

EDISON_CFD를 활용한 Clark-Y 에어포일의 공력 특성 연구

A study on Aerodynamic Characteristics of Clark-Y Airfoil using EDISON_CFD

김호현1)*, 조하나1), 유기완2)
전북대학교 항공우주공학과

초 록

본 연구에서는 전산유체 해석프로그램인 EDISON_CFD를 이용하여 Clark-Y 에어포일의 공력특성 변화를 수치해석하고, 여러 가지 받음각의 변화를 통해 양력계수, 항력계수, 양항비 등을 도출하였다. 공력해석을 위한 조건으로 압축성 Navier-Stokes 방정식에 난류 유동조건을 적용하였다. 해석 결과는 에어포일 공력해석 툴로 널리 알려져 있는 XFOIL을 이용하여 비교 검토하였다.

Key Words : CFD(Computational Fluid Dynamics), 공력특성(Aerodynamic Characteristics), Flatback 에어포일, 양항비, 받음각

1. 서 론

항공 산업은 높은 부가가치와 산업에 미치는 영향이 커서 유럽과 미국의 항공선진국은 물론 중국과 일본에서도 국가 전략산업으로 육성하고 있다. 우리나라도 이제 초등훈련기와 고등훈련기와 아울러 다목적 헬리콥터를 제조하며 해외에 수출까지 하고 있어 항공 산업에 거는 기대도 날로 증대하고 있다. 이와 더불어 항공우주연구원에서 주최하는 전국인력항공기 경진대회는 많은 항공학도들에 대해 항공기의 요소 설계를 어떻게 하면 잘 할 수 있을까라는 숙제를 피부에 와 닿게 한다. 이 중에서 공력 성능 (aerodynamic performance)이 우수한 비행체를 만들기 위해선 양력 (lift)을 증가시키고 항력 (drag)을 최대한으로 감소시켜야 하는데, 그러한 일을 할 수 있는 것은 바로 비행기의 날개이다. 따라서 날개의 요소라 할 수 있는 에어포일 (airfoil)을 어느 것으로 선택하느냐에 따라 공력성능에 많은 영향을 줄 수 있다. 여기서 에어포일이란 날개의 2차원 단면 형상을 나타내는데 보통 앞전 (leading-edge)을 둥글게 하고 뒷전 (trailing-edge)을 뾰족하게 한 유선형 형상을 갖는다. 공기보다 무거운 항공기를 날리기 위해서는 공기 역학적인 효과가 뛰어난 에어포일이 요구된다. 항공기는 에어포일과 아주 긴밀한 관계를 가지고 있기 때문에 항공기의 성능을 알기 위해서는 에어포일에 대한 공력특성을 알아야만 한다. 양력계수, 최대양력계수, 항력계수, 양항비 (drag-to-lift ratio) 등의 값들은 에어포일의 형상에 따라서 매우 민감하게 달라지는 특성이 있다 [1]. 에어포일의 공력특성을 얻어내는 방법은 크게 실험적인 방법과 계산을 통한 방법이 있다. 실험에 대한 대표적인 결과는 미국 NACA airfoil의 공력자료를 예로 들 수 있으며, 4자, 5자, 6자 계열들에 대한 받음각과 레이놀즈수 변화에 따른 아음

1) 전북대학교 항공우주공학과

2) 전북대학교 항공우주공학과

kwryu@jbnu.ac.kr

속 풍동에서의 방대한 실험 결과를 제공하고 있다. 계산을 통해 공력성능 자료를 얻어내는 방법은 대표적으로 포텐셜 유동 가정을 기반으로 하는 XFOIL [2] 등의 에어포일 설계 및 해석 프로그램과 전산유체해석 방법 등이 있다. XFOIL은 미국 MIT의 Mark Drela 교수가 주도하여 개발한 에어포일 설계 해석용 툴이며, GUI 기능까지 가지고 있고 천이점 예측 및 점성 효과까지 가미하고 있어 매우 실용적이며 비교적 정확한 예측 결과도 보여주고 있어 아주 널리 애용되는 에어포일 툴이라 할 수 있다. 다만 실속이 발생하는 경우에는 해석에 한계에 의해 그 결과의 신뢰도가 많이 떨어진다는 점이 있다. 또 다른 해석 방법으로는 전산유체역학 기법을 이용하는 것이다. 이는 Navier-Stokes 방정식을 유한 차분법, 유한체적법 혹은 유한요소법 등의 수치적 기법을 이용하여 편미분방정식의 해를 얻어내는 것이라 할 수 있다. 본 연구에서는 서울대학교와 KISTI가 공동으로 협력하여 개발한 EDISON_CFD를 이용하기로 한다 [3]. 에어포일은 프로펠러나 아음속 날개에 많이 적용되고 있는 Clark-Y 에어포일을 선정하였으며 유동은 압축성 난류 유동으로 가정하였다. Clark-Y 에어포일에 대한 공력 특성을 파악하기 위해 받음각의 변화를 주어 그에 따른 양력계수, 항력계수, 양항비 등을 살펴보고 이를 XFOIL을 이용해 얻어낸 결과와 비교하도록 한다.

2. 본 론

2.1 해석모델

Clark-Y는 최대 두께비 (thickness ratio)가 28 % 위치에서 11.7 %이고 캠버 (camber) 3.4 %에 최대 캠버 위치 42 %이다. 에어포일의 좌표 값은 University of Illinois at Urbana-Champaign의 에어포일 web site를 참고하였다 [4]. Clark-Y에 대한 형상과 제원은 Fig. 1과 Table 2에 있다. 유동조건은 마하수 (Mach number) $M = 0.59$, 레이놀즈수 (Reynolds number) $Re = 1,000,000$ 에서의 압축성 난류와 정상상태의 조건으로 하였으며, 비선형 (non-linear) 영역에서는 원칙적으로 비정상 공력해석을 수행하여야 할 것으로 보이나 해석의 어려움과 수렴의 한계를 경험하면서 본고에서는 그 결과를 생략하였다.

Max. thickness	11.7% at 28% chord
Max. Camber	3.4% at 42% chord

Table 2, Clark-Y 에어포일의 제원

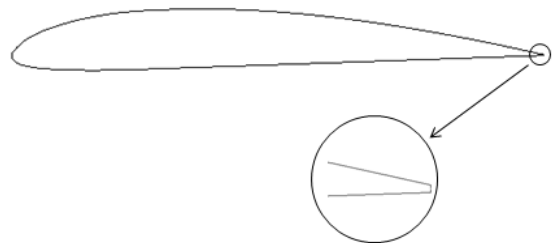


Fig 1, Clark-Y 에어포일의 형상

2.2 격자구성

Fig. 1에서 보인 것과 같이 Clark-Y 에어포일은 뒷전 두께를 갖는 에어포일이다. 이를 고려하여 점 개수를 뒷전을 제외한 i 방향 에어포일은 301개, 뒷전부분은 61개, j 방향은 301개로 설정하였다. EDISON_CFD는 완전 난류 유동으로 가정하여 계산하기 때문에 시뮬레이션 결과의 정확성을 높이기 위해 에어포일 표면 주변의 격자를 조밀하게 구성할 필요가 있었다. 따라서 $y^+ \sim 1$ 로 계산하여 최초 j 방향 격자 크기를 7.85×10^{-8} 보다 작게 하였다. 격자구성 방식은 에어포일 경계에서의 수직도를 높이기 위해서 Hyperbolic Marching 방법을 이용하였다. 이는 형상에 최대한 수직하게 격자를 만들면서 정해진 지점까지 일정한 비율로 격자의 크기를 증가시키는 방법이다. 에어포일 근방의 격자계 형상은 Fig. 2에 나타내었다.

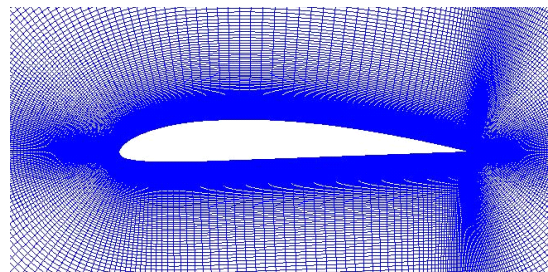


Fig. 2, Clark-Y의 격자계

2.3 결과 분석 및 논의

Clark-Y 에어포일을 EDISON_CFD를 이용하여 여러 가지 받음각 (angle of attack)에 대한 공력계수를 얻어낸 다음 양력곡선, 항력곡선, 양항비 곡선을 유출해 내었다. Fig. 3a, Fig. 3b, Fig. 4a, Fig. 4b에는 실속 (stall) 이전의 각각 0° 와 4° 받음각에서의 압력계수 (pressure coefficient) 분포를 XFOIL 결과와 비교해 제시하였다. 실속 이전의 받음

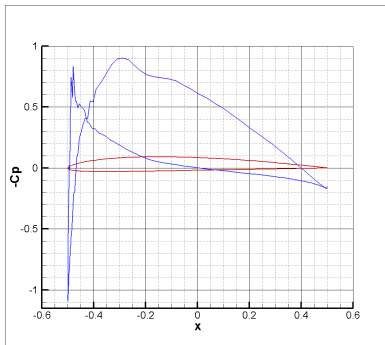


Fig. 3a, pressure coefficient at $\alpha=0^\circ$
EDISON_CFD

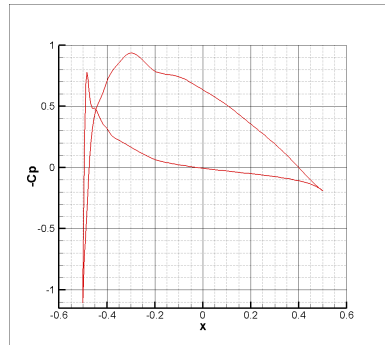


Fig. 3b, pressure coefficient at $\alpha=0^\circ$
XFOIL

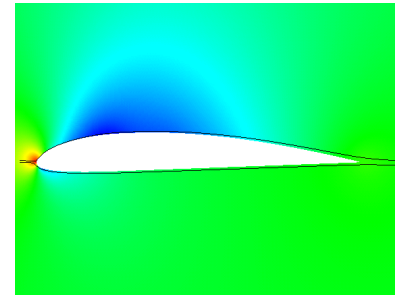


Fig. 3c, stream line at $\alpha=0^\circ$

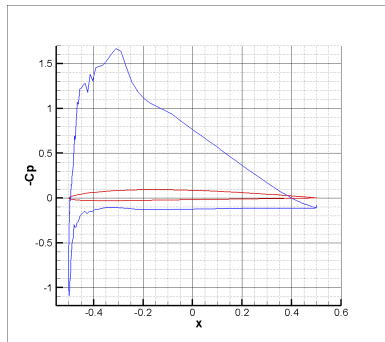


Fig. 4a, pressure coefficient at $\alpha=4^\circ$
EDISON_CFD

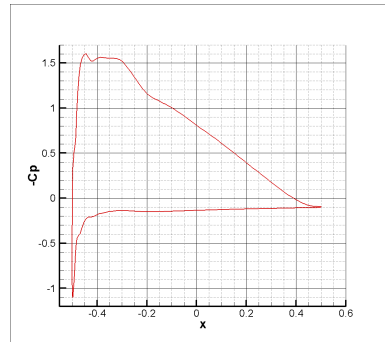


Fig. 4b, pressure coefficient at $\alpha=4^\circ$
XFOIL

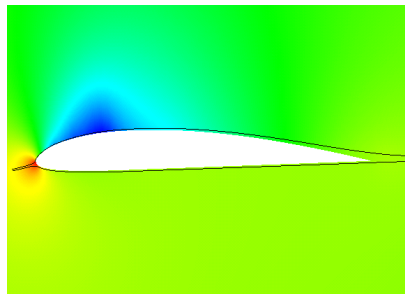


Fig. 4c, stream line at $\alpha=4^\circ$

각만 주어진 것은 실속 이후의 받음각은 XFOIL 데이터가 신뢰할 수 없기 때문이다. EDISON_CFD와 XFOIL의 데이터가 약간의 차이는 나지만 대체로 매우 잘 일치하는 것으로 볼 수 있다. EDISON_CFD가 경계층 전체를 난류 경계층으로 가정하여 해석한다는 점을 고려하여 상호 공력 자료를 비교하는데 오차를 최소화하기 위해 XFOIL에서의 천

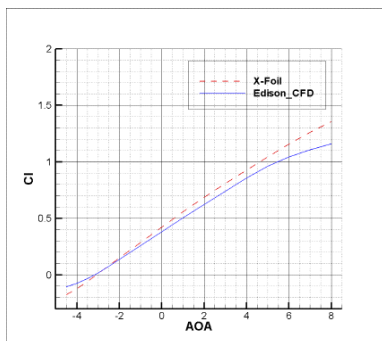


Fig. 5, $C_l-\alpha$ 곡선

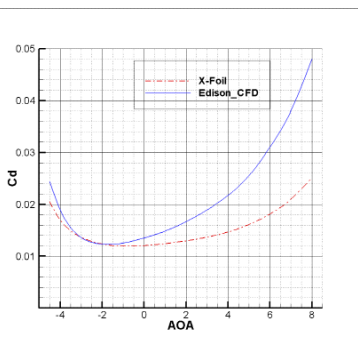


Fig. 6, $C_d-\alpha$ 곡선

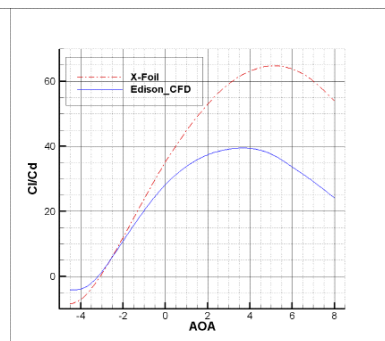


Fig. 7, $C_l/C_d-\alpha$ 곡선

이점 위치를 에어포일 뒷면에서는 앞전에서 5%, 아랫면에서는 앞전에서 10% 위치로 강제 천이 (forced transition)를 유발 시켰다. Fig. 3c, Fig. 4c는 각각 0° 와 4° 받음각에서의 유선 (streamline)의 흐름 및 압력 분포를 나타내었

다. Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7에는 각각 받음각(AOA)에 따른 양력계수, 항력계수, 양항비 곡선을 나타내었다. Fig. 5의 $C_l - \alpha$ 곡선을 보면 EDISON_CFD와 XFOIL의 결과가 서로 큰 차이를 보이지 않고 있다. Fig. 6에서의 $C_d - \alpha$ 곡선에서는 차이가 발생한다. XFOIL의 C_d 곡선에 비해 EDISON_CFD에서의 C_d 곡선이 다소 큰 차이를 나타낸다. 이는 완전 난류유동 가정을 통해서 항력치를 얻어내는 EDISON_CFD의 특성이 앞전 일부의 층류역과 천이역이 존재하는 Xfoil과의 차이도 일조 하는 것으로 보여진다. Fig. 7에서의 $C_l/C_d - \alpha$ 곡선에서도 항력차이에서 발생하는 양항비의 차이를 발견할 수 있다. 하지만 최대 양항비를 갖는 받음각의 지점은 거의 동일하게 보이며, EDISON_CFD 해석결과 Clark-Y 에어포일의 최대 양항비는 받음각 4도에서 39.3458인 것으로 나타났다.

3. 결 론

Clark-Y 에어포일의 공력 성능을 파악하기 위해 레이놀즈 수 1,000,000과 마하수 0.59에서 EDISON_CFD를 이용하여 압축성 난류유동의 가정을 통해 공력해석을 수행하고 XFOIL 결과와 비교하여 다음과 같은 결론을 얻어내었다.

1. 선형구간 이내로 볼 수 있는 받음각 0도와 4도에서의 에어포일 표면 압력분포는 CFD 결과와 XFOIL결과가 매우 잘 일치하는 것으로 나타났다.
2. 항력계수는 XFOIL에 비해 EDISON_CFD의 해석결과가 큰 차이를 보여주어 이에 대한 검증이 요구된다.
3. EDISON_CFD 해석결과 Clark-Y 에어포일의 최대 양항비는 받음각 4도에서 39.3458인 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 한국에너지기술평가원의 지원으로 연구되었으며, 프로그램 수행에 도움을 주신 서울대학교 공력 시뮬레이션 및 디자인 연구실과 KISTI 그리고 전북대학교 항공우주공학과 유기완 교수님께 감사드립니다. 또한 본 연구는 미래창조과학부의 지원 사업인 첨단 사이언스 교육 허브 개발 사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] John D. Anderson, Jr., 2011, Fundamentals of Aerodynamics, McGraw-Hill
- [2] M. Drela, Xfoil 6.97 User's Guide, 2001, MIT Aero & Astro Harold Youngren Aircraft, Inc.
- [3] KISTI, 2014, EDISON_CFD User' s Manual
- [4] UIUC Airfoil data site, <http://aerospace.illinois.edu/m-selig/ads.html>
- [5] 김성욱 외, 2012, “XFOIL과 CFD기법을 이용한 풍력터빈용 두꺼운 에어포일의 공력특성 비교,” 2012 한국풍력에너지학회 춘계학술대회