

곤충 모방 날갯짓 비행체의 안정적인 수직 이륙 비행 구현

Demonstration of Stable Vertical Takeoff of an Insect-Mimicking Flapping-Wing System

판 호앙 부, 트롱 콕 트리, 구옌 쿠옥 비엣, 박 훈 철*, 변 도 영, 구 남 서
(Hoang-Vu Phan¹, Quang-Tri Truong¹, Quoc-Viet Nguyen¹, Hoon Cheol Park¹, Doyoung Byun¹, and Nam Seo Goo¹)

¹Konkuk University

Abstract: This paper demonstrates how to implement pitching stability in an insect-mimicking flapping-wing system for vertical takeoff. Design and fabrication of the insect-mimicking flapping-wing system is briefly described focusing on the recent modification. Force produced by the flapping-wing systems is estimated using the UBET (Unsteady Blade Element Theory) developed in the previous work. The estimation shows that the wing twist placed in the modified system can improve thrust production for about 10 %. The estimated thrust is compared with the measured thrust, which proves that the UBET provides fairly good estimations for the thrust produced by the flapping-wing systems. The vertical takeoff test shows that inherent pitching stability can be implemented in an insect-mimicking flapping-wing system by aligning the aerodynamic force center and center of gravity.

Keywords: insect-mimicking, flapping-wing, inherent stability, unsteady blade element theory, vertical takeoff

I. 서론

유인기와 무인기를 포함한 일반적인 항공기는 주로 동체 또는 날개에 부착된 엔진으로부터 추진력을 얻고, 날개에서 양력을 발생하여 비행을 한다. 헬리콥터와 같은 회전익 항공기는 로터(rotor) 시스템의 깃(blade)을 회전시켜서 추력과 양력을 얻는다. 이와는 달리, 새와 곤충과 같이 자연에서 관찰할 수 있는 비행 가능한 동물들은 모두 날갯짓을 통하여 비행을 하므로, 정상 공기역학(steady aerodynamics)을 설계에 적용하는 일반적인 항공기와는 그 비행원리가 근본적으로 다르다[1,2]. 최근 새나 곤충의 날갯짓 비행을 모방하여 초소형 비행체를 개발하고자 하는 연구를 통하여 날갯짓 초소형 비행체가 성공적으로 개발되어 왔다[3]. 이와 같이 초소형 비행체 개발에 있어서 날갯짓을 도입하려는 것은, 고정익 초소형 비행체와는 달리 날갯짓 초소형 비행체는 저속으로 근거리 탐사가 가능하고, 크기가 작은 회전익 초소형 비행체에 비하여 비행 효율을 높일 수 있는 가능성이 상대적으로 높기 때문이다[4].

최근 개발된 날갯짓 초소형 비행체는 날갯짓 각도가 대체로 50도 정도이고, 하향 날갯짓에서만 유효한 공기력을 발생하며, 꼬리에 설치된 수직 및 수평 안정판(stabilizer)에 각각 부착된 방향타(rudder)와 승강타(elevator)를 이용하여 자세와 방향을 제어한다. 이러한 관점에서 지금까지 개발되어 온 날갯짓 초소형 비행체는 새의 비행원리를 모방하였다고 할 수 있다. 이와 같이 비행 제어를 위하여 날갯짓 초소형 비행체

에 반드시 필요한 꼬리 날개로 인하여, 실제 운용을 위해서는 특별히 설계된 운송용 가방(carrier)이 필요하게 되므로 운용 상에 있어서 불편함을 초래할 수 있다.

곤충은 그 크기가 상대적으로 새보다 작고, 새와는 달리 꼬리 날개가 없어서, 추력과 양력은 물론 제어에 필요한 모든 힘을 날개의 날갯짓으로 발생한다. 곤충의 날갯짓 각도는 새의 날갯짓 각도보다 커서 일반적으로 90도 이상이며, 하향 날갯짓에서는 물론 상향 날갯짓에서도 유효한 공기력을 발생한다. 이를 위해서는 날개를 큰 각도로 회전하여 하향 날갯짓 때의 날개 윗면이 상향 날갯짓에서는 날개 아랫면이 되도록 하여야 한다[5-7]. 특히 장수풍뎅이의 경우에는 날갯짓 동안 뒷날개를 비틀어 날개에 캠버를 발생함으로써 양력을 증가한다. 모든 곤충의 비행원리가 아직은 명확히 밝혀지지 않고 있지만, 이미 밝혀진 기본적인 비행원리들을 적절히 구현하면, 곤충과 같이 꼬리 날개가 없고, 효율적으로 비행할 수 있는 날갯짓 초소형 비행체를 개발할 수 있으므로, 운용이 간편한 로봇 비행체를 얻을 가능성이 있다.

이러한 노력의 일환으로, Harvard 대학에서는 압전 작동기를 이용한 곤충 모방 날갯짓 장치를 개발해왔다[8]. 이들은 날개 폭(wing span)이 약 3cm, 무게 60mg 정도에 불과한 날갯짓 장치를 개발하여, 최근 유선 비행시험을 통하여 날갯짓 장치를 수직 상승하게 하는데 성공하였다[8]. 하지만 압전 작동기에 전원을 공급할 전원장치와 모든 센서 및 작동기를 1그램 이내의 무게로 개발해야 하는 등 실제 자유비행을 위해서는 앞으로도 많은 연구가 필요하다. 건국대학교에서도 큰 날갯짓 각도를 발생할 수 있는 압전작동기 구동형 날갯짓 장치에 대한 연구를 수행하여 왔으며[9], 이를 통하여, 곤충의 날갯짓을 모방하기 위한 요소기술을 고안하였다[10]. 또한 비정상 공기역학(unsteady aerodynamics)을 이용하여 곤충이 발생하는 공기력의 예측을 위한 연구도 수행하였다[11].

본 논문에서는 장수풍뎅이의 비행원리를 모방한 초소형

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2011. 11. 15., 수정: 2011. 12. 5., 채택확정: 2011. 12. 20.

판 호앙 부, 트롱 콕 트리, 구옌 쿠옥 비엣, 박훈철, 구남서: 건국대학교 신기술융합학과(vu_phanhoang113@yahoo.com/tri.truongquang@gmail.com/qvnguyen@konkuk.ac.kr/hcpark@konkuk.ac.kr/nsgoo@konkuk.ac.kr)

변도영: 건국대학교 항공우주정보시스템공학과(dybyun@konkuk.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부 기초연구지원사업/도약연구(2011-0020438)과 2010학년도 건국대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

날갯짓 비행체의 개발을 위한 최근의 연구 결과를 소개한다. 우선 장수풍뎅이와 같이 35~40Hz 정도에서 160도 정도의 큰 날갯짓 각도를 발생할 수 있는 날갯짓 기구의 설계에 대하여 요약하고, 이 장치를 안정적으로 수직 이륙할 수 있도록 고안한 방법을 설명하며, 수직 이륙 시험 결과를 제시한다.

II. 날갯짓 장치의 설계 및 제작

구체적인 날갯짓 장치의 설계 및 제작 방법은 다른 참고문헌에 소개하였으므로[10], 여기서는 그 내용을 압축하여 요약하고, 최근 수정된 날갯짓 장치의 내용을 추가하였다.

1. 날갯짓 장치

날갯짓 장치는 초소형 모터의 회전으로 큰 날갯짓 각도를 발생하고, 좌우 날개의 날갯짓이 대칭적으로 발생하도록 고안하였다[10]. 그림 1에서와 같이 감속 기어는 모터에 연결되고 모터가 한 방향으로 계속 회전하는 동안 수평 슬라이더는 점선으로 표시된 두 개의 수직 축을 따라서 상하로 운동한다. 이 운동이 커플러를 통하여 연결기구(output link)의 회전 운동을 발생하게 되므로, 여기에 부착되는 날개는 식 (1)로 표현되는 날갯짓 각도를 발생하여 큰 각도로 날갯짓 운동을 할 수 있다.

$$\beta = \cos^{-1} \left[\frac{-(O_0O_3 - A\sin\phi)^2 - O_2O_3^2 + O_1O_2^2}{2O_2O_3(O_0O_3 - A\sin\phi)} \right] \quad (1)$$

여기서 A 는 감속기어 중심에서부터 수평 슬라이더를 연결하는 크랭크(crank)의 길이이다.

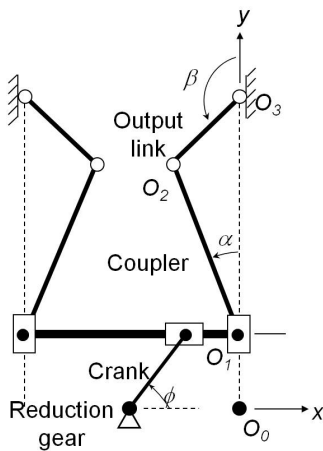


그림 1. 날갯짓 기구의 개념도.

Fig. 1. Schematics of the flapping mechanism.

표 1. 날갯짓 장치의 제원.

Table 1. Dimension of flapping-wing systems.

	Previous	Modified
Length (mm)	30	30
Height (mm)	25	27
Wing span (mm)	122	125
Wings area (cm ²)	18	20
Wings (g)	0.13	0.22
Motor (g)	4.17	4.17
Linkage/Frame (g)	1.98	1.34
Total weight (g)	6.28	5.73

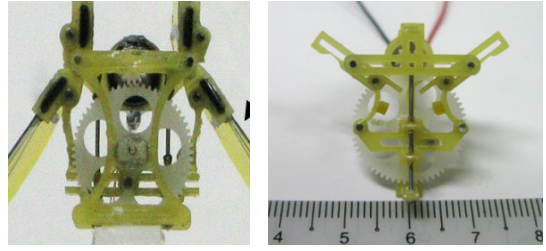


그림 2. 두 종류의 조립된 날갯짓 기구.

Fig. 2. Two types of flapping mechanisms.

이와 같이 수평 슬라이더를 날갯짓 장치에 적용하는 것은 좌우 날개의 날갯짓 운동이 정확히 대칭이 되도록 하게 하기 위함인데, 이 대칭적인 날갯짓 운동은 비행 안정성 확보를 위하여 매우 중요하다.

그림 2는 좌측에 두 개의 수직 축을 갖는 날갯짓 장치를, 우측에는 무게 감량을 위하여 수직 축을 하나로 줄인 경우를 도시하고 있다. 표 1은 완성된 두 종류 날갯짓 장치의 제원을 비교한 자료이다. 모터와 기어를 제외한 부품은 상대적으로 무게가 가볍고 강성도가 우수한 두께 0.8 mm의 유리섬유 강화 판재를 정밀 밀링 가공을 통하여(M300S CE, Woosung E&I Co. Ltd, Korea) 제작하였다.

2. 인공 날개

궁극적으로 날갯짓 비행체는 비행을 위하여 가능한 모든 부품을 가볍게 만들어야 한다. 동시에 무게가 가벼운 초소형 모터를 채택해야 하므로, 모터가 제공하는 토크는 제한적일 수 밖에 없다. 공기력을 발생하는 것은 날개이고, 날갯짓 동안 날개는 모터에 부하를 가하게 된다. 날개의 관성력에 의한 부하를 최소화 하고, 제한적인 모터 토크를 최대한 활용하기 위하여, 날개는 최소한의 강성을 가지고 최대한 가볍게 제작해야 한다. 본 연구에서는 그림 3과 같이, 캡톤 필름 또는 폴리프로필렌 필름을 인공날개의 막 구조로 하고, 탄소섬유 강화 복합재료를 시맥(vein) 구조로 하여 날개의 강성을 확보하였다.

인공 날개는 곤충의 날개와 같이, 날갯짓 동안 큰 각도로 회전할 수 있어야 한다. 이전의 연구에서는 인공 날개가 날갯짓 하는 동안에 발생하는 공기력과 관성력으로 인하여 자동적으로 회전하게 하도록, 그림 3(a)에서와 같이, 유연 힌지를 통하여 날개를 부착하는 방식을 고안하였다[10]. 2대의 초고속 카메라(Photron Fastcam Ultima APX, Japan)를 이용하여 이

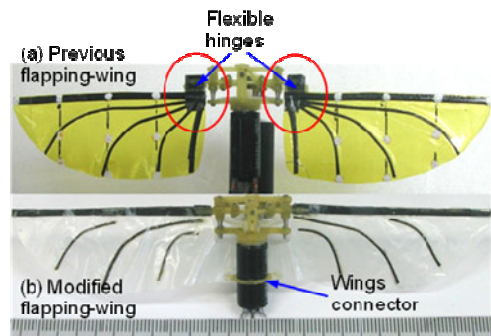


그림 3. 인공날개의 부착.

Fig. 3. Attachment of artificial wings.

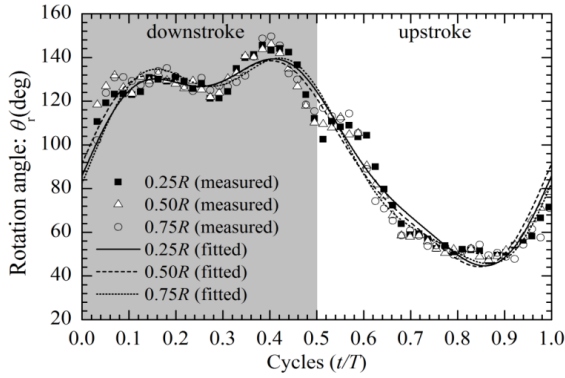


그림 4. 유연 힌지 부착 인공 날개의 회전 각도.
Fig. 4. Rotation angle of wings with flexible hinges.

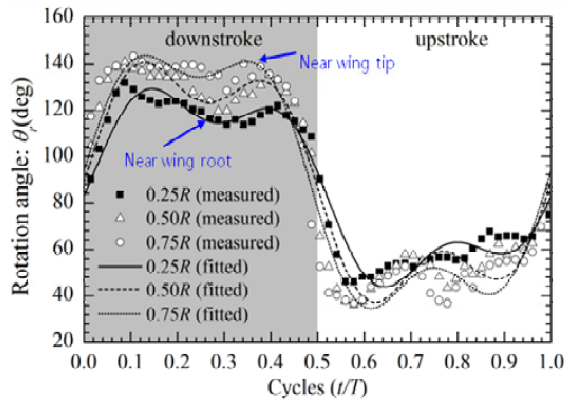


그림 5. 유연 힌지 없는 인공 날개의 회전 각도.
Fig. 5. Rotation angle of wings without flexible hinges.

날갯짓 장치의 날개 운동을 2,000 fps (frame per second)로 측정 한 결과, 그림 4에서와 같이, 인공 날개의 수동 회전 각도는 날개 길이 방향으로 거의 일정함을 알 수 있다. 따라서, 인공 날개를 유연 힌지를 통하여 날갯짓 장치에 부착하는 방법으로는 장수풍뎅이의 뒷날개에서 발생하는 날개의 비틀림을 모방하지 못한다.

수정된 날갯짓 장치에서는 그림 3(b)에서와 같이, 날개의 앞전(leading edge)을 날갯짓 기구의 output link에 직접 부착하고, 양쪽 인공 날개 뿌리(root) 부위의 뒷전(trailing edge)을 모터에 고정하였다. 이 경우에는, 그림 5에서와 같이, 인공 날개에는 날갯짓 동안 자동적으로 비틀림 발생하여, 날개의 뿌리 쪽(0.25 R, 25 % span)에서는 날개 회전 각도가 작고, 끝단 쪽(0.75 R)에서는 날개회전 각도가 크게 됨을 알 수 있다. 이 로써, 수정된 날갯짓 장치는 장수풍뎅이의 뒷날개와 같이 인공 날개에 비틀림을 발생시킬 수 있다.

III. 발생력 예측

위에서와 같이 측정된 날갯짓 운동을 3 또는 6개 항을 갖는 퓨리에 시리즈로 근사하고, 참고문헌 [11]에서 개발한 비정상 깃 요소 이론(UBET: Unsteady Blade Element Theory)에 적용하여 수정된 날갯짓 장치의 발생력을 산출하였다. 이 계산에는 날갯짓 운동에 의한 힘(translational force), 비정상 공기력을 반영하기 위한 added mass, 상향 및 하향 날갯짓 끝에 발생하는 날개 회전에 의한 발생력(rotational force) 및 관성력을

표 2. 두 날갯짓 장치가 발생하는 산출 추력 비교.

Table 2. Comparison of estimated thrusts produced by two flapping-wing systems.

Flapping-wing	Previous	Modified	Difference
Horizontal force	-1.10gf	0.20	-
Vertical force	7.40gf	8.10	9.5%

모두 고려한다. 본 날갯짓 장치의 상향 및 하향 날갯짓 운동은 대체로 대칭적으로 발생하므로, 관성력을 한 주기에 대해서 평균을 내면, 0이 되므로 관성력은 평균 발생력에는 기여하지 못한다. 자세한 수식은 참고문헌 [11]에 제시되어 있으므로, 여기서는 생략하기로 한다.

표 2는 이 방법으로 산출한 평균 발생력을 정리한 것으로서, 유연 힌지를 사용하는 경우(previsou)와 유연 힌지를 사용하지 않은 경우(modified), 날갯짓 장치가 발생하는 평균 추력을 비교하고 있다. 유연 힌지를 사용하지 않고 날개에 비틀림이 발생하도록 수정한 날갯짓 장치가 발생하는 추력이 유연 힌지를 사용한 경우보다 약 9.5 % 증가하였음을 알 수 있다. 이는 수정된 날갯짓 장치의 인공 날개에서는 날개의 비틀림이 발생하여, 날개 전반에서 적절한 받음각을 유지함으로써, 더 많은 날개 영역에서 큰 공기력을 발생시킬 수 있게 되기 때문이다. 이에 대한 상세한 분석은 후속 논문에서 상세히 다루기로 한다. 한편, 수정된 날갯짓 장치는 평균 수평력이 거의 0임도 알 수 있는데, 이는 하향 날갯짓과 상향 날갯짓 동안 날개의 운동이 거의 대칭적으로 발생하기 때문이다.

IV. 구동 시험 및 발생력 측정

제작된 날갯짓 장치의 구동 시험을 실시하여, 모터에 12 V 를 인가할 때에 날갯짓 각도가 약 145~150도 이며, 날갯짓 주파수는 약 35~38Hz 임을 확인하였다. 이 날갯짓 장치가 발생할 수 있는 힘은 그림 6에서와 같은 swing tester를 통하여 측정하였다. 이 장치는 참고문헌 [12]에서 고안한 방법으로, 로드셀로 측정된 추력과 매우 유사한 추력 측정치를 제공함을 이미 확인한 바 있다.

이 swing tester에 장착되어 회전 비행을 하는 날갯짓 장치에 작용하는 힘은 그림 6의 우측에 도시하였고, 이들은 평형점에서 다음의 수식을 만족한다.

$$\vec{T} + \vec{F} + \vec{L} + \vec{W} = 0 \tag{2}$$

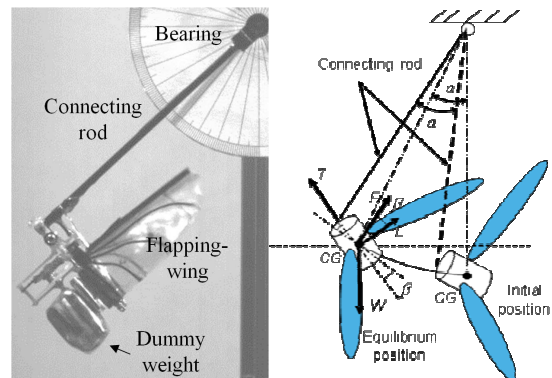


그림 6. Swing tester에 의한 힘 측정의 개념도.
Fig. 6. Schematics of force measurement by the swing tester.

표 3. 두 날갯짓 장치가 발생하는 추력 비교.

Table 3. Comparison of thrusts produced by two flapping-wing systems.

Flapping-wings	Estimated thrust (gf)	Measured thrust (gf)	Difference
Previous	7.40	7.61	2.8%
Modified	8.10	8.55	5.6%
Difference	9.5% ↑	12.4% ↑	

여기서 \vec{T} 는 몸체 축 방향으로 작동하는 추력, \vec{F} 는 연결봉에 작동하는 추력, \vec{L} 는 날갯짓 장치 몸체 축의 수직 방향으로 작용하는 양력, \vec{W} 는 날갯짓 장치의 무게이다. 날갯짓 장치를 이 장치에 장착할 때, 장착각 β 를 0도로 하면, 평형 상태에서 날갯짓 장치의 축 방향으로 식 (3)이 성립한다. 따라서 평형상태의 각도를 측정하면 발생 추력을 측정할 수 있다.

$$T = W \sin \alpha \tag{3}$$

표 3은 이 Swing tester로 측정한 두 날갯짓 장치의 발생 추력과 UBET를 이용하여 예측한 추력을 함께 비교한 것으로서, 유연 힌지를 사용하지 않은 날갯짓 장치가 약 12% 정도 더 많은 추력을 발생함을 알 수 있다(측정치). 이로써, 이들 두 날갯짓 장치 모두가 자체 무게 보다 큰 추력을 발생함을 알 수 있다. 한편, 두 날갯짓 장치에 대해 측정한 추력과 예측한 추력을 비교해보면, 서로 약 3-6%의 오차가 발생하므로, UBET에 의한 추력 예측이 비교적 정확함을 알 수 있다.

V. 수직이륙 시험

날갯짓 장치가 발생하는 추력을 측정한 결과, 평균 발생 추력이 날갯짓 장치의 무게 보다 크기 때문에, 날갯짓 장치가 수직으로 이륙할 수 있다고 예상할 수 있다. 하지만 비행 안정성을 확보할 수 있는 제어 장치가 없는 조건에서 안정적으로 수직 이륙을 하려면, 수정된 날갯짓 장치는 거의 추력만을 발생하므로, 그림 7과 같이, 무게 중심(CG: Center of Gravity)과 추력이 발생하는 공기력 중심(AC: Aerodynamic force Center)이 몸체 축과 나란한 선상에 놓여 피칭 모멘트의 발생을 방지하여야 한다.

하지만 고정된 날개와는 달리, 날갯짓 장치의 경우, 정확한 공기력 중심의 위치를 알 수 없다. 본 연구에서는 참고문헌 [11]에서 고안한 UBET를 사용하여, 수정된 날갯짓 장치의 공력 중심을 계산하였다. 이 계산부터 공력 중심이 그림 8에서와 같이 날갯짓 각도의 중앙(mid-stroke)과 스패 47% 위치에 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 날갯짓 장치를 조립할 때, 날갯짓 각도의 범위를 그림 9에서와 같이 조절하여, 공기력 중심과 무게 중심이 날갯짓 장치의 몸체 축과 나란한 선상에 놓이게 하였다.

이와 같이 방법으로 최종 제작한 날갯짓 장치가 안정적으로 수직 이륙할 수 있는지 확인하기 위하여, 외부 전원공급 장치를 이용하여 날갯짓 장치에 12 V의 전원을 가하였다. 이 때, 연결된 전선의 영향을 최소화 하기 위하여, 두께 0.15 mm의 가는 전선을 사용하였다. 그림 10은 수정된 날갯짓 장치가 수직 이륙하는 모습을 초고속 카메라로 촬영한 연속 사진이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 본 날갯짓 비행체가 아무

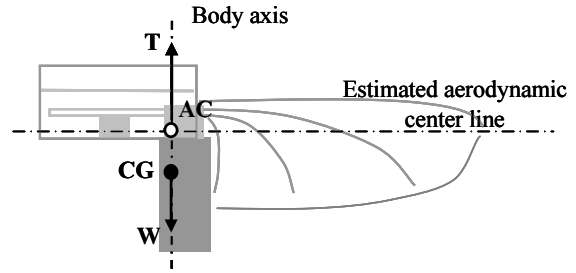


그림 7. 공기력 중심(AC)과 무게 중심(CG).
Fig. 7. Aerodynamic force center (AC) and center of gravity (CG).

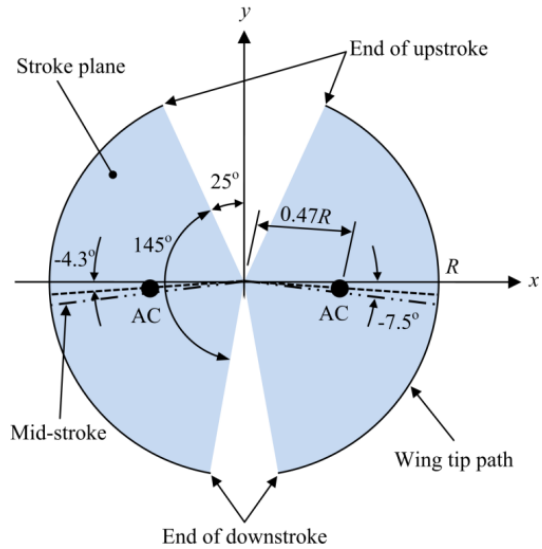


그림 8. 공기력 중심의 위치 (●).
Fig. 8. Location of aerodynamic force center (●).

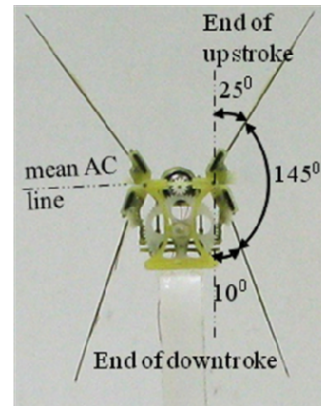


그림 9. 날갯짓 각도 범위.
Fig. 9. Range of flapping angle.

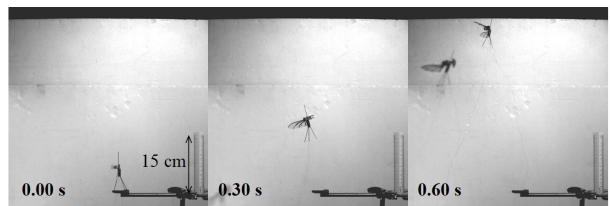


그림 10. 수정된 날갯짓 장치의 수직 이륙.
Fig. 10. Vertical takeoff of the modified flapping-wing system.

런 조종 장치 없이 안정적으로 수직 이륙함을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구에서는 상대적으로 날갯짓 각도가 크고 날갯짓 주파수가 높은 곤충 모방 날갯짓 장치가 자세조종장치 없이 안정적인 수직 이륙이 가능함을 입증하였다. 이를 위해서 정확한 발생력 계산과 공력중심의 예측이 가능해야 하고, 무게 중심과 공력 중심이 몸체 축과 나란한 선 위에 위치하게 하도록 날갯짓 각도의 범위를 조정하여야 한다. 본 날갯짓 장치와 달리 추력과 양력을 동시에 발생하는 날갯짓 장치의 경우에도, 무게 중심과 추력 중심 및 양력 중심의 상대 위치를 분석함으로써 피칭 모멘트가 발생하지 않도록 하여 아무런 자세조종 없이 안정적인 수직 비행이 가능하게 할 수 있다. 이와 같은 방법으로 자세 조종장치가 없는 곤충모방 날갯짓 장치에 내재적인 비행 안정성(*inherent flight stability*)를 부여할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. E. Alexander, *Nature's Flyer*, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA, 2002.
- [2] R. Dudley, *The Biomechanics of Insect Flight*, Princeton University Press, Princeton, USA, 2000.
- [3] J. H. Park, K. J. Yoon, "Designing a biomimetic ornithopter capable of sustained and controlled flight," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 5, pp. 39-47, 2008.
- [4] M. Ramasamy, J. G. Leishman, and T. E. Lee, "Flow field of a rotating-wing micro air vehicle," *Journal of Aircraft*, vol. 44, pp. 1236-1244, 2007.
- [5] C. P. Ellington, "The aerodynamics of hovering insect flight II. Morphological parameters," *Royal Society of London Philosophical Transactions Series B*, vol. 305, pp. 17-40, 1984.
- [6] S. P. Sane, "Review: The aerodynamics of insect flight," *The Journal of Experimental Biology*, vol. 206, pp. 4191-4208, 2003.
- [7] M. H. Dickinson and K. G. Gotz, "Unsteady aerodynamic performance of model wings at low Reynolds number," *The Journal of Experimental Biology*, vol. 174, pp. 45-64, 1993.
- [8] N. O. P'erez-Arancibia, K. Y. Ma, K. C. Galloway, J. D. Greenberg, and R. J. Wood, "First controlled vertical flight of a biologically inspired microrobot," *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 6, 2011.
- [9] Q. V. Nguyen, H. C. Park, N. S. Goo, and D. Y. Byun, "Aerodynamic force generation of an insect-inspired flapper actuated by a compressed unimorph actuator," *Chinese Science Bulletin*, vol. 54, pp. 2871-2879, 2009.
- [10] Q. V. Nguyen, H. C. Park, N. S. Goo, and D. Y. Byun, "Characteristics of a beetle's free flight and a flapping wing system that mimics beetle flight," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 7, pp. 77-86, 2010.
- [11] Q. T. Truong, Q. V. Nguyen, V. T. Truong, H. C. Park, D. Y. Byun, and N. S. Goo, "A modified blade element theory for estimation of forces generated by a beetle-mimicking flapping wing system," *Bioinspiration and Biomimetics*, vol. 6, 2011.
- [12] Q. V. Nguyen, H. C. Park, N. S. Goo, and D. Y. Byun, "Measurement of force produced by an insect-mimicking flapping-wing system," *Journal of Bionic Engineering*, vol. 7, pp. S94-S102, 2010.



판 호양 부

2010년 베트남 호치민 공과대학교 항공 공학과 학사. 2010년~현재 건국 대학교 신기술융합학과 석사 과정. 관심분야는 구조 설계/해석, 생체모방 공학.



트롱 광 트리

2003년 베트남 호치민 공과대학교 항공 공학과 학사 및 석사(2006). 2011년 건국 대학교 신기술융합학과 박사. 2011년~현재 건국대학교 신기술융합학과 전임연구원. 관심분야는 구조 설계/해석 및 생체모방 공학.



구엔 쿠옥 비엣

1999년 베트남 호치민 공과대학교 항공 공학과 학사 및 석사(2003). 2008년 건국대학교 신기술융합학과 박사. 1998년~현재 건국대학교 신기술융합학과 전임연구원. 관심분야는 구조 설계/해석 및 생체모방 공학.



박 훈 철

1985년 서울대학교 항공공학 학사 및 석사(1987). 1994년 미국 메릴랜드 주립 대학교 항공우주공학과 박사. 1995년~2006년 건국대학교 항공우주공학과 교수. 2006년~현재 건국대학교 신기술 융합학과 교수. 관심분야는 구조 설계/해석, 인공근육 작동기, 생체모방 공학.



변 도 영

1994년 KAIST 항공우주공학과 학사, 1996년 석사, 2000년 박사. 2000년~2003년 KISTEP 선임연구원. 2003년~현재 건국대학교 항공우주공학과 교수. 관심분야는 나노프린팅 및 생체모방 공학.



구 남 서

1990년 서울대학교 항공우주공학과 학사, 1992년 석사, 1996년 박사. 1996년~2000년 국방과학연구소 선임연구원. 2000년~2002년 경북대학교 기계공학부 연구 교수. 2002년~2006년 건국대학교 항공우주공학과 교수. 2006년~현재 건국대학교 신기술융합학과 교수. 관심분야는 진동 및 제어, 스마트 구조.