

X-wing type 날개짓 비행체의 설계 · 개발

윤광준[†] · 박준혁* · 윤광준**

Design · Manufacture on X-wing type flapping vehicle

Joon Hyuk Park, Kwang Joon Yoon

Key Words : Flapping, Ornithopter, X-wing

Abstract

This research describes about designing and manufacturing X-wing type flapping micro aerial vehicle which intends to improve the performance of one-pair wing flapping vehicle with innovated design. This design, X-wing as we call, was introduced for some time ago from many laboratories but still there hasn't any reports dealing on its theoretical or numerical analysis. By manufacturing the X-wing with our own design and succeeding its flight test will give us the general idea on X-wing which may guide us to conduct the numerical and experimental analysis later on. We focused to design the X-wing and introduce some conceptual theories about its characteristics on this report.

1. 서 론

곤충의 비행 원리는 날개의 앞전에서 발생한 난류가 압력을 감소시켜 날개의 윗면을 당기는 효과를 내어 추가적인 양력을 만들어내며 결과적으로 스톨을 보다 지연시키게 되는 지연성 스톨, 날개 짓을 할 때 마지막에 생기는 와류들이 다음 날개 짓에서 양력의 증가를 보여주게 되는 교대식 회전 와류, 날개 짓이 한쪽에서 끝났을 때 앞전과 뒷전에서 발생하는 와류에 의하여 그 사이로 공기가 간히게 되면서 날개짓의 효율이 좋아지게 되는 후류 포착 외에도 저 레이놀즈수에서 두꺼워지는 점성 경계층을 얇게 하고 국부적으로 레이놀즈수를 증가시키는 Clap and Fling 효과가 있다. 지금까지 개발된 한쌍의 날개의 비행체의 경우 부분적 지연성 스톨과 Clap and Fling 효과는 관찰되었으나 교대식 회전

와류나 후류 포착의 경우 저반음각 비행 및 수동적 날개 회전 날개짓 메커니즘이기 때문에 발생하기 어려웠다. X-wing 이란 한쌍의 날개만으로 구현하기 힘든 위와 같은 공력적 특성들을 보완할 수 있는 새로운 개념의 날개짓 비행체 모델로서 본 연구에서는 이를 설계 및 구성해 보면서 X-wing 에 대한 기본적인 개념정립과 더불어 공력 및 비행특성에 대한 분석을 부분적으로 실행해 보겠다.

2. 기체 설계 및 구성

2.1 X-wing 개념설계

현재까지 개발된 날개짓 비행체는 크기가 점점 작아짐으로써 새보다는 곤충의 날개 짓을 모방하는 편에 더 가깝고 때문에 곤충의 비행메커니즘 중 clap and fling 효과에 초점을 두어 한쌍의 날개를 추가함으로써 이 효과를 복합적으로 구현해 보기로 하였다. 기존의 날개짓 비행체는 날개짓의 상하 각도가 40°밖에 되지 않아서 clap and fling 의 효과를 낼 수 없었다. 이 이상의 날개짓각도를 구현하게 되면 날개뿐 아니라 모터에도 무리가 따르기 때문에

[†] 회원, 건국대학교 항공우주정보시스템공학 교수

E-mail : kjyoon@konkuk.ac.kr

TEL : (02)450-3549 FAX : (02)444-7091

* 건국대학교 항공우주정보시스템공학 석사과정

** 건국대학교 항공우주정보시스템공학 교수

Fig 1.2 과 같이 동일한 날개 한쌍을 더 달고 각 날개가 가지는 날개짓 각도를 키워서 상·하 두 날개 모두로부터 clap and fling 효과를 갖도록 설계해 보았다.

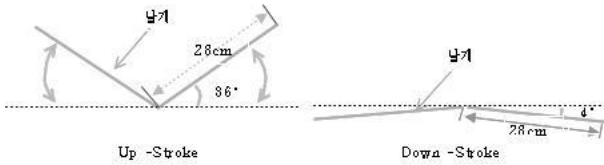


Fig. 1 Wing design of Original Vehicle

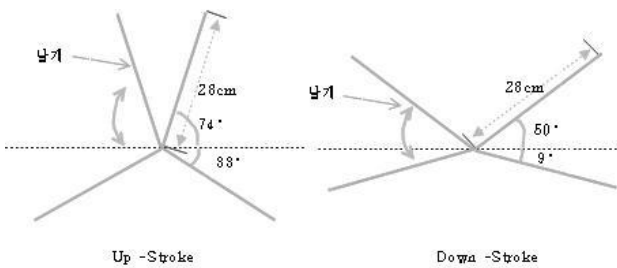


Fig. 2 Wing design of X-wing Vehicle

2.2 기체 제작 및 컴포넌트 구성

기체는 가벼움과 동시에 착륙시 충격을 견딜 수 있을 정도의 강도는 지녀야 하고 특히 날개는 적절한 탄성과 강성이 필요하므로 기존 기체에 쓰였던 카본과 글라스 복합재료들을 사용하였다. 기체 제작은 가벼우면서도 작은 컴포넌트들로 메인모터 및 수신기와 변속기를 선택하였고 모터의 회전운동을 상하운동으로 바꾸어줄 기어박스는 glass plate 로 제작하였다 같은 방법으로 일반 기체와 X-wing 기체를 제작한 후 기체사진을 Fig 3 에 나타내고 구성을 Table1 에 정리하였다.

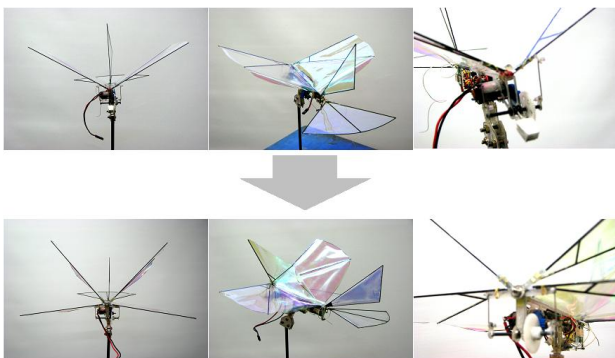


Fig. 3 Image of Original and X-wing Vehicle

Table 1 Specification of Original and X-wing Vehicle

	Original	X-wing
Wing Span(2b)	28 cm	28 cm
Wing Area	280 cm ²	560 cm ²
Weight	30.6 g	32 g
Wing Loading	0.109 g/cm ²	0.0571 g/cm ²
Fuselage Length	23 cm	23 cm
Motor	GWS LPS B2C	GWS LPS B2C
Battery	7.4V (145mAh)	7.4V (145mAh)
Gear Ratio	19:1 reduction	19:1 reduction
Frequency	24 Hz	15 Hz
Up Stroke Angle	38°	75°
Down Stroke Angle	2°	45°

3. 비행테스트 및 비행특성 분석

3.1 비행테스트

기존의 한 쌍의 날개짓 비행체 메커니즘은 좌우의 날개가 상하로 움직이면서 날개의 탄성으로 인한 시위방향 앞전과 뒷전간의 위상차 및 변형이 이루어지는 구조이다. 하지만 X-wing 의 비행테스트 결과 시위방향 탄성에 의한 날개의 변형보다 두 쌍의 날개가 보다 작은 날개짓 각도를 가지면서 더 빠르게 움직이는 것이 관찰되었고 테스트 중 느껴지는 기체의 기동성 역시 뛰어났다. 또 다른 특징으로는 날개짓을 할때 기존 기체에 비해 상하 및 좌우 떨림이 줄어들었고 이는 곧 비행 안정성에 큰 효과가 있었다.

3.2 비행특성 분석

한쌍의 날개를 가진 기존 기체보다 X-wing 기체가 보다 빠른 속도를 낼 수 있었던 것은 두쌍의 날개가 내는 후류가 한쌍의 날개가 내는 후류보다 강하기 때문이라는 분석을 하였고 비행 안정성이 향상된 것은 윗날개 및 밑날개가 서로 상향 날개짓과 하향날개짓이 동시에 반대로 이루어 지면서 하나의 날개의 경우 발생하는 상향날개짓시의 양력상쇄를 막아 결과적으로 동체 및 날개에 걸리는 항력을 감소시킨다는 분석을 하였다.

4. 공력실험 및 결과

4.1 실험 구상

위와 같은 비행특성분석을 검증하기 위하여 진공챔버를 통한 날개짓에서 발생하는 관성력을 측정하기로 하였다. 날개짓 비행체는 날개짓을 할

때 동체에서 발생하는 진동으로 인하여 양력과 추력을 측정할 때 오차가 발생하게 된다. 따라서 고정된 상태의 기체에 공기에서의 양력 및 추력값과 진동상태에서의 양력 및 추력을 측정하여 그 차를 통한 순수한 공력을 측정할 수 있다. Fig4 와 같이 진공챔버 안에 공기가 있을 때와 없을 때로 나누어서 기체의 양력과 추력을 측정하며 오실로스코프와 파워서플라이를 연결하고 전원을 기체에 인가한 후 기체에 연결된 로드셀과 증개기를 통해 컴퓨터로 측정값이 전송된다. 한 쌍의 날개를 가진 기존의 기체를 N-wing 으로 표기하고 두 쌍의 날개를 가진 X-wing 으로 표기하였다. 두 기체를 전압은 6V 로 일정하게 맞추며 1 초에 1000 번씩 15 초간 측정하였다.

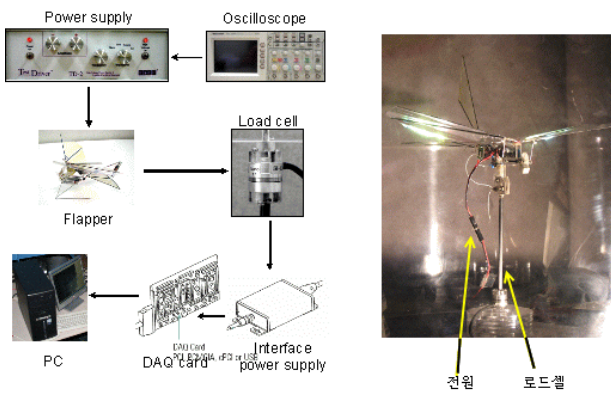


Fig. 4 Experiment plot

4.2 양력 결과 분석

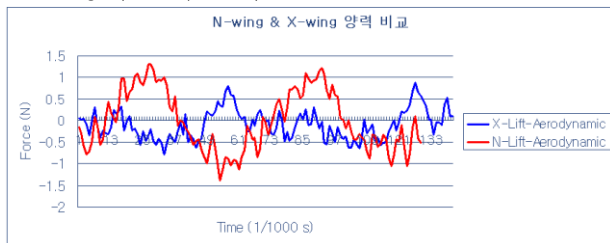


Table 2 Lift comparison between N-wing and X-wing

N-Lift-Air	N-Lift-Vacuum	N-Lift-Aerodynamic
-0.0972	-0.0819	-0.0152
X-Lift-Air	X-Lift-Vacuum	X-Lift-Aerodynamic
-0.0978	-0.0031	-0.0947

N-wing 과 X-wing 이 공기 중에서 내는 실제적인 양력은 거의 차이가 없지만 진공 중에서의 관성력은 X-wing 이 N-wing 보다 작은 것을 확인할 수 있다. 이것은 X-wing 의 경우 두쌍의

날개가 서로 반대방향 날개짓을 하면서 동체의 진동을 서로 상쇄 시켜준다는 비행특성 분석을 뒷받침 해준다.

4.3 추력 결과 분석

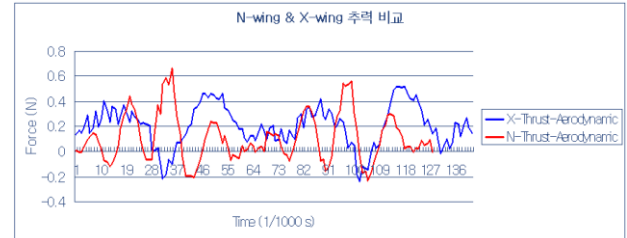


Table 3 Thrust comparison between N-wing and X-wing

N-Thrust-Air	N-Thrust-Vacuum	N-Thrust-Aerodynamic
0.1160	0.0072	0.1087
X-Thrust-Air	X-Thrust-Vacuum	X-Thrust-Aerodynamic
0.2049	-0.0021	0.2071

위의 결과를 보면 순간적으로 나오는 힘은 N-wing 이 X-wing 보다 더 큰 것을 알 수 있다. 하지만 Table3 에서 보는 바와 같이 X-wing 이 내는 추력이 N-wing 의 거의 두 배에 가까운 것을 볼 수 있다. 여기서 우리는 날개를 한 개 더 추가함으로써 추력 또한 2 배의 가까운 성능을 낼 수 있다는 것을 확인하였다.

5. 결론

이번 연구의 목적은 한 쌍의 날개로 움직이는 기존 기체보다 향상된 성능을 가진 X-Wing 기체를 설계·개발하고 비행테스트와 공력특성을 통하여 X-Wing 의 우수한 성능을 입증하는 것이었다. 곤충의 비행에서 관찰되는 두 날개가 날개 짓을 하는 동안에 서로 가까워지면서 내는 Clap and Fling 효과를 두 쌍의 날개를 통하여 성공적으로 구현할 수 있었고 향상된 공력 특성 및 추력발생을 진공챔버 실험을 통해 검증할 수 있었다. X-wing 날개짓 비행체를 직접 설계 및 제작함으로써 자연의 새나 곤충과 다른 형태의 생체모방 비행체 모델로서의 가능성을 확인하였고 진보된 X-wing 개발 및 여러 실험 및 분석을 통하여 지속적으로 발전시킬 계획이다.

참고문헌

Received 30 September 2003; accepted 12 October 2003

- (1) Z. Jane Wang* 1999 -- Two Dimensional Mechanism for Insect Hovering Theoretical and Applied Mechanics, Cornell University, Ithaca, New York 14853
- (2) Dragos Viiaru1*, 2003 Jian Tang2, Yongsheng Lian2, Hao Liu3, and Wei Shyy2** -- Flapping and Flexible Wing Aerodynamics of Low Reynolds Number Flight Vehicles 1University of Florida, Gainesville, FL, 32611, U.S.A.
- (3) Steven Hoa,*, 2002 Hany Nassefa, Nick Pornsinsirakb, Yu-Chong Taib, Chih-Ming Hoa -- Unsteady aerodynamics and flow control for flapping wing flyers aDepartment of Mechanical Engineering, University of California,
- (4) David L. Raney , Eric C. Slominski-- AIAA 2003-5345 Mechanization and Control Concepts for Biologically Inspired Micro Aerial Vehicles, NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681-2199 , Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, VA 24061
- (5) Beerinder Singh Manikandan Ramasamy, Graduate Research Assistant Post-Doctoral Fellow, Inderjit Chopra J. Gordon Leishman -- Insect-Based Flapping Wings for Micro Hovering Air Vehicles: Experimental Investigations, Alfred Gessow Professor and Director Minta Martin Chair and Professor
- (6) Jae-Moon Lee*, Jo-Won Chang** and Yun-Sik Jung*** --Development of a Micro Ornithopter with a Weight of 20 gram
- (8) F.S. Hover*, Ø. Haugsdal, M.S. Triantafyllou 2003 -- Effect of angle of attack profiles in flapping foil propulsion, Department of Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Building 5-228, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge, MA 02139-4307, USA,