 힘에 비례하는 전기를 발생시키는 특성이 있다. 이 변위는 매우 작지만($\sim 0.1\%$) 큰 힘($\sim 100, 1000\text{N}$)을 유발한다. 따라서 작은 변위로 큰 회전각을 유도하며, 상대적으로 큰 질량을 움직이는 날개의 구동 기구의 actuator로 활용이 가능하다.

PZT 구동기의 경우 형태가 다양한데, stack 형의 경우 큰 힘이 발생하는 반면, 변위가 작고, 부피가 크므로, 소형 비행체의 구동원에는 적합하지 않다. bender 형의 경우 발생하는 힘의 크기는 작지만, 소형이며, 변위가 비교적 커서 소형 비행체 구동원으로 적합하다. 그러나 발생하는 변위가 날개를 직

접 구동하기에는 작으므로 적절한 증폭 기구를 필요로 한다. 이 구동장치에서 사용한 PZT actuator는 PI사의 PL-122 bender actuator를 사용하였다. 이 제품은 최고 $\pm 0.250\text{ mm}$ 변위를 내며, 1.1 N 의 힘을 갖는다. 정격전압은 30 V 를 off-set으로 주고 $\pm 30\text{ V}$ 범위의 전압을 가하여 구동한다.

3.2 EAP actuator

Electroactive Polymer actuator는 polymer film의 양단에 전압차가 가해지면 Maxwell stress가 발생하여 폭 방향으로 수축하고 면방향으로 늘어나 변위가 일어나는 것으로, piezo actuator와 정반대의 양상을 갖는다. 또한 EAP는 부드럽고, PZT에 비하여 변위량이 크며, 보다 다양한 형태로 제작할 수 있으며, 가볍고, 저가인 장점이 있다. 이러한 특징을 이용하여 EAP를 날개의 재료로 사용하여 제작하므로 앞에서 고찰한 바와 같이 유연하면서도 조절이 가능하도록 할 수 있으며, 따라서 날개의 pitch각을 유도하고 큰 양력을 얻을 수 있다.

이 비행체의 날개 재료로 사용한 EAP는 3M사의 VHB - 4910과 VHB - 4905 제품이다. 이 제품으로 제조한 EAP actuator 0.1g에 200g의 무게를 달고 전압을 5000V까지 주었을 때 105%의 변위가 발생하는 결과가 보고되고 있다[4]. 본 연구에서는 이를 날개 변형 기구의 actuator로 이용한다.

4. 구동부와 날개의 개념 설계

4.1 Biomimetic 날개 구동 Mechanism

벌새와 같이 날개의 움직임을 임의 방향으로 조절하고, 타원형 운동으로 유도하기 위하여, 한쪽 날개에 두개의 구동부를 사용한다. 그리고 링크 장치를 통해 이 두 구동부에서 발생하는 운동을 연계한다. 이 구동부는 PZT Actuator에서 발생하는 미소 변위의 진동 운동을 증폭하는 기구를 갖는다. 즉, 링크 기구를 이용하여 actuator에서 발생하는 작은 변위를 증대시켜 날개가 큰 각도로 회전할 수 있도록 하였고, 날개의 움직임을 모든 방향으로 회전할 수 있도록 링크를 조합하여 날개를 구동시키는 기구를 설계한다.

4.2 Biomimetic 날개 구조 설계

벌새와 같이 날개의 타원형 stroke와 함께 일정한 pitch각을 임의로 각도를 조절하고, 바람 등의 외력을 이기며, 유연하면서도 조절 가능한 재료로 EAP를 사용하고, 이를 bimorph 형태로 날개를 제작한다. EAP 소재를 사용하여 날개가 굽어질 수 있도록 하여 많은 양의 공기를 담아 큰 양력과 추진력을 얻을 수 있도록 설계하였다.

5. OpenGL 을 이용한 Simulation

위의 개념 설계에서 제안된 구동부의 동작을 단순화하여 OpenGL 을 이용하여 시각적으로 구동을 확인하여 보았다. 구동부에서 발생하는 진폭의 범위를 선으로 표현하고, 각 시점에서 두 구동부의 위치를 한 점으로 나타내어, 두 점을 이은 선으로 날개대를 표시하였다. 날개의 움직임을 임의 방향으로 조정하고, 타원형 운동으로 유도하기 위하여, 두 점의 위치를 사인함수를 이용하여 나타내고, 위상차와 각속도를 조정하여 상대운동을 조정할 수 있도록 하였다. 또한 진폭의 크기를 조정하도록 하여 날개의 stroke 를 조정할 수 있도록 하였다.

조정기를 사용하여 날개의 움직임을 제어하여 본 결과, 앞서의 벌새의 비행 형태에 따른 날개 끝의 궤도를 거의 유사하게 모방할 수 있었음을 확인할 수 있었다. 이러한 조정기를 이용한 방법은 이후에 소형 비행체가 제작되었을 때 제어방법에 응용될 수 있다.

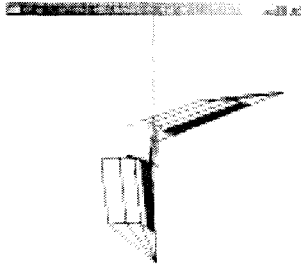


Fig. 4 Hummingbird Hovering Wing Motion

6. CATIA Digital Mock-Up Kinematics

위의 개념 설계에서 제안된 구동부를 CATIA 를 이용하여 구체적인 설계를 하였다. 일차적으로 날개의 움직임을 모방하기 위한 구동부를 설계하는데 초점을 두었다. 두개의 기구를 설계하였는데, 하나는 한 구동부에 하나의 PZT actuator 를 이용하여 제작하여, 소형화되고 경량화된 single PZT 구동부이고, 다른 하나는 한 구동부에 두개의 PZT actuator 를 이용하여 날개 구동의 힘을 증대하는 dual PZT 구동부이다. 결과적으로 대략적인 치수가 single 의 경우 $71.2 \times 37.38 \times 56.96$ (mm), dual 의 경우 $71.2 \times 53.40 \times 65.86$ (mm)로 부피가 비교적 크게 나왔다. 설계상으로 최대 stroke 는 상하 $\pm 48.19^\circ$, 전후 $\pm 60.00^\circ$ 로 나올 수 있게 하였으며, 이는 벌새의 각 비행 시 최대 stroke 와 거의 동일하다. 또한 Digital Mock-Up 을 통하여 최대 stroke 를 확인하였다.

7. Rapid Prototype 제작

CATIA 로 설계한 모델의 실제 구동 장치를 Rapid Prototype 으로 제작하고 있다. 모델링 재료는 ABS plastic(white)로 인장강도가 36 MPa, 비중이 960 g/m^3 이며, layer thickness 가 최소 0.178mm 까지 가공이 가능한 RP 기계를 사용하였다. 제작된 구동부의 무게는 날개대를 포함하여 single 구동부의 경우 20g, dual 구동부의 경우 26g 으로 나왔다.

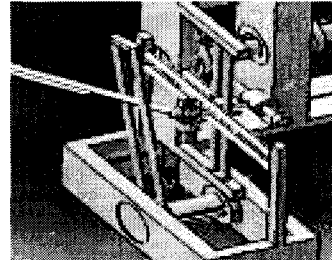


Fig. 5 Digital Mock-Up Kinematics

8. 결론

벌새의 날개 구조와 움직임의 고찰을 통하여, 날개끝의 타원형 운동을 가능하게 하는 구동기와 Pitch 각을 유도할 수 있는 날개의 개념 설계를 하였다. 또한 OpenGL 통하여 날개의 움직임을 simulation 하였으며, CATIA 를 이용하여 구체적인 설계를 하고 RP 를 제작하였다. 기존의 Flapping 형 비행체는 단순한 날개의 상하 운동만 가능하여 방향전환과 추진력 등에 문제가 있었으나, 이 구동기의 경우 모든 방향으로 날개를 움직일 수 있는 장치를 개발한 것에 의의가 있다. 향후 연구로는 소형 비행체에 적용하기 위한 조밀하고 가벼운 구동부의 설계가 요구된다.

참고문헌

1. 윤광준, et. al. "초소형 비행체(MAV)의 현황 분석 및 개발 방향" 한국항공우주학회지, 26 권 7 호, pp170-179, 1998.
2. "Micromechanical Flying Insect (MFI) Project", <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/mfi.html>
3. "Hummingbird MAV - Study of Hummingbird Aerodynamics in Relation to Micro Air Vehicles", http://www.ae.utexas.edu/design/humm_mav
4. "Artificial muscles - dielectric elastomer actuators", Guggi Kofod, Peter Sommer, http://www.polymers.dk/research/posters/guggi_Kofod.pdf