무인 위그선 설계 및 성능시험

안병권^{†*}, 장정*, 송관형*

충남대학교 선박해양공학과*

Unmanned WIG (U-WIG) Craft Design and Performance Test

Byoung-Kwon Ahn^{†*}, Jung Jang* and Kwan-Hyung Song*

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University*

Abstract

As demands for high speed sea transportations have recently been increased, various high speed ships appear. Among them the WIG is believed to be one of the next generation of the sea transportation system. Test flight of the 20 seaters WIG craft, Haenarae-X1, developed by MOERI was a success in August, 2007. Development of the large WIG is now ongoing, and it is expected to be commercialized in the near future. In this study we designed a remote controlled WIG Craft and carried out its performance test in order to establish engineering design procedures of an Unmanned WIG (U-WIG) craft.

※Keywords: Wing in ground-effect(지면효과), Unmanned WIG craft(무인위그선), Flight performance test(비행성능시험), System design(시스템 설계)

1. 서론

초기 러시아를 중심으로 군사목적으로 개발된 위그선은 냉전이 종식되고 실체가 알려지면서 고속 항주성능에 많은 관심이 집중되었다. 이후 새로운 고속 해상 수송수단에 대한 시대적 요구와 맞물려 많은 연구들이 이어져 오고 있다(Chun 2000). 우리나라에서도 1990년대 후반부터 위그

선에 대한 관심과 연구가 본격화 되었으며, 2007년 8월 한국해양연구원 해양시스템안전연구소는 20인승 위그선의 시험선인 “해나라-X1”의 성능시험을 성공적으로 수행한 바 있다. 현재 400인승 급 대형위그선 사업이 본격화 되어 머지않은 미래에 실용화에 성공할 것으로 기대되고 있다. 대형 위그선 개발에 못지않게, 장차 위그선 관련기술을 확대 응용하여 그 활용도를 높일 수 있는 것이 무인 위그선 분야이다. 당초 유인 위그선은 수면에서 낮게 운용할 수 있어 적의 레이더에 탐지되지 않는다는 장점 때문에 군사목적용으로 활발히 개

접수일: 2008년 5월 6일, 승인일: 2008년 7월 25 일

† 교신저자: bkahn@cnu.ac.kr, 042-821-6630

발되었듯 무인위그선 또한 정찰용, 전자전용, 기만용, 공격 및 표적용 등 다양한 목적의 군사용으로 사용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라 민간분야에서도 무인 원격해양탐사 및 감시, 긴급 재난구조 등 각종 분야에서 폭넓게 사용될 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 무인 위그선의 공학적 설계과정 정립을 목적으로 모형 위그선을 설계 제작하고 비행시험을 통한 정성적 성능평가를 수행하였다. 먼저 지면효과를 극대화 할 수 있는 날개형상을 설계하고, 요구추력에 부합되는 추진기관을 선정하였다. 프로펠러의 경우, 전개 면적비, 피치비 등 추력특성에 영향을 주는 요소들을 고려하여, 단독 성능을 계산하고 설계 전진계수에 적합한 프로펠러를 설계 및 제작하였다. 조종체계는 무선조종 모델의 특성에 따라서 결정하였다. 무인 위그선의 예상 운용특성상 육상 및 선상의 무함주 이륙이 가능해야 함을 고려하여 본 연구에서는 이수 장치 설계 및 이수 요구추력 특성에 대해서는 정밀하게 고려하지 않았다. 하지만 비행시험을 통해 수상 활주를 통한 이륙에 충분한 추진기관을 장착하고 안정적인 이수 및 착수성능을 확보할 수 있도록 하였다.

2. 무인위그선 설계 절차 및 특성

무인 비행체의 공학적 설계과정은 시스템의 구성요소에 대한 다양한 분석과 시험 및 평가 과정이 중요한 요소이며, 이는 여러 방식의 설계 과정과 각 과정의 조직적인 역할을 통해 구현된다 (McComic 1995, Grow et al. 2004, Raymer 2006). 통상 위그선은 OGE(Out of Ground Effect) 성능이 없는 A-type, 150m 이하의 OGE 성능이 있는 B-type과 150m 이상의 고도로 비행할 수 있는 C-type으로 구분한다. 본 연구에서는 A-type 무인 위그선 개발을 목표로 하였으며, 설계과정은 Fig. 1과 같은 절차에 따라 수행하였다. 먼저 요구 조건을 분석하고 개념 및 초기 설계를 수행하여 총 중량 7kg, 전체 길이 1.4m, 항주 속도 20m/s인 대상 모델의 주요 특성을 Table 1과 같이 결정하였다.

Fig. 1 Design procedure

Table 1 Principal particulars

Type		A
Total Weight		7 kg
L _{OA}		1.4 m
Max. Speed		35 m/s
Cruise Speed		20 m/s
Thrust		1.873 hp
Propeller Diameter		0.28 m
Main	Area	0.48 m ²
Wing	Aspect ratio	1.33
Tail Wing Area		0.11 m ²

3. 날개 및 추진장치 설계

3.1 양력특성 해석 및 날개 설계

위그선의 특성상 초기설계 단계에서 날개단면의 선정 및 안정성 평가는 중요한 부분이다(Chun et al. 1999, Shin et al. 2006, Nelson 1989). 본 연구에서는 날개의 양력특성에 대한 기본 해석을 위해 위그용 날개단면 설계를 위한 GUI 프로그램 CNU2DWIG(Ahn 1999, Ahn and Lee 2007)를 사용하였다. 이 해석프로그램은 2차원 경계면 유동을 비점성 유동해석법에 기초하여 자유수면을 고체 경계면으로 가정하고 경사법을 적용하여 해석

한다. 특히 이 해석프로그램은 사용자가 원하는 임의의 날개형상에 대해 받음각 및 운항고도의 전 영역에서의 양력, 항력, 모멘트, 공력 및 압력중심 등 안정성 평가에 필수적인 데이터를 동시에 시각적으로 보여주는 장점이 있다. 무인 모형위그선의 주 날개는 종방향 안정성 측면에서 유리한 S 형상의 EH단면을 기본으로 고정 받음각(2.5도)을 갖도록 설계하였으며(Fig. 2), 꼬리날개는 NACA0012 단면을 사용하였다. Fig. 3은 선정 날개의 양력 및 모멘트 특성을 보여준다. 여기서 h/c 는 날개 뒷날에서 수면까지의 고도를 의미하며, 본 모형의 경우 0.15 ~ 0.3 영역에서 운용되도록 설계하였다.

모형 위그선의 경우 무엇보다 무게중심(CG)의 위치는 비행특성을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 본 모형의 경우 무게중심의 선정에 가장 큰 영향을 미치는 엔진의 위치와 무게를 고려하여 선수에서 600mm 뒤에 위치하도록 설계하였으며, 양력 해석을 통해 계산된 주 날개의 공력중심의 위치(날개 앞날로부터 55mm)가 일치하도록 제작 하였

Fig. 4 Model balance

다. 제작 과정에서 발생하는 위치변화는 엔진의 전후 위치를 미세하게 조정하여 보정해 주었으며, 연료 주입, 서보기구의 장착 등 조립 후 발생하는 무게중심의 변동은 CG계측기(Fig. 4)를 이용하여 조종계통을 위한 전자장치의 위치를 이동시켜 보정해 주었다.

3.2 추력특성 해석 및 프로펠러 설계

추진 엔진은 Table 2와 같은 특성을 갖는 모델용 MAX 50-SX(Fig. 5) 엔진을 선정하였으며, 엔진특성과 설계 요구조건을 만족시키는 최적 프로펠러를 설계 및 제작하였다. 먼저 초기 요구조건과 엔진회전수에 따른 요구 동력과 추력을 계산하고 프로펠러의 기하학적 형상을 수정해 최적화된 형상을 얻는 과정을 Fig. 6과 같이 반복적으로 수행하였다.

해석 프로그램은 자체 개발한 공력 프로펠러용 비점성 해석코드를 사용하였다. 프로펠러 설계에서 추력, 엔진회전수, 프로펠러 블레이드 지름, 블레이드 수, 익형의 분포 등이 구속조건이 된다.

Fig. 2 Main wing sections

Fig. 3 Comparison of C_L and C_M

Table 2 Engine specifications

Engine	MAX 50-SX
Displacement	9.95cc
Bore	24.0mm
Stroke	22.0mm
Practical RPM	2,000-17,000 rpm
Power output	1.9 ps / 16,000 rpm
Weight	550g

Fig. 5 Engine(MAX 50-SX)

Fig. 6 Propeller design procedure

무엇보다 프로펠러 블레이드 끝은 중심부보다 빠르게 회전하기 때문에 반경 방향으로 피치비를 작게 분포시켜 블레이드를 따라 추력이 균일하게 작용하도록 설계하였다.

설계 요구조건(날개수 2, 직경 0.28m, 허브비 0.07)에 부합되는 프로펠러의 형상을 전개면적비와 피치비를 변화시켜 전진비(J)에 따른 추력계수(C_T), 동력계수(C_P) 및 프로펠러 효율(η)을 계산하여 결정하였다. 먼저 전개면적비 0.05, 0.08 그리고 0.11인 프로펠러(Fig. 7)에 대한 단독성능을 계산하였다(Fig. 8). Fig. 9는 전개면적비 0.08인 프로펠러에 대해 피치비 0.3, 0.45, 0.7에 따른 프로펠러 단독성능을 보여준다. 이를 바탕으로 본 모형은 설계 전진비 $J=0.4$ 에서 우수한 효율특성을 나타내는 프로펠러(Propeller B)를 선정하고 3차원 프린터를 이용하여 제작하였다(Fig. 10).

Fig. 7 Design propellers

Fig. 8 Propeller characteristics according to different expended area ratios

Fig. 9 Propeller characteristics of the design propellers

Fig. 10 Design Propeller

4. 제작 및 시스템 구성

4.1 동체 및 날개 제작

동체는 이수 성능을 고려한 활주선형으로 내구성이 높은 카본재료로 되어있으며(Fig. 11), 주 날개는 중형비 1.33으로 전체 면적은 0.48m^2 인 테이퍼형 날개 형상으로 설계하였다. 제작은 발사를 제원으로 구조안전성을 고려하여 발사 각재를 종/횡부재 형태(Fig. 12)로 배치하였으며 표면은 모노코트로 처리하여 방수가 되도록 하였다.

Fig. 11 Fuselage

Fig. 12 Main wing frame

Table 3 Remote control system

Controller	FUTABA 9C SUPER (FF9)	
Servomotor	torque (kg/cm)	3.0
	speed (s/60°)	0.22
	size (mm)	40.4x19.8x36
	weight (g)	45.1
Receiver	size (mm)	32.6x55x20.8
	weight (g)	34.5

Fig. 13 Radio controller setup

4.2 조종 계통

조종기, 서보모터 및 수신기는 각각 Table 3과 같은 특성을 갖는 T9CHP, S3001X4 및 R149DP 모델을 사용하였다. 변조방식은 PCM이며 대역은 50.72 L&H (MHz)이다. 수신기는 듀얼 컨버전 9 채널로서 변조방식은 PCM타입으로 송신기와 같다. 조종방식은 4채널로 주 날개의 좌우 및 꼬리 날개의 엘리베이터, 러더, 엔진 RPM 제어를 하도록 구성하였다(Fig. 13).

4.3 시스템 구성

Fig. 14는 조종실 내부의 모습이다. 조종실은 무인 위그선의 용도에 따라 카메라 및 기타 필요 장비를 장착할 수 있는 공간으로 사용할 수 있다. 조종실에는 또한 수신기와 수신기 전지 및 4개의 서보모터가 설치되는데 이들 내부 구성품은 위그선의 무게중심 변화를 고려하여 적당한 해당 위치를 선정하고 다양한 자세변화에도 위치가 변하지 않도록 고정시켰다. 수중 러더와 공중 러더(Fig. 15)는 하나의 서보로 작동되도록 구성하여 조종의 편리성을 도모하였다. Fig. 16은 위 제작 과정을 거쳐 최종 완성된 무인 위그선을 보여준다.

Fig. 14 Cabin

Fig. 15 Rudder

Fig. 16 Unmanned WIG (U-WIG)

5. 성능 시험

설계 무인 위그선의 성능평가를 위해 비행시험을 수행하였다. 먼저 설계된 구성 시스템의 작동여부와 무인 조종거리를 파악하고, 이착수성능 및 조종성능에 대한 시험을 수행하였다. 비행시험은 수심 및 운용 폭이 충분한 인근 하천에서 수행하였으며, 황천 시 활주 및 이착수 성능시험 수행을 위해 풍속이 높아 수면상태가 고르지 못한 일기에

도 성능시험을 수행하였다. 비행시험 시 배수량 및 정수 중 자세안정성, 이착수 및 항주 상태에서의 자세안정성에 중점을 두고 정성적인 성능평가를 수행하고 이를 상세설계에 반영하였으며, 특히 이수성능 향상을 위해 주 날개가 고정 받음각(2.5도)을 갖도록 수정 설계하였다. 끝 단판이 수면에 닿는 경우 정수 중뿐만 아니라 이착수 시 조종성능과 자세안정성에 큰 영향을 미치기 때문에 수면에 닿지 않게 설계하는 것이 중요하며, 황천시의 운용고도를 고려하여 여러 형상으로 탈부착이 가능하도록 제작하는 것이 필요하다. Fig. 17에서 Fig. 20은 비교적 높은 풍속으로 수면이 고르지 못한 상황에서 수행한 최종 완성된 무인 위그선의 비행시험 전, 이수, 활주 및 착수 상태를 보여준다. 높은 파고로 인해 한 쪽 끝 단판이 수면에 닿는 경우가 발생하여 고도의 조종기술을 요하는 상황도 있었지만, 정수 중의 자세 및 조종성능이 우수하고 이착수 및 활주 중에도 설계자세가 안정적으로 유지됨을 확인하였다.

Fig. 17 Flight test set up

Fig. 18 Take off

Fig. 19 Cruising

Fig. 20 Landing

6. 결론

본 연구는 최근 들어 차세대 초고속 해상수송수단으로 관심을 모으고 있는 위그선의 미래 활용영역인 무인 위그선의 공학적 설계과정을 정립하는데 그 목적을 두고 수행되었다. 본 연구를 통해 무인 위그선의 시스템 구성요소에 대한 다양한 분석과 성능해석을 수행하고 이를 바탕으로 설계 제작하였다. 무인 위그선 설계에 있어 무엇보다 정확한 공력특성과 추진특성의 해석 및 설계가 중요하며 이에 못지않게 설계중량에 맞춰 제작하는 것이 중요한 요소이다. 또한 설계 위그선의 이착수 성능, 자세안정성 및 조종안정성 검증을 위한 정성적 성능평가 시험을 수행하였다.

참 고 문 헌

- Ahn, B.K., 1999, Numerical Analysis For Lift Characteristics of Wing-In-Ground Effect Ships, Master Thesis, Seoul National University.

- Ahn, B.K. and Lee, W.S., 2007, "Development of a GUI Program for an Airfoil Design of the WIG," Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK.
- Chun, H.H., 2000, "Longitudinal Stability of a Wing-In-Ground Effect Craft," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 38, No. 3, pp. 31-40.
- Chun, H.H., Chang, C.H. and Paik, K.J., 1999, "Longitudinal Stability of a Wing-In-Ground Effect Craft," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 36, No. 3, pp. 60-70.
- Grow, J., Jones, J. and Szachta C., 2004. "Development of Thinkkaman Micro air Vehicle at Rochester Institute of Technology," Proceedings of KGCOE-MD2004.
- McCormick, B.W., 1995, Aerodynamics, Aeronautics, and Flight mechanics, John Wiley & Sons, Inc.
- Nelson, R.C., 1989, Flight Stability and Automatic Control, McGraw-Hill.
- Raymer, D.P., 2006, Aircraft Design: A Conceptual Approach, AIAA Education Series, Fourth Edition.
- Shin, M.S., Kim, Y.S., Lee, G.J., Kang, K.J., Park, Y.H., and Lee, Y.Y. 2006, "Conceptual Design of Small WIG Craft," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 1, pp. 134-146.

< 안 병 권 >

< 장 정 >

< 송 관 형 >