

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2020.28.1.059>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## 교육용 소형 항공기의 형상 모델링과 공력 분석에 관한 연구

조환기\*

## A Study on the Configuration Modeling and Aerodynamic Analysis of Small Airplanes for Flight Training

Hwankee Cho\*

## ABSTRACT

This paper presents comparative results of configuration modeling and aerodynamic analysis to single-engine airplanes such as C-172, SR-20, and DA40NG. The software OpenVSP was used as an airplane configuration modeling tool. OpenVSP can provide the fastest method to get three-dimensional aircraft configuration from given basic data and drawings of aircraft. Parametric design input in OpenVSP, from given aircraft geometric parameters, was applied to small airplanes mentioned. New aircraft models in this study were reversely designed to coincide with the publicly obtained dimensions of the original aircraft. The basic aerodynamic analysis of newly designed modeling aircraft was performed by the vortex lattice method. Results are shown that the similarity of aerodynamic data obtained except for the lack of DA40NG. In conclusion, the modeling process applied to this work is valuable to obtain conceptual design insight in the reverse design from the small airplanes currently in use for flight training.

**Key Words** : Conceptual Design(개념설계), Vortex Lattice Method(와류격자방법), Small Airplane(소형 비행기), Modeling(모델링), Aircraft Configuration(항공기 형상)

## 1. 서 론

자가용이나 계기한정 및 사업용 조종사 자격증을 획득하기 위해서는 항공기를 이용한 비행교육이 필수적이다. 비행교육용으로 사용되는 항공기는 주로 단발프롭왕복동 항공기를 이용하거나 또는 자격에 따라 쌍발프롭엔진을 장착한 항공기 등이 사용된다. 우리나라에서는 다양한 기종, 여러 형상의 자가용 항공기들이 외

국으로부터 도입되어 비행교육용으로 사용하고 있다. 비행교육만을 위해서 항공기가 제작된다면 일반 경항공기보다 우수한 비행안정성과 구조적 안전성을 갖추는 것이 필요할 것이다. 그러나 교육용 항공기는 그 수요가 한정되어 있기 때문에 상업성의 결여로 이러한 항공기는 제작되고 있지 않다. 일부 항공기가 KT-1처럼 군용으로 개발되는 경우 그 수량이 적어도 특수한 목적으로 사용될 수 있기 때문에 제작할 수도 있겠지만, 이러한 목적의 항공기는 거의 존재하지 않는다. 오히려 군과 같은 기관에서도 우수한 성능의 일반 항공기인 자가용 항공기를 이용하고 있는 것이 현실이며, 이것이 경제적 측면에서 유리한 방향이기 때문이다.

우리나라는 최근에 4인승 KC-100 경항공기와 2인승 KLA-100 항공기 등 2개 기종을 개발하였다[1]. 하

Received: 01. Mar. 2020, Revised: 11. Mar. 2020,

Accepted: 26. Mar. 2020

\* 청주대학교 항공학부 항공운항학과 교수

연락처자 E-mail : hwancho@cju.ac.kr

연락처자 주소 : 충북 청주시 청원구 대성로 289번지

지만 아직까지 이 분야에서 널리 사용되고 있지 않으며, 앞으로의 전망도 그리 밝지 않다. 우리나라의 경항공기는 충분한 시장이 형성된 것을 반영하여 제작되거나 풍부한 기초적인 연구를 통해서 또는 여러 가지 다양한 모델에 대한 체계적인 연구에 의해서보다 정책적인 목적에 의해서 개발이 이루어진 측면이 없지 않기 때문이다.

자가용 및 일반 교육용 항공기 시장에서 경쟁력 있는 항공기를 갖추기 위해서는 항공기의 비행성능도 중요하지만, 개발 및 생산비용이나 운용비용 등이 중요한 요소이다. 항공기의 가격 경쟁력은 이미 개발된 항공기의 성능개량이나 개발 비용절감 등을 통해서도 가능할 것이다. 이러한 측면에서 경항공기의 설계에 대한 연구가 다양하게 이루어지는 것은 여전히 필요한 방향이다.

우수한 항공기를 설계하기 위한 가장 쉬운 방법 중의 하나는 동급의 항공기에 대한 분석을 통하여 항공기의 개념설계에 적용해 나가는 것이다. Manoviraj Singh[2]는 비행교육용으로 많이 활용되고 있는 C-172 항공기에 대하여 설계 개선 연구를 수행한 바 있는데, C-172 항공기 날개에 윙렛을 장착하여 재설계한다면 공력성능이 개선된다는 재설계 제안을 하였다.

최근에 NASA에서 개발하여 공개한 항공기 개념설계용 프로그램인 OpenVSP는 개념설계나 역설계에 유용하다. 이 소프트웨어는 설계 형상에 우수한 정밀도를 제공할 수 있으며, 아주 쉽게 기체의 형상을 설계하고 수정이 가능하며, 간단한 해석도 가능하다[3]. 이 때문에 이 소프트웨어를 사용하면 초기 개념설계단계 또는 개선이나 개조 설계에 아주 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

국내외에서 많이 활용하고 있는 비행교육용 소형 항공기인 세스나 C-172, SR-20, DA-40NG 등의 항공기 등이다. 본 연구에서는 이들 항공기들의 형상을 기초적인 자료를 활용하여 역설계하고, 설계된 형상을 이용하여 공학적 특성을 분석하기 위하여 Vortex Lattice Method를 이용 설계요소에 대한 분석과 성능을 비교하고, 보다 우수한 성능의 항공기에 대한 설계요소를 도출해 본다. 또한 각각의 항공기 설계요소와 성능을 비교분석하는 자료를 실제 비행성능자료와 비교 분석하여 조종사에게 비행에 유익한 정보를 제공하고자 한다. 본 연구를 통하여 얻어진 비교자료를 분석하여 보다 우수한 성능의 교육용 항공기 형상 설계 방안을 모색하고자 한다.

본 연구에서는 기존의 항공기에 대한 3차원 형상을 모델링하고, 공력계 해석을 해보고자 한다. 소형 항공

기들의 종류별 모델링과 해석 결과로부터 각 항공기의 성능개선을 위한 개념설계에 대한 활용성을 알아보고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 교육용 항공기의 기하학적 자료 비교

국내의 일부 대학에서 비행교육용으로 많이 사용하고 있는 항공기는 C-172계열의 항공기, DA-40NG 및 SR-20이라는 항공기 등이다. 소수의 Piper 기종도 역시 비행교육에 사용되고 있다. 이들 중에서 가장 오래 전에 항공기가 설계되고, 전 세계적으로도 널리 그리고 다수가 판매된 항공기는 세스나의 C-172계열 항공기이다. 이 항공기는 설계 개념이 매우 오래 되어 요즘 생산된 항공기와는 다르게 날개에 스트럿(strut)이 장착되어 있는 고익기 구조로 되어 있다.

DA-40NG 항공기는 오스트리아의 다이아몬드 항공사에서 설계하고 제작한 4인승 자가용 항공기이다. 항공기의 외피는 강화플라스틱(FRP)이 사용되었으며, 항공기의 주구조물은 탄소복합재 구조재로 이루어졌다.

DA-40NG 항공기의 엔진은 자동차 엔진을 항공용으로 개조한 수랭식 디젤엔진을 사용하고 있지만, 연료는 제트연료인 Jet A-1을 사용하고 있다. 항공기의 구조는 날개가 비교적 길고 타 항공기에 비해 높이는 다소 낮은 형상이며, 전장 길이는 유사하다. 외형의 특징 날개에는 윙렛이 장착되어 있고, 꼬리날개부가 T자 형상을 갖고 있다. 기타 형상은 타 항공기와 유사하다[4]

Fig. 1은 DA-40NG 항공기의 정면도 및 측면도 형상을 예를 들어 나타낸 것이다. 이 그림은 Table 1의

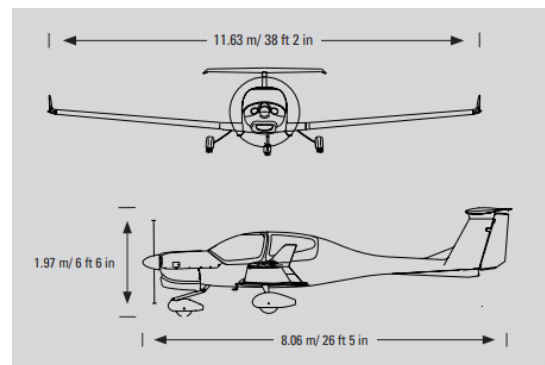


Fig. 1. The aircraft's basic geometric configuration of DA-40NG(from the fact sheet of Diamond Aircraft Industry)

Table 1. Geometrical specifications of DA-40NG, C-172 Skyhawk, and SR-20 aircraft used in the reverse modeling design

Comparison of aircraft dimensional data			
Aircraft	DA-40NG	C-172S	SR-20
Length(m)	8.06	8.28	7.92
Wing span(m)	11.63	11.0	11.67
Height(m)	1.97	2.72	2.70
MAC(m)	1.171	1.63(root) 1.13(tip)	1.23
AR	10.223	7.5	9.0
Wing area(m <sup>2</sup> )	13.224	16.2	12.56
Wing twist	N/A	1.5° at root -1.5° at tip	N/A
Dihedral	5deg	1.7deg	No data
LE Sweep(deg)	1	0	0
Airfoil type	Wortmann FX63-137/20MOD(DA40NG) NACA2412(C-172), Roncz(SR-20)		

파라미터와 결합하여 역설계되는 항공기 형상자료를 입력하는데 매우 유용하게 사용될 수 있다. 3면도는 항공기의 3차원 형상을 역설계하여 만들어내는데 반드시 필요하다. 최근에 이 항공기의 역설계 해석에 관련된 연구가 이루어졌지만, 아직 활용이 가능한 수준의 연구는 아직 이루어지지 않고 있다[5],[6]

Table 1은 DA-40NG, C-172S 및 SR-20 항공기의 기하학적 자료를 비교하여 나타난 것으로 비행매뉴얼 및 기타 공개된 자료로부터 발췌하였다. 이 자료들은 항공기의 형상을 역추적하는데 반드시 필요하다. 또한 3차원 기하학적 형상 설계에 있어서 충분하지는 않지만 반드시 필요한 자료들이다. 그러나, 위에 언급한 기본적인 기하학적 자료들만으로 3차원 형상의 비행기 모델을 설계하는 것은 불가능하다. 3면도와 결합한다면 3차원 형상을 설계하는 것이 가능하다.

## 2.2 항공기의 3차원 형상 모델링 방법

항공기의 3차원 형상은 Table 1 및 Fig. 1과 같이 주어진 3면도와 같은 자료를 기초로 하여 설계에 요구되는 파라미터들을 입력하여 모델링 작업을 수행하였다. 모델링 작업은 설계요구에 따라 비행기의 형상을

도출하고 CAD 프로그램을 이용하여 설계하는 것보다 간단한 방법이다.

OpenVSP(Vehicle Sketch Pad)는 공학적 파라미터를 사용하여 항공기의 3차원 모델을 만들어 낼 수 있는 파라미터 기반의 항공기 기하학적 형상설계 도구이다. 여기서 만들어진 3차원 기하학적 형상은 동일 플랫폼에서 공학적 해석에 활용될 수 있다는 장점이 있다. 따라서 기존 항공기의 기하학적 파라미터를 항공기의 3차원 형상을 모델링하는데 적용하는 것이 가능하다. 이 소프트웨어는 1990년대 NASA 소속의 J.R. Gloudemans[7]와 동료들에 의해서 개발되었으며, 2012년 1월에 공개되었다. 지금도 여전히 업데이트가 지속되고 있으며, 비교적 신뢰성이 있는 소프트웨어로 항공기 개발의 개념설계 단계에서 유용하게 활용 가능한 것이 장점이다.

## 2.3 항공기의 3차원 형상 모델링 결과

항공기 형상에 대한 역설계는 주어진 기하학적 정보가 제한되어 있기 때문에 그리 간단하지 않다. Open VSP는 기초적인 기하학적 형상에 대한 자료와 3면도가 주어진다면 어느 정도 정확한 형상의 역설계가 가능한 도구이다. 본 연구에서는 주어진 정보로부터 설계 파라미터를 입력하고, 주어진 도면의 형상을 단계적으로 구축해 나가면 3차원의 항공기 형상을 모델링 작업을 수행하였다.

Fig. 2는 항공기의 3차원 형상을 공력해석이 용이하도록 만들기 위해서 형상이 단순화된 랜딩기어부를 포함한 DA-40NG 항공기의 3차원 모델링 형상을 보여주고 있다. 항공기의 조종면 및 착륙장치와 프로펠러가 모두 반영된 형상이다. 이 형상은 단순한 기체형상이 아니므로 공력해석이 용이하지 않다. 프로펠러와 랜딩기어를 제외한 항공기 형상은 비교적 단순하기 때문에

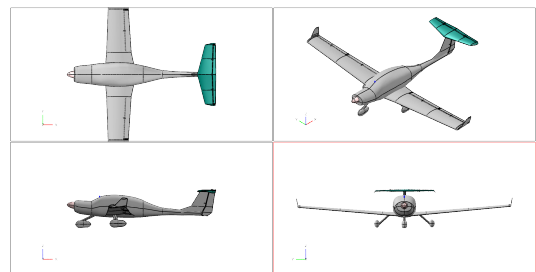


Fig. 2. The modeling of three dimensional configuration of DA-40NG with simplified landing gear

개념설계 단계에서 항공기 기체의 형상을 비교하기가 용이하므로 설계단계에서 유용하게 활용될 수 있다. 다른 항공기의 역 모델링에 대해서도 3면도를 활용하였다.

Fig. 3은 OpenVSP의 행거에서 제공하는 형상을 그대로 활용하여 C-172S의 형상과 일치되도록 일부를 수정하여 재 모델링한 것이다.

Fig. 4는 SR-20 항공기의 형상을 직접 역설계한 것이다. 이 형상 모델링은 Table 1의 자료와 3면도 형상을 사용하여 작업된 것이다. 착륙장치의 형상은 해석이 용이하도록 하기 위해서 단순화된 형태로 변형하여 모델링하였다.

Fig. 2에서 Fig. 4의 항공기 외형 형상의 모델링 결과들은 기하학적 자료와 3면도가 일치되도록 모델링된 것이다. 역설계를 통해서 항공기 형상을 100% 일치하도록 설계하는 것은 매우 어려우며, 기준 데이터도 필요하지만 실측이 필요하다는 제한점이 있다. 본 연구에서 모델링된 형상은 Fig. 1과 같은 형태의 3면도 및 Table 1의 기하학적 자료와 일치되는 형상이 외형으로 설계되었으므로 세부적인 부분을 제외하고, 실제 항공기의 형상과 거의 일치한다. 이로써 개별 항공기의 기초적인 형상 자료와 3면도로부터 공학적 해석이 가능한 수준의 항공기 형상 모델링이 확보되었다. 여기서

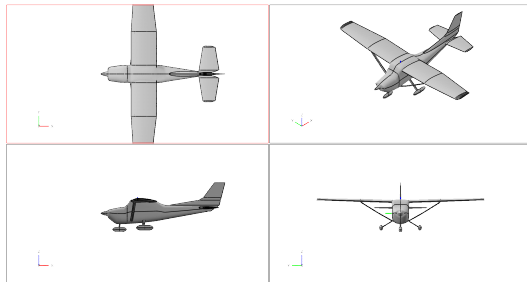


Fig. 3. The modeling of three dimensional C-172S airplane configuration partially modified from the original configuration[7]

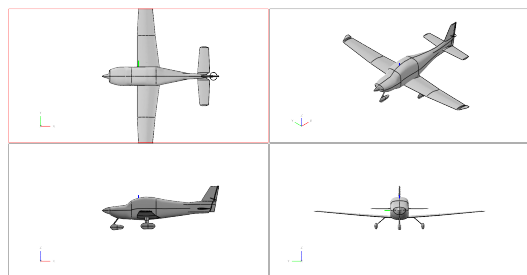


Fig. 4. The modeling of three dimensional SR-20 airplane configuration

만들어진 외형 형상은 자유롭게 형상 변경이 가능하므로 항공기의 성능을 향상시킬 수 있는 다양한 형태의 변경된 형상으로 쉽게 적용할 수 있다. 예를 들어 C-172와 같은 항공기에 윙렛으로 추가하거나, 날개의 위치변경 등을 통해 항공기 성능을 향상시키는 것이 가능해졌다.

## 2.4 VLM에 의한 공력해석 결과 및 분석

항공기 공력해석을 위한 프로그램 VSPAERO는 기하학적 형상으로부터 공력특성을 분석할 수 있는 프로그램으로 가장 빠르게 적용할 수 있는 와류격자분석도구(vortex lattice analysis tool)를 제공한다. 이 프로그램은 자유롭게 사용가능한 공개 소프트웨어로 Dave Kinney(NASA at Ames)에 의해 개발되었다. 이 프로그램을 이용하면 와류격자방법(Vortex Lattice Method, VLM) 및 패널방법을 각각 적용하여 항공기 기체에 대한 간단한 해석이 가능하므로 개념설계 과정에서 유용하게 이용될 수 있다. 본 논문에서는 패널방법에 의한 해석결과보다는 VLM에 의한 해석결과에 대해서만 논하였다.

### 2.4.1 항공기 설계 해석 조건과 공력계수 비교

항공기의 비행조건은 순항고도 3,000ft, 순항비행속도 120Knots( $M=0.18$ )를 기준으로 적용하였다. 비행조건은 교육용 항공기가 빈번하게 비행하는 순항비행조건을 선택한 것이다. 받음각은  $-4$ 도부터  $12$ 도까지의 범위에서  $1$ 도 간격으로 계산하였다. 옆미끄럼각은  $0$ 도를 적용하였다.

Fig. 5는 DA-40NG, C-172S, SR20의 역설계 형

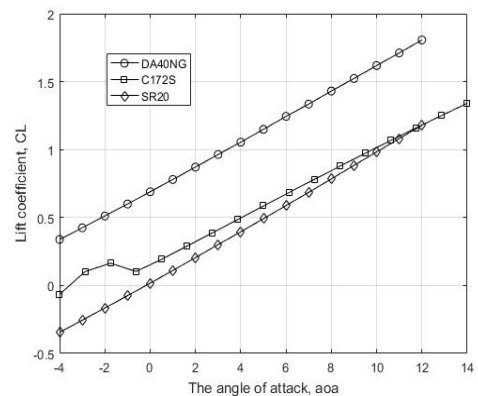


Fig. 5. Comparison of lift coefficients with angle of attack at 120knots and altitude 3,000ft.

상을 이용하여 계산한 양력계수를 비교한 것이다. 양력 계산의 계산은 와류격자방법이 적용되었다. 여기서 DA-40NG의 양력계수가 타 항공기에 비하여 크게 나타남을 볼 수 있는데, 이는 받음각의 기준이 지상에 있는 상태를 기준으로 한 것이 고려된 것이다. 다른 두 항공기는 유사한 형태와 범위를 보인다. C-172S는 받음각 0도 이하에서 공력계수의 변화가 선형적으로 나타나지 않았는데, 이는 스트럿을 갖는 항공기의 구조적 형상에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 받음각 -4도부터 12도까지의 변화에 따른 양력계수의 변화를 항공기별로 비교하여 나타낸 것이다. DA-40NG의 양력계수가 전체적으로 더 크게 얻어졌으며, C-172S와 SR-20 항공기는 5도 이하에서 거의 유사하나, 받음각이 커지면서 차이를 나타내고 있다. 항공기의 모습으로 판단하면 양력수준이 낮을 것으로 예측되는 형상임에도 이러한 결과는 주목할 만한 요소로 받음각의 차이가 있기 때문으로 보인다. 양력계수를 계산하기 위하여 사용된 프로그램은 점성효과를 고려하지 않기 때문에 마찰에 의한 양력과 흐름의 분리가 시작되면서 나타나는 현상을 고려되지 않았다. 여기서 계산된 양력계수는 형상양력계수 및 유도양력계수의 합을 나타낸 것이다. 실제 항공기의 양력계수와 같은 수준의 값을 구하기 위해서는 점성효과가 반드시 고려되어야 한다.

Fig. 7은 양항비를 항공기별로 받음각에 따라 비교하여 나타낸 것이다. 아주 특이한 현상은 DA-40NG의 양항비 변화인데, 낮은 받음각이나 음(-)의 받음각에서도 큰 값을 보인다. 또한 받음각이 커져도 다른 항공기와 유사하게 양항비의 감소가 적은데, 이는 점성효과에

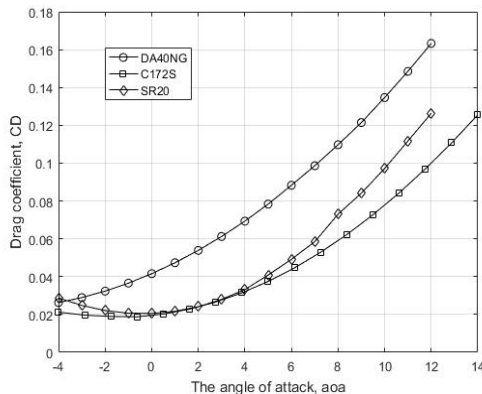


Fig. 6. Comparison of drag coefficients with angle of attack at at 120knots and altitude 3,000ft.

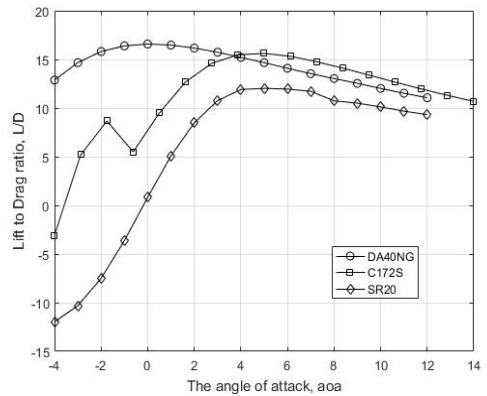


Fig. 7. Comparison of lift to drag ratio with angle of attack at 120kts and altitude 3,000ft.

의한 양력이 반영되지 않은 것으로 보인다. 양항비는 다른 공력계수에 비하여 매우 다른 변화를 나타내고 있으나, 항공기가 주로 운영되는 낮은 받음각 상태에서는 크게 다르지 않음을 볼 수 있다. 여기서, SR-20 항공기는 다른 항공기에 비하여 양항비의 수준이 다소 낮게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

#### 2.4.2 압력분포와 Trailing wakes 결과 비교

Fig. 8은 DA-40NG 형상에서 정압력계수  $\Delta C_p$ 의 분포와 후류(trailing wake)를 나타낸 것이다. 압력계수 분포와 후류의 유선이 잘 나타나고 후류의 꼬리날개에 대한 영향을 볼 수 있다. 또한 날개 끝에서의 와류의 모습이 잘 형성되어 있다.

Fig. 9는 C-172S의 정압력계수  $\Delta C_p$ 의 분포와 받음각 5도에서 trailing wakes의 모습을 나타낸 것이

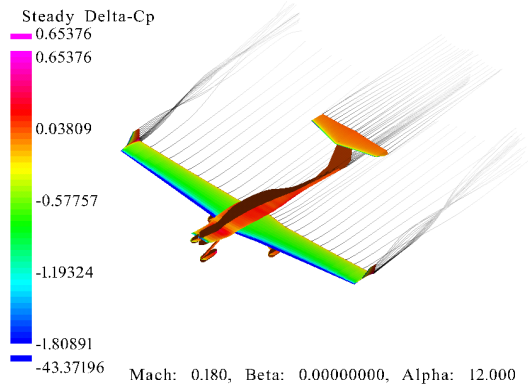


Fig. 8. DA-40NG's steady surface pressure distribution and trailing wakes at the angle of attack, 5deg. by VLM



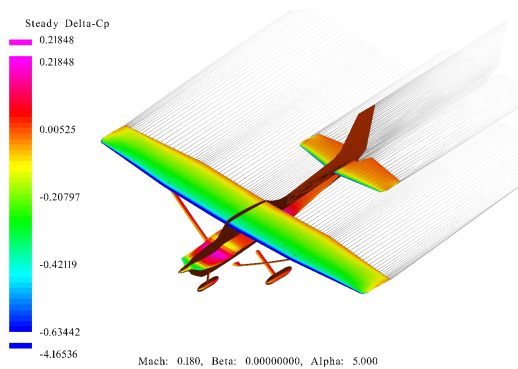


Fig. 9. C-172-S's steady surface pressure distribution and trailing wakes at the angle of attack, 5deg. by VLM

다. 날개 위의 압력계수 분포가 Fig. 8의 DA-40NG와 유사하게 보이지만 계수 크기의 수준은 서로 다른 값을 보이고 있다.

Fig. 10은 SR-20 항공기의 정압력계수  $\Delta C_p$ 의 분포와 받음각 5도에서 trailing wakes의 모습을 나타낸 것으로 후류의 영향이 어떻게 나타나는지를 잘 보여주고 있다. 이 그림에서 압력계수의 값이 DA-40NG나 C-172S의 결과보다 가장 낮은 수준으로 나타나고 있음을 볼 수 있으며, DA-40NG보다는 C-172S에 더 근접한 결과를 보여준다. 이러한 결과는 Fig. 5의 양력계수 변화 값들의 경향과도 일치하는 것이다.

### III. 결 론

본 연구에서 교육용 항공기로 많이 사용되는 3종류의 소형 항공기에 대하여 외형 형상 모델링 및 공력해

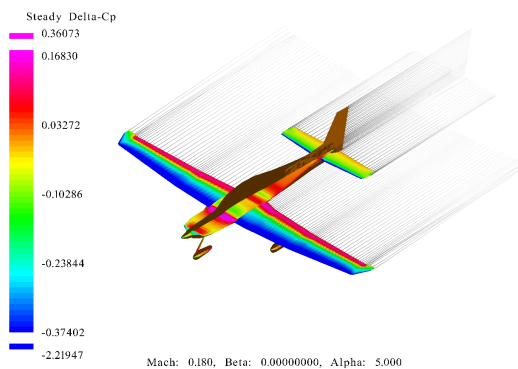


Fig. 10. SR-20's steady surface pressure distribution and trailing wakes at the angle of attack, 5deg. by VLM

석을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째로 OpenVSP는 기본적인 기하학적 파라미터와 3면도의 자료와 일치되는 3차원 형상을 모델링 하였다. 이로써 이 프로그램은 항공기의 개념설계 도구로서 충분히 활용이 가능하다.

둘째로, 본 연구에서는 3가지 종류의 교육용 소형항공기의 3차원 형상 모델링 및 공력성능에 대한 비교를 통하여 DA-40NG 항공기의 공력성능이 우수하며, SR-20의 양항비가 가장 낮은 것으로 나타남을 확인하였다.

셋째로, 기존의 항공기에 대한 빠른 형상 모델링과 간단한 공학적 해석이 가능하므로 성능개선을 위한 설계 변경이나 새로운 형상에 대한 개념설계단계에서 유용하게 적용될 수 있다.

본 연구에서의 제한점은 유동의 점성효과가 고려되지 않았다는 것이지만 이를 고려할 수 있는 프로그램과 적절히 혼합하여 사용한다면 새로운 형상이나 형상개선을 위한 개념설계에 빠른 설계도구로 사용될 수 있을 것이다.

### 후 기

본 연구는 2019.9~2020.8까지 청주대학교 산업과 학연구소가 지원한 학술연구조성비(특별연구추가과제)에 의해 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

1. Cheong, B. et al., "Configuration analysis in detail design stage of KLA-100 light aircraft", Proceedings of 2015 KSAA Fall Conference, KSAA, 2015, pp. 29-31.
2. Manoviraj, S. S., Arjun, S., and Govindha, R. N., "Performance improvement study of CESSNA-172 aircraft using CFD", International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 8(9), Sep. 2017, pp. 414-424.
3. Andrew, S. H., "Vehicle sketch pad: A parametric geometry modeler for conceptual aircraft design", AIAA, 2010.
4. Airplane Flight Manual DA40NG, Diamond Aircraft Industry, pp. 1-5,6, 2010.
5. Cho, H., "Design of the airplane for flight

- training and analysis of aerodynamic characteristics by the vortex lattice method”, 2019 KSAA Fall Conference, KSAA. 2019, pp. 88-90.
6. Cho, H., “A study on the aerodynamic analysis and the design of light airplane for flight training”, *Journal of Industrial Science*, Cheongju University, 37(2), 2020, pp. 135-141.
  7. Gludemans, <http://hangar.openvsp.org/>, 2020.2.20. Accessed.
  8. William, J. F., Kevin, R. A., et al., “Aircraft conceptual design using vehicle sketch pad”, AIAA 2010.
  9. Robert, K., “Computation of vortex sheet roll-up in the Trefftz plane”, *Journal of Fluid Mechanics*, 184, 1987, pp. 123-155.
  10. Brandon, L. K. R., “VSP Aircraft Analysis User Manual”, NASA 2014.
  11. William, J. F., Kevin, R. A., Guillermo, C., Nachiket, D., Mark, D. M. E. A., San, M., and Alison, N. S., “Aircraft conceptual design using vehicle sketch pad, NASA langley research center”, AIAA paper,
  12. Aircraft Design Education Research Group, *Aircraft Conceptual Design*, KyungMoon Co., Seoul, 2018.