

# 생체모방 공중로봇의 날개 구조 모델링

최연호\*, 조내수\*\*, 정정은\*, 권우현\*\*, 이동하\*

\*대구경북과학기술원 로봇시스템연구부(yhchoi@dgist.ac.kr, jin0110@dgist.ac.kr, dhlee@dgist.ac.kr)

\*\*경북대학교 전자전기컴퓨터학부(nscho0104@lycos.co.kr, whkwon@knu.ac.kr)

## The wing structure modeling of the bioinspired aerial robot

Choi, Youn-Ho\* Cho, Nae-Soo\*\* Joung, Jung-Eun\* Kwon, Woo-Hyen\*\* Lee, Dong-Ha\*

\*Division of Robotics system, DGIST(yhchoi@dgist.ac.kr, jin0110@dgist.ac.kr, dhlee@dgist.ac.kr)

\*\*School of Electrical Engineering and Computer Science Kyungpook National Univ.  
(nscho0104@lycos.co.kr, whkwon@knu.ac.kr)

### Abstract

The research of the biological mimics robot which utilizes the operation of the organism is progressed on the ground, aerial, and underwater robot sector. In the field of flying robot, the research for implementing the wing movement structure of the bird and insect is progressed. The joint structure for the wing movement of the bird is implemented. The operation of the wing is simulated. For this purpose, by using the Matlab/Simulink, the joint structure of the wing is modelled. The joint movement of the wing is tested through the simulation.

Keywords : 생체모방(Bio-inspired), 비행로봇(Flying robot), 공중로봇(Aerial robot), 날개(Flapping wing), 모델링(Modeling)

### 1. 서 론

재난지역이나 건물이 밀집된 도심에서와 같이 사람이 접근하기 힘든 환경에서 사람을 대신하여 정보를 획득하고, 임무를 수행할 수 있는 무인항공기에 대한 연구가 폭넓게 이루어지고 있다. 무인항공기가 공간의 제한을 받지 않고 다양한 기동을 수행하기 위해 수직이

착륙 무인항공기가 적합한 것으로 평가되고 있어서, 일반 헬기형 비행체의 단점을 보완한 소형수직이착륙 비행체로 쿼드-로터 방식에 대해 설계 및 실험용 시제품이 제작되고 있다[1].

로터 방식의 헬기는 로터의 회전에 따른 위험성이 있고 소음도 발생하고 있다. 로터형의 비행체 연구에서 한발 더 나아가 곤충과 새의 날개를 모방한 비행체의 모델링과 분석이 연구

되고 있으며, 날개의 움직임에 의해 생성되는 양력과 추진력의 계산식을 이용한 분석도 연구되고 있다[2, 3]. 또한 신재생에너지의 분야로 바람과 태양 등 자연환경을 이용한 에너지 활용분야가 연구되고 있으며, 태양에너지 활용과 로봇기술의 융합에 관련된 연구도 함께 진행되고 있다.

로봇 분야에서는 생체-모방형 로봇의 연구가 진행되어 생물체의 모양과 동작의 모방을 이용하는 로봇이 개발되고 있다. 수중과 지상, 공중에서 활동하는 로봇들이 연구되고 있고, 전자 및 기계부품의 발전은 실제 생명체와 같은 움직임을 나타내는 로봇 개발을 도와고 있다. 생체모방을 이용한 공학적 기술적용이 진행되고 있고, 비행에 대한 분석과 모델링도 연구되고 있다[9, 10].

공중 로봇분야에서는 에너지원으로 태양전지와 연료전지 및 배터리를 전원으로 탑재하고 비행하는 로봇의 개발이 진행되고 있다. 생체 모방형 공중로봇은 각종 센서를 통해 주변정보의 수집과 주변상황의 감시를 하고 통합관계 시스템과 연동하여 위급상황에 대처하는 기능을 갖도록 하는 방향으로 개발이 진행되고 있다. 신재생 에너지의 활용을 에너지 공급원으로 하고, 생체모방의 특성을 활용하여 동작과 형상에 있어서 실제 새와 구별성을 없애고, 활공 및 활강의 적용 가능성을 검토하여 에너지 사용의 효율성을 높이고자 하는 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 새의 날개짓 방식으로 비행하는 로봇에 적용하기 위해서 새의 날개운동 모방을 위한 관절구조를 구현하여, 날개짓 방식의 움직임에 대해 동작 구조를 구성하고, 이를 모델링하고 모의실험 한다.

## 2. 비행형태의 비교

소형 무인항공기(UAV) 플랫폼으로 사용되고 있거나 현재 개발 중인 세가지 유형은

고정익과 회전익, 날개짓 형태로 구분된다.

고정익은 전통적인 무인항공기로서 다양한 크기의 항공기와 임무에서 안정적인 제어 시스템을 제공한다.

고정익 항공기의 도전과제는 소형 무인항공기에서 날개의 가로 세로 비율의 결정과 양력감소와 항력증가의 문제를 해결하는 것이다. 우수한 공기 역학적 성능을 가진 소형 고정익 비행체를 생산하기 위해 도전하고 있다. 그러나, 대부분의 고정익은 전문 추진 시스템 없이는 수직이착륙(VTOL)이나 제자리 비행 불가능하다.

이로 인해 회전익이 고정익의 대안으로 제시되어, 기동성이나, 부가하중 문제는 해결했으나, 소음 문제와 고정익에 비해 활동범위가 작다는 것과 로터시스템의 복잡한 구조 및 유지보수와 내구성에 영향을 미치는 장애에 대한 방안이 필요하다.

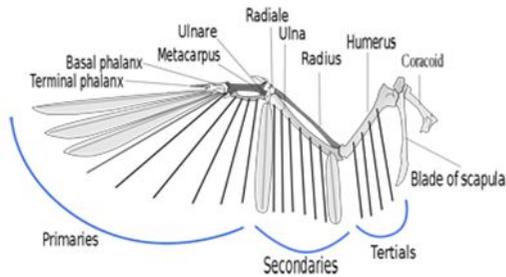
이러한 문제를 풀기위해 날개짓으로 비행하는 무인항공기 또는 로봇이 해결책으로 제안되면서, 소음 감소와 스텔스 성능의 향상 및 회전날개의 기동성을 유지하면서 그 이상으로 내구성을 향상 시키고자하는 연구가 진행되고 있다[3].

## 3. 새의 기본날개 운동

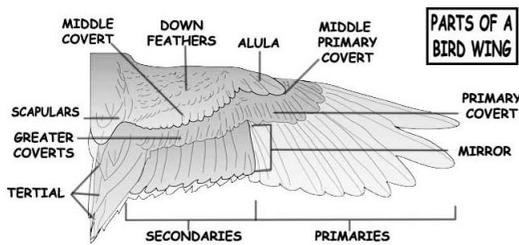
비행기는 회전 프로펠러를 가지고 있고, 헬리콥터는 양력(lift)과 추진력을 모두 제공하는 회전 날개가 있지만 동물은 어떤 회전 부분도 없다. 날개짓 비행의 실용적인 잇점으로써, 날개짓은 개선된 효율을 제공하고, 더 나은 기동성과, 회전익에 비해 소음이 작다는 것이다. 새와 닮은 점을 이용하여 스파이활동에 사용되거나, 공항 활주로에서 새쫓기 등 다양한 분야에 활용할 수 있다.

날개짓 비행체는 비행기와 같은 원리로 작동하여, 공기를 통한 전진운동은 날개가 공기를 아래로 편향시켜 양력을 생성한다. 날개짓

운동이 프로펠러를 대신하는 것이다. 날개에서 생성되는 힘은 공기의 흐름에 대해 상대적으로 위치하는 날개의 각도에 달려있다. 이것을 받음각(angle of attack)이라고 한다. 날개의 상향운동에서 받음각은 감소하고 최소 공기 저항을 유지한다[3].



a. Bone structure[4]



b. Feathers of bird wing[5]

Fig. 1 Structure of a bird wing

새 날개의 기본구조는 Fig. 1과 같다. 기본적으로 바깥날개인 외익(primaries, outer wing)과 안쪽날개인 내익(secondaries, inner wing)을 이용하여 날기 위한 운동을 수행한다. 사람과 같이 어깨, 팔꿈치, 손목에 해당하는 부분을 가지고 있고, 어깨 관절의 움직임을 이용해서 플래핑(flapping)과 페덜링(feathering) 및 전후(lead-lag)동작을 하지만 기본적으로 플래핑과 전후 동작을 주로 한다. 손목관절은 어깨의 운동에 연동하여 추가적으로 페덜링운동을 수행한다. 이러한 운동을 분석하여 날개짓 모델 및 날개짓에 의해 발생하는 힘에

대한 이론도 연구 되었다[6]. 추진력을 얻기 위한 페덜링 운동은 주로 외익에서 수행하고 내익은 양력을 얻기 위한 기능을 주로 수행한다. 외익에서 피치(pitch) 변화는 날개의 받음각(angle of attack)을 변화하여 페덜링 동작을 수행한다. 날개짓 운동에 대한 수치해석 시뮬레이션도 연구되고 있다[7].

#### 4. 로봇 새의 날개 운동 방식

플래핑 방식의 날개짓 비행체에서 주로 사용되는 기본방식은 Fig. 2와 같은 형태로 구동기(motor)의 회전 운동을 날개의 왕복 각운동으로 변화하는 간단한 구조로 구성할 수 있다[8].

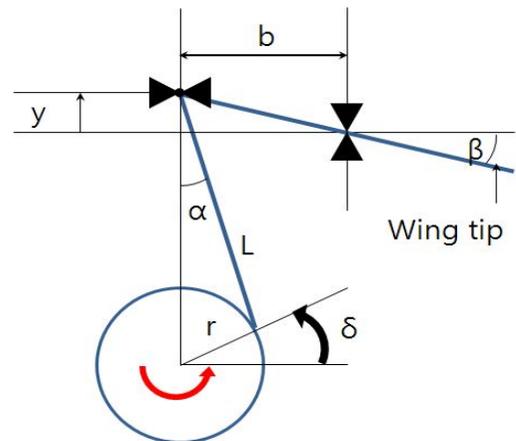
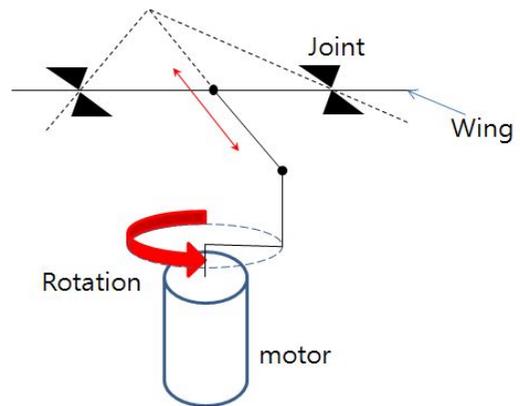


Fig. 2 Flapping drive structure[8]

링크  $L$ 와 링크의 동작각  $\delta$ 와 구동기 기어의 반지름  $r$  및 기어의 회전각  $\alpha$ 를 이용하여 식(1)의  $L/r$ 의 변화에 대한 관계식과 식(2)의 수직왕복거리  $y$ 를 표현할 수 있다[8].  $L$ 과  $r$ 의 비는 구동기의 회전운동과 날개의 각운동 범위를 결정하는 요소가 된다. 또한 축길이  $b$ 와 구동각도  $\beta$ 의 관계는 식(3)으로 표현된다[8].  $L/r$ 에 대한 높이변화는 Fig. 3과 같이 표현된다.

$$\sin\alpha = \frac{r \cdot \cos\delta}{L} \quad (1)$$

$$y = r \cdot \sin\delta + L \cdot \cos\delta \quad (2)$$

$$b = \frac{r}{\tan(\beta_{\max})} \quad (3)$$

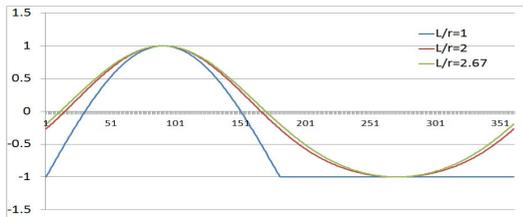


Fig. 3 The link height variation about the  $L/r$  ratio

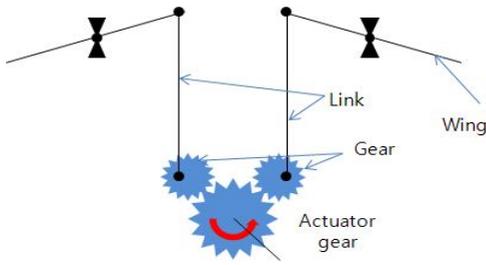
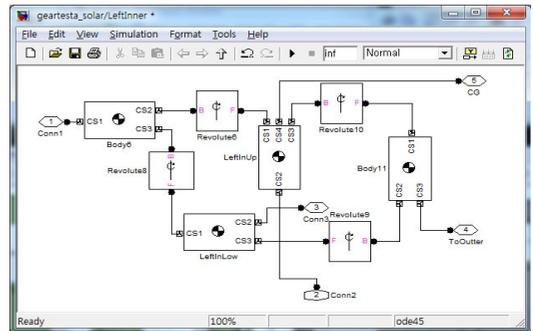
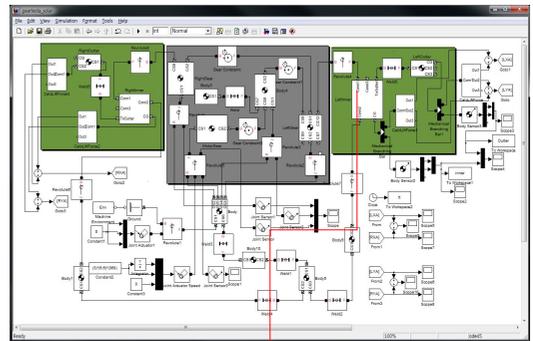


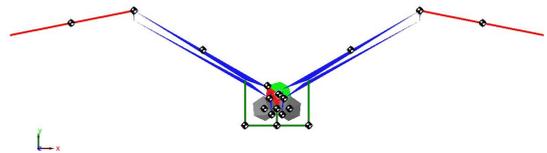
Fig. 4 The drive structure with gear[8]

기어구조를 이용해서 Fig. 4와 같이 두 개의 날개를 각각의 기어에 연결하여 운동시키는 구조로 변형할 수 있다[8]. 각각의 날개가 플레핑 운동관점에서 어느 정도 독립적으로 처리될 수 있는 장점과 각각의 날개를 독립적으로 제어하기 위한 추가적인 공간을 확보할 수 있지만 마찰과 복잡성, 효율, 무게증가 등의 문제점을 해결해야한다[8].

새는 날기 위해 플레핑 동작 뿐만 아니라 페달링 동작을 하는데 페달링 동작은 주로 손목에서 수행하고, 페달링 동작을 구현하기 위한 구조도 연구되고 있다[11, 12]. 새의 날개운동을 이용한 로봇은 festo[13]에서 구현하여 시연한 적이 있다. 날개 구조에서 한쪽 날개가 내익과 외익을 구분하지 않으면 어깨 관절만으로 플레핑을 구현할 수 있지만, 내익과 외익이 구분되면 내익과 외익을 연결하는 부분은 관절구조로 구성하여, 내익의 동작과 외익의 동작이 기계적 구조에 의해 하나의 구동기(actuator)로 동작할 수 있도록 구현할 수 있다.



a. Simulink model block



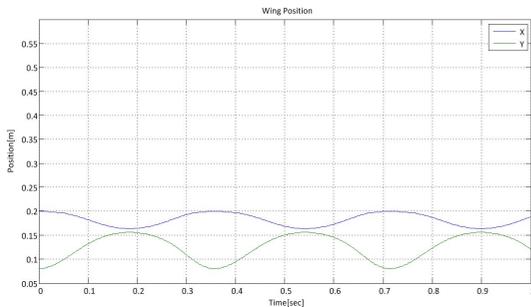
b. Simulation model

Fig. 5 Matlab/Simulink simulation model

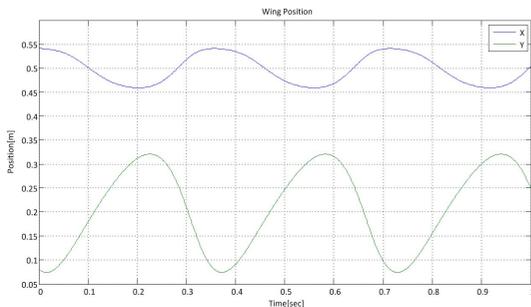
따라서 플래핑 동작을 위해서 하나의 구동기에 기어를 구성하여 좌우 날개를 동시에 구동하도록 하고, 손목관절 부분을 구성하여 내익과 외익이 동기되어 날개짓 동작을 하도록 구성할 수 있다.

### 5. 모의실험

이러한 구조로 Matlab/Simulink의 심볼을 이용하여 공중로봇의 날개 구조를 Fig. 5와 같은 모의실험 모델로 구성할 수 있다.



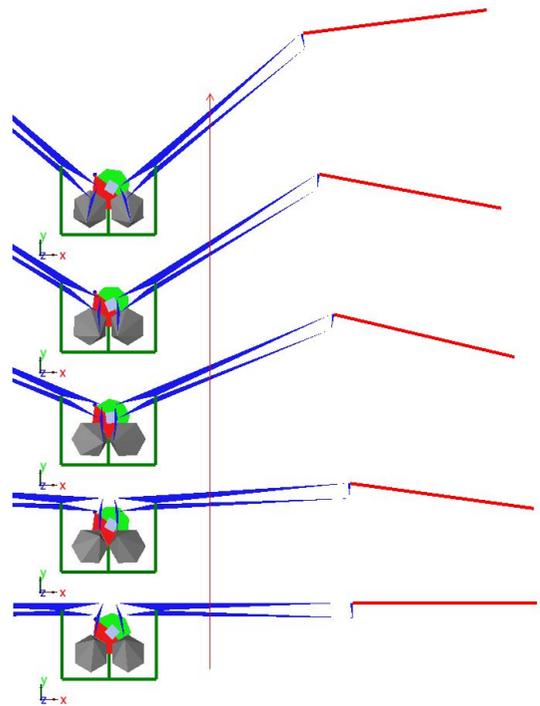
a. Inner wing transfer position



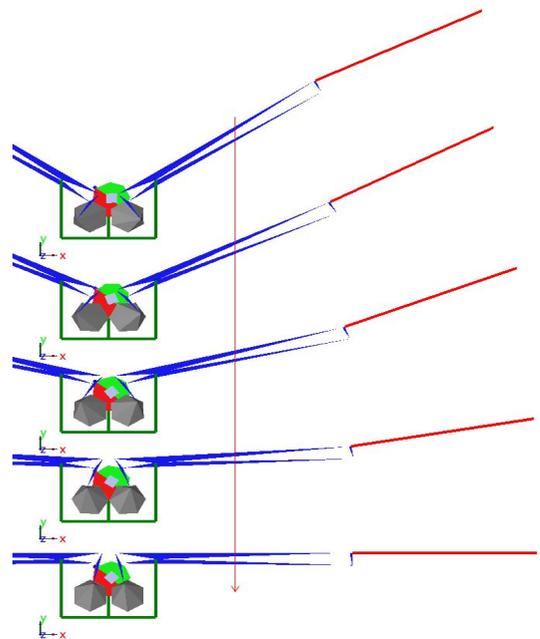
b. Outer wing transfer position

Fig. 6 Wing transfer position

로봇의 날개 움직임을 Matlab/Simulink를 이용하여 Fig. 5와 같이 구성하고, 모의실험을 수행하면 구동기의 회전 운동이 로봇 날개의 각운동으로 변환된 운동범위를 확인할 수 있다. Fig. 6에서와 같이 날개의 최대 상승위치와 최대 하강위치를 확인할 수 있다.



a. Upstroke



b. Downstroke

Fig. 7 The movement of the left wing

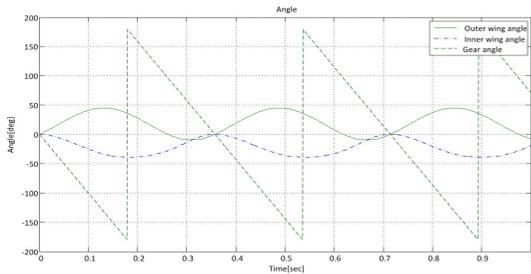


Fig. 8 The angle of the wing

구동기의 회전운동에 의해 Fig. 7과 같은 날개의 상향 운동과 하향 운동을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 8과 같이 내익의 움직임과 동기되어 움직이는 외익의 운동각을 확인할 수 있다.

## 6. 결 론

새의 날개운동 구조를 모방한 날개짓 로봇 비행체를 설계함에 있어서 어깨관절과 손목관절로 구성된 날개를 설계하여 플래핑 동작을 수행할 수 있는 방법을 구현하였다.

Matlab/Simulink를 이용하여 공중로봇의 날개 구조를 모델링하고, 운동방법을 모의실험하여 실제 시스템을 구현하기 전의 동작을 확인하고 분석하였다. 이를 이용하여 실제 비행로봇을 설계하고 제작하기 위한 방향을 제시할 수 있었다. 또한 이를 바탕으로 공중로봇의 날개 움직임에 대한 양력과 추력의 이론적 해석과 실험의 비교가 필요할 것이다.

## 후 기

본 연구는 교육과학기술부에서 지원하는 대구경북과학기술원 일반사업(12-BD-0101)에 의해 수행되었음.

## 참 고 문 헌

1. Won, D. Y., Choi, D. H., Tahk, M. J., Lee, J. H., and Kwon, O. J., "Conceptual Design of a Quad-Rotor UAV", Proceeding of the

Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Conference, pp.197-201, 2008.

2. Masashi Furukawa, Makoto Morinaga, Michiko Watanabe Ikuo Suzuki, and Masahito Yamamoto, "Artificial flying creature by flapping", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 624-629, 2010.
3. Robyn Lynn Harmon, "Aerodynamic modeling of a flapping membrane wing using motion tracking experiments", University of Maryland, 2008.
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Birdwing.svg>
5. <http://www.fiddlersgreen.net/models/aircraft/Herring-Gull-Glider.html>
6. Azuma A (1992) The biokinetics of flying and swimming. Springer, Tokyo
7. Per-Olof Persson, David J. Willis, Jaime Peraire, "The Numerical Simulation of Flapping Wings at Low Reynolds Numbers", 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Jan. 2010, Orlando, Florida
8. Oliver Breitenstein, "Development of a Flapping Wing Mechanism", Autonomous Systems Lab Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Semester Project, 2009.
9. J Oliver Linton, "The physics of flight: I. Fixed and rotating wings", Physics Education, Vol. 42, No. 4, pp. 351-357, 2007.
10. J Oliver Linton, "The physics of flight: II. Flapping wings", Physics Education, Vol. 42, No. 4, pp. 358-364, 2007.
11. <http://ornithopter.de/english/articulated.htm>
12. Horst Rübiger, "Gelenkschlagflügel", Autonomous Systems Lab Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Semester project, 2009.
13. <http://festo.com>