

오픈 소스(OpenFOAM)에 기반한 공력해석 전용 프로그램(ISAAC) 개발 - 전/후처리와 사용자 환경

Development of aerodynamics simulation program based on open source SW, OpenFOAM
- pre/post processing & user interface

김병윤^{1*}, 길재홍¹, 신훈범²
(주)넥스트폼¹, 한국항공우주산업(주)²

초 록

항공기 공력 예측 방법들 중 전산유체역학을 이용한 3차원 해석 방법의 중요성이 증가하고 있으며, 해석결과와 정확성 및 해석 과정의 효율성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 범용성, 폐쇄성, 고비용을 특징으로 하는 상용프로그램의 한계를 극복하기 위해 오픈 소스(OpenFOAM)를 기반으로 공력해석 전용 프로그램을 개발하였다. 개발 프로그램은 내재적 기법의 압축성 유동과 공력해석에 최적화된 전/후처리 기능을 포함하고 그래픽과 텍스트 기반의 사용자 환경을 포함하고 있다. 격자의 생성은 오픈폼에서 제공하는 snappyHexMesh를 이용하였으며 마하수 및 받음각의 변화에 따른 계산을 한 번에 처리할 수 있도록 하였으며, 후처리 단계에서는 개발자가 필요로 하는 공력 데이터들을 자동으로 도출해 낼 수 있도록 개발하여 연구개발의 효율성을 높일 수 있게 되었다.

ABSTRACT

To predict aerodynamic forces of aircraft, dependency on three dimensional CFD analysis are growing. And the accuracy and efficiency of CFD results became more important. Many CFD engineers in industries are using commercial CFD packages. Commercial packages have some limits - can't access to the source code, general purpose program and high cost. So in this research we developed aerodynamics oriented CFD program based on open source S/W, OpenFOAM to overcome the limits of commercial packages. Developed program, ISAAC is composed of flow solver, pre/post processing and graphic/text user interface. To create mesh we used snappyHexMesh utility of OpenFOAM. Many simulations of angle of attack sweep and Mach number sweep can be run at one time. To improve post processing efficiency, we made program to get the aerodynamic data and graphs automatically.

Key Words : OpenFOAM(오픈폼), CFD(전산유체역학), ISAAC

1. 서 론

항공기 공력 예측을 위한 방법론 중 전산유체역학을 이용한 3차원 해석의 중요성 및 의존성이 증가하고 있다. 그러나 상용 프로그램에 대한 높은 의존도에 의한 고비용의 문제, 많은 계산 조건들에 따른 오랜 계산 시간, 전처리 및 후처리

과정에 많은 시간의 소요 등의 문제를 여전히 가지고 있다. 본 연구의 목적은 전산유체역학을 이용한 항공기 공력예측이 갖고 있는 여러 가지 문제들을 극복한 공력해석 전용 프로그램을 개발하는 것이다. 고비용 문제를 해결하기 위해서는 외국의 상용 프로그램이 아닌 자체 프로그램을 개발하는 것이 반드시 필요하다. 현재 국내의 많은

자체 개발 코드처럼 처음부터 개발을 시작하는 것은 많은 시간이 소요되는 문제와 개발 후 코드의 확장성에서 한계가 있다. 기존의 오픈 소스 코드를 기반으로 개발을 진행하면 개발 기간을 단축할 수 있고 추후 여러 기관과 공동으로 코드를 확장해 나갈 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 유한체적법을 사용하는 비정렬격자 해석 코드인 오픈폼(OpenFOAM)을 기반으로 개발을 진행하였다.

오픈폼은 전산유체역학 코드 개발을 위한 도구 상자로 격자의 처리, 행렬 계산자, 경계조건, 난류모델을 포함한 각종 물리적 모델을 라이브러리 형태로 제공한다.

오픈폼을 사용한 압축성 유동해석에 대한 국내의 연구는 오픈폼 표준솔버에 대한 김태우 등⁽¹⁾의 연구, 고속철도에의 적용에 관한 김병윤 등⁽²⁾의 연구, 터빈에의 적용에 관한 김병윤 등⁽³⁾의 연구 등이 있다. 현재 공개된 압축성 유동해석을 위한 오픈폼 솔버는 SIMPLE 알고리즘 및 외재적 기법을 사용하고 있다. 이들은 효율적인 공력해석을 위해서는 한계가 있기 때문에 본 연구에서는 LU-SGS 수치모델을 적용한 내재적 방법을 적용한 압축성 코드를 개발하였다.

본 연구에서는 항공기 공력해석 프로그램에서 솔버를 제외한 나머지 부분을 다루고자 한다. 공력해석 솔버를 제외한 전처리과정, 후처리과정, 작업자동화, 사용자환경의 개발로 나눌 수 있다. 개발의 첫 번째 목표는 가볍고 단순한 사용자 환경의 개발을 통해 누구나 쉽게 프로그램을 사용할 수 있고 프로그램 운용상의 실수를 최소한으로 줄이는 것이다. 두 번째 목표는 많은 입력 조건들을 최적화하고 작업을 자동화하여 공력해석에 개발자가 투여해야 하는 시간을 최소화하여 연구개발의 효율성을 높이는 것이다.

2. 전처리 과정에 대한 개발

전처리 과정은 계산 격자를 처리하는 과정과 수치모델 및 경계조건 입력하는 과정으로 나눌 수 있다. 계산 격자를 처리하는 과정은 다른 프로그램에서 만들어진 격자를 개발 프로그램에서 사용할 수 있도록 데이터 형식을 변환해서 사용하는 방법과 형상 파일로부터 직접 격자를 만드

는 방법 두 가지를 사용할 수 있도록 개발하였다. 다른 프로그램에서 만들어진 격자 파일의 변환은 오픈폼이 제공하는 격자 변환 유틸리티를 사용한다. Plot3d 형식의 격자와 Ansys Fluent의 msh/cas 형식의 격자, starCCM+의 ccm 형식의 격자를 사용할 수 있다. 사용되는 유틸리티는 plot3dToFoam, fluentMeshToFoam, ccm26ToFoam이다.

형상 파일로부터 직접 격자를 생성하는 방법은 오픈폼이 제공하는 격자 생성 유틸리티인 snappyHexMesh를 사용하였다. 항공기 형상은 stl 파일을 사용하고 항공기 주위에 육면체 격자를 생성하는 castellate 과정과 육면체 격자를 항공기 형상과 일치시켜 다면체격자로 바꾸주는 snap과정, 경계층 격자를 생성하는 과정으로 나누어진다. Fig.1에 snappyHexMesh의 개념을 나타내었다.

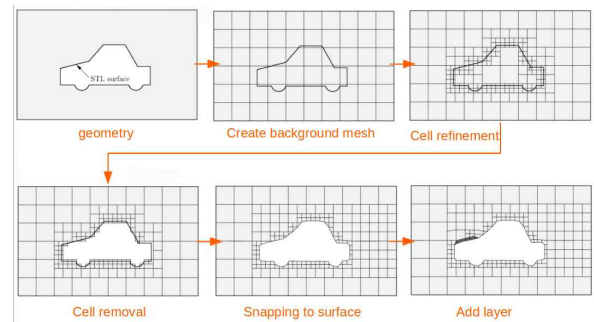


Fig. 1. concept of snappyHexMesh

Castellate 과정에서 항공기 주위에 격자를 조밀하게 유지하기 위해 stl 파일로부터 feature line을 생성해 내는 과정이 추가 된다. 격자 생성 작업은 계산영역의 크기, 항공기 주위의 격자 크기, 경계층 높이 및 개수 등에 대한 여러 가지 수치 입력만으로 격자를 생성할 수 있으며 병렬작업도 가능하여 자동격자 생성에 매우 유리한 격자 생성 방식이다. 60여 가지의 각종 입력값의 영향을 테스트하여 최적의 조건을 결정하였으며 대부분의 변수를 고정 시키고 최소한의 변수만을 입력받도록 프로그램을 제작하였다. Fig.2와 Fig.3에 DLR-F4 wing-body⁽⁴⁾에 대한 격자 생성 결과 및 계산 결과를 나타내었다.

수치모델의 설정은 난류모델, 이산화기법, 제

한자만 설정하면 되도록 제작하였다. 경계조건은 원방경계는 Riemann 조건을 사용하고 항공기 표면에서는 $y+$ 값에 따른 벽면조건을 자동으로 설정하도록 제작하였다. 입력 값은 경계면의 형식(원방경계 혹은 항공기), 마하수 범위, 받음각 범위, 원방경계의 압력 및 온도 값이다.

3. 후처리 과정에 대한 개발

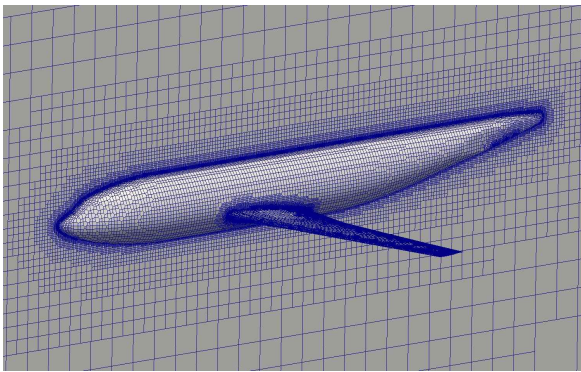


Fig. 2. Generated mesh of DLR-F4 WB

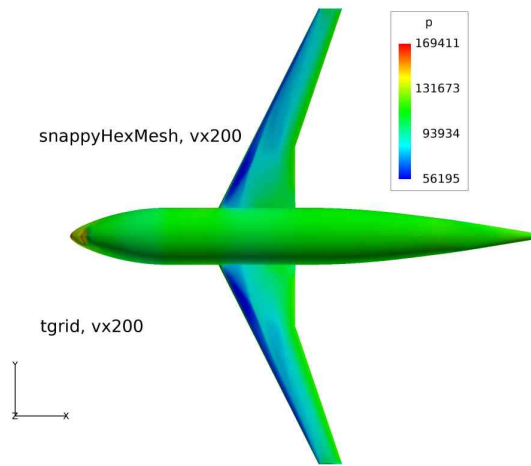


Fig. 3. pressure contour
(upper: snappyHexMesh, bottom: tgrid)

계산된 결과로부터 필요한 데이터를 추출하는 후처리작업은 Paraview, Fieldview, Tecplot 등의 전문 후처리 프로그램을 이용하거나 개발 프로그램에서 직접 수행하는 두 가지 방법이 모두 가능하도록 개발하였다. 전문 후처리 프로그램 중 Paraview와 Fieldview는 계산된 결과를 바로 읽을 수 있으며 Tecplot은 오픈폼의 유틸리티를

이용하여 데이터를 변환하여 사용할 수 있다.

후처리작업은 데이터의 변환, 필요한 데이터의 추출, 스프레드시트 프로그램을 이용한 각종 데이터의 정리 작업 등에 많은 시간이 소비된다. 이런 작업들에 소요되는 시간을 최소화하기 위해 사용자들의 요구를 수집하여 가능한 모든 작업들을 자동화할 수 있도록 프로그램을 제작하였다.

전체 항공기 및 각 경계면에서의 힘과 모멘트 그리고 양력계수, 항력계수, 모멘트계수 등이 자동으로 추출된다. 그리고 받음각의 변화에 따른 양력계수 및 항력계수 그래프 및 데이터 파일이 모든 마하수에 대해 얻어진다. 항공기 스핀 방향 좌표를 입력하면 그 단면에서의 압력분포 그래프와 데이터 파일이 얻어진다. 해당 문제에 대해서 계산이 진행되는 동안의 residual 값 및 저항계수 변화 상태를 계산 중 혹은 계산 완료 후에 확인할 수 있다.

4. 사용자 환경의 개발

사용자 환경은 최대한 단순한 형태가 되도록 하였으며, 추후 기능 추가를 위한 확장성을 고려하여 제작되었다.

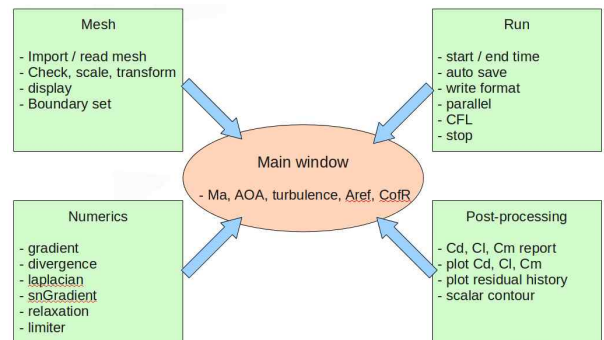


Fig. 4. 그래픽 사용자 환경의 구조

공력해석에 필요한 입력 데이터들을 시뮬레이션 조건(마하수, 받음각, 난류모델, 원방경계 조건 등), 격자(격자 파일, 경계면 속성 등), 수치모델(이산화 기법, 행렬 계산자, 제한자 등), 계산조건(병렬연산, 반복계산 회수, CFL수 등), 후처리(공력데이터, 그래프, 그래픽 출력 등) 등의 다섯 가지 범주로 구분하였다. 시뮬레

이선 조건은 주화면에 배치하고 나머지 네 개의 범주는 별도의 입력창으로 제작하였다. Fig. 4. 에 사용자 환경의 구조를 나타내었다.

Fig. 5.는 개발 프로그램이 주 화면을 나타내고 있다. 주 화면의 3차원 그래픽 창에서는 선택된 격자의 형태와 경계면의 이름 등을 확인할 수 있다. 계산 완료 후 결과를 경계면 혹은 좌표축 단면에서 스칼라 값들의 분포를 확인할 수 있도록 하였다.

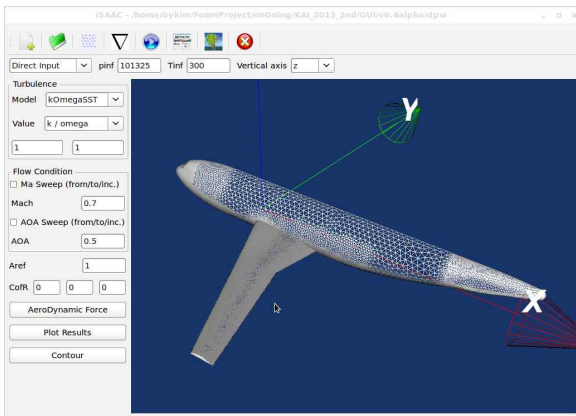


Fig. 5. Graphic user interface of ISAAC

그래픽 사용자 환경은 python v2.6을 이용하여 제작하였으며 GUI 구성은 pygtk 라이브러리를 사용하였고 격자 및 계산 결과의 그래픽 출력을 위해서는 VTK 라이브러리를 사용하였다. 그래프 제작을 위해서는 gnuplot과 pyFoam을 사용하고 있으며 일부 후처리작업을 위해 Fieldview의 스크립트 언어인 fvX가 사용되었다.

그래픽 사용자 환경과 별도로 하나의 입력파일로 프로그램을 구동할 수 있도록 텍스트 사용자 환경도 함께 개발하였다.

5. 결론

항공기 공력해석 전용 프로그램 개발을 위해 전후처리 과정과 사용자 환경을 개발하였다. 프로그램의 개발은 최대한 오픈소스 프로그램을 기반으로 개발하여 추후 프로그램의 확장을 쉽게 할 수 있도록 하였다.

공력해석에 최적화된 가볍고 단순한 사용자 환경을 개발하였으며, 최적 조건 선정을 통해 사용자가 프로그램 운용 방법을 학습하기 위한 시

간을 최소화하고 운용상의 실수에 의한 잘못된 결과를 얻게 되는 일을 최소화 할 수 있도록 개발하였다. 범용 프로그램을 사용할 때 많은 시간이 소비되는 전후처리 과정을 자동화하여 개발자의 단순 작업 시간을 줄여 연구의 효율성을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 한국항공우주산업(주)의 기술개발사업의 하나로 한국항공우주산업(주), (주)넥스트폼, 서울대학교 항공우주공학과가 공동으로 참여하였다.

참고문헌

- (1) Taewoo Kim, Sejong Oh, and Kwanjung Yee, 2011, "Verification of the Open Source Code, OpenFOAM to the External Flows", JKAS, Vol. 39, No. 8, pp. 702-710.
- (2) B.Y.Kim, J.H.Gill, H.B.Kwon, 2011, "Aerodynamics Simulation of Korea next generation high speed train using open source CFD code", Proc. of KSCFE Spring conference, pp. 327~330.
- (3) B.Y.Kim, B.H.Kim, J.H.Gill, 2012, "CFD Simulation of nozzle-turbine in gas turbine engine using open source CFD code OpenFOAM", Proc. of KSCFE Sprig conference, pp. 564~567.
- (4) Thomas Scheidegger, Greg Stuckert, 2003, "2nd AIAA CFD Drag Prediction Workshop - Fluent 6 Unstructured Mixed Element", http://aac.larc.nasa.gov/tsab/cfdlarc/aiaa-dpw/Workshop2/Final_Schedule_and_Results.htm