

잠자리 모방 모델의 비행특성에 대한 실험적 연구

지영무[†]·정연균·정세영·김광진·엄상진*·박준상**

Experimental Study on the Flight Characteristics of Dragonfly-type Model

Ji Young Moo, Jung Yeon-Gyun, Jung Se-Young, Kim Kwang-Jin
Uhm Sang-Jin and Park Jun Sang

Key Words: Dragonfly(잠자리), Flow Visualization(유동 가시화), Flapping(플래핑), Insect Flight (곤충 비행)

Abstract

The flow visualization is conducted in order to investigate an unsteady flight characteristic of a model dragonfly. The flapping wings are analyzed using smoke-wire and high speed camera. The results of this experiment show that three mechanisms and high incidence angle of the wings are responsible for the lift. The leading edge vortex, which is induced by the rapid acceleration of the wing at the beginning of a stroke, causes the lift enhancement. The delayed stall during the stroke and the fast supination and pronation of the wing near the end of each stroke are also responsible for the lift generation.

1. 서 론

라이트 형제의 1903년 첫 동력비행 성공을 시작으로 수백 명의 승객을 태운 여객기가 대륙과 대륙을 횡단하고 있는 현재에 이르기 까지 항공 분야는 눈부신 발전을 거듭해 오고 있다. 고정된 날개와 엔진에서 추력과 양력을 각각 발생시키는 항공기와는 달리 곤충은 플래핑(Flapping)하는 날개로부터 추력과 양력을 모두 얻는다. 곤충의 비행원리를 규명하고자 하는 연구는 오래전부터 관심을 받아온 연구 주제로서 실험분야와 전산해석

분야에서 활발히 진행되어져왔다. Willmott 등은 앞전와류가 시작되는 날개의 앞전과 재부착점 사이에 Separation Bubble이 발생하며 이는 곧 날개의 유효캠버를 증가 시켜 양력이 발생한다고 하였다[1]. Van den Berg와 Ellington은 플래핑하는 날개의 Down Stroke 과정에서 앞전와류의 재부착 현상이 발생함을 유동가시화 실험을 통해 설명하였다[2]. Liu 등은 제자리 비행을 하는 나방의 날개 주변유동을 수치적 연구를 통해 알아보았으며 그 결과로 Down Stroke 과정에서 양력이 발생한다는 것을 밝혀냈다[3]. Dicknson 과 Gotz는 특정 받음각을 갖는 플래핑 하는 날개는 날개의 빠른 움직임으로 인해 앞전와류(Leading Edge Vortex)가 발생하며, 이러한 앞전와류는 날개와 다시 만나는 위치(재부착점)에 따라 공력특성이 달라진다고 하였다. 또한 곤충 날개가 양력을 발생시키는 과정을 (1) 실속지연(Delayed Stall), (2) 회전 와류(Rotational Circulation), (3) 후류 포착

† 한국과학기술원

* 한라대학교 기계자동차공학부 학부

** 한라대학교 기계자동차공학부

E-mail : jspark@halla.ac.kr

(Wake Capture)의 세 과정으로 구분하였다[4, 5]. 이 과정을 Fig. 1-3에 도시 하였다.

본 연구에서는 자체 제작한 풍동을 이용한 Smoke Wire 가시화 실험을 통해 잠자리 모방 모델의 비행원리를 정성적으로 살펴보았다.

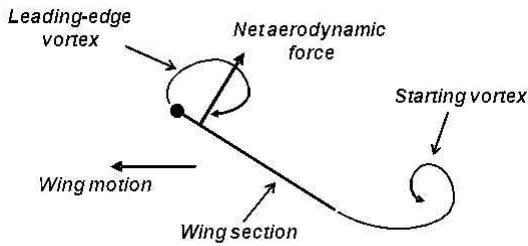


Fig. 1. Delayed Stall

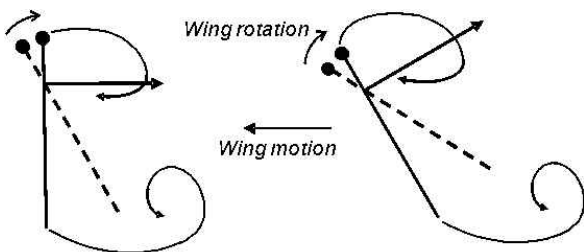


Fig. 2. Rotational Circulation

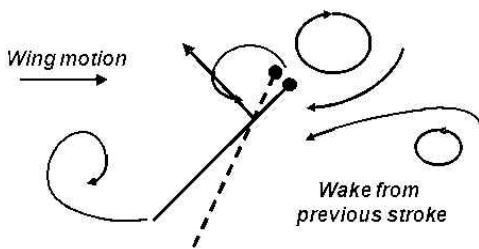


Fig. 3. Wake Capture

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 풍동은 팬(Fan)과 아크릴판을 이용한 자체제작 풍동(Fig. 4)으로 흡입식이며 시험부 규격이 0.3×0.3×0.3m 이다. 유동을 개선하기 위해 시험부 상류에 플라스틱 빨대를 허니콤(Honeycomb) 대신 사용하였으며 RPM을 제어할 수 있는 네 개의 팬을 장착하여 유속 제어가 가능하게 제작되었으며 자체 제작한 풍동임으로 정확한 공력측정 및 세밀한 가시화 등의 실험을 실

시하는 데는 다소 무리가 있지만 본 연구에서 수행하려고 하는 잠자리 모방 모델의 비행원리를 정성적으로 살펴보는 데는 충분하다고 생각된다.

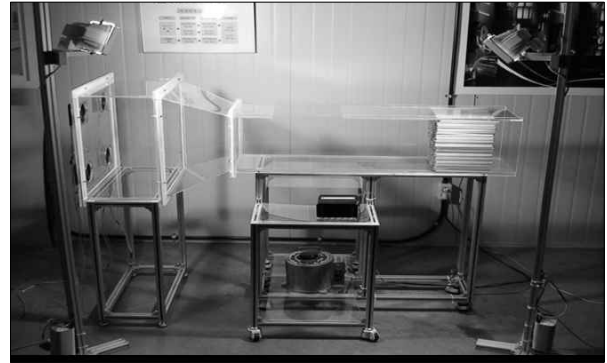


Fig. 4. Experimental Apparatus

실험 모델로는 날개스팬 0.2m, 평균 Chord 길이 0.08m의 RC(Radio Controlled) 잠자리 모델이 사용되었다. 날개는 동일한 축에서 각각 반대의 위상을 가지고 플레핑 하는 두 쌍의 날개로 이루어져 있으며 Fig. 5에 나타내었다. 날개는 25°의 붙임각(Incidence Angle)을 가지며 각 날개의 진폭은 42.5°이다. 또한 플레핑의 진동수는 5.2Hz이다.

본 실험을 수행한 자유흐름속도는 0.6m/s 이며 이를 근거로 한 Chord 길이에 대한 Reynolds 수는 3.18×10^3 이다.

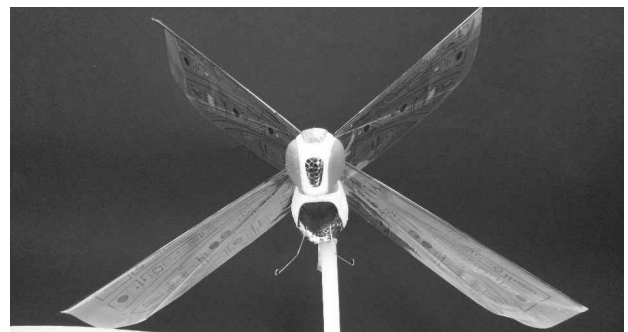
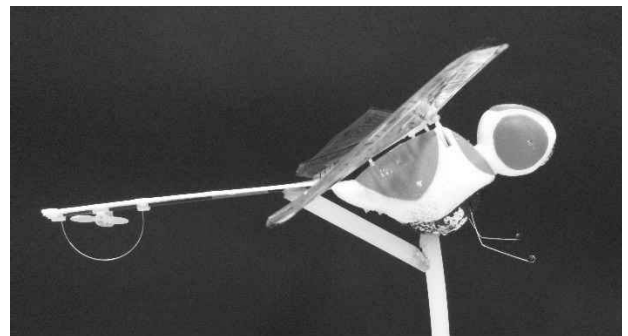


Fig. 5. Dragonfly Type Model

3. 결과 및 검토

위아래 반대 방향으로 날갯짓하는 두 쌍의 날개를 가진 모델의 특성상 각각의 Stroke에서 윗날개와 아랫날개의 분석을 동시에 진행해야 한다. 편의를 위하여 날갯짓의 한 주기를 Translation I, Rotation, Translation II, Clapping의 다섯 단계로 구분하였다.

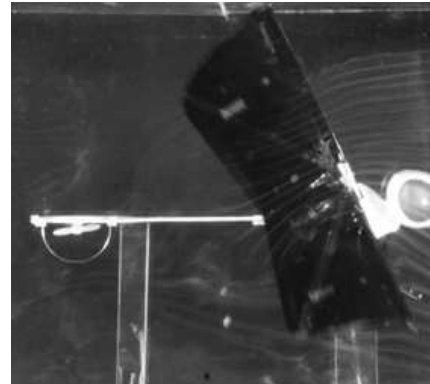
Fig. 6에 Translation I 단계를 나타내었다. 위아래 날개가 각각 Up Stroke와 Down Stroke를 하는 과정으로, 이때 윗날개는 일정 받음각에 의해 양력과 추력을 동시에 발생시키며 Stroke의 끝부분에서 날개를 비틀기(Pronation)전까지 계속된다. 반면 아랫날개는 Down Stroke를 하며 날개 앞전에 전단와류를 발생시킨다. 발생한 전단 와류가 날개의 윗면에 다시 재부착 되며 유효 캠버를 증가시켜 양력을 얻게 되며 Stroke의 끝부분에서 날개를 비틀기(Supination)전까지 계속된다.

Fig. 7은 Rotation 단계를 보여주고 있다. Stroke의 마지막 부분에서 위아래 날개는 각각 Pronation과 Supination을 하게 된다. 이 과정에서 윗날개는 Wake Capture단계에 속하며 아랫날개는 Rotational Circulation단계에 속한다. 아랫날개 주위에 발생한 Circulation을 확인할 수 있으며 이는 Magnus 효과에 의해 양력이 발생함을 보여준다.

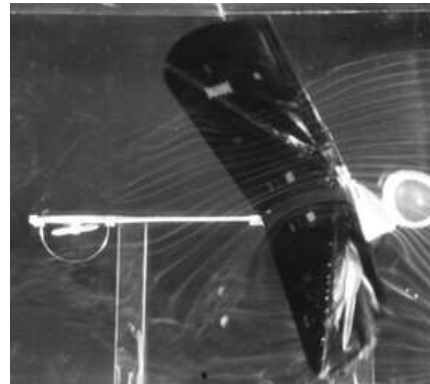
Fig.8에는 Translation II 단계를 나타내었다. 위아래 날개가 각각 Down Stroke와 Up Stroke를 하는 과정으로, 윗날개에서는 전단와류가 발생함에 따라 앞서 설명한 내용과 같이 양력을 얻게 되며, 아랫날개는 주변의 공기를 뒤로 밀어내며 추력을 발생시킨다.

Fig. 9는 Clapping 단계를 보여주고 있다. 한 주기의 마지막인 두 날개가 다시 만나는 과정으로 붙임각은 양력을 유지할 수 있게 해주며, 또한 두 날개 사이의 공기를 강하게 뒤로 밀어내며 추력과 양력을 동시에 얻을 수 있게 해준다. 두 날개가 포개지면서 앞전 근처의 공기가 추력과 반대방향으로 분사되며 항력이 발생하지만 추력의 크기와 비교 했을 때 무시할 수 있는 크기이며 분사된 공기에 의해 전단와류가 발생하여 유효캠버를 증가시키는 결과를 가져온다.

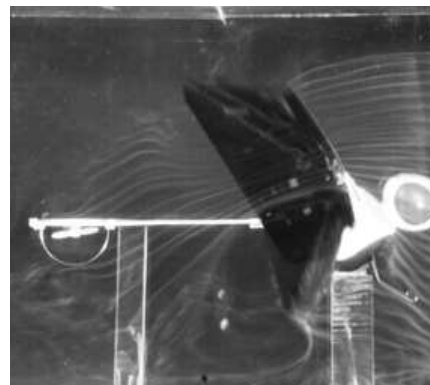
앞서 진행된 연구에서 설명하고 있는 곤충 날개가 양력을 발생시키는 과정 즉, (1) 실속 지연(Delayed Stall), (2) 회전 와류(Rotational Circulation),



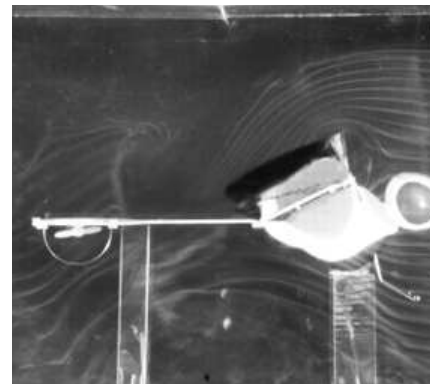
(a) Translation I



(b) Rotation



(c) Translation II



(d) Clapping

Fig. 6. Four Process of Dragonfly Model

(3) 후류 포착(Wake Capture)의 세 과정이 잠자리 모방 모델에서도 유사하게 나타남을 알 수 있다. 또한 실제 잠자리와는 달리 다소 큰 불임각을 가지고 있는 실험모델은 한 주기를 4단계로 구분한 모든 과정에서 양력을 얻을 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 자체 제작한 풍동을 이용한 Smoke Wire 가시화 실험을 통해 Reynolds 수 3.18×10^3 에서 잠자리 모방 모델의 비행원리를 정성적으로 살펴보았다.

이미 잘 알려진 바와 같이 곤충 날개가 양력을 발생시키는 세 과정(실속지연(Delayed Stall), 회전 와류(Rotational Circulation), 후류 포착(Wake Capture))이 잠자리 모방 모델에서도 유사하게 나타남을 확인하였다.

불임각에 의해 모든 과정(Process)에서 양력이 발생하고 있음을 예측할 수 있으며 향후 불임각, 날개의 진동주기 그리고 자유흐름속도의 변화에 따른 연구 또한 흥미로운 주제가 될 것으로 생각된다.

참고문헌

- (1) Willmott, A. P., Ellington, C. P. and Thomas, A. L., "Flow Visualization and Unsteady Aerodynamics in the Flight of the Hawkmoth, *Manduca sexta*", *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 352, No. 1351, pp. 303~316.
- (2) Van den berg, C. and Ellington, C. P., "The Three-Dimensional Leading-Edge Vortex of a 'Hovering' Model Hawkmoth", *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, Vol. 352, No. 1351, pp. 329-340.
- (3) Liu, H., Ellington, C. P., Kawachi, K., Van den berg, C. and Willmott, A. P., "A Computational Fluid Dynamics Study of Hawkmoth Hovering", *Journal of Experimental Biology*, Vol. 201, 1998, pp.461-477.
- (4) Dickinson, M. H. and Gotz, K. D., "Unsteady Aerodynamics Performance of Model Wings at Low Reynolds Number", *Journal of Experimental Biology*, Vol.174, 1993, pp.45-64.
- (5) Dickinson, M. H., Lehman, F. O. and Sane, S. P., "Wing Rotation and the Aerodynamics Basis of Insect Flight", *Science*, Vol. 284, 1999, pp. 1954-1960.