

장기 체공 태양광 드론의 비행시간 연장에 관한 실험적 검증

이우람

경운대학교 무인기공학과

Experimental Verification on the Extending Flight Time of Solar Paper for Drone using Battery for Electric Vehicles

Wooram Lee

Department of Unmanned and Autonomous Vehicle Engineering, Kyungwoon University

요약 최근 드론에 탑재량 증가에 따라 비행시간 연장에 대한 수요 및 농업용을 활용하는 방안이 필요하다. 현재 태양 전지를 이용한 드론의 배터리 기술에 의해 탑재 무게 증가 및 비행시간 연장에 관한 연구가 수행되고 있다. 또한, 지속적인 비행을 위해 배터리를 충전하거나 교체해야 하는 번거로움을 줄이기 위한 대안으로 태양 전지를 이용한 드론이 실용적인 해결 방안으로 제시되고 있다. 이에 본 연구에서는 드론의 주동력 시스템을 최적화하기 위해 기존 배터리와 태양 전지를 부착하여, 태양광 드론을 실험적으로 분석 및 검증하였다. 그 결과 태양광 드론은 약 2-3% 정도의 비행시간을 연장하였다. 제안된 태양광 드론은 비행 시 평균 55W의 에너지 소모를 하며, 태양 전지의 최대 충전 시 약 25W의 에너지를 공급받았다. 이를 통해 장기 체공을 위한 비행시간 연장을 실험적으로 검증하였다.

• 주제어 : 드론, 농업, 장기 체공 시간, 태양 전지, 하이브리드 드론

Abstract Recently, for drones to be used for agricultural applications, it is necessary to increase the payload and extending flight time. Currently, the payload and extending flight time are limited by the battery technology for solar paper drone. In addition, charging or replacing the batteries may be a practical solution at the field that requires near continuous operation. In this paper, the procedure to optimize the main power system of an electric hybrid drone that consists of a battery and electric motor is presented. As a result, the solar paper drone flew successfully for 2-3%. The developed solar paper drone consumes and average of 55W when cruising and can receive up to 25W of energy during the day, and its extending flight time was verified through flight tests.

• Key Words : Drone, Agricultural, Extending flight time, Solar paper, hybrid drone

Received 26 September 2023, Revised 08 November 2023, Accepted 25 December 2023

* **Corresponding Author** Wooram Lee, Department of Unmanned and Autonomous Vehicle Engineering, Kyungwoon University, 730 Gumi-dearo, Gumi-si, Gyeonghanguk-do, Republic of Korea. E-mail: wooramlee2002@gmail.com

I. 서론

4차 산업혁명 시대에 드론은 자율 이동체로 분류되어 기술적인 요소 중 하나로 제시되고 있다. 드론은 군사용 목적 등 제한적인 범위에서만 적용 및 응용되었지만, 현재까지 지속해서 축적된 다양한 기술의 혁신과 발전을 토대로 드론의 활용 영역이 상업 및 민간 용으로 그 범위가 상대적으로 크게 확장되면서 관련 산업의 시장 규모도 크게 확대되고 있다[1-3].

드론을 활용한 서비스 산업의 경우 농업, 사회 기반 시설 모니터링, 건축 및 측량 등에 특수 목적용 시장에서 크게 성장하고 있다. 하지만 현재 드론(소형 무인기 등)의 경우 배터리를 사용하기 때문에 채공(비행) 시간이 최대 약 20-30 min 내외이며, 비교적 짧은 시간으로 인해 운용 및 적용 범위에 상대적으로 많은 제약이 존재한다[4]. 더구나 소형 드론의 경우 비행시간을 확보하기 위한 다양한 방법으로 배터리 수량을 늘리는 경우 비행시간은 향상되지만, 늘어난 수량으로 인해 무게가 증가하여 비행 성능이 상대적으로 감소하게 되고, 드론 자체의 무게 증가로 배터리 소모가 크기 때문에 정찰 관련 임무 수행 시 비행시간 제한으로 인해 운용 및 점검자가 배터리 상태를 수시로 확인해야 한다[5]. 또한, 정해진 시간 내에서 정찰 임무를 완수해야 하며, 비교적 세밀한 점검이 필요한 손상 부분을 집중적으로 장시간 점검하는 것이 불가능하다.

이에 본 연구에서는 드론의 비행시간을 연장하기 위해 태양 전지를 적용하여 전원공급 시스템을 개선하여, 전원 공급장치의 용량에 따른 드론의 실제 비행시간과 태양 전지를 장착한 시스템의 성능을 확인하고자 한다.

II. 선행연구 사례

국내에서는 2000년 대 초를 기준으로 군단 정찰용 무인 이동체 송골매를 운용되기 시작되었으며, 최근 한국 항공 우주 연구원 및 국방 과학 연구소 등의 국책 연구 기관과 대학 및 소수 업체에서 설계 및 개발을 수행하고 있다. 장기 채공의 목적으로 정찰, 기만 및 감시용으로써 군사적 목적과 사회 안전망 확보에 적용할 민수용 시장이 확대되고 있다고 재난 재해를 관리하거나 정보 수집의 목적으로 개발이 이뤄지고 있으며, 장시간 채공 성능을 통해 다양한 형태와 크기 및 성능으로 개발 운용되고 있다[6].

세종대학교에서 고고도 장기 채공 태양광 추진 무인 항공기 설계를 위한 기본 형상의 특성을 분석하고, 예상되는 중량에 대한 항력 변화를 추정할 수 있는 연구를 수행하였다[7-8]. 태양광 전지로부터 가용할 수 있는 에너지와 상승하는 비행체에 필요한 에너지 균형을 통해 무인 이동체에 상승 비행을 예측하는 연구를 수행하였다[9]. 항공대학교에서는 태양광 무인기의 전기 추진 시스템과 발전 시스템을 개발하여 약 12시간 이상의 연속 비행을 수행하고 이를 통해 시뮬레이션 프로그램을 개발하여, 설계된 시스템에 검증을 수행하였다[10].

국외의 경우 태양 전지를 이용한 무인 이동체의 개념은 1974년에 제시되었으며, 기술 개발 초기 태양 전지의 전력은 단순히 모형 이동체를 구동하는데 제한점이 다수 발생하였고, 이를 해결하기 위한 다양한 연구 보고를 통해 태양 전지의 효율이 향상하게 되었고 전동을 이용한 모형 비행기를 운용할 수 있게 되었다. Astro Flight Inc. 社에서 제작한 Sunrise I 은 기체 무게 약 12.25kg, 날개 길이가 약 9.76m 이며, 1974년 11월 4일 약 20min 간 비행을 하였다. 또한, 추후 개발된 Sunrise II의 경우 기체 무게가 약 10.21kg 줄었으며, 비행 시 운용 효율이 약 14 %인 태양 전지를 장착하였다[11].



Fig. 1. Sunrise II(Astro Flight Inc.) [12]

1999년 NASA에서 제작된 Helios 의 경우 태양 전지와 연료 전지를 적용한 하이브리드 무인 이동체이다. 꼬리 날개 부분이 제외되고, 가장 큰 특징으로는 가로축으로 된 긴 날개가 장착하고 있다.



Fig. 2. Helios (NASA) [13]

국내의 연구 동향을 분석한 결과 실용화를 위한 태양광 무인 이동체 설계의 경우 저고도에서 비행 안정성, 내구성 및 지속력을 추구하고 있으며, 이를 통해 기상 조건으로 인한 태양 일사 조건의 변동을 예측 및 고려해야 한다. 실제 기상 데이터를 기반으로 일사 조건 등을 파악하여 태양 전지를 통한 동력 생산을 예측할 수 있으며, 요구된 조건에 따라서 동력을 소모할 때 전류량을 파악하여 소모된 배터리의 비행시간을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 덧붙여, 기상 조건에 따른 일사량에 변화를 예측하여 배터리 소모 및 성능을 비교하여 연속 비행 여부를 확인할 수 있다.

III. 태양광 무인 이동체

태양광 무인 이동체의 경우 태양 에너지를 이용하여 어떠한 형태의 무인 이동체에도 적용할 수 있지만, 장기 체공을 위해선 낮 동안 소모되는 에너지보다 더 많은 에너지를 배터리에 저장해야 하는 단점이 있으며 이는 태양 전지의 효율이 높을수록 장기 체공에 적용성이 높다. 상용화된 태양 전지의 경우 효율이 약 20% 정도이며, 태양 전지에서 발전하는 전력량이 무인 이동체에서 소모되는 전력량보다 적을 때 장기 체공할 수 없다. 이에 장기 체공을 위한 태양광 무인 이동체의 형태는 태양 전지의 부착 면이 넓은 고정익 형태의 날개가 적용성이 높으며, 비행 성능이 좋은 가로세로비가 큰 날개를 활용해 소비되는 에너지를 줄일 수 있다. 한국항공대학교에서는 이와 같은 제한 사항을 개선 및 적용하여 개발한 SPUAV 는 장기 체공 태양광 무인기는 가로세로비가 큰 형태를 가지고 있다.



Fig. 3. KAU-SPUAV(2019) [14]

태양광 무인 이동체의 원리는 낮에는 태양으로부터 태양 전지를 통해 필요한 에너지를 획득하고, 추진을 유도하거나 가동할 수 있는 전자 부품에서 소모하고 남은 에너지를 배터리에 저장하는 시스템이다. 이를 통해 태양으로부터 에너지를 얻을 수 있는 밤에는 배

터리에 저장된 에너지를 이용하여 배터리를 저장하거나 소비를 하고, 이런 과정을 반복하여 태양광 무인 이동체의 장기 체공의 성능을 높일 수 있다.

태양광 무인 이동체는 에너지를 생산할 수 있는 부분이 한정되어 있고, 장기 체공 및 보조 전력을 적용하기 위해 에너지를 체계적으로 관리하는 것이 매우 중요하다. 생산된 에너지를 관리하기 위한 주요 시스템은 태양 전지, MPPT(Maximum Power Point Tracking) 및 배터리 등이 있다. 태양 전지는 에너지를 생산하고 MPPT를 이용해 최대 전력 지점을 추정 및 예측한다. 그리고 충전기를 이용해 배터리에 에너지를 저장하게 된다.

태양 전지는 프랑스 물리학자 에드몽 베크렐(Alexandre Edmond Becquerel)에 의해 1939년에 개발되었다[15]. 그리고 Bell Laboratories에서 1세대 태양 전지를 상용화하였다. 초기 태양 전지의 효율은 약 6% 정도였으나, 다양한 기술 개발을 통해 태양 전지의 효율은 향상되었다. 태양 전지의 경우 광전효과에 의해 전기 에너지를 생산한다. 태양 전지는 Fig. 4 는 n 형 반도체와 p 형 반도체로 이뤄져 있다. 태양광이 태양 전지에 입사되면 n 형 반도체에서 전자가 생성되고, p 형 반도체에서 전공이 생성하게 된다. 이때, 태양 전지의 전극을 통해 전자가 이동하게 되면서 전기가 흐르게 된다.

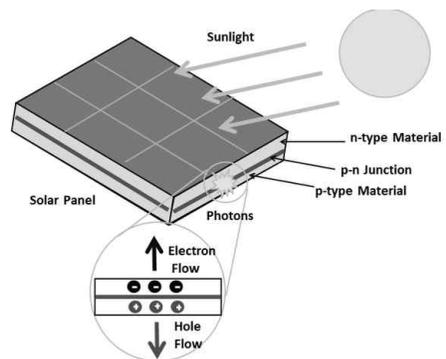


Fig. 4. Diagram showing the photo voltaic effect [16]

태양 전지는 다양한 종류가 있으며, 크게 결정형과 박막형으로 구분되며 결정형은 실리콘 웨이퍼를 이용해 제작된다. 이로 인해 충격에 의한 파손의 위험이 있고, 박막형 태양 전지보다 비교적 무거운 단점이 있다. 박막형 태양 전지는 유리나 플라스틱 수지와 같은 기판 위에 만들어 비교적 얇고 유연한 형태로 제작할 수 있다. 생산 원가는 결정형 태양 전지보다 저렴하나

복잡한 제조 공정 때문에 높은 효율의 태양 전지를 생산하기가 어려운 단점이 있다.

태양광 무인 이동체의 장기 체공을 위해서는 태양으로부터 생산된 에너지를 최대한 획득하여 배터리에 저장해야 한다. 이는 배터리에 저장된 에너지가 높을수록 태양광 무인 이동체의 비행시간이 증가하기 때문이다. MPPT 는 태양 전지의 최대 전력 지점을 예측하는 것인데, 일사량에 따라 발전하는 전력을 통해 MPPT 시스템을 사용하면 일사량에 따른 태양 전지의 최대 전력 지점을 예상 및 추정할 수 있다.

낮에는 태양 전지에서 발전한 전력에서 비행 및 임무 장치에 필요한 전력을 사용하고 남은 에너지를 저장 요소에 저장하게 된다. 에너지를 저장하기 위해 2차 전지를 사용하게 되는데, 2차 전지는 납축전지, 니켈 수소, 리튬 이온 및 리튬 폴리머 등이 있다. 2차 전지 중에서도 납축전지는 무게가 상대적으로 무거운 태양광 무인 이동체에 적합하지 않으며, 태양광 발전 특성상 충전 주기가 다소 불안정할 수 있는데 이는 메모리 효과가 나타날 수 있는 단점이 있다. 이와 같은 내용을 통해 리튬을 이용한 배터리의 에너지 밀도가 상대적으로 높아서 무인 이동체에는 리튬 계열 배터리를 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

IV. 실험 방법

태양광 무인 이동체의 경우 장기 체공의 가능성을 평가하기 위해선 이론 및 실험적인 해석에 기초하여 비행시간을 검증하고, 전력 관리를 통한 적정성을 평가하는 것을 최종 목표로 장기 체공의 가능성을 고찰하였다. 태양광을 이용한 전력 장치의 모듈은 전력 및 일사량을 통해 태양 전지에 생산된 전력을 저장하고, 추진 시스템(모터 및 기타 임무 장치)에 전력을 공급하게 된다. 전력 관리 시스템의 모식도는 Fig. 5 와 같이 태양 전지 모듈에서 전력을 생산하고 MPPT 에서 최대 전력 지점을 예측하여 배터리에 저장하는 시스템이다. 이를 통해 추진시스템에 전력을 공급하게 된다.

임무형 드론의 경우 상대적으로 장기 체공을 위한 활동이 대다수이며, 감시 및 정찰 활동의 경우 드론이 오랫동안 체공할 수 있어야 한다. 하지만 현재 개발된 임무형 드론의 경우 약 15-20min 정도이며, 이를 개선하기 위해 태양광 모듈을 설치하였다. 태양광 모듈은 YOLK社에서 판매 중인 Solar paper 모델이다(Fig. 6).

제품의 무게는 메인 패널 75g, 서브 패널 65g 으로 메인 패널 2개, 서브 패널 8개를 설치하였다(약 670g). 제품의 사양은 5V, 500mA이며, 최대 소비 전력은 25W 정도이다.

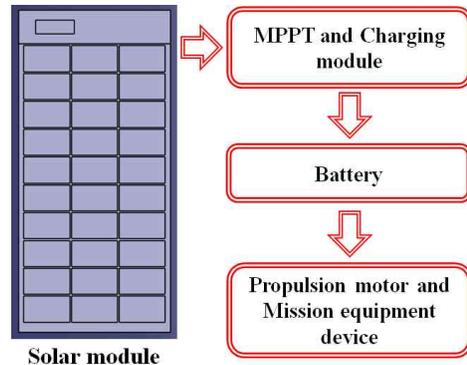


Fig. 5. Schematic diagram of power management systems



(a) Schematic of model (b) Solar paper
Fig. 6. Solar paper modules

Fig. 7는 태양광 패널을 설치한 형상이다. 적용된 드론의 크기는 1,888mm, 축간 거리 1,290mm, 자체 중량 3.18kg, 자체 + 파워 시스템 중량 7.5kg, 최대 이륙 중량 18kg 이다.



(a) Schematic of model (b) Photo of drone
Fig. 7. Solar paper drone

태양 전지 모듈이 직렬로 연결되어 있으므로 모듈의 효율 저하를 최소화하기 위해 바이패스 다이오드를 반드시 적용해야 한다. 임무용 드론의 경우 대류권 이하에서 비행하므로 구름 등에 의해 태양 전지 모듈에 그늘이 질 수 있다. 모듈 전체 부분에 그늘이 지면 문제가 발생하지 않는 것으로 판단되며, 부분적으로 태양 전지 패널 일정 부분에 그늘이 저도 문제가 발생한다. 이는 태양 전지 모듈이 전력을 생산하면 전류의 일정한 방향으로 흐르게 된다. 그늘에 의해 5개 패널 중(한쪽 방향)에서 1개 이상의 태양 전지 패널에서 전력을 생산하지 못하게 되면 다른 태양 전지 패널에서 생산된 전류가 그늘이 진 태양 전지 패널로 모이게 되는 현상이 발생한다. 이와 같은 현상이 발생하면 전류의 흐름이 일정한 방향으로 진행되지 않으며, 그늘진 태양 전지 패널은 열화 현상에 의해 수명이 단축될 수 있는 경우가 다수 발생한다. 덧붙여, 이러한 현상을 최소화하기 위해 전력이 생산되지 않는 태양 전지 패널을 우회할 수 있는 바이패스 다이오드를 설치하여 전류의 흐름을 유지할 수 있게 하였다. 각각의 태양 전지 패널마다 바이패스 다이오드를 설치하는 것이 이상적이나, 상대적으로 무게가 증가하게 되므로 바이패스 다이오드는 직렬로 설치된 부분에 각각 1개씩(총 2개) 설치하였다.

MPPT 와 충전을 위해 GENASUN社의 GV-5-Li-12.5V 모듈을 적용하였으며, 해당 모듈의 경우 최대 입력 전압은 27V 로 태양 전지 모듈의 연결이 가능하고, MPPT 작동 및 충전을 동시에 진행할 수 있다. 선행연구 보고[17]에 따라 최대 추적 효율은 약 99% 정도이며, 11.1V 3cell 리튬폴리머 배터리를 충전할 수 있다(Fig. 8).



Fig. 8. Photo of GENASUN GV-5-Li-12.5V

직류 5V로 전력 공급 장치를 보조전원으로 설치하고, 공급받은 직류전원을 승압하여 제작된 태양광 드론으로 송출하게 되며, 설치된 컨버터를 통해 승압한 전원을 상시로 공급받아 체공 시간 향상으로 비행을 가능하게 하였으며, 드론 전체 무게에 따른 소비 전력 부하 실험을 진행하였다.

V. 결과 및 고찰

태양 전지를 적용한 무인 이동체의 장기 체공 비행을 위해 선행되어야 할 부분으로 일사량을 측정 및 예측하는 것이다. 일사량은 선행연구 보고를 통해 제시된 실험 방법을 수행하였으며, Davis Instruments 社의 Davis 6450 센서를 이용해 실시간 측정을 수행하였다 [17]. 일사량 센서를 이용하여 측정된 일사량은 Fig. 9 와 같다. 선행연구와 비교해서 오차가 발생하는데 이는 대기 투과율과 관련된 것으로 추정된다. 대기 투과율의 경우 대기의 생성 및 존재하는 성분에 따라 크게 변화하게 되는데, 대기의 경우 대부분 유동적인 상태로 대기 투과율이 변화된다. 그러나 선행연구에 적용된 대기 투과율의 경우 LOWTRAN 7 모델을 이용하여 중위도 지방 평균 일사량을 구한 것으로 실제 일사량과 오차는 발생하지만, 측정 시기와 위치에 따라 일사량을 파악하는 데 참고 및 적용하는데 사용될 것으로 판단된다.

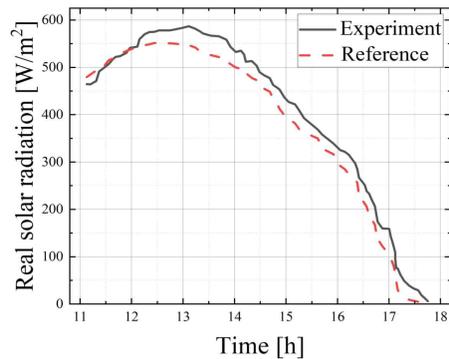


Fig. 9. Isolation test

장기 체공 비행은 태양광 무인 이동체의 성능 시험을 위한 임무로써 적용된 모든 페이로드를 최소화하여 배터리 + 보조전원을 이용하여 장기 체공하는 비행이다. 비행은 경북 구미시 산동면 상공 일대에서 이루어졌으며, 기체는 측면 방향각 유도를 하며 일정 지점을 기준으로 계속 선회 비행을 하였다. 일사 시간에 따라 30분 간격으로 총 14회 비행시험을 통해 장기 체공 성능을 검증하였다(Fig. 10).



Fig. 10. Flight test

실험을 통해 획득된 에너지 및 배터리 잔량 등에 관한 결과를 제시하였다. 선행연구 보고와 비교 분석이 다소 어려운 점은 태양 전지 효율 및 크기(넓이 등)에 대한 조건이 상이하였고, 결과에 대한 수치를 통해 경향을 판단할 수 있었다.

Fig. 11은 비행을 통해 획득된 에너지의 결과이다. 태양광 무인 이동체의 직진 비행 및 자세에 따라 일사량 및 태양광의 입사각이 달라져 증감이 반복적으로 발생하는 결과를 보였다. 덧붙여, 태양광의 입사각이 태양 전지와 수직으로 입사될 때 가장 많은 에너지를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

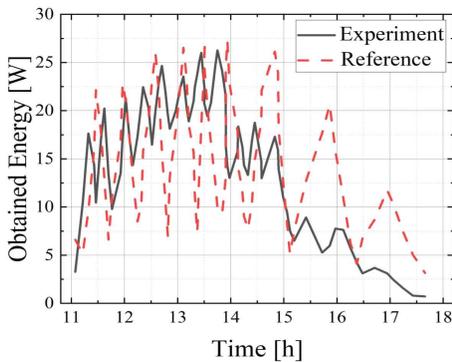


Fig. 11. Solar energy harvesting test

Fig. 12은 획득된 에너지를 통해 비행 후 배터리 잔량에 관한 결과이다. 배터리 잔량은 태양광 무인 이동체의 장기 체공을 위해 가장 중요한 사항으로 배터리 잔량에 따라 장기 체공의 성능을 평가할 수 있기 때문이다. 획득된 에너지 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 비행 후 배터리 잔량은 약 18-20% 정도로 분석되었다.

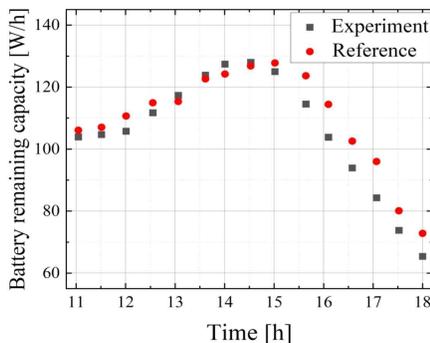


Fig. 12. Batteries state of charge test

드론 + 태양광 패널의 총 무게는 약 11.3kg 이며, 3-5m 고도에서 비행한 결과 최대 소비 전력을 약 42A

정도로 측정되었다. 태양광 패널의 무게가 1kg 미만으로 소비 전력의 변화는 미비하였으며, 선행연구와 비교했을 때 10min 비행 후 배터리 전압(V)는 0.4V 정도 감소하였으며, 이는 태양광 패널이 영향을 약 2-3% 정도 비행시간이 향상되었다.

태양광 무인 이동체가 연속 및 장기 체공을 위해서는 다양한 방법들이 존재하는데 배터리가 완충된 이후 남은 잔류 에너지를 이용하여 비행 고도를 상대적으로 높여 활공하거나, 경로 최적화[6]를 통해 에너지를 절약하는 방법도 존재한다. 또한 열상승기류(Thermal)를 이용하여 에너지를 절약하는 방법도 있으나 열상승기류는 항상 발생하거나 고도에 따른 에너지 획득하면 감시 및 정찰과 같은 임무를 수행할 때 카메라의 인지 및 판단할 수 있는 범위가 벗어날 수 있는 단점이 발생한다. 드론처럼 제한된 고도에서 장시간 체공하기 위해선 태양 전지의 효율과 배터리 에너지 밀도가 상대적으로 중요한 것으로 판단된다. 이처럼 태양광 무인 이동체의 태양광 패널의 수를 늘리거나, 드론의 크기를 상승시키는 것을 통해 태양광 무인 이동체의 장기 체공 가능성을 평가할 수 있을 것으로 판단된다.

VI. 결론

본 연구에서는 드론의 배터리 시스템으로 비행 및 로터를 구동하고, 태양광 패널을 적용한 하이브리드 방식의 드론의 동력 시스템 최적화에 대한 실험적 연구를 수행하였다. 통상적으로 쉽게 접근할 수 있는 배터리 전압을 10-20min 단위로 측정하여, 보조전원(태양광 패널)의 성능을 검증하였다. 시간에 따른 배터리 전압을 측정한 결과 약 2-3%의 향상된 결과를 보였다. 이를 통해 안정적인 추력값을 도출할 수 있을 것으로 판단되며, 결과적으로 요구 동력의 차이는 상대적으로 작은 것을 볼 수 있다. 이는 태양광 패널 적용 시 특정 요구 조건(기상 등)에 의해 성능 변수를 조절할 수 있는 기초자료로 적용할 수 있으며, 최적에 근접할 수 있는 설계 및 적용성을 도출할 수 있음을 시사한다. 향후 태양 전지 부착 각도 및 수량 증가 등 지속적인 연구 개발을 통해 제안된 시스템을 발전시켜 나갈 경우, 드론을 이용한 감시 및 정찰 시스템에 적용할 수 있고 더 나아가 다양한 분야에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 2023년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지자체-대학협력기반 지역혁신사업의 결과입니다.(재단과제관리번호: 2022RIS-006)

REFERENCES

- [1] J. T. Lim, "A Study on the Characteristic Analysis of the Pest Control Drones Using Smart Operating Mode," *Journal of Convergence for Information Technology*, vol. 9, no. 10, pp. 108-113, 2019.
- [2] J. T. Lim and S. B. Lee, "Development of online drone control management information platform," *The Journal of Korea Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 22, no. 4, pp. 193-198, 2021.
- [3] S. B. Lee and J. T. Lim, "A study on the creation of mission performance data using search drone images," *The Journal of Korea Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 22, no. 4, pp. 179-184, 2021.
- [4] D. K. Chung, M. H. Lee, H. Y. Kim, J. Y. Park and I. P. Lee, "Development of Forest Fire Monitoring System Using a Long-Term Endurance Solar Powered Drone and Deep Learning," *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science*, vol. 28, no. 2, pp. 29-38, 2020.
- [5] J. Jeong, D. Kim, T. Kim, S. Moon, J. S. Bae and S. Park, "A Study on the Development of Low-Altitude and Long-Endurance Solar-Powered UAV from Korea Aerospace University (1) - System Design of a Solar Powered UAV with 4.2 m Wingspan -," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 50, no. 7, pp. 471-478, 2022.
- [6] H. Ahn and J. Ahn, "Design and Analysis of a Solar-Power Mini-UAV for Extended Endurance at Low Altitude," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 20, no. 2, pp. 561-569, 2019.
- [7] C. U. Kim, K. Shin, H. Hwang, J. Ahn, T. G. Rhu, Y. S. Hong and Y. B. Kim, "Design Parameter Sensitivity Analyses of a Solar Powered High Altitude Long Endurance Unmanned Aerial Vehicle," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference Proceeding*, pp. 1245-1248, 2014.
- [8] S. J. Hwang, S. G. Kim, C. W. Kim and Y. G. Lee, "Aerodynamic Design of the Solar-Powered High Altitude Long Endurance (HALE) Unmanned Aerial Vehicle (UAV)," *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 132-138, 2016.
- [9] K. Shin, H. Hwang and J. Ahn, "Initial Climb Mission Analysis of a Solar HALE UAV," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 42, no. 6, pp. 468-477, 2014.
- [10] I. Y. Ahn, J. S. Bae, S. H. Park and Y. Yang, "Development and Flight Test of a Small Solar Powered UAV," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 41, no. 11, pp. 908-914, 2013.
- [11] Noth, Andre., "History of Solar flight," *Autonomous Systems Lab, Swizerland: ETH Zurich*, 2008.
- [12] <https://ecoble.com/2009/02/16/sun-power-jet-fuel-for-the-21st-century/>
- [13] <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-054-DFRC.html>
- [14] D. Kim, T. Kim, J. Jeong, S. Park, J. S. Bae and S. Moon, "A Study on the Development of Low-Altitude and Long-Endurance Solar-Powered UAV from Korea Aerospace University(3)-Flight Test Results and Analysis of Solar Powered UAV," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 50, no. 7, pp. 489-496, 2022.
- [15] https://en.wikipedia.org/wiki/Edmond_Becquerel
- [16] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Photovoltaic_cell
- [17] H. Park, "Virtual Flight Experiment and Performance Evaluation of Solar UAV," *The Graduate School Chonbuk National University*, 2016.

저자소개

이 우 램 (Wooram Lee)



2009년 2월 : 서울과학기술대학교
기계공학과(공학사)
2011년 2월 : NID 융합기술대학원
마이크로 기계시스템(공학석사)
2014년 8월 : NID 융합기술대학원
마이크로 기계시스템(공학박사)
2021년 3월~현재 : 경운대학교
조교수

관심분야 : 금속재료, 레이저 용접, 농업용 드론, UAM