

## 오픈소스 CFD 도구 오픈폼(OpenFOAM)을 사용한 수송체 외부유동해석 프로그램 개발

김병윤<sup>1\*</sup>, 길재흥<sup>2</sup>, 노현석<sup>3</sup>

### Development of CFD program to simulate external flow of vehicles using open source CFD tool box, OpenFOAM

B.Y. Kim<sup>1\*</sup>, J.H. Gill<sup>2</sup> and H.S. Roh<sup>3</sup>

**ABSTRACT:** CFD has been widely used in design vehicles as airplane, car, train and ship. Most of the engineers are using commercial CFD packages. Unstructured mesh support, high parallel performance, robustness and easy of use are the major benefits of commercial packages. Commercial packages also have many problems like high costs and limited accessibility to the code. Open source CFD tool box, OpenFOAM also has many benefits of commercial packages but because of it's difficulties in use it is not yet widely used in Korea. We developed aero/dydrodynamics CFD program based on OpenFOAM with simple graphic user interface. This program provide compressible and incompressible solver with various RANS turbulence models. It support msh and ccm type mesh files and needs OpenFOAM-2.1.x and OpenFOAM-1.6-ext version. We also validated some vehicles as car, train and ship and will open our program in the web. We expect many CFD engineers can easily use OpenFOAM with this program and furthermore develop this program together.

**Keywords :** 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics), 오픈소스(Open Source), 오픈폼(OpenFOAM), 외부유동(External Aero/Hydro-dynamics)

#### 1. 서론

현재 항공기, 철도차량, 자동차, 선박 등의 형상 설계에 있어 CFD가 폭 넓게 사용되고 있다. 그러나 대부분의 산업체에서는 상용코드를 사용하고 있다. 상용코드는 많은 장점에도 불구하고 높은 비용과 코드 접근성의 제한으로 높은 상용코드 의존도는 여러 문제점을 낳을 수 있다. 오픈폼 코드인 오픈폼은 상용코드의 많은 장점을 갖고 있으나 사용상의 불편함으로 인해 많이 사용되지 않고 있다. 이에 오픈소스 사용을 보다 쉽게 할 수 있도록 하기위해 오픈폼 기반으로 간단한 그래픽 사용자 환경을 갖춘 수송체 외부유동 해석 프로그램을 제작하였다. 격자는 msh, ccm, 오픈폼 형식을 지원하며 비압축성 및 압축성 유동 해석이 가능하다. 자동차, 고속열차, 선박에 대한 계산을 통해 결과를 검증하였다.

#### 2. 유동해석 솔버

자동차와 선박 등의 해석을 위한 비압축성 유동 해석은 OpenFOAM-2.1.x을 기반으

로 한다. 솔버는 표준 솔버인 simpleFoam과 pimpleFoam을 사용하는데 3차원 정상상태/비정상상태 난류유동 해석 솔버이며 소스항을 추가할 수 있다. 지원하는 난류 모델은 standard k- $\epsilon$ , realizable k- $\epsilon$ , RNG k- $\epsilon$ , k- $\omega$ , SST k- $\omega$ , Spalart-Allmaras 모델 등이다.

항공기와 고속열차 등의 해석을 위한 압축성 유동해석은 OpenFOAM-1.6-ext을 기반으로 한다. 솔버는 Oliver Borm의 density based solver를 사용한다. MRF 기능을 지원하며 난류 모델은 비압축성 유동의 경우와 같다.

#### 3 전/후처리

격자 생성 작업은 지원하지 않으며 전처리 프로그램에서 내보낸 오픈폼 파일 형식과 함께 msh, cas, ccm 파일 형식을 지원한다. 후처리작업은 오픈소스 프로그램인 paraview를 사용할 수 있으며 상용프로그램인 eildview를 지원한다.

#### 4 경계조건

입구의 속도 경계조건은 일정속도조건(방향 벡터, 면에 수직인 방향)과 유량조건, 전온도 조건, 전압력 조건을 사용할 수 있다. 입구의 압력 경계조건 및 출구의 속도 경계조건은 zero gradient 조건이다. 자동차 및 철

<sup>1</sup> 넥스트폼, [bykim@nextfoam.co.kr](mailto:bykim@nextfoam.co.kr)

<sup>2</sup> 넥스트폼, [jhgill@nextfoam.co.kr](mailto:jhgill@nextfoam.co.kr)

<sup>3</sup> 넥스트폼, [hsroh@nextfoam.co.kr](mailto:hsroh@nextfoam.co.kr)

도차량과 같이 벽면이 있는 경우 no-slip wall 혹은 moving wall 조건을 사용할 수 있다. Symmetry 경계조건과 2차원 계산을 위한 empty 경계조건을 사용할 수 있다.

## 5 계산결과 검증

계산 결과의 검증을 위해 에어포일, 자동차, 선박, 항공기에 대한 해석을 수행하였다.

### 5.1 RAE 2822 에어포일

압축성 솔버 검증을 위한 해석으로  $M=0.729$ ,  $AOA=2.31$ ,  $T=255.6K$ ,  $P=108907$ 이다. 2차원 해석을 위한 격자로 14층의 육면체 경계층 격자와 프리즘 공간 격자로 구성되었으며 격자수는 35,892이다.

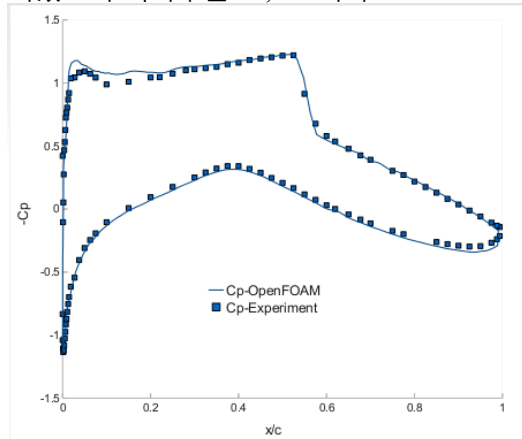


Figure 1 Cp vs. x/c

### 5.2 자동차

비압축성 솔버 검증을 위한 해석으로 간단한 자동차 모델에 대한 해석을 수행하였다. TrimmedHexa 격자로 구성되었다. Figure 2에 압력분포를 비교하여 나타내었으며 저항계수는 두 경우 모두 0.218로 계산되었다.

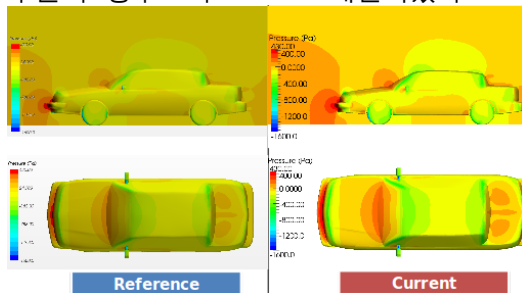


Figure 2 pressure contour of simple car

### 5.3 선박

비압축성 솔버를 사용한 선박 해석 결과이다. KVLCC2 선형이 대상이며 193,536개의 육면체 격자를 사용했다. 계산결과 압력저항계수는 0.67로 실험결과와 1.5% 차이를 나

타내었으며 마찰저항계수는 3.368로 실험결과와 2.4%의 차이를 나타내었다.



Figure 3 Pressure contour

### 5.3 항공기

압축성 솔버 검증을 위한 해석이다. 프리즘 경계층격자와 사면체 공간격자로 구성되었으며 전체 격자수는 8,815,597이다. 속도는 400km/hr이다. 그림 3에 압력분포를 비교하여 나타내었으며, 저항계수는 2.4% 정도의 차이를 나타내었다.

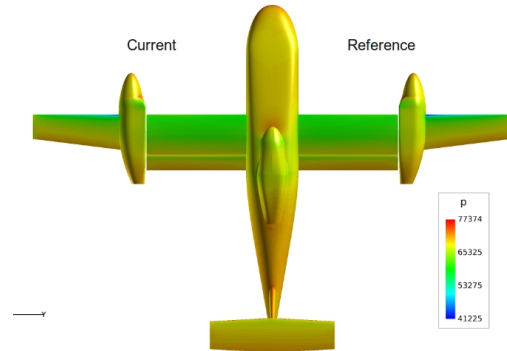


Figure 4 Pressure contour

## 4. 결론

본 연구에서는 오픈소스 CFD 코드인 오픈폼의 사용을 쉽게하기 위해 수송체의 외부유동 해석 프로그램을 개발하였다. 에어포일, 자동차, 항공기의 해석을 통해 사용 가능성을 검증하였다.

본 프로그램은 웹을 통해 공개될 예정이며, 오픈소스의 사용 확대에 작은 도움이 될 수 있을 것으로 판단되며 추후 관심있는 많은 분들과 공동으로 개발이 계속 진행되기를 희망한다.

## 참고문헌

- [1] Oliver Borm, "Density Based Navier Stokes Solver for Transonic Flows", 2011, OpenFOAM Workshop
- [2] [www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/raetaf/raetaf01/raetaf01.html](http://www.grc.nasa.gov/www/wind/valid/raetaf/raetaf01/raetaf01.html)
- [3] "Benchmarking of Computational Fluid Dynamics for Ship Flows : The Gothenburg 2000 Workshop", J. Ship Research, vol 47, No., 2003