

WIG선의 순항 조건에 적합한 2차원 에어포일 형상 설계

Design of Two-dimensional WIG Craft Airfoil at Cruise Condition

최영원^{1*}, 이창수², 김종암²
서울대학교 물리천문학부¹
서울대학교 기계항공공학부²

초 록

20인승 급 소형 위그선의 운항조건을 고려하여 순항 시 WIG선의 양항비를 최대로 할 수 있는 에어포일 형상 설계 기초연구를 수행하였다. WIG선의 순항 받음각 하에서 NACA 4 digit 에어포일의 최대 캠버 위치, 최대 캠버, 두께를 변화 시켜가며 수치해석을 수행하였다. 그 결과 최대캠버 8 미만에서 두께가 두껍고 최대캠버가 클수록 양항비가 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있었으며, NACA6412 에어포일이 전반적으로 가장 우수한 양항비를 나타내었다.

Key Words : 위그선 (WIG Craft), 지면 효과 (Ground Effect), 양항비 (Lift to Drag Ratio)

1. 서 론

WIG선은 최대 시속 약 500km/h로 운항되며, 선박과 항공기의 개념이 복합된 운송체이다. WIG선은 운송체 전체를 해면 위로 부양시켜 조파저항을 제거하고 항공기 수준의 속도를 구현하도록 개발되었다.⁽⁵⁾ 또한 바다에서 이착륙이 가능해 섬이 많은 나라에서 매우 유용한 해상교통수단으로 활용될 수 있다.⁽¹⁾ WIG선은 지면효과를 이용하는 운송체로 동일한 에어포일 형상에 대해 지면효과로 인한 양력 증가, 항력 감소의 효과를 나타내며 결과적으로 높은 양항비를 얻을 수 있다. 이는 연료비를 감소시키는 효과를 가져 온다. 본 연구에서는 20인승 급 소형 WIG선의 운항조건⁽¹⁾을 고려하여 순항 시 WIG선의 양항비를 최대로 할 수 있는 에어포일 형상을 찾고자 한다. 이를 위해 NACA 4 digit 에어포일의 각 파라미터를 변화시켜 수치해석을 수행하였고, 여기에서 발생하는 지면효과 (ground effect) 및 벤츄리 효과 (venturi effect) 와 같은 유체역학 교과서의 물리현상에 대해 확인하고 분석하였다.

2. 본 론

2.1 지면 효과에 대한 고찰

WIG선의 에어포일은 지면 효과를 이용해 상대적으로 높은 양항비를 얻을 수 있지만, 지면과 일정거리 이상 가까워지면 벤츄리 효과로 인한 음의 양력을 고려해야 한다. 김양준 등⁽²⁾은 대칭 익형의 경우 지면효과가 크게 나타나는 고도에서 벤츄리 효과에 의한 영향이 커지며, 두께 비 9%의 경우 h/C 가 0.4 이하, 두께 비 12%의 경우 h/C 가 0.5 이하에서 음의 양력이 발생한다는 것을 수치해석을 통해 분석하였다. 에어포일의 두께가 두꺼울수록 벤츄리 효과는 커지며 NACA0014의 경우 h/C 가 0.4이상 되어야 그 영향에서 벗어날 수 있다. 밑이 평평한 비대칭 에어포일 (NACA 4409)의 경우 벤츄리 효과의 영향이 circulation에 비해 상대적으로 작아지기 때문에 더 낮은 AOA에서도 양의 지면효과가 생기고, 음의 양력이 발생하지 않는다. 따라서 WIG선에는 비대칭 에어포일의 형태가 더 적합하며, 두께 비의 영향도 함께

고려해야 한다.

2.2 기본 격자 설계 형태

해석을 위해 사용한 격자는 NACA 4 digit 에어포일이며, 지면 효과를 고려하기 위하여 Fig. 1과 같이 에어포일 밑면이 평평하도록 모델링하였다. 격자 개수는 약 30,000개이며, 원방 경계는 코드 길이의 약 20배 정도로 구성하였다. NACA 4 digit 에어포일은 eMesh를 이용하여 모델링하였고, 원방 및 지면 근처 형상은 업로드 기능을 활용해 외부에서 설계하였으며, eMesh를 활용하여 최종 격자를 완성하였다.

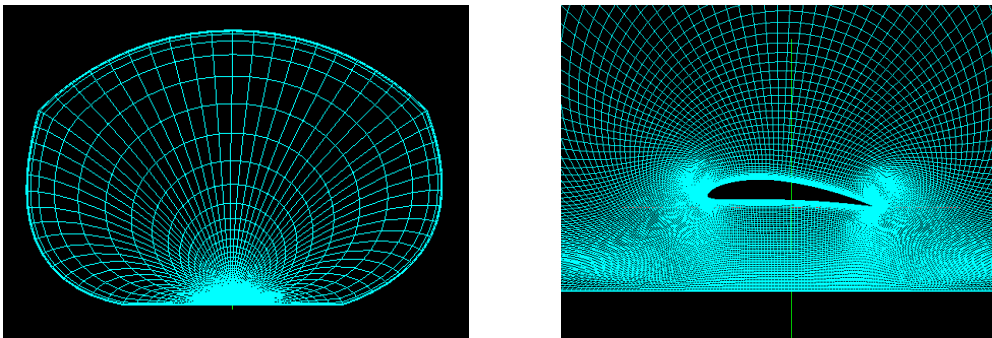


Fig. 1. NACA4412 에어포일 격자

2.3 지면 경계조건 선택

지면 효과 분석 시 지면 경계는 크게 ground stationary와 ground moving 두 가지 경우를 고려할 수 있다. Ground stationary wall (non-slip wall) 경계조건은 에어포일과 지면이 함께 움직이는 조건이므로 비 물리적이며, h/C 가 0.25 아래에서 실제 현상보다 양력이 낮게 예측 된다⁽⁴⁾. 따라서 실제 물리현상을 반영하는 ground moving wall 경계 조건을 사용해야 하지만, EDISON solver에서 제공하는 경계 조건에서는 경계면에 이동 조건을 주는 것이 불가능하다. 따라서 몇 가지 높이에 대하여 symmetric 경계 조건을 부여한 결과를 해석하여, 이를 선행 연구의 ground moving wall의 결과⁽⁴⁾와 비교하였다. 그 결과 $h/c=0.4$ 이상에서 두 결과가 상대오차 5% 미만으로 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. (Fig. 2) 이 결과를 바탕으로 본 연구에서는 $h/c=0.5$ 인 순항 높이에서 symmetric 경계 조건을 부여하여 수치해석을 수행하였다.

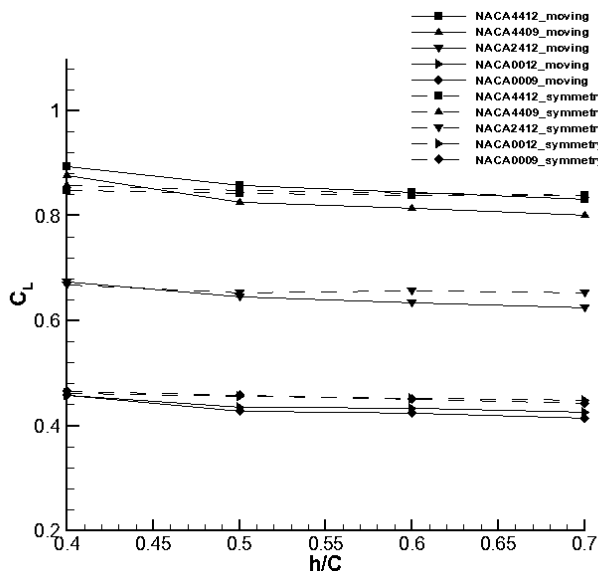


Fig. 2. boundary condition 비교

2.4 결과 및 분석

2.4.1 유동 조건

해석에 사용된 유동조건은 20인승 급 소형 위그선의 순항조건을 참고하였으며⁽¹⁾, 비압축성 정상 난류 유동 해석을 위하여 2D_Inomp-2.0 해석자를 활용하였다.

- ① $Re = 1.67 \times 10^7$
- ② $h/C = 0.5$ (순항 고도)
- ③ Solver : 2D_Inomp-2.0
- ④ Boundary condition : Inflow/Outflow (원방 경계), Symmetric (지면 경계)
- ⑤ NACA 에어포일 형상 파라미터 : 최대 캠버 위치, 최대 캠버, 두께

2.4.2 해석 에어포일 선택

① 캠버 위치에 따른 양항비와 모멘트 변화

캠버 위치를 변화시키면서 두께 12%, 최대 캠버 4인 NACA 에어포일에 대해 양항비와 모멘트 변화를 살펴보았다. (Fig. 3, 4) 캠버 위치 6에서 최대 양항비가 나타나지만 이때 발생하는 nose-down 피칭 모멘트가 너무 커져 정적 안정성이 크게 떨어진다. 따라서 캠버 위치는 4로 고정한다.

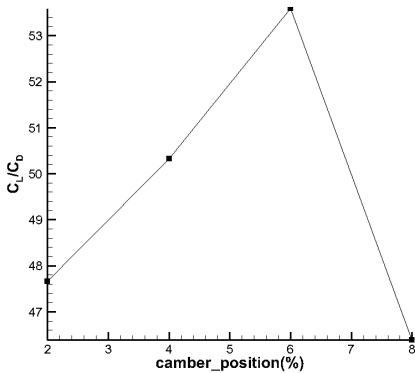


Fig. 3. NACA 에어포일 최대 캠버 위치에 따른 양항비

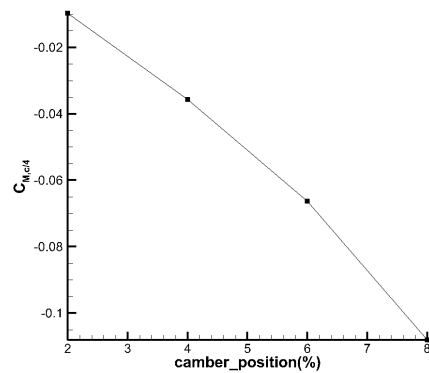


Fig. 4. NACA 에어포일 최대 캠버 위치에 따른 모멘트

② 최대 캠버와 두께에 따른 양항비 변화

Figure 5 ~ 7은 차례대로 받음각 (0°, 2°, 4°)에 대해 최대 캠버 (2, 4, 6, 8)별 NACA 에어포일의 양항비를 두께 순서대로 나타낸 것이다.

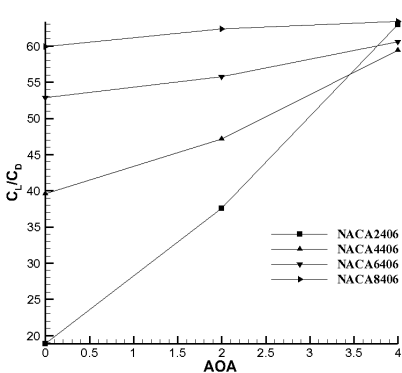


Fig. 5. 두께 6%

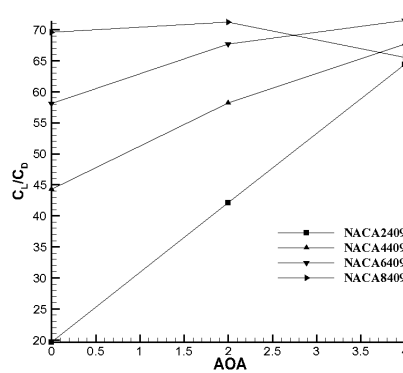


Fig. 6. 두께 9%

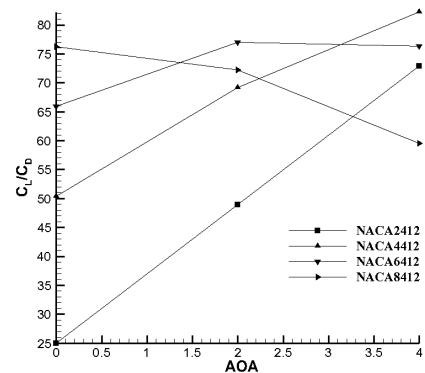


Fig. 7. 두께 12%

최대캠버가 2와 4인 경우, 모든 두께에 대해 받음각이 증가함에 따라 양항비가 증가하는 경향을 나타낸다. 최대캠버가 6인 경우에는 두께 6%, 9%일 때 받음각이 증가함에 따라 양항비가 증가하지만, 두께가 12%인 경우 받음각이 4°일 때 오히려 양항비가 감소하는 경향을 보인다. 이는 상대적으로 높은 받음각에서 두께 증가로 인해 에어포일 윗면의 뒷전 부근에서 발생하는 유동 박리로 인한 항력 성분이 증가하기 때문이다. 마찬가지로 최대캠버가 8인 경우, 에어포일의 굴곡이 더욱 심해져 두께 6%인 경우를 제외한 모든 경우에서 받음각이 증가함에 따라 양항비가 감소 (항력이 증가) 하는 경향을 보인다. 따라서 최대캠버가 8인 경우는 최적 형상에서 제외하였다.

결론적으로 최대캠버가 2, 4, 6 인 경우만 고려해보면 두께가 증가함에 따라 전체적인 양항비가 증가하는 특성을 나타낸다. 또한 두께에 상관없이 최대캠버만 증가할 때에도 양항비가 크게 증가한다. 즉, 주어진 받음각 내에서 두께가 두껍고 최대캠버가 클수록 양항비가 높게 나타나는 경향을 확인할 수 있으며, NACA 6412이 전반적으로 가장 우수한 양항비 특성을 갖는다고 할 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 지면효과에 대한 기본적인 유체역학의 배경지식과 EDISON_열유체 시스템을 활용하여 WIG선의 순항조건에서 운용 가능한 최적 에어포일 형상에 대한 기초적인 연구를 수행하였다. 20인승급 소형 WIG선의 유동 조건 하에서 NACA 4 digit 에어포일의 최대 캠버 위치, 최대 캠버, 두께를 받음각 0°, 2°, 4°로 변화시켜가며 수치해석을 수행하였다. 그 결과 최대캠버 8 미만에서 NACA6412가 전반적으로 가장 좋은 양항비 특성을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 EDISON 중앙센터와 열유체 전문센터의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) 한국해양연구원 해양시스템안전연구소, “20인승급 소형 위그선 개발,” BSPN00870-74-2.
- (2) 김양준 외 2인, “지면효과에 대한 공기역학적 고찰,” 한국항공우주학회 2003년도 추계학술발표회 논문집(I) 2003.11, page(s): 716-722.
- (3) 임예훈, 장근식, “아음속 난류 유동 영역에서 지면 효과를 갖는 2차원 에어포일의 특성,” 한국전산유체공학회 학술대회논문집 1997.10, page(s): 61-65.
- (4) Chih-Min Hsiun, Cha'o-Kuang Chen, “Numerical Investigation of the Thickness and Camber Effects on Aerodynamic Characteristics for Two-dimensional Airfoils with Ground Effect in Viscous Flow,” Trans. Jpn. Soc. Aero. Space Sci. 38(119), 77-90, 1995-05-04.
- (5) 조창열, 김양준, “지면효과익기 날개에 대한 전산 공력 해석,” 한국전산유체공학회 학술대회논문집 1997.10, page(s): 61-65.