

## 장기체공을 위한 태양광 무인기 설계 - 임무

김태영\*, 김길수, 권기주, 이현웅, 이학태  
인하대학교

### Solar Powered Long Endurance Unmanned Aircraft Design - Mission

Tae Young Kim\*, Gil Su Kim, Ki Ju Kwon, Hyeon Woong Lee, Hak-Tae Lee

**Key Words** : 태양광 무인기 (Solar Power Unmanned Aircraft), 비행 전략 (Flight Strategy), 체공시간 (Endurance)

#### 서론

전 세계적으로 수년전부터 환경오염과 자원고갈을 이유로 친환경 에너지 사용의 필요성이 부각되고 있으며 여러 분야에서 태양광 장기체공 무인기에 대한 개발이 진행되는 중이다. 인하대학교에서 2016년 종합설계교과목의 주제로서 장기체공을 위한 태양광 무인기 설계 및 제작이 선정되어, 학부생들이 태양 에너지, 비행 전략, 기체 최적 설계 및 제작, 비행시험으로 이어지는 일련의 과정을 수행하였다.

본 논문에서는 이 중에서 태양 에너지를 효과적으로 저장 이용할 수 있는 비행 전략을 제시한다.

#### 본론

장기체공을 위한 항공기는 높은 양항비가 필요하다. 형상 설계 시, 이 요구조건을 만족시키기 위해 세장비를 크게 하지만 날개 길이 2m의 제약조건이 있는 상태에서 시위길이가 짧아지면 태양전지의 부착면적이 줄어들기 때문에 시위 길이에 제한이 있다.

시중에 판매되고 있는 태양전지의 규격을 고려하여 2m의 날개폭과 0.25m의 시위길이를 가지는 항공기를 본 연구에 연계하여 자체 제작하였으며, 이 항공기의 최대비행시간을 계산하기 위해 사용된 이 기체의 제원은 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of UAV

총 중량 (배터리 중량)	$C_L$	$C_D$	태양광패널 면적 $S_s$
2.2 kg (0.68kg)	0.8633	0.05656	$0.5m^2$
날개폭 /시위	속도	배터리 출력	태양광패널 효율
2 m /0.25m	10 m/s	26.4 W	0.18
모터효율 $\eta_{motor}$	ESC효율 $\eta_{esc}$	프로펠러 효율 $\eta_{prop}$	동력계통 총 효율
0.8	0.8	0.75	0.48

#### 1. Sun Position

태양광 무인기를 설계할 때 중요한 요소는 태양전지로 들어오는 에너지의 양이다. 또한 날짜와 출발 시각 등 환경조건이 최대비행가능시간에 변수로 작용하기 때문에 위 조건들을 고려한 실제 사용가능한 에너지의 예측과 계산이 필요하다.

체공시간을 계산하기 위해 일사량에 대한 계산이 선행되어야 한다. 인천 지역에서 3, 6, 9, 12월 태양의 위치에 따른 일사량을 계산한 결과를 Figure 1에서 확인할 수 있으며, 12월의 일사량을 기준으로 연구를 수행하였다.

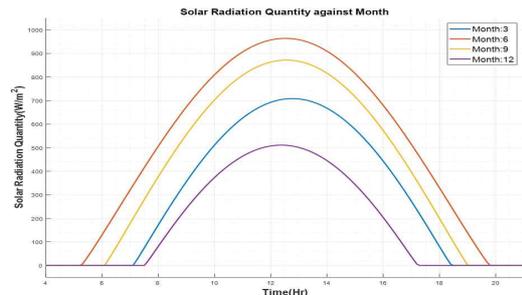


Fig. 1. Daily Irradiance,  $I_{sun}$

$$P_{input} = I_{sun} S_s \eta_s \quad (1)$$

$$P_{output} = \frac{DV}{\eta_{prop}\eta_{motor}\eta_{esc}} = \frac{\rho V^3 S_{wing} C_D}{2\eta_{prop}\eta_{motor}\eta_{esc}} \quad (2)$$

입력 파워는 시간에 따른 함수로서 태양의 고도각을 감안한 단위 면적당 단위 시간당 에너지에 태양 전지의 면적과 효율을 곱해서 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 무인기의 모터에서 소모하는 파워는 항력과 속도의 곱인 비행 동력을 동력계통의 효율로 나눠 식 (2)와 같이 계산할 수 있다.

#### 2. Flight Strategy

비행은 고도 1,000m에서 배터리가 완전 충전된 상

태로 순항비행이 시작되어 배터리가 소진된 후 무동력 활공으로 착륙한다고 가정하였다. 체공 시간은 비행 시작 시각부터 고도가 0이 되는 순간까지로 계산하였다.

### 2.1 Climbing Strategy

일반적으로 배터리의 용량이 커질수록 체공시간이 길어지나, 중량의 증가로 인한 동력의 손실이 있기 때문에 태양 에너지를 최대한으로 이용하기 위해서는 배터리의 전기 에너지로 저장하는 방법과 고도 상승을 통한 위치에너지로 저장하는 방법 사이에 적절한 배분이 중요하다. 고도 상승에 있어서는 일정한 출력으로 상승 비행하는 방법과 미리 계산된 에너지 발전량을 이용하여 충전될 만큼의 양을 사용하여 고도를 상승시키는 방법을 비교하였다.

#### 2.1.1 Climbing with Constant Power

일정한 출력을 사용할 때, 배터리가 완전 충전 되지 않아 에너지의 낭비 없이 효율적으로 전환할 수 있는 일정한 출력 값의 범위를 지정하였다. 여러 출력 값에 따른 최대 체공시간에 대한 비교를 Table 3에서 확인할 수 있다.

Table 3. Flight Time with respect to Climb Power

상승출력	42W	44W	46W
체공시간	13.17h	13.80h	13.63h

#### 2.1.2 Climbing with Excess Power

배터리가 완전 충전된 후, 태양 입사 에너지와 순항 비행에 필요한 에너지의 차이를 이용해 상승을 하는 경우에는 Figure 3과 같이 약 13시간 30분 체공이 가능하였다.

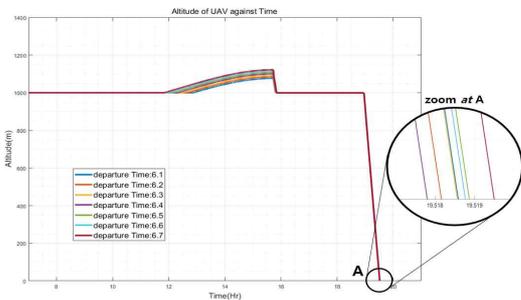


Fig. 3. Altitude with Respect to Time

### 2.2 Starting Time

비행시작시각이 이른 경우 충분한 충전이 되기 전 배터리를 모두 소진하여 체공시간이 크게 단축된다. 따라서 앞에서 설명한 44W 상승 전략을 사용하였을

때 출발 시각에 따른 체공 시간의 변화를 계산하여 Fig. 2에 제시하였다. 배터리가 소진 되는 시점은 출발 시각에 따라 거의 달라지지 않기 때문에, 비행을 시작해서 배터리가 소모되다가, 일출 직후 나타나는 배터리의 최저 잔량이 최소 허용치인 전체 용량의 10%와 같아지도록 하는 출발 시각이 최대 체공시간을 제공할 수 있다.

마지막으로 3가지 배터리 용량으로 계산을 수행하였다. 11.1V, 4000mAh의 370g, 14.8V, 5000mAh, 680g, 14.8V, 5000mAh의 730g, 이렇게 3가지 배터리를 비교한 결과 680g 배터리가 가장 긴 체공 시간을 제공했고, 이에 대한 최적의 출발 시각은 Table 2에서와 같이 6시 12분임을 알 수 있다. 최종적으로 주어진 조건에서 최대 체공시간은 13시간 30분으로 계산이 되었다.

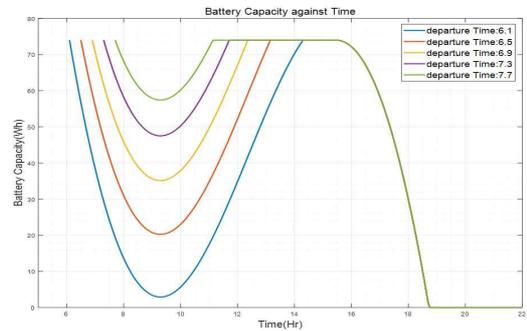


Fig. 2. Battery Status

Table 2. Possible Flight Time

출발시간	6시12분	6시18분	6시24분	6시30분
체공시간	13.520h	13.505h	13.485h	13.455h

### 결론

태양광 무인기의 체공시간을 극대화시키기 위한 비행 시작시각과 고도상승 방법을 포함한 비행전략에 대하여 계산하였고, 배터리 용량에 따른 차이도 비교하였다.

향후 태양전지를 부착한 실기 제작을 통하여 수평비행과 상승비행시 소모되는 전력, 태양전지로부터의 발전량 등의 측정을 통해 설계된 비행전략과 실제 비행의 유사성을 판단할 계획이다.

### 참고문헌

- 1) 배재성, 박상혁, 김학봉, 이수용, 홍예선, 안일영, 정민정, 최수민, 김승중, “소형 RC 비행기를 이용한 장기체공 태양광 무인항공기 개발에 관한 연구”