

인간동력 항공기 임무 형상 선정 연구

천 제 현 · 한 철 희*

한국교통대학교 항공기계설계학과

Study on the Selection of Mission Profiles of Human Powered Aircraft

Jachyeon Chun · Cheolheui Han*

Department of Aeronautical and Mechanical Design Engineering, Korea National University of Transportation,
50 Daehak-Ro, Chungju-Si, Chungbuk-Do, 390-702, Korea

(Received 2015. 04. 15 / Accepted 2015. 05. 15)

Abstract : Human powered aircraft (HPA) is an airplane that uses only human power for its propulsion. The human power as a power resource and an engine produce the available power that is very crucial to the success of the HPA. In the present paper, the human power characteristics for completing the mission profile are discussed focusing on the take-off and climbing performance. The mission profile is designed by using an athlete's power generation. It is believed that present analysis can be helpful for the mission profile design and athletes exercise program development for the HPA competitions.

Key words : Human Powered Aircraft, Aircraft Design, Flight Performance Analysis, Take-off

1. 서 론

인간 동력 항공기(Human Powered Aircraft, 이하 HPA)는 순수 인간동력만을 이용하여 비행하는 항공기이다. 따라서, HPA의 추진 시스템의 중요구성 요소로는 프로펠러 와 동력원인 인간 동력, 그리고 동력전달 시스템 등이 있다. 설계된 기체에서 발생하는 공력 저항을 극복하고 항공기가 원하는 속도로 비행하기 위해서는 물론 높은 추진효율과 큰 추력을 발생 시킬 수 있는 프로펠러 형상설계 연구가 매우 중요하다. 또한 발생한 인간동력을 효율적으로 프로펠러에 전달 가능한 자전거 페달, 기어나 벨트 등의 기계부품요소의 선정 및 설계 또한 성공적 비행의 중요 요소이다. 그러나 설계·개발 된 항공기의 비행성공 가능성은 한계인간하중 이하의 몸무게를 가진 조종사가 높은 동력을 낼 수 있도록 하는 조종사 훈련에 크게 의존한다.

자전거 경주대회, 수영 등 스포츠 관련 연구 분야에

서는 이미 오래전부터 인간의 체력을 증진시키는 방법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 1965년 Monod과 Scherrer[1]는 피로 없이 60분 이상의 아주 긴 시간동안 지속적으로 발생 가능한 임계 동력(Critical Power) 개념을 도입하였다. Daedalus Project Working Group[2]도 역시 임계 동력에 대한 연구가 이루어졌다. 그 결과, 1988년 MIT에서 만든 HPA Daedalus는 비행거리 115.1km, 비행시간 3시간 54분이란 HPA역사상 최장거리 비행기록을 보유하게 되었다.

모든 항공기는 추기 설계단계에서 임무형상에 맞추어 모든 항공기의 설계임무를 수행한다. HPA 또한 정해진 임무형상을 완수할 수 있는 항공기를 설계한다. 그러나 인간동력 항공기는 유상하중의 변화가 항공기 성능에 미치는 영향이 크지 않은 일반 항공기에 비하여 조종사의 위치나 무게 등이 항공기의 비행에 미치는 영향은 거의 절대적이다. 인간동력 항공기의 추진성능 또한 조종사의 운동능력에 크게 의존한다.

*Corresponding author, E-mail: chhan@ut.ac.kr

인간의 동력은 시간에 따라 변화 하는 특성을 가진다. 동일한 동력을 가진 조종사가 동일한 항공기 기체를 조종할 때에도 이착륙거리, 항속거리, 항속시간 등이 다를 수 있으며 이로 인하여 매우 다른 임무형상이 발생 가능하다. 따라서 본 연구는 비행 성공 가능성을 높이기 위해서 시간에 따라 변하는 인간동력을 고려한 임무형상 분석을 비행 성능 해석적 관점을 통해 연구하고자 한다.

2. 임무형상별 비행성능

인간동력 항공기의 임무형상(mission profile)은 이륙, 순항, 착륙의 3단계 과정으로 이루어진다. 이 중 이륙에서 순항까지 이르는 과정에서의 성능이 비행가능성을 높이는데 가장 중요한 요소이다.

이륙은 지상활주(ground run), 회전(rotation), 전환(transition), 상승(climb)의 단계로 이루어진다. 항공기는 부양속도(V_{LOF}), 이륙시간(t_G), 회전시간(t_R), 활주거리(S_R), 전환시간(t_{TR}), 전환거리(S_{TR}), 곡선반경(R_{TR}), 상승각도($\sin\gamma$), 상승률(RC) 관련 식들은 다음 Table 1과 같다. 여기서, W =이륙 총 중량, ρ =밀도, S =날개 총 면적, C_{LG} =지면효과가 더해진 양력계수이다. $\sin\gamma$ 는 $(TV-DV)/W = P_{exc}/W$ 로 잉여동력에 따라 상승률이 변하는 것을 알 수 있다.

Table 1 Flight performance formula[7]

이륙성능	계산식
V_{LOF}	$V_S = \sqrt{\frac{2W}{\rho S C_{LG}}}$
t_G	$\int_0^{V_{LOF}} \frac{1}{a} dV = \frac{V_{LOF}}{a}$
t_R, S_R	$3s, 3s \times V_{LOF}$
S_{TR}	$R_{TR} \sin\gamma = \left(\frac{V_{LOF}^2}{0.15g}\right) \sin\gamma$
t_{TR}	$\left(\frac{R_{TR}}{V_{LOF}}\right) \sin\gamma = \left(\frac{V_{LOF}}{0.15g}\right) \sin\gamma$
h_{TR}	$R_{TR} - R_{TR} \cos\gamma = (1 - \cos\gamma) R_{TR}$
$\sin\gamma$	$\frac{T-D}{W} - \frac{1}{g} a$
RC	$\frac{dh}{dt} = V \sin\gamma$

3. 결과 및 해석

1) 훈련결과 분석

2013년도 항공우주 연구원에서는 인간동력 항공기의 조종사 체력증진 훈련을 통하여 조종사의 몸무게 감소 및 체력 향상 연구를 수행하였다. 각 조종사들의 신체적 특징을 고려하여 전문 트레이너의 지속적 훈련과 지도를 받았으며, 웨이트 트레이닝, 실내트레이닝, 3가지 코스로 구성된 실외트레이닝, 또한 이륙, 비행, 착륙, 착륙에 대한 조향능력 향상을 위한 시뮬레이션 교육 및 경비행기 체험 등의 훈련과정으로 이루어져 있다.

Fig. 1에 한국교통대학교 AEOLUS팀의 인간동력 항공기의 비행 성공 가능성을 높이기 위해 항공기의 엔진에 해당하는 조종사의 동력을 증가시키는 훈련 실시 결과를 나타내었다. 조종사는 학교 조정동아리 대표선수로 평소에도 꾸준히 근력운동을 해 왔었다. 조종사 선발 이후 근력과 지구력을 동시에 향상시키기 위해 근력운동과 지구력운동을 동시에 병행 하였다. 근력운동은 웨이트 트레이닝을 주로 실시하였다. 또한 지구력을 향상시키기 위하여 매일 10km 달리기, 20km 사이클을 병행 하였다[7].

Fig. 1에서 훈련기간 증가에 따라 조종사의 운동능력이 증가했음을 볼 수 있다. 특히 AEC(Aerobic Work Capacity) 값이나 CP(Critical Power) 값 두 개 모두가 전체적으로 증가를 했다. AEC의 증가는 초기 이륙 및 상승 비행과정에서 조종사의 잉여동력이 크게 증

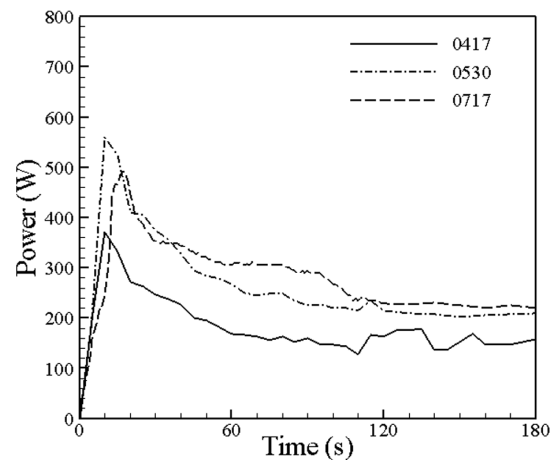


Fig. 1 Power vs. time[7]

가했음을 의미하며, CP값의 증가는 조종사가 비행 고도를 유지하며 순항에 필요한 충분히 동력을 생성시킬 수 있음을 의미한다. 한국교통대학교 인간동력 항공기 조종사의 동력이 초기 20초까지는 약 400W 이상 생성되고 110초까지 230W로 감소한 후 지속적으로 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 특히, 조종사가 80초 이후까지 약 300W 이상의 동력을 생성시킬 수 있었다. 천제현 등[7]의 연구결과에 따르면 이륙 및 상승에 요구되는 시간이 7.32초이며 이륙 및 상승거리가 41.5미터이며, TORUK MAKTO I의 순항속도가 6.5m/s인 점을 고려하면 하강 전까지의 비행시간을 약 80초로 할 경우 470미터 정도의 순항거리를 비행할 수 있음을 알 수 있다.

2) 비행성능해석

인간 동력 항공기는 초반 지상 활주에서 이륙 보조 요원이 밀어줄 수 있다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 항공기가 내는 추력보다 이륙보조 요원이 밀어주는 힘이 훨씬 크기 때문에 이륙 단계에서 조종사는 동력을 절약 할 수 있다. 지상 활주 구간이 끝나고 상승 단계에 접어들면서 오직 조종사의 동력에 의하여 항공기는 상승비행을 한다.

Fig. 3에 나타난 바와 같이 상승비행 시 상승각에 따라 항력이 달라진다. 조종사의 요구동력은 $D \times V$ 이므로 항력에 영향을 크게 받는다. 상승각이 커질수록 항력이 증가하며, 요구동력 또한 증가한다. 조종사가 인

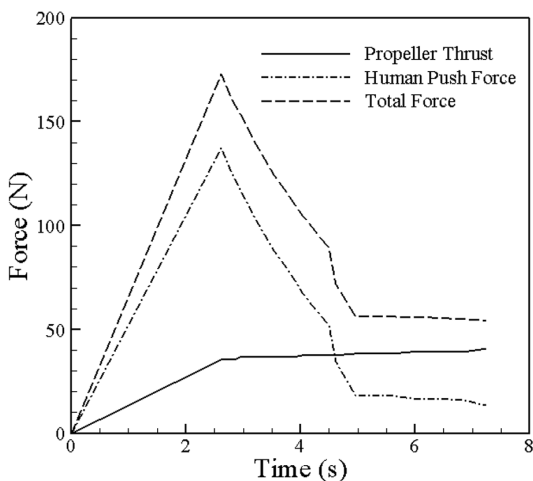


Fig. 2 Force acting on the HPA during the take-off flight phase[7]

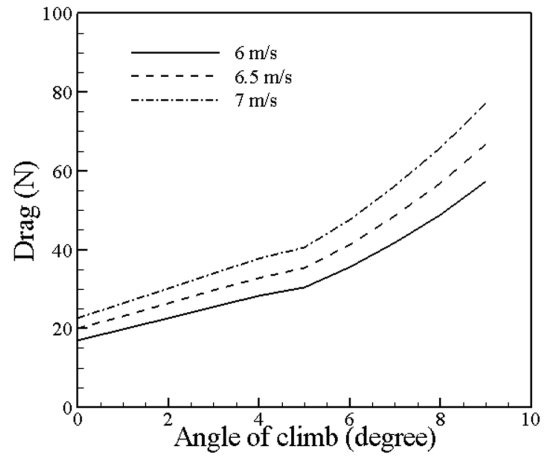


Fig. 3 Drag due to speed and climb angle changes[7]

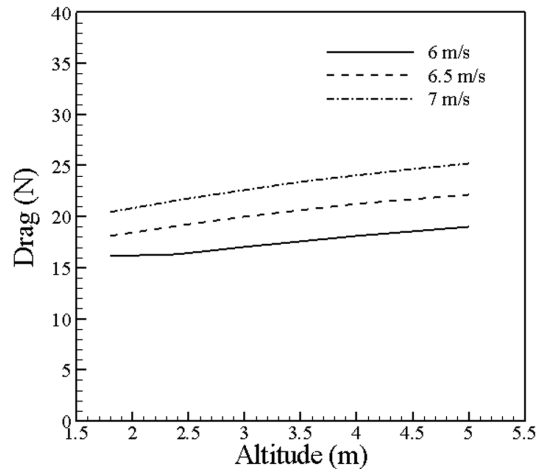


Fig. 4 Drag due to speed and altitude changes[7]

간동력을 최대로 끌어 올릴 수 있는 시간이 한정되어 있어, 최대 동력으로 끌어 올릴 수 있는 시간 안에 상승단계를 마쳐야 한다[7].

Fig. 4에서 비행고도 및 비행속도에 따른 항력값의 변화를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 순항고도와 순항속도가 증가함에 따라 항력이 증가한다. 순항 비행 단계에서 조종사의 동력은 임계 동력에 해당한다. 조종사의 임계 동력이 요구동력과 같거나 그 이상의 값을 가질 경우에만 지속적 비행이 가능하다. 따라서, 조종사가 지속적 비행이 가능한 순항 고도 및 속도를 설정해야 하며, 이로 인하여 임무형상의 변화가 발생한다. 조종사가 순항비행에 필요한 요구동력을 발

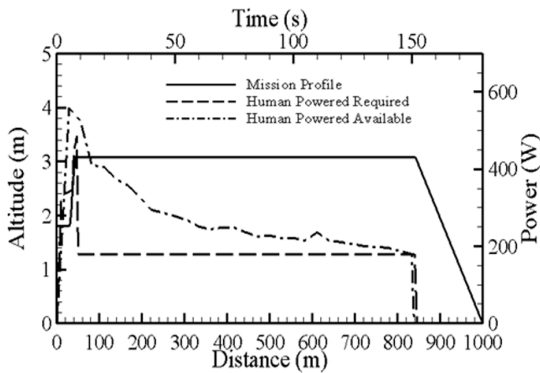


Fig. 5 Mission Profile[7]

생시키지 못할 경우, 항공기는 활공비행단계에 접어들는다. 이때, 활공거리도 비행거리에 포함이 됨으로 임무현상에 영향을 미친다.

3) 임무현상 선정

임무현상의 변수를 기체 총 중량, 상승각, 순항속도를 선정하고, 여러 가지 변수를 조합하여 시간의 따른 조종사 동력에 적합한 Fig. 5와 같은 임무현상을 개발하였다[7]. 기체 총중량 99kg, 상승각 6도, 순항고도 3m의 조건을 부여하였다. Fig. 5에 나타낸 바와 같이 이륙단계에서 이륙 시간은 6.5초 소요되고, 이륙거리는 30m 소요되었다. 상승단계에서 상승 시간은 1.82초, 상승거리는 11.5m가 소요되었다. 순항단계에서 조종사의 이용동력이 150초에서 기체에서의 요구동력보다 작아져 840m지점에서 30초간 160m거리를 활공하여 총 비행거리는 1000m 비행시간은 180초가 소요되었다[7].

4. 결론 및 향후 연구 방향

인간 동력 항공기는 시간에 따라 변화하는 인간의 동력에 비행성능이 제한된다.

지속적이고 체계적인 조종사 훈련을 통해 CP값과 AEC값이 증가했음을 알 수 있었다. 이륙단계에서는 이륙보조요원의 도움으로 조종사의 동력을 절약할 수 있었다. 상승단계에서는 상승각이 증가함에 따라 요구 동력이 증가하였다. 임무현상의 변수를 기체 총 중량, 상승각, 순항속도를 선정하고, 시간의 변화에 따른 조종사 동력변화에 적합한 임무현상을 개발하였다.

본 연구결과는 향후 동일한 항공기 기체를 서로 다른 조종사가 조종할 경우 원하는 목적(단거리 속도경쟁 또는 장거리 비행)에 맞게 조종사를 훈련하는데 사용가능할 것으로 판단된다.

References

- 1) Mood, H. and Scherrer, J. "The Work Capacity of A Synergic Muscle Group", *Ergonomics*, Vol. 8, pp.329-333.
- 2) Final Report of The Daedalus Project Working Group, The Feasibility of A Human-powered Flight Between Crete and The Mainland of Greece, Dept. of Aeronautics and Astronautics MIT, 1986, pp.19-24.
- 3) Charles. Dauwe "Critical Power and Anaerobic Capacity of Grand Tour Winners", Ghent State University, Belgium.
- 4) 윤용현, 비행역학, 경문사
- 5) Warren F. Philips, *Mechanics of Flight*, John Wiley and Sons, Inc.
- 6) 장상현, 이정원, "인간동력항공기 조종사 훈련 및 성과", *항공우주기술*, 제12권 2호, 2013, pp.202-208.
- 7) 천재현, 윤승현, 한철희, "시간에 따라 변화하는 인간 동력을 고려한 HPA 임무현상 분석", *항공우주시스템공학회 2014 춘계학술대회*