

벌새의 날개짓 재현을 위한 구형 6절기구 합성

Synthesis of spherical six-bar mechanism for reproducing the flapping of hummingbird

*김현수¹, #최용제²

*H. S. Kim¹, #Y. J. Choi(yjchoi@yonsei.ac.kr)²

¹연세대학교 대학원 기계공학과, ²연세대학교 기계공학부

Key words : Spherical 6 bar, Synthesis, Optimization

1. 서론

새와 곤충의 날개짓은 현재 이용하고 있는 비행체의 고정익과 회전익에 의한 추진방법의 대안으로 많은 연구가 이루어져 왔으며 특히 벌새와 초파리의 비행 원리에 관한 연구가 주를 이루고 있다.⁽¹⁻³⁾ 이러한 연구들은 날개짓에 의한 추진이 기존의 고정익 추진에 비해 더 큰 힘을 발생시키는 것을 보여주었으며, 이로인해 날개짓을 하는 초소형 비행체에 대한 관심이 증가하였다.⁽⁴⁻⁵⁾ 그러나 벌새는 업스트로크와 다운스트로크가 비대칭인 복잡한 공간 3자유도 움직임에 갖기 때문에⁽⁶⁾ 기존의 연구는 벌새의 날개 궤적을 만족시키기 보다는 양력을 얻는데 만족하고 있다. 본연구는 3자유도 벌새 모션을 구현하는 1자유도 기구를 합성하는 것을 목적으로 한다.

Table 1 Wing orientations for Lufous hummingbird

위치	극각	방위각	받음각	위치	극각	방위각	받음각
1	-83	-5	56	7	-110	146	155
2	-89	17	34	8	-115	117	157
3	-98	53	23	9	-111	77	157
4	-110	95	23	10	-103	37	163
5	-113	137	4	11	-94	13	172
6	-111	156	160	12	-89	-3	48

2. 메커니즘 형태 결정

정지 비행 시의 벌새의 날개 끝은 8자형의 선형 날개 동작(advance motion) 궤적을 갖는다.⁽⁷⁾ 벌새 날개 궤적은 Tobalske와 Warrick의 Lufous Hummmingbird 날개 궤적 측정 데이터를 사용하였다.⁽⁶⁾ 벌새의 날개 궤적은 구형 좌표계의 두 개의

각도(극각, 방위각)로 표현 가능하다(Table. 1).

본 연구는 이러한 3자유도 모션을 구현하기 위하여 구형6절기구를 사용한다. 구형6절기구는 구동을 위해 3개의 입력이 필요한데 이를 하나의 액츄에이터로 구동하기위해 3개의 입력각을 연동시키는 메커니즘이 추가로 필요하다. 구형6절기구에 연동된 3개의 입력각을 넣어주기 위해 Dyad를 연결한 6절기구로 메커니즘 형태를 결정 하였다(Fig. 1). 입력각 사이의 위상차를 주기위한 구동부로는 더블 크랭크-로커 형태의 메커니즘을 사용하였다

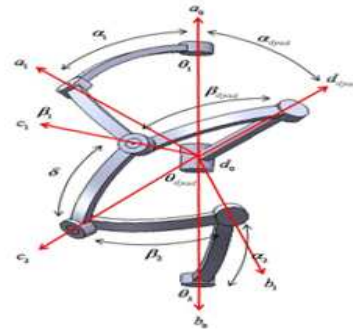


Fig. 1 Proposed dyad spherical six-bar mechanism

3. 궤적최적화

구형6절기구의 합성은 날개 앞전(leading edge)의 12개 위치를 지나는 구형 5절 기구 ($a_0a_1c_1d_1d_0$) 궤적 합성과 받음각(angle of attack)에 의하여 결정되는 날개 뒷전(tailed edge)에 구형5절기구 ($d_0c_1c_2b_0b_1$) 대한 궤적 합성의 두 부분으로 나뉘어진다.

고정축 a_0 에서 입력 θ_1 , Dyad의 고정축 d_0 에서의 입력 θ_3 에 의하여 날개의 앞전 c_1 의 위치가 결정된다. 구동부 연동에 의해 θ_1 에 따라 θ_3 가 결정되며 구형 5절기구의 합성을 통해 날개 앞전이 주어진 궤적을 만족하도록 한다. θ_1 을 결정하기 위

하여 $a_0a_1c_1$ 으로 구성된 체인의 12개의 좌표에 이르는 입력각 θ_1 과 이동축 a_1 의 각 ϕ_1 을 결정한다. R-R 체인의 끝단부 Z축 k 를 이동좌표계에서 고정좌표계로 옮기는 식(4)를 사용한다. $\alpha_1\beta_1$ 은 축 a_0a_1 과 축 a_1c_1 의 사이 각이다.

R-R chain의 고정축 a_0 , 이동축 a_1 이 주어졌을 때 (식. 1,2,3)을 통해 a_0 을 Z축으로, $a_0 \times a_1$ 을 Y축으로 하는 새로운 좌표계를 결정한다⁽⁸⁾.

$$Z_{axis} = a_0, \tag{1}$$

$$Y_{axis} = a_1 \times a_0, \tag{2}$$

$$X_{axis} = Y_{axis} \times Z_{axis}. \tag{3}$$

$$Z_{\beta_1} Y_{\alpha_1} Z_{\phi_1} Y_{\beta_1} k = {}^A P. \tag{4}$$

첫 번째 최적화의 목적함수는 주어진 궤적 P와 날개의 앞전 c_1 이 원점을 중심으로 이루는 각도의 합을 최소화한다.

$$\text{minimize} : f = \sum |\cos^{-1}(P^T c_1)| \tag{5}$$

제한조건으로 모든 축은 구형 좌표계의 중심에서 교차하여야 하고 모든 링크는 구 표면에 위치한다는 조건을 사용한다.

두 번째 최적화는 날개 뒷전의 위치에 대한 합성이다. 주어진 궤적을 지나는 날개 앞전의 위치가 최적화 되면 이에 따라 받음각을 결정하는 날개 뒷전의 위치를 최적화 하는 것이 두 번째 최적화이다. 더블 크랭크-로커구조에 의해 θ_1 과 연동하여 θ_3 결정한다. 이동축 c_2 가 결정될 때 받음각 ψ' 와 주어진 궤적의 받음각 ψ 의 차이의 최소화값을 목적함수로 한다.

$$\text{minimize} : f = \sum (\psi - \psi') \tag{6}$$

제한조건은 첫 번째 합성 조건과 동일하다.

4. 궤적최적화 결과

날개 궤적에 대한 합성 결과는 다음과 같다. 설계

Table 2 1st Optimization values

Design variables
$f(a_{0\theta}, a_{0\phi}, a_{1\theta}, a_{1\phi}, c_{1\theta}, c_{1\phi}, d_{1\theta}, d_{1\phi}, \Delta\delta_1) =$
$f(25, -79, 64, 94, -5, -83, -37, 57, 31)$

변수는 축에 대한 위치정보 8개와 크랭크의 위상차 $\Delta\delta_1$ 로 총 9개를 주었다 (Table. 3). 두 번째 최적화는 축에 대한 위치정보 4개와 크랭크의 위상차 $\Delta\delta_2$ 로 5개를 주었다.

Table 3 2nd Optimization values

Design variables
$f(b_{0\theta}, b_{0\phi}, b_{1\theta}, b_{1\phi}, \Delta\delta_2) = f(25, -79, 64, -6, 30)$

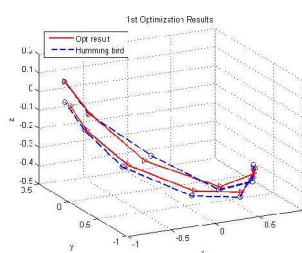


Fig2. 1st optimization

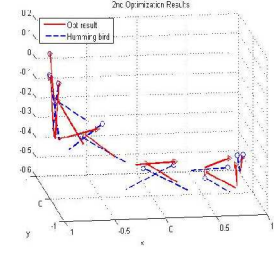


Fig3. 2nd optimization

5. 향후 과제

주어진 벌새의 3자유도 날개 궤적을 크랭크-로커 구조의 구동부로 최적화하는 Dyad 구형 6절기구를 상세 설계하고 설계된 메커니즘이 얼마나 양력을 발생시키는 지에 대한 유동해석을 할 계획이다.

후기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국장학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (N0. S2-2009-000-02356-1)

참고문헌

1. S.P.Sane, "The control of flight force by a flapping wing:lift and drag production" J.Exp.Biol, 204. 2607-2626. 2001.
2. D.R.,Warrick "Aerodynamics of the hovering hummingbird" nature,435. 2005.
3. M.H.,Dickinson"Wing rotation and the aerodynamic basis of insect flight "science,284. 1999.
4. R.J.,Wood, "The First Takeoff of a Biologically Inspired At-Scale Robotic Insect,"IEEE, 2008.
5. S.Y.,Jung, "Design of a Mechanism for Reproducing Hovering Flight of Insects,"Yonsei.Univ, 2004.
6. Tobalske,B.W.,Warrick.,D.R, "Three-dimensional kinematics of hummingbird flight,"J.Exp.Biol, 210.2368-2382, 2007.
7. C. H. Greenewalt, "Hummingbirds", Dover Publication, 1990.
8. J.M.,McCarthy, "Geometric design of linkages" springer,2000.