

Article

방패연을 이용한 저비용 비행시험장치 개발

박종서*, 김봉균**, 이상철***

Development of Low Cost Flight Test Equipment by Using Bang-pai Kite

Jongseo Park*, Bonggyun Kim**, Sangchul Lee***

ABSTRACT

In this study, we design a low-cost test equipment for real-time image observation and transmission/reception distance test using 1m by 1.5m bang-pai kite. The image observation is made by using two servo motors to enable the camera to control the two axis attitude. The image observation equipment is hung on the string of a kite and the test is performed to observe the real time image. The transmission and reception distance test of the wireless RF transceiver module is conducted on the ground and in the air.

Key Words : Bang-pai Kite(연), Image Observation(영상관측), Transmission and Reception Distance Test(송수신거리 측정시험), Low Cost Flight Test Equipment(저비용 비행시험장치)

1. 서 론

과거의 항공영상관측은 주로 항공촬영용 비행기를 사용하거나 헬리콥터를 이용한 촬영으로 촬영지역에 대한 환경적인 요인에 제약을 받고 경제적인 측면에서도 많은 비용이 소모되었다. 최근에는 항공 촬영 장비를 무인항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)에 탑재하여 많이 사용하고 있다. 대표적인 예로 드론, Remote Control(RC)모형 비행기를 이용하여 촬영하고 있다.[1] 일반적인 드론과 RC모형 비행기의 경우 비행시간에 제한이 있어 장시간 정찰에는 어려움이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 장시간 높은 고도를 정찰할 수 있는 태양광에너지를 이

용한 무인기 개발에 대한 연구가 진행 중이다.[2]

최근에 연(Kite)을 사용하여 풍력을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 대표적인 예로 연을 이용하여 선박의 인양 및 항해를 보조하는 기술이 연구되고 있으며[3], 독일에서는 선박의 운항에 활용할 수 있는 연과 바람을 이용한 제품인 "Skysail"이라는 상용제품이 출시되었다. 그리고 국내 활용 가능성에 대한 연구가 수행되었다.[4]

본 논문에서는 방패연을 이용하여 장시간 동안 실시간 영상관측을 할 수 있는 저비용 비행시험장치 개발을 기술하였다. 영상관측 장비를 제작한 후 방패연 연줄에 매달아서 실시간 영상관측을 수행하였다.

무인항공기의 무선통신 송수신거리는 운용범위를 결정하는 중요한 요소 중 하나이다. 하지만 이런 송수신거리 측정시험을 지상에서 실시할 경우 무선통신 간에 장애물에 의한 회절이 발생하여 정확한 송수신거리 측정에 어려움이 있다.[5] 방패연을 이용하여 상공에서 장애물의 영향 없이 송수신거리측정이 가능한 저비용 비행시험장치를 제작하였고 이를 통해 무선 송수신 모듈

Received : 22. Aug. 2017. Revised : 12. Sep. 2017.

Accepted : 26. Sep. 2017

* 한국항공대학교 항공우주공학과

** 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

*** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail : kbgyun12@naver.com

경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76

NRF24101의 송수신거리를 측정하였다.

본 논문에서는 설계 요구조건을 충족시키는 부품을 선정하여 영상관측 장비(payload) 부품을 결정하여 설계 및 제작을 수행하였다. 방패연 풍동실험 연구[6]의 공력데이터를 참조하여 영상관측 장비(payload)의 무게를 올릴 수 있는 양력을 계산하고 이에 따라 방패연을 설계하고 제작하였다. 설계 및 제작된 방패연과 영상관측 장비(payload)를 이용하여 실시간 영상관측과 송수신거리 측정시험을 수행하여 저비용 비행시험장치를 검증하였다.

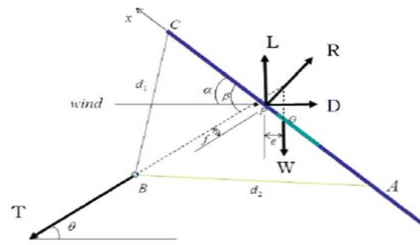


Fig. 1 Actuating force of Bang-pai kite

II. 본 론

1. 방패연 분석

1.1 방패연의 공기역학적 분석

방패연은 Fig. 1과 같이 연의 무게, 줄의 인장력과 풍력에 따라 항력과 양력이 발생한다. 방패연이 정적인 평형상태를 유지하기 위한 조건은 다음 식과 같다.[6]

$$L = W + T \sin \theta \quad (1)$$

$$D = T \cos \theta \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{L - W}{D} \right) \quad (3)$$

T : 인장력, L : 양력, D : 항력, W : 연의 무게, θ : 연실과 지평선 사이의 각도

식(1)과 식(2)로부터 연실-지평각 θ 를 유도할 수 있다. 방패연이 평형상태를 이루게 되면 식(3)의 θ 는 변하지 않는다. 평형상태가 아닐 경우 연실의 매듭점인 B에서 연을 회전시키는 모멘트가 발생하게 된다. 이때 회전모멘트의 영향으로 받음각 α 가 변화하게 된다. 변경된 받음각은 연의 양력과 항력의 방향과 크기를 변화시키므로 연이 움직이게 된다. 즉 방패연이 평형상태를 이루기 위해서는 인장력 T 와 공기력의 합력인 R , 연의 무게 W 가 평형을 이뤄야 한다.

1.2 방패연의 방구멍 분석

Table 1은 가로 30cm, 세로 50cm 방패연의 방구멍 크기에 따른 연줄에 미치는 인장력을 풍동실험을 통해 구한 결과이다.[7] 방구멍의 직경이 10cm일 때 풍속에 따른 인장력이 가장 큰 것을 볼 수 있다.

Table 1. Tension data

(unit : gf)

풍속 (m/s)	방구멍의 직경(cm)				
	0	5	10	15	20
3	35.2	36.1	37.4	36.5	30.1
4	42.1	43.2	45.9	45	38.7
5	63.6	65.7	68.9	67.1	58.3
6	88.3	90.1	94.5	92.6	80.1
7	101.2	105.3	110.2	108.2	92.3

1.3 방패연의 양력계수 분석

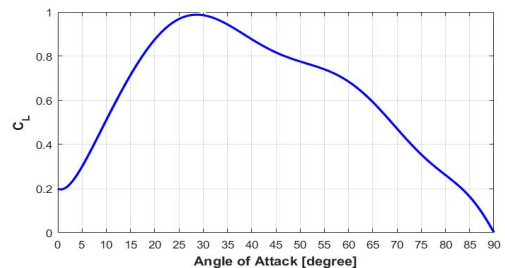


Fig. 2 Lift coefficient of kite

풍동실험을 통해 구한 방패연의 받음각 양력계수 데이터는 Fig. 2 와 같고, 받음각이 30도 일 때 최대양력 계수를 갖는다.[8]

2. 영상관측 장비(payload) 설계 및 제작

2.1 영상관측 장비 설계

지상에서 실시간으로 영상을 수신하여 목표대상을 관측할 수 있는 영상관측 장비를 설계 하였다. 영상관측 장비의 Architecture는 Fig. 3과 같다.

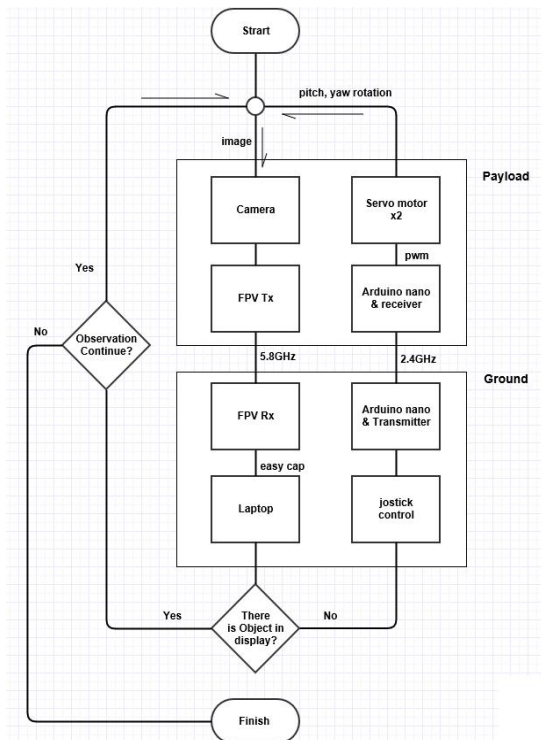


Fig. 3 Payload Architecture

목표대상을 카메라로 지속 관측하기 위해서, Servo motor 2개를 사용하여 카메라가 Pitch, Yaw 방향으로 구동이 가능하도록 하였다. 지상에서 실시간 영상 송수신기를 이용해 모니터링을 수행하였다. 관측물이 렌즈초점을 벗어날 경우 컴퓨터와 영상관측 장비에 설치된 송수신 모듈을 통해 Servo motor를 제어하도록 설계하였다.

2.2 영상관측 장비 제작

상공에서 실시간 영상관측을 위해 Camera, A/V Transmitting Tx, FPV antenna, 자세제어를 위해 Servo motor MCU, transceiver를 Table 2와 같이 선정하였다.

Figure 4와 같이 Catia를 통해 영상관측 장비 프레임 설계를 하였으며, 3D printer를 사용하여 제작하였다. Catia assembly tool을 이용하여 영상관측 장비에 들어가는 부품들의 무게중심을 계산하였다. Fig. 5와 같이 무게중심이 영상관측 장비의 가운데에 위치하도록 배치하였다.

Table 2. Specification of Payload

항목	부품
Camera	Firefly 6s
Servo motor	mg-90, mg-90s
MCU	arduino nano
FPV antenna	dys 5.8G 4dbi dual band FPV Mushroom antenna
A/V Tx Transmitting	Skyz pne 5.8Ghz 600mw
bread board	Mini Solderless prototype breadboard
transceiver	NRF24l01-2.4ghz
battery	pt-b1400n-sp55(11.1V, 1400mAh)

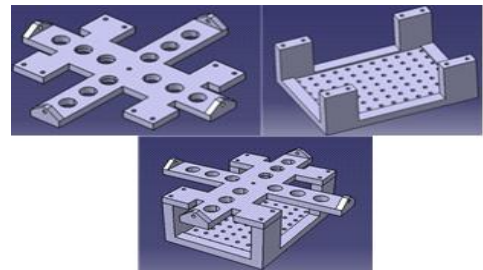


Fig. 4 Frame Design by CATIA

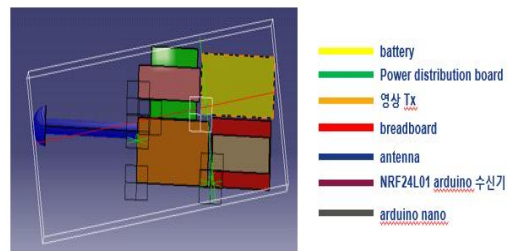


Fig. 5 Payload arrangement drawing

모든 부품을 결합한 영상관측 장비를 연줄에 장착하기 위해 Fig. 6과 같이 줄과 도르래 원리를 사용하였다. Frame은 연이 흔들려도 Gimbal 역할을 해주고 영상관측 장비 자체의 회전을 최소화 하도록 제작하였다.

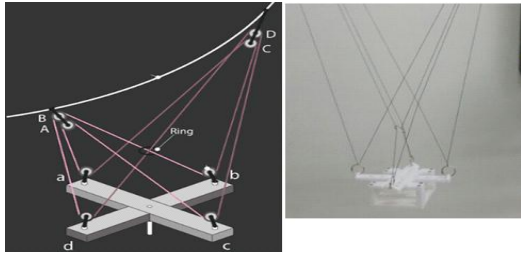


Fig. 6 Line tying for leveling

줄을 A-a-C-b-R-B-d-R-D-c-A 순으로 연결하여 연의 비행각과 상관없이 수평을 유지할 수 있도록 하였다.

영상관측 장비에서 A/V Rx Transmitting을 통해 지상으로 영상데이터를 수신 받았으며 영상데이터를 노트북으로 관찰하기 위하여 Easycap과 Battery를 연결하였다. 그리고 Fig. 7과 같이 Servo motor를 제어하기 위한 제어파트를 제작하였다.

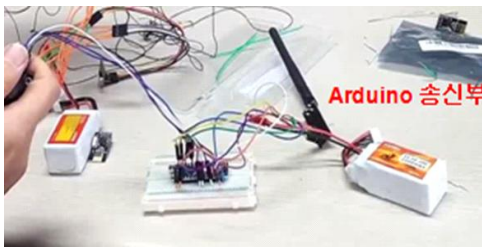


Fig. 7 Control equipment

3. 방패연 설계 및 제작

3.1 방패연 면적 최적화 설계

방패연은 Fig. 2의 양력계수를 기반으로 연의 면적을 설계하였다.

$$S = \frac{2L}{\rho u_{\infty}^2 C_l} \quad (4)$$

S : 연의 면적 L : 양력 ρ : 밀도 u_{∞} : 풍속 C_l : 양력계수

식(4)에 방패연 양력계수는 평균인 $C_l = 0.5$, 표준 공기밀도 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, 양력 L 은 영상관측 장치의 연과 줄의 무게를 고려하여 $0.69 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$ 로 가정하였다. 계산된 풍속에

따른 방패연 면적은 Table 3과 같다.

풍속 [m/s]	방패연 크기 [m^2]
	$C_l = 0.5$
1.5	9.8233
2	5.5256
2.5	3.5364
3	2.4558
3.5	1.8043
4	1.3814
4.5	1.0915
5	0.8841
5.5	0.7307
6	0.6140

3.2 방패연 제작

방패연의 천은 축청지를 사용하였으며 연의 덧살은 맹죽, 연실은 무명실을 사용하여 제작하였다. 방패연을 테스트할 인천지역의 평균풍속 ($u_{\infty} = 3.9 \text{ m/s}$)을 고려하여 방패연 면적의 크기는 Fig. 8과 같이 1.5 m^2 로 제작하였다.

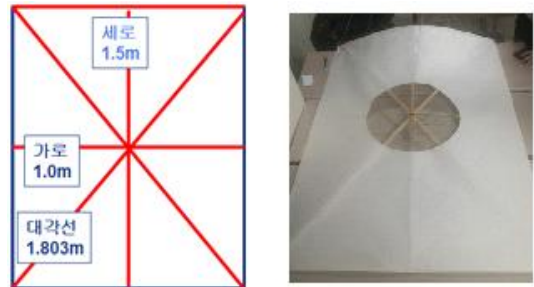


Fig. 8 Design & manufacturing of Bang-pai kite

Figure 9와 같이 공수 구멍의 위치는 중심살의 끝에서 덧살이 교차하는 방구멍의 1/2지점으로 제작하였으며 목줄과 공수줄의 길이는 동일하도록 하였다.

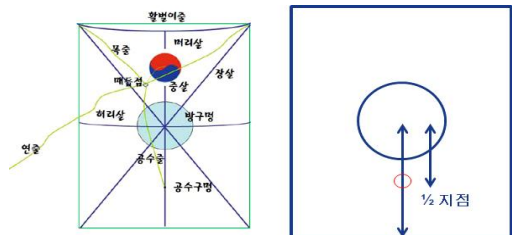


Fig. 9 design of bang-pai kite

4. 비행시험 및 영상관측 시험

4.1 지상 시험

실시간으로 자세제어가 작동하는지 확인하기 위해 지상시험을 수행하였다. Skyzpne 5.8Ghz 600mw을 사용하여 실시간영상수신 Test를 진행하였고 송신부의 Joystick으로 서보모터 제어테스트를 수행하였다.

4.2 비행시험

지상시험 후, 가로 1m, 세로 1.5m 방패연 비행시험을 10회 수행하였다. 비행시험 결과 Table 4에서와 같이 제작된 방패연은 영상관측 장비를 탑재하였을 경우 환경조건인 풍속 $3.3m/s \sim 3.9m/s$ 을 만족해야 비행이 가능함을 확인하였다.

Table 4. Flight Test

시험	날짜 (년.월.일)	날씨	장소	풍속 [m/s]	비행 시간 [min]	영상 관측 장비 탑재 유무
1	17.02.12	sunny	항공대	2.0	실패	x
2	17.02.12	sunny	항공대	3.0	25	x
3	17.02.21	cloud	항공대	3.2	20	x
4	17.05.13	sunny	김포시 나진교	4.0	35	x
5	17.03.27	cloud	대부도	4.5	실패	x
6	17.03.03	sunny	항공대	3.3	15	o
7	17.03.04	sunny	항공대	3.5	15	o
8	17.04.01	sunny	김포시 나진교	3.9	30	o
9	17.04.02	cloud	김포시 나진교	4.5	실패	o
10	17.04.10	cloud	대부도	5.2	실패	o

4.3 영상관측 시험

방패연 환경조건을 만족할 때 영상관측 시험을 실시하였다. Fig. 10과 같이 관측대상을 자동

차로 설정하고, 약 30분 동안 지속적으로 자동차를 대상으로 카메라 자세제어를 수행하여 실시간 관측에 성공하였다.



Fig. 10 Observation of target

5. 송수신거리 측정시험

무선 송수신 모듈 NRF24I01의 송수신거리 측정시험은 지상에서와 상공에서 각각 수행하였다. 실험진행방식은 거리를 증가시키며 원격 자세제어를 하고 더 이상 무선 송수신 모듈 NRF24I01을 이용한 제어가 실시간 모니터 화면에 나타나지 않을 때의 송수신거리를 측정하였다.

Table 6. NRF24I01 Distance Test

시험조건	송수신 거리 [m]
Spec	100~150
Ground	125
Sky	150

테스트 결과 Table 6과 같이 지상에서는 125m 상공에서는 150m를 기록하였다. 지상과 상공 모두 무선 송수신 모듈 NRF24I01의 스펙인 100m ~ 150m 송수신 거리를 만족하는 것을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 방패연을 이용하여 실시간 영상관측과 송수신거리 측정시험을 진행 할 수 있는 저비용 비행시험장치를 개발하였다.

실시간 영상관측을 위한 payload 구조물은 Catia로 설계하고 3D-printer를 이용하여 제작하였다. Payload 제작 후 무게를 측정하고 방패연의 공력데이터를 참고하여 방패연의 면적을 계산하고 이에 따라 방패연을 제작하였다.

영상관측은 payload를 연줄에 매달아서 실시간 영상관측을 수행하였다. 저비용 비행시험장치를 사용하여 상공에서 무선 송수신 모듈 NRF2401의 송수신거리 측정시험을 수행하였으며 지상시험 결과와 비교하였다.

비행시험 환경조건이 만족될 경우 대형 방패연을 사용하여 장시간 관측이 가능할 것이다. 또한 이 시험 장치를 이용하여 무인항공기에 사용되는 송수신기의 송수신거리 측정시험 등을 저비용으로 수행 할 수 있을 것이 기대된다.

of Dong-Eui Institute of Technology, Vol. 26, No. 1, pp.333-339, 2000.

- [8] Chi-Hang Kang. "A Study of Wind Tunnel Test of a Korean Traditional Bangpae Kite with the Wind Hole and Spanwise Curved Dihedral", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.39, No.9, 2011, pp.866-870.

Reference

- [1] Byung Guk Kim, Dong Hoon Yoo, "A model Plane Photographing System and Information Collection for Facilities", The journal of GIS Association of Korea, Vol 6, April 1998, No.1, pp.1-10
- [2] Moo min Park, Bo hwa Lee, Keun bae Kim. "Flight test of high altitude solar UAV's electric propulsion system." 2015 KSPE Fall Conference, 2015.11 pp.976-980.
- [3] Lorenzo Fagianio, Mario Milanese, Valentino Razza, and Mario Bonansone, "High-Altitude Wind Energy for Sustainable Marine Transportation", IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol.13, No.2, 2012, pp.781-791
- [4] Woo Seok Park, Jin Hee Park, "Examination and Utility Analysis about SkySails System Application in the Coastal Waters", Journal of navigation and port research, Vol.32, No.10, 2008, pp.813-819
- [5] Chan Joo Lee, Ui Seok Hong. "The Effect of Antennas on the Diffraction by Obstacles in Radio Communication." Journal of the Korea institute of telematics and electronics, Vol.29A, no.5, 1992, pp. 380-385
- [6] Chi-Hang Kang. "A Study on Trim Flight Condition for a Korean Traditional Bangpae Kite with Low Aspect Ratio", Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.39, No.9, 2011, pp.871-876.
- [7] Lee, Sun Woo, "An Experimental Study on the Manipulation Performances of the Korean Traditional Kite, Bangpae," Journal