

인간동력 항공기 개발 고찰

한 철 희*

한국교통대학교 항공기계설계학과

Review on the Human Powered Aircraft Development

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 2014. 11. 06 / Accepted 2014. 11.19)*

Abstract : Human powered aircraft (HPA) is an airplane that uses only human power for its propulsion. It's development is completely different from conventional aircraft that use fuels as a power source. In the present study, special features for the development of HPA are discussed by studying the design requirements, weight estimation, aerodynamics and propulsion studies, power analysis, and mission profile design. It is found that the development of the HPA is completely different from conventional aircraft. Mission profile is crucial to the successful flight of the sport HPA when the pilots are changed.

Key words : Human Powered Aircraft, Aircraft Design, Power Train, Aerodynamics, Structural Design

1. 서 론

인간동력 항공기(Human Powered Aircraft, HPA)는 순수 인간의 동력만을 사용하여 프로펠러를 구동시켜 비행하는 항공기를 말한다.

1923년 미국 McCook Field (Dayton, Ohio) 에서 W. Frederick Gerhardt가 개발한 Gerhardt Cycleplane가 약 0.61미터 날아올라 6.1미터의 비행을 성공한 이후 3번에 걸친 Kremer상을 수상[1회 8자비행, 2회 장거리 비행, 3회 속도경쟁]하면서 인간동력 항공기는 순수 인간의 동력 만으로 영불해협을 비행하고, 크레타 섬에서 그리스까지의 115.11km의 장거리 비행에 성공하였다.¹⁾ 최근에 영국의 Royal Aeronautical Society는 Kremer로부터 추가의 기금을 조성받아 4가지 항목에 대한 상을 제정했으며 이중 26마일의 마라톤 거리 코스를 1시간 이내 비행하는 Kremer International Marathon Competition (상금 5만파운드)과 영국에서 일

상적으로 만날 수 있는 기후에서 비행이 가능한 스포츠 항공기 개발 Kremer International Sporting Aircraft Competition(상금 10만파운드) 두 개 부분의 상은 인간동력 항공기를 사용한 장거리 왕복 비행 및 스포츠 비행 분야로의 새로운 영역 확장을 꾀하고 있다.¹⁾

국내에서의 인간동력 항공기 개발은 과거 몇 차례 개발 사례는 있었으나 항공우주 연구원이 2012년도 개최한 인간동력항공기 시범 경진대회와 함께 급격히 진행되었다. 총 11팀이 참가하여 울산대가 출발선 이전에 약 15m, 세종대가 약 5m를 비행하였지만, 모든 팀이 출발선을 넘지 못하여 공식기록으로 비행에 성공한 팀은 없었다. 다만 항공우주(연) 시범기가 1차 시도에서 120m(조종사: 이정원), 4차 시도에서 240m 비행(조종사: 장상현)에 성공하였다.²⁾ 2013년도 개최된 인간동력 항공기 대회(11개팀 참가)에서 기록이 다소 향상되어 항우연 시범기가 291m 비행에 성공하였으며, 울산대개 130m, 항공대가 5m 비행에 성공 했다.³⁾ 올해 열린 2014년도 인간동력 항공기 대회에는 14개

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

팀이 참가하여 울산대학교가 400m를 55초에 완주하였다.

수 십년에 걸쳐서 비행에 성공한 국외 개발 역사에 비하여 국내에서는 3년만에 400m의 직선비행 대회 목표를 달성하는 빠른 발전을 보였다. 이것은 항공우주 연구원의 시범비행과 참가팀에 대한 적극적 지원이 있었기에 가능하였다고 평가된다.

그러나 인간동력 항공기 개발은 여전히 순수한 인간동력만을 사용한 이착륙 및 순항비행, 저속 비행으로 인한 기체 이륙중량 제한, 100% 수제 제작 등의 많은 어려움을 가지고 있다. 따라서, 본 연구에서는 2014년도 인간동력 항공기 경진대회에 참가한 한국 교통대학교 AEOLUS팀의 TORUK MAKTO I 개발 경험을 바탕으로, 인간동력 항공기 개발을 위한 항공기 설계방법에 대하여 논의하고자 한다.

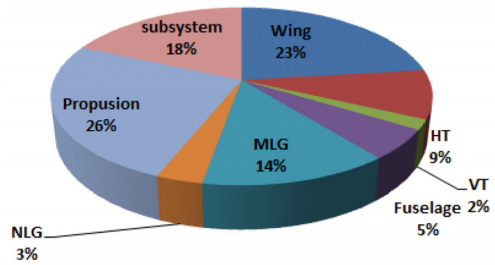
2. 항공기 설계

2.1 개념설계 - 무게 추정

일반적인 항공기 설계는 개념설계-예비설계-상세설계 3가지 과정을 거치게 된다. 개념설계단계에서는 항공사의 니즈나 향후 개발이 되어야 할 항공기의 설계요구조건을 충족시킬 수 있는 항공기의 크기 및 무게 추정, 임무형상설계, 주날개 및 꼬리날개 형상 설계 및 배치, 비행 정안정성 해석 등의 개략적인 항공기 형상 및 배치 등을 결정하는 단계이다. 초기 항공기 개념설계 단계에서 항공기의 초기 공허중량에 관한 정확한 예측은 추력대 중량비, 익면 하중, 항공기의 정안정성등과 관련한 중요 설계 변수이다. 일반적인 항공기 설계과정에서는 이미 개발된 수많은 항공기들로부터 축출한 자료를 바탕으로 만든 경험식(Torenbeek,⁴⁾ Raymer,⁵⁾ Howe⁶⁾)이나 해석적 방법 등⁷⁾을 사용하여 초기 중량예측을 수행한다. 그러나, 항공기 전체 중량에서 유상하중과 연료량이 큰 비중을 차지 하는 일반 항공기와 달리 인간동력 항공기는 인간 중량이 항공기 이륙중량의 약 60%를 차지한다.⁸⁾ 또한 인간동력 항공기 공허중량의 대부분은 복합재의 하중에 기인한다. 따라서, 전통적인 항공기 무게 추정식의 인간동력 항공기로의 직접적 적용은 어렵다.

일반적으로 인간동력 항공기의 공허중량 무게추정은 1) Daedalus 개발을 위해 1989년 Cruz⁹⁾이 제시한 중량분석 모델을 사용하거나 2) CAD나 CAE 소프트웨어

Distribution of Cessna Weight



Distribution of HPA Weight

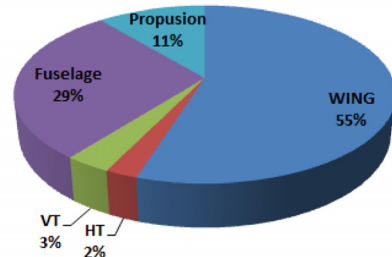


Fig. 1 중량 분포 비교⁸⁾

웨어 등의 해석 소프트웨어를 사용하여 수행한다. 그러나 유한요소법을 이용한 무게추정방식은 개념설계 단계에서 발생하는 잦은 형상 및 구조배치변화에 필요한 격자 생성소요시간이 과다하게 발생한다는 어려움을 동반한다. 최근에는 이를 해결하기 위해 VSP (Vehicle Sketch Pad)¹⁰⁾와 SAM (Structural Analysis Module),¹¹⁾ CalculiX¹²⁾를 이용하여 형상 모델링에서 유한요소격자 및 하중 생성, 해석을 수 분내에 쉽고 빠르게 수행하는 방법이 제안되기도 하였다.¹³⁾

최근 연구에 따르면 Cruz무게추정식⁹⁾ 사용과 CAD/CAE 활용 무게 추정 사용 결과가 실제 무게 추정과 5%이내의 오차를 보이는 것으로 나타났다.⁸⁾ 그러나 날개 무게의 대부분을 차지하는 복합재의 경우 Cruz 무게추정식⁹⁾은 CFRP의 패턴을 정확히 고려한 CAE 소프트웨어에 비하여 20% 이상의 큰 오차를 보이는 것을 알 수 있다. 따라서, 향후 정확하고 빠른 무게추정이 가능하기 위해서는 Cruz무게추정식⁹⁾의 개량이 필요하다.

2.2 공력 및 구조설계

태양광 고고도 장기 체공형 무인기나 인간동력 항

공기등은 낮은 속도로 비행하기 때문에, 항공기 비행에 필요한 충분한 양력 확보를 위해 높은 종횡비 (Aspect Ratio, AR)를 가진다.¹⁴⁾ 낮은 비행속도는 저 레이놀즈수 공력특성(천이나 층류박리 발생)으로 인한 양항비 감소, 피칭모멘트 특성 변화¹⁵⁾ 등을 고려할 수 있는 해석 기법이 필요하다. 또한, 높은 종횡비를 가진 날개들에서 발생하는 구조물 유연성에 기인한 날개 대변형이 발생하며, 이로 인한 날개형상변화는 또 다시 공력특성의 변화를 야기하는 문제가 발생한다. 따라서, 인간동력 항공기 개발에 필요한 공력 및 구조 설계는 반드시 공력-구조 연계해석을 통한 설계가 이루어져야 한다. 공력-구조 연계해석은 유한요소해석기법과 유한체적 해석기법을 연계시킨 다양한 전산해석기법 및 소프트웨어가 있으나 아직까지 많은 계산시간과 비용이 요구된다는 문제가 있다. 특히 인간동력 항공기 개발은 개발비용에 차지하는 재료비가 상당하며, 대부분의 연구개발이 개인이나 단체의 취미활동에 기반하고 있기 때문에 빠르고 신속한 계산기법 개발이 필요되고 있다.

이창호¹⁶⁾는 Drela¹⁷⁾의 공력-정적구조 연계해석기법이나 Drela,¹⁸⁾ Patil,¹⁹⁾ Palacios,²⁰⁾ Murua²¹⁾ 등의 비정상 공력-공탄성-비행역학 해석 연구들을 비교 평가하여 많은 계산시간과 비용이 필요한 CFD 방법보다 와류 격자법이 더 효율적일 수 있다는 제언을 하였다. 한형석 등²²⁾은 인간동력 항공기 날개에서 발생하는 공력

특성에 기인한 날개의 대변형 발생 및 상반각변화에 따른 공력특성의 변화(양력손실)을 양력선이론과 상용소프트웨어 ANSYS를 활용하여 연구하였다. 자중에 의한 날개 정적 구조안정성에 큰 문제가 없다고 해도 착륙과 같은 동하중이 발생할 경우 날개 변형으로 인한 지면과의 충돌문제가 발생할 수 있으며, 이를 해결하기 위하여 와이어를 장착시켜 구조적 안정성 확보가 가능함을 보였다.

2.3 프로펠러 설계

인간 동력 항공기의 추진 시스템의 중요구성 요소로는 프로펠러와 동력원인 인간 동력, 그리고 동력전달 시스템 등이 있다. 설계된 기체에서 발생하는 공력 저항을 극복하고 항공기가 원하는 속도로 비행하기 위해서는 물론 높은 추진효율과 큰 추력을 발생시킬 수 있는 프로펠러 형상설계 연구가 매우 중요하다.

초소형 비행체(Micro Air Vehicle, MAV) 및 인간 동력 항공기 등과 같이 낮은 속도로 비행하는 항공기의 추진시스템은 프로펠러를 사용하며, 프로펠러 공력 설계 및 성능해석 연구 역시 저 레이놀즈수 공기역학 설계기술이 적극 요구된다.²³⁾

최근 김정현 및 안준²⁴⁾은 고정익 초소형 비행체의 익형설계를 위하여 XFOIL²⁵⁾과 상용 소프트웨어 Fluent 12.0²⁶⁾을 사용하여 S 5010 기본익형에 R-series 익형을 조합한 익형의 공력특성 비교 연구를 수행했다. 이를 통하여 난류모델 및 인공 점성항에 의한 와류 감쇠 효과로 Fluent 12.0의 해석결과가 항력 값을 과다 예측함을 보였다.²⁴⁾ 일반적으로 층류에서 난류로 천이하는 천이유동에 대한 전산유체역학 해석기법은 불안정성 해석결과에 기반하지 않고, 난류모델의 계수 값을 조정하는 기법들을 사용한다. 따라서, 정확한 계산조건을 부여하지 않을 경우 저레이놀즈 수에서 발생하는 유동특성을 정확히 예측하기 어렵다. 반면에 XFOIL²⁵⁾등의 저레이놀즈수 공력 해석프로그램은 e^N 법 등 불안정성 해석기법을 사용하기 때문에 수만 이하의 매우 낮은 레이놀즈수가 아니라면 비교적 정확한 예측값을 제시한다.

이기학 등²⁷⁾은 ARA-D 6%익형을 사용한 초소형 비행체 프로펠러의 시위길이 및 피치각 변화에 따른 공력특성의 변화를 XFOIL 및 모멘텀 깃 요소이론 (Combined Momentum and Blade Element Theory)을 사용하여 연구했다. 최근 박부민²⁸⁾은 Prop. Designer²⁹⁾를

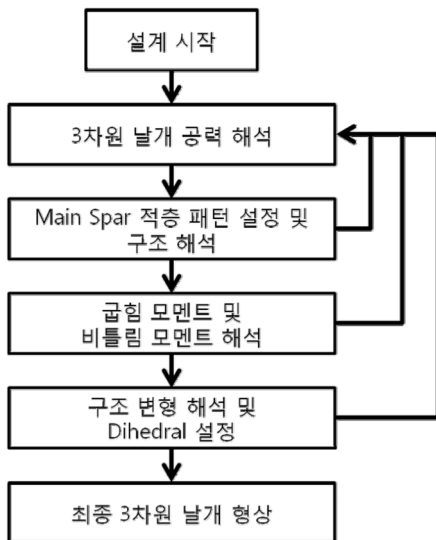


Fig. 2 정적 공력-구조 연계해석 절차²²⁾

Table 1. 추진시스템 설계요구조건³¹⁾

항목	설계 요구조건
비행속도[m/s]	6 이상
요구추력[N]	30 이상
추진효율[%]	90 이상
인간 동력[W]	200~450
RPM[Rev./min.]	70~200

사용하여 지름, 피치각, 축동력 등의 변화에 따른 인간 동력 항공기용 프로펠러의 추력 및 추진효율을 계산했다.

이처럼 지금까지 대부분의 인간 동력 항공기용 프로펠러의 공력설계 및 성능해석은 Prop. Designer가 주로 사용되어 왔다. Prop. Designer는 2차원 익형 공력자료로 JAVA FOIL³⁰⁾을 사용한 10개 정도의 익형에 대한 공력 해석결과를 내삽방법을 사용하고 있다. 따라서, 새로운 익형에 관한 공력해석은 불가능하다. 최근에 윤승현 등³¹⁾은 이기학 등²⁷⁾의 해석방법과 유사한 방법으로 인간동력 항공기용 프로펠러 공력 설계 및 성능해석 프로그램을 개발하였으며, 이를 바탕으로 TORUK MAKTO I에 적용된 프로펠러가 저속에서 항공우주연구원 시범기용 프로펠러에 대하여 더욱 우수한 성능을 발휘함을 보여 주었다.

2.4 비행안정성 및 제어

순수 인간동력만으로 비행하는 인간동력 항공기의 성공적 비행은 임무형상 변화에 따른 비행성능 유지와 안정한 자세를 유지가 필수이다. 최근 인간동력 항공기 개발의 추세는 스포츠형 인간동력 항공기 개발이다. 따라서, 다양한 형태의 비행이 가능해야 하며, 이로 인한 안정성 확보는 더욱 중요하다. 일반적으로 수평 꼬리날개는 종방향 안정성을 증가시키고, 주날개의 간섭은 세로 정안정성을 감소시켜 종방향 안정성에서 주날개의 영향을 무시할 수 없다.³²⁾ 따라서, 인간동력 항공기의 설계과정에서는 주로 주날개와 수평 / 수직 꼬리날개의 면적과 무게중심으로부터 공력중심까지의 거리가 비행안정성과 관련한 주요 설계변수가 된다.³³⁾

지금까지 개발된 인간동력 항공기들은 플랩등의 고양력 장치나 롤 안정성 확보를 위한 에일러론을 가지지 않으며, 엘리베이터와 러더 두 개의 제어면만을

가진 항공기들이 대부분이다.³⁴⁾ 조종사 무게가 공허중량의 약 150% 이상을 차지하며 주날개 무게 또한 공허중량의 대부분을 차지하는 인간동력 항공기는 조종사의 위치 선정 및 조종자세, 주날개의 장착 위치, 상승각 확보에 필요한 엘리베이터 제어특성에 크게 의존한다.³⁵⁾

Bryan Sullivan³⁶⁾은 인간동력항공기 대한 비행시험과 해석을 얻은 결과로 항공기 동안정성 분석을 하여 항공기 비행을 위한 요구되는 동력을 추정하였다. 국내 인간동력 항공기 안정성은 아직까지 정안정성 해석결과만 있다. 강형민 등³⁷⁾은 주익 및 수평미익에 대해서 받음각 변화에 따른 공력해석을 수행하여 피칭 움직임에 대한 정안정성을 확인했다. 은원종 등³⁸⁾은 미익설계의 과정에서 인간동력 항공기에 대한 세로, 가로 정안정성 해석 및 정적여유 선정연구를 수행했다. 최근 박주희 등³⁵⁾은 인간동력 항공기에 대한 운동방정식을 유도했으며, TORUK MAKTO I의 종방향 정안정성과 승강타 제어에 따른 동안정성을 해석했다. 무게중심으로부터 날개들의 수직거리가 피칭모멘트 미계수 값에 미치는 영향은 매우 컸으며, 지면효과가 항공기의 정적 여유에 미치는 영향은 매우 미미하였음을 보였다. 또한, 승강타 작동에 의한 항공기동안정성 해석 결과 장주기 진동특성을 보였다.

2.5 조종사 훈련 및 비행성능 기반 임무형상 개발

설계·개발된 항공기의 비행성능 가능성은 조종사가 높은 동력을 낼 수 있도록 하는 조종사 훈련에 크게 의존한다.³⁹⁾

스포츠 과학 분야에서 인간의 체력을 증진시키는 방법에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 급격히 감소하는 인간동력을 수학적으로 모델링 하는 기법으로 Monod 과 Scherrer⁴⁰⁾는 임계 동력(Critical Power) 개념을 도입하였다. 인간동력 항공기 조종사 훈련 및 동력 분석은 Daedalus 개발과 관련하여 임계 동력에 대한 연구를 처음 도입하였다.⁴¹⁾

모든 항공기는 초기 설계단계에서 임무형상에 맞추어 모든 항공기의 설계임무를 수행한다. 인간동력 항공기 또한 정해진 임무형상을 완수할 수 있는 항공기를 설계한다. 일반 항공기 기체 중량에 비해 큰 비중의 조종사 무게를 가지고 있으며, 시간에 따라서 변화하는 동력특성을 가지는 인간동력 항공기의 경우 기

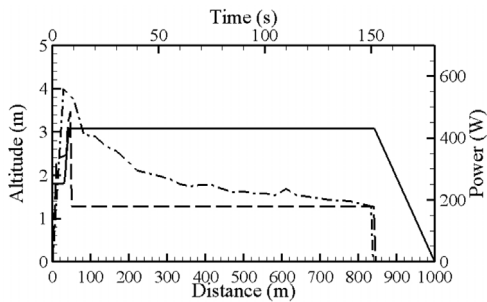


Fig. 3 설계된 임무형상³⁹⁾

개발된 항공기를 여러명의 조종사가 조종할 경우 매우 다른 비행특성을 보일 수 있다. MIT에서 개발한 Chrysalis는 최초 여성 인간동력 항공기 조종사를 포함 총 44명의 조종사가 비행을 한 기록이 있다.⁴²⁾ 따라서, 다양한 조종사에 몸무게 및 동력에 따른 최적의 성능 확보가 가능한 임무형상 개발은 향후 스포츠용 인간동력 항공기 개발 및 대회에 매우 중요하다. 그러나 이와 관련한 국내의 연구는 거의 전무한 상태이다. 최근에 천제현 등³⁹⁾은 지속적이고 체계적인 조종사 훈련을 통해 임계동력 값과 AEC값이 모두 증가할 수 있음을 보여 주었다. 또한, 이륙단계에서 이륙보조요원의 도움으로 인한 조종사 동력 절약, 상승단계에서 상승각 증가에 따른 요구동력 증가를 분석하였다. 이를 바탕으로 기체 총 중량, 상승각, 순항속도, 시간의 변화에 따른 조종사 동력변화에 적합한 임무현상을 개발하였다.

3. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 인간동력 항공기 개발과 관련하여 기체 중량추정, 공력 및 구조 연계해석, 프로펠러 공력 설계 및 성능해석, 조종성 및 비행제어, 조종사 훈련 및 비행성능 기반 임무형상 등의 분야에 대한 설계 방법을 제시 하였으며, 아울러 최근 진행되고 있는 연구 동향 또한 언급하였다.

인간동력 항공기개발은 공력,구조,비행제어 및 안정성, 추진, 기체요소설계 등 다양한 분야의 융합을 바탕으로 한 체계종합적 성격을 띤 연구분야이다. 일반적으로 기체 제작 재료비만 5천만원 정도의 비용이 드는 고비용 항공기임은 틀림없다. 따라서, 인간동력 항공기의 성공적 개발을 위해서는 설계 각 분야에서의 정확한 예측 및 설계 기법 개발과 각 분야에 대한 체계

종합적 최적 설계 연구가 필요하다. 마지막으로 최근 추진되고 있는 스포츠형 인간동력 항공기 개발을 위해서는 조종사에 따른 임무형상 개발 및 조종사 훈련 기법 개발이 매우 중요하다.

Acknowledgement

이 논문은 2014년도 한국교통대학교 교내학술연구비의 지원을 받아 수행한 연구임.

References

- 1) http://en.wikipedia.org/wiki/Human-powered_aircraft
- 2) 항공우주 연구원 보고서, “초경량 인간 동력 항공기 성능 향상 연구”, 2012.
- 3) 항공우주 연구원 보고서, “초경량 인간 동력 항공기 성능 향상 연구”, 2012.
- 4) Torenbeek, E., Synthesis of Subsonic Airplane Design, Delft University Press, 1976.
- 5) Raymer, D.P., Aircraft Design: A Conceptual Approach, 5th Edition, American Institute of Aeronautics and Astronautics Education Series, 2013.
- 6) Howe, D., Aircraft Conceptual Design Synthesis, Professional Engineering Pub., 2000.
- 7) Ardema, M.D., Chambers, M.C., Patron, A.P., Hahn, A.S., Hirokazu M., and Moore, M.D., “Analytical Fuselage and Wing Weight Estimation of Transport Aircraft,” NASA Technical Memorandum 110392, 1996.
- 8) 전명식, 김동현, 한재호, 한철희, “인간동력 항공기의 중량추정 연구,” 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
- 9) Langford, J., “The Daedalus Project : A Summary of Lessons Learned,” AIAA 89-2048, August 1989.
- 10) <http://www.openvsp.org/>
- 11) Chaput, A.J. and Rizo-Patron, S., “Vehicle Sketch Pad Structural Analysis Module Enhancements for Wing Design,” 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 09-12 Jan. 2012, Nashville, Tennessee
- 12) <http://www.calculix.de/>
- 13) 황인성, 강완구, “VSP를 이용한 중형기 주익 구조 설계”, 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
- 14) 강형민, 김철완, “공기역학적 성능을 고려한 인간동력항공기 개념 설계”, 항공우주기술, 제12권 제2호, 2013, pp.180-185.
- 15) 김정현, 안준, “고정의 초소형 비행체를 위한 익형 설

- 계 및 비행체 공력 특성 전산해석 연구”, 한국항공우주학회 2011년도 춘계학술대회, 2011, pp.107-112.
- 16) 이창호, “유연한 날개를 갖는 비행체 설계 방법”, 항공우주산업기술동향, 제11권 2호, 2013, pp.33-38.
 - 17) Drela, M., “Method for Simultaneous Wing Aerodynamic and Structural Load Prediction”, Journal of Aircraft, Vol.27, No.8, 1990, pp.692-699.
 - 18) Drela, M., “Integrated Simulation Model for Preliminary Aerodynamic, Structural, and Control-Law Design of Aircraft”, AIAA 99-1394, 1993.
 - 19) Patil, M., Hodges, D. and Cesnik, C., “Nonlinear Aeroelasticity and Flight Dynamics of High Altitude long Endurance Aircraft”, Journal of Aircraft, Vol.38, No.1, 2001, pp.88-94.
 - 20) Palacios, R., Murua, J. and Cook, R., “Structural and Aerodynamic Models in Nonlinear Flight Dynamics of Very Flexible Aircraft”, AIAA Journal, Vol.48, No.11, 2010, pp.2648-2659.
 - 21) Murua, J., Palacios, R., Michael, J. and Graham, R., “Applications of the Unsteady Vortex Lattice Method in Aircraft Aeroelasticity and Flight Dynamics”, Progress in Aerospace Sciences, Vol.55, 2012, pp.46-72.
 - 22) 한형석, 박주희, 이나원, 한철희, “저속비행 3차원 유연날개 정적 공력-구조 연계해석”, 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
 - 23) 조이상, 이세욱, 조진수, “초소형 무인기 추진용 프로펠러의 전산해석 및 풍동시험”, 한국항공우주연구원, 한국항공우주학회지, 제 38권 10호, 2010, pp.955-965.
 - 24) 김정현, 안준, “고정의 초소형 비행체를 위한 익형 설계 및 비행체 공력특성 전산해석 연구”, 한국항공우주학회, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 2011, pp.107-112
 - 25) <http://web.mit.edu/drela/Public/web/xfoil/>
 - 26) ANSYS Fluent 12.0
 - 27) 이기학, 김규홍, 이경태, 안준, “저 레이놀즈수 영역의 초소형비행체 프로펠러 설계 및 해석”, 한국항공우주학회, 한국항공우주학회지 제 30권 5호, 2002, pp.1-8.
 - 28) 박부민, “인간 동력 항공기용 프로펠러 성능해석”, 한국항공우주연구원, 항공우주기술 제12권 2호, 2013.11, pp.193-201.
 - 29) <http://www.propdesigner.co.uk/>
 - 30) <http://www.mh-aerotoools.de/airfoils/javafoil.htm>
 - 31) 윤승현, 천재현, 한철희, “저 레이놀즈 수 유동조건에서의 프로펠러 공력 설계 및 성능해석”, 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
 - 32) 정조원, 백동기, 조옥찬, “수평-수직 꼬리날개가아음속 항공기의 정 안정성에 미치는 영향”, 한국항공우주학회지, 제15권, 제3호, 1987, pp.1-13.
 - 33) 손명환 외 7명, “항공기 개념설계”, 경문사, 2014, pp.334.
 - 34) 박주희, 김연수, 한철희, “인간동력 항공기 TORUK MAKTO I 종방향 안정성 및 승강타 제어”, 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
 - 35) Sullivan, R.B. and Zerweckh, S.H., “Flight Test Results for the Daedalus and Light Eagle Human Powered Aircraft”, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, 1998.
 - 36) 강형민, 김철완, “공기역학적 성능을 고려한 인간동력항공기 개념 설계” 항공우주기술, 제12권, 제2호 2013, pp180-185.
 - 37) 은원종 외 15명, “서울대학교 인간동력항공기의 설계 및 제작”, 항공우주기술, 제12권, 제2호 2013, pp.230-240.
 - 38) 천재현, 윤승현, 한철희, “시간에 따라 변하는 인간동력을 고려한 스포츠 HPA 임무형상 분석”, 2014년도 항공우주시스템 공학회 추계학술대회 논문집, 2014.
 - 39) Mood, H. and Scherrer, J. “The Work Capacity of A Synergic Muscle Group”, Ergonomics, Vol. 8, pp.329-333.
 - 40) 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
 - 41) Chrysalis Human-Powered Airplane: It Flew the First Time Out, Royal Aeronautical Society Human Powered Aircraft Group, <http://library.propdesigner.co.uk/chrysalis.pdf>